

LA GAZETTE NUCLEAIRE

Prix : 6 € • Abonnement (1 an) :
France : 24 €
Étranger : 30 €
Soutien : à partir de 30 €

Publication du Groupement de
Scientifiques pour l'Information sur
l'Énergie Nucléaire
(GSIEN)

47^{ème} année
INSS 0153-7431
Trimestriel
Décembre 2023

301

1000+ scientifiques contre un nouveau programme nucléaire

EDITORIAL

C'est officiel, la France a prévu de se lancer à corps perdu dans une nouvelle aventure atomique avec la construction de réacteurs à eau sous pression (REP) de type EPR 2, un modèle dérivé de l'EPR de Flamanville qui a pourtant montré les limites d'EDF dans sa capacité à construire d'aussi monumentales installations tant en termes de délais, de coût et de qualités de conception et de réalisation.

Dès le 9 novembre 2021, le Président de la République annonce la couleur : « *Nous allons, pour la première fois depuis des décennies, relancer la construction de réacteurs nucléaires dans notre pays* »¹. En février de l'année suivante, le Patron annonce que six EPR seront construits dans un premier temps et que huit autres sont en option.

Le lancement d'un nouveau programme inquiétait fortement Jean-Claude, notre regretté Président du GSIEN. Il a alors activé la relance de l'*Appel des 400* publié par Le Monde le 11 février 1975 (Cf. encart) en opposition au Plan Messmer de l'époque. Et c'est en juin 2023 que ce nouvel appel voit le jour : « A l'initiative de membres du GSIEN et de Global Chance, de médecins, d'enseignantes et d'enseignants, d'ingénieures et d'ingénieurs, d'universitaires et de chercheurs, est lancé cet appel à refuser tout nouveau

ENVIRONNEMENT

Une déclaration de quatre cents scientifiques
« **Nous appelons la population à refuser l'installation des centrales nucléaires** »

programme nucléaire, imposé et qui engagerait l'avenir de notre pays sur le très long terme » (Cf. page 3).

Trois sites ont déjà été choisis pour accueillir une paire d'EPR 2 : **Penly, Gravelines et Bugey**. La seule construction de ces réacteurs va coûter un bras (Cf. page 7). Sans compter les investissements collatéraux à réaliser pour retraiter les combustibles irradiés de ces nouveaux réacteurs si la France poursuit la voie du retraitement. Mises en service en 1986, les usines de La Hague sont à bout de souffle. Il va falloir les démanteler et en construire une nouvelle (1 ou 2 bras), si on y arrive. L'installation de Rokkasho-Mura au Japon, usine "sœur" de La Hague dont la construction a débuté en 1993, a vu sa date de mise en service repoussée 26 fois... Son démarrage serait envisagé pour 2024, après un investissement de 90 milliards d'euros².

Un autre bras sera nécessaire pour mener à bien la rénovation des vétustes réacteurs actuels afin de

SOMMAIRE

ÉDITORIAL

Appel de scientifiques	3
Fusion ASN/IRSN	
Pour un IRSN indépendant	4
Casser le thermomètre – A. Béhar	5
Le vrai crime de l'IRSN - A. Béhar	6
Relance du nucléaire	
Politique nucléaire - Ouest-France	6
Financement - La Tribune	8
Coûts des nouveaux réacteurs	8
Mise en service de Flamanville 3	
Nouveau report	9
Contributions – GC et P. Maupin	10
L'intermittence de l'EPR Taishan 1	12
Problèmes de combustible (M5)	14
REX EPRs en service	16
Effets des faibles doses – M. Gerber	18
CSC – Le point du GSIEN	19
Détection et examens	20
Facteurs influençant et sensibilité	21
Corrosion sans contrôle	23
Nouvelles fissures	23
Stratégie : contrôles et réparations	24
Coût pour EDF en 2022	26
REX réacteurs 2021 - IRSN	26
Brèves (AIEA, Zaporijjia, Cigéo)	27
Lettre ouverte à Jancovici	29

www.gazettenucleaire.org

Email :

contact@gazettenucleaire.org

Abonnement, courrier, soutien :
GSIEN – 2 Allée François Villon
91400 ORSAY

prolonger leur durée de fonctionnement dans l'attente de la mise en service des EPR 2. Et encore un autre bras pour démanteler toutes les installations déjà arrêtées définitivement, en exploitation, en construction et en projet.

La gestion des déchets radioactifs à vie longue va sérieusement corser l'addition. Ces déchets, les « plus emmerdants » comme dirait Raymond, sont toujours entreposés sur les sites de production. Il est envisagé d'aller les cacher dans les entrailles de la terre, au Centre industriel de stockage géologique (CIGEO). La demande d'autorisation de création vient d'être déposée et elle va être instruite par l'ASN avec l'appui de l'IRSN (si cette dernière survit aux assauts du gouvernement). S'il aboutit, ce stockage pharaonique devrait nous coûter un énième bras. Mais c'est sans compter le stockage des déchets de nouveaux réacteurs. Le projet CIGEO est en effet dimensionné pour le parc actuel avec Flamanville 3. Il va donc être nécessaire de redéfinir la taille du stockage.

A moins de faire appel à une Divinité dotée de multiples bras, on ne voit pas comment la nation endettée (121% du PIB soit plus de 3000 Md€) pourrait supporter un tel fardeau.

Déesse Koikilenkoutishnou



Source, [Pinterest](#)

Pour tous ces chantiers nucléaires, l'estimation des coûts initiaux est grossièrement sous-estimée afin de ne pas effaroucher les élus qui prennent les décisions. Mais qui décide dans un pays où le nucléaire a été érigé en dogme sans possible remise en cause ? A priori, c'est le Patron dont on

pourrait penser que la bande dessinée de Monsieur Jancovici, « *Le monde sans fin* », est devenue le livre de chevet. Nous publions dans ce numéro une critique salutaire de cette BD réalisée par un ancien ingénieur d'EDF...

Bien évidemment, la relance du nucléaire a été décidée dans le cénacle restreint du pouvoir, loin du cadre démocratique. Les apôtres de l'atome conseillers en énergie du Président ne lisent manifestement pas la Gazette nucléaire. Si c'était le cas, la décision de construire de nouveaux réacteurs sur le modèle du désastre technico-financier de Flamanville 3 n'aurait pas été prise.

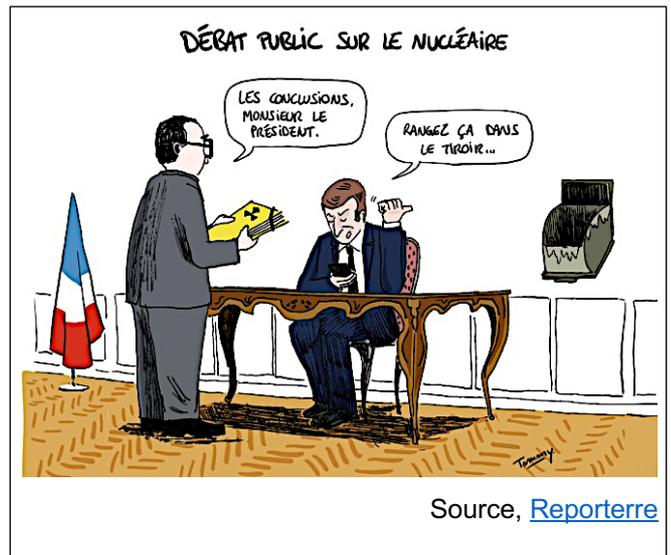
En 2020, « *le gouvernement avait cependant renvoyé sa décision sur la construction de nouveaux réacteurs après la mise en service de l'EPR de Flamanville 3* »³. Ce qui semblait logique car le retour d'expérience de la construction de ce réacteur révèle ce qu'il ne faut surtout pas faire : se précipiter dans la construction et tenter coûte-que-coûte de respecter des délais chimériques. Le chantier de Flamanville 3 a été lancé avant la finalisation de tous les plans de réalisation et de toutes les études de sûreté. Cette course au planning a, entre autres exemples, permis la mise en place d'une cuve de réacteur de qualité douteuse ; constat de Monsieur Proglio, l'ancien patron d'EDF : « *on ne sait plus faire des cuves* »⁴. Une cuve qui a tout de même été installée à Flamanville.

A n'en pas douter, l'empressement actuel dans le lancement d'un nouveau programme de réacteurs atomiques va conduire à de semblables dérives.

Il est à noter que le choix de l'orientation énergétique du pays s'est fait avant l'examen de la loi de programmation sur l'énergie et le climat : « *Curieuse façon de concevoir la fabrique de la loi que de vous assurer, avant même que la stratégie générale de politique énergétique soit*

établie, que rien ne viendra perturber votre dessein »⁵.

Un vernis démocratique a tout de même été apposé : la Commission nationale du débat public (CNDP) a organisé un débat public sur le programme de construction de six réacteurs EPR 2. Synthèse avec Médiapart : « *Ce que nous apprend le grand débat inutile sur le nucléaire - Les conclusions d'un vaste débat national sur la relance d'un programme nucléaire ont été dévoilées mercredi 26 avril. La portée est toute relative car le gouvernement a déjà tranché* »⁶. Certes, mais la portée symbolique des conclusions de l'ersatz de débat se trouve dans la date choisie de sa publication : pile-poile le jour de l'anniversaire de la catastrophe de Tchernobyl. On ne sait pas si cette date a été fixée à dessein par les technocrates qui conseillent (si mal) le Patron. Mais d'aucun pourrait y trouver un mauvais présage...



Source, [Reporterre](#)

Si les élus ont majoritairement voté la loi de relance du nucléaire, par contre, la fusion controversée de l'IRSN et de l'ASN, a été démocratiquement retoquée par le Sénat et l'Assemblée nationale pourtant majoritairement pronucléaire. Elle ressurgit pourtant par l'intermédiaire d'un rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Le risque du grand chamboule-tout imposé par le Président à nos organismes de sûreté et de radioprotection est de museler l'ASN, *en même temps* que l'IRSN. Le GSIEN, Global Chance et d'autres associations ont diffusé une tribune le 22 septembre 2023 : « Pour un IRSN indépendant » (Cf. page 4).

Laissons la conclusion à Monique avec ce court extrait de la Gazette de juillet 2003, toujours d'actualité : « *Notre position n'a pas changé : nous avons un rôle d'aiguillon, nous essayons de suivre les dossiers mais nous n'avons pas les moyens de faire des études complètes. Nous réclamons l'accès aux dossiers de l'IRSN car si on les muselle, adieu la sûreté* »⁷.

Une nouvelle page s'est tournée. Après avoir pris la présidence par intérim suite au décès de Jean-Claude, je laisse les clés du camion à Marc Denis nouvellement élu à la suite de l'assemblée générale du 30 septembre dernier.

Bonne lecture

Monique et Michel

Notes :

- 1- [Le Point, 9 novembre 2021](#)
- 2 - [Sumikai, 28 décembre 2022](#)
- 3 - [Reuters, 15 octobre 20](#)
- 4 - [Henri Proglio - 24 juillet 2023](#)
- 5 - [La Presse de la Manche, 15 mars 2023](#)
- 6 - [Médiapart, 26 avril 23](#)
- 7 - [Gazette 207/208, juillet 2003](#)

GSIEN

« Appel de scientifiques contre un nouveau programme nucléaire » Juin 2023



Le 11 Février 1975 dans les colonnes du Monde, 400 scientifiques invitaient la population française à refuser l'installation des centrales nucléaires « tant qu'elle n'aura pas une claire conscience des risques et des conséquences ». Rappelant le caractère potentiellement effroyable d'un accident nucléaire, ils constataient que « le problème des déchets est traité avec légèreté », et que : « systématiquement, on minimise les risques, on cache les conséquences possibles, on rassure ».

La pertinence de cet appel, qui pourrait être repris quasiment mot pour mot aujourd'hui, a été largement confirmée dans les dernières décennies :

- Présentés à l'époque comme impossibles, les accidents graves ou majeurs se sont multipliés, entraînant des rejets massifs de matières radioactives. Ils ont touché aussi bien des cœurs de réacteurs (Three Mile Island, Tchernobyl, Fukushima) que des dépôts de déchets radioactifs ou des usines de combustible (Mayak, Tokaimura, WIPP, Asse).
- De vastes zones géographiques ont été ainsi rendues toxiques pour tous les êtres vivants et les irradiations et les contaminations radioactives continuent de faire de nombreuses victimes, y compris autour des installations en fonctionnement « normal ».
- L'industrie du nucléaire a officiellement accumulé en France plus de 2 millions de tonnes de déchets radioactifs, dont 200 000 tonnes dangereuses sur de longues périodes, un volume très sous-estimé qui ne comptabilise ni les stériles et déchets miniers abandonnés à l'étranger, ni les « matières » destinées à un hypothétique réemploi (combustibles usés, uranium appauvri, uranium de retraitement...).
- Le démantèlement et la dépollution des sites déjà contaminés sont à peine engagés, s'annoncent excessivement longs et coûteux, et vont encore aggraver le bilan des déchets.

Force est de constater qu'après un demi-siècle de développement industriel, nous ne maîtrisons toujours pas les dangers de l'atome, et n'avons fait que repousser des problèmes annoncés de longue date.

Pourtant, hors de tout débat démocratique, et sans avoir procédé à un réel bilan des choix passés et des options qui s'offrent aujourd'hui, nos gouvernants s'appêtent à relancer un nouveau programme électronucléaire. Sous prétexte d'urgence climatique, et sur la base d'arguments tronqués,

simplicistes, voire lourdement erronés, des lobbyistes disposant d'importants relais médiatiques s'emploient à organiser l'amnésie.

Rappelons que, pour stocker une fraction seulement des déchets les plus dangereux produits à ce jour en France, déchets qui selon certains « tiendraient dans une piscine olympique », on s'appête à creuser 300 km de galeries sous un site de 29 km², pour un coût provisoirement estimé entre 25 et 35 milliards d'euros, et ce sans certitude sur la durabilité de ce stockage aux échelles géologiques requises, de l'ordre d'au moins 100 000 ans.

Rappelons que les conséquences d'accidents majeurs tels que Tchernobyl et Fukushima ne peuvent se réduire à un petit nombre de morts « officiels ». Le fait qu'un bilan sanitaire et économique sérieux du drame de Tchernobyl ne soit toujours pas établi devrait interpeller tout esprit scientifique. Un large éventail de morbidités affecte les habitants des territoires contaminés : conditions de vie dégradées, paupérisation et stigmatisation seront leur lot pour des siècles.

Deux faits majeurs de notre actualité devraient plus que jamais nous alerter : le dérèglement climatique qui s'accélère, et la guerre en Ukraine. La raréfaction de l'eau douce et la réduction du débit des fleuves liés à une sécheresse bientôt chronique en France, tout autant que les risques de submersion des zones côtières dus à l'élévation du niveau des océans et à la multiplication d'événements climatiques extrêmes vont rendre très problématique l'exploitation des installations nucléaires. Miser sur de nouveaux réacteurs dont le premier serait au mieux mis en service en 2037 ne permettra en rien de réduire dès aujourd'hui et drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre, comme l'urgence climatique l'exige. Par ailleurs, au-delà des horreurs de la guerre, la vulnérabilité de la centrale de Zaporijia menace l'Europe entière. Dans un tel contexte d'instabilité géopolitique, comment allons-nous garantir la paix éternelle requise par le nucléaire ?

Dans l'immédiat, l'effort industriel et financier que représenterait ce nouveau programme détournerait pour longtemps les moyens nécessaires pour affronter les défis conjugués de la crise climatique, de l'effondrement du vivant, des pollutions généralisées et de l'épuisement des ressources. Le système électronucléaire est au contraire

indissociable d'un modèle économique basé sur le productivisme et le gaspillage, qui doit prioritairement être revu.

Aujourd'hui, toute critique de la technologie nucléaire, soumise au double secret industriel et militaire, est devenue extrêmement difficile au sein des écoles, laboratoires et instituts qui lui sont liés. Mais les sciences de l'ingénieur n'ont le monopole ni du savoir ni de la légitimité pour décider de notre avenir. Les sciences de la terre et du vivant, de la santé, les sciences sociales et économiques, les humanités et les lettres produisent des enquêtes, des analyses et des contre-récits sans lesquels nous ne saurions rien aujourd'hui des véritables conséquences de l'atome sur les sociétés, les milieux de vie et les populations, humaines et autres qu'humaines.

C'est pourquoi nous, femmes et hommes scientifiques, médecins, enseignants, ingénieurs, universitaires et chercheurs lançons cet appel à refuser tout nouveau programme nucléaire. A un choix imposé qui engagerait notre avenir sur le très long terme, nous opposons la nécessité d'élaborer démocratiquement et de manière décentralisée, à partir des territoires et des besoins, des propositions de rupture pour des politiques de sobriété, de transition énergétique, et de justice écologique.

Pour signer l'appel :

<https://appel-de-scientifiques-contre-un-nouveau-programme-nucleaire.org>

Sources :

<https://appel-de-scientifiques-contre-un-nouveau-programme-nucleaire.org/sources.html>

Fusion ASN/IRSN

« Belle "fenêtre d'opportunité" pour le foutoir nucléaire »

Extrait d'un article du Canard enchaîné du 9 août 2023

L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPESCT) consacre dans son rapport, quelques lignes magnifiques au foutoir qui s'annonce : « *Puisque est projeté une évolution structurelle, il faut s'attendre à ce que son appropriation par les acteurs fasse l'objet d'une courbe d'apprentissage.* » En clair : au début, personne ne va s'y retrouver, va falloir tout réapprendre (les députés s'abstiennent de préciser qu'une grande majorité des chercheurs de l'IRSN sont vent debout contre ce démantèlement et que ça va compliquer la « *courbe d'apprentissage* »...).

Poursuivons : « *Le risque n'est pas exclu que l'organisation ait d'abord tendance à piétiner, voire à légèrement régresser, avant de s'engager sur la voie du progrès global.* » En clair : ça va être un tel foutoir que ça marchera

moins bien pendant un certain laps de temps. Combien de temps ? « *Cette période transitoire, par nature délicate, ne saurait être concomitante avec la phase opérationnelle des nouveaux programmes attendus, ce qui ouvre, pour une éventuelle réorganisation, une fenêtre d'opportunité relativement étroite, sans doute d'ici fin 2024.* » En clair : si on ne veut pas que ce foutoir ait des conséquences désastreuses sur la sûreté nucléaire, il devra impérativement s'arrêter fin 2024, histoire de commencer les travaux avant l'autorisation officielle. Le désordre annoncé avec régression de la sûreté concomitante dispose donc d'une « *fenêtre d'opportunité* » pour s'en donner à cœur joie, après il faudra se mettre au boulot sérieusement. Très positif, l'OPESCT ! ».

Tribune

Pour un IRSN indépendant

8 septembre 2023

Après l'annonce du gouvernement en février 2023 de la mise en chantier du démantèlement de l'IRSN*, suivie du refus de ce projet par le Parlement courant avril, l'idée refait surface : absorption de l'IRSN par l'ASN** (Autorité de Sûreté Nucléaire), Le 12 juillet 2023 le rapporteur parlementaire, M. Piednoir, précise qu'une loi sera débattue en ce sens à la rentrée, avec pour objectif la création de l'AISNR, Autorité Indépendante de Sûreté Nucléaire et Radioprotection. Les salariés de l'IRSN, des experts du nucléaire, y compris l'ANCCLI et les CLI, de nombreux parlementaires, et les signataires de cet appel représentatifs de la société, sont opposés à ce projet injustifié et dangereux.

Trois anciens présidents de l'OPECST, de trois familles politiques différentes, jugent également sévèrement cette réforme qui intervient à un moment où les organismes impliqués dans la sûreté nucléaire doivent traiter un très

grand nombre de dossiers complexes (EPR2, Cigéo, SMR, etc.). "Est-il sérieux de se lancer dans une modification aussi hasardeuse que profonde des liens entre expertise et décision, au moment même où notre pays a besoin d'avoir confiance dans ce « système », estiment-ils.

Le public et les associations environnementales sont-ils concernés par la disparition de l'IRSN ?

L'IRSN, créé en 2001 à partir de la fusion entre l'OPRI (Office de protection contre les rayonnements ionisants) et l'PSN (Institut de protection et de sûreté nucléaire, au CEA) est le pôle de recherche et d'expertise nucléaire sur lequel l'ASN s'appuie pour accorder les autorisations nécessaires à la mise en œuvre et au fonctionnement du nucléaire civil en France. L'IRSN, structurellement indépendant de l'ASN, a entrepris de travailler suivant les normes scientifiques internationales, avec ouverture à la société civile et pratique de la transparence.

Indépendance, transparence et ouverture sont des qualités modernes que la société civile aimerait voir grandir au sein du monde nucléaire. Avec le projet de démantèlement de l'IRSN, elles risquent fort de disparaître avec l'objectif affiché de cette réforme qui est l'accélération des procédures pour la relance du nucléaire.

Pourtant :

- L'indépendance est la condition pour obtenir une expertise objective, juste et respectée, que ce soit dans le domaine de la sûreté ou dans celui de la radioprotection.
- La transparence est un facteur essentiel et reconnu pour une sûreté maximale.
- L'ouverture à la société devrait permettre d'obtenir sa confiance et aussi sa participation au niveau des expertises. Démanteler une organisation qui a fait ses preuves depuis une vingtaine d'années représente un recul qui compromet « en même temps » la sûreté du nucléaire que les citoyens sont en droit d'attendre et la confiance que le public devrait avoir en elle.

Par ailleurs, l'IRSN est actuellement sous la tutelle partagée de ministères dont celui de la santé, contrairement à l'ASN. Or en ce qui concerne la santé publique, les effets des faibles doses de radioactivité sont reconnus : les études et expertises doivent encore se poursuivre sans tabous ni entraves pour rendre les normes plus protectrices.

Ce que nous proposons :

- L'indépendance institutionnelle de l'IRSN, institut public de recherche et d'expertise.
- Une transparence totale, avec un accès facilité aux documents concernant la sûreté nucléaire et la radioprotection.
- La prise en compte, y compris financière, de l'expertise académique hors du « système nucléaire », et de celle de l'expertise indépendante, y compris celle des associations environnementales
- Une ouverture au public en vue de consolider les expertises, les avis et la communication envers les citoyens.

Ainsi, la sûreté nucléaire et la radioprotection s'en trouveraient grandement améliorées.

L'IRSN ne doit pas être démantelé. La transparence ainsi qu'une ouverture réelle à l'expertise des académies et des organisations environnementales devraient être renforcées pour améliorer la sûreté actuellement douteuse des projets actuels de relance : EPR, piscines, CIGEO, prolongement des vieux réacteurs, fissures...

Les associations signataires :

GSIN (Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nucléaire),
 AMFPGN (Association des Médecins Français pour la Prévention de la Guerre Nucléaire)
 EDA- Lille (Environnement Développement Alternatif)
 ACEVE (Association pour la Cohérence Environnementale en Vienne)
 LVZN, collectif Loire Vienne à Zéro Nucléaire
 SCIENCES CITOYENNES
 TCNA, transparence des canaux de la Narbonnaise.
 ACRO, Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest
 Sortir du Nucléaire Bugey-Ionisos
 Institut Momentum

Les signataires particuliers :

Dr Abraham Behar, MCU PH HON président de l'AMFPGN et ex coprésident de IPPNW ; Michel Brun, président du GSIN ; Bernard Laponche, président de Global Chance ; Yves Cochet, mathématicien, ancien ministre de l'environnement Joël Guerry, membre associatif de la CLI Bugey-Ionisos et expert en énergies -environnement; Guillaume Blavette ; Dr Mariette Gerber, chercheur honoraire INSERM et expert ANSES ; Jean- Jacques Delfour, philosophe ; Dominique Boutin, biogéographe et expert au sein du GPE de l'ASN ; Jean-Marie Brom ; Patrick Maupin, juriste; Jacques Terracher, technicien expert en sûreté-sécurité; Laurent Rarat, ingénieur en traitement des eaux; Maryse Ardit ; Marc DENIS, Dr en Physique atomique et moléculaire ; Michel FEYRIT président du Groupe Aquitain de Recherche en Économie Prospective (GAREP)..

*L'IRSN est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) fonctionnant sous un régime de droit privé via la tutelle conjointe des ministres chargés de la Défense, de l'Environnement, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé. L'IRSN est l'expert français en matière de recherche et d'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques.

**L'ASN devient en 2006 une autorité administrative indépendante française. Elle est rattachée au programme budgétaire « Prévention des risques » du ministère de l'Écologie.

Est-il raisonnable de casser le thermomètre ?

Abraham Béhar MCU PH HON

Président de l'AMFPGN, former co-président of IPPNW
 GSIN, Octobre 2023

La Société française de radioprotection (SFRP) édite une revue scientifique consacrée à la radioprotection depuis 1966. On peut y trouver des articles de haut niveau qui présentent un grand intérêt pour les radioprotectionnistes. On ne peut pas dire que la SFRP soit un sanctuaire d'antinucléaires, le conseil d'administration de la SFRP réunissant tout le panel de l'industrie électro nucléaire CEA, ORANO et EDF en tête mais aussi l'ASN et l'IRSN.

Michel Bourguignon, Docteur en médecine nucléaire, est co-rédacteur en chef de la revue Radioprotection. Dans l'éditorial du dernier numéro « **Pas de renouveau du nucléaire sans une radioprotection forte !** », il évoque le projet de relance du nucléaire et, à mots couverts, celui de la fusion ASN/IRSN où le risque de dégradation de la sûreté est la question centrale. En voici un extrait :

« Et pour tout ce nouveau nucléaire, on ne parle que de sûreté ! Qu'en est-il de la radioprotection ?

Bien sûr la sûreté nucléaire est fondamentale. Il s'agit de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets par des choix appropriés à la conception, lors de la construction et du fonctionnement des réacteurs, lors des arrêts et in fine lors du démantèlement des installations nucléaires. Sans oublier que, chemin faisant, il y aura eu de très nombreux transports de substances radioactives. **Mais peut-on raisonnablement tabler sur de futurs réacteurs sans une radioprotection de grande qualité pour protéger les travailleurs dans les installations et le public dans leurs voisinages ? Est-on en mesure de garantir que les futurs réacteurs resteront sans impact extérieur, que ce soit en fonctionnement normal ou en cas d'accidents ?**

En attendant, il reste à gérer les réacteurs existants jusqu'à leur fin de vie et ensuite leur mise à l'arrêt et leur démantèlement. Cela pose encore et toujours de nombreuses questions de radioprotection d'abord pour les travailleurs mais également pour le public et l'environnement.

Est-il besoin de rappeler que la radioprotection dont l'objectif est de protéger le public, les travailleurs et les patients vis-à-vis des risques d'exposition aux rayonnements ionisants est tout aussi fondamentale que la sûreté ? Radioprotection et sûreté nucléaire sont les deux faces d'une même pièce, et négliger la radioprotection, n'est-ce pas condamner par avance le nucléaire ? »

[[Radioprotection N° 3 - Volume 58](#) – July - September 2023]

LE VRAI CRIME DE L'IRSN : vouloir s'occuper des gens !

Abraham Béhar

Si le gouvernement veut dissoudre l'IRSN, ce n'est pas seulement pour empêcher la recherche dans la sûreté nucléaire, c'est pour la punir d'un crime imprescriptible, celui de se préoccuper des gens.

Voici les six engagements de l'IRSN* qui expliquent l'ampleur de son projet criminel (pour le pouvoir).

- 1 - Accroître la transparence de ses travaux
- 2 - Partager ses connaissances
- 3 - Accompagner les acteurs de la société dans l'acquisition des compétences nécessaires à leur implication et construire avec eux l'évaluation des risques
- 4 - Renforcer la capacité de son personnel à dialoguer avec les acteurs de la société
- 5 - Identifier et mobiliser les ressources nécessaires à l'implication de la société

6 - Assurer le pilotage interne de la stratégie d'ouverture et rendre compte publiquement des progrès accomplis comme des difficultés rencontrées

Ce « Point d'étape et vision d'avenir » publié en 2020, est la cause profonde de la détestation profonde des nucléaristes.

La prévention des risques du nucléaire, l'impact sur la santé publique, quelle horreur !

Si nous, ceux qui ont des réserves majeures sur le nucléaire, nous soutenons l'IRSN, c'est aussi pour cela.

* [2009/2019 – Dix ans d'engagement pour l'ouverture à la société – IRSN](#)



Relance du nucléaire

Ces deux annonces du Conseil de politique nucléaire qui vont susciter de grands débats (Ndf : Sic !...)
Ouest-France, 20/07/2023

Le gouvernement entend accélérer sur le renouveau du nucléaire en France. Mais va devoir répondre aux inquiétudes en faisant le choix d'un site sans accès à la mer pour accueillir de futurs réacteurs nucléaires de nouvelle génération, et en relançant l'absorption de l'IRSN par l'Autorité de sûreté nucléaire.

Cinq mois après un premier Conseil, le président de la République, Emmanuel Macron, a tenu mercredi 19 juillet un nouveau Conseil de politique nucléaire. Objectif, accélérer depuis son discours de Belfort en 2022 lors duquel il avait annoncé quatre axes : la poursuite d'exploitation des réacteurs existants, la construction de 6 nouveaux réacteurs de type EPR2, l'étude de petits réacteurs modulaires et innovants (SMR), et la volonté de disposer d'une filière souveraine sur l'ensemble du cycle du combustible.

Mercredi 19 juillet, de nouvelles décisions ont été prises, dont deux qui ne devraient pas manquer de faire réagir les partenaires sociaux et les organisations environnementales.

La réforme de l'expertise en sûreté nucléaire relancée

Le Conseil a remis sur la table sa volonté de faire fusionner l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, en charge de l'expertise sur la sûreté nucléaire) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN, en charge de la sûreté nucléaire civile). Une idée que le gouvernement avait tenté d'introduire par surprise en février via un amendement dans le projet de loi sur l'accélération du nucléaire. La loi a été promulguée entre-temps, mais cet amendement avait été retoqué par le Parlement en avril, qui s'inquiétait pour l'indépendance de la recherche sur le nucléaire.

Mais le gouvernement s'appuie désormais sur un rapport de l'office parlementaire des choix scientifiques et technologiques (l'OPECST) conduit par des parlementaires LR et Renaissance pour remettre son idée sur la table. Il espère un projet de loi dédié à l'automne, et reprend désormais les concertations avec les parties prenantes et les parlementaires.

L'intersyndicale de l'IRSN ne se dit « pas du tout rassurée » par ce rapport, alors que les complexes enjeux autour du nucléaire nécessitent indépendance et

transparence. Les avis de l'IRSN étaient publiés au fil de l'eau. Au cabinet de la ministre de la Transition énergétique, Agnès Pannier-Runacher, on assure que « **le public aura autant d'informations. Mais il peut y avoir une discussion sur le calendrier d'expertise, il y a une logique de concomitance entre la publication de la décision et la publication de l'avis de l'expertise.** »

Le site du Bugey pour accueillir de futurs EPR2

Autre annonce d'envergure : le choix du troisième site qui accueillera une paire de réacteurs nucléaires de nouvelle génération, les EPR2. Le programme de construction de ces six EPR2 devrait coûter au moins 52 milliards d'euros, alors que l'EPR de Flamanville n'est toujours pas achevé et enchaîne retard et surcoûts. Le site de Penly (Seine-Maritime) était déjà connu. « **Les différents textes d'application de la loi** [sur l'accélération du nucléaire] **sont en cours de déploiement afin de tenir le calendrier prévu pour le lancement des travaux à Penly à l'horizon 2025** », indique l'entourage de l'Élysée. Celui de Gravelines (Nord) était le deuxième.

Le troisième se jouait entre Le Tricastin (Drôme) et Bugey (Ain). Le Conseil de politique nucléaire a finalement décidé de retenir celui de Bugey. « **La localisation de la première phase du programme de construction d'EPR2 est ainsi désormais arrêtée. Les études techniques et les analyses se poursuivront sur le site de Tricastin dans la perspective d'accueillir de futurs réacteurs nucléaires.** »

Ces deux départements se trouvent en région Auvergne Rhône Alpes. Certains élus y voient de fortes perspectives pour l'emploi, quand les élus écologistes qui dirigent la métropole de Lyon s'opposent à ce projet, craignant son impact sur l'eau.

Le site de Bugey serait le premier site nucléaire destiné à accueillir des EPR2 sans être en bord de mer. Or la centrale a récemment été soumise à des restrictions de production en raison de la sécheresse. Ce projet est-il tenable à l'heure du réchauffement climatique ? Le cabinet de la ministre assure qu'un grand travail a été mené par EDF et les autorités de sûreté pour prendre en compte la question de l'approvisionnement en eau face à ces enjeux.

Future loi de programmation énergie climat

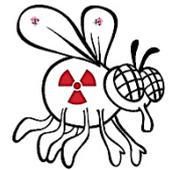
Par ailleurs, la ministre annonce vouloir renforcer « **de plusieurs centaines de personnes** » et « **un renouvellement des installations de recherche de la branche nucléaire civil du Commissariat à l'Énergie Atomique qui jouera un rôle central dans l'animation et le pilotage de la recherche** ». Et des investissements de l'État et de la filière pour « **finaliser la construction du réacteur de recherche Jules Horowitz, afin que la France dispose de cette nouvelle installation opérationnelle à l'horizon 2032-2034. Ce réacteur permettra à la fois d'appuyer la recherche sur la prolongation de la durée de vie du parc existant, sur les EPR2, mais aussi pour les petits réacteurs modulaires (SMR).** »

Tout cela se déroule alors que se préparent par ailleurs la programmation pluriannuelle de l'énergie et la future loi de

programmation énergie climat, pour laquelle « **sept groupes de travail ont fait une première salve de recommandations le 4 juillet** », selon Agnès Pannier-Runacher [[Ouest-France](#)].

Commentaire GSIEN : les sites de Penly, Gravelines et Bugey ont été retenus pour les six premiers EPR 2 et celui de Tricastin tient semble-t-il la corde pour l'implantation de deux autres réacteurs. Mais nous ne savons pas quelle mouche a bien pu piquer le Président de la République lorsqu'il « *a envisagé (...) l'installation de réacteurs nucléaires EPR sur le bassin de Marseille-Fos, appelant à "se poser cette question sans tabou", face aux besoins supplémentaires en énergie du port marseillais pour ses projets en cours, équivalents à quatre à cinq gigawatts* » selon Monaco-Matin. Cette idée n'a pas eu l'air d'enthousiasmer tant que ça le maire actuel de Marseille : « *Il suffit de regarder une carte pour comprendre qu'ici il n'y aura pas la possibilité de construire un EPR. On est en zone submersible, en zone sismique, s'il y a un endroit en France où on ne pourra pas faire un EPR, c'est à Marseille* » [[Monaco-Matin, 28/06/23](#)].

Drosophila Lutetia



Insecte s'étant installé à demeure dans le quartier de l'Élysée

Henri Proglio, l'ancien patron d'EDF (2009/2014), a présenté un exposé sur « *L'avenir de la filière nucléaire française* » en mars 2023 lors d'un colloque organisé par la fondation Res Publica. Nous vous passerons le laïus de ce disciple de l'atome, partisan de la prolongation des réacteurs jusqu'à 60 ans et farouche opposant aux énergies éolienne et solaire. Il étrille au passage l'économie de marché, une politique qui a conduit à la surchauffe planétaire : « *La doctrine européenne repose sur un dieu, un veau d'or : la concurrence, le bonheur des peuples par la concurrence. "La liberté par le travail", proclamait-on en des temps tragiques, aujourd'hui, c'est le bonheur par la concurrence ... tant il est évident que le monopole fait le malheur des populations !* ».

Son avis sur la relance du nucléaire est des plus nuancé : « *Nous pouvons gagner vingt ans en étendant la durée de vie du parc. Nous ne voulons pas construire de nouveaux EPR avant d'en avoir besoin. D'abord j'aimerais que l'EPR 2 soit validé. Nous avons eu tous les malheurs de la terre avec l'EPR. L'EPR 2 finira-t-il par tirer les conséquences de tout ce qui a été mal fait sur l'EPR ?* »

Mais comment concevoir la France isolée dans le monde aujourd'hui ? J'éprouve une certaine angoisse au seul exposé de ce sujet. Je ne sais pas comment nous allons y arriver. Certes on peut claironner : Nous allons construire 8, 12, 24 ... 36 centrales ! Ceux qui s'en prévalent ne seront plus en poste quand on coulera le premier béton. Ils peignent les murs en rose ! Le sujet n'est pas là. Le sujet c'est d'avoir des gens qui assument la durée, qui assument des plans dans cette industrie de cycle très long. Ce sont des investissements très lourds » [[Proglio, 29/03/23](#)]. Sans commentaire GSIEN...

Mais comment sera financée la construction de six nouveaux réacteurs ?

Nucléaire : le casse-tête du financement ne sera pas résolu avant fin 2024

La Tribune, 13/07/2023

Qui de l'État, du consommateur ou d'EDF assumera les frais de la construction des six réacteurs EPR voulus par le gouvernement, évalué à 51,7 milliards d'euros hors coût de financement ? Interrogé mercredi soir par les députés, le ministre de l'Économie, Bruno Le Maire, a assuré que cette question épineuse sera résolue « d'ici à fin 2024 ». Pour y répondre, trois critères essentiels devront être remplis, a-t-il rappelé : un coût du capital faible, c'est-à-dire la rémunération versée à ceux qui prêtent l'argent, l'acceptabilité par les contribuables et les consommateurs, mais aussi l'aval de la Commission européenne, généralement opposée aux aides d'État. Un numéro d'équilibriste.

Comment financer la construction des six nouveaux réacteurs nucléaires de 3ème génération (EPR) souhaités par le gouvernement, au moment-même où la dette d'EDF culmine à plus de 60 milliards d'euros et que l'exécutif entend équilibrer les finances publiques, le tout en passant sous les fourches caudines de Bruxelles, opposée à trop d'aides étatiques ? Pour résoudre cette équation épineuse, la Commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale a passé sur le gril le ministre de l'Économie, Bruno Le Maire, et son homologue à la Transition énergétique, Agnès Pannier-Runacher, ce mercredi soir.

Résultat : « Rien n'est arrêté » aujourd'hui, mais le « schéma de régulation et de financement devra être précisé d'ici à fin 2024, pour que l'entreprise [EDF, ndlr] puisse prendre formellement sa décision d'investissement », a précisé Bruno Le Maire face à des députés friands de réponses. Mobilisation du livret A, prêts à taux zéro, recours à la dette de l'État et à celle des acteurs privés, ou encore appel aux fonds propres d'EDF, malgré ses difficultés financières : « Nous n'excluons aucune option », a-t-il assuré.

Au global, il s'agit de trouver au moins 51,7 milliards d'euros d'ici à 2042, soit le montant nécessaire pour ériger 6 EPR hors coûts de financement, avec une première mise en service à l'horizon 2035, selon un rapport gouvernemental publié l'an dernier. Soit 43,1 milliards d'euros de coûts directs, et 8,6 milliards de provisions pour risques sur le démantèlement et la gestion des déchets.

L'option du livret A n'est pas écartée

« Nous devons regarder les avantages de chaque option », a ainsi précisé le ministre mercredi. Lequel n'a pas écarté le recours à l'épargne populaire, via le Livret A, dont 60%

revient à la Caisse des Dépôts. De fait, l'institution financière publique est connue pour ses financements de long terme (de 30 à 80 ans), notamment dans le logement social et les infrastructures, comme les réseaux énergétiques. « Sur le Livret A, l'encours total est de 450 milliards d'euros, dont 160 utilisés pour logement social. Il reste de la marge de manœuvre ! L'avantage, c'est qu'il présente un taux stable, avec un capital garanti et un investissement de très long terme », a clarifié Bruno Le Maire. En effet, la Caisse des dépôts peut prêter de l'argent sur une très longue période à un taux bien plus faible que sur les marchés financiers.

Deuxième possibilité : les subventions étatiques. Leur atout : pas de rémunération du capital, et par là même pas de remboursement, ce qui en fait l'option « la moins chère », a souligné le ministre. Mais aussi « la plus coûteuse pour le contribuable », avec un impact « direct sur le déficit et la dette ». Or, il faut trouver une solution « acceptable » pour les citoyens français, qui soit par ailleurs conforme au régime européen sur les aides d'État, a-t-il averti.

De l'importance du coût du capital

Le tout, en intégrant donc un autre critère « essentiel » : le fameux « coût du capital ». Et pour cause, le prix final de l'électricité reste extrêmement sensible à ce paramètre, qui constitue la rémunération versée à ceux qui prêtent l'argent. Par exemple, avec un taux d'intérêt de 2%, le mégawattheure (MWh) sortirait à 40 euros. A 8%, le prix grimperait à plus de 90 euros le mégawattheure. A 11%, il dépasserait la barre des 120 euros le mégawattheure, précise EDF dans son dossier de maître d'ouvrage produit dans le cadre du débat public en cours sur la relance du nucléaire.

« Aujourd'hui, l'État emprunte à raison de 3% pour des emprunts à 10 ans. Plus vous prenez la décision d'investissement tôt, moins le coût du capital est élevé. [...] Mais si vous avez recours à de la dette privée, le taux de rémunération grimpe, de 5 à 7% par an. Enfin, si l'on s'appuie sur les fonds propres EDF, on parle de 7 à 10% par an ! », a expliqué Bruno Le Maire.

« Selon l'AMF [autorité des marchés financiers, ndlr], les coûts de financement peuvent représenter plus de 50% des coûts d'un projet ! », a complété Agnès Pannier-Runacher. « C'est pour ça que les Etats interviennent : il s'agit de diminuer [ces] coûts », afin de « trouver des acteurs privés » prêts à assumer la prise de risque, a-t-elle justifié. (...) » [La Tribune].

Coûts des nouveaux réacteurs

Il va donc falloir officiellement près de 52 milliards d'euros pour six réacteurs, sans compter le coût de financement et aussi les inévitables dérapages financiers auxquels le nucléaire nous a habitué. Rappelons la facture extravagante de l'EPR de Flamanville 3, de l'ordre de 21,6 milliards

d'euros (avec les frais de financement) selon nos estimations d'avril 2022 [Gazette n° 296] pour 3 milliards de devis initial en 2007. Mais le planning de mise en service a de nouveau glissé de plusieurs mois (Cf. page suivante), avec une ardoise supplémentaire de 500 M€ selon EDF.

La facture des deux EPR d'Hinkley Point explose elle aussi : « Le géant énergétique EDF pourrait devoir augmenter sa "contribution" dans son projet de réacteurs nucléaires EPR au Royaume-Uni Hinkley Point en raison de l'inflation, a indiqué mercredi le groupe à l'AFP. EDF pourrait avoir à supporter une augmentation des coûts du projet, poussés par l'inflation, faute de participation de son partenaire chinois et actionnaire CGN à des coûts supplémentaires. "Sur la base des indices d'inflation au 30 juin 2022, le coût à terminaison nominal estimé pourrait atteindre 32,7 milliards de livres [38,3 Md€], le coût réel du projet restant inchangé à 25-26 milliards" en livres sterling de 2015, a précisé le groupe », « contre 18 milliards en 2016, au début du chantier » [[Capital, 22/02/23](#)].

Nouvel exemple de dérapage incontrôlé avec le réacteur de Vogtle 3 (1150 MWe) qui a réalisé sa première divergence cet été. C'est le premier réacteur construit depuis 30 ans aux États-Unis et, comme le fait remarquer Révolution Énergétique, cela « n'aura pas été un long fleuve tranquille. Le projet a multiplié les retards et dépassements de budget, puisque la mise en service de ce premier réacteur aurait dû avoir lieu en 2016. Côté financier, le coût total avait été estimé à 14 milliards de dollars pour la construction des deux réacteurs. Mais selon la Municipal Electric Authority of Georgia, l'investissement dépasserait désormais les 30 milliards de dollars » [[Révolution Énergétique, 3/08/23](#)].

Quant au réacteur de Vogtle 4, il est en cours de chargement de son combustible et la « mise en service est prévue pour la fin de cette année ou le début de 2024 » selon World nuclear news [[WNN, 18/08/23](#)]. Ce sera le dernier réacteur de puissance construit aux États-Unis, le pays misant désormais sur des réacteurs de plus faible puissance (<300 MW), les SMR (Small modular reactor).

« Des problèmes similaires avec des coûts gonflés et des calendriers de lancement décalés ont condamné l'autre grand projet nucléaire lancé aux États-Unis au cours de ce siècle. L'agrandissement de deux unités de la centrale nucléaire Virgil C. Summer en Caroline du Sud a été abandonné en 2017, quatre ans après le début de la construction. Les réacteurs devaient initialement être mis en service en 2017 et 2018, respectivement. Leur coût initial de 11,5 milliards de dollars était passé à environ 25,7 milliards de dollars au moment de la clôture du projet » [News-24, 9/06/21, Archive GSIEN].

« Jules Horowitz, cet autre réacteur français qui multiplie les dérapages ...et coûte très cher », selon La Tribune : « L'EPR de Flamanville en Normandie n'est pas le

seul chantier nucléaire français à multiplier les dérapages de calendrier. Sur le site de Cadarache, au nord-est d'Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône), le chantier de construction du réacteur de recherche Jules Horowitz, beaucoup moins médiatique, patine lui aussi. Après les premiers coups de pelleuse en 2007, ce réacteur, piloté par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), à la tête d'un consortium international, devait initialement voir le jour en 2014. Le calendrier avait ensuite rapidement glissé pour une mise en service attendue en 2021. La France vise désormais une installation opérationnelle à l'horizon 2032-2034 ». On peut admirer la vaporeuse estimation de la date de mise en service du réacteur.

La Tribune donne des précisions sur l'explosion des coûts de construction : « initialement, le coût global du projet avait été estimé à un peu plus de 500 millions d'euros, avant d'être réévalué à 1,7 milliard d'euros, soit déjà un triplement du devis initial. Le réacteur Jules Horowitz (ou RJH dans le jargon) « a fait l'objet d'une reprise en main par le CEA en 2019 pour faire le bilan des travaux engagés et le bilan du reste à faire (...) un gros travail d'audit a été mené », explique encore le cabinet de la ministre. (...)

« Comment expliquer un tel dérapage ? La raison tient principalement aux multiples fonctionnalités attendues de l'installation, à son côté « couteau suisse », comme l'a qualifié Bernard Doroszczuk, le président de l'ASN lors de son audition par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), le 25 mai dernier.

« C'est un réacteur qui est d'une certaine manière complexe car très ambitieux dans ses fonctionnalités. Le fait de faire un réacteur unique à plusieurs fins a complexifié de manière redoutable sa conception et, donc aujourd'hui, sa réalisation. S'il y avait un retour d'expérience à tirer de ce réacteur qui répond à des besoins indiscutables, c'est : attention à la complexité liée au fait de vouloir avoir une ambition enveloppe en ce qui concerne les finalités des outils », a-t-il estimé, sans toutefois remettre en cause son utilité.

Dans le détail, contrairement à un réacteur de production, ce réacteur de 100 mégawatts de puissance n'est pas destiné à produire des électrons mais à fournir des données scientifiques sur le comportement des matériaux et des combustibles nucléaires. Le réacteur Jules Horowitz, dont le nom rend hommage au physicien éponyme qui a dirigé la recherche fondamentale du CEA de 1970 à 1986, a été pensé pour succéder au réacteur de recherche Osiris, définitivement arrêté en 2015 » [[La Tribune, 21/07/23](#)]. Le quoi qu'il en coûte a encore de l'avenir...

Énième report de la mise en service de l'EPR de Flamanville 3

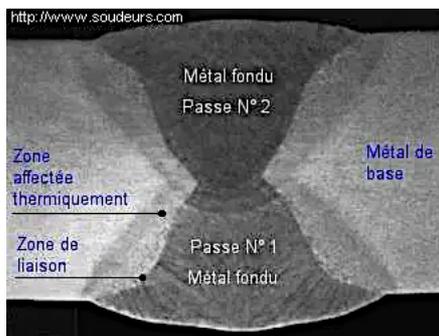
En juin 2022, EDF avait encore espoir de coupler le réacteur sur le réseau électrique « au deuxième semestre 2023 » [[Sud-Ouest, 13/06/22](#)]. Six mois plus tard, « EDF ajuste le calendrier du projet de Flamanville 3 : le chargement en combustible nucléaire du réacteur est désormais planifié au 1er trimestre 2024 » [[EDF, 16/12/22](#)].

Les raisons de ce retard supplémentaire ? Dans un de ces Avis, l'IRSN mentionne un « écart, déclaré par EDF en septembre 2019, relatif au non-respect des plages de températures spécifiques lors de traitements thermiques de détensionnement (TTD) de soudures d'équipements sous

pression nucléaires réalisés par un dispositif de chauffage local composé de mouffes équipés de résistances électriques ».

A quoi sert un traitement thermique de détensionnement après soudage ? Le soudage génère des contraintes dans

le métal des deux pièces assemblées. Le TTD, quand il est correctement réalisé, permet de réduire le niveau des contraintes résiduelles de soudage et d'ajuster les propriétés mécaniques dans le métal fondu et la **zone affectée thermiquement** (Voir illustration ci-contre). On obtient alors un bon compromis entre résistance mécanique et ténacité. Or, sur certaines soudures, le non-respect des températures de TTD a engendré des contraintes résiduelles supplémentaires plutôt que de relaxer celles induites par le soudage. Des mesures réalisées sur maquettes par Framatome ont révélé que les températures du TTD n'étaient pas toujours homogènes et qu'elles pouvaient être soit supérieures (sur-TTD) soit inférieures (sous-TTD) au requis.



« Les équipements concernés sont :

- pour le parc en exploitation, les joints soudés de certains générateurs de vapeur (GV) et des soudures de raccordement des circuits ARE [Alimentation en eau des GV] et VVP [Tuyauterie de vapeur principale] aux tubulures des GV ;
- pour l'EPR de Flamanville 3 (EPR FA3), certains joints soudés des GV et du pressuriseur, ainsi que des soudures des tuyauteries du circuit secondaire principal (CSP) » [IRSN, 14/06/23].

A noter, que l'imprévu phénomène de fissuration de Corrosion sous contrainte (CSC) de tuyauterie en acier inoxydable sur le parc de réacteurs français en fonctionnement s'est développé dans la zone affectée thermiquement par le soudage de ces tuyauteries [Cf. [Gazette n° 296](#)].

Sur l'EPR de Flamanville, un sous-TTD a été mis en évidence sur près de 200 soudures et un sur-TTD sur une cinquantaine d'autres. Selon l'IRSN, « la présence d'un phénomène de Vieillissement sous déformation (VSD) significatif après TTD du matériau d'apport pour la réalisation de ces soudures a été constatée. Ceci peut conduire à des modifications des propriétés mécaniques des soudures des tuyauteries ARE, notamment à un décalage de la température de transition fragile-ductile en cas de "sous-TTD" ».

Lors du « programme expérimental de caractérisation, EDF a mesuré un décalage maximal de 46°C de la courbe de transition ».

« EDF constate que le VSD est un phénomène réversible et qu'il pourrait être réduit par une reprise de TTD, y compris

après un laps de temps important depuis la réalisation des soudures. Ce résultat a été constaté sur les quatre soudures déposées de tuyauteries VVP et considérées comme représentatives des soudures des tuyauteries ARE. Dans le cas des soudures des tuyauteries ARE identifiées en "sous-TTD", une reprise de TTD peut être envisagée compte tenu de son effet favorable, ce dont convient l'IRSN.

À l'issue de son analyse, l'IRSN considère que le décalage de 46°C retenu dans les hypothèses des analyses de mécanique est conservatif, les incertitudes liées à la mise en œuvre du procédé de soudage industriel et au nombre limité de résultats du programme d'essai n'étant pas susceptibles de remettre en cause cette valeur. En outre, l'IRSN considère que l'ensemble des résultats acquis par EDF permet de démontrer l'efficacité d'un nouveau TTD afin d'atténuer voire de supprimer l'effet du VSD, pour les soudures des tuyauteries ARE en "sous-TTD" » [IRSN, 7/07/22].

Le report du démarrage de Flamanville 3 s'explique principalement par le nombre important de soudures où le traitement thermique de détensionnement doit être refait afin de tenter de réduire le vieillissement sous déformation significatif constaté...

En octobre 2023, le réacteur est dans la phase des essais avant démarrage. La première divergence est prévue à l'été 2024.



Contribution de Global Chance à la consultation relative à la mise en service du réacteur EPR de Flamanville (INB 167)

Août 2023

Mise à participation du public pour le projet de mise en service du réacteur EPR de Flamanville (INB 167) [ASN]

L'association Global Chance considère qu'en l'état actuel du dossier présenté sur le site de l'ASN et compte tenu des multiples problèmes, non résolus à ce jour, rencontrés lors de la construction de l'EPR, l'ASN ne doit pas accorder l'autorisation de mise en service du réacteur EPR de

Flamanville sollicitée par EDF. Voici les raisons de cette position.

1. Les documents mis à disposition sur le site de l'ASN sont très volumineux (13 000 pages) mais sont globalement non

pertinents pour permettre au public de formuler un avis raisonné. Les documents "grand public" n'ont aucun contenu technique sérieux. Les documents "techniques" sont pour beaucoup d'entre eux incompréhensibles en raison notamment de l'occultation récurrente de données : chiffres, phrases entières, tableaux, figures sont "effacés" sous prétexte que la divulgation de ces données porterait atteinte aux secrets protégés. Il eut été raisonnable d'adapter le contenu et la présentation des documents pour les rendre compréhensibles en dépit de l'occultation récurrente de certaines données. Les informations contenues dans les "Documents à consulter" sont anciennes, voire très anciennes. Il n'est pas fait mention, par exemple, des résultats de la "grande visite" conduite par l'ASN au printemps 2023. Le public attend des réponses aux problèmes dont il a eu connaissance au cours de la construction du réacteur.

2. La construction de l'EPR de Flamanville a fait face à de très nombreux problèmes qui ont entraîné un retard considérable de la mise en service (17 ans au lieu de 5 prévus, si la mise en service s'avère possible en 2024) et une augmentation du coût vertigineuse (multiplication par 6 du coût initial de 3,3 milliards d'euros). Les "Documents à consulter" n'informent ni sur les nombreux problèmes rencontrés, les demandes et les réactions des autorités au cours du chantier (IRSN, ASN, Cour des Comptes, etc.), ni sur les solutions qu'EDF a mis en œuvre pour le "traitement des écarts". Les réponses lénifiantes aux questions de l'Autorité environnementale ("Mémoire de réponse d'EDF à l'Avis de l'Autorité environnementale"), sont loin de répondre aux attentes du public. Soulignons que l'Avis de l'Autorité environnementale ne figure pas dans la liste des "Documents à consulter".

3. Les questions liées à la cuve sont les premières qu'il convient d'évoquer parmi les nombreuses malfaçons constatées au cours de la construction du réacteur. L'ASN a donné son accord pour l'utilisation de la cuve en l'état mais a prescrit le changement du couvercle de cuve en 2024. La mise en service du réacteur ayant été retardée jusqu'en 2024 au mieux, le nouveau couvercle sera alors disponible et devrait donc être installé avant la première divergence du réacteur, comme Global Chance l'a proposé lors de la consultation "Mise en service et utilisation de la cuve du réacteur EPR" (du 13 au 20/04/2023). Mettre en service le réacteur en utilisant le couvercle de remplacement permettrait de recycler facilement l'ancien couvercle, non irradié, et d'éviter les risques d'exposition aux rayonnements des travailleurs. Outre la poursuite d'une situation risquée l'argument économique ne tient pas car il sera plus long et plus cher de remplacer un couvercle irradié.

4. Divulguée par l'ASN le 21 octobre 2021, la détection de fissures sur les circuits d'injection de sécurité et de refroidissement à l'arrêt de plusieurs réacteurs en service a entraîné la mise à l'arrêt de ces réacteurs. Les fissures seraient dues à un phénomène de "corrosion sous contrainte", terme générique qui englobe nombre de facteurs : caractéristiques et sollicitations du matériau, nature du fluide, géométrie, etc., comme Global Chance l'a

montré ("Fissures dans des circuits de sauvegarde de réacteurs du parc nucléaire d'EDF - Une analyse historique" - mai 2022). A ce jour aucune explication, donc aucune parade certaine, n'est proposée pour éviter l'apparition de fissures dans les circuits concernés. Il n'est pas raisonnable de mettre en service le réacteur EPR de Flamanville avant d'avoir éclairci cette question.

5. L'EPR de Flamanville est censé bénéficier de l'expérience de trois réacteurs EPR mis en service au cours des cinq dernières années (première divergence de Taishan 1 en 2018, de Taishan 2 en 2019, d'Olkiluoto 3 en 2021). Le retour d'expérience (REX) relatif à ces trois réacteurs est commenté en une page et demie dans le "Mémoire de réponse d'EDF à l'Avis de l'Autorité environnementale" cité, sans le moindre approfondissement des problèmes rencontrés et sans qu'un début de solution appliquée à l'EPR de Flamanville ait été proposée. De plus, le problème majeur qui affecte Taishan 1, à l'arrêt depuis janvier 2023, très vraisemblablement l'oxydation et la desquamation des gaines de crayons combustible (type M5), n'est pas évoqué alors qu'a priori les mêmes crayons constituent le cœur de l'EPR de Flamanville. Le risque est grand de devoir arrêter l'EPR de Flamanville si la nature de la gaine n'est pas modifiée.

6. Les vibrations hydrauliques constatées sur le réacteur Taishan 1 ont pour conséquence l'inétanchéité des gaines de certains éléments combustibles, problème évoqué dans le "Mémoire de réponse d'EDF à l'Avis de l'Autorité environnementale" mais sans présentation de solution convaincante. Cela se traduit par une évolution inquiétante des paramètres radiochimiques. L'arrêt prolongé de Taishan 1 depuis janvier 2023 a peut-être aussi à voir avec la dégradation de la gaine par usure mécanique due à la rupture des ressorts de maintien. Ne pas explorer et mettre au clair cette anomalie expose l'EPR de Flamanville à un arrêt prolongé à courte échéance après sa mise en service.

7. Une erreur de conception du fond de cuve de l'EPR est à l'origine des vibrations hydrauliques. Au-delà de l'usure mécanique des gaines notée ci-dessus, ces vibrations entraînent un phénomène localisé de frottement d'éléments combustibles sur l'enveloppe métallique entourant le cœur et des fluctuations neutroniques qui induisent des contraintes dans le mode de pilotage du réacteur. La conjonction des deux systèmes de pilotage, interne au cœur et extérieur à la cuve, s'avère difficile. L'exploitation normale du réacteur est alors très délicate en raison de l'abaissement des seuils de protection et de surveillance du cœur (arrêts fréquents, nécessité de baisser la puissance de fonctionnement, etc.). Une solution destinée à améliorer l'écoulement hydraulique en entrée du cœur est en cours de développement. La mise en place de l'équipement envisagé après une première période d'exploitation de l'installation, alors irradiée, s'avèrera très difficile, voire impossible. Le risque de devoir arrêter définitivement l'exploitation du réacteur bien avant sa durée de vie nominale (60 ans) est élevé. La mise en place du nouveau dispositif avant la divergence du réacteur serait un gage de longévité de l'EPR de Flamanville.

**Contribution à la consultation relative sur l'EPR de Flamanville
NON A LA MISE EN SERVICE
Patrick MAUPIN [GSIEN], Membre du directoire Energie FNE, 10/09/2023**

Après examen attentif des documents mis en ligne par l'ASN et compte tenu des nombreux problèmes de construction du réacteur sans solution à ce jour, l'ASN ne doit pas donner un avis favorable à la mise en service de l'EPR. Cet avis est basé sur les arguments suivants :

1 - Sur la forme et sur le fond

Le site de l'ASN annonce « Le projet étant soumis à évaluation environnementale, l'avis de l'Autorité environnementale, le mémoire d'EDF en réponse à cet avis et les avis des collectivités territoriales concernées par le projet sont également consultables sur le site Internet de l'ASN. »

Pour autant, si le mémoire d'EDF en réponse à l'avis de l'Autorité environnementale est bien en ligne, celui de l'Autorité environnementale n'est pas présent ce qui oblige les participants à la contribution d'aller sur le site de l'AE pour y trouver cet avis générant ainsi une démarche supplémentaire peu propice à la facilitation de la participation du public.

Par ailleurs, le volume des documents mis en consultation (plus de 13000 pages) n'ouvre pas au public l'accès à des informations pertinentes lui permettant de donner un avis argumenté du fait de l'occultation de très nombreuses données (chiffres, tableaux, figures, etc..) sans doute au motif de la protection de la sécurité publique ou du secret des affaires.

Dès lors la régularité du contenu du dossier de consultation doit être interrogée au regard des dispositions relatives au droit à participation du public tel que fixé par l'article L.120-1 du code de l'environnement qui précise :

II. - La participation confère le droit pour le public :

1° D'accéder aux informations pertinentes permettant sa participation effective ;

2 - Sur le fond

1° Les documents mis en consultation comportent un certain nombre d'insuffisances qui ne permettent pas au public d'avoir une vue exhaustive ni sur les problèmes rencontrés dans la construction de l'EPR ni sur la façon dont l'exploitant a pu ou non mettre en œuvre des solutions pour traiter les écarts de conformités.

2° Une incertitude demeure sur le couvercle de cuve souffrant de plusieurs malfaçons et dont l'ASN avait prescrit le changement avant décembre 2024.

La mise en service du réacteur ayant été repoussée en 2024, l'ASN par décision n° 2023-DC-0760 du 16 mai 2023 a autorisé le changement du couvercle après la mise en

service du réacteur ce qui devrait conduire à un supplément de dose collective estimé à 200 H.mSv, et à ce que le couvercle actuel devienne un déchet radioactif.

(...)

4° Les avis de l'IRSN rendus conformément à la saisine de l'ASN notamment les avis 2022-00154 du 21 juillet 2022, 2023-00108 du 3 juillet 2023 et 2023-00112 du 17 juillet 2023 comportent de nombreuses réserves sur l'impact du REX des essais physiques des premiers EPR sur la démonstration de sûreté.

(...)

Pour les soupapes de sûreté du pressuriseur qui ont fait l'objet de plusieurs avis en 2016, 2018 et 2022, l'IRSN soulève dans son avis 2023-00108 du 3 juillet 2023 de nouvelles exigences au regard de l'événement survenu sur un autre réacteur EPR, en l'occurrence celui d'Olkiluoto bien que non cité dans l'avis, ayant mis en évidence la présence de dépôts de bore dans les internes des pilotes électriques.

Ainsi alors qu'EDF s'était engagé à effectuer une inspection des pilotes mécaniques des soupapes de sûreté lors du 2e arrêt pour rechargement du réacteur, l'IRSN presse EDF « d'anticiper cette inspection au premier arrêt pour rechargement et l'étendre à l'ensemble des composants de la soupape pilotée afin notamment de s'assurer de l'absence de dépôt de bore ».

En conclusion de cet avis et même si « EDF a apporté des éléments étayés et pertinents afin de mieux caractériser les effets thermiques sur la variation de la pression d'ouverture d'une soupape de sûreté du pressuriseur » l'IRSN estime que « ces éléments devront être corroborés par des essais à fuite calibrées qu'EDF s'est engagé à réaliser en 2025. »

Dès lors, et au final, alors même que l'IRSN reconnaît que :

- le report de la date de changement de couvercle après la mise en service du réacteur va conduire à un supplément de dose collective estimé à 200 H.mSv,

- certains écarts sont la conséquence d'« une anomalie de conception du plenum inférieur des cuves des réacteurs de type EPR »,

- la preuve de la fiabilité de certains éléments ne pourra être apportée que par des essais « qu'EDF s'est engagé à réaliser en 2025. » soit là aussi après la mise en service du réacteur,

on ne peut au regard des enjeux de sûreté que représente l'EPR de Flamanville et du retour d'expérience des difficultés qui affectent les EPR déjà installés que donner un avis défavorable à la mise en service de cet EPR.

L'EPR de Taishan 1 : un réacteur intermittent

Mis en service en juin 2018, ce réacteur a été arrêté pendant plus d'une année (Juillet 2021 - Août 2022) suite à de sérieuses ruptures de gaines du combustible. Elles ont eu pour cause des vibrations excessives d'assemblages combustible liées à un défaut de conception de l'hydraulique de la cuve EPR [Cf. [Gazette n° 296](#)]. L'historique de production des réacteurs de Taishan révèle les faiblesses de la filière EPR. L'année qui suit le démarrage des réacteurs est excellente en terme de production mais cela se dégrade les années suivantes. En 2022, le réacteur de Taishan 1 affiche un facteur de disponibilité de seulement 28,3%...

Historique d'exploitation des réacteurs EPR de Taishan (2018-2022)									
Réacteurs	Taishan 1					Taishan 2			
Années	2018	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Energie produite (TWh)	3,06	11,95	9,17	7,62	4,11	5,36	12,45	10,87	8,30
Facteur d'exploitation (%)	100	89,4	72,6	56,3	37,9	100	98,7	80,9	64,5
Facteur de disponibilité (%)	84,5	90,8	70,5	55,1	28,3	100	96,8	77,7	57,1
Facteur de charge (%)	83,5	82,2	62,9	52,4	28,3	92,3	85,4	74,8	57,1

Première connexion sur le réseau :

- Taishan 1 le 29 juin 2018
- Taishan 2 le 23 juin 2019

Source, [PRIS.iaea.org](https://www.iaea.org/pris)

Au début de l'été, Le Canard enchaîné révèle que Taishan 1 est à l'arrêt depuis le 1^{er} février 2023... En cause, l'oxydation accélérée et imprévue des gaines du combustible causant leur desquamation. Selon le palmipède, l'oxydation serait causée par un « mauvais dosage en fer » [Le Canard enchaîné, 5/07/23] de l'alliage de zirconium des gaines.

Retour sur les problèmes survenus à Taishan avec l'IRSN (Avis n° 2023-00010) : « La mise en service puis l'exploitation des premiers réacteurs de type EPR a été marquée par des anomalies relatives au combustible. Au cours du deuxième cycle d'irradiation du premier réacteur EPR mis en service, l'augmentation anormale de l'activité en gaz rares du circuit primaire a contraint l'exploitant à procéder à l'arrêt du réacteur fin juillet 2021. Les inspections des assemblages de combustible lors des opérations de déchargement ont mis en évidence un nombre important d'assemblages concernés par des pertes d'étanchéité de crayons ainsi que la présence de plusieurs morceaux de ressorts de grilles d'assemblages de combustible dans la cuve. De plus, ces inspections ont révélé une usure prononcée des plaquettes de certaines grilles sur un nombre limité d'assemblages de combustible en périphérie du cœur, une usure des bouchons inférieurs des crayons de combustible et un phénomène de corrosion accélérée et de desquamation¹ de l'oxyde en surface externe des gaines en alliage M5 (de conception Framatome) des crayons au niveau de la partie supérieure des assemblages. S'appuyant sur les résultats des examens réalisés sur le combustible par l'exploitant, EDF a transmis à l'ASN un dossier portant sur l'analyse de ce REX et sur les enseignements tirés pour la mise en service de l'EPR FA3 et les cycles d'irradiation ultérieurs.

(...)
Concernant l'usure anormale des plaquettes de grilles de certains assemblages de combustible, EDF a fourni des éléments qui montrent qu'elle résulte de frottements induits par les oscillations d'assemblages contre le réflecteur lourd entourant le cœur. Ces oscillations résultent de fluctuations de débit en entrée du cœur, qui sont la conséquence d'une **anomalie de conception du plenum inférieur des cuves des réacteurs EPR**. Les analyses menées par EDF laissent également penser que la diminution de la raideur latérale des assemblages et la déformation latérale des assemblages au cours de l'irradiation ont un impact significatif sur l'ampleur des usures des plaquettes de grilles.

(...)
Les examens réalisés sur le combustible par l'exploitant des premiers réacteurs EPR en service ont montré que tous les assemblages concernés par des pertes d'étanchéité des

crayons étaient situés au niveau de la couronne périphérique du cœur, en contact avec le réflecteur lourd. Sur la base de ces examens et des données issues du REX d'exploitation des réacteurs du parc nucléaire français, EDF a conclu que les pertes d'étanchéité sont dues à une usure par vibration des crayons de combustible au niveau des ressorts de grille rompus par un phénomène de corrosion sous contrainte (CSC). De plus, EDF a pu corréliser ce phénomène au faible niveau de fluence neutronique au niveau des grilles inférieures des assemblages positionnés en périphérie du cœur, qui ne suffit pas à relaxer efficacement les contraintes dans les ressorts de grilles. Par ailleurs, l'IRSN convient avec EDF que les sollicitations hydrauliques en partie basse des assemblages favorisent la perte d'étanchéité des crayons.

(...)

En outre, les inspections télévisuelles sur les assemblages de combustible ont mis en évidence une usure des bouchons inférieurs des crayons. Elle se produit lorsque le contact entre les bouchons inférieurs des crayons et l'embout inférieur de l'assemblage est établi. Sur la base des investigations menées, EDF a conclu que l'ampleur de l'usure des bouchons des crayons dépend fortement de la dégradation du maintien des crayons dans la double grille d'extrémité inférieure de l'assemblage, résultant de la rupture des ressorts de grilles par la CSC, et de la nature du contact entre les bouchons et l'embout inférieur des assemblages. Au vu de l'ampleur limitée de l'usure des bouchons des crayons et des éléments de justification présentés, EDF considère négligeable le risque de perte d'étanchéité des crayons induite par cette usure.

(...)

Enfin, le phénomène de corrosion accélérée et de desquamation des gaines des crayons en alliage M5, observé récemment sur certains réacteurs des différents paliers du parc nucléaire français, a également été constaté en partie haute des assemblages à l'issue du deuxième cycle des premiers réacteurs EPR en service. EDF attribue ce phénomène à la fabrication des gaines incriminées (leur faible teneur en fer) et à l'occurrence d'un régime d'ébullition nucléée² favorisant l'apparition d'un milieu oxydant en partie haute des assemblages. L'IRSN souligne qu'EDF poursuit actuellement les investigations afin de mieux appréhender les causes de ce phénomène. Ces éléments de compréhension, dont certains ne sont pas disponibles à ce jour, feront l'objet d'une expertise de l'IRSN dans un cadre dédié »

Notes

1 - La desquamation correspond à la perte localisée d'une partie de la couche d'oxyde se formant à la surface de la

gaine des crayons de combustible au cours de l'irradiation. Ce phénomène est de nature à fragiliser la gaine et à augmenter le risque de perte d'intégrité des crayons concernés lors de certains transitoires accidentels.

2 - Formation localisée de petites bulles de vapeur à la paroi du combustible alors que le fluide reste en moyenne à une température inférieure à la température d'ébullition.

[\[IRSN, 19/01/23\]](#)

C'est ce dernier problème de desquamation des gaines qui pourrait avoir provoqué le nouvel arrêt imprévu de Taishan 1 le 1^{er} février 2023. Ce phénomène a été constaté en France dès 2021 comme nous le relations dans la [Gazette n° 298/299](#).

L'arroseur arrosé : les chinois se seraient-ils faits refiler un lot d'assemblages combustible bas de gamme ? A moins que ce soit la machine qui ne tienne pas la route...

Évolution et problèmes rencontrés sur les assemblages combustible

En 2001, Monsieur Berthet, l'ancien Chef du département combustible du Service études et projets thermiques et nucléaires (SEPTEN) d'EDF a été interviewé afin de « *capitaliser l'expérience et le savoir-faire technique du spécialiste* » sur le « *Management des activités physique des cœurs et combustibles* ». La lecture de cette note est très enrichissante.

Historique des produits combustibles

« La première génération d'assemblages, chargés pour la première fois en 1977, a été nommé AGI (Assemblage à grille inconel) pour être différenciée de l'AFA (Assemblage FRAMATOME Avancé ou Advanced fuel Assembly), lorsque ce dernier a été créé en 1984.

La version pour les tranches 900 MW a été appelée AFA, alors que pour les tranches 1300 MW, la version s'est d'abord appelée XL (eXtra Long) suivant la dénomination américaine. En effet, sa longueur est de 14 pieds, au lieu de 12 pieds pour les tranches 900 MW.

En 1992, a été créée une deuxième génération d'assemblages, dite AFA deuxième génération :

- AFA 2G pour les 900 MW
- AFA 2GL pour les 1300 MW.

L'essentiel de la modification réside dans le passage des grilles en Zircaloy », en remplacement de l'Inconel utilisé sur la première génération d'assemblage.

Rôle des grilles en Zircaloy : « les grilles ont deux fonctions :

1- Thermohydraulique : il s'agit d'améliorer le mélange, grâce à un meilleur écoulement de l'eau, qui doit être laminaire et non turbulent. Des ailettes sont installées sur les grilles.

2- Mécanique : la grille maintient les crayons et ne doit pas se déformer aux séismes.

Les grilles, initialement en Inconel, ont été passée en Zircaloy, pour des raisons neutroniques et de radioprotection ».

« L'AFA 2G a progressivement été chargé dans les réacteurs.

Au bout d'un certain temps, nous nous sommes aperçus que la chute des grappes de contrôle était parfois plus longue que prévue. Nous avons même constaté quelques blocages.

Un phénomène empêchait donc le glissement des grappes. Malgré une conception visant à minimiser les déformations, celles-ci sont inéluctables.

Elles n'étaient pas plus importantes qu'auparavant, mais au lieu de déformations en arc qui ne prêtent pas à conséquence, nous avons également observé des déformations en "s" et, surtout, nous avons observé des ovalisations locales en partie basse des assemblages ».

Les causes de ces déformations sont diverses. L'une d'elles pourrait être liée à la présence ou non de certaines impuretés comme le soufre : « il semblerait que la

disparition de cette impureté a impacté les propriétés mécaniques des tubes-guides qui supportent l'assemblage. Les déformations constatées sur les assemblages ont entraîné le développement d'une troisième génération de combustibles (AFA 3G) » [Berthet, 2001]. L'AFA 3G a progressivement été introduit dans les tous réacteurs au début des années 2000.

Le Zircaloy est également le matériau de gainage historique des combustibles utilisés dans les REP français hormis sur le prototype (Chooz A) où le combustible des premières gestions disposait d'un gainage en acier inoxydable. L'acier étant perméable au tritium, cela occasionnait des rejets de tritium faramineux compte-tenu de la faible puissance de ce réacteur (305 MWe). Un SMR avant l'heure... Chooz A est définitivement à l'arrêt depuis 1991 et son démantèlement n'est toujours pas achevé trente-deux années plus tard.

Monsieur Proglio a raison : le nucléaire est une *industrie de cycle très long*... Sans évoquer les déchets radioactifs à vie longue qui subsisteront bien après que notre civilisation se soit consumée, le démantèlement de Chooz A illustre parfaitement la longueur du cycle et l'optimisme des séides du nucléaire dans la tenue des calendriers de grands chantiers (Cf. page 28).

Historique des alliages de zirconium

Extraits d'une Note d'étude d'EDF : « *Constitués très majoritairement de zirconium (~98%), les alliages de zirconium sont utilisés dans l'industrie nucléaire à cause de leur faible section de capture (0,18barn) et de leur transparence aux neutrons thermiques. Ces propriétés sont complétées par des caractéristiques mécaniques satisfaisantes jusqu'à 400°C (dans la gamme d'utilisation), et une bonne résistance à la corrosion généralisée dans l'eau et dans la vapeur d'eau sous pression. Le premier alliage de zirconium étain fut mis au point par les Américains dans les années 50 pour la construction d'un sous-marin à propulsion nucléaire. Mais sa tenue à la corrosion s'avéra moins bonne que prévue en fonctionnement. On découvre alors par hasard lors de la pollution d'un lingot Zr-Sn par de l'acier inoxydable 18-8 l'influence majeure des éléments d'addition (Fe, Cr, Ni) dans ce métal sur sa tenue à la corrosion et ses caractéristiques mécaniques. Le zircaloy 2 (Zy-2) est né. C'est un alliage du type Zr - 1,5%Sn - 0,10%Cr - 0,15%Fe - 0,05%Ni, encore utilisé sous une forme optimisée dans les REB (réacteurs à eau bouillante). La découverte de l'affinité du nickel pour l'hydrogène,*

conduisant à une hydruration défavorable pour la tenue de l'alliage dans les réacteurs REP, est la raison de l'évolution vers le zircaloy 4 (Zy-4) : sa composition chimique est identique au Zy-2 sans Ni considérée comme une impureté limitée à 50ppm, avec une augmentation de la teneur en Fe, pour ne pas dégrader la tenue à la corrosion. L'alliage actuellement [en 2009] utilisé dans la plupart des centrales REP EDF est le zircaloy 4 "optimisé" ou "bas étain" : La diminution de la teneur moyenne en étain à 1,3% (contre 1,5% à l'origine) permet d'améliorer d'une façon significative la tenue de l'alliage à la corrosion généralisée, surtout pour de forts taux de combustion (52 GWj/tU), sans modification sensible de ses caractéristiques mécaniques » [EDF, 2009].

Retour avec le spécialiste du SEPTEN sur les problèmes de corrosion : « Compte-tenu des conditions de fonctionnement, les gaines en Zircaloy sont sujettes à la corrosion. En effet, elles sont minces, 6/10 de mm d'épaisseur, et la puissance qui passe à travers l'assemblage est très importante (...). La puissance moyenne est de 180 W/cm. Les gaines sont donc portées à une température de 330°C extérieurs.

Cette corrosion ne créait pas de difficulté lorsque nous restions à un taux de combustion de 33 000 MW jour/tonne. Mais nous savions que des difficultés surgiraient au-delà, en particulier pour la constitution du dossier 52 000 MW jour/tonne.

La parade la plus simple a constitué à modifier légèrement les spécifications du produit, de manière à l'optimiser vis-à-vis des corrosions. Cela a abouti aux gaines "bas étain" qui étaient acceptables pour les objectifs de l'époque.

L'alliage de Zircaloy 4 est composé de 98% de zirconium. Les autres éléments sont le fer et le chrome qui joue un rôle très important pour la corrosion du matériau, et surtout l'étain qui favorise la fabricabilité du matériel. L'étain est toutefois l'ennemi principal pour le comportement à la corrosion » [Berthet, 2001].

Voici la recette plus complète du Zircaloy 4 d'après les données de Framatome : une touche d'étain (1,32% massique), un chouïa de fer (0,22%), de chrome (0,12%) et d'oxygène (0,12%) sans oublier quelques impuretés de carbone (0,0146%) et de silicium (0,0099%). La présence de fer et de chrome dans l'alliage est réputée améliorer « la résistance à la corrosion » [Thèse J. Moryousef, 2021].

Nom de code, M5™

En 1988, un nouvel alliage de zirconium a fait son apparition : le M5™, développé par AREVA-NP. La recette a évolué : exit l'étain et le chrome et introduction de niobium (1%), toujours un peu d'oxygène, le fer étant réduit à la portion congrue (0,035%). Pour le CEA en 2012, c'était la panacée du gainage ou « le matériau le plus optimisé du point de vue de sa composition chimique et de son procédé de fabrication vis-à-vis des propriétés en service, en particulier la tenue à la corrosion » [Rapport CEA-R-6311, 2012].

Mais la nouvelle recette n'a pas tenu ses promesses à cause de soucis de fabrication. Sensé permettre une augmentation des taux de combustion et un allongement des campagnes, le M5™ a en fait réussi à augmenter le taux de ruptures de gaine et à réduire certaines campagnes de production comme à Nogent en 2002. Récit avec l'ASN : « Le premier cycle d'irradiation avec un cœur entièrement

constitué d'assemblages utilisant l'alliage M5 comme matériau de gainage a commencé en début d'année dans le réacteur Nogent 2. L'alliage M5 présente notamment une meilleure tenue à la corrosion que les matériaux utilisés jusqu'à présent, dans la perspective d'une augmentation du taux de combustion des gestions de combustible à venir.

Au vu d'une importante montée d'activité dans le fluide primaire au cours du second semestre 2002, révélatrice de ruptures de gaines, EDF a été amené à anticiper l'arrêt du réacteur initialement prévu pour avril 2003. Pendant cet arrêt qui s'est achevé en janvier 2003, l'ASN a demandé à EDF de procéder à des examens approfondis des crayons non étanches. Ces examens ont révélé 39 ruptures de gaines réparties sur 23 assemblages. Parmi les 23 assemblages affectés, 22 étaient au stade de leur troisième cycle d'irradiation et 1 au stade de son premier cycle. Les ruptures de gaines des assemblages de troisième cycle ont été attribuées à l'usure vibratoire en pied d'assemblage, alors que les deux ruptures de gaines apparues sur l'assemblage de premier cycle l'ont été à un défaut de fabrication et à l'action d'un corps migrant.

Compte tenu de ces difficultés et d'un défaut constaté au cycle précédent et attribué à un problème de fabrication, l'ASN a demandé à EDF, par courrier DGSNR/SD2 n°108/2003 du 8 février 2003, d'approfondir certaines questions sur le matériau de gainage M5, et a indiqué qu'une extension de son utilisation ne lui paraissait dans l'intervalle pas opportune » [ASN, 5/03/2003].

Global Chance a fait le point des autres problèmes rencontrés avec le M5™ : « Le bilan dressé en 2004 fait apparaître un taux de défaillance des crayons en alliage M5 quatre à cinq fois supérieur à celui des crayons en Zircaloy-4 [IRSN 2010].

En 2006, des pertes d'étanchéité continuant à se produire, l'ASN a estimé qu'il était nécessaire d'adopter une démarche prudente quant à l'introduction d'assemblages de combustible à gainage en alliage M5 [IRSN 2010].

En juillet 2010, l'IRSN note que du combustible à gainage en alliage M5 est encore présent dans 24 réacteurs : 17 réacteurs de 900 MW, trois réacteurs de 1300 MW et les quatre réacteurs de 1450 MW [IRSN 2010].

Au cours de cette période 2003-2009, ce sont 119 assemblages inétanches qui ont été détectés parmi les 2.800 assemblages (4,25%) déchargés des tranches du parc EDF [IRSN 2011].

EDF décide en 2006 de ne plus charger que des assemblages Westinghouse (en Zircaloy-4), munis d'une grille complémentaire en pied d'assemblage [IRSN 2011], afin de limiter les vibrations et les usures qu'elles entraînent » [J.C. Zerbib, 2021]. Du combustible américain pour "l'indépendance" énergétique française !

Pendant la décennie suivante, les problèmes de fabrication qui avaient engendré toutes ces inétanchéités du gainage, ou ruptures de gaine, semblaient avoir été résolus. Le « retour d'expérience du comportement du combustible » a fait l'objet d'une réunion du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) de l'ASN le 7 juillet 2022. Extraits : « Sur la période 2010-2019, les principales évolutions en matière de conception et de fabrication de combustible ont concerné, pour les assemblages de combustible conçus par Framatome » à « la généralisation

du gainage M5, moins sensible à la corrosion et l'abandon progressif du gainage Zy-4 ». Mais en même temps, l'ASN a constaté un « nombre important d'évènement anormaux résultant de **phénomènes parfois nouveaux et inattendus**, l'ASN estime qu'il convient qu'EDF reste vigilante vis-à-vis du comportement du combustible en réacteur, comme l'illustre des évènements récents :

- l'endommagement de la grille inférieure de maintien des assemblages de combustible de conception Westinghouse dans plusieurs réacteurs ;

- la **corrosion accélérée du matériau M5 de gainage des crayons de combustible** ;

- les dépôts de corrosion de type « CRUD » [Cf. paragraphe suivant] sur les gaines de crayons de combustible de réacteurs ayant procédé au remplacement d'un générateur de vapeur » [ASN, 19/12/22].

D'après l'IRSN, « les analyses réalisées par EDF, tout d'abord sur le réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B, puis sur le réacteur n° 3 du CNPE de Cattenom, ont permis d'attribuer ce phénomène » de corrosion accélérée d'un gainage moins sensible à la corrosion « à une origine intrinsèque liée à la fabrication des gaines de combustible en alliage M5 incriminées (leur faible teneur en fer) et à l'occurrence d'un régime d'ébullition nucléée favorisant l'apparition d'un milieu oxydant en partie haute des assemblages. Les conditions de fonctionnement des réacteurs du palier N4 [1500 MWe] sont à cet égard plus propices à la formation d'ébullition nucléée que celles des réacteurs du palier 1300 MWe » [IRSN, 16/12/22]. Le régime d'ébullition nucléée est développé page 17.

Les réacteurs, c'est comme les mêmes : petits réacteurs, petits problèmes ; grands réacteurs, grands problèmes. Et les très grands réacteurs ?

CRUD et corrosion

M. Ferrer (CEA Cadarache) fait le point sur les « **Dépôt de produits de corrosion sur les crayons combustibles des REP en régime d'ébullition nucléée** : les composants du circuit primaire des réacteurs à eau pressurisée (REP) sont soumis à une corrosion généralisée du fait des conditions physico-chimiques du fluide primaire. Elle entraîne un relâchement d'espèces métalliques sous forme ionique et particulière dans le fluide primaire (principalement Ni, Fe, Cr). Les particules vont se déposer et les ions précipiter sur l'ensemble des surfaces du circuit primaire du fait de la convection du fluide. En particulier, un dépôt appelé « crud » va se former sur les crayons combustible et ainsi s'activer sous l'effet du flux neutronique ambiant. (...)

En fonctionnement normal l'activité volumique des produits de corrosion dans le fluide est de l'ordre de 10 MBq.t-1 (principalement ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁵¹Cr), avec une augmentation visible en fin de certains cycles de fonctionnement. Cette montée d'activité serait due à un phénomène d'ébullition

nucléée localisé sur les parties chaudes de certains assemblages de combustible. En effet, l'ébullition est connue pour accélérer la croissance des dépôts particuliers et ioniques sur les surfaces chauffantes. L'épaisseur de dépôt augmentant, le flux d'érosion devient plus important impliquant donc une concentration en particules activées plus importante dans le fluide » [Ferrer, 22/03/13]. On peut rappeler que le phénomène d'ébullition au contact des gaines du combustible favorise l'oxydation du zirconium ce qui fragilise un peu plus le gainage.

Avis de M. Berthet sur le phénomène de corrosion-desquamation : « l'oxydation crée une barrière thermique qui augmente la température de la partie interne restée saine. Un effet d'entraînement se crée alors car la température accroît la tendance à l'oxydation.

Par la suite, si une partie de la zone oxydée se détache [desquamation], une zone froide se crée brutalement à l'emplacement correspondant, favorisant une réaction chimique qui produit de l'hydrogène vers l'intérieur de la gaine. Cet hydrogène diffuse ensuite vers les zones froides où il se concentre.

Les hydrures, connus pour fragiliser le matériau, sont donc plus abondants dans les zones de desquamation.

(...)

La desquamation des gaines entraîne la libération dans le circuit primaire de divers produits de corrosion qui vont s'irradier [s'activer] en passant dans le cœur.

Ce phénomène est très ennuyeux pour la radioprotection car ces produits vont se concentrer en quelques points du circuit et vont participer de façon importante au bilan des doses reçues par le personnel lors des opérations de maintenance.

Le circuit lui-même génère des produits de corrosion, essentiellement du nickel-chrome issu des tuyauteries. Ces produits s'enrichissent plus ou moins en bore, présent sous forme d'acide borique dans l'eau du circuit primaire. Le bore est utilisé pour contrôler la réactivité grâce à son pouvoir d'absorption des neutrons.

Les produits de corrosion peuvent alors, entre autres, se redéposer sur les piègeages présents sur le combustible.

Dans ce cas, le bore empoisonne localement certaines parties du combustible, ce qui induit plus de puissance sur les autres côtés. Ce phénomène perturbe la forme axiale du flux [de neutron] » [Berthet, 2001].

Notes

Berthet, 2001 - Management des activité Physique des Cœurs et Combustibles - Recueil d'expérience de M. Berthet - EDF SEPTEN, 20/12/2001

EDF, 2009 - Synthèse des résultats d'examen de texture des différents composants en alliage de zirconium destinés aux assemblages de combustible AREVA et WESTINGHOUSE livrés à EDF - EDF SEPTEN, 28/07/2009

Prise en compte du REX pour l'EPR de Flamanville (EPR FA3)

Avis IRSN n° 2023-00010 du 19/01/2023 (Extraits)

La stratégie d'EDF de prise en compte de ce REX repose sur l'analyse des causes de chaque anomalie et sur des évolutions de conception des assemblages de combustible

du fournisseur Framatome, aussi bien pour le premier cycle d'irradiation (avec le déploiement d'une conception améliorée dénommée AFA3GLE-1¹) que pour les cycles

ultérieurs (avec le déploiement d'une conception dotée d'améliorations supplémentaires dite AFA3GLE-H²).

La solution retenue par EDF vis-à-vis des risques de pertes d'étanchéité consiste à limiter le risque de rupture des ressorts de grilles des assemblages fournis par Framatome grâce à une désensibilisation du matériau à la CSC lors de leur fabrication. Ainsi, les 64 assemblages en périphérie du cœur du réacteur EPR FA3 seront dotés de ressorts de grilles bénéficiant du traitement thermique de recuit final à basse température (RFBT). Ce traitement est déjà mis en œuvre pour la fabrication des assemblages du parc nucléaire français depuis 2019 et a contribué à réduire significativement le nombre de ruptures de ressorts de grilles ainsi que le nombre d'assemblages non étanches associés. En conséquence, l'IRSN estime pertinente la mise en œuvre du traitement RFBT pour limiter le risque de rupture des ressorts de grilles par la CSC.

Concernant les assemblages qui seront positionnés hors de la périphérie du cœur de l'EPR FA3 dont les ressorts de grilles n'ont bénéficié que d'un traitement thermique standard, EDF a justifié que le risque de rupture des ressorts est faible compte tenu notamment du REX d'exploitation des premiers EPR mis en service, ce que l'IRSN estime acceptable. **L'IRSN estime toutefois que ce risque ne peut pas être totalement exclu à ce stade.**

(...)

Concernant l'anomalie relative à l'usure des plaquettes de grilles, la stratégie d'EDF consiste à remplacer l'alliage M5 par l'alliage quaternaire Q12 pour la fabrication des tubes-guides et des grilles de la nouvelle conception d'assemblage AFA3GLE-I. L'alliage Q12 confère une meilleure résistance mécanique de la structure de l'assemblage, et in fine limite leur déformation latérale. Le REX d'exploitation du parc nucléaire français a montré que les assemblages à structure renforcée, dotés de tubes-guides en alliage Q12 et déployés depuis 2013, sont plus performants vis-à-vis de la déformation latérale que les assemblages à structure en alliage M5. L'IRSN estime que l'utilisation d'assemblages renforcés en périphérie du cœur est de nature à limiter le risque d'usure excessive des plaquettes de grilles d'assemblage lors du premier cycle d'irradiation de l'EPR FA3.

Concernant l'anomalie relative à l'usure des bouchons inférieurs des crayons, aucune évolution de conception n'est prévue par EDF pour le premier cycle d'irradiation du réacteur EPR FA3. Néanmoins, l'IRSN estime que le risque de perte d'intégrité des crayons de combustible lors du premier cycle d'irradiation du réacteur EPR FA3 est très limité compte tenu du REX des premiers EPR en service.

Concernant la corrosion accélérée des gaines en alliage M5 en partie haute de certains assemblages, l'IRSN note positivement que les assemblages AFA3GLE-I bénéficieront d'une augmentation de la teneur minimale en fer afin de réduire leur sensibilité à ce phénomène. De plus, **les conditions de fonctionnement retenues pour le réacteur EPR FA3 sont plus favorables que celles des premiers réacteurs EPR en service** et des mesures compensatoires en exploitation, déjà en vigueur sur parc nucléaire français, sont prévues par EDF. Par conséquent, l'IRSN estime que le phénomène de corrosion accélérée des gaines en alliage M5 devrait être limité et que le risque

de desquamation en surface externe des gaines est négligeable à l'issue du premier cycle d'irradiation. À cet égard, l'IRSN n'identifie pas de mesures compensatoires supplémentaires à mettre en œuvre au cours du premier cycle d'irradiation du réacteur EPR FA3.

De plus, les examens prévus lors du déchargement du combustible à l'issue du premier cycle d'irradiation du réacteur EPR FA3 devraient permettre de caractériser le cas échéant l'occurrence et l'ampleur du phénomène de corrosion accélérée des gaines en alliage M5.

En conclusion, compte tenu de l'ensemble de ces éléments, l'IRSN estime pertinente la conception des nouveaux assemblages AFA3GLE-I qui seront positionnés en périphérie du premier cœur de l'EPR FA3 ».

(...)

En tout état de cause, certaines des défaillances du combustible observées en périphérie du cœur des premiers réacteurs EPR en service sont induites ou aggravées par les fluctuations de débits en entrée du cœur qui résultent d'une anomalie de conception du plenum inférieur de la cuve. EDF étudie actuellement la faisabilité d'une modification matérielle permettant d'optimiser l'hydraulique dans le plenum inférieur de la cuve, de limiter l'ampleur des fluctuations de débit en entrée du cœur et ainsi de résorber cette anomalie de conception et ses conséquences. À cet égard, l'IRSN estime qu'EDF doit définir la modification matérielle et la mettre en œuvre sur le réacteur EPR FA3, aussi rapidement que le permet son processus d'étude et de qualification de la modification.

Notes

1 - Pour le premier cycle d'irradiation du réacteur EPR FA3, 64 assemblages AFA3GLE-I seront positionnés en périphérie de cœur en remplacement des assemblages de conception AFA3GLE initialement prévus.

2 - L'introduction des assemblages AFA3GLE-H se fera de manière progressive à partir du deuxième cycle d'irradiation du réacteur EPR FA3.

[[IRSN, 19/01/23](#)].

Analyse GSIEN : la reprise de l'anomalie de conception de l'hydraulique de cuve avant le démarrage du réacteur nous semble incontournable (faisabilité, radioprotection). EDF veut tout de même démarrer son réacteur sans modification du répartiteur de débit en fond de cuve. Mais pour le premier cycle d'irradiation, seulement 64 assemblages combustible *améliorés* (AFA3GLE-I) seront chargés en périphérie du cœur. Comme le réacteur en contient 241, 177 assemblages de base (AFA3GLE) seront donc utilisés, le même modèle que sur les EPR chinois : « *For the strategic cooperation with France, the type of fuel assemblies for the Taishan nuclear power plant is AFA-3GLE* » [[Jiang et al., 15/09/22](#)].

Ébullition nucléée

L'IRSN estime que « *le risque de desquamation en surface externe des gaines est négligeable à l'issue du premier cycle d'irradiation* » pour les 177 assemblages dans le cœur de Flamanville 3, un produit combustible qui n'a pas bénéficié d'une augmentation de la teneur minimale en fer sensée les rendre moins sensibles à la corrosion accélérée.

Surtout en présence de l'ébullition nucléée constatée en partie haute des assemblages des premiers réacteurs EPR en service mais aussi des paliers les plus puissants du parc EDF. Certes, l'IRSN évoque des conditions de fonctionnement pour le réacteur EPR FA3 plus favorables que celles des premiers EPR démarrés. Par conditions plus favorables, on comprend que si la température de l'eau primaire sortie cuve est moins élevée, le risque d'ébullition nucléée diminue. A l'inverse, plus la température du fluide primaire sortie cuve augmente, plus la marge à l'ébullition se réduit. A la pression de 155 bar du circuit primaire, la température de saturation du réfrigérant est de 345°C. Lorsque la température de la gaine dépasse 345°C, des bulles de vapeur se forment bien que la température moyenne du fluide primaire reste aux alentours de 330°C. Sur les tranches REP en fonctionnement, la puissance du réacteur est asservie à la température sortie cuve. Infos trouvées dans le Rapport de sûreté (RDS), du réacteur de Flamanville 3 : sur le « Palier N4 » (Chooz B et Civaux), il y a « *Décroissance linéaire de la température moyenne cœur entre 100 et 0% de puissance* » : la température entrée cuve « *varie faiblement dans une plage $\leq 4^\circ\text{C}$* » [RDS FA3, EDF 2023 - Chapitre 1 - Cf. page 123].

C'est grâce à particularité que la tranche 2 de Chooz B a pu continuer à fonctionner, à puissance réduite malgré des gaines en M5 corrodées, comme nous l'avions indiqué dans une Gazette précédente : la réduction de « *la puissance maximale autorisée en fonctionnement normal à 92,6 %PN* » (Puissance nominale) permet « *de réduire le phénomène d'ébullition nucléée en partie haute des gaines de combustible, qui constitue une des causes principales de la corrosion accélérée* » [IRSN, 6/08/21].

Comparons alors les puissances respectives des EPR chinois et français. La World nuclear association donne les caractéristiques des réacteurs de Taishan : « *Selon Areva, les réacteurs ont une puissance de 4590 MWth et une puissance nette de 1660 MWe* » ($\eta=36,2\%$) [WNA, August 2023 - Cf. page 5].

Selon le RDS, le réacteur de Flamanville 3 a une « *puissance thermique maximale cœur de 4500 MWth* », légèrement inférieure à celle des EPR chinois, pour

« *environ 1675 MWe* » ($\eta=37,2\%$) de puissance électrique nette, à peine un peu plus élevée que Taishan 1. On ne voit pas en quoi ces conditions de fonctionnements seraient plus favorables que celles des EPR de la province de Guangdong, ce serait même l'inverse, à *environ 15 MWe* près. Cependant, « *La puissance thermique de fonctionnement envisagée par EDF dans le cadre de la mise en service est de 4300 MWth* » [RDS FA3, EDF 2023 - Chapitre 1 - Cf. page 5]. Avec le rendement affiché de FA3 de l'ordre de 37,2% (1675/4500), la puissance électrique serait donc de 1600 MWe, une puissance *a priori* un poil moins favorable à l'ébullition nucléée qu'un réacteur de 1660 MWe.

A posteriori, cette faible différence de puissance ne changera rien. En effet, toujours en s'appuyant sur le RDS FA3, on constate que le « *Programme de température* » de ce réacteur n'est pas linéaire comme sur le palier N4 : « *La température moyenne cœur est constante dans la partie haute de la plage de charge (entre 60 et 100% de la puissance nominale)* » [RDS FA3, EDF 2023 - Chapitre 1 - Cf. page 123]. Pour réduire l'ébullition nucléée, faut-il faire fonctionner le réacteur à mi-charge ?

D'autre part, les conditions de fonctionnement de Flamanville 3 sont encore moins favorables que celles du palier N4 dans lequel le phénomène d'ébullition nucléée est présent. L'EPR a une température sortie cuve supérieure à celle du palier N4 (Cf. tableau ci-dessous).

C'est le réacteur *le plus sûr du monde* (ou à défaut le plus cher) qui a le moins de marge à l'ébullition !

Températures du réfrigérant sortie cuve selon les paliers de puissance				
Palier	900	1300	N4	EPR
T° (°C)	323,2	328,6	329,1	329,8
Sources MTE 058, EDF 1988 (Paliers 900 et 1300) RDS FA3, EDF 2023 - Chapitre 1 - Cf. page 124 (Paliers N4 et EPR)				

Les faibles doses d'irradiation

Quels effets ? Quelles certitudes ?

Mariette Gerber (GSIEN), septembre 2023

Médecin épidémiologiste - Retraitée INSERM et du groupe des experts ANSES

Expert scientifique auprès de l'ANCCLI

J'ai l'habitude de dire : « Nous savons depuis 2015, que les faibles doses d'irradiation sont cancérigènes ». En effet, c'est cette année-là que parut la première publication portant sur la cohorte INWORKS (1). Dans cette cohorte de plus de 300 000 travailleurs du nucléaire recrutés aux Etats-Unis, au Royaume-Uni et en France, on avait observé après 27 ans de suivi, près de 22% de décès, dont 531 leucémies myéloïdes. Or 281 des travailleurs décédés de leucémie myéloïde (soit 53%) n'avaient été exposés qu'à moins de 5 mGy. On montrait aussi dans cette étude qu'une relation linéaire sans seuil représentait au mieux le risque de leucémie myéloïde en fonction de l'exposition aux radiations.

C'était donc la réponse à une question longtemps débattue au sein des radiobiologistes, mais surtout au sein des assemblées qui réunissaient les membres des instances de production d'énergie nucléaire, de la radiologie médicale et de protection vis-à-vis des radiations ionisantes. Pourtant, à la lecture de l'article qui va être évoqué plus loin (2), on apprend que cette relation linéaire sans seuil a été introduite dans les systèmes de radioprotection à la fin des années 50, mais elle a cependant été longtemps discutée, ouverte à nombreuses controverses scientifiques dans de nombreux pays (en France, les plus anciens d'entre nous se souviennent sans doute des débats avec M Tubiana qui

suggérait de considérer « un seuil pratique », 100 à 200mSv pour les adultes et 80 à 100mSv pour les enfants).

En 2005, la Commission Internationale de Radioprotection (CIRP) a conduit une étude approfondie du problème et a conclu que, même si pour certains cancers on pouvait parfois mettre en évidence un seuil pour le risque carcinogène, il n'y avait pas de preuves pour un seuil universel.

Pourtant, encore récemment, la Commission de Régulation Nucléaire aux USA a reçu une pétition demandant un amendement de la régulation au niveau fédéral en s'appuyant sur les nouvelles données et "preuves" scientifiques qui contrediraient le modèle linéaire sans seuil de la relation dose-effet qui sert de base à la régulation à la Commission de Régulation Nucléaire. Celle-ci a rejeté la demande, en indiquant qu'il n'y avait aucun argument adéquat qui puisse soutenir la modification de cette règle.

Mais ce questionnement encore présent dans certains cercles de radiobiologistes ne tient plus. En effet les données apportées par les études épidémiologiques récentes basées sur de larges cohortes avec des mesures d'exposition rigoureuses et des prises en compte des facteurs de confusion, telle les études réalisées à partir de la cohorte INWORKS ont apporté des données convaincantes de l'effet des faibles doses.

Après cette première publication de 2015 portant sur les leucémies dans la cohorte INWORKS, voici celle portant sur le risque de tumeurs et l'effet des faibles doses d'irradiation accumulées dans le temps (3). Comme pour les leucémies, on observe une relation linéaire entre dose et risque de cancers, mais en outre la droite qui dessine la relation entre

la dose et le risque carcinogène montre une pente plus raide lorsque ce sont des faibles doses qui sont considérées. Les auteurs soulignent que l'ensemble de ces résultats, obtenus dans des conditions d'étude rigoureuses, doivent conduire à renforcer les règles de protection contre les radiations ionisantes dans les situations d'irradiation médicales, professionnelles et environnementales.

De nombreuses études ont exploré cette question de la relation linéaire sans seuil, et ont largement conclu à l'absence de seuil, même si quelques études présentent des résultats divergents : par exemple la population du Kerala en Inde, qui est continuellement exposée à une faible dose d'irradiation ne montre pas d'association entre cette exposition et le risque de cancer. On a proposé comme explication que le risque de cancer associé à une exposition aiguë était plus élevé que celui induit par un faible débit de dose.

Le modèle linéaire sans seuil est donc reconnu par l'ensemble des auteurs comme valide. Ce modèle qui implique un risque de cancers avec les faibles doses, est hautement nécessaire et utile aux mesures de radioprotection, notamment pour les travailleurs du nucléaire et pour les populations en situation post-accidentelle.

Références

- 1 - [Leuraud K. et al](#), The Lancet/Haematology, July 2015
- 2 - [Laurier D. et al](#), Journal of Radiological Protection, n° 43, June 2023
- 3 - [Richardson D. B. et al](#), The British Medical Journal, August 2023

Corrosion sous contrainte de l'acier inoxydable Présence de fissures sur les circuits de sauvegarde (RIS et RRA) Le point du GSIEN (septembre 2023)

Le GSIEN a abordé le sujet dans la [Gazette n° 296](#) (avril 2022) et suit ce dossier épineux pour le nucléaire hexagonal. Notre dossier montrait que la fissuration sous contrainte de l'inox austénitique n'était pas si inattendue que cela. De nombreuses *indications* avaient bien été détectées sur plusieurs réacteurs mais classées, avec une certaine désinvolture, comme *parasites* par EDF. De plus, *en tant qu'industriel responsable*, quelques cas de fissuration de l'inox austénitique auraient dû alerter l'exploitant et lui permettre d'anticiper les arrêts de tranches pour réparations.

Bref historique

Après la découverte des premières fissures sur la tranche 1 de Civaux (palier N4) fin 2021, EDF a étendu ses contrôles sur les autres réacteurs du même palier : Civaux 2 et Chooz 1 et 2. Comme la tranche 1 de Penly était en visite décennale, des contrôles ont été initiés sur les circuits auxiliaires de Penly 1. Selon EDF, les expertises réalisées sur ces cinq tranches montraient une « *profondeur limitée des fissures qui varient de 0,75mm à 5,6mm au maximum (à comparer à l'épaisseur des tuyauteries de près de 30mm)* ».

La présence de fissures a rendu nécessaire la reprise des études de sûreté afin de vérifier la tenue mécanique des circuits touchés par le *phénomène*, dans l'espoir de pouvoir remettre en service un réacteur avec des fissures de *profondeur limitée* sur ses tuyauteries auxiliaires. Toutefois, le *peu de marge* qu'il restait dans les calculs réalisés avec une profondeur de fissure de « *de 5,6mm au maximum* » [[EDF, 8/02/2022](#)] a dû fondre sans que la canicule puisse être suspectée. A l'été 2022, une fissure de profondeur un peu plus importante sera découverte.

Petit retour en arrière. En mai 2022, des parlementaires membres de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques ont auditionné des représentants de l'ASN sur la « *Prolongation des réacteurs nucléaires* ». Le président de l'ASN « *s'est montré rassurant sur l'état de sûreté des centrales, mais inquiet sur les fermetures de réacteurs qui seront nécessaires pour maintenir ce niveau de sûreté* ». Concernant le problème de fissuration de l'acier inoxydable, qualifié de « *phénomène sérieux* », le président de l'ASN a déclaré : « *EDF a procédé à la mise à l'arrêt de 12 réacteurs pour expertise approfondie et le cas échéant réparations, dont 4 réacteurs N4 les plus récents, 5 réacteurs du palier 1300 MW et 3 des*

réacteurs de 900 MW. Ces 12 réacteurs ne sont donc qu'une partie des 30 réacteurs à l'arrêt actuellement, qui le sont pour diverses raisons, comme des maintenances normales ou des visites décennales ».

Il a ensuite précisé : « Nos calculs mécaniques permettent de justifier la tenue en fonctionnement de ces tuyauteries, mais avec peu de marge. La propagation de la fissuration se limiterait à quelques millimètres du fait de l'état de compression du métal, mais cela reste à confirmer » [[Public Sénat, 17/05/22](#)].

Dans un courrier de fin juillet 2002 envoyé au Directeur de la Division production nucléaire d'EDF, l'ASN indique qu'EDF a « initié un programme de calculs mécaniques sur les lignes RIS et RRA de l'ensemble des types de réacteur ». L'ASN a noté « la prise en compte de la découverte d'un défaut de 6,48 mm de profondeur sur une ligne RIS [Branche froide - Boucle 3] du réacteur 1 de la centrale de Civaux, (...) cette profondeur de défaut n'étant actuellement pas couverte par les études mécaniques réalisées pour les réacteurs de type N4 ».

L'ASN fait le point des investigations réalisées par EDF : « En lien régulier avec mes services, vous avez engagé un programme approfondi de contrôle et d'expertise pour faire progresser votre connaissance de ce phénomène et de ses implications à l'échelle du parc. Ce programme vous a conduit à définir et mettre en œuvre une stratégie de contrôle couvrant l'ensemble des types de réacteurs du parc, et à procéder à des découpes des tuyauteries sur un échantillon représentatif de ces réacteurs, les expertises métallurgiques après découpe étant à ce stade le seul moyen de statuer, de manière certaine, sur la présence de défauts de CSC. Cela vous a conduit (au 13 juillet 2022) à réaliser près de 70 expertises en laboratoire de soudures prélevées sur huit réacteurs. Ces expertises sont indispensables pour acquérir un ensemble de connaissances sur les caractéristiques de ces défauts, et des données sur les différents paramètres susceptibles d'être influents vis-à-vis de l'amorçage de fissures de CSC.



Saint-Alban 1 - Ressuage au niveau d'un adaptateur de prise d'échantillon sur le circuit primaire

Source, EDF

Vous avez en parallèle engagé d'importants travaux de développement pour disposer d'un nouveau moyen de contrôle par ultrasons, dit « UT amélioré », dans l'objectif de disposer d'un dispositif de contrôle non destructif apte à détecter des fissures de CSC de petite taille et à mesurer leur profondeur. Vos premiers résultats, rendus possibles par la confrontation des acquisitions réalisées sur des défauts réels avec les données des expertises métallurgiques, sont encourageants. Ils permettent d'envisager sa mise en œuvre à titre d'expertise dans les prochains mois pour réaliser les contrôles prioritaires et consolider les connaissances sur l'extension du phénomène de CSC » [[ASN, 26/07/22](#)].

Détection de défauts dans le métal Examens non destructifs (END) et destructifs

Examen volumique par Ultrason (UT) : le procédé historique permettait la détection de fissures de fatigue thermique mais il n'a pas permis à EDF la détection précoce des fissures de CSC pourtant présentes. Après la découverte des premières fissures (Civaux 1, octobre 2021) le caractère parasite des indications n'étant plus assuré, EDF a optimisé le procédé UT permettant de détecter une fissure de CSC sans toutefois être capable d'en mesurer sa hauteur. EDF a donc cherché à améliorer son procédé en développant des capteurs plus performants. Afin de valider son procédé UT amélioré (UTa), des examens ont été réalisés sur certaines pièces avant d'être déposées pour expertise métallographique au "labo chaud" à Chinon (LIDEC) où sont réalisés les examens destructifs. D'après un document de l'IRSN présenté en GP ESPN puis lors d'un webinaire ANCCLI, les nouveaux capteurs permettent la « garantie de détection d'une fissure de plus de 2 mm de hauteur » et une « longueur ≥ 20 mm ».

Mais attention, dans certains cas, l'UTa n'est pas efficace à 100% : « Le procédé UTa présente des limitations : zones non couvertes ou non analysables pour différentes raisons (environnement, état de surface, niveau de bruit élevé) ou doutes sur la nature des échos ».

Et afin d'éviter de classer comme parasite une éventuelle fissure, « L'IRSN recommande que, en cas de questionnement sur la présence, la nature ou le dimensionnement d'une indication détectée par UTa, EDF déploie un END complémentaire surfacique » [[ANCCLI, 4/07/23](#)].

Examen surfacique par ressuage : le ressuage de la paroi externe d'un assemblage soudé est couramment pratiqué pour la détection de défauts débouchant. C'est une technique manuelle, qui consiste à appliquer un pénétrant rouge sur la surface à contrôler exempte de toute souillure. Après une dizaine de minutes, un nettoyage très soigneux de la surface imprégnée est nécessaire. Il suffit ensuite d'appliquer un révélateur blanc pour révéler la présence d'une fissure invisible à l'œil nu (voir un exemple avec la photo présentée ci-contre). Si le défaut est sous-jacent ou internes, la détection sera impossible par cette technique.

EDF développe en parallèle un outil de ressuage de la paroi interne d'une tuyauterie à l'aide d'une sonde : c'est le Ressuage par voie endoscopique (RVE) développé par EFER

Endoscopy « en collaboration avec le motoriste français Safran Aircraft Engines (Groupe SAFRAN), cet équipement, breveté dans plusieurs pays, permet d'effectuer le contrôle par ressuage de moteurs avionnés » [[efer.com](#)]. La sonde est équipée d'un générateur de lumière UV (ultra-violet) et d'une caméra vidéo. Petit inconvénient toutefois, il faut faire une découpe dans la tuyauterie à contrôler pour l'insertion de la sonde.

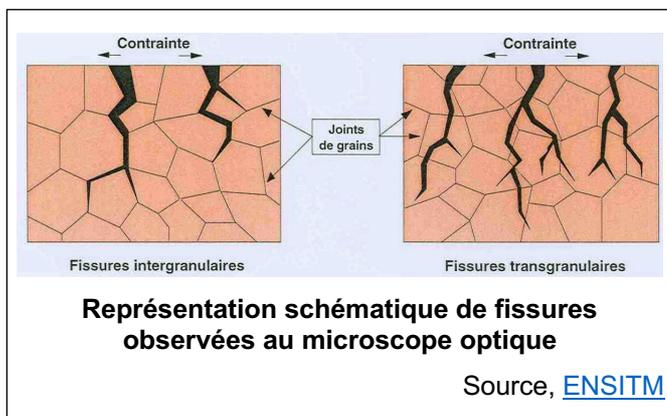
Examens destructifs

La réalisation de tels examens nécessite la dépose des matériels à contrôler comme des coudes et des tuyauteries des circuits RIS et RRA à vérifier. Ces circuits véhiculant du fluide contaminé, les portions déposées sont radioactives et

sont expertisées dans un laboratoire disposant de « *cellules chaudes* ». Le laboratoire intégré d'expertise nucléaire (LIDEC) est installé sur le site nucléaire de Chinon et vient remplacer l'Atelier des matériaux irradiés (AMI). Il permet l'analyse des matériaux contaminés et/ou irradiés avec la réalisation d'expertises métallurgiques, mécaniques, chimiques et microscopiques. Par exemple, c'est dans ce même laboratoire que sont analysées les capsules témoins insérées dans les cuves dans le cadre du programme de surveillance de l'irradiation et du vieillissement de la cuve des réacteurs. A noter, qu'EDF sous-traite une partie des expertises au laboratoire de Framatome situé à Erlangen en Allemagne.

EDF a lancé un vaste programme d'expertises afin de caractériser les défauts de CSC détectés à l'aide de techniques poussées comme la diffraction d'électrons rétrodiffusés (EBSD) permettant l'étude de la structure cristalline de la matière à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB). La caractérisation de la microstructure du métal à proximité des soudures a permis de définir que les fissures expertisées ont un parcours intergranulaire, la propagation de la fissure se faisant *entre* les grains (cristaux) de la matière, en suivant les joints de grain : cette propagation intergranulaire caractérise la fissuration par CSC. A l'inverse, la fissuration transgranulaire se propage *au travers* des grains (cf. Figure ci-dessous) : on la retrouve dans les fissures de fatigue thermique (voir page 24).

Les fissures s'amorcent et progressent dans le métal de base en bord du cordon de soudure, la Zone affectée thermiquement (ZAT) et elles se développent sur toute la circonférence des tuyauteries.



Facteurs influençant et sensibilité à la CSC

La principale cause identifiée par EDF est la complexité de la géométrie des lignes, entre l'organe d'isolement (clapet anti-retour) et le raccordement (ou piquage) sur la tuyauterie primaire principale associée aux phénomènes thermohydrauliques (vortex/stratification). Prenons l'exemple de la ligne RIS (l'injection de sécurité du réacteur) raccordée en branche froide (BF) et regardons l'évolution de sa géométrie au fil de la construction des différents paliers.

Géométrie des lignes RIS BF – Un problème de conception ?

Les tranches de 900 MWe ont été construites sous licence Westinghouse avec pour modèle les réacteurs américains

de North Anna. En 1981, le « *contrat [de licence] est remplacé par un accord de coopération technique* » [Hubert Grard, 2014].

Les tranches du palier 1300 MWe sont construites sur le modèle de South Texas.

Pour le palier suivant (N4 – 1500 MWe), le constructeur (Framatome) s'est affranchi des liens restants avec Westinghouse pour construire les tranches de Chooz et de Civaux.

Palier 900 MWe - Ces tranches seraient les moins sensibles à la CSC car la configuration des lignes est épurée comme on peut le voir avec la représentation schématique de l'injection en boucle 2 sur Bugey 5 (CP0) dans le tableau page 22. La longueur de la tuyauterie de diamètre 6 pouces (Ø 6" – 15,24 cm) est réduite, entre le piquage RIS sur la branche froide de la tuyauterie primaire et le clapet d'isolement.

Pour les autres tranches de 900 MWe (CPY), hormis les lignes d'injection par les accumulateurs (Ø 12"), aucun schéma isométrique des circuits d'injection en 6" n'a été publié.

Palier 1300 P4 - Sur les tranches de 1300 MWe, la géométrie des lignes RIS va évoluer. Avec une longueur de 4 à 5 m, la ligne RIS (Ø 10") du palier P4 est plus importante que celle du Bugey et présente quatre coudes entre le clapet et le piquage en branche froide du primaire.

Palier 1300 P'4 - La ligne RIS BF (Ø 10") du palier P'4 s'est considérablement allongée (de l'ordre de 7 m) et on n'y trouve pas moins de 9 coudes entre le clapet et le piquage primaire.

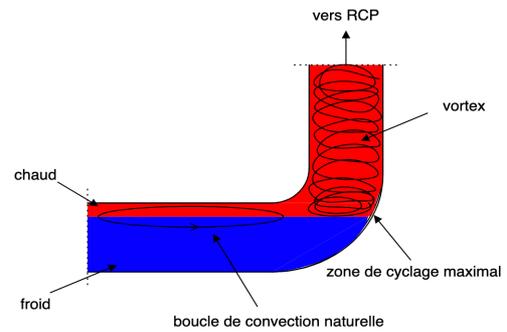
Dans un Mémento technique d'exploitation (MTE), EDF explique la raison des évolutions réalisées sur ce palier de 1300 MWe : « *Au cours des études de réalisation des premières tranches de Paluel, il est apparu une augmentation sensible des coûts prévus à l'origine, contrairement à ce qui était attendu de l'effet de taille. Un nouveau projet baptisé P'4 a été étudié, orienté vers une optimisation dans un souci de réduction des coûts à qualité égale. (...) Les objectifs d'économie ont été obtenus au niveau du génie civil et des matériels mécaniques. En même temps, de nouvelles options ont été prises* » comme la « *modification du bâtiment réacteur, touchant les dimensions (diamètre et hauteur légèrement réduits), l'installation des matériels, les structures de génie civil* » et une « *évolution dans les schémas des différents circuits de l'îlot nucléaire* » [Fiche MTE 075, EDF 1986].

Palier N4 - La longueur de la ligne RIS BF (Ø 10 et 12") est à peu près équivalente à celle du palier précédent. Les quatre réacteurs 100% français n'ont pas produit un seul kWh en 2022. A ce niveau d'indisponibilité, ce n'est plus de l'intermittence mais plutôt la panne sèche...

Phénomènes thermohydrauliques et contraintes mécaniques

La géométrie des lignes RIS semble être un des facteurs déterminant influencé par les phénomènes thermohydrauliques qui n'ont pas été pris en compte à la conception. La vitesse du fluide dans la tuyauterie primaire principale provoque une zone de turbulence, appelée vortex, au niveau du piquage sur la tuyauterie primaire avec

création d'une stratification thermique dans la portion horizontale de la ligne (cf. figure ci-contre). La différence de température entre la partie supérieure et la partie inférieure de cette portion horizontale entraîne des contraintes de dilatations thermiques lesquelles engendrent un moment de flexion se répercutant sur l'ensemble de la ligne. La longueur de la ligne amplifie ces phénomènes thermo-hydrauliques et, par voie de conséquences, les contraintes mécaniques. Comme la zone de vortex est chaotique, la stratification thermique peut fluctuer et induire des variations de l'amplitude des contraintes mécaniques.



**Piquage sur le circuit primaire -
Représentation schématique
de la stratification thermique**

Source, [EDF](#)

Exemples de géométrie des ligne RIS BF en fonction des différents paliers (modèles)		
Paliers	Centrales (Nb x MWe)	Géométrie RIS BF
CP0	Bugey (2x910 + 2x880)	
CPY	Tricastin (4x915) Gravelines (6x910) Dampierre (4x890) Blayais (4x910) Chinon (4x905) Cruas (4x915) Saint-Laurent B (2x915)	?
P4	Paluel (4x1330) Saint-Alban (2x1335) Flamanville (2x1330)	
P'4	Belleville (2x1310) Cattenom (4x1300) Golfech (2x1310) Nogent (2x1310) Penly (2x1330)	
N4	Chooz (2x1500) Civaux (2x1495)	

Sources: CEA, ANCCLI, HCTISN

Contraintes de soudage

La préparation de surface et le soudage provoque un écrouissage de la Zone affectées thermiquement (ZAT) : c'est un des facteurs influençant la CSC. Un défaut de soudage ou la présence d'une soudure réparée peut contribuer à l'apparition et au développement de fissures. Les contraintes résiduelles de soudage viennent s'ajouter aux contraintes mécaniques.

Chimie du fluide primaire

EDF a réalisé des investigations sur la qualité de l'eau du circuit primaire sur des tranches témoins de chacun des paliers. Aucune pollution (chlorure, fluorure, sulfate) n'a été relevée et le conditionnement chimique (bore, lithium, teneur en hydrogène) a été respecté hormis quelques dépassements ponctuels.

Les experts se sont alors penchés sur la teneur en oxygène dissous (DO) qui, selon l'IRSN, « est un paramètre d'ordre 1 pilotant le risque de CSC des aciers inoxydables » selon le « REX des réacteurs à eau bouillante. Le fluide primaire des REP (réacteurs à eau pressurisée, cas des réacteurs en France) est désaéré en fonctionnement. Néanmoins, des entrées d'oxygène sont possibles. Les principales sources d'entrées d'oxygène dans le CPP :

- Arrêt du réacteur et ouverture du CPP
- Les eaux d'appoints, injectées normalement dans le circuit primaire en cours de fonctionnement » (REA-Eau, REA-bore, alimentation des joints GMPP).

« L'oxygène est majoritairement consommé dans le cœur sous l'effet du rayonnement neutronique et de la radiolyse induite ». Cependant, l'IRSN signale la possibilité d'avoir une « arrivée de fluide non désaéré au niveau des piquages RIS » avec « des valeurs significatives de DO dans les zones concernées par la CSC ». Cela pourrait avoir un « effet sur l'amorçage de fissures ». « En juillet 2022, l'industrie américaine a publié des courbes de vitesse de propagation de fissures de CSC » d'où il ressort que le « DO favorise l'amorçage de fissures dans des matériaux qui n'auraient pas fissuré sans DO ». Conclusion de l'IRSN : « **Il y a un effet aggravant possible de l'oxygène dissous injecté par les eaux d'appoints** » [[ANCCLI, 10/11/22](#)].

Sensibilité des circuits auxiliaires à le CSC

Les circuits RIS et RRA ont été classés par EDF en fonction de leur sensibilité supposée à la corrosion. État des lieux avec EDF en juillet 2022 : « Dans l'état actuel de nos

connaissances, l'analyse des résultats de l'ensemble des expertises confirme le caractère prépondérant de la géométrie des lignes et nous permet de retenir un classement en différentes familles rappelées ci-dessous :

- des lignes peu ou très peu sensibles à l'apparition de la CSC sur les réacteurs de 900 MW (32 réacteurs) et les réacteurs de 1300 MW de type « P4 » (8 réacteurs) ;
- des lignes du circuit RIS des réacteurs de 1300 MW de type « P'4 » (12 réacteurs) et des circuits RIS et RRA des réacteurs N4 (4 réacteurs) sensibles ou fortement sensibles au phénomène de CSC » [EDF, 27/07/22].

Une année plus tard, EDF fait le point lors du webinaire ANCCLI du 4 juillet 2023 : « Les expertises et analyses réalisées permettent, dans l'état actuel de nos connaissances, de classer les lignes selon leur sensibilité au risque d'apparition de défauts de corrosion sous contrainte :

- Lignes fortement sensibles : N4 RIS BF
- Lignes sensibles : N4 RRA aspiration, P'4 RIS BF
- Lignes peu sensibles : P4 RIS BF, CPY RRA aspiration
- Lignes non sensibles : CPY RIS BF, BUG RIS BF et RRA aspiration, P4 RRA (BC et BF), P'4 RRA (BC et BF) » [ANCCLI, 4/07/23].

RIS 900 – Corrosion sous contrainte ou corrosion sans contrôle ?

Penchons-nous avec attention sur les lignes RIS du CPY (900 MWe). L'injection de sécurité, par l'intermédiaire de tuyauterie de diamètre 6", se fait par la bêche PTR via les pompes RIS (BP) ou RCV (HP). On peut injecter en branche froide, c'est le RIS BF ou en branche chaude (RIS BC).

Il y a une troisième possibilité d'injection directement par les accumulateurs RIS sous pression d'azote (dénommé RIS Accu ou AQ) par l'intermédiaire cette fois d'une tuyauterie en 12" ; autour des soudures de ces tuyauteries en 12", des contrôles par sondage ont été réalisés sur quelques tranches et ils n'ont pas révélé de défaut.

Dans les différentes présentations d'EDF sur l'état des lieux de ses installations on trouve des exemples de design des lignes RIS selon les différents paliers (Cf. Tableau page 22). Cependant, les schémas de l'isométrie des lignes RIS BF et RIS AQ 900 présentés par EDF au Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN le 22/10/22) par exemple, montrent seulement des schémas de lignes RIS Accu en 12". Aucun schéma de RIS 900 en 6" n'est présenté comme si EDF n'avait réalisé aucun examen pour lever le doute avant de reclasser ces circuits comme *non sensibles* en 2023 alors qu'elles étaient supposées *peu ou très peu sensibles* en 2022...

A partir de quelles analyses ou expertises ce classement a-t-il été réalisé ? C'est dans un courrier de l'ASN adressé à EDF en mars 2023 que l'on trouve la réponse : « **A ce jour aucune analyse spécifique n'a été réalisée pour évaluer la sensibilité à la corrosion sous contrainte des lignes de diamètre inférieur ou égal à 6 pouces. Vous avez cependant indiqué que l'analyse d'expertises antérieures n'a pas révélé de corrosion sous contrainte** » [ASN, 30/03/23].

Les expertises antérieures sur les circuits RIS n'ont pas pu révéler de CSC car elle n'était pas recherchée... comme le confirme l'Inspecteur Général pour la Sécurité Nucléaire et la

Radioprotection du groupe EDF (Rapport IGSNR 2022) : « **Les contrôles des VD [Visite décennale] n'étaient pas jusqu'à présent destinés à détecter de la CSC mais d'éventuelles fissures de fatigue thermique** » [IGSNR, 2022].

Reprenons le propos de l'ASN sur le RIS des tranches de 900 MWe : « Sur les réacteurs CP0 et CPY, l'injection de sécurité [RIS] haute pression et basse pression est assurée par des lignes de diamètre 6 pouces qui présentent donc un intérêt particulier au regard de la sûreté du réacteur. (...) Vous indiquez qu'une adaptation du procédé de contrôle par ultrason amélioré est en cours pour les tuyauteries de diamètre 6 pouces et devrait être disponible en septembre 2023. Des procédés de contrôle par radiographie et par courant de Foucault sont également en cours de développement pour les tuyauteries de faibles diamètres avec l'objectif d'une disponibilité d'ici fin 2023.

Bien que certains dispositifs puissent être disponibles dès 2023, vous ne prévoyez pas de les déployer avant 2025.

Demande 16 : Achever dans les meilleurs délais le développement des nouveaux moyens de contrôle non destructif.

Intégrer, dans le programme d'investigation prévu d'ici le 31 août 2023, la réalisation de contrôles avant 2025 [ASN, 30/03/23].

Contacté par le GSIEN fin septembre, l'ASN nous a indiqué avoir reçu le nouveau programme d'investigation d'EDF et être en train d'instruire le dossier. Quant à connaître la date et la tranche 900 concernée par le premier contrôle de CSC d'une tuyauterie RIS en 6", l'ASN n'a pas souhaité nous le révéler.

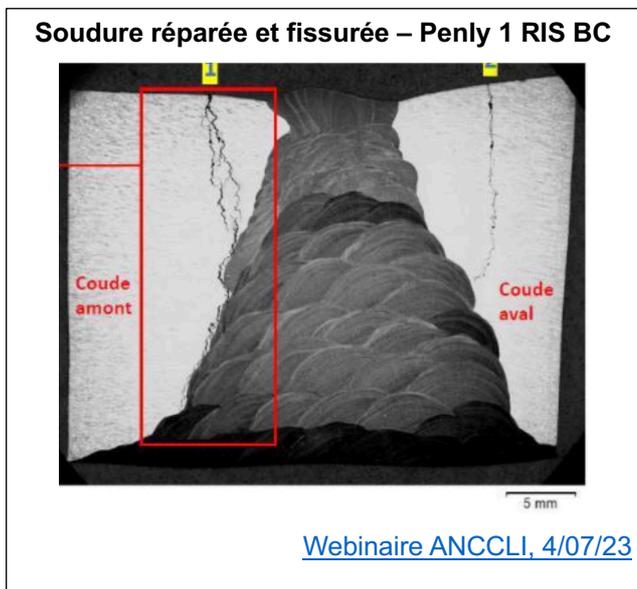
Nous avons d'autre part demandé communication d'un schéma isométrique des lignes en 6" afin de pouvoir évaluer le risque de stratification thermique. L'ASN n'a pas répondu favorablement à notre demande, les plans en sa possession étant la propriété d'EDF.

Depuis la découverte du phénomène de CSC sur les circuits auxiliaires en 2021, EDF a donc fait l'impasse sur les contrôles des circuits d'injection en 6" du RIS 900. Il est vrai que l'entreprise n'est pas en capacité industrielle de contrôler à court terme tous les circuits de sauvegarde concernés par la fissuration par CSC de son parc. Il a fallu définir des priorités et réaliser quelques contrôles par sondage afin de cerner l'ampleur du problème. Mais reporter tous les examens des circuits RIS en 6" à 2025, sans même avoir procédé à des contrôles témoins sur quelques tranches, est un pari hasardeux.

Découvertes de nouvelles fissures

Les lignes RRA BF et RIS BC des paliers P4, P'4 et N4 ne semblaient pas concernées par la CSC car elles sont piquées sur la partie supérieure de la tuyauterie primaire principale empêchant selon EDF la formation d'une zone stratifiée et donc d'un chargement mécanique. Quelques examens, en nombre limité, ont été néanmoins réalisés et ont permis la découverte de la fissure importante (23 mm) découverte sur la branche RIS BC, réputée non sensible à la CSC, de la tranche de Penly 1 début 2023. Détail avec une note d'infos de l'IRSN : « Récemment, sur un circuit d'injection de sécurité connecté à une branche chaude du circuit primaire du réacteur n° 1 de Penly, EDF a détecté une fissure de 155 mm de long et d'une profondeur

maximale de 23 mm, valeur proche de l'épaisseur totale de la tuyauterie (27 mm) (voir ci-dessous). Cette fissure est située dans une zone qui n'est pas susceptible de présenter une stratification thermique. Toutefois, au moment de la construction du réacteur, cette soudure avait été réparée à deux reprises, une première fois pour corriger un défaut d'alignement des tronçons du circuit, une seconde fois pour corriger un défaut de soudure. Cette particularité pourrait expliquer la présence d'une fissure de corrosion sous contrainte aussi profonde ».



« De plus, à l'occasion de contrôles visant à détecter d'éventuelles fissures de corrosion sous contrainte, deux **fissures de fatigue thermique** ont été découvertes, l'une de 57 mm de long pour 12 mm de profondeur affectant le réacteur n° 2 de Penly, l'autre de 165 mm de long pour 4 mm de profondeur affectant le réacteur n° 3 de Cattenom.

La fatigue thermique est un mode d'endommagement d'un matériau métallique résultant de variations de température répétitives, pouvant conduire à l'apparition et à la propagation de fissures. C'est un mode d'endommagement connu des circuits des réacteurs nucléaires. Par exemple, il a conduit à une fuite sur un circuit de refroidissement du réacteur n° 1 de Civaux en 1998, dès la phase de mise en service du réacteur, et à d'autres fissures sur des réacteurs de Dampierre dans les années 1990.

(...)

La morphologie des fissures de fatigue, assez rectilignes, est très différente de celle des fissures de corrosion sous contrainte, moins régulières et parfois ramifiées. Par des analyses en laboratoire, elles sont aisées à distinguer.

(...)

Compte tenu de la détection de nouvelles fissures d'une part sur le réacteur n° 1 de Penly (corrosion sous contrainte « profonde » dans une zone non sensible à la stratification thermique) et d'autre part sur les réacteurs n° 2 de Penly et n° 3 de Cattenom (fatigue thermique), l'ASN a demandé à EDF de revoir sa stratégie de contrôle vis-à-vis de ces deux modes d'endommagement » [\[IRSN, 16/03/23\]](#).

Des fissures attribuées à la fatigue thermique, un mode d'endommagement connu, se sont donc développées sur une ligne RIS BF de Penly 2 et sur une ligne RIS de

Cattenom 3. Elles ont été détectées « à des endroits non attendus » [\[ASN, 11/05/23\]](#)... Ce qui pose question, c'est que « **les fissures de fatigue n'ont pas été découvertes sur les soudures du programme de contrôle périodique, mais grâce aux contrôles supplémentaires visant à rechercher des défauts de corrosion sous contrainte** » [\[IRSN, 16/03/23\]](#). Y aurait-il des trous dans la raquette des contrôles périodiques effectués par l'exploitant ?

Stratégie de contrôle et de longues réparations

« EDF prévoit de contrôler l'ensemble de ses réacteurs d'ici 2025, en priorisant le contrôle de ces zones les plus sensibles des réacteurs N4 et P'4. (...) L'ASN considère que cette stratégie répond à la nécessité de poursuivre les contrôles sur les lignes considérées comme les plus sensibles » [\[ASN, 27/07/22\]](#).

Compléments d'informations avec l'IRSN : « EDF s'est engagé à réaliser un état des lieux du risque de fissuration par CSC des lignes RIS et RRA pour l'ensemble de ses 56 réacteurs en exploitation à l'échéance de fin 2025.

(...)

À ce jour, la fissure de CSC la plus profonde (23 mm, soit environ 85 % de l'épaisseur de la tuyauterie) a été observée aux abords d'une soudure du circuit RIS du réacteur n° 1 de la centrale de Penly. (...) **Il est à noter qu'EDF n'est pas en capacité industrielle de remplacer à court terme l'ensemble des lignes auxiliaires concernées par la fissuration par CSC de son parc.** En outre, le principe d'optimisation et de justification de l'exposition radiologique des travailleurs conduit également à s'interroger sur l'opportunité d'un remplacement systématique d'une ligne auxiliaire comportant une petite indication associée à un défaut considéré comme potentiellement évolutif.

(...)

L'IRSN considère qu'en l'état des connaissances et des incertitudes qui caractérisent le présent dossier, il n'est pas possible de déterminer des valeurs enveloppes de cinétique de propagation de manière indiscutable. À cet égard, les résultats des contrôles en service pour le suivi d'indications permettront d'apporter des éléments quantifiés objectifs ».

Recommandation de l'IRSN : « En cas de maintien en l'état des indications identifiées lors des contrôles effectués au titre du traitement de la corrosion sous contrainte dans les lignes auxiliaires du circuit primaire principal des réacteurs du parc en exploitation, l'IRSN recommande que :

- EDF retienne une valeur de vitesse de propagation de 3 mm par an pour les indications aux abords des soudures réparées de profondeur supérieure ou égale à 5 mm, incertitudes comprises ;

- EDF retienne une valeur de vitesse de propagation de 1 mm par an pour les autres cas de soudures réparées ou non, y compris pour les indications classées en hauteur non mesurable ».

(...)

Dans le cadre du traitement du phénomène de fissuration par corrosion sous contrainte aux abords des soudures des tuyauteries auxiliaires du circuit primaire des réacteurs de son parc électronucléaire, **EDF est amené à proposer le maintien en l'état, pour plusieurs cycles de fonctionnement, de défauts pouvant correspondre à ce mécanisme d'endommagement évolutif.**

(...)

Dans le cadre de sa stratégie de remise en conformité des tuyauteries affectées par la CSC, EDF a fait le choix de remplacer à l'identique l'ensemble des lignes RIS et RRA des réacteurs de 1450 MWe et l'ensemble des lignes RIS des réacteurs de 1300 MWe du palier P'4. Pour l'IRSN, cette approche de remise en conformité est à privilégier autant que possible.

Pour le long terme, l'IRSN considère que ces efforts de recherche des causes profondes, de réparation et de surveillance en exploitation doivent se poursuivre, en particulier afin de disposer en priorité d'un niveau de confiance élevé dans la disponibilité des circuits de sauvegarde RIS de l'ensemble des réacteurs, compte tenu de l'importance de ce circuit pour assurer le refroidissement du cœur et la maîtrise de la réactivité en situation accidentelle » [IRSN, 12/05/23]

Lors du webinaire ANCCLI du 4 juillet 2023, EDF a présenté son « Adaptation du programme d'examens.

Intégration des soudures réparées dans le programme de contrôles :

- Définition, pour les soudures réparées, de catégories basées sur la sévérité de la réparation vis-à-vis de la corrosion sous contrainte.
- Catégorisation des soudures réparées de toutes les lignes RIS et RRA Branche Froide et Branche Chaude.
- Mise en place en mars 2023 d'une stratégie de contrôle des soudures réparées par ordre de priorité.

Transmission du programme de contrôles à l'ASN le 10/03/2023 :

Toutes les soudures réparées les plus sensibles seront contrôlées à fin 2023, excepté 3 soudures qui seront contrôlées au premier trimestre 2024.

90% des soudures réparées toutes catégories confondues seront contrôlées à fin 2024, le reliquat étant contrôlé en 2025 » [Webinaire ANCCLI, 4/07/23].

Suite à la découverte de fissures de plus en plus nombreuses et/ou profondes, l'électricien national s'est vite rendu à l'évidence qu'il lui faudrait engager des travaux de grande ampleur. Il a donc anticipé le remplacement massif de certaines portions de circuit par l'approvisionnement en tuyauteries et coudes de divers diamètres comme indiqué dans sa présentation lors d'une réunion du HCTSISN (Cf. encart Réparations) [HCTSISN, 18/10/22].

Réparations

- Nombre de soudures : 299
- Pièces de Rechange approvisionnées:
 - Tubes 8" : 107m
 - Tubes 10" : 575m
 - Tubes 12" : 338m
 - Coudes 8" : 78
 - Coudes 10" : 548
 - Coudes 12" : 191
 - Bossages : 250

Pour les tranches des paliers les plus récents (P'4 et N4), l'exploitant a décidé de remplacer à l'identique les portions de circuits où de nombreuses fissures ont été découvertes. Certaines de ces tranches n'ont pas fait l'objet de contrôles UTa mais les réparations ont tout de même été effectuées. En juillet 2023, EDF a fait le point sur les chantiers de réparations.

« **Chantiers de remplacement préventif [et curatif...]** :

• **N4 (RIS BF et RRA BC) : chantiers soldés sur tous les réacteurs N4 (CIV1, CIV2, CHZB1, CHZB2)**

• **1300 MW – P'4 (RIS BF) :**

- **Chantiers soldés : PEN1, PEN2, CAT2, CAT3, GOL1, GOL2, NOG2**

• **Chantiers en cours : CAT1, BEL2**

• **Chantiers à venir : BEL1, NOG1, CAT4 »** [Webinaire ANCCLI, 4/07/23].

Dispositions transitoires

Les contrôles des circuits identifiés (RIS et RRA) comme sensibles à la CSC vont s'étaler jusqu'en 2025 selon le planning d'EDF. Les réacteurs *a priori* moins sensibles à la corrosion seront contrôlés au fil des arrêts de tranches à venir. En effet, EDF n'est pas en capacité technique de contrôler tous ses réacteurs en même temps, et surtout, le pays est trop dépendant de l'atome pour stopper tous ses réacteurs. Fatalement, il est probable que dans les années qui viennent des fissures soient détectées sur les tranches laissées actuellement en fonctionnement comme on pourra en détecter par la suite sur les tranches réparées à l'identique. Afin de limiter le risque lié à la présence de fissures sur les circuits de sauvegarde, des dispositions transitoires ont été définies par EDF.

L'IRSN détaille dans son avis n° 2022-00138 les trois « **mesures compensatoires** » mises en application afin de « **détecter de manière anticipée les fuites du circuit primaire** qui seraient générées par une propagation éventuelle de défauts initié par la CSC » sur l'ensemble des tranches. Le GSIEN est avide de découvrir comment on fait pour détecter une fuite avant qu'elle ne se soit produite. Les ingénieurs d'EDF auraient-ils conçu un engin révolutionnaire défiant les lois de la physique ?

Voyons ces fameuses mesures compensatoires :

1 - Le suivi renforcé du bilan de fuites primaires : le circuit primaire est le siège de fuites qui sont quantifiées quotidiennement par l'exploitant. La première disposition ne fait que rajouter « **un seuil correspondant à une variation du débit de fuite** » primaire par rapport au débit mesuré la veille. Le circuit primaire fuit quotidiennement (moyenne 36,8 l/h en 2013 – Source EDF), si le débit augmente à cause d'une « **fuite sur une tuyauterie du circuit RIS ou RRA** », la détection se fera par conséquent *a posteriori*.

2 - Surveillance réalisée par le système détection incendie : « **En cas d'aggravation d'une fissure de CSC sur une tuyauterie du circuit RIS ou RRA conduisant à une fuite de fluide primaire, l'exposition d'un détecteur ou d'une sonde thermostatique du système de détection incendie (JDT) à la vapeur, consécutive à cette fuite de fluide primaire, pourrait générer une alarme en salle de commande** ». Pas plus d'anticipation dans cette mesure que dans la précédente : une alarme avertira l'exploitant en salle de commande uniquement si un détecteur incendie se met en alarme à cause de la vapeur générée par une fuite.

3 - Disposition pour limiter et diminuer les risques d'occurrence d'injection de sécurité intempestive : les Règles générales d'exploitation imposent de réaliser « **des essais périodiques (EP) de certains capteurs intervenant dans un signal** » du système de protection du réacteur. « **Une défaillance fortuite d'un (...) capteur conduirait à un ordre d'injection de sécurité intempestif** » et « **conduirait à un choc thermique** ». En effet, l'injection de sécurité se fait par l'intermédiaire des pompes RIS qui puisent l'eau de refroidissement dans la bache PTR contenant de l'eau froide (et borée) pour l'injecter dans le circuit primaire principal « **dont la température est de l'ordre de 300°C** ». La mesure prévoit donc de « **privilégier la réalisation des**

essais de ces capteurs lorsque la température du circuit primaire est inférieure à 120°C, valeur en deçà de laquelle EDF considère comme faible la sollicitation mécanique d'une éventuelle fissure de CSC » [[IRSN, 06/07/22](#)].

Aucune détection de fuite *anticipée* dans cette disposition, juste une prescription afin de limiter le choc froid en cas d'injection RIS intempestive. Mais en cas de besoin, lors d'un accident par exemple, il faudra bien injecter à chaud. Le choc thermique viendra ajouter des contraintes supplémentaires aux tuyauteries du RIS potentiellement fragilisées par la corrosion sous contrainte.

Vous l'aurez compris, et nous en sommes forts dépités, aucune de ces mesures ne va permettre de détecter de manière anticipée les fuites du circuit primaire. Mais c'est ce qui a été insufflé aux élus de la nation. En effet, le président de l'ASN a indiqué aux parlementaires de l'OPECST que les études « *tendraient à démontrer qu'EDF serait capable de maîtriser et replier le réacteur dans un état sûr* », grâce à la « *détection de fuites avant rupture* » [[Public Sénat, 17/05/22](#)].

Lors du webinaire organisé par l'ANCCLI le 10 novembre 2022, l'IRSN évoquera plus prudemment « *la détection précoce de fuites primaires* » dans le cadre des mesures compensatoires mises en œuvre [[ANCCLI-IRSN, 10/11/22](#)].

La CSC a coûté plus cher en un an que la construction de l'EPR de Flamanville

Avec le surcoût du MWh lié d'une part à la crise de l'énergie liée à la guerre en Ukraine et d'autre part à la production du parc nucléaire historiquement faible, chaque réacteur à l'arrêt coûte un *pognon de dingue* ; l'an dernier il a fallu acheter l'électricité manquante à prix d'or chez nos voisins. Quelques chiffres avec Reporterre : « *Concernant la corrosion sous contrainte, le PDG du groupe a évoqué « un problème industriel inédit à cette échelle pour EDF et à l'échelle du monde industriel » qui a mis hors service les seize réacteurs nucléaires les plus récents — et les plus puissants — du parc ces derniers mois.*

Ces indisponibilités ont contribué à faire plonger la production nucléaire à 279 térawattheures (TWh), son plus bas niveau depuis 1988. Elles ont coûté 29,1 milliards d'euros au groupe, « car les volumes correspondants ont dû être rachetés sur le marché à des prix très élevés », a expliqué le directeur exécutif en charge de la direction financière d'EDF, Xavier Girre » [[Reporterre, 17/02/23](#)].

Devinette - Qui a dit : « *On a un problème de dépendance parce que ce n'est pas bon d'avoir 75 % de notre énergie électrique qui dépend du nucléaire* » [[Marianne, 1/09/22](#)]. Réponse : le Patron... qui a depuis tourné casaque et décidé d'un nouveau programme nucléaire.

Analyse du retour d'expérience de l'exploitation des réacteurs électronucléaires - Année 2021

Avis IRSN n° 2023-00079 - 8 juin 2023

(Extraits des conclusions de l'avis)

L'évaluation par l'IRSN du retour d'expérience de l'exploitation des réacteurs d'EDF de l'année 2021 ne met pas en évidence les améliorations attendues en matière de sûreté et de radioprotection des travailleurs, malgré les plans d'actions engagés par EDF à partir de 2019.

En matière de sûreté, le nombre d'événements significatifs en 2021 est resté stable par rapport à 2020 et se hisse au même niveau qu'en 2019, année pour laquelle ce nombre avait atteint son plus haut niveau. L'examen du retour d'expérience d'exploitation de l'année 2021 met en exergue :

- une hausse significative du non-respect des spécifications techniques d'exploitation depuis 2018, dans un contexte où, de manière générale, les règles générales d'exploitation se sont complexifiées au gré des réexamens périodiques successifs, et où EDF anticipe massivement le déploiement des modifications matérielles, réacteur en production. Le plan d'actions mis en œuvre par EDF depuis 2020 n'a pour le moment pas permis d'infléchir la tendance observée et EDF devrait ainsi envisager de le réviser, afin que la démultiplication des activités et la complexification des référentiels d'exploitation ne constituent pas, dans les années à venir, des facteurs de détérioration de la sûreté ;
- un nombre trop élevé de défaillances de systèmes de sauvegarde, dont une recrudescence d'événements, affectant les groupes électrogènes de secours à moteur Diesel dont les origines sont multiples [Cf. l'Avis d'incident de l'ASN ci-après] ;

(...)

Au terme de son analyse du REX d'exploitation de l'année 2021, l'IRSN estime donc que, dans l'ensemble, le niveau

de sûreté du parc reste mitigé et n'est pas meilleur que l'année précédente, mettant en lumière des points de fragilité déjà connus. EDF reconnaît l'existence de certains de ces points de fragilité, notamment en ce qui concerne les « fondamentaux » de la conduite des installations, et se repose, pour les consolider, sur le programme « START 2025 ». L'IRSN souligne que des attentes fortes pèsent sur ce programme, dont il conviendra d'apprécier l'efficacité dans les années à venir.

Pour ce qui concerne la radioprotection, l'IRSN souligne, concernant l'année 2021, la hausse de la dose collective et de la dose individuelle moyenne, en raison de nombreux reports d'activités de maintenance et d'arrêts de réacteurs de 2020 à 2021. L'IRSN souligne également l'enjeu dosimétrique croissant pour les spécialités professionnelles les plus exposées dans le contexte des activités consécutives à l'affaire CSC.

(...)

En fin d'année 2021, l'émergence du phénomène de CSC des tuyauteries en acier inoxydable a entraîné de premières mises à l'arrêt de réacteurs de 1450 MWe, quelques autres arrêts en 2022 et de nombreux autres en 2023, en particulier pour les réacteurs de 1300 MWe (P'4). Dans ce contexte, EDF a proposé début 2022 une stratégie de contrôle de l'ensemble des réacteurs des différents paliers s'étendant de 2023 à 2025. Ces activités de contrôle

et de réparation présentent un enjeu radiologique élevé et impliquent des délais de réparation longs.

De ce fait, les arrêts de réacteurs se voient prolongés et replanifiés eu égard aux extensions des contrôles et des réparations réalisés. L'affaire CSC inscrit donc dans la durée les difficultés provoquées par les « arrêts longs », notamment les remises en question des périodicités des

opérations de maintenance préventive et des essais périodiques. Cette situation et l'ensemble des conséquences de cet événement singulier, le phénomène de CSC faisant par ailleurs l'objet d'expertises dédiées, seront examinées à l'occasion de la prochaine analyse annuelle du retour d'expérience d'exploitation.

[IRSN, 8/06/23](#)

Défauts de résistance au séisme de matériels des groupes électrogènes de secours à moteur diesel de réacteurs nucléaires d'EDF **ASN - Avis d'incident - 28/04/2023**

Le 24 mars 2023, EDF a déclaré à l'ASN des nouveaux défauts de résistance au séisme des sources électriques de ses centrales nucléaires. Ces défauts ont été détectés lors de la réalisation de contrôles en 2022 et au début de l'année 2023, faisant suite à la décision de l'ASN du 19 février 2019 prescrivant une vérification de la conformité de ces systèmes. Les contrôles menés depuis 2019 avaient déjà permis de détecter plusieurs écarts. Les contrôles sont maintenant achevés sur l'ensemble des réacteurs nucléaires.

Ces derniers contrôles ont mis en évidence des défauts sur quatre réacteurs, dont deux qui n'étaient jusqu'alors pas concernés, portant à 41 le nombre total de réacteurs affectés.

EDF avait déclaré fin 2019, début 2020 et à l'été 2022 un événement significatif pour la sûreté concernant la détection de défauts de résistance au séisme de certains matériels contribuant au fonctionnement des groupes électrogènes de secours à moteur diesel (diesels de secours) de plusieurs de ses réacteurs. L'ASN avait classé cet événement aux niveaux 1 ou 2 sur l'échelle INES (échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques, graduée de 0 à 7 par ordre croissant de gravité) selon le réacteur concerné, en fonction de la nature des défauts rencontrés et du nombre de diesels de secours affectés.

Les nouveaux défauts détectés concernent les diesels de secours et portent sur :

- des mauvais montages de raccords en élastomère de tuyauteries ;
- de la corrosion sur certaines portions de tuyauterie ou de leurs supports.

Les diesels de secours assurent de façon redondante l'alimentation électrique de certains systèmes de sûreté en cas de défaillance des alimentations électriques externes. En cas de séisme conduisant à une perte des alimentations électriques externes, le fonctionnement des diesels de

secours pouvait ne plus être assuré en raison de ces défauts.

Cet événement n'a pas eu de conséquence sur les personnes ou l'environnement.

L'événement est classé au niveau 1 de l'échelle INES pour deux réacteurs supplémentaires, compte tenu du fait que les défauts détectés n'auraient pas conduit à la perte des deux diesels de secours en cas de séisme. Il s'agit du réacteur 4 de la centrale nucléaire de Cattenom et du réacteur 1 de la centrale nucléaire de Golfech.

Par ailleurs, les nouveaux défauts détectés sur les deux réacteurs de la centrale nucléaire de Saint-Alban n'ont pas fait évoluer les niveaux sur l'échelle INES précédemment déclarés : niveau 2 pour le réacteur 1 et niveau 1 pour le réacteur 2.

Au final, cet événement est classé :

- au niveau 1 de l'échelle INES pour les réacteurs suivants : réacteur 2 de Belleville, réacteurs 1, 2, 3 et 4 du Blayais, réacteurs 1, 3 et 4 de Cattenom, réacteur 1 de Chinon, réacteurs 1 et 2 de Chooz, réacteur 1 de Civaux, réacteurs 1 et 2 de Cruas, réacteurs 1, 2 et 3 de Dampierre-en-Burly, réacteur 1 de Golfech, réacteurs 1 et 2 de Gravelines, réacteur 2 de Nogent-sur-Seine, réacteur 2 de Saint-Alban et réacteur 1 de Saint-Laurent ;
- au niveau 2 de l'échelle INES pour les réacteurs suivants : réacteur 1 de Belleville, réacteur 2 de Cattenom, réacteurs 2 et 4 de Chinon, réacteur 2 de Civaux, réacteurs 3 et 4 de Cruas, réacteurs 1 et 2 de Flamanville, réacteur 2 de Golfech, réacteur 1 de Nogent-sur-Seine, réacteurs 1, 2, 3 et 4 de Paluel, réacteurs 1 et 2 de Penly et réacteur 1 de Saint-Alban.

EDF a procédé aux réparations pour l'ensemble des défauts constatés.

[\[ASN, 28/04/2023\]](#)

Brèves

Les temps sont durs même pour AIEA (Budget 2021 : 384 M€)

« L'AIEA sera à court d'argent d'ici quelques semaines, prévient M. Grossi »

« Les États membres de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) doivent désormais plus de 200 millions d'euros (214 millions de dollars) et le directeur général, Rafael Mariano Grossi, a prévenu que si les paiements

n'étaient pas effectués, "nous serions à court d'argent dans un mois... Je ne pourrai pas payer les salaires ni l'éclairage... nous serons à l'arrêt" » [\[AIEA, 12/09/23\]](#).

Point sur la centrale ukrainienne de Zaporijjia

La destruction du barrage de Kakhovka début juin 2023 a provoqué la vidange de son réservoir interdisant de fait tout redémarrage de la production d'électricité par manque d'eau de refroidissement.

Les six réacteurs sont arrêtés depuis des mois ce qui limite la quantité d'eau nécessaire à leur refroidissement qui est assuré par des « bassins fontaines » équipés de sprinklers d'aspersion qui fonctionnent en circuit fermé.

En secours, il y a le bassin de rétention qui est isolé du réservoir (vide) de Kakhovka et qui permet d'alimenter les bassins fontaines. Un appoint d'eau pompée directement dans le Dniepr est également possible.

Toutefois, un réacteur a été maintenu en « arrêt à chaud » et, selon World Nuclear News, un second réacteur « est en train d'être mis à l'arrêt à chaud afin de fournir de l'eau chaude et du chauffage urbain au cours de l'hiver prochain. (...)

L'AIEA a vivement encouragé la centrale à trouver une autre source externe de production de vapeur pour couvrir ses besoins et permettre à tous les réacteurs d'être maintenus en état d'arrêt à froid, en partie parce que la destruction du

barrage de Kakhovka, il y a quatre mois, a limité l'approvisionnement du site en eau de refroidissement.

Les experts de l'AIEA présents sur le site avaient été informés que la centrale avait entamé un processus d'achat d'un générateur de vapeur externe en envoyant des exigences techniques à des vendeurs potentiels. Cependant, l'installation de cet équipement n'est pas prévue avant le début de l'année 2024, et peut-être pas avant la fin de la saison de chauffage » [WNN, 16/10/23].

Arrêt à chaud

Dans cet état, le réacteur est à puissance nulle, cœur sous-critique, la puissance résiduelle est évacuée par les générateurs de vapeur.

Selon les données transmises par un ingénieur de la centrale de Zaporijjia à Bruno Chareyron de la CriiRad, les paramètres du circuit primaire d'un réacteur VVER 1000 présentent une température de 275°C pour une pression d'environ 160 bar en arrêt chaud, pour 100°C et 5 bar en arrêt à froid (Source, [Criirad, 4/08/23](#)).



Vue aérienne de la centrale de Zaporijjia



Bassins fontaines

Source, [IRSN](#)

Illustration des propos de l'ancien boss d'EDF sur une « Industrie de cycle très long » (Henri Proglio)

A la suite d'une enquête de la Cour des comptes sur l'arrêt et le démantèlement des installations nucléaires civiles, le Sénat a publié un rapport d'information en 2020. Nous en avons tiré deux courts extraits sur le démantèlement de la petite centrale PWR (REP de 305 MWe) de Chooz A qui a fonctionné de 1967 à 1991.

« Le réacteur de Chooz-A, la vitrine d'EDF pour le démantèlement futur du parc REP

Les premières opérations du démantèlement partiel ont été engagées en 1999 et se sont achevées fin 2004. Elles ont consisté à évacuer le combustible, vidanger les circuits, démanteler et démolir la salle des machines et la station de pompage, démonter, assainir et démolir les bâtiments nucléaires situés à l'extérieur de la colline. EDF a ensuite été autorisé à procéder aux opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement complet de son réacteur et de l'installation associée par le décret du 27 septembre 2007.

Initialement, le démantèlement complet prévoyait trois grandes étapes : la déconstruction, de 2007 à 2016, qui s'achève lorsque tous les colis de déchets radioactifs sont évacués, la surveillance des drains de rocher des cavernes d'implantation du réacteur (eaux ruisselantes), de 2016 à 2020 et la finalisation de la déconstruction et la **réhabilitation du site, de 2020 à 2022** ».

Mais il y a eu un sacré glissement du planning...

« Malgré un chantier présenté comme exemplaire, le calendrier a pris quelques années [sic] de retard : le démantèlement sous eau de la cuve du réacteur, dont la fin

était initialement prévue en 2016, devrait désormais s'achever en 2021. La fin du projet de démantèlement-assainissement est prévue pour 2026. Après une phase de

surveillance des eaux d'infiltration, la démolition complète et la **réhabilitation devraient intervenir à l'horizon 2045** » [[Rapport n° 371, mars 2020](#)], peut-être.

Pour le Conseil d'État, la poubelle nucléaire de Cigéo est « d'utilité publique »

Reporterre – 4/12/2023

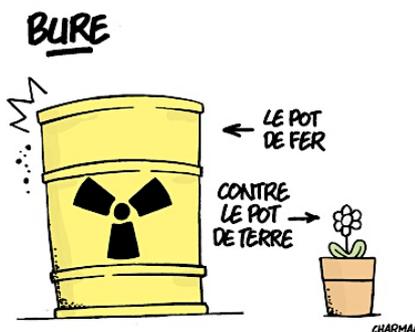
Nouveau revers dans la lutte contre Cigéo : le 1er décembre, le Conseil d'État a rejeté le recours de trente-deux organisations contre la déclaration d'utilité publique (DUP) du mégaprojet d'enfouissement de déchets nucléaires. « Une décision peu compréhensible », selon France Nature Environnement (FNE), l'une des associations requérantes.

Pour rappel, ce projet contesté prévoit près de Bure, dans la Meuse, l'enfouissement à 500 mètres de profondeur des déchets les plus radioactifs issus des centrales nucléaires françaises. Le 7 juillet 2022, cette poubelle nucléaire était reconnue d'utilité publique : une déclaration qui permettait d'accélérer la mise en œuvre de l'installation, notamment l'acquisition de quelque 3 500 hectares de terres. Cette DUP avait été attaquée en septembre 2022, au vu « des nombreuses insuffisances de l'étude d'impact » du projet.

Le pavé de 200 pages rédigé par les associations — montrant entre autres des lacunes en matière d'impacts sur l'eau et sur la biodiversité ou sur le coût de ce projet — n'a pas convaincu le Conseil d'État. « Il estime que les mesures

destinées à éviter les impacts sur l'environnement et la santé humaine sont suffisantes et que l'exigence de réversibilité du stockage est respectée », peut-on lire sur le site du Palais-Royal.

« Nous ne comprenons pas comment un tel projet a ainsi pu obtenir une DUP alors qu'il manque autant d'informations précises "de base", ont noté les associations dans un communiqué commun, adossé à une analyse critique de la décision des juges. Il est encore temps de prendre la mesure de l'ampleur d'un tel projet, unique par sa dimension, sa dangerosité, sa longévité et à se rendre à l'évidence qu'il est impossible de maîtriser les risques inhérents. »



Les associations se sont dites « déterminées » à poursuivre leur combat, malgré la décision du Conseil d'État. Il faut encore que le projet passe les étapes de l'autorisation de création, dont le dossier a été déposé en janvier dernier. Les anti-Cigéo continuent ainsi de demander l'arrêt du projet.

[[Reporterre, 4/12/23](#)]

Nous avons reçu une avalanche de courriers de critiques de la bande dessinée qui a fait un tabac médiatique, alors, à la demande générale :

« Le Monde sans fin » : lettre ouverte à Jean-Marc Jancovici

Pierre-Guy Théron, ancien Directeur des Nouvelles Technologies à EDF renouvelables - 15 mai 2023

Cher Jean-Marc,

J'ai terminé de lire « Le Monde sans fin », qui reflète finalement tes idées depuis au moins la dernière décennie. Je ne vais pas tourner autour du Pot, c'est un « brulot » anti-énergies renouvelables, et j'ai du mal à comprendre « pourquoi tant de haine », ou même pire « tant de condescendance ». Si j'essaie de condenser mon objection principale en quelques mots : tu nies totalement ou presque les progrès considérables effectués par les convertisseurs d'énergies renouvelables ces 20 dernières années, et tu ignores les progrès à venir, tant sur les énergies renouvelables que sur les procédés consommateurs d'énergie.

Comme nous avons grosso modo le même âge, j'ai parfois l'impression que tu as du mal à te détacher de ce que nous avons appris lorsque nous étions étudiants : mon Professeur de Physique des Solides nous enseignait « qu'une cellule photovoltaïque délivrait moins d'énergie sur sa durée de vie que ce qu'il fallait pour la produire », et à

l'époque, c'était exact. Aujourd'hui, c'est totalement faux, et de loin. Première objection factuelle, sans entrer dans des querelles d'expert, ton tableau page 161 des « ERDEI (Energy Returned on Energy Invested) » est faux : je ne sais pas où tu as pris tes chiffres, et j'imagine qu'ils sont anciens et donc obsolètes. L'ERDEI de l'éolien est plus proche de 40, voire 50 ; un peu plus de 20 pour le photovoltaïque que tu ne cites pas. Pour des « ENR+stockage », cela dépend totalement du volume de stockage considéré : s'il s'agit de rendre une turbine éolienne « totalement dispatchable 24h/24, 7j/7j », ton chiffre est peut-être juste, mais là aussi, il nie l'optimisation d'un système massivement constitué d'électricité d'origine renouvelable : on peut mutualiser les productions de plusieurs centrales, ce qui permet de réduire le besoin en stockage. Mais qui suis-je pour oser contester tes affirmations ? Disons que j'ai fini ma carrière professionnelle d'ingénieur EDF, que j'ai passé grosso modo la moitié de cette carrière au développement des énergies renouvelables et l'autre moitié à servir « le système existant », dont bien sûr le nucléaire.

Certes, tu pourras objecter que je suis « conflicté », mais ces progrès fulgurant des énergies renouvelables, je les ai vécus, et c'est une sacrée aventure, en fait une véritable « révolution ». Cette révolution, c'est d'abord celle du solaire photovoltaïque : en 20 ans, son coût moyen annuel de production est passé du moyen de production d'électricité le plus onéreux à celui le moins cher dans de très nombreux pays. Tu en parles peu, et je pense que tu as tort : ne sois pas vexé de ne pas avoir anticipé cette baisse massive de coût, en fait, personne ne l'avait anticipée Certes, le solaire photovoltaïque a deux inconvénients majeurs : il ne produit pas la nuit et peu par mauvais temps, il demande des espaces importants, considérablement plus élevés que le nucléaire. Vis-à-vis du premier, tu ignores une autre révolution, en marche celle-là, celle du stockage par batteries, initiée grâce au véhicule électrique. Elle est encore incomplète : il faut trouver des solutions de stockage aussi massives que le stockage hydraulique, et bien sûr appeler au maximum ces dernières. Dans les deux cas, des solutions existent, même si elles ne sont pas totalement satisfaisantes, comme l'hydrogène qui implique une déperdition d'énergie de 70% lors de l'opération de « stockage/déstockage ». Vis-à-vis du deuxième, il émerge une solution « technico-sociaux-économique » élégante, même si elle n'est pas encore totalement déployée : la coexistence d'activités agricoles et d'activités de production d'électricité d'origine photovoltaïque, maintenant le rendement agricole à 100%, voire un peu plus. Cette option est 1. Théoriquement possible, 2. Commence à être mis en œuvre. Si elle peut se déployer, elle repousse très loin les limites d'implantation du solaire photovoltaïque. Toujours dans la même ligne, tu n'identifies pas vraiment une troisième révolution : celle de l'éolien en mer. Il s'agit là d'une façon de produire de grandes quantités d'électricité décarbonée, qui a connu un saut d'industrialisation, permettant de réduire ses coûts considérablement. Ces trois révolutions additionnées permettent d'envisager des mix énergétiques massivement constitués d'énergies renouvelables, y compris en France, comme le montre d'ailleurs l'excellent rapport produit par RTE, y compris pour des scénarios très « nucléarisés ».

Tout cela montre que la nouvelle ère renouvelable n'a rien d'un retour à une « ère renouvelable » ancienne, comme tu le décris de façon « un rien » biaisée : étant par nature optimiste, j'espère qu'un jour tu t'appliqueras l'humilité que tu préconises en page 151 vis-à-vis des « anti-nucléaires » allemands. Les turbines éoliennes terrestres, autre solutions industrielles et matures, n'ont pas grand-chose à voir avec les moulins à vent que tu évoques, ne serait-ce que parce qu'ils produisent de l'électricité, pas de la force mécanique. Pour toutes ces énergies, l'application de tes ratios très pédagogiques entre l'énergie fournie par une machine industrielle et l'énergie fournie par un humain classe très clairement les énergies renouvelables dans l'ère moderne, ce que tu ne signales nulle part. Toi qui aimes manipuler les ordres de grandeur fondamentaux, tu oublies également un avantage de l'éolien et du solaire photovoltaïque par rapport aux énergies fossiles et nucléaire : elles ne sont pas soumises au rendement de Carnot pour produire de l'électricité, parce qu'elles ne nécessitent pas la conversion d'une énergie thermique produite dans une chaudière en énergie électrique. Cela permet tout de même de gagner un facteur 3 dans la chaîne de rendement. J'y vois d'ailleurs la raison pour laquelle la

biomasse électrogène, soumise elle au rendement de Carnot, n'a pas réellement débouché contrairement à l'éolien et le solaire.

Tu évoques le besoin accru en matériaux pour les énergies renouvelables par rapport au moyens centralisés. Là-dessus, je ne peux qu'acquiescer globalement, même si des substitutions sont possibles : par exemple, l'utilisation du cobalt dans les batteries peut être évité assez facilement, il sera plus difficile de se passer du lithium, mais pas impossible, les aimants aux terres rares peuvent être évités dans l'éolien etc. ... De nouveau, tes ordres de grandeur quand ils existent me semblent biaisés. Je m'en tiendrais de nouveau au rapport RTE : 30% de cuivre consommé en plus dans les scénarios « très ENR » versus les scénarios « très nucléaire ». C'est significatif, mais pas non plus totalement inatteignable. Bien sûr, cela suppose que le secteur minier ne soit pas banni, ce qui est un autre débat. Donc, là encore, rien de réellement impossible avec un minimum de volonté.

Comme dans un miroir, tu exaltes la solution nucléaire, de façon même exclusive. J'ai eu le grand honneur d'avoir des « patrons » venus du nucléaire au début de ma carrière d'ingénieur EDF. C'était la génération qui mettait en service 6 tranches nucléaires par an, qui ont fonctionné plus qu'honorablement : ces « patrons » m'ont énormément appris, et j'ai appliqué beaucoup de leurs leçons dans le domaine du renouvelable. A ce titre, j'ai été très souvent agacé par les jugements sans nuance d'un milieu « renouvelable » assez anti-nucléaire, c'est vrai. Je constate malheureusement que tu entres totalement dans ce jeu de « l'un contre l'autre », et que tu oublies quelques angles morts du nucléaire. D'abord, nulle part tu n'indiques le chemin de croix que continue à constituer l'EPR. En 20 ans, l'industrie n'a pu en raccorder que trois dans le Monde, et pas en France. Une conséquence directe de ce qu'il faut bien appeler un échec, c'est que les prochaines tranches viendront en France au plus tôt en 2035 : tu n'indiques nulle part ce que l'on fera d'ici là. Tu occultes par ailleurs le fait que le nucléaire est loin d'être accessible partout. Plus choquant, tu minimises les accidents nucléaires de Tchernobyl et Fukushima, en parlant peu du dernier, en attribuant le premier à la gabegie soviétique, en minimisant le nombre de victimes, voire même en présentant l'accident de Tchernobyl comme finalement favorable à la biodiversité. Enfin, tu affirmes une durée de vie de 60 ans pour le nucléaire : en France, elle n'est acquise que pour 50 ans, même si des dossiers sont en cours pour atteindre 60 ans, ce que tout le monde espère. Il est vrai que des centrales américaines ont été qualifiées pour 60 ans, mais la mauvaise nouvelle récente des « corrosion sous contrainte » en France doit inciter à la prudence : en matière de vieillissement des équipements, il y a ce qu'on sait, il y a ce qu'on ne sait pas, et pire « ce qu'on croyait savoir et qu'en fait on ne savait pas ». Ces points de prudence sont particulièrement nécessaires dans le nucléaire, et je trouve donc ta profession de foi excessive, car elle affaiblit la vigilance vis-à-vis du risque d'accident nucléaire : je suis convaincu que la France n'a pas eu d'accident supérieurs au degré 2 de l'échelle de gravité du fait d'une vigilance exigeante et même polémique. Ni l'URSS, ni même le Japon n'avaient ce degré d'exigence et ils l'ont payé cher.

Tout ceci nous ramène au vieux dicton de bon sens que « ne pas mettre ses œufs dans le même panier » relève de la

bonne politique. Un peu plus d'énergies renouvelables pendant la crise Ukrainienne, doublée de la crise des « corrosions sous contrainte » dans le nucléaire n'auraient pas été de refus. Au passage d'ailleurs, tu ne pouvais pas savoir que les subventions cumulées aux énergies renouvelables mentionnées en page 174 sont en bonne voie d'être compensées par les gains publics effectués pendant la crise Ukrainienne, ce qui justifie a posteriori l'investissement. Tu rejettes la combinaison énergies renouvelables + nucléaire au motif que les centrales nucléaires ne seront pas capables de suivre les fluctuations des renouvelables. Là aussi, c'est une négation du progrès ! Il existe des moyens d'optimiser des combinaisons différents type d'énergies renouvelables (éolien et solaire) – nucléaire – hydraulique – stockage par batteries : là-dessus, les moyens digitaux désormais à disposition nous aident bien. Je te rappelle d'ailleurs que la transition d'un parc français « massivement hydraulique + thermique à flamme », vers un Parc « massivement nucléaire » n'a pas été simple du point de vue de l'opération du système électrique : il a fallu s'adapter et on s'est adapté, au lieu de « lever les bras au ciel ».

Bien sûr, j'adhère totalement à ce qui constitue tout de même ta thèse centrale, à savoir la rareté de l'énergie et la nécessité de s'y adapter. Je comprends totalement que tu puisses craindre que les énergies renouvelables soient comprises comme un « miracle » permettant de continuer l'orgie de consommation d'énergie que nous connaissons actuellement, et qui a peine à se ralentir au niveau mondial. Je suis bien conscient, et le rapport RTE le montre bien, que des mix énergétiques massivement « énergies renouvelables » ne peuvent se concevoir qu'avec une baisse très significative des consommations : les énergies renouvelables, énergies de flux par définition, ne peuvent guère égaler les énergies de stock en termes de densité d'énergie immédiatement disponibles. J'admets que cette baisse doit être suffisamment significative pour impliquer beaucoup plus qu'une simple amélioration technique de

l'efficacité des procédés. Malgré tout, pourquoi se priver de ce qui au moins permet de réduire la peine, voire d'éviter le chaos généralisé ? Car si je comprends bien ta thèse, ceux qui n'auront pas de nucléaire seront voués à revenir au 18ème siècle ? Nous sommes d'accord sur le besoin massif de sources d'électricité décarbonée, et d'accord sur le fait qu'il n'y en aura pas assez au vu de notre rythme de consommation actuel : dès lors, pourquoi se priver de l'un d'entre eux ? Bien plus, tu ne mentionnes guère les progrès technologiques possible dans les procédés industriels ou les services pour les rendre moins émetteurs de CO2, et tu pointes volontiers le doigt sur des solutions sans grand avenir : je partage largement tes doutes sur l'avion solaire, mais tu aurais pu mentionner les possibilités offertes par le e-kérosène, issu de la réaction de l'hydrogène sur du CO2. Certes, cette solution demande « encore plus » d'électricité décarbonée ; raison de plus pour n'en bannir aucun vecteur.

Au final, pourquoi écrire ces lignes ? Pourquoi ne pas « laisser dire » et « continuer à faire » ; plus moi, mais les jeunes collègues que j'ai quittés récemment et qui, crois-moi, « se marrent » autant que je me suis « marré » dans cette aventure assez unique pour un ingénieur un tant soit peu « bâtisseur » ? Tout simplement pour une modeste contribution à éviter la « prophétie auto-réalisatrice ». Le développement technologique d'un système énergétique soutenable, quel que soit son pourcentage de nucléaire ou d'énergies renouvelables demande beaucoup d'opiniâtreté, beaucoup d'obstacles à surmonter, beaucoup de volonté, bref beaucoup de mobilisation. D'une certaine façon, les acteurs doivent « ignorer que c'est impossible, et donc le faire » : c'est ce qui s'est passé avec les trois révolutions évoquées plus haut. Ce sera nettement plus difficile s'ils entendent de façon incessante qu'ils perdent leur temps...

Bien à toi

[\[linkedin, 15/05/2023\]](#)

NUMEROS DEJA PARUS : <https://www.gazettenucleaire.org/>



La Gazette Nucléaire – Publication trimestrielle
2 rue François Villon – 91400 ORSAY
Membres fondateurs : Monique et Raymond Sené
Responsable de publication : Marc Denis
Responsable de rédaction : Michel Brun
Dépôt légal : à date de parution
ISSN 0153-7431
Imprimerie : Eurotimbre - 9 rue Claude Tillier - 75012 PARIS



Bulletin d'Adhésion

(Pour les abonnements, voir au verso)

Pour adhérer au GSIEN, nous écrire à Orsay ou nous contacter à contact@gazettenucleaire.org

Je souhaite adhérer au GSIEN : oui non

Compétences ou centre d'intérêt :

Commande des exemplaires de la Gazette nucléaire, écrire à la même adresse mail.
Les n° 1 à 36 sont épuisés ainsi que le n° 117/118.

Le GSIEN est une association loi 1901 qui a été créée en 1975, suite à l'appel des 400 de février 1975, appel de

scientifiques dont 200 physiciens nucléaires. Cet appel "A propos du programme nucléaire français" se concluait sur les phrases suivantes : "Nous pensons que la politique actuellement menée ne tient compte ni des vrais intérêts de la population ni de ceux des générations futures, et qu'elle qualifie de scientifique un choix politique. Il faut qu'un vrai débat s'instaure et non ce semblant de consultation fait dans la précipitation. Nous appelons la population à refuser l'installation de ces centrales tant qu'elle n'aura pas une claire conscience des risques et des conséquences. Nous appelons les scientifiques (chercheurs, ingénieurs, médecins, professeurs) à soutenir cet appel et à contribuer, par tous les moyens, à éclairer l'opinion."

SES ACTIVITÉS : Alors que les nombreux dysfonctionnements dans la construction des réacteurs tels que les déboires des EPR actuellement en constructions, montrent l'**absence de mémoire des industriels du nucléaire, depuis 1976, le GSIEN suit et surveille cette industrie dangereuse depuis plus de 40 ans sans discontinuer.** Composé de scientifiques, d'experts reconnus, de travailleurs du nucléaire et de militants, le Groupe s'est doté d'un journal "**La Gazette Nucléaire**" qui a publié près de 300 numéros et près de 200 dossiers thématiques et édité plusieurs livres. De Three Mile Island (1979) en passant par Tchernobyl (1986) et Fukushima (2011), le GSIEN suit constamment l'actualité de l'industrie nucléaire et intervient régulièrement dans les organismes officiels où il est représenté. Il répond aux nombreuses demandes du public mais aussi des enseignants, journalistes et associations écologistes. Le GSIEN est en particulier engagé dans l'Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information (ANCCLI) et participe à son Comité Scientifique. Il travaille aussi directement avec les Commissions Locales.

LE CONTEXTE ACTUEL : Alors que chaque jour apporte son lot de révélations inquiétantes sur le fonctionnement du parc nucléaire, que le risque majeur n'est plus une vue de l'esprit, que le parc vieillit, que les rejets radioactifs continuent, que le débat sur la transition énergétique en France et ailleurs est relancé, que la capacité technique de construire un nouveau réacteur n'est pas démontrée (déboires de l'EPR de Flamanville), pas plus que celle de mettre en œuvre une « gestion sûre » des déchets les plus dangereux, la mise en doute de la validité technico-économique d'un renouvellement du parc nucléaire est de plus en plus prégnante ! Fromage et dessert : Que dire des sites qui restent souillés (mines, usines, sites d'essais militaires...) sans qu'une proposition sérieuse de remise en état soit envisagée ou encore du démantèlement qui reste au stade des balbutiements y compris sur l'estimation des fonds à provisionner ?

Plus que jamais, **l'existence d'une expertise scientifique indépendante est nécessaire pour informer la population, alerter les acteurs de la filière et interpeller le pouvoir politique.** Dans ce contexte, le GSIEN doit poursuivre et renforcer son activité grâce au soutien et à la participation d'un plus grand nombre de membres de la communauté scientifique, de chercheurs de toutes disciplines et de militants de terrain. **Après 45 ans d'expertise "pluraliste", l'ambition du GSIEN est de permettre au plus grand nombre de s'approprier les connaissances accumulées, de renforcer sa capacité d'intervention dans le débat public et d'assurer l'enrichissement et la relève de cette expertise pluraliste.**

SOUTENIR LE GSIEN : C'EST IMPORTANT !

<https://gazettenucleaire.org/>

Bulletin d'abonnement (adhésion, voir au dos)

À découper et à renvoyer avec le titre de paiement (CCP ou chèque bancaire) à l'ordre du **GSIEN** :
GSIEN – 2 Allées François Villon – 91400 ORSAY

Nom : (en majuscules)

Prénom :

Adresse :

Code Postal :

Ville :

Téléphone :

Email :

Je m'abonne à la Gazette Nucléaire :

oui

non

(Pour un an : France : 24 € - Étranger : 30 € - Soutien : 30 € ou plus)

