

Une analyse sociotechnique du programme français de réacteurs à neutrons rapides : les formes successives de l'évaluation⁽¹⁾

Par Claire LE RENARD ⁽²⁾ ⁽³⁾

EDF R&D ; LinX-SHS, École polytechnique, Université Paris-Saclay ; Université Paris-Est, LISIS, CNRS, ESIEE-Paris, INRA, UPEM

Issu d'une recherche rétrospective sur le programme nucléaire à neutrons rapides français, cet article vise à mettre en évidence, avec des apports méthodologiques de la sociologie des sciences et des techniques, la dynamique de l'évaluation des réacteurs démonstrateurs. Ceux-ci ont pour finalité de démontrer la faisabilité (comportant la sûreté et la viabilité technique et économique) de cette technologie ou « filière », porteuse de la promesse d'une source d'énergie potentiellement inépuisable pour l'avenir. Jusqu'au milieu des années 1970, le besoin d'une telle filière était vu comme urgent et la priorité était d'en prouver la faisabilité « technique » grâce à des réacteurs de démonstration. Mais après le milieu des années 1970, l'évaluation des projets de réacteurs à neutrons rapides cherche à en établir plus largement la viabilité technique et économique, ainsi que la garantie de sûreté. L'analyse du cas de Superphénix montre la difficulté de tenir ensemble les trois éléments de l'évaluation dans un contexte changeant, où les poids respectifs des critères évoluent de manière dynamique : elle appelle à questionner le cahier des charges implicite des démonstrateurs.

Introduction : qualifier un grand projet technologique

La technologie des réacteurs nucléaires à neutrons rapides (RNR) au sodium a été développée dès le lendemain de la Deuxième guerre mondiale, avec des prototypes de tailles croissantes, et ce dans différents pays industrialisés [1]. Ces pays considéraient alors que tout programme nucléaire viable devait logiquement aboutir à un système nucléaire à l'équilibre comprenant des RNR et des usines de retraitement. En effet, grâce à la « surgénération », cette filière offre la perspective d'une énergie quasi inépuisable en utilisant le potentiel énergétique de l'uranium dans des proportions supérieures de 50 à 100 fois à ce permettent les réacteurs à eau (qui constituent aujourd'hui la majorité du parc mondial).

La surgénération du combustible est rendue possible par des neutrons en régime « rapide », ce qui suppose d'utiliser un métal liquide comme fluide caloporteur. Le sodium a été retenu pour sa forte conductivité

thermique. Il présente néanmoins une réactivité forte avec l'eau et l'oxygène. On désigne souvent cette filière par le raccourci « filière rapide » ou par référence à sa potentialité « surgénératrice ».

⁽¹⁾ Cet article est une version retravaillée d'un article écrit à l'origine pour la conférence « FR 13/ International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles » organisée sous l'égide de l'AIEA, Paris, 4-7 mars 2013.

⁽²⁾ Les propos tenus dans cet article n'engagent que son auteur.

⁽³⁾ L'auteur tient à remercier ici pour leurs relectures Arthur Jobert, chercheur à EDF R&D, avec qui cette recherche a été réalisée, ainsi que Danièle Verwaerde, Jean-Michel Delbecq et Jean-François Sauvage, alors chefs de projet à EDF, pour le soutien qu'ils ont apporté à cette démarche de recherche « socio-technique ». Que les relecteurs anonymes soient remerciés pour leurs commentaires constructifs. Enfin, je suis reconnaissante vis-à-vis de toutes les personnes interviewées pour avoir accepté de partager leurs souvenirs, leurs témoignages et leurs analyses, parfois critiques, du développement de la technologie des RNR en France, ainsi que leurs archives documentaires personnelles.

L'histoire du développement de cette filière n'a rien de linéaire : selon les moments et selon les pays, se sont succédé des phases d'accélération, de ralentissement, d'arrêt ou de renouveau. En France, afin de tirer les leçons de ce passé, des démarches de « retour d'expérience » consignent les enseignements des choix techniques effectués pour les réacteurs précédents, allant des concepts les plus globaux aux fines nuances d'aciers spéciaux ; mais l'histoire du développement de la technologie des réacteurs rapides au sodium déborde celle des objets techniques. L'adoption de la perspective de la sociologie des sciences et des techniques permet d'apporter des éclairages nouveaux en combinant ces différentes dimensions.

Parmi les enseignements de cette recherche, cet article se focalisera sur le rôle crucial de l'évaluation dans l'explication des phases d'accélération ou de ralentissement du développement des projets. L'évaluation se comprend ici dans le sens très large d'un jugement porté sur la technologie, qui permet de la qualifier sous les angles technique, économique ou de la sûreté. Résultat de ces évaluations, chaque décision apparemment technique, comme celles de construire un prototype, de mener des travaux d'amélioration de la sûreté ou de recalibrer le projet, est en fait la concrétisation des discours qui qualifient le projet.

Après avoir exposé les conditions et l'angle d'attaque de notre recherche, nous proposerons un découpage en trois phases de l'histoire de la technologie des RNR en France, liées à trois modalités différentes de l'évaluation de cette filière. Enfin, la dernière partie de notre article discutera de quelques questions clés liées à la problématique de l'évaluation des prototypes et des démonstrateurs.

La sociologie des sciences et des techniques appliquée au projet Superphénix : une méthode exigeante et enrichissante

Les sources de notre travail de recherche sont une lecture extensive de la littérature existante, la consultation d'archives et la réalisation d'une trentaine d'entretiens avec des acteurs du projet. Certains d'entre eux ont participé aux débuts de la filière rapide, puis ont réorienté leur carrière vers d'autres domaines du nucléaire. D'autres ont participé de bout en bout au développement de la technologie considérée, à laquelle ils ont consacré toute leur vie professionnelle. Enfin, certains n'y ont fait qu'un bref passage, venant d'autres métiers. Nous avons rencontré des scientifiques et des ingénieurs qui ont participé à la conception, à la mise en chantier et à l'exploitation de Superphénix, ainsi que des membres du conseil d'administration, des experts de l'Autorité de sûreté et, enfin, quelques experts critiques et opposants au projet.

L'histoire de la filière rapide en France et, en particulier, de Superphénix, ce réacteur arrêté plus tôt que prévu, est un dossier controversé. Le chercheur qui l'aborde est confronté à un foisonnement d'écrits d'une grande

diversité comprenant de nombreux plaidoyers, à charge ou en défense. Dans la littérature étudiée, on recense une centaine de publications sur la filière rapide, sans compter les abondantes archives de presse.

Dans un premier temps, la difficulté consiste à élaborer un cadre méthodologique et interprétatif qui permette d'organiser ces sources de manière cohérente. La méthode retenue emprunte à la sociologie des sciences et techniques, en particulier à l'ouvrage de Bruno Latour, *Aramis ou l'amour des techniques* [2], lequel est dédié à l'analyse d'un projet de transport en commun nommé « Aramis », qui aurait dû desservir le sud de Paris en combinant les avantages du transport sur rail et de la voiture individuelle, mais qui n'a jamais atteint le stade commercial.

Au-delà d'une étude de cas, cet ouvrage contient des enseignements sur les facteurs de succès et d'échec de tels projets innovants, ainsi qu'une posture méthodologique pour parler du passé à partir de la situation présente de l'enquêteur. Le narrateur s'adresse à son étudiant en ces termes :

« *Toujours supposer que les gens ont eu raison, quitte à forcer un peu la note. [...] Sans ça, vous jouez au malin aux dépens de l'histoire. Vous faites la vieille chouette. [...] La vie est un état d'incertitude et de risque, d'adaptation fragile à un environnement passé et présent, que le futur ne saurait juger.* » [2], pp. 36-38).

Une autre exigence consiste à appliquer une approche à la fois critique et rigoureuse : une telle recherche en sciences humaines et sociales consiste en une itération entre sources, cadres théoriques et hypothèses intermédiaires constamment revues - jusqu'à ce que l'on arrive à produire une interprétation qui rassemble et intègre de manière cohérente tous ces éléments dans un ajustement réciproque (*reciprocal double-fitting*, Baldamus cité par [3]). Cette démarche fondée sur la critique est commune à la sociologie des sciences et des techniques [2] et à l'histoire [4]. On s'interdit, en particulier, de relire l'histoire d'une technologie à partir de ses développements connus pour l'enquêteur, mais imprévisibles pour les acteurs au fil du projet, comme l'illustre cette citation de Rip [5] :

« *The direction of technological development was determined by the actual paths and the expectations of what could be next steps [...]. Our retrospective idea of steps in the direction of the situation as we know is irrelevant.* »

Ces exigences méthodologiques ont permis, tout d'abord, d'interagir avec des acteurs engagés de longue date dans la filière RNR, puis d'élaborer une analyse originale. Partant de nombreux récits existants de l'histoire de la filière rapide en France, dont certains séparent ce qui relève respectivement de la technique et de la politique, notre approche propose une nouvelle interprétation combinant ces deux dimensions. La question de l'évaluation des projets de réacteurs rapides y est apparue comme cruciale : en effet, elle traverse toute la période considérée en prenant différentes modalités.

Une histoire en trois périodes

Cette recherche nous a permis de proposer une chronologie « socio-technique » en trois périodes, qui articulent des visions du futur avec des évaluations des prototypes et de la filière :

- les débuts : la démonstration de la faisabilité de la technologie rapide (1954-1975) ;
- du programme à la construction du « prototype industriel » : l'évaluation s'élargit à un triptyque technique/économie/sûreté (1975-1986) ;
- et, enfin, l'épreuve de l'exploitation : justifier la sûreté et refonder les objectifs (1986-1997).

Cette chronologie nous permettra de montrer que chacun des stades du développement de la technologie des RNR résulte d'une évaluation de sa nécessité et de son potentiel. Plus particulièrement, la décision de passer ou de ne pas passer à l'étape suivante du programme résulte toujours d'une évaluation du bien-fondé de ce programme selon des critères qui évoluent au fil du temps long considéré (plusieurs décennies).

Les débuts : la démonstration de la faisabilité de la technologie rapide (1954-1975)

En France, les développements de projets RNR ont été lancés dans les années 1950-1960, à une époque où une vision de l'avenir largement partagée au sein des instances décisionnelles concluait à la nécessité de ces développements, à travers :

- la prospective d'une demande en énergie croissante amenant le nucléaire à se développer,
- le souci de la raréfaction des ressources énergétiques et celui du coût croissant de l'uranium donnant un grand avantage à la technologie RNR de par sa capacité à régénérer son combustible,
- une préoccupation d'indépendance énergétique nationale,
- une vision d'un avenir de la Nation devant se réaliser à travers des technologies nationales,
- un potentiel technique et économique des réacteurs de ce type considéré comme très prometteur.

On peut voir le développement des réacteurs, tout d'abord expérimentaux, puis de démonstration, comme une conséquence de ces visions de l'avenir énergétique

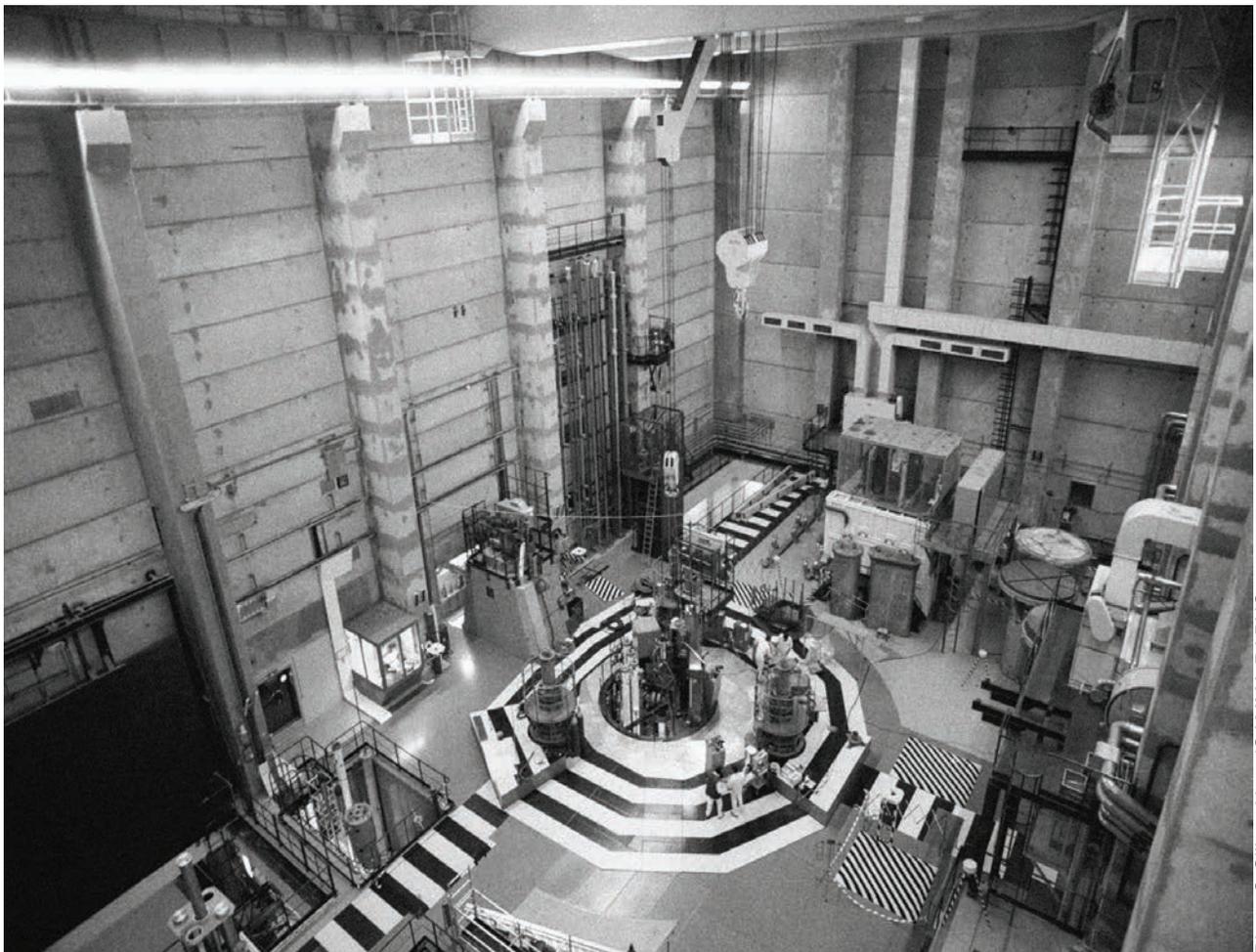


Photo © Gilbert Uzan/GAMMA-RAPHO

Le réacteur nucléaire Phénix, en octobre 1973, sur le site de Marcoule (France).

« En France, l'étape suivante consiste à réaliser un prototype d'une puissance de 250 mégawatts électriques (MWe) aux caractéristiques déduites de celles d'un pré-projet industriel de 1 000 MWe. Le prototype Phénix diverge en 1973, et il est salué comme une réussite technique réalisée dans les délais grâce à une organisation de projet innovante. »

du pays, dans un climat de compétition internationale autour du développement technologique. En France, les développeurs des projets RNR sont portés par la conviction que cette technologie emportera l'adhésion s'ils arrivent à apporter la preuve de sa faisabilité technique. Dans ce but, le premier réacteur expérimental en France, nommé « Rapsodie », est développé puis construit à Cadarache par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) avec une contribution d'Euratom ; la réaction nucléaire y diverge en 1967 [6].

À la fin des années 1960, les débats français autour du choix du type de nucléaire à retenir pour l'équipement du parc industriel sont l'occasion de confronter des visions de l'avenir concurrentes entre elles : d'un côté, la rhétorique de l'excellence technologique nationale promeut la filière « graphite-gaz » développée en France ; de l'autre, la rhétorique de l'économie de la fourniture d'électricité est favorable aux réacteurs à eau légère (REL) proposés par des constructeurs américains à des prix très attractifs. Choisi en 1969, le REL est alors considéré comme une solution économique de court/moyen terme pour répondre aux besoins énergétiques. Tous s'accordent pour prévoir par la suite un parc nucléaire à l'équilibre basé sur des RNR, une technologie qui combine les enjeux de l'excellence technique nationale avec les enjeux de l'économie de l'énergie [7]. La technologie RNR, clé de voûte du système nucléaire, devra, à terme, permettre au nucléaire de fournir une énergie abondante et à bas coût au monde entier. L'enjeu, pour les pays en compétition, est donc d'être, à moyen terme, les premiers à développer des centrales industrielles (puissantes et fiables) et commerciales (c'est-à-dire susceptibles d'équiper le parc national et d'être exportées).

En France, l'étape suivante consiste à réaliser un prototype d'une puissance de 250 mégawatts électriques (MWe) aux caractéristiques déduites de celles d'un pré-projet industriel de 1 000 MWe [6]. Ainsi, le prototype Phénix diverge en 1973, et il est salué comme une réussite technique réalisée dans les délais grâce à une organisation de projet innovante, celle de « projet intégré » réunissant le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre dans une équipe projet unique.

Les composantes de l'évaluation des projets lors de cette période sont les suivantes :

- la vision de l'avenir énergétique rend nécessaire la technologie des RNR à court/moyen terme ;
- l'enjeu est de faire la preuve de sa faisabilité, et les projets sont évalués principalement sous l'angle de la technique, avec une condition de sûreté dont le contrôle est alors dévolu à une direction *ad hoc* au sein du CEA [8]. Dans un tel régime de recherche et de démonstration, une installation expérimentale ou prototype a pour fonction de répondre à la question implicite « est-ce que ça marche ? », avec un critère de coût exprimé en termes de budget de projet.

Au début des années 1970, l'évaluation est positive : la mise en service satisfaisante de Phénix prouve la viabilité de la technologie des RNR. La décision est alors prise de lancer la réalisation d'un prototype industriel, Superphénix, qui marquera le passage des

RNR de l'ère expérimentale à l'ère industrielle. Cinq fois plus puissant que Phénix, Superphénix est lancé en tant que « prototype industriel européen ».

Du programme à la construction du « prototype industriel » : l'évaluation s'élargit à un triptyque technique/économie/sûreté (1975-1986)

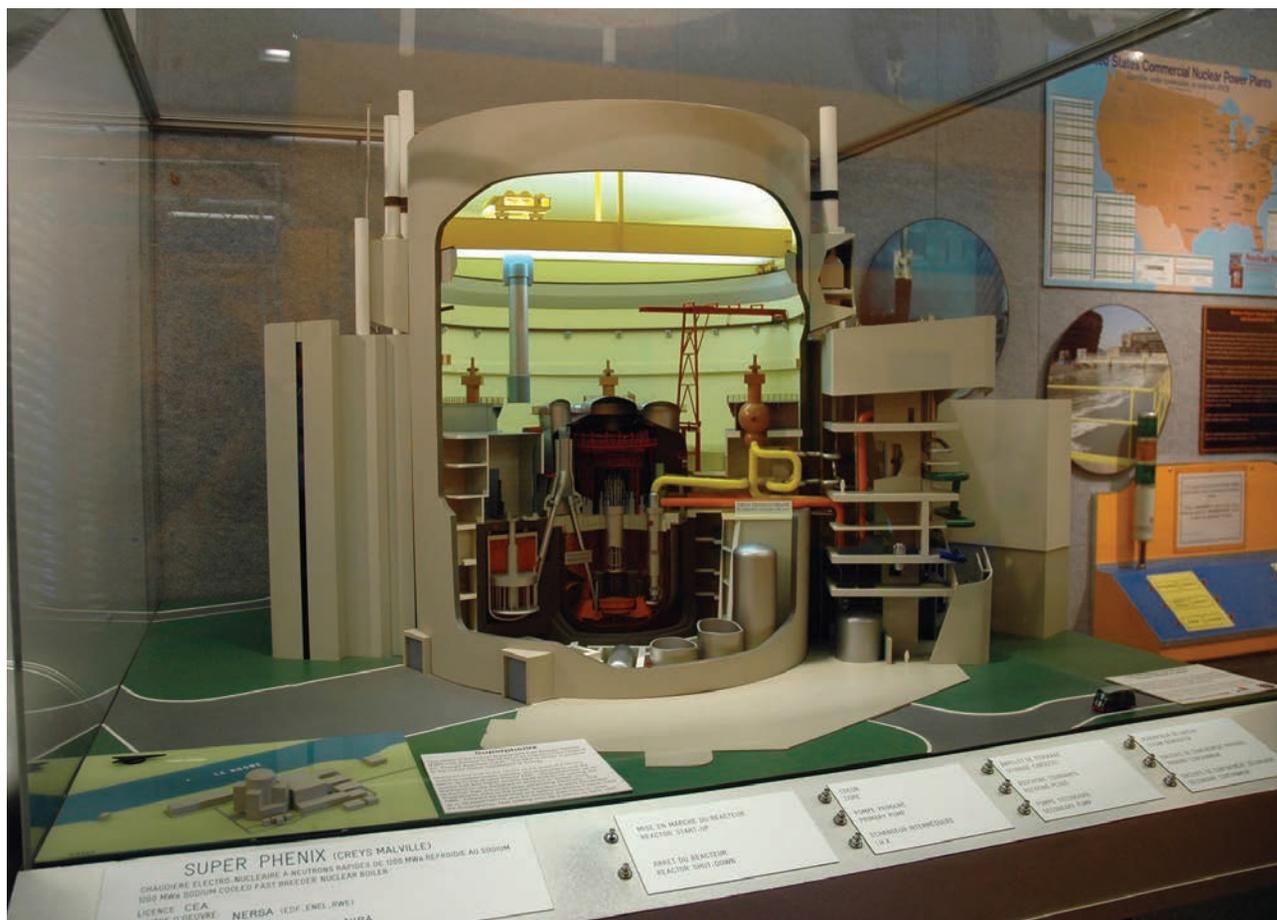
Dans la décennie qui constitue la deuxième période de notre chronologie de la filière RNR en France, les développements et les évaluations des projets de RNR évoluent en parallèle sur plusieurs scènes que nous exposerons dans l'ordre suivant (cet ordre est thématique, et non chronologique) :

- a) Le « prototype industriel » Superphénix est construit sur le site de Creys-Malville situé dans le sud-est de la France entre Lyon, Grenoble et Genève ;
- b) L'évaluation de sûreté a lieu dans le cadre nouveau dédié aux centrales industrielles, et l'évaluation économique trouve sa traduction matérielle, au sein des ingénieries, dans des efforts visant à rendre les réacteurs du futur parc moins coûteux ;
- c) La question de l'horizon du besoin de la filière rapide et du passage au parc industriel est elle aussi l'objet d'une évaluation ; les caractéristiques du prototype industriel Superphénix font l'objet d'une critique militante « experte » qui relaie la critique académique venue des laboratoires de recherche français ou d'institutions étrangères. Cette critique comporte, en particulier, une évaluation économique.

Le chantier d'un « prototype » au cadrage très « industriel »

De façon plus visible sur le terrain, la décennie 1975-1986 est celle du chantier de la construction de Superphénix, le « prototype industriel ». Mais alors que les démonstrateurs de la période précédente (Rapsodie ou Phénix) devaient prouver la faisabilité technique de la surgénération au sein d'une agence de recherche (le CEA), la mission assignée à Superphénix est beaucoup plus vaste. Désormais, Superphénix doit valider le fonctionnement industriel en taille réelle d'une technologie jugée mûre pour sa commercialisation. Ce cadrage est inscrit aussi bien dans les caractéristiques techniques de Superphénix (une taille de 1 200 MWe, des choix industriels) que dans ses caractéristiques organisationnelles : le maître d'ouvrage en est une société de projet qui réunit les électriciens français, italiens et allemands. Il commande le réacteur à une filiale du CEA, Novatome, dédiée à la commercialisation de cette technologie : le CEA lui en cède la licence. Au-delà de ces exemples, c'est une organisation complexe qui vise à la commercialisation prochaine de RNR de série [9].

Sur le chantier de cette « première mondiale », les défis techniques se succèdent. Les ingénieurs du projet témoignent volontiers à propos de ce chantier difficile sur lequel ils ont fait preuve de compétence technique et d'innovation pour résoudre les problèmes inédits qui se présentaient à eux. Avec les apports de la sociologie des sciences et des techniques, on peut considérer la phase de chantier comme un moment



Ph. Marshall Astor/WIKICOMMONS

Maquette de Superphénix exposée au NAM (National Atomic Museum) d'Albuquerque (États-Unis).

« La décennie 1975-1986 est celle du chantier de la construction de Superphénix, le « prototype industriel », qui doit valider le fonctionnement industriel en taille réelle d'une technologie jugée mûre pour sa commercialisation. »

où le projet se « leste » de tous les détours technologiques ou « scripts »⁽⁴⁾ qu'il aura fallu inventer pour lui permettre de voir le jour sous la forme d'une installation technique bien réelle [10]. Le prototype réalisé n'est alors plus exactement le même que sur les plans de l'avant-projet : il est plus complexe, et les budgets et plannings prévisionnels ont été revus à la hausse. Une des questions clés est alors celle de savoir si la manière dont on parle de cette installation technique est cohérente avec sa nouvelle forme matérielle [2] [11].

Un prototype industriel évalué sur les plans de la sûreté et de l'économie

Parallèlement à ce chantier gigantesque, mais de façon moins visible, l'évaluation de sûreté et l'évaluation économique montent en puissance au cours de la décennie considérée. En France, le Service central de la sûreté des installations nucléaires (SCSIN) est créé en 1973 au sein du ministère de l'Industrie :

⁽⁴⁾ En simplifiant les termes de Latour [2], le script peut décrire dans les deux sens le lien entre le dispositif technique et sa finalité : *in-scription* de la finalité dans la technique (au moyen de dispositifs supplémentaires si besoin) ou *dé-scription* des usages humains supposés par le dispositif technique.

Superphénix, qui préfigure un futur parc nucléaire industriel, est examiné avec un soin particulier par ce service, qui ne fait désormais plus partie du CEA. Les modifications à apporter au prototype portent alors sur la prise en compte des séismes ou sur l'évacuation de la puissance résiduelle ; elles sont nécessaires pour que le projet puisse trouver sa place dans la réalité d'un dispositif d'encadrement de la sûreté, à un moment donné. Tout comme les détours qui se sont avérés nécessaires face aux difficultés pratiques du chantier, elles viennent modifier et renchéris les plans de l'avant-projet d'origine.

La mise en perspective des filières de production d'énergie sous l'angle de l'évaluation économique apparaît en France dès l'après-guerre [7]. À la fin des années 1970, la planification du futur parc de surgénérateurs repose sur des ratios prévoyant, d'une part, une baisse du coût spécifique d'investissement lorsque la taille du réacteur augmente et, d'autre part, une baisse du coût d'investissement d'un réacteur de série par rapport à un réacteur prototype.

Dès 1980, les acteurs décisionnels jugent Superphénix trop coûteux pour une industrialisation en l'état. Les équipes d'ingénierie travaillent sur « l'avant-projet

des réacteurs Superphénix II de deux paires de 1 450 MW » [12] en cherchant des simplifications par rapport au prototype Superphénix, qui permettront de répondre favorablement aux exigences de compétitivité. La direction générale d'EDF et le ministère de l'Industrie souhaitent disposer d'une année complète de retour d'expérience du fonctionnement de Superphénix avant toute décision d'engagement d'une série industrielle [13] : le principe de l'engagement du parc industriel est désormais validé sous condition et repoussé dans le futur. Superphénix, devenu « prototype industriel », se retrouve isolé.

Évaluer l'horizon du besoin de la filière rapide

Parallèlement au chantier de Superphénix et à la montée en puissance de l'évaluation, durant la décennie 1973-1986, le ralentissement de la demande en énergie sous l'effet de la crise économique qui a suivi le choc pétrolier de 1974 commence à éroder le caractère urgent du passage à un parc nucléaire rapide. Au milieu des années 1970, les commandes de réacteurs nucléaires aux États-Unis sont stoppées, entraînant un ralentissement soudain des prévisions de croissance du nucléaire mondial. Dans les années qui suivent, la perspective d'une raréfaction de l'uranium s'évanouit dans le long terme et, par conséquent, l'urgence du programme de surgénérateurs s'éloigne encore un peu plus. Au fil de la décennie considérée ici, l'horizon du parc industriel de RNR est peu à peu repoussé, avec des représentations différentes selon les acteurs et les pays.

La façon d'envisager l'avenir est en toile de fond des évaluations et des décisions qui en découlent. Durant la période antérieure, les développements de la filière rapide ont été décidés sur la base d'un argumentaire de nécessité : elle représentait une source d'énergie inépuisable qui justifiait des développements coûteux afin de préparer l'avenir, et la prospective de croissance de la demande d'énergie qui avait donné naissance à Superphénix semblait bien stabilisée. Mais durant la décennie suivante, cet argumentaire de nécessité doit coexister avec des évaluations économiques qui donnent à la filière rapide un caractère relatif, contingent, pour lequel il est nécessaire d'évaluer le service rendu en regard du coût et des alternatives possibles.

Une critique militante « experte » relaie la critique académique

Dans le débat, l'économie tend alors à éclipser l'enjeu de la preuve de la « faisabilité technique ». L'évaluation économique permet de réaliser la synthèse des évolutions de la filière et de son contexte. Les acteurs décisionnels l'ont mobilisée pour repousser l'engagement d'un parc industriel et construire Superphénix, un « prototype industriel » isolé. L'évaluation économique des programmes surgénérateurs prend une résonance nouvelle au début des années 1980, où des économistes académiques se saisissent du dossier et mettent en évidence, souvent sur un mode accusatoire, les révisions successives des prévisions de coût des projets surgénérateurs selon les acteurs et les critères pris en compte [14]. Ils questionnent les hypothèses et les ratios des agences de recherche nucléaire. Leurs

évaluations réalisent l'extrapolation du prototype à la filière industrielle selon leurs propres critères et ils invalident l'intérêt d'un parc de RNR pour la production d'électricité, sur la base des dépassements de budget et des problèmes techniques des prototypes construits. Cette analyse économique est un volet d'une critique militante « experte » moins visible que la contestation de Superphénix à l'origine de manifestations qui ont marqué les mémoires. Cette critique émane d'associations, de chercheurs universitaires, de physiciens ou d'économistes, qui relaient les prises de positions critiques dans les pays anglo-saxons en insistant sur l'évaluation de la sûreté et de l'économie de la technologie RNR.

En effet, au Royaume-Uni et aux États-Unis, des rapports d'expertises pluralistes commandées par des institutions évaluent le potentiel et les coûts de la filière rapide. Dès 1976, le raisonnement britannique établit que les surgénérateurs constituent une forme d'assurance qui permet de se prémunir contre des raréfactions d'énergie à venir [15]. Sur cette base, son évaluation de la filière conclut qu'il est préférable de retarder l'engagement de la centrale de « démonstration commerciale » de 1 000 MW alors prévue au Royaume-Uni. En 1984, le *House of Commons Committee of Public Accounts* (une forme de Cour des comptes britannique) confirme ces orientations [16]. En France, les associations d'experts critiques construisent des argumentaires qui amplifient ces prises de positions. Leur critique porte sur les modalités du projet Superphénix, en particulier sur sa taille : à leurs yeux, la réalisation d'une centrale de taille industrielle est prématurée. Alors que le débat a lieu dans des arènes publiques non institutionnelles [17] [18], le gouvernement confirme l'enjeu de l'économie des ressources énergétiques qui justifie Superphénix [19].

En conclusion, pour le développement de la technologie RNR, la décennie qui s'étend de 1975 à 1986 ne saurait se limiter au chantier de la centrale Superphénix. Par rapport à la période précédente, l'évaluation s'est élargie aux trois dimensions d'un triptyque qu'il s'agit de tenir ensemble : un prototype doit faire la preuve de la faisabilité de sa technologie tout en garantissant la sûreté et la rentabilité économique. Les mesures de garantie de la sûreté, ainsi que les aléas inhérents aux processus d'innovation technologique, ont été traduits par des modifications techniques du prototype. Ceci alourdit l'économie du projet, alors même que les exigences vont en s'élevant.

Les discours évaluant le succès de la filière (ou au contraire « l'échec des surgénérateurs ») [14] se fondent sur les retours d'expérience issus des premiers réacteurs, qu'ils extrapolent à une filière future. L'évaluation de la filière rapide devient une activité académique (particulièrement en sciences économiques) et institutionnelle (des institutions du domaine du nucléaire évaluent la sûreté, l'opportunité et l'horizon d'un parc industriel sur des bases économiques). Ces différents domaines sont liés entre eux : le besoin que l'on peut avoir de la filière rend plus ou moins stricts les critères de compétitivité qui lui sont imposés, ce qui est transcrit par des calculs

incluant différentes trajectoires de prévision du coût de l'uranium.

Au cours de cette décennie, ce qui est demandé aux démonstrateurs n'est plus simplement de « faire la preuve que ça marche » : le débat porte sur la capacité des prototypes à faire la preuve que cette technologie peut satisfaire à des évaluations la rendant viable pour le futur sur les trois plans de la technique, de la sûreté et de l'économie, avec des critères devenant plus stricts. L'horizon de la filière industrielle est repoussé dans le futur : peu à peu, le soutien à la technologie des RNR devient conditionnel.

L'épreuve de l'exploitation : justifier la sûreté et refonder les objectifs (1986-1997)

Dans la troisième période de notre chronologie de la filière RNR en France, l'activité d'évaluation, désormais officielle, se déroule dans un cadre public et fait l'objet de discussions dans des arènes élargies. Pour plus de clarté, on partagera cette période en deux phases, même si certains des développements sont concomitants : tout d'abord, les années du démarrage de Superphénix sont marquées par des évaluations de sa sûreté, puis les discussions sur la reconversion de Superphénix en outil de recherche donnent un tout autre tour aux activités d'évaluation de la centrale, dont les critères changent à nouveau.

Les années du démarrage de Superphénix sont marquées par des évaluations de sa sûreté

Le démarrage de Superphénix en tant qu'installation industrielle sur le site de Creys-Malville a lieu en 1985. Il est exploité au sein du parc nucléaire d'EDF, aux côtés de centrales relevant de la technologie plus éprouvée des réacteurs à eau. Comme pour d'autres projets innovants, le début de l'exploitation s'accompagne de son lot de difficultés techniques. En mars 1987, le « barillet » (la cuve de stockage du combustible) présente une fuite de sodium ; il sera remplacé par un « poste de transfert du combustible », qui ne remplira qu'une partie des fonctions définies à l'origine [9]. Il est alors acquis que Superphénix n'est pas exactement représentatif du mode d'exploitation de la filière industrielle qui lui succédera. En 1990, une pollution du sodium primaire suite à une entrée d'air ouvre une longue période de questionnements publics sur la sûreté et la finalité de Superphénix, prototype industriel isolé. Pendant quatre années d'enquêtes et de débats, la centrale est arrêtée, mais de lourds travaux doivent y être effectués pour des questions de sûreté. Enfin, en 1994, elle redémarre, mais une autre fuite (d'argon, cette fois-ci) la maintient à l'arrêt une demi-année supplémentaire.

Suite à la fuite de sodium dans le barillet en 1987, puis à l'oxydation du sodium primaire en 1990, la sûreté de Superphénix est examinée au moyen d'un processus d'expertise approfondie qui donne lieu à des rapports de la Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN), qui succèdera au SCSIN en 1991. La nouveauté des années 1990 est le caractère public des évaluations et des débats : les rapports officiels sont rendus publics, la sûreté de Superphénix est discutée par l'Office parlementaire d'évaluation des

choix scientifiques et technologiques (OPECST) créé en 1983, ce qui permet de donner la parole à des groupes concernés et à des experts académiques. Il est question de l'incident du barillet, de risques hydrogène ou de feux de sodium concernant une installation considérée comme industrielle au regard de sa taille, son exploitation au sein du parc EDF et du fait qu'elle peut préfigurer un éventuel parc RNR.

Dès cette période, les porteurs de projet mettent en avant le thème du succès technique en rapportant le temps de fonctionnement de Superphénix non pas au temps total des années d'exploitation, mais au temps excluant les procédures « administratives » [20]. Or, l'épreuve de l'exploitation de Superphénix n'est pas uniquement la démonstration de sa faisabilité technique : dans le monde postérieur à 1986 marqué par le contre-choc pétrolier, par l'accident nucléaire de Tchernobyl et l'incendie de sodium dans la centrale solaire d'Almeria, où les discours sur l'opportunité sont moins univoques, l'enjeu de l'installation devient « faire la preuve que c'est sûr ». À côté du processus institutionnel d'instruction, la sûreté de Superphénix fait l'objet d'une controverse ouverte et publique.

En outre, les mises à niveau sur le plan de la sûreté se traduisent par des coûts significatifs qui viennent grever encore un peu plus le bilan économique de l'installation, et donc l'évaluation technico-économique de la filière rapide. Dans les années 1970, on imaginait la technologie prête à entrer dans une phase commerciale, mais dans les années 1990 elle peine à tenir ses promesses face aux exigences combinées de la technique, de l'économie et de la sûreté, dans un contexte où le besoin d'un parc industriel s'est éloigné. C'est une des raisons qui va conduire les autorités publiques à imaginer (au début des années 1990) une reconversion du démonstrateur commercial en outil de recherche.

La reconversion de Superphénix en outil de recherche

En 1990-1991, le Parlement conduit un processus de « mise en politique des déchets nucléaires » [21] aboutissant à la loi « Bataille » du 31 décembre 1991. Cette loi prévoit de rouvrir le choix de gestion des déchets nucléaires, notamment par un programme de recherche et d'expérimentations sur leur « incinération ». Superphénix est l'un des réacteurs susceptibles de contribuer à ce programme.

En mai 1992, alors que Superphénix est arrêté, l'opportunité même de son fonctionnement est discutée publiquement lors d'un débat sur l'« éventualité du redémarrage de Superphénix et l'avenir des RNR » [20]. Tenu sous l'égide de l'OPECST, ce débat reprend le thème de la sûreté et aborde une possible reconversion de Superphénix en outil de recherche. Ce projet de reconversion donne lieu à des expertises confiées à des commissions scientifiques pluralistes, en 1992 puis en 1996, qui se prononcent positivement - mais sans enthousiasme - sur son intérêt.

Durant la décennie 1990, l'activité d'évaluation de Superphénix se déroule officiellement et ouvertement dans l'espace public : au moins dix rapports

officiels sont publiés entre 1990 et 1997. Si certains des thèmes étaient déjà débattus précédemment, le cadre institutionnel des débats constitue une nouveauté radicale ; il en est de même du caractère officiel et public des évaluations. Ces rapports officiels portent sur la sûreté, la viabilité et la finalité de Superphénix : autant de thèmes liés entre eux. En 1996, la Cour des comptes dresse un bilan économique de Superphénix considéré comme un poste budgétaire. Ayant recensé les surcoûts de l'investissement réel par rapport à ce qui était prévu, elle évalue les dépenses et les recettes futures selon plusieurs options de disponibilité et de date d'arrêt de l'exploitation [22]. Il n'est plus question ici de se servir de ces coûts pour les extrapoler à une filière industrielle : l'enjeu est désormais d'évaluer le coût pour la collectivité du fonctionnement d'une installation de recherche et de poser en termes budgétaires la question de la poursuite de son fonctionnement.

Laissant de côté les nombreux événements dans l'espace public émaillant les années de fonctionnement de Superphénix, nous nous attacherons ici à questionner le lien entre les critères d'évaluation de Superphénix et sa reconversion en outil de recherche.

Des années 1980 au début des années 1990, les critères de l'évaluation technique/économie/sûreté constituent un triptyque difficile à tenir ensemble du fait du caractère innovant du projet, qui se traduit en surcoûts. En outre, les objectifs de compétitivité économique de la technologie se durcissent au fur et à mesure que le projet de filière s'éloigne : dans un climat de controverses où les modalités de l'extrapolation entre « prototype industriel » et centrale de série font débat, il n'est plus possible de faire tenir les éléments du triptyque dans des objectifs de compétitivité.

On avance l'hypothèse suivante : le choix de la reconversion en outil de recherche constitue une forme de réponse à la question de l'évaluation. Avec le changement de finalité de la centrale, les critères de l'évaluation économique changent : Superphénix ne préfigure plus un projet de filière industrielle, mais il constitue en lui-même une installation expérimentale à laquelle on fixe des objectifs de démonstration technique de faisabilité de recherches porteuses de forts enjeux à cette époque. C'est là une tentative de revenir aux critères de la première période, c'est-à-dire de démontrer la faisabilité de certaines expériences de gestion du combustible, ainsi que d'une production d'électricité industrielle, comme en attestent certains discours des porteurs du projet au moment de la fermeture. Alors que le projet de prototype industriel n'arrive pas à satisfaire aux critères de son évaluation, le fait de qualifier l'installation de projet de recherche lui donne un cadre plus adéquat. Elle est alors évaluée par la Cour des comptes de manière comptable comme un poste de dépense publique, et non plus comme une installation industrielle destinée à satisfaire à des critères de rentabilité et de compétitivité dans un futur proche.

Les critères controversés de l'évaluation : du « succès technique » à une évaluation élargie

Lors de la fermeture de Superphénix par décision gouvernementale, en 1997, les écrits destinés à défendre la centrale mettent en avant le thème du succès de la démonstration technique de la production d'électricité : temps de fonctionnement rapporté non pas au temps total mais au temps dépourvu de « blocages administratifs », situation déchirante de l'arrêt définitif après une année 1996 de fonctionnement satisfaisant, mises à niveau effectuées. Cette façon de penser la validation de la filière par le succès technique est un héritage de la première période de notre chronologie, où les discours d'opportunité de la filière rapide convergent. Dans la deuxième période, les critères de l'évaluation sur les plans de la sûreté et de l'économie sont plus ambitieux, alors que parallèlement le besoin de la filière s'éloigne. Dans la troisième période, il s'agit d'abord de réaliser, en pratique, la démonstration industrielle incorporant les trois dimensions précitées. Puis le changement de statut du prototype, désormais « outil de recherche », transforme la manière de considérer l'ensemble de l'économie du projet.

Alors que l'évaluation est apparue comme un point clé, on souhaite discuter quelques éléments de ce résultat : qu'est-ce qui est évalué ? Selon quelles modalités ? Les réponses à ces questions varient au fil des périodes que nous avons mises en évidence.

Le premier constat à souligner est celui d'un glissement permanent, de l'évaluation du prototype à celle de la filière. Au début du processus d'innovation, le développement du prototype naît d'une vision enthousiaste de la technologie : la promesse d'autonomie énergétique contenue dans la filière rapide en constitue un exemple parlant [10]. Si le prototype (Phénix, par exemple) est évalué comme un succès, l'extrapolation est immédiate et unanime : le prototype confirme la vision d'origine, c'est-à-dire le caractère prometteur de la filière.

Mais lorsque le prototype est lesté de surcoûts et de problèmes techniques, une controverse peut s'ouvrir. Alors que la mise à l'épreuve technico-économique de la filière rapide à travers la réalisation de Superphénix apporte des réponses seulement partielles sur sa faisabilité, le sens de chaque événement est interprété de manières opposées selon les points de vue.

D'un côté, les discours des porteurs du projet singularisent les événements négatifs en les reliant à l'installation elle-même, afin que le potentiel de la filière rapide à venir reste entier. Ils soulignent qu'une fuite de sodium ou une entrée d'air ne relèvent pas de la neutronique rapide (généralisable à la filière), mais de l'ingénierie conventionnelle : qualifiés de « maladies de jeunesse », les surcoûts et les problèmes divers sont rendus à la fois extérieurs au cœur de la technologie et spécifiques à une installation donnée. Construisant une évaluation de la technologie reposant sur la vision d'origine, ces discours disqualifient les épreuves du prototype, non significatives à leurs yeux. Le prototype lui-même est exceptionnalisé par rapport à la filière qu'il

doit préfigurer : de tels discours augmentent la distance du prototype à la filière, tout en confirmant l'intérêt du premier pas constitué par ce prototype, ainsi que de la filière surgénératrice de manière générale.

Mais la significativité des mêmes événements a été interprétée d'une manière fondamentalement différente par des acteurs extérieurs, dans une posture d'évaluation. Loin de la minoration des problèmes d'ingénierie par rapport à la neutronique, les économistes académiques et certains experts critiques rendent les événements négatifs signifiants : selon eux, les surcoûts et les problèmes techniques affectant le prototype sont la preuve même de la non-viabilité de la filière. De cette proximité du prototype à la filière, ils déduisent qu'il faut renoncer au prototype.

Le glissement des évaluations (en particulier, économiques) du prototype à la filière industrielle est une forme d'extrapolation. Ses critères, tels le ratio utilisé pour prévoir le coût d'investissement d'un réacteur de série par rapport à un réacteur prototype, sont l'objet de controverses. En France, dans les années 1990, le débat a lieu dans des arènes ouvertes et les arguments circulent⁽⁵⁾.

Approfondissons la description de cette controverse : les acteurs ne s'accordent ni sur les résultats de l'évaluation ni sur la nature des critères, ceux-ci étant liés à des cadres de référence différents, d'où leurs évaluations durablement divergentes. C'est particulièrement net dans le domaine de la sûreté, où une controverse publique centrée autour des risques coexiste avec un processus d'instruction institutionnel qui vise à établir la sûreté de la centrale et qui a valeur officielle. Sur un autre plan, lorsqu'il s'agit de qualifier la démonstration technique effectuée par le « prototype industriel », les acteurs de la controverse se réfèrent implicitement à des critères d'évaluation différents : d'un côté, le « succès technique » suppose un cadre de recherche-développement et, de l'autre, la dimension pré-industrielle implique de tenir ensemble plusieurs critères : la technique, la sûreté, l'économie. L'ambiguïté peut persister, même dans des cadres officiels, d'où un besoin de nombreux rapports pour expliciter les critères et les composantes du dossier à évaluer, puis pour les hiérarchiser.

Face à un tel constat, la démarche d'évaluation d'un prototype peut être éclairée par la question implicite incorporée dans ses caractéristiques techniques, et ce, grâce à un travail d'explicitation ou de description. Les choix de conception d'un prototype industriel incorporent en effet certaines questions auxquelles il doit répondre, certains éléments dont il doit faire la preuve, le tout constituant en quelque sorte une forme de cahier des charges implicite qui lui donne du sens.

Déconstruire la mission assignée au prototype, et son éventuelle ambiguïté, permet de mieux comprendre les débats et les controverses dont il est l'objet, voire de les anticiper, dans le cas d'un prototype en projet. Il

est toujours utile de se demander : que doit démontrer un démonstrateur ? S'agit-il d'une première faisabilité technique, sur le mode de la recherche exploratoire, ou est-on dans un registre pré-industriel où les dimensions de technique, de sûreté et d'économie vont se combiner avec des éléments de prospective ? La « sévérité » de l'évaluation d'un prototype évolue en fonction de la vision d'avenir et du besoin de la filière : si la nécessité est partagée, les problèmes techniques et les surcoûts des prototypes sont acceptables. Mais si la filière industrielle n'est nécessaire que de façon hypothétique et dans le long terme, les critères d'évaluation des prototypes deviennent plus exigeants.

Enfin, le caractère révocable de ces visions d'avenir rencontre les inerties induites par la temporalité longue d'un tel projet. Lors de la période longue de développement de prototypes successifs, la question de la démonstration technique et de la garantie de la sûreté s'est enrichie d'aspects commerciaux, européens, économiques, puis de recherche qui ont dû satisfaire à des évaluations débordant largement l'argument de la « preuve du fonctionnement technique satisfaisant ». Cela invite à expliciter et à questionner les cahiers des charges implicites sur lesquels les prototypes sont définis, puis évalués, ainsi que leur robustesse au fil du temps.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SAUVAGE (J.-F.), « RNR-Na prototypes et industriels : hier, aujourd'hui, demain », *Revue Générale Nucléaire*, n°2013/03.
- [2] LATOUR (B.), *Aramis, ou l'amour des techniques*, La Découverte, 1992.
- [3] OLIVIER de SARDAN (J. P.), « La Politique du terrain. Sur la production des données en anthropologie », *Enquête, Archives de la revue Enquête*, (1), pp. 71-109, 1995.
- [4] PROST (A.), *Douze leçons sur l'histoire*, Seuil, 1996.
- [5] RIP (A.) & KEMP (R.), "Technological Change", in RAYNER (S.) & MALONE (E.L.) (eds), *Human Choice and Climate Change*, Columbus, Ohio: Battelle Press, vol. 2, ch. 6, pp. 327-399, 1998.
- [6] VENDRYÈS (G.), *Superphénix, pourquoi ?*, Paris, NucléoN, 1997.
- [7] HECHT (G.), *The Radiance of France: Nuclear Power and National Identity after World War II*, MIT Press, 1998.
- [8] FOASSO (C.), *Atomes sous surveillance : une histoire de la sûreté nucléaire en France*, Peter Lang, 2012.
- [9] JOBERT (A.) & LE RENARD (C.), "Framing Prototypes: the Fast Breeder Reactor in France (1950s-1990s)", *Science & Technology Studies*, vol. 27, n°2, août 2014.
- [10] LE RENARD (C.), « Le Prototype, à l'interface entre une promesse technologique et son industrialisation », in CIHUELO (J.), JOBERT (A.) & GRANDCLÉMENT

⁽⁵⁾ Au Royaume-Uni, les problèmes techniques soulevés par le développement de prototypes dans les années 1970 ont déclenché un débat mobilisant des arguments comparables [15].

(C.) (Eds), *Énergie et transformations sociales : enquêtes sur les interfaces énergétiques*, Lavoisier, 2015.

[11] LATOUR (Bruno) & al. (coordinateur scientifique), rapport final du projet européen PROTEE : « Procédures dans les transports d'évaluation et de suivi des innovations considérées comme des expérimentations collectives », Bruxelles, mars 2000.

[12] Rapport d'information sur la politique de l'énergie présenté par M. QUILÈS (Paul), J.O. Assemblée nationale, n°405, 1^{er} octobre 1981.

[13] FINON (D.), *L'échec des surgénérateurs - Autopsie d'un grand programme*, Presses Universitaires de Grenoble, 1989.

[14] FINON (D.), *Fast breeder reactors: the end of a myth?*, Energy Policy, 10(4), pp. 305-32, 1982.

[15] FLOWERS (B.), *Nuclear Power and the Environment*, Royal Commission on Environmental Pollution (RCEP), rapport à Sa Majesté, HMSO, Londres, 1976.

[16] LE RENARD (C.), LEHTONEN (M.) & JOBERT (A.), *The diverging trajectories of Fast Breeder Reactor development in France and the UK (1950s-1990s): a tentative comparison*, Conference paper, 6th "Tensions

of Europe" plenary conference, Paris, 19 septembre 2013.

[17] BÉRIOT (L.) & VILLENEUVE (C.), *Europe 1 & Antenne 2 présentent : le surgénérateur, l'enjeu nucléaire de demain*, Palaiseau, Sofedir, 1980.

[18] BRUGIDOU (M.), & JOBERT (A.), « Le Débat sur l'énergie a-t-il lieu(x) ? Une perspective topologique », in CIHUELO (J.), JOBERT (A.) & GRANDCLÉMENT (C.) (Eds), *Énergie et transformations sociales : enquêtes sur les interfaces énergétiques*, Lavoisier, 2015.

[19] « M. Giscard d'Estaing réaffirme l'intérêt que porte la France aux surgénérateurs », *Le Monde*, 19 janvier 1980.

[20] BIRRAUX (Claude) (rapporteur), OPECST, *Le contrôle de la sûreté et de la sécurité des installations nucléaires - Compte rendu des auditions du 19 mai 1992 sur l'éventualité du redémarrage de Superphénix et l'avenir des réacteurs à neutrons rapides*, Rapports n°399 (Sénat) et n°2765 (Assemblée nationale) du 10 juin 1992.

[21] BARTHE (Y.), *Le Pouvoir d'indécision. La mise en politique des déchets nucléaires*, Economica, 2006.

[22] Rapport public annuel de la Cour des comptes au Président de la République pour 1996.