



HAL
open science

La recomposition de l'industrie nucléaire française serait-elle nécessaire ?

Dominique Finon

► **To cite this version:**

Dominique Finon. La recomposition de l'industrie nucléaire française serait-elle nécessaire?. 2011.
hal-00866416

HAL Id: hal-00866416

<https://hal.science/hal-00866416>

Preprint submitted on 30 Sep 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



No 32-2011

Would the restructuration of the French nuclear industry
be necessary ?

French original title:

**La recomposition de l'industrie nucléaire
française serait-elle nécessaire ?**

Dominique Finon

April 2011

[CIREC Working Papers Series](#)

C.I.R.E.D.

Centre International de Recherches sur l'Environnement et le Développement

UMR 8568 CNRS / EHESS / ENPC / ENGREF

/ CIRAD / METEO FRANCE

45 bis, avenue de la Belle Gabrielle

F-94736 Nogent sur Marne CEDEX

Tel : (33) 1 43 94 73 73 / Fax : (33) 1 43 94 73 70

www.centre-cired.fr

Résumé

On analyse ici les propositions récentes de réorganisation de l'industrie française des réacteurs en vue d'accroître son efficacité à l'exportation. A partir d'une critique des choix de technologies offerts à l'export, le rapport Roussely recommandait de placer l'électricien national en chef de file libre de négocier la vente des réacteurs de son choix (dont des réacteurs Gen2) et de faire du constructeur français le sous-traitant du premier. Le gouvernement n'a pas suivi ces recommandations à juste titre.

A partir d'une analyse du marché mondial des réacteurs en mutation, on relativise les critiques adressées à Areva sur ses choix ainsi que l'intérêt d'élargir le catalogue de réacteurs. Cette analyse permet de souligner l'importance des ressources technologiques et industrielles d'Areva dans la concurrence et l'avantage tout relatif des compétences d'architecte-ensemblier et d'exploitant de l'électricien national dans la conquête de marché à l'exportation. Au bout du compte, la démarche mercantile qui motivait les promoteurs de cette réforme en ambitionnant de concurrencer les entrants avec du nucléaire *low cost* a été désavouée par le gouvernement et ce avant même l'accident de Fukushima. Un peu plus de coordination à l'export serait juste nécessaire.

Mots-clés : Energie Nucléaire, Politique industrielle, Exportations, Champion national.

Abstract

In this paper we analyze the recent propositions to reorganize the French industry of reactors in view to increase its efficiency on the export markets. Based on a critic of the choices of reactor technologies offered to export market, the Roussely report published on June 2010 recommends to crown the French electricity utility as the leader of a so-called "French team" and to let him free to negotiate the sale of reactor of any technology that it would prefer as a Gen-2 reactor for example, and to place the French nuclear reactor constructor in a position of sub-contractor. The government has not followed this recommendation rightly.

Based on an analysis of the changing world market of reactors, we defuse the criticism addressed to Areva on his choice, as well as the recommendation to open the present catalog of reactors to other models. The analysis leads to underline the importance of Areva's technological and industrial resources and the limited advantages of the EDF's skills in matter of architect-engineering and nuclear operation for winning export contracts. At the end of the day the mercantile approach which motivates the promoters of this tentative reform for competing with entrants prosing low cost nuclear reactors has been disapproved by the government, and that before the Fukushima accidents. We conclude by observing that only a flexible coordination between French industrial players would be useful for improving export performances of the French nuclear industry.

Keywords : Nuclear energy, Industrial Policy, Export Market, National Champion, France.

La recomposition de l'industrie nucléaire française serait-elle nécessaire ?

Dominique FINON¹

CIREC

Avril 2011

Résumé

On analyse ici les propositions récentes de réorganisation de l'industrie française des réacteurs en vue d'accroître son efficacité à l'exportation. A partir d'une critique des choix de technologies offerts à l'export, le rapport Roussely recommandait de placer l'électricien national en chef de file libre de négocier la vente des réacteurs de son choix (dont des réacteurs Gen2) et de faire du constructeur français le sous-traitant du premier. Le gouvernement n'a pas suivi ces recommandations à juste titre. A partir d'une analyse du marché mondial des réacteurs en mutation, on relativise les critiques adressées à Areva sur ses choix ainsi que l'intérêt d'élargir le catalogue de réacteurs. Cette analyse permet de souligner l'importance des ressources technologiques et industrielles d'Areva dans la concurrence et l'avantage tout relatif des compétences d'architecte-ensemblier et d'exploitant de l'électricien national dans la conquête de marché à l'exportation. Au bout du compte, la démarche mercantile qui motivait les promoteurs de cette réforme en ambitionnant de concurrencer les entrants avec du nucléaire low cost a été désavouée par le gouvernement et ce avant même l'accident de Fukushima. Un peu plus de coordination à l'export serait juste nécessaire

* L'analyse développée dans cet article n'engage que son auteur, et en aucun cas, ses organismes d'appartenance.

Introduction

Il peut paraître quelque peu incongru de revenir sur le long conflit qui a opposé les deux grands acteurs de la filière nucléaire française sur sa structuration pendant plus d'un an, alors que les accidents nucléaires de Fukushima nous rappellent que cette technologie est très particulière et que la sécurité de son usage l'emporte sur tout impératif industriel et commercial. Les enjeux de contrôle de la technologie et de l'adaptation des équipements existants ou à construire après ces accidents sont autrement plus importants que les enjeux de stratégie du déploiement vertical que l'énergéticien national souhaite développer dans la vente de réacteurs nucléaires à l'exportation au détriment du constructeur national. Toutefois il est intéressant de revenir sur cette question pour comprendre pourquoi, dans une telle industrie, les producteurs d'une technologie et les receveurs de cette technologie doivent rester chacun dans leur rôle, surtout quand le respect des principes de sûreté maximale est continuellement en jeu.

¹ Directeur de recherche CNRS, chercheur au CIREC (CNRS-Ponts ParisTech).

La succession de difficultés rencontrées par AREVA depuis 2007 dans la construction des deux premiers réacteurs EPR et dans sa politique à l'exportation avec l'échec de la réponse française à l'appel d'offres des Emirats Arabes Unis ont conduit le gouvernement à lancer une réflexion dirigée par F. Roussely, l'ancien président d'EDF entre 2000 et 2005, sur l'avenir de la filière française, réflexion dont la synthèse a été rendue publique en juin 2010. Ces difficultés seraient censées mettre en relief les mauvais choix d'AREVA en matière de technologies de réacteurs et les limites d'une stratégie commerciale menée sans le renfort d'EDF et ses compétences d'architecte-ensemblier et d'exploitant. L'éloignement des perspectives de relance des commandes nucléaires en France, notamment du fait de l'allongement de la durée de vie des centrales, amplifie l'enjeu de l'exportation de réacteurs, ce qui rend AREVA vulnérable vis-à-vis de telles critiques alors même qu'une stratégie industrielle solide était en cours de développement pour vendre l'EPR sur les différents segments du marché mondial des réacteurs.

Il n'est de secret pour personne que la commande du rapport Roussely sur l'avenir de la filière nucléaire française par le gouvernement répondait à la volonté des nouveaux dirigeants d'EDF proches des plus hautes instances du pouvoir, de voir redistribuer les rôles dans l'industrie nucléaire française pour développer leur entreprise dans le domaine de la construction, de la vente à l'export et de l'exploitation de réacteurs. A ceci s'ajoutaient les conflits récurrents entre AREVA et l'entreprise électrique, celle-ci mettant en concurrence le premier avec d'autres fournisseurs pour l'achat d'uranium naturel, de services d'enrichissement et de composants de réacteurs, ou contestant les prix de monopole d'AREVA en matière de retraitement. Ces conflits -- qui reflètent l'éloignement des intérêts des grands acteurs du nucléaire après la fin du programme nucléaire (Finon, 2009) et qui peuvent légitimement appeler à une certaine remise en ordre -- ont été complaisamment confondus avec le conflit d'ambitions à l'export afin d'exhumer les dépouilles du pompidolisme industriel pour introniser EDF comme leader de l'industrie nucléaire française et vassaliser AREVA.

Les objectifs sous-jacents des auteurs du rapport Roussely, proches des nouveaux dirigeants d'EDF se sont traduits dans les différentes recommandations visant à structurer et organiser une soi-disant « équipe France » : élargir le catalogue de réacteurs proposés en ne faisant plus de l'EPR le produit phare à l'exportation pour y introduire, au côté de l'ATMEA moins gros qui est à développer entièrement, un réacteur de deuxième génération déjà existant et plus facile à vendre ; renforcer la coordination entre partenaires, en établissant EDF en chef de file « de l'équipe France » pour en finir avec l'indépendance stratégique d'AREVA ; séparer les activités minières d'AREVA en les filialisant, apparemment pour permettre aux clients d'AREVA, notamment EDF, d'entrer dans son capital afin de sécuriser leurs approvisionnements en uranium à long terme, mais plus probablement affaiblir le pouvoir industriel d'AREVA. Le rapport suggère d'entériner le leadership d'EDF par une montée de celle-ci dans le capital d'AREVA. Dans le non-dit du rapport, aucune place n'est faite à GDF Suez qui avait des prétentions à entrer dans les activités de production nucléaire en France et à redévelopper ses compétences d'ingénierie dans ce domaine.

Après huit mois de polémique, les décisions du Conseil de Politique Nucléaire (CPN) du 21 février 2011 semblent en apparence avoir suivi la plupart des propositions du Rapport Roussely avec la reconnaissance du rôle de chef de file d'EDF, celle de la nécessité d'élargissement du catalogue de réacteurs offerts par l'industrie nucléaire et la demande faite à AREVA de filialiser ses activités minières. Mais c'est seulement en apparence. Les décisions reflètent le compromis qui a été trouvé pour qu'aucun des acteurs majeurs de cette guerre picrocholine², notamment EDF, ne perde la face. En effet l'EPR est reconnu comme la technologie de référence. La possibilité pour EDF de candidater à l'export avec des partenaires chinois pour la vente de réacteurs de 1000 MW de type Gen2/Gen2+ qui avait motivé les très fortes pressions pour voir AREVA vassalisé, est remplacée par la

² Après le célèbre livre Gargantua de Rabelais, une guerre picrocholine qualifie un conflit entre des institutions ou des individus, aux péripéties souvent burlesques et dont le motif apparaît obscur ou insignifiant.

proposition d'un partenariat global avec la Chine, à négocier par le CEA et non EDF, et qui pourra inclure, entre autres, « le développement en commun d'un réacteur de moyenne puissance de 3^o génération » (CPN, 2011). Le rôle de chef de fil industriel d'EDF ne se manifeste que par la vice-présidence d'un Comité Stratégique de l'Energie Nucléaire à la fonction vague par rapport à l'enjeu des exportations de centrales nucléaires, alors que la vraie coordination des projets à l'exportation se fera par une « cellule de coordination animée par le ministre chargé de l'énergie » (CPN, 2011). La filialisation des activités minières d'AREVA est recommandée, mais sans précision sur la « mise en œuvre de scénarios stratégiques et financiers permettant d'assurer le développement (de cette filiale) ». A fortiori plus rien n'est dit sur la montée d'EDF dans le capital d'AREVA. Le fait est que, contrairement à ce qui a été professé, l'industrie française de réacteurs nucléaires n'a pas besoin de recomposition pour être plus efficace à l'exportation et qu'il n'y a aucune utilité à briser l'intégration verticale d'AREVA pour ce faire.

Pour argumenter ceci, on choisit de se centrer exclusivement sur ce que serait la bonne stratégie industrielle en matière de fabrication et d'exportation de centrales nucléaires, mettant de côté la question de la filialisation des activités minières d'AREVA et de sa dé-intégration verticale que souhaitait EDF et qui n'est qu'un aspect mineur de cette guerre picrocholine à laquelle il nous a été donné d'assister³. Pour ce faire on commencera par analyser les conditions de concurrence sur le marché mondial des réacteurs pour pouvoir mettre ensuite en perspective le débat sur l'ouverture du catalogue de réacteurs de l'industrie française et sur l'intérêt ou non d'avoir un chef de fil industriel auquel AREVA serait inféodé, plutôt qu'une coordination souple.

1. Les nouvelles conditions de concurrence sur un marché mondial segmenté

La « renaissance » du nucléaire qui était attendue avant Fukushima était en train de s'amorcer sur le marché à l'exportation sous une concurrence accrue entre vendeurs dominants qui mettaient sur le marché des réacteurs de type Gen 3/Gen3+ avec la difficulté pour eux de ne pas avoir encore de référence industrielle, tandis que des entrants mettaient sur le marché des réacteurs de niveau de sûreté inférieurs moins chers. En même temps il n'y a pas un marché, mais trois sur lesquels les conditions de concurrence et les demandes des acheteurs sont très différentes.

1.1. Les nouvelles caractéristiques de l'offre des constructeurs

Les offres sur le marché international ont subi une évolution marquée sous l'effet des activités de conception des constructeurs en panne de plan de charge depuis les années quatre vingt-dix jusqu'au milieu de la décennie 2000. L'offre s'est segmentée en deux types de technologies (voir Tableau 1):

1. celle des réacteurs avancés des filières à eau légère de type Gen3 et Gen3+, proposées par les vendeurs dominants ; le développement de ces nouveaux modèles de réacteurs a rencontré les difficultés habituelles et se situent au mieux au stade de la construction des premières réalisations, comme c'est le cas de l'EPR d'AREVA en Finlande, en France et en Chine, l'AP1000 de Westinghouse en Chine de Westinghouse/Toshiba et l'APR 1400 de KEPCO-Doosan en construction en deux exemplaires en Corée du sud. Une exception : l'ABWR de

³ Une façon d'enfoncer un coin dans la structure verticalisée d'AREVA pour affaiblir son pouvoir industriel a été de proposer la séparation des actifs miniers du reste de ses activités. La justification principale serait de permettre à EDF d'entrer dans le capital de cette filiale afin de sécuriser ses approvisionnements en uranium sur le long terme. Or il faut avoir une vision peu informée des conditions de développement des ressources d'uranium et des possibilités pour tout gros acheteur de se garantir ses approvisionnements à prix fixé, notamment par des contrats de long terme à prix fixes pour imaginer qu'il existe une menace quelconque.

General Electric développé avec ses licenciés Hitachi et Toshiba et construit en 4 exemplaires au Japon (dont 3 en fonctionnement) et en deux exemplaires à Taiwan. Les autres, l'ESBWR de General Electric, le VVER-2006 de Rosatom et le SWR (Kerena) de Siemens-Areva NP sont restés au stade de la planche à dessin.

- celle des réacteurs éprouvés de 2^e génération qui se fondent sur les techniques des années 70 et 80 et qui continuent d'intéresser les pays émergents asiatiques. On les appelle Generation II+, car ils incluent certaines améliorations par rapport à ces techniques, comme le CPR-1000 construit en Chine à partir du REP 900 vendu par Framatome, le VVER ASE-91 de Rosatom (qui est le modèle vendu en Chine) et l'OPR-1000 proposé actuellement par les Coréens KEPCO-Doosan à la Jordanie, la Turquie et l'Indonésie.

Tableau 1 : Les offres des constructeurs de réacteurs à l'exportation en 2011

	Gen 2	Gen 2+	Gen3/Gen3 <i>à sûreté active</i>	Gen 3+ <i>à sûreté passive</i>	Construction effective, ou en commande, ou en MoU*
AREVA NP			EPR ATMEA	SWR/Kerena	3 EPR hors France (Finlande, Chine) ; 2 EPR dans un MoU en Inde
AtomStoyExport/ Rosatom	VVER-1000-320	VVER-1000-428 (AES-91)	VVER-1000/392 VVER-1000/446 (AES-92)	VVER-1200/491 (AES-2006)	2 AES-91 en Chine 1 AES-91 en Iran, 2 AES-92 en Inde 2 AES-92 en Bulgarie 2-4 AES-2006 en Turquie (MoU)
GE-Hitachi			ABWR	ESBWR	2 ABWR à Taiwan
Westinghouse/ Toshiba			ABWR	AP-1000	2 AP-1000 en construction en Chine
Mitsubishi			APWR ATMEA-1		Aucun hors du Japon
AECL		Candu-6 Candu-9	ACR 700 ACR-1000		Deux Candu-6 en Roumanie
Les entrants :					
KEPCO/Doosan HI		OPR 1000 (System 80)	APR-1400 (System80+)		4 APR-1400 aux EAU, 1 OPR-1000 en Corée du nord
Chine (CGNPC, CNCC)	CNP-300 (1 boucle)** CNP-600(2-boucles)	CPR-1000+			2 CNP-300 au Pakistan

Source principale : Nomura Equity Research (2010)

*Avant l'accident de Fukushima, **Le CNP-300 ou 600 résulte d'un premier transfert de technologie des REP de Framatome vers la CNCC chinoise. Le second transfert de technologie sur le REP 900 s'est effectué avec l'appui d'EDF vers la CGNPC qui l'a modernisé, et cherche à le proposer à l'international malgré les contraintes de licence d'AREVA NP.

Cette évolution de l'offre des constructeurs dominants a eu deux conséquences pour eux. D'abord, tant que les premiers réacteurs Gen III et Gen III+ n'auront pas été construits et leurs performances d'exploitation démontrées par les retours d'expérience, les constructeurs dominants centrés sur les techniques Gen3/Gen3+ subiront la concurrence des entrants qui offrent de Gen2/Gen2+. Le consortium coréen KEPCo/Doosan met sur le marché avec « fierté » l'OPR 1000 à un prix de 1800 €/kW et l'APR-1400 qu'il intronise Gen3 à un prix de 2500 €/kW dans le contrat avec Abu Dhabi (WNA, 2011b) tandis la CGNPC chinoise démarche actuellement l'Afrique du sud avec le CPR-1000+ à un prix deux fois moindre que celui de l'EPR. Le consortium russe AES peut aussi se placer avec des réacteurs relativement bon marché, comme il cherche à le faire en Turquie en concrétisant les éléments de la lettre d'intention signé en 2009. Ensuite l'absence de référence industrielle retarde la possibilité de faire valoir les Gen3/Gen3+ comme seule voie « légitime » de développement des

capacités électronucléaires. L'accident nucléaire japonais devrait sans doute conduire à établir une concurrence entre les seuls Gen3/Gen3+.

1.2. Les différences entre segments du marché des réacteurs

On doit distinguer trois segments de marché avec des caractéristiques très différentes en termes d'environnement réglementaire et politique, en termes aussi de demande des acheteurs. Chacun ouvre des perspectives différentes de risques, de revenus et de renouvellement de contrats.

- **Les économies développées.**

Malgré l'impression d'une renaissance du nucléaire dans ces pays⁴, ce marché présente des perspectives de commandes incertaines, du fait de l'importance des contraintes politiques et réglementaires, quand ce n'est pas une loi empêchant toute nouvelle construction et les accidents nucléaires japonais vont sans doute ajouter à ces contraintes. La libéralisation des marchés électriques a ajouté un risque d'investissement supplémentaire. La taille de l'investissement joue aussi sur la valeur actionnariale des entreprises électriques moyennes comme aux Etats-Unis (Finon et Roques, 2008). Ces deux facteurs conduisent les opérateurs en concurrence à se mettre en consortium pour investir dans de nouveaux projets nucléaires dans l'Union européenne ou aux Etats-Unis. Des politiques de subventions et de support aux premiers investissements qui peuvent comprendre des garanties d'emprunts, une assurance contre le risque juridique et réglementaire de chantiers et une subvention à la production, sont parfois jugées nécessaires pour déclencher les premiers projets comme aux Etats-Unis, et prochainement au Royaume Uni dans le cadre de l'« Electricity Market Reform » en cours de débat.

La nouveauté de ces marchés est que la reprise des commandes se fait dans un contexte de concurrence entre constructeurs nationaux et constructeurs étrangers comme sur le marché américain, ou plus simplement entre constructeurs étrangers sur les marchés européens sans industrie nationale (Finlande, Italie, Royaume Uni), alors qu'auparavant ils étaient réservés de facto aux constructeurs nationaux ou aux licenciés nationaux des firmes américaines. Ceci implique pour les constructeurs étrangers de développer une stratégie complexe d'alliances avec les industriels nationaux en parallèle avec la recherche de clients énergéticiens intéressés par le type de réacteurs proposés et la certification particulièrement complexe de chaque modèle de réacteur. Les chances de réussite d'une percée sur ces marchés renaissants, notamment par l'accompagnement des industriels et des opinions publiques, seront d'autant plus grandes que la part de sous-traitances avec des partenaires locaux est élevée.

- **Les économies émergentes : l'enjeu du transfert de technologies**

Après la reprise des commandes qui suivra la période de réflexion consécutive à l'accident japonais de mars 2011, c'est sans doute le segment de marché qui se développera le plus, notamment dans les pays asiatiques. Avant l'accident japonais de mars 2011, la Chine et l'Inde prévoient d'installer respectivement 200 GW et 50 GW d'ici 2030. A part la Corée du sud avec 9 réacteurs achetés à trois constructeurs étrangers (Framatome, AECL, Combustion Engineering) avec des parts croissantes de fabrication locale et un transfert de technologies assuré par l'un d'entre eux, l'Afrique du sud avec deux réacteurs achetés à Framatome à la fin des années soixante-dix et qui vise l'installation de 6 à 10 réacteurs d'ici 2025, et le Brésil, avec deux réacteurs PWR acheté à Westinghouse et à Siemens

⁴ Six réacteurs sont couramment en construction en Europe (Olkiluoto-3 en Finlande, Flamanville-3, Belene 1 & 2 en Bulgarie et Mochovce 3 & 4 en Slovaquie, les deux derniers étant en fait l'achèvement de chantiers commencés avant la chute des régimes communistes dans les pays de l'est). Avant Fukushima il existait des perspectives de commandes au Royaume uni, en Italie, en Pologne, en République Tchèque et plus tard en Suisse et en Suède.

dans les années 70, et qui visent l'installation de 6 à 8 réacteurs d'ici 15 ans font partie de ce groupe d'acheteurs. Les programmes vont sans doute être revus à la baisse, notamment en Inde, mais aussi en Chine où plusieurs rapports avaient déjà attiré l'attention sur les difficultés pour l'autorité de sûreté de pouvoir faire croître ses ressources de contrôle pour suivre la construction en parallèle d'une vingtaine de réacteurs (WNA, 2011a).

Quand ce segment se réanimera après les révisions des programmes après Fukushima, il ne sera pas celui d'où se dégagera le plus de revenus. En effet il se caractérise par le fait que ces pays ont une vision programmatique du développement de leur parc nucléaire et un objectif de transfert de technologie vers leur industrie de construction mécanique et électrique, objectif qui s'appuie sur un taux croissant de fabrication locale dans les différents domaines (génie civil, composants de l'îlot nucléaire, composants classiques) et la signature d'un accord de transfert de technologies plus ou moins contraignant. La politique passée de la Corée du sud qui a privilégié les commandes à Combustion Engineering à partir de 1988 dans ce but, comme celle de la Chine détaillé dans l'encadré 1, en sont une illustration parfaite. Il s'ensuit que, sur ce segment de marché, le vendeur qui a été sélectionné va retirer de commandes successives de tels pays des recettes de plus en plus modestes par réacteur. Le marché étant étroit, les acheteurs ont été et sont en position de force pour imposer aux vendeurs attirés par la dynamique des besoins de ces pays de serrer au maximum leurs marges pour concéder rapidement une part importante de fabrication locale. Après le premier contrat la tendance est d'isoler l'îlot nucléaire, puis dans le contrat suivant, de diviser les commandes concernant l'îlot nucléaire en plusieurs lots en attribuant une partie à l'industrie locale, puis à la troisième étape, de prendre aussi le contrat d'architecte-ensemblier. Les vendeurs de réacteurs sur ces marchés sont donc confrontés au dilemme classique d'accepter du transfert de technologie pour emporter un contrat, avec la double perspective de voir le marché se fermer rapidement et de se retrouver ensuite en concurrence avec l'acheteur sur d'autres marchés. Les relations commerciales avec la Chine regorgent d'exemples de cette difficulté⁵.

La concurrence entre vendeurs de réacteurs se joue généralement sur leur disposition à transférer plus ou moins rapidement la technologie. C'est ainsi qu'à deux reprises s'est joué un marché entre Framatome (Areva) et un de ses concurrents. Le premier cas est celui de la Corée du sud où en 1988 a été perdue une commande de deux réacteurs après la réalisation d'une première portant sur deux REP-900, aux bénéfices de Combustion Engineering qui acceptait le transfert intégral de la technologie System 80 avec le droit d'exporter. Le second cas est celui de la Chine en 2006, où Westinghouse a obtenu le premier contrat de réacteur Gen3/Gen3+ sur 4 réacteurs AP1000 parce qu'il a accepté le transfert rapide de la technologie avec un droit à l'exportation. Dans les deux cas les transferts de technologie se sont monnayés par un paiement de départ important (on parle de 400 millions d'€ dans le premier cas). La disposition à céder la technologie de Combustion Engineering (C.E.) et de Westinghouse était liée au problème de santé financière de ces deux constructeurs étranglés par l'absence de commandes depuis plusieurs années (Notons que C.E. a été racheté par ABB en 1990 deux années après, et Westinghouse par Toshiba en 2007 une année après)⁶. Dans les deux cas Framatome, puis AREVA posait pour le REP 900 et l'EPR des conditions de transfert plus graduelles et ne souhaitait pas retrouver rapidement une entreprise chinoise en concurrence à l'export avec des EPR chinois.

⁵ Par exemple le transfert de technologies des rames de trains rapides Shinkansen par Kawasaki en 2000 à CSR (China Southern Railway) en accompagnement de la vente de 4 rames a fermé définitivement le marché chinois aussi bien au producteur de cette technologie qu'à ses grands concurrents Alstom et Siemens, tandis que désormais les trois constructeurs retrouvent constamment la firme chinoise comme concurrent sur les marchés des pays en développement. Voir O.Esposito, La bouilloire et le TGV, *La Tribune*, 18 janvier 2011 et J.Ruet, La Chine sur la voie de l'impérialisme ferroviaire, *Le Monde de l'économie*, 22 mars 2011.

⁶ Sur l'obtention du contrat de Westinghouse, voir l'analyse de JC Lény, l'ancien PDG de Framatome, dans « *Au-delà du duel Areva Westinghouse : fallait-il à tout prix décrocher un contrat chinois pour l'EPR* » sur blogs.lesechos.fr/23.06.2006/blogs.lesechos.fr/.../au-dela-du-duel-Areva-westinghouse-fallait-il-a-tout-prix-decrocher-un-contrat-chinois-pour-l-epr-a559.html.

Encadré 1.

Les transferts de technologies de réacteurs vers l'industrie chinoise*

Il y a eu plusieurs canaux de transfert de technologie depuis la fin des années 80 avec trois receveurs principaux : la China National Nuclear Corporation (CNNC) et la CPI appuyées sur des firmes spécialisées en ingénierie nucléaire (SNPTC, SNERDI), et la China Guangdong Nuclear Power Corporation (CGNPC) qui est un producteur d'électricité de la province du Guangdong lié à l'entreprise électrique de Hong Kong. Il y a eu d'abord des accords de transfert vers la CNNC sur deux technologies, le REP de Framatome et le Candu de l'AECL Canadienne. Elle a ensuite construit elle-même deux paires de réacteurs de 600MW de chaque type à Qinshan en Chine. La CNNC en a même vendu un exemplaire au Pakistan en contournant les contraintes du Traité de Non-Prolifération. Mais ces deux lignes de transfert de technologie sont désormais fermées.

Plus récemment entre 1995 et 2005 il y a eu le transfert progressif de la technologie des REP 900 vers la CGNPC avec l'appui d'EDF au fur et à mesure de la réalisation des trois contrats portant chacun sur une paire de REP 900. Ainsi pour le 3^e contrat signé en mai 2005 sur les deux réacteurs de Ling Ao II, Areva ANP n'a obtenu que la partie « circuit primaire » et le contrôle-commande de l'îlot nucléaire (soit 200 millions d'€ sur une valeur totale d'une tranche de 1,5 milliard d'€). Le transfert de technologies qu'EDF a accompagné a conduit au développement du CPR-1000 (qui au passage est devenue la technologie de base des constructions et des commandes actuelles en Chine). La lignée technologique du CPR 1000 reste contrainte pour l'exportation de réacteur par l'accord de licence d'AREVA. A moyen terme la CGNPC prévoit une évolution significative vers un ACPR-1000 qui serait un Gen-3 avec des éléments de sécurité renforcés. Ce serait un modèle de réacteur totalement détaché de la licence AREVA et qui pourrait donc être destiné aussi à l'exportation.

Actuellement la Chine a organisé le transfert de technologies sur deux filières Gen3/Gen 3+, l'AP-1000 et l'EPR, avec Westinghouse et AREVA pour établir définitivement une capacité autonome de construction nucléaire et d'exportation sur les réacteurs avancés. Les contrats passés entre Westinghouse/Toshiba et la CNNC sur les quatre AP 1000 de Snamen et Haiyang en 2006, et ceux entre AREVA avec la CGNPC sur les deux EPR de Taishan en 2008 ont pour contrepartie un transfert de technologies plus ou moins rapide. La commande de 4 réacteurs AP-1000 a été obtenue sous condition d'accompagnement d'un accord de transfert de la technologie qui laisserait les mains libres à l'entreprise chinoise d'exporter l'AP-1000 sans conditions. C'est sur cette technologie que la Chine a l'ambition de faire reposer une partie de son développement nucléaire après 2015-2020. Elle programme le développement d'un AP 1400, entièrement sinisé (dans le cadre d'une coopération de la SNPTC avec Westinghouse/Toshiba) qu'il pourra exporter sans l'accord de ce dernier.

Le contrat avec la CGNPC signé en 2008 avec AREVA pour la vente des deux EPR s'accompagne d'un accord pour la création d'une société d'ingénierie commune entre AREVA et la CGNP (avec des parts respectives de 45%-55%). Elle est définie comme une structure de transfert de technologies sur l'EPR et le CPR-1000 et comme une structure de vente du CPR-1000 à l'étranger. De leur côté EDF et la CGNPC sont en partenariat (une co-entreprise à 30%/70% de parts du capital) pour construire et exploiter les deux réacteurs EPR de Taishan. Pour pouvoir signer le contrat des deux EPR en 2008, AREVA a dû aussi accepter une part de construction locale importante dès le second réacteur (pour l'enceinte de confinement à Dongfang, pour les quatre générateurs de vapeur à DEC et Shanghai Electric et pour le turboalternateur à Dongfang Electric et non pas à Alstom), et le transfert de technologie progressif juste mentionné.

C'est face à ces ambitions d'autonomie technologique et d'affirmation de la puissance technologique chinoise qu'il convient d'apprécier les ambitions d'EDF de s'allier à la CGNPC pour aller à l'exportation ainsi que la pertinence de l'objectif de rechercher un partenariat global avec l'industrie nucléaire chinoise défini par le CPN du 21 février 2011 (voir § 2.3).

*On s'appuie ici principalement sur les informations publiées sur l'industrie nucléaire chinoise dans la fiche pays sur la Chine publiée par la World Nuclear Association. (WNA, Nuclear Power in China, 2011a)

- **Les candidats à l'entrée dans le club électronucléaire**

Ce segment de marché qui représente 15 à 20% du marché des réacteurs est bien particulier car il s'agit de mettre en place dans ces pays un système technologique complet qui n'existe pas, avec les

compétences et les institutions associées à ce système. Il comprend des pays émergents, des pays pétroliers rentiers, et parfois des petites économies à systèmes électriques réduits mais ayant des besoins de dessalement d'eau de mer, comme actuellement la Jordanie qui n'a qu'un système électrique de 2000 MW. Pour certains leur intérêt pour la technologie nucléaire civil se manifeste de longue date et a déjà été préparé par des conventions de coopération visant à établir des compétences en technologie et en contrôle de la sûreté nucléaire, en s'appuyant sur le développement de centres de recherche nucléaire.

Parmi les émergents⁷, on compte la Turquie qui ne possède pas encore de centrales nucléaires alors qu'elle frappe à la porte du club du nucléaire civil depuis le début des années 80 (elle a signé un accord avec l'exportateur russe en 2009 pour 2 réacteurs AES-2006 à construire dans le cadre d'un accord BOO, mais il n'a pas encore été suivi d'engagement contractuel à ce jour), l'Indonésie, la Thaïlande, la Malaisie et le Vietnam, etc. La Pologne qui n'a pas encore de réacteurs se situe dans la même démarche. On peut ajouter l'Égypte, le Maroc et la Jordanie qui, au passage, est démarchée par quatre constructeurs : Areva-MHI avec l'ATMEA, AECL, KEPCO-Doosan, Atomstroyexport. Les pays pétroliers du Moyen-Orient – les Emirats (Abu Dhabi), le Koweït et depuis peu l'Arabie Saoudite – qui sont intéressés par le nucléaire civil, constituent un cas particulier dans la mesure où ils disposent encore de ressources de pétrole et de gaz importantes⁸.

Sur ce segment de marché, la demande du pays est généralement globale : la construction de deux à quatre tranches nucléaires, un contrat clé en main qui fait porter le risque par le vendeur, un crédit fournisseur généreux, le service d'exploitation pendant les vingt premières années, la fourniture du combustible enrichi, la formation de personnels, et du côté du gouvernement du vendeur, la garantie du crédit export et un accord de coopération pour l'établissement d'une législation et pour la formation des compétences en matière de sûreté. La possibilité de présenter une offre globale donne un avantage à des propositions qui associent un exploitant à l'offre de tranches nucléaires, comme ce peut être le cas de GDF Suez s'associant avec AREVA par exemple pour la Jordanie et les Emirats, d'EDF et de KEPCO (l'entreprise publique sud-coréenne) qui peuvent offrir aussi le service d'architecte-ensemblier.

Pour résumer cette analyse des conditions d'offre et de demande sur le marché international, on observe une demande de réacteurs diversifiée entre celle des entreprises électriques des Etats-Unis, de l'UE et du Japon, celles des pays émergents voulant un transfert de technologies rapides (avec partage progressif des tâches et des responsabilités et mise en place de partenariats locaux) et celles des nouveaux venus souhaitant une orchestration de l'ensemble de la construction et de l'exploitation de ses premières centrales par un consortium intégrant une entreprise électrique pour ses compétences d'exploitant.

1.3. Au cœur de la concurrence dans cette variété des marchés, la taille et le niveau de sûreté des réacteurs

En dehors de coût de travail bas pour la Chine, la Corée du sud et la Russie permettant de faibles coûts de fabrication et de construction et des offres de prix bas, les avantages concurrentiels sur certains segments de marché pourraient apparemment être recherchés de deux façons : avoir une offre diversifiée vers des réacteurs de taille moyenne qui a priori seraient mieux adaptés au taille des systèmes électriques d'économies en développement ; et avoir des réacteurs simplifiés en termes

⁷ WNA, *Emerging nuclear energy countries*, WNA website, (Updated 4 March 2011)

⁸ Soulignons aussi que les deux premiers ont de petits systèmes électriques (autour de 7-10 GW), ce qui limite l'intérêt de commandes en série comme vient de le faire Abu Dhabi (les 4 réacteurs commandés à la Corée du sud ajouteront 5,6 GW au système des Emirats qui n'est que de 7000 MW en 2010), pays qui parie sans doute à la fois sur une croissance électrique et des besoins de dessalement extrêmement importants.

de sûreté pour pouvoir réduire les coûts et les prix offerts pour des pays de niveau de développement moins élevé». C'est en tout cas ce que le rapport Roussely considère en relation avec l'objectif de gagner des marchés plus facilement sur le segment des « primo-accédants » et des émergents. Ce sont des présupposés qui méritent d'être discutés.

- **La question de la taille**

Il existe une relation bien connue entre la taille d'un nouvel équipement électrique et la taille du système électrique dans lequel il est inséré afin de ne pas compliquer l'exploitation de ce système : un équipement ne peut pas dépasser 10 à 12% de la puissance du système. Un système de 2000 MW ne peut donc intégrer sans problème un équipement de plus de 300 MW, et un système électrique de 7000 MW un équipement de plus de 1000 MW. Toutefois, dans un système en forte croissance électrique comme le sont ceux de pays émergents, on doit également prendre en compte la croissance du système entre la décision d'installation d'un équipement et sa mise en fonctionnement (Devezeaux et Légée, 2010). Ainsi un EPR de 1500 MW construit en 6 ans qui aurait tout juste sa place dans un système stagnant de 13 000 MW pourrait être intéressant pour un système de 7000 MW croissant à un rythme de 10% par an. Dès lors que la croissance électrique est rapide, il y a donc peu de différence entre proposer un réacteur de 1000 MW au lieu d'un réacteur de 1500 MW dans les petits systèmes en forte croissance. Ce qui concerne donc la plupart des pays émergents et des pays pétroliers intéressés actuellement par l'achat de réacteurs nucléaires.

Les seules différences entre des réacteurs de 1000 MW et ceux de 1500 MW se trouvent dans l'avantage de la relative modularité des premiers qui permet de limiter les pertes d'exploitation en cas de mise à l'arrêt des premiers réacteurs, et dans celui d'une moindre mobilisation de capitaux par réacteur. Ce dernier avantage peut compter, notamment quand il est difficile de mobiliser un large financement sans garantie de l'Etat vendeur. Mais d'une part, les ventes de réacteurs s'effectuent le plus souvent en achats groupés et avec cette garantie. D'autre part l'économie de capitaux pour un réacteur de taille inférieure n'est pas proportionnelle à la différence de taille pour un même type de réacteur.

L'économie de la production électronucléaire a toujours reposé sur un principe permanent, la recherche d'effet de taille, pour recouvrir plus facilement les coûts fixes et diminuer le prix de revient du kWh. La raison en est que le coût des matériaux (ciment, acier, etc.) par kW s'accroît quand la taille décroît ; de même pour le coût du confinement, des systèmes indépendants de contrôle, de l'instrumentation et des systèmes de secours. Ceci explique les décisions de faire croître les tailles d'abord vers 700-900 MW, puis vers 1400 MW dans les années 60-70 et maintenant vers 1650 MW avec l'EPR, en délaissant définitivement les tailles de 300-500 MW. Il existe empiriquement une fonction exponentielle selon laquelle une augmentation d'une taille de 50% réduit de 10 à 15% ce même coût unitaire par kW (Devezeaux et Légée, 2010). Par exemple quand un EPR de 1600 MW de série coûterait 3,2 milliards d'€, son équivalent de 1000 MW coûterait 2,3 milliards au lieu de 2 milliards d'€. La contrainte de financement pèse sans doute d'un poids important dans les préférences des acheteurs, mais les vendeurs savent, quand il le faut, mobiliser des crédits fournisseurs généreux avec la garantie de l'Etat. L'effet de taille joue également sur les compétences en matière de contrôle de sûreté. Un pays préférera développer de telles compétences pour contrôler deux réacteurs, plutôt que quatre ou cinq réacteurs.

Ces développements permettent simplement de souligner que, si les coûts et les performances de la technologie EPR se trouvent maîtrisés prochainement, il n'y aura pas d'avantages marqués à faire des offres avec des réacteurs de taille moyenne de 1000 MW par rapport à des offres de réacteur EPR de 1600-1700 MW de technologies voisines, si les offres s'accompagnent de montages de financement adéquats.

- **La question du dumping sur la sûreté**

La vraie source de différenciation au niveau des prix proposés sur le segment des « primo-accédants » et des émergents réside dans leur conception résultant des exigences de sûreté. La concurrence à l'export doit se jouer principalement sur le terrain des pays émergents - Chine, pays d'Asie du sud-est, Inde, Afrique du sud, Brésil, Turquie, Egypte - et les pays du Moyen-Orient intéressés par le nucléaire et qui, en absence de gouvernance mondiale de sûreté, n'ont pas a priori à se soumettre aux normes les plus sévères définies aux Etats-Unis ou dans l'Union européenne. Avant Fukushima la demande en matière de niveau de sûreté des réacteurs achetés pouvait être d'autant moins exigeante que cela permet d'acheter moins cher les réacteurs souhaités, comme on le voyait dans les hésitations récentes de l'Afrique du sud entre l'achat de Gen3 et d'un réacteur Gen2, notamment chinois (Nucleonics Week, 7 octobre 2010)⁹.

La concurrence d'entrants aux objectifs mercantiles existe bel et bien. Les Coréens proposent l'OPR 1000 qui est un Gen2 à l'Indonésie, la Jordanie, et la Turquie en le présentant comme un Gen2+. De leur côté, s'ils n'étaient pas contraints par les accords de licence avec AREVA, les Chinois seraient prêts à exporter le réacteur CPR-1000+, qui est un Gen2+, à des prix défiant toute concurrence : il serait proposé à un prix deux fois moins cher que l'AP 1000 ou l'EPR, notamment en Afrique du sud (Nucleonics Week, 7 octobre 2010). Beaucoup d'avis exprimés en France ont attribué l'échec à l'appel d'offres d'Abu Dhabi à l'avantage que le proposant coréen pouvait avoir en termes de prix en raison de la moindre complexité du réacteur et du niveau de sûreté du réacteur APR 1400 inférieur à celui de l'EPR : les différences de coût d'investissement et de prix entre l'APR 1400 et l'EPR étaient de 600 \$/kW d'après des données coréennes (respectivement 2300 \$/kW et 2900 \$/kW) (WNA, 2011b)¹⁰. Sachant que les pays émergents acheteurs ne sont pas forcément attachés à avoir des réacteurs de sûreté maximale, les vendeurs dominants ne pourraient pas rivaliser avec les vendeurs de nucléaire bas de gamme.

Ceci dit, les accidents nucléaires japonais devraient conduire ces pays à attacher beaucoup plus d'importance à la fixation des normes de sûreté minimales sévères. Une seconde contrainte pourrait venir d'un accord international fixant des normes minimales de sûreté élevé à tous les pays construisant des réacteurs nucléaires. Ce pourrait être aussi un accord entre gouvernements de pays exportateurs, qui contraindrait l'exportation de centrales nucléaires en termes de normes de sûreté, comme l'exportation d'équipements et matériaux nucléaires pour le contrôle de leur usage purement civil est normée par le Traité de non-prolifération et son protocole additionnel.

Avant les accidents de Fukushima, les constructeurs principaux qui avaient dû développer des *designs* exigeants de réacteurs en matière de sûreté sous la pression de leur autorité nationale de sûreté et qui ne proposent à la vente que des réacteurs de type Gen3/Gen3+, n'avaient comme seule ressource que d'agir au plan européen et international, pour que l'ensemble des pays adoptent des normes de sûreté les plus élevées en appuyant l'action des gouvernements et des autorités de sûreté dans l'arène internationale. Dans l'Union européenne où existe un environnement très sensible à ces questions, les Etats-membres avaient adopté peu avant Fukushima une recommandation tendant

⁹ A. McLachan, South Africa seeking to restart nuclear program at lower cost, *Nucleonics Week*, Vol. 51, n° 40, October 7, 2010.

¹⁰ Le profil de sûreté de l'APR 1400 coréen serait inférieur à celui de l'EPR, mais il se situe indéniablement dans la gamme des Gen3. Il découle d'un concept System 80+ de Combustion Engineering considéré comme étant un réacteur de type Gen3 et ayant comme tel reçu une certification de l'US NRC. Il offre des paramètres de sûreté renforcés ainsi que des coefficients de résistance à des tremblements de terre élevés. Toutefois il est vrai que l'APR 1400 n'a pas la protection suffisante pour résister à la chute d'un avion de ligne. Il n'a pas de cendrier (core-catcher) comparable à celui de l'EPR pour la récupération du cœur fondu. Il manque un troisième système de sûreté pour atteindre une redondance de systèmes comparable à celle de l'EPR. Les Coréens les ont rajoutés dans leur offre actuelle en Finlande (WNA, 2011b)

à fixer des normes de sûreté minimales élevées lors du Conseil des ministres de l'énergie du 4 février 2011¹¹.

Mais ce qui s'opère assez logiquement au plan de l'Union Européenne est beaucoup moins simple à réaliser au plan international, quand bien même le G20 s'emparerait de cette question après l'accident de Fukushima, suite à l'action de la France qui en assure la présidence en 2011. On peut en première approche imaginer que la gouvernance d'un régime international en la matière devrait relever de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) qui est une instance de l'ONU. Elle a pour vocation de faciliter le développement des usages civils de l'atome dans le respect des normes de la non-prolifération, mais elle n'a aucunement vocation à être le point d'appui d'une gouvernance mondiale de la sûreté nucléaire, même si elle intervient dans le domaine de la formation et de l'appui aux autorités de sûreté naissantes. La seule règle qui est imposé aux Etats-membres est que les pays acheteurs respectent des critères simples de sûreté. On peut pourtant imaginer qu'à l'instar du Traité de non-prolifération, qui régit les normes anti-prolifération à respecter par les pays exportateurs de matériaux et d'équipements nucléaires, un accord des pays exportateurs de réacteurs nucléaires puisse être passé un jour, dont l'application soit ensuite contrôlée par l'AIEA sur les normes de sûreté sévères à respecter pour les réacteurs vendus à l'international et sur l'implantation de ces réacteurs¹². Un tel accord impliquerait que les pays vendeurs appliquent déjà eux-mêmes ces normes exigeantes. De plus il n'est pas concevable sans l'adhésion des entrants sur le marché international comme la Chine et la Corée du sud, qui étaient réticents pour adopter une telle approche avant l'accident japonais, notamment parce que cela leur imposait aussi de passer plus rapidement à des réacteurs Gen3/Gen3+ sur leur propre marché. Ceci dit, des solutions pragmatiques peuvent être suggérées par les démarches Pour l'heure l'Agence de l'Energie Nucléaire de l'OCDE réfléchit à une façon indirecte de traiter le problème dans le cadre de son *Multinational Design Evaluation Programme* en cherchant à définir un schéma international de procédure de licence qui permettrait de standardiser les exigences de sûreté pour les nouveaux réacteurs à installer¹³. Ce pourrait être une idée à reprendre dans le cadre d'un traité international sur la question, sans que cela résolve la question des niveaux de sûreté très variés des réacteurs existants ou en construction actuellement.

L'accident japonais va changer nécessairement la donne pour trois raisons. D'abord il valide de façon spectaculaire la nécessité du passage à des réacteurs Gen3+ de niveau de sûreté beaucoup plus sévère que les Gen2, (notamment ceux avec des caractères de sûreté passive qui offrent le plus de protection en cas de pertes totales d'alimentation électrique). Ensuite dans les pays de croissance forte qui voudront continuer à développer le nucléaire et dont l'industrie ambitionne d'aller à l'international, la crédibilité de la sûreté de l'ensemble de leur parc nucléaire futur sera mise à mal pour de longues décennies si la trajectoire technologique reste collée encore trop longtemps à une technologie de seconde génération, chaque nouveau réacteur étant appelé à être en exploitation pendant 60 ans¹⁴. En troisième lieu le risque technologique plus grand associé à des réacteurs Gen2 ne manquera pas de conduire les financeurs à restreindre le crédit attribué à ses projets, sans parler

¹¹ Voir le communiqué du Conseil Européen de l'Energie du 4 février 2011

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=DOC/11/1&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

¹² Avant Fukushima, La France militait déjà pour que les nouveaux critères comprennent la réduction du risque de fusion du cœur d'un facteur 10 comparés aux réacteurs Gen2, l'élimination pratique de tout risque de relâchement de radioactivité en dehors des enceintes de confinement et la résistance à des événements externes extrêmes type attaques terroristes, comme le proposait l'Administrateur général du CEA en octobre 2010, cité par Nucleonics Week, 7 octobre 2010.

¹³ Voir le site web de ce programme <http://www.oecd-nea.org/mdep/>

¹⁴ Ce point était rappelé récemment dans un rapport chinois du State Council Research Office au State Council on Strategic Matters de janvier 2011 qui attire l'attention sur un risque associé à un développement trop important de réacteur Gen2 en Chine, « le risque étant qu'un tel développement pour éviter de percevoir le parc nucléaire chinois soit durablement en dessous du niveau moyen mondial de normes de sûreté, notamment quand une grande partie des réacteurs Gen2 auront atteint leur fin de vie ». (WNA, China Nuclear Power, 2011a, p.3)

de ceux qui seraient à installer dans des pays et des zones à risque sismique élevé ou en bord de mer¹⁵.

2. Elargir le catalogue des réacteurs offerts à l'export : quelle nécessité ?

Le fonds du problème est que les difficultés de construction des deux EPR européens retardent l'acquisition d'une référence industrielle avec ce type de réacteur et limitent la possibilité pour AREVA de le faire valoir pour le développement des capacités électronucléaires dans la plupart des pays. Elles ont donné prise aux critiques du rapport Roussely et à l'affirmation d'ambitions concurrentes. La question posée dans le rapport (« *Comment soutenir une politique d'exportation avec un seul produit, a fortiori aussi typé ?* ») (p.8) reflète l'opinion commune des auteurs du rapport et des dirigeants d'EDF, selon laquelle on ne va pas à l'international avec un produit unique, qui de plus est complexe du fait de trop d'exigences de sûreté. On a donc reproché à AREVA de ne pas avoir diversifié son catalogue en n'ayant développé qu'un réacteur complexe, de très grande taille et au coût forcément prohibitif¹⁶. F. Roussely a pu à l'occasion souligner que les éléments de complexité, le triple circuit de sécurité, le cendrier, etc., en font un réacteur trop coûteux et « invendable »¹⁷. Le rapport Roussely de façon sibylline suggérait que l'industrie française propose un réacteur avec un niveau de sûreté correspondant à l'attente des candidats à l'utilisation du nucléaire civil. Il devient ambigu sur le rôle que la France pourrait avoir dans la définition des normes de sûreté acceptée internationalement. On lit en effet (p.15) : « *La seule logique raisonnable ne peut pas être une croissance continue des exigences de sûreté. Dans ce contexte, il est proposé de lancer, sous la responsabilité de l'État, un groupe de travail dont la mission serait de formuler des propositions en vue d'associer au mieux exigences de sûreté et contraintes économiques, en incluant une vision internationale, a minima européenne* »¹⁸. Le rapport préconise donc l'élargissement du catalogue à des réacteurs de moyenne taille, notamment l'ATMEA-1 de 1000-1150MW et de « *nouveaux réacteurs de plus petites puissances (que l'EPR) développés par nos partenaires industriels étrangers* » (p.9), sans préciser explicitement qu'il s'agissait du CPR-1000 chinois. Le gouvernement n'a pas repris cette seconde proposition lors des décisions du CPN du 21 février 2011 en proposant d'établir à la place une coopération générale avec la Chine incluant éventuellement le développement d'un réacteur Gen3 qui pourrait être un ACPR-1000¹⁹. On examinera ces différents points.

2.1. Pas de faute de choix de modèle de réacteur

La critique de la stratégie d'AREVA et la proposition d'ouvrir des alternatives dans le catalogue de l'industrie française ignorent la réalité de la technologie nucléaire (complexité, taille des installations), les importantes contraintes de l'apprentissage technologique et industriel sur chaque

¹⁵ Voir en ce sens les commentaires d'un banquier sur le changement d'attitude des financeurs des projets nucléaires après Fukushima du Financial Times du 16 mars.

¹⁶ La critique des choix d'AREVA s'appuie sur celle de « la complexité de l'EPR résultant des choix de conception, notamment du niveau de puissance (1 650 mégawatts, MW), l'enveloppe, le récupérateur du cœur en cas de fusion et la redondance de systèmes de sécurité, est certainement un handicap pour sa réalisation et ses coûts » (p.8).

¹⁷ Le mot a été prononcé par François Roussely lors de son audition devant la Commission de l'AN du 17 septembre 2010. On peut se demander au passage pourquoi entre 2000 et 2004, EDF en la personne de son PDG F. Roussely n'avait pas émis de critiques sur la complexité de l'EPR et sur l'étroitesse des choix que lui laissait Framatome ANP.

¹⁸ F. Roussely s'est prononcé aussi sur le fait que l'ASN « *tend trop à empiler les impératifs de sûreté exigés de l'EPR* » et peut entraver les ventes à l'export par des avis sur des éléments des réacteurs exportés qu'elle peut juger problématiques (intervention devant la Commission des Affaires économiques de l'AN, septembre 2010). Le rapport qu'il signe considère ainsi qu'« *il n'est pas dans la mission de l'ASN d'intervenir dans le processus d'offre à l'export* » (p. 15).

¹⁹ Le CPN propose également d'agrèger à cet ensemble un effort de développement sur un petit réacteur de 300 MW, objectif sans doute inspiré par le renouveau d'intérêt des Américains pour ce type de réacteurs destinées uniquement à des constructions modulaires de centrales, et non pas des marchés à l'export. Les avantages de cette approche modulaire qui permettrait de bénéficier d'une construction de l'îlot nucléaire en usine et un temps de construction moins élevé sont discutés et critiqués dans A. Markijani et M. Boyd, 2010). Nous ne développerons pas ce point ici.

nouveau modèle et l'amplification de ses contraintes dans les environnements sociaux ouverts dans lesquels les autorités de sûreté nucléaire ont une indépendance marquée. L'entrée de tout nouveau modèle de réacteur dans de tels environnements.

« Comment, pendant la période de vaches maigres du marché international, devait-on anticiper les conditions de reprise et l'orientation de la demande des acheteurs? » aurait été la question pertinente à poser plutôt que de critiquer la complexité et les coûts de l'EPR. Est-ce que l'erreur a été d'accepter de se placer dans une course à la sûreté tirée par les autorités de sûreté pour rechercher l'acceptabilité afin d'obtenir la certification de la technologie en France, en Allemagne et aux Etats-Unis, comme le faisaient tous les constructeurs ? On aurait pu certes imaginer une autre stratégie de la part d'EDF en tant qu'acheteur de réacteur qui privilégierait la maîtrise des coûts, mais qui aurait nécessité d'affronter les autorités de sûreté allemande et française. Elle aurait impliqué qu'EDF entre 1995 et 2005 ait une vision très claire en matière de poursuite de l'option nucléaire alors qu'elle avait désormais un parc surdimensionné, et qu'il s'agissait seulement de maintenir ses compétences d'ingénierie. Fallait-il suivre les exigences allemandes auxquelles adhérait l'Autorité Nationale de sûreté (ASN) et se spécialiser sur le futur EPR ? Fallait-il au contraire, en parallèle avec les études de l'EPR, construire régulièrement un réacteur de type N4 en version améliorée, comme certains l'ont proposé²⁰ ? Mais un tel choix n'était pas possible pour deux raisons. D'abord la libéralisation des marchés dissuadait de s'engager dans des investissements en nouveaux réacteurs N4 qui ne répondaient pas aux besoins futurs d'énergie électrique. Enfin l'ASN, désormais totalement indépendante vis-à-vis des instances de promotion du nucléaire, avait annoncé qu'elle ne voulait pas qu'on en reste aux performances de la technique N4, mais qu'on aille vers un véritable saut dans les performances de sûreté²¹.

Les problèmes d'apprentissage actuels rencontrés par les deux premières réalisations d'EPR en Europe ne sont pas dus à la complexité particulière de l'EPR, mais à deux facteurs plus généraux : la reconstitution des compétences diverses autour de la construction de tranches nucléaires après la période de traversée du désert²² et les difficultés de construction des premiers exemplaires que rencontre tout nouveau modèle de réacteurs. D'une part en effet la durée de construction qui est déjà relativement longue (50 à 60 mois) pour un réacteur de série est forcément plus longue pour les premières réalisations. Une première raison très simple est que c'est seulement après la première commande que sont déclenchées les études détaillées d'exécutions qui demandent dix fois plus d'heures que la grande conception. De plus, comme il y a des innovations dans la conception de composants complexes, les plannings sont très vulnérables aux difficultés de mise au point. Enfin l'apprentissage d'un nouveau modèle se fait aussi au niveau des autorités de sûreté nucléaire alors qu'elles se sont faites plus sévères depuis les années soixante dix. Cela étant, ces difficultés technologiques et de contrôle qui expliquent l'augmentation des coûts des premières réalisations d'EPR n'obèrent pas les possibilités de réduire ces coûts à moyen terme au fur et à mesure des réalisations et des retours d'expérience.

²⁰ Une telle ligne est défendue par Lionel Taccon, un ingénieur EDF en retraite bien connu pour ses ouvrages sur la politique énergétique et la politique électronucléaire (voir L. Taccon, Le Figaro, juin 2010)

²¹ André-Claude Lacoste directeur de l'ASN affirmait lors de son audition par la Commission des affaires économiques de l'AN, le 26 janvier 2011 « Un mot sur l'EPR. Dès 1991, nous avons dit à EDF, au CEA et, à l'époque, à Framatome que N4, dernier palier développé, était achevé et qu'il fallait passer à un niveau de sûreté supérieur. EPR est le résultat de nombreux travaux et études, notamment franco-allemandes, menés depuis lors ; il correspond à l'état de l'art en matière de sûreté (...) ».

²² A.C. Lacoste, lors de cette même audition: « Il n'est absolument pas étonnant que l'on rencontre des difficultés pour le construire en France ou en Finlande car on n'y a plus construit de réacteurs depuis 20 ans. Ainsi, Bouygues ne sait plus bétonner à la qualité nucléaire ; de nombreux fabricants ne sont plus au niveau ; EDF a perdu son aptitude à diriger les chantiers ; nous-mêmes devons réapprendre à contrôler. C'est donc au terme de l'actuel processus de réapprentissage qu'il faudra procéder à un retour d'expérience. Je souhaite à ce propos que l'on parvienne à partager le retour de l'expérience finlandaise, même si c'est Areva et non pas EDF qui y intervient. (...) ».

2. 2. La proposition d'élargissement de la gamme

Le rapport Roussely préconisait l'élargissement de l'offre actuelle pour disposer de plusieurs familles de produits compétitifs en mentionnant l'ATMEA 1 de 1000 à 1150 MW et le CPR-1000/1000+ déduit du REP 900 de Framatome.

- **L'ATMEA-1**

L'ATMEA-1 vise le créneau des acheteurs qui voudraient plutôt des réacteurs de taille moyenne et à haut niveau de sûreté puisque ce sera un réacteur Gen3+. AREVA a candidaté ainsi à l'appel d'offres de la Jordanie avec ce réacteur. Le développement de cette option pourrait avoir du sens si l'offre de réacteur de taille moyenne permettait une réelle différenciation vis-à-vis d'une offre d'EPR sur les trois segments de marché des réacteurs, à maturité identique de la technologie. Or cette différenciation est loin d'être marquée pour trois raisons. En premier lieu, comme on l'a dit plus haut, la différence de taille n'est pas un élément fort de différenciation non seulement sur les marchés des économies de l'OCDE, mais pour tout pays en croissance électrique forte. En second lieu il n'y a pas de différenciation marquée en termes de caractéristiques de sûreté. En troisième lieu la conception de l'ATMEA ne peut être que complexe, car ce ne sera pas a priori un réacteur à sûreté passive au vu des informations disponibles sur ce projet²³. Il demandera des études de conception importantes et une réalisation longue et coûteuse pour les premiers réacteurs. Conçu par la co-entreprise Areva et Mitsubishi à partir d'un cahier des charges de Gen3, on peut le considérer comme un « petit EPR ». Les premières études manifestent une tendance à additionner des composants complexes, ce qui en fera un réacteur aussi complexe et aussi coûteux par kW qu'un EPR, voire plus du fait de moindre effet de taille. De plus la longueur de l'apprentissage et des réalisations ne permettra pas de disposer d'une certification et d'une référence industrielle avant dix ans. De plus encore, avec l'ATMEA-1, Areva risque de disperser ses ressources en compétences. On ne voit pas bien quel marché supplémentaire cela lui ouvrirait, dès que l'EPR aura fait ses preuves. Au Japon même, le gouvernement japonais encourageait plutôt avant mars 2011 le développement d'une trajectoire de réacteurs de taille croissante vers les 1800 MW²⁴. De plus une première réalisation à l'étranger, comme AREVA comptait le faire en Jordanie avant Fukushima s'il emportait l'appel d'offres et devait signer un contrat clé en main, présente sans aucun doute un risque financier comparable à celui du contrat finlandais pour le premier EPR²⁵.

- **Un réacteur Gen 2 de moyenne taille**

Comme l'ATMEA ne sera pas prêt avant 10 ans, le rapport Roussely considérait qu'on aurait besoin maintenant d'un autre réacteur de moyenne taille pour ne pas perdre des marchés du côté des « primo-accédants » et des pays émergents. La commission Roussely pensait au réacteur CPR-1000 déduit de REP 900 vendus auparavant par Framatome en Chine et qui a subi quelques améliorations comme l'adjonction d'un système digital de contrôle et d'instrumentation. Cette technologie n'est

²³ Voir le site web de la société ATMEA.

²⁴ Le gouvernement japonais incite deux grands constructeurs, dont Mitsubishi à se regrouper pour développer d'ici 2015 le design un REP de 1800 MW pour remplacer les réacteurs actuels lorsqu'ils seront en fin de vie et candidater sur les marchés des économies développés. Voir: « Japan to develop jumbo-sized reactors to replace old ones », *The nuclear N-Forum*, August 20, 2010, <http://www.nuclearcounterfeit.com/?p=3889>.

²⁵ Ceci dit, si le développement de l'ATMEA-1 débouche un jour sur une réalisation en France, ce sera pour une seule raison : la possibilité pour GDF Suez de contourner l'opposition d'EDF et d'autres intérêts à le voir rentrer dans la production nucléaire en France, après avoir subi le refus d'installation d'un EPR sur le site du Tricastin en 2007-2008 et l'affront de ne devoir que participer financièrement à hauteur de 33% au projet de l'EPR de Penly 3. Ce serait donc pour GDF Suez l'occasion de consolider ses compétences d'ingénierie et d'exploitant nucléaire et d'investir dans la production nucléaire sur le marché européen. Si tel est le cas, ce sera une façon coûteuse et risquée de contourner le comportement de monopole d'EDF vis-à-vis d'un entrant dans le marché électrique libéralisé.

pas du niveau de la sûreté d'un Gen3, et donc de l'EPR. Dans le CPR-1000+, la dernière version du réacteur en cours de préparation, il serait à cataloguer comme un Gen2+ selon la compagnie chinoise CGNPC²⁶ (Nucleonics Week, 7 octobre 2010 ; WNA, 2011a). Sous l'argument qu'on risque de perdre des marchés à l'export, on cherchait donc à légitimer l'adoption d'une technologie qui se revendique désormais chinoise, mais qui, ayant été sinisée grâce au partenariat étroit entre EDF et la CGNPC, permettrait aux intérêts français, en fait EDF, d'être présents sur ces marchés sous condition d'accord du licencier AREVA NP²⁷.

Si cette voie pragmatique avait été adoptée par le gouvernement français en février 2011, elle aurait posé d'autres problèmes : la vente de réacteurs en dessous des normes de sûreté appliquées dans les économies développées, ce que contestait publiquement l'Autorité nationale de sûreté (ASN) ; l'entrée en concurrence avec AREVA sur les marchés sur lesquels l'EPR pourra trouver preneur, notamment quand il aura fait ses preuves après le démarrage de Flamanville3 et d'OK3²⁸; la dispersion des forces dans plusieurs relations partenariales en Chine entre le développement du CPR 1000+ par la CGNPC et EDF, la construction des deux EPR par AREVA, la CGNPC et EDF, et le transfert de la technologie de l'EPR d'AREVA vers la CGNPC ; et enfin la faiblesse des retours vers la partie manufacturière de l'industrie française.

2.3. L'invention d'un enjeu incontournable : le partenariat global avec la Chine

Le communiqué du CPN (2011) propose la mise sur pied d'un partenariat ouvert à des enjeux autres que les seuls réacteurs, « portant sur l'ensemble des activités nucléaires civiles, y compris la sûreté. Ce partenariat pourra inclure, outre la fourniture de produits et services relatifs au parc nucléaire existant ou en projet, et la construction de nouveaux EPR, le développement d'un réacteur de moyenne puissance de 3^e génération reposant sur l'expérience réussie des industriels français et chinois de construction et d'exploitation de réacteurs de conception commune ». Cette proposition est a priori séduisante, puisqu'elle serait justifiée par l'objectif « de prendre part au développement du marché chinois ». Qui résisterait à un tel argument ? Qui penserait que tout ce qui existe déjà est suffisant pour le peu qu'il y aurait à glaner sur ce marché, vu la capacité générale de captation technologique de l'industrie chinoise, le nucléaire ne faisant pas exception ? Le plus intéressant est que le CPN n'évoque pas, dans son communiqué, l'enjeu de ventes communes à l'export de réacteurs vers d'autres marchés. Toutefois on nous a dit peu après qu'un tel objectif ne serait pas exclu²⁹.

Cette proposition qui est une façon de « noyer le poisson » du CPR-100 pêche par irréalisme. Elle ignore volontairement les contradictions que porte en lui-même un accord de coopération technologique avec un pays émergent, et en particulier la Chine dont la capacité de son industrie à absorber les technologies des autres dans le domaine des biens d'équipements de pointe n'est plus à prouver. On voit mal comment ce partenariat pourra trouver un espace entre les diverses ambitions de l'industrie chinoise (voir encadré 1). Sa politique prévoit une évolution du CPR-1000+ vers l'ACPR-

²⁶ Selon le directeur du Département de sûreté nucléaire du Ministère de l'environnement chinois, cité par Nucleonics Week, 7 octobre 2010., le CPR-1000 présente plusieurs améliorations de sûreté par rapport à un REP 900 : des mesures pour réduire le risque d'accidents de perte de fluide de refroidissement, des mesures pour gérer le risque de formation de bulle d'hydrogène sous le confinement en cas d'accident de fusion cœur, et le risque de fragilisation de l'enceinte du réacteur.

²⁷ F. Roussely défendait cette idée devant la Commission des affaires économiques de l'AN de la façon suivante : « Soit on s'en tient au produit unique que l'on possède et on ne pourra pas répondre aux besoins de l'Afrique du sud par exemple qui souhaite un réacteur de moyenne puissance. Soit on conclut des partenariats avec d'autres électriciens à même de fournir de tels réacteurs, ce qui est le cas de CGNPC qui produit un CP-1000 ».

²⁸ Les hésitations de l'Afrique du sud (avant Fukushima et le 11 mars 2011) vis-à-vis de l'EPR en raison du démarchage de la CGNPC chinoise rapportée dans Nucleonics Weeek du 7 oct. 2010 en sont une illustration.

²⁹ Comme les ambiguïtés abondent dans ce conflit byzantin, B. Bigot, l'Administrateur-général du CEA en charge de la négociation de ce partenariat avec la Chine affirmait dans Les Echos du 8 mars 2011 : « Le partenariat n'est pas exclusif de possibilités à l'export selon les conditions que prévoient la France et la Chine ».

1000 qui serait un Gen3 et qui pourrait intégrer des éléments de conception de l'EPR, mais en considérant qu'avec ce futur réacteur, elle sera déliée de l'accord de licence avec AREVA pour l'exportation (voir WNA, 2011a). Il existe aussi l'accord déjà cité de transfert de la technologie de l'EPR entre AREVA et la CGNPC qui est le principal vendeur interne en Chine et qui maîtrise toute la chaîne de sous-traitance pour la fabrication des composants de l'îlot nucléaire du CPR-1000. Par ailleurs les grands acteurs chinois prévoient de fonder le développement à long terme du nucléaire sur une autre technologie que l'ACPR et l'EPR, à savoir la technologie Westinghouse de l'AP-1000 qui évoluerait vers un AP-1400 totalement sinisé. Cette dernière trajectoire technologique a leur faveur car les caractères de sûreté intrinsèque de ce type de réacteur ouvrent des perspectives de moindre coût qu'elle ouvre du fait de sa plus grande simplicité³⁰.

Certes si les acteurs chinois cherchent à mettre plusieurs fers au feu, l'EPR pourrait devenir un des piliers du développement du parc chinois sur la base de Gen3/Gen3+. On peut aussi imaginer que l'ACPR-1000 se substitue à l'EPR car il pourrait être totalement chinois. Mais, dans les deux cas, il est facile d'anticiper qu'aucune commande importante ne sera adressée à AREVA, à part quelques commandes de composants au début. Dans tous les cas, le projet de réacteur qui serait inscrit au programme d'un éventuel partenariat, s'il en est un jour, serait le concurrent de l'ATMEA-1 (si ce projet se matérialise dans les prochaines années) pour l'industrie française et AREVA. Certes on peut imaginer que les Chinois qui sont pragmatiques, signent un accord et cherchent à en tirer avantage sans que, de leur côté, les parties françaises en aient un retour conséquent sur le marché chinois et par des exportations communes. On peut, sans risque de se tromper, présumer de faibles retombées d'un partenariat, même ambitieux, pour le chiffre d'affaires de l'industrie française. En fait, en dehors d'enjeu éventuel de vente d'équipements du cycle du combustible dans ce partenariat possible, les coopérations existantes qui ont été établies autour de la co-entreprise EDF-CGNPC et de celle établie entre AREVA et cette même CGNPC dans le domaine des réacteurs sont suffisantes. Les ambitions du Conseil de Politique Nucléaire de « prendre part au développement du marché chinois » surestiment l'intérêt économique et commercial d'une telle coopération pour l'industrie française.

Au final, pour résumer, le pragmatisme mercantile du rapport Roussely ne l'a pas emporté auprès du gouvernement, et ce avant même l'accident de Fukushima. Les décisions du CPN du 21 février 2011 signifient clairement qu'il n'y aura pas un réacteur Gen2+ ajouté au catalogue de l'industrie française. L'EPR retrouve sa place de produit-phare dans ce catalogue, Fukushima n'ayant fait ensuite que confirmer ce choix. Mais, en même temps, le compromis trouvé par le gouvernement pour amadouer l'énergéticien national en proposant la recherche un partenariat avec la Chine qui inclurait un éventuel développement d'un réacteur de Gen3, a peu de chances de créer plus d'occasions de débouchés à l'industrie nationale que ce qui est déjà en place.

3. Le besoin de restructuration de l'industrie française des réacteurs face à l'enjeu de l'export ?

Arrivé à la tête d'EDF en septembre 2009, son nouveau PDG a revendiqué tout de suite le leadership de l'industrie nucléaire française et recommandait des mesures visant à séparer les activités intégrées d'AREVA pour la vassaliser. Après la publication du rapport Roussely, le PDG d'EDF réaffirmait cette position « *Il faut un chef de file qui coordonne et dirige la filière de l'amont à la*

³⁰ Son promoteur Westinghouse annonçait en 2006 qu'il devait coûter 40% moins cher qu'un réacteur de facture plus classique comme l'EPR. La conception de l'AP1000 permet la réduction du nombre de composants et de matériaux (50% de réduction du nombre de vannes, 80% de réduction de la longueur des tuyauteries, les méthodes de fabrication modulaires permettent de nombreuses réalisations de composants en usine et une démarche de sûreté moins lourde dans la conception du fait des caractères intrinsèquement sûrs du design du réacteur. Ceci dit, les problèmes de construction des premiers AP-1000 en Chine conduisent à un coût de 3500 \$/kW, soit un coût proche de celui de l'EPR en Chine (WNA, 2011a).

maîtrise d'ouvrage et pas seulement dans les pays qui n'ont pas d'expérience du nucléaire. Il faut éviter de faire du cas par cas »³¹. En bref AREVA doit se cantonner dans un rôle de sous-traitant, accepter que le chef de file propose des CPR-1000 chinois et donc de lier son futur à la stratégie ambitieuse de diversification d'EDF. La réussite en décembre 2009 d'un consortium sud-coréen mené par l'entreprise électrique KEPCO à côté de Doosan, le conglomérat national de construction mécanique a révélé l'efficacité possible de tel schéma d'organisation industrielle (Berthelemy et Lévêque, 2011). Il a servi de référence fréquente dans la controverse entre grands acteurs pour ajouter une justification à son adoption en France.

Pour que l'industrie française aille dans le sens souhaité par les dirigeants d'EDF, le rapport Roussely insiste sur le rôle-clé de l'ingénierie d'ensemblier dans toute construction majeure (« *Le rôle central est tenu par un chef d'orchestre au niveau des interfaces* », est-il écrit p.12) pour conclure sur la nécessité d'introniser EDF chef de fil industriel, ce qu'il fait avec nuance pour ménager des compromis: « *En règle générale EDF doit être, pour les projets de construction de centrale nucléaires tant en France qu'à l'étranger, l'architecte-ensemblier de l'équipe France* » (p.13). Le rapport n'indique qu'en creux les cas où AREVA serait autorisée à candidater sans EDF en chef de file et en architecte-ensemblier: « *si à l'international le client ne souhaite pas EDF ou EDF ne souhaite pas répondre à un appel d'offre, le consortium vendeur devra trouver un exploitant et une ingénierie sur lesquels s'appuyer pour disposer de compétences comparables* » (p.13). En d'autres termes, ce serait la demande des pays receveurs qui devrait régir le choix d'association, sans parler du cas improbable où EDF ne souhaiterait pas y aller.

Cette position revient à survaloriser les atouts de l'électricien national comme architecte-ensemblier d'un côté et à sous-estimer les ressources industrielles d'AREVA NP en tant que concepteur de réacteurs et entreprise intégrée de construction des réacteurs de l'autre. Pour renforcer l'argument le rapport Roussely insiste aussi sur les compétences d'exploitant d'EDF qui renforceraient l'avantage de le placer en chef de file en profitant de l'avantage de pouvoir offrir à la fois des services pour la construction et pour l'exploitation de tranches nucléaires. Pour discuter de cette position, on commencera par spécifier les compétences particulières d'AREVA qui font qu'il ne peut être placé en position de subordonné d'un chef de file industriel, puis on analysera si et en quoi les compétences d'architecte ensemblier et d'exploitant d'EDF donnerait à l'industrie nucléaire française un véritable avantage s'il est placé en chef de file.

Encadré 2

Les différents « groupes stratégiques » de l'industrie mondiale des réacteurs

En observant l'évolution de l'industrie mondiale des réacteurs (Finon, 2005, Nomura, 2010), on note des différences marquées entre plusieurs « groupes stratégiques » (à la Michael Porter) de constructeurs/vendeurs et dans leur évolution. Il y a d'une part le groupe des constructeurs électriques comme General Electric, Westinghouse, Siemens, Hitachi et Toshiba qui ont développé des compétences d'ingénierie et qui avaient fait de la conception et de la vente de réacteurs un relais de croissance et un levier pour la vente de turbo-alternateurs ; d'autre part des leaders de construction mécanique ou chaudronniers tels qu'autrefois Babcock et Wilcox, Combustion Engineering aux Etats Unis, Creusot-Loire/ Framatome en France et à présent Mitsubishi Heavy Industry au Japon et Doosan Heavy Industries en Corée. Un troisième groupe stratégique proche du premier est celui des sociétés d'ingénierie comme l'AECL canadienne. Deux constructeurs spécialisés qui se sont enracinés dans la sphère publique sont sortis du second groupe : Framatome en est sorti après la faillite de Creusot-Loire en 1984 pour entrer dans la gouvernance de la holding CEA-industrie et Rosatom, le constructeur russe qui a repris les actifs de l'industrie soviétique des réacteurs et du cycle du combustible.

.../...

³¹ Le Nouvel Obs, 23 septembre 2010, p.69. Remarquons au passage qu'en parlant de maîtrise d'ouvrage, H. Proglie mettait aussi en avant l'avantage de pouvoir être partie prenante dans la société propriétaire-exploitant.

.../...

L'assèchement du marché n'a pas frappé de la même façon les différents groupes stratégiques. Il a eu sortie de deux chaudronniers constructeurs du marché (Babcock & Wilcox, Combustion Engineering) et d'un constructeur électrique ABB. Les trois autres se sont faits racheter ou ont fusionné : Westinghouse est racheté à 77% par Toshiba en 2006 ; la filiale de Siemens fusionne avec Framatome/AREVA en 1999 (et ce jusqu'en 2009), et GE s'allie avec un des deux licenciés japonais Hitachi³². Une alliance entre Areva et Mitsubishi Heavy Industries (l'ancien licencié de Westinghouse) pour développer le réacteur ATMEA de 1100 MW se veut une réponse au rapprochement GE-Hitachi et au rachat de Westinghouse par Toshiba, mais cette fonction n'est pas du tout la même que celle des deux regroupements précédents. Les deux constructeurs intégrés Areva NP et Rosatom ont survécu grâce au marché de la maintenance et à quelques commandes de réacteurs emportées à l'export, notamment en Chine.

Dans l'ensemble des commandes à l'export, on peut observer que les architectes-ensemblers sont soit la compagnie vendeuse (c'est le cas de Siemens, Rosatom et AECL, soit des grandes compagnies d'ingénierie telles que Bechtel ou le Group Shaw (qui détient 33% de Westinghouse/Toshiba). Le rôle d'EDF comme architecte-ensemblier dans les 12 tranches nucléaires vendues à l'export par Framatome fait exception. Areva NP a d'ailleurs cherché à sortir de ce schéma dans les propositions de vente à la Finlande en 2005, aux Emirats en 2009 et en Jordanie actuellement, au grand dam d'EDF, mais Areva NP lui rendait plus ou moins la pareille dans la mesure où, dans les contrats chinois sur les paires de réacteurs de Ling Ao, EDF s'est fait le vecteur du transfert de technologies vers la CGNPC au détriment des intérêts d'Areva*. Le profil des compétences d'EDF est semblable seulement à celui de l'électricien public coréen KEPCO sur le marché à l'export. Toutefois si celui-ci joue non seulement le rôle d'architecte-ensemblier en relation avec Doosan HI, mais celui de chef de fil industriel, c'est parce qu'il est le propriétaire de la technologie. (On revient sur ce point plus loin dans le texte principal).

* Les responsables d'EDF « pensaient qu'ils avaient un rôle plus large que celui de prescripteur et d'assistance. Ils croyaient être le conseil du gouvernement chinois pour la constitution d'une filière nucléaire chinoise » (L'Expansion, n° 692, décembre 2004, p. 111).

3.1. AREVA NP, un constructeur intégré avec une stratégie industrielle de long terme

Framatome ANP, plus tard AREVA NP, s'est construit comme constructeur intégré. Elle est avec le russe Rosatom, le seul constructeur intégré de réacteurs. Les autres sont soit des constructeurs électriques qui sous-traitent la majeure partie des fabrications, soit des chaudronniers généralistes comme Doosan en Corée du sud et Mitsubishi HI dont le métier de chaudronnier n'est qu'une partie d'un grand ensemble congloméral (voir encadré 2).

On peut rappeler les deux champs d'activité majeurs d'AREVA NP, la filiale réacteurs d'AREVA qui est (encore) commune avec Siemens : d'abord la vente des réacteurs et mais aussi la vente des gros composants (systèmes de contrôle commande, générateurs de vapeur (GV), couvercles, pompes à haut débit) sur le marché mondial de la maintenance³³. Les composants mécaniques sont produits dans son usine de Châlons-sur-Saône à partir des unités de fabrication construites pour les réacteurs REP 900, REP 1300 et N4. Il a conquis une part de marché majeure aux Etats-Unis (40% pour les GV, 50% pour les couvercles de cuves depuis 2005) en s'appuyant sur des alliances locales³⁴. Pour suivre l'évolution de ses propres besoins AREVA NP est en train d'augmenter ses capacités industrielles de

³² GE Hitachi Nuclear Energy est composé de GEH avec 60% possédés par GE et au Japon de Hitachi GE, avec 80% possédé par Hitachi.

³³ Il vend aussi des composants pour les centrales en construction comme c'est le cas des pompes de refroidissement (par exemple actuellement pour les centrales chinoises CRP-1000 de Yangjiang et Nignde) et les systèmes de contrôle-commande (par exemple pour les deux réacteurs VVER-1000 de technologie russe en cours de construction à Bulgarie).

³⁴ SGT (Steam Generating Team) est une co-entreprise formée en 1992, entre AREVA et URS Washington Division, une entreprise d'ingénierie.

fabrication de gros composants dans son usine de Saint Marcel près de Chalons d'ici 2013 pour produire les composants de 2,5 EPR par an³⁵. Face aux perspectives de relance, il a développé des stratégies adaptées à chaque segment, non sans se tromper. Sur les segments des primo-accédants et des émergents, en Afrique du sud en 2008 et aux Emirats Arabes Unis en 2010, l'erreur a été de proposer des prix très élevés (probablement pour rattraper les pertes du chantier finlandais), en oubliant les limites de financement du pays concerné dans le cas du premier et la possibilité de concurrence effective d'entrants dans le cas du second. Selon la presse spécialisée, les propositions de prix étaient en effet de l'ordre de 4,5 milliards d'€ par tranche nucléaire dans les deux cas, alors qu'après avoir retenu la leçon de ces deux échecs, l'offre faite à l'Inde en 2010 est de l'ordre de 3,5 milliards d'€ par tranche (WNA, 2011d).

Sur le segment très difficile du marché des économies développées, qui était considéré comme un des plus importants avant les accidents japonais -- les Etats-Unis, le Royaume Uni, l'Italie, la Finlande, Suisse, la Suède, etc. -- Areva a développé une vaste stratégie d'alliances locales, en même temps qu'elle sait coopérer utilement avec EDF là où celle-ci a des ambitions de développement en tant qu'énergéticien « nucléarisé ». Aux Etats-Unis, à côté de la création de la joint venture UNISTAR avec EDF et son partenaire Constellation pour permettre la certification de l'EPR et des sites de construction, Areva prépare le montage d'un schéma industriel en deux temps. Il s'associe avec Bechtel comme futur architecte-ensemblier sur le contrat E&C et avec Northrop Grumman pour installer une usine qui produira des gros composants. En Grande Bretagne, Areva a formé des partenariats avec Balfour Beatty et Rolls-Royce couvrant l'ingénierie, la fabrication des composants et la construction pour livrer une série d'EPR dans le futur. En Italie pendant qu'EDF développe depuis la mi-2009 un montage industriel avec ENEL pour les études de faisabilité, puis pour l'investissement et l'exploitation de 4 réacteurs de type EPR, AREVA a établi en avril 2010 un partenariat avec Ansaldo pour la fourniture de certains équipements et les activités de montage et d'essais de mise en service. Sur le segment des grands pays émergents, essentiellement la Chine, Areva a su composer comme on l'a dit plus haut avec les exigences de la partie chinoise en matière de transfert de technologies qui étaient la condition pour obtenir des contrats de vente de réacteurs en Chine. La vente ratée de deux EPR en 2006 a conduit AREVA à temporiser dans son refus de transférer la technologie de l'EPR pour signer un contrat en 2008 : constitution d'une société d'ingénierie commune pour organiser le transfert de technologies sur l'EPR d'une part, fabrication de la majorité des composants en Chine dès le second EPR d'autre part (voir §1.2 et encadré 1). Les politiques qui vont être définies dans ces trois types de pays en réponse aux accidents japonais obligeront sans doute à des adaptations d'AREVA sur la technologie EPR et dans les relations avec les autorités de sûreté des différents pays. Des débouchés vont aussi se fermer, comme probablement ceux en Italie après le référendum prévu en juin 2011. Mais cela n'invalide pas la qualité de la stratégie menée jusqu'ici.

En termes de stratégie technologique, AREVA NP qui a misé presque exclusivement sur l'EPR détenait tout de même dans son catalogue un autre Gen3+ à sûreté passive, le réacteur SWR 1000 de 1200 MW (renommé KERENA) qu'il n'a pas cherché à mettre en avant du fait de la filiation allemande de ce réacteur. Ceci dit, Areva a su montrer qu'il cherchait à ouvrir son catalogue autrement depuis 2007. L'alliance avec Mitsubishi, qui a été mise sur pied en 2007 avec l'objectif de développer et commercialiser le réacteur ATMEA-1, démontre un réalisme de bon aloi. Si les leçons de Fukushima tirées par les gouvernements occidentaux obligent à concevoir rapidement d'autres types de réacteurs Gen3+, notamment des concepts avec des principes de sûreté passive, Areva devrait pouvoir être rapidement sur les rangs dans la nouvelle concurrence entre vendeurs de réacteurs qui en découlera.

³⁵ Il était lui-même fortement contraint dans le forgeage de très grosses pièces, notamment celles destinées aux EPR en construction (il a dû commander les pièces principales à Japan Steel Works (JSW) pour l'EPR finlandais et celui de Flamanville).

3.2. La valeur des compétences d'architecte-ensemblier et d'exploitant d'EDF

Les compétences spécifiques d'EDF dans le domaine nucléaire sont doubles, celle d'exploiter des séries de tranches nucléaires en France et celle d'architecte-ensemblier qu'il avait développé et maintenue avec efficacité dans la construction de 58 réacteurs REP en France et au cours du temps dans celle des paires de REP vendues en Afrique du sud, en Corée du sud, puis en Chine. Est ce que cela justifie les prétentions d'EDF à régenter le nucléaire français à l'export du fait de ses compétences d'ensemblier dont l'avantage serait renforcé par celle d'exploitant?

Ces compétences en tant qu'architecte-ensemblier et exploitant en font-elles pour autant le leader de la filière nucléaire française ?³⁶. On remarquera d'abord que si les compétences d'ensemblier d'EDF ont été réellement performantes, elles se sont en revanche considérablement réduites à la fin des chantiers nucléaires en France avec le non-remplacement des deux générations d'ingénieurs jusqu'aux embauches importantes de ces dernières années. De plus elles devront se concentrer sur la maîtrise des premiers chantiers d'EPR en France. Elles ne justifient pas le contrôle de la filière française à l'exportation. Les compétences d'exploitant ne donnent pas non plus d'argument particulier qui renforcerait les raisons d'être le chef de file industriel. D'ailleurs, même si EDF exploite le parc le plus important au monde, les performances relativement faibles de disponibilité de ses réacteurs n'en font pas la référence mondiale.

La référence au montage coréen pour justifier de placer d'EDF en chef de file industriel à l'export n'est pas non plus pertinente. La raison principale du rôle de leader de KEPCO dans les démarchages de l'industrie coréenne à l'export est le fait que celui-ci est le détenteur de la technologie. Il a été l'acheteur des licences du System 80 et System 80+ de Combustion Engineering. C'est son ingénierie KOPEC qui a été leader dans la « coréanisation » des réacteurs et non pas Doosan Heavy Industries. Chaudronnier » généraliste contrairement à AREVA, il n'est pas le concepteur principal des réacteurs « coréanisés » et KEPCO l'associe parfois à Samsung et Hyundai dans les réalisations. Il peut donc accepter de se positionner en partenaire de KEPCO comme sous-traitant principal et fournisseur de l'îlot nucléaire.

En France c'est AREVA NP (ex-Framatome) qui est le concepteur des réacteurs. Il a de plus les usines nécessaires à la fabrication des gros composants de l'îlot nucléaire avec une part mineure de sous-traitance³⁷. Depuis le partage des rôles décidé entre EDF et Framatome au début des années 70 suite aux luttes fratricides entre le CEA et EDF sur l'ingénierie des réacteurs UNGG, EDF n'est pas compétent dans la conception des chaudières nucléaires et la conduite de la construction de chaque réacteur. C'est Framatome qui était acheteur de la licence Westinghouse sur les REP 900 et 1300, et non pas EDF ; de même c'est AREVA NP qui est détenteur des licences des réacteurs que Framatome ANP avait développés. Faire d'AREVA NP un partenaire subordonné d'EDF serait contraire à la logique industrielle. EDF n'est ni constructeur de réacteurs, ni concepteur, même s'il a été associé à la conception des nouveaux modèles de réacteurs. Il est architecte-ensemblier pour lui-même et à l'international, mais dans l'ensemble de ses activités, ce ne sera jamais qu'une activité mineure. Un contrat « Engineering and Construction Services » pour une tranche nucléaire s'élève au maximum à 200 millions d'€. Imaginons qu'il en récolte un tous les ans ; cela fait peu dans un chiffre d'affaires de 70 milliards de €. Cela semble un enjeu dérisoire pour que soit réformée l'organisation actuelle de la filière nucléaire française. Ceci dit, combiner les compétences d'architecte-ensemblier et celle d'exploitant d'EDF constituent un bon atout pour organiser de façon coordonnée les offres entre

³⁶ Par exemple François Sorin, rédacteur en chef de la Revue Générale Nucléaire, interrogé dans L'Express, 7 août 201, considérait que l'attribution de ce rôle serait logique car « EDF a accumulé la plus large compétence et expérience en tant qu'architecte-ensemblier dans le monde ».

³⁷ Cette spécificité ne date pas d'hier. On avait déjà analysé cette particularité du constructeur français en 1986 dans un article publié dans la Revue d'Economie Industrielle (Finon, 1986) dans lequel on soulignait les plus grandes difficultés d'adaptation de ce type de vendeur de réacteur à l'effondrement des commandes mondiales.

AREVA et EDF sur le segment de marché des « primo-accédants » sans en faire pour autant le chef de file industriel à l'export sur ce segment comme sur les deux autres segments de marché.

- **Le nucléaire dans le métier d'énergéticien internationalisé**

EDF est d'abord un énergéticien internationalisé, ce qui poserait de facto un problème si il avait été intronisé chef de file omnipotent. En effet sa position dans des pays aux marchés électriques libéralisés n'aurait pas mis l'industrie française dans la position la meilleure pour vendre à ses concurrents locaux et les adapter au contexte réglementaire local, comme c'est le cas au Royaume Uni notamment.

Par contre ce modèle d'affaires d'énergéticien internationalisé peut intégrer de façon cohérente une stratégie de déploiement dans la production nucléaire à l'international, en valorisant conjointement ses compétences d'ingénierie de grand projet et d'exploitant. Cela a du sens quand EDF achète et développe des entreprises qui exploitent déjà des centrales nucléaires et en installe de nouvelles comme elle le fait en Chine et se propose de le faire au Royaume Uni, aux Etats-Unis et avant Fukushima, en Italie. En Grande Bretagne elle le fait de façon très active avec ses filiales EDF Energy et British Energy qui sont les entreprises les plus impliquées dans la politique de relance des investissements nucléaires. Aux Etats-Unis elle explore très activement cette opportunité en ayant investi dans le capital de Constellation un grand producteur indépendant qui exploite déjà 4 réacteurs et dans celui d'une filiale commune destinée à acheter et exploiter deux à quatre EPR. Dans les deux cas elle travaille en collaboration étroite avec AREVA à travers leur joint venture Unistar Nuclear LLC pour faire certifier l'EPR par l'US NRC. En Italie EDF a établi en 2009 une société commune avec ENEL pour étudier la faisabilité de la construction de 4 EPR et de préparer les montages industriels en co-entreprise qui commanderait et exploiterait ces réacteurs. En Chine, comme déjà dit, elle a investi dans une co-entreprise de production avec la CGNPC pour construire et exploiter deux EPR. Ce pourrait être le cas dans d'autres pays émergents, notamment ceux qui seraient nouveaux venus, lorsque se concrétisera la reprise des commandes après leur arrêt temporaire qui résultera de Fukushima .

3.4. Le choix d'une coordination souple à l'exportation

Le marché des réacteurs nucléaires est complexe et très différencié entre les groupes de pays qui viennent d'être évoqués. Les pays cherchant à acheter des réacteurs de technologie française seraient plus attirés si on leur laissait la possibilité de choisir le schéma industriel et s'adresser à l'entreprise qui serait la plus pertinente pour négocier et organiser le montage industriel. Les montages (consortiums d'industriels français, relation avec l'industrie locale, etc.) sont forcément différents, selon la demande de l'acheteur et les conditions qu'il pose en termes de fabrication locale, de transfert de technologie, de besoins de service d'exploitation et d'entretien, d'achat de services du cycle du combustible, etc. Les raisons pour lesquelles il faudrait que « *l'Etat crée une structure industrielle à l'exportation* » comme le proposait le rapport Roussely, et que cette structure soit dirigée par l'énergéticien national ont peu de fondements. La position de leadership d'AREVA serait d'ailleurs beaucoup plus logique, notamment quand l'EPR aura gagné une référence industrielle. En revanche pour les « primo-accédants » qui demandent un ensemble de services et qui ont été rendus réticents à contracter avec AREVA en raison des difficultés rencontrés par les chantiers de premiers EPR, rien n'empêche à ce que se constitue un consortium mené par EDF pour négocier et contracter.

Après la longue polémique provoquée par le rapport Roussely, Le Conseil de politique nucléaire du 21 février 2011 a donc eu la sagesse de ne pas en venir à la hiérarchisation de la filière souhaitée par EDF et proposée par le rapport Roussely : « *lorsque la France est sollicitée pour ses compétences d'architecte ensemblier, EDF sera le chef de file de l'industrie nucléaire française. Dans les autres cas,*

le ou les chefs de file seront désignés en fonction de la situation et des besoins du pays demandeur du concours des entreprises françaises ». C'est finalement bien peu par rapport à ce que les dirigeants d'EDF souhaitaient et que le rapport Roussely recommandait à un niveau moindre. Comme déjà précisée en introduction, la coordination qui va s'établir entre acteurs pour l'export sera souple et n'instaure pas la prééminence d'EDF, car elle ne relèvera pas directement du Comité Stratégique présidé par le ministre et le PDG d'EDF. Le principe de concertation entre entreprises aux compétences complémentaires pour coordonner les offres a été finalement bien accepté par les parties prenantes dès lors qu'aucune n'a pu prendre la suprématie sur l'autre.

4. Conclusion

Dit abruptement, il n'y a pas lieu de recomposer l'industrie nucléaire française pour être plus efficace à l'exportation de réacteurs, comme il n'y a pas lieu de mettre en cause l'intégration de la filière au sein d'AREVA, question que nous avons évacuée d'emblée tant elle semble sans fondement d'économie industrielle. Il n'y a donc pas lieu de créer une hiérarchie forte entre un chef de file qui ne serait pas du métier de la fabrication et de la vente des réacteurs, et le constructeur français de réacteurs qui serait alors placé en position de sous-traitant. C'est ce qui ressort des décisions du Conseil de Politique Nucléaire qui montrent que les recommandations du rapport Roussely n'ont pas été suivies, sauf sur quelques points mineurs.

La raison principale de ce non-choix est le peu de fondements des critiques portées à AREVA, à sa stratégie d'engagement dans l'EPR et à sa politique d'exportation qui ont conduit aux recommandations Roussely. Les critiques sont partielles parce qu'elles ignorent les contraintes de développement et d'apprentissage de chaque nouveau modèle de réacteur, parce qu'elles ignorent la variété des segments du marché international et la diversité des demandes. Elles sont partiales parce qu'elles ignorent volontairement les ressources technologiques et industrielles d'AREVA dans le domaine de la construction et de la conception de réacteurs, et la solidité de sa stratégie industrielle vers les différents segments du marché mondial des réacteurs. Elles sont aussi d'inspiration purement mercantile en critiquant une approche sévère de la sûreté nucléaire et en voulant faire valoir un réalisme commercial de mauvais aloi. Les accidents nucléaires japonais du mois de mars 2011 ont apporté un cinglant démenti à cette critique et validé un peu plus le choix du gouvernement de février de ne pas suivre les ambitions des dirigeants d'EDF sur ce terrain là.

La stratégie développée par AREVA en matière de choix de réacteurs et de stratégie de vente à l'export n'est sans doute pas sans défaut. On peut critiquer AREVA pour avoir survendu l'EPR en termes de performances de construction (48 mois dès la première réalisation) et de maîtrise des coûts et se retrouver à devoir assumer un risque financier énorme; d'avoir pris aussi le risque de chercher une référence industrielle en construisant le premier réacteur EPR à l'étranger et de continuer à vouloir le faire en proposant l'ATMEA-1 à l'export sans référence industrielle. On a aussi quelque peine à trouver une cohérence entre son attitude critique vis-à-vis de l'électricien national qui cherche à réduire ses coûts en la mettant en concurrence avec d'autres fournisseurs en France et sa stratégie très indépendante à l'export quand elle ne cherchait pas à s'appuyer sur les compétences d'architecte-ensemblier d'EDF.

Ceci dit, dans une telle industrie, les producteurs d'une technologie et les utilisateurs de cette technologie doivent rester chacun dans leur rôle, surtout quand le respect des principes de sûreté maximale est continuellement en jeu. C'est plus ou moins ce que le Conseil de Politique Nucléaire et le gouvernement ont décidé en février 2011 en cherchant à ménager la fierté des grands féodaux publics. Le problème posé par les ambitions des dirigeants d'EDF à régenter les exportations françaises de centrales nucléaires aura eu au moins comme vertu d'amener le gouvernement à instaurer des coordinations souples entre ces grands acteurs industriels d'abord pour résoudre les conflits dans les relations client-fournisseur en France, et ensuite pour harmoniser l'action

commerciale des grands acteurs pour l'exportation de centrales. On peut penser que la demande des pays acheteurs étant diversifiée, les montages se différencieront d'eux-mêmes grâce à ces discussions dans la mesure où un schéma unique serait inopérant. On est donc loin du pompidolisme industriel ambitionné par certains dans l'intérêt de leur entreprise, car de telles pratiques ne sont en rien nécessaires et sont même contreproductives sur des marchés d'exportation. Même le partenariat global que, dans cette veine, le gouvernement propose de négocier et de développer avec l'industrie nucléaire chinoise ne présente que peu d'avantages supplémentaires par rapport aux relations de coopération qui sont déjà établies par Areva et EDF.

Références

Berthelemy et Lévêque F., *Korea nuclear exports: Why did the Koreans win the UAE tender? Will Korea achieve its goal of exporting 80 nuclear reactors by 2030?*, CERNA (Mines Paris Tech, Working Paper 2011-4.

Conseil de politique nucléaire extérieur, 2010, Compte rendu de la réunion du 26 juillet 2010. <http://www.elysee.fr/president/les-actualites/communiqués-de-presse/2010/juillet/conseil-de-politique-nucleaire.9376.html>

Conseil de politique nucléaire extérieur, 2011, Compte rendu de la réunion du 21 février 2011. <http://www.elysee.fr/president/les-actualites/communiqués-de-presse/2011/compte-rendu-du-conseil-de-politique-nucleaire-du.10715.html>

Devezeaux J-G et F. Legée, 2010, Effet de taille et effet des réseaux sur les coûts du nucléaire, *Lettre de l'I-Tésé*, n°11, automne.

Finon D., 2009, « Force et inertie de la politique nucléaire française. Une co-évolution de la technologie et des institutions », in Comité pour l'histoire économique de la France dir., *Etat et Energie, XIX°-XX° siècle*, Paris, Editions de l'IGPDE, p.183-215.

Finon D., 2008, "Contractual and financing arrangements for nuclear investment in liberalized markets: which efficient combination?", *Journal of Competition and Regulation in Network industries*, vol.9, n°3, September 2008, p.147-181. (Avec Fabien Roques) (Publié aussi en Working Paper de l'EPRG 0826, Cambridge University, <http://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2009/02/eprg08262.pdf>)

Finon D., 2005, « La nouvelle concurrence sur le marché mondial des réacteurs nucléaires », *Revue de l'Energie*, n°560, Mai-Juin 2005, p.45-60

Finon D., 2000, « La technologie nucléaire enlisée : une capacité limitée d'adaptation à un environnement de sélection évolutif », p. 275-310.- In : B. Bourgeois, D. Finon et J.-M. Martin, dir.- *Energie et changement technologique. Une approche évolutionniste*.- Paris : Economica, 2000, 490 p.

Finon D., 1985, « L'industrie française de construction nucléaire : quelle adaptation face au rétrécissement de ses débouchés ? ». *Revue d'Economie Industrielle*, (31), 1er trim. 1985, p. 208-221.

Makhijani A. et Boyd M., 2010, *Small modular reactors: non solution for the cost, safety and waste problems of nuclear power*, Policy Paper, Institute for energy and environmental research.

Nomura Equity Research, 2010, *The global nuclear renaissance: industrial and political issues*

WNA (World Nuclear Association), 2011a, *Nuclear Power in China*, (Updated 10 March 2011)

WNA (World Nuclear Association), 2011b, *Nuclear Power in South Korea*, (Updated March 2011)

WNA (World Nuclear Association), 2011c, *Emerging Nuclear Energy Countries*, (Updated 4 March 2011)

WNA (World Nuclear Power Association), 2011d, *Nuclear Power in India*, (Updated March 2011)