

Renaissance mondiale du nucléaire : quelles places pour la Russie ?

Laurent Stricker,
directeur délégué production ingénierie, Électricité de France,
et Jacques Leclercq (63),
président de JAL Consulting

La Russie a annoncé vouloir développer la production d'électricité nucléaire pour passer de 23 GW actuellement à un niveau au moins égal en 2030 à 45 GW, voire 60 GW. Cela implique la mise en service de 2 à 3 GW/an en moyenne sur une quinzaine d'années. Ce rythme est encore plus élevé, si l'on y ajoute les objectifs ambitieux affichés à l'exportation.

Ces objectifs sont replacés dans un contexte mondial de « renaissance du nucléaire » estimé à + 300 GW en 2030 (+ 150 GW d'accroissement de capacité et + 150 GW pour les centrales mises à l'arrêt), ce qui conduirait à un parc total installé passant de 370 à 520 GW.

Ce montant pourra paraître élevé, mais il reste en réalité modeste face aux besoins croissants en électricité à cet horizon : il correspond au scénario de référence 2005 des études prospectives WNA (World Nuclear Association). Par la suite, on décrit la situation russe, son organisation actuelle et les mesures prises ou envisagées par ses dirigeants pour atteindre les objectifs retenus et surmonter le défi industriel qu'ils représentent.

UNE RÉFLEXION sur l'état et les perspectives de l'industrie nucléaire civile russe a été lancée par EDF il y a environ deux ans. L'achèvement de ce travail au printemps 2005 a coïncidé avec ce qu'il faut bien appeler un « retournement » du contexte du nucléaire, même si certains précurseurs étaient déjà notables, principalement en Chine et aux États-Unis.

Cet article sur le nucléaire civil russe comporte cinq parties : après un rappel de la démarche suivie, on tracera un scénario « plausible » clairement situé dans un contexte de renaissance du nucléaire. La troisième partie commence par quelques rappels sur la Russie, suivis par les caractéristiques du système électrique, la quatrième partie est relative à l'organisation de l'industrie nucléaire civile russe. La cinquième et dernière partie est consacrée aux programmes de développement décidés ou envisageables.

téristiques du système électrique, la quatrième partie est relative à l'organisation de l'industrie nucléaire civile russe. La cinquième et dernière partie est consacrée aux programmes de développement décidés ou envisageables.

L'organisation et les objectifs de la démarche

Il y a deux ans, la *Revue générale nucléaire* (RGN) avait bien voulu publier un article cosigné de notre part intitulé « Les performances comparées des parcs nucléaires en exploitation des États-Unis et d'Électricité de France » (année 2004, n° 5, octobre-novembre, pages 12 à 20).

Nous indiquions, en conclusion générale de cette comparaison, que des enseignements pouvaient être tirés de l'expérience accumulée aux États-Unis depuis dix ans, à la fois de manière pragmatique, mais également pour une réflexion dénommée Initiative nucléaire 2015 (IN15) visant, pour EDF, à préparer et mettre en œuvre les évolutions dans le domaine nucléaire permettant de faire face aux enjeux de demain.

Parallèlement, afin de compléter les travaux ci-dessus centrés sur l'amélioration de la performance du parc français, il est apparu utile **de faire le point sur l'état et les perspectives de l'industrie nucléaire civile de quelques autres grands pays, au premier rang desquels la Russie**, qui, il y a dix-huit mois à peine, était moins sous les projecteurs que la Chine ou les États-Unis par exemple.

Ce projet d'une durée d'une année a été conduit par une équipe comportant des représentants des diverses directions concernées, la coordination étant assurée par JAL Consulting.

Il a donné lieu à de nombreux contacts avec plusieurs responsables du Commissariat à l'énergie atomique et d'Areva ainsi qu'à deux missions d'une semaine chacune (octobre 2004 et février 2005), conduites par JALCO en liaison avec MHB SA (M^{me} Marie-Hélène Berard) spécialiste des questions économiques et financières pour

les pays de l'Est. Ces missions ont permis de rencontrer, à Moscou et à Saint-Petersbourg, les dirigeants et des responsables de niveau élevé, de pratiquement toutes les organisations et entreprises engagées dans la production d'électricité nucléaire (une vingtaine au total) ainsi que les représentants des entreprises françaises et, bien sûr, de l'ambassade de France.

Ces travaux ont permis en premier lieu d'actualiser et de compléter les connaissances acquises sur l'industrie russe ; ils devraient contribuer, comme on le verra dans la suite de cet article, à la réflexion sur les évolutions de positionnement envisageables, compte tenu des impulsions vigoureuses définies et engagées par S. Kiriienko, chef de Rosatom, l'agence chargée du nucléaire civil et militaire, depuis sa nomination en novembre 2005.

La « renaissance nucléaire »

Le retournement du contexte du nucléaire

Il y a moins de deux ans, de nombreuses interrogations sur la pertinence de la production d'électricité d'origine nucléaire étaient largement émises en France, en Europe et dans le monde, y compris par les grandes institutions internationales en charge des questions énergétiques. Depuis cette date, le contexte énergétique a été marqué par trois évolutions majeures :

- tout d'abord, les prix des combustibles fossiles : pétrole, gaz et dans une moindre mesure charbon ont connu une hausse importante. Le niveau élevé des prix apparaît désormais durable, même avec des fluctuations significatives vraisemblables ; de nombreuses études prospectives s'accordant sur le fait que l'énergie est devenue structurellement un bien rare, mettant au premier plan la question de la sécurité d'approvisionnement ;
- ensuite, les enjeux du réchauffement climatique et la nécessité de la lutte contre l'effet de serre se sont encore affirmés au travers des discussions inter-États sur la suite du protocole de Kyoto et par le démarrage en Europe, depuis début 2005,

d'un marché de Permis d'émissions négociables, qui conduit désormais les opérateurs industriels à intégrer le coût du CO₂ dans leurs arbitrages économiques aux différents horizons de temps ;

- enfin, de façon assez générale y compris en Europe où on sort du suréquipement, la construction de nouvelles centrales de production d'électricité a été annoncée et engagée par plusieurs compagnies d'électricité, donnant ainsi le signal de la reprise des investissements pour faire face aux prochains déclassements de centrales obsolètes, essentiellement au charbon, et à la croissance de la demande d'électricité (au moins 80 % en moyenne au niveau mondial d'ici à 2030).

Ces trois déterminants (prix des combustibles, quotas de CO₂ et besoins de nouvelles capacités de production) sont à l'origine de la forte hausse du prix de l'électricité en Europe.

On peut donc parler, du fait de perspectives apparaissant durablement favorables aux kWh nucléaires, d'un véritable retournement vis-à-vis de l'énergie nucléaire qui s'est traduit au plan mondial par de nombreuses initiatives que l'on résumera ci-dessous et que l'on replacera ensuite dans un « scénario plausible » à l'horizon 2030.

Les principales initiatives

Pour l'essentiel, si l'on excepte quelques décisions marquantes comme celles prises en France et en Finlande de construire un EPR, le réacteur franco-allemand de 3^e génération d'Areva, si l'on excepte également la poursuite des constructions en cours (il y a environ trente réacteurs en construction ou en voie d'achèvement dont une vingtaine en Asie et trois en Russie), il s'agit principalement soit d'intentions favorables soit de **préparer les conditions effectives d'une relance des engagements dont on verra plus loin qu'au total ils pourraient conduire à la mise en service de plus de 300 GW d'ici 2030** faisant passer la capacité nette totale de 370 GW à 520 GW (370 – 150 + 300).

Sans être exhaustif, on peut considérer que les grandes impulsions pro-

viennent actuellement des États-Unis, de la Chine, de l'Inde et de la Russie bien sûr ; l'Europe de l'Ouest ainsi que l'Europe centrale et orientale apparaissant à ce jour moins dynamiques même si des actions positives sont engagées par certains pays, au premier plan desquels le Royaume-Uni.

Avec l'*Energy Policy Act* d'août 2005, **les États-Unis ont clairement marqué leur volonté d'établir des conditions favorables aux investissements nucléaires** tant sur la simplification des procédures et garanties que l'établissement d'incitations financières.

L'industrie de son côté, soit en direct par les *utilities*, soit par la construction de groupements comme NuStart (9 électriciens US, EDF, General Electric et Westinghouse) ou de *joint ventures* comme Unistar (Constellation et Areva), met au point d'assez nombreux projets (12 compagnies ont déclaré des projets AP 1000, ESBWR et EPR pour une puissance de l'ordre de 30 GW). La mise en service de 45 GW à l'horizon 2030 permettrait de maintenir la proportion de 20 % d'électricité d'origine nucléaire.

L'annonce, début 2006, par l'administration US de GNEP (Global Nuclear Energy Partnership) complète le dispositif en définissant une stratégie nucléaire à objectifs multiples dont l'objet est la mise en place d'un système international permettant le déploiement, dans des conditions politiquement acceptables (notamment vis-à-vis de la non-prolifération), d'un parc nucléaire important au niveau mondial ; en pratique, GNEP marque une inflexion majeure de la politique US qui envisage dorénavant de mettre en œuvre une politique de retraitement des combustibles usés en sus du stockage de longue durée.

Depuis plusieurs années, la Chine a affiché de grandes ambitions et s'organise pour maîtriser totalement la filière nucléaire ; les puissances actuelles (installées et en cours de construction) sont relativement modestes (moins de 2 % du parc électrique total égal à 508 GW), mais compte tenu de la croissance de l'économie et de celle de la demande d'électricité, l'ensemble des mises en service pourrait atteindre 60 GW d'ici à 2030.

La place importante que pourrait prendre l'Inde est apparue plus récemment avec les discussions en cours au plus haut niveau entre les autorités indiennes et américaines qui pourraient déboucher sur des coopérations internationales sans entraves.

Là aussi, les besoins en énergie électrique sont considérables et l'Inde envisage au moins 30 GW de nucléaire dans son *mix* électrique à l'horizon 2030, ce qui est très important au regard des 3,4 GW de capacités installées.

Depuis l'arrivée de S. Kiriyenko à la tête de Rosatom, l'agence fédérale russe en charge des activités nucléaires civile et militaire, la **Russie montre clairement qu'elle entend développer la production d'électricité nucléaire en Russie même et jouer un rôle important à l'exportation.** Dans le même temps, la Russie lançait une initiative sur la création de centres internationaux de fourniture, de services du cycle du combustible nucléaire.

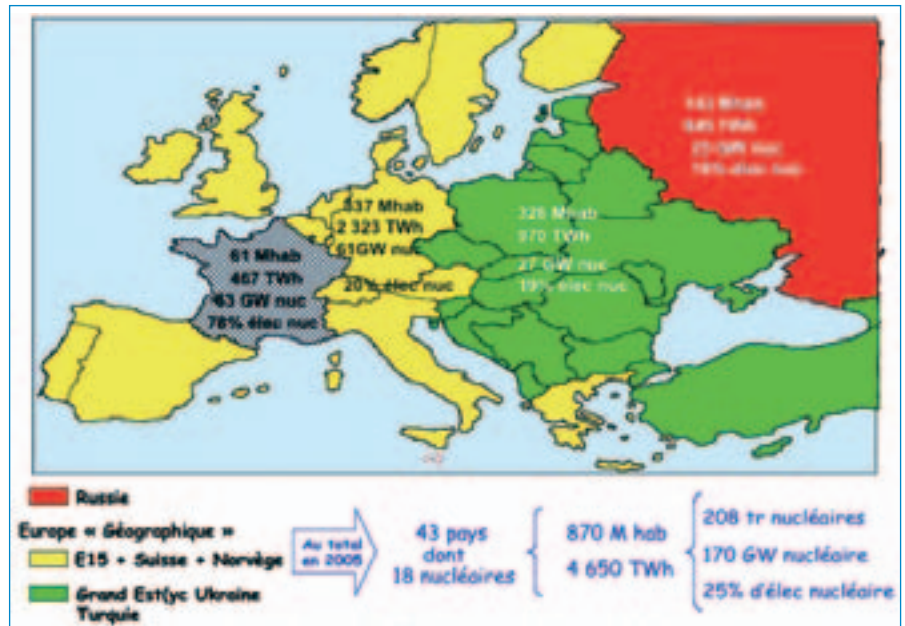
Les ordres de grandeur indiqués à l'horizon 2030 (de 30 à 45 GW) doivent être mis en regard de la puissance installée de 23 GW. Cet article a pour objet de rappeler, vu par des observateurs extérieurs, le contexte et l'organisation fondant de telles prises de position et discussions qui, à notre sens, seront déterminantes pour les années futures.

Un « scénario plausible » de + 300 GW au niveau mondial à l'horizon 2030

Les développements suivants ont pour objet de préciser les ordres de grandeur et de les mettre en perspective dans des domaines d'investissement où les temps nécessaires pour la décision et l'exécution sont souvent supérieurs à dix ans. Ils ont également pour objet de mettre en évidence les enjeux auxquels les pays de l'Europe géographique (zone incluant l'Ukraine et la Turquie) auront à faire face d'ici à 2030.

Rappelons tout d'abord que les chiffres de puissance nucléaire se situent dans des contextes largement éclairés par de nombreux documents

CARTE N° 1 CAPACITÉS NUCLÉAIRES DE L'EUROPE « GÉOGRAPHIQUE » ET DE LA RUSSIE



de référence sur les perspectives énergétiques à l'horizon 2030 émis par des organisations reconnues ; sans être exhaustif, citons les travaux de l'AIE (*World Energy Outlook*), de la Commission européenne (Livre vert), du DOE des USA (*Annual Energy Outlook*) ou encore les études faites par des organisations professionnelles reconnues comme le WNA (World Nuclear Association).

En synthèse, une projection moyenne fait apparaître que **les besoins mondiaux en capacités de production électrique pourraient s'élever à + 4 800 GW** (deux tiers de nouvelles capacités, un tiers de renouvellement) faisant passer la puissance totale mondiale installée de 3 400 GW en 1999 à 6 600 GW en 2030. Le scénario envisagé de + 300 GW pour le nucléaire recouvre un accroissement de capacité de + 150 GW et le renouvellement des déclassés estimé à + 150 GW même en tenant compte des augmentations de durée de vie décidées ou envisageables.

Un tel scénario ferait passer le nucléaire de + 370 GW soit 11 % de la puissance installée à 520 GW, donc avec une part relative réduite à 7 %. **Dans le nouveau contexte décrit précédemment, ce scénario à + 300 GW en 2030 paraît plausible et devrait permettre de préparer les décisions industrielles appropriées.**

Zone géographique par zone géographique, le total des principales initiatives rappelées ci-dessus s'élève à + 165 GW (**États-Unis 45 GW ; Chine 60 GW ; Inde 30 GW ; Russie 30 GW** de manière prudente). D'autres décisions seront prises que l'on peut estimer vraisemblables à hauteur de **30 GW pour le Japon et la Corée du Sud et 15 GW pour le reste du Monde** (hors les pays de l'Europe « géographique » ce qui conduit à un total de 210 GW).

S'agissant des pays de l'Europe « géographique » (cf. carte n° 1), couvrant essentiellement l'Union européenne, l'Ukraine et la Turquie, avec une puissance installée de 150 GW, peut-on estimer que 90 GW seront mis en service d'ici 2030 ?

Ce point est loin d'être acquis, même au niveau des principes dans plusieurs pays de l'Europe des Quinze ; cela dit, si l'on considère les déclassés inévitables à cet horizon et estimés à près de 700 GW et les capacités nouvelles de l'ordre de 570 GW pour faire face à une demande croissante d'électricité de plus de 50 %, un tel volume qui représente moins de 10 % des puissances à mettre en œuvre sera probablement décidé tôt ou tard qu'on peut répartir également entre l'Europe des Quinze (45 GW) et le Grand Est (45 GW), dénomination proposée pour les autres pays de

l'Europe géographique qui utilisent à l'heure actuelle essentiellement des réacteurs de conception russe (ou seraient susceptibles d'en utiliser).

Au total, 300 GW sur la période, cela représente en moyenne 23 GW par an entre 2012 et 2025 ; 2012 est la date à laquelle les constructions auront pu démarrer à un rythme soutenu et 2025 représente la dernière année d'engagement de travaux pour des mises en service en 2030 (durée de réalisation estimée à cinq ans). **C'est environ ce qui a été mis en service entre 1970 et 1985** : il s'agit donc, pour cette « seconde vague », d'un ensemble de programmes ambitieux, mais réalisables (**une vingtaine de tranches par an**), auxquels de nombreux acteurs industriels, dont la Russie, commencent à se préparer activement.

Quelques rappels sur la Russie et les caractéristiques du système électrique

La Fédération de Russie est un « très grand pays » au double sens des dimensions et des capacités économiques et politiques. Cette quasi-évidence n'exclut pas de grandes disparités, ni même des points faibles, mais dans le domaine du nucléaire, elle fonde la volonté des dirigeants à maintenir, développer et garder le contrôle de l'ensemble du « complexe nucléaire » avec ses composantes civile et militaire, base incontestable de la reconnaissance de la Russie en tant que grande puissance. Nous reviendrons ultérieurement sur les conséquences pratiques de cette attitude.

Au plan des dimensions, rappelons que la Fédération de Russie est le plus grand pays du monde : 17 millions de km² (32 fois la France) soit 1/8 de la surface terrestre de la planète ; 11 fuseaux horaires ; une population totale de 143 millions d'habitants.

C'est un pays très hétérogène où toute donnée présente de considérables écarts ; ainsi, on peut noter un facteur 4 entre les coûts de production électrique, de l'ordre de 11,5 USD/MWh pour Kostroma à l'Ouest, environ 45 USD/MWh sur la côte Est. Ces

aspects doivent être relativisés pour l'électricité nucléaire dont les réacteurs sont surtout à l'ouest de l'Oural, même si les ressources minières et les installations du cycle du combustible se trouvent essentiellement en Sibérie.

Au plan économique, les indicateurs doivent être utilisés avec prudence : en parité de pouvoir d'achat (ppa) qui permet des comparaisons au niveau mondial sur une même base, le PIB de la Russie s'élève, pour 2005, en dollars 2002 à 1 427 milliards de dollars (source Rexecode), un peu moins que la France avec 1 799 milliards de dollars (pour une population de 61 millions d'habitants).

Les taux de croissance sont toujours élevés : estimation de 6,4 % pour l'année 2005. Le niveau de production d'avant la crise de 1998 a été dépassé et d'une manière générale tous les indicateurs sont revenus à des niveaux supérieurs à ceux des dernières meilleures années du régime soviétique. Terminons ce bref rappel indiquant que la dette extérieure publique a été récemment effacée et que le budget est en excédent.

Ainsi, la Russie continue de bien se porter et les importants excédents de la balance commerciale, essentiellement dus aux activités pétrolières et gazières (le nucléaire est également un contributeur positif pour plus de 3 milliards de dollars) y contribuent largement. De nombreuses réformes ont été engagées notamment dans le domaine de la fiscalité, domaine où les changements ont été les plus profonds ; d'autres réformes sont engagées au plan desquelles on mentionnera le secteur bancaire (trop nombreuses petites banques), le système judiciaire et la réduction des procédures bureaucratiques.

Deux points noirs sont fréquemment relevés. En premier lieu la démographie, plus que préoccupante : l'espérance de vie continue de diminuer et s'établit à 58,9 ans pour les hommes. Avec des taux de natalité bas et un taux de mortalité élevé, la population de la Fédération de Russie pourrait décroître à 125 millions d'habitants en 2030 et, selon un rapport de l'ONU, à 112 millions en 2050, le même niveau que le Japon.

En second lieu, il faut souligner qu'une grande partie de la population est encore en dessous du seuil de pauvreté, là aussi avec de grandes disparités entre les régions, les villes et les campagnes, les salaires mensuels moyens étant compris entre 30 et 400 dollars.

Les caractéristiques du secteur électrique

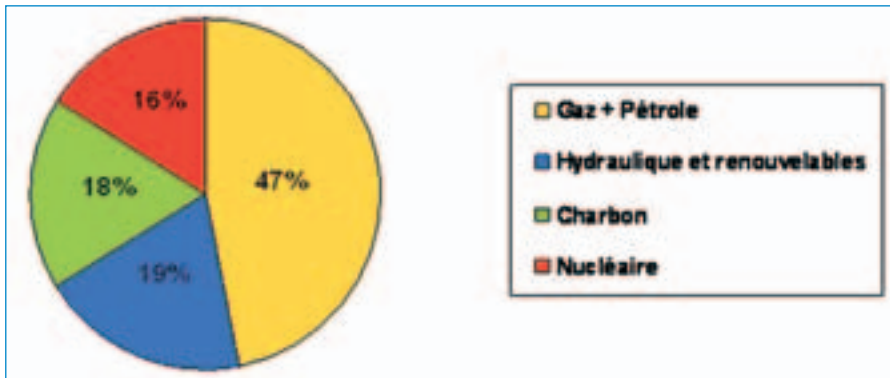
Les deux acteurs principaux du secteur électrique sont le système électrique unifié RAO EES (dite RAO) et l'exploitant nucléaire, Roseneratom (REA) qui dépend de Rosatom. RAO dans sa structure actuelle est un *holding* d'État qui en contrôle majoritairement le capital et gère l'ensemble des activités non nucléaires, du transport et de la distribution. Des réformes de structures significatives sont en projet qui concernent à la fois RAO et la structuration du marché.

La consommation électrique en 2005 a atteint 945 TWh au-delà des prévisions et la consommation pour les huit premiers mois de 2006 s'est établie à + 5,5 %. On observera que le ratio de consommation par habitant pour le secteur industriel du fait de ses activités d'industrie lourde avec 4 150 kWh/hab. se situe à des niveaux très élevés (supérieurs à celui des USA) alors qu'il est encore à des niveaux très bas pour le secteur résidentiel et tertiaire (Exposé de S. Kiriyenko au WNA du 7 septembre 2006 à Londres).

La croissance attendue des activités industrielles combinée avec un « rattrapage » des secteurs non industriels conduit **à prévoir pour les années à venir un développement important des consommations électriques (doublement au moins d'ici 2030 selon les autorités russes**, objectif qui pourra paraître élevé à des observateurs occidentaux).

En ce qui concerne le *mix* électrique, comme on peut le voir sur le graphique n° 1, il est très différent du *mix* français où la part du nucléaire atteint 78 % et celle de l'hydraulique 12 %.

En 2005, le nucléaire russe avec 23,2 GW de puissance installée pour un total de 227 GW représente 16 %



de la production, soit environ 150 TWh (cf. carte n° 2). La part du gaz (le pétrole ne représente que 3 %) est très élevée; en valeur absolue cette part ne peut qu'augmenter au détriment d'autres usages, comme l'exportation sauf à recourir à des CCG (cycles combinés gaz) de bien meilleur rendement et, bien sûr, à accroître la part du nucléaire.

Pour le futur, la Russie a donc à faire face à un des challenges importants conduisant à faire évoluer son *mix* et à mettre en service d'ici 2030 des puissances estimées (280 GW) pour répondre tant à l'accroissement de consommation (220 GW) qu'aux déclassements, estimés à + 60 GW (c'est sans doute un minimum).

Sur ces bases, si l'on retient une production nucléaire de 25 %, soit 400 TWh, cela conduit à une capacité totale installée d'environ 60 GW (7 TWh/GW) et donc, compte tenu des déclassements inévitables à cet hori-

zon, à la mise en service d'au moins 45 GW. **Une hypothèse basse avec +50% d'augmentation de la consommation et 22% de part nucléaire conduit à une production de 330 TWh et un parc installé d'environ 45 GW.** Cela suppose qu'au moins 30 GW soient mis en service d'ici 2030, **correspondant à des engagements de travaux de 2 GW/an entre 2010 et 2025.** C'est l'hypothèse retenue dans le scénario dit plausible qui représente déjà un formidable challenge.

L'organisation de l'industrie nucléaire civile russe

Un « raccourci » de l'histoire du nucléaire civil

L'industrie nucléaire civile s'est construite progressivement dès la fin de la Dernière Guerre mondiale et

s'est pour un temps largement confondue avec les activités militaires. Elle a pris assez rapidement (à partir de 1953) une place à part, même si elle demeure encore aujourd'hui étroitement imbriquée dans ce qu'il convient d'appeler « le complexe nucléaire ». À cet égard, il est tout à fait passionnant de lire la thèse de doctorat de M. N. Vasilieva, éditée en 1999 par l'Institut d'histoire de l'industrie et qui s'intitule *Soleils rouges, l'ambition nucléaire soviétique* – essai sur l'évolution des systèmes de prise de décision dans le nucléaire soviétique (russe).

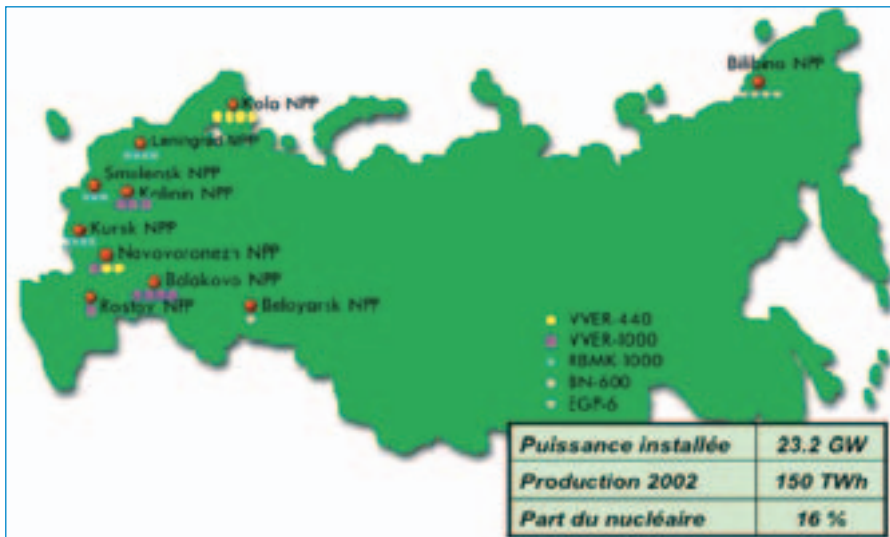
On en retiendra seulement ici, que le nucléaire a depuis plus de soixante ans représenté une priorité politique, que des moyens considérables ont été régulièrement mis en œuvre, que des équipes très complètes et motivées de savants, ingénieurs et techniciens ont obtenu très vite de manière autarcique des résultats marquants puisque pour le nucléaire civil, le 27 juin 1954, sous la direction de l'académicien Igor V. Kourtchatov, la centrale de 5 MW d'Obrninsk a été la première au monde à être couplée à un réseau électrique (précédant Calder Hall en 1956 au Royaume-Uni et Shippingport aux États-Unis couplée au réseau en 1957).

L'accident de Tchernobyl, le 26 avril 1986, a stoppé pour de longues années les nouveaux programmes presque partout dans le monde, également en Union soviétique puis dans la Fédération de Russie.

Des mesures correctives ont été prises sur les tranches RBMK, les performances d'exploitation se sont améliorées (*kd*, coefficient de disponibilité, au-delà de 75 %) et l'on a pu entreprendre la finition d'un certain nombre de tranches VVER en cours d'achèvement dont la construction avait été arrêtée ou ralentie.

Aujourd'hui le parc russe en exploitation comporte 31 réacteurs pour une puissance totale installée de 23,2 GW dans 10 centrales (11 RBMK; 15 VVER; 1 tranche à neutrons rapides de 600 MW; 4 petits réacteurs mixtes de 12 MW chacun à Bilibino).

C'est aussi des installations du cycle couvrant, nous détaillerons ces points un peu plus loin, tant l'amont



CARTE N° 3

LES INSTALLATIONS DU CYCLE



du cycle, extraction d'uranium, conversion, enrichissement et fabrication de combustibles, que de manière incomplète l'aval du cycle avec quelques capacités de retraitement pour les combustibles des VVER (cf. carte n° 3).

C'est enfin une présence importante hors de la Russie avec d'une part, environ 40 réacteurs en service, d'une puissance totale de 30 GW (presque tous VVER) en Finlande et dans les pays de l'Est et d'autre part, 5 réacteurs VVER en construction en Chine, Iran et Inde (cf. carte n° 4) pour une puissance d'environ 5 GW.

L'organisation actuelle du nucléaire civil

Au centre du dispositif, on trouve Rosatom, l'Agence fédérale à l'énergie atomique créée lors de la réforme administrative de mars 2004. Cette agence fédérale dépend du Premier Ministre et succède au Minatom, le ministère de l'Énergie atomique qui aura duré de 1992 à 2003, lui-même successeur du ministère dit des Constructions moyennes, le Minsredmach. Globalement Rosatom a les mêmes attributions que les précédents ministères ; il

recouvre les activités civiles et militaires à l'exception de celles relatives à la Sécurité nucléaire ; il est organisé en plusieurs départements et s'appuie sur un Collège des Directeurs réunissant régulièrement les responsables des organisations qui lui sont rattachées ainsi que ceux des ministères ou organisations ayant à connaître du nucléaire civil.

On notera que les activités de sûreté nucléaire confiées au Rostekhnadzor (aux attributions plus larges) dépendent directement du Premier Ministre ; de grands efforts ont été faits dans tous les domaines pour améliorer la sûreté nucléaire des installations existantes et l'organisation conduisant à des résultats équivalents à ceux des autres opérateurs de centrales.

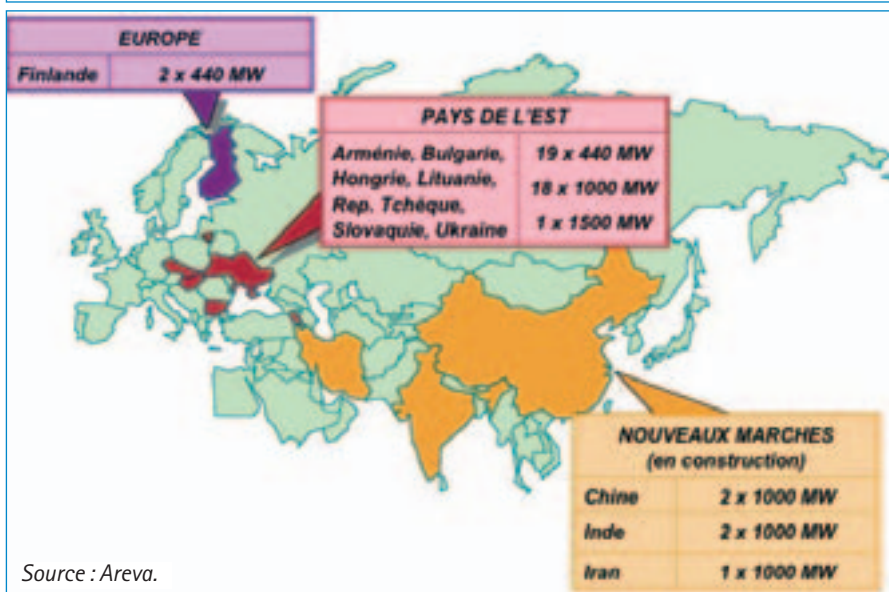
L'effectif total est estimé à 450 000 personnes dont 250 000 pour le secteur industriel ; s'agissant du nucléaire civil, il comprend les activités de recherche, d'ingénierie, d'exploitation des centrales nucléaires, d'amont et aval du cycle incluant les grands centres de Sibérie, dénommés combinats, ainsi que les activités de fabrication et de maintenance.

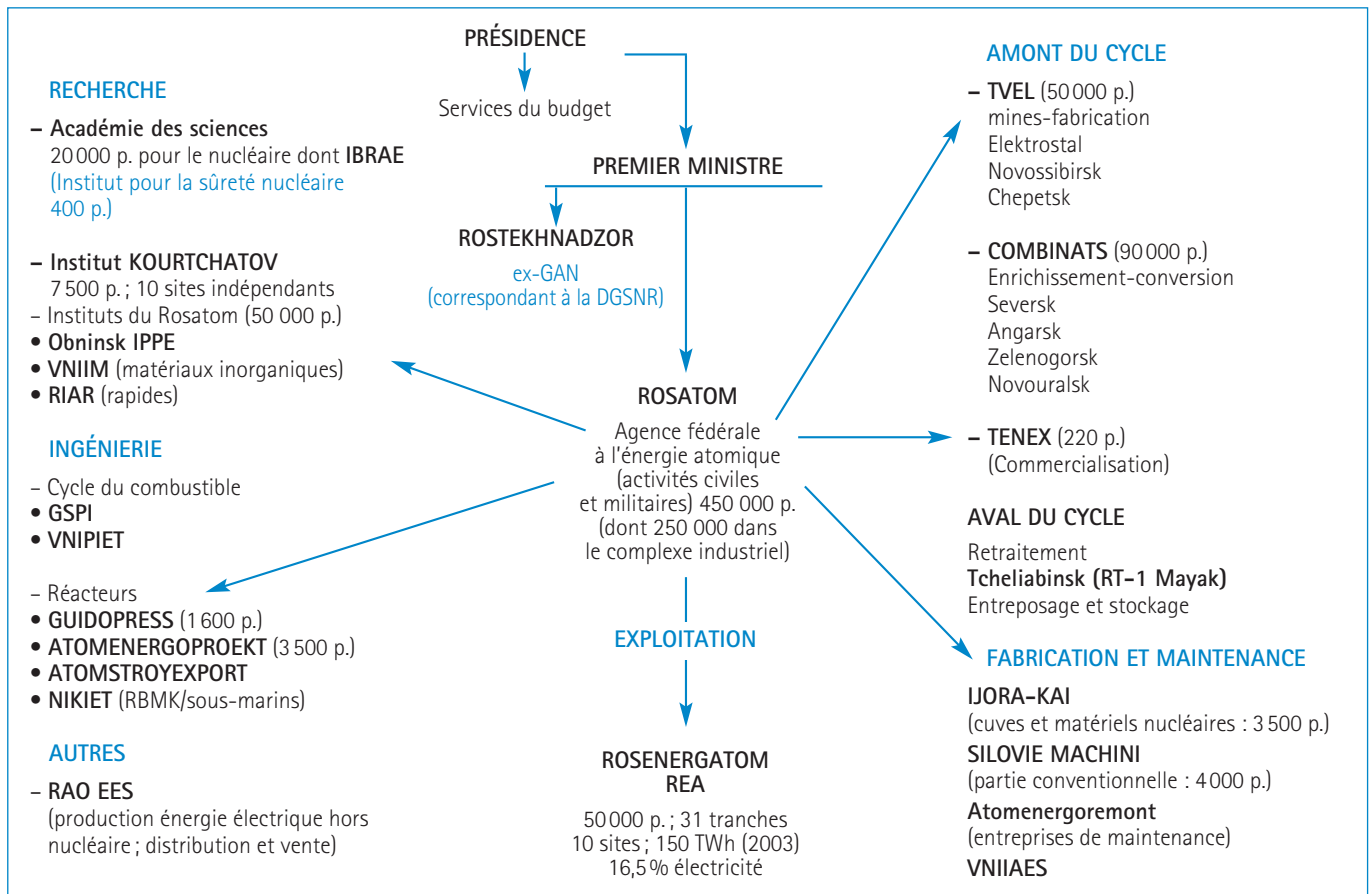
Le tableau n° 2 essaie de rassembler les principaux éléments constitutifs de cette organisation. On distingue successivement :

- **la recherche** où plusieurs types d'organismes sont impliqués dans la R & D nucléaire : **l'Académie des sciences** de Russie, essentiellement pour ce qui concerne la recherche fondamentale, la physique théorique, les études sur les propriétés de la matière où l'on estime que 30 à 40 % de l'effectif total de 60 000 personnes environ sont impliqués dans les instituts de recherche fondamentale liés au nucléaire ; **l'Institut Kourchatov**, initiateur de l'énergie atomique en Russie, dépendant maintenant directement du ministère de l'Éducation et de la Recherche, a un effectif d'environ 7 500 personnes sur une dizaine de sites ; les instituts du Rosatom avec 50 000 personnes estimées sur une dizaine de sites dont l'IPPE d'Obninsk, physique et énergétique, le VNIIM pour les matériaux inorganiques et le RIAR pour les rapides. Enfin, il convient de mentionner IBRAE, institut de l'Académie des sciences haute-

CARTE N° 4

RÉACTEURS DE TECHNOLOGIE Russe À L'ÉTRANGER





ment spécialisé pour les questions de sûreté nucléaire (environ 400 p.) créé après Tchernobyl ;

- **l'ingénierie** : on distinguera les ingénieries du cycle du combustible comme GSPI à Moscou et VNIPIET à Saint-Petersbourg et celles du réacteur, ingénieries « constructeurs » comme Guidopress (VVER) et NIKIET (RBMK ; sous-marins) et les instituts de conception générale « projets », architectes-ensembliers comme les AEP, Atomenergoproekt de Moscou, Saint-Petersbourg et Nijni-Novgorod. On fera une place à part à Atomstroyexport, architecte-ensemblier des centrales à l'exportation, revenu récemment sous le contrôle de l'État ;

- **l'exploitation** : elle est du ressort de Rosenergomatom, REA ; cette entité de 50 000 personnes rassemble depuis plusieurs années l'ensemble des centrales en exploitation ainsi que l'institut VNIIAES et les Atomenergoremont, dédiés à la maintenance. Avec ses 31 tranches en service, il s'agit de fait du deuxième exploitant

mondial après Électricité de France ;

- **les activités de l'amont du cycle** très dynamiques sont essentiellement couvertes par TVEL (compagnie d'environ 50 000 p. créée en 1996) pour ce qui concerne les mines avec une production de 3 000 t/an et la fabrication (17 % du marché mondial) (Elektrostal près de Moscou ; Novossibirsk, Chepetsk) ; les grands combinats (ayant par ailleurs d'autres missions) de Sibérie (Seversk, Angarsk, Zelenogorsk, Novouralsk) sont en charge de l'enrichissement et de la conversion, la commercialisation étant assurée par TENEX ;

- **les activités de l'aval du cycle** sont à ce stade assez limitées ; les Russes sont favorables au retraitement, mais la seule usine en fonctionnement, RT-1, usine de Mayak à Tcheliabinsk traite des volumes rarement supérieurs à 150 t/an, pour les seuls combustibles VVER-440 pour une capacité théorique de 400 t/an.

Des installations d'entreposage sont envisagées dans la région de Krasnoïarsk en complément des entre-

posages sur site de même que des programmes plus ambitieux pour ce qui concerne la gestion des déchets et le stockage à long terme.

- **la fabrication** : elle repose principalement d'une part sur les usines d'Ijora à Saint-Petersbourg, dépendant à ce jour d'OMZ, pour la fabrication des cuves, des tuyauteries primaires et une bonne partie de l'îlot nucléaire, d'autre part sur Silovye Machiny, pour les principaux équipements du circuit secondaire, notamment les groupes turboalternateurs. D'autres fournisseurs, comme l'usine ZIO-Podolsk pour la fourniture des GW et des échangeurs du circuit secondaire, OMZ-Spetstal, producteur d'aciers spéciaux, également Skoda JS, en République tchèque, ont contribué à la construction de plus de quatre-vingts réacteurs dans les années passées. L'objectif actuel est de restructurer et renforcer cet ensemble qui se voit capable de réaliser deux tranches par an (mais qui réalise actuellement en moyenne, export compris, moins d'une demi-tranche

par an) au sein d'un bloc « construction des centrales » pour répondre efficacement à la croissance attendue des programmes.

Les programmes de développement

Une confirmation vigoureuse des programmes définis en 2000-2001

En 2000 et 2001, la stratégie énergétique atomique russe a été définie par deux documents : la Stratégie énergétique de la Russie jusqu'en 2020 (approuvée par le gouvernement de Russie) et la Stratégie du développement de l'énergie atomique de la Russie dans la première moitié du XXI^e siècle qui en découle.

Ces documents, le deuxième notamment, tracent une perspective claire des étapes à suivre sur une longue période et développent avec force les arguments non seulement en faveur du nucléaire à court et moyen terme, mais aussi en faveur des réacteurs dits de quatrième génération, essentiellement à base de réacteurs à neutrons rapides de manière à pouvoir, grâce à un *mix* « eau légère-neutrons rapides », atteindre en Russie des capacités installées de l'ordre de 200 GW en 2100 tout en disposant de ressources en matières fissiles suffisantes (on rappellera simplement ici que les réacteurs à neutrons rapides permettent d'obtenir avec un *mix* U-Pu une énergie de l'ordre de cinquante fois supérieure à celle obtenue à partir des réacteurs à eau légère utilisant l'uranium enrichi).

Les objectifs, à l'horizon 2010 par exemple, n'ont été certes que pour partie mis en œuvre, mais, dans un contexte qui, comme nous l'avons rappelé au début de cet article, n'était pas favorable au nucléaire il y a moins de deux ans. Il nous semble donc devoir être souligné que, dans l'intervalle, la Russie a réalisé un bon nombre d'actions ; au rang desquelles, la mise en service de Kalinine 3 et le lancement du réacteur à neutrons rapides BN-800, l'extension de durée de vie de plusieurs réacteurs (RBMK et VVER), l'amélioration significative

de la sûreté, des coefficients de disponibilité, la poursuite des chantiers à l'exportation ainsi que de nombreux projets dans le domaine des réacteurs avancés et un « premier train » de mesures d'organisation et de restructuration des entreprises dépendant de Rosatom.

Ces points nous paraissent devoir être rappelés, car, lors de nos visites il y a déjà deux ans, quelque temps après la perte durement ressentie du contrat pour la Finlande au profit d'Areva, nous avons été frappés par le dynamisme et un certain enthousiasme des équipes rencontrées. Aussi nous semble-t-il également que les impulsions nouvelles données par le nouveau chef de Rosatom, S. Kiriyenko, correspondent en fait à une attente et que les changements nécessaires qu'impliquent les programmes envisagés seront dans l'ensemble bien compris et exécutés pour autant que les financements appropriés soient dégagés au fur et à mesure des besoins, ce à quoi tente de répondre le Programme fédéral sectoriel (PFS) nucléaire jusqu'en 2015 tel qu'adopté par le gouvernement le 6 octobre 2006.

Les grandes lignes des programmes de développement

Nous reprendrons ci-après les éléments qui nous paraissent les plus marquants des annonces officielles et interviews faites par les responsables russes, que l'on peut retrouver facilement dans les synthèses de la presse ainsi que dans les actes des conférences internationales comme celle à Londres déjà citée, de la World Nuclear Association en septembre 2006.

Mais auparavant nous voudrions rappeler que l'ensemble industriel, conçu et partiellement mis en place à l'époque soviétique, était destiné, pour une capacité totale installée de 100 GW (prévue atteinte en l'an 2000), à la totalité de l'URSS et des pays du bloc de l'Est et qu'il avait par ailleurs, nous l'avons déjà noté, de très nombreux segments communs avec le domaine militaire. De ce fait, l'ensemble des tâches n'était pas réalisé par la Russie qui, par exemple pour ce qui concerne le cycle du combustible, avait concen-

tré l'enrichissement de l'uranium sur son territoire, la production des crayons et des assemblages de combustibles, le retraitement, la gestion des déchets de haute activité et la flotte nucléaire civile. En revanche n'étaient effectués en Russie que 40 % de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium (le reste étant réparti entre la Tchécoslovaquie, l'Ukraine, le Kazakhstan et l'Asie centrale) et 20 % de la production de pastilles de combustible (les 80 % restants étant produits au Kazakhstan).

Dans ce contexte, les mesures prioritaires du programme de développement sont de nature organisationnelle et financière, de nature technique et de nature industrielle. Elles concernent la Russie, les pays de la CEI et autant ceux avec qui la Russie a eu, dans les années passées, des relations fortes que ceux avec qui elle a développé des relations de coopération dans le domaine nucléaire.

Nous distinguerons et commenterons ci-dessous cinq points.

- Tout d'abord ce qui touche à la **séparation des secteurs militaire et civil ainsi qu'au travail législatif et réglementaire** à réaliser pour régler les droits de propriété tant des entités légales que des actifs et diverses catégories de matières.

On conçoit bien que ce travail de clarification est essentiel pour aboutir à une répartition plus claire des responsabilités et à une meilleure efficacité, mais aussi à une clarification des tarifications et des financements, budgétaires comme à partir de capitaux privés. Il s'agit là d'un travail difficile, et de longue haleine, car beaucoup d'activités sont imbriquées ; **de nombreuses évolutions sont attendues** y compris au niveau des structures, mais il paraît clair que le degré de privatisation sera limité, l'État voulant conserver la maîtrise.

- **En second lieu, l'amont du cycle.** Comme on l'a vu, c'est un secteur dynamique où le concept envisagé est de créer une « compagnie minière intégrée », intégrant, entre autres, les actifs respectifs de TVEL et de TENEX.

Au plan des objectifs « business », on voudrait souligner ce qui relève

de l'activité minière et de l'enrichissement, la chaîne industrielle de fabrication dans son ensemble ne nécessitant pas de grands besoins de modernisation.

S'il est bien connu que la production actuelle d'uranium naturel en Russie (environ 3000 t/an) ne correspond pas à la consommation (10 000 t/an) même avec l'apport du Kazakhstan (également 3 000 t/an), des mesures concrètes ont été mises en œuvre **pour la reprise de l'exploration tant en Russie qu'avec d'autres pays limitrophes**, le Kazakhstan notamment, pour atteindre au moins 12 000 t/an d'ici 2015.

Au total, les Russes estiment ne pas avoir de problèmes d'approvisionnement jusqu'en 2040, ce qui permettra de faire le lien avec les programmes de réacteurs à neutrons rapides de petite taille.

S'agissant de l'enrichissement, la capacité russe, estimée à 21 millions d'UTS, à partir de petites centrifugeuses (cf. photo n° 1), est supérieure à 40 % de la capacité mondiale et constitue d'ores et déjà un atout pour **la vente de services d'enrichissement à l'exportation ; dans ce domaine, la Russie cherche à faire lever les restrictions commerciales** mises en place au début des années quatre-vingt-dix et, en préparation de l'après 2013, date de cessation de l'HEU-deal (transformation de 500 t d'uranium hautement enrichi, HEU, en uranium faiblement enrichi LEU) à pouvoir établir des relations directes aux USA avec les *utilities* (cf. l'interview de S. Kiriyenko dans l'édition de septembre 2006 de *Nukem Market Report* intitulée : *What Russia wants from the US*). On notera enfin que la Russie a proposé, lors de la 50^e session de la conférence générale de l'AIEA, de **créer, à Angarsk, un centre international d'enrichissement** afin de fournir du combustible nucléaire à tous les pays en voie de développement qui respectent leurs obligations dans le domaine de la non-prolifération des armes nucléaires.

• S'agissant des réacteurs, nous voudrions tout d'abord mettre l'accent sur les choix techniques et revenir sur les programmes.

PHOTO N° 1

INTÉRIEUR D'UNE USINE D'ENRICHISSEMENT



SOURCE VNIIEET

PHOTO N° 2

BELOYARSK



PHOTO N° 3

KALININE



PHOTO N° 4

NOVOVORONEJ



La nouveauté au plan technique est le choix, pour le futur proche, de **lancer une filière standardisée de réacteurs à eau pressurisée**. Le choix s'est porté sur un projet dénommé **AES 2006** dont la base est celle d'un réacteur à eau pressurisée de type VVER 1 000

dont la puissance serait portée à 1 150-1 200 MW et qui serait certifié d'ici deux ans. Conçu pour une série d'au moins 10 tranches, sa première mise en service devrait intervenir en 2012 sur le site de Novovoronej-2.

Les choix antérieurs pour BN-800 et le développement des petits et moyens réacteurs (KLT-40, réacteur sur barge et VBR-300) ont été confirmés.

La mise en service du réacteur à neutrons rapides BN-800 est programmée pour 2012 et celle de KLT-40 en 2009 pour une installation sur barge à Arkhangelsk ; pour le plus long terme, on notera que la Russie, à côté des réacteurs à neutrons rapides (tranche de référence 1800 MW refroidie au sodium ?), prévoit de développer un Réacteur à haute température refroidi au gaz pour la production de chaleur. Rappelons également que la Russie avait lancé l'initiative INPRO pour les réacteurs de Génération 4, initiative reprise ultérieurement dans le cadre de l'AIEA. Par ailleurs il est prévu que la Russie devienne prochainement membre du GIF (Generation for Initiative Forum).

Les programmes annoncés et budgétés pour les années à venir, outre BN-800 à Beloyarsk (voir photo n° 2) concernent Rostov-2 (1 GW mis en service en 2009), Kalinine 4 (1 GW mis en service en 2011, cf. photo n° 3) et Novovoronej (au moins 1 GW en 2012, photo n° 4). Il est prévu de mettre en service au moins 2 GW/an à partir de 2013, puis davantage ultérieurement dans la mesure du possible.

• En quatrième point, s'agissant toujours des réacteurs, **les programmes envisagés constituent un véritable défi industriel même si les financements appropriés sont dégagés.**

À ce stade, ce défi concerne peu l'exploitation, même s'il paraît vraisemblable que l'organisation de Rosenergomat soit appelée à évoluer ; il concerne davantage les ingénieries, Guidopress et Atomenergoproekt dont le rôle sera déterminant pour la qualité du *design* et la tenue des délais ; il concerne enfin ce que nous appelons le « tissu industriel ».

La définition d'un bloc « construction des centrales » semble être la solution en cours de gestation, lequel bloc ferait partie d'un ensemble intégré verticalement comportant par ailleurs l'amont du cycle et l'exploitation.

Quelle que soit la solution retenue, la réussite des programmes dépend à l'évidence d'une bonne maîtrise et

d'une bonne articulation entre les différents centres chargés de la conception, la fabrication et la construction. C'est dans ce contexte que doivent être replacées les diverses annonces de reprise de contrôle de tout ou partie d'entreprises comme OMZ ou Silovye Machinery ainsi que l'intention de rétablir des partenariats actifs avec certaines entreprises d'Ukraine (pour les turbines) ou de République tchèque (Skoda par exemple).

Ces programmes ambitieux, auxquels il conviendrait d'ajouter des objectifs du même ordre de prise de commande hors de la Russie, supposent non seulement des financements et la mise en place d'une bonne architecture industrielle, ils supposent également de mobiliser, dans des délais courts, des équipes suffisamment nombreuses et compétentes pour des activités complexes qui n'auront pas été réalisées depuis plus de vingt ans.

• **Le dernier point concerne l'aval du cycle**, où la Russie n'a pas jusqu'à présent consacré autant d'efforts que dans les secteurs précédents même si elle s'est toujours montrée favorable au retraitement. Sans développer trop en détail ce point, il apparaît que **la Russie a, dans ce domaine également, une volonté de développer les programmes de gestion des combustibles usés pour les divers types de combustible**, incluant en particulier la construction d'un entreposage à sec pour les combustibles des RBMK et lancer après 2010, à Jelesnogorsk, dans la région de Krasnoïarsk, en Sibérie, la construction d'un complexe pilote de retraitement des combustibles usés VVER.

Ce dernier projet serait un élément clé du **Centre international pour le retraitement des combustibles usés** (*International Nuclear Fuel Cycle Center*), concept assez similaire à celui développé début 2006 par les États-Unis avec GNEP, dont l'un des objectifs est de contribuer de manière acceptable au déploiement aussi large que possible de l'énergie nucléaire civile.

j j
j

En conclusion, il est clair que la Russie entend développer la production d'électricité nucléaire en Russie même et jouer un rôle important à l'exportation sur les « marchés ouverts ». Les dirigeants russes mettent d'ores et déjà en œuvre, sur l'ensemble du cycle, une série cohérente de mesures aux plans technique et industriel, juridique et financier, organisationnel, en vue d'obtenir des résultats concrets dès les premières années de la prochaine décennie et atteindre un rythme de croisière à 2 ou 3 GW/an à partir de 2015.

C'est, peut-on dire, une bonne nouvelle pour les divers programmes nucléaires de par le monde, dont la plupart ne sont pas encore entrés dans la phase de mise en œuvre même si celle-ci paraît inéluctable compte tenu de la croissance attendue des besoins en électricité à l'horizon 2030 et de la nécessité de remplacer nombre d'installations vieillissantes.

Pour ce qui concerne la mise en œuvre elle-même, la Russie continuera vraisemblablement, comme par le passé, à compter sur ses propres forces ; elle n'interviendra sans doute pas de manière significative, en Amérique du Nord, dans l'ex-Europe des Quinze, au Japon ou en Corée du Sud à l'exception peut-être des services d'enrichissement de l'uranium ou de fabrication du combustible ; en revanche, elle sera sans doute présente sur les autres « marchés ».

Cette question avait été posée au représentant d'un grand constructeur américain lors du Colloque *Platts-Nucleonics Week* des 8 et 9 mai à Paris sur le financement des investissements nucléaires. Il avait répondu : « Nous connaissons déjà assez bien les Russes ; dans le monde des affaires, nous pouvons être, selon les affaires, en situation de partenaire, de compétiteur ou de fournisseur. Pour le futur, cela sera sans doute les trois à la fois. » n