

Développement de l'énergie nucléaire

ISBN 92-64-02074-8

Développement des compétences dans le domaine de l'énergie nucléaire

Rapport de synthèse

© OCDE 2004
NEA n° 5589

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1^{er} février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 28 pays membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

© OCDE 2004

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France. Tél. (33-1) 44 07 47 70. Fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : <http://www.copyright.com/>. Toute autre demande d'autorisation ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

AVANT-PROPOS

Il y a quelques années, plusieurs études ont été menées pour analyser les préoccupations soulevées par la place de moins en moins importante occupée par l'enseignement et la formation dans le domaine de l'énergie nucléaire dans les systèmes éducatifs, faisant craindre qu'un niveau trop bas pour satisfaire les besoins ne soit atteint. L'étude de l'AEN *Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ?* concluait que faute de prendre immédiatement les mesures nécessaires, il deviendrait difficile de garantir à l'avenir la qualification adéquate des professionnels du secteur électronucléaire. Plusieurs recommandations étaient faites dans cette publication aux gouvernements, aux universités et à l'industrie pour assurer que les besoins présents en main d'œuvre hautement qualifiée soient satisfaits et que l'option nucléaire demeure ouverte dans le futur.

La présente étude est une continuation de la précédente. Elle identifie les mécanismes et les stratégies capables de promouvoir la coopération internationale dans le domaine de l'enseignement et de la R&D nucléaires. Elle vise à analyser les questions d'infrastructure de façon globale afin d'identifier les bonnes pratiques et d'aider les gouvernements à intégrer la R&D et l'enseignement dans le domaine de l'énergie nucléaire dans un contexte international. L'étude a été menée sous l'égide du Comité de l'AEN chargé des études techniques et économiques sur le développement de l'énergie nucléaire et le cycle du combustible en collaboration avec le Comité de l'AEN des sciences nucléaires.

Cette publication a été préparée par un groupe d'experts venant d'universités, d'agences gouvernementales et d'instituts de recherche. Le rapport est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE.

Remerciements

Le groupe d'experts chargé de la réalisation de l'étude tient à exprimer ses remerciements à Monsieur Chris Squire pour sa contribution à la rédaction du rapport.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos.....	3
Introduction.....	7
Progrès réalisés dans le domaine de l'enseignement et de la formation	11
Ressources humaines	13
Recherche et développement.....	15
Collaboration internationale.....	17
Conclusions et recommandations.....	19
Exemples de pratiques les plus efficaces	29

INTRODUCTION

Le cycle de vie de l'industrie nucléaire n'est pas différent de celui des autres industries, ni d'ailleurs de la plupart des formes d'activité humaine : naissance, croissance, maturité, déclin, renaissance et renouveau ou mort. Les industries issues du XIX^{ème} siècle, telles que le chemin de fer, l'industrie chimique ou la sidérurgie, ont accompli la totalité de leur cycle alors que les industries plus récentes, telles que l'espace, l'aéronautique et l'énergie nucléaire, n'en ont parcouru qu'une partie. La position d'un secteur industriel d'un pays dans son cycle de vie dépend du développement et des besoins économiques de ce pays. S'agissant de l'industrie nucléaire, certains pays ont atteint le stade de la maturité ; d'autres sont engagés sur la voie du déclin et se demandent s'ils doivent relancer l'activité ou y mettre un terme ; d'autres encore commencent juste la construction de nouvelles installations.

Bien que le cycle de vie puisse constituer un élément commun à toutes les activités industrielles, chacune d'entre elles possède des particularités qui la distinguent des autres. Les traits distinctifs du secteur de l'énergie nucléaire sont des durées de vie des installations très longues et l'excellence technique. Les premières centrales nucléaires étaient conçues pour fonctionner pendant trente ans ; aujourd'hui, on table sur une durée de vie de 50 à 60 ans. Lors de la fermeture d'une centrale nucléaire, le temps nécessaire pour le démantèlement et la décontamination peut égaler, voire excéder la durée d'exploitation. La totalité du cycle de vie peut s'étendre sur plus d'un siècle. L'évolution technique rapide de l'industrie n'aurait pas été possible sans une multitude de programmes de recherche et de développement de haut niveau. Grâce à ces programmes et aux liens tissés avec les universités et les instituts de recherche, l'accumulation des connaissances techniques est allée de pair avec la formation du personnel techniquement compétent pour assurer la sécurité d'exploitation de l'industrie nucléaire.

La longueur de la durée de vie des installations, conjuguée au besoin de compétences techniques, place aujourd'hui l'industrie devant un double problème : comment maintenir les qualifications et les compétences existantes pendant les cinquante années ou davantage d'exploitation d'une centrale nucléaire dans un pays où l'industrie peut être parvenue à maturité ou avoir

entamé son déclin et où aucune construction nouvelle n'est envisagée dans l'immédiat, et comment développer et maintenir de nouvelles qualifications et compétences dans les domaines du démantèlement et de la gestion des déchets radioactifs qui sont considérés comme des activités « de fin de vie » et qui attirent peu de jeunes.

Ces problèmes sont aggravés par la libéralisation croissante des marchés de l'énergie à l'échelle mondiale. L'industrie nucléaire est désormais contrainte de réduire ses coûts de façon draconienne pour rivaliser avec d'autres filières aux cycles de vie technologiques différents. Dans de nombreux pays, le financement public a été considérablement réduit, voire supprimé tandis que les marges bénéficiaires des producteurs ont été laminées. Il en est résulté une baisse des prix de l'électricité, mais aussi une perte de compétences consécutive aux compressions d'effectifs destinées à diminuer les coûts salariaux, des fermetures d'installations de recherche pour réduire les dépenses d'exploitation et un recul des aides au secteur universitaire pour abaisser les charges fixes.

Au final, on constate au plan technique un ralentissement de l'innovation et une perte de compétences et de qualifications. Cependant, tous les pays ne se trouvant pas au même stade du cycle de vie de la technologie nucléaire, ils ne sont pas affectés de la même façon ni dans les mêmes proportions ; une compétence qui aura décliné ou disparu dans un pays pourra occuper une position solide dans un autre. L'une des solutions aux problèmes auxquels le secteur est confronté est donc la collaboration internationale.

Alors que les études précédentes de l'AEN (Agence pour l'énergie nucléaire) ont mis l'accent sur les compétences et les infrastructures nucléaires dans certains secteurs d'activité, tels que la sûreté ou l'enseignement, la présente étude, lancée par le Comité chargé des études techniques et économiques sur le développement de l'énergie nucléaire et le cycle du combustible (NDC) en collaboration avec le Comité des sciences nucléaires (CSN), aborde les questions des infrastructures et des compétences nucléaires dans une perspective plus large. L'étude recense :

- Les progrès accomplis au regard des recommandations présentées dans une étude antérieure, *Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ?*
- Les questions liées aux ressources humaines et la R-D.
- Les mécanismes et les pratiques les plus efficaces en matière de collaboration internationale.

Les informations concernant les trois aspects cités plus haut ont été obtenues grâce à un questionnaire établi et diffusé par l'AEN en 2002. Quinze pays y ont répondu: Allemagne, Autriche, Belgique, Canada, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Hongrie, Italie, Japon, Pays-Bas, Royaume Uni, Slovénie, Suède, ainsi que la Commission européenne. Toutefois, certaines des réponses ne contenaient que très peu de renseignements et, en général, celles portant sur la R-D, bien que riches en informations factuelles, étaient le plus souvent pauvres en données chiffrées, qu'il s'agisse des ressources humaines ou des installations engagées dans cette activité.

PROGRÈS RÉALISÉS DANS LE DOMAINE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA FORMATION

Le rapport de l'OCDE/AEN, *Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ?*, publié en juillet 2000, a fait pour la première fois une étude quantitative sur l'enseignement nucléaire dans les pays membres. Il a confirmé ce que beaucoup soupçonnaient depuis longtemps : que, dans la plupart des pays, l'enseignement des disciplines nucléaires avait décliné au point qu'il était devenu difficile de maintenir les connaissances spécialisées et les compétences dans les technologies nucléaires de base. Malgré un tableau plutôt sombre de la situation globale, on pouvait trouver un certain réconfort dans l'éventail des initiatives recensées. Si elles ne permettaient pas de développer l'enseignement et la formation dans le domaine nucléaire, elles mettaient au moins un frein à leur dépérissement. Le rapport faisait un certain nombre de recommandations aux gouvernements, aux universités, à l'industrie et aux instituts de recherche en vue de prolonger les initiatives en cours et d'en susciter de nouvelles.

Chaque gouvernement a réagi à sa manière. Certains ont lancé, ou appuyé, une batterie d'initiatives, souvent fondées sur leurs propres études complémentaires des besoins en matière d'enseignement et de main-d'œuvre dans le domaine nucléaire. D'autres se sont abstenus de toute initiative, peut-être parce qu'ils préfèrent laisser le secteur nucléaire réagir aux mécanismes du marché, parce qu'ils ont décrété un moratoire sur l'énergie nucléaire ou tout simplement parce qu'il existe déjà des programmes appropriés.

De nombreux indices montrent que les deux recommandations faites aux universités, à savoir qu'elles devraient offrir des programmes d'enseignements fondamentaux attrayants et qu'elles devraient dialoguer souvent, et à un stade précoce, avec les étudiants potentiels, ont été entendues. Il est difficile de déterminer la part respective du rapport de l'AEN et des forces du marché dans cette évolution, mais il est indiscutable que les nombreuses actions lancées par les universités se traduisent par une augmentation du nombre des étudiants qui choisissent des disciplines nucléaires.

Le rapport faisait deux recommandations à l'industrie : continuer d'offrir des programmes de formation rigoureux et mieux collaborer avec les universités

et les instituts de recherche afin de séduire la jeune génération. À l'évidence, la première de ces deux recommandations est mise en œuvre, même si ce résultat s'explique probablement davantage par l'intérêt bien compris de l'industrie et par une réaction aux prescriptions réglementaires que par le rapport de l'AEN. Quant à la seconde, il est indéniable que l'industrie, les universités et les instituts de recherche continuent à travailler ensemble, mais rien ne montre qu'ils le font plus efficacement qu'auparavant.

Les instituts de recherche connaissent des problèmes de recrutement analogues à ceux de l'industrie. En outre, leur situation financière se dégrade dans de nombreux pays en raison de la diminution des financements publics et de la vive concurrence dans le créneau où ils commercialisent leurs services et leurs produits. Il est donc difficile pour les instituts de recherche de mettre en œuvre la recommandation qui leur avait été faite d'attirer les meilleurs étudiants et les meilleurs collaborateurs en élaborant des projets de recherche dynamiques susceptibles d'intéresser l'industrie.

RESSOURCES HUMAINES

Dans l'éventualité d'un fléchissement des effectifs dans leurs industries nucléaires, de nombreux pays membres de l'AEN ont lancé des études pour déterminer l'ampleur du problème. Malgré les très nombreuses initiatives en cours en faveur de l'enseignement et de la formation dans le domaine nucléaire, ces enquêtes nationales montrent que le nombre des ingénieurs et des scientifiques diplômés dans les disciplines nucléaires est insuffisant pour répondre à la demande.

Dans de nombreux pays, la désaffection persistante des étudiants pour la science, l'ingénierie et les matières technologiques a entraîné ces dernières années une baisse de la proportion des étudiants diplômés dans ces domaines. Les diplômés de grande valeur dans les disciplines techniques se faisant toujours plus rares, ils sont de plus en plus recherchés et l'industrie a déjà commencé à en pâtir. C'est un sujet de préoccupation pour l'industrie nucléaire, car la majorité des scientifiques et des ingénieurs qu'elle emploie n'ont pas reçu un enseignement spécialisé dans le domaine nucléaire.

Outre cet effet direct, l'industrie souffre aussi indirectement, car la capacité des organisations à pallier la pénurie de diplômés dotés d'un bagage solide dans le domaine nucléaire en recrutant des diplômés techniques de haut niveau et en les formant en interne se trouve également compromise.

En atteignant la maturité, l'industrie nucléaire a développé des domaines de compétences transférables à d'autres industries. On a donc enregistré un flux de personnel du secteur nucléaire vers d'autres secteurs, ce qui était commode lorsque l'industrie était en phase de consolidation et souhaitait réduire ses effectifs. Maintenant qu'elle ne peut plus se payer le luxe de la moindre réduction supplémentaire dans les compétences existantes et qu'elle doit en développer de nouvelles dans des domaines tels que le démantèlement et la décontamination, attirer de jeunes talents, retenir le personnel en place et recruter des experts originaires d'autres secteurs s'avère problématique dans de nombreux pays à cause de la concurrence exercée par d'autres industries jugées plus porteuses.

Nombre des problèmes susmentionnés peuvent être réglés par le biais de programmes de R-D diversifiés et dynamiques. Au sein des entreprises, la R-D est aussi importante pour la formation du personnel que pour le progrès technique. Là où l'industrie collabore avec des universités et des instituts de recherche, elle y trouve aussi une source de recrutement importante. En outre, ces collaborations constituent un vivier de personnel qualifié et expérimenté, auquel peuvent faire appel, au cas par cas, tant l'industrie que les autorités de sûreté. Par ailleurs, les activités de R-D menées dans les universités revitalisent le système éducatif en ouvrant la voie à de nouvelles disciplines, en fournissant des sujets de thèses et en encourageant les universitaires à coopérer de façon constructive avec l'industrie.

Dans une certaine mesure, la situation en matière de ressources humaines peut être améliorée par la mobilité des chercheurs et des experts. La mobilité est souvent perçue comme un élément important de l'enseignement et de la formation d'un individu, d'une part, et comme un moyen efficace de faire face à une surcharge de travail ponctuelle ou de transférer des connaissances, d'autre part. Cependant, il semble que la mobilité des chercheurs soit en fait réduite. Apparemment, certains organismes de recherche acceptent plus volontiers de recevoir des chercheurs que de se séparer des leurs.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Tous les pays qui ont donné des informations sur ce sujet consacrent des ressources considérables, mesurées en termes de personnes-an, à la gestion des déchets radioactifs. En revanche, bien que le démantèlement fasse l'objet d'activités de R-D dans tous les pays consultés, peu de ressources y sont généralement consacrées. La conception des centrales est un sujet de recherche important dans de nombreux pays. En général, ces activités visent à améliorer la sûreté et les performances des centrales existantes plutôt qu'à étudier des concepts de centrales innovants. C'est probablement pourquoi, dans la plupart des pays, la recherche de nouveaux matériaux n'occupe pas une place de choix. L'intérêt pour les recherches concernant le combustible varie considérablement d'un pays à l'autre et les recherches concernent des sujets variés : améliorer les performances économiques des centrales en exploitation, faciliter la gestion des déchets et promouvoir des concepts de centrales innovants.

Il est difficile de dégager des tendances communes à tous les pays dans la R-D financée par les entreprises. Il semblerait toutefois que, globalement, l'effort porte davantage sur les réacteurs en exploitation que sur les systèmes futurs. Les projets nationaux prennent le pas sur les projets internationaux. Les projets couvrent le court, le moyen et le long terme ; il n'y a pas de dénominateur commun. Comme on pouvait s'y attendre s'agissant de la recherche financée par les entreprises, les considérations économiques sont très présentes, mais la sûreté reste primordiale dans tous les pays sans exception. Dans la plupart des pays, l'industrie nucléaire finance la recherche fondamentale et les moyens dégagés viennent très souvent en complément du financement public de la recherche. Certes, l'acquisition de connaissances techniques est une chose importante, mais il ne fait aucun doute qu'appuyer la recherche fondamentale contribue à assurer la pérennité d'un réservoir d'experts dans des secteurs essentiels au sein des universités et des centres de recherche ; le rôle de ces experts est crucial pour l'évaluation indépendante de questions clés telles que la fiabilité et la sûreté des centrales.

Ces dernières années, le financement public de la R-D nucléaire a chuté de façon spectaculaire dans la plupart des pays. La priorité a été, et demeure, la sûreté des centrales nucléaires existantes et la gestion des déchets. Cependant, on voit poindre dans quelques pays des programmes portant sur des réacteurs

innovants du futur. L'argent public n'est plus uniquement affecté au soutien de la R-D à l'échelon national ; il est de plus en plus utilisé pour financer la collaboration internationale. Tous les pays reconnaissent la nécessité de maintenir les qualifications et les compétences essentielles et les financements publics reflètent cette préoccupation. Toutefois, compte tenu du désengagement du secteur public enregistré ces dernières années dans la plupart des pays, cette responsabilité retombe de plus en plus sur l'industrie.

COLLABORATION INTERNATIONALE

Le ralentissement intervenu ces dernières années dans de nombreux programmes de recherche nucléaire financés à l'échelon national, ainsi que les fermetures d'installations et la perte de connaissances spécialisées qu'il a entraînées, ont incité les pays à se tourner vers la collaboration internationale. Si les arrangements bilatéraux restent d'actualité, les programmes multilatéraux faisant intervenir un grand nombre de pays et d'instituts de recherche sont de plus en plus privilégiés de façon à optimiser l'utilisation des installations et des compétences et à partager les coûts. Certaines organisations telles que l'AEN, la CE et l'AIEA interviennent activement pour promouvoir et coordonner ce mode de collaboration, et aussi pour veiller à l'ouvrir à un éventail de participants aussi large que possible. L'AEN a adopté une stratégie visant à maintenir certains types d'installations de recherche essentiels par le biais de ces accords de collaboration.

Si les centres de recherche nucléaire peuvent se prévaloir d'une longue tradition de collaboration internationale, il n'en va pas de même pour les universités. La création de quelques réseaux régionaux en collaboration en Europe et en Asie est une initiative récente. Qu'il s'agisse de maintenir l'expertise pédagogique dans les matières liées au nucléaire ou les moyens de recherche, les mêmes principes s'appliquent, en particulier dans les pays où cette expertise risque de faire défaut. À cet égard, des efforts supplémentaires peuvent être déployés à l'échelon national pour intensifier la coopération entre les universités ; à l'échelon international, les organismes reconnus ont un rôle clé à jouer dans la promotion et la coordination de la coopération internationale.

Certes, les intérêts commerciaux freinent la collaboration entre les entreprises industrielles. Quelques-unes ont fusionné et, en conséquence, leurs activités internes ne sont plus cantonnées à l'intérieur des frontières nationales. Toutefois, force est de reconnaître que, globalement, la collaboration industrielle ne sera jamais totalement exempte de contraintes.

La collaboration, l'échange d'informations, voire l'échange de personnel, ont toujours été indissociables de l'essor de l'énergie nucléaire – dans les limites imposées par les impératifs politiques. C'est en grande partie grâce à la collaboration internationale que l'énergie nucléaire s'est transformée, en

l'espace d'une seule génération, en une source d'énergie fiable qui fournit un pourcentage significatif de l'électricité produite dans de nombreux pays. L'avenir de l'énergie nucléaire dépendra encore davantage de la collaboration internationale, mais tant qu'il y aura des initiatives telles que le projet de réacteur de Halden (AEN) et le Forum international Génération IV, un optimisme prudent sera permis.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

En dépit de positions divergentes vis-à-vis de l'énergie nucléaire dans différents pays – certains pays ayant décidé de construire de nouveaux réacteurs alors que d'autres hésitent et que d'autres encore ont affirmé leur volonté de fermer leurs installations nucléaires – elle représente toujours une part importante de la capacité de production d'électricité dans le monde et plus particulièrement dans les pays de l'OCDE. Elle permet d'économiser de précieux combustibles fossiles et réduit les émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, le champ de la technologie nucléaire dépasse largement la production d'électricité. Il couvre un large éventail d'applications, depuis le diagnostic et le traitement médical jusqu'à l'examen et l'essai de matériaux. Les recommandations ci-après s'inscrivent dans cette perspective globale. Il s'agit de contribuer à la préservation et au développement des compétences dans le domaine nucléaire, indépendamment des applications pacifiques qui pourraient en être faites.

Enseignement et formation dans le domaine nucléaire

Conclusions

Les pays ont pris acte des problèmes, et des progrès notables ont été accomplis au regard des recommandations du précédent rapport de l'Agence, mais il reste encore du chemin à parcourir.

Il est clair, trois ans après sa publication, que le rapport *Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : Faut-il s'inquiéter ?* a fortement marqué les esprits dans la plupart des pays. Surtout, il a indéniablement eu un effet catalyseur. Un certain nombre d'éléments concrets donnent à penser que, sans lui, plusieurs initiatives en cours se seraient essouffées et l'élan indispensable pour en démarrer de nouvelles aurait manqué. Nul doute que ce rapport a conduit plusieurs pays à réaliser des enquêtes pour quantifier plus précisément leurs besoins futurs de main-d'œuvre. Les retombées de ces enquêtes vont au delà des initiatives nationales qu'elles ont déclenchées.

Ensemble, elles brossent un tableau plus fidèle de la situation mondiale et ont déjà suscité des collaborations internationales. Les initiatives engagées commencent à améliorer la situation, mais le processus n'en est qu'à ses débuts et il reste du chemin à parcourir.

Bien qu'un large éventail d'activités soient menées dans tous les pays, on n'observe aucun progrès décisif dans les mesures prises pour enrayer le vieillissement de la main-d'œuvre ; néanmoins, ces activités ont commencé à faire sentir leurs effets.

Le nombre et la variété des initiatives actuellement en cours laissent entrevoir un début d'amélioration. Toutefois, en dépit du large éventail d'activités entreprises par les pays membres dans lesquels des études démographiques ont été réalisées, celles-ci indiquent toujours une pénurie de personnel qualifié à court terme. Il est particulièrement problématique de recruter et de retenir du personnel spécialisé dans le domaine de l'énergie, comme la physique du cœur des réacteurs, par exemple. La situation ne fera qu'empirer si la capacité des universités d'enseigner les disciplines nucléaires continue de décliner.

L'enseignement spécialisé nécessaire dans le domaine nucléaire est menacé.

Le secteur ayant atteint la maturité, la demande d'enseignement spécialisé dans le domaine nucléaire est plus faible aujourd'hui qu'elle ne l'a jamais été depuis de nombreuses années, d'où une baisse considérable du nombre d'universitaires proposant des cours dans les disciplines nucléaires. Pourtant, un enseignement spécialisé demeure indispensable si l'on veut garantir la sécurité d'exploitation des centrales.

Les pays devraient chercher à emprunter les bonnes pratiques des autres pays pour renforcer leurs programmes nationaux.

Si tous les pays ont réalisé des progrès, ceux-ci ont très souvent accompagné l'élargissement et l'évolution logiques des activités existantes. L'un des objectifs de la présente étude est de recenser les initiatives dans

l'optique d'un partage des bonnes pratiques. Emprunter des idées à d'autres pays pourrait être une méthode judicieuse pour renforcer et optimiser l'efficacité de l'activité à l'échelon national.

Les pays devraient élargir leur base de connaissances par le biais d'initiatives nationales et internationales.

Il existe une limite au nombre et à la diversité des initiatives à la portée d'un seul pays. Certaines qualifications et compétences éventuellement menacées dans un pays peuvent être beaucoup plus assurées dans un autre. Il faudra pousser plus loin qu'auparavant la collaboration internationale pour préserver toutes les qualifications et les compétences nucléaires dont l'industrie a impérativement besoin.

Les gouvernements, les universités, l'industrie et les organismes de recherche devraient collaborer à l'échelon tant national qu'international pour garantir l'accès aux connaissances spécialisées essentielles dans le domaine nucléaire.

L'utilisation sûre et efficace de l'énergie nucléaire n'est pas envisageable sans un certain nombre d'experts dans des domaines nucléaires spécifiques : l'ingénierie des réacteurs nucléaires, la physique des réacteurs, la radioprotection, par exemple. Dans certains pays où la demande de spécialistes dans ces disciplines essentielles peut être faible, on risque de voir disparaître les moyens éducatifs nécessaires à leur formation. Il importe donc que les gouvernements, les universités, l'industrie et les organisations de recherche conjuguent leurs efforts pour assurer le maintien de réservoirs d'expertise viables. Les gouvernements doivent définir des orientations stratégiques qui garantissent l'affectation de ressources suffisantes à l'enseignement dans les domaines névralgiques de l'énergie nucléaire. Lorsqu'un pays est partiellement ou totalement dépourvu de compétences propres dans un domaine essentiel, il conviendrait qu'il se tourne vers un autre pays pour pallier cette lacune.

Ressources humaines

Conclusions

La réalisation d'enquêtes sur la main-d'œuvre est un bon moyen d'évaluer les besoins présents et futurs en matière de compétences.

Avant que ne soit publié le rapport *Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ?*, les pays qui avaient une idée claire de leurs besoins de main-d'œuvre présents ou futurs étaient plutôt l'exception. Le rapport a confirmé ce que beaucoup soupçonnaient depuis quelque temps, à savoir que l'enseignement et la formation dans le domaine nucléaire étaient en déclin depuis plusieurs années et que l'on pouvait sérieusement craindre une pénurie de qualifications dans un avenir proche. Cette incertitude a incité plusieurs pays à évaluer précisément leurs besoins et à prendre des mesures pour s'assurer de pouvoir y faire face.

Attirer dans le secteur nucléaire des diplômés de grande valeur dans les disciplines techniques est une tâche difficile.

La maturité aidant, le secteur nucléaire a développé des domaines de compétences transférables à d'autres industries. En conséquence, une partie de ses effectifs s'est dirigée vers des secteurs en expansion rapide tels que les technologies de l'information. Son remplacement ne devrait pas poser de problème parce que beaucoup des ingénieurs et des scientifiques en question n'ont pas de compétences particulières dans le domaine nucléaire et que les besoins ne représentent qu'une petite fraction du nombre total des diplômés dans ces disciplines. Pourtant, il devient de plus en plus difficile d'attirer des diplômés techniques de grande valeur dans le secteur nucléaire en raison de la concurrence d'autres industries jugées plus intéressantes.

Recommandations

Une évaluation de la main-d'œuvre à intervalles de quelques années est un bon moyen d'assurer une adéquation optimale de l'offre et de la demande.

Dans un monde en évolution, les besoins de main-d'œuvre et de compétences du secteur nucléaire sont inévitablement appelés à changer peu à peu, quel que soit le pays. Les enquêtes sur la main-d'œuvre contribuent à assurer que l'offre répondra à la demande. Le simple fait de déterminer les domaines dans lesquels le recrutement s'avère difficile en dialoguant avec les responsables des ressources humaines dans les entreprises et les organisations nucléaires aiderait les universités et les instituts de formation à organiser les cours appropriés.

L'industrie et les organismes de recherche devraient dialoguer davantage avec les départements universitaires de science et d'ingénierie pour faire mieux connaître l'industrie nucléaire et amener davantage d'étudiants à envisager cette option au moment de choisir leur carrière.

Compte tenu de l'âpre concurrence que livrent les autres industries scientifiques, techniques et technologiques à l'industrie nucléaire, il incombe à tous ceux qui y travaillent de souligner les défis et les opportunités qu'offre ce secteur. Les étudiants sur le point de choisir leur carrière professionnelle constituent un groupe cible privilégié.

R-D nucléaire

Conclusions

Au cours des dernières années, la R-D nucléaire bénéficiant de fonds publics a baissé dans des proportions considérables dans la plupart des pays.

Il est naturel que les pouvoirs publics réduisent le financement des activités de recherche et de développement d'une industrie parvenue à maturité. Dans certains pays, ce recul a été accéléré par la décision de laisser jouer les mécanismes du marché, dans d'autres, par celle de s'affranchir progressivement de l'énergie nucléaire. De

plus en plus, l'industrie finance la recherche libre pour que les universités et les centres de recherche conservent toujours un certain nombre de spécialistes et d'installations.

La R-D privilégie la sûreté des centrales nucléaires existantes et les questions relatives à la gestion des déchets. L'engagement en faveur de futurs réacteurs innovants est loin d'être prioritaire dans de nombreux pays.

Compte tenu de la raréfaction du financement public, le fardeau de la R-D est retombé sur l'industrie. Comme on pouvait s'y attendre, celle-ci a mis l'accent sur les questions revêtant un intérêt immédiat, telles que la sûreté et la gestion des déchets. Dans un environnement de plus en plus concurrentiel, les fonds mis au service de projets à long terme, tels que les nouveaux systèmes de réacteurs, apparaissent limités.

Recommandations

Il ne faudrait pas laisser le financement de la R-D nucléaire sous contrôle public baisser au point de compromettre le maintien des qualifications et des compétences.

Dans tous les pays, la logique qui sous-tend le financement public ou sous contrôle public est la nécessité de maintenir les qualifications et les compétences essentielles. Pourtant, le financement public ayant baissé dans la plupart des pays ces dernières années, cette responsabilité incombe de plus en plus à l'industrie. On peut craindre que l'industrie s'en tienne étroitement aux qualifications et aux compétences dont elle a besoin à court terme. Une planification stratégique s'impose pour répondre aux besoins à plus long terme, et cela n'est possible qu'en l'absence de pressions commerciales.

Les responsables du financement de la recherche et du développement dans le domaine nucléaire doivent veiller à ce que

Dans certains pays, s'agissant du nucléaire, le financement de la recherche est indépendant de celui de l'enseignement au sein d'une même université. Dans d'autres, on admet que bon enseignement et bonne recherche vont de pair et le financement est envisagé

les aspects relatifs à l'enseignement et à la formation soient pleinement pris en compte dans les activités.

L'évolution de l'énergie nucléaire est subordonnée à la mise au point de nouvelles centrales innovantes. Un co-financement public/privé semblerait judicieux.

Collaboration internationale

Conclusions

La collaboration internationale en matière de recherche nucléaire et d'offre de compétences est bien établie et est devenue pour les pays un moyen essentiel d'assumer leurs responsabilités.

dans une optique plus intégrée. Certes, accroître le financement de l'enseignement dans le domaine nucléaire aurait des retombées positives sur la recherche, mais il y a davantage de chances qu'une bonne recherche engendre un bon enseignement plutôt que le contraire.

Un pays ne peut pas poursuivre un programme nucléaire, ni même préserver l'avenir de la filière nucléaire, faute d'un engagement minimum en faveur de concepts de centrale innovants. Étant donné que le pays et le secteur privé en bénéficieront l'un et l'autre, il semblerait judicieux de soutenir les efforts dans ce domaine au moyen d'un cofinancement public/privé.

La collaboration internationale entre les organismes civils de recherche nucléaire remonte aux origines de l'industrie et certains liens établis dans les années 50 existent encore aujourd'hui. La collaboration, sous forme bilatérale et multilatérale, continue de fonctionner de façon efficace, mais les agences nucléaires jouent un rôle croissant dans la coordination des activités internationales, que le thème en soit la recherche ou les compétences.

Le récent Forum international Génération IV (GIF) illustre bien la façon dont les pays et les organisations peuvent conjuguer leurs efforts pour collaborer sur un sujet d'intérêt commun ; en l'occurrence, la mise au point des centrales électronucléaires de demain. Cependant, une fois passés les premiers stades de la recherche, la collaboration de l'industrie peut être limitée par des enjeux commerciaux.

Les grands programmes prestigieux de R-D à l'échelle internationale rehaussent l'image du secteur nucléaire et dynamisent le recrutement.

Les programmes de recherche nucléaire novateurs dans le domaine de la séparation et de la transmutation et des futurs réacteurs de puissance (GIF), par exemple, apportent la preuve tangible que la technologie nucléaire demeure stimulante, innovante et porteuse d'avenir. Ces programmes de recherche peuvent influencer sur les sujets enseignés à l'université et donnent aux jeunes sur le point de choisir une carrière une image dynamique de l'industrie.

La collaboration est aussi importante pour l'industrie que pour les universités. On évite non seulement les pénuries de compétences spécialisées, mais aussi la suppression de certains cours. Il existe de bons exemples, tant en Europe (ENEN) qu'en Asie (ANENT), d'universités qui collaborent à la définition de programmes d'enseignement communs au niveau de la maîtrise. Bien que l'initiative de ces collaborations revienne aux universités, il appartient aux gouvernements et au secteur privé de préciser les besoins éducatifs et d'apporter un appui financier.

Recommandations

Les gouvernements, l'industrie et les universités doivent travailler de concert à la création d'un cadre fonctionnel pour soutenir l'enseignement et la formation par le biais d'une collaboration nationale et internationale.

L'enseignement des disciplines nucléaires à l'université a perdu beaucoup de terrain depuis une dizaine d'années. En conséquence, les pays qui soutiennent la technologie nucléaire ne peuvent plus assurer un enseignement complet de haut niveau dans ce domaine. La collaboration nationale et internationale entre les universités peut permettre d'éviter l'effondrement de l'enseignement dans le domaine nucléaire mais, malheureusement, cette collaboration est peu développée, voire inexistante dans de nombreux pays.

L'AEN et d'autres organismes internationaux doivent faciliter la transférabilité de l'enseignement et des qualifications entre pays membres, en premier lieu dans certaines disciplines nucléaires critiques.

Le principal atout d'organisations internationales telles que l'AEN, l'AIEA et la CE est leur aptitude à créer et à maintenir des cadres dans lesquels les pays membres peuvent travailler de concert et collaborer. De grands progrès ont déjà été accomplis dans les domaines de l'enseignement, de la formation et de la recherche nucléaires et, si l'on veut maintenir le cap, il faut que ces organisations conservent leur rôle de catalyseur dans les diverses formes de collaboration.

EXEMPLES DE PRATIQUES LES PLUS EFFICACES

Collaboration entre universités à l'échelon national

En Allemagne, un certain nombre d'universités ont créé un réseau de compétences dans le domaine de la technologie nucléaire. En Belgique, cinq universités, en collaboration avec le Centre belge de recherche nucléaire, ont fusionné deux programmes de troisième cycle en un seul, enseigné en anglais.

Utilisation de l'Internet

Au Royaume-Uni, un site web qui recense la totalité des cours universitaires ayant un contenu nucléaire a effectivement attiré des étudiants. En Allemagne, et dans plusieurs autres pays, la nouvelle génération d'enseignants dialogue avec les étudiants par l'intermédiaire de sites web. En Italie, de nombreux professeurs ont leur propre page web au moyen de laquelle ils donnent aux étudiants des informations sur les cours dans le domaine nucléaire. Dans les universités américaines le téléapprentissage est bien ancré dans les usages et l'Internet est un moyen parmi d'autres au service d'une conception souple de l'enseignement. Au Japon, il est de pratique courante d'utiliser les sites web des entreprises pour favoriser le recrutement.

Formation du personnel en place et recrutement de nouveaux collaborateurs

La R-D joue un rôle important dans la formation du personnel et les transferts de connaissances. Non seulement la collaboration avec les universités et les instituts de recherche stimule les échanges de personnel au bénéfice de tous, mais elle favorise également le recrutement. Une entreprise britannique a conclu avec les universités un certain nombre d'accords de recherche qui permettent de financer un effectif d'environ 150 personnes qualifiées en milieu universitaire.

Intégrer l'enseignement et la formation à la R-D

L'enseignement et la formation sont l'un des domaines thématiques du 6^{ème} Programme-cadre de R-D d'Euratom. L'objectif est de définir une

approche harmonisée en ce qui concerne l'enseignement dans le domaine des sciences et du génie nucléaires et d'apporter un soutien sous la forme de bourses, de réseaux de formation et de subventions pour de jeunes chercheurs. L'enseignement et la formation sont également l'un des principaux objectifs des programmes de recherche nationaux de la Finlande.

Faire collaborer l'industrie, les universités et les instituts de recherche

Une entreprise belge travaille avec des universités et des écoles techniques supérieures locales sur des projets spécifiques. Les entreprises britanniques conjuguent leurs efforts avec les universités pour créer de nouveaux enseignements et soutenir les cours nouveaux et existants en fournissant des conférenciers et en procurant des emplois à des étudiants. L'initiative canadienne UNENE – Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire – transcende les frontières traditionnelles en vue d'assurer une offre durable d'ingénieurs et de scientifiques qualifiés pour répondre aux besoins de l'industrie nucléaire canadienne. En Suède, l'industrie cofinance, avec l'autorité de sûreté, le Centre de technologie nucléaire pour faire en sorte que les fonds ne manqueront pas au moment de remplacer les professeurs partant à la retraite.

Encourager la mobilité des jeunes chercheurs

Une université belge demande à ses futurs diplômés de passer une année dans une institution nucléaire étrangère dans le cadre de leur formation en génie nucléaire. En Corée, les étudiants particulièrement brillants reçoivent une subvention pour une mission dans une installation à l'étranger. Une université hongroise a noué des liens avec d'autres universités et instituts de recherche européens, donnant ainsi à ses étudiants la possibilité de poursuivre une partie de leurs études à l'étranger.

Maintien d'installations et d'expertise indépendants

Le financement de R-D par le secteur privé contribue à assurer la pérennité d'un réservoir d'experts et d'installations au sein des universités et des centres de recherche. Un cofinancement est préférable à un financement par une seule entreprise. Aux États-Unis, les membres de l'*EPRI* et le *Owners Group* ont décidé de cofinancer un certain nombre de projets. Le financement de l'industrie en faveur de la recherche peut compléter le financement public comme c'est le cas en Corée, au Japon, aux États-Unis, en Allemagne, en Espagne et en Hongrie. Dans les pays où le financement public est faible ou absent, l'industrie peut prendre directement les choses en main. En 2000, l'industrie nucléaire du Royaume-Uni avait quelque 250 contrats de recherche en cours avec les universités, pour un montant d'environ 10 millions de livres.

Depuis 2004, l'industrie électronucléaire finlandaise a dû financer les programmes nationaux de recherche relatifs à la sûreté et à la gestion déchets nucléaires pour permettre aux autorités publiques de disposer d'une capacité d'expertise dans ces domaines.

Réseaux internationaux d'universités

Dans le cadre d'initiatives régionales telles que le *European Nuclear Engineering Network* (ENEN) et le *Asian Network on Education and Nuclear Training* (ANENT), des universités de pays différents se regroupent pour délivrer des diplômes dans des disciplines nucléaires qu'aucune d'entre elles ne pourrait proposer individuellement. La *World Nuclear University* est un exemple de collaboration entre l'industrie et le monde universitaire en faveur de l'enseignement et de la formation. Ces initiatives passent obligatoirement par une mobilité des étudiants, des enseignants et des experts.

Garantie d'accès aux compétences nucléaires via les organisations internationales

De nombreux pays européens encouragent leurs organisations nucléaires à participer aux Programmes-cadres d'Euratom pour accroître les capacités d'expertise. Les projets internationaux tels que les Projets conjoints de l'AEN sont un moyen économique d'obtenir des données expérimentales et de maintenir et de développer les compétences nécessaires pour préserver l'avenir de la filière nucléaire. Certaines organisations internationales, comme l'AEN, peuvent également servir de vecteurs à la collaboration – le Projet de réacteur de Halden étant un exemple parmi d'autres.

Collaboration internationale

La collaboration internationale peut dynamiser la R-D. Les Programmes-cadres d'Euratom balaient l'essentiel du spectre des activités nucléaires, depuis les nouveaux systèmes de réacteurs jusqu'au démantèlement des réacteurs en fin de vie. Le GIF, visant le développement à long terme des réacteurs innovants, et l'initiative INPRO, plus axée sur les besoins des utilisateurs, sont deux exemples de R-D en collaboration.

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE