

Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ?

Rapport de synthèse

AGENCE DE L'OCDE 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) et la Corée (12 décembre 1996). 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 27 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 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.

Published in English under the title:

Nuclear Education and Training : Cause for Concern ?

© OCDE 2000

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.

TABLE DES MATIÈRES

NOTE DE SYNTHÈSE	5
I. INTRODUCTION	9
II. LA DÉTERIORATION DE L'ENSEIGNEMENT NUCLÉAIRE.....	13
III. L'ÉTAT DE LA FORMATION INTERNE	19
IV. MOTIFS DE PRÉOCCUPATION.....	23
V. EFFORTS VISANT À ENCOURAGER LA JEUNE GÉNÉRATION	27
VI. L'IMPORTANCE DU RÔLE DES POUVOIRS PUBLICS DANS L'ENSEIGNEMENT NUCLÉAIRE.....	35
VII. RECOMMANDATIONS.....	37
Nous devons agir maintenant.....	37
Le rôle stratégique des pouvoirs publics.....	38
Les enjeux de la revitalisation de l'enseignement nucléaire	40
Recherche dynamique et maintien d'une formation de haute qualité	41
Avantages de la collaboration et du partage des pratiques optimales	42

NOTE DE SYNTHÈSE

Le présent document constitue la synthèse de l'étude « Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ? » entreprise afin de prendre la mesure des préoccupations, exprimées par les pays Membres de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN/OCDE), selon lesquelles l'enseignement et la formation dans le domaine nucléaire seraient en recul, peut-être même à des niveaux critiques.

L'humanité bénéficie aujourd'hui de nombreux avantages découlant de technologies liées au nucléaire, dans des domaines aussi divers que ceux de la santé et de la fabrication des matériaux de pointe, ainsi que de la production d'électricité. La technologie nucléaire est aujourd'hui largement répandue et multidisciplinaire. Or, les progrès de cette technologie et toutes les retombées dont elle s'accompagne seront menacés ou réduits, à moins que l'on ne parvienne à stopper l'amenuisement du nombre de programmes de formation s'y rapportant, ainsi que le fléchissement de l'intérêt qu'ils suscitent chez les étudiants.

Dans la plupart des pays, les programmes universitaires complets et de haute qualité consacrés à la technologie nucléaire sont aujourd'hui moins nombreux que par le passé. La capacité des universités d'attirer des étudiants de haute valeur, de répondre aux futurs besoins en personnel de l'industrie nucléaire, et de mener des recherches de pointe commence à être sérieusement compromise. Les préoccupations sont de divers ordres :

- la diminution du nombre et la dilution du contenu des programmes d'enseignement nucléaire ;
- la diminution du nombre d'étudiants choisissant les disciplines nucléaires ;
- l'absence de jeunes enseignants pour assurer la relève des membres du corps enseignant vieillissants et prenant leur retraite ;
- le vieillissement des installations de recherche, qui ferment et ne sont pas remplacées ;
- la proportion significative de diplômés dans les disciplines nucléaires n'intégrant pas l'industrie nucléaire.

Il semble qu'il y ait, à l'heure actuelle, suffisamment de formateurs et de personnel de qualité dans l'industrie et les instituts de recherche. Toutefois, compte tenu de la situation de l'université, la disponibilité de formateurs appropriés dans le proche avenir est un motif d'inquiétude.

La perception des étudiants – facteur important contribuant à la faiblesse du nombre d'inscrits – est affectée par l'environnement du système éducatif, la perception négative du public, la réduction des activités de l'industrie et des programmes nucléaires financés par les pouvoirs publics, où il n'existe que peu d'exemples de planification stratégique. La faiblesse du nombre d'inscrits a une incidence directe sur les budgets, et les réductions budgétaires limitent à leur tour les installations mises à la disposition des programmes nucléaires. Si rien n'est fait pour mettre un terme au désintérêt croissant des étudiants et à l'amenuisement des perspectives universitaires, cette spirale descendante se poursuivra.

De nombreuses initiatives ont été prises, avec un grand succès, pour encourager la jeune génération à entrer dans le domaine nucléaire. Toutefois, ces initiatives sont souvent prises par des individus plutôt que par des organisations, et les initiatives nationales sont peu nombreuses.

Il incombe aux pouvoirs publics de faire ce qui relève clairement de l'intérêt national à long terme de leur pays, en particulier dans les domaines où les mesures nécessaires ne peuvent pas être prises sans leur intervention. Ils ont un rôle important et multidimensionnel à jouer dans la prise en charge des questions nucléaires : gérer l'entreprise nucléaire existante, préserver l'option électronucléaire à long terme, entretenir l'influence internationale dans les domaines de la sûreté et de la sécurité nucléaires, et renforcer la compétitivité technologique.

Si l'on ne prend pas aujourd'hui les mesures appropriées, on compromettra sérieusement la disponibilité future de compétences adéquates. Nous devons agir maintenant pour mettre en œuvre les recommandations ci-après.

Rôle stratégique des pouvoirs publics

- Entreprendre une planification stratégique dans le domaine énergétique, prenant notamment en compte l'enseignement, le personnel, et l'infrastructure ;
- Contribuer, à défaut d'en assumer la responsabilité, à une planification intégrée visant à garantir la disponibilité des ressources humaines nécessaires pour faire face aux obligations et traiter les problèmes en suspens ;

Rôle stratégique des pouvoirs publics (suite)

- Apporter, par voie de concours, un soutien aux jeunes étudiants et mettre à disposition des ressources adéquates pour des programmes de recherche et de développement dynamiques dans le domaine nucléaire, notamment pour la modernisation des installations ;
- Apporter un soutien par le biais de l'instauration de « réseaux éducatifs » entre les universités, l'industrie, et les instituts de recherche.

Les enjeux de la revitalisation de l'enseignement nucléaire dans les universités

- Offrir des programmes d'enseignement fondamentaux et attrayants ;
- Dialoguer souvent, et à un stade précoce, avec les populations tant masculines que féminines d'étudiants potentiels, et fournir des informations adéquates.

Recherche dynamique et maintien d'une formation de haute qualité

- Offrir des programmes de formation rigoureux pour répondre à des besoins spécifiques ;
- Mettre sur pied des projets de recherche stimulants pour répondre aux besoins de l'industrie et attirer des étudiants et du personnel de qualité (instituts de recherche).

Avantages de la collaboration et du partage des pratiques optimales

- L'industrie, les instituts de recherche et les universités ont besoin de travailler de concert afin de mieux coordonner les efforts visant à encourager la jeune génération ;
- Concevoir et promouvoir un programme de coopération entre pays Membres dans le domaine de l'enseignement et de la formation nucléaires, et mettre en place un mécanisme leur permettant de partager les pratiques optimales en vue de promouvoir les enseignements des disciplines nucléaires.

I. INTRODUCTION

Le présent document constitue la synthèse de l'étude « Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ? » entreprise afin de prendre la mesure des préoccupations, exprimées par les pays Membres de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN/OCDE), selon lesquelles l'enseignement et la formation dans le domaine nucléaire seraient en recul, peut-être même à des niveaux critiques. Les données rassemblées à partir de cette étude et l'analyse y faisant suite confirment le point de vue initial.

L'humanité bénéficie aujourd'hui de nombreux avantages découlant de technologies liées au nucléaire. Ainsi, les progrès dans les domaines de la santé et de la médecine sont de plus en plus tributaires des connaissances spécialisées en physique et en génie nucléaires. La fabrication des matériaux de pointe, qu'il s'agisse de composants de la taille des puces informatiques ou des plus grands matériels de construction, fait appel à des connaissances qui proviennent de l'industrie nucléaire. La technologie nucléaire est largement répandue, et multidisciplinaire : elle associe la physique nucléaire et la physique des réacteurs, la thermohydraulique et la mécanique, la science des matériaux, la chimie, les sciences de la santé, la technologie de l'information et diverses autres disciplines.

L'énergie nucléaire joue depuis 50 ans un rôle important dans la production d'électricité. Aujourd'hui, plus de 340 centrales nucléaires fournissent 24 % du total de l'énergie électrique produite dans les pays Membres de l'AEN. Dans certains pays, comme le Japon et la Corée, les plans relatifs à l'énergie électrique prévoient la construction de nouvelles centrales nucléaires. Même dans les pays qui n'agrandissent pas, à l'heure actuelle, leur parc électronucléaire, il faut encore du personnel qualifié pour assurer l'exploitation des centrales existantes et des installations du cycle du combustible (dont un grand nombre continueront de fonctionner pendant des décennies), gérer les déchets radioactifs, et préparer le futur déclassement des installations existantes. Aujourd'hui, et pendant encore des générations, ces activités exigeront des connaissances spécialisées en génie et sciences nucléaires, si l'on veut que la sûreté et la sécurité soient maintenues et que l'environnement soit protégé.

Une compétence étendue et profondément enracinée en matière d'enseignement nucléaire est essentielle pour maîtriser de façon adéquate le vaste domaine de la science et des technologies très largement utilisées dans le domaine nucléaire. Les universités et les grandes écoles techniques sont les seules institutions capables de dispenser cet enseignement. La formation interne, en tant que forme d'enseignement complémentaire, est importante pour le fonctionnement adéquat et rationnel des installations nucléaires ; ce type de formation est assuré principalement, mais pas exclusivement, par l'industrie.

Les ressources humaines ont, en de nombreuses occasions, été désignées comme étant l'un des éléments les plus importants pour pouvoir se lancer dans les divers types d'applications nucléaires. Il convient donc de ne ménager aucun effort pour attirer vers ce domaine un nombre suffisant d'étudiants brillants et motivés et pour poursuivre des recherches visant l'utilisation actuelle et future de la technologie nucléaire. De tels efforts sont nécessaires pour assurer le transfert des connaissances et du savoir-faire à la génération suivante. Faute de réussir ce transfert, nous perdrons la technologie.

Bien que le nombre des spécialistes en science et technologie nucléaires puisse aujourd'hui apparaître comme suffisant dans certains pays, il existe des indices (diminution du nombre d'étudiants inscrits dans les universités, évolution des profils des personnels dans l'industrie, dilution du contenu des formations universitaires, et nombre élevé de départs à la retraite prévus, par exemple) qui donnent à penser que les compétences futures sont menacées. Ceci pourrait laisser craindre que des options nucléaires futures se trouvent exclues si les pouvoirs publics, l'industrie, et les milieux universitaires ne prennent aucune mesure face à ces indices.

Les pays Membres de l'AEN ont pris conscience du fait qu'un déficit de compétences nucléaires commence à apparaître. Le déséquilibre entre la manière dont le public perçoit l'importance du recours à l'énergie nucléaire et le besoin continu de compétences nucléaires à l'échelle mondiale est une source de préoccupation, surtout pour ce qui concerne les investissements à consentir aujourd'hui dans les domaines de l'enseignement et de la formation pour répondre aux besoins futurs sur les plans opérationnel et réglementaire. En cas de réductions spectaculaires des budgets et des ressources humaines, le manque de nouveaux talents, conjugué aux besoins des producteurs d'électricité d'origine nucléaire comme des autres utilisateurs de l'énergie nucléaire, pourrait prendre les proportions d'une crise. Et il n'y aura pas de solution miracle pour

réinjecter dans le circuit des étudiants, des professeurs, des chercheurs, des exploitants d'installations, des autorités de sûreté, et l'infrastructure d'accompagnement. La présente étude a pour objectif :

- de présenter la situation actuelle de l'enseignement et de la formation dans le domaine nucléaire ;
- de recenser les problèmes en ce qui concerne l'enseignement et la formation dans le domaine nucléaire ;
- de proposer des moyens qui permettraient d'encourager les étudiants et les jeunes titulaires de bourses de recherche à s'inscrire à des formations dans le domaine nucléaire ;
- de faire parvenir aux hauts responsables et aux décideurs, au sein des gouvernements, de l'industrie et du monde universitaire, des messages clairs sur les questions de recrutement et de valorisation des ressources humaines afin qu'ils puissent prendre les mesures nécessaires.

Afin de quantifier les évolutions dans l'enseignement et la formation nucléaires entre 1990 et 1998, l'AEN a soumis, en 1998, un questionnaire aux pays Membres. Des réponses ont été reçues de près de 200 organismes (dont 119 universités, des institutions de recherche, des compagnies d'électricité, des constructeurs, des bureaux d'études et des organismes réglementaires) de 16 pays Membres (Belgique, Canada, Corée, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Hongrie, Italie, Japon, Mexique, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède, Suisse et Turquie).

II. LA DÉTÉRIORATION DE L'ENSEIGNEMENT NUCLÉAIRE

Dans la plupart des pays, les programmes universitaires complets et de haute qualité consacrés à la technologie nucléaire sont aujourd'hui moins nombreux que par le passé. La capacité des universités d'attirer des étudiants de haute valeur, de répondre aux futurs besoins en personnel de l'industrie nucléaire, et de mener les recherches de pointe nécessaires commence à être sérieusement compromise.

Préoccupation 1 : la diminution du nombre et la dilution du contenu des programmes d'enseignement nucléaire

Le nombre d'universités offrant des enseignements nucléaires, c'est-à-dire des programmes constitués par un ensemble de formations dans les disciplines nucléaires, va en s'amenuisant. Confrontées à la diminution des effectifs d'étudiants, certaines universités ont regroupé leurs forces, et réduit le nombre de formations pour s'adapter au nombre d'étudiants. En Belgique, par exemple, six programmes universitaires dans le domaine nucléaire ont été combinés pour n'en former plus que deux. Comme les universités cherchent à attirer une plus large audience en proposant des programmes nucléaires en options dans des programmes de sciences à orientation plus générale, les programmes nucléaires se trouvent réduits au niveau de formations ponctuelles, à contenu élargi, et donc dilué.

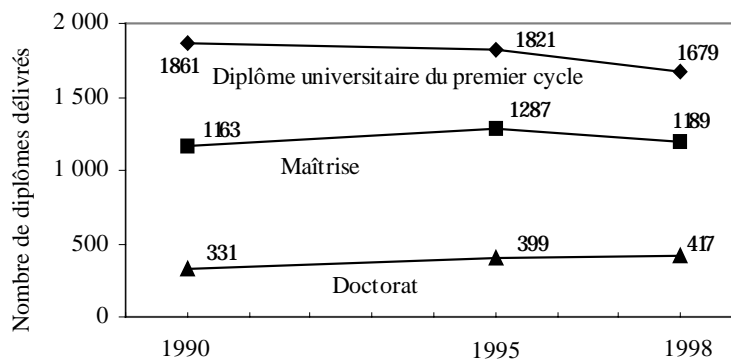
Certains départements ont cherché à conférer davantage d'attrait à leurs enseignements en élargissant leur contenu ou en modifiant leur intitulé. Toutefois, même si les systèmes énergétiques évolués ou l'ingénierie nucléaire et radiologique sont susceptibles de mieux réussir à attirer des étudiants, ils sont beaucoup moins spécifiques, tant par leur dénomination que par leur contenu, que le génie nucléaire, par exemple. Dans certaines universités, les programmes nucléaires ont été fusionnés avec d'autres programmes dans les domaines de la mécanique, des autres formes d'énergie ou de l'environnement. Cette approche permet certes à l'enseignement nucléaire de survivre à court terme, mais elle fait courir le risque d'une réduction progressive du contenu nucléaire et même, à terme, de sa disparition complète.

Quelques nouvelles formations ont été introduites au cours de la période couverte par l'enquête. Six programmes ont démarré en France et trois au Japon, cependant que le Mexique lançait de nouveaux programmes de maîtrise et de doctorat. Certaines des nouvelles formations sont directement liées à l'électro-nucléaire, et portent sur le cycle du combustible et la gestion des déchets ; d'autres sont davantage axées sur l'ingénierie, et ont trait à la fiabilité, aux systèmes de sûreté et à la thermohydraulique ; d'autres enfin ne concernent pas l'électro-nucléaire mais ont, comme la science des rayonnements et la médecine nucléaire, un contenu nucléaire.

Préoccupation 2 : la diminution du nombre d'étudiants choisissant les disciplines nucléaires

Alors que l'on a enregistré une baisse de 10 % du nombre de diplômes délivrés au niveau du premier cycle entre 1990 et 1998, au niveau de la maîtrise, ce nombre est demeuré relativement constant, et il s'est accru de 26 % au niveau du doctorat (figure 1). Les diminutions relevées entre 1995 et 1998 au niveau du premier cycle et de la maîtrise sont significatives. Au cours de la période, les tendances concernant le nombre de diplômes délivrés ont présenté des différences significatives d'un pays à un autre, mais on a observé des baisses très marquées dans plusieurs pays.

Figure 1. **Nombre de diplômes délivrés en 1990, 1995 et 1998**



Note : Les données portent sur 154 établissements : les 119 établissements ayant répondu au questionnaire auxquels s'ajoutent les données complémentaires fournies par l'USDOE.

Bien que le tableau d'ensemble relatif au nombre de diplômés au cours de cette période puisse paraître rassurant, il existe plusieurs causes profondes de préoccupation. Le contenu nucléaire de nombreux programmes du premier

cycle a diminué avec le temps. La masse des connaissances va donc s'amenuisant, d'année en année, dans le premier cycle de l'enseignement supérieur. Cela aura, à terme, de sérieuses répercussions aux niveaux de la maîtrise et du doctorat, où la situation est, à l'heure actuelle, beaucoup plus encourageante, tant pour la quantité que pour la qualité des étudiants. Avec moins de formations proposées dans le domaine nucléaire, il y aura moins d'étudiants désireux de choisir les disciplines nucléaires comme sujets de diplômes supérieurs et avec l'élargissement et, partant, la dilution des programmes au niveau du premier cycle, il y aura moins d'étudiants capables de suivre ces formations. Il est vrai qu'en termes numériques les besoins actuels de l'industrie sont satisfaits. Toutefois, l'industrie commence déjà à exprimer des doutes quant à la qualité des diplômés dans une période de concentration du secteur accompagnée d'une baisse de la demande. Cette situation doit au moins être stabilisée, faute de quoi les quelques prochaines années seront marquées par une pénurie de diplômés d'un niveau suffisant pour faire face à la demande actuelle du secteur, et à plus forte raison pour répondre aux besoins en personnel d'un secteur industriel en expansion.

Préoccupation 3 : l'absence de jeunes enseignants pour assurer la relève des membres du corps enseignant vieillissants et prenant leur retraite

Le nombre d'enseignants à plein temps dans le domaine nucléaire a diminué dans les universités du Royaume-Uni et des États-Unis, mais il a augmenté en France et au Japon. Dans d'autres pays, ce nombre est resté assez stable au cours de la période couverte par l'enquête. S'agissant des enseignants à temps partiel dans ce domaine, leur nombre est généralement en augmentation, spécialement dans les pays où le nombre d'enseignants à plein temps s'amenuise.

Tel qu'il a été généralement observé, l'âge moyen des membres du corps enseignant est interprété comme un facteur de risque pour le maintien d'un haut niveau de compétences. Dans la plupart des pays, la répartition par âge des membres du corps enseignant présente un maximum dans la tranche des 41 à 50 ans et des 51 à 60 ans (tableau 1). L'âge moyen des enseignants est voisin de 50 ans. Dans la plupart des universités, l'âge de la retraite se situe autour de 65 ans.

Le principal souci tient à ce qu'il y a peu de jeunes enseignants pour assurer la relève. C'est là une situation particulièrement préoccupante dans les pays où le groupe le plus nombreux est celui des 51 à 60 ans, et sérieuse lorsque ce groupe est celui des 41 à 50 ans. Quand les enseignants de ces tranches d'âge et des tranches supérieures auront pris leur retraite, on observera une chute

significative des effectifs du corps enseignant. La conséquence inéluctable en sera la réduction du nombre et de la variété des formations proposées, laquelle aura à son tour de fortes incidences sur la quantité et la qualité des diplômés. Or, c'est parmi ces diplômés que se recruteront les enseignants de la prochaine génération, et si rien n'est fait pour y mettre un terme, cette spirale descendante se poursuivra.

Tableau 1. **Répartition par âge et âge moyen des membres du corps enseignant en 1998**

Pays	Répartition par âge (pourcentage du total)						Age moyen (ans)
	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71+	
Belgique	6	1	31	47	14	0	52
Canada	13	19	31	34	3	0	45
Espagne	4	32	46	4	14	0	45
États-Unis	1	15	35	35	13	1	50
Finlande	13	25	25	25	13	0	46
France	49	33	5	8	5	0	34
Hongrie	7	16	33	30	14	0	48
Italie	0	10	31	29	28	2	54
Japon	3	18	23	43	13	0	50
Mexique	0	20	52	18	9	0	47
Pays-Bas	0	60	0	40	0	0	44
Rép. de Corée	0	5	57	36	2	0	49
Royaume-Uni	9	21	24	34	9	2	47
Suède	19	19	22	15	22	4	47
Suisse	0	0	27	73	0	0	53
Turquie	15	37	30	15	3	0	41
TOTAL	7	18	29	33	13	1	48

Préoccupation 4 : le vieillissement des installations de recherche, qui ferment et ne sont pas remplacées

La plupart des universités disposent d'installations expérimentales capables d'étayer un programme d'enseignement varié. Beaucoup d'universités ne disposant pas d'installations expérimentales sur leur campus, ont accès à des installations de ce type dans de grands laboratoires de recherche situés à proximité.

Les équipements et installations des universités ont pour la plupart plus de 25 ans (tableau 2). De nombreux réacteurs de recherche et des cellules chaudes ont été déclassés, et il n'est pas prévu de les remplacer. Toutefois, bien que trois laboratoires de radiochimie aient été fermés, quatre nouveaux ont été ouverts, et les laboratoires de mesure des rayonnements sont régulièrement modernisés.

D'une manière générale, on note une diminution des installations, ce qui affectera de plus en plus la capacité des universités à mener des travaux de recherche de pointe pour le compte de l'industrie. Étant donné que cette dernière s'attache aujourd'hui en priorité à exploiter plus efficacement les centrales existantes, on pourrait objecter que ce repli n'a pas d'importance à l'heure actuelle. Cependant, un tel repli entame les capacités futures et dissuade les étudiants comme le corps enseignant de travailler dans le domaine nucléaire.

Tableau 2. Nombre, âge moyen et fourchette d'âge des installations nucléaires dans les universités en 1998

Installation	Nombre		Age moyen (années)	Fourchette (années)
	1990	1998		
Réacteurs de recherche	46	39	32	13-47
Cellules chaudes	31	28	28	10-44
Installations de radiochimie	66	67	24	1-45
Installations de mesure des rayonnements*	92	92	25	1-44

* La mise à niveau continue des équipements de mesure des rayonnements permet à ces laboratoires de demeurer opérationnels et modernes.

Préoccupation 5 : la proportion significative de diplômés dans les disciplines nucléaires n'intégrant pas l'industrie nucléaire. L'offre actuelle de travailleurs au niveau d'entrée dans les secteurs nucléaires pourrait ne pas suffire à répondre à la demande dans certains pays

De manière générale, tant au niveau de la licence qu'à celui de la maîtrise, de 20 à 40 % seulement des étudiants choisissent de poursuivre leurs études ; au niveau du doctorat, de 30 à 70 % des diplômés, suivant les pays, choisissent une carrière dans un établissement universitaire ou dans un institut de recherche nucléaire. Il est aussi à noter qu'un pourcentage significatif (20-40 %) de diplômés dans les disciplines nucléaires, à tous les niveaux, n'entre pas dans l'industrie nucléaire. Certains pays indiquent déjà que le nombre d'étudiants choisissant une carrière axée sur le nucléaire est trop faible pour répondre aux besoins de l'industrie. Ce déséquilibre paraît susceptible de s'accroître.

Tableau 3. Répartition professionnelle par niveau de qualification en 1994-1998 (en pourcentage)

Pays	Établissements d'enseignement du 2 ^{ème} et 3 ^{ème} cycle			Compagnies d'électricité			Constructeurs nucléaires			Recherche/Enseignement			Domaine non nucléaire		
	L	M	D	L	M	D	L	M	D	L	M	D	L	M	D
Belgique	-	0	n.d.	-	50	n.d.	-	8	n.d.	-	8	n.d.	-	20	n.d.
Canada	39	37	0	16	6	15	8	6	0	3	11	77	29	17	0
Espagne	2	0	0	63	7	18	0	6	16	10	36	26	2	33	10
États-Unis	22	34	12	26	10	5	14	21	20	1	3	12	22	18	27
Finlande	-	9	7	-	16	2	-	6	0	-	21	61	-	31	20
France	10	0	0	10	2	0	20	27	0	5	4	40	40	50	54
Hongrie	27	11	0	8	15	0	1	3	0	21	41	68	32	23	18
Italie	-	1	0	-	5	0	-	5	0	-	4	33	-	61	33
Japon	48	19	0	3	10	1	5	13	11	1	5	50	32	46	30
Mexique	20	2	93	19	18	0	0	0	0	2	52	7	1	6	0
Pays-Bas	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	50	-	50	50
Rép. de Corée	33	48	0	10	17	17	2	2	11	4	10	59	40	7	0
Royaume-Uni	26	28	0	4	2	0	1	10	6	1	5	32	55	47	43
Suède	9	0	0	27	39	8	55	11	8	0	17	38	0	17	13
Suisse	10	-	5	17	-	12	1	-	0	6	-	28	53	-	33
Turquie	26	15	0	5	2	0	1	0	4	14	21	81	31	39	7

-: Pas de programmes d'enseignement nucléaires.

n.d.: Données non disponibles.

Niveaux des diplômes: L = Licence ;

M = Maîtrise ;

D = Doctorat

Le total des chiffres n'est pas nécessairement égal à 100, étant donné que certains secteurs, plus rarement cités, ne sont pas inclus dans le tableau (gouvernement, organismes réglementaires, secteur militaire).

III. L'ÉTAT DE LA FORMATION INTERNE

Il semble qu'il y ait, à l'heure actuelle, suffisamment de formateurs et de personnel qualifié dans l'industrie et les instituts de recherche. Cependant, compte tenu de l'aggravation de la situation de l'université, la disponibilité, dans le proche avenir, de formateurs qualifiés devient une source de préoccupation.

La valeur de la formation interne est très appréciée

Les entreprises offrent des programmes de formation à l'appui du développement tant des connaissances générales que de qualifications spécifiques. La formation est conçue à l'intention aussi bien des nouveaux diplômés que du personnel expérimenté, le but étant d'accroître les compétences des stagiaires dans leurs fonctions particulières au sein de l'organisation. La formation interne est principalement destinée aux salariés, et c'est l'entreprise qui en assume le coût. Lorsque des candidats extérieurs y participent, ils doivent payer pour cette formation. Du fait de la taille réduite de certains organismes ou parce que les groupes sont trop restreints pour une formation spécifique, certains organismes éprouvent des difficultés à organiser des formations internes. Dans de tels cas, la formation peut être acquise auprès d'autres organismes, entreprises ou consultants, ou encore des unités de formation interorganisations peuvent être mises en place.

La valeur de la formation est très appréciée par la quasi-totalité des organismes. La formation est souvent considérée comme essentielle pour la mission de l'organisme et, dans de nombreux cas, elle est renforcée par le cadre juridique en vigueur.

Les sujets couvrent de vastes secteurs, et concernent aussi bien des connaissances théoriques que des savoir-faire pratiques. Les formations théoriques portent sur des sujets tels : que la physique des réacteurs ; la radiochimie ; la radioprotection ; l'analyse de l'exploitation, des procédures et des accidents ; l'équipement mécanique et électrique, l'instrumentation et le contrôle-commande ; la réglementation, les codes et les mesures de protection.

En matière de savoir-faire pratique, les cours portent sur des sujets tels que la formation à l'utilisation de simulateurs, l'entraînement aux procédures de salle de commande, les essais non destructifs, le soudage et la maintenance.

La formation interne est, de manière générale, en augmentation, un large éventail de programmes étant proposé dans ce cadre. Entre 1990 et 1998, une réduction du nombre de stagiaires n'a été relevée qu'en Belgique, en Hongrie, en Turquie et en Espagne. De même, le temps consacré à la formation a augmenté dans tous les pays au cours de cette période, sauf en France, en Hongrie et en Turquie. Avec la concentration que connaît le secteur nucléaire dans les pays Membres de l'AEN, un recul des activités de formation aurait été prévisible. En réalité, c'est le contraire qui se produit ; le renforcement des prescriptions réglementaires et les besoins de personnels plus polyvalents ont conduit à des besoins accrus en matière de formation.

Le profil d'âge des formateurs accuse une pointe pour le groupe d'âge des 41 à 50 ans dans le cas de la plupart des pays. Il est en effet logique d'utiliser des professionnels expérimentés comme formateurs. La Belgique, l'Espagne et la France – où les formateurs les plus nombreux se situent dans le groupe d'âge des 31 à 40 ans – se trouvent en bien meilleure posture.

La plupart des installations sont anciennes, puisqu'elles ont en général plus de 20 ans. On compte davantage de réacteurs de recherche déclassés que de réacteurs construits pendant la période considérée, et une cellule chaude a également été déclassée au cours de la période. On notera, sur un plan positif, la construction d'un laboratoire de radiochimie.

Tableau 4. Nombre, âge moyen et fourchette d'âge des installations nucléaires utilisées pour la formation en 1998

Installation	Nombre		Âge moyen (années)	Fourchette (années)
	1990	1998		
Réacteurs de recherche*	16	13	27	2-38
Cellules chaudes	9	8	30	10-39
Installations de radiochimie	19	20	23	4-39
Installations de mesure des rayonnements	25	27	21	4-39

* Un réacteur a été construit.

Les institutions offrant une formation interne remettent souvent aux stagiaires un certificat indiquant qu'ils ont satisfait aux exigences définies pour la formation. La valeur officielle accordée à la formation varie toutefois considérablement, selon la nature de l'enseignement, la reconnaissance dont jouit l'institution qui organise la formation, et les exigences juridiques ou réglementaires. Dans certains cas, l'organisme de formation doit être officiellement habilité à décerner un certificat de compétence juridiquement reconnu aux stagiaires ayant satisfait aux exigences de la formation. Dans certains cas, le certificat ou l'habilitation a une validité limitée dans le temps. Dans d'autres cas, aucun certificat n'est délivré au stagiaire, mais lui-même et son supérieur hiérarchique peuvent avoir accès aux résultats ou bien les résultats sont versés au dossier du stagiaire, conservé par l'administration du personnel de l'institution.

Préoccupation 6 : incidences de la détérioration de la situation de l'université sur la formation interne

D'une façon générale, en termes d'installations et de formateurs, les besoins de l'industrie sont satisfaits. On peut s'attendre à ce que l'évolution du secteur s'accompagne d'une évolution des compétences en matière de formation interne, de manière à satisfaire en permanence la demande.

Il ne faut toutefois pas oublier qu'avec les programmes de retraite anticipée mis en œuvre dans de nombreux organismes, un grand nombre de ces formateurs prendront probablement leur retraite au cours des prochaines années. De jeunes formateurs commencent certes à prendre la relève, mais ils sont moins nombreux que les partants. Compte tenu de la détérioration de la situation de l'université, la disponibilité de formateurs appropriés dans le proche avenir, est un motif d'inquiétude.

Assurément, avec l'amenuisement des moyens et du corps enseignant des universités, il n'y aura guère de possibilités de leur sous-traiter la formation. En outre, du fait que la situation concernant l'enseignement nucléaire est en gros la même d'un pays à un autre, rien ne garantit que l'on pourra obtenir à l'étranger ce qui n'est plus disponible au plan national. Certains indices laissent déjà penser que les entreprises, même en l'absence d'une coopération active, mettent au moins des places de stages à la disposition d'autres sociétés et, selon toute vraisemblance, cette tendance se poursuivra.

IV. MOTIFS DE PRÉOCCUPATION

La perception des étudiants – facteur important contribuant à la faiblesse du nombre d’inscrits – est affectée par l’environnement du système éducatif, la perception négative du public, les activités de l’industrie et les programmes nucléaires financés par les pouvoirs publics, où il n’existe que peu d’exemples de planification stratégique. La faiblesse du nombre d’inscrits a une incidence directe sur les budgets, et les réductions budgétaires limitent à leur tour les installations mises à la disposition des programmes nucléaires.

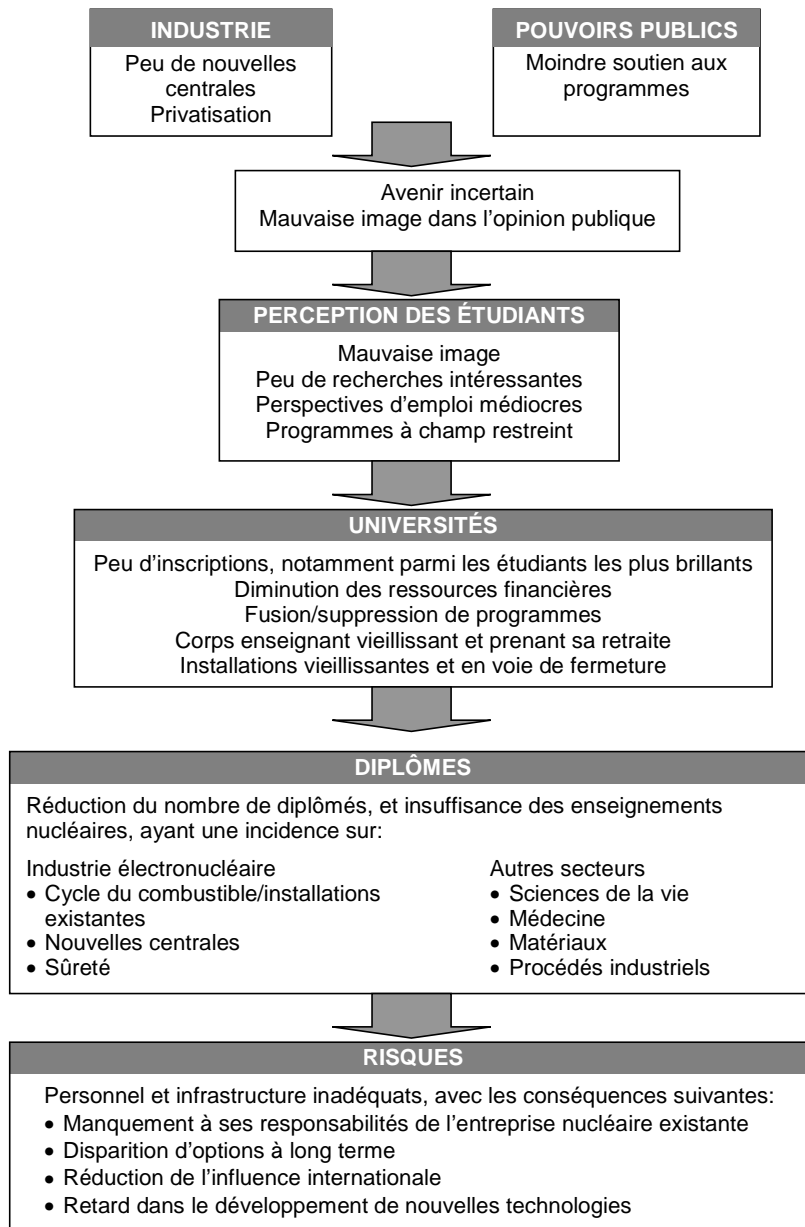
La capacité des universités d’attirer des étudiants de haute valeur, de satisfaire les besoins futurs en personnel de l’industrie nucléaire, et de mener des recherches de pointe commence à être sérieusement compromise. Les installations et le corps professoral affectés à l’enseignement nucléaire vieillissent et le nombre de programmes nucléaires est en baisse. Cette tendance s’observe dans la plupart des pays Membres de l’AEN. La figure 2 donne un aperçu des principales raisons de cette détérioration de l’enseignement nucléaire et des incidences qu’elle pourrait avoir sur l’industrie nucléaire.

Motif 1 : peu d'exemples de planification stratégique

Il n’existe que peu d’exemples de planification stratégique – associant les pouvoirs publics et l’industrie – dans laquelle la technologie nucléaire est reconnue comme susceptible d’apporter une contribution notable à la solution de problèmes futurs importants tels que l’augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre d’une demande mondiale d’énergie en forte croissance et face à des choix énergétiques restreints. En cette période de déréglementation, de privatisation et de réduction des effectifs, des pressions de plus en plus fortes s’exercent en faveur de prise de décisions fondées sur des considérations à court terme. Par voie de conséquence, l’industrie nucléaire est entrée dans une phase de concentration et de repli. Il n’existe aujourd’hui que peu de centrales nucléaires nouvelles dans les pays de l’OCDE. Les pouvoirs publics sont les instances appropriées pour garantir le bien-être à long terme lorsqu’il est clair

que les forces du marché ne seront pas à elles seules capables de le faire. Cependant, le soutien des pouvoirs publics aux programmes nucléaires a connu une érosion.

Figure 2. **Situation actuelle de l'enseignement nucléaire**



Motif 2 : perception négative des étudiants

De manière générale, le nombre de diplômés à contenu nucléaire a diminué. La perception des étudiants est affectée par l'environnement du système éducatif, la perception du public, les activités de l'industrie, et les réductions des programmes nucléaires financés par les pouvoirs publics. Cette mauvaise opinion peut être partagée par de nombreuses autres personnes, et notamment les parents d'un étudiant, ses professeurs et ses amis. Le fait qu'on ne construise plus de nouvelles centrales nucléaires (emblème des activités nucléaires), la privatisation des centrales nucléaires et la faiblesse du soutien apporté par les pouvoirs publics aux programmes nucléaires créent une image floue de l'avenir. L'ensemble de ces facteurs conduit les jeunes étudiants à croire que les perspectives d'emploi sont médiocres et qu'il n'y a guère d'activités de recherche intéressantes. Le nucléaire ne se limite pas à « l'électronucléaire », mais il est très rare qu'il ne soit pas perçu comme tel. Il s'ensuit que les étudiants hésitent à entrer dans le domaine nucléaire.

Motif 3 : faiblesse du nombre d'inscrits et réductions budgétaires – une spirale descendante

À cause de ces conditions limitatives, les programmes nucléaires n'ont pas réussi à attirer les jeunes étudiants, qui sont sensibles à l'environnement éducatif et aux perspectives de carrière. La faiblesse du nombre d'inscrits a une incidence directe sur les budgets, et les réductions budgétaires limitent à leur tour les installations mises à la disposition des enseignements nucléaires. Si rien n'est fait pour y mettre un terme, cette spirale descendante se poursuivra. Et il n'y aura pas de solution miracle pour réinjecter dans le circuit des étudiants, des professeurs, des chercheurs, des exploitants d'installations, des autorités de sûreté, et l'infrastructure d'accompagnement.

Risques : les conséquences de la détérioration de l'enseignement nucléaire

L'insuffisance des programmes d'enseignement nucléaire conduira à une pénurie de diplômés d'un niveau suffisant pour faire face aux préoccupations actuelles du secteur de l'industrie nucléaire et d'autres secteurs. Un personnel et une infrastructure inadéquats induisent des risques : manquement à ses responsabilités de l'entreprise nucléaire existante, disparition de l'énergie nucléaire de la liste des options à long terme, réduction de l'influence internationale, et retard dans le développement de nouvelles technologies (voir le chapitre sur le rôle des pouvoirs publics).

V. EFFORTS VISANT À ENCOURAGER LA JEUNE GÉNÉRATION

De nombreuses initiatives ont été prises, avec un grand succès, pour encourager la jeune génération à entrer dans le domaine nucléaire. Elles sont présentées dans l'encadré 1 « Exemples de pratiques optimales ». Toutefois, ces initiatives sont souvent prises par des individus plutôt que par des organisations, et les initiatives nationales sont peu nombreuses.

Effort 1 : modification des programmes, promotion active des formations et prise de contacts extérieurs par les universités

Dans certains cas, les nombreux changements introduits dans les enseignements universitaires des disciplines nucléaires, mentionnés au chapitre II, semblent résulter davantage de l'évolution normale de la science et de la technologie que d'une baisse des effectifs d'étudiants et du vieillissement du corps enseignant.

Outre ces mesures pragmatiques d'adaptation aux besoins, de nombreuses universités pratiquent une promotion active de leurs formations nucléaires. Les élèves des écoles secondaires sont invités à assister à des journées portes ouvertes et à participer, en été, à des programmes destinés à leur donner un « avant-goût » de ces disciplines. Bulletins d'information et pages Web offrent des informations complémentaires et contribuent à entretenir un éventuel intérêt initial. Les étudiants de première année sont incités à s'inscrire à au moins une formation d'initiation au nucléaire dans le cadre de leur diplôme. La plupart des universités sont en mesure d'offrir chaque année plusieurs bourses d'une valeur allant de \$500 à plus de \$10 000. Ces bourses sont financées par des entreprises du secteur nucléaire, des instituts nationaux de recherche, des organismes de réglementation, des compagnies d'électricité et/ou les pouvoirs publics. Il est encourageant de noter que, dans l'ensemble, le nombre de bourses et de subventions demeure relativement stable.

L'industrie et les instituts de recherche mettent à disposition des assistants, de manière à ce que les étudiants puissent mieux faire le lien entre la théorie et la pratique. Les étudiants sont motivés par des liens avec des laboratoires et des instituts extérieurs, et de nombreuses universités encouragent les stages, dont la

durée varie en général entre trois mois et un maximum de seize mois. La mise à disposition d'éléments concrets étant également importante, les universités insistent moins sur la science pure pour mettre davantage l'accent sur son application au développement de nouvelles technologies. Le recours aux ressources du multimédia (les CD-ROM, par exemple) contribue également à stimuler l'intérêt.

Effort 2 : recours à la publicité, offre de bonnes conditions de travail et de perspectives de carrière par l'industrie

L'industrie nucléaire traverse une phase de concentration, d'où la difficulté d'attirer le nombre relativement restreint de personnes hautement qualifiées qu'il lui faut embaucher chaque année. Les entreprises abordent ce problème de différentes manières. Le recours à la publicité (revêtant la forme soit d'une publicité relative à l'entreprise, soit d'efforts de recrutement ciblés avec précision), les encouragements aux visites d'étudiants, et l'organisation de journées portes ouvertes ou de formations de brève durée sont courants dans de nombreux pays. Les liens avec les universités sont particulièrement efficaces. Les entreprises mettent à leur disposition des conférenciers et fournissent des éléments d'information pour les enseignements, parrainent des chaires d'enseignement, et aident les universités à organiser des sessions techniques. Des contacts directs sont pris avec les étudiants par le biais des emplois d'été ou à temps partiel qui leur sont offerts. Les étudiants acquièrent ainsi, sans aucune obligation, des informations sur l'industrie et une vision réaliste des perspectives de carrière tandis que l'entreprise bénéficie de ce qui représente en pratique un entretien prolongé. Un projet d'été, s'étendant sur un ou deux mois et comprenant des conférences et des visites sur le terrain, constitue une manière efficace de s'assurer la participation de ceux qui sont déjà enclins à entrer dans l'industrie. Quelques pays offrent des salaires accrus, mais la plupart suivent ce que l'on pourrait qualifier de schémas traditionnels de recrutement, offrant de bons salaires et de bonnes conditions de travail, un perfectionnement professionnel continu et la perspective d'une sécurité de l'emploi.

Bien qu'un large éventail de stages mette fortement l'accent sur les besoins particuliers de l'entreprise qui les organise, une grande partie de la formation vise à répondre aux exigences réglementaires, auquel cas la délivrance d'un certificat par l'organisme réglementaire ou par une organisation externe est de règle. Pour les autres types de formation, certaines entreprises délivrent un certificat au stagiaire pour le motiver. La plupart des entreprises conservent des archives sur la formation, qui constituent pour chaque personne un dossier de qualification pouvant être joint à un résumé de carrière, ce qui constitue une

incitation supplémentaire à la formation. Dans certaines entreprises, la participation à des travaux de stage spécifiques est imposée comme condition d'accès à un échelon supérieur au sein de la société.

En raison des remises en question croissantes, sur les plans technique et réglementaire, la qualité et le succès de la formation interne doivent atteindre des niveaux élevés. En termes généraux, une autorisation d'implantation et un avantage concurrentiel sur un marché de l'énergie déréglementé exigent que tout le personnel bénéficie en permanence d'un niveau de formation satisfaisant.

Effort 3 : collaboration entre l'industrie, les milieux universitaires et les pouvoirs publics

La collaboration entre l'industrie et les milieux universitaires est largement répandue dans de nombreux pays Membres, mais pas dans tous. Il existe certains thèmes communs, parmi lesquels on peut citer : la supervision de travaux de rédaction de thèses ou d'autres formes de soutien à ces travaux ; la mise à disposition de personnel ayant une expérience industrielle pour dispenser des formations à l'université ; le parrainage de chaires d'enseignement et de travaux de recherche en coopération ; l'aide à l'organisation de sessions techniques ; l'attribution d'un prix annuel à la meilleure thèse en matière de génie nucléaire ; et l'offre de stages de formation pour des étudiants.

Les travaux de recherche en coopération entre l'industrie et les universités, en particulier au niveau du doctorat sont aussi largement répandus. Ces travaux intéressent des étudiants dans des disciplines nucléaires spécifiques, ainsi que dans des domaines plus généraux revêtant de l'importance pour l'industrie nucléaire, par exemple la science des matériaux, la métallurgie, la céramique, etc. Les étudiants peuvent être entièrement financés par une entreprise qui les parraine ou être pris en charge principalement par l'intermédiaire des initiatives publiques en matière de recherche, avec une moindre contribution de l'entreprise.

La Suède a créé un Centre de technologie nucléaire, fruit d'une collaboration entre l'industrie et les universités, visant à améliorer les activités d'enseignement et de recherche en matière de technologie nucléaire. Au Royaume-Uni, un centre d'excellence en chimie nucléaire est en cours de création avec le soutien de l'industrie pour garantir la préservation de cette compétence de base au moins dans certaines universités britanniques. En Suisse, la collaboration entre les compagnies d'électricité, le centre national de recherche et les universités a permis d'apporter un soutien efficace à des étudiants en doctorat et à de jeunes chercheurs. Au Canada, des chaires

universitaires de recherche industrielle, financées conjointement par des instituts de recherche de l'industrie et par les pouvoirs publics, ont particulièrement réussi à stimuler la recherche nucléaire et à assurer la formation d'un personnel hautement qualifié. Le laboratoire national Lawrence Livermore aux États-Unis, a créé le « Glenn T. Seaborg Institute for Transactinium Sciences » pour promouvoir la science fondamentale et appliquée ainsi que la technologie des actinides.

Préoccupation 7 : absence de communication et de coordination

La collaboration avec d'autres universités, souvent étrangères, a été considérée comme hautement utile pour attirer des candidats vers les programmes universitaires. Plusieurs universités, cependant, ont regretté l'absence de communication et de coordination avec les autres universités à l'intérieur de leur propre pays. Cette carence a conduit à un manque de cohérence et d'exhaustivité des programmes – ainsi, certains sujets ne sont pas traités ou, à l'inverse, il y a des chevauchements de contenu entre les programmes.

La collaboration entre l'industrie et les milieux universitaires est très variable. Là où cette collaboration existe et fonctionne bien, elle est hautement appréciée, en particulier lorsqu'une université participe, avec l'industrie, à des activités professionnelles dans le domaine nucléaire. Grâce à cette collaboration, les sujets abordés par l'université conservent leur pertinence vis-à-vis des problèmes réels rencontrés par l'industrie – élément déterminant pour attirer les étudiants vers ce domaine. Traditionnellement, cette collaboration s'est surtout instaurée entre la branche recherche et développement de l'industrie et une université. Cet aspect de la collaboration est aujourd'hui moins développé que par le passé.

La participation des pouvoirs publics aux programmes en collaboration a, de manière générale, diminué. Elle semble dans la plupart des cas se limiter à un soutien financier aux coûteuses installations de grande taille, comme les réacteurs de recherche dans les universités, et à quelques programmes de recherche.

D'une manière générale, la collaboration entre l'industrie, les centres de recherche et les pouvoirs publics repose plus sur des initiatives personnelles que sur une politique institutionnelle. Cependant, les institutions qui participent activement à des programmes en coopération tendent à considérer leur situation comme plus satisfaisante, en particulier sur le plan du recrutement.

Encadré 1. Exemples de pratiques optimales

- **Susciter un intérêt pour le domaine nucléaire.**
Prévoir des mesures telles que : publicités ciblées sur les étudiants du premier cycle, journées « portes ouvertes » à l'intention des établissements secondaires sur les campus universitaires ou dans les installations de recherche ; organisation périodique de visites des réacteurs et des campus pour les étudiants ; bulletins d'information, affiches, et pages Web ; cours d'été ; préparation d'un manuel de base sur l'énergie nucléaire à l'intention des enseignants ; parrainage d'un laboratoire de pointe pour les élèves des établissements secondaires ; voyages de recrutement et cours d'introduction à l'énergie nucléaire pour les étudiants de première année ; et conférences données par des représentants de l'industrie et des instituts de recherche.
- **Inclure des sujets nucléaires dans les formations et activités d'ingénierie générale.**
Mettre davantage l'accent sur l'énergie nucléaire dans les enseignements de physique et de physique appliquée ; organiser des séminaires sur l'énergie nucléaire parallèlement au programme existant ou en liaison avec ce programme, en faisant appel à des orateurs extérieurs à l'université ; organiser des réunions d'information sur le secteur nucléaire, les programmes de troisième cycle existants, les thèmes de recherche et les sujets de thèses ; débattre des possibilités d'emplois et des activités professionnelles ; et appeler l'attention sur les avantages de l'énergie nucléaire du point de vue de l'environnement (en comparant l'énergie produite par la fission, la fusion et les sources renouvelables à celle obtenue à partir des ressources fossiles).
- **Modifier le contenu des programmes d'enseignement des sciences et de la technologie nucléaires.**
Prévoir des formations avancées (sur des thèmes comme la fiabilité et l'évaluation des risques) ; élargir le programme pour y inclure des sujets tels que la médecine nucléaire et la physique des plasmas ; veiller à ce que l'enseignement couvre l'éventail complet des activités nucléaires (cycle du combustible, conditionnement des déchets, comportement des matériaux) ; assurer une prise de contact réelle et précoce avec le matériel, les installations expérimentales, et les problèmes de l'industrie ; et offrir des stages intéressants dans l'industrie et les centres de recherche.
- **Accroître les contacts préprofessionnels.**
Encourager la participation d'étudiants aux activités de la société nucléaire locale (SFEN, ANS,...) et de son réseau « jeune génération ».

Encadré 1. Exemples de pratiques optimales (suite)

- **Offrir des bourses d'étude, des bourses universitaires, et des stages de formation.**
Outre ses encouragements à plusieurs activités de soutien (principalement techniques), l'industrie apporte une participation financière en offrant des bourses d'étude ; elle a, dans plusieurs cas, pris l'initiative de nouveaux programmes d'enseignement et de formation. Le montant des bourses varie considérablement d'un pays à l'autre. Les sociétés universitaires, les instituts nationaux de recherche et les pouvoirs publics fournissent aussi une aide financière. Le nombre de ces bourses est demeuré relativement stable.
- **Renforcer les réseaux d'enseignement nucléaire.**
Mettre en place et encourager, aux niveaux national et international, la collaboration dans des programmes d'enseignement et/ou de formation, par exemple des cours d'été ou des formations spécialisées.
- **Offrir aux salariés de l'industrie des activités plus intéressantes et plus stimulantes sur le plan professionnel, et mieux rémunérées que celles des secteurs non nucléaires.**
Il est exceptionnel, plutôt que normal, qu'un salaire plus élevé soit proposé comme moyen d'attirer les jeunes diplômés.
- **Permettre rapidement aux étudiants et à ceux qui envisagent de poursuivre des études de « prendre contact avec les équipements », de dialoguer avec le corps enseignant et les chercheurs, et de participer à des projets de recherche.**
- **Offrir aux élèves du secondaire et aux étudiants du début du premier cycle la possibilité de travailler avec le corps enseignant des universités et d'autres personnes de haut niveau menant des activités de recherche.**
Utiliser le Web et d'autres techniques d'information pour développer de façon dynamique une communication plus personnelle avec les éventuels étudiants.

Effort 4 : collaboration internationale

Sur le plan international, la collaboration est plutôt limitée. Les programmes de physique des réacteurs de l'Université d'été Frédéric Joliot-Otto Hahn, à Cadarache et à Karlsruhe, sont appréciés par plusieurs pays. À l'autre extrémité du spectre, l'American Nuclear Society gère un programme international d'échange d'étudiants. L'International Youth Forum d'Obninsk, en Russie, permet des rencontres entre jeunes chercheurs de différents pays. Les pays de l'Union européenne participent à divers programmes financés par

l'Union, tels que le Cinquième programme-cadre, 1998-2002. L'AEN, dont le siège est à Paris, favorise le débat et la collaboration au niveau international par le biais de ses divers comités et groupes d'experts.

Le Programme d'action communautaire en matière de mobilité des étudiants (ERASMUS), lancé en 1987 par l'Union européenne, encourage les étudiants à effectuer une période d'étude (de trois mois à une année universitaire complète) dans l'un des 24 pays participants autre que le leur, et met à leur disposition des bourses dans le cadre du programme « formation et mobilité des chercheurs ». Les bourses Marie Curie de formation offrent aux jeunes chercheurs de meilleures conditions de formation. Ainsi, les « bourses Marie Curie d'accueil en entreprise », destinées en particulier aux jeunes chercheurs sans expérience antérieure en matière de recherche industrielle ou commerciale, leur offrent la possibilité de bénéficier d'une formation transnationale en matière de recherche industrielle au sein d'entreprises, et encouragent la coopération et le transfert de connaissances et de technologie entre l'industrie et les milieux universitaires. Le programme-cadre de la Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM) consiste à cofinancer et coordonner des activités de recherche et de formation, sous la forme de contrats à partenaires multiples associant l'industrie, les compagnies d'électricité, les autorités de sûreté, les organismes de recherche et les universités des 15 pays Membres de l'Union européenne, dans le cadre d'un budget total d'environ 200 millions d'Euros, sur des périodes de quatre ans.

VI. L'IMPORTANCE DU RÔLE DES POUVOIRS PUBLICS DANS L'ENSEIGNEMENT NUCLÉAIRE

Il incombe aux pouvoirs publics de faire ce qui relève clairement de l'intérêt national de leur pays, en particulier dans les domaines où les mesures nécessaires ne peuvent pas être prises sans leur intervention. Ils ont un rôle important et multidimensionnel à jouer dans la prise en charge des questions nucléaires : gérer l'entreprise nucléaire existante, veiller à ce que les besoins énergétiques du pays soient satisfaits sans incidences significatives sur l'environnement, infléchir les actions internationales dans les domaines de la sûreté et la sécurité nucléaires, et renforcer la compétitivité technologique.

Rôle 1 : gérer l'entreprise nucléaire existante

Que l'on soit favorable, hostile ou indifférent à l'énergie nucléaire, il existe de toute évidence d'importantes questions nucléaires, qui se posent à l'heure actuelle et se poseront à long terme, dont la solution exige de vastes connaissances spécialisées. Ces questions sont largement indépendantes de l'avenir de l'énergie électronucléaire. Il s'agit, entre autres, du maintien de l'exploitation sûre et rentable des centrales nucléaires et des installations de recherche existantes, la durée de vie de certaines d'entre elles étant susceptible d'être prolongée de façon significative ; du déclassement des installations et de la protection de l'environnement ; de la gestion des déchets ; et des progrès à réaliser en matière de sciences sanitaires. Il est indispensable, pour répondre à ces besoins, de garantir l'existence non seulement de nouveaux étudiants, mais aussi d'étudiants de haut niveau et de vigoureux programmes de recherche.

Rôle 2 : préserver les options à moyen et à long terme

Alors que peu de nouvelles centrales nucléaires sont actuellement en commande, les pouvoirs publics doivent envisager et préserver les options énergétiques à moyen et à long terme de leurs pays. Il faut conserver des compétences afin que les générations futures puissent prendre en considération le rôle de l'électronucléaire en tant que composante d'un ensemble équilibré de

sources d'énergie pouvant réduire les niveaux de CO₂, préserver les ressources en combustibles fossiles, contribuer au développement durable, et faire face aux inévitables surprises, géopolitiques ou autres.

Rôle 3 : entretenir l'influence internationale

Il est d'une importance primordiale que les installations nucléaires fonctionnent de manière sûre, et les pays ne voudront être conseillés ou influencés que par ceux qui sont à l'avant-garde de la technologie nucléaire. Parmi les pays développés, les pays Membres de l'AEN doivent, si les pays en développement décident de poursuivre l'exploitation de la technologie nucléaire, être en mesure de répondre le cas échéant à leur demande d'assistance dans les domaines de la sûreté, de la protection de l'environnement, de la gestion des déchets et des garanties de non-prolifération.

Rôle 4 : repousser les frontières des nouvelles technologies

L'investissement consacré aux travaux de recherche et de développement dans le domaine du nucléaire a donné naissance à de nouvelles technologies et procure des avantages à un vaste secteur, étant donné que la technologie nucléaire présente un caractère fortement multidisciplinaire et exige l'amélioration de nombreuses technologies de pointe ayant des applications non nucléaires. Les pouvoirs publics devraient envisager les activités de recherche et de développement dans le domaine nucléaire comme s'inscrivant dans le cadre de leur politique en vue de renforcer la compétitivité technologique.

VII. RECOMMANDATIONS

La vaste expérience acquise et la poursuite du développement de la technologie nucléaire dans les pays Membres de l'AEN constituent un immense atout pour l'ensemble de la société. Cela est plus vrai que jamais dans la situation mondiale actuelle, caractérisée par une augmentation rapide de la demande énergétique et par des préoccupations en matière de protection de l'environnement. Les tendances actuellement observées dans le domaine de l'enseignement nucléaire sont donc particulièrement préoccupantes, et exigent des mesures urgentes. C'est dans cette perspective qu'ont été formulées les conclusions et recommandations de la présente étude. Si l'on ne prend pas aujourd'hui les mesures appropriées, on compromettra sérieusement la disponibilité future de compétences techniques adéquates. On se trouverait ainsi dans l'impossibilité de satisfaire les besoins actuels essentiels et de maintenir ouvertes d'importantes options futures, ce qui constituerait, de la part des pouvoirs publics et de l'industrie, un manquement à leur responsabilité en matière de planification stratégique à long terme.

Nous devons agir maintenant

***Recommandation 1 :** Nous devons agir maintenant. Les pouvoirs publics, l'industrie, les universités, les instituts de recherche et l'AEN devraient prendre de toute urgence les mesures exposées dans les recommandations présentées ci-après.*

L'enseignement et la formation dans le domaine nucléaire ne sont pas encore en situation de crise, mais ils sont certainement en difficulté dans nombre de pays Membres de l'AEN, avec deux exceptions notables, celles de la France et du Japon. Les besoins de l'industrie nucléaire, tant sur le plan du personnel d'exploitation que sur celui de la recherche, ont diminué puisqu'elle est parvenue à maturité et qu'elle s'efforce d'être plus compétitive dans un secteur de l'énergie aujourd'hui déréglementé. Il est toutefois essentiel de disposer d'un enseignement nucléaire suffisamment robuste et souple pour soutenir cette industrie dans son évolution. Les instituts de recherche et l'AEN partagent aussi les avantages et les responsabilités du maintien de programmes

dynamiques d'enseignement. Ils peuvent offrir des moyens créatifs et aider à coordonner des activités afin d'intéresser des candidats à devenir les futurs experts de la communauté universitaire et industrielle. En outre, il incombe largement aux pouvoirs publics de maintenir au sein des universités des programmes nucléaires dynamiques et capables d'attirer des étudiants de haute valeur.

Les ressources humaines ne se matérialisent pas de façon instantanée – il faut au minimum quatre à cinq années d'enseignement supérieur pour une formation en technologie nucléaire. Si l'on veut stopper l'évolution actuelle et en prévenir les conséquences, il faut dès aujourd'hui consacrer des investissements à l'enseignement nucléaire.

Le rôle stratégique des pouvoirs publics

***Recommandation 2 :** Les pouvoirs publics devraient entreprendre une planification stratégique dans le domaine énergétique, prenant notamment en compte l'enseignement, les ressources humaines et l'infrastructure*

Conséquence des stratégies économiques actuelles, l'industrie nucléaire traverse une phase de concentration. Les universités ont réagi à la diminution des besoins de l'industrie en réduisant leur engagement à l'égard de la recherche et de l'enseignement dans les domaines nucléaires. L'érosion préoccupante de la base de connaissance qui en découle est clairement mise en évidence dans le présent rapport. Il est indispensable de veiller, à tout le moins, à ce que les ressources et les connaissances spécialisées soient suffisantes pour effectuer correctement les activités nucléaires nécessaires aujourd'hui – exploitation des centrales et des installations et prise en compte des questions liées à leur déclassement. Il existe également, vis-à-vis de la génération suivante, une obligation de maintenir et de développer les compétences en matière nucléaire pour lui permettre d'apprécier convenablement le rôle de l'électronucléaire, et d'envisager en toute connaissance de cause les options futures – même dans le cas des pays appliquant actuellement un moratoire nucléaire. Les pouvoirs publics doivent s'attacher au plus vite à faire face à ces responsabilités et obligations.

Les centrales nucléaires ont pour caractéristiques un long délai de mise en œuvre et une forte intensité de capital, la rentabilité de l'investissement ne devenant significative que vers la fin de la durée de vie de la centrale. Ces caractéristiques se situent à l'opposé des considérations économiques à court

terme qui commencent, à l'heure actuelle, à prévaloir dans le secteur de l'énergie à mesure que la déréglementation progresse, et que les forces du marché jouent un rôle plus important que la stratégie des pouvoirs publics. L'industrie nucléaire a relevé le défi en améliorant le rendement de l'exploitation des installations et des centrales existantes. Il en est résulté une concentration, accompagnée de peu d'investissements dans de nouvelles centrales. Une certaine incertitude plane sur l'avenir à moyen et à long terme de l'industrie nucléaire malgré les avantages potentiels offerts par l'électronucléaire. Une planification stratégique en matière d'énergie menée par les pouvoirs publics contribuerait à définir le rôle de l'énergie nucléaire de façon plus sûre.

Recommandation 3 : *Les pouvoirs publics devraient contribuer, à défaut d'en assumer la responsabilité, à une planification intégrée visant à garantir la disponibilité des ressources humaines nécessaires pour faire face aux obligations et traiter les problèmes en suspens.*

Conséquence des stratégies économiques actuelles, l'industrie nucléaire traverse une phase de concentration. Les universités ont réagi à la diminution des besoins de l'industrie en réduisant leur engagement à l'égard de la recherche et de l'enseignement dans les domaines nucléaires. L'érosion préoccupante de la base de connaissance qui en découle est clairement mise en évidence dans le présent rapport. Il est indispensable de veiller, à tout le moins, à ce que les ressources et les connaissances spécialisées soient suffisantes pour effectuer correctement les activités nucléaires nécessaires aujourd'hui – exploitation des centrales et des installations et prise en compte des questions liées à leur déclassement. Il existe également, vis-à-vis de la génération suivante, une obligation de maintenir et de développer les compétences en matière nucléaire pour lui permettre d'apprécier convenablement le rôle de l'électronucléaire, et d'envisager en toute connaissance de cause les options futures – même dans le cas des pays appliquant actuellement un moratoire nucléaire. Les pouvoirs publics doivent s'attacher au plus vite à faire face à ces responsabilités et obligations.

Recommandation 4 : *Les pouvoirs publics devraient apporter, par voie de concours, un soutien aux jeunes étudiants. Ils devraient aussi mettre à disposition des ressources adéquates pour des programmes de recherche et de développement dynamiques dans le domaine nucléaire, notamment la modernisation des installations.*

Dans le secteur de l'enseignement nucléaire, les installations vieillissent et les effectifs d'étudiants diminuent. Ces situations ont pour effet de s'aggraver mutuellement. Pour briser cette spirale descendante, les pouvoirs publics devraient financer la modernisation en apportant, sur une base concurrentielle, un soutien aux travaux de recherche et aux activités de développement de premier plan dans le domaine nucléaire, et accorder des bourses aux étudiants les plus brillants, déjà diplômés ou en premier cycle universitaire.

Recommandation 5 : *Les pouvoirs publics devraient apporter un soutien par le biais de l'instauration de « réseaux éducatifs » entre les universités, l'industrie et les instituts de recherche.*

La collaboration peut aider les universités et les instituts de recherche à fournir un enseignement de haute qualité, à attirer de manière positive l'attention sur l'industrie nucléaire, à offrir des possibilités uniques aux étudiants et, partant, à stimuler l'innovation et à conférer du dynamisme. Les pouvoirs publics devraient apporter un soutien par le biais de l'instauration de réseaux éducatifs entre les universités, l'industrie et les instituts de recherche, en offrant :

- un cadre institutionnel permettant aux étudiants de suivre des programmes conjoints associant les universités, l'industrie et les instituts de recherche ;
- de grandes installations expérimentales, telles que des réacteurs de recherche (ainsi que du combustible nucléaire et des installations de stockage du combustible usé) à utiliser en commun par les universités et les instituts, pour la recherche ou pour l'enseignement ;
- des investissements équivalents à ceux de l'industrie pour les projets de recherche et de développement de l'université.

Les enjeux de la revitalisation de l'enseignement nucléaire

Recommandation 6 : *Les universités devraient offrir des programmes d'enseignement fondamentaux attrayants.*

À titre d'introduction au programme du premier cycle de génie nucléaire, les universités devraient offrir des enseignements fondamentaux larges portant notamment sur les problèmes généraux qui se poseront au 21^{ème} siècle dans les

domaines de l'énergie, de l'environnement et de l'économie. On devrait s'attacher en permanence à adapter le programme d'étude, à mettre en place de nouvelles disciplines et à appliquer des mesures permettant d'accompagner l'évolution des technologies nucléaires, afin de développer des domaines de recherche qui soient intéressants et mobilisateurs pour les étudiants et répondent aux besoins de l'industrie.

Recommandation 7 : *Les universités devraient dialoguer souvent, et à un stade précoce, avec les populations tant masculines que féminines d'étudiants potentiels, et fournir des informations adéquates.*

Les étudiants potentiels, par exemple ceux de première année et les élèves des écoles secondaires, ne disposent pas d'informations adéquates et suffisantes concernant l'enseignement des disciplines nucléaires dans les universités. Des informations devraient leur être fournies pour susciter leur intérêt pour la technologie nucléaire. Des membres du corps enseignant des universités devraient effectuer des visites dans les établissements secondaires, organiser des journées « portes ouvertes » et collaborer avec ces établissements. Les étudiants potentiels peuvent être motivés si on leur permet de « toucher le matériel » et de se documenter sur les enjeux et les débouchés par l'intermédiaire d'un « réseau de contacts » hautement interactif.

Recherche dynamique et maintien d'une formation de haute qualité

Recommandation 8 : *L'industrie devrait continuer d'offrir des programmes de formation rigoureux pour répondre à ses besoins spécifiques.*

Il ressort des données fournies en réponse au questionnaire que l'industrie considère qu'elle dispense une formation de grande qualité, que les entreprises mettent parfois des places de stage à la disposition d'autres organismes, et qu'elles s'attendent à ce que cette tendance se poursuive.

Recommandation 9 : *Il est nécessaire que les instituts de recherche mettent sur pied des projets de recherche stimulants pour répondre aux besoins de l'industrie et attirer des étudiants et du personnel de qualité.*

L'industrie suscite l'intérêt du public en général et des étudiants en particulier lorsqu'elle fait largement connaître des activités en collaboration. On pourrait, par exemple, pour susciter un intérêt accru, faire connaître la possibilité pour un étudiant de passer un semestre ou un été dans un institut étranger travaillant avec des enseignants, des étudiants et des représentants de l'industrie.

Avantages de la collaboration et du partage des pratiques optimales

Recommandation 10 : *L'industrie, les instituts de recherche et les universités ont besoin de travailler de concert afin de mieux coordonner les efforts visant à encourager la jeune génération.*

Le succès est au rendez-vous lorsque, dans l'industrie comme dans les universités, des individus prennent l'initiative de proposer un programme stimulant. Avec un encadrement plus dynamique dans l'enseignement nucléaire, il y aurait davantage de professeurs et de représentants de l'industrie pour encourager la jeune génération à entrer dans le domaine nucléaire.

Recommandation 11 : *Les pays Membres devraient inviter l'AEN à concevoir et à promouvoir un programme de coopération entre pays Membres dans le domaine de l'enseignement et de la formation nucléaires.*

Si l'enseignement et la formation dans le domaine nucléaire ne sont pas encore en situation de crise dans nombre de pays Membres de l'AEN, ils sont certainement en difficulté. Bien que certains pays puissent être confrontés à des déficits, les compétences et les ressources combinées des pays Membres de l'AEN dans le domaine de l'enseignement nucléaire suffisent encore à répondre aux besoins de l'industrie. Certains pays estiment que le déclin dans l'enseignement nucléaire peut être évité par un renforcement de la collaboration internationale.

Recommandation 12 : *Les pays Membres devraient inviter l'AEN à mettre en place un mécanisme permettant de partager les pratiques optimales en vue de promouvoir les enseignements des disciplines nucléaires.*

Face à des effectifs d'étudiants en diminution, quelques universités ont réduit le nombre des enseignements offerts pour s'adapter au nombre d'étudiants. D'autres ont cherché à accroître l'attrait de leurs formations en élargissant leur contenu ou en modifiant leur intitulé. Dans d'autres encore, les programmes nucléaires ont été fusionnés avec d'autres programmes dans les domaines de la mécanique, de l'énergie ou de l'environnement. En outre, la plupart des universités s'efforcent de faire une promotion active de leurs enseignements nucléaires par le biais d'un large éventail d'activités (voir encadré 1), allant de journées portes ouvertes à l'attribution de bourses. Ces initiatives sont, toutefois, prises généralement sans concertation. Un partage des techniques et des efforts entre les universités et d'autres organismes en multiplieraient les avantages.

ÉGALEMENT DISPONIBLE

Publications de l'AEN d'intérêt général

- 1999 Rapport annuel* (2000) *Gratuit : papier ou Web.*
- AEN Infos*
ISSN 1605-959X Abonnement annuel : FF 240 US\$ 45 DM 75 £ 26 ¥ 4 800
- Le Point sur les rayonnements – Applications, risques et protection* (1997)
ISBN 92-64-25483-8 Prix : FF 135 US\$ 27 DM 40 £ 17 ¥ 2 850
- Le Point sur la gestion des déchets radioactifs* (1996)
ISBN 92-64-24692-4 Prix : FF 310 US\$ 63 DM 89 £ 44
- Programmes de gestion des déchets radioactifs des pays Membres de l'AEN/OCDE* (1998)
ISBN 92-64-26033-1 Prix : FF 195 US\$ 33 DM 58 £ 20 ¥ 4 150

Développement nucléaire

- Données de l'OCDE sur l'énergie nucléaire 2000*
Bilingue
ISBN 92-64-05913-X Prix : FF 130 US\$20 DM 39 £ 12 ¥ 2 050
- Méthodes d'évaluation des conséquences économiques des accidents nucléaires* (2000)
ISBN 92-64-27658-0 Prix : FF 200 US\$ 31 DM 60 £ 19 ¥ 3 250
- Business as Usual and Nuclear Power* (2000)
ISBN 92-64-17175-4 Prix : FF 160 US\$ 25 DM 48 £ 16 ¥ 2 850
- Réduction des coûts en capital des centrales nucléaires* (2000)
ISBN 92-64-27144-9 Prix : FF 240 US\$ 38 DM 72 £ 24 ¥ 4 400
- Aspects environnementaux de la production d'uranium* (1999)
ISBN 92-64-27064-7 Prix : FF 280 US\$ 47 DM 84 £ 29 ¥ 5 550
- Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation* (1999)
Proceedings of the Fifth International Information Exchange Meeting,
Mol, Belgium, 25-27 Novembre 1998 *Disponible sur le Web.*
- Séparation et transmutation des actinides et produits de fission* (1999)
Synthèse des travaux *Gratuit : papier ou Web.*

Bon de commande au dos.

