

Nouvelle spécialité d'études de master: «Nuclear Engineering»

Conférence du Prof. Rakesh Chawla, Directeur du laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes à l'EPF de Lausanne et à l'Institut Paul-Scherrer, présentée à l'occasion du jubilé du Forum nucléaire suisse du 29 mai 2008 à Lausanne

Merci beaucoup, Monsieur le président, pour votre introduction très gentille.

Bonjour, Mesdames et Messieurs.

[SLIDE 1]

C'est un grand honneur et un plaisir pour moi de vous présenter, en cette occasion de fêter les 50 ans du Forum nucléaire suisse, une toute nouvelle possibilité d'étude, c. à. d. le nouveau master EPFL-ETHZ en «Nuclear Engineering».

(I. Un paradoxe)

Avant de décrire cette nouveauté importante nouveauté parmi les offres en matière d'éducation nucléaire dans notre pays, permettez-moi de parler quelque peu d'un thème qui touche chaque jeune homme ou femme sur le point de commencer une carrière professionnel dans le génie nucléaire.

[SLIDE 2]

Il s'agit du constat que plusieurs pays (y compris le notre) continuent de voir, en l'énergie nucléaire, une ressource qui n'est pas compatible avec les exigences du développement durable. Ce thème a été le sujet d'une étude approfondie faite par notre Société des Ingénieurs Nucléaires Suisses, la SOISIN, il y a quelques années. Aujourd'hui encore, et plus que jamais, ce sujet doit être abordé, surtout lorsque l'on parle d'éducation nucléaire.

Selon le nouveau rapport de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), le future de notre planète va fortement dépendre de la stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Pour éviter les conséquences catastrophiques, tel qu'une augmentation du niveau des mers de 50 cm jusqu'à la fin de ce siècle, la recommandation de l'IPCC est que le relâchement mondial de CO₂ doit commencer à diminuer déjà avant l'année 2030. En conséquence, il est nécessaire que la production, d'ici à 2050, de à peu près 15 TW d'énergie se fasse sans relâchement

significatif de CO₂. Actuellement, le niveau de production énergétique globale est inférieur à 15 TW au total, dont 85% sont produits sur la base de combustibles fossiles. Le nucléaire, l'hydraulique et les autres énergies renouvelables (telle que la biomasse, et les énergies solaire et éolienne) contribuent donc seulement à hauteur de 2 TW aujourd'hui. C'est évident qu'une augmentation, en 40 ans, de 2 à 15 TW pour ces ressources énergétiques dits «sans-CO₂» demandent un effort de développement énorme pour chacune de ces filières, et de toutes les filières.

[SLIDE 3]

Une question se pose... «Pourquoi est-ce que le nucléaire n'a pas une place légitime et reconnue au côté des énergies renouvelables pour assurer un mix énergétique durable pour les générations futures?»

Vous voyez ici les 3 arguments principaux qui sont évoqués...

1. La sécurité des centrales... On dit que les installations actuelles représentent un risque inacceptable pour l'environnement et pour la population.
2. Les ressources en combustible sont limitées... On dit que les quantités disponibles de l'uranium ne peuvent pas fournir plus d'énergie que, par exemple, le pétrole.
3. Les déchets à longue durée de vie... Ici l'argumentation est que les inventaires de matériaux radioactifs vont s'accumuler sans arrêt et donc poser un grand danger pour l'humanité pendant des milliers des années, voire plus.

(II. Les 3 arguments)

Sur cette base, regardons brièvement chacun de ces arguments séparément.

[SLIDE 4]

Vous voyez sur cette figure que, du point de vue de la sécurité, le nucléaire est d'ores et déjà mieux que les autres filières importantes. La probabilité d'un accident sévère (résultant à peu près à 100 morts selon les critères choisis) est environ 10⁻⁵ par GWe-an, donc un facteur de 10 plus petit que pour les centrales fossiles. Malgré ces chiffres déjà faibles, les systèmes futurs vont fournir une sécurité encore améliorée, soit une probabilité entre 10⁻⁶ et 10⁻⁷ par GWe-an. Ce niveau de sécurité est déjà réalisé dans le cas, par exemple, de l'EPR, la nouvelle centrale en construction en Finlande.

[SLIDE 5]

En ce qui concerne l'argument que les ressources en combustible nucléaire sont très limitées, c'est mon cher collègue, le professeur Michael Prasser, qui va vous en parler plus en détail dans le prochain exposé. Mais pour le moment, il suffit ici de vous présenter cette figure. Elle montre la consommation cumulée des ressources en minerai d'uranium avec les centrales actuelles, exploitées en cycle de combustible ouvert. On voit clairement que l'introduction de surgénérateurs à neutrons rapides aux alentours de l'année 2030, par exemple, peut efficacement aplatir la courbe, augmentant

l'utilisation des ressources de manière remarquable et ainsi rendant les quantités d'uranium et de thorium sur notre planète quasiment inépuisables.

[SLIDE 6]

Les systèmes rapides avancés ne seront pas qu'un moyen de répondre à la question des ressources (notamment grâce à la surgénération), mais aussi à celle qui est liée au 3^{ème} argument contre l'énergie nucléaire, c. à. d. aux déchets à longue durée de vie. Or, cette radioactivité est largement due à la présence des actinides mineurs, en particulier le neptunium et l'américium. Avec un cycle du combustible nucléaire complètement fermé, ce qui exige le développement de nouvelles technologies de retraitement du combustible irradié, ainsi que de réacteurs rapides de nouvelle génération, le recyclage non seulement du plutonium mais aussi de tous les autres actinides sera rendu possible. Vous voyez comment, dans une telle situation, même avec une augmentation nette du nombre de centrales, les volumes de déchets finaux à stocker géologiquement seront quasiment insignifiants, par rapport à ceux qui sont produits dans la situation actuelle.

[SLIDE 7]

La figure ici nous montre le développement industriel de l'énergie nucléaire depuis les années cinquante. Aujourd'hui, nous nous trouvons dans la phase du développement dit de «Génération III», c. à. d. des systèmes tels que l'EPR. Comme vous le savez, depuis quelques années, plusieurs pays, y compris la Suisse, travaillent ensemble dans le cadre d'une nouvelle collaboration internationale, soit du «Generation IV International Forum (GIF)». Le but principal est de développer, d'ici à 2035, les centrales de Génération IV, qui seront capables de totalement fermer le cycle du combustible et ainsi de remplir les trois conditions essentielles demandées pour une énergie nucléaire durable, soit

- Un niveau de sécurité encore plus élevé
- La possibilité de surgénération, et donc la réalisation des ressources en combustible quasiment inépuisables
- La fermeture complète du cycle de combustible et ainsi la minimisation des déchets à longue durée de vie

(III. «La 4^e condition»)

[SLIDE 8]

Pourtant il y a une 4^{ème} condition pour que l'énergie nucléaire, ensemble avec les énergies renouvelables, constitue un mix énergétique durable à long terme. C'est une condition évoquée non pas seulement par les gens qui ne croient pas au potentiel énorme de l'énergie nucléaire, mais surtout par les ingénieurs nucléaires eux-mêmes. Cette 4^{ème} condition est simple: on doit assurer une relève adéquate d'experts bien qualifiés dans ce domaine de compétence très exigeant.

Il s'agit d'une condition qui n'est pas très facile à remplir actuellement. Or, après plus de deux décennies de recrutement relativement faible de spécialistes nucléaires, on se trouve dans une

situation dans laquelle la demande, principalement de l'industrie nucléaire, augment rapidement. Selon Laurent Turpin, directeur de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (l'INSTN) à Saclay: «L'Electricité de France (l'EdF) doit embaucher 10'000 personnes sur les 10 prochaines années dont la moitié spécialisées dans le nucléaire. Ceci signifie 500 nouveaux ingénieurs par an dont 20% dans les projets internationaux». Lorsqu'on considère que seuls 350 ingénieurs spécialisés dans le nucléaire sortent des écoles françaises chaque année, la difficulté majeure pour la France est facile à cerner. La situation actuelle dans plusieurs autres pays, comme les Etats-Unis et l'Angleterre, est très similaire.

[SLIDE 9]

En Suisse, tous les deux Ecoles Polytechniques Fédérales ont une tradition assez riche dans l'éducation nucléaire. Depuis longtemps, les cours à option – en neutronique, en thermohydraulique des réacteurs, et en sécurité nucléaire – sont offerts aux étudiants de Physique et de Génie Mécanique à Lausanne, ainsi qu'à Zurich. A l'EPFL, le réacteur d'enseignement CROCUS est utilisé pour une large gamme de travaux pratiques. Les projets de recherche, surtout les thèses de doctorat, sont souvent développés en collaboration avec l'Institut Paul Scherrer (PSI), le centre de recherche le plus grand dans le domaine des EPF est le siège national de la recherche liée à la fission nucléaire.

Malgré tous les éléments que je viens de citer, on a jamais eu de diplôme spécialisé en génie nucléaire.

(IV. Naissance du nouveau «master»)

[SLIDE 10]

Après l'introduction de la réforme de Bologne dans les universités suisses, il y a 3 ans, l'ancien diplôme de chaque domaine de spécialité est remplacé, aujourd'hui, par un cycle de Bachelor en 6 semestres, suivi par un Master de 3 à 4 semestres. C'est surtout cette récente réforme des études qui a inspiré l'EPFL et l'EPFZ de combiner leurs forces pour développer un Master spécialisé en génie nucléaire. Or, ce domaine fortement interdisciplinaire est particulièrement bien adapté pour les Bachelors de divers disciplines, tels que la Physique, le Génie Mécanique et l'Electricité.

Un autre avantage d'avoir un Master commun entre les deux écoles est la complémentarité des chaires respectives, soit la Chaire de Physique des Réacteurs et de Comportement des Systèmes à Lausanne, et la Chaire de Systèmes Nucléaires à Zurich. Finalement, un atout important réside dans la possibilité d'intégrer, dans le nouveau concept, le PSI en tant que le centre de recherche national le plus pertinent, créant ainsi une synergie unique.

Le processus d'approbation du concept de base pour le nouveau Master – le 1^{er} diplôme commun entre L'EPFL et l'EPFZ – a duré près que toute l'année 2007. Ainsi, le feu vert pour la réalisation du programme a été donné par les Présidents des deux écoles en décembre dernier.

(V. Caractéristiques principales)

[SLIDE 11]

Le point de mire du nouveau Master in Nuclear Engineering, ou NE Master en abrégé, est effectivement l'approvisionnement en énergie sur la base de la fission nucléaire. Des thèmes complémentaires sont l'application des techniques nucléaires dans la médecine et l'industrie, ainsi que la voie future évoquée par mon cher collègue le professeur Tran tout à l'heure, soit la fusion nucléaire.

Une considération très importante pour la structure du programme est l'intégration de nucléaire dans les systèmes énergétiques en général, surtout du point de vue du développement durable. On aimerait que les étudiants soient bien conscients du fait que le nucléaire, dans ce contexte, est complémentaire aux énergies renouvelables, et également de la grande augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'énergie.

Comme déjà évoqué, le NE Master, grâce à son caractère hautement interdisciplinaire, est ouvert aux Bachelors de diverses disciplines, soit Physique, Chimie, Génie Mécanique, Electricité, etc. La langue utilisée pour tous les cours, à Lausanne ainsi qu'à Zurich, sera l'anglais.

[SLIDE 12]

Le diplôme conféré aux étudiants au fin d'études sera, pour la première fois, un diplôme conjoint, soit «Master of Science EPFL-ETHZ in Nuclear Engineering», reflétant ainsi la complète parité entre les deux écoles. Les études vont commencer à l'EPFL, c. à. d. tous les étudiants vont passer le 1^{er} semestre (cet automne) à Lausanne, tandis que pour le semestre d'après ils seront à Zurich. Pendant ce 2^e semestre, ils vont en général passer un jour par semaine au PSI pour leur 1^{er} travail de recherche, soit le projet de semestre. Ce travail correspond à une phase préparatoire, pendant laquelle chaque étudiant va pouvoir se familiariser avec son propre projet de Master qui sera effectué au 3^e semestre.

Une grande flexibilité et individualité sont accordées aux étudiants par la variété des cours à option, qui sont structurées selon 3 voies différentes correspondant aux directions potentielles relatives à leur développement professionnel, soit: les Systèmes énergétiques, la Physique et les Matériaux, et la Thermohydraulique.

Pour leur choix des options, ils seront guidés par un tuteur, chaque étudiant ayant, dès le départ, un professeur qui sera son guide durant toute la durée du Master. Ainsi, par exemple, pendant le 3^e semestre, lorsque l'étudiant est au PSI pour son projet de recherche, son mentor et en même temps son conseiller personnel.

(VI. Le curriculum)

[SLIDE 13]

Selon le «European Credit Transfer System (l'ECTS)», qui établit l'équivalence des études à travers les universités européennes, 30 «credit points» (ou CP) constitue la durée d'un semestre. Donc le NE Master, avec ses 3 semestres, est un programme de 90 CP ou 90 crédits.

Vous voyez ici le curriculum complet. Il y a sept cours obligatoires, chacun à 4 crédits, ce qui donne un total de 28. Quatre de ces cours sont nouveaux, tandis que 3 ont été restructurés sur la base des éléments d'enseignement largement existants. En plus des cours obligatoires, chaque étudiant va pouvoir choisir 6 cours à option, ce qui compte pour 24 crédits au total. Avec les 2 crédits pour un cours de « management » au 1^{er} semestre et les 6 crédits pour le projet de semestre en 2^e, il obtient les 60 correspondants aux 2 semestres des cours. Pendant l'été, les étudiants ont la possibilité de faire un stage optionnel dans l'industrie. Comme déjà indiqué, le 3^e semestre est réservé pour le projet de recherche, exécuté en général au PSI, pour le dernier bloc de 30 crédits.

[SLIDE 14]

Vous voyez ici la liste de sept cours obligatoires. Pour chacun, on a indiqué l'école responsable pour l'enseignement, le semestre (soit automne, soit printemps), le campus, ainsi que les noms des enseignants. Au 1^{er} semestre, à Lausanne, on a les cours de bas traitant de la neutronique, des expériences sur le réacteur CROCUS, les aspects technologiques des réacteurs à puissance, ainsi que les combustibles et matériaux nucléaires. Ces cours sont suivis, à Zurich, par les trois autres cours obligatoires, soit en sécurité nucléaire, thèmes spéciaux en physique des réacteurs, et systèmes énergétiques nucléaires. Le dernier cours traite des différents aspects liés au cycle de combustible.

[SLIDE 15]

Comme indiqué précédemment, les étudiants doivent également suivre six cours à option. Ceux-ci sont largement offerts dans le cadre des trois «tracks», soit Systèmes énergétiques, Physique et Matériaux, et Thermohydraulique. Vous voyez ici quelques exemples de cours à option dans les différentes catégories. Pour ceux motivés de connaître le nucléaire dans le cadre des systèmes énergétiques en général, on a comme exemple le cours «Centrales fossils avancées et énergies renouvelables» donné en 1^{er} semestre et «Analyse probabilistique de sécurité et gestion des risques» donné en 2^e. De manière analogue, pour la voie «Physique et matériaux», le cours «Fusion nucléaire et physique des plasmas» est un des cours offerts à Lausanne, tandis que «Applications des radio-isotopes et des rayonnements» est un cours donné à Zurich. Pour le «track» Thermohydraulique, deux exemples sont «Ecoulements biphasique et transfert de chaleur» offert à l'EPFL et «Méthodes CFD avancés» à l'EPFZ.

(VII. Autres aspects)

[SLIDE 16]

Le NE Master, du point de vue de la coordination des affaires académiques et administratives entre Lausanne et Zurich (p.ex. le processus d'admission des étudiants) est géré par un «Core Group». Ce dernier est constitué de certains professeurs de l'EPFL et de l'EPFZ, ainsi que du chef du département de recherche nucléaire au PSI et le Président de swissnuclear (l'association des exploitants des centrales nucléaires suisses).

Comme vous avez déjà remarqué, l'enseignement de divers cours est fait par les professeurs de deux écoles de manière assez paritaire, mais il y a aussi des chargés de cours venant de l'extérieur, surtout du PSI.

Une caractéristique importante du programme de NE Master est que, malgré la mobilité demandée aux étudiants, ils n'auront pas une charge financière supplémentaire. Grâce au soutien donné par le Centre de compétence en énergie et mobilité (le CCEM-CH), chaque étudiant va recevoir un montant unique de 5'000 CHF, pour couvrir les dépenses additionnelles.

Finalement, un point que j'aimerais souligner est que le nouveau programme des études ne va pas changer les buts généraux d'enseignement que l'on a eu pour le nucléaire jusqu'au maintenant à Lausanne, ainsi qu'à Zurich. A l'EPFL, par exemple 2 des cours obligatoires pour les étudiants de NE Master (la Neutronique et la Technologie des réacteurs) seront offert en tant que cours à option pour les physiciens. Une telle synergie avec les autres programmes de Master va donc préserver la possibilité d'introduire l'énergie nucléaire aux étudiants de manière générale.

(VIII. La 1^{ère} volée)

[SLIDE 17]

Mesdames et messieurs, vous êtes certainement intéressés de savoir combien d'étudiants on va avoir dans la 1^{ère} volée du nouveau master in Nuclear Engineering, c. à. d. pour l'année académique 2008-2009. A ce sujet, je peux maintenant vous présenter les chiffres suivants.

A l'EPFZ, on a choisi 7 candidats, 3 venant des Etats-Unis et 1 chacun de l'Argentine, l'Egypte, la Grèce et la Suisse. Les universités où ces personnes ont obtenu leur Bachelor vont de Georgia-Tech et l'Université de Californie aux Etats-Unis, en passant par Madrid, Caire et St. Andrews, finalement à l'EPFZ elle-même. Les études de Bachelor faites par ces jeunes sont diverses, soit le génie nucléaire, lui-même, la physique, le génie mécanique, l'aérospatiale, et l'énergie.

A l'EPFL, 9 candidats ont été sélectionnés, 3 chacun de la France et de la Suisse, et 1 chacun de la Chine, du Liban et de Sri Lanka. Encore une fois, une grande variété des universités, mais cette fois une gamme d'études de Bachelor plus restreintes, largement en physique et en génie mécanique.

Avec un total des 16 candidats sélectionnés à Lausanne et Zurich, le nombre final pour la 1^{ère} volée de NE Master peut être estimé entre 10 et 12, en considérant qu'une fraction significative de ces jeunes vont peut être choisir d'aller étudier ailleurs.

(IX. Conclusion)

[SLIDE 18]

Pour résumer, l'énergie nucléaire a un potentiel énorme pour contribuer à un mix énergétique durable. Pourtant, un obstacle majeur pour une renaissance rapide du nucléaire est actuellement la pénurie d'experts hautement qualifiés. Dans le contexte de l'éducation nucléaire en Europe, l'établissement d'un NE-Master suisse, en tant que 1^{er} diplôme commun entre l'EPFL et de l'EPFZ, représente une contribution importante.

Le programme va débiter en septembre cette année, sur la base d'«un semestre chacun», c. à. d. le 1^{er} semestre à Lausanne et le 2^e à Zurich. La synergie avec le PSI, en tant que centre de recherche appartenant au domaine des Ecoles Polytechnique Fédérales, est un grand avantage. Elle donne aux étudiants la possibilité d'exécuter leur projet de Master en utilisant des installations uniques – installations telles que le réacteur de recherche PROTEUS que vous voyez sur cette dernière image.

[SLIDE 19]

Mesdames et messieurs, il ne me reste plus que, et c'est avec grand plaisir, de vous remercier chaleureusement pour votre attention.