

CA7602643

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

DOCUMENT IGN-177

(révisé)

INSTITUT DE GENIE NUCLEAIRE

Rapport 1974-1976

par : *L. Amyot*

L. Amyot

Directeur

Institut de génie nucléaire

le 16 août 1976

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

DOCUMENT IGN-177

(révisé)

INSTITUT DE GENIE NUCLEAIRE

Rapport 1974-1976

par : *L. Amyot*

L. Amyot

Directeur

Institut de génie nucléaire

Le 16 août 1976

TABLE DES MATIERES

	page
1. Introduction . . . . .	1
2. Les objectifs . . . . .	2
3. Les ressources . . . . .	3
4. L'enseignement . . . . .	4
5. La recherche . . . . .	6
6. Le rayonnement . . . . .	10
Annexes :	
1. Membres du personnel de l'Institut	
2. Liste des cours offerts à l'Institut	
3. Liste des projets de recherche à l'Institut	
4. Liste des documents IGN	
5. Liste des conférenciers invités à l'Institut	

## 1. INTRODUCTION

Les deux années qui viennent de s'écouler ont marqué pour l'Institut l'atteinte d'un palier qu'il ne saurait vraisemblablement dépasser qu'avec une augmentation notable des ressources humaines à sa disposition. Quadruplement de la population étudiante, qui frise aujourd'hui la quarantaine, sextuplement des subventions et *commandites* de recherches, dont le total s'est élevé à \$375,000 : ces chiffres fourniront une mesure des progrès accomplis de 1974 à 1976.

D'autres réalisations, moins susceptibles d'une évaluation quantitative, témoignent à la fois de l'effort soutenu déployé par l'équipe et de l'appui dont a pu bénéficier l'Institut tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'École. Citons pêle-mêle : l'installation et la mise en service d'un réacteur SLOWPOKE, l'organisation du premier Colloque Augustin-Frigon, la création d'un chapitre étudiant de l'American Nuclear Society, une visite des installations nucléaires française (à laquelle ont participé 20 étudiants de l'IGN) sous l'égide de l'Office franco-québécois, la conclusion d'accords avec l'Hydro-Québec et l'Energie Atomique du Canada sur un programme de stages industriels, l'octroi par l'Hydro-Québec de \$100,000 en bourses d'études.

Mais de nouveaux défis se proposent à l'Institut. L'extension de l'enseignement au niveau du premier et du troisième cycle sollicite une attention dictée par l'expansion prévisible du marché nucléaire. Les organismes comme l'Hydro-Québec et le Ministère des Richesses naturelles souhaitent un accroissement de ses travaux d'analyses et, souvent, un élargissement de sa compétence au secteur général de l'énergie. Le développement du laboratoire, centré sur le réacteur SLOWPOKE, entraînera des interventions multiples auprès de l'industrie et d'autres groupes universitaires.

Ces tâches sont réservées à une phase prochaine que l'Institut espère attaquer avec des moyens humains.

## 2. LES OBJECTIFS

Créé en mai 1970 par la Corporation de l'Ecole Polytechnique, l'Institut exerce à la fois les fonctions d'un département traditionnel et d'un centre de recherches. Son enseignement est axé sur la formation au niveau du deuxième cycle d'ingénieurs spécialisés en énergie nucléaire, mais il offre aux étudiants du baccalauréat un nombre croissant (5 présentement) de cours préparatoires ou terminaux. Recherche et enseignement - de par la nature-même du génie nucléaire - un caractère pluridisciplinaire et débordent d'ailleurs volontiers sur l'ensemble du domaine auquel s'adresse l'énergie.

Les projets de recherche se regroupent autour de trois pôles principaux qui correspondent aux préoccupations actuelles et prévisibles du marché canadien, aux possibilités du laboratoire et des instruments de calcul accessibles à l'Institut. Ce sont

1. l'étude des installations nucléaires sous leurs aspects techniques, économiques et écologiques. Dans ce cadre, la sûreté représente le thème dominant. La simulation des centrales, les phénomènes d'écoulement en deux phases, la fiabilité des composants, la gestion du combustible constituent autant de centres d'intérêt. Trouvent ici expression les besoins manifestés par la Commission de Contrôle de l'Energie Atomique, d'une part, et d'autre part ceux d'organismes tels que l'Energie Atomique du Canada et l'Hydro-Québec.

2. Les méthodes radioisotopiques fondées sur le laboratoire SLOWPOKE.

L'analyse par activation neutronique et d'autres techniques nucléaires comme le traçage radioactif sont, grâce aux nouvelles installations de l'IGN, mises au service de la recherche universitaire et industrielle du Québec.

. L'étude générale du problème de l'énergie : la part croissante du marché énergétique confiée au secteur nucléaire motive l'intérêt de l'Institut envers les multiples aspects du problème de l'énergie, ses incidences économiques, écologiques et sociales.

### 3. LES RESSOURCES

Pour réaliser ses objectifs, l'Institut de génie nucléaire dispose présentement d'une équipe formée de six professeurs à plein temps, un chargé de cours, un attaché de recherche, deux associés professionnels de recherche, trois techniciens et deux secrétaires (voir Annexe 1). La période de référence a donc été signalée par l'addition d'un chargé de cours (M. Daniel Ronon, de l'Hydro-Québec), un attaché de recherche (Dr Dai Hai Chung), une secrétaire (Mlle Ginette Lacroix) et la promotion d'un chargé d'enseignement (M. Lubomir Zikovsky) au rang de professeur adjoint. Précisons d'ailleurs que M. Zikovsky est présentement en congé de perfectionnement à l'université Texas A & M, où il poursuit des études avancées en analyse par activation neutronique; il sera de retour à l'Institut à la fin de la présente année civile.

L'équipement du laboratoire vient de s'enrichir d'un réacteur SLOWPOKE. C'est là le résultat d'une longue série de démarches dont il convient de rappeler les principales. Une première demande officielle avait été déposée en mai 1974 auprès de la Commission de Contrôle, qui agissait en l'occurrence comme courtier auprès des agences subventionnaires du niveau fédéral. En août 1975, une somme de \$202,000 fut effectivement octroyée

à l'École Polytechnique par l'entremise du Conseil National des Recherches. Le Ministère de l'Éducation du Québec accordait, quant à lui, un montant de \$56,000 pour la préparation des locaux. Les permis de construction et de fonctionnement émanèrent de la Commission de Contrôle de l'Énergie Atomique, respectivement en septembre 1975 et mai 1976. Devenu critique le 11 mai, le réacteur fut officiellement remis à l'École le 21 mai. La première irradiation fut enfin effectuée un mois plus tard, soit le 23 juin. La période de rodage tire désormais à sa fin et le réacteur pourra inévitablement servir à la production routinière de radioisotopes aux fins de l'analyse par activation neutronique.

Sous la responsabilité du professeur Jean Boisvert, le laboratoire de génie nucléaire ajoute ainsi un outil puissant, essentiellement dirigé vers la recherche, aux deux réacteurs sous-critiques et au générateur de neutrons, sur lesquels prenait déjà appui l'enseignement.

Quant au budget, exclusion faite des salaires, les fonds attribués par le Ministère de l'Éducation du Québec s'élevaient en 1975-1976 à \$72,000 répartie à parts égales entre l'investissement et le fonctionnement. Pour l'exercice qui commence, l'Institut a obtenu de la même source \$16,000 affectés aux immobilisations, \$13,000 au fonctionnement. Il convient naturellement d'ajouter à ces montants les quelque \$175,000 accordés en 1975-1976 en subventions et commandites à l'Institut, en sus du réacteur SLOWPOKE.

#### 4. L'ENSEIGNEMENT

La Figure 1 illustre la progression de la population étudiante, au niveau du 3<sup>e</sup> cycle, depuis l'implantation du génie nucléaire à l'École Polytechnique. On note immédiatement les deux doubléments consécutifs survenus au cours des deux dernières années. Sans doute la croissance rapide du marché du travail est-elle largement responsable de cet essor, mais on ne saurait

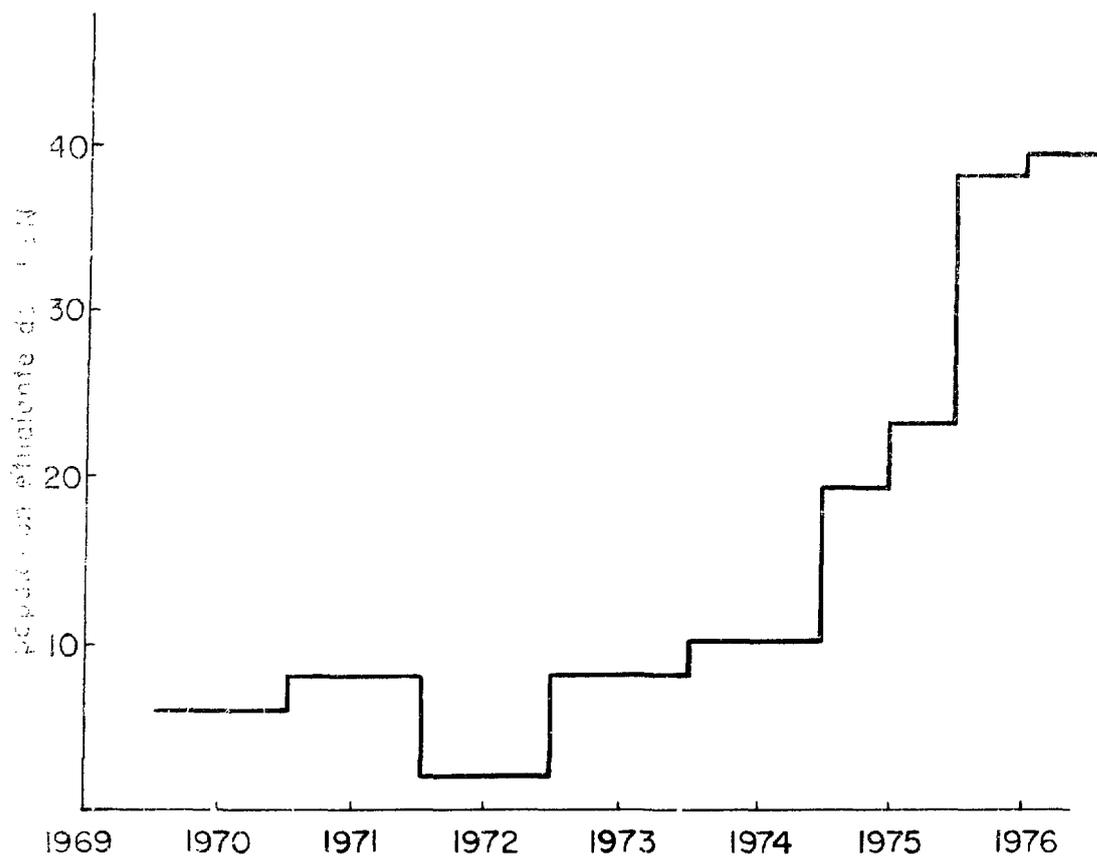


Figure 1. Evolution de la population étudiante.

passer sous silence le rôle essentiel qu'a joué l'accroissement de l'aide financière. Soulignons en particulier que l'Hydro-Québec, après un octroi de \$15,000 en 1973-1974, a doté l'Institut de \$100,000 en bourses d'études à raison de \$25,000 par année, commençant en 1974.

Grâce à l'initiative du professeur Pierre Godbout, cette augmentation des effectifs a permis, en avril 1976, la création à l'École Polytechnique d'un chapitre étudiant (le premier au Canada) de l'American Nuclear Society. L'ANS impose en effet comme condition minimale à l'institution d'un tel groupe qu'au moins 15 étudiants soient inscrits à un programme d'études pertinentes au génie nucléaire.

La préparation des mémoires de maîtrise - multipliés au profit des inscriptions étudiantes - a été grandement facilitée, du moins en certains cas, par l'établissement de programmes de stages industriels. Des accords en la matière ont été conclus en 1974 tant avec l'Énergie Atomique du Canada que l'Hydro-Québec. En l'un et l'autre cas, les étudiants acceptés comme stagiaires effectuent leur travail de recherche dans un laboratoire ou des bureaux industriels : ils reçoivent, durant les 4 à 6 mois que durent le stage, une rémunération correspondant à leur situation d'employés temporaires. Jusqu'à présent, 5 étudiants IGN ont pu bénéficier de tels programmes.

L'Annexe 2 reproduit la liste des cours offerts par l'IGN tant au niveau du baccalauréat que de la maîtrise.

## 5. LA RECHERCHE

La Figure 2 fait bien voir l'accélération de la recherche commanditée ou subventionnée à l'Institut de génie nucléaire et met en relief les réalisations des deux dernières années. On notera que les chiffres indiqués se réfèrent aux montants effectivement perçus pour la recherche menée durant l'exercice considéré; ils restent en général inférieurs aux sommes promises par les organismes subventionnaires ou commanditaires, qui peuvent se référer à des accords conclus en fin de période.

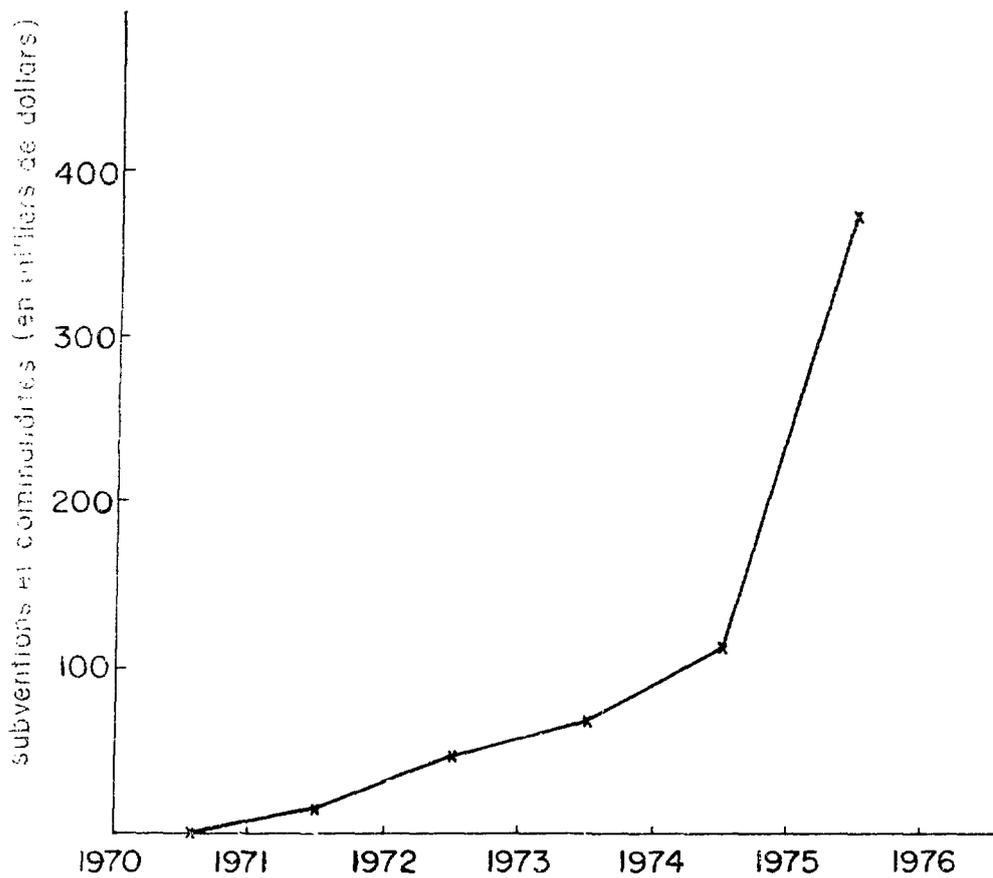


Figure 2. Evolution de la recherche subventionnée ou commanditée.

Soulignons l'obtention d'un premier contrat avec l'Énergie Atomique du Canada. Précédemment dans sa deuxième année, cette commande a donné une impulsion nouvelle aux recherches du professeur Altan Tappeau sur les échanges entre les sous-canaux dans les réacteurs nucléaires CANDU.

Méritent également d'être signalés sous la rubrique recherche les travaux de consultation effectués depuis 1974 par le professeur Vladimir Maskevici pour le compte de l'Hydro-Québec. Les études réalisées dans ce cadre sur la simulation des centrales nucléaires n'ont pas été sans rapport avec l'attention récente d'une première subvention de la NIGES, ayant justement trait au même sujet.

Autre fruit de la collaboration avec l'Hydro-Québec : le détachement à temps partiel de M. Daniel Ronon qui, en plus de participer à l'enseignement de l'ENH à titre de chargé de cours, assume depuis l'été 1976 la coordination technique du projet sur la gestion du combustible, démarré à l'Institut l'année précédente.

Deux projets interuniversitaires ont fourni au professeur Laurent Arget l'occasion d'analyses portant sur le thème général de l'énergie. Il a collaboré en 1974-1975 à l'étude de la Société GAMMA sur la société de services, puis en 1975-1976 à l'étude GIPQ sur le Québec de 1995.

Le Tableau 2 apporte un éclairage additionnel sur les orientations de la recherche à l'Institut : il dresse la liste des mémoires de maîtrise acceptés durant les années 1975-1976. D'autres éléments pourront être puisés dans l'Annexe 4, où l'on trouve les titres des documents IGN publiés durant la période de référence, et dans l'Annexe 3 qui fournit un inventaire de la recherche effectuée durant les années 1974-1975 et 1975-1976.

Annuaire des mémoires de maîtrise en physique nucléaire

Nom de l'étudiant	Titre du mémoire	Directeur du mémoire
ARNAUD, Guy	Développement d'une méthode TCNR pour le calcul statique d'un réacteur nucléaire uni-dimensionnel	L. Amyot
BAUDOIN, A.	Les méthodes quasi-statiques en cinétique des réacteurs	W. Paskievici
STEPANESCU, P.	Etude sur la dynamique d'un réacteur uni-dimensionnel	W. Paskievici
LLORENTE, J.-C.	Etude du mélange entre deux écoulements parallèles communiquant par une fente latérale	A. Tapucu
DELORME, G.	Etude du déséquilibre thermique dans la région post-accèschement (post-dry out)	A. Tapucu
BONIN, H.	Développement d'une approche d'optimisation pour la gestion du combustible des réacteurs nucléaires CANDU	L. Amyot
JOYAL, A.	Détermination de la carte de flux d'un réacteur	W. Paskievici
PAGEAU, R.	Application des méthodes TCNR et des séries de Fourier aux problèmes bi-dimensionnels en physique des réacteurs	L. Amyot
ISHACK, G.	La précision du modèle nodal en dynamique des réacteurs	W. Paskievici
DOYON, Martial	Comparaison entre les résultats du programme PASPAG et les mesures des collecteurs dans le réacteur Gentilly 1 à faible puissance	J. Boisvert

1  
3  
1

C. LE RAYONNEMENT

En février 1976, l'Institut de génie nucléaire s'est vu confier l'honneur d'organiser le premier Colloque Augustin-Frigon. Le thème choisi : "L'industrie québécoise face au défi de l'énergie nucléaire". Tenu à l'École Polytechnique, du 12 au 14 mai, le colloque réunit près de 200 participants inscrits, provenant de cinq provinces du Canada et de tous les secteurs de l'entreprise nucléaire présente ou future. Vingt-et-un conférenciers invités y traitèrent du potentiel, des exigences et des contraintes associées à cette industrie nouvelle. M. Guy Saint-Pierre, Ministre de l'Industrie et du Commerce, contribua fortement au succès du colloque dont il fut le conférencier d'honneur.

Au printemps 1975, l'Institut s'était manifesté en France quand, sous la direction et à la suite des démarches du professeur Wladimir Paskievici, une vingtaine de ses étudiants furent invités dans ce pays par l'Office franco-québécois. En outre d'effectuer une tournée des installations nucléaires françaises, les visiteurs eurent l'occasion de participer à Paris à la première réunion conjointe de l'American Nuclear Society et de la Société Nucléaire Européenne.

En juillet 1974, le gouverneur-général en conseil a nommé le professeur Laurent Amyot membre de la Commission de Contrôle de l'Énergie Atomique pour un second mandat de trois ans. Jusqu'en février 1976, le professeur Amyot a continué d'exercer, auprès de la Commission, la présidence du Comité consultatif sur la sûreté des réacteurs (Québec) et, par intérim, celle du comité homonyme pour le Nouveau-Brunswick. En avril de cette année, le professeur Paskievici s'est joint au groupe central de ce comité qui participe à l'examen des centrales pour chacune des provinces ayant déjà un programme nucléaire.

Depuis quelques mois, le professeur Tapucu siège sur le comité du transfert thermique qui, sous l'égide du Conseil National des Recherches,

Établit les priorités canadiennes en ce domaine.

L'Institut a continué, durant toute la période de référence, de s'exprimer par les médias d'information sur les questions d'intérêt public touchant l'énergie nucléaire. Le professeur Paskievici a été particulièrement actif sous ce rapport : sa communication, en avril dernier, au sein d'un colloque organisé par le Conseil de l'Environnement du Québec, a suscité une vive attention.

L'Annexe 5 donne la liste des conférenciers de l'extérieur qui ont apporté leur concours à l'Institut en 1975 et 1976.

ANNEXE 1

Membres du personnel de l'Institut

MEMBRES DU PERSONNEL DE L'INSTITUT

Directeur de l'Institut et professeur titulaire :

AMYOT, Laurent, B.Sc.A. et ing. méc.-élec., M.Sc.(Birmingham)

Professeurs titulaires :

PASKIEVICI, Wladimir, L.Sc.(Strasbourg), D.Sc. phys.(Strasbourg)

TAPUCU, Altan, ing. génie atomique(Saclay), ing.méc., D.Sc.A.  
(Istanbul)

Professeur agrégés :

BOISVERT, Jean, B.Sc.A. et ing.phys., M.Sc.A., Ph.D.(Saclay)

GODBOUT, Pierre, B.Sc.A. et ing.phys., M.Sc.A., Ph.D.(UCLA)

Professeur-adjoint :

ZIKOVSKY, Lubomir, ing.chimie nucléaire(Prague)

Chargé de cours :

ROZON, Daniel, B.Sc.A., M.ing.(nucléaire)

Attaché de recherche :

CHUNG, Dai Hai, B.Sc., Dipl.-Ing., Dr.-Ing.(Aachen)

Associé professionnel de recherche :

DELORME, Guy, B.Sc.A., M.ing.(nucléaire)

Techniciens :

BRIAND, Gilles

DESJARDINS, Renaud

JUNEAU, Jean-Claude

Secrétaires :

DOZOIS, Françoise

LACROIX, Ginette

ANNEXE 2

Liste des cours offerts à l'Institut

## LISTE DES COURS OFFERTS A L'INSTITUT

### Niveau du baccalauréat

#### N-502 ELEMENTS D'ENERGIE NUCLEAIRE

Ce cours s'adresse à tous les étudiants qui désirent se familiariser avec les différents aspects de l'énergie nucléaire mais qui n'ont pas nécessairement l'intention de se spécialiser dans ce domaine. - Historique.

Aspects physiques: notions sur les noyaux, les réactions nucléaires, le comportement du neutron. Aspects technologiques: principes de l'exploitation de l'énergie nucléaire, différentes filières; choix des matériaux; caractéristiques d'un réacteur. Aspects économiques: coût et développement de l'industrie nucléaire, perspectives d'avenir. Aspects sociaux: problèmes de radiation, de la pollution, de la main d'oeuvre. Divers: sources radioisotopiques, fusion thermonucléaire, accélérateurs.

#### N-503 APPLICATION DES RADIOISOTOPES

Analyse d'un système à l'aide des radioisotopes naturels (détermination de l'âge), introduits (traceurs) et induits (analyse par activation). Applications basées sur l'absorption (source d'électricité), la transmission (radiographie) et la réflexion (jauges) de la radiation produite par les radioisotopes en génie civil (détection des fuites), chimique (mécanismes de réactions), électrique (amorçage des décharges dans le gaz), métallique (études de la diffusion et du brassage), minier (forages) et physique (détermination des propriétés).

## N-504 ENVIRONNEMENT RADIOACTIF

Phénomènes radioactifs. Effets biologiques des rayonnements. Normes de sécurité. Mécanismes de transport des substances radioactives; chaîne alimentaire. Source de radioactivité de l'environnement; radioactivité naturelle, mines et usines de combustible nucléaire, réacteurs, isotopes radioactifs, retraitement des combustibles, déchets radioactifs, retombées radioactives. Protection de l'environnement. -- Interprétation des divergences des résultats expérimentaux des effets radiobiologiques sur l'homme. Installations nucléaires, principaux types d'accidents possibles et systèmes de sécurité associés. Introduction aux calculs de fiabilité de systèmes de sécurité. Détermination des risques nucléaires par la méthode des enveloppes. Etude comparative des autres risques socioéconomiques. Concepts de la ligne-limite. Concept des risques et bénéfiques.

## N-505 ENERGIE

Aspects techniques. Energie primaire et secondaire. Modes de production et de conversion de l'énergie. Les sources classiques: combustibles fossiles et houille blanche. L'énergie nucléaire. Les sources de l'avenir: fusion, énergie solaire et géothermique. -- Aspects économiques. Le marché de l'énergie: besoins et ressources. L'industrie de l'énergie. -- Aspects écologiques. Le choix des sites d'implantation. Les effluents et les déchets. Les problèmes de sûreté. -- La politique de l'énergie: sécurité d'approvisionnement, exploitation rationnelle des ressources nationales

N-506 INTRODUCTION AU GENIE NUCLEAIRE

Besoins et applications de l'énergie nucléaire, description d'une centrale nucléaire, aspects technologiques. Rappel de physique nucléaire, la fission. --Cycle des neutrons dans un réacteur, notion de criticité --Ralentissement des neutrons, équation de diffusion, âge de Fermi --Traitement du réacteur homogène par une théorie à un groupe modifié, taille critique, réflecteurs. Aspects de contrôle, sécurité et protection. Auteur: W. Paskievici, Compléments de génie nucléaire.

\* Cette matière est prérequis à la maîtrise en génie nucléaire.

## LISTE DES COURS OFFERTS A L'INSTITUT

### Etudes supérieures

#### N-601 PHYSIQUE STATIQUE DES REACTEURS I

Le bilan neutronique en régime stationnaire: l'équation générale de transport, l'équation de la diffusion, les équations multigroupes. La théorie à deux groupes: le réacteur homogène, le réacteur hétérogène (physique des réseaux réguliers, modèle de Wigner-Seitz). Introduction à la théorie des perturbations.

#### N-603 EFFETS DES RADIATIONS ET ELEMENTS DE RADIOPROTECTION

Interaction des rayonnements avec la matière. Atténuation des rayons gamma et des neutrons. Effets biologiques des rayonnements ionisants. Les normes de sécurité. Intensité des sources de rayonnement dans les réactions. Calcul des écrans protecteurs. Mesures de protection. Sécurité de l'installation.

#### N-604 MATERIAUX NUCLEAIRES

Ce cours traite de la préparation, des propriétés et du comportement des matériaux nucléaires dans un réacteur --Les combustibles. Les gaines. Les modérateurs. Les caloporteurs. Les matériaux de structure. Les absorbeurs. Les matériaux de blindage. Traitement des combustibles irradiés. Séparation des isotopes.

#### N-609 PHYSIQUE STATIQUE DES REACTEURS II

Théorie du transport des neutrons: équation, intégrodifférentielle de Boltzmann (solutions analytiques et numériques), équation intégrale de transport (méthodes de probabilités de premier choc et des chocs successifs). Réseaux irréguliers: introduction aux méthodes hétérogènes (Fenberg-Galanine, Auerbach). La fonction adjointe et ses applications.

#### N-610 ELEMENTS DE FUSION THERMONUCLEAIRE

Introduction à la théorie des gaz ionisés. Production et chauffage d'un plasma. Diagnostic du plasma. Eléments de théorie avancée. --Caractéristiques de la fusion nucléaire. Réactions thermonucléaires contrôlées. Aspects et conditions d'opération des réacteurs à fusion. Problèmes de confinement et d'extraction d'énergie. Critère de Lawson. Systèmes actuels: le stellarator, les bouteilles magnétiques, l'astron, le tokmak, le scylla. Aspects préliminaires du design d'une centrale thermonucléaire.

#### N-612 ASPECTS ECONOMIQUES DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

La politique de l'énergie. --Comparaison technico-économique entre les centrales nucléaires et classiques. --Classification des filières de réacteurs. --Calcul du coût de l'énergie. --Stratégie nucléaire: le choix optimal d'un programme d'implantation nucléaires dans un contexte économique donné.

#### N-605 THERMIQUE DES REACTEURS

Notions fondamentales de transfert de chaleur, de l'écoulement en deux phases et de l'ébullition. Sources de chaleur dans les réacteurs. Etude thermique et hydrodynamique d'un canal refroidi par un écoulement en simple phase et en deux phases. Puissance de pompage et comparaison des caloporteurs. Les cycles de vapeur utilisés dans les centrales nucléaires.

#### N-606 COMPLEMENTS DE GENIE NUCLEAIRE I

Exposé et discussion de sujets choisis en rapport avec les programmes d'enseignement et de recherche de l'Institut. Les professeurs et le personnel de recherche y font état de leurs travaux récents. Des conférenciers invités y traitent de questions à l'ordre du jour dans le domaine de l'énergie nucléaire: ils présentent des résultats d'études techniques, décrivent des installations physiques, retracent l'évolution du secteur nucléaire dans le contexte du problème de l'énergie.

#### N-608 SIMULATION EN NEUTRONIQUE

Ce cours a pour but de simuler le comportement d'un réacteur nucléaire par les méthodes numériques, hybrides et analogiques. Simulation de la dynamique d'un réacteur, des effets sur la réactivité de la température, de l'empoisonnement par Xe et Sm. Etudes sur les populations neutroniques par les méthodes  $S_n$  et Monte Carlo.

#### N-613 COMPLEMENTS DE GENIE NUCLEAIRE II

Ce cours, de contenu variable d'une année à l'autre, a pour but d'introduire des sujets nouveaux ou très spécialisés qui, de par leur nature, ne sauraient au stade actuel constituer un cours autonome. Les sujets, en nombre limité, seront traités en profondeur et nourront comprendre la description de méthodes de calcul, de procédés de fabrication, de techniques de contrôle; ou traiter d'autres problèmes reliés au fonctionnement des centrales nucléaires. Le cours pourra aussi servir à compléter les programmes d'études spécialement préparés pour les étudiants qui s'intéressent à l'exploitation des centrales.

#### II-614 THERMIQUE DES REACTEURS A EAU BOUILLANTE

Ecoulement en deux phases -- définitions. Régimes d'écoulement. Perte de pression en écoulement en deux phases. Instabilités de l'écoulement. Ébullition en piscine. Caléfaction. Ébullition en convection forcée. Flux de chaleur critique. Application au calcul thermique d'un canal. Détermination du point de fonctionnement optimum d'un canal.

#### N-615 ANALYSE PAR ACTIVATION

Rappel des notions fondamentales. Différentes méthodes d'activation. Sources de neutrons thermiques et rapides. Instrumentation. Interprétation des spectres. Séparation radiochimique. Analyses qualitatives et quantitatives. Dépouillement des résultats avec des ordinateurs. Applications: détection d'éléments en faibles concentrations (métallurgie, géologie), études sur la pollution.

#### N-616 RADIOISOTOPES

Réactions nucléaires; isotopes; radioactivité naturelle et artificielle. Préparation, propriétés et manipulation des radioisotopes et des substances radiochimiques. Applications des radioisotopes dans la recherche scientifique (traceurs, détermination de l'âge, analyse chimique), dans l'industrie (radiographie, jauges), en biologie et en médecine (traitement par irradiation...), dans l'agriculture (stérilisation), dans les explorations spatiales (piles), etc.

#### N-617 CONTRÔLE DES CENTRALES NUCLEAIRES

Les objectifs généraux: adaptation à la demande du réseau, maintien des conditions internes du système à l'intérieur de limites prédéterminées. Les paramètres, l'instrumentation et les mécanismes de contrôle: applications à l'équipement conventionnel et au réacteur. La théorie classique du contrôle des centrales: études quantitatives sur les variations globales et locales du régime. Le contrôle automatique des centrales. Le problème du contrôle optimal. Les problèmes nouveaux posés par le contrôle des réacteurs à neutrons rapides.

#### N-618 SURETE ET FIABILITE DES CENTRALES NUCLEAIRES

Concepts fondamentaux: rappel des notions sur la théorie des probabilités, fiabilité des composants et des systèmes. Les normes de sécurité appliquées aux centrales nucléaires: critères canadiens et américains. Les mesures préventives: maintenance, systèmes de protection, enceinte de rétention, aire d'exclusion. Facteurs affectant le choix du site. Les accidents nucléaires: quelques études de cas.

#### N-622 CINÉTIQUE ET DYNAMIQUE DES REACTEURS I

Equation de la cinétique des réacteurs en modèle ponctuel. Solutions pour des variations données de la réactivité. Modifications des caractéristiques nucléaires d'un réacteur en marche: effets à court et à long terme, mécanismes de feed-back. Solutions des équations avec feed-back, approximation linéaire. Eléments d'analyse des systèmes, conditions de stabilité, exemples d'application

#### N-623 CINÉTIQUE ET DYNAMIQUE DES REACTEURS II

Application des méthodes cinétiques à la détermination des paramètres nucléaires d'un réacteur: technique des neutrons pulsés, analyse du bruit. Etudes qualitatives sur les variations importantes de régime: démarrage, arrêt, excursion de puissance, accidents. Eléments de théorie avancée: effets spatio-temporels, modèles non ponctuels (adiabatique, quasistatique, modal, nodal, synthèse), méthodes numériques (ordre faible et élevé) et analogiques de calcul, codes.

#### N-630 GESTION DE COMBUSTIBLE

Le cycle de combustion. Gestion de combustible hors-pile. Objectifs de la gestion du combustible en pile. --Le spectre des neutrons, les sections efficaces et les rendements. Le traitement des données et la création de fichiers nucléaires. --Changements dans la composition nucléaire du combustible sous irradiation. Calculs simplifiés et calculs détaillés. --Influence du comportement du combustible sur l'exploitation du réacteur. --Méthodes de gestion du combustible. Rechargement à l'arrêt. Rechargement en marche. --Le problème de la gestion optimale.

## N-651 LABORATOIRE DE NEUTRONIQUE

Normes de sécurité. Blindages. Détection des neutrons: compteurs et activation. Facteurs correctifs liés aux mesures par activation. Carte de flux. Longueurs de ralentissement et de diffusion en milieu non multiplicateur. Indices de spectre, rapport Cadmium. Simulation analogique des poisons et de la dynamique d'un réacteur critique. Zone asymptotique et Laplaciens radial et axial d'un réseau sous-critique. Technique des neutrons pulsés, mesure de paramètres cinétiques et de la réactivité.

		1974-75		1975-76	
AMIGOT, L. Dubois, G. Delorme, G. Rozon, D.	Bonin, H. Forté, R. Hébert, A. Pageau, R.	HQ(C)	\$24,950	\$32,000	Gestion optimale du combustible dans une centrale nucléaire CANDU
BOISVERT, J.		CNRC(C)		\$200,000	Réacteur nucléaire SLOWPOKE
BOISVERT, J.	Lanoie, R.	CNRC	\$5,000	\$4,875	Mesure de la fraction de vide dans un canal de réacteur nucléaire de géométrie complexe, à l'aide du ralentissement des neutrons
GODBOUT, P.-J. Houle, J.-L.	Durand, G.	CNRC	\$4,000	\$5,850	Établissement d'un programme numérique pour l'étude qualitative et quantitative d'arbres logiques (Phase II)
GODBOUT, P.-J. Granger, L. Hoang, H.H. Houde, J. Deslauriers, G. Atchison, P.J.	Brais, A.	CCCA(C)	\$850	\$23,000	Probabilités et sévérités des risques d'accidents d'azion au-dessus de centrales nucléaires
GODBOUT, P.-J. Drapeau, A.-J.	Trenblay, L.	POLY			Étude des effets d'une centrale nucléaire sur son environnement
GODBOUT, P.-J. Miller, R. Smith, L.	Brais, A.	MICC	\$12,400		Étude d'optimisation des apports bénéfiques à la société, des investissements gouvernementaux en recherche-développement dans l'industrie
PASKIEVICI, W.	Joyal, A.	CNRC	\$8,000	\$6,825	Cartographie du flux d'un réacteur nucléaire
PASKIEVICI, W.	Oelome, G.	CNRC			Étude sur la dynamique d'un réacteur unidimensionnel
PASKIEVICI, W.	Ishack, G.	CNRC			Précision du modèle nodal en dynamique des réacteurs
PASKIEVICI, W. Armijon, P. Dubois, G. Tapucu, A.	Pageau R.	CCCA(C)	\$40,500	\$47,300	Développement des codes dynamiques pour l'analyse de sécurité des réacteurs nucléaires CANDU
PASKIEVICI, W.	Hanna, S.	CNRC			Études paramétriques en dynamique des réacteurs à une dimension
PASKIEVICI, W.	Dupont, P.	POLY			Simulation du circuit primaire de caloportage de la centrale nucléaire de Gentilly-2
PASKIEVICI, W.	Prévost, A.				Simulation hybride des réacteurs
PASKIEVICI, W.		SECUR(C)	\$4,050		Étude sur les usines d'enrichissement d'uranium et leur environnement
TAPUCU, A.		CNRC CNRC(E)	\$5,000	\$1,705 \$8,000	Étude de l'influence de deux écoulements parallèles croisant par une fente latérale
TAPUCU, A.	Bussières, G.	EACL(C)		\$25,850	Échange de masses et oscillations radiales entre deux écoulements parallèles croisant par une fente latérale

Historical records of research at the Institut

(1974-1976)

ANNEXE 4

Liste des documents 1971

(1971-1972)

No. TRS	Auteur	TITRE	Date
117	ARNOF, G.	Rapport annuel 1973-1974	Juin 1974
118	PACHENON, K.	Aspects économiques de l'énergie nucléaire. (Cours offert aux ingénieurs de Wandouargues-3, Hydro-Carbone)	Juillet 1974
119	MICHON, J.	Traitement des déchets et de contaminants. (Cours offert aux ingénieurs de Wandouargues-3, Hydro-Carbone)	Juillet 1974
120	GALLET, G.	Thermique du réacteur. (Cours offert aux ingénieurs de Wandouargues-3, Hydro-Carbone)	Juillet 1974
121	ARNOF, G.	Théorie de la commande. (Cours offert aux ingénieurs de Wandouargues-3, Hydro-Carbone)	Juillet 1974
122	PACHENON, K.	Description simplifiée d'une centrale. (Cours offert aux ingénieurs de Wandouargues-3, Hydro-Carbone)	Juillet 1974
123	MICHON, J.	Contrôle de la centrale nucléaire. (Cours offert aux ingénieurs de Wandouargues-3, Hydro-Carbone)	Juillet 1974
124	GALLET, G.	Ingénierie du réacteur. (Cours offert aux ingénieurs de Wandouargues-3, Hydro-Carbone)	Juillet 1974
125	PACHENON, K.	Les filières de puissance. (Cours offert aux ingénieurs de Wandouargues-3, Hydro-Carbone)	Juillet 1974
126	ARNOF, G.	A contribution to the Assessment Element from Federal Health and Safety as Related to the Safety Evaluation of Nuclear Power Stations. (Report soumis à la Commission de Contrôle de l'Énergie Atomique - Centre 19-E-1)	Juillet 1974
127	ARNOF, G.	Prescription générale relative à l'installation de l'Alpine Iu., Saint-Sauveur, le 12 juillet 1974	Juillet 1974

128	COOPER, P.	An Outline of a New Proposed Probabilistic Methodology for Assessing Risks Associated with the Operation of Nuclear Installations. (Seminar presented at BNFL)	septembre 1975
129	ARMOUR, A.	Développement d'une méthode d'analyse pour le calcul et la propagation des incertitudes multidimensionnelles. (Méthode de Monte-Carlo)	octobre 1975
130	ARMOUR, A.	Théorie des réacteurs. (Note de travail N. 101 de BNFL)	septembre 1975
131	ARMOUR, A.	Etude de méthodes pour l'analyse des réacteurs comparées par un "test" différent. (Rapport interne, Niveau 1)	octobre 1975
132	ARMOUR, A.	Méthode en circulation de "quelque support" pour l'analyse des réacteurs et l'évaluation de la sûreté	septembre 1975
133	ARMOUR, A.	Revue de la production de vapeur. (Rapport "Management")	octobre 1975
134	ARMOUR, A.	Statistiques. Une présentation simplifiée pour l'usage généralisé et pratique. (Rapport "Management")	novembre 1975
135	ARMOUR, A.	The importance of Flux Loop Currents in Reactor Kinetics Calculations. (Communication présentée au "REACTOR-KIN" symposium meeting on New Developments in Reactor Kinetics and Review of Kinetics Software Calculations", Oxford, (FEI))	Janvier 1976
136	BELLET, J.	Laboratoires de réacteurs nucléaires - Organisation, mesures d'hygiène et de sécurité - Réacteurs à haute température	Janvier 1976
137	BELLET, J.	Applications de la théorie des perturbations en réaction du combustible. (Rapport technique pour le compte de l'Atome-Québec)	Janvier 1976
138	BELLET, J.	Formulation de réacteurs à neutrons rapides déterminés par des réacteurs de Fourrier. (Rapport technique pour le compte de la BNFL)	Janvier 1976

139	GOLDBERG, E.	A Logic Modeling Approach to the Qualitative and Quantitative Analysis of Reactor Safety Systems with Applications. (Invited paper, Technical Reliability and Maintainability Coordination Meeting, Hydro-Québec)	Novembre 1975
140	BARBOUR, A.	Les méthodes statistiques en cinétique des réacteurs. (Mémorial de mathématiques)	Juillet 1975
141	BARBOUR, A.	Effets des radiations et éléments de radioprotection. (Notes de cours N.605)	Juillet 1975
142	GOLDBERG, E.	Le réacteur columbien. (Rapport technique)	mai 1975
143	ROBERT, G.	Les transmutés - I (Rapport technique)	mars 1975
144	ROBERT, G.	Numerical Solution of Differential Equations in Reactor Calculations. (Conférence présentée à Montréal)	avril 1975
145	CHARRIERE, M.	Caractéristiques générales des réacteurs. (Notes de cours N.617)	avril 1975
146	CHARRIERE, M.	Principes de dynamique d'un réacteur nucléaire. (Mémorial de mathématiques)	mars 1975
147	CHARRIERE, M.	Les réacteurs de cycle nucléaires I (N.608)	avril 1975
148	ASPIN, J.	Méthodes numériques - un cours d'histoire. (Communication présentée au séminaire de la Société québécoise des "Techniciens d'Ingenierie de l'Electricité" (IAEPA), à Québec, le 16 mai 1975)	avril 1975
149	HARRISON, A.J.	State of the Art Report on the Safety of Nuclear Power Plants. (Rapport technique)	avril 1975
150	KIRKOFF, R. (éd.)	A Simulation Methodology to Predict Accidents - I. (European Simulation Conf., Hotel Sheraton, Zurich, 28-30 juin 1975)	Juin 1975
151	KIRKOFF, R. (éd.)	A Generalized Methodology for the Probabilistic Assessment of Aircraft Crash on Nuclear Power Plants. (AEC Annual Meeting, Washington, June 3, 1975)	Juin 1975

152	TAPUCC, A.	Diversion Cross-Flow Between Two Parallel Flows Communicating by a Lateral Slot. (ANS Annual Meeting, New Orleans, June 8-13, 1975)	juin 1975
153	FAKJEVICI, M.	Etudes en cinétique et dynamique espace-temps des réacteurs. (Communication présentée au Congrès annuel de l'Association canadienne des physiciens, 10 juin 1975)	juin 1975
154	SAKHEVICH, M. S. D.	Etat des installations nucléaires françaises. (Cours de Franco-québécois)	mai 1975
155	DEWISSE, L. G. M.	prediction of Non-Equilibrium in the Post-Burner Engine. (Invited paper presented at the FICM Canadian Congress of Applied Research, U. of New-Brunswick, Fredericton) mai 1975	
156	NOEL, R. et BOUDET, G.	Deuxième phase du projet de recherche en réaction du combustible. (Rapport d'avancement)	août 1975
157	BOND, R.	Mécanisme d'une approche d'optimisation pour la réaction du combustible des réacteurs nucléaires CANDU. (Mémoire de maîtrise)	septembre 1975
158	ATYAT, I.	La conservation de l'énergie. (Article rédigé à l'intention de la revue L'ingénieur)	octobre 1975
159	BRACHWILL, W.	L'énergie nucléaire : perspectives actuelles. (Article rédigé à l'intention de la revue L'ingénieur)	octobre 1975
160	TAPUCC, A.	Axial Pressure Variations of Two Parallel Flows Communicating by a Slot. (Communication présentée au Winter Meeting of the ANS, San Francisco)	novembre 1975
161	ANNOT, L.	L'énergie. (Notes de cours N.505)	décembre 1975
162	ROYAL, A.	Détermination de la carte de flux d'un réacteur. (Mémoire de maîtrise)	janvier 1976
163	GORECHU, I.	Particule no 1 - l'eau lourde. (Notes de cours N.664)	janvier 1976

164	AMYOT, L.	Manpower Requirements in the Nuclear Field. (Address to CNA Student Conference held in Kingston, March 26-27, 1976)	mars 1976
165	PASKIEWICZ, W.	L'énergie nucléaire : aspects techniques et humains. (Communication présentée au IV <sup>e</sup> Symposium du Conseil québécois de l'environnement)	avril 1976
166	BOISVERT, J.	Opération du réacteur SLOWPOKE-2 de l'Ecole Polytechnique. (Rapport technique RP76E-16)	avril 1976
167	CONFERENCIERE	Compléments de génie nucléaire I (N.666)	avril 1976
168	AMYOT, L.	L'énergie dans une société de conservation. (Contribution au projet GAMMA sur "La société de conservation". Texte révisé)	avril 1976
169	PAGEAU, P.	Application des méthodes TCNR et des séries de Fourier aux problèmes bi-dimensionnels en physique des réacteurs. (Mémoire de maîtrise)	avril 1976
170	BELORE, G. et GROBEVILLI, P.C.	Prediction of Thermal Non-equilibrium in the Post-layout Regime. (Publication dans Nuclear Engineering and Design 36 (1976)17-26. EACL-8289)	avril 1976
171	PASKIEWICZ, W.	Le personnel d'ingénierie. (Communication présentée au premier colloque Augustin-Erilon, Ecole Polytechnique)	mai 1976
172	AMYOT, L.	Conclusions générales. (Premier Colloque Augustin-Erilon, Ecole Polytechnique)	mai 1976
173	PASKIEWICZ, W.	2D-1 Solution of a Benchmark Problem in Heavy Water Reactors. (Communication présentée au "1976 Simulation Symposium on Reactors Dynamics and Plant Control", Sheridan Park - April 19-20, 1976)	avril 1976
174	STHACK, G.	La prédiction du modèle nodal en dynamique des réacteurs. (Mémoire de maîtrise)	décembre 1975
175	PASKIEWICZ, W.	Nuclear Engineering Programs at Ecole Polytechnique. Paper presented at the Joint ANS/CNA Meeting on "Nuclear Energy and Society", Toronto June 13-18	juin 1976



Liste des conférenciers invités à l'Institut

(197-1976)

HIVER 1975

Conférencier	Titre	Sujet	Date
MOICK, E.O.	Reactor Control Branch, EACL Chalk River	Simulation du ballon à vapeur	17 janvier
ARMINJON, P.	Centre de recherches mathématiques, U de M	Méthode des éléments finis. Application à la théorie de la diffusion	24 janvier
TAPUCU, A.	Professeur titulaire, IGN	Mélange entre les sous-canaux	6 février
BOISVERT, J.	Professeur agrégé, IGN	Mesure de la fraction de vide dans les écoulements à deux phases	6 février
PON, G.A.	General Manager, EACL Sheridan Park	L'avenir du système CANDU	14 février
MANSEAU, M.	Vice-président et Adjoint du président Marine Industrie Limitée	L'industrie lourde et le génie nucléaire	21 février
MCDONNELL, F.N.	Advanced Projects and Reactor Physics Division, EACL Chalk River	Reactor Dynamics Analysis at CRNL	28 février
PASKIEVICI, W.	Professeur titulaire, IGN	Le modèle quasi-statique en cinétique des réacteurs	7 mars
GODBOUT, P.	Professeur agrégé, IGN	Les méthodes probabilistes et les études de fiabilité	20 mars
DUBOIS, G.	Associé professionnel de recherche, IGN	Gestion du combustible ou cinétique espace-temps	20 mars
MORISON, W.G.	Assistant Director of Generation Projects, Ontario Hydro	Nuclear Power in Ontario	3 avril
MERILLO, M.	Advanced Projects and Reactor Physics Division, EACL Chalk River	Some Fluid Mechanics and Heat Transfer Aspects of Coolant Flow in Reactor Fuel Channels	4 avril
HARMS, A.A.	Associate Professor, McMaster U	The Gas Target Neutron Generator Fast Neutron Damage	11 avril

CONFÉRENCES DE BÉNÉVOLES

HIVER 1976

Conférencier	Titre	Sujet	Date
HAMEL, P.	Directeur, Recherche et Coordination, Commission de Contrôle de l'Énergie Atomique	Le problème des garanties et l'industrie nucléaire	16 janvier
TAPUCU, A.	Professeur titulaire, IGN	Recherches sur les écoulements en deux phases	22 janvier
ARMAND, G.	Ingénieur, Hydro-Québec	Techniques de bruits appliquées aux réacteurs nucléaires	29 janvier
CRITOPH, E.	Director, Fuels and Materials Division EAEL	Le cycle du thorium	6 février
ALAMI, R.	Ingénieur, Hydro-Québec	Etude du marché des réacteurs	19 février
GAUTHIER, G.	Gérant, Assurance-qualité, Combustion Engineering Super Heater Ltd.	Le contrôle de la qualité	20 février
PASKIEVICI, W.	Professeur titulaire, IGN	Simulation des centrales nucléaires	27 février
BOISVERT, J.	Professeur agrégé, IGN	Le réacteur SLOWPOKE	4 mars
GROENEVELD, D.	Advance Engineering Branch, EAEL	Le post-assèchement dans les canaux de caloportage	5 mars
GODBOUT, P.	Professeur agrégé IGN	L'effet d'un impact extrême sur une centrale CANDU	11 mars
D'ARCY, D.	Advance Engineering Branch, EAEL	Les problèmes d'instabilité dans les écoulements	12 mars
ATCHISON, R.	Direction des permis, CCLA	Sûreté des centrales CANDU	19 mars