

Le rôle de l'énergie nucléaire dans le cadre d'un plan énergétique national: cours de formation de l'AIEA destiné aux pays en voie de développement

par J.P. Charpentier

INTRODUCTION

L'histoire de l'évolution des diverses techniques énergétiques nous apprend qu'il s'écoule très souvent un minimum de 25 à 30 ans pour faire passer une nouvelle technologie du stade de laboratoire au stade commercial. Très souvent une vingtaine d'années supplémentaires sont encore nécessaires pour que celle-ci occupe une place substantielle du marché énergétique. Or la plupart des sources énergétiques non conventionnelles en sont encore aux premiers stades de développement, seules quelques unes d'entre elles ont atteint le niveau du prototype de démonstration. Il s'ensuit donc que pour de nombreuses décennies encore les besoins énergétiques ne pourront être satisfaits qu'à partir des sources et des techniques actuellement éprouvées et disponibles.

S'il est certain que tous nos efforts doivent tendre à développer toutes les sources énergétiques possibles, il n'en reste pas moins que seuls les combustibles fossiles et nucléaires, et à un moindre degré l'hydro-électricité, sont les principales options qui s'offrent à l'humanité jusqu'à la fin de ce siècle et même peut-être au-delà. Bien évidemment ceci n'exclut pas la possibilité du recours, dans des situations locales très spécifiques, à l'énergie solaire, ou à l'utilisation de la biomasse, mais il est impossible qu'à l'échelle globale ces formes d'énergie jouent un rôle primordial dans la balance énergétique mondiale de ce siècle.

A l'échelle de chaque pays, qu'il soit déjà très largement industrialisé ou en voie de développement, la mise sur pied d'un plan énergétique doit lui permettre de mieux appréhender ses futurs besoins et de déterminer les options techniques qui les satisferont au mieux, compte tenu de ses contraintes propres liées à ses ressources, son infrastructure industrielle, sa main d'œuvre disponible et bien évidemment ses capacités financières.

PRINCIPES DE BASE ET OBJECTIFS DU COURS

C'est donc en vue d'aider les pays en voie de développement* à mettre sur pied de tels plans énergétiques que l'AIEA a organisé avec l'aide du Commissariat à l'énergie atomique français (CEA), du Centre des Nations Unies pour les ressources naturelles, l'énergie et le transport (UNCNRET) et de la Banque mondiale (BIRD) un cours de formation dont l'objectif est de permettre aux spécialistes de la planification énergétique de mieux situer le rôle que pourrait jouer l'énergie nucléaire dans les plans énergétiques nationaux.

J.P. Charpentier fait partie de la Section des études économiques, Division de l'énergie d'origine nucléaire et des réacteurs de l'AIEA.

* La notion de pays en voie de développement est un concept difficile à définir avec précision. Pour ce paragraphe relatif à la situation de l'énergie nucléaire, seuls les pays à économie de marché pouvant recevoir une assistance technique des Nations Unies ont été retenus.

Avant de regarder en détail la structure de ce cours, il est bon de rappeler brièvement la situation du développement de l'énergie nucléaire dans les pays en voie de développement.

Au 1er janvier 1980, il y avait dans le monde huit pays en voie de développement avec des centrales nucléaires qui étaient soit en fonctionnement, soit en construction ou sous commande ferme (cf. tableau 1). Les huit réacteurs actuellement en fonctionnement représentent une puissance de l'ordre de 2800 MW (e), les 22 réacteurs en construction une puissance de quelque 15 000 MW (e), et un réacteur en commande ferme en Argentine aura une puissance de 560 MW (e).

Le tableau ci-après résume la situation.

	Nombre de pays	Liste des pays	Nombre de centrales	Puissance (MWe)
En fonctionnement	5	Argentine, Corée (République de), Inde, Pakistan, Taïwan	8	2 844
En construction	7	Argentine, Brésil, Corée (Rép. de), Inde, Mexique, Philippines, Taïwan	22	15 021
En commande	1	Argentine	1	560
Total	13		31	18 425

Ce cours sur le rôle de l'énergie nucléaire dans le cadre d'un plan énergétique national n'est évidemment pas réservé à ces huit pays déjà engagés dans l'utilisation de l'énergie nucléaire, il est ouvert à tous les pays en voie de développement membres de l'Agence (cf. liste au tableau 2). Son but n'est pas en effet la promotion systématique du nucléaire mais au contraire de permettre à chaque pays de faire un choix conscient et objectif entre les diverses options énergétiques qui s'offrent à lui. Une attention toute particulière est donnée aux liens, trop souvent ignorés, qui existent entre les choix des sources énergétiques primaires et les besoins en énergie des consommateurs finaux.

Pour chaque forme possible d'énergie primaire (pétrole, gaz, charbon, hydro-électricité, nucléaire, solaire, géothermie, biomasse, etc.) un inventaire systématique des bénéfices et des contraintes est présenté de façon à sensibiliser les participants aux aspects complémentaires des divers types d'énergie.

PARTICIPATION ET STRUCTURE DU COURS

Plusieurs pays Membres ne se sont pas trompés sur l'objet de ce cours puisque, parmi la liste des participants, quelques-uns appartiennent à des pays qui jusqu'à aujourd'hui n'ont

Tableau 1. Centrales nucléaires dans les pays en développement (janvier 1980)

Pays	Nom de la centrale	Type	Puissance électrique nette	Etat actuel	Année de mise en service
Argentine	Atucha-1	PHWR	345	en service	1974
	Embalse	PHWR	600	en construction	1981
	Atucha-2	PHWR	560	commandée	1987
Brésil	Angra 1	PWR	626	en construction	1980
	Angra 2	PWR	1245	en construction	1985
	Angra 3	PWR	1245	en construction	1986
Corée (Rep. de)	Kori 1	PWR	564	en service	1978
	Kori 2	PWR	605	en construction	1983
	Wolsung-1	PHWR	629	en construction	1982
	Korea Nuclear 5	PWR	900	en construction	1984
	Korea Nuclear 6	PWR	900	en construction	1985
	Korea Nuclear 7 et 8	PWR	1539	en construction	1985/86
Inde	Tarapur 1	BWR	198	en service	1969
	Tarapur 2	BWR	198	en service	1969
	Rajasthan 1	PHWR	206	en service	1973
	Rajasthan 2	PHWR	207	en construction	1980
	Kalpakkam 1	PHWR	220	en construction	1981
	Kalpakkam 2	PHWR	220	en construction	1983
	Narora 1	PHWR	220	en construction	1984
	Narora 2	PHWR	220	en construction	1985
Mexique	Laguna Verde 1	BWR	654	en construction	1982
	Laguna Verde 2	BWR	654	en construction	1983
Pakistan	Kanupp	PHWR	125	en service	1972
Philippines	PNPP-1	PWR	621	en construction	1984
Taiwan	Chin-san-1	BWR	604	en service	1977
	Chin-san-2	BWR	604	en service	1978
	Kuosheng-1	BWR	951	en construction	1981
	Kuosheng-2	BWR	951	en construction	1982
	Nuclear No 5	PWR	907	en construction	1984
	Nuclear No 6	PWR	907	en construction	1985

Abréviations: PHWR: Réacteur à eau lourde sous pression
PWR: Réacteur à eau légère sous pression
BWR: Réacteur à eau bouillante

montré qu'un intérêt limité pour l'utilisation de l'énergie nucléaire (cf. tableaux 3 et 4)*.

A ce jour, deux cours de formation ont déjà été organisés. Ils ont eu lieu au Centre d'études nucléaires de Saclay (INSTN - France) et se sont déroulés en langue française. L'un a

* Le tableau 3 est une tentative de classification des pays en voie de développement en fonction de leurs intentions vis-à-vis de l'énergie nucléaire. En dehors des pays qui n'ont jamais signalé leur intérêt nucléaire (stade 0), trois catégories ont été retenues: Stade 1: pays ayant démarré quelques études, stade 2: pays construisant des réacteurs nucléaires, enfin stade 3: pays possédant déjà des réacteurs en fonctionnement. Cette classification est issue d'une étude plus détaillée présentée au Colloque sur les besoins et la formation de personnel nécessaire aux programmes nucléaires [1].

Tableau 2. Pays en développement Membres de l'AIEA

Afghanistan	Libéria
Albanie	Madagascar
Algérie	Malaisie
Arabie Saoudite	Mali
Argentine	Maroc
Bangladesh	Maurice
Birmanie	Mexique
Bolivie	Mongolie
Brésil	Nicaragua
Bulgarie	Niger
Chili	Nigeria
Chypre	Ouganda
Colombie	Pakistan
Corée, République de	Panama
Costa Rica	Paraguay
Côte-d'Ivoire	Pérou
Cuba	Philippines
Egypte	Pologne
El Salvador	Portugal
Emirats arabes unis	Qatar
Equateur	République Arabe Syrienne
Ethiopie	République Dominicaine
Gabon	République-Unie du Cameroun
Ghana	République-Unie de Tanzanie
Grèce	Roumanie
Guatemala	Sénégal
Haïti	Sierra Leone
Hongrie	Singapour
Inde	Soudan
Indonésie	Sri Lanka
Irak	Tchécoslovaquie
Iran	Thaïlande
Islande	Tunisie
Jamahiriya Arabe Libyenne	Turquie
Jamaïque	Uruguay
Jordanie	Venezuela
Kampuchea démocratique	Viet Nam
Kenya	Yougoslavie
Koweït	Zaïre
Liban	Zambie

88 **Tableau 3. Classification des pays en développement en fonction du stade de développement de l'énergie d'origine nucléaire**

Stade 3: Exploitation	Stade 2: Construction	Stade 1: Etudes	Stade 0: Pré-planification
Argentine Corée (République de) Inde Pakistan Taïwan	Brésil Mexique Philippines	Algérie Arabie Saoudite Bangladesh Chili Colombie Cuba Egypte Equateur Grèce Indonésie Irak Iran Jamahiriya Arabe Libyenne Jamaïque	Jordanie Koweït Malaisie Maroc Panama Pérou Portugal République Arabe Syrienne Singapour Sri Lanka Thaïlande Turquie Uruguay Venezuela
Autres pays en développement			
Nombre de pays	5	3	28

duré neuf semaines en mai-juin 1978 et l'autre sept semaines en mai-juin 1979. Un troisième cours en français est prévu cette année du 12 mai au 27 juin 1980 et un quatrième en anglais au Centre d'études nucléaires de Karlsruhe (République fédérale d'Allemagne) est envisagé pour 1981.

Tableau 4. Participation par pays au cours de formation

Pays	Nombre de participants		Total	Stade (cf. tableau 3)	Année prévue pour la mise en exploitation de l'énergie d'origine nucléaire (jusqu'à l'an 2000)
	Session 1978	1979			
Afrique du Nord					
● Algérie	4	5	9	1	2000
● Maroc	5	2	7	1	—
Moyen-Orient					
● Egypte	2		2	1	1990
● Irak	1		1	1	2000
● Liban	1		1	0	—
● République Arabe Syrienne	1		1	1	—
Afrique					
● Gabon		1	1	0	—
● Mali		1	1	0	—
Amérique latine					
● Argentine		1	1	3	En exploitation
● Bolivie		1	1	0	—
● Brésil	1	5	6	2	1985
● Chili	1	1	2	1	1990
● Colombie	2		2	1	2000
● Guatemala		1	1	0	—
● Mexique	2		2	2	1985
Extrême-Orient					
● Bangladesh	1		1	1	—
● Corée, Rép. de		3	3	3	En exploitation
● Indonésie	1		1	1	1990
● Singapour	1		1	1	—
● Viet Nam		2	2	0	—
Europe orientale					
● Bulgarie	3	2	5	3	En exploitation
● Hongrie		1	1	2	1985
● Pologne	1	1	2	1	1990
● Roumanie	2		2	1	1990
● Tchécoslovaquie	1	2	3	3	En exploitation
● Yougoslavie	1	1	2	2	1985
<hr/>					
Total (26 pays)	31	30	61		

Chacun des deux premiers cours a été suivi par environ 30 participants, couvrant en tout 26 pays en voie de développement (cf. tableau 4). Le niveau des participants tant en ce qui concerne leur formation académique que leur position hiérarchique dans leur pays respectif fut généralement très élevé. Plusieurs d'entre eux occupaient les positions de responsables de la planification énergétique soit dans des commissions nationales, soit dans des firmes de production d'électricité.

Le cours lui-même comprend deux modules d'une durée équivalente d'environ trois semaines (cf. programme détaillé en annexe). Entre les deux modules une semaine de visites techniques est prévue dans diverses firmes et centres de recherche.

Le premier module est consacré à l'analyse technique des diverses options énergétiques. Dans un premier temps les conférenciers font l'inventaire des ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables, puis ils présentent l'analyse comparative des diverses chaînes énergétiques (c'est-à-dire de la mine jusqu'au produit énergétique demandé par le consommateur final), enfin cette partie se termine par l'analyse de l'utilisation rationnelle de l'énergie dans divers contextes économiques. (Les aspects écologiques et de sûreté font partie intégrante de ce programme). A la fin du module, deux ou trois participants présentent en général la situation énergétique dans leurs propres pays, ce qui fournit l'occasion de discuter sur des cas d'études concrets.

Le second module est, lui, totalement orienté vers l'aspect économique et les techniques de comparaison des options énergétiques possibles. Les exposés de cette seconde partie du cours débutent par les questions relatives à la relation entre la croissance macro-économique et les besoins énergétiques. Puis quelques cas d'étude sont présentés. Dans la mesure du possible ces exposés sont réalisés par les participants eux-mêmes et sont discutés lors des tables rondes. Viennent ensuite une série de conférences dont l'objet est la présentation et la comparaison des techniques et modèles économétriques qui peuvent être utilisés pour réaliser des prévisions en matière de planification énergétique. Ce second module se termine par l'examen des questions liées à l'aspect financier des investissements énergétiques dans les pays en voie de développement. Les exposés et tables rondes conduits par des représentants de la Banque mondiale furent toujours écoutés et discutés avec la plus grande attention.

Le succès que ce cours a rencontré jusqu'à ce jour est grandement dû à la fois aux pays membres qui ont toujours envoyé des représentants de très haute qualité et à la coopération apportée par les autres organisations participantes, à savoir: le Centre des Nations Unies pour les ressources naturelles, l'énergie et le transport (UNCNRET), la Banque mondiale (BIRD), l'Agence internationale de l'énergie (AIE/OCDE), l'Institut international d'analyse appliquée des systèmes (IIAAS) et, en particulier, l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) de Saclay.

Référence

- [1] Csik, B.J., «Manpower requirements for nuclear power in developing countries», IAEA-SM-238/42 (Proc. Symp., Vienne, 1980) IAEA, Vienne (1980) 11.

ANNEXE: PROGRAMME DU COURS ORGANISE DU 14 MAI AU 29 JUIN 1979

MODULE N° 1: UTILISATION, GESTION ET MISE EN ŒUVRE DE L'ÉNERGIE (14 mai–1er juin 1979)

Présentation du cours (1 journée).
Problèmes généraux de l'analyse énergétique.

A. Sources d'énergie (6 jours)

1. Inventaire des ressources.

- Ressources non renouvelables.
 - Inventaire mondial des ressources non renouvelables (charbon, pétrole, gaz, combustible nucléaire). Répartition géographique.
 - Consommation, utilisation des ressources non renouvelables. Bilan actuel et perspectives d'avenir.
 - Ressources d'intérêt régional: leur importance.
- Ressources renouvelables.
 - Inventaire des ressources renouvelables (hydraulique, soleil et biomasse, mer, vent, etc.).
 - Perspectives comparées d'utilisation de ces ressources – répartition géographique.
- Table ronde: les ressources énergétiques dans le monde.

2. Introduction aux aspects techniques liés à l'exploitation des ressources énergétiques.

- Energie nucléaire.
 - Principe de fonctionnement des réacteurs.
 - Généralités sur les différents types de centrales nucléaires et sur le cycle du combustible.
 - Films: Les réacteurs PWR-U.
 - Extraction du minerai – concentration – conversion.
 - Enrichissement de l'uranium: les techniques – les capacités de production – les coûts.
 - Fabrication des éléments combustibles.
 - Retraitement – déchets – effluents.
 - Choix du type et de la puissance d'un réacteur; adaptation au réseau électrique existant; cas particulier des centrales mixtes (électricité – chaleur).
 - Economie de l'énergie nucléaire: investissement – exploitation – combustible.
 - Etapes nécessaires pour le lancement d'un programme électronucléaire.
- Table ronde: Energie nucléaire et pays en voie de développement.
- Energie solaire.
 - Généralités: état actuel et perspectives d'utilisation de l'énergie solaire: différentes filières et problèmes techniques.
 - Centrales solaires de puissance: problèmes techniques.
 - Economie de l'énergie solaire: coût de l'investissement et de l'exploitation pour les différents types d'installations.
 - Etude de cas: Energie solaire et pays en voie de développement.

B. Analyse comparative des différentes sources d'énergie exploitables (6 jours)

1. Problèmes techniques et économiques intervenant dans le choix d'une chaîne énergétique: Introduction.

- Enoncé et poids relatif des différentes contraintes techniques et économiques directes pour l'exploitation du charbon, du pétrole, du nucléaire, du solaire, etc.
 - traitement et retraitement des différents combustibles,
 - réseau d'alimentation en combustible (oléoduc, gazoduc – transport),
 - contraintes sur le choix du site de production,
 - réseau de distribution de l'énergie,
 - distribution des coûts d'investissement et d'exploitation.
 - Exemple du nucléaire: choix du site.
2. Facteurs nécessaires au développement et à l'exploitation des différentes sources énergétiques.
- Environnement industriel et humain – industrie locale – formation du personnel.
 - Opinion publique.
 - Etude de cas: nucléaire – solaire – hydraulique et thermique classique – coût de l'investissement et coût de l'exploitation.
3. Analyse de diverses chaînes énergétiques. Energie primaire – secondaire – finale et utile.
- Mazout – charbon.
 - Energie solaire.
 - Energie nucléaire.
 - Table ronde sur l'analyse de diverses chaînes énergétiques.
4. Nuisances.
- Introduction: protection et sûreté.
 - Sécurité: concepts, principes et méthodes.
 - Comparaison des risques pour différents programmes énergétiques.
 - La sûreté nucléaire – bilan et tendances. Etude de cas: évaluation d'un risque.
5. Table ronde sur les risques de transport des combustibles classiques et nucléaires.
- C. Utilisation rationnelle de l'énergie (2 jours)
1. Satisfaction des divers besoins énergétiques.
- Les besoins: répartition et importances respectives.
 - Rôle spécifique de l'énergie électrique.
2. Etudes de cas.
- Pays en voie de développement ayant déjà une expérience nucléaire (exemple: Brésil).
 - Pays en voie de développement importateurs de pétrole (exemple: Israël).
 - Pays en voie de développement utilisant l'énergie solaire (exemple: Niger).
 - Table ronde: discussion sur l'ensemble du module n° 1.

VOYAGES D'ETUDES (5 juin–8 juin)

5 juin: Framatome: Usine du Creusot; usine de Chalon-sur-Saône.

6 juin: Electricité de France: Site nucléaire du Bugey.

7 juin: Matin: Eurodif: Usine d'enrichissement de l'uranium, en construction, sur le site du Tricastin.

Après-midi: Commissariat à l'énergie atomique/Electricité de France: Centrale nucléaire (surrégénérateur) Phénix, à Marcoule.

- 8 juin: Commissariat à l'énergie atomique — Centre d'études nucléaires de Cadarache:
- Installations de recherches solaires,
 - Halls d'essais des départements des réacteurs à eau et des réacteurs à neutrons rapides.

MODULE N° 2: ECONOMIE ET PLANIFICATION DE L'ENERGIE
(11 juin—29 juin)

A. Le problème de l'énergie et du développement économique au niveau mondial — aspects généraux (2 jours)

1. Lien: énergie — croissance économique.
2. Les prévisions récentes en matière d'énergie: problèmes présents et à venir.
3. Interdépendance entre pays industrialisés et pays en voie de développement.
4. Les principaux problèmes du développement économique du Tiers-Monde.
5. Problèmes liés au développement du nucléaire dans le Tiers-Monde.

B. Présentation du problème de l'énergie dans les pays en voie de développement (2 jours)

1. Energie et pays en voie de développement.
2. Problèmes de données et de projections dans les pays en voie de développement.
3. Présentation d'un cas concret: l'Algérie.
4. Un second cas concret: La Côte d'Ivoire.

C. Exposés de quelques techniques de prévision et de planification (5 jours)

1. Rôle d'un modèle global simple.
 - Un modèle global: le modèle IIASA.
 - Réflexion en groupes sur l'application de ce modèle à un cas concret ou un cas fictif établi à partir des données réelles de ces pays.
2. Notions de macro-économie.
 - La comptabilité nationale, les agrégats — les matrices entrées-sorties — exercices d'application.
 - Bilans énergétiques dans les pays en voie de développement.
3. Les méthodes utilisées dans les pays industrialisés peuvent-elles être transférées dans un pays en voie de développement?
 - Exposé d'un modèle de demande et d'un modèle d'offre.
 - L'analyse de la demande en énergie — Le modèle MEDEE.
 - Le graphe sources-usages — l'utilisation des sources: le modèle EFOM.
 - Exposé de la situation française.
 - La planification énergétique française. Les objectifs et les méthodes — présentation par un expert du plan, suivie d'un débat entre: a) un représentant de l'Etat, b) un industriel, c) un syndicaliste.
 - Prévision de la consommation d'électricité face à la planification énergétique globale. Débat entre Ministère (Direction de l'Electricité), producteur d'électricité (EdF) et Agence pour les économies d'énergie.
 - Discussion sur le transfert des méthodes aux cas des pays en voie de développement.
 - Reprise de la réflexion sur la planification en pays en voie de développement à l'issue des exposés de 3● et 3●●.
 - Réflexion sur l'applicabilité en pays en voie de développement des modèles MEDEE, EFOM, IIAAS.

D. Le financement des investissements (2 jours)

1. Méthodes utilisées pour le choix des investissements.

- Le choix des investissements – généralités.
- Les méthodes d'actualisation et exercices d'application.
- Critique d'un banquier.
- Table ronde sur le financement des investissements.

2. Analyse économique et analyse financière.

- Les règles de financement privé – la rentabilité financière et décision.
- Financement des investissements publics: considérations économiques et considérations financières.
- Tarification, confrontation: tarification au coût marginal, tarification au coût moyen.

E. Les sources de financement des investissements des pays en voie de développement (1 jour)

1. Principes, interventions, critères des:

- Organismes internationaux
 - BIRD
 - Autres banques internationales de développement.
- Organismes privés
 - Un banquier.

2. Actualisation, études de factibilité et méthodes d'évaluation.

F. Un exemple particulier: le développement de l'électricité dans le Tiers-Monde (1 jour)

1. Rôle de l'électricité dans un pays en voie de développement.

- Optimisation de la puissance installée:
 - méthode simplifiée,
 - méthode WASP.

2. Application à un pays en voie de développement.

3. Table ronde sur le développement de l'électricité dans le Tiers-Monde.

G. Conclusion (1 jour)

1. Géopolitique – Pénurie ou abondance – Modèles de développement, énergie-productivité, énergie et politique économique (la décision d'importer) – Les conséquences – Débat.
2. Discussion finale: Quel choix pour les pays en voie de développement?