

# L'ENERGIE D'ORIGINE NUCLEAIRE DANS LES REGIONS SOUS - DEVELOPPEES

Au cours du fatidique été de 1945, quelques savants éminents se réunirent à Washington pour discuter des applications futures de l'énergie atomique. L'un d'eux, Enrico Fermi, qui trois ans auparavant avait provoqué la première réaction en chaîne, remarqua : "Quelle chance si elle pouvait guérir le rhume de cerveau !". L'énergie des noyaux atomiques ne guérit pas les rhumes de cerveau, mais elle effectue une gamme étonnante d'autres travaux utiles, dont l'un - le plus important peut-être - est la production d'électricité. Celle-ci devrait permettre de satisfaire les besoins énergétiques sans cesse croissants de l'humanité, même lorsque tous les combustibles fossiles du monde auront été consommés et que le potentiel hydro-électrique de tous les fleuves aura été capté.

Ce thème exaltant peut être développé avec beaucoup d'éloquence, et l'a souvent été. Les analyses détaillées deviennent vite complexes, mais les données de base sont simples et claires. Quelques constatations très générales suffisent à les mettre en lumière.

Le progrès de la civilisation est lié à l'emploi croissant d'énergie. L'énergie nécessaire pour atteindre un minimum de développement doit provenir d'autres sources que le travail de l'homme. Pendant des siècles, cette énergie a été fournie par la combustion d'un très petit nombre de matières dont les quantités totales sont, de surcroît, limitées : l'humanité est menacée d'atteindre un stade où les ressources mondiales de combustibles chimiques seront épuisées. Les chutes d'eau peuvent apporter, sous forme d'hydro-électricité, une contribution sans cesse renouvelable au bilan énergétique, mais cette contribution est relativement faible et n'atténue guère la menace qui pèse sur l'humanité.

Les principaux combustibles chimiques sont le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Les avis peuvent différer sur le moment où les réserves mondiales de ces combustibles seront épuisées, mais la plupart des experts admettent qu'elles ne dureront pas plus de quelques siècles.

Il apparaît donc certain que, pris dans son ensemble, le monde devra finalement recourir à l'énergie d'origine nucléaire; mais on ne saurait encore discerner les besoins précis qu'appellent dans l'immédiat les situations concrètes. En d'autres termes, si l'existence d'un besoin général est un fait, son urgence et la manière de le satisfaire devront être déterminées dans chaque cas d'espèce. Les situations sont si différentes qu'aucune conclusion générale ne saurait être vraiment valable.

## Diversité des situation

Nous rencontrons tout d'abord la différence entre les régions avancées et les régions sous-développées. Le sens de l'expression "sous-développé"

est évidemment variable, mais il est intéressant de noter l'existence d'une corrélation constante entre la consommation d'énergie et les caractéristiques les plus courantes du développement économique. En fait, le niveau de la consommation d'énergie peut être considéré comme un indice assez exact du développement économique. Le taux de consommation d'énergie étant en 1950 de un  $Q^*$  par décennie, on estime que les Etats-Unis en absorbaient à eux seuls 37 pour cent. La puissance totale installée dans le monde entier était estimée en 1950 à 230 millions de kilowatts; on n'en trouvait que 7,3 pour cent dans les régions sous-développées (qui comprennent, en gros, la plupart des pays d'Asie, la plus grande partie de l'Afrique et de l'Amérique latine ainsi que quelques pays d'Europe méridionale).

En deuxième lieu, même si l'on prend un groupe de pays ayant atteint un stade de développement économique analogue, la situation n'y est pas identique. Les conditions varient d'un pays à l'autre, comme d'une région à l'autre. C'est ainsi que parmi les pays avancés, le Royaume-Uni offre l'exemple d'une économie très industrialisée où la demande d'énergie augmente rapidement tandis que les ressources hydrauliques sont faibles et qu'un accroissement sensible de la production de charbon est peu probable. En revanche, les Etats-Unis ont d'importantes réserves de charbon faciles à exploiter. Ou encore, un pays comme la Norvège peut compter sur son potentiel hydro-électrique pendant longtemps encore.

On constate des différences analogues parmi les pays insuffisamment développés. Dans certaines régions, le recours à l'énergie d'origine nucléaire apparaîtra, dans les circonstances actuelles, beaucoup plus onéreux que l'utilisation des sources classiques d'énergie; dans d'autres, l'énergie d'origine nucléaire peut dès maintenant supporter la concurrence de l'énergie thermique ou hydro-électrique. D'autre part, en raison de très grosses difficultés dues, par exemple, au transport des combustibles chimiques et à l'absence de ressources hydro-électriques, il peut être manifestement impossible d'assurer le développement de certaines régions au moyen de l'énergie classique et on sera finalement contraint de recourir à l'énergie d'origine nucléaire.

## Caractères communs

Malgré ces différences, la plupart des pays insuffisamment développés présentent certains caractères communs. Le premier est naturellement l'insuffisance de la consommation d'énergie. La consommation d'énergie par habitant est faible, celle d'électricité est bien plus faible encore. Cela est sans doute vrai de tous les pays, mais le rôle de

\* Un  $Q$  est égal à l'énergie produite par environ 33 000 millions de tonnes de charbon

l'énergie électrique dans la satisfaction des besoins énergétiques totaux des pays insuffisamment développés est particulièrement réduit. Une très forte proportion de l'énergie totale consommée dans ces pays provient de combustibles fossiles - et plutôt de déchets végétaux que de charbon et de pétrole, qui sont souvent peu abondants. On estime qu'environ 80 pour cent de l'énergie consommée dans l'Inde provient du "brûlage" des excréments du bétail. Le courant électrique produit par une source thermique efficace peut servir aux usages les plus divers et permettre d'employer de façon rentable le capital et la main-d'oeuvre. En outre, pour un bon nombre d'opérations industrielles modernes, il est essentiel de disposer d'électricité à bon marché. Une offre extrêmement réduite d'électricité, même lorsqu'elle s'accompagne d'une consommation totale assez importante d'énergie, est souvent un facteur décisif de retard du développement industriel.

Deuxièmement, la répartition de l'offre d'énergie à l'intérieur des pays insuffisamment développés est marquée par un déséquilibre frappant. Les moyens de production et l'offre se trouvent presque exclusivement situés dans les grandes villes ou dans les ports. Il s'ensuit que le stade de développement de certaines zones urbaines est sans rapport avec l'état arriéré de l'économie de vastes étendues rurales. Les conséquences sociales qu'entraînent de tels déséquilibres économiques ne peuvent être que fâcheuses.

Un autre caractère important est l'absence de concentration de la demande. Celle-ci est dispersée dans une zone étendue et, en dehors des grandes villes, n'est nulle part suffisante pour justifier la construction de centrales importantes. Dans le reste du pays, il n'existe que de petits secteurs de consommation effective ou potentielle, séparés par de vastes étendues de zones rurales arriérées qui, dans les conditions actuelles, ne peuvent guère se servir d'électricité.

## Un cercle vicieux

Tous ces facteurs constituent manifestement un cercle vicieux. Faute d'énergie, le développement industriel est freiné; faute de développement, la demande d'énergie est limitée. Etant donné l'absence de demande dans les vastes zones qui séparent les petits secteurs de consommation effective, il faut avoir, soit de petites centrales, soit de grandes centrales pourvues de réseaux de transmission étendus. L'une et l'autre solution font monter le coût de production de l'énergie et, par conséquent, le prix de revient du kilowattheure; à son tour, ce prix élevé entrave le développement de la consommation. La demande reste faible, voire inexistante dans de vastes zones.

Si une industrialisation plus poussée favorise la production d'une quantité suffisante d'énergie, l'accroissement de l'offre tend, de son côté, à promouvoir le développement industriel. En outre, la demande d'électricité, non seulement de la part de l'industrie, mais aussi de celle du consommateur ordinaire, tend à augmenter lorsque la quantité de courant disponible augmente. Dans un rapport\* au Conseil économique et social, le Secrétaire général

de l'Organisation des Nations Unies remarque : "Du fait de la gamme étendue de ses utilisations, l'existence d'une offre d'électricité est de nature à créer sa propre demande et à rendre nécessaire le développement de cette offre elle-même. Dans le monde entier, les pays doivent donc, pour évaluer leurs besoins futurs d'électricité, tenir compte à la fois de son rôle fondamental dans la fourniture de l'énergie indispensable à certains processus industriels et agricoles et du caractère extensible de la demande en temps d'expansion économique et sociale". On lit encore dans le rapport que la méthode de production de l'électricité à partir de l'énergie nucléaire "n'a pas encore dépassé le premier stade d'application" et que "la rapidité d'expansion de l'énergie atomique, une fois dépassé ce premier stade, dépend dans une large mesure, des avantages qu'elle présentera dans des conditions données".

Les aspects économiques de l'énergie d'origine nucléaire comportent des facteurs très complexes. Malgré l'excellent rendement énergétique des combustibles nucléaires, un élément tend tout particulièrement à maintenir le prix de cette énergie à un taux élevé : les investissements nécessaires pour le matériel et l'équipement. Une centrale nucléaire est, au point de vue technologique, un mécanisme extraordinairement complexe et délicat, pour lequel on doit utiliser des matières spéciales relativement rares et prendre des mesures de sécurité poussées. Tous ces facteurs ont une incidence directe sur le prix de revient. Actuellement, une centrale nucléaire demande des investissements considérablement plus élevés qu'une centrale thermique au charbon. Le coût de construction par kilowatt de puissance installée sera vraisemblablement beaucoup plus élevé pour les petits réacteurs que pour les grands.

En revanche, on pense que le coût du combustible sera plus faible pour les centrales nucléaires que pour les centrales thermiques, en raison du rendement très supérieur des combustibles nucléaires. Ce coût ne sera pas sensiblement plus élevé pour les petits réacteurs que pour les grands, surtout si les combustibles sont préparés dans d'importantes usines centrales de traitement.

Le coût de l'énergie produite dépendra aussi du coefficient de charge des réacteurs de puissance. Lorsque ce coefficient est élevé, le prix de revient baisse. En d'autres termes, le coût de l'unité d'énergie produite diminue avec l'augmentation de la durée pendant laquelle la centrale travaille à plein rendement.

## Aspects économiques et technologie

Ayant pesé les divers facteurs économiques et techniques, certains experts en sont venus à se demander s'il était possible ou avantageux d'utiliser, dès maintenant, l'énergie nucléaire dans les régions sous-développées. En effet, étant donné les frais d'investissement plus élevés, la puissance des types de réacteurs existants, la nécessité de pouvoir compter sur une forte consommation régulière ou sur l'existence d'un vaste réseau de distribution, il serait peu rentable, selon certains, d'utiliser l'énergie

\* Applications économiques de l'énergie atomique *Organisation des Nations Unies, 1957*

nucléaire dans ces régions. En revanche, d'autres experts ont fait remarquer que dans quelques pays peu développés, l'emploi immédiat de l'énergie atomique se justifiait très amplement. Comme M. Homi J. Bhabha (Inde) l'a fait observer lors de la deuxième Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques, la situation dans certaines régions sous-développées est telle qu'il est impossible de répondre par la négative dans tous les cas.

Toutefois, les experts sont unanimes à déclarer que, dans la plupart des régions sous-développées, il faudrait se borner au début à produire de l'énergie à partir de réacteurs de petite et moyenne puissance; en effet, la demande d'énergie - sauf dans un très petit nombre de régions - n'est ni assez forte ni assez concentrée pour justifier la construction d'une centrale importante. Ici se pose le problème technologique. A la deuxième session de la Conférence générale de l'Agence internationale de l'énergie atomique, Sir Edwin Plowden (Royaume-Uni) a déclaré: "On comprend l'intérêt que suscitent les petits réacteurs de puissance, mais il faut bien constater que nulle part encore dans le monde on n'a pu construire, à un prix de revient abordable, de petits réacteurs qui soient susceptibles de fournir la quantité d'énergie correspondant aux besoins des pays sous-développés. Avec le temps, on pourra certainement mettre au point des petits réacteurs de puissance qui seront rentables, mais les problèmes scientifiques et techniques demeurent très grands. Jusqu'à ce que l'on puisse entrevoir leur solution, la façon la plus utile pour l'Agence d'aider les pays sous-développés est de concentrer ses efforts sur les travaux réalisables dans un avenir immédiat, notamment de faciliter dans ces pays la formation d'hommes de science et d'ingénieurs qui puissent être prêts lorsque le moment viendra".

Il faut espérer que ce moment viendra bientôt et, en attendant, procéder à un examen détaillé de l'ensemble du problème. Pour évaluer les besoins des pays insuffisamment développés en matière d'énergie atomique et déterminer comment et dans quelle mesure ces besoins peuvent être satisfaits, il faut répondre aux questions fondamentales suivantes: a) dans quelle mesure la totalité des besoins énergétiques de ces pays peut-elle être satisfaite par les moyens classiques (énergie thermique et hydro-électrique); b) dans quelles régions serait-il techniquement et économiquement possible de produire de l'énergie à partir de l'énergie nucléaire; c) quelles sont les régions qui ont immédiatement besoin de recourir à l'énergie nucléaire.

### **Petits réacteurs**

Les connaissances techniques au sujet des petits réacteurs sont encore limitées, faute d'expérience pratique, car on s'est surtout occupé jusqu'à présent de construire des réacteurs de grande puissance. Cependant, certains pays ont entrepris des recherches intéressantes et il devient urgent de soumettre l'ensemble de la question à un examen approfondi. Les aspects économiques de l'énergie nucléaire doivent également être étudiés d'une façon plus détaillée et plus systématique que cela n'a été fait jusqu'à présent.

Se fondant sur ces considérations, la Conférence générale de l'Agence, à sa deuxième session, a recommandé d'entreprendre une enquête sur les besoins des pays peu développés en matière d'énergie nucléaire et de procéder à une étude continue, du point de vue technologique et économique, des réacteurs de petite et moyenne puissance, qui conviennent à ces pays, de diffuser les renseignements ainsi rassemblés et d'aider à la formation professionnelle pour les aspects techniques et économiques du fonctionnement de telles installations nucléaires. Conformément à cette recommandation, l'Agence a mis sur pied un programme complet, d'une durée de deux ans, en vue d'examiner les possibilités d'utilisation de l'énergie nucléaire dans les pays sous-développés.

Dans la mise en oeuvre de ce programme, l'Agence s'efforce de découvrir des cas où il semble probable que l'utilisation de l'énergie atomique puisse donner des résultats nécessairement limités mais immédiats. Ces résultats permettraient d'évaluer sur le plan technique et économique les possibilités des réacteurs petits et moyens. Ils permettraient également aux pays sous-développés de faire des comparaisons et de déterminer dans quelle mesure l'énergie nucléaire peut apporter une solution rapide à certains de leurs problèmes les plus pressants en matière d'énergie.

### **Circonstances particulières**

Dans la plupart des pays insuffisamment développés, les besoins à court terme les plus pressants en matière d'énergie électrique semblent liés à une utilisation bien définie, par exemple, à une activité minière ou industrielle ou encore à l'emploi de l'électricité ménagère dans une région déterminée où l'on ne peut guère s'attendre à un appoint fourni par le réseau existant ou par une extension du système d'interconnexion, au moins pendant les quelques années à venir, et où le développement est entravé par le coût élevé de l'énergie classique, notamment du fait du prix du combustible. Dans la plupart des cas, la puissance nette d'une quelconque des centrales nécessaires ne sera pas très considérable et ne dépassera probablement pas 50 MW. Certes, on peut trouver des cas où il existe un réseau et où des centrales plus importantes pourraient se révéler plus économiques. En même temps, il faudra aussi examiner les besoins techniques liés aux divers types de réacteurs qui peuvent présenter à cet égard des perspectives intéressantes. A cet effet, on entreprendra une étude détaillée des réacteurs de petite et de moyenne puissance, en tenant spécialement compte des possibilités d'adaptation aux besoins des régions sous-développées. Parmi les facteurs à examiner, on peut citer notamment la facilité de transport et d'installation, la résistance à l'usure et au climat, la sécurité de marche, la sûreté et la simplicité du fonctionnement et de l'entretien, etc.

En même temps que ces études techniques, on procédera à l'évaluation des éléments du prix de revient de l'installation et de l'exploitation de centrales nucléaires. Il faudra notamment tenir compte des fluctuations éventuelles de ce prix de revient dans les circonstances particulières aux divers pays insuffisamment développés. L'Agence bénéficie dès

à présent du concours des commissions économiques régionales de l'Organisation des Nations Unies pour déterminer quelles sont les données à retenir pour évaluer la situation dans leurs régions respectives.

Les trois premières phases du programme d'activité de l'Agence sont les suivantes : i) études sur l'intérêt que présentent du point de vue technique des réacteurs d'une puissance allant jusqu'à 50 MW; ii) études économiques relatives aux divers types de centrales nucléaires, y compris une analyse systématique du coût de l'électricité; iii) choix de certaines situations caractéristiques qui semblent se prêter à l'utilisation de l'énergie nucléaire.

### Enquête en Amérique latine

L'Agence a déjà entrepris des enquêtes préliminaires et des études techniques dans ce domaine. Une enquête présentant un intérêt particulier à cet égard sera effectuée par une mission de l'Agence qui visitera sous peu l'Argentine et le Brésil pour y étudier les possibilités économiques de production et d'utilisation de l'énergie nucléaire en des endroits déterminés. En Argentine, on envisage comme emplacements la ville de Buenos Aires et ses environs, ainsi que la Patagonie. Au Brésil, les lieux envisagés sont l'estuaire du Parahiba, à 200 km environ au nord-est de Rio de Janeiro, et celui de l'Iguape, sur la côte de l'Etat de Sao Paulo, à 160 km environ au sud-ouest de la ville de Santos.

La mission procédera à l'analyse critique des renseignements déjà recueillis par les autorités nationales; elle rassemblera à son tour des renseignements complémentaires touchant les éléments du

prix de revient. Elle déterminera les progrès qui ont été accomplis dans la production d'électricité aux environs des lieux envisagés; elle aidera à évaluer, à titre préliminaire, les besoins futurs d'énergie et proposera des mesures pour répondre à ses besoins. Elle étudiera notamment les problèmes spéciaux que pose l'installation en ces lieux de centrales nucléaires.

L'enquête en Amérique latine ne constituera qu'une partie des vastes études auxquelles procède l'Agence dans le cadre des trois phases de son programme de travail; ces études sont menées simultanément et on espère qu'elles pourront être achevées pour le mois de septembre 1959. L'Agence fera alors de nouvelles études spéciales, d'ordre technique et économique, qui porteront sur les cas choisis. Les résultats de ces études seront mis au point en temps voulu pour être présentés à une grande conférence sur les réacteurs de petite et moyenne puissance, dont l'organisation est prévue pour 1960.

Bien entendu, les conclusions tirées de ces études ne sauraient en aucune manière résoudre tous les problèmes que pourra poser l'utilisation de l'électricité d'origine nucléaire dans les pays insuffisamment développés. En effet, il ne serait guère possible de répondre en même temps à toutes les questions. Une méthode plus réaliste consisterait à s'attaquer aux problèmes un à un, tout en s'assurant que chaque étape du développement entraîne logiquement l'étape suivante. Les études entreprises par l'Agence sont un premier pas dans cette voie et leurs résultats contribueront à ébaucher l'action initiale qui s'imposera.

---

## ENQUETE DANS L'ASIE DU SUD-EST

L'assistance technique aux projets relatifs à l'énergie atomique élaborés dans différents pays, notamment dans les pays moins développés, constitue l'une des fonctions principales de l'Agence. Avant de pouvoir utilement fournir une telle assistance, l'Agence doit procéder à une étude des besoins et des possibilités de développement de ces pays et déterminer le genre d'aide qui sera le plus efficace. Un grand nombre de pays ont demandé à l'Agence de les aider à évaluer leurs besoins et leur situation en matière d'énergie atomique, de leur indiquer les meilleures voies de progrès et de déterminer comment l'Agence pourra leur rendre service. Sans parler des avantages immédiats de cette méthode pour les pays bénéficiaires, elle permet à l'Agence de mieux coordonner ses activités et de tirer un meilleur parti de ses ressources.

A cet effet, l'Agence a d'ores et déjà envoyé plusieurs missions d'assistance préliminaire dans diverses régions du monde et elle envisage l'envoi d'autres missions analogues. L'une de ces missions vient d'achever une enquête en Chine (Formose), au Japon, dans la République de Corée, aux Philippines et au Viet-nam; une autre va visiter cet été l'Argentine, le Brésil et le Venezuela.

Au début de l'année, une mission de l'Agence a visité quatre pays de l'Asie du Sud-Est : Birmanie, Ceylan, Indonésie et Thaïlande. Elle se composait de huit membres, dont quatre experts désignés à cette fin par des Etats Membres\* et quatre fonctionnaires de l'Agence. Les travaux de la mission sont exposés dans les rapports détaillés de ses membres ainsi que dans les notes et documents divers