

lesquelles peuvent se fonder des recommandations visant à faire admettre les normes éventuellement nécessaires.

Ce colloque était le premier que l'Agence ait organisé sur le problème particulier des effets sur l'environnement des dispositifs de refroidissement et des rejets thermiques; le nombre des participants et l'intérêt qu'ils ont manifesté ont prouvé que cette réunion venait en temps opportun et qu'en offrant la possibilité d'échanger des renseignements qui, dans ce domaine, sont valables pour toutes les centrales thermiques, elle prenait une valeur toute particulière.



RAPPORT CONCERNANT LA REUNION D'UN GROUPE D'ETUDE  
DE L'AIEA, VIENNE, SEPTEMBRE 1974

---

# Chaleur nucléaire utilisée à des fins industrielles et pour le chauffage urbain

**Des études sur les diverses possibilités d'utilisation de la chaleur provenant des réacteurs nucléaires pour le chauffage urbain ou sous forme de vapeur industrielle ont été faites bien avant l'actuelle crise de l'énergie. Bien que ces études aient démontré que cette utilisation était techniquement possible et économiquement justifiée, la possibilité de se procurer du pétrole à relativement bon marché et les difficultés de placer une source de chaleur nucléaire dans les zones industrielles n'ont pas encouragé la poursuite des travaux dans ce domaine. L'augmentation des prix du pétrole a réveillé l'intérêt que suscitait l'utilisation de la chaleur nucléaire et un certain nombre de nouveaux secteurs potentiels ont été identifiés. A présent, il semble généralement reconnu que la chaleur provenant des réacteurs nucléaires devrait jouer un rôle important dans l'approvisionnement en énergie primaire, non seulement pour la production d'électricité, mais aussi, directement, comme chaleur industrielle.**

On a reconnu jusqu'à présent trois grands domaines d'utilisation de la chaleur nucléaire (voir fig.):

- Utilisation directe de la chaleur dans les opérations industrielles exigeant une température supérieure à 800°C;
- Utilisation de la vapeur industrielle dans diverses industries nécessitant en général une température de 200 à 300°C;
- Utilisation de la chaleur résiduelle provenant des centrales nucléaires pour le dessalement de l'eau de mer et le chauffage urbain.

Cette classification est essentiellement fonction du type et des caractéristiques de la source de chaleur ou du réacteur nucléaire qui pourrait être utilisé pour une application donnée. Les réacteurs à haute température modifiés peuvent servir à l'utilisation directe de la chaleur et les réacteurs à eau légère peuvent répondre à l'essentiel de la demande de vapeur.

La production de chaleur résiduelle est une caractéristique de toutes les centrales thermiques et son utilisation offre les plus grandes perspectives dans le domaine de la production d'énergie.

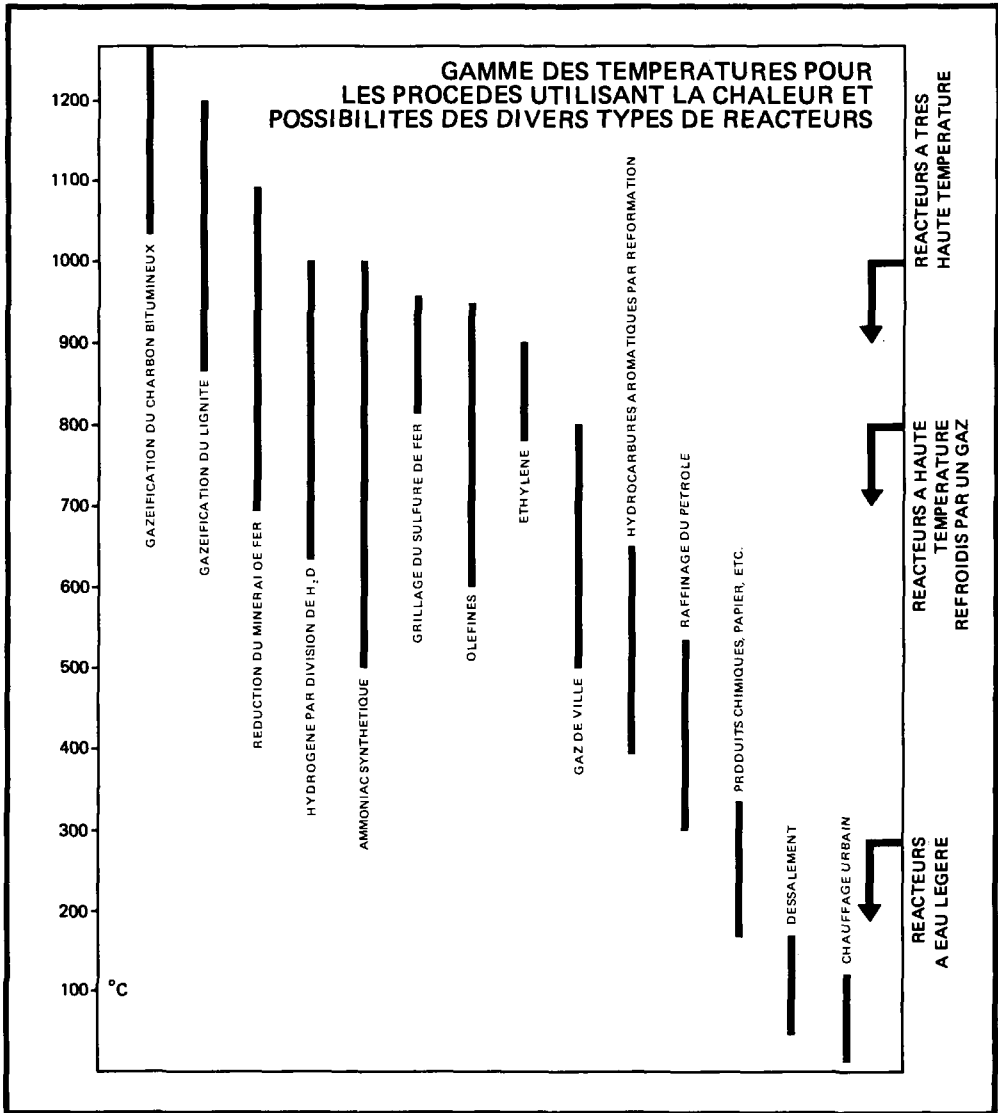
Dans tous les domaines l'utilisation possible de la chaleur nucléaire les activités se limitent encore essentiellement à des études visant à démontrer les avantages économiques des combustibles classiques par rapport aux coûts de production et aux économies en combustibles fossiles que représente l'utilisation de la chaleur nucléaire. Les études portent également sur la conception de sources de chaleur telles que les réacteurs à très haute température pour la production de chaleur à des températures données, ainsi que sur des installations industrielles utilisant des applications particulières de la chaleur. Des problèmes se posent lorsqu'il faut combiner les processus classiques d'utilisation de la chaleur avec une nouvelle source de chaleur ayant des caractéristiques différentes quant aux circuits caloporteurs utilisés et dont la température de sortie est soumise à certaines spécifications. La source de chaleur et le circuit doivent être équipés d'interfaces spéciales pour permettre le transfert de la chaleur dégagée par le réacteur. La sécurité d'utilisation de la chaleur nucléaire est également une source de préoccupation, car pour faciliter le transfert de la chaleur, la source de chaleur devrait se trouver près des installations industrielles qui sont d'ordinaire situées dans des zones très peuplées.

D'importants programmes de mise au point concernant notamment la construction de prototypes semi-industriels n'existent actuellement que dans quelques pays, mais leur nombre va croissant. Il est probable que la chaleur nucléaire entrera d'abord en compétition avec les sources classiques de chaleur sur le plan de la vapeur industrielle et du chauffage urbain. Il faudra attendre au moins dix ans pour qu'il soit possible d'utiliser commercialement la chaleur à haute température. Dans les réacteurs à haute température refroidis par un gaz, l'hélium est chauffé à plus de 800°C. La chaleur produite peut être utilisée pour des processus chimiques endothermiques qui nécessitent autrement une quantité considérable de combustibles fossiles.

## UTILISATIONS POSSIBLES

La chaleur provenant des réacteurs nucléaires peut être utilisée dans un grand nombre de processus. On ne s'intéresse actuellement qu'à un petit nombre d'entre eux. Il s'agit de processus utilisant l'énergie de façon intensive et aboutissant à des produits enrichis en énergie chimique. On peut les utiliser dans diverses applications industrielles, en tant que source de chaleur ou pour l'apport d'éléments nécessaires à un nouveau processus chimique. L'utilisation de la chaleur nucléaire primaire est étudiée pour les opérations suivantes:

1. Gazéification ou liquéfaction de la houille ou du lignite avec production éventuelle de gaz ou de liquides combustibles aux fins d'utilisation dans la métallurgie, l'industrie chimique, etc.
2. La réformation par la vapeur des hydrocarbures tels que le gaz naturel ou le naphte pour la production de mélanges d'hydrogène et d'oxyde de carbone dans des rapports variables selon l'utilisation à laquelle ils sont destinés. Les utilisations possibles des produits provenant de la réformation par la vapeur sont nombreuses; par exemple la fabrication d'acier par réduction directe des minerais de fer, la synthèse de l'ammoniac, la synthèse du méthanol, les combustibles liquides et synthétiques, le transport d'énergie sur de longues distances, etc.
3. Division thermo-chimique des molécules d'eau en hydrogène et oxygène afin d'utiliser les gaz obtenus dans la métallurgie, l'industrie chimique, la gazéification du charbon par la vapeur d'eau, la production d'ammoniac ou directement comme combustibles. .



La plupart de ces opérations demandent une température un peu plus élevée que celle que peuvent actuellement fournir les réacteurs à haute température. Dans un certain nombre de pays tels que les Etats-Unis, la République fédérale d'Allemagne, le Japon et les pays de l'OCDE (projet Dragon), les efforts portent donc sur la mise au point de réacteurs à très haute température qui peuvent répondre à la plupart des exigences de l'utilisation de la chaleur à des fins technologiques. Les travaux de recherche portent sur la mise au point de combustibles résistant à la corrosion à haute température et susceptibles de retenir les produits de fission. Des matériaux résistant à de hautes températures pour les échangeurs de chaleur et d'autres installations pour le transfert de la chaleur provenant d'un réacteur sont également à l'étude.

Divers procédés et installations industriels utilisant la chaleur provenant de réacteurs à très haute température sont au stade des études théoriques et expérimentales. On entreprend en République fédérale d'Allemagne un vaste programme de mise au point auquel le Gouvernement a accordé une aide équivalant à 20 millions de dollars des Etats-Unis jusqu'en 1975. Les efforts se concentrent sur la gazéification du charbon et les procédés de réformation par la vapeur. Une unité expérimentale de gazéification du charbon d'une capacité de 5 kg/h est en service et une unité semi-industrielle de 200 kg/h est en voie d'achèvement. On a établi les plans de construction d'une installation de démonstration pour la gazéification du charbon utilisant la chaleur nucléaire, pour laquelle on envisage un investissement de 450 millions de dollars des Etats-Unis, et qui devrait être achevée en 1983. Une installation semi-industrielle de gazéification du charbon par la vapeur de 100 kg/h est également en construction; les travaux de mise au point d'unités de réformation par la vapeur chauffées à l'hélium sont bien avancés; la section d'essai grandeur nature d'une unité de réformation du méthane par la vapeur est en service (EVA Einzelrohr-Versuchsanlage) et une unité complète est en cours d'étude. L'objet immédiat de ces travaux est de produire un mélange d'hydrogène et de CO pour l'utiliser dans la réduction directe du minerai de fer, la production de gaz synthétiques, la gazéification du charbon par la vapeur et le transport sur de longues distances de l'énergie chimique latente.

Le Japon a également un programme de recherche important. Plusieurs boucles à hélium à haute température fonctionnent et l'étude d'un réacteur expérimental à très haute température de 50 MW(t) est achevée. Une aciérie pilote à réduction directe sera reliée à ce réacteur. Un programme pour l'étude, la construction et l'exploitation de cette usine pilote est financé par un budget de 25 millions de dollars des Etats-Unis pour les six prochaines années.

Les efforts communs de plusieurs pays participant au projet Dragon de l'OCDE portent sur l'étude des caractéristiques et des possibilités du réacteur à très haute température en vue de la production de chaleur industrielle, un important programme étant consacré à la mise au point d'un combustible pour ces réacteurs.

A Ispra, l'EURATOM poursuit des travaux de recherche sur la thermo-décomposition de l'eau pour la production d'hydrogène. Un programme de quatre ans a été entrepris en 1973 avec des fonds s'élevant approximativement à 10 millions de dollars des Etats-Unis.

## VAPEUR INDUSTRIELLE

Bien qu'on étudie depuis longtemps les possibilités d'utiliser la vapeur provenant des réacteurs nucléaires, aucun grand projet n'a encore été achevé dans ce domaine. Actuellement, quelques centrales seulement produisent de la vapeur à des fins industrielles; c'est le cas de Douglas Point au Canada, qui fournit de la vapeur à une usine de production d'eau lourde, ou du réacteur de Halden en Norvège, qui fournit de la vapeur depuis plus de dix ans à une papeterie locale. Un projet pour la production de 492 MW d'électricité, et de vapeur, a été établi pour la centrale nucléaire de Midland aux Etats-Unis, qui est actuellement en cours de construction et, en République fédérale d'Allemagne, le projet de la BASF qui en est encore au stade de la planification, a trait à la production de 369 MW(e) et de 1650 t/h de vapeur. Il semble qu'il n'y ait pas d'obstacle technique à l'utilisation de la vapeur industrielle dans diverses industries telles que celle du pétrole, l'industrie chimique, les papeteries et les industries alimentaires.

La concurrence qui pourrait se produire entre la vapeur nucléaire et celle produite par les chaudières à combustibles fossiles a suscité un intérêt croissant pour la recherche concernant de petites installations à fin unique ou double et de conception simple, en vue de fournir de la vapeur aux industries locales et, éventuellement, pour le chauffage urbain. Des études

faites en France et en Finlande justifient l'utilisation de la vapeur d'origine nucléaire du point de vue économique et montrent les avantages qu'elle offrira probablement par rapport à celle des chaudières de type classique.

L'intérêt que suscite l'utilisation de la vapeur industrielle s'étend à de nouveaux domaines de production où l'utilisation de la vapeur d'origine nucléaire peut revêtir une grande importance dans l'avenir. C'est le cas notamment de l'utilisation de la vapeur de faible qualité pour le dessalement de l'eau de mer. La demande d'eau douce augmente rapidement et la capacité des unités de production nécessaires atteint un niveau où l'utilisation des centrales nucléaires commercialement exploitables serait économiquement justifiée.

Il semble que, aux prix actuels des combustibles, la vapeur provenant des réacteurs nucléaires sera la première forme d'utilisation industrielle de la chaleur nucléaire à laquelle on pourra aisément recourir pour soutenir la concurrence avec la vapeur obtenue par les moyens classiques.

## CHAUFFAGE URBAIN

L'utilisation de la chaleur à faible température et de la chaleur résiduelle des centrales nucléaires peut apporter une contribution majeure à l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des ressources énergétiques. La température relativement basse de la chaleur résiduelle des centrales nucléaires limite les domaines d'utilisation, le plus important étant le chauffage des habitations. L'idée d'utiliser pour le chauffage de grandes sources de chaleur telles que les centrales nucléaires suppose un réseau de distribution étendu.

C'est pourquoi les pays où ces systèmes existent déjà et où la consommation d'énergie pour le chauffage constitue un aspect important de la demande totale d'énergie primaire témoignent un intérêt particulier pour le chauffage urbain d'origine nucléaire. Les études sur le chauffage urbain sont donc particulièrement avancées dans les pays scandinaves où jusqu'à la moitié de toute l'énergie primaire consommée l'est à cette fin. De grands programmes sont signalés en Suède et en Finlande où les centrales nucléaires actuellement en construction ou à l'étude sont envisagées comme moyens de chauffage de vastes zones résidentielles.

Les principaux problèmes à résoudre en matière de chauffage urbain d'origine nucléaire résident dans les choix des systèmes de chauffage optimaux, ce qui suppose le choix d'une température pour les moyens de transmission de la chaleur. Le système de chauffage tendra à réduire la production d'électricité de la centrale. La température peut être la même que dans les systèmes classiques, c'est-à-dire 110°C environ, ou plus élevée, ce qui entraîne une réduction importante de la production d'électricité de la centrale, légèrement plus faible à condition de modifier les radiateurs, ou très faible si l'on prévoit une pompe à chaleur du côté des utilisateurs. D'autres problèmes se posent — la transmission, l'emmagasinage et la distribution de la chaleur, le choix des matériaux appropriés pour le réseau de distribution de la chaleur, ainsi que l'isolement thermique et la régularité de l'approvisionnement en chaleur.

Malgré un certain nombre de problèmes techniques, administratifs et juridiques qui restent à résoudre, il est certain que le chauffage urbain peut comporter des avantages économiques considérables et contribuer grandement à réduire la demande totale de combustibles.