

# Où en est le réacteur à haute température refroidi par un gaz?

par Juergen Kupitz et John B. Dee

Depuis plus de 25 ans, les réacteurs à haute température refroidis par un gaz (HTG) sont à l'étude dans plusieurs Etats Membres.

Aujourd'hui, ce type de réacteur est techniquement réalisable et présente des avantages pour la production d'électricité et de chaleur industrielle, ainsi que l'ont mis en évidence les réacteurs expérimentaux et de démonstration installés en République fédérale d'Allemagne, au Royaume-Uni et aux Etats-Unis (voir le tableau 1). Les réacteurs HTG sont encore rares sur le marché, mais les possibilités qu'ils offrent pour la production non seulement d'électricité mais aussi de vapeur et de chaleur à haute température pour diverses applications industrielles, ainsi que leurs grandes marges de sécurité sont autant de raisons qui incitent à poursuivre leur étude.

Le principe du réacteur à haute température refroidi par un gaz est dérivé du réacteur Magnox (refroidi à l'anhydride carbonique, ralenti au graphite, éléments combustibles à l'uranium naturel gainés d'un alliage au magnésium) qui a été mis au point en France, au Japon, en Italie, en Espagne et au Royaume-Uni. Ces premiers réacteurs Magnox avaient une cuve à pression en acier bien plus grande que celle des réacteurs à eau légère. Plus tard, on a utilisé des cuves en béton précontraint, mises au point en France, qui pouvaient contenir tout le circuit primaire, constituant ainsi un ensemble monobloc. Ce type de cuve a été adopté par la suite pour tous

les réacteurs refroidis par un gaz construits en France, en République fédérale d'Allemagne, au Royaume-Uni et aux Etats-Unis.

Les limites de température imposées jusque-là par les interactions combustible/fluide de refroidissement ont pratiquement disparu lorsqu'on a remplacé l'anhydride carbonique par de l'hélium et adopté un combustible sous forme de particules enrobées, insérées dans une matrice de graphite en forme de cylindre, de boulets ou de blocs sans gainage métallique. L'objet de cette orientation dans l'étude des réacteurs HTG était d'obtenir une source de chaleur nucléaire capable d'atteindre des températures comparables à celles des centrales électriques chauffées au combustible fossile.

On a donc ainsi obtenu de la vapeur surchauffée à haute pression qui permet d'utiliser des turbo-générateurs compacts à grande vitesse du genre de ceux qui équipent normalement les centrales classiques. Le réacteur HTG peut aussi, de ce fait, produire de la chaleur à haute température pour diverses utilisations industrielles.

Le cycle du combustible de ce type de réacteur est aussi exceptionnel puisque le réacteur fonctionne normalement à un taux de combustion élevé, supérieur à 100 000 mégawatt/jours par tonne de métal lourd. On peut donc ainsi obtenir de faibles coûts de combustible avec un cycle ouvert, de même qu'une réduction considérable de la demande future en combustible nucléaire grâce à l'utilisation d'un combustible à base de thorium recyclé.

M. Kupitz et M. Dee sont des fonctionnaires de l'Agence appartenant à la Division de l'énergie d'origine nucléaire.

Tableau 1. Caractéristiques principales des réacteurs HTG

	Dragon (Royaume-Uni)	Peach Bottom (Etats-Unis)	AVR (Allemagne, Rép. féd. d')	FSV (Etats-Unis)	THTR (Allemagne, Rép. féd. d')
Début/Fin de la production d'énergie	1966/1975	1967/1974	1968	1976	1985
Puissance MWth/MWe	20/—	115/40	46/15	837/330	750/300
Eléments combustibles	Cylindres	Cylindres	Sphères (lit de boulets)	Blocs hexagonaux	Sphères (lits de boulets)
Température de sortie de l'hélium (°C)	750	750	950	785	750
Pression de l'hélium (bar)	20	25	11	48	40
Composition du combustible	Carbures de thorium, d'uranium	Carbures de thorium, d'uranium	Oxydes de thorium, d'uranium	Carbures de thorium, d'uranium	Oxydes de thorium, d'uranium
Cuve	Acier	Acier	Acier	Béton précontraint	Béton précontraint

### Principales caractéristiques: sûreté incorporée

Les réacteurs HTG se distinguent essentiellement par les caractéristiques suivantes: cuve à pression en béton précontraint, modérateur et réflecteur en graphite, hélium comme calorporteur, combustible en particules enrobées, faible puissance volumique.

Tout le circuit primaire de refroidissement de ces réacteurs est contenu dans une cuve à pression en béton précontraint comportant plusieurs alvéoles et un revêtement intérieur en acier, ainsi qu'une solide armature métallique longitudinale et circulaire. L'indépendance et la redondance des renforcements est une bonne garantie de sûreté pour ce genre de cuve. Le béton fait également fonction d'écran. Ces cuves sont conçues de façon à contenir un fluide calorporteur sous haute pression en bien plus grande quantité que ne le peuvent les cuves en acier à pression égale.

Le cœur et le réflecteur sont en graphite, matériau d'une grande capacité thermique qui se sublime vers 3600°C et conserve ses propriétés mécaniques (rigidité structurale) jusqu'à 2500°C et même davantage. Cette qualité assure de grandes marges de sécurité entre les températures d'exploitation normale et les températures maximales.

Le fluide calorporteur est de l'hélium, gaz non condensable et chimiquement inerte qui n'influe en aucune manière sur la réaction nucléaire en chaîne. L'hélium sous pression contient peu d'énergie emmagasinée et se maintient en phase gazeuse dans toutes les conditions d'exploitation imaginables.

Le combustible est constitué par de petites particules sphériques d'oxyde ou de carbure d'uranium et de thorium d'un diamètre de 0,2 à 0,6 mm. Chaque particule est enrobée — une couche de carbone pyrolytique sur plusieurs couches d'un produit céramique — afin d'assurer la rétention des produits de fission et la stabilité à haute température. Ces particules sont dispersées d'une façon homogène dans une matrice de graphite qui est ensuite frittée et comprimée sous forme de boulets ou sous forme de barres que l'on insère dans les canaux à combustible ménagés dans le bloc de graphite.

Ces particules demeurent intactes et retiennent pratiquement tous les produits de fission jusqu'à des températures de l'ordre de 2000°C. Elles n'ont pas de point de fusion déterminé mais elles se détériorent graduellement et statistiquement dans les conditions accidentelles, de sorte que l'on n'a pas à craindre un dégagement soudain de produit de fission.

La puissance volumique d'un réacteur HTG est inférieure d'environ un ordre de grandeur à celle d'un réacteur à eau légère et contribue dans une large mesure à la sûreté intrinsèque de la filière. Si l'on considère par ailleurs la grande capacité thermique du graphite dont sont faits le cœur et le réflecteur (un réacteur de 2240 MWe contient plus de 1,3 million de kg de graphite), il est certain que les transitoires de température du réacteur provoqués par les perturbations se développent très progressivement. La lenteur de la réponse thermique rend le réacteur facile à conduire, car son comportement est aisé à prévoir et l'on dispose de plus de temps pour empêcher les transitoires de se transformer en accident grave. On peut ainsi corriger la marche ou prendre toute autre mesure utile.

### Un réacteur universel

Vu l'expérience acquise dans l'exploitation des réacteurs HTG et les perspectives intéressantes de sa technologie, les programmes de développement de la République fédérale d'Allemagne, du Japon, des Etats-Unis et de l'URSS visent maintenant la commercialisation de ce réacteur pour la production mixte d'électricité et de vapeur industrielle ou préparent le terrain aux applications de la chaleur industrielle. L'étude du réacteur, les travaux de recherche et développement, notamment sur le fonctionnement de l'installation, l'étude des sites et les évaluations économiques sont effectuées dans les quatre pays en mettant l'accent sur différents aspects. Les principales applications envisagées sont les suivantes:

- production d'électricité par le circuit vapeur et par des turbines à gaz intégrées en circuit direct
- vapeur industrielle (et coproduction d'électricité) pour la chimie organique et la pétrochimie, l'extraction et le traitement du pétrole brut et la production de gaz de remplacement du gaz naturel par le procédé Lurgi/Exxon de gazéification du charbon
- chaleur industrielle
- production de gaz synthétique: gaz de remplacement du gaz naturel par hydrogazéification du charbon; ammoniac; réduction du minerai de fer; synthèse du méthanol
- production de gaz de remplacement par gazéification du charbon à la vapeur
- craquage des résidus lourds du pétrole
- transport d'énergie à longue distance par des gaz
- production d'hydrogène par décomposition thermo-chimique de l'eau et électrolyse à haute température.

### Installations en exploitation ou en construction

Tous les réacteurs HTG actuellement en exploitation ou en construction équipent des centrales électriques:

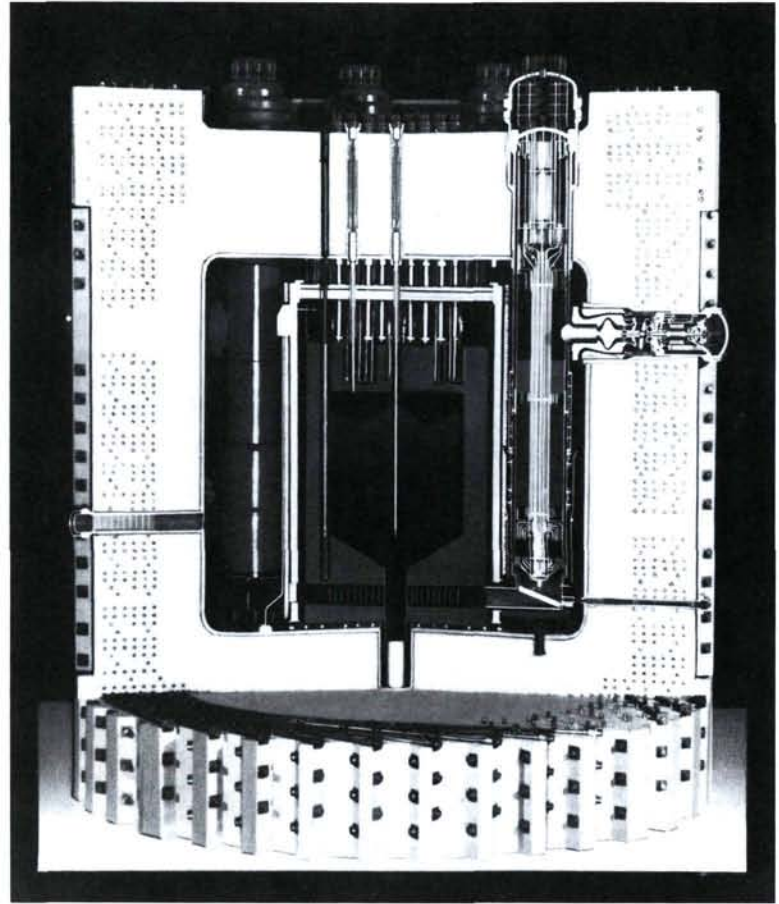
*Réacteur AVR.* En République fédérale d'Allemagne le programme de réacteur HTG a débuté par la construction d'un petit prototype à lit de boulets, l'Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR). La construction sur le site de Juliers a commencé en 1960, et l'exploitation en 1967. Le cœur du réacteur se compose de 94 000 éléments combustibles sphériques de 60 mm de diamètre. Le chargement et le déchargement se font de manière continue pendant la marche. Les éléments combustibles témoins contiennent un gramme d'uranium 235 (enrichi à 93%) et 5 grammes de thorium 232 dans des particules à plusieurs couches de pyrocarbone. La puissance volumique de ce cœur est de 2,6 MW par mètre cube.

Malgré des arrêts en vue de procéder à des séries d'essais, la disponibilité moyenne du réacteur pendant les 11 premières années d'exploitation a été de 77%. La meilleure année a été 1976, avec 92%. Le taux de combustion du combustible a dépassé 190 000 mégawatt/jours par tonne.

L'AVR a permis de mettre en évidence le fort potentiel thermique de ce type de réacteur: la température de sortie de l'hélium a pu être portée de 750°C au départ à 850°C en 1972, et à 950°C en 1974. Pendant toute la période d'exploitation, la radioexposition du personnel de commande et d'entretien a été très faible.



Représentation en coupe de la cuve en béton pré-contraint du réacteur à haute température au thorium (THTR-300) destiné au prototype de centrale nucléaire; cette cuve de forme cylindrique contient tout le circuit primaire. Les parois ont environ 4,5 mètres d'épaisseur, et les dalles supérieure et inférieure, un peu plus de 5 mètres. Le combustible, sous forme de lit de boulets, constitue le cœur du réacteur (au centre de la figure); les techniciens (ci-dessus) y procèdent à des vérifications à la suite de l'insertion des barres d'absorbant, après la première criticité. (Photos Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH.)



Pour la future utilisation de ce réacteur, le Centre d'études nucléaires de Juliers a proposé, en 1983, de modifier l'installation pour produire de la chaleur industrielle à haute température, à titre expérimental, principalement en vue de la transformation du charbon en produits chimiques de haute qualité destinés à servir de combustibles ou autres vecteurs chimiques ou de matières premières. Les procédés en cause présentent divers avantages, dont une moindre pollution de l'environnement et une meilleure utilisation des ressources de charbon.

*Réacteur THTR-300.* Fondé sur l'expérience acquise avec le réacteur AVR, le réacteur de puissance de démonstration THTR-300, à lit de boulets, de 300 MWe, a été étudié vers la fin des années 60. La construction a commencé en 1972 sur un site près de Hamm, en République fédérale d'Allemagne. L'achèvement des travaux était initialement prévu pour 1977-78, mais d'importants retards sont intervenus à cause de modifications de la réglementation en matière de permis d'exploitation. Alors que la construction était déjà bien avancée, il a fallu tenir compte de nouvelles éventualités telles que l'impact de projectiles venant de l'extérieur, les vibrations verticales d'origine sismique et la rupture spontanée de conduites et de réservoirs. Actuellement, le réacteur est pratiquement achevé.

Il est devenu critique pour la première fois le 13 septembre 1983, après le chargement de 198 180 éléments combustibles sphériques. Des essais de montée en puissance seront faits pendant les premiers mois de 1985 et

l'on prévoit que le réacteur sera remis à l'exploitant en octobre 1985.

*Réacteur de Fort St. Vrain.* Tandis que le réacteur HTG de Peach Bottom était en construction et mis en service, l'étude de réacteurs de ce type mais de puissance supérieure continuait aux Etats-Unis pour aboutir à la centrale nucléo-électrique de Fort St. Vrain, de 330 MWe.

Le chantier a été ouvert en septembre 1968 et la centrale a commencé à fonctionner à la fin de 1976. Elle a cependant été limitée à 70% de sa puissance à cause de fluctuations de température dans la région du cœur et à la sortie du gaz, ultérieurement attribuées à de légers déplacements de quelques colonnes de blocs de combustible. Par la suite on a procédé à des calages au niveau du réflecteur supérieur et les fluctuations ont cessé. La Commission de réglementation nucléaire des Etats-Unis a alors donné l'autorisation de faire des essais à plus grande puissance et la puissance maximale a été atteinte en novembre 1981.

L'excellent comportement du combustible et la faible radioexposition du personnel qui en résulte, comme on a pu le constater pendant les opérations de rechargement de 1979, sont des considérations importantes. Les débits de dose de rayonnements au niveau des composants du circuit primaire demeurent suffisamment faibles pour permettre une intervention directe pour une bonne part des opérations d'entretien. Ces faibles débits de doses sont évidemment dus à l'imperméabilité des particules de combustible recouvertes de céramique, à l'inertie radio-



logique de l'hélium et à la structure de la cuve en béton précontraint.

Le réacteur de Fort St. Vrain a aussi montré qu'il pouvait atteindre une haute performance et de hautes températures: 785°C dans le circuit primaire et 400°C dans le circuit de vapeur. Le rendement thermique du réacteur a été de 38,5% à pleine puissance et la centrale a produit jusqu'à ce jour 4,3 térawatt-heures d'électricité.

### Programmes d'études et réalisations des Etats Membres

*Japon.* Le programme japonais a commencé il y a une dizaine d'années par des études préliminaires de conception et des travaux de recherche et de développement, à l'Institut japonais de recherche sur l'énergie atomique, en vue de mettre au point un réacteur expérimental à très haute température (RTHT). Ce réacteur aura une puissance de 50 MWth et comportera une cuve à pression en acier avec un cœur en blocs de graphite contenant un combustible à l'uranium enrichi sous forme de particules enrobées, et deux circuits primaires avec leurs échangeurs intermédiaires et des extracteurs de chaleur, cela dans un premier temps. La température de sortie du fluide caloripporteur sera de 950°C.

La mise en chantier de cette installation est prévue pour 1990. Ce programme a récemment été revu et élargi de façon à comprendre non seulement la fabrication de l'acier, mais aussi 1) la coproduction d'électricité et de vapeur industrielle, 2) la production de gaz synthétique à partir de résidus de pétrole, 3) la gazéification ou la liquéfaction du charbon et 4) la production d'hydrogène par décompositions thermochimiques de l'eau.

*URSS.* Un vaste programme de réacteurs à haute température refroidis par un gaz a été lancé en vue de placer ce type d'installation sur le marché de la chaleur industrielle.

Le modèle est un réacteur à lit de boulets et à combustible faiblement enrichi. Tous les composants importants du réacteur font l'objet d'études théoriques et d'essais très poussés. De grandes installations sont utilisées pour étudier la dynamique des gaz, l'échange de chaleur, les propriétés physiques des neutrons, la qualité des matériaux, l'interaction entre les barres et le cœur, et aussi pour éprouver le combustible. Le procédé de fabrication du combustible a été mis au point et des essais d'irradiation ont été faits.

Ces études ont abouti à la conception du réacteur VGR-50, de 50 MWe prévu pour produire de l'électricité et servir de source d'irradiation gamma de 300 à 400 kW destinée à des opérations de radiochimie; cette source consiste en une circulation continue d'éléments combustibles provenant du cœur, passant par l'irradiateur pour ensuite retourner au cœur. Comme autres caractéristiques, il faut noter la pression de l'hélium caloripporteur qui est de 40 bars et sa température de sortie qui atteint 800°C. Le circuit primaire comporte 4 échangeurs de chaleur et est contenu dans une cuve en acier.

On prévoit que la mise en chantier sera décidée dès que les travaux de recherche et de développement seront

terminés et que les plans seront prêts. Les préparatifs en vue de la fabrication des composants sont en cours.

Simultanément, de grands progrès ont été faits dans l'étude d'une installation de démonstration, dénommée VG-400, destinée à produire de la chaleur industrielle et de l'électricité. Il s'agit d'un réacteur de 1000 MWth à lit de boulets et à cuve en béton précontraint; le cycle du combustible est ouvert; la température de sortie du gaz est de 950°C; il est équipé de 4 échangeurs de chaleur et de soufflantes électriques. Le réacteur comportera des échangeurs de chaleur hélium/hélium et des régénérateurs de vapeur dans les circuits secondaires pour la production d'ammoniac par conversion catalytique du méthane.

*République fédérale d'Allemagne.* Plusieurs installations dont le HTR-500 (500 MWe) et le réacteur modulaire (environ 200 MWth par module) sont envisagés pour faire suite au THTR-300.

Les principes retenus pour les éléments de structure ou les composants du THTR-300 ont été adoptés en majeure partie pour HTR-500 et plusieurs éléments de base de circuit primaire ont été normalisés. Ce sont notamment les composants de la cuve en béton précontraint, les générateurs de vapeur, les pompes de circulation, les mécanismes de commande et d'arrêt, les blocs céramiques de la structure du cœur, et les éléments combustibles. Les principales caractéristiques de conception sont données sur le tableau 2.

Tableau 2. Principales caractéristiques du HTR-500

Puissance en MWth/MWe	1250/500
Pression de l'hélium (bar)	50
Température de sortie de l'hélium (°C)	700
Pression de la vapeur (bar)	180
Température (°C)	525

L'adoption des caractéristiques de sûreté propres au HTR, ainsi que l'optimisation de la conception des composants et des circuits, ont pour conséquence que le HTR-500, bien que moins puissant que le réacteur à eau sous pression de 1230 MWe dans sa conception actuelle, représente des coûts spécifiques d'installation peut-être légèrement plus élevés, avec des coûts de production d'électricité pratiquement identiques, tandis que les coûts d'investissement sont très sensiblement inférieurs.

Si le HTR-500 est utilisé pour la production d'électricité et de vapeur industrielle, il peut aussi fournir celle-ci à haute pression et à haute température. En outre, pour ce qui est des coûts, il l'emporte nettement sur les installations chauffées au charbon.

La conception modulaire du HTR consiste à combiner de petites unités normalisées de 200 MWth, construites en usine, de façon à constituer des centrales d'un grand éventail de puissance pouvant aller jusqu'à 1600 MW en vue de la production d'électricité, de la coproduction de vapeur et d'électricité ou de la production uniquement de chaleur industrielle.

Les caractéristiques de ce système modulaire sont fondées sur des technologies confirmées, et sur l'expéri-



Un des 1482 blocs de combustible en graphite est inséré dans le cœur du premier réacteur HTG de taille industrielle, qui équipe la centrale de 330 MWe de Fort St. Vrain, au Colorado (Etats-Unis). Depuis sa mise en service, à la fin de 1976, cette centrale a produit plus de quatre térawatt-heures d'électricité. (Photo GA Technologies, Inc.)

ence d'exploitation acquise avec les réacteurs à eau légère et les AVR (en accordant une attention spéciale à la simplification de la technologie de la sûreté), et visent une grande disponibilité et une grande diversité d'applications. Le module HTR est composé comme suit:

Le cœur à lit de boulets produit environ 200 MWth. Selon l'application envisagée, la température de l'hélium peut être réglée à 700°C pour la production d'électricité ou à 950°C pour la production de vapeur industrielle à une pression de 40 à 50 bars, la puissance volumique étant environ de 3 mégawatt par mètre cube.

Le réacteur lui-même et les circuits d'hélium sont contenus dans une cuve et le générateur de vapeur dans une autre, reliée à la première par une seule conduite coaxiale. Cette configuration facilite l'accès aux fins d'inspection, de réparation ou de démontage.

La petite taille du module, la faible puissance volumique et les dimensions réduites du cœur (3 mètres de diamètre sur 9,6 mètres de hauteur) donnent une sûreté passive exceptionnelle. Même lorsque le bilan thermique du circuit primaire varie rapidement, les transitoires de température du réacteur demeurent extrêmement lentes du fait de la grande inertie thermique du cœur et des autres structures en graphite. Ainsi, même dans le cas

d'un accident hypothétique très grave, il reste suffisamment de temps pour que les protections incorporées puissent réagir ou pour que l'on prenne les mesures d'urgence nécessaires pour prévenir ou limiter l'endommagement éventuel des composants du réacteur.

Une des applications les plus importantes de ces modules est la fourniture de vapeur industrielle aux complexes industriels de moyenne ou grande taille. Le réacteur à haute température est le seul système capable de produire toutes les qualités de vapeurs nécessaires aux divers procédés industriels.

La possibilité de produire à la fois de la vapeur et de l'électricité contribue à rendre l'installation plus indépendante du réseau pour son alimentation. Etant donné la gamme de puissance que la combinaison des modules permet d'obtenir, ainsi que la grande disponibilité que l'on attend de ce système et les avantages qu'il présente pour l'environnement, les installations nucléo-thermiques pourront bientôt trouver leur place dans les créneaux précédemment occupés par des générateurs de vapeur à combustible fossile.

Le principe du réacteur de petite taille HTR-100 est également dérivé des plans de la centrale expérimentale AVR de 15 MWe.

Par ailleurs, le HTR-100 est également conçu comme source de chaleur irremplaçable pour la production d'électricité, de vapeur et d'électricité, ou seulement de chaleur industrielle. Il se caractérise par l'intégration de tous les composants du circuit primaire dans une seule cuve à pression en acier, par la circulation verticale de l'hélium dans le cœur jusqu'à l'échangeur de chaleur situé à la partie supérieure, et par un dispositif de commande et d'arrêt du cœur comportant des barres de réflecteur et de petites sphères d'absorbant situées dans les espaces tubulaires des structures de soutien du réflecteur.

Pour la production d'électricité ou la coproduction d'électricité et de vapeur, les 256 MW de puissance thermique sont transférés par l'hélium à 70 bars et à 700°C dans le circuit secondaire par trois circuits forcés jusqu'aux générateurs de vapeur qui produisent de la vapeur surchauffée à 190 bars et 530°C. L'évacuation de la chaleur résiduelle est également assurée par ces trois circuits avec un haut degré de sûreté. A titre complémentaire, cette chaleur peut être également dissipée par rayonnement et par conduction à partir de la cuve du réacteur vers le système de refroidissement situé dans l'enveloppe de confinement.

*Etats-Unis d'Amérique.* Un des principaux volets du programme consiste en études et en essais à l'appui d'un projet pilote de réacteur à haute température refroidi par un gaz qui servirait à faire la démonstration de ce genre d'installation en taille industrielle, et de ses composants, enrichis des innovations technologiques et de l'expérience acquise à la centrale de Fort St. Vrain. Le programme prévoit également la formulation de critères pour la délivrance des permis d'exploitation des futures installations de taille industrielle et pour la définition des caractéristiques opérationnelles des centrales mixtes.

Le programme des Etats-Unis comporte également des études théoriques de réacteurs de pointe destinés à la production de chaleur industrielle à haute température, et des recherches sur le traitement des déchets et l'entreposage du combustible épuisé en vue de boucler à court terme le cycle de combustible des réacteurs HTG, le perfectionnement de la technologie qui permettrait éventuellement le traitement des éléments combustibles à l'uranium/thorium des réacteurs de la filière HTG, ainsi que l'étude des avantages techniques et économiques de petits réacteurs modulaires destinés à des applications spéciales.

A la dernière conférence sur les réacteurs à haute température refroidis par un gaz, réunie à San Diego (Etats-Unis) en août 1984, il a été annoncé que le programme de réacteurs HTG des Etats-Unis était actuellement réorienté. La plus grande partie du programme continuera d'intéresser la technologie fondamentale. La centrale pilote de 2240 MWth, dans l'état d'avancement de l'étude en 1984, sera prise comme référence de base.

Le programme se concentre désormais sur des centrales de l'ordre de 1000 à 1300 MWth, puissance qui sera très probablement prochainement demandée par les exploitants. Le programme cherchera aussi à évaluer les con-

cepts d'installation intégrée et à plusieurs modules, en veillant à une plus grande sûreté et à la protection de l'environnement. Le but est de choisir un type de centrale intégrée et un type de centrale à plusieurs modules pour la fin de l'exercice 1984.

### Nombreux avantages

La deuxième génération que constituent les réacteurs à haute température refroidis par un gaz présente de nombreuses caractéristiques intéressantes et les avantages escomptés se sont confirmés.

Ce type de centrale peut produire de la vapeur pour la production d'électricité, de la vapeur industrielle de haute qualité et de la chaleur industrielle à haute température. En ce qui concerne l'électricité, la technologie était au point au début des années 1970.

Bien que cette formule se soit toujours trouvée en concurrence avec les filières à eau légère en exploitation, elle faisait son apparition sur le marché aux Etats-Unis et en Europe au moment de l'expansion rapide du nucléaire, au début des années 70. Toutefois, pendant la période de stagnation du nucléaire qui a suivi, dans le courant de la deuxième moitié de la décennie, il n'y avait aucune chance de mettre sur le marché un nouveau système désavantagé par les coûts supplémentaires qui accompagnent normalement un nouveau produit.

Dans le même temps, en présence de l'escalade des prix du pétrole et du gaz et de l'incertitude croissante des approvisionnements à long terme en combustible fossile dans de nombreux pays, le réacteur à haute température refroidi par un gaz est apparu comme le seul moyen d'économiser, ou de remplacer, l'énergie fossile sur le marché de la chaleur industrielle. Dans un très grand secteur de ce marché, le pétrole et le gaz ne sont pas remplaçables par d'autres systèmes énergétiques nucléaires.

Les réacteurs à haute température refroidis par un gaz peuvent jouer un rôle important sur le marché de l'énergie. Le charbon, dans la mesure où il est utilisé comme combustible, les schistes et sables bitumineux, les gisements de pétrole lourd et les résidus de pétrole exigent la plupart du temps de hautes températures pour leur conversion en produits énergétiques propres, acceptables pour l'environnement, et faciles d'emploi tout en restant économiques. Or, les procédés classiques de conversion consomment presque autant de combustible qu'ils n'en transforment. Le recours au nucléaire pourrait donc réduire pratiquement de moitié la consommation de charbon pour une demande donnée.

En outre, ce type de réacteur peut répondre à la demande de chaleur industrielle d'une façon propre, sûre, économique en combustible et en argent, et douce pour l'environnement.

---

On trouvera dans le n° 235 de la collection Rapports techniques de l'AIEA (1984), intitulé *Status of and Prospects for Gas-Cooled Reactors*, des renseignements complémentaires sur les programmes de réacteurs HTG dans les pays Membres de l'AIEA.