

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

COM(69) 350 - ANNEXE TECHNIQUE N° 22

Bruxelles, le 30 avril 1969

"ACTIVITÉS FUTURES D'EURATOM"

Annexe technique n° 22

1.2. LES RÉACTEURS À GAZ À HAUTE TEMPÉRATURE

Les premiers projets de réacteurs refroidis par gaz à haute température remontent aux années 1956/57. Ces réacteurs utilisent tous du graphite comme modérateur, de l'hélium comme réfrigérant et des particules enrobées comme combustible, ces dernières ayant considérablement contribué au succès de ce type de réacteur.

1. Description sommaire de l'activité sur le plan technique et industriel

1.1. Aperçu historique

- Le Projet Dragon a pris naissance en 1959 dans le cadre de l'OCDE(1) et la Communauté y participe depuis le début. Le réacteur Dragon (20 MWth) à éléments combustibles prismatiques a atteint la pleine puissance en 1966. Il est envisagé d'augmenter sa puissance à environ 25 MWth en 1970.
- autour du projet de réacteur à boulets AVR (1) (15MWe), qui a été entamé en Allemagne dès 1959, s'est développé le projet THTR (1) auquel la Communauté a été associée depuis 1963. Le réacteur AVR est monté en puissance et a été raccordé au réseau en décembre 1967. Il a fonctionné régulièrement depuis cette date aux 2/3 de sa puissance.
- le réacteur Peach Bottom (40 MWe) à éléments prismatiques a été construit aux États-Unis par General Atomic et a atteint sa pleine puissance en mai 1967.

(1) OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique
AVR : Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor
THTR : Thorium-Hochtemperatur-Reaktor

I.2. LES REACTEURS A GAZ A HAUTE TEMPERATURE

Les premiers projets de réacteurs refroidis par gaz à haute température remontent aux années 1956-57. Ces réacteurs utilisent tous du graphite comme modérateur, de l'hélium comme réfrigérant et des particules enrobées comme combustible, ces dernières ayant considérablement contribué au succès de ce type de réacteur.

1. Description sommaire de l'activité sur le plan technique et industriel

1.1. Aperçu historique

- le Projet Dragon a pris naissance en 1959 dans le cadre de l'OCDE^{*)} et la Communauté y participe depuis le début. Le réacteur Dragon (20 MWth) à éléments combustibles prismatiques a atteint la pleine puissance en 1966. Il est envisagé d'augmenter sa puissance à environ 25 MWth en 1970.
- autour du projet de réacteur à boulets AVR^{*)} (15 MWe), qui a été entamé en Allemagne dès 1959, s'est développé le projet THTR^{*)} auquel la Communauté a été associée depuis 1963. Le réacteur AVR est monté en puissance et a été raccordé au réseau en décembre 1967. Il a fonctionné régulièrement depuis cette date aux 2/3 de sa puissance.
- le réacteur Peach Bottom (40 MWe) à éléments prismatiques a été construit aux Etats-Unis par General Atomic et a atteint sa pleine puissance en mai 1967.

^{*)} OCDE: Organisation de Coopération et de Développement Economique
AVR: Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor
THTR: Thorium-Hochtemperatur-Reaktor

L'expérience acquise lors de la réalisation et de l'exploitation de ces trois réacteurs a démontré qu'il est possible de trouver des solutions adéquates aux nouveaux problèmes techniques que pose l'industrialisation des réacteurs à gaz à haute température.

1.2. Initiatives prises en vue de la construction des premières grandes centrales à cycle à vapeur

1.2.1. En Angleterre le "Reactor Policy Committee" (UKAEA^{*)} + CEGB^{*)} + Consortia) a décidé, après un examen approfondi des avantages respectifs des réacteurs du type gaz-graphite MkIII refroidis au CO₂ et à l'hélium, de concentrer les efforts sur le développement des réacteurs à gaz à haute température à éléments prismatiques dérivés des études du Projet Dragon, afin de pouvoir entamer un programme important de construction de grandes centrales de ce type dès 1970, succédant à la génération des AGR^{*)}.

En dehors de sa participation au programme Dragon, l'UKAEA apportera son soutien à la mise au point des premières grandes centrales HTGR^{*)} sous forme d'un programme de recherche important. L'UKAEA envisagerait favorablement un accord d'échange d'informations avec la Communauté, couvrant ces activités additionnelles, à condition qu'un programme coordonné d'importance comparable soit entrepris chez nous.

Aux Etats-Unis, Gulf General Atomic a entamé la construction d'une centrale de 330 MWe pour Public Services of Colorado. Cette centrale, munie d'un réacteur HTGR à éléments prismatiques, devrait être achevée en 1972.

En Suisse, Brown Boveri (Baden) élabore un projet de réacteur à haute température à éléments prismatiques.

^{*)} UKAEA: United Kingdom Atomic Energy Authority
CEGB: Central Electricity Generating Board
HTGR: High Temperature Gas-cooled Reactor
AGR: Advanced Gas-cooled Reactor

1.2.2. La Communauté a participé à la mise au point de deux variantes de réacteurs à gaz à haute température respectivement à éléments prismatiques dans le cadre du Projet Dragon et à éléments sphériques dans le cadre de l'Association THTR. Des dessins de référence pour des réacteurs de puissance ont été élaborés depuis plusieurs années dans le cadre de ces projets. Ces deux développements ont atteint maintenant le stade où les industriels s'intéressent à la réalisation de centrales de plusieurs centaines de mégawatts.

Les Sociétés BelgoNucléaire, Gutehoffnungshütte et SNAM

Progetti ont constitué le 1er août 1968 avec le consortium anglais TNPG^{*)}, la S.A. Inter Nuclear pour la mise au point et la vente des réacteurs HTGR à éléments prismatiques; les actionnaires de la Communauté détiennent 70 % du capital de cette nouvelle société. Une offre préliminaire a été remise à des producteurs d'électricité de plusieurs pays de la Communauté en vue de les inciter à collaborer pour la construction d'une première centrale. En date du 27 février 1969 la Commission a été informée par une lettre de la S.A. Inter Nuclear des caractéristiques économiques et du contexte de cette offre préliminaire. Le coût d'investissement spécifique est de 190 \$/kWe pour réaliser une centrale de 400 MWe en Belgique; l'ensemble des charges supportées par le client peuvent être évaluées à vingt-cinq pour cent, du prix de la centrale.

Les groupements français SOCIA^{*)} et GAAA^{*)} ont montré également un intérêt pour la variante à éléments prismatiques ainsi que le groupe allemand BBK^{*)} qui a décidé récemment de ne pas limiter ses activités dans le domaine des réacteurs à gaz à haute température à la seule variante à boulets. Aucun producteur d'électricité de la Communauté n'a encore manifesté publiquement son intention de passer à la réalisation d'un réacteur à éléments prismatiques.

^{*)} TNPG: The Nuclear Power Group Limited
SOCIA: Société pour l'Industrie Atomique
GAAA: Groupement Atomique Alsacienne Atlantique
BBK: Brown Boveri/Krupp Reaktorbau GmbH.

Le développement de la variante à éléments sphériques a été effectué dans le cadre de l'Association THTR. Une offre ferme pour la construction d'un réacteur de 300 MWe doit être remise dans le courant du mois d'avril par les sociétés BBC et BEK, d'une part au BMwF^{*)} et d'autre part à un groupement de producteurs d'électricité, HKG^{*)}, qui examineront les aspects techniques et financiers de cette réalisation.

. La construction de cette centrale est déjà prévue dans le programme nucléaire allemand. Elle sera entamée lorsque les résultats de fonctionnement de la centrale expérimentale AVR, ainsi que l'évaluation du projet, permettront de prendre une décision à cet effet.

Avant de décider la construction du réacteur de 300 MWe, des producteurs d'électricité participant à HKG désirent également obtenir des renseignements concernant les problèmes techniques liés à la construction et l'exploitation de réacteurs à boulets de plus grande puissance.

1.3. Initiative prise en vue de la construction d'une centrale à cycle direct

Le 21 février 1969 la KSH^{*)} a conclu avec la Société GHH un contrat pour la construction du réacteur Geesthacht-2. Cette centrale, garantie pour 22 MWe, comportera un réacteur à gaz à haute température à éléments prismatiques et une turbine à hélium exploitée en cycle direct. C'est la première réalisation de ce type sur le plan mondial et le BMwF contribue largement à son financement. La température de l'hélium à l'entrée de la turbine sera de 730°C permettant d'obtenir un rendement thermique net de 35.7 % à pleine puissance. La GHH s'est engagée à construire cette centrale pour 65 millions de DM (il est prévu une

^{*)} BMwF: Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung
HKG: Hochtemperatur-Kernkraftwerk Gesellschaft mbH.
KSH: Kernkraftwerk Schleswig-Holstein GmbH.

somme de 20 millions DM en plus pour les frais du client, la préparation du site et pour la fourniture du thorium et de l'U-235) et de la transférer aux exploitants vers la mi-1973. Le contrat prévoit des pénalités pour fourniture tardive et GHH garantit une disponibilité de la centrale de 2.000 h la première année, 4.000 h la seconde et 6.000 h la troisième.

1.4. Fabrication industrielle du combustible

Les Sociétés BelgoNucléaire, CERCA^{*)}, Nukem^{*)} et SNAM Progetti étudient actuellement les problèmes liés à la production industrielle de combustibles pour réacteurs HTGR. Dans ces travaux il est fait un large appel à l'expérience acquise par le Projet Dragon qui a fabriqué tout le combustible pour le réacteur Dragon. Le marché actuel est limité à la fourniture de combustible d'appoint pour l'AVR et de combustible pour le réacteur Geesthacht-2.

2. Rôle futur des HTGR sur le plan énergétique et industriel

2.1. Les initiatives décrites ci-dessus témoignent de la confiance que des pouvoirs publics et de puissantes industries placent dans le succès de cette filière. A court terme, la mise au point de ce type de réacteur devrait permettre à ses promoteurs de conquérir une fraction importante du marché nucléaire. Le coût spécifique d'investissement devrait être rapidement du même ordre que celui des réacteurs à eau légère; le coût du cycle de combustible par contre devrait être inférieur.

De nombreux producteurs d'électricité s'intéressent dès maintenant à ce type de réacteur compte tenu des avantages économiques mentionnés, de la bonne disponibilité escomptée, de l'utilisation de turbines à vapeur modernes et des perspectives d'amélioration qui résulteraient de l'adoption de turbines à hélium en cycle direct. Dans le cadre du développement nucléaire, ces réacteurs constituent, pour ces raisons, une alternative très prometteuse aux réacteurs à eau légère.

^{*)} CERCA: Compagnie pour l'Etude et la Réalisation de Combustibles Atomiques
Nukem: Nuklear-Chemie und -Metallurgie GmbH.

Ce type de réacteur trouve un support important, d'une part dans une industrie nucléaire puissante créée pour réaliser les réacteurs à gaz-graphite, notamment en Angleterre et en France, et d'autre part auprès des industriels qui ont porté leur choix sur les HTGR dès le début de leurs activités nucléaires, tels BBK en Allemagne et GGA^{+) aux Etats-Unis. Ces circonstances, et le fait qu'en Europe la haute température ait été développée dans le cadre d'accords auxquels Euratom a participé, amènent actuellement les industriels - constructeurs de centrales et fabricants de combustible - à coopérer par dessus les frontières pour avoir accès ensemble à un marché nucléaire de grande dimension, et pouvoir atteindre le niveau des géants américains du point de vue des ressources intellectuelles, technologiques et financières.}

L'introduction à court terme des réacteurs à gaz à haute température présente donc, d'une part un intérêt économique pour les producteurs d'électricité et, d'autre part, elle devrait permettre un renforcement considérable de la position des industries nucléaires européennes sur le marché mondial.

2.2. Il faut examiner maintenant quelle pourrait être la situation à long terme des réacteurs à gaz à haute température, compte tenu de la possibilité de construire d'ici 10 à 15 ans des grands réacteurs rapides refroidis au sodium. Les réacteurs rapides refroidis au sodium, de 600 MWe et plus, ne seront construits au-delà des têtes de filière de même taille que si celles-ci démontrent qu'ils peuvent concurrencer sur le plan économique les réacteurs thermiques construits à la même époque. La probabilité de pouvoir réaliser d'ici 10 ans des grands réacteurs à gaz à haute température en cycle direct est aussi bonne que celle de pouvoir construire d'ici là des grands surrégénérateurs refroidis au sodium. Les estimations économiques pour les HTGR à cycle direct sont de l'ordre de 120 \$/kWe pour le coût d'investissement spécifique total^{*)} et de l'ordre de 0,8 mills/kWh pour le cycle de combustible^{**)} (en \$ d'aujourd'hui). L'adoption du cycle au thorium à la place du cycle à uranium

^{+) GGA: Gulf General Atomic}

^{*) dont environ 95 \$/kWe sont le montant des fournitures industrielles et environ 25 \$/kWe sont les frais du client.}

^{***) avec le coût actuel de l'uranium naturel.}

faiblement enrichi permettra de réduire l'effet d'une hausse éventuelle du coût de l'uranium, qui pourrait résulter de la forte demande qui se créera d'ici là et au-delà.

Les parts respectives qu'occuperont dans le marché nucléaire au-delà de 1980 les réacteurs rapides refroidis au sodium et les réacteurs thermiques sont difficilement prévisibles car elles dépendent de nombreux impondérables dont les principaux sont les suivants:

- évolution du coût d'investissement des réacteurs thermiques et rapides;
- évolution du coût de l'uranium;
- évolution du coût du travail de séparation isotopique;
- distribution du marché en fonction de la taille des centrales;
- structure du diagramme de la puissance appelée;
- taux d'expansion de la puissance nucléaire installée.

En fait on peut s'attendre à ce que les réacteurs thermiques et rapides vivent longtemps en symbiose du fait de leur complémentarité. A long terme les réacteurs rapides refroidis au sodium devront occuper la base du diagramme de charge du fait de leur coût d'investissement plus élevé et pour avoir un temps de doublement intéressant; les réacteurs HTGR pourront accepter des facteurs de charge plus faibles et intervenir pour de plus petites unités. Cette situation sera valable à partir du moment où il y aura une hausse considérable du coût de l'uranium. Tant qu'il y aura pléthore, les deux systèmes s'affronteront pour occuper la base du diagramme de charge à l'aide de grandes unités.

La question de savoir s'il faut une génération intermédiaire de convertisseurs avancés entre les réacteurs à eau légère et les réacteurs rapides n'est plus d'actualité en ce qui concerne les HTGR. En effet, les réacteurs HTGR risquent de s'implanter en compétition avec les réacteurs éprouvés avec le cycle à uranium faiblement enrichi; ils évolueront vers une meilleure utilisation de l'uranium dès qu'une hausse du coût de celui-ci rendra le cycle au thorium plus attrayant. Cette évolution ne demandera que peu de travaux supplémentaires et peut être préparée en poursuivant des études déjà entreprises dans ce domaine.

3. Etat des techniques à mettre en oeuvre dans les premières grandes réalisations

La construction des réacteurs HTGR fait appel à des techniques qui ont vu le jour à différentes étapes de l'évolution des réacteurs modérés au graphite et refroidis au gaz. Nous examinons ci-dessous l'état actuel des principales techniques à mettre en oeuvre en commençant par décrire celles qui sont communes aux variantes à éléments combustibles prismatiques et sphériques, et en examinant ensuite les techniques particulières mises en oeuvre dans chacune de ces deux variantes.

3.1. Techniques adoptées dans tous les HTGR

3.1.1. Combustibles à particules enrobées

Il s'agit ici d'un type de combustible qui a été conçu et étudié spécialement pour les HTGR à partir de 1960 environ. Une très grande expérience a déjà été accumulée sur ce combustible dans les réacteurs Dragon et AVR^{**}) et dans un très grand nombre d'expériences dans des réacteurs d'essais des matériaux.

Des codes de calculs ont été établis afin de prédire le comportement sous irradiation des particules enrobées. Les nombreuses vérifications expérimentales qui ont été faites donnent confiance dans les prédictions faites actuellement du comportement à dose élevée de nouveaux types de combustibles. L'expérience acquise est suffisante pour lancer avec confiance les premières grandes réalisations; seulement les travaux doivent être poursuivis pour augmenter la densité en métal lourd du combustible et pour permettre d'atteindre des taux d'épuisement et des doses-rapides plus élevées tout en fonctionnant à des températures plus élevées (cycle direct). Il faut également poursuivre la mise au point de procédés

^{**}) Les particules employées dans Peach Bottom n'ont pas été optimisées pour la rétention des produits de fission, les enrobages servant principalement à éviter l'hydrolyse des carbures d'uranium et de thorium lors de la fabrication du combustible.

industriels de fabrication et de retraitement de ces combustibles. Ces combustibles ont été étudiés dans le cadre des projets Dragon et THTR et toutes les connaissances nécessaires pour permettre leur fabrication sont donc disponibles dans l'ensemble de la Communauté.

3.1.2. Technologie de l'hélium

Il s'agit également d'une technologie qui a été mise au point pour les réacteurs HTGR. Les principaux problèmes qu'il a fallu résoudre concernent l'étanchéité du circuit primaire, le pompage de l'hélium, la lubrification de surfaces en frottement, la purification de l'hélium, le transfert de chaleur du combustible vers l'hélium, la corrosion du graphite, le dépôt de carbone pouvant donner lieu à un transfert de masse, et l'isolement thermique du circuit primaire. Tous ces problèmes ont trouvé des solutions qui ont été éprouvées de façon satisfaisante lors du fonctionnement des réacteurs Dragon, AVR et Peach Bottom. De l'avis général, l'adaptation par l'industrie de ces solutions aux grands réacteurs ne pose pas de problèmes insurmontables. Des problèmes particuliers se posent pourtant du fait de l'adoption de cuves en béton précontraint dont il faudra assurer l'étanchéité et l'isolement thermique avec des techniques plus perfectionnées. Il faudra également pouvoir garantir l'étanchéité des échangeurs de chaleur et mettre au point des grandes soufflantes à hélium. Dans ce domaine également, les connaissances de base et l'expérience acquise lors de l'exploitation des réacteurs Dragon et AVR sont accessibles à tous les industriels de la Communauté.

3.1.3. Cuve en béton précontraint et circuit primaire intégré

Il s'agit de techniques mises au point pour les réacteurs CO₂-graphite. Les cuves en béton précontraint ont été adoptées la première fois lors de la construction, dès 1956, des réacteurs G2 et G3 de Marcoule. La technique du circuit primaire intégré a été adoptée dans l'AVR dès 1961, mais avec une cuve en acier. Ces techniques sont d'application générale depuis de nombreuses années dans les réacteurs du type

gaz-graphite en France et en Angleterre (Magnox et AGR). Le désir de pouvoir remplacer les échangeurs a entraîné pour les HTGR une conception de cuve en béton précontraint d'un type nouveau, dans laquelle les échangeurs sont situés dans la paroi latérale de la cuve. Il s'agit ici d'un système breveté par Dragon que la Société BNDC^{*)} a adopté pour la centrale de Hartlepool et qui sera donc partiellement éprouvé avant la construction des grands HTGR. Toute l'expérience de réalisation de grandes cuves en béton précontraint pour réacteurs nucléaires est située en France et en Angleterre.

3.1.4. Groupe turbo-générateur

L'adoption de turbines à vapeur à caractéristiques modernes donne un accès au marché HTGR à tous les constructeurs de turbo-générateurs conventionnels, sans devoir développer des techniques nouvelles pour l'HTGR. Ceci n'est pas le cas pour les réacteurs à eau légère qui demandent la mise au point de grandes turbines à vapeur saturée.

3.2. Techniques particulières pour les HTGR homogènes à éléments prismatiques

3.2.1. Éléments combustibles et réflecteurs

L'ensemble du modérateur est incorporé dans les éléments combustibles qui occupent la totalité du volume du coeur. Les particules enrobées sont introduites dans des tubes de graphite ayant un diamètre extérieur voisin de celui des tubes combustibles employés dans le réacteur Dragon. Le comportement sous irradiation de ces tubes peut donc facilement être étudié dans Dragon. Les particules sont, soit incorporées dans des cartouches (compacts), ce qui permet d'atteindre des densités de métal lourd de l'ordre de $0,5-1 \text{ g/cm}^3$, soit introduites dans les tubes et fixées sur place par un liant (bonded fuel), ce qui permet d'atteindre des densités de métal lourd de $1,5 \text{ g/cm}^3$ et plus. La première technique a été éprouvée dans de nombreux éléments combustibles

^{*)} BNDC: British Nuclear Design and Construction Ltd.

dans le réacteur Dragon mais elle laisse moins de choix pour le dessin des éléments combustibles; la seconde technique n'a pas encore été éprouvée suffisamment, des combustibles de ce type rentrent actuellement dans le réacteur Dragon.

Les tubes de combustibles qui comprennent les cartouches ou le combustible lié sont introduits dans des chenaux prévus dans des blocs de graphite isotrope pour former les éléments combustibles. Ces blocs de graphite atteindront dans le réacteur une température maximum de 700 à 900°C et devront rester dans le réacteur pendant 3 années environ. Les doses de neutrons rapides atteintes seront nettement inférieures à ce qui est prévu au bout de 20 années dans les blocs de graphite isotrope utilisés dans les réacteurs AGR. Un programme très important d'irradiation de graphite à températures et doses élevées a été entrepris en Europe (principalement à Petten) et aux Etats-Unis et les résultats obtenus font régulièrement l'objet d'échanges de connaissances. Du fait de leur taille, ces blocs de graphite isotrope ne peuvent être irradiés dans des réacteurs d'essais des matériaux. Le comportement dimensionnel et l'état de tensions internes doivent être prédits à partir de codes de calcul complexes. Les modèles mathématiques pourront être vérifiés sur des blocs de combustible de taille réduite irradiés dans Dragon.

Le réflecteur axial est remplacé en même temps que les colonnes constituées de blocs de combustible. Il est également possible de remplacer la couche interne du réflecteur radial si cela s'avérait nécessaire durant la vie du réacteur.

3.2.2. Machine de chargement du combustible et contrôle neutronique

La machine de chargement est située au-dessus de la cuve en béton précontraint. Cette technique a déjà été éprouvée dans les réacteurs Magnox et AGR. La machine doit naturellement être redessinée en fonction de la taille des blocs, de la philosophie du chargement (chargement continu ou à l'arrêt), de l'atmosphère d'hélium, de la température et du sens de circulation des gaz.

Le contrôle se fait à l'aide de nombreuses barres de contrôle qui sont actionnées à partir de mécanismes situés dans le couvercle supérieur de la cuve. Les techniques de contrôle des oscillations Xe adoptées pour les réacteurs Magnox et AGR peuvent être utilisées.

3.3. Techniques particulières pour les HTGR à éléments sphériques

3.3.1. Eléments combustibles et coeur du réacteur

Le coeur du réacteur est constitué d'un lit de boulets. Ces boulets d'un diamètre de 6 cm sont chargés au sommet du réacteur. Différents tuyaux de chargement permettent d'introduire les boulets soit au centre, soit à la périphérie du coeur. Les boulets sont extraits à la base du réacteur. Ce type de combustible a été conçu pour le réacteur AVR et adopté également pour le réacteur THTR. Le fait d'avoir dû garder toujours la même forme pour l'élément combustible est un avantage incontestable lorsqu'il s'agit d'étudier la tenue du combustible (tenue sous irradiation, corrosion, érosion, résistance au choc, etc.). Différentes méthodes ont été adoptées pour la fabrication des boulets. La méthode de compaction de boulets homogènes a été adoptée pour le réacteur THTR. Des boulets de ce type ont déjà été irradiés dans Dragon et dans des réacteurs d'essais des matériaux à des doses de neutrons rapides inférieures à celles spécifiées pour le T.H.T.R. et ont donné satisfaction jusqu'ici.

3.3.2. Etude neutronique et thermique du réacteur

La composition du coeur doit être calculée à partir du programme de chargement des boulets en tenant compte de connaissances acquises sur des modèles concernant les lois d'écoulement des boulets, la diffusion des boulets de la zone centrale vers la zone périphérique et vice-versa, et les déplacements de boulets entraînés par les mouvements des barres de contrôle dans le lit. Il faut également tenir compte de l'influence de l'hélium et de la température sur

les coefficients de frottement entre boulets, boulets/parois de la cuve et boulets/barres de contrôle. Le calcul des températures maxima doit tenir compte de la distribution du débit gazeux ,

de la composition du coeur et de la probabilité de former des agrégats de boulets de combustible frais. Le calcul neutronique doit tenir compte de la forme conique de la partie inférieure du coeur et du vide entre le sommet inégal du coeur et le réflecteur supérieur. Ces calculs doivent être exécutés régulièrement pendant le fonctionnement du réacteur.

Il faut déterminer à tout instant le mode de rechargement, central ou périphérique, des boulets extraits à la partie inférieure du réacteur en fonction de leur composition - graphite, combustible, poison - et, en ce qui concerne le combustible, en fonction de son épuisement. Il s'agit là de techniques qui devront être éprouvées sur le réacteur T.H.T.R.

3.3.3. Manipulation du combustible et mesure rapide du taux d'épuisement

En dehors du coeur du réacteur, le combustible est manipulé en faisant appel à la gravité ou à l'aide de systèmes pneumatiques. Il faut d'abord individualiser les boulets et éliminer les débris et les boulets de dimensions trop altérées. Ensuite les boulets sont triés en fonction de leur composition ou taux d'épuisement afin de les aiguiller vers le stockage de combustible irradié ou vers les divers tubes de chargement situés à la partie supérieure du réacteur. Ce triage se fait en analysant l'influence que le boulet a sur la réactivité d'un petit réacteur homogène qu'il parcourt à vitesse uniforme. Ce travail doit pouvoir être effectué au rythme d'un boulet toutes les sept secondes et la mesure du taux d'irradiation (qui dure environ 1 seconde) doit se faire de façon très précise afin d'éviter de garder dans le réacteur du combustible ayant dépassé la dose de neutrons rapides tolérée. Un tel système est en cours de développement en laboratoire et devra être éprouvé sur le réacteur T.H.T.R.

3.3.4. Contrôle du réacteur

Dans la conception actuelle du projet de réacteur THTR de 300 MWe, le contrôle est assuré par des barres situées respectivement dans le lit de boulets et dans le réflecteur. Afin d'augmenter l'efficacité des barres de contrôle situées dans le réflecteur, le flux est relevé dans la zone périphérique.

Par ailleurs, il est prévu que les barres de contrôle situées dans le coeur sont poussées directement dans le lit de boulets sous l'action d'une poussée adéquate. Cette conception doit encore être éprouvée en vue de déterminer les interactions entre les éléments de combustible et les barres sous l'effet de la poussée (rupture ou endommagement éventuel des boulets).

De plus, selon cette conception, les barres de contrôle ne peuvent pas rester complètement enfoncées dans le réacteur, sans être sollicitées par les poussées provoquées par l'écoulement des boulets. Ceci impose des restrictions aux mouvements admissibles de ces barres. Il faudra donc élaborer sur le THTR une philosophie du contrôle du réacteur adaptée à ce système.

3.3.5. Réflecteur

Aucune partie du réflecteur n'est remplaçable et une partie des blocs de graphite isotrope qui le constituent seront soumis durant la vie du réacteur à des doses très élevées de neutrons rapides; des essais d'irradiation sont en cours.

3.4. Conclusions

- les techniques adoptées dans tous les HTGR constituent un domaine de recherches et de développements très vaste d'intérêt commun, peu importe que l'on poursuive la variante à éléments prismatiques ou sphériques.

- les réacteurs à haute température n'empruntent aux AGR que le graphite isotrope (actuellement fabriqué par l'industrie anglaise, mais pour lequel un effort important de développement est en cours dans la Communauté). Les techniques de cuves en béton précontraint à circuit intégré peuvent être directement empruntées aux réacteurs gaz-graphite de première génération.
- la Communauté, dans son ensemble, dispose de toutes les techniques nécessaires pour lancer les HTGR. Par ailleurs il faut tenir compte du fait que l'Angleterre dispose d'une expérience complète, de l'industrie la mieux structurée et d'un marché le mieux défini pour aborder l'industrialisation des HTGR.

4. Programme d'actions de la Communauté

4.1. Objectifs et nécessité d'une action concertée

4.1.1. Aucun effort entrepris dans la Communauté sur un plan strictement national ne pourrait prétendre être d'une ampleur suffisante, bénéficier de toute l'expérience technique nécessaire et avoir accès à un marché suffisamment important pour concurrencer avantageusement les programmes étendus entrepris en Angleterre et aux Etats-Unis en vue de la construction de grandes centrales HTGR à cycle à vapeur. Ces efforts seraient dès lors voués à un échec probable sur le plan du marché mondial.

Pour mener un programme de grande ampleur à bon terme dans la Communauté, il est donc indispensable :

- de dégager un nombre limité d'objectifs communs importants,
- de concentrer tous les efforts de recherche disponibles pour le développement des HTGR sur ces objectifs convenablement échelonnés dans le temps et de bien coordonner ces efforts,

- de promouvoir une politique industrielle tendant à la création d'un marché commun nucléaire dans le domaine des HTGR,
- de maintenir et d'étendre la collaboration avec les pays tiers.

4.1.2. Les objectifs principaux d'un programme de la Communauté dans le domaine des HTGR sont les suivants:

- la mise en chantier de plusieurs réacteurs de puissance à cycle à vapeur pendant la période 1970 -1974.
- la construction d'un grand réacteur de puissance à turbine à hélium en cycle direct dès que l'évolution des techniques permettra une telle réalisation. Un programme de développement important

Les objectifs connexes qui bénéficieront des résultats des programmes liés aux objectifs ci-dessus, sont les suivants:

- l'étude et la mise au point d'applications industrielles nouvelles de la chaleur à haute température. Ces études entreprises dès maintenant dans le domaine de la sidérurgie devraient être étendues à l'industrie chimique.
- des études de "faisabilité" dans le domaine des réacteurs rapides à haute température refroidis à l'hélium. L'ampleur que pourrait prendre un tel programme sur le plan Européen dépendra des résultats des études préliminaires entreprises aux Etats-Unis et en Europe et du taux de pénétration des HTGR thermiques dans le marché nucléaire.

4.1.3. Afin de permettre aux industriels de la Communauté intéressés à ce type de réacteur d'obtenir une position concurrentielle avantageuse sur le plan européen et mondial, la Commission propose de continuer son action, d'une part dans le domaine de la recherche et du développement et, d'autre part, en menant une politique de promotion industrielle.

Dans le domaine de Recherche et Développement, la Commission propose de contribuer à la valorisation de cette filière :

- par une amplification de son activité dans le CCR, en particulier à Petten et à Ispra;
- par une intégration au plan de la Communauté des programmes de recherche d'intérêt commun exécutés dans les Pays membres.

Une liaison étroite entre les activités du CCR, les intérêts industriels et les programmes de recherche exécutés dans les Pays membres sera obtenue par la création d'un comité agissant dans le cadre d'un Accord de Coopération (voir 4.2.2.).

- par une participation de la Communauté au Projet Dragon pendant une nouvelle période de trois années (à partir d'avril 1970).

Un tel programme de R&D (voir 4.2.) d'intérêt commun à différents pays peut être décidé indépendamment de considérations liées au choix à faire entre les deux variantes, et indépendamment de considérations concernant la structure de l'industrie.

Dans le domaine de la promotion industrielle (voir 4.3.), la Commission propose que la Communauté apporte un soutien à une grande réalisation par l'attribution du statut d'entreprise commune et par une aide financière (garanties, participation au financement de l'investissement et à l'exploitation, ...). A cet égard, la Commission estime souhaitable qu'un rapprochement puisse intervenir entre les deux variantes actuellement concurrentes, de manière à ce que toutes les entreprises intéressées aux réacteurs à gaz à haute température se regroupent en un seul consortium industriel en vue de la construction d'une seule tête de filière d'au-moins 600 MWe. Un tel regroupement devrait intervenir à bref délai afin que la Communauté ne prenne pas un retard important par rapport aux concurrents extérieurs dans la phase de la démonstration, à l'échelle industrielle, des techniques développées.

4.2. Programme de recherche et de développement

Ce programme de R & D Communautaire comprend d'une part un programme coordonné de travaux exécutés dans le C.C.R. et dans les laboratoires de recherche dans les Pays Membres, et d'autre part, la participation de la Communauté au programme Dragon. En dehors des travaux qui se rapportent à la mise au point de techniques communes aux deux variantes de HTGR à cycle à vapeur à l'étude actuellement (voir 3.1.1. à 3.1.3. et partiellement 3.2.1., 3.3.1 et 3.3.5.), ces programmes comprendront des recherches liées aux autres objectifs mentionnés sous 4.1.2.

4.2.1. Le programme du Centre Commun de Recherches

Dans le passé, l'effort principal de la Commission dans le domaine des HTGR a consisté en la participation aux projets Dragon et THTR. L'activité du C.C.R. a été limitée à l'exécution de quelques contrats de recherche dans le cadre des projets Dragon et THTR et à une certaine activité propre.

Ces contrats, de nature très spécialisée, se rapportaient surtout à l'électronique, les combustibles et le graphite. Ispra a fourni au projet Dragon un analyseur de fonction de transfert, a étudié des phénomènes d'interaction entre noyau et enrobages, dans les particules enrobées, à l'aide de la microsonde de Castaing, et a également étudié la diffusion de l'uranium, du thorium et des produits de fission dans le carbone pyrolytique.

En ce qui concerne l'activité propre du CCR, l'établissement de Petten s'est intéressé, en association avec les projets Dragon et THTR, à la caractérisation des graphites pour HTGR et à l'étude du comportement de ces graphites sous de hauts flux rapides. Les travaux de physique de l'établissement d'Ispra ont inclus l'étude des différents cycles de combustibles et les problèmes de dynamique.

Etant donné les compétences mentionnées ci-dessus, et grâce à son personnel spécialisé et aux équipements disponibles, la Commission a proposé dans son programme pour 1969 une activité de R & D pour le CCR dans le domaine des HTGR. Le Conseil des Ministres a décidé le 3-4 mars 1969 d'allouer un montant de 800.000 UC pour ces activités dans le cadre d'un programme complémentaire. Les recherches à entreprendre en 1969 sont dans les domaines des combustibles, du graphite, de la technologie et de la physique et les programmes détaillés ont été élaborés après consultation des principaux centres européens d'activité dans le domaine des HTGR, en tenant compte d'une série de propositions de l'industrie (Deutsches Atomforum, Inter Nuclear).

Ces nombreux contacts ont été poursuivis pour la préparation d'un nouveau programme pluriannuel qui revêt donc également un caractère de complémentarité par rapport aux programmes nationaux et qui répond également à des besoins exprimés par les industriels intéressés. Dans ce programme qui est d'intérêt commun aux deux variantes, l'accent est mis sur des températures de fonctionnement toujours plus élevées (1500°C à 1600°C dans le combustible, 850°C à 1200°C dans le gaz) en vue d'une part d'améliorer les HTGR à cycle à vapeur et, d'autre part, de contribuer à la solution d'une série de problèmes posés par l'application du cycle direct avec turbines à hélium. Il est également proposé d'entamer certaines études de "faisabilité" dans le domaine des réacteurs rapides refroidis à l'hélium.

Le programme pluriannuel proposé pour le CCR comprend les études suivantes:

- combustible et matériaux

- détermination des coefficients de diffusion des actinides et des produits de fission solides dans les noyaux et les enrobages des particules,
- étude de nouvelles barrières de diffusion et amélioration des barrières en PyC et en SiC,
- stabilité des noyaux, enrobages et cartouches de combustible sous irradiation et à température élevée.

- l'analyse des tensions et déformations dans les enrobages,
- étude des mécanismes de déposition des enrobages dans les lits fluidisés,
- développement de matériaux pour aubages de turbines à gaz devant fonctionner à plus de 850°C (alliages à base de nickel, niobium, alliages TZM, alliages renforcés par dispersion ou par fibres),
- stabilité à haute température des matériaux pour barres de contrôle.

- graphite et pyrocarbones

- poursuite des mesures systématiques de la variation des propriétés physiques et mécaniques des différents graphites, surtout isotropes, en fonction de l'origine, la corrosion, le fluage; ainsi que l'étude de l'influence des doses de neutrons rapides et de la température d'irradiation sur ces propriétés,
- étude de la structure des pyrocarbones en fonction des caractéristiques des lits fluidisés,
- analyse des tensions et déformations dans les blocs de graphite.

- technologie

- calculs tridimensionnels des tensions dans les cuves en béton précontraint, avec vérification sur maquettes,
- isolement thermique des cuves en béton précontraint contenant de l'hélium à température et pression élevées,

- problèmes technologiques liés à l'emploi de l'hélium (fragilisation de l'acier, diffusion dans le béton précontraint et dans l'acier à haute température),
 - étude des vibrations et de la fatigue des tubes des générateurs de vapeur,
 - étude de la dynamique des cycles direct et indirect,
 - développement de thermocouples et de détecteurs d'humidité à réponse rapide.
- physique
- études expérimentales sur les réseaux (RB1, RB2, paramètres de cellules et données intégrales, coefficient de température avec combustible irradié),
 - développement de nouvelles méthodes de calcul de réseau en statique,
 - études de dynamique (oscillations spatiales de la puissance, adaptation des codes COSTANZA, introduction des techniques nodales et de synthèse pour codes tridimensionnels),
 - étude des cycles de combustible (U faiblement enrichi et U/Th) en vue de l'optimisation du dessin des réacteurs de puissance,
 - étude du blindage des points singuliers du circuit primaire.
- retraitement du combustible
- évaluation de la "faisabilité" de procédés de dissolution (head end) des combustibles irradiés (U faiblement enrichi, U-Th).

Les études de physique qui ont déjà été faites à Ispra dans le domaine des réacteurs HTGR ont été parfaitement coordonnées avec celles entreprises par Dragon et en Allemagne dans le cadre de réunions d'experts qui ont lieu périodiquement. La participation à ces réunions a été élargie récemment par la présence de délégués d'industries engagées activement dans le développement des HTGR. D'autres groupes d'experts pourront être formés autour de certaines nouvelles activités entreprises dans le CCR dès que les travaux seront suffisamment avancés.

Il sera pris grand soin de maintenir un contact étroit entre les recherches entreprises et les intérêts industriels et, dans toute la mesure du possible, on cherchera à faire participer l'industrie à l'exécution des travaux dans le C.C.R. (en y détachant éventuellement des agents ou en confiant des contrats de prestations) et à l'exploitation des résultats obtenus.

Le programme pluriennal proposé pour le CCR pourrait être effectué avec 101 agents à Ispra, 50 agents à Petten et 10 au Siège soit un total de 161 agents, en moyenne.

Le budget nécessaire est de 15,2 Muc. Cette somme comprend, outre le traitement du personnel et le petit matériel, 0,5 Muc pour des appareillages spéciaux et 1,70 Muc pour des irradiations dans des réacteurs à haut flux rapide.

Ce budget a été établi sur la base de la disponibilité de deux canaux dans HFR comme indiqué au titre 3.9 du document SEC(69)1385.

La Commission propose de coordonner son activité propre avec celles entreprises sur le même sujet dans les pays membres ainsi qu'il est indiqué ci-dessous.

4.2.2. Participation de la Commission au financement des programmes de Recherche exécutés dans les Pays Membres, dans le cadre d'un Accord de Coopération.

Il est urgent d'examiner les problèmes que pose la coordination des travaux de R & D entrepris dans le cadre du C.C.R. et dans les Etats membres.

La Commission propose une formule qui consiste à inscrire dans le cadre d'un programme coordonné tous les travaux de R & D d'intérêt commun qui sont exécutés dans la Communauté. La participation de la Commission à un tel programme serait arrêtée dans le cadre de l'Art. 7 du Traité.

Au budget de la Commission figureraient les sommes nécessaires pour effectuer les travaux dans le C.G.R. (voir section 4.2.1.) et pour participer au financement des travaux effectués dans des laboratoires de recherche des Pays Membres. La Commission signerait avec les laboratoires qui participeraient à l'exécution de ce programme, un "Accord de Coopération". Cet Accord indiquerait les montants à dépenser et le montant maximum de la participation de la Commission à ces dépenses, les procédures de gestion du programme et le régime de diffusion des connaissances.

Le programme serait géré par un Comité composé de représentants des parties contractantes. Ce Comité aurait pour objet la confrontation des points de vue de ces représentants (en présence d'observateurs d'organismes intéressés) sur les différents aspects des objectifs de programme et l'information mutuelle dans ce domaine. Il préciserait les actions à entreprendre dans chaque laboratoire dans le cadre des objectifs de programme arrêtés par le Conseil, en vue d'assurer une meilleure coordination du développement de la recherche dans le domaine des réacteurs à gaz à haute température dans la Communauté.

La coordination entre le programme Dragon et le programme propre de la Communauté se ferait par le maintien de nombreux liens existant déjà entre les différents groupes travaillant dans la Communauté et à Dragon.

Le programme coordonné pourrait comprendre l'ensemble des travaux d'intérêt commun mentionnés ci-dessous.

BELGIQUE

Des pourparlers sont en cours entre le Gouvernement Belge, les industries intéressées et le CEN *) pour l'établissement d'un

*) CEN : Centre d'Etudes Nucléaires

budget de recherche, d'appui aux premières réalisations HTGR avec turbine à vapeur.

La Belgique pourrait participer à un programme coordonné par:

- la mise à disposition de neutrons, de capsules et de boucles dans BR.2. 0,5 Muc/an
 - des travaux de développement sur les combustibles et en particulier des combustibles au Pu
- | | |
|-----------|--------------------|
| 20 hommes | <u>0,34 Muc/an</u> |
| Total | 0,84 Muc/an |

ALLEMAGNE

Le programme allemand dans le domaine des HTGR a des objectifs industriels bien définis qui comprennent des réalisations avec turbines à vapeur et avec turbine à gaz.

Un programme de R & D de support est exécuté au Centre de Recherche de Jülich en partie en collaboration avec les industriels.

Dans son mémorandum du 22 mai 1968 au Conseil, le Gouvernement Fédéral a invité les Pays de la Communauté à s'associer à ses travaux dans le domaine des HTGR, l'objectif minimum étant la participation aux travaux de recherche. Les points suivants du programme proposé pourraient s'inscrire dans le programme coordonné:

- mise au point de combustibles,
- irradiation de combustibles.
- calcul du comportement des particules enrobées et du graphite,
- calculs nucléaires,
- étude sur les générateurs de vapeur,
- problèmes technologiques liés aux réacteurs avec turbine à gaz,

- utilisation de boucles à hélium,
- participation à l'exploitation du réacteur AVR, qui donne des informations d'intérêt général sur le comportement d'une centrale HTGR avec turbine à vapeur (circuit intégré, générateurs de vapeur, combustible au thorium ...).

Effort estimé:

| | |
|--------------------------|-------------|
| - 270 hommes | 4,60 Muc/an |
| - utilisation boucles He | 0,12 Muc/an |
| - exploitation AVR | 2,00 Muc/an |
| - frais d'irradiation | 1,25 Muc/an |
| | <hr/> |
| Total | 7,97 Muc/an |

FRANCE

L'industrie française et le CEA suivent avec intérêt l'évolution de la filière HTGR.

Aucune décision de programme n'a encore été prise mais le rapport PEON^{*)} d'avril 1968 propose d'employer graduellement les équipes et budgets prévus pour les recherches sur la filière gaz-graphite à des travaux dans le domaine des HTGR.

Dans un programme coordonné, le CEA pourrait, en utilisant le potentiel humain et les installations techniques disponibles, intervenir à l'avenir avec efficacité dans des travaux dans les domaines suivants:

- matériaux,
- physique,
- combustibles.

Dès maintenant on pourrait inclure dans le programme coordonné des expériences d'irradiations dans Rapsodie, Osiris et Pégase.

Effort estimé:

| | |
|---|------------|
| - programme d'irradiations y compris le personnel | 1,5 Muc/an |
|---|------------|

^{*)} PEON: Commission consultative sur la production d'énergie d'origine nucléaire
CEA: Commissariat à l'Energie Atomique

ITALIE

Les industriels italiens sont intéressés à la filière HTGR et le CNEN* semble prêt à consacrer un certain effort à cette filière.

La participation italienne au programme coordonné pourrait se manifester dans le domaine du retraitement et des études expérimentales de physique nucléaire.

Effort estimé:

| | |
|---|-----------------|
| - programme de R & D pour établir le schéma chimique de retraitement (2 ans) | 0,5 Muc/an |
| - équipements nouveaux pour le retraitement et la fabrication d'éléments à uranium-thorium dans ITREC*) | 5 Muc |
| - participation à l'exploitation d'ITREC durant la période de retraitement des éléments HTR pendant 2 ans | 2 Muc/an |
| - essais de physique dans les réacteurs RB.1 et RB.2 (5 ans) | 0,1 Muc/an |
| Total estimé | <u>10,5 Muc</u> |

PAYS-BAS

Le RCN*), la KEMA*) et les industriels néerlandais examinent actuellement le rôle qu'ils pourraient prendre dans le développement industriel de cette filière.

Dans le cadre du programme coordonné la KEMA pourrait intensifier son programme de mise au point du nouveau procédé sol-gel qui y est actuellement à l'étude.

Effort estimé:

0,1 Muc/an

*) CNEN: Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare
ITREC: Impianto Trattamento Elementi Combustibili
RCN: Reactor Centrum Nederland
KEMA: N.V. tot Keuring van Electrotechnische Materialen

Le total des budgets correspondants aux travaux d'intérêt commun à entreprendre décrits ci-dessus peut être estimé entre 13 et 17 Muc/an. En admettant que la participation forfaitaire de la Commission à ces programmes soit de l'ordre de 30% il faudrait inscrire au budget de la Commission une somme de l'ordre de 4,5 Muc/an (personnel détaché y compris).

Les montants prévus dans chaque pays (voir ci-dessus) sont basés sur l'information actuelle de la Commission. Les discussions au Conseil devront permettre de préciser l'ampleur de la participation des différents laboratoires au programme coordonné.

Les détails du programme de coopération, et le budget pour 1970 devraient être préparés aussi vite que possible après l'adoption des programmes pluriannuels par le Conseil et en tout état de cause avant la fin de l'année.

La mise sur pied d'un tel programme coordonné permettrait de négocier un échange d'information très étendu avec l'UKAEA pour avoir accès aux résultats des travaux entrepris en Angleterre dans le domaine des HTGR en dehors de Dragon, ainsi qu'avec l'USAEC.

4.2.3. Accord Dragon

L'Accord Dragon vient à expiration le 31 mars 1970. Les conditions de la prolongation de cet Accord doivent être décidées avant le 30 septembre 1969. Le projet Dragon a proposé une prolongation jusqu'au 31 mars 1973 avec possibilité de prolongation ultérieure.

La Commission estime qu'il est opportun de prolonger l'Accord pour une durée de 3 ans à ce stade. Le programme qui est en préparation pour cette période comprend les objectifs suivants:

- 1) exploitation du réacteur jusqu'au 31 mars 1973, si possible à la puissance de 25 MWth à partir de la mi-1970,
- 2) la fabrication du combustible nourricier pour les besoins propre du réacteur Dragon et de combustibles expérimentaux et un programme de R & D associé à cet objectif. Il est prévu d'augmenter les irradiations dans les réacteurs d'essai de matériaux dans les prochaines années.
- 3) la prestation d'un service de conseiller dans le domaine du génie nucléaire et des matériaux des HTGR,
- 4) des études d'évaluation en liaison étroite avec l'industrie concernant les problèmes de conception et de sécurité des grandes centrales à cycle direct.

Les trois premiers objectifs constituent la vocation essentielle du Projet Dragon. Le quatrième objectif est très important pour catalyser une large coopération industrielle dans ce domaine et nécessaire pour permettre de garder à Dragon une équipe d'ingénieurs de valeur qui est de toute façon nécessaire pour permettre de réaliser le premier et le troisième objectif; les dépenses supplémentaires pour atteindre cet objectif sont relativement faibles.

Pour exécuter un tel programme le Projet prévoit un budget annuel de 2.4 M£ (5.76 Muc). Compte tenu, d'une part de la réduction du pouvoir d'achat de la livre sterling pour des travaux exécutés hors du Royaume-Uni et d'autre part de l'augmentation générale des coûts ce budget constitue un niveau de dépenses marginalement supérieur à celui des dernières années. La différence peut être attribuée principalement à l'augmentation du programme d'irradiation extérieur.

En prenant l'hypothèse d'un taux de contribution financière de 40 %, et compte tenu des recettes propres du Projet, la participation de la Communauté s'élèverait à 2,24 Muc par an jusqu'au 31 mars 1973 (personnel détaché y compris).

4.3. Promotion Industrielle

Les problèmes liés à l'octroi d'une aide de promotion industrielle ont déjà été évoqués à la section 4.1.3. Nous examinons ici les actions qui pourraient bénéficier éventuellement d'une telle aide.

4.3.1. Soutien à apporter aux constructeurs, aux fabricants de combustible et aux producteurs d'électricité pour permettre la réalisation rapide d'une centrale HTGR à cycle à vapeur

Le soutien à donner à l'industrie se situe surtout dans le domaine du combustible. Il lui est en effet actuellement difficile de garantir complètement le coût du cycle de combustible, faute d'avoir une expérience statistique suffisante sur le comportement sous irradiation de combustibles analogues à ceux qui peuvent être proposés pour les premières grandes centrales, et faute d'expérience complète dans le domaine du retraitement.

En attendant que cette expérience soit pleinement acquise, il est à prévoir que les pouvoirs publics seront sollicités par les constructeurs pour l'octroi de garanties relatives au combustible. C'est pourquoi il est indispensable que la puissance publique continue d'assurer le fonctionnement des réacteurs d'essai de combustible pour permettre d'accumuler rapidement l'expérience nécessaire, tout en finançant des études sur la fabrication et le comportement sous irradiation du combustible, de manière à évaluer l'ampleur de son intervention en matière de couverture des risques.

Outre les garanties relatives au combustible, les constructeurs inclueront également dans leurs offres des garanties de performances

techniques relatives aux équipements. Malgré ces garanties, il n'est pas exclu que les producteurs d'électricité hésitent à passer commande pour une première grande centrale faute de pouvoir évaluer pleinement les risques financiers liés à son exploitation (risques d'arrêts de la centrale dus à des causes imprévues). A cet égard également, les pouvoirs publics devront peut-être participer à la couverture des risques pour permettre la conclusion des premiers contrats de construction. Au total, de telles interventions devraient être négociées avec toutes les parties intéressées.

La Commission ne peut actuellement évaluer exactement l'aide financière qui devra être apportée par les pouvoirs publics de la Communauté pour permettre la construction des premières grandes centrales HTGR à cycle à vapeur.

La Commission se propose de poursuivre l'examen de ces problèmes en liaison avec les constructeurs et les producteurs d'électricité intéressés à réaliser une première centrale sur la base d'une large coopération multinationale.

4.3.2. Collaboration industrielle dans le cadre de la mise au point du cycle direct

Le mémorandum allemand du 22 mai 1968 invitait les autres pays de la Communauté à participer à deux projets industriels, dans le cadre de son programme de mise au point du cycle direct:

- la construction du réacteur Geesthacht-2 de 22 MWe
- la préparation d'une offre commerciale pour un réacteur à haute température de 600 MWe avec turbine à gaz.

Le second point de ce programme comprend entre autres

- la construction et l'exploitation d'une centrale thermique de 50 MWe avec une turbine à hélium,
- la construction et l'exploitation d'un banc d'essai pour turbines à hélium.

La construction de Geesthacht est maintenant décidée (voir section 1.3.). La Société GHH qui construit la centrale compte faire appel à des fournisseurs d'autres pays pour une partie importante de l'installation. D'autre part le réacteur pourrait être rendu plus utile du point de vue expérimental en augmentant le budget actuel pour permettre

- la construction d'une machine de chargement spéciale pour gros éléments de combustible. De tels éléments pourraient être essayés dans Geesthacht-2 avant d'être employés dans les grands réacteurs de puissance à cycle à vapeur ou à cycle direct.
- une instrumentation plus complète du réacteur (data logger)
- le paiement de trois mois d'indisponibilité du réacteur pour divers essais
- l'augmentation de la densité de puissance en concentrant le combustible dans une section du coeur
- l'installation de détecteurs de vibrations, et de détecteurs pour la mesure du dépôt de produits de fission.

Ces différentes ajoutes s'élèvent au total à environ 6 Muc. Le Gouvernement allemand et la firme GHH ont manifesté leur intérêt pour une contribution financière d'autres pays de la Communauté pour compléter le budget actuel qui est suffisant pour permettre la construction de la centrale en tant qu'installation électrogène.

La Commission propose que les pays membres intéressés au réacteur de Geesthacht y apportent un financement en nature en payant certaines commandes qui pourraient être passées par GHH dans leur pays. Pour son compte elle jugerait favorablement une demande d'attribution du statut d'entreprise commune pour ce réacteur, et elle se propose de détacher des agents de la Commission pour participer aux études et travaux en cours.

Pour le second point du programme qui concerne principalement la mise au point de turbines et des circuits à hélium, la Commission se propose de consulter rapidement des constructeurs de turbines et d'équipements d'autres pays de la Communauté qui pourraient participer à ces réalisations et études.

4.4. Récapitulation des Propositions de la Commission

4.4.1. Programme de recherche et de développement

I - Action directe

La Commission propose de coordonner étroitement son activité propre effectuée dans le C.C.R. (Ispra et Petten) avec les travaux d'intérêt commun entrepris dans les Pays Membres et à Dragon.

Le programme proposé pour le C.C.R. occupera 101 agents à Ispra, 50 agents à Petten et 10 agents au siège, dans le cadre d'un budget de 15.2 Muc pour 5 ans.

II- Actions indirectes

Participation aux programmes de recherche exécutés dans les Pays Membres

La Commission propose une coordination au plan de la Communauté des programmes d'intérêt commun. Afin d'appuyer son action, la Commission envisage une participation financière, sur une base forfaitaire, aux programmes de recherche dont la coordination sera assurée par un Comité composé des différentes parties intéressées.

Le total des budgets correspondants aux travaux d'intérêt commun à entreprendre dans les Pays Membres peut être estimé entre 13 et 17 Muc/an. La Commission propose de participer à ces programmes avec une contribution de l'ordre de 30%.

Accord Dragon avec des pays tiers

La Commission propose de participer pendant une nouvelle période de trois années à la prolongation de l'accord Dragon.

En se basant sur un taux de contribution financière de 40%, et compte tenu des recettes propres du Projet, la participation de la Communauté s'élèverait à environ 2.24 Muc/an, soit 6.72 Muc jusqu'au 31 mars 1973.

La Commission propose d'augmenter considérablement la participation d'agents de la Communauté à l'exécution du programme de cet Accord.

Personnel détaché dans le cadre des actions indirectes

La Commission propose d'affecter 24 postes pour le personnel détaché dans le cadre des actions indirectes.

Il est prévu un budget de 30 Muc pour l'ensemble de l'action indirecte couvrant une participation de la Commission pendant 5 années à un Accord de Coopération avec les pays membres et une participation à l'Accord Dragon pendant 3 ans.