Bhabha, constructeur du programme nucléaire d'Inde

En 1947, lorsque Inde devint indépendante, la science et la technologie étaient de choses qui appartenaient à un autre monde. Inde était largement sous-développée et rurale, la petite technologie que l'on pouvait voir était importée et on devait aller à l'étranger pour l'enseignement supérieur. Qu'Inde dispose, aujourd'hui, d'un programme vigoureux d'énergie nucléaire et des instituts de recherche qui rivalisent avec les meilleurs au monde témoignent de la rare capacité et de la vision, en grande partie d'un seul homme.

Homi Jehangir Bhabha a combiné les compétences d'un scientifique de premier ordre avec la capacité de rêver, et ensuite, de traduire les rêves en réalité. Pendent la courte période de 19 années, de 1947 à 1966, Bhabha a créé l'Institut Tata de recherche fondamentale à Mumbai, le centre de recherche de Trombay, maintenant connu sous le nom de Centre de recherche atomique de Bhabha (BARC), le Centre pour la recherche avancée à Chennai, le Centre de la technologie avancée à Indore, et il a établis de bases solides de la gamme des activités dans le cadre du programme nucléaire, de la prospection de minéraux nucléaires pour alimenter l'électricité des centrales nucléaires entièrement opérationnelles vers le réseau national.

H J Bhabha est né en 1909 dans une famille Parsi de grande culture et de la scolarité. Il a été élevé à Mumbai et éduqué dans la tradition européenne, dans les arts et dans la musique, ainsi que dans les sciences, où Bhabha a montré un intérêt précoce. Au moment où il avait seize ans, il avait étudié la théorie spéciale de la relativité, alors à peine familier même aux bien formés. Après l'école, il a continué à Elphinstone College et ensuite au Royal Institute of Science, tous les deux à Mumbai. À dix-huit ans, Bhabha est partis pour l'Angleterre et a rejoignis Gonville et Caius College à Cambridge. Bhabha a pris le dégrée de Tripos, d'abord en génie mécanique, en déférence du souhait de son père, et ensuite en mathématiques, en 1932, pour réaliser ses propres rêves.

Pendant les sept années prochaines, en attendant qu'il achevait son doctorat, Bhabha avait une série de bourses. Ceux-ci lui ont permis de travailler avec les principaux physiciens de l'époque, y compris Wolfgang Pauli et Enrico Fermi, et aux meilleurs instituts, comme l'Institut Bohr à Copenhague.

En 1939, Bhabha est revenu en Inde pour une courte pause, mais la Seconde Guerre mondiale a éclaté juste avant qu'il puisse retourner en Angleterre. En Angleterre, de nombreux scientifiques ont rejoint l'effort de guerre et la recherche fondamentale n'était pas la priorité. Bhabha a décidé de rester en Inde et a accepté un lectorat au Indian Institute of Science, à Bangalore. Avec l'aide d'une petite subvention d'un établissement fiduciaire de la maison de Tata, Bhabha a mis en place dans l'Institut de Science une unité pour étudier les rayons cosmiques

Bhabha s'était intéressé aux rayons cosmiques alors qu'il était à Cambridge et il est entré dans le champ avec enthousiasme. Les rayons cosmiques étaient un rayonnement mystérieux qui semblait provenir de l'espace extra-atmosphérique. Ils interagissent

fortement avec la haute atmosphère et presque aucun des rayons n'a atteint la surface de la Terre. On a découvert plus tard que les rayons cosmiques étaient en grande partie des protons, ou les particules chargées positivement dans les noyaux des atomes, probablement produites par les étoiles et dans les explosions de supernova. Ces particules interagissent avec des atomes dans l'atmosphère et donnent lieu à des « secondaires » qui se composaient d'une variété de particules élémentaires.

Les particules de rayon cosmique sont détectées en utilisant le principe selon lequel une particule chargée rayonnant à travers un gaz éliminerait les électrons des atomes du gaz et créerait des « ions » chargés. S'il y avait des plaques qui étaient connectées à une batterie puissante de chaque côté du gaz, les ions conduiraient de l'électricité et causeraient une impulsion de courant. La compte d'impulsions serait alors le nombre de particules de rayons cosmiques qui avait traversé le gaz. Pour compter les particules dans une direction donnée, on pourrait placer une série de tels détecteurs dans une rangée dans cette direction. Si tous les détecteurs montraient un pouls ensemble, ce serait un compte d'une particule qui les avait traversés.

Un autre dispositif pour détecter les rayons cosmiques était la « chambre des nuages ». Il s'agissait d'un récipient qui montrerait des pistes de particules chargées, après le façon que les pistes de vapeur que d'avions à réaction produisent dans le ciel. La chambre des nuages permissent de photographier les pistes et également affichent les résultats d'une collision, lorsqu'une une s'est produite dans la chambre. Parce que les particules sont chargées, elles se courbent et dévient dans de champs magnétiques et électriques. L'usage de ces champs permit d'identifier la charge sur les particules en vérifiant de quelle manière elles se sont courbées.

Bhabha a rapidement créé une installation de recherche formidable à l'Indian Institute of Science en utilisant l'innovation et l'improvisation où les fonds ou l'équipement manquaient. Mais en 1944, il a ressenti le besoin ou une installation plus grande et il s'est approché à nouveau des fiducies de Tata. Comme la guerre semblait atteindre une fin, il y avait la possibilité de retourner en Angleterre. Cependant, il a écrit dans une lettre à JRD Tata en 1943 qu'il pourrait continuer à rester dans le pays et voir si des conditions appropriées pourraient être créées, afin de « faire un devoir envers son pays et créer d'écoles comparables à celles d'autres pays ».

Le Sir Dorab Tata Trust a répondu à la proposition de Bhabha et le TIFR est né à Bangalore en 1945. Quelques mois plus tard, l'Institut a été transféré à Mumbai, fonctionnant dans un bâtiment dans le centre-ville de Mumbai, la propriété d'une tante de Bhabha.

De personnes talentueuses gravitaient à TIFR et Bhabha avait bientôt une formidable équipe au travail. En 1949, on sentait que l'espace disponible dans les locaux actuel n'était pas suffisant et l'équipe s'est installé dans un édifice pittoresque près de Gateway of India, à Colaba, dans le sud de Mumbai. L'équipe s'occupait de la recherche dans les rayons cosmiques et de la mathématique. De conférences internationales y ont eu lieu et de scientifiques les mieux connus du monde étaient de visiteurs réguliers. Car le

problème de l'espace réapparut, en 1962, l'institut s'installa à son emplacement actuel, au bout du sud de l'île de Mumbai.

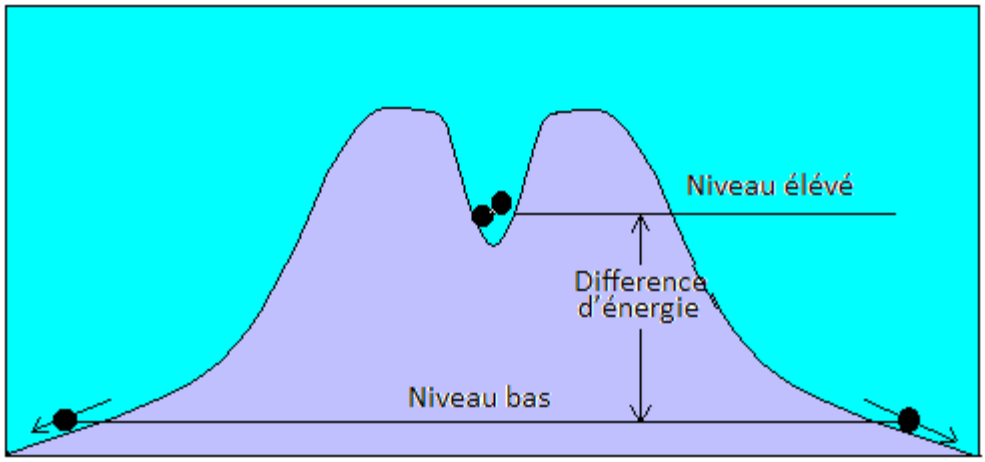
Aujourd'hui, l'institut est un centre vigoureux de recherches engagées en divers domaines de la frontière en physique et en mathématiques. L'institut a aussi d'installations extérieurs pour le travail expérimental, comme ceux dans la station balnéaire de Pachmarhi, au Madhya Pradesh et dans les mines d'or à Kolar, au Karnataka. Une branche importante est à Bangalore, dédiée à la recherche en sciences biologiques.

La tradition d'ordre, d'organisation, d'engagement et de dévouement que Bhabha a inculqué dans TIFR, pendant le temps qu'il a guidé ses affaires, a survécu. Aujourd'hui, l'institut, est un modèle pour les autres à imiter. Le travail accompli est du plus haut ordre et ses colloques et séminaires attirent les meilleurs au monde.

Un développement important des temps où Bhabha a commencé à travailler en Inde était la possibilité d'une immense énergie à partir du fractionnement des noyaux atomiques. Einstein avait déjà formulé sa célèbre équation, $E = mc^2$ (où E est l'énergie, m est la masse et c la vitesse de la lumière), ou l'équivalence de masse et d'énergie et des découvertes ont été faites sur les noyaux des atomes.

Les noyaux des atomes sont constitués de protons à charge positive et à peu près le même nombre de particules électriquement neutres appelées neutrons. L'acte de tenir ensemble un certain nombre de ces particules prend de l'énergie et on constate que la masse totale d'un tel noyau est un peu moins que le total de la masse de chacun des constituants - la différence étant la masse qui équivaut à L'énergie de liaison. Dans certains noyaux plus lourds, on trouve que le noyau pourrait être plus économiquement emballé sous forme de deux noyaux plus petits, économiques, c'est-à-dire dans l'utilisation de l'énergie de liaison. Si le noyau pouvait être divisé en ces parties plus petites, l'économie d'énergie de liaison serait libérée. Et cette énergie pourrait être utilisée pour déclencher une explosion, ou pour tourner une turbine dans une centrale électrique !

C'est comme avoir une paire de balles de golf dans un trou de golf au sommet d'un monticule. Les balles de golf ensemble sont dans un état d'énergie plus élevé que lorsqu'elles sont séparées, sur le champ. Si les boules ont été poussées hors du trou, en utilisant un peu d'énergie, elles rouleraient la pente et libéraient beaucoup plus d'énergie !



L'uranium, qui est le plus lourd de presque tous d'éléments naturels, possède deux formes de son noyau. Tous les deux formes ont 92 protons, mais tandis qu'une forme a 143 neutrons, l'autre a 146 neutrons. Comme ce sont les protons qui décident des propriétés chimiques d'un élément, les deux formes restent tout à fait de l'uranium. Mais les différents nombres de neutrons permettent des économies d'emballages légèrement différentes. Ces formes s'appellent U_{235} et U_{238}, les indices étant le nombre total de particules dans le noyau, et c'est l'uranium qui est au cœur de la conception des réacteurs nucléaires.

Les deux formes d'uranium se divisent, ou, on peut dire, « fission », soit naturellement, soit lorsqu'un noyau est frappé par un neutron errant. La fission naturelle est très lente, mais dans les deux cas, il y a une énorme énergie libérée. L'énergie libérée par la fission d'un gramme d'uranium, par exemple, est d'environ 6 millions de fois la chaleur de brûler un gramme de charbon. Cet égal, donc, de brûler six tonnes de charbon ! Mais c'est la manière spécifique de la rupture de U_{235}, lorsqu'elle est frappée par un neutron, qui rend possible la «réaction en chaîne» nucléaire.

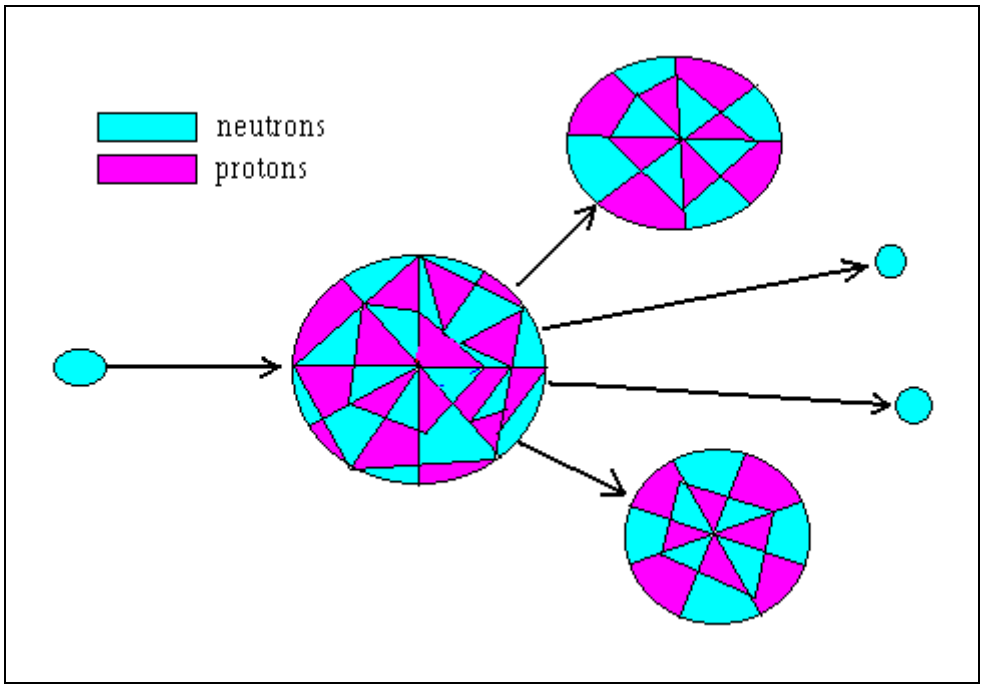
La manière dont U235 se décompose peut-être affichée comme suit :

$$U_{235} + n \rightarrow Sr_{94} + Xe_{139} + 3n \quad \text{[Strontium et Xenon]}$$

Ou

$$U_{235} + n \rightarrow Br_{87} + La_{147} + 2n \quad \text{[Bromine et Lanthanum]}$$

Dans les deux réactions, les produits sont les noyaux "fille", et, en plus, trois ou deux neutrons. Qu'une réaction induite par un neutron peut produire plus de neutrons a une conséquence importante. Si un seul noyau dans une masse d'uranium a été frappé par un neutron, cela produirait plus de neutrons, ce qui, à leur tour, entraînerait plus de fissions, et ainsi de suite ! Dans une fraction de seconde, tous les noyaux peuvent participer dans un cascade de fission !



Il y a bien sûr une quantité seuil d'uranium, de sorte que les neutrons « fille » ne se gaspillent pas et la chaîne continue. Dans l'uranium pur ou naturel, qui n'a que 0,6% de U235, cette quantité est d'environ 90 kg, mais même des quantités beaucoup plus petites obtiennent une chaleur insoutenable et éliminent les rayonnements.

En dehors de cette marge sinistre pour la destruction en plongeant des quantités de matières fissiles ensemble, le scientifique Enrico Fermi a également découvert la possibilité d'une réaction de fission contrôlée, qui pourrait être utilisée pour générer de l'énergie. Dans cette méthode, des portions du carburant ne sont pas permises à se rapprocher suffisamment pour une réaction explosive, mais elles sont séparées par des boucliers de plomb ou de graphite, qui absorbent les neutrons et ralentissent les choses. Le résultat n'est qu'une génération de chaleur, qui pourrait être siphonnée par un liquide de refroidissement circulant et utilisé pour dynamiser des turbines.

Bhabha a vu à la fois la promesse du pouvoir atomique pour alimenter le développement d'Inde libre. Il était audacieux de penser qu'un pays sans assez à manger et à peine capable de produire du ciment et de l'acier pour la construction civile de base devrait rêver d'exploiter la technologie nouvelle comme un raccourci pour l'industrie et la croissance. Mais Bhabha était un visionnaire et sa compréhension de la science et sa relation avec la vie dépassait l'appréciation académique.

C'était l'année 1947. La guerre était terminée, l'indépendance était proche et un gouvernement régulier devait encore être formé. Bhabha ne pensait pas qu'il fallait attendre. Il a convaincu Pundit Nehru, alors chef du gouvernement intérimaire, que, malgré toutes les priorités politiques et économiques d'un pays nouvellement libre, le développement de la capacité d'énergie atomique ne pouvait pas se permettre d'être retardé. Dans les mois qui ont suivi l'indépendance formelle et même pendant la

tourmente de partage d'Inde et le Pakistan, Bhabha a pu mettre en place une agence gouvernementale indépendante, la Commission de l'énergie atomique, pour répondre aux premiers besoins de prospection de minerais nucléaires et financer la recherche fondamentale. Et bientôt, le développement d'un programme bien formé a été mis sous un département spécialement doué avec de pouvoirs financières, avec Bhabha à sa tête.

La purification des matières nucléaires était encore un secret militaire et la technologie de contrôle des réactions nucléaires pour la production d'électricité n'avait guère progressé. C'est en 1953 que l'équipe de Bhabha a fait son premier gramme d'uranium. Les besoins énergétiques des pays atteignent des milliers de millions de watts et un programme nucléaire devrait penser aux usines qui utiliseraient des tonnes de carburant, avec des contrôles précis et une sécurité méticuleuse, car chaque centrale nucléaire pouvait se transformer en monstre horrible destruction.

La recherche de base en progrès en TIFR a été transférée à une installation dédiée, l'Établissement d'Énergie atomique (AEE), maintenant connu sous le nom de Bhabha Atomic Research Center, juste à l'extérieur de Mumbai. L'AEE est rapidement devenu un centre de recherche et de développement, avec ses laboratoires et programmes bien planifiés pour former des scientifiques et des ingénieurs aux meilleures installations du monde. Il y avait également l'école de formation, qui a recruté de nouveaux diplômés et les a affinés dans les experts que la croissance phénoménale des activités exigerait.

Inde avait des ressources limitées en uranium. Donc, Bhabha a adapté le programme de l'énergie nucléaire Indien pour tirer le meilleur parti de ce qu'il y avait. La poussée était d'utiliser l'uranium naturel, qui n'avait que 0,6% de U_{235}, le type fissile, à la place de l'uranium enrichi, la forme qui a une meilleure proportion d'U_{235}. L'économie de cette stratégie était que, grâce à des méthodes appropriées, le minerai naturel pourrait alimenter un premier programme d'énergie nucléaire, tant que l'approvisionnement en minerai a duré. Par ce chemin, on ne perdrait pas du temps ni payer les dépenses pour créer une usine d'enrichissement de minerai. Un sous-produit de la fission dans l'uranium naturel, était le plutonium, qui a été généré par le U_{238} qu'il y avait là dans le carburant. Plutonium est également capable de réaction en chaîne nucléaire. Au moment où l'U_{235} s'est épuisé, il y aurait donc un stock de plutonium pour un autre sortie de production d'électricité.

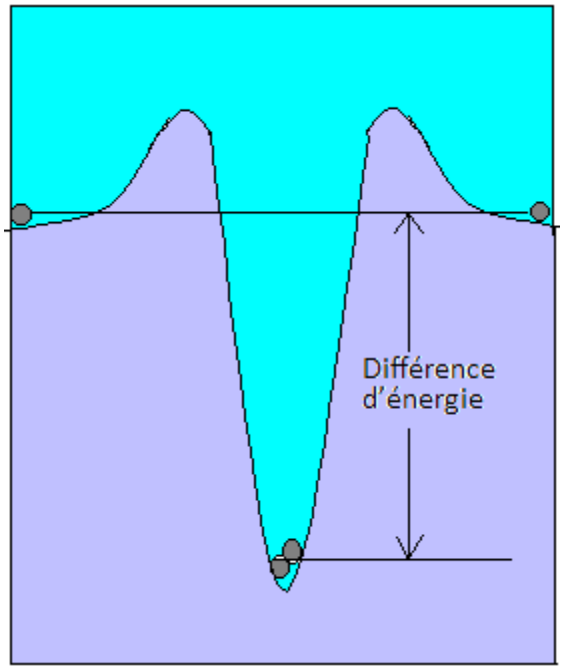
A part de la conversion en plutonium, le contient de U_{238} de l'uranium naturel joue un rôle utile. Un problème de la valeur de neutrons issus de la fission de U_{235} est que les neutrons sont trop énergétiques pour déclencher de manière optimale les réactions fraîches de fission U_{235}. Ils pourraient être plus efficaces s'ils étaient un peu ralenti. Le réacteur est donc conçu pour être rempli d'un modérateur, un matériau que les neutrons peuvent frapper, en route vers les noyaux U_{235}, les cibles. Le meilleur modérateur est l'eau lourde, une forme d'eau où les noyaux des atomes d'hydrogène sont plus lourds que les noyaux d'hydrogène normaux. Dans l'uranium naturel, en fait, l'eau lourde agit également comme fluide de refroidissement et sert à éliminer la chaleur générée dans le réacteur pour générer de l'énergie dans les turbines.

Un autre modérateur, déjà présent dans le combustible d'uranium naturel, est l'U_{238}. Les neutrons à haute énergie se ralentissent lorsque les noyaux U_{238} s'écoulent, tout comme avec de l'eau lourde. Cette fonction utile à part, lorsqu'un noyau de U_{238} absorbe un neutron, le produit est un noyau avec 238 + 1 = 239 particules. Il s'agit d'une forme instable d'uranium, qui se décompose spontanément dans l'élément, le plutonium. Noyaux de plutonium, comme U_{235}, subissent également la fission, avec la production de neutrons qui pourraient soutenir une réaction en chaîne. Lorsque l'U_{235} est fini, alors, nous pourrions continuer avec un réacteur au plutonium !

Si l'on mettait la solde du U_{238} dans ce réacteur au plutonium, on obtiendrait encore plus de plutonium. Ce type de réacteur pourrait maintenant devenir un éleveur, un réacteur qui produit plus de carburant qu'il ne le consomme !\

C'était la première étape pour économiser et tirer le meilleur parti des réserves d'uranium dans le pays. Il y a encore une autre étape. Cela dépend du thorium, Th_{232}, dont, heureusement, Inde dispose de réserves suffisantes. Lorsque le thorium est exposé à des neutrons, dans un réacteur au plutonium, il se transforme en U_{233}, encore une matière fissile. La phase III du plan de l'énergie atomique d'Inde était de générer U_{233} en exposant le thorium aux neutrons. Cette phase durerait longtemps, en raison du thorium abondant découvert sur la côte du Kerala.

Dès 1955, lors d'une conférence internationale sur l'énergie atomique à Genève, Bhabha avait reconnu le pouvoir atomique comme la réponse pratique et à long terme aux besoins énergétiques mondiaux. Lors de la conférence, Bhabha a parlé du prochain développement de l'énergie nucléaire, FUSION nucléaire, comme le véritable Saint Graal. Alors que la fission nucléaire est un processus d'obtenir le pouvoir de la division de noyaux lourds en plus petites unités économiques, la fusion nucléaire vise à fusionner les noyaux légers avec des noyaux plus complexes, un processus qui libère encore plus d'énergie ! Plus précisément, les noyaux d'hydrogène lourd, qui consistent en un proton et un neutron, sont forcés ensemble. Quand ils sont suffisamment proches, les forces nucléaires qui s'attirent se succèdent et les noyaux fusionnent, dans un noyau d'hélium, deux protons et deux neutrons.



Comme dans le cas de la fission, dans la fusion, l'énergie doit d'abord être fournie pour surmonter une barrière avant que l'énergie ne puisse être exploitée lorsque le système se rends à un état à faible énergie. Mais dans le cas de la fusion, une entrée énergétique vraiment formidable est nécessaire. La seule façon que l'on y a réussi est dans la bombe à hydrogène, où une bombe de fission normale est utilisée pour commencer la réaction de fusion. Mais, en 1955, Bhabha a parlé des perspectives de contrôle et d'atténuation du processus. Avec l'énorme quantité d'hydrogène lourd, dans les océans, maîtriser la fusion mettrait fin à toute préoccupation mondiale concernant l'énergie !

C'est avec cette confiance et cet optimisme que Bhabha s'est approché de la mise en place du plan énergétique atomique d'Inde. Le vaste plan principal était d'aller de réacteurs à eau lourde aux éleveurs, suivit d'utiliser le cycle du thorium. Bhabha s'est mis à dérouler le plan en pratique. D'innombrables détails devaient être développés, maîtrisés et mis en œuvre. Un corps professionnel de prospection devait être mis en place pour localiser où les minerais nucléaires pourraient être exploités. Les métaux ont dû être extraits et la teneur en isotopes utiles devait être améliorée. Le matériau combustible devait ensuite être façonné et emballé, pour les conditions tortueuses dans la centrale.

la conception du réacteur était un territoire inexploré, ésotérique en théorie et exigeant dans la pratique. A part de températures élevées et des pressions, il fallait contenir des rayonnements, ainsi que pour assurer la sécurité, en cas d'un accident. Même les structures civiles qui abritaient les installations devaient être spécialement conçues et les plantes devaient être situées loin des villes. Ensuite, il fallait concevoir les méthodes pour éliminer le combustible après il est utilisé.

Avec un jugement intelligent, système et méthode, Bhabha a conduit et inspiré son équipe à planifier et à construire le large éventail de systèmes interconnectés, tout à fait

une exemplaire unique dans le « monde en développement ». Mais en 1966, quand il se rendait à Vienne pour un rendez-vous, il a rencontré une fin intempestive et tragique lorsque l'avion dans lequel il voyageait s'est écrasé dans les Alpes.

La nation était plongée dans le désespoir et le revers semblait impossible à réparer. Mais le témoignage ultime de l'organisation que Bhabha avait créée était qu'elle est continuée, quand il est mort, presque sans interruption. Dans un pays où c'est normal d'annoncer de congés pour pleurer le décès d'hommes importants, les employées du ministère de l'énergie atomique travaillaient résolument les jours suivant la mort de Bhabha. Le plan de Bhabha a marqué un chemin clair et le département l'a suivi avec énergie et dévouement. Inde est maintenant autonome dans la plupart de composants de l'énergie nucléaire. Sa technologie de l'eau lourde, en grande partie indigène, a attiré les marchés d'exportation. Ses établissements de recherche sont parmi les mieux au monde et la main-d'œuvre technique dont elle dispose formidable.
L'énergie nucléaire est maintenant une partie importante et croissante du plan de pouvoir du pays, grâce à la grande vision et aux efforts infatigables d'un seul homme.