

La technologie nucléaire au Brésil

Rédacteur : Michel Lévêque

Mars 1999.

Cendotec - Av. Paulista, 1842 – Torre Norte - 14° andar - 01310-200 São Paulo - SP

Tél : (011) 284 51 28 ou 284 18 39 ou 284 81 14 Fax : (011) 284 34 17

E-Mail : cendotec@nvcnet.com.br

Serveur : <http://www.cendotec.com.br>

La technologie nucléaire a longtemps constitué un sujet difficile d'accès au Brésil. Pour des raisons politiques, le nucléaire est resté jusqu'au milieu des années 80, un domaine où les ministères brésiliens liés à la défense ont joué un rôle déterminant. Ce n'est qu'avec la promulgation de la constitution de 1988 et l'avènement d'un gouvernement démocratique que le Brésil a opté pour une option résolument pacifique dans l'usage de l'énergie nucléaire et pour une politique de transparence.

Aujourd'hui encore, malgré cette transparence, la technologie nucléaire reste controversée. Dans le domaine de la production d'énergie, les déconvenues d'Angra I et d'Angra II ont amené les responsables politiques et économiques à écarter à court et même à moyen terme le nucléaire comme source principale d'énergie, au profit de l'hydroélectricité et surtout du gaz (construction d'un gazoduc Bolivie - Brésil). Par contre, les technologies liées aux rayonnements sont en plein développement au Brésil, que ce soit dans le domaine médical, agricole ou pour la recherche en sciences physiques.

1 – Accords internationaux ratifiés par le Brésil.

Le Brésil a opté à partir de la fin des années 80 pour une approche résolument pacifique dans le domaine de l'énergie nucléaire. Parmi les principaux traités internationaux signés par le Brésil au cours des dernières années, on peut noter :

- Signature du Traité de Tlatelolco qui crée une zone libre d'armes nucléaires en Amérique latine et aux Caraïbes en 1990;
- Accord de coopération avec l'Argentine en 1991 sur l'utilisation pacifique de l'Energie nucléaire qui autorise des commissions des deux pays à comptabiliser et contrôler tous les matériels nucléaires et à recevoir des inspecteurs dans toutes les installations de recherche, civiles et militaires;
- **Ratification en juillet 1998 par le Président Fernando Henrique Cardoso du Traité de Prohibition des Tests Nucléaires (CTBT) et du Traité de Non Prolifération des armes nucléaires (TNP) ;**

La position actuelle du Brésil peut-être résumée par ces paroles prononcées par le Président Fernando Henrique Cardoso, le 14 juillet 1998, lors de la cérémonie de ratification du TNP et du CTBT : la bombe atomique "ne provoquerait que tension et perte de confiance dans la région"(a bomba atômica "só seria causa para tensão e desconfiança em nossa região").

Principales dates

1956 : le gouvernement Juscelino Kubitschek crée la CNEN (Commission Nationale d'Energie Nucléaire)

1957 : membre fondateur de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique

1967 : refus de signer le Traité de Non Prolifération

1971 : Westinghouse remporte l'appel d'offres pour la fourniture d'équipements pour la centrale nucléaire d'Angra dos Reis

1975 : signature de l'accord de coopération avec l'Allemagne qui prévoit le transfert de technologie au Brésil du cycle complet de l'énergie atomique

1982 : la centrale d'Angra 1 entre en phase de tests. La construction des centrales d'Iguape et 2 est annulé.

1985 : inauguration officielle d'Angra 1

1986 : révélation que le gouvernement construit des installations souterraines pour la réalisation de tests nucléaires dans la serra do Cachimbo (Para)

1988 : inauguration du Centre expérimental d'Aramar à Ipéro (São Paulo) où fonctionneront les unités d'enrichissement d'uranium

1990 : fermeture par le président Collor des installations souterraines de Cachimbo et signature du Traité de Tlatelolco

1991 : Accord de coopération avec l'Argentine en 1991 sur l'utilisation pacifique de l'Energie nucléaire

1995 : première année de fonctionnement régulier pour Angra 1

1998 : ratification par le Président Fernando Henrique Cardoso du Traité de Prohibition des Tests Nucléaires (CTBT) et du Traité de Non Prolifération des armes nucléaires (TNP)

1999 : entrée en phase de tests d'Angra 2

2 – Energie nucléaire

Actuellement, le Brésil a une centrale nucléaire en opération : Angra 1 (657 MWe gross/626 MW net, PWR). Deux centrales nucléaires sont en construction : Angra 2 (1312 MWe gross/1229 MW net, PWR) et Angra 3 similaire à Angra 2. La construction d'Angra 2 a été temporairement arrêtée mais a repris récemment en raison de la situation critique de la production d'énergie électrique au Brésil. Angra 1, 2, 3 sont situées sur un même site, près de la ville d'Angra dos Reis, à 130 km de Rio de Janeiro.

Pour réaliser ces projets le Brésil a organisé une structure de production :

- **ELETRONUCLEAR** - Eletrobras Termonuclear S.A, compagnie d'ingénierie, gère les centrales nucléaires;
- **NUCLEP** - Nuclebras Heavy Equipment est fabricant de matériel lourd;
- **INB** – Industries Nucléaires du Brésil, fabricant de combustible nucléaire.

Selon le plan d'équipement à long terme pour la production d'énergie électrique, trois scénarios différents ont été considérés pour l'année 2015 (Relatório Nacional do Brasil – Convenção sobre segurança nuclear – septembre 1998) :

- Le premier basé sur les ressources hydroélectrique ne prévoit pas de nouvelle construction de centrale nucléaire
- Le second qui a une composante thermique forte prévoit la construction de quatre centrales nucléaires, en 2009, 2011, 2013 et 2015.
- Le troisième, recommandé, prévoit la construction de deux centrales nucléaires, une en 2011, l'autre en 2013.

• Angra 1

La construction de la centrale nucléaire Angra 1 a commencé effectivement en 1972, après la signature d'un contrat d'équipement avec Westinghouse Electric Co. Le contrat avec Westinghouse est un contrat d'équipement "clef en main" comprenant la fourniture d'équipement et l'ingénierie de la centrale. La compagnie brésilienne d'ingénierie PROMON est associée au projet ainsi que EBE (Empresa Brasileira de Engenharia SA) et Odebrecht pour les travaux de construction.

En septembre 1981, le combustible nucléaire est chargé. La première réaction critique a lieu en mars 1982; en avril 1982, la centrale est connectée au réseau. Puis des problèmes se posent liés à la conception technique d'un générateur de vapeur. Finalement, la centrale commence à opérer commercialement le 1er janvier 1985. Puis de nouveaux problèmes techniques se posent qui culminent avec l'incendie du stator du générateur électrique. Cette réparation entraîne un arrêt de 16 mois. Fin 1988, la centrale nucléaire recommence son fonctionnement jusqu'en 1993, lorsque se pose des problèmes de recharge de combustible nucléaire. Angra 1 reprend son

fonctionnement en janvier 1995 et fonctionne depuis lors de manière proche du maximum de ses capacités.

- **Angra 2 et 3**

Le projet de construction de centrales nucléaires supplémentaires a été lancé en 1975 avec la signature de l'accord Brésil-Allemagne sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Angra 2 et 3 devaient utiliser la technologie SIEMENS/KWU. Les deux unités auraient dûes commencé à fonctionner au milieu des années 80. Au 31 décembre 1997, la construction d'Angra 2 n'était achevée qu'à 88 %, celle d'Angra 3 n'avait pas commencé.

La construction d'Angra 2 a été relancée en 1998 avec un budget de 620 millions de R\$ (soit environ 550 millions de US\$ en 1998) afin de permettre un démarrage de la production en 1999. Au total, le programme Angra 2 aurait absorbé environ 7,7 milliards de US\$ depuis 1975 dont 70 % à la charge du gouvernement fédéral et 30 % à la charge d'ELETROBRAS.

La construction d'Angra 3 n'a pas encore été initiée. Seulement une partie des travaux de préparation du sol a débuté, la construction de la centrale devant commencer en l'an 2000. La mise en service est prévue pour 2005.

La multiplication des incidents sur Angra 1 (surnommé de "vagalume" ou ver luisant) et le retard de 16 ans sur Angra 2, ont donné une mauvaise image de l'énergie nucléaire au Brésil.

3 - Enrichissement de l'uranium.

L'INB (Industries Nucléaires du Brésil) est l'entreprise nationale chargée de promouvoir l'exploitation de l'uranium, depuis la production de minerai jusqu'au montage des éléments de combustibles.

Les principaux gisements nationaux sont situés à Lagoa Real dans l'état de Bahia et à Itataia dans l'état du Céara.

Gisements d'uranium du Brésil (en tonnes métriques)

| Gisements | Mesuré | Estimé | Total |
|------------------------|---------------|---------------|--------------|
| Lagoa Real (BA) | 94 000 | 6 700 | 100 770 |
| Itataia (CE) | 91 200 | 51 300 | 142 500 |
| Autres | 39 500 | 26 600 | 66 100 |
| Total | 224 700 | 84 670 | 309 370 |

23 ans après la signature de l'accord Brésil-Allemagne qui aurait du permettre au Brésil de maîtriser le procédé d'enrichissement de l'uranium, l'INB a conclu un accord avec la Marine pour l'achat d'ultra-centrifugeuses. Le Centre Technologique de la Marine d'Aramar (état de São Paulo), en partenariat avec l'IPEN (Institut de Recherche Nucléaire de São Paulo), a en effet réussi à construire à petite échelle des ultra-centrifugeuses permettant l'enrichissement de l'uranium. Ce projet avait été lancé en 1980 par la marine dans le but d'équiper à terme le Brésil en sous-marins nucléaires.

L'INB projete la construction d'une usine d'enrichissement dont la capacité, au bout de 4 ans, serait de l'ordre de 16 000 UTS, encore loin des 200 000 UTS par an nécessaires pour alimenter Angra 1 (66 000 UTS) et Angra 2 (134 000 UTS pour la recharge annuelle sans compter les 270 000 UTS nécessaires pour le noyau initial). L'objectif est d'arriver en huit ans à 100 000 UTS.

Cette initiative marque l'abandon définitif par le Brésil de la technologie du jet centrifuge, dont une unité avait été installée à Resende (état de Rio de Janeiro) . Cette technologie achetée lors de l'accord avec l'Allemagne en 1975 était en fait la seule disponible commercialement à l'époque en raison de l'impossibilité, pour des raison politiques, d'acheter la technologie de l'ultracentrifugation. Toutefois, l'investissement consenti sera en partie réutilisé puisque les unités d'entrée (hexafluorure d'uranium – UF₆) et de sortie (uranium enrichi) sont les mêmes, quel que soit le procédé d'enrichissement utilisé. A terme l'objectif est de diminuer le contrat avec Urenco dont le coût annuel serait d'environ 23 millions de US\$ par an.

Par ailleurs, il faut noter que l'Institut d'Etudes Avancés du CTA – Centre Technique Aéronautique, poursuit des recherches depuis 1981 sur le procédé de séparation isotopique de l'uranium par laser.

4 – Principaux instituts de recherche.

- **Nucléaire en agriculture.**

Le plus grand centre de recherche et d'application est le **CENA (Centre d'Etudes Nucléaires en Agriculture) de l'USP (Université de São Paulo)**. Le CENA a été fondé en 1966 avec un support technique important du CNEN (Commission Nationale de l'Energie Nucléaire) et de l'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique). Le CENA possède 37 chercheurs dont 23 docteurs, 9 professeurs associés et 3 professeurs titulaires.

Les grandes lignes de recherche sont :

- Programme d'amélioration des plantes : utilisation des marqueurs moléculaires afin de déterminer les caractéristiques du génome des plantes.
- Production et conservation de nourriture : techniques isotopiques appliquées à la nutrition des plantes; marquage de l'érosion des sols par Cesium 137; nutrition et reproduction animale; applications de rayons gamma pour la conservation des produits alimentaires.
- Programme de chimie analytique : analyse automatisée et méthodes de spectrométrie.
- Programme de techniques isotopiques : laboratoire de carbone 14, laboratoire sur les radioisotopes et fluorescence rayons X
- Ecosystèmes naturels (dynamique du carbone, du nitrogène et de l'eau, en particulier en Amazonie) et écosystèmes altérés.

- **Recherche en sciences physiques.**

La plupart des universités brésiliennes sont dotées d'instituts de physique qui effectuent des recherches dans différents domaines. Un grand équipement mérite d'être noté, **le LNLS (Laboratoire National de Lumière Synchrotron)**

Le LNLS de Campinas, ville située à 100 km de São Paulo, est le premier équipement de ce genre disponible en Amérique latine. Opérationnel depuis juillet 1997, il s'agit d'un équipement ouvert aux scientifiques de toute nationalité étudiant les matériaux et utilisant la lumière synchrotron (rayons X, ultraviolets et infrarouges). La lumière synchrotron du LNLS de Campinas est produite dans un anneau de stockage des électrons de 1,37 GeV et un accélérateur linéaire de 120 MeV fonctionne comme injecteur.

Neuf stations sont actuellement en fonctionnement :

- TGM (Toroidal Grating Monochromator)
- SGM (Spherical Grating Monochromator)
- SXS (Soft X-ray Spectroscopy)
- XAFS (X ray Absorption Fine Structure)
- XRD (X-ray Diffraction)
- SAXS (Small Angle X-ray Scattering)
- PCr (Protein Crystallography)
- XRF (X Ray Fluorescence)
- MF (Microfabrication)

L'ensemble de l'équipement est situé dans un parc de 40 hectares proche d'une zone de haute technologie où se trouve notamment l'Université de Campinas, Unicamp, et le centre de recherche de Telebras, CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento). Actuellement, le LNLS n'est pas encore utilisé à plein, ce qui

laisse aux équipes de chercheurs, plusieurs jours pour réaliser leurs expériences. La présence internationale, surtout de chercheurs argentins, commence à se développer et des équipes françaises ont commencé à effectuer des analyses en juin 1998.

- **Autres centres spécialisés.**

Le CDTN (Centre de Développement de Technologie Nucléaire)

Créé en 1952 à Belo Horizonte, il s'agissait de la première institution du pays dédiée au nucléaire, le CDTN emploie aujourd'hui 440 personnes. Le principal équipement est un réacteur TRIGA IPR- R1 fabriqué par Gulf General Atomic d'une puissance maximum de 100 kW et utilisant de l'uranium enrichi à 20 %. Les grandes aires scientifiques de l'IEN sont :

- Environnement : études de dispersion atmosphérique, collecte de données hydrologique, dispersion de polluants, rejets radioactifs et résidus industriels.
- Santé : médecine nucléaire, analyse et irradiation d'aliments.
- Réacteur nucléaire
- Matériaux
- Process physico-chimiques
- Protection radiologique
- Techniques nucléaires.

L'IEN (Institut d'Ingénierie Nucléaire).

L'IEN, 250 employés, installé dans la Cité Universitaire de Rio de Janeiro, a été créé en 1962 et possède des laboratoires de recherche distribués dans 5 grands domaines :

- Technologie des Réacteurs : l'IEN a ainsi construit le premier réacteur de recherche du Brésil, l'Argonaute, réacteur de puissance nominale de 500 W et 5 kW en pic, utilisant de l'oxyde d'uranium enrichi à 20 %. En 1972, l'IEN a été le premier laboratoire brésilien à acquérir des circuits thermiques à sodium. L'IEN poursuit aujourd'hui des travaux sur l'ingénierie nucléaire.
- Cyclotron et production de radioisotopes : en 1973 l'IEN a acquis auprès de TCC (The Cyclotron Corporation, USA), un accélérateur multi-particules compact capable d'accélérer des protons, deutérons, alphas et helium 3 (cyclotron CV-28) afin d'approfondir les études de physique nucléaire expérimentale et de produire des radioisotopes pour la médecine nucléaire (Iode-123, Galio-67, Fluor-18).
- Instrumentation Nucléaire : l'IEN développe et produit des instrumentations (notamment pour les centrales nucléaires d'Angra), entretient les équipements existants.
- Chimie et Matériaux : process, chimie analytique, matériaux et métallurgie.
- Protection radiologique et gestion des rejets radioactifs

L'IPEN (Institut de Recherche Nucléaire)

L'IPEN a été fondé en 1956, depuis quelques années, avec la diminution des budgets publics de recherche et développement, cet institut réoriente ses activités vers des recherches en partenariat avec l'industrie et une production avec des débouchés commerciaux civils. L'IPEN s'est développé autour de son réacteur nucléaire de recherche IEA-R1 et emploie 1 300 personnes dont 550 de niveau ingénieur et plus. L'IPEN possède deux accélérateurs d'électrons de 1,5 MeV, un cyclotron de 28 MeV, des irradiateurs de cobalt et une usine pilote pour l'enrichissement de l'uranium. L'IPEN travaille principalement sur :

- Applications des radiations et radioisotopes
- Réacteurs nucléaires
- Matériaux
- Cycle du combustible
- Radioprotection et dosimétrie
- Production de matériaux et prestations de service
- Production de radioisotopes pour la médecine nucléaire : I-131, Sm153, P-32, S-35, K-42, Na-24 et Ca-45 (réacteur nucléaire), Ga-67, I-123 et Tl-201 (cyclotron), Tc-99m. Depuis 1999 est entré en service un nouveau cyclotron Cyclone-30, d'une énergie de 30 MeV (Ion Beam applications) afin de produire certains radioisotopes, en particulier le Gallium 67 et le Thallium 201.

C'est à l'IPEN que les principaux résultats ont été obtenus dans la technologie de l'enrichissement de l'uranium : hexafluorure, production électrochimique du fluor et ultracentrifugation. Avec la marine, l'IPEN participe à la construction du réacteur IPEN-MB/01, unité critique qui simule à échelle réduite les phénomènes neutroniques d'une centrale nucléaire ainsi qu'à un projet de réacteur pour sous-marin nucléaire.

L'IPEN axe actuellement ses recherches sur le domaine médical et la biotechnologie afin de pouvoir proposer une ligne de produits à commercialiser. Parmi les principaux résultats obtenus en 1998, se détachent la production pilote d'hormone de croissance humaine (hGH) par Hormogen en partenariat avec l'IPEN, le développement de soudures de haute technologie par le centre de lasers et applications avec l'entreprise SMAR pour des alliages à haute teneur en nickel, le développement de processus d'irradiation d'aliments et de plantes ornementales.

La pépinière d'entreprises de l'IPEN regroupait au 1er janvier 1999 14 micro-entreprises, dont plusieurs ne sont pas du domaine nucléaire :

- Trion Tec Radion Ltda : amélioration de la qualité des pierres précieuses
- R3M : contrôle de qualité par radiographie à neutrons de pièces et d'équipements
- Intermedical : produits médicaux et hospitaliers (valvules et cateters)

- Pro-Line : production de dispositifs métalliques et céramiques utilisés en chirurgie orthopédique et odontologie
- Dcsystem : batteries pour télécommunications
- Lasertools : utilisation du laser pour le découpage, le perçage, la soudure, le marquage et le traitement thermique des métaux, céramiques et plastiques
- Pollux : fabrication d'endoscopes et de microcameras
- TecnoLab : scanner magnétique ASG pour inspection visuelle des structures en béton
- Hormogen : fabrication d'hormones de croissance par bactéries génétiquement modifiées
- Anod : anodisation à haute température
- Atos : systèmes d'automation et d'interfaces homme-machine
- Solar System : générateur d'eau chaude à énergie solaire
- Data Provider : systèmes d'automation portables à applications bancaire, commerciale ou industrielle
- Coonat : digestion anaérobie de produits organiques de déchets urbains.

L'IRD (Institut de Radioprotection et de Dosimétrie)

Cet institut créé en 1972 à Rio de Janeiro, a pour objectif d'être un centre de référence national en radioprotection et métrologie des radiation ionisantes. L'IRD emploie 320 personnes dont 16 docteurs et 65 de niveau DEA.

Contacts

- **ABEN (Association Brésilienne de l'Energie Nucléaire)**

Rua Mena Barreto, 161 – Botafogo
CEP 22271-100 – Rio de Janeiro – RJ
Tél : 55 21 536 17 52
Fax : 55 21 286 66 46
e-mail : aben@ax.apc.org
<http://www.alternex.com.br/~aben>

- **CDTN (Centre de Développement de la Technologie Nucléaire)**

Rua Prof. Mário Werneck, s.n. – Caixa Postal 941 – Pampulha
30123-970 – Belo Horizonte – MG – Brésil
e-mail : cdtn@uranp.cdtm.br
<http://urano.cdtm.br>

- **CENA/USP (Centre d'Energie Nucléaire dans l'Agriculture)**

Av Centenário – 303
P.O. Box 96
CEP 13400-970 – Piracicaba – SP – Brésil
Tél : 55 194 33 51 22
Fax : 55 194 22 83 39
E-mail : diretoria@pira.cena.usp.br
<http://www.usp.br>

- **CNEN (Commission Nationale de l'Energie Nucléaire)**

Rua General Severiano, 90
22294-900 – Rio de Janeiro – RJ – Brésil
Tél : 55 21 546 23 20
Fax : 55 21 546 22 82
e-mail : corin@cnen.gov.br
<http://www.cnen.gov.br>

- **IEN (Institut d'Ingénierie Nucléaire)**

e-mail : ien@cnen.gov.br
<http://www.cnen.gov.br/ien/ien.htm>

- **IPEN (Institut de Recherche Nucléaire)**

Travessa R – 400
Cidade Universitária – São Paulo – SP
CEP 05508-970 – Brésil
Tél : 55 11 816 91 00

<http://www.ipen.br>

- **IRD (Institut de Radioprotection et de Dosimétrie)**

Av Salvador Allende s/n – Jacarepaguá – Rio de Janeiro – RJ

CEP 22780-160 / CP-37750 - Brésil

Tél : 55 21 442 1927

Fax : 55 21 442 19 50

- **LNLS (Laboratoire Nationale de Lumière Synchrotron)**

Laboratório de Luz Síncrotron

Caixa Postal 6192 - CEP 13083 – 970

Campinas, São paulo, Brasil

Tel : 55 19 287 45 20

Fax : 55 19 287 46 32

E-mail : secre@lnls.br

Home-Page : www.lnls.br