Les ressources hydroélectriques du Parana brésilien

Hydro-electric resources of the Parana river in Brasil

C. A. de P. Amarante

Président du Comité brésilien des Grands Barrages

Le Brésil est un grand pays, ayant une surface de 8 500 000 km², et doté d'un immense réseau fluvial. Ses principaux bassins hydrographiques sont ceux :

- du fleuve Amazonas (3 985 000 km²),
- du Parana (1 237 000 km²),
- du Tocantins (803 000 km²),
- du Sao Francisco (631 000 km²),
- de l'Uruguai (178 000 km²),
- de l'Atlantique Nord (885 000 km²),
- de l'Atlantique Est (569 000 km²)
- et de l'Atlantique Sud-Est (224 000 km²)

comme indiqué sur la figure 1.

La connaissance du potentiel hydraulique du Brésil a évolué, progressivement, à mesure que les informations sur les caractéristiques physiques de ses bassins hydrographiques devenaient disponibles, et qu'étaient réalisées des études (dans les bureaux et sur le terrain) permettant de définir la répartition des chutes le long des rivières composant ces bassins.

Jusqu'alors, on ne possédait aucun inventaire complet du potentiel hydraulique du Brésil, mais on a cherché à l'évaluer en additionnant les résultats obtenus sur le terrain et diverses estimations réalisées en bureau, concernant les zones du pays non encore inventoriées.

Un premier travail systématique d'étude du potentiel hydraulique réalisé sur le terrain s'est limité géographiquement à la région Sud-Est du pays, en raison de sa proximité des grands centres de consommation d'énergie électrique — les régions métropolitaines de Sao Paulo et de Rio de Janeiro.

Cette étude couvrait la majeure partie du bassin du Parana brésilien, à l'exclusion de l'Iguaçu inventorié plus tard, mais comprenait d'autres bassins comme ceux du Doce, du Paraíba et une partie du S. Francisco.

Les études réalisées entre 1962 et 1966 ont constitué une initiative pionnière pour le pays et sans précédent

dans le monde entier. La méthodologie adoptée a servi de base pour toutes les études postérieures.

La région étudiée comprenait 1 000 000 km² soit l'équivalent des surfaces additionnées de la France, de l'Espagne et du Portugal ; vingt huit mille kilomètres de fleuves ont été parcourus et plus de 510 sites de barrages ont été examinés.

Le plan d'électrification, élaboré en 1966, a consisté en un programme de longue durée, s'étendant jusqu'à 1980, et comprenant aussi l'examen d'autres sources d'énergie primaires comme le charbon, les combustibles liquides et les centrales nucléaires.

À l'époque des études, le système électrique de la région Sud-Est était capable de fournir une énergie annuelle de 2 540 MW⁽¹⁾ ou 22,25 TWh et de satisfaire à une demande d'énergie moyenne de 4 096 MWh/h. Les perspectives énergétiques pour les quinze années à venir pour 1980 étaient les suivantes :

— Evaluation haute	9 962 MW	ou	87,3 TWh/an
— Evaluation basse	7 609 MW	ou	66,6 TWh/an
— Réalisé	8 778 MW	ou	76,9 TWh/an

Les réalisations ont respecté avec beaucoup de précision les estimations faites 15 ans auparavant.

Dans le cas brésilien, il faut souligner l'importance de l'énergie hydroélectrique, par rapport à l'énergie thermique, celle-ci se présente normalement comme complémentaire, et est maintenue à un niveau minime de production uniquement pour satisfaire les demandes de pointe et de basse hydraulité.

L'existence d'un potentiel hydroélectrique très important et économique à explorer d'une part, l'exigence d'investissements élevés pour l'édification des

(1) 1 MW = 8 760 MWh/an = 8,76 GWh/an = $8,76 \cdot 10^{-3}$ TWh/an.

centrales thermiques à charbon et nucléaires, d'autre part, font que la tendance naturelle du système électrique brésilien est de poursuivre essentiellement la production hydroélectrique au moins jusqu'à l'an 2000.

Le potentiel hydroélectrique du Brésil en termes d'énergie garantie et moyenne est mentionné sur le Tableau I, en fonction des principaux bassins hydrographiques du pays.

Figure 1 – Bassins hydrographiques du Brésil.

On peut voir sur ce Tableau I que le bassin du Parana représente le second potentiel hydroélectrique du Brésil, dépassé seulement par celui du bassin de l'Amazonas.

Le potentiel du Parana correspond à presque 27 % du potentiel total du Brésil et son importance est soulignée par sa situation au cœur de la région la plus développée, la plus peuplée et la plus industrialisée du pays.

On peut également voir qu'à l'horizon 1990, le potentiel énergétique aménagé pour l'ensemble du pays est estimé à 33 GW (ou 289 TWh/an) et que le bassin du Parana, à lui seul, représentera 19,8 GW (ou 173 TWh/an) soit près de 60 % de la puissance globale, le plaçant très largement en tête des bassins producteurs d'énergie hydroélectrique et ceci pour une longue période à venir.

On peut ainsi en déduire eu égard à sa situation, l'importance fondamentale du potentiel hydroélectrique du bassin du fleuve Parana sur le développement du Brésil.

Le bassin du Parana

Le fleuve Parana a pour origine, le confluent des fleuves Paranaíba et Grande, il coule initialement en territoire brésilien en direction du Sud-Ouest, puis il forme la frontière entre le Brésil et le Paraguay sur 200 km, suit la frontière entre le Paraguay et l'Argentine et coule ensuite en territoire argentin jusqu'au fleuve de la Plate (Rio da Plata).

Figure 2 – Bassin du Parana et des principaux sous-bassins.

Tableau I. — Potentiel énergétique du Brésil

Bassin	Energie garantie en		Energie aménagée jusqu'à 1990	Energie disponible après 1990	Energie Moyenne MWh/h	Surface km ²
	TWh/an	MW				
Amazonas	317,11	36,2	0,1	36,1	52,4	3 985 000
Tocantins	111,25	12,7	4,3	8,4	15,2	803 000
Atlantique N/NE	7,88	0,9	0,1	0,8	1,3	885 000
Sao Francisco	80,59	9,2	5,2	4,0	11,8	631 000
Atlantique Est	57,81	6,6	1,3	5,3	8,9	569 000
<i>Parana</i>	249,66	28,5	19,8	8,7	34,3	1 237 000
Uruguai	64,82	7,4	0,8	6,6	7,2	178 000
Atlantique Sud-Est	43,80	5	1,3	3,7	5,3	224 000
Total	932	106,5	32,9	73,6	136,4	8 512 000

Le bassin entier comprend 3 millions de km², parmi lesquels 1 237 000 km² sont situés au Brésil en y incluant le sous-bassin du Paraguay.

La longueur totale du fleuve Parana, y compris les affluents Grande et Paranaíba, est de 4 000 km. Le Parana est l'un des sept plus grands fleuves du monde, à cause de son débit et de l'étendue de son bassin. Les limites supérieures de ce bassin se situent, en altitude moyenne à environ 1 000 m, alors que le niveau moyen à Itaipu n'est, que de 100 m.

Dans la partie septentrionale du bassin le climat est

tropical, avec des saisons pluvieuses en été (Décembre à Mai) et sèches en hiver (Juillet à Novembre). En direction du Sud, le climat est plus tempéré avec des étés chauds et des hivers froids, mais les précipitations sont plus uniformément réparties sur toute l'année. La précipitation moyenne annuelle dans le bassin du Parana est de 1 400 mm.

Des deux fleuves qui forment le Parana, on peut dire :

— que le Grande se développe tout au long de ses 1 300 km dans un bassin dont la surface est de 143 000

Figure 3 — Bassin du Parana Aménagements de plus de 100 MW.

km² avec un débit de 2 100 m³/s, (ou près de 14 l/s/km²),

— tandis que le Paranaíba qui est formé par plusieurs affluents est situé dans un bassin hydrographique de 222 000 km² et assure un débit moyen de 3 000 m³/s. (ou de l'ordre de 14 l/s/km²).

Les principaux affluents sur la rive gauche du Parana brésilien sont : le Tietê, le Paranapanema et l'Iguaçu.

Le Tietê a une longueur de près de 1 050 km et la surface de son bassin hydrographique est de 71 700 km²,

avec une contribution moyenne de l'ordre de 700 m³/s (ou de 10 l/s/km²).

Le Paranapanema a une longueur de près de 600 km, avec un bassin hydrographique de 100 000 km² et un débit moyen de 1 100 m³/s (ou 11 l/s/km²).

L'Iguaçu rejoint de Parana au point où convergent les territoires du Brésil, du Paraguay et de l'Argentine ; il a 1 300 km de long, draine une surface de 69 000 km² et sa contribution moyenne est de 1 400 m³/s (ou 20 l/s/km²). Les "Cataratas do Iguaçu" très renommées, avec 82 m de haut, sont situées à 23 km du confluent de l'Iguaçu et du Parana.

Le débit moyen annuel du Parana à Itaipu, sur une période de 40 années, est de 9 070 m³/s, ce qui correspond à 11,1 l/s/km².

La géologie d'une grande partie de ce bassin du Sud-Est et du Sud du Brésil, est uniforme et consiste en un épais épanchement basaltique, pratiquement horizontal, uniformément intercalé avec des couches de "Brécia". Des terrains résiduels d'argile ou d'argile sablonneux couvrent les rives du Parana et de ses affluents.

Cette caractéristique géologique a conduit à édifier un type d'aménagement commun à ce bassin et comprenant une partie centrale en béton et des flancs en terre compactée.

Le potentiel hydroélectrique total du Parana brésilien et sa répartition par sous-bassins principaux sont donnés dans le tableau II :

Ce potentiel est réparti sur un grand nombre de sites dont :

- 73 en exploitation ;
- 11 en construction,
- et 360 disponibles identifiés,

soit un total de 444 sites de barrages pour le bassin.

Les principaux aménagements de potentiel énergétique supérieur à 100 MW, selon les différents sous-bassins sont mentionnés dans le tableau III .

Tableau II. — Potentiel hydroélectrique du Parana Brésilien — MW

A) Sous Bassin	En exploitation	En construction	Disponible	Total
Paranaíba	2 463	655	2 171	5 289
Grande	3 310	58	1 211	4 579
Paraná	2 358	2 028	0	4 386
Tietê	240	268	179	687
Paranapanema	602	335	1 526	2 463
Iguaçu	1 972	—	3 084	5 056
B) Petits Bassins				
Ivaí-Piquiri	7	—	1 154	1 161
Paraguay	7	—	641	648
Divers	13	0	472	485
Total national	10 972	3 344	10 438	24 754
C) Production internationale comprenant la partie brésilienne		3 994	600	4 594
Total Général	10 972	7 338	11 038	29 348

Tableau III. — Aménagements avec énergie garantie supérieure à 100 MW

Sous-bassin	Hauteur de Chute m	En exploitation ou construction					Disponible										
Grande	100 40 68 46 17 27 20 63 55	Furnas Peixoto Estreito Jaguara Volta Grande P. Colombia Marimbondo A. Vermelha	MW	MW	E	C	Igarapava	MW									
			522	1 216	x			121									
			256	477	x												
			437	1 048	x												
			314	425	x												
			205	380	x												
			189	319	x												
			633	1 444	x												
			671	1 380	x												
		Total	3 227	6 690					121								
Iguaçu	137 101 59 109 72 66 53	F. Areia	565	2 511	x		Segredo Jacu	697 101									
			S. Santiago S. Osório	831 573	2 000 1 053	x x											
								S. Caxias Capanema	665 480								
			Total	1 969	5 564				1 943								
		Paraná	48 21 20 19 120	I. Solteira Jupiá P. Primavera I. Grande Itaipu	1 531 827 891 1 137 3 994	3 230 1 411 1 800 2 000 6 301	x x										
	Total		8 380	14 742	x	x		0									
Paranaíba	76 137 104 81 99 100 85 29 73	Emborcação	411	1 000		x	Bocaina N. Ponte Miranda C. Branco	108 214 123 218									
									Corumbá Itumbiara C. Dourada S. Simão	244 915 342 1 189	500 2 100 416 1 613	x x x x	x				
			Total	3 101	5 629	x	x		663								
		Paranapanema	76 32 70 50 26 19	Xavantes	170	414	x		Canoas S. Aparado	131 115							
											Capivara Taquaruçu Rosana	323 205 130	640 500 320	x	x x		
	Total			828	1 874						246						
Tietê Divers	30 48 56 200 70		Navanhandava Três Irmãos Ivatuba Corrente S. Apertados	109 159	300 640		x x		178 111 212

Ces principaux aménagements peuvent être implantés aux positions optimales, en plan et en profil, les plus favorables à l'utilisation de chacun des principaux fleuves du bassin du Parana.

I — Aménagements opérationnels d'une capacité énergétique supérieure à 400 MW.

Une description résumée des principaux aménagements d'une capacité énergétique supérieure à 400 MW (ou 3,5 TWh/an) est faite ci-dessous :

Furnas

Cet aménagement est le principal réservoir du Grande — d'une capacité de 15 billions de m³ — intéressant par la régularisation tous les projets en aval.

Il consiste en un barrage d'enrochement à noyaux d'argile, de près de 120 m de hauteur ayant un volume de $9,5 \times 10^6$ m³.

Furnas possède une installation de 1200 MW de puissance nominale et une capacité ferme de 522 MW (ou 4,6 TWh/an). Son exploitation a commencé en 1963.

Marimondo

Situé sur le Grande, il consiste en un barrage central en béton avec *meneaux* de terre compactée. Il a une puissance nominale de 1440 MW et une capacité ferme de 633 MW (ou 5,5 TWh/an). Le volume de béton est de $1,2 \times 10^6$ m³ et celui de terre $14,4 \times 10^6$ m³.

Marimondo est entré en opération en 1975.

Agua Vermelha

Il s'agit de l'usine la plus en aval sur le Rio Grande, un peu en amont du confluent avec le Paranaíba, où les deux cours d'eau forment le Parana. L'usine vient d'être terminée et sa puissance finale installée est de 1380 MW (6 groupes de 230 MW). Son barrage est en terre avec une hauteur de 57 m, une longueur de 3920 m et un volume de 22 485 000 m³.

Ilha Solteira

Situé sur le Parana, entre les états de Sao Paulo et du Mato Grosso do Sul, cet aménagement constitue, avec sa puissance installée de 3200 MW (20 unités de 160 MW) la plus grande usine hydroélectrique en service au Brésil.

Son barrage du type "poids" est en terre et en béton. Il a 74 m de hauteur, 6160 m de longueur, et son volume comprend 18 842 000 m³ de terre et 3 676 000 m³ de béton.

Jupia

C'est l'aménagement le plus en amont sur le Parana, en exploitation actuellement.

Il consiste en un barrage — poids, comprenant 7×10^6 m³ de terre compacte et $1,4 \times 10^6$ m³ de béton.

C'est un projet de chute basse (20 m) qui a été mis en service en 1962. Son installation est de 1 200 MW et sa capacité énergétique de 827 MW (ou 7,24 TWh/an).

Itumbiara

Construite sur le Paranaíba, entre les états de Minas Gerais et de Goiás, cette usine aura une puissance finale installée de 2 100 MW (6 groupes de 350 MW) ; son premier groupe a commencé à fonctionner en avril 1980.

Avec 35 500 000 m³ de matériaux compactés, une hauteur de 106 m et une longueur de 6 260 m, ce barrage en terre est l'un des plus grands du Brésil.

Sao Simão

Ce projet, le plus en aval du Bassin du Paranaíba, est constitué par un barrage central en béton avec flancs de terre et enrochements. Comprenant $12,8 \times 10^6$ m³ de terre, $9,5 \times 10^6$ m³ d'enrochement et 375×10^3 m³ de béton.

S. Simao a une installation de 1 632 MW et une capacité de 1 189 MW (ou 10,4 TWh/an).

Foz do Areia

Cet aménagement hydroélectrique, le plus grand en amont sur l'Iguaçu joue un rôle important dans la régularisation du débit pour les utilisations en aval. La centrale aura une puissance installée de 2 511 MW (6 groupes de 418,5 MW). Le premier groupe a commencé à produire en Septembre 1980.

Avec ses 160 m de hauteur, ses 850 m de longueur et son volume de 13 000 000 m³, le barrage d'enrochement avec masque amont en béton, se place parmi les plus hauts du monde de ce type.

Salto Santiago

Situé sur l'Iguaçu, cette usine aura une puissance installée de 2 000 MW (6 groupes de 333 MW) ; le premier groupe est entré en opération en Décembre 1980.

Outre le barrage en enrochement avec noyau d'argile qui ferme le lit principal du fleuve, il a fallu construire trois digues pour la fermeture des cols existants. Le barrage, du type enrochement avec noyau d'argile, a une longueur totale de 1 400 mètres, une hauteur de 80 m et un volume total de 9 860 000 m³.

II – Aménagements en cours de construction ou en projet

Parmi les projets en construction du bassin du Parana, d'une capacité supérieure à 400 MW, on rencontre les sites suivants :

Emborcação

Située sur le Paranaíba qui, avec le Rio Grande, forme le Parana, cette usine d'une puissance finale

installée de 1 000 MW (4 unités de 250 MW), a son premier groupe en service depuis Juillet 1982.

Le barrage, en voie d'achèvement, est en enrochement tout-venant avec noyau d'argile ; il a 158 m de hauteur, 1 500 m de longueur et un volume de 25 000 000 m³.

Porto Primavera

Situé sur le cours principal du Parana en aval de la centrale de Jupia, cet aménagement est prévu pour une puissance installée de 1 800 MW et une puissance garantie de 891 MW (ou 7,80 TWh/an). La chute a une hauteur de 20 m et le barrage est en terre compactée avec une partie centrale en béton.

Sa construction a commencé.

I. Grande

Situé sur le cours principal du Parana juste en amont du réservoir de Itaipu, ce barrage en terre compactée avec partie centrale en béton est prévu pour une hauteur de chute de 20 m et une installation d'une puissance nominale de 2 000 MW.

Sa construction a commencé.

Itaipu

C'est le plus grand aménagement du bassin du Parana, et présentement, le plus grand projet hydroélectrique en construction dans le monde. Itaipu est situé sur le fleuve Parana, entre le Brésil et le Paraguay à 20 km au Nord de la frontière entre le Brésil, le Paraguay et l'Argentine.

III – Centrale d'Itaipu

a) Disposition générale

Le projet consiste en une série de barrages de types divers avec couronnements à la cote 225. La centrale est située au pied du barrage principal, transversalement au fleuve. Le déversoir reste localisé sur le plateau de la rive droite.

La puissance nominale de la centrale est de 12 600 MW, divisée en 18 groupes équipés de turbines type Francis, de 715 MW, dont 9 générateurs 60 Hz de 737 MVA et 9 générateurs 50 Hz de 823,6 MVA.

Les unités de 60 Hz alimenteront le système brésilien de distribution en courant alternatif après transformation du 500 kV en 750 kV.

Les unités de 50 Hz alimenteront le système électrique paraguayen en 500 kV et 220 kV. Lorsqu'il y aura un excès de puissance en 50 Hz, celle-ci sera transférée au Brésil sous forme de courant continu 600 kV.

Il est prévu que cet aménagement opérera essentiellement comme usine de base, au fil de l'eau, avec le niveau d'eau au réservoir maintenu approximativement constant.

b) Réservoir

Au niveau d'eau maximum normal (côte 220 m), le réservoir aura une capacité brute de 29 milliards de mètres cubes et couvrira une surface de 1350 km².

c) Dérivation provisoire du fleuve

Pour la construction du barrage principal et de la centrale, le Parana a été détourné de son cours par un canal latéral creusé dans la rive gauche, ce canal a les dimensions suivantes : 2000 m de longueur, 150 m de largeur au fond, et 90 m de profondeur maximum. Pour réaliser ce canal il a été nécessaire d'extraire 22 500 000 m³ de roches et de terres, matériaux dont la plus grande partie a été réutilisée pour la construction du barrage. Pour la fermeture de la dérivation provisoire, un ouvrage spécial en béton a été construit avec 12 pertuis permettant un débit maximal de 35 000 m³/s sans déversement des batardeaux dans le lit du fleuve. La fermeture de la dérivation et la mise en eau du réservoir ont eu lieu en Octobre 1982.

d) Barrage principal

Le barrage principal, du type poids en béton, a 1 064 m de longueur et une hauteur maximale de 196 m au-dessus du point le plus bas de la fondation. Le volume de béton s'élève à 5 160 000 m³. Le barrage est établi sur du basalte sain.

e) Barrages latéraux

Sur la rive droite, le barrage principal est relié au déversoir par un barrage latéral de béton en contrefort d'une longueur de 986 m.

Sur la rive gauche il a été édifié un barrage d'enrochement, qui est relié d'une part, au barrage principal et à l'autre extrémité, à un barrage de terre. Ces massifs d'une longueur totale de 4278 m, sont crêtés à la côte 225 ; la hauteur maximale du barrage d'enrochement est de 70 m.

Au point où la hauteur de ce barrage latéral atteint approximativement 30 m, le massif passe du type "enrochement" au type "en terre".

f) Déversoir

Le déversoir est situé sur la rive droite. Les ouvrages de contrôle ont 390 m de largeur, avec la crête à la cote 200, et comprennent 14 vannes/secteur de 20 m x 21,34 m. Pour faciliter l'entretien, le déversoir est divisé en 3 parties, séparées par murs diviseurs. La capacité maximale de décharge du déversoir est de 62 200 m³/s avec le déversoir à la cote 223 m (niveau maximal de crue).

g) Prises d'eau

Les prises d'eau pour les 18 groupes, se situent à la partie supérieure du barrage principal et de la structure de dérivation. Les conduites forcées dont le diamètre interne est de 10,50 m, ont la partie intermédiaire

fixée au parement aval du barrage. Chaque conduite forcée a près de 142 m de longueur totale jusqu'à l'entrée de la bêche spirale.

h) Centrale

La centrale est prévue pour l'installation de 18 groupes, à intervalles de 34 m ; 15 de ces unités seront situées sur le chenal principal et les 3 autres sur le canal de dérivation.

Les dimensions totales de la centrale sont les suivantes :

- Longueur totale : 968 m
- Hauteur maximale : 112 m
- Largeur maximale : 99 m.

Chaque groupe comprend une turbine Francis, d'une puissance nominale de 715 MW entraînant un alternateur. Vitesse de rotation 90,9 à 92,3 t/min., pour un débit de 698 m³/s et une hauteur de chute de 112,9 m. Neuf des 18 alternateurs ont une puissance unitaire de 737 MVA sous 60 Hz et les neuf autres une puissance unitaire de 823,6 MVA sous 50 Hz.

Le programme de construction porte sur une période de 8 ans, de 1975 à 1983, pour le génie civil.

Entre l'installation du premier groupe, et celle du 18^e, 5 ans s'écouleront encore. La centrale doit être totalement achevée en 1988.

Les structures de l'usine d'Itaipu achevées, comprendront les volumes suivants de béton :

— Barrage principal	5 160 000 m ³
— Structure de dérivation	2 140 000 m ³
— Barrage latéral droit	770 000 m ³
— Déversoir	715 000 m ³
— Centrale	2 535 000 m ³
— Autres	500 000 m ³
Total	11 820 000 m³

Les valeurs maximales de production de béton jusqu'à ce jour (mars 1982) sont les suivantes :

— Par jour	14 986 m ³
— Par période de 30 jours	339 000 m ³
— Annuel	3 000 000 m ³

i) Capacité énergétique

La centrale hydroélectrique de Itaipu aura une chute brute de 120 m, produira en moyenne 8 000 MW (ou 70 TWh/an) d'énergie garantie et son exploitation se fera un fil de l'eau, sans baisse sensible du niveau du réservoir.

La capacité de production de la centrale, représente environ 27 % du potentiel total du bassin du Parana brésilien. De ce total de 8 000 MW, la moitié revient au Paraguay, mais sera utilisée par le Brésil pendant quelques années jusqu'au moment où le Paraguay en aura l'utilisation. La capacité énergétique de la centrale de Itaipu au moment de sa mise en service en 1983 représentera environ 50 % de la consommation électrique du Brésil et près de 70 % de la consommation électrique de la région du Sud-Est, mais sa capacité de production ne pourra satisfaire que pendant quelques

années à la croissance de la demande électrique de la région.

Conclusion

Cette brève présentation montre la grande importance du bassin du Parana pour le développement du système électrique brésilien.

Il représente environ 28 % du potentiel hydroélectrique total du pays et en 1990 près de 60 % de l'énergie électrique utilisée.

Son aménagement planifié et programmé comprend la construction d'un nombre considérable de grands ouvrages. Ce programme de projets hydroélectriques a contribué de façon décisive à satisfaire à la demande d'énergie électrique et a permis par sa séquence conti-

nuelle et planifiée des grands ouvrages, la consolidation de la technologie de génie civil, (construction, fabrication d'équipements et gérance dans le pays), concourant fortement au développement économique et institutionnel du pays.

On doit souligner l'importance pour le programme d'aménagement des ressources hydroélectriques, les études d'inventaire et de planification, faites de façon systématique dans les années 60, et qui continuent de façon permanente.

L'aménagement des ressources hydroélectriques brésiennes et en particulier celles du bassin du Parana peuvent être un exemple pour la conduite de programmes semblables, et servir de modèle à des pays dont les conditions et la situation économique sont identiques à celles au Brésil dans les années 1960.

Discussion

Président : M. LONDE

M. le Président. — Merci, M. AMARANTE, pour votre remarquable présentation. Je dois vous dire que nous sommes surpris que vous ayez cru utile de vous excuser en ce qui concerne votre français, car il est merveilleux.

La discussion est ouverte. M. AMARANTE est prêt à répondre à vos questions. Et, si vous le permettez, je commencerai par en poser une, qui m'est venue à l'esprit pendant l'exposé.

Avez-vous, dans l'optimisation du projet de vos aménagements, pris en compte d'autres objectifs que la production de l'énergie, tels que la maîtrise des crues ou d'autres effets secondaires ?

M. AMARANTE. — L'objectif principal qui détermina la décision et sa justification économique fut la production d'énergie électrique, l'optimisation de l'opération étant uniquement examinée sous cet angle.

De multiples fonctions complémentaires ont bien été considérées lors de la décision mais d'éventuels travaux d'aménagement pourront être envisagés ultérieurement.

Pour le bassin du Parana, il n'y a pas eu précisément d'études économiques sur l'opportunité, la faisabilité et la rentabilité des objectifs secondaires, la base du projet étant uniquement la production d'électricité.

M. le Président. — Je vous remercie de votre réponse. Qui demande la parole ?

M. AUBERT. — Monsieur le Président, la question des buts secondaires, que vous avez posée à notre excellent conférencier, m'intéresse particulièrement.

Il y a deux ans, j'ai eu l'occasion de rencontrer à Rio le Général Cavalcanti, co-Président de la Société d'Itaipu. Je l'ai interrogé sur ses projets relatifs au franchissement du barrage par les bateaux. Il m'a répondu que la construction des écluses, dont le projet a été dressé, correspondait à une grosse dépense et qu'il n'avait pas l'intention d'ouvrir prochainement les chantiers correspondants. Il attendra pour le faire l'époque où il disposera des ressources financières que lui procureront la vente du courant électrique.

Je reconnais que la question de la navigation sort un peu du programme de ces journées, mais j'aimerais pouvoir m'en entretenir directement avec M. AMARANTE, pendant son actuel séjour à Paris. Je ne veux donc pas retenir plus longtemps, dans

cette enceinte, l'attention d'auditeurs dont bien peu s'intéressent à la navigation.

(Protestation des représentants de la Cie nationale du Rhône).

M. COTILLON. — Je voudrais demander au Président AMARANTE si toutefois ma question n'est pas trop indiscrète, si le site d'Itaipu est un site bon marché ou, au contraire, un site cher, comparé aux sites d'amont qui viennent d'être équipés : Embarcação, Itumbiara et São Simão ? Comment le coût du kW installé se place-t-il par rapport à celui des aménagements d'amont mentionnés ci-dessus ?

M. AMARANTE. — Il n'y a pas de différence sensible entre ces différentes installations ; c'est du même ordre de grandeur : environ 1 000 dollars par kW installé. Pour les autres aménagements, le prix de revient de l'énergie devrait être de l'ordre de 25 cents le kWh.

M. BERTRAND. — Le projet d'Itaipu est commun au Brésil et au Paraguay. Le financement est entièrement assuré par le Brésil, le Paraguay remboursant par la vente de l'électricité à venir, dont de toutes façons il n'a pas besoin, car elle dépasserait largement sa consommation nationale.

Est-ce de la part du Brésil un geste de générosité, ou est-ce que le choix du site imposait ce projet commun, et les relations diplomatiques cet aménagement financier ?

M. AMARANTE. — En réalité, la chute d'Itaipu a été aménagée sur les 200 km de la partie internationale du cours du Parana, de sorte qu'il est normal que l'énergie produite sur cette partie du fleuve soit réellement partagée à raison de 50 % pour le Brésil et 50 % pour le Paraguay.

Il n'était pas possible pour le Brésil d'utiliser à lui seul toute l'énergie produite par cette usine ou il aurait fallu étudier un projet réduit n'en produisant que la moitié, mais c'eût été très difficile parce que les conditions du fleuve dans cette zone ne facilitent pas la construction de deux aménagements.

La décision de faire un projet commun a donc été quasiment une décision technique. Peut-être les intérêts diplomatiques sont-ils également venus jouer en faveur de cette programmation. En réalité, ce choix est la meilleure solution.

Il n'y a pas de générosité de la part du Brésil, l'énergie d'Itaipu étant très économique ; le Brésil finance l'ensemble du

projet parce que le site d'Itaipu est international et que la part paraguayenne sera remboursée en énergie.

M. MARINIER. — La zone du réservoir devait sans doute concerner des populations riveraines. Qu'advient-il de ces populations et combien de gens seront-ils inondés et déplacés ?

M. AMARANTE. — Il y en aura très peu. La surface inondable est très grande mais la population n'est pas considérable. Je n'ai pas le chiffre exact mais il en doit pas concerner plus de mille personnes.

Nous avons un autre projet au Nord-Est, la Palagino, où ce problème est beaucoup plus aigu. A Itaipu, le risque d'inondation éventuelle des villes et villages est relativement très faible.

M. CORDELLE. — Je voudrais poser deux questions à M. AMARANTE : la première concerne la navigation. La navigation existe sur le Parana à l'aval du confluent du Rio Iguaçu. J'ai cru voir aussi, sur les photos que vous nous avez montrées, que certains aménagements comportent des écluses. Y a-t-il de la navigation sur certaines parties du Parana et de ses principaux constituants ?

Deuxième question : le rapprochement de la capacité d'Itaipu (30 milliards de m^3 , soit $30 km^3$) et du débit du fleuve montrent que la retenue sera remplie en 1 mois environ ; quelles sont les mesures qui ont été prises pour "surveiller" la mise en eau du barrage alors qu'il est impossible d'interrompre cette mise en eau ?

M. AMARANTE. — La navigation fluviale n'est pas importante sur cette partie du Parana et elle ne justifie pas un abaissement important du plan d'eau pendant la construction du barrage. Les transports par voie d'eau, dans la région d'Itaipu, ont été remplacés par des transports par camions. Dans le projet global, la réalisation des écluses a été prévue et pourra être envisagée ultérieurement à n'importe quel moment.

Le remplissage va se faire entre 15 et 20 jours environ au mois d'octobre de cette année. Le Parana sera entièrement coupé et toute l'alimentation en aval du barrage sera assurée par l'évacuateur de crue d'Iguaçu qui a une capacité de l'ordre de $5 000 m^3/s$. Ce sera une opération très intéressante et très complexe pour la gestion simultanée des évacuateurs de crue des diverses usines qui continueront à produire de l'électricité. Le temps de remplissage étant très court, les lâches d'eau en aval seront faites pour maintenir le fleuve au niveau minimum qui a été accepté par l'Argentine pour cette opération.

M. COURIER. — Je voudrais poser une question sur les groupes d'Itaipu : est-ce que les 18 turbines d'Itaipu sont identiques pour les deux fréquences de 50 et 60 Hz ? (même dessin des roues) ?

M. AMARANTE. — Elles sont pratiquement les mêmes, mais elles ont été dessinées spécialement, les unes pour le 50 Hz et les autres pour le 60 Hz, la vitesse de rotation des turbines étant légèrement différente.

M. le Président. — J'ai cru comprendre que, dans l'avenir, vous passeriez de 50 à 60 Hz pour la fourniture au Brésil.

M. AMARANTE. — Les alternateurs fourniront toujours du 50 Hz pour les besoins du Brésil. Une ligne de transport en courant continu permettra la transformation du 60 Hz en 50 Hz.

M. ROBERT. — Ma question porte sur la capacité des évacuateurs de crue. La valeur de $62 000 m^3/s$ indiquée est impressionnante. La fixation de cette valeur, même lorsqu'on dispose d'une vaste information hydrologique est un problème difficile et essentiel pour la sécurité. Comment ce problème a-t-il été traité pour Itaipu ?

M. AMARANTE. — Itaipu se situe à l'aval d'un très grand bassin qui est entièrement au Brésil. Lors des études de débit, on a construit un modèle réduit du Parana avec ses affluents et l'évaluation de la crue maximale a été faite par simulation des précipitations atmosphériques sur le bassin versant et les cours d'eau, compte-tenu de l'influence des réservoirs et de l'accélération de la crue du fait de la surface plane du réservoir. La crue maximale atteinte dans ce modèle était de l'ordre de 70 à $72 000 m^3/s$, mais il y avait un amortissement à l'étagé du déversoir qui limitait à $68 000 m^3/s$ le débit sur le modèle. On peut supposer ce maximum de précipitations de crue comme possible. Vous êtes peut-être impressionné par les $62 000 m^3/s$, mais je peux vous indiquer qu'en Amazonie, à Tucuruí, un évacuateur de crue aura une capacité de $104 000 m^3/s$. C'est beaucoup.

M. le Président. — Il faut peut-être ajouter qu'il y a un facteur favorable de la prévisibilité de la crue ; dans un tel bassin, on doit pouvoir, dans une certaine mesure, ouvrir les organes d'évacuation et améliorer l'effet d'amortissement.

M. AMARANTE. — En ce qui concerne la pluviométrie, nous disposons d'une centaine d'années d'observations sur le bassin versant.

M. le Président. — Nous allons arrêter les débats sur cette première communication, en remerciant M. AMARANTE à la fois pour la façon brillante avec laquelle il a présenté son rapport et pour la façon dont il a pu répondre à toutes nos questions.

Nous interrompons la séance pour vingt minutes.

La séance est interrompue de 10 h 20 à 10 h 40).

M. le Président. — Nous reprenons nos travaux avec le deuxième exposé de la séance de ce matin, qui sera présenté par M. MARINIER.

M. MARINIER est Vice-Président, pour l'ingénierie et le Développement, à la Société d'Energie de la Baie James. Je voudrais rappeler que M. MARINIER a été stagiaire en France au titre de l'ASTEF en 1959 et qu'il a eu à l'époque des contacts avec l'EDF et avec SOGREAH. Il a eu une carrière d'ingénieur de bureau d'études, notamment avec la grande Société SNC de Montréal. Il a participé au projet de Manicouagan et à bien d'autres. Actuellement, M. Gilles MARINIER est Vice-Président du Comité National Canadien des Grands Barrages et il aura une fonction importante à remplir à Rio de Janeiro au Congrès International de Mai 1983 étant Rapporteur Général de la Question 52 qui traite des problèmes de sécurité des barrages en exploitation.

Je donne la parole à M. MARINIER, qui va vous parler des aménagements de la Baie James.

Je voudrais ajouter une précision sur le programme. L'exposé de M. MARINIER sera suivi d'un premier film, puis la discussion sera ouverte, et ensuite, un deuxième film sera présenté.

M. MARINIER. — Merci, Monsieur le Président.

Mesdames, Messieurs, c'est avec un vif plaisir que j'ai accepté l'invitation de la Société Hydrotechnique de France pour venir vous exposer les grandes lignes de l'équipement hydroélectrique de la Baie James. Plusieurs d'entre vous connaissent certainement déjà l'Hydro-Québec ; quant à la Société d'Energie de la Baie James, elle a été créée en 1971 afin de prendre en charge l'aménagement hydroélectrique des rivières de ce territoire. En 1978, la Société d'Energie de la Baie James est devenue une filiale à part entière d'Hydro-Québec et elle fonctionne depuis sous mandat pour la réalisation des études d'ingénierie, la programmation et la gérance des aménagements de la Baie James.