

Le Pérou : ses ressources hydroélectriques

The hydro-electric resources of Peru

PAR M. MARY

CONTRÔLEUR GÉNÉRAL DE L'ÉQUIPEMENT A ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

Le Pérou comporte trois zones principales : la bande côtière, de 100 km de largeur, entre l'Océan Pacifique et la chaîne des Andes, est un désert parsemé d'oasis correspondant à des zones irriguées; les pluies y sont nulles jusqu'à une altitude très élevée; les hauts plateaux andins, dans le sud-est du pays, sont abondamment arrosés en été; la plaine boisée de l'Amazone a un faciès tropical et son altitude est très faible.

Les aménagements hydroélectriques, aussi bien sur le versant est que sur le versant ouest de la Cordillère, sont généralement caractérisés par un équipement à un débit voisin du débit d'étiage, car les emplacements de barrages-réservoirs sont rares et les apports solides considérables. De plus, tous les cours d'eau ont leurs hautes eaux à la même période de l'année, ce qui exclut toute idée de compensation par interconnexion.

Cependant, du fait des dénivellations importantes, et des débits minima élevés des cours d'eau qui forment l'Amazone, les ressources hydroélectriques très économiquement exploitables sont largement suffisantes pour plusieurs décennies.

Plusieurs sites sont d'une qualité exceptionnelle : Machu-Picchu, près du Cuzco, donnera 100 000 kW à l'étiage, à l'aide d'une galerie de 2 km coupant une boucle du Vilcanota. Sur le Mantaro, une boucle de 150 km peut être coupée par une galerie de 15 km, qui donne 1 000 mètres de chute et près de un million de kW à l'étiage. Plus tard, sur le Marañon, on pourra obtenir une puissance permanente de trois millions de kW à l'aide d'un barrage de 60 mètres de hauteur dans une gorge assez étroite.

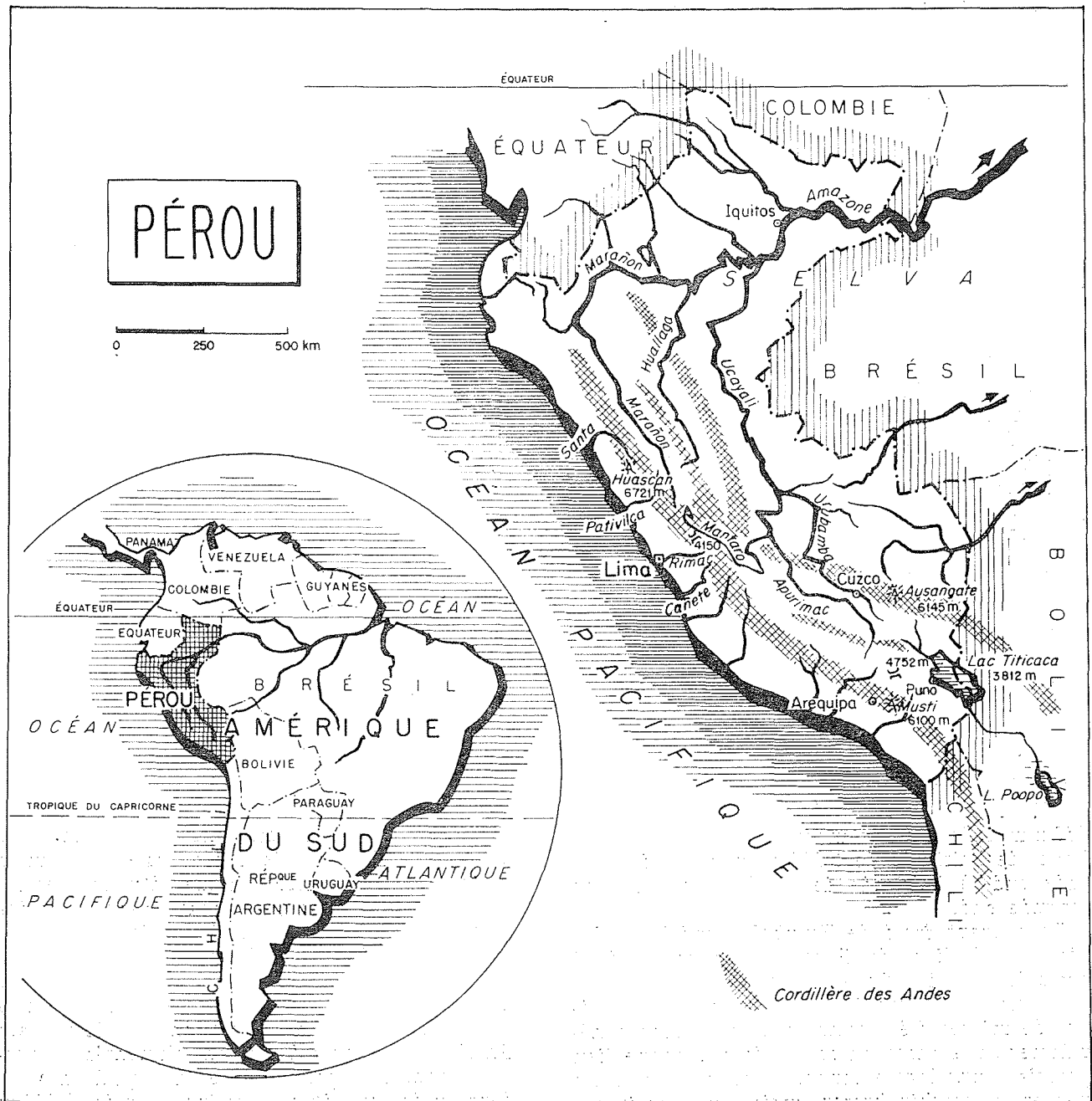
En 1956, le Gouvernement du Pérou a demandé à l'Electricité de France de l'aider à dresser un plan général d'électrification de vingt ans. Cette mission m'a été confiée et j'ai eu sous ma direction, à Lima, trois ingénieurs : MM. Jeanpierre, Vormeringer et Maurice Martin, qui ont résidé dans le pays pendant quatorze mois. J'y ai fait

Peru can be divided into three main regions: the 100 km long coastal strip between the Pacific Ocean and the Andes is a desert spotted with oases which denote the irrigated areas; rain here is non-existent except at very high altitudes; the high Andean plateaus in the south-east have abundant rainfall in summer; the wooded plain of the Amazon is low lying and has a tropical facies.

Hydro-electric developments, both on the eastern and the western slopes of the Cordillera, are generally designed to operate at nearly low water discharges, since dam sites are few and sediment discharge is high. Furthermore, high water occurs on all rivers at the same time of the year and this excludes any possibility of interconnecting schemes to regularise operation.

However, because of the great changes in level and the high minimum discharges of the rivers which form the Amazon, hydro-electric resources can be exploited very economically and will be quite sufficient for several decades. Several sites are very good: Machu-Picchu, near Cuzco, will have an output of 100,000 kW at low water conditions. To obtain this, a 2 km long tunnel will be used to cut off a bend in the Vilcanota. A 15 km long tunnel can be used to cut off a 150 km long bend on the Mantaro, thus providing a 1,000 metre head and an output of nearly one million kW during low water conditions. Later, a 60 metre high dam will be built in a rather narrow gorge on the Marañon to provide a constant output of three million kW.

moi-même quatre séjours de trois à quatre semaines, le dernier, en février 1958, ayant eu pour but de remettre notre rapport aux autorités péruviennes. Le rôle de l'E.D.F. n'est d'ailleurs pas terminé, car la Direction des Industries et de l'Electricité nous a demandé de continuer à lui donner des conseils pour l'exécution du Plan,



Nous avons actuellement un ingénieur, M. Chastagnol, en résidence à Lima, pour une durée indéterminée.

La Société Hydrotechnique de France m'a demandé à cette occasion de faire un exposé sur la situation de l'énergie hydroélectrique dans ce pays et sur les ressources hydrauliques qui peuvent y être exploitées.

Je voudrais commencer par vous donner un bref aperçu de la configuration physique du pays.

Le Pérou a une superficie de 1 300 000 km²,

deux fois et demie celle de la France, et il peut se partager en plusieurs zones très nettement différenciées.

La Cordillière des Andes, sensiblement parallèle à la côte, à une centaine de km de celle-ci, forme une ligne de crêtes à peu près continue, avec des sommets de plus de 6 000 m et des cols à 4 000 ou 5 000 m. Cette ligne de crêtes n'est d'ailleurs pas unique, comme entre l'Argentine et le Chili, où la pente est abrupte des deux côtés. Dans la moitié sud du Pérou, elle est accompagnée du côté est par plusieurs autres lignes pa-

rallèles, de hauteur un peu moindre, séparées par les hauts plateaux andins, dont l'altitude est voisine de 4 000 m aux confins de la Bolivie et du lac Titicaca et s'abaisse progressivement vers le nord jusqu'à la plaine de l'Amazonie.

Un peu plus au nord, la « Cordillère Blanche », ainsi dénommée en raison des neiges éternelles qui couvrent ses sommets, est doublée à l'ouest par la « Cordillère Noire », qui est boisée.

Les diverses zones qui résultent de cette configuration sont donc :

- La bande côtière, d'une surface de 150 000 km² et qui, sur une centaine de km, s'élève du niveau de la mer à des cotes dépassant 6 000 m;
- Les hauts plateaux, à l'est de la Cordillère, dans le sud-est du pays, et dont l'altitude descend, du sud au nord, d'abord lentement, puis plus rapidement jusqu'à la plaine de l'Amazonie;
- La plaine de l'Amazonie, au nord-est, très boisée, d'où son nom de « Selva », qui couvre 750 000 km² et dont l'altitude est très basse. A Iquitos, qui est encore à 3 000 km de l'Atlantique, la cote du fleuve est à peine de 110 m au-dessus du niveau de la mer.

Ces différentes zones ont des climats très divers : sur la côte, il ne tombe pratiquement pas de pluie, quelques millimètres à peine. Les condensations ne commencent qu'en altitude, et d'autant plus haut qu'on se déplace vers le sud. La ligne correspondant à une précipitation de 250 mm s'élève d'une manière à peu près rectiligne, de l'altitude de 1 000 m, pour 7° de latitude sud, à l'altitude de 3 600 m pour 18° de latitude sud.

Le courant froid de Humboldt, qui longe les côtes du Chili et du Pérou, provoque, pendant six à huit mois d'hiver, de mai à décembre, la formation d'un brouillard de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, qui ne descend généralement pas jusqu'au sol, mais qui donne lieu parfois à une légère condensation pouvant faire penser au crachin breton, mais avec une intensité bien moindre. A Lima, qui est au bord de la mer, la température est de l'ordre de 15° pendant toute cette période. En été, le ciel est dégagé, mais la température ne monte guère au-dessus de 28° à 30° avec une forte humidité.

A une cinquantaine de kilomètres de la côte, on se trouve à 1 000 m d'altitude, sous un soleil éternel, et sans pluie, au-dessus de la couche de brouillard.

Le climat des hauts-plateaux est très différent; les pluies sont très abondantes en été et très faibles en hiver. Elles alimentent, avec un régime à deux saisons, toutes les rivières qui forment l'Amazonie.

La plaine de l'Amazonie a un climat tropical très humide.

Du fait du climat, chacune des zones présente un faciès très particulier :

La bande côtière est un désert coupé par quelques zones de verdure créées par des irrigations autour d'une demi-douzaine de rivières permanentes. Lima, située à l'embouchure du Rimac, est dans une de ces zones. Arequipa, la « capitale du Sud », est, à 2 500 m d'altitude, au centre d'une oasis irriguée par le rio Chili et dominée par l'ancien volcan Misti, cône parfait de 3 500 m de haut au-dessus du plateau; tout autour, le désert absolu règne sur de grandes distances dans toutes les directions.

Les hauts-plateaux sont, au contraire, assez verdoyants. Alors qu'à Lima il est tombé, sur une moyenne de vingt ans, 18 mm d'eau, Puno, sur le lac Titicaca, à l'altitude de 3 850 m, et le Cuzco, à l'altitude de 3 300 m, en reçoivent en moyenne près de 600 mm, dont les deux tiers ou les trois quarts tombent de décembre à mars. Ce chiffre est d'ailleurs variable d'une année à l'autre et il peut tomber de près de moitié en année très sèche, entraînant de graves pénuries de produits agricoles.

Quant à la plaine de l'Amazonie, très boisée et très humide, elle a le faciès classique des pays tropicaux.

Les débits des rivières ont une caractéristique commune, qu'elles soient sur le versant Pacifique ou sur le versant Atlantique : l'étiage a lieu de juillet à septembre, les hautes eaux, de janvier à mars.

Sur les deux versants, elles sont alimentées en été, un peu par la fonte des neiges, mais surtout par les pluies. Certaines d'entre elles reçoivent aussi de l'eau, provenant de la fonte des glaciers, mais ceux-ci sont de faible importance, sauf dans la Cordillère Blanche; on perçoit nettement, sur le Santa par exemple, les fluctuations de débits au cours de la journée, du fait de la variation horaire de l'insolation. Sur le versant Pacifique, les cours d'eau sont alimentés uniquement dans leur partie haute; dès qu'ils descendent au-dessous d'une certaine altitude, 2 000 m par exemple dans la zone centrale, ils ne reçoivent plus d'eau, et le débit décroît de l'amont à l'aval du fait des irrigations et de l'évaporation.

Le rapport entre le débit moyen du mois de février et le débit moyen du mois d'août se situe à des valeurs comprises entre 5 et 10, en ne retenant pour les cours d'eau côtiers que ceux qui ont un régime permanent, soit une demi-douzaine, et en laissant de côté de très nombreux oueds qui sont complètement à sec pendant une très longue période de l'année.

Le rapport entre la plus grosse crue connue et l'étiage se situe à des valeurs comprises entre 60 et 120 pour les cours d'eau côtiers et à des

valeurs bien moindres, 10 à 20, pour les cours d'eau du versant Atlantique.

Ces chiffres ne doivent d'ailleurs être acceptés qu'avec de sérieuses réserves, notre seule intention étant de brosser un tableau très approximatif des données devant lesquelles se trouve placé le constructeur d'aménagements hydroélectriques. Il convient d'ailleurs d'ajouter qu'ils ne donnent pas une image suffisante des variations d'un jour à l'autre, qui sont très fortes, les précipitations se présentant sous forme d'averses violentes suivies d'accalmies et les eaux s'écoulant sur des sols imperméables et décapés.

On peut dire en résumé que, si les débits sont irréguliers, étant fortement influencés par un régime pluvial caractérisé par de grosses averses, ils n'apparaissent pas dans l'ensemble beaucoup plus irréguliers que ceux de nos contrées.

Dans un grand nombre de cas, les rivières à équiper ont un module relativement modeste, et la puissance est surtout donnée par la dénivellation; on pourrait donc penser *a priori* que la création de barrages-réservoirs de capacité raisonnable serait de nature à permettre une excellente utilisation des eaux.

Il n'en est malheureusement pas ainsi en général, et cela pour deux raisons: la première est que, dans la partie haute de leurs cours, les rivières ont des pentes très fortes et coulent dans des vallées d'érosion très étroites, où on ne trouverait que des capacités minimales. La deuxième, plus importante encore, est que le ravinement est énorme et que les réservoirs seraient complètement engravés peu de temps après leur mise en service.

Plus encore, il existe en montagne de très nombreux petits lacs naturels formés par des éboulis récents et peu stables; uneaverse violente fait déborder la digue et la détruit, provoquant de véritables catastrophes. De tels sinistres sont monnaie courante. En 1950, le chantier du Cañon del Pato, sur le Santa, a été submergé par une masse énorme d'eau et de cailloux par la destruction d'une de ces digues de haute montagne, à près de 5 000 m d'altitude, provoquée par l'effondrement d'énormes pans de glace dans le petit lac naturel qu'elle barrait. Les dégâts furent très importants. Le barrage de prise fut recouvert de 20 m d'alluvions et, au droit de l'usine, un pont suspendu portant les transformateurs, à 30 m au-dessus du lit du cañon, fut emporté par les eaux; le découragement des exécutants provoqua une longue interruption des travaux, qui furent repris plus tard avec le concours d'un Conseil français, la SOGEL. Déjà, en 1941, une catastrophe semblable avait détruit en grande partie la capitale du département, Huaraz.

Ces lacs naturels ne sont donc pas utilisables,

et on cherche même souvent à les détruire pour éviter les catastrophes.

Il y a cependant des exceptions. On trouve, même sur le versant Pacifique, quelques lacs tranquilles ou quelques vallées plates susceptibles d'être barrées. C'est ainsi que l'étiage du Rimac, la rivière de Lima, a pu être porté de 8,7 m³/s à 12,7 m³/s par l'utilisation de lacs existants. Le barrage du Fraile, qui vient d'être construit à 4 000 m d'altitude, dans la partie haute du bassin du rio Chili, la rivière d'Arequipa, permettra de porter l'étiage de 3 m³/s à 8 m³/s. Enfin, le Santa, qui coule du sud au nord entre la Cordillère Blanche et la Cordillère Noire, avant de descendre vers l'océan au travers de profonds cañons, peut être barré, dans cette zone plate, par le barrage de Recreta, qui accumulerait 320 millions de m³ d'eau à la cote 4 000.

Mais à ces correctifs près, on constate qu'on est le plus souvent réduit à équiper les usines au débit d'étiage, en perdant beaucoup d'eau en été. Une interconnexion ne servirait à rien, puisque tous les cours d'eau ont pratiquement le même régime; d'ailleurs, les centres de consommation sont très éloignés les uns des autres et chaque région doit faire face, pour un certain nombre d'années tout au moins, à ses propres besoins.

L'aspect des aménagements hydroélectriques se présente donc de la manière suivante: un petit barrage de prise, muni de dispositifs de dégravement et de dessablage, une galerie souterraine à écoulement libre ou en charge, des conduites forcées précédées d'une chambre d'eau ou d'une cheminée d'équilibre. Tous ces ouvrages se font aussi effacés que possible pour se tenir à l'abri des crues et des alluvionnements.

L'équipement est en général un peu supérieur au débit d'étiage, car on passe les heures de pointe de la période sèche, soit en utilisant la capacité des galeries et chambres d'eau, soit en utilisant un petit secours thermique.

Il semble que l'on pourrait aussi, dans un certain nombre de cas, créer des réservoirs journaliers, dont le barrage serait largement ouvert en période de hautes eaux pour laisser passer le débit solide, et qui seraient utilisés uniquement en période d'étiage, lorsque le charriage est faible.

Sur le flanc est de la ligne des crêtes, à la naissance des hauts-plateaux, il semble bien qu'il serait possible de trouver des emplacements de barrages d'accumulation. C'est une idée qui hante les esprits depuis de nombreuses années, car le transport de l'eau du bassin Atlantique au bassin Pacifique apporterait au Pérou une amélioration considérable, surtout du point de vue de la production agricole, en permettant d'irriguer de nouvelles zones gagnées sur le

désert. Du point de vue de la production de l'électricité, il y a une balance à faire entre deux solutions en présence : transporter l'eau d'un versant à l'autre, ou bien produire de l'énergie à l'est pour en transporter une partie à l'ouest, par des lignes qui ne présentent pas de difficultés graves.

Dans cette optique, un projet facile sera réalisé. Il consiste à augmenter de 4,6 m³/s le débit du Rimac par l'utilisation des étangs de Marcapomacocha. La traversée de la Cordillère est ici très courte; elle n'exige en effet que 12 km de canal à ciel ouvert et 10 km de souterrains. Un barrage de 25 m de hauteur porterait la capacité des lacs à 150 millions de m³. L'intérêt de ce projet apparaît immédiatement si l'on songe que les usines actuelles du Rimac utilisent plus de 1 000 m de hauteur de chute et que la prochaine étape de travaux comporte l'utilisation en une seule chute, Huinco, d'une dénivellation supplémentaire de 1 200 m.

Les autres projets connus de transfert d'eau d'un versant à l'autre sont beaucoup plus coûteux, car ils exigent des galeries de 50 à 60 km. Peut-être pourrait-on réduire la longueur de ces tunnels en les calant plus haut et en pompant. Peut-être aussi d'autres possibilités existent-elles, car la topographie n'est pas parfaitement connue partout.

Quoi qu'il en soit, nous n'avons pas eu besoin d'approfondir ces problèmes, car dans l'optique actuelle de l'équipement à des valeurs voisines de l'étiage, nous avons en mains un nombre suffisant de projets, vraiment remarquables et économiques, pour satisfaire les besoins du plan de vingt ans, sans nuire à l'équipement éventuel futur de débits supérieurs.

Mais avant de les énumérer, il est utile de connaître les grandes lignes de la situation démographique et des besoins en énergie électrique des diverses zones.

La population du Pérou s'élève à 9 600 000 habitants, dont près de 7 millions d'Indiens, qui vivent, pour la plupart, en montagne; il y en a cependant un nombre appréciable sur la côte, en ville ou dans les exploitations agricoles.

La ville de Lima rassemble à elle seule près d'un million de personnes; la deuxième ville, Arequipa, en compte 150 000.

Les activités économiques sont :

- *L'agriculture*, qui occupe 60 % de la population et donne un tiers du revenu national (coton, canne à sucre, riz, pommes de terre, maïs, laine);
- *Les mines métalliques*, qui donnent 9 % du revenu national (plomb, zinc, argent sur les hauts plateaux; cuivre dans le sud, au voisinage du Chili);

— *L'industrie* très peu développée, qui donne 11 % du revenu national. Une usine métallurgique, construite avec le concours de la France, vient d'être inaugurée à Chimbote, près de l'embouchure du Santa. Elle produira, par voie électrique, 50 000 tonnes de produits métallurgiques par an pour commencer, avec extensions prévues à 300 000 tonnes.

Le Pérou suffit à ses besoins propres en produits pétroliers. Il y a de gros gisements de charbon, mais ils sont très peu exploités.

Les principaux consommateurs d'électricité se trouvent sur la côte, avec une grosse concentration à Lima, et dans la zone des mines métalliques, à l'est de Lima, sur le versant Atlantique. La puissance totale installée était, en 1956, de 430 000 kW, dont 386 000 pouvaient être considérés comme disponibles à tout moment. La consommation a été d'environ 1 900 millions de kWh. La région de Lima, avec 180 000 kW de puissance garantie, représentait à elle seule 47 % du total; la zone minière centrale 24 % avec 93 000 kW. Arequipa, avec 150 000 habitants, demandait seulement 7 000 kW et au Cuzco le réseau public distribuait seulement 3 500 kW avec, il est vrai, des restrictions. Le reste est réparti en une poussière de petits consommateurs.

L'examen approfondi des perspectives de développement de chacune des zones nous a conduit à prévoir la mise à disposition de puissances progressivement croissantes et arrivant au total, en 1975, à près de 2 millions de kW de puissance garantie. Sur ce total, l'hydraulique représente 85 %, le thermique à vapeur 11 %, les Diesel 4 %.

Le réseau restera donc alimenté dans vingt ans, pour une part très nettement prépondérante, par de l'énergie hydraulique, comme il l'est d'ailleurs maintenant.

Et ceci provient de ce que, malgré certaines circonstances défavorables, que nous avons décrites au début de cet exposé, il existe un nombre important de sites remarquables, où le montant des investissements nécessaires est du même ordre de grandeur que celui de la thermique équivalente et quelquefois moindre.

L'équipement du Rimac, qui alimente Lima par une chaîne d'usines, sera complété par l'usine de Huinco, réalisée en deux étapes, la deuxième bénéficiant de la garantie donnée par l'adduction du lac Marcapomacocha. Avec une hauteur de chute de 1 200 m, elle aura une puissance de 240 000 kW.

L'usine du Cañon del Pato, sur le rio Santa, où l'on a mis en service cette année deux groupes de 25 000 kW, pourra en recevoir quatre autres identiques, les deux derniers nécessitant la construction du barrage réservoir de Recreata.

Cette usine alimente le centre métallurgique de Chimbote.

Sur deux cours d'eau, le Pativilca et le Cañete, situés à 200 km au nord et au sud de Lima, sont prévues deux usines du même genre de 50 000 et 90 000 kW.

Mais le Plan prévoit l'équipement de deux sites particulièrement remarquables : Machu-Picchu, à 100 km au nord du Cuzco, et la boucle du Mantaro, à 200 km au sud de la Région Minière Centrale et à 300 km de Lima.

A Machu-Picchu, la rivière Vilcanota décrit au fond de gorges profondes une boucle d'une quinzaine de kilomètres de longueur développée, qu'on peut couper avec un tunnel de 2 km. On trouve 350 m de chute et 100 000 kW à l'étiage. Les travaux vont probablement commencer bientôt, en vue du développement agricole et industriel de cette région très peu développée, malgré un riche potentiel naturel et humain. L'usine sera réalisée par étapes, car il suffit de rapprocher le chiffre de 100 000 kW de celui de 3 500 qui est la consommation actuelle pour voir qu'il faudra des années avant de pouvoir absorber une telle puissance. Mais les ouvrages de génie civil, et notamment la galerie, sont assez peu coûteux pour qu'on puisse les préparer d'avance et se contenter ultérieurement d'ajouter des conduites forcées et des groupes.

Le Mantaro fait une boucle de 150 km qu'on peut couper par une galerie de 15 km; on trouve 1 000 m de chute et 1 million de kW à l'étiage. Là aussi, la réalisation est prévue en quatre étapes de 250 000 kW. Comme on pouvait s'y attendre, le prix de revient très bas de l'énergie tente les producteurs d'aluminium.

La prospection des sites favorables à des aménagements hydroélectriques est bien loin d'être achevée. S'il est assez difficile de trouver des emplacements intéressants sur les cours d'eau côtiers, il n'en est pas de même sur le bassin des affluents de l'Amazone qui, après avoir coulé du sud au nord entre les lignes de crêtes parallèles, finissent par traverser ces lignes vers l'est dans des gorges à forte pente. Mais on s'éloigne alors un peu de centres à forte consommation.

L'un des plus remarquables de ces sites actuellement connus se trouve sur le Marañon; un barrage modeste, relevant le niveau de 60 m, créerait un très grand lac de régularisation, assurant un débit constant de 6 800 m³/s, soit une puissance de plus de 3 millions de kW, à 360 km de la côte. Cet ouvrage n'est pas à l'échelle actuelle des besoins du pays; il est très excentré par rapport aux lieux de consommation; mais il ne paraît pas douteux qu'il ne soit un jour réalisé.

Il reste enfin à dire un mot du lac Titicaca, qui a fait couler beaucoup d'encre. Le principe de l'aménagement consiste à donner un exu-

toire artificiel, vers le Pacifique, à l'immense bassin fermé de 900 km de longueur qu'on appelle Plateau du Titicaca. Cet exutoire permettrait de turbiner les eaux ainsi dérivées sous 3 800 m de chute brute et d'irriguer des surfaces désertiques.

Les eaux du lac Titicaca s'écoulent par un « desaguadero » au lac Poopo et le bilan hydrologique de l'ensemble donne un résultat équilibré, l'évaporation compensant les apports. Mais le bilan est excédentaire sur le lac Titicaca et déficitaire sur le lac Poopo.

Deux solutions ont été envisagées : la première consiste à abaisser le niveau du lac Titicaca pour réduire sa surface, récupérer une partie de l'eau actuellement évaporée, et diriger cette eau sur le versant Pacifique, mais cette solution est peu praticable, car la région est très peuplée, et le lac est parcouru par une navigation internationale, entre la Bolivie et le Pérou. Les conséquences de toutes natures, sur le plan économique, politique et humain sont difficiles à mesurer. L'autre solution consiste à abandonner à l'évaporation le lac Poopo et à diriger vers le Pacifique un débit égal à celui du « desaguadero ».

Malheureusement, aucune étude sérieuse n'a encore été faite pour mesurer ce débit; on a avancé le chiffre de 100 m³/s qui paraît bien optimiste. En admettant ce chiffre, on pourrait créer un potentiel de 2 400 000 kW et la possibilité d'irriguer 200 000 hectares. Mais il faut creuser une galerie de 66 km (pouvant d'ailleurs être raccourcie, si on commençait par un pompage).

Ce projet est actuellement encore dans le domaine des rêves; peut-être nos successeurs en verront-ils la réalisation.

En résumé, on voit que les oasis de la bande côtière, où sont concentrées jusqu'à ce jour les formes modernes de la vie et de l'économie, sont sur le point d'épuiser les ressources hydrauliques, qui leur fournissent la meilleure part de leur énergie électrique. Malgré la nécessité de se défendre contre des débits solides considérables, les réalisations y ont été assez économiques, grâce à la forte déclivité des cours d'eau.

Mais dans les années qui viennent, il faudra surtout penser à utiliser les ressources considérables des cours d'eau, qui forment les branches amont de l'Amazone. L'énergie y sera produite à très bas prix, ce qui devrait reculer assez loin le jour où il faudra penser au jouet atomique, bien que certains esprits soient déjà la proie de ce microbe.

Les distances à la côte ne sont pas rédhibitoires, et le franchissement des cols des Andes ne pose aucun problème grave. Le transport de l'énergie, qui n'est pas possible pour des pe-

lites puissances, deviendra aisé pour les puissances qui seront nécessaires dans quelques décennies, car, au Pérou comme ailleurs, les accroissements de consommation ont une allure exponentielle.

De plus, il faut souhaiter que des consommateurs de plus en plus nombreux naissent parmi les populations affreusement pauvres de la montagne, qu'il ne serait pas concevable de maintenir plus longtemps dans la situation déshéritée où elles se trouvent actuellement.

Enfin, le transport de l'eau à travers la Cordillère fait partie des préoccupations des dirigeants péruviens, car la transformation pro-

gressive du désert en terres cultivées est une nécessité pour tous ceux dont la constitution physique ne permet pas de vivre à l'aise à 3 500 ou 4 000 m d'altitude.

COMMENTAIRES

Président : M. GAILLEZ

M. le Président remercie M. MARY de sa conférence particulièrement documentée, qui nous a fait pénétrer dans un pays lointain en nous en montrant les aspects à la fois techniques et touristiques.

Aucune question n'est posée sur cette communication qui est très vivement applaudie.

NOTRE FRONTISPICE

CONDORCET (1743-1794).

Pendant le règne de la Terreur, les révolutionnaires épargnèrent certains parmi les savants dont le génie est aujourd'hui universellement reconnu, mais ce ne fut malheureusement pas le cas de Condorcet.

Marie-Jean-Antoine-Nicolas Caritat, marquis de Condorcet, était né à Ribémont, près de Saint-Quentin en Picardie, le 17 septembre 1743. Instruit d'abord à Reims par les Jésuites, puis élève du Collège de Navarre, il soutenait à seize ans une thèse de mathématiques extrêmement ardue qui attira sur lui l'attention du jury (comprenant d'Alembert, Clairaut et Fontaine).

En 1765, son *Essai sur le calcul intégral*, puis son *Analyse de la solution du problème des trois corps*, firent qu'à 26 ans il était élu à l'Académie Royale des Sciences dont, quatre ans après, il devenait le Secrétaire perpétuel. En 1792, il entra à l'Académie Française; les Académies de St Pétersbourg, de Turin, de Padoue, de Philadelphie, l'Institut de Bologne l'admirent aussi parmi leurs membres.

L'extraordinaire flexibilité de son talent lui fit aborder un grand nombre de sujets divers. Parmi ceux qui intéressent le Mathématicien et l'Hydraulicien, citons son application des séries à la résolution de toutes les espèces d'équations différentielles, l'intégration des équations aux différences mêlées, que personne n'avait considérées avant lui, l'application de l'analyse au calcul de certaines probabilités, l'établissement — en collaboration avec d'Alembert et Bossut —, des formules de la résistance des fluides sur des corps remorqués, etc.

Vint l'époque où la politique allait prendre le pas sur la Science. Député de Paris à l'Assemblée Législative, Condorcet en fut le secrétaire, puis le président en 1792. Le département de l'Aisne l'envoya siéger à la Convention Nationale; là, son Introduction au projet de Constitution, conçue selon ses idées modérées, lui attira les foudres de ses adversaires politiques et le fit décréter d'accusation et mettre hors la loi. Après s'être caché pendant huit mois, au cours desquels, sans l'aide d'aucun document, il écrivit une *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain*, il fut arrêté le 29 mars 1794, mais la nuit suivante, il s'empoisonna dans sa prison.

Ainsi disparut, trop tôt pour la Science, ce brillant esprit, ce caractère attachant et loyal, dont d'Alembert avait dit un jour:

« C'est un volcan couvert de neige ».

CONDORCET (1743-1794).

During the Terror, the revolutionaries spared some of the scientists whose genius is now universally recognised, but unfortunately Condorcet was not among those who survived.

Marie Jean Antoine Nicolas Caritat, Marquis de Condorcet, was born at Ribémont, near St. Quentin in Picardy on September 17th 1743. He received his early education at Rheims from the Jesuits and was later a pupil at the College of Navarre where he prepared an extremely difficult mathematical thesis which brought him to the attention of the jury which included such great names as d'Alembert, Clairaut and Fontaine.

In 1765, when he was 26 years old, he was elected to the Royal Academy of Sciences because of his Essay on the Integral Calculus and his Analysis of the Solution of the Three Body Problem. Four years later he became Permanent Secretary of the Academy. In 1782 he became a member of the Académie Française. He was also a member of the Academies of St. Petersburg, Turin, Padua, Philadelphia, and of the Institute of Bologna.

The wide range of his talents made him take up a great many different subjects. The part of his work which is of interest to mathematicians and hydraulic engineers, includes the use of series to solve all types of differential equations, the integration of mixed difference equations, which had never been tackled previously, the application of analysis to the computation of certain probabilities and, in collaboration with d'Alembert and Bossut, the derivation of formulae expressing the resistance of fluids to the motion of towed bodies.

Then came the time when politics drove science into the background. Condorcet was already deputy for Paris when he became the Secretary of the Legislative Assembly, and then its President in 1792.

The Department of Aisne sent him to the Convention Nationale, where he presented a draft constitution which, because of its moderation, drew down upon him the wrath of his political opponents and caused him to be impeached and declared an outlaw. After eight months in hiding, during which, without having access to any documents, he wrote A Sketch for a Historical Picture of the Progress of the Human Mind, he was arrested on March 29th 1794 and poisoned himself the following night in prison.

This died a brilliant and loyal character of whom d'Alembert once said, "He is a snow-covered volcano".