

# Les centrales du complexe de la Baie James

Autor(en): **Henry, Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **106 (1980)**

Heft 14

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73963>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Les centrales du complexe de la Baie James

par Pierre Henry, Lausanne

Les appréciables ressources en énergie hydraulique dont la nature a doté la Suisse sont à l'origine de l'importance accordée, de tout temps, dans ce pays aux réalisations tendant à capter cette énergie.

Tous les éléments d'un aménagement hydroélectrique, barrages ou turbines par exemple, sont en Suisse l'objet de réalisations, d'études et de recherche qui ont permis aux spécialistes d'acquérir une compétence largement appréciée à l'étranger.

Les réalisations nationales sont naturellement à l'échelle du pays : elles n'ont aucune commune mesure avec les gigantesques aménagements en cours d'exécution ailleurs, notamment sur le continent américain. Mais il est intéressant de constater que la Suisse participe à la plupart de ces colossales entreprises, paradoxalement pour un problème d'échelle ! C'est en effet le Stand d'essai universel de l'Institut des machines hydrauliques de l'EPFL qui a été fréquemment choisi, ces dernières années, pour effectuer les essais officiels de réception sur modèles réduits des turbines des grandes centrales en construction dans le monde.

Ingénieurs et architectes suisses a publié (Nos 8 et 9, 1980) un intéressant rapport de M. Pierre Joseph sur le complexe de la Baie James, au Canada. Il paraît utile de compléter cette information par quelques données relatives aux turbines de ce complexe et par l'illustration du rôle joué par l'Institut des machines hydrauliques dans cette réalisation.

Le complexe de la Baie James comprendra au total 9 centrales, dont trois sont en construction (LG 2 - LG 3 - LG 4), une en projet, très avancée (LG 1), et cinq plus petites en avant-projet (EM 1 - EM 2 - LA 1 - LA 2 - Brisay).

Le tableau 1 donne la chute, le nombre de groupes, la puissance installée et la production annuelle pour toutes ces centrales.

La puissance totale installée sera ainsi de 13 562 MW et la production totale de 80,50 TWh. Il est intéressant de comparer ces chiffres aux valeurs correspondantes de la Suisse.

## Centrales LG 2 - LG 3 - LG 4

Ces trois centrales — les plus puissantes du complexe — sont en construction, la plus avancée étant LG 2 qui possède déjà 5 groupes en fonctionnement. Les dimensions définitives des machines des autres centrales ne sont pas encore fixées. Les machines de LG 2, LG 3 et LG 4 sont du type Francis, présentant la particularité de posséder une vanne fourreau entre le distributeur et l'avant-distributeur. On évite ainsi les vannes de turbine en réalisant une économie substantielle sur la fourniture mécanique et sur le volume de la centrale. La figure 1 montre l'aspect très compact de la centrale LG 2.

Le tableau 2 donne les caractéristiques et les dimensions principales des turbines.

Ce tableau appelle les commentaires suivants :

1. le diamètre des roues (fig. 2) n'excède pas 6 m pour permettre leur transport par chemin de fer et route ;

2. les vitesses spécifiques des machines ont été choisies de manière à obtenir des rendements excellents comme le montre la colline de rendement de LG 2 (fig. 3).

## Essais sur modèle réduit

Le laboratoire de l'Institut de machines hydrauliques de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne a été mandaté par la Société d'Énergie de la Baie James (SEBJ) pour effectuer les essais de réception sur modèle réduit pour les 3 centrales LG 2, LG 3 et LG 4 (fig. 4 et 5). En outre, les constructeurs des turbines ont procédé à la mise au point d'une partie des machines au Laboratoire de l'Institut de machines hydrauliques.

Les données de base nécessaires au dimensionnement des turbines d'un aménagement hydro-électrique sont directement fonction des paramètres naturels (chute et débit) et des conditions d'exploitation. Chaque centrale nécessite donc le développement complet d'une nouvelle machine.

En plus de ces contraintes techniques, la très dure concurrence internationale impose aux constructeurs la recherche de solutions économiques, notamment en réduisant les dimensions de machines et en les allégeant, tout en améliorant leurs performances.

TABLEAU 1

	LG 1	LG 2	LG 3	LG 4	EM 1	EM 2	LA 1	LA 2	Brisay
Chute brute (m)	28,2	141,7	76,2	119,5	57,4	42,0	56,4	26,6	34,0
Nombre de groupes (—)	10	16	12	9	3	2	6	3	2
Puissance installée (MW)	1140	5328	2304	2637	480	250	792	231	400
Production annuelle (TWh)	7,0	35,8	12,3	14,1	2,5	1,0	4,2	1,5	2,1

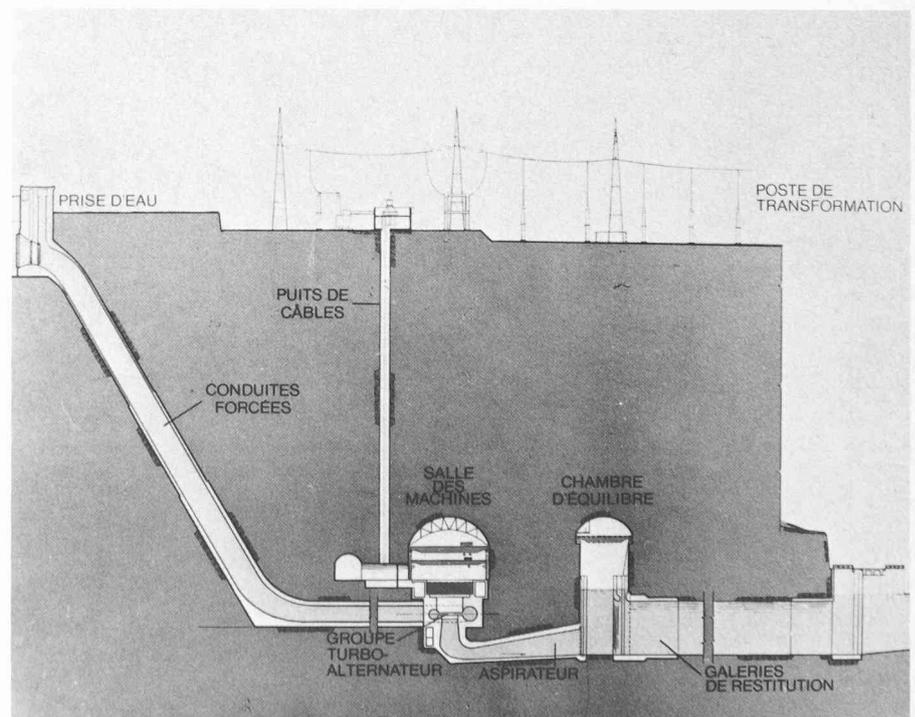


Fig. 1. — Coupe de la centrale de LG 2.

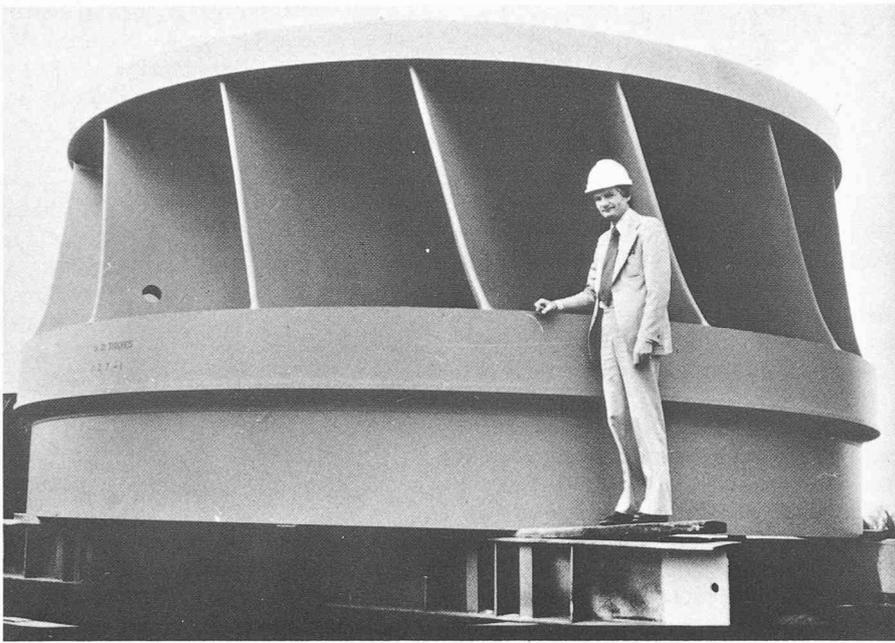


Fig. 2. — Roue Francis de la centrale de LG 2.

TABLEAU 2

		LG 2	LG 3	LG 4
Chute normale maximale	(m)	140,5	79,6	118,6
Chute normale minimale	(m)	130,1	71,9	115,5
Débit nominal	(m <sup>3</sup> /s)	270	267	280
Vitesse de rotation	(t/min.)	133,3	112,5	128,6
Puissance unitaire nominale	(MW)	338,5	195,4	300,0
Diamètre d'entrée bache	(m)	6,090	6,401	5,800
Diamètre sortie roue	(m)	5,600	5,716	5,550
Diamètre maximal roue (labyrinthe)	(m)	6,00	6,00	6,00
Vitesse spécifique au sommet v	(—)	0,34	0,42	0,35
Chiffre de cavitation minimal $\sigma_p \min$	(—)	0,096	0,137	0,119

Le calcul d'une turbine Francis, en particulier celui de la roue, fait appel à une théorie très complexe qui n'est applicable qu'après de nombreuses simplifications. Les caractéristiques de la machine ainsi calculées ne correspondent en général pas avec une précision suffisante aux valeurs imposées, d'où la nécessité de recourir à des moyens plus précis qui sont des essais sur modèles réduits. Ils ont pour buts principaux la mise en évidence des écarts entre les valeurs imposées pour les différents paramètres et les valeurs réellement atteintes, de même que la vérification du fonctionnement correct de la machine. Ces essais permettent d'effectuer de légères corrections, directement sur la géométrie du modèle d'essai, pour obtenir exactement les valeurs hydrauliques désirées et pour corriger d'éventuels défauts nuisant au bon fonctionnement de la machine.

Les essais sur modèles réduits sont en plus indispensables pour fournir les valeurs numériques de nombreux coefficients intervenant dans le calcul de la machine.

En outre, la machine est toujours dimensionnée pour son régime de fonctionnement optimal. La prédiction des caractéristiques dans tout le domaine d'utilisation est pratiquement impossible par le calcul et seules les méthodes expérimentales offrent une précision suffisante.

Les essais sont également très importants pour étudier les divers phénomènes de

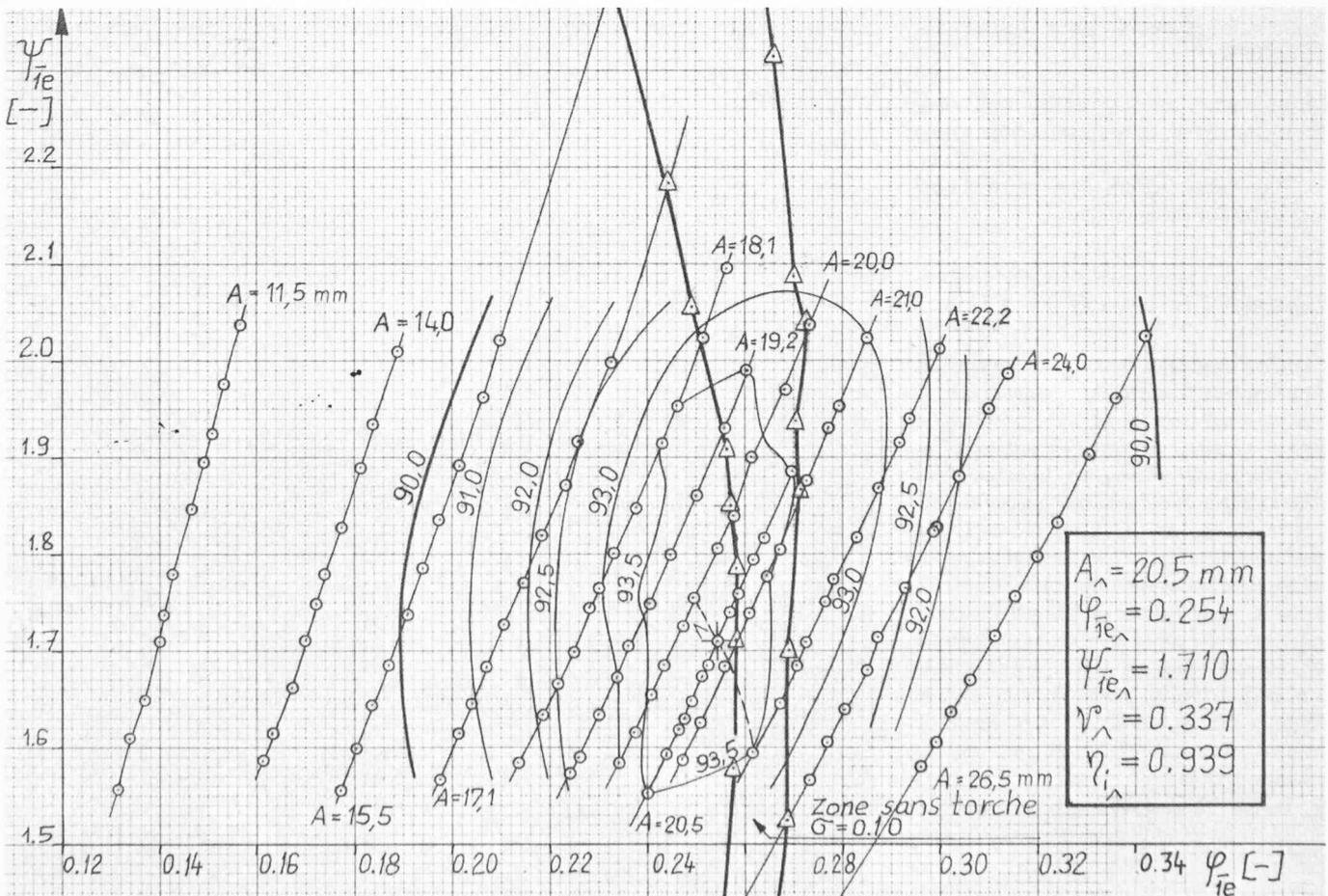


Fig. 3. — Colline de rendement du modèle réduit des turbines de LG 2.

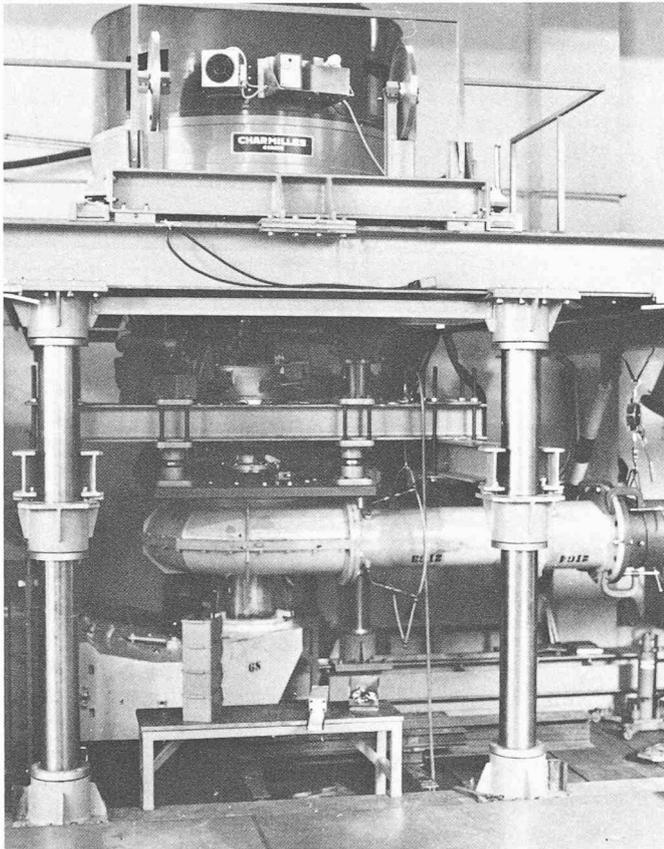


Fig. 4. — Modèle réduit des turbines de LG 3.



Fig. 6. — Torche de débit partiel. Essai de cavitation sur modèle réduit de LG 3.

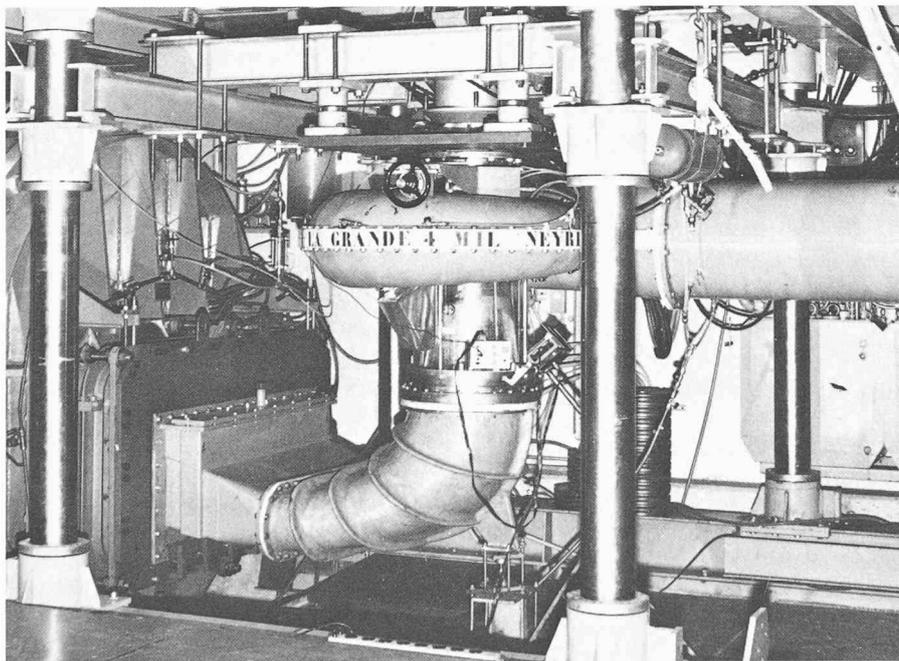


Fig. 5. — Modèle réduit des turbines de LG 4.

cavitation (fig. 6), le comportement dynamique et les efforts mécaniques dans certains éléments très sollicités. En plus des essais énumérés précédemment qui sont une partie importante de l'étude de la machine, les essais sur modèles réduits sont indispensables pour le contrôle, par l'acheteur, des garanties fournies par le constructeur.

En effet, pour les très grandes machines, certaines grandeurs, telles que le débit, sont très difficiles à mesurer sur la machine prototype alors que d'autres, en

particulier les caractéristiques en cavitation, ne sont pas mesurables, étant donné l'impossibilité de faire varier certains paramètres.

Ces essais, dénommés essais de réception, ont d'autre part l'immense avantage d'être exécutés avant la mise en fabrication des machines industrielles et, par conséquent, d'offrir la possibilité de modifier au besoin certains éléments.

Le cahier des charges des essais sur modèle réduit des trois centrales LG 2, LG 3 et LG 4 prévoit les essais suivants :

- mesure de la caractéristique complète de la machine (colline de rendement) ;
- mesure des rendements pour les points de fonctionnement garantis ;
- mesure de la vitesse d'emballage ;
- mesure des caractéristiques en cavitation, des zones de décollement intrados et extrados à l'entrée de la roue et de la zone sans torche ;
- mesure des fluctuations de pression à l'entrée du diffuseur ;
- mesure du couple hydraulique sur les aubes directrices ;
- mesure des pressions et de la poussée s'exerçant sur la vanne fourreau en cours de manœuvre.

Certaines de ces grandeurs sont garanties, parfois avec des tolérances très sévères. Le non-respect de ces garanties entraîne le paiement de pénalités par le constructeur.

### Le laboratoire d'essai et ses exigences

Il est très important que le laboratoire procédant à des essais de réception soit très bien équipé et qu'il soit si possible neutre, pour éviter toute contestation entre le constructeur des machines et son client. Les caractéristiques minimales des laboratoires procédant à des essais de réception sur modèles réduits sont imposées par des normes édictées par la Commission électrotechnique internationale (CEI).

Les instruments de mesure, en particulier, doivent être de très haute qualité pour

garantir des mesures d'une précision maximale. Le rendement, par exemple, doit être calculé avec une tolérance très faible, de l'ordre de  $\pm 0,2\%$ , bien que son calcul fasse intervenir cinq grandeurs mesurées qui sont toutes entachées d'erreurs.

Cette très haute précision est rendue nécessaire par les sommes considérables mises en jeu. En effet, pour la centrale de LG 2, par exemple, un rendement inférieur de 1% à la garantie représente une perte d'énergie dont le coût avoisine 12 millions de francs par année.

L'installation d'essai que possède l'IMH répond parfaitement aux conditions imposées pour les essais de réception. Il n'existe que deux autres laboratoires appartenant à des organismes neutres dans le monde, un en Ecosse et un en Autriche. L'installation de l'IMH est la plus récente et la plus puissante des trois.

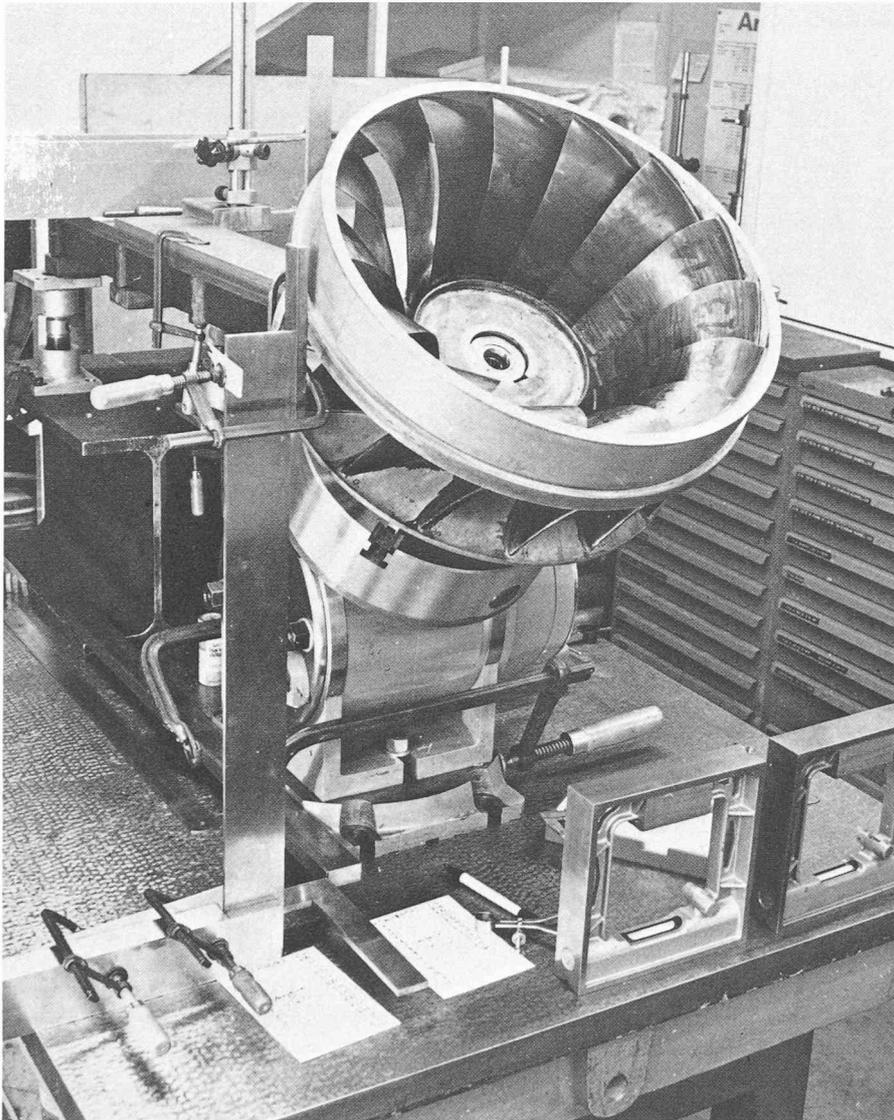


Fig. 7. — Contrôle dimensionnel de la roue modèle de LG 2.

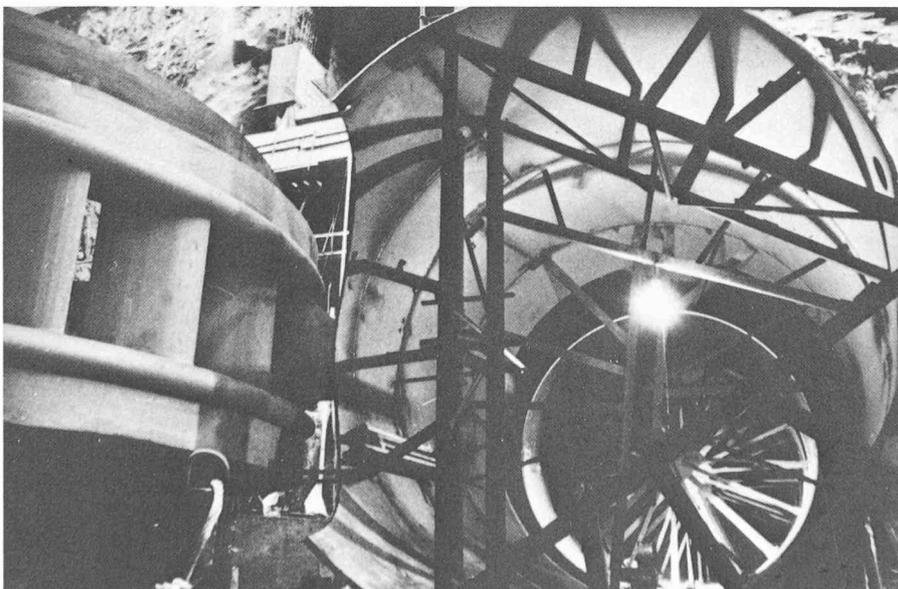


Fig. 8. — Montage de l'avant-distributeur et de la bêche spirale à la centrale de LG 2.

### Transposition des résultats d'essai du modèle au prototype

L'étude du comportement d'une machine sur modèles réduits est étroitement liée aux méthodes de calcul permettant de prévoir les performances de la grande machine. Il serait en effet inutile d'essayer un modèle réduit sans être capable d'en tirer des résultats précis à l'échelle du prototype.

La condition de base est le respect des diverses lois de similitude, à commencer par la similitude géométrique qui est soigneusement vérifiée comme le montre la figure 7.

Malheureusement, il n'est pas possible de respecter toutes ces lois simultanément et, en outre, certaines d'entre elles sont mal connues.

La similitude de Reynolds, par exemple, ne peut pas être respectée. Les pertes relatives par frottement du modèle et, par conséquent, le rendement ne sont pas identiques à celles de la grande machine.

Toutefois, il existe des méthodes de calcul qui ont été développées il y a de nombreuses années et affinées par la suite grâce aux progrès des techniques de mesure et de calcul.

En ce qui concerne le phénomène de cavitation, les lois de similitude sont très mal connues. L'expérience des constructeurs et l'empirisme jouent un rôle considérable. L'IMH a entrepris depuis plusieurs années des recherches dans ce domaine pour tenter de définir des critères de similitude plus précis. Des résultats intéressants ont déjà été obtenus.

Les autres mesures effectuées sur modèles réduits, telles que poussées axiale et radiale sur la roue, couple agissant sur les aubes directrices, ainsi que les fluctuations de ces forces et des pressions à divers endroits de la machine, sont relativement faciles à mesurer également sur les machines prototypes. On a pu constater, grâce à ces essais, que la concordance avec les mesures effectuées sur modèles réduits était en général bonne, démontrant ainsi la validité des lois de similitude utilisées.

Les résultats d'essai sur modèle seront vérifiés sur prototype pour les centrales LG 2 et LG 4 où la chute relativement élevée permet l'utilisation de la méthode thermodynamique alors que pour la centrale de LG 3 seuls les essais sur modèle réduit permettent la vérification du respect des garanties fournies par le constructeur des turbines.

	BAIE JAMES	SUISSE
Superficie des bassins versants (km <sup>2</sup> )	176 000	41 000
Moyenne annuelle des précipitations (mm)	760	1400
Puissance totale installée (MW)	13 562	10 960
Production totale annuelle (TWh)	80,50	32,30

Adresse de l'auteur :  
 Pierre Henry, professeur  
 Institut de machines hydrauliques  
 Ecole polytechnique fédérale  
 Avenue de Cour 33  
 1007 Lausanne

## Bâle-Ville pourra-t-elle se passer du nucléaire ?

La population bâloise, dans sa majorité, est opposée à l'énergie nucléaire. Elle l'a fait savoir à plusieurs reprises. Dès lors, une question se pose : comment la cité rhénane pourra-t-elle assurer son approvisionnement futur en électricité dont la production dépend de plus en plus du nucléaire ? Cette question, plusieurs députés l'ont posée au Conseil d'Etat. Dans sa réponse, le gouvernement souligne en substance que si le canton veut renoncer au courant d'origine nucléaire, il n'y parviendra qu'au prix d'un rationnement de la consommation. Nous publions ci-après de larges extraits de la réponse du Conseil d'Etat, qui n'est pas sans intérêt pour la Suisse romande, à commencer par Genève dont la situation présente certaines analogies avec celle de Bâle.

Après avoir rappelé que la grande majorité du peuple bâlois s'oppose à l'énergie nucléaire, des députés au Grand Conseil de Bâle-Ville posent la question suivante : les Services Industriels de la ville (SIB) ont-ils, d'une manière quelconque, déjà consommé de l'énergie nucléaire ? Si oui, combien et pour quelles raisons ? Si non, jusqu'à quel point les ressources actuelles et futures du canton suffiront-elles ? En préambule, le Conseil d'Etat rappelle que l'approvisionnement actuel en énergie électrique dépend pour 90 pour cent des forces hydrauliques. Cette production étant par conséquent tributaire des conditions climatiques, le canton dispose des quantités suivantes de courant :

- conditions minimales : 1120 GWh
- conditions moyennes : 1400 GWh
- conditions maximales : 1720 GWh

En 1979, la consommation de courant sur le réseau des SIB s'est élevée à 1300 GWh. Elle n'aurait donc pas été couverte dans le cas de conditions minimales. Au cours des trois dernières années, les débits d'eau ont été abondants, ce qui a permis de satisfaire les besoins de la ville.

Cette suite d'années particulièrement favorables — souligne le Conseil d'Etat — ne doit toutefois pas inciter à oublier les valeurs statistiques au long terme. Il est certain que des années sèches suivront bientôt.

La consommation de courant a augmenté en 1979, par rapport à 1978, de 2 % (environ 25 GWh). Quoique cette valeur soit faible et plutôt réjouissante, comparée à celles d'autres grandes villes suisses, il n'en reste pas moins que ce supplément d'énergie doit être assuré chaque année par les SIB.

### Pénurie dès 1984 ?

Outre ces variations climatiques et l'augmentation générale de la consommation, qui rendent la situation de l'approvisionnement toujours plus précaire, il faut citer la protection de l'environnement et les technologies dites douces. Des stations d'épuration des eaux usées communales et industrielles seront mises en service en 1981. On peut certainement s'en réjouir, mais leur consommation d'électricité, estimée à 63 GWh par an, doit être assurée par les SIB. Il en est de même des technologies de remplacement, favorisées par le Conseil d'Etat, qui entraînent d'une part de sérieuses économies en ce qui concerne les combustibles importés (comme le mazout et le gaz), mais qui consomment d'autre part beaucoup d'électricité.

Tous ces facteurs s'additionnent. Dans un proche avenir déjà, la quantité de courant disponible à Bâle-Ville ne sera plus suffisante, même pour des conditions moyennes. Les SIB estiment que tel sera le cas environ en 1984/85.

La modeste augmentation de 2 % indiquée plus haut, s'explique avant tout par la situation économique. Pendant les années 1973-78, cette augmentation était en moyenne de 1 % par an. Un accroissement nul de la consommation d'électricité est impossible sans récession économique simultanée. En outre, la protection de l'environnement et les technologies de remplacement exigeront une quantité d'électricité plus grande pour la production de chaleur.

Les considérations qui précèdent montrent que des conditions hydrologiques défavorables contraindront les SIB à acheter du courant à l'extérieur. Durant

de telles périodes de sécheresse, les autres centrales hydrauliques suisses ne disposeront guère d'excédents, si bien qu'on sera obligé d'acheter du courant électrique produit par des centrales nucléaires.

Ces perspectives avaient conduit le gouvernement à élaborer en 1973 un projet de participation du canton à la centrale nucléaire de Gösgen. Ce projet fut repoussé par le peuple le 24 février 1974. Plus tard, les SIB réussirent à sauvegarder en faveur du canton la dernière part d'énergie hydraulique encore disponible, provenant de la centrale de Kembs, en aval de Bâle. Cette part ne représente toutefois que le tiers de la participation de 10 % prévue à la centrale nucléaire de Gösgen et, de plus, elle dépend largement des variations de débit du Rhin.

### Pas d'hydraulique sans nucléaire

La question se pose finalement de savoir comment assurer l'alimentation en énergie électrique du canton de Bâle-Ville. Un apport supplémentaire provenant des sources hydrauliques n'est plus possible depuis un certain temps déjà. Les chutes d'eau de notre pays sont pratiquement entièrement utilisées, dans les limites données par la protection de l'environnement. Le développement des centrales hydrauliques auxquelles participe le canton de Bâle-Ville ne peut apporter que de très faibles quantités supplémentaires d'énergie électrique, car, à l'exception de la centrale d'Augst, il s'agit d'installations déjà modernisées.

Les SIB ont conduit des discussions approfondies avec plusieurs représentants de l'économie électrique suisse, en ce qui concerne la vente ou une cession d'énergie hydraulique. Toutes les réactions ont été nettement négatives. Le canton de Bâle-Ville ne peut pas compter acheter de l'énergie hydroélectrique.

En acceptant la loi sur la protection de la population contre les centrales nucléaires, les Bâlois ont clairement démontré leur opposition à cette énergie. D'autre part, il ne sera plus possible dans quelques années d'assurer l'approvisionnement sans énergie nucléaire.

Il convient dès lors d'étudier les possibilités suivantes :

a) Participation financière à une centrale nucléaire. Le peuple ayant refusé celle de Gösgen, une participation à une autre centrale nucléaire n'est toutefois pas envisageable politiquement.