

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 87 (1961)  
**Heft:** 16

**Artikel:** Le laboratoire de mécanique des fluides "Charmilles"  
**Autor:** Fauconnet, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-65044>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)  
de la Section genevoise de la S.I.A.  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole  
polytechnique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: † J. Calame, ing. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

### Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgrain, arch.; E. Martin, arch.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;  
M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: D. Bonnard, ing.

Membres: M. Bridel; J. Favre, arch.; R. Neeser, ing.; A. Robert, ing.;  
J. P. Stucky, ing.

Adresse: Avenue de la Gare 10, Lausanne

## RÉDACTION

Vacat

Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »

Tirés à part, renseignements

Avenue de Cour 27, Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse	Fr. 28.—	Etranger	Fr. 32.—
Sociétaires . . . . .	»	» 23.—	»	» 28.—
Prix du numéro . . . . .	»	» 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N° II 57 75, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, changements  
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29,  
Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:

1/1 page . . . . .	Fr. 320.—
1/2 » . . . . .	» 165.—
1/4 » . . . . .	» 85.—
1/8 » . . . . .	» 42.50

Adresse: Annonces Suisses S. A.

Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Le laboratoire de mécanique des fluides « Charmilles », par M. M. Fauconnet, ing. EPF, Ateliers des Charmilles S.A., Genève.

Bibliographie. — Les congrès.

Documentation générale. — Informations diverses.

## LE LABORATOIRE

## DE MÉCANIQUE DES FLUIDES « CHARMILLES »

par M. M. FAUCONNET, ing. EPF, Ateliers des Charmilles S.A., Genève

### 1. Introduction

Nos lecteurs connaissent certainement le rôle sans cesse grandissant joué par la recherche expérimentale effectuée sur modèle réduit dans toutes les applications techniques de la mécanique des fluides. L'aviation en donne le plus spectaculaire exemple. Le domaine des turbo-machines hydrauliques et de leurs divers types de vannes n'échappe pas à cette évolution accélérée.

Le laboratoire d'un fournisseur de turbines hydrauliques doit donc être en mesure de mener à bien des tâches dont le nombre, l'urgence et la complexité croissante posent des problèmes sérieux et divers. Seules des installations suffisamment vastes, conçues et équipées de manière à atteindre la plus grande exactitude possible dans les mesures, tout en assurant un déroulement rationnel des opérations, permettent d'y faire face.

Les plus fréquentes de ces tâches se rapportent aux domaines suivants :

— Amélioration des rendements et de la tenue à la cavitation des turbines de conception classique en opérant sur

des modèles judicieusement échelonnés dans le domaine des nombres de tours spécifiques.

— Détermination des efforts d'origine hydraulique sollicitant les divers organes de la turbine, afin d'atténuer ceux-ci par un choix favorable des tracés, puis de permettre au constructeur un dimensionnement rationnel de sa machine.

— Recherches portant sur des dispositions ou des formes générales nouvelles conçues en vue de réaliser des centrales plus économiques en autorisant notamment des simplifications des travaux de génie civil.

— Recherches portant sur des types nouveaux de turbo-machines hydrauliques afin d'être en mesure d'apporter à temps des solutions favorables aux besoins de la clientèle, compte tenu de l'évolution prévisible de ceux-ci.

En outre, la tendance s'accroît de confier au laboratoire l'exécution d'essais contractuels sur modèles réduits, effectués en lieu et place des essais de réception de machines industrielles. Si pour certains développements il était apparu suffisant, dans le passé, d'exécuter des mesures de rendement fidèles, mais inexactes (les améliorations recherchées étant décelées par les écarts des résultats obtenus), il est indispensable, lors de

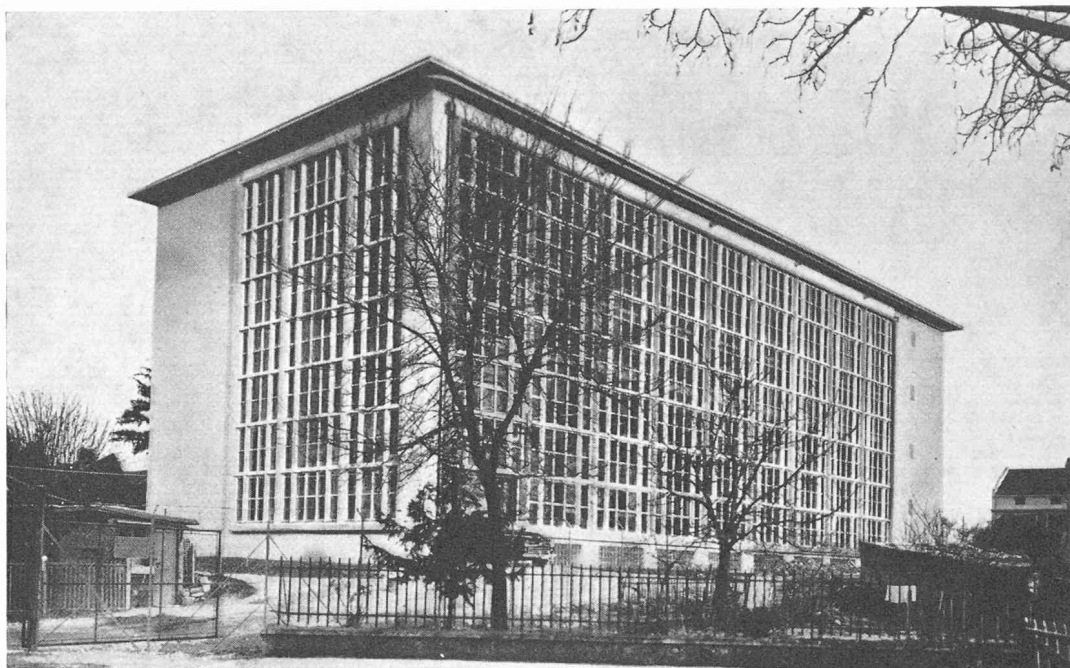


Fig. 1. — Vue extérieure du bâtiment.

l'exécution d'essais de réception sur modèle, de mesurer avec une grande exactitude, c'est-à-dire d'être en mesure de maintenir très faible la tolérance qui affecte la détermination de chaque paramètre. En particulier, tous les coefficients d'étalonnage doivent pouvoir être facilement et rigoureusement contrôlés sur place à l'occasion des essais, en présence de l'expert délégué par le client.

A mesure que se développe cette application particulière des essais en laboratoire, se multiplient aussi les questions soulevées par les effets d'échelle dont la connaissance encore imparfaite nuit à une interprétation rigoureuse des résultats atteints sur modèles, lorsqu'il s'agit de les comparer avec des garanties fournies pour la turbine industrielle. De ce fait, le laboratoire est amené à contribuer, souvent en collaboration avec les milieux universitaires, à des recherches fondamentales destinées à parfaire nos connaissances dans ce domaine.

Pour tous ces motifs, les Ateliers des Charmilles n'ont pas hésité à consentir à l'investissement important exigé par la création d'un nouveau Laboratoire de Mécanique des Fluides, l'ancien laboratoire, malgré ses agrandissements successifs, ne pouvant plus satisfaire aux nombreuses exigences énoncées ici.

Nous souhaitons, par le présent exposé, donner des précisions au sujet de ces installations, qui sont en exploitation depuis 1958 et dont la mise au point, effectuée depuis lors en même temps que se poursuivait l'activité de recherches, est maintenant en voie d'achèvement.

Nous rappelons ici qu'un accord a été conclu en 1958 également, entre la Société Escher Wyss S.A. et les Ateliers des Charmilles S.A., au terme duquel les activités de recherches des deux partenaires ont été réunies et les résultats d'essais hydrauliques effectués dans les laboratoires mis en commun, à la libre disposition des deux entreprises. Ceci n'enlève rien à l'indépendance commerciale complète des deux maisons.

De ce fait, les moyens de recherche que nous mettons en œuvre en vue de l'amélioration constante de nos fournitures hydrauliques sont plus variés encore que ceux décrits dans cet exposé.

## 2. Bâtiment

### 2.1 Conception d'ensemble

Le bâtiment comporte un sous-sol, un rez-de-chaussée surélevé, deux halles d'essais superposées entourées de locaux divers. La disposition d'ensemble de ceux-ci et leurs dimensions ressortent des figures 2 à 6 annexées, tandis que la figure 1 montre l'aspect extérieur de cette construction vue du côté des halles d'essais.

### 2.2 Attribution des locaux

2.21 La halle supérieure d'essais est prévue pour la mise en place de tous les modèles faisant intervenir des essais de cavitation, tout particulièrement les modèles Kaplan et Francis.

2.22 La halle inférieure d'essais est aménagée pour recevoir les modèles du type Pelton à axe vertical ou à axe horizontal, ainsi que les modèles spécialement prévus pour être étudiés à l'air. En outre, le sol, localement amovible, est conçu pour permettre d'accéder aisément à la partie supérieure des divers bassins et des canaux aménagés dans le sous-sol, afin de faciliter l'utilisation de ceux-ci.

2.23 Un atelier équipé en vue des interventions rapides à effectuer en cours des recherches est disposé en bout de la halle d'essais inférieure.

2.24 Les locaux occupés par la totalité du personnel technique du service hydraulique sont situés sur deux côtés adjacents aux halles d'essais et répartis sur trois étages. Une salle de cinéma est disponible, permettant d'organiser des rencontres entre les collaborateurs intéressés aux recherches ou des conférences de propagande.

2.25 Au sous-sol sont installés d'une part des bassins et des canaux, que nous décrirons en détail sous 3, et d'autre part ce que nous désignons par installation fixe, c'est-à-dire les pompes et les soufflantes qui alimentent les divers modèles mis en place dans les halles d'essais, les installations électriques et les

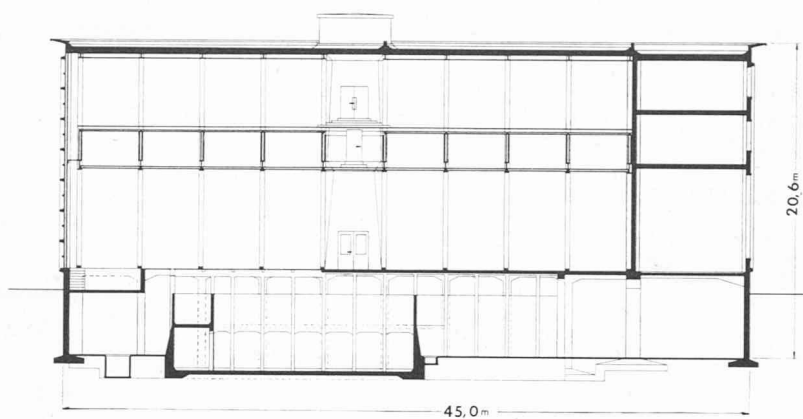


Fig. 2. — Coupe en long du bâtiment.

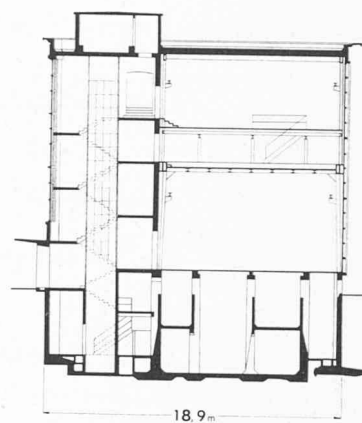


Fig. 3. — Coupe en travers du bâtiment.

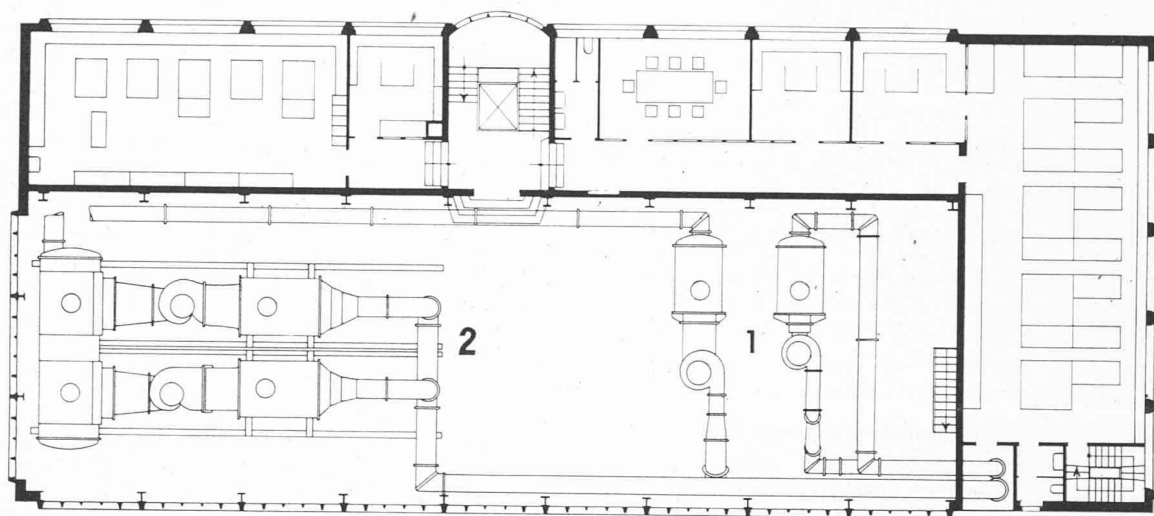


Fig. 4. — Plan de la halle supérieure d'essais.

1. Plates-formes Francis. — 2. Plates-formes Kaplan.

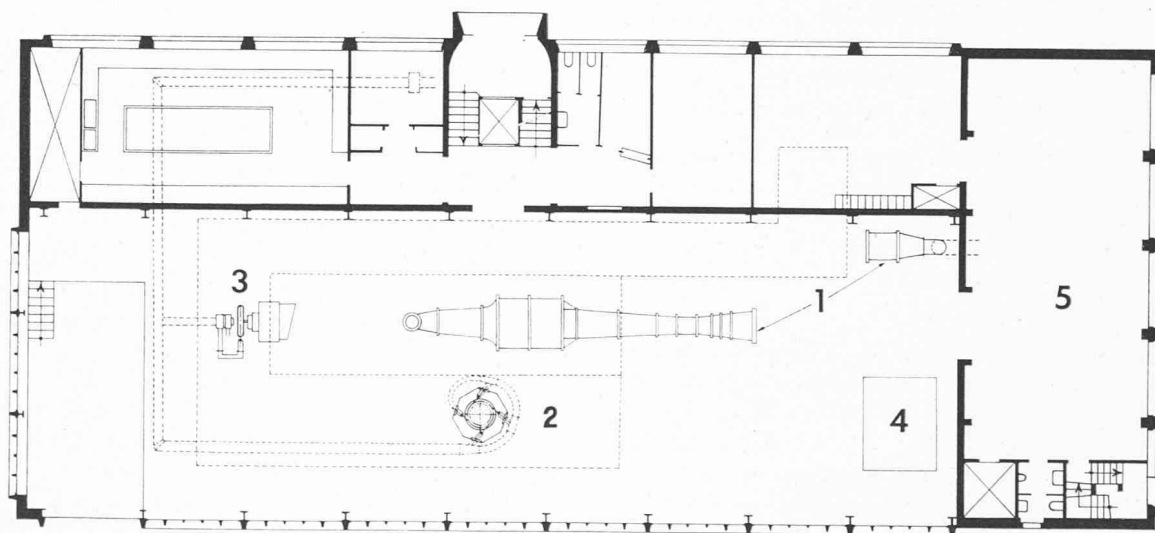


Fig. 5. — Plan de la halle inférieure d'essais.

1. Plates-formes d'essais aérodynamiques. — 2. Modèle Pelton à axe vertical.  
3. Modèle Pelton à axe horizontal. — 4. Aire de montage. — 5. Atelier.

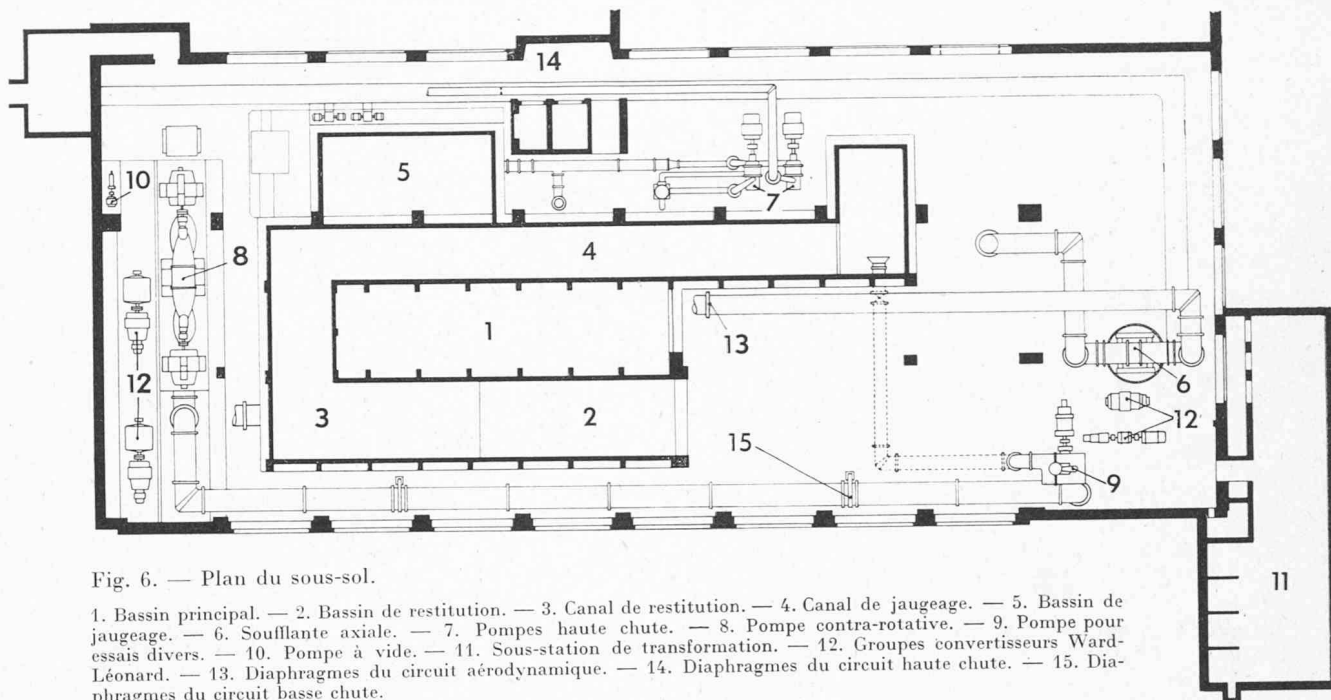


Fig. 6. — Plan du sous-sol.

1. Bassin principal. — 2. Bassin de restitution. — 3. Canal de restitution. — 4. Canal de jaugeage. — 5. Bassin de jaugeage. — 6. Soufflante axiale. — 7. Pompes haute chute. — 8. Pompe contra-rotative. — 9. Pompe pour essais divers. — 10. Pompe à vide. — 11. Sous-station de transformation. — 12. Groupes convertisseurs Ward-Léonard. — 13. Diaphragmes du circuit aérodynamique. — 14. Diaphragmes du circuit haute chute. — 15. Diaphragmes du circuit basse chute.

moteurs entraînant ces machines, certains tronçons définitivement posés des conduites alimentant les modèles et dans lesquels sont intercalés les appareils déprimogènes permettant la mesure du débit en cours d'essais, ainsi que divers dispositifs d'un emploi général.

Une cave extérieure au bâtiment, servant de dépôt, jouxte ce sous-sol et permet de résoudre de façon heureuse le problème du magasinage des modèles.

### 3. Disposition et usage des bassins au sous-sol

La disposition de cet ouvrage ressort des coupes en long et en travers du bâtiment, figures 2 et 3, ainsi que du plan du sous-sol, figure 6.

Ce complexe a des buts divers. Il permet d'accumuler dans un bassin principal l'eau utile à l'alimentation des pompes du laboratoire lorsque celles-ci travaillent en circuit ouvert. Il permet d'autre part de mettre à disposition, pour des essais divers, un bassin de restitution prolongé par un canal de restitution et un canal de jaugeage, ceux-ci étant séparés du bassin principal, mais communiquant avec lui. Enfin, ce complexe comporte un bassin de jaugeage totalement indépendant et dont nous verrons l'emploi sous 9.1.

3.1 Le bassin principal occupe toute la superficie indiquée sur le plan figure 6, à l'exception de celle réservée au bassin de jaugeage et au bassin de restitution. La figure 7 aide à saisir sa disposition et à comprendre la suite de cette description.

3.2 Le bassin de restitution placé à l'angle du bassin principal est creusé à la même profondeur que ce dernier. Ses parois longitudinales constituent de robustes appuis sur lesquels peuvent reposer des modèles. Sa paroi frontale externe est en tôle et comporte des ouvertures préparées pour faciliter le raccordement avec des conduites de refoulement de section circulaire ou rectangulaire. La figure 8 fournit une vue prise à l'intérieur du bassin en direction du canal de restitution.

On voit sur cette figure 8 que la partie supérieure de ce bassin s'ouvre sur le canal de restitution, mais une porte étanche permet d'obturer ce passage. Dans la partie inférieure de ce même côté du bassin de restitution, un orifice circulaire obturé par un couvercle étanche permet, à volonté, de constituer une communication directe avec le bassin principal.

3.3 Le canal de restitution, de même que le canal de jaugeage qui lui fait suite, sont construits en encorbellement sur trois côtés du bassin principal. Leurs murs latéraux constituent également des appuis pouvant être utilisés pour la mise en place des modèles.

En fermant l'aval du canal de jaugeage par un batardeau et en remplaçant la porte étanche par des modèles de clapets de retenue ou de siphon, par exemple, l'étude de tels dispositifs peut être exécutée dans des conditions favorables. Le canal de restitution constitue alors un réservoir auxiliaire dans lequel s'établit le plan d'eau amont maintenu par une alimentation séparée, tandis que le bassin de restitution permet, grâce à sa grande profondeur, d'instaurer un plan d'eau aval réglable à volonté en agissant sur le remplissage du bassin principal avec lequel il communique.

3.4 Le canal de jaugeage ne constitue en fait, comme nous l'avons dit, qu'un troisième élément du canal de restitution. Il a été intentionnellement prolongé pour favoriser le fonctionnement de l'écran mobile qui s'y trouve installé. Pour assurer le retour de l'eau au bassin principal dans lequel il aboutit, ce dernier a également reçu localement une prolongation correspondante.

En plus de l'application de la méthode de l'écran mobile pour laquelle il a été conçu (voir 9.2), ce long canal permet d'entreprendre des études très diverses, pour lesquelles il est nécessaire de disposer d'un canal à niveau libre parcouru par un



écoulement bien régularisé et dont le débit, réglable et connu, peut être maintenu à une valeur rigoureusement constante. Si de telles études nécessitent l'emploi d'un déversoir, celui-ci, quel que soit son type, peut être monté à l'aval du canal.

- 3.5 Nous ne dirons rien ici du bassin de jaugeage accolé au bassin principal, car nous aurons à en parler d'une façon détaillée sous 9.1.
- 3.6 Le tableau I fournit des indications générales concernant les dimensions des bassins qui viennent d'être décrits.

TABLEAU I  
*Dimensions des bassins et canaux*<sup>1</sup>

Objet	Longueur m	Largeur m	Capacité utile m <sup>3</sup>
Bassin principal . . .	—	—	470
Bassin de restitution .	8,2	3	100
Canal de restitution .	—	—	35
Canal de jaugeage . .	25	2	50
Bassin de jaugeage . .	6,67	3	60

<sup>1</sup> Les capacités utiles indiquées correspondent à un plan d'eau situé à 1 m en dessous de la crête des parois.

#### 4. Installations fixes

##### 4.1 Installation de pompes et soufflante

##### 4.11 Buts généraux

4.111 Nous avons attaché de l'importance à assurer une alimentation de nos modèles au moyen de pompes possédant une grande souplesse d'adaptation, c'est-à-dire permettant une alimentation stable dans un domaine de chute et de débit aussi étendu que possible. La poursuite de ce but nous a conduits entre autres à généraliser l'emploi d'un entraînement à nombre de tours variable et à monter, en court-circuit sur les pompes, des by-pass permettant à celles-ci de continuer à fonctionner sur un point de régime favorable de leurs caractéristiques, même aux plus faibles ouvertures des modèles étudiés

4.112 Les pompes installées au sous-sol, à un niveau inférieur à celui atteint par l'eau accumulée dans le bassin principal, sont toujours en charge. Cette disposition évite la perte de temps provoquée par l'amorçage des pompes lors de leur mise en service. Les pompes fonctionnent, en outre, dans de bonnes conditions au point de vue cavitation, ce qui en élargit le domaine d'utilisation. Lorsque les pompes sont branchées sur le circuit fermé alimentant les modèles installés à la halle supérieure d'essais, leur mise en charge s'en trouve encore améliorée en raison de la grande différence d'altitude de ces deux locaux. Même si, au cours des essais de cavitation, le vide instauré dans le chaudron de restitution dans lequel débouchent les modèles est très fortement poussé, les pompes d'alimentation ne voient pas leur mise en charge s'abaisser en dessous de celle existant lors du fonctionnement en circuit ouvert.

4.113 En groupant pompes, soufflantes et moteurs électriques au sous-sol, les machines bruyantes se trouvaient toutes réunies dans un local n'exigeant pas la présence continue d'opérateurs au cours des essais et les deux halles d'essais superposées, dans lesquelles les conditions de travail sont excellentes à tous points de vue, devenaient entièrement disponibles pour la mise en place et l'étude des modèles.

##### 4.12 Machines installées et leurs emplacements

4.121 Le choix de l'emplacement des machines au sous-sol était dicté par la disposition des divers circuits d'essais qu'elles alimentent et qui seront décrits sous

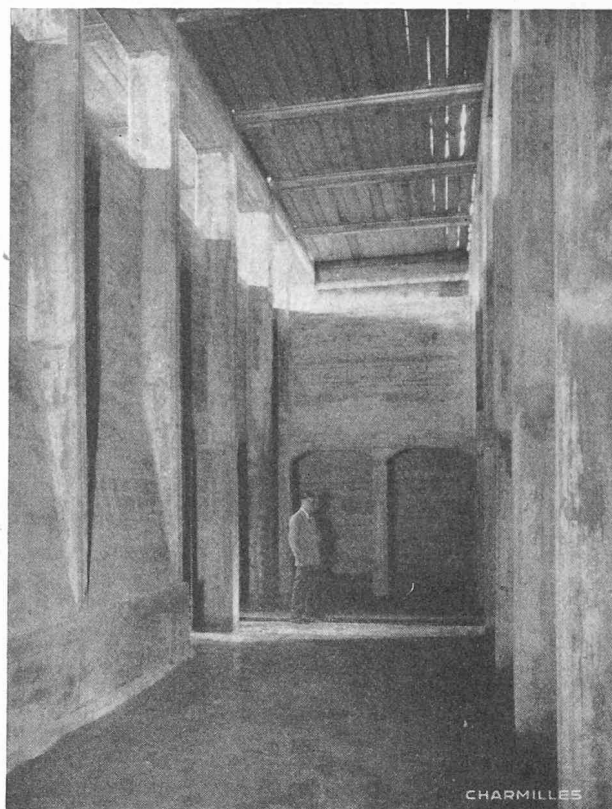


Fig. 7. — Vue intérieure du bassin principal.

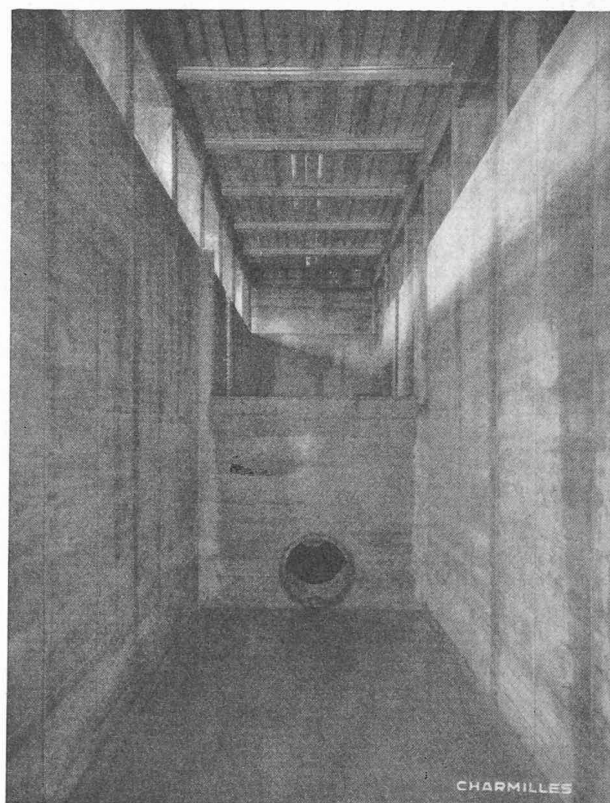


Fig. 8. — Vue intérieure du bassin de restitution.

4.3. La figure 6 (plan du sous-sol) et sa légende permettent de repérer ces divers emplacements.

4.122 Les méthodes aérodynamiques de recherches appliquées aux problèmes d'hydraulique présentent dans certains cas des avantages connus (modèles écono-

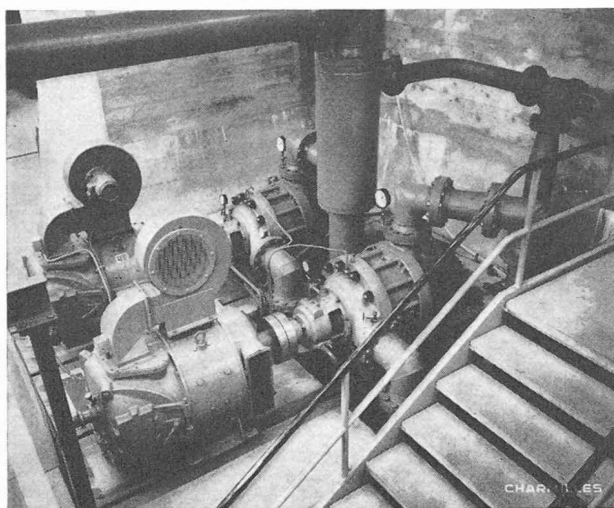


Fig. 9. — Pompes haute chute.

miques, facilité de mesure des spectres d'écoulement, etc.). Nous disposons pour ces études d'une soufflante du type axial entraînée par un moteur incorporé dans le moyeu de sa roue et dont les aubes motrices sont orientables. Elle fournit de ce fait des débits stables dans un domaine très étendu et elle produit une différence de pression maximum suffisamment faible pour que la compressibilité de l'air soit négligeable. Les caractéristiques principales de cette machine sont données au tableau II.

TABLEAU II  
Caractéristiques principales des pompes et soufflantes

Objet	Régime maximum		Etendue approximative du domaine d'utilisation à régime maximum			
	$N_{\max}$ kW	$n_{\max}$ t/min	$Q$ m <sup>3</sup> /s	$H$ m	$Q$ m <sup>3</sup> /s	$H$ m
Soufflante principale . . . . .	45	3000	2,500	0,5	11	0,3
Deux pompes haute chute en série . . . . .	400	1750	0,050	400	0,120	230
Deux pompes haute chute en parallèle . . . . .	400	1750	0,100	200	0,240	115
Pompe moyenne et basse chute	400	850	0,500	40	1,500	20
Pompe pour essais divers . . . . .	90	750	0,200	13	0,750	6
Pompe à vide principale . . . . .	7	2850	0,017	pour 95 % du vide absolu		

4.123 Deux pompes centrifuges sont disponibles pour fournir l'eau motrice au circuit hydraulique haute chute. Chacune d'elles comporte trois étages, mais peut être transformée en machine à deux étages. Les caractéristiques principales de ces machines sont données au tableau II, tandis que la figure 9 permet d'en voir la disposition générale.

4.124 Pour produire l'eau motrice sous chute moyenne ou faible, nous avons arrêté notre choix sur une pompe assez particulière, développée par nos soins. Il s'agit d'une pompe axiale comportant deux rotors tournant à la même vitesse, mais en sens inverse. Une vue partielle de cette pompe contra-rotative est donnée par la figure 10. Les aubes motrices de ces rotors sont orientables à l'arrêt. La pompe ne comporte pas d'appareils directeurs, mais seulement des entretoises fixes placées en position axiale qui assurent une alimentation exempte de rotation et qui annulent égale-

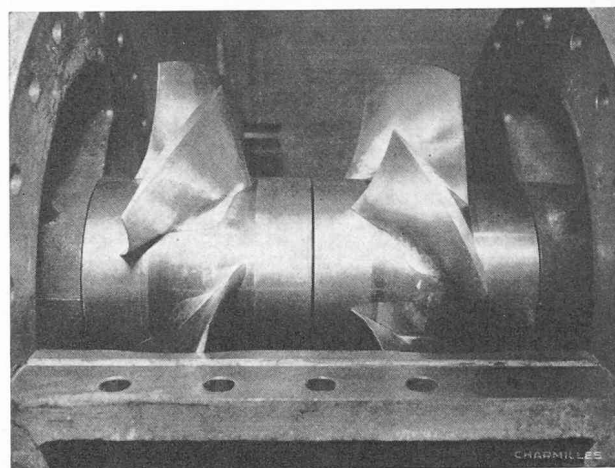


Fig. 10. — Pompe contra-rotative.

ment une composante tangentielle éventuelle de l'écoulement sortant de la pompe.

La symétrie générale de cette machine permet d'inverser le sens de l'écoulement qu'elle produit, ce qui est particulièrement favorable pour entreprendre des recherches sur des machines spéciales telles que les marémotrices à double effet, par exemple. Les principales caractéristiques de la pompe contra-rotative sont données sous le tableau II.

4.125 Une pompe centrifuge basse chute à double flux reprise de notre ancien laboratoire, a été mise en place pour permettre la poursuite d'essais divers utilisant notre système de bassin lorsque la pompe contra-rotative est employée à d'autres fins. Ses principales caractéristiques sont également inscrites au tableau II. A titre provisoire, et en attendant l'installation d'une pompe moyenne chute pour laquelle l'emplacement est réservé au sous-sol, cette pompe peut être branchée sur un second circuit fermé alimentant la salle supérieure d'essais.

4.126 Les pompes à vide permettant d'évacuer l'air confiné dans les chaudrons de restitution en vue de faire varier la valeur du paramètre de Thoma au cours des essais de cavitation, sont du type à anneau d'eau. La plus puissante d'entre elles est du type à étage multiple, afin d'atteindre les vides poussés exigés, soit par les essais de Francis lentes, soit par les essais de modèles Kaplan lorsque pour respecter la similitude de Froude on exécute ceux-ci sous des chutes très faibles. Les caractéristiques principales de cette pompe sont également données au tableau II.

#### 4.2 Installations et moteurs électriques

4.21 La sous-station de transformation électrique contiguë au laboratoire est raccordée au réseau à 18 000 V. Elle comporte deux transformateurs 18 000/380 V de 600 kVA chacun. Cette sous-station alimente exclusivement les installations du laboratoire. Elle est largement dimensionnée en prévision d'extension future de celles-ci.

4.22 Quatre groupes convertisseurs Ward-Léonard fournissent le courant continu destiné aux moteurs qui entraînent à vitesse réglable la soufflante et les pompes des divers circuits hydrauliques du laboratoire. Pour les essais aérodynamiques le groupe correspondant actionne, non seulement le moteur de la soufflante, mais également une dynamo-frein dont il récupère l'énergie.

4.23 Les deux groupes les plus puissants destinés l'un aux pompes haute chute, l'autre aux deux moteurs de la pompe contra-rotative comportent un dispositif de réglage électronique qui maintient constant le nombre de tours affiché avec une tolérance plus faible que  $\pm 1$  pour mille de la vitesse maximum. La constance ainsi indirectement assurée de la chute créée par les

pompes qu'entraînent ces moteurs favorise considérablement la précision des mesures effectuées sur les modèles.

Si l'on renonce au fonctionnement simultané des pompes haute chute et contra-rotative, il est possible, grâce à des commutateurs de présélection, de brancher les deux groupes convertisseurs en question, soit sur les deux moteurs des pompes haute chute, soit sur ceux de la pompe contra-rotative. Ainsi ces deux systèmes de pompage peuvent absorber chacun 400 kW pour les régimes de fonctionnement les plus poussés auxquels ils peuvent occasionnellement être appelés à fonctionner.

- 4.24 Nous résumons dans le tableau III les principales caractéristiques des machines électriques qui viennent d'être mentionnées.

TABLEAU III

Caractéristiques principales des machines électriques

N° du groupe	Groupe Ward-Léonard			Moteurs à courant continu			Remarques
	Puissance en kW	Vi-tesse t/m		N° du moteur	Régime maximum		
	mo- teur	géné- ratrice			Puis- sance kW	Vi- tesse t/m	
G 1	100	54	1460	M <sub>1</sub>	45	3000	soufflante principale dynamo-frein
		44		M <sub>2</sub>	42,5	3000	
G 2	240	220	1460	M <sub>3</sub>	200	1750	pompes haute chute
G 3	240	220	1460	M <sub>4</sub>	200	1750	
				M <sub>5</sub>	200	900	pompe contra-rotative
				M <sub>6</sub>	200	900	
G 4	110	100	1460	M <sub>7</sub>	90	750	pompe essais divers

### 4.3 Circuits d'essais

#### 4.31 Caractères communs

Les conduites assurant la liaison entre les pompes installées au sous-sol et les modèles disposés dans les halles d'essais présentent certains caractères communs. Il a été systématiquement fait usage de coudes à ailettes en vue de réduire le plus possible la perturbation du profil de vitesse provoquée par les changements de direction et d'éviter (ou éventuellement supprimer) toute composante de rotation de l'écoulement.

Le tracé de ces conduites a été conçu de manière à toujours comporter au sous-sol un tronçon rectiligne de très grande longueur. Nous exposerons sous 8. les motifs justifiant cette disposition.

Après le parcours au sous-sol, ces conduites rejoignent les halles d'essais en passant par des vides réservés à cet effet dans le bâtiment et qui n'empiètent pas sur l'aire de ces halles, ceci afin d'assurer la libre circulation des deux ponts roulants de 5 tonnes qui desservent ces locaux.

Dans chaque halle d'essais, les conduites peuvent être branchées sur l'un ou l'autre des divers modèles qui peuvent y être montés.

Pour éviter que ces diverses tuyauteries n'entravent dans les halles la circulation des opérateurs ou des visites, elles sont posées : à la halle inférieure d'essais dans l'espace compris entre son sol et le haut des bassins et à la halle supérieure d'essais entre son sol et un système de plancher amovible bien visible sur les figures 2 et 3. Celui-ci est limité en réalité à un système de passerelles auquel on accède à partir du troisième étage du bâtiment.

#### 4.32 Circuit aérodynamique

Ce circuit formé de tuyauteries d'aluminium de 800 mm de diamètre relie les deux ouïes de la soufflante à deux chambres de tranquillisation installées dans la halle d'essais inférieure aux emplacements désignés sur la figure 5. Le raccordement aux chambres est assuré par un diffuseur. A l'intérieur des chambres, un système redresseur composé de nids d'abeilles et de grilles assure une alimentation rectiligne et uniforme aux modèles qui y seront branchés. Le sens du flux parcourant le circuit aérodynamique peut être inversé en faisant pivoter de 180° la soufflante axiale. Pour faciliter cette manœuvre, celle-ci est montée sur une plaque tournante.

La proximité de ce circuit et du circuit hydraulique basse chute alimentant la halle supérieure d'essais rend aisée au sous-sol une jonction entre ces deux circuits. De la sorte, certaines auscultations ou mesures à l'air peuvent être intercalées au cours des essais entrepris au moyen des modèles d'essais hydrauliques installés à la halle supérieure.

#### 4.33 Circuit hydraulique haute chute

Les pompes haute chute aspirent l'eau dans le réservoir principal. Elles peuvent être appelées à marcher en solo, en série ou en parallèle. Une vanne spéciale a été développée qu'il suffit de tourner de quart de tour en quart de tour pour réaliser les branchements correspondant à ces quatre combinaisons possibles de fonctionnement.

Le diamètre nominal de la conduite de refoulement est de 300 mm. Son tracé au sous-sol est visible sur la figure 6. L'altitude de ce trajet est légèrement supérieure à celle du plan d'eau maximum pouvant être instauré dans le bassin principal. Il se vide donc de lui-même lors de l'arrêt des pompes, ce qui facilite l'échange du diaphragme qui s'y trouve installé en vue de la mesure du débit.

Les modèles Pelton normalement alimentés par ce circuit prennent place dans la halle inférieure d'essais, dans toute la zone située au-dessus du bassin et du canal de restitution. Ainsi, après avoir traversé les modèles, l'eau retombe dans cette partie de l'ouvrage qui la reconduit, par l'intermédiaire du canal de jaugeage, dans le bassin principal.

#### 4.34 Circuit hydraulique moyenne et basse chute

La tuyauterie de l'ensemble de ce circuit a un diamètre nominal de 810 mm. Son tracé au sous-sol est porté sur la figure 6. La figure 17 fournit, sous forme de croquis, un schéma simplifié de l'ensemble du circuit. Sur le côté aspiration de la pompe contra-rotative, une vanne à trois voies spéciale comportant un coude à ailettes permet d'alimenter cette machine, soit avec l'eau aspirée au bassin principal (marche en circuit ouvert), soit avec l'eau qui revient de la halle d'essais supérieure (marche en circuit fermé).

Le côté refoulement de la pompe comporte notamment le tronçon rectiligne mentionné plus haut. La tubulure constituant le dernier élément de ce tronçon est conçue de façon à pouvoir pivoter autour de son axe. Le coude qui lui est solidaire se raccorde alors, soit avec une tubulure qui conduit l'eau au bassin de restitution (marche en circuit ouvert), soit avec celle qui alimente la halle d'essais supérieure (marche en circuit fermé). Dans cette région du sous-sol, un emplacement est disponible autorisant l'installation d'un modèle alimenté par ce circuit et qui déboucherait dans le bassin de restitution.

La disposition générale des aménagements de la halle supérieure d'essais découle de la figure 4. L'on remarquera tout d'abord les deux plates-formes jumelées disposées dans le sens de la longueur de cette halle et destinées aux modèles du type Kaplan, puis deux autres plates-formes disposées dans le sens transversal destinées aux modèles du type Francis. Le champ correspondant à deux plates-formes transversales supplémentaires reste disponible en vue d'agrandissement, un dernier champ devant être laissé au moins partiellement libre pour des fins de manutention.

Les bâches des modèles Kaplan ont des sections d'entrée de grandes dimensions qui doivent être alimentées par un écoulement uniforme et exempt de rotation. On a donc recouru ici, comme dans le circuit aérodynamique, à des chambres de



tranquillisation précédées d'un diffuseur. Le diamètre de l'élément cylindrique de ces chambres est de 2225 mm. L'emplacement de chaque chambre peut être modifié facilement, grâce à des supports appropriés, afin de tenir compte dans chaque cas de la forme du modèle. Il est ainsi possible de s'adapter pleinement aux conditions imposées par le respect de la similitude géométrique qui doit être assurée depuis l'entrée de la bache jusqu'à la sortie de l'aspirateur lorsque l'on entreprend des essais contractuels de réception sur le modèle réduit d'une machine industrielle commandée.

A l'aval des modèles Kaplan, l'aspirateur débouche, par l'intermédiaire d'une pièce de raccord, dans un très gros chaudron de restitution de section ovoïde. L'eau est reprise dans ce chaudron au moyen d'une pipette perforée qui s'étend sur toute la longueur de celui-ci, dans l'axe de la tubulure de sortie. Cette disposition évite de créer par une aspiration asymétrique une perturbation susceptible d'influencer le fonctionnement normal de l'aspirateur du modèle essayé. La tubulure de sortie du chaudron reconduit l'eau à l'aspiration de la pompe ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Les deux plates-formes Kaplan étant alimentées par la même pompe ne sont jamais en service simultanément. A l'amont de chaque chambre de tranquillisation, les modifications locales de tuyauteries découlant du choix de la plate-forme mise en service sont rendues aisées par l'usage de joints rapidement démontés. A l'aval, dans le chaudron de restitution commun, un couvercle que l'on place depuis l'intérieur du chaudron permet d'obturer l'une ou l'autre des deux pièces de raccord dans lesquelles débouchent les aspirateurs, afin d'isoler la plate-forme hors service.

Les plates-formes Francis possèdent chacune leur chaudron de restitution individuel. Elles ne comportent pas de chambres de tranquillisation, celles-ci étant rendues superflues par les dimensions suffisamment réduites des sections d'entrée des bâches de ce type de machines. Ces plates-formes sont normalement alimentées par la pompe contra-rotative en attendant la mise en place de la pompe moyenne chute prévue dans notre plan d'extension. Nous rappelons cependant l'existence d'un circuit constitué en tubulure d'un diamètre nominal de 600 mm et permettant à titre provisoire l'alimentation des plates-formes de cette halle au moyen de la pompe pour essais hydrauliques divers mentionnée sous 4.125.

## 5. Plates-formes et modèles d'essais

### 5.1 Caractères communs

- 5.11 Nos descriptions précédentes ont bien fait ressortir la possibilité offerte par tous nos circuits de permettre l'installation côte à côte de plusieurs modèles différents qui peuvent être insérés à tour de rôle dans le circuit. Cette disposition est favorable à l'exploitation rationnelle du laboratoire, puisqu'elle permet la poursuite de mesures sur un modèle pendant les périodes de montage ou de mise au point des autres modèles.
- 5.12 Le système de berceau réglable auquel sont fixés les modèles eux-mêmes est de conception identique pour toutes les plates-formes. Nous en précisons la réalisation sous 5.41.
- 5.13 Les freins utilisés, quel que soit leur type, sont montés à l'intérieur d'un châssis qui en assure la mise en pendule. Ils sont de ce fait aisément transportables d'une plate-forme à l'autre.
- 5.14 L'arbre assurant la liaison entre le frein et le modèle est toujours du type extensible à double cardan. Il n'est donc pas nécessaire d'assurer une parfaite coïncidence de la ligne d'arbre du modèle et de celle du frein. Les montages s'en trouvent facilités. Le risque de blocage du mécanisme de mise en pendule du frein consécutif à des déformations de la suspension est éliminé.
- 5.15 L'arbre de tous nos modèles est toujours monté à l'intérieur d'une douille oscillante permettant la déter-

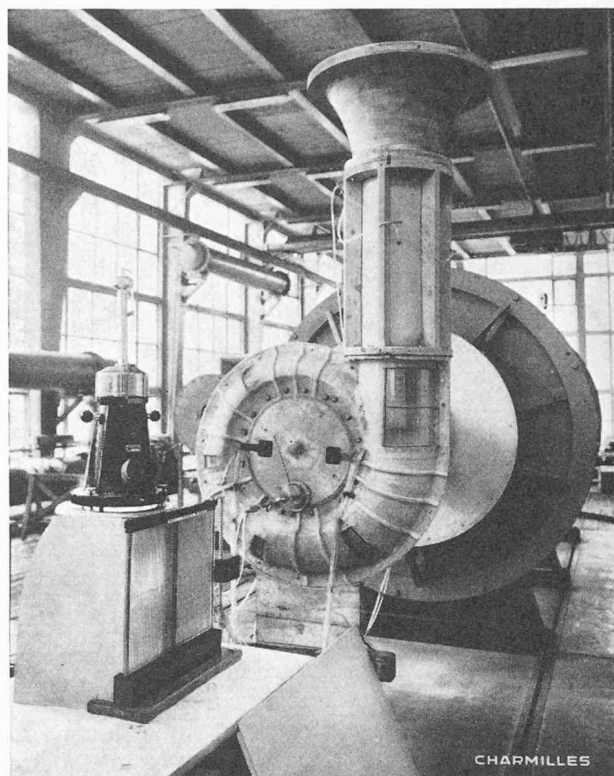


Fig. 11. — Modèle de bache spirale (essais aérodynamiques).

mination rigoureuse des couples de frottements, ce qui élimine toute ambiguïté lors de la pesée du couple-moteur fourni par le modèle.

- 5.16 Les montages sont également facilités par l'usage d'une manchette déformable intercalée entre la sortie de l'aspirateur et le chaudron de restitution.

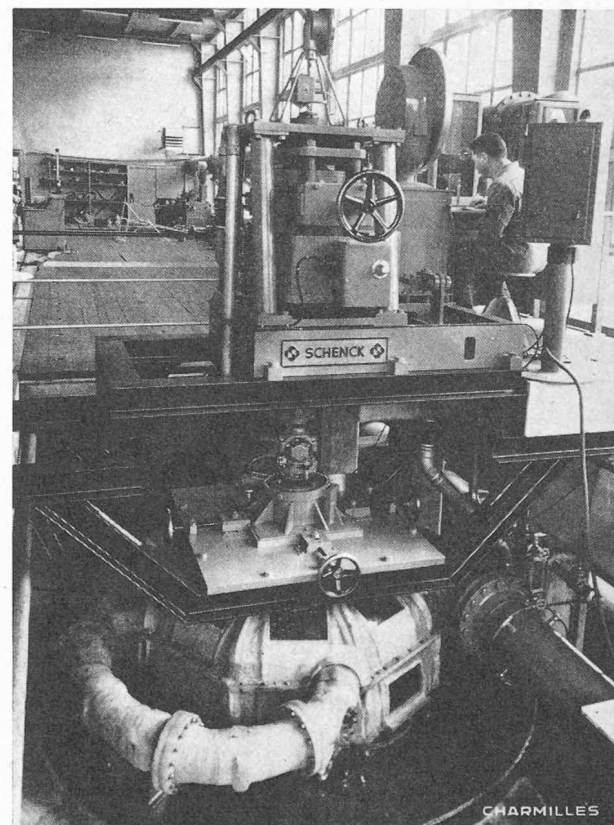


Fig. 12. — Modèle Pelton vertical à 4 jets.

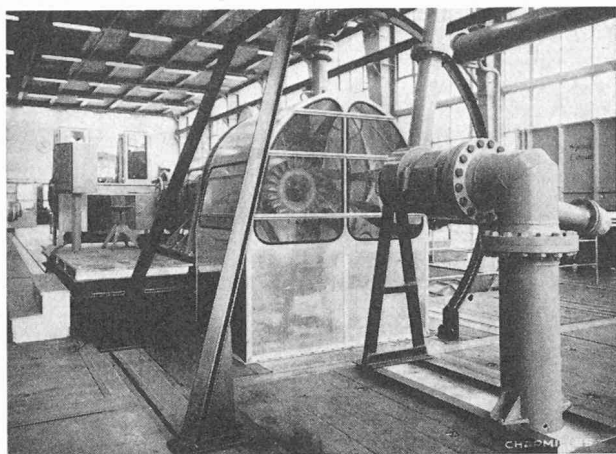


Fig. 13. — Modèle Pelton horizontal à 2 jets.

5.17 La conception générale de nos modèles et de leur suspension sur la plate-forme d'essais dégage complètement ceux-ci dès l'entrée de la bache jusqu'à la sortie de l'aspirateur et autorise de ce fait l'introduction de sondes en vue de la mesure du spectre d'écoulement en n'importe quelle région du modèle.

5.18 Dans la fabrication de nos modèles pour les essais à l'eau ou à l'air, nous faisons un large usage de plastique renforcé par des tissus de verre, ce qui procure divers avantages intéressants, tels que : bonne précision géométrique des formes obtenues, bonnes qualités de surface, légèreté facilitant la manutention, rapidité lors des modifications locales de formes.

5.2 *Plates-formes et modèles du circuit aérodynamique*  
Bien que nous exécutions à l'air certains essais d'information au moyen de modèles complets de turbines, nous tendons en général à n'utiliser le circuit aérodynamique que pour des recherches portant sur les spectres de vitesses ou les répartitions de pression prenant naissance dans certains éléments de nos turbines ou de leurs accessoires. De ce fait, une description de caractère général des modèles destinés aux essais à l'air n'est pas possible. A titre d'exemple, la figure 11 montre une bache spirale spéciale branchée sur la chambre de tranquillisation principale du circuit aérodynamique.

5.3 *Plates-formes et modèles du circuit haute chute*

5.31 La figure 12 montre l'ensemble d'un modèle d'une turbine Pelton à axe vertical à quatre jets. L'on voit que toute la partie principale supportant l'arbre-moteur et sur laquelle le frein est posé constitue un tout indépendant de la pièce supportant la capote, le collecteur et les injecteurs. La roue est montée en porte à faux à l'extrémité inférieure de l'arbre. Le dispositif supportant la douille oscillante est conçu de manière à permettre le déplacement de l'arbre, soit dans le sens axial, soit parallèlement à lui-même selon les deux coordonnées du plan. Ces mouvements ne sont évidemment possibles que grâce à l'usage de l'arbre extensible à double cardan déjà mentionné. Ils facilitent la mise en place rigoureuse de la roue par rapport aux injecteurs.

5.32 Un mécanisme s'inspirant des mêmes idées constructives a également été développé pour les modèles Pelton à axe horizontal. La figure 13 montre un tel modèle, à deux jets, conçu pour varier à volonté l'angle entre les injecteurs et le rayon d'impact sur la roue.

5.33 Nous pensons pouvoir limiter à deux valeurs seulement le nombre des largeurs caractéristiques des

poches utilisées pour confectionner les roues modèles Pelton s'échelonnant sur toute la gamme du nombre de tours spécifique de ces machines et cela même si le nombre de jets est porté jusqu'à six.

5.34 Le tableau IV précise ces valeurs, ainsi que les nombres de Reynolds caractéristiques du fonctionnement de ces roues tels qu'ils peuvent être atteints, compte tenu des chutes fournies par les pompes fonctionnant à pleine puissance. Les chutes qui peuvent être atteintes lors du fonctionnement à un jet sont particulièrement élevées et nous permettent notamment d'étudier l'évolution du rendement maximum en fonction de la chute.

TABEAU IV

*Modèles Pelton normaux*

Largeurs caractéristiques des augets et domaine usuel d'utilisation

Largeur des augets $B$	0,132 m		0,090 m	
Chutes extrêmes $H$	40	300	90	400
$Re = \frac{B \cdot \sqrt{2gH}}{\nu}$	$3,5 \cdot 10^6$	$9,2 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$	$7,2 \cdot 10^6$

5.4 *Plates-formes et modèles du circuit moyenne et basse chute*

5.41 La figure 14 montre un modèle d'essais Francis mis en place sur l'une des plates-formes de la halle supérieure d'essais. Cette vue permet de bien distinguer les divers éléments du berceau de suspension réglable utilisé sur toutes nos plates-formes. On remarque au sol les longerons constitués par des fers profilés sur lesquels les colonnes prennent appui. Ces colonnes peuvent être mises dans une position quelconque sur les longerons. Elles portent des colliers de hauteur ajustable fixés par une pince à cône. Des traverses

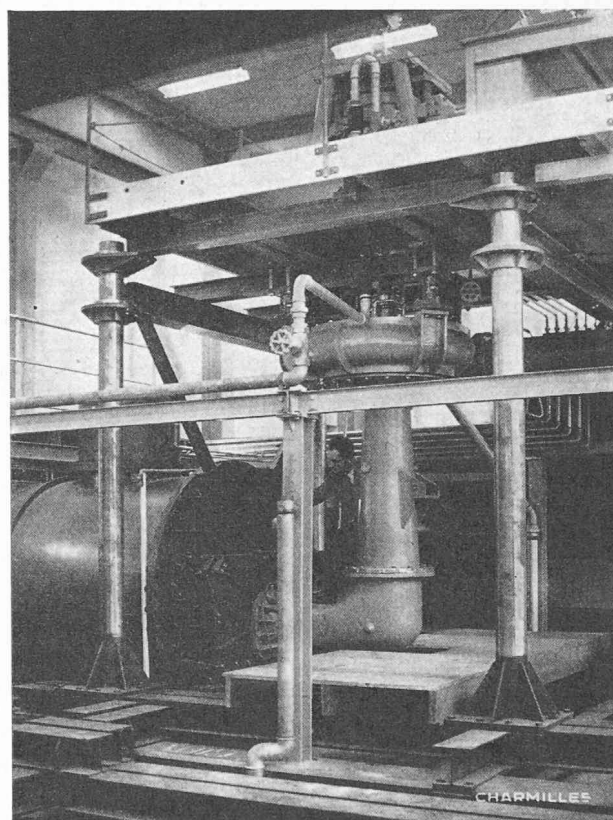


Fig. 14. — Modèle Francis.

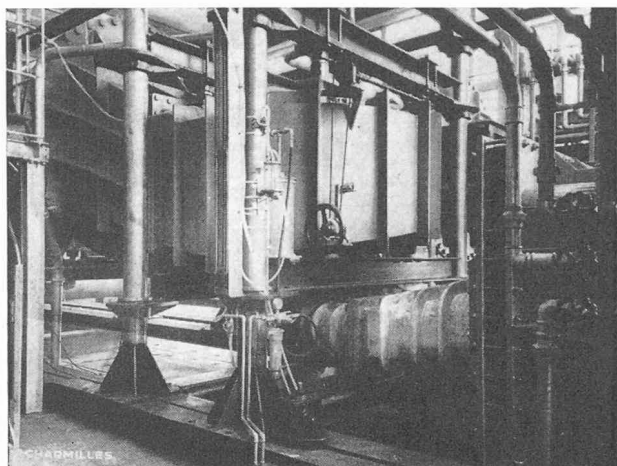


Fig. 15. — Modèle Kaplan.

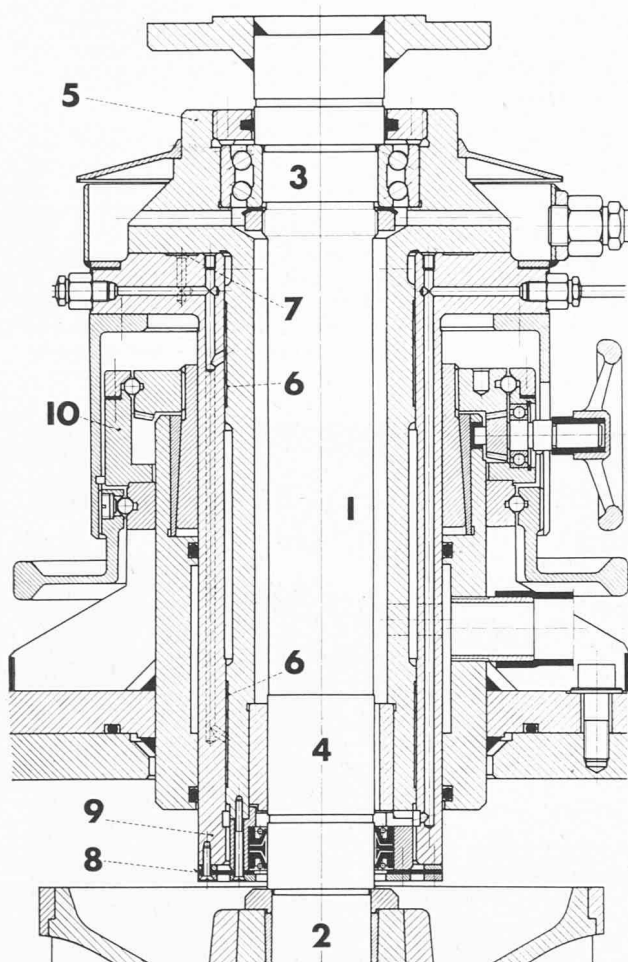


Fig. 16. — Douille oscillante.

1. Arbre. — 2. Roue motrice du modèle. — 3. Palier radial-axial. — 4. Palier hydrodynamique MGF. — 5. Douille oscillante. — 6. Palier hydrostatique. — 7. Butée hydrostatique. — 8. Membrane élastique. — 9. Douille coulissante. — 10. Mécanisme de blocage.

prennent appui sur ces colliers formant un cadre auquel la bache du modèle est suspendue par des vérins qui assurent le réglage fin de sa position dans le sens vertical. Des cornières de triangulation peuvent être ajoutées, si nécessaire, pour raidir l'ensemble.

La figure 15 montre un modèle Kaplan en place sur sa plate-forme.

- 5.42 La figure 16 fournit un ensemble montrant la réalisation de la double suspension de l'arbre de nos modèles les plus récents. Du côté accouplement, cet arbre est tenu sur un palier radial-axial formant butée et du côté roue sur un palier hydrodynamique MGF assurant un jeu radial très faible. A cette même extrémité, deux joints Simmer en opposition évitent, soit la fuite d'huile, soit l'introduction d'eau le long de l'arbre.

Pour permettre la pesée du frottement provoqué par cet ensemble de paliers et de joints lorsque l'arbre est en rotation, le tout est tenu à l'intérieur d'une douille qui est elle-même mise en pendule, pratiquement sans frottement, grâce à l'emploi de paliers et d'une butée hydrostatique fonctionnant sous pression d'huile. L'étanchéité absolue entre le circuit d'huile des paliers hydrostatiques et l'eau du modèle est assurée par une membrane élastique dont la déformation est suffisante pour permettre la pesée du couple de frottement grâce à l'application d'une méthode de zéro.

La pression d'huile qui s'établit dans la butée hydrostatique est fonction de la poussée axiale ; sa mesure permet donc de déterminer cette dernière. La douille fixe portant la douille oscillante est liée au modèle par une pince conique. Il est possible de déplacer axialement la roue en faisant glisser cette douille fixe dans la pince.

- 5.43 La pompe contra-rotative a été prévue pour permettre l'alimentation de modèles Francis échelonnés sur toute la gamme de nombres de tours spécifiques usuels pour ce type de machines et dont la roue possède un diamètre de sortie de 400 mm. La même pompe est adaptée aux essais de toute la gamme des modèles Kaplan possédant une roue de 500 mm de diamètre. Ces dimensions ont été adoptées pour la réalisation des modèles normaux fabriqués depuis la mise en service de ce nouveau laboratoire.

- 5.44 Nous donnons sous forme du tableau V les domaines des nombres de Reynolds et des nombres de Froude dans lesquels s'effectuent, en règle générale, les essais entrepris en utilisant nos modèles normaux.

TABLEAU V

Modèles Francis et Kaplan normaux

Diamètres caractéristiques des roues et domaine usuel d'utilisation

Diamètre caractéristique . . . . .	Francis $D_s = 0,4 \text{ m}$		Kaplan $D_1 = 0,5 \text{ m}$	
Chutes extrêmes . .	1,25	20,0	1	10
$Re = \frac{D \cdot \sqrt{2gH}}{v}$	$2,5 \cdot 10^6$	$7,2 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^6$
$Fr^2 = \frac{H}{D}$	5	50	2	20

N. B. : L'équipement disponible permet, si nécessaire, de pousser les chutes au-delà des valeurs indiquées dans ce tableau.

(A suivre)