

Henry Favre (1901-1966) (fin)

Autor(en): **Hager, Willi H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **118 (1992)**

Heft 12

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77770>

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.

Henry Favre (1901-1966)

(Fin)¹

Par Willi H. Hager,
Dr ès sc. techn.
Ing. civil dipl. EPFZ
Laboratoire
de recherches
hydrauliques,
hydrologiques et
glaciologiques (VAW)
Centre EPFZ,
8092 Zurich

Recherches personnelles

C'est en 1933 que Favre écrit «Courants liquides», le premier ouvrage qui attire l'attention sur lui. Comme beaucoup d'autres études expérimentales de cette époque, ce livre permet de faire la transition entre la théorie de l'hydromécanique et l'hydraulique, axée sur la pratique. On peut le considérer comme un approfondissement des travaux de Rehbock, Boess et Koch-Carstanjen. C'est l'ingénieur qui s'exprime lorsque Favre écrit: «Or, ce que le praticien désire avant tout, c'est une solution d'ensemble, rapide, quantitative des problèmes qu'il cherche à résoudre.»

Favre a le mérite d'étudier le premier les courants à écoulement localement variable; il influencera ce domaine pendant des dizaines d'années. Dans cette étude, il applique systématiquement le théorème de la quantité de mouvement, ce qui lui donne le gradient hydraulique suivant:

$$(2) \quad \frac{dz}{dx} = -J_f - \frac{V^2}{g} \left[\frac{d\alpha}{dx} + \left(\alpha - \frac{u^*}{V} \right) \frac{1}{Q} \frac{dQ}{dx} + \frac{a}{V} \frac{dV}{dx} \right]$$

où J_f représente la perte de charge due au frottement (Favre introduit la formule de Strickler), α le coefficient de quantité de mouvement, V la vitesse moyenne de l'écoulement dans le canal et u^* la composante de la vitesse d'adduction latérale ou de prélèvement latéral en direction de l'axe du canal. Un bilan énergétique lui permet de déduire une relation encore plus précise:

$$(3) \quad \frac{dH}{dx} = -J_f - \frac{V^2}{2g} \left[\frac{d\alpha}{dx} - 2 \left(\alpha - \frac{u^*}{V} \right) \frac{1}{Q} \frac{dQ}{dx} \right]$$

Cette relation peut aussi s'écrire

$$(4) \quad \frac{dH}{dx} = J_e = -J_f - J_\alpha - J_Q$$

et démontre que la pente d'énergie J_e est égale à la somme des pertes de charge dues au frottement de la paroi J_f , de la dissipation de l'énergie provoquée par une répartition de vitesse non uniforme J_α et de la perte d'énergie J_Q due à un débit localement variable. Le premier terme, J_f , représente la perte normale provoquée par la rugosité de la paroi (ainsi que par la viscosité dans un écoulement non rugueux et turbulent).

Le deuxième terme n'entre en ligne de compte qu'en cas de variation locale de la répartition de la vitesse. Si α décroît, ce terme exprime la perte subie par rapport à la charge totale H . Inversement, si α croît, il indique la part gagnée. Favre parvient à démontrer que dans un écoulement à variation permanente, $d\alpha$ doit toujours être de signe négatif. Ainsi, chaque perturbation de l'écoulement est neutralisée après une certaine distance d'écoulement, mais elle occasionne une perte d'énergie (J_α). Grâce à cette démonstration, Favre définit un important critère de stabilité, critère que l'on considère aujourd'hui comme allant de soi.

Quant au troisième terme, il est utilisé pour des écoulements comme ceux des déversoirs latéraux ($dQ/dx < 0$) ou ceux des canaux collecteurs ($dQ/dx > 0$). Selon le signe des termes dQ/dx et $(\alpha - u^*/V)$, le terme global J_Q est supérieur ou inférieur à zéro, et représente donc une perte ou un gain dans le flux d'énergie total. On sait par expérience que dans une situation de mouvement non forcé, $(\alpha - u^*/V)$ est ≥ 0 . Il s'ensuit que les écoulements à apport latéral occasionnent habituellement une perte supplémentaire, et les écoulements à prélèvement latéral un gain supplémentaire J_Q . Si, en règle générale, les termes J_α et J_Q ne sont pas pris en compte, on ne peut réellement les ignorer que dans les cas où la répartition de la vitesse est uniforme et le débit constant. Par la suite, Favre applique l'équation (2) au canal collecteur à apport latéral vertical ($u^* = 0$) ainsi qu'aux déversoirs latéraux prismatiques. Dans un cas comme dans l'autre, on admet que α est une constante égale à 1. L'équation simplifiée est ensuite réexprimée

en termes de différences finies et résolue selon une condition limite donnée. Les résultats obtenus sont vérifiés de façon expérimentale par Favre lui-même et par des données du Laboratoire de recherches hydrauliques de Brunn (CSSR) à l'aide de modèles; ils sont satisfaisants.

Pour les canaux à débit décroissant, Favre constate que, du point de vue de l'ingénieur, le terme $(\alpha - u^*/V)$ est à peu près égal à zéro. Comme dans ce cas aussi l'influence de la répartition de la vitesse est minime, on obtient, d'après l'équation (3), $dH/dx = -J_f$. Ainsi, hormis les frottements de la paroi, il n'apparaît aucune perte supplémentaire. Cette constatation permet à Favre de contourner le problème que posent les inconnues α et u^* en fonction de la coordonnée spatiale x , et de trouver une solution qui répond aux besoins de l'ingénieur. La vérification des mesures effectuées par le «Bureau of Reclamation» sur le canal collecteur du barrage Boulder aux Etats-Unis représente sans aucun doute une performance étonnante du jeune laboratoire de recherches. Non seulement ce mandat vient confirmer la qualité du travail tant du directeur Meyer-Peter que du chercheur scientifique Favre, mais il représente aussi la consécration de leur savoir. Pourtant cette étude, publiée dans la revue *Engineering News-Record* sous un titre flatteur («Analysis of Boulder Dam Spillways made by Swiss Laboratory»), n'est pas sans susciter quelques critiques, car si Meyer-Peter et Favre prouvent que les calculs et les expériences effectuées le long du canal collecteur concordent, M. McConaughy (1935), lui, met en doute le résultat de ces analyses. Le désaccord porte sur l'écoulement dans le tunnel en aval du canal collecteur. Ce tunnel forme un angle d'inclinaison de 50°, d'où sa sensibilité aux perturbations du débit. Selon McConaughy, le canal collecteur doit donc également servir de bassin dissipateur intermédiaire. Afin d'obtenir un débit en aval régulier, il propose l'installation d'un seuil transversal à l'extrémité du canal collecteur. McConaughy pense qu'ainsi, l'eau coulera normalement dans le tunnel. Il n'y a donc plus aucune rai-

¹Voir *Ingénieurs et architectes suisses*, N° 10 du 29 avril 1992, p. 200-203.

son d'installer d'autres éléments de dissipation au fond. En même temps, une section du tunnel suffisante permet d'éviter la transition d'un écoulement à surface libre à un écoulement sous pression, générateur de phénomènes vibratoires et pulsatoires. Dans leurs conclusions, Meyer-Peter et Favre soulignent que leur travail consiste à vérifier, au moyen de modèles, l'exactitude d'un calcul monodimensionnel. Ils précisent n'avoir reçu aucune information détaillée sur le tunnel en aval de la part des responsables du projet.

En 1937, Henry Favre se consacre à l'étude des déversoirs latéraux, à laquelle s'adonne également De Marchi — le maître de l'hydraulique en Italie. Si ce dernier cherche une solution analytique en procédant par simplification, Favre, lui, compare le résultat de ses calculs avec les résultats d'expériences très précises faites sur des modèles (Favre et Braendle, 1937; Braendle 1903-1944, comp. *Bulletin technique de la Suisse romande*).

Ces expériences viennent d'abord confirmer le résultat de ses calculs, selon lesquels la profondeur de l'eau augmente dans le sens de l'écoulement. Dans un deuxième temps, elles lui permettent de constater que la perturbation superficielle est moindre dans le déversoir latéral que dans le canal collecteur. Cet état de faits est imputable au mécanisme de dissipation et vient corroborer indirectement

l'hypothèse selon laquelle $(\alpha - u^*/V) = 0$. En effet, les calculs simplifiés correspondent exactement aux expériences. En outre, Favre constate qu'il est même possible de faire abstraction des effets du frottement. Par approximations, il peut ainsi calculer les données relatives à un déversoir latéral en supposant qu'il y a une charge totale constante. Il relève que l'effet de la charge d'un déversoir à arrivée d'eau verticale est identique à celui d'un déversoir latéral, mais cela n'est vrai que pour de petits nombres de Froude (dans les expériences menées par Favre et Braendle, le nombre de Froude pour l'arrivée d'eau est toujours inférieur à 0,37). Des recherches récentes ont démontré l'importance de cet effet en cas d'arrivée d'eau rapide.

Le remarquable ouvrage de Favre sur la jonction de conduites forcées (Favre, 1937), met un terme à ses recherches sur les écoulements à débits variables. Les dérivations dans le canal à surface libre étant désormais connues, Favre n'a plus qu'à reporter les résultats obtenus sur les conduites forcées. Pour ce faire, l'ingénieur pose une nouvelle hypothèse importante sur les pressions qui s'exercent sur l'arrivée d'eau ainsi que sur la branche latérale. Grâce à la formule de Borda-Carnot, il démontre que les deux pressions en question doivent être pratiquement identiques. Calculer les coefficients des pertes devient en-

suite un jeu d'enfant, puisqu'ils ne dépendent plus alors que de la configuration du canal, de l'angle de jonction et du débit. Ici aussi, la comparaison avec les valeurs de mesure se révèle excellente, et Favre peut enfin prouver qu'en se servant de lois physiques — combinées à des hypothèses intuitives et pertinentes — il est possible de donner une description excellente mais simple de phénomènes relativement complexes.

«Ondes de translation», la thèse d'habilitation que Favre présente à l'EPFZ, (Favre 1935a), est certainement un des ouvrages principaux de l'ingénieur. Il s'agit, à l'aide des équations de De Saint-Venant (1871), de calculer les écoulements non stationnaires dans le canal, c'est-à-dire les courants à surface libre à variation permanente et dépendant du temps. Si x et t représentent les coordonnées de l'espace et du temps, on peut déduire, sur la base d'un bilan de la masse et d'un bilan des quantités de mouvement:

$$(5) \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial (VA)}{\partial x} = 0$$

$$(6) \quad \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{V^2}{2g} \right] + \frac{\partial h}{\partial x} = J_s - J_f$$

où A représente l'aire de la section, V la vitesse moyenne, g l'accélération gravitationnelle, h la profondeur de l'eau, J_s l'inclinaison du fond et J_f la perte de charge due au frottement. Sont généralement indiquées la condition initiale (courbe de remous), la configuration géométrique du canal, les rugosités ainsi qu'une condition limite, par exemple sous forme d'hydrogramme $Q(x_0, t)$. Il s'agit ensuite d'étudier l'évolution dans le temps des fonctions $h(x, t)$ et $V(x, t)$ à l'aide des équations (5, 6). Favre transforme l'équation différentielle, illustrant le cas où le débit change dans les sections des canaux d'apport ou de prélèvement, en un système différentiel et examine des conditions aux limites spécifiques, telles que la réflexion des ondes, l'embranchement des canaux, le croisement des ondes et les niveaux du fond. Les résultats théoriques, qui paraissent très difficiles au

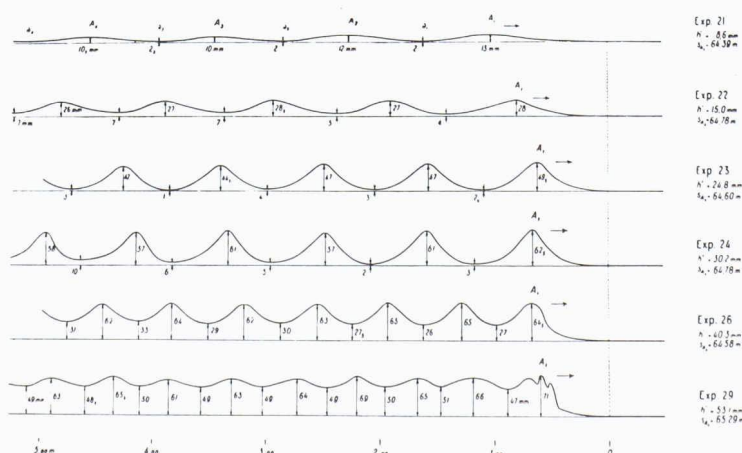


Fig. 48 (3^{me} série. Exp. N^{os} 21, 22, 23, 24, 26 et 29). — Ondes positives d'amont: $i = 0$, $U_0 = 0$, $H_0 = 1,075$ dm., hauteur moyenne h' de la tête variable. Profils en long des ondulations stables constituant la tête de l'intumescence. s_{A_i} = distance de la crête de la première ondulation à l'extrémité du canal où l'on produisait les intumescences (le rapport des échelles verticale et horizontale du dessin est égal à 5).

Fig. 4. — Profils en long de l'onde de translation positive

vu de la complexité des schémas différentiels, sont finalement vérifiés au moyen d'expériences. Le canal d'essai est de forme rectangulaire et mesure plus de 70 m de long et 0,42 m de large. L'inclinaison du fond est soit de 0%, soit de 0,292%.

Le comportement dans le temps du niveau est observé simultanément en six points différents. Par la suite, Favre décrira cinq séries d'essais dans le détail. Il s'agit de:

- la brusque élévation du débit, l'eau d'aval restant en repos;
- l'étude d'une onde de translation positive;
- la brusque réduction de l'apport, l'écoulement dans le canal restant stationnaire par la suite;
- l'étude de la réflexion des ondes;
- l'étude des ondes de translation positives à forme sinusoïdale.

Dans ses conclusions générales, Favre indique que ses calculs correspondent exactement aux expériences réalisées, sans oublier de souligner la nature constamment changeante des ondes, c'est-à-dire leur hauteur relativement faible.

L'onde de translation positive a fait l'objet d'une étude toute particulière. Dans la figure 4, H représente la profondeur non perturbée de l'eau, h' la hauteur moyenne de l'onde de translation positive, h^*_{max} la hauteur d'onde et e la longueur d'onde. Il faut noter la différence qu'il existe entre le point où l'eau entre (Exp. 55), celui où la hauteur d'onde est à son maximum (Exp. 57) et celui où les ondes s'aplatissent à la suite de phénomènes de dissipation. Une recherche systématique permet à Favre de tirer les conclusions suivantes:

- au début de l'intumescence, les ondes sont presque identiques, la première n'étant pas forcément la plus haute;
- lorsque les ondes sont petites, elles sont presque sinusoïdales, alors que pour $0,08 < h'/H < 0,28$, elles sont cycloïdales. Les valeurs minimales des ondes ne sont que faiblement supérieures à la hauteur des ondes initiales;
- lorsque $h'/H > 0,28$, la première onde déferle, et la valeur minimale des ondes se situe alors bien au-

delà de la hauteur d'onde initiale;

- la figure 4 montre le rapport qui existe entre la hauteur maximale des ondes h^*_{max} et la hauteur moyenne de l'onde de translation h' , en fonction de h'/H - bien que Favre connaisse bien les travaux de Boussinesq, il n'identifie pas encore la partie avant d'une onde comme étant une onde solitaire;
- la longueur relative de l'onde e/h' diminue de façon exponentielle au fur et à mesure que le paramètre dynamique h'/H augmente (fig. 5).

Ce n'est que près de vingt années plus tard que Benjamin et Lighthill (1954) parviendront à identifier l'onde de Favre comme étant une onde cnoïdale. Rortweg et de Vries avaient d'ailleurs déjà présumé l'existence d'une telle onde en 1894.

Favre étudie les mouvements à l'intérieur de conduites forcées provenant de modifications de l'écoulement - ce qu'on appelle les coups de bélier - dès 1938 (Favre 1938a). Dans le cadre de ses recherches, il analyse le rajeunissement linéaire des conduites, très fréquent dans les centrales à haute chute. Par la suite, Favre (1942a) se consacre aux phénomènes de résonance, puis en 1945, à celui de l'ouverture brusque. Ces études peuvent être considérées comme assurant la transition entre l'hydraulique et la mécanique, puisqu'elles consistent en la résolution d'équations aux différentielles partielles. Bien sûr, l'avènement de l'informatique et des modèles numériques ont quelque peu diminué l'influence de ces travaux sur l'hydraulique moderne. Par la suite, son ami Charles Jaeger (1938) s'étant spécialisé dans le domaine des ondes, Favre s'adonnera exclusivement à la mécanique.

Le charisme de Favre

Après avoir obtenu son doctorat ès sciences techniques en 1929, Favre fait un grand pas dans sa carrière professionnelle lorsqu'il reçoit le titre de privat-docent à l'EPFZ. Le 6 juin 1936, il donne sa leçon inaugurale (*Bulletin technique de la Suisse romande*, 1936) sur «Le problème des vagues» (Favre, 1936). Pendant le semestre d'hiver qui suit, ses cours, donnés en

français, traitent des essais sur modèles; ceux du semestre d'été portent sur les courants non stationnaires (*Bulletin technique de la Suisse romande*, 1935), notamment sur les deux thèmes de prédilection de Favre, les coups de bélier et les mouvements de l'onde de translation positive.

Sa nomination au poste de professeur de mécanique technique surprend tout le monde (*Bulletin technique de la Suisse romande*, 1938), mais elle a une double explication. D'une part, le génie mathématique de Favre est plus adapté à la mécanique générale qu'à des applications spécifiques en hydraulique uniquement. D'autre part, il est souhaitable qu'un professeur enseignant cette branche essentielle dans la formation d'ingénieur soit également ingénieur, et non mathématicien. Cette nomination laisse malheureusement le poste de directeur adjoint du Laboratoire de recherches hydrauliques vacant. A la suite du rattachement de l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux à la section nouvellement créée de Mécanique des terres, l'organisation du Laboratoire de recherches hydrauliques se trouve modifiée (*Bulletin technique de la Suisse romande*, 1938b). En lieu et place d'un adjoint, sont nommés deux chefs de section: R. Müller pour les travaux hydrauliques (il succède ainsi à Favre) et R. Haefeli pour la mécanique des terres.

Le 23^e cahier du *Bulletin technique de la Suisse romande* (1966, 84^e année) devait célébrer l'anniversaire de Favre; il fera malheureusement sa nécrologie. Le professeur Fritz Stüssi y retrace les quarante-sept années que

Publications

L'espace nous manque malheureusement pour donner ici ne fût-ce que la liste comprenant les seules publications qui correspondent aux travaux de Favre dans le domaine de l'hydraulique, c'est-à-dire ceux qu'il a effectués jusqu'en 1938. Nous en enverrons volontiers une copie aux lecteurs qui nous en feront la demande accompagnée d'une enveloppe B4 adressée à leur nom et affranchie. Une bibliographie complète peut être demandée à l'auteur.

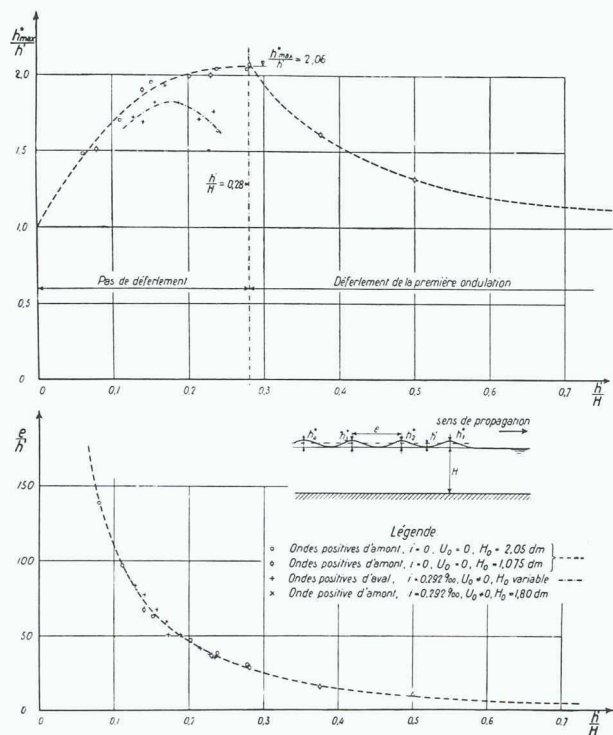


Fig. 5. — Hauteur maximale h_{max}^*/h' et longueur maximale e/h' de l'onde de translation positive par rapport à la hauteur relative de l'onde h/H (Favre, 1935a)

Favre et lui ont vécu ensemble, d'abord comme étudiants, puis docteurs, privat-docents, professeurs, et enfin, recteurs de «leur poly». Mais le portrait de Favre resterait incomplet si l'on omettait d'évoquer son côté humaniste. En effet, non seulement il écrit pour ses étudiants «Mécanique technique», un ouvrage théorique en trois volumes aussi remarquable sur le plan pédagogique que sur le plan technique, mais il s'attache encore — à nouveau en collaboration avec Stüssi — à retracer l'histoire des sciences techniques. C'est ainsi qu'ils publient ensemble un livre sur les travaux complets de l'homme qu'ils admirent tant, Leonard Euler. Par ailleurs, Favre participe activement à la rédaction d'un livre consacré à l'œuvre scientifique et technique du général Dufour. A ses heures «perdues» du dimanche matin, après s'être occupé de sa correspondance privée, Favre aime lire de la littérature française ou des ouvrages sur l'Histoire de France.

H. Ziegler (1966), l'un de ses collègues de langue allemande, disait qu'il avait rarement rencontré un hom-

me aussi aimable, aussi correct et aussi déterminé que le professeur Favre. Selon le professeur Ziegler, Favre faisait preuve d'une réserve prudente, parce qu'il ne se pardonnait pas le moindre faux pas. Il parlait souvent avec admiration de son compatriote Arthur Rohn, une personnalité qui avait profondément marqué sa vie, et plus encore sa carrière professionnelle.

On dit de Favre qu'il était correct «jusqu'à l'extrême», surtout en cas de divergences d'opinion. Ainsi, on n'eût jamais à lui reprocher la moindre attitude déloyale, même durant les années soixante, période difficile où chacun devait se battre pour maintenir l'enseignement de sa spécialité à l'EPF. Favre s'est toujours montré correct également envers ses étudiants. En effet, il les entourait bien, ce qui ne l'empêchait pas d'exiger beaucoup d'eux. A la fin de chaque semestre, il tenait à rencontrer personnellement chaque étudiant afin de s'entretenir avec lui du travail fourni pendant cette période. Certes, cette habitude lui coûtait beaucoup de temps, de courage et de patience, mais elle avait le mérite de montrer aux étudiants que leur professeur s'intéressait à eux. Henry Favre abandonne l'enseignement en mars 1966 (*Bulletin technique de la Suisse romande*, 1965), un semestre avant sa retraite. Trop faible, il ne peut donner sa leçon d'adieu. Il meurt le 29 mai 1966, une semaine avant son soixante-cinquième anniversaire. Avec lui, c'est un grand spécialiste de la mécanique et

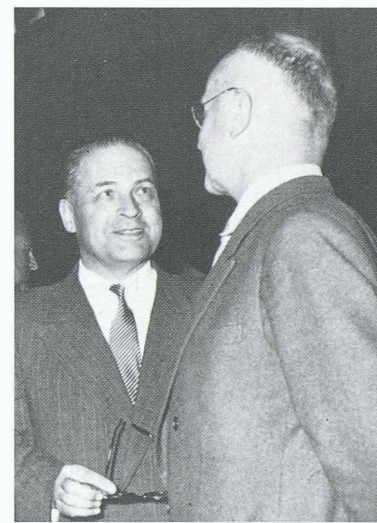


Fig. 6. — Henry Favre recteur de l'EPFZ avec le «Stapi» (Stadtpräsident = président de la ville) E. Landolt lors d'une réception

un éminent hydraulicien de notre temps qui s'est éteint. La nécrologie parue dans le *Bulletin technique de la Suisse romande* dit de lui: «L'amitié d'Henry Favre était d'un grand prix, car il ne la vilipendait pas, mais ceux qui l'avaient une fois reçue savaient qu'elle leur serait fidèlement conservée.»

Remerciements

C'est grâce à l'aide que m'ont apportée des proches, des étudiants et des collègues du professeur Favre que j'ai pu écrire cet article. Je remercie donc vivement son fils, le professeur Renaud Favre (EPFL), son successeur, le professeur W. Schumann, ainsi que le professeur D. Vischer (VAW). Ma gratitude va également à M. E. Brugger, qui a bien voulu évoquer ses souvenirs.

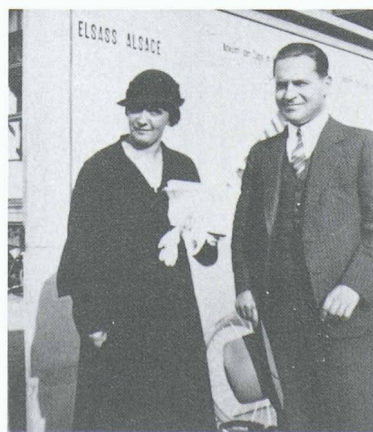


Fig. 7. — Henry Favre et son épouse