

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 74 (1948)
Heft: 25

Artikel: Caractéristiques des usines hydro-électriques suédoises
Autor: Gruner, Edouard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-56045>

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: 03.04.2026

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

toutes ces lignes sont construites avec une nappe simple de conducteurs sur un plan horizontal. Les pylônes sont en général en bois avec traverses portantes métalliques; ce système de construction a aussi été employé chez nous en différents endroits pendant la guerre.

L'équipement hydro-électrique de la Suède à ce jour comporte mille quatre cents centrales avec puissance supérieure à 75 kW tandis qu'en Suisse nous avons construit deux cent quatre-vingt-trois centrales d'une puissance supérieure à 450 kW. L'aménagement-type pour la Suède consiste à turbiner un gros débit sur 20 à 100 m de chute (fig. 2); cette solution peut, dans une certaine mesure, se comparer à celle réalisée à Lavey, Verbois, Mühleberg et Wettingen avec cette différence qu'en Suède les débits sont beaucoup plus réguliers grâce aux facilités de régularisation que donnent les nombreux lacs sur le cours supérieur des rivières. En effet, le débit aménagé, ou débit de base, est atteint pendant neuf mois de l'année si ce n'est plus longtemps, alors qu'il n'est couvert que pendant cinq mois dans nos installations les plus modernes. Les fleuves suédois sont comparables comme importance au Rhône, à l'Aar, à la Reuss ou à la Limmat. Les débits aménagés dans les centrales récemment construites sur les fleuves suédois varient de 150 à 300 m³/sec, exceptionnellement 500 m³/sec lorsqu'il y a liaison avec un bassin d'accumulation.

Les installations récentes en Suède sont presque toutes de grandes dimensions. Par exemple l'usine de Krångede, en Suède centrale, pour une puissance installée de 210 000 kW produit annuellement 1,5 milliard de kWh et celle, actuellement en construction, de Hårspranget, au nord du cercle polaire, aura une puissance installée de 300 000 kW et produira annuellement 1,75 milliard de kWh. A part ces grandes centrales sur les rivières importantes, les Suédois ont également construit sur les cours d'eaux secondaires des usines de pointe, quelques fois combinées avec des stations de pompage. L'une de ces usines dispose de 196 m de chute, ce qui est le maximum pour la Suède, alors qu'en Suisse nous atteignons jusqu'à 1700 m environ par exemple pour la Dixence en Valais.

Les entreprises hydro-électriques suédoises bénéficient de conditions économiques extraordinairement favorables, grâce aux chutes importantes dont disposent les centrales sur les fleuves, aux débits facilement régularisés, aux fondations simples sur un rocher sain en surface ou à faible profondeur. On se rend facilement compte, en examinant la figure 2, qu'une augmentation de la chute améliore le rendement économique de l'installation. En effet, les frais supplémentaires qui résultent de la modification de la galerie-puits d'aménée et de la galerie du canal de fuite ainsi que l'installation de groupes plus puissants sont peu importants par rapport à l'augmentation de la production de la centrale.

L'étendue du pays et la faible densité de la population ont une grande influence sur le coût des aménagements. La construction des ouvrages peut s'étendre en surface et l'acquisition des terrains nécessaires ne donne pas lieu à des frais importants pour expropriations, indemnités de cultures, etc. d'une part, et d'autre part, n'entraîne pas à des dépenses pour travaux supplémentaires qui pourraient être exigés selon des prescriptions d'intérêt public comme par exemple des routes, des ponts, des drainages et pour la navigation fluviale.

Il résulte d'un rapport édité en commun par les services de centrales électriques, ainsi que des renseignements communiqués au cours du voyage d'étude, que le coût de construction des centrales actuellement en cours de travaux en

Suède centrale se situe entre 400 jusqu'à 500 couronnes le kW installé compte tenu de l'augmentation de 50 % intervenue sur les prix de construction du fait de la guerre. Cela correspond à 500 à 600 francs suisses alors qu'en Suisse avec une augmentation des prix de 100 % il faut compter avec 2000 francs par kW si ce n'est plus.

Les consommateurs de courant ne bénéficient pas entièrement des avantages d'une production à bon marché aux bornes de la centrale du fait des transports à longue distance. Malgré cela la situation avantageuse de la Suède peut dans l'ensemble se maintenir. L'économie publique de la Suède dispose donc, avec la production des centrales construites après-guerre, d'énergie électrique à bien meilleur compte que la Suisse pour lutter avec la concurrence internationale.

Pour le moment les prix de vente de l'énergie contrôlés par l'Etat depuis 1939 sont en rapport avec ceux en vigueur en Suisse, cependant nous devons nous attendre à voir nos prix moyens augmenter dans de fortes proportions au fur et à mesure que se construisent de nouvelles centrales du fait des conditions défavorables d'exécution et des augmentations dues à la guerre. Nous avons donc toutes les raisons de procéder dans ce domaine avec prudence afin de ménager nos possibilités de faire concurrence sur le marché international; ce qui revient à dire que nous ne devons construire que des centrales réalisables dans des conditions normales.

Les participants suisses à ce voyage d'études, parmi lesquels se rencontraient quelques Suisses habitant l'étranger, se doivent d'attirer l'attention des spécialistes en la matière, comme de l'homme de la rue de notre pays, sur le fait que l'augmentation du prix de revient de production de l'énergie électrique dans les nouvelles centrales n'est pas un élément négligeable — bien que cette illusion soit très répandue — même s'il ne s'agit que d'un centime en plus ou en moins.

Caractéristiques des usines hydro-électriques suédoises

par Edouard GRUNER, ingénieur, Bâle

1. Le style architectural

La construction des usines hydro-électriques est une des plus récentes conquêtes du génie civil. Son développement est parallèle à celui de l'électricité, et ce n'est qu'au siècle dernier que la roue à eau, en cédant le pas à la turbine moderne, marqua le début d'une ère nouvelle et magnifique dans l'utilisation des forces hydrauliques.

Comparée aux précédentes, cette période est encore brève; aussi la rapide évolution des styles dans ce domaine de la construction et la variété des formules adoptées a-t-elle bien de quoi étonner.

C'est ainsi que le voyage d'études organisé à travers la Suède en marge du troisième Congrès des grands Barrages a fourni en quelques jours aux participants la matière d'abondantes observations.

Ce qui nous a d'abord frappés, c'est la manière dont le caractère particulier de la terre suédoise a engendré ses usines hydro-électriques, comme aussi les progrès audacieux réalisés par nos collègues scandinaves dans la mise en valeur de leurs richesses hydrauliques naturelles.

Les constructions satisfont de diverses manières aux exigences de la vie. L'architecte se reconnaît au choix de la forme et de la matière, aussi longtemps qu'il demeure

en Laponie, où le premier projet, datant de 1918, prévoyait un barrage-voûte en béton. La diorite formait une assise des plus stable et l'on pouvait même envisager la construction d'un type quelconque de barrage évidé. Cependant, à la suite des expériences de ces dernières années, on donna la préférence à une digue en enrochements actuellement en chantier. Le volume de matériaux nécessaire, représentant 1 600 000 m³, est fourni par les fouilles de l'usine souterraine et de la galerie d'amenée. La hauteur de l'ouvrage atteint 50 m, sa longueur 1350 m; l'inclinaison du parement amont est 1 : 1,75, celle du parement aval 1 : 1,25. Le noyau étanche de la digue est formé d'une couche d'argile large de 4 m, et d'une paroi en béton armé, dont l'épaisseur varie de 40 à 80 cm. L'écran étanche est prolongé dans le roc au moyen d'un voile d'injections. A l'intérieur de la digue, du côté aval de l'écran, sont aménagés des galeries et puits de contrôle construits à l'aide d'éléments préfabriqués. A Hölleforsen également, la construction d'une digue a été entreprise par la Direction nationale des Forces hydrauliques. Au contraire de la précédente, elle est faite de gravier et repose sur un terrain d'alluvions. Les matériaux sont prélevés dans le lit aval de la rivière. La hauteur atteint jusqu'à 40 m; l'inclinaison du parement amont est 1 : 3, celle du parement aval 1 : 2. Le noyau étanche est identique à celui de Hårspranget. Sa fondation traverse la masse d'alluvions pour atteindre les couches imperméables du sous-sol. Son pied est constitué par un bloc de béton en gradins, large de 1,50 m. L'écran étanche en béton armé, dont l'épaisseur varie de 25 à 50 cm, repose sur ce socle par l'intermédiaire d'une articulation.

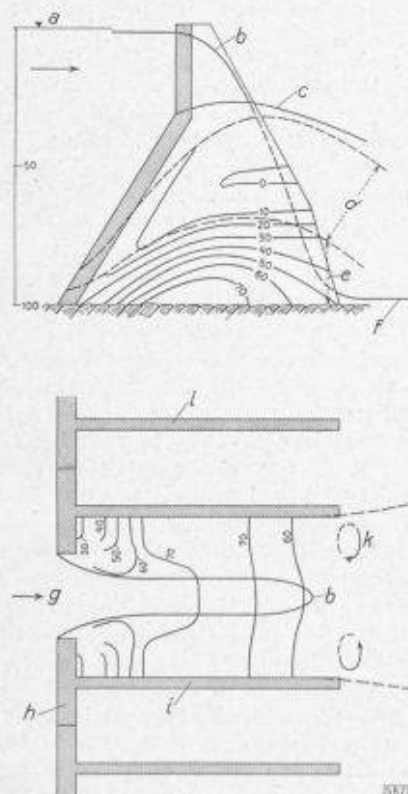


Fig. 5. — Résultats d'un essai sur modèle de l'écoulement dans une brèche de barrage. Courbes d'égale pression exprimée en pour-cent de la pression correspondant à la retenue maximum. — a. Pression statique. — b. Jet dans la partie centrale. — c. Jet dans les parties latérales de la brèche. — d. Zone de remous et d'émulsion. — e. Eau non émulsionnée. — f. Niveau aval sur les côtés (et entre les contreforts). — g. Brèche en cas de guerre. — h. Dalle en béton armé. — i. Contreforts non armés. — k. Sens de rotation des tourbillons latéraux.

Dans le choix d'un type de barrage, les frais de construction et d'entretien sont avant tout déterminants. D'après les calculs suédois, les premiers sont entre eux, pour les barrages massifs, les barrages évidés et les digues hautes de 20 m, dans les rapports de 4 à 3 à 2, avec accroissement progressif lorsque la hauteur augmente. Les seconds s'élèvent annuellement à 1,5 %, respectivement 1,3 % et 1,0 % des frais d'établissement. D'autres avantages de la digue résident dans la lenteur du vieillissement, la simplicité des réparations et des surélévations, ainsi que dans l'économie de ciment. Par contre, l'établissement des organes de décharge et même des centrales se heurte à de nombreuses difficultés. A Hölleforsen, celles-ci ont été surmontées judicieusement.

Ce n'est que lors de la deuxième guerre mondiale que l'on a eu l'occasion de juger du comportement des barrages en temps de guerre. Le Comité suédois des Grands Barrages a exprimé son opinion à ce sujet dans différents rapports. Son attention se concentre sur la possibilité de les camoufler en prévision des attaques aériennes et sur leur capacité de résistance aux explosifs. La meilleure solution au premier problème est la digue en terre, car il est facile d'en boiser les pentes. Sur la seconde question, on ne dispose, en fait, que d'expériences sur les barrages-poids. C'est pourquoi le professeur Hellström a entrepris des recherches sur un modèle réduit à 1 : 50 de barrage à lamelles. Il a mesuré les pressions latérales et verticales durant le passage de l'eau à travers les brèches. Par suite de la chute de la ligne d'énergie et du mélange de l'eau à l'air, la pression sur les piliers est tombée aux deux tiers de la hauteur statique (fig. 5). Une explosion cause des dommages quel que soit le type de mur. Les ouvrages massifs et les ouvrages évidés à décharge directe laissent entrevoir des conclusions analogues. Les types plus complexes, tels que les barrages à arcs multiples ou à lamelles, supportés par plusieurs piliers, comportent le risque de ruptures retardées. En pareil cas, il est nécessaire de renforcer les piliers en fonction des sollicitations prévisibles en temps de guerre ou de les accoupler rigidement au moyen d'étais. Lorsque le noyau étanche d'une digue est endommagé, il faut s'attendre à des dégâts ultérieurs, car l'écoulement de l'eau agrandira la brèche. Pour parer à ce danger, le couronnement de la digue doit être protégé par un revêtement de grosses pierres (fig. 4).

3. La réalisation des idées nouvelles.

Chacun des ouvrages que nous avons visités réalise de nouvelles idées et témoigne ainsi du dynamisme de ses constructeurs, au premier rang desquels nous plaçons les ingénieurs de la Direction nationale des Forces hydrauliques. Un exemple de leur audace nous est donné par l'usine de Vargön, en service depuis 1933 (fig. 6). Cette usine constitue un essai sur modèle grandeur nature, d'une construction basée sur des idées absolument neuves tant au point de vue hydraulique qu'à celui de l'architecture. En présence d'une telle détermination, on ne peut, quel que soit le résultat, que féliciter les pionniers de leur courage. L'usine est située au sud du pays, à l'embouchure du Vänner. Elle est équipée de deux turbines Kaplan à axe vertical de 14 000 CV chacune. Le diamètre des roues mobiles mesurant 8 m, on a renoncé à établir des grilles. La chute de 3,50 à 4,50 m est utilisée au moyen d'un siphon. La position du seuil des turbines, au niveau des hautes eaux, a épargné la construction de vannes. La mise en marche s'effectue à l'aide d'une pompe à vide, et l'arrêt à l'aide d'une soupape. La conduite d'aspiration, non revêtue, est soigneusement excavée dans le rocher. Il n'y a pas de centrale proprement dite. Les géné-

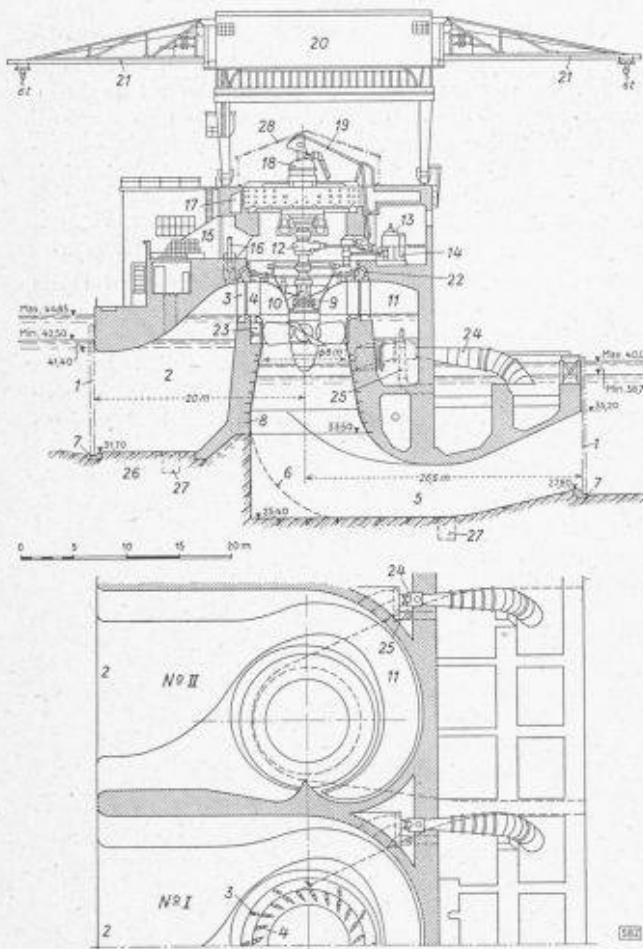


Fig. 6. — Usine de Vargön. (Echelle 1 : 650.)

1. Batardeaux. — 2. Prise d'eau. — 3. Piliers porteurs. — 4. Distributeur. — 5. Aspirateur. — 6. Forme arrondie pour turbine n° 2. — 7. Seuil de batardeaux. — 8. Revêtement en tôle d'acier. — 9. Presse-étoupe. — 10. Paliers de guidage. — 11. Bâche spirale. — 12. Commande du régulateur et de l'exécutrice. — 13. Régulateur. — 14. Servo-moteur. — 15. Entrée d'air frais. — 16. Pompe à vide. — 17. Galerie des câbles. — 18. Réservoirs d'huile. — 19. Bras de commande des aubes de la turbine. — 20. Pont-roulant de 200 t. avec treuil auxiliaire de 10 t. — 21. Porte-à-faux avec treuil de 6 t. — 22. Conduite d'eau chaude. — 23. Galeries de visite. — 24. Ejecteur de 800 mm. — 25. Ejecteur de 250 mm. — 26. Granit. — 27. Collecteur pour les pompes de vidange. — 28. Bâche de protection.

rateurs sont en plein air, simplement protégés par des bâches de tôle. Enfin, une grue à portique sert tant au montage des machines qu'au déplacement des batardeaux.

La disposition des usines à chute moyenne offre un contraste frappant avec celle des nôtres. Leur évolution est concrétisée par les barrages de Hammarforsen (1925), Krångede (1936) et Stadsforsen (1940), tous trois sur le fleuve Indal. Ils ont été adaptés habilement à la configuration de la Suède. Dans ce pays, et à l'inverse du nôtre, un excellent rocher se trouve presque partout à fleur du sol. Le fond des vallées n'est recouvert que de peu d'alluvions; par contre, leurs flancs n'ont qu'une faible déclivité. Pour ces raisons, on préfère édifier les installations au fond de la vallée plutôt que sur les versants.

À Hammarforsen, la chute est de 19,50 m. L'adduction de l'eau y présente des caractères qui deviennent de plus en plus typiques par la suite. Une conduite forcée en béton armé, courte et fortement inclinée, aboutit directement à la turbine, en l'absence de toute chambre d'équilibre. L'enveloppe des tuyaux d'aspiration est de faible épaisseur, car elle

est préservée des effets des sous-pressions par des armatures ancrées à un mètre de profondeur dans le roc. Les bâches spirales et les fondations des génératrices sont également en béton armé. Le béton massif a été écarté. La position des transformateurs, au-dessus des conduites d'amenée a permis de réaliser un bon éclairage de la salle des machines. A ses débuts, l'usine comportait deux turbines Francis de 11 400 kW chacune. La régularisation des lacs situés sur le cours supérieur de l'Indal a doublé le débit moyen, en le portant à 450 m³/sec, de sorte que deux turbines Kaplan de 21 700 CV chacune ont été ajoutées aux précédentes.

À Krångede, le schéma de construction esquissé ci-dessus a été appliqué à une chute de 57,7 m¹. La prise d'eau est située dans le cours supérieur des rapides de l'Indal. Des bâtiments abritent des vannes et leurs accessoires, dans le but d'assurer leur libre fonctionnement durant les rigoureux hivers arctiques. Des puits, capables de transmettre les coups de bélier jusqu'au bassin d'accumulation, amènent l'eau à six turbines Francis de 47 000 CV chacune. Chaque génératrice repose sur huit colonnes verticales en acier laminé, appuyées elles-mêmes sur la couronne de la roue à aubes. Le canal de fuite est constitué par deux galeries sans revêtement, de coupe ovoïde.

La production annuelle de 1,5 milliards de kWh est répartie, sous une tension de 22 000 volts, entre les sept communes et industries propriétaires de l'entreprise.

Stadsforsen, avec ses 20 m de chute, a beaucoup d'analogie avec Hammarforsen. La puissance des turbines Kaplan était de 40 000 CV. La chute ayant été portée de 23 à 29 m, le débit des conduites a augmenté, de telle façon qu'à l'heure actuelle les machines développent chacune 60 000 CV, sous une surcharge de 50 %. Cette transformation a provoqué dans les assises des vibrations que l'on est, toutefois, parvenu à éliminer. D'autre part, il est à remarquer que les bâches spirales exécutées d'après les plans des ateliers mécaniques de Karlstad, sont dépourvues de tout ancrage. Dix parois portantes en béton armé transmettent à la fondation les forces radiales produites lors d'une chute de la charge des machines. Les conduites d'aspiration sont revêtues de tôle d'acier, mais leur radier est constitué par le roc nu. Dans le choix de leur profil, on a préféré le coude cylindrique au coude rectangulaire. Une grue à portique MAN, d'une puissance de 220 t, doit avoir permis d'accélérer le montage des machines. En exploitation les ponts roulants sont cependant préférables.

Hårspranget (1950) sur la Lule, en Laponie, est, avec une chute de 107 m, analogue à Krångede. Trois turbines Francis à axe vertical de 118 000 CV chacune doivent fournir une production annuelle de 1,75 milliard de kWh. Pour un coût total de 100 millions de couronnes et une puissance de 260 000 kW, le prix d'installation du kW ne dépasse pas le chiffre extrêmement bas de 385 couronnes. Remarquons, en outre, que les turbines, les transformateurs et même le tableau de distribution ont été placés en souterrain, afin de les préserver d'une destruction éventuelle.

Avant de terminer, il nous semble indiqué de comparer encore les ouvrages jumeaux de Olidan-Hojum, sur la rivière Göta. La chute moyenne est de 32 m et les débits sont de 700, respectivement 500 m³/sec. La première usine, construite entre 1910 et 1920, est équipée de treize turbines à axe horizontal et à double roue mobile. Elle fournit 130 000 CV. La seconde, en service depuis 1943, est dotée de deux turbines Kaplan à cinq aubes d'une puissance totale de 138 000 CV. Cette dernière est placée dans un bâtiment massif en maçonnerie, tandis que la première est logée dans

¹ Voir figure 2, de l'article de M. le Dr Zwygart.

une caverne en rocher sans revêtement. Au même endroit, et à vingt-trois ans d'intervalle, le même bureau d'ingénieurs, en l'occurrence la Direction nationale des forces hydrauliques, a résolu deux fois le même problème. Deux conceptions différentes se sont succédé, conformes aux progrès de la technique et à l'évolution des idées.

Dans le canon de la rivière Göta, où mugissait autrefois le Trollhättan, les deux centrales d'Olidan (1920) et Hojum (1943) ne sont distantes que de quelques centaines de mètres, mais entre les deux on distingue l'expérience technique d'une génération.

Quatre jours passés en Suède laissent au voyageur l'impression d'un pays rationnellement organisé. Les usines hydro-électriques, soigneusement étudiées, collaborent à la réalisation d'un vaste plan économique orienté vers l'avenir. Si l'on pouvait déjà parler de style en matière de constructions hydrauliques, la Suède en fournirait les premiers éléments. L'architecture des barrages, ignorée hier encore, y est fille des paysages nordiques, de même que, chez nous, elle s'attache à suivre les contours des Alpes.

Littérature

1. LUDIN: *Die nordischen Wasserkräfte*. J. Springer Berlin 1930.
2. *Sweden Power and Industry*. World Power Conference, Stockholm, 1933.
3. *KMW, Werkkatalog*. Karlstad, 1946.
4. *Berichte vom schwedischen Centralkomitee für internationale Ingenieur-Kongresse*, Nr. 1, 1945 und Nr. 2, 1945, Stockholm

Quelques réflexions au sujet de la construction des installations hydro-électriques en Suède

par Gerold SCHNITTER, ingénieur, Künsnacht

A la suite du Congrès de Stockholm, un voyage d'études de plusieurs jours avait été organisé par le Comité suédois pour permettre aux visiteurs d'avoir une vue d'ensemble de la conception des installations hydro-électriques en Suède. Cette prise de contact fut précieuse d'autant plus que les publications dans ce domaine sont rares et relativement



Fig. 8. — Nämforsen.

Écoulement au pied du barrage. A remarquer l'agitation de l'eau dans le bassin amortisseur non revêtu.



Fig. 7. — Chutes de Hårspranget.

Aspect caractéristique de cours d'eau suédois. A l'arrière-plan: la digue en construction.

anciennes. Ces visites ont permis, d'autre part, de constater une fois de plus comment chaque pays résout les différents problèmes qui se posent en s'adaptant aux données géologiques, hydrographiques et topographiques ainsi qu'aux conditions économiques et sociales, tout en respectant les traditions et les lois d'une esthétique qui lui est propre.

Les grands cours d'eau Indalsälvs, Angermamälv, Luleälv et Götaälv étant alimentés par de nombreux lacs, se trouvent dans des conditions hydrographiques très favorables comparées à celles de notre pays. De nombreuses centrales hydro-électriques importantes ont été construites de ce fait sur ces cours d'eau.

Des ouvrages relativement simples permettent l'utilisation rationnelle des réserves importantes accumulées dans les lacs, tandis que les barrages proprement dits sont construits de façon à concentrer les chutes aux endroits topographiquement favorables.

Ainsi le bassin du Luleälv à l'amont du Hårspranget a un débit annuel supérieur à 2,75 milliards de m³ pour une dénivellation jusqu'à la mer de 369 m. Cette chute sera utilisée en huit paliers dont le premier, près de Porjus, a été achevé pendant la première guerre mondiale, tandis que le second, avec une chute de 107,5 m, est actuellement en construction. Les conditions sont semblables pour l'Indalsälv dont le débit annuel disponible est de 5 milliards de m³ à 268 m d'altitude et dont l'utilisation complète prévoit l'aménagement de onze centrales.

Les conditions topographiques et géologiques, en général particulièrement favorables, ont conduit les ingénieurs suédois à établir leurs projets en réduisant à un minimum le développement du canal d'amenée, plaçant ainsi la centrale très près du barrage, et en allongeant par contre le canal de fuite réalisé en galerie à grande section (voir esquisse schématique). L'usine hydro-électrique de Wettingen en Suisse est une réalisation du même genre, mais à plus petite échelle.

Ces galeries de fuite atteignent des dimensions considérables; par exemple à Hjälta, la galerie a une longueur de 7600 m et une section de 135 m².

Ces galeries sont, soit à écoulement libre (Krångede) soit sous-pression (Hårspranget) avec chambre d'équilibre. Les conditions favorables du sous-sol sont ainsi utilisées au mieux.

Presque partout on rencontre du granit sain, et les ingénieurs suédois peuvent construire sans risque imprévu ces