

Après un court palier, la voie redescend ensuite par une pente d'abord de 2,45 millim. par mètre, puis de 3,87 millim. vers la tête Sud qu'elle atteint à la cote de 1 220 m. au-dessus de la mer.

Les travaux arrêtés le 24 juillet 1908 furent repris en février 1909 et, le 3 octobre 1910, les deux galeries d'avancement étaient percées sur une longueur totale de près de 12 000 m. 2 000 m. restaient donc à percer, soit environ le septième de la longueur totale du tunnel.

L'avancement moyen journalier à chaque front de taille est d'un peu plus de 7 m. et on espère que la rencontre des deux galeries pourra se faire au commencement de 1911. Les terrains traversés par les deux galeries d'avancement sont actuellement les granits de Gastern, très solides et ne nécessitant en général que des boisages peu importants. Les sources d'eau sont peu abondantes. Mais la température, surtout du côté Sud où l'épaisseur du massif est considérable, s'est élevée à 34° C. ; elle commence seulement à diminuer un peu.

On est obligé de la combattre par une ventilation énergétique et l'eau pulvérisée. Du côté Nord, où l'épaisseur du massif est moins grande, la température a atteint près de 23° C. La ventilation du tunnel s'opère au moyen de ventilateurs centrifuges de 3,50 m. de diamètre installés à chacune des têtes et actionnés par des moteurs électriques. Ces ventilateurs, renfermés dans une chambre communiquant avec le tunnel, peuvent, par une simple manœuvre de registre, refouler ou aspirer l'air de celui-ci. Cette installation est définitive et servira à la ventilation du tunnel lorsqu'il sera ouvert à la circulation des trains. Pour le moment, les ventilateurs ne refoulent pas l'air dans la section entière du tunnel maçonné, mais seulement dans une gaine latérale formée, d'un côté, par la paroi maçonnée de la voûte et, de l'autre, par une paroi constituée par une cloison en maçonnerie de briques ou de béton raidie par une armature métallique. A l'extrémité de cette gaine qui se termine au bout de la partie maçonnée de la voûte et qu'on prolonge à mesure de l'avancement de celle-ci, on trouve un ventilateur actionné par un moteur électrique qui refoule, au moyen de tuyaux, l'air envoyé dans la gaine vers les chantiers d'abatage, d'où un relai emprunte l'air nécessaire à la ventilation de l'avancement. Quant à l'air vicié il revient vers la tête du tunnel par la partie restée libre de la section du tunnel maçonné. Cette disposition présente quelque analogie avec celle employée au Simplon où, au lieu de la gaine par laquelle l'air est refoulé dans les galeries, on a percé une seconde galerie de section réduite parallèle à celle élargie au profil définitif et qui sert aujourd'hui à la circulation des trains.

Le transport des matériaux dans le tunnel se fait au moyen de locomotives à air comprimé à quatre, trois ou deux essieux couplés. Les réservoirs de ces locomotives sont alimentés directement dans le tunnel au moyen d'une canalisation qui leur amène de l'air comprimé à la pression de 120 kg par les compresseurs installés dans les usines de chacune des têtes. Des détendeurs ramènent à la pression de 20 kg l'air admis dans les cylindres et celui-ci est réchauffé au moyen de bouillottes suivant le procédé Mekarski. Grâce à cette installation, ces locomotives n'ont à sortir du tunnel qu'en cas de réparation.

D'après les nouvelles conventions intervenues entre la Compagnie et les entrepreneurs, la nouvelle ligne doit être livrée à la circulation des trains en 1913.

Nous rappellerons que la traction des trains se fera élec-

triquement au moyen du courant monophasé à 16 périodes et à la tension de 15 000 volts dans le fil de prise de courant. Les locomotives électriques doivent pouvoir remorquer sur les rampes d'accès de 27 millim. par mètre une charge de 310 tonnes à la vitesse de 40 km à l'heure.

HYDRAULIQUE

LES FORCES HYDRAULIQUES SCANDINAVES

La littérature technique s'est enrichie depuis quelques années d'un assez grand nombre de documents (*) sur les forces hydrauliques scandinaves. Leur lecture donne l'impression que la Suède et la Norvège renferment d'énormes puissances encore peu connues et dont les plus avantageuses seules commencent à être utilisées. Cependant quelques voix discordantes (**) se sont élevées dans le concert des appréciations admiratives, sans doute parce que certaines exagérations ont pu se glisser dans les évaluations du début au point de vue économique. Mais même en faisant la part des erreurs inévitables dans un pays dont les provinces septentrionales, lointaines et désertes, se prêtent mal aux recherches précises et en tenant compte aussi bien des exagérations imputables à l'enthousiasme de ceux qui ont aperçu les premiers cette mine féconde, il n'en reste pas moins certain que la Houille blanche en Scandinavie autorise les plus vastes espoirs et que sur nombre de points elle se présente dans des conditions beaucoup plus favorables que sur le reste du continent.

Je me propose d'en faire ici une étude sommaire en utilisant les notes prises au cours d'un rapide voyage pendant l'été 1908 et les renseignements que m'ont envoyés très obligeamment depuis cette époque les ingénieurs suédois et norvégiens, spécialement MM. F.-V. Hansen, directeur des forces hydrauliques de la Suède, G. Malm, à Trollhattan, E. Berg, à Christiania, S. Eyde, A. Scott, Hansen, E.-B. Næss et S. Kloumann à Notodden, enfin M. Sven Lübeck à Stockholm. Ils voudront bien trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères pour leur accueil si empressé et des vœux que je forme pour le développement de leurs beaux et sympathiques pays.

Au point de vue qui nous occupe, la péninsule scandinave présente des conditions privilégiées : abondantes précipitations atmosphériques, pentes rapides et chutes élevées sur le versant atlantique, lacs innombrables étagés en gradins,

(*) Consulter notamment :

Dans la *Houille Blanche*, mai 1904 : La Houille blanche en Norvège ; juillet 1908 : Les chutes d'eau scandinaves et leur avenir ; octobre-décembre 1910 : Au Pays des chutes d'eau.

Dans le *Génie Civil*, 19 décembre 1908 : L'énergie électrique dans les Etats scandinaves ; 13 février 1909 : La station centrale électrique de l'Etat suédois à Gotä-Elf ; 1^{er} mai 1909 : Les forces hydrauliques de la Suède ; 15-22 mai 1909 : Usine hydro-électrique de la Société Norvégienne de l'Azote à Svaelfos, près Notodden (Norvège) ; 3 juillet 1909 : L'usine hydro-électrique de Trollhattan.

Dans l'*Engineering*, 12-19 mars 1909 : Water-power plants in Sweden and Norway.

Et divers autres périodiques, notamment la revue suédoise *Teknisk Tidskrift*, l'Industrie électrique, etc... A signaler également deux articles du bel ouvrage publié par le Gouvernement royal de Bavière, *Die Wasserkrafte Bayerns* (Piloty und Loehle, éditeurs, Munich 1907), pages 122 et suivantes.

(**) Voir l'étude de M. Heilmann, Consul à la Chancellerie de la Légation de France à Stockholm et la controverse échangée entre lui et M. Sven Lübeck sur les chutes d'eau en Suède (*La Houille Blanche*, novembre 1907 et avril 1908).

vastes forêts sur le versant baltique, évaporation faible; sol granitique imperméable n'enlevant rien au ruissellement superficiel, régime remarquablement régulier, tout semble réuni pour faciliter l'œuvre de l'homme dans l'utilisation des forces naturelles. Il faut reconnaître aussi que les ingénieurs ont parfaitement su tirer parti de ces heureuses conditions et qu'ils procèdent avec une excellente méthode en commençant par étudier la régularisation des débits avant d'entreprendre l'aménagement des chutes, à l'inverse de ce que l'on fait trop souvent en d'autres pays. Le but principal ne leur fait pas non plus négliger les autres objets tels que le flottage, la pisciculture, etc..., car leurs grandes chutes sont habituellement accompagnées d'ouvrages ingénieux et très pratiques pour la descente des bois (*) et les migrations des poissons, notamment des saumons qui foisonnent dans leurs rivières.

Les industries de la houille blanche y font de rapides progrès, à tel point que les deux États scandinaves sont en voie de prendre, et sans doute à bref délai, la tête du mouvement dans toute l'Europe par le nombre, la puissance et la régularité des grandes chutes d'eau. C'est ce que nous allons voir en commençant par la Suède.

1. — SUEDE

I. SUEDE. — Ce pays, dont le territoire mesure 448 000 kilomètres carrés, présente au point de vue hydraulique deux régions distinctes :

La portion septentrionale, comprise entre la frontière russe et le 60^{me} parallèle, envoie toutes ses eaux au golfe de Bothnie par des rivières de 300 à 400 kilomètres, orientées au Sud-Est, encaissées dans des vallées assez profondes, en général très boisées, dont le relief a été modelé par des actions glaciaires anciennes qui ont laissé des traces apparentes notamment sous la forme de longues moraines et de lacs étagés. Les précipitations atmosphériques n'y sont pas considérables, elles descendent en certains lieux à 570 et même à 300 mm. (**) par an (pluies et neiges réunies). Les 12 principales rivières de cette région ont un développement total de 4 000 kilomètres, leurs bassins réunis couvrent 265 000 km. q., leurs chutes font ensemble 6 600 m. et leurs débits cumulés 3 700 m³ (***). La population y est très clairsemée surtout au Nord-Ouest où elle n'atteint pas un habitant par kilomètre carré.

La portion méridionale, au sud du 60^{me} parallèle, envoie

(*) Le flottage a lieu généralement à bûches perdues : les bois, en grume, frappés à la marque du propriétaire, sont lancés à l'eau et descendent ainsi jusqu'à la mer ; en certaines saisons, ils s'accumulent en masses immenses aux barrages. Lorsque la chute n'est pas très haute, on les fait quelquefois simplement passer par-dessus, mais ce procédé sommaire est peu employé et l'on voit le plus souvent à côté du barrage une dérivation spéciale en forme de couloir (*flodningsrende*) où les pièces sont poussées une à une ; elles y sont prises par un courant rapide qui leur fait franchir la chute en quelques instants sans mécomptes ni encombrements. Ces couloirs sont d'ordinaire en charpente, parfois avec un doublage en tôle, rarement en béton ou en maçonnerie. Quelquefois, on y ajoute des dispositifs spéciaux, par exemple une chaîne sans fin, comme à la scierie de Sarpsfos, sur le bas Glommen, pour faire passer les bois par-dessus une digue avant d'atteindre le couloir. Le débit de ces appareils est considérable, il est de 200 pièces par heure dans cet établissement (Sarpsfos), qui prépare plus de 200 000 pièces par an et où l'on compte installer bientôt un autre couloir en tôle de 3 000 mètres, qui ne coûtera pas moins de 900 000 francs.

(**) « De l'influence des forêts sur le climat de la Suède », par le Dr H.-E. Hamberg (Stockholm 1896).

(***) Voir, pour les renseignements statistiques, l'ouvrage publié après l'Exposition de 1904, « La Suède, ses peuples et son industrie », par M. G. Sundberg (Stockholm, 1904).

ses eaux à peu près également dans la mer Baltique et dans le Cattégat ; elle reçoit notablement plus de pluie et de neige que la Suède du Nord (de 500 à 750 mm.), mais elle est beaucoup moins accidentée et moins boisée ; ses richesses hydrauliques sont cependant des plus avantageuses, grâce non seulement à son alimentation plus abondante, mais encore à ses communications meilleures, à la proximité de nombreux ports toujours libres de glace et surtout à l'existence de grands lacs dont les deux principaux, le Vaner (*) et le Vatter couvrent ensemble près de 7 500 km. q.

Ces vastes réservoirs permettent d'augmenter dans d'énormes proportions les puissances hydrauliques réalisables. Pour le Vaner par exemple, situé à la cote 44 et qui envoie ses eaux dans le Cattégat par le fleuve Göta (Göta-Elf) en formant les célèbres chutes de Trollhättan (32 m. de hauteur), une tranche d'eau de dix centimètres fournit 550 millions de mètres cubes, lesquels donnent dans les seules chutes de Trollhättan 48 000 000 kw.-h. (**). On s'occupe précisément d'aménager le lac de façon à augmenter la puissance des chutes qui passera sans doute bientôt de 80 000 à 110 000 HP et plus tard à 200 000. Il en est de même, toutes proportions gardées, sur nombre d'autres cours d'eau, car l'étude préalable de la régularisation des régimes par l'aménagement des lacs et l'augmentation des débits minima est de règle à peu près partout, nous en verrons des exemples non moins remarquables en Norvège.

Quelle peut donc être dans ces conditions la puissance de toutes les chutes de ce pays ? Il n'est pas facile de le préciser faute d'évaluations générales bien certaines, mais elle est incontestablement très importante. La Commission gouvernementale des chutes d'eau qui a fait en 1902 le recensement de celles qui appartiennent à l'Etat, évalue leur puissance nette à 780 000 HP, mais ce n'est qu'une assez petite fraction de la totalité. M. Sven Lübeck, ingénieur connu par ses études de houille blanche, qui s'est spécialisé dans ces travaux, estime que l'ensemble atteint au moins 4 000 000 de HP nets permanents, dont on n'utilise guère encore que la dixième partie et dont les trois-quarts se trouveraient dans la région septentrionale (Norrland). Ce chiffre, qui correspond à peu près à 9 HP par kilomètre carrés doit paraître fort modéré (***) et, pour ma part, j'incline à penser qu'un recensement complet qui s'étendrait non seulement aux grosses rivières jusqu'ici principalement utilisées en Suède, mais encore à tous les cours d'eau du pays, conduirait à des chiffres plus élevés. Quoi qu'il en soit, il n'est pas douteux que les forces hydrauliques y offrent au pays

(*) La superficie du lac Vaner est de 5 660 km², soit à peu près 10 fois celle du lac de Genève (582 km²) ; il ne le cède, en Europe, qu'aux deux grands lacs russes Onéga et Ladoga (ce dernier = 18 210 km²) ; le lac Vatter a 1 898 km².

(**) Le fleuve forme deux autres groupes de chutes de 5 à 6 m. chacun, l'un près de Venersborg, à la sortie du lac, l'autre vers Lilla Edet, à 20 km. en aval de Trollhättan ; son parcours total est d'environ 90 km. et sa chute, de 40 à 46 m., suivant l'état de la mer et du lac. En comptant 44 m., on obtient 66 000 000 de kwh. pour l'énergie potentielle d'une tranchée d'eau de 0^m10 d'épaisseur du lac Vaner. Il est facile de comprendre quelle valeur présente un tel réservoir situé d'ailleurs dans une des régions les plus peuplées et à moins de 100 km. du port de Göteborg, la seconde ville de la Suède.

(***) Dans l'essai que j'ai tenté, en 1904, sur des bases provisoires, il est vrai, pour un recensement de nos forces hydrauliques, les puissances d'étiage dans les Alpes de la Savoie et du Dauphiné figuraient pour 1 000 000/24 666=40 HP par km², pour 20 dans les Alpes méridionales et les Pyrénées, et pour 10 dans l'Est et le Centre de la France. Or, il paraît certain que la Suède, dans son ensemble, est pour le moins aussi riche que ces dernières régions, sinon davantage ; l'évaluation de M. Sven Lübeck est donc vraisemblablement inférieure à la réalité.

CARTE HYDROLOGIQUE de la PÉNINSULE SCANDINAVE

Échelle 1: 4.000.000

0 50 100 200 300 K.

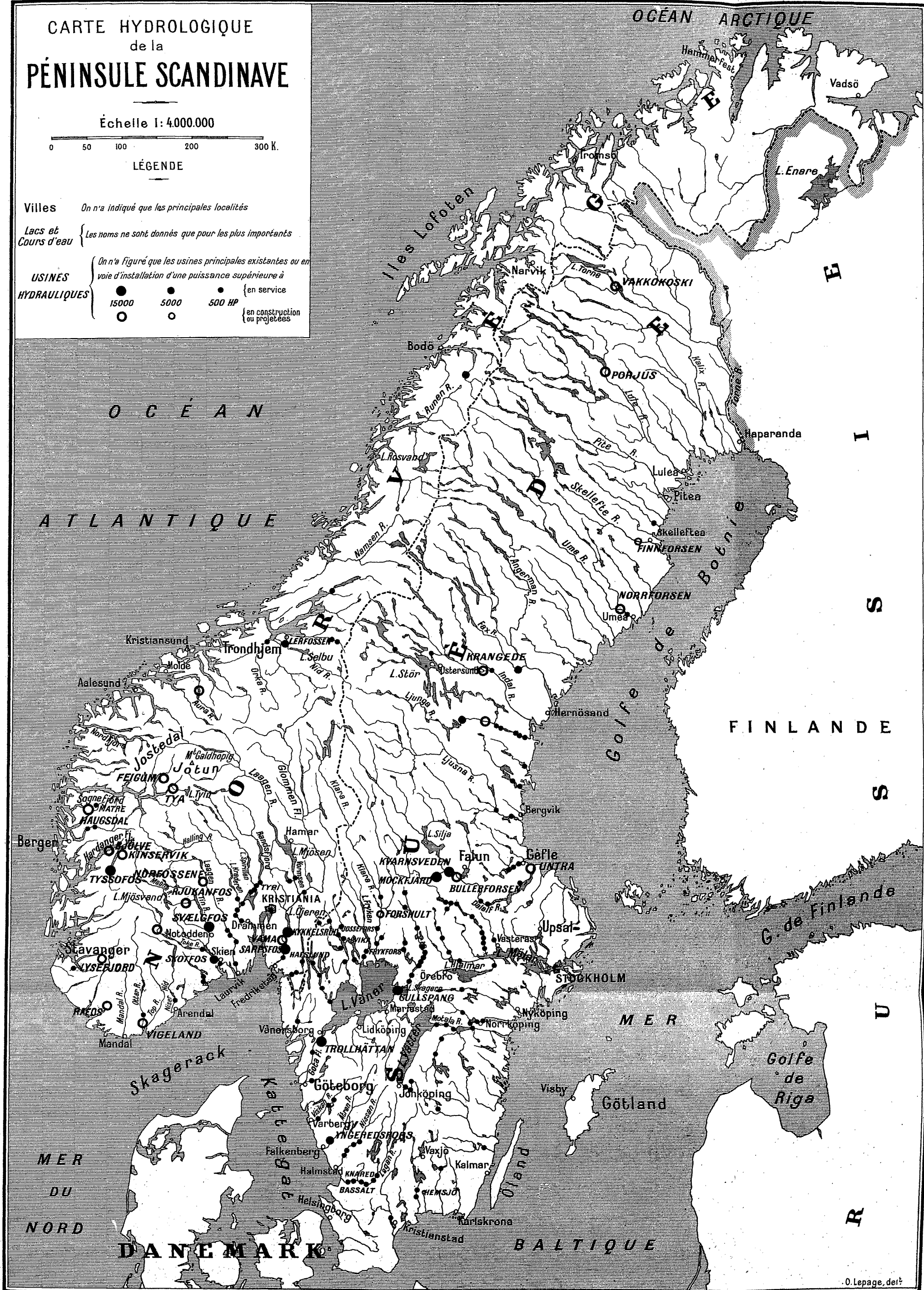
LÉGENDE

Villes On n'a indiqué que les principales localités

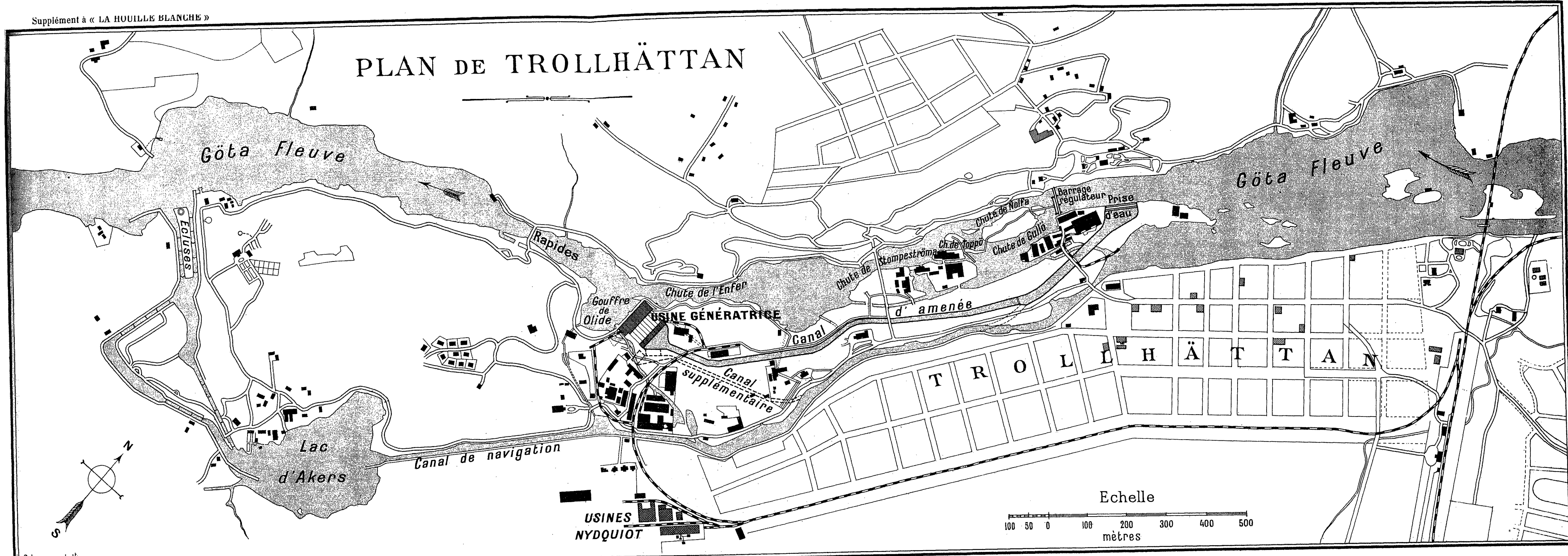
Lacs et Cours d'eau { Les noms ne sont donnés que pour les plus importants

USINES
HYDRAULIQUES { On n'a figuré que les usines principales existantes ou en
voie d'installation d'une puissance supérieure à

●	●	●	{ en service
○	○	○	{ en construction ou projetées
15000	5000	500 HP	

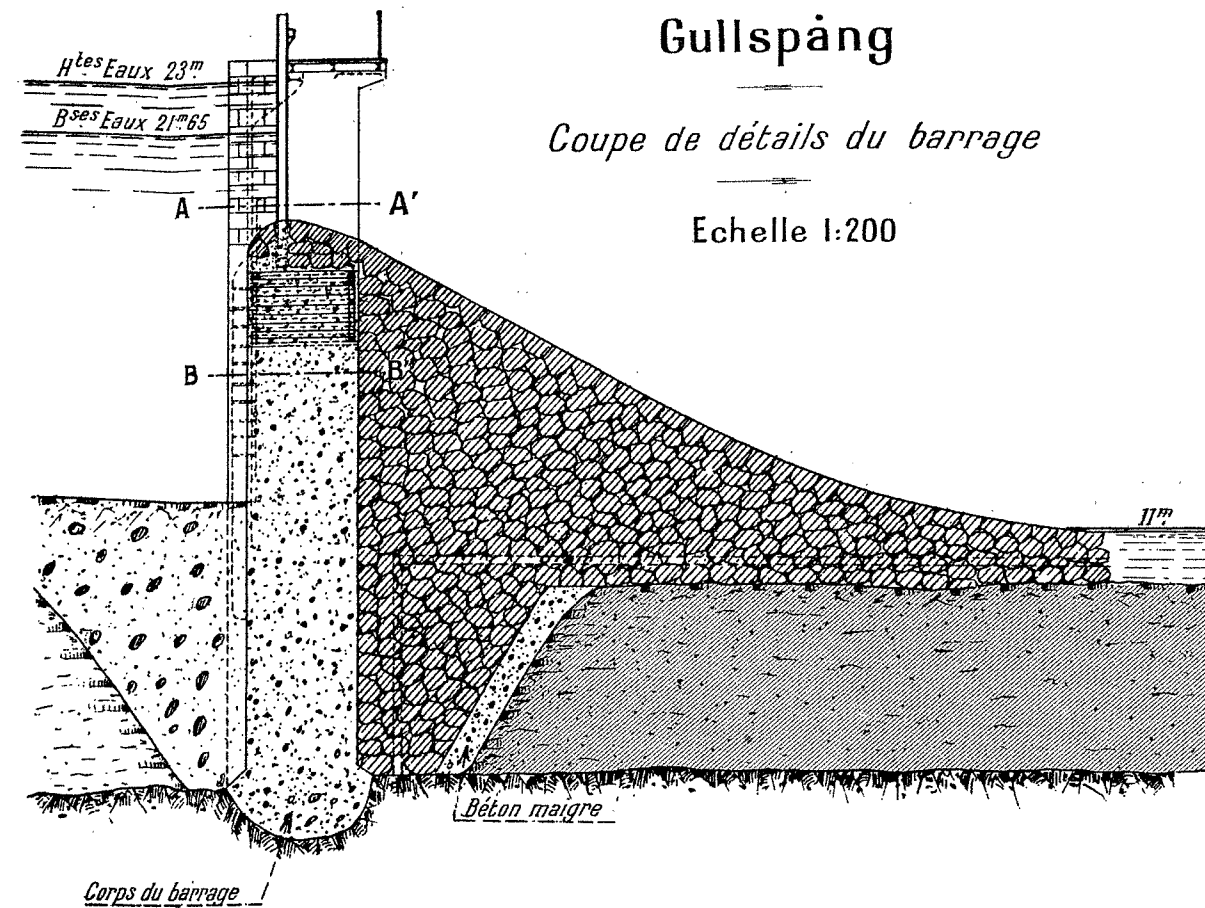
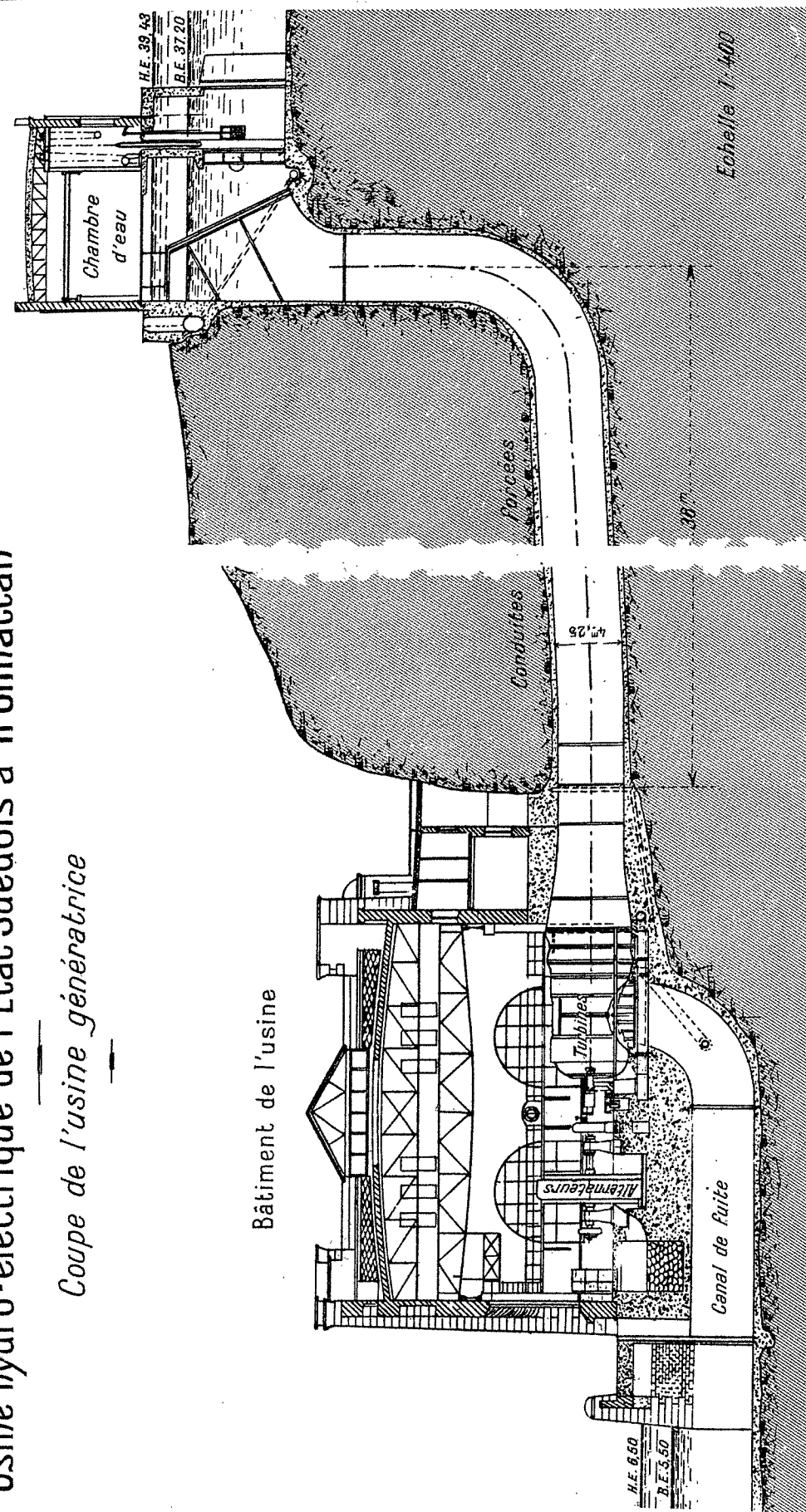


PLAN DE TROLLHÄTTAN

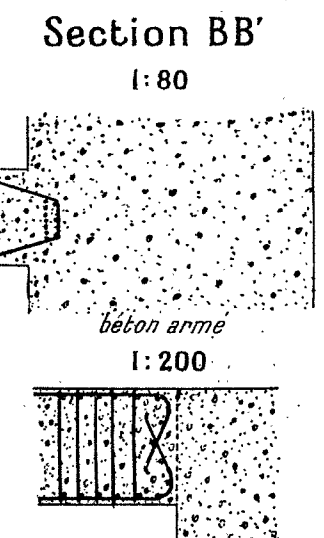
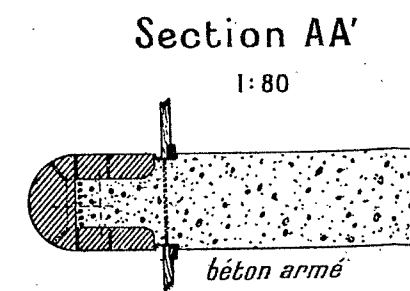


Usine hydro-électrique de l'Etat Suédois à Trollhättan

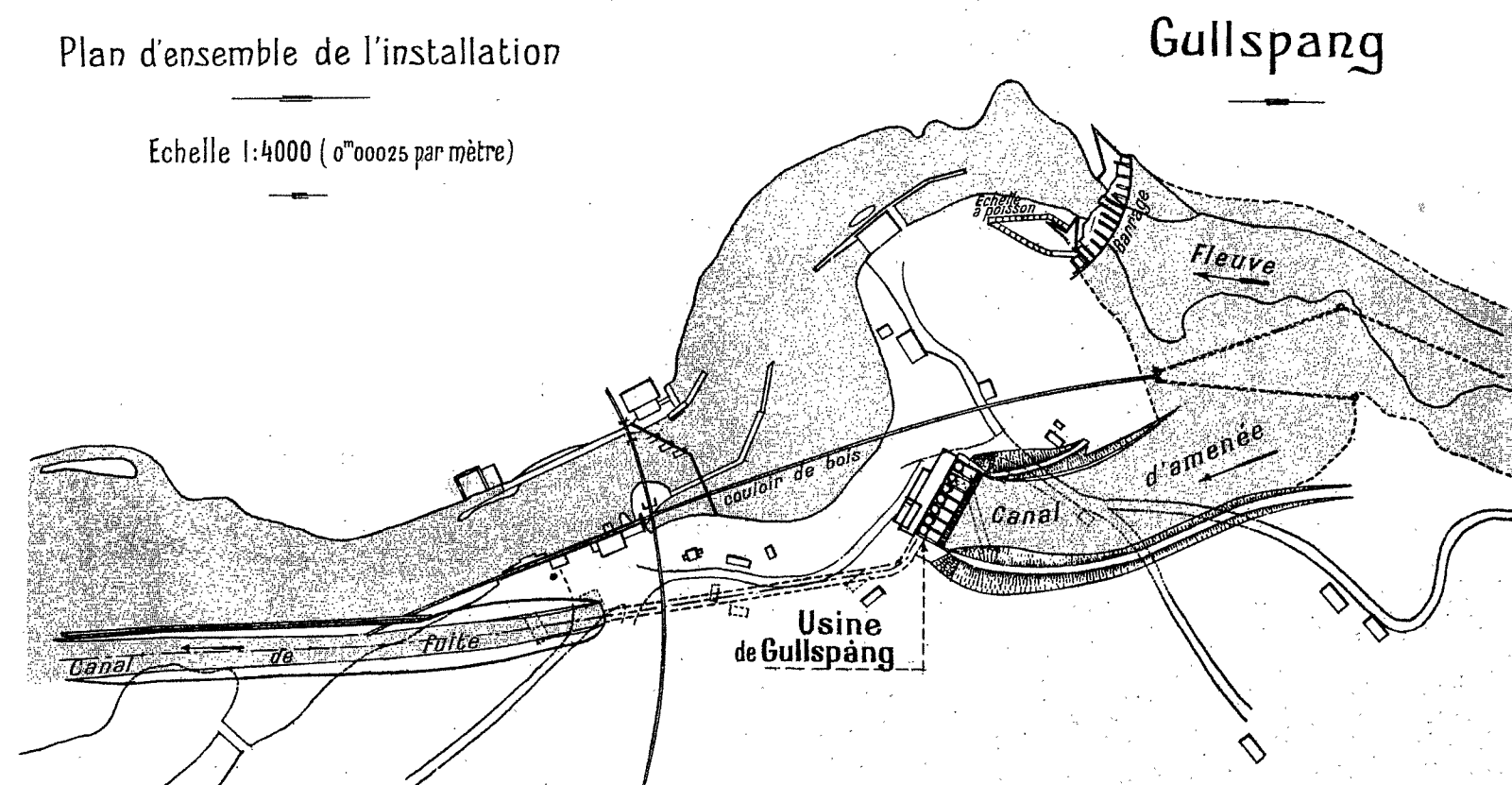
Coupe de l'usine génératrice



Gullspång
Coupe de détails du barrage
Echelle 1:200

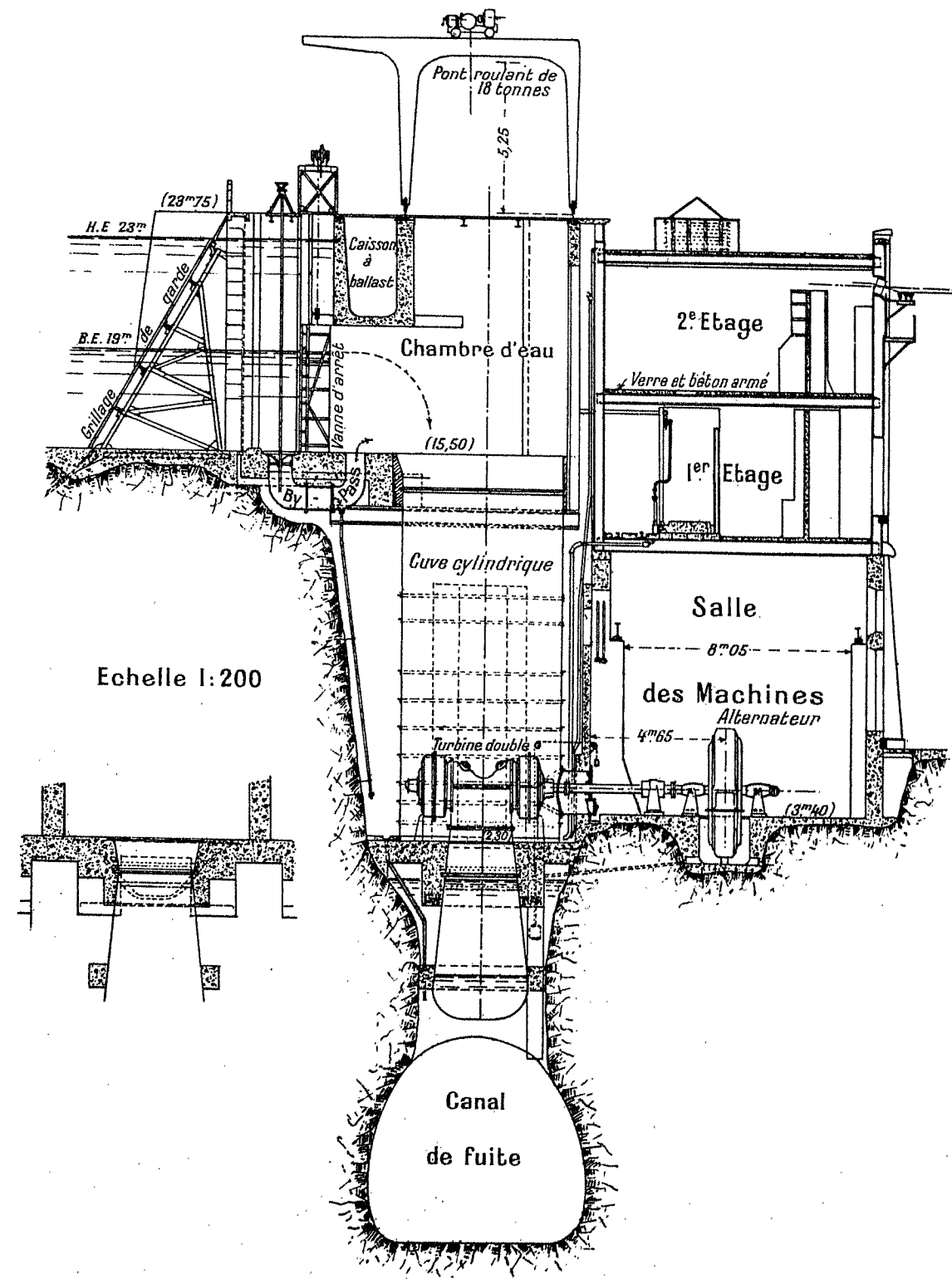


Plan d'ensemble de l'installation
Echelle 1:4000 (0"00025 par mètre)



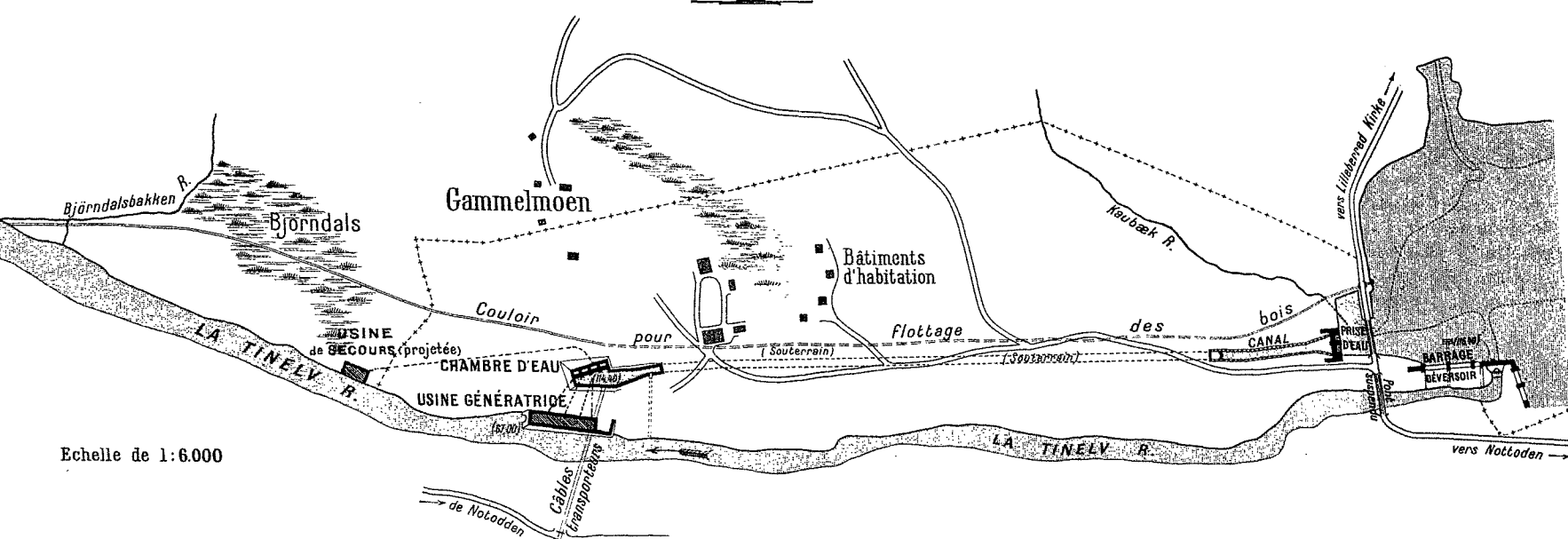
Gullspång

Gullspång
Chambre des turbines
Profil transversal

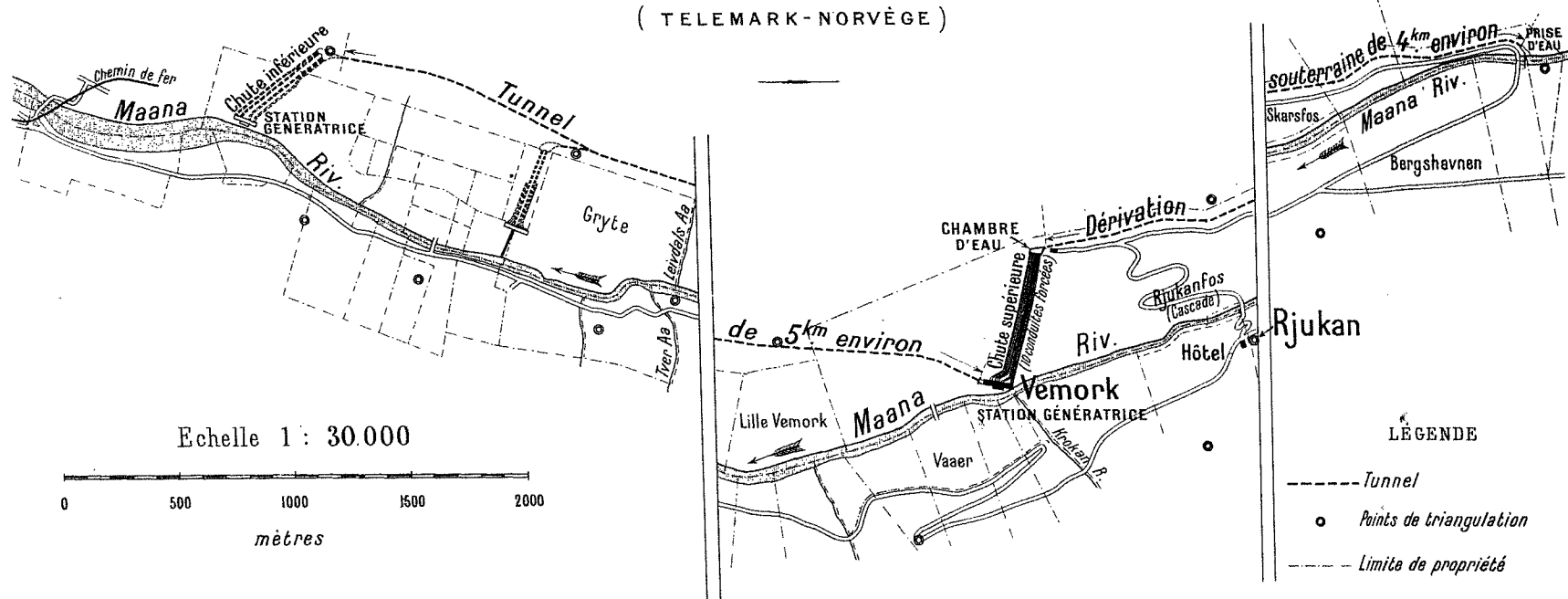


Echelle 1:200

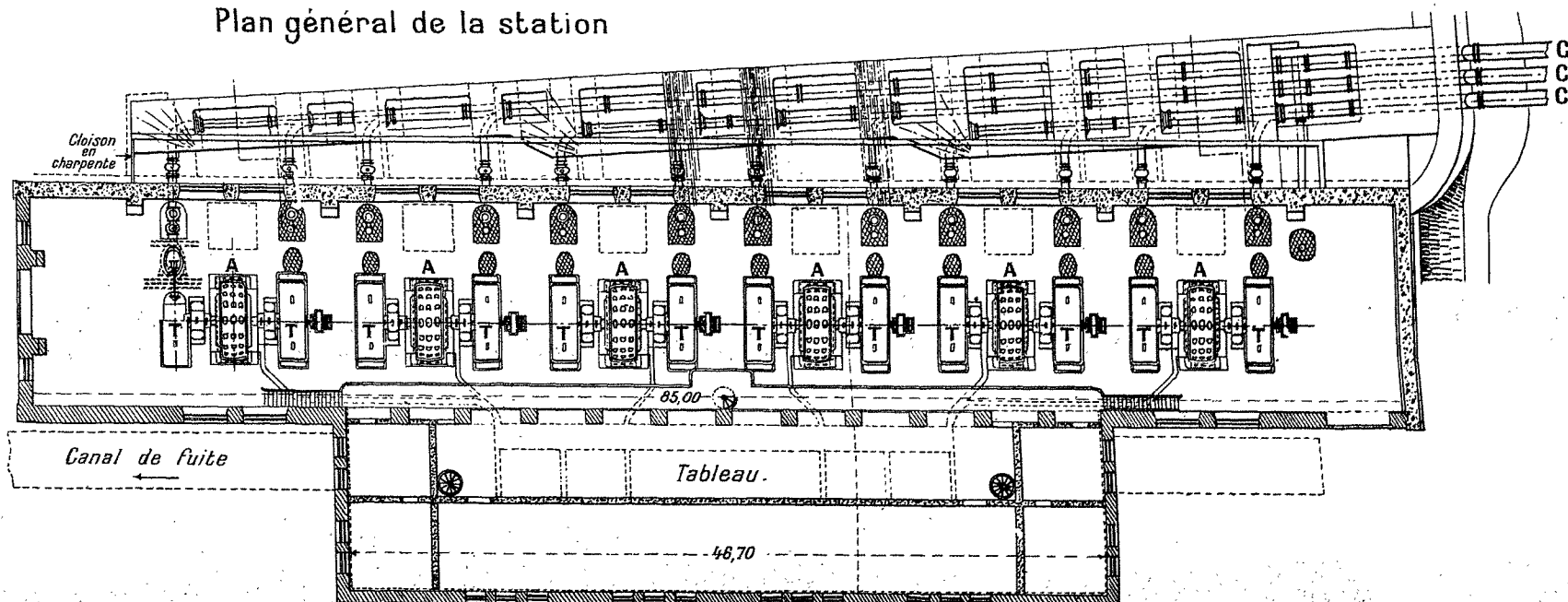
PLAN GÉNÉRAL DE L'USINE DE SVÆLGFOS SUR LA TINELV
(TELEMARK - NORVÈGE)



PLAN GÉNÉRAL DE LA CHÛTE HYDRAULIQUE DE RJUKAN
(TELEMARK - NORVÈGE)



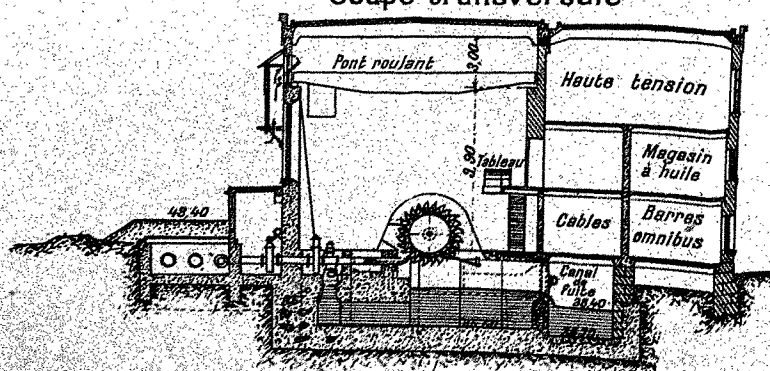
Plan général de la station



Station hydro-électrique
de TYA (Norvège)

- 3 conduites forcées C
12 turbines T
6 alternateurs A

Coupe transversale



un magnifique champ d'action et l'on va voir qu'il a su en prendre possession.

La carte ci-annexée donne une idée de l'état actuel des industries hydrauliques ; pour éviter la confusion, elle ne représente que les installations de 1 000 HP et au-dessus, on en compte actuellement en Suède environ 125 qui représentent ensemble une puissance de 500 000 HP affectée aux emplois suivants :

Force et lumière.....	40 usines.....	250 000 HP
Industries du bois : scieries, pâte à papier, papier, etc.....	50 —	120 000
Industries métallurgiques..	25 —	90 000
— chimiques.....	3 —	30 000
— diverses.....	7 —	12 000

sans compter un grand nombre d'établissements moins importants, moulins, scieries, etc... Beaucoup des anciens n'offrent aucune particularité remarquable, les plus récents au contraire ont des dispositions intéressantes et ne le cèdent en rien aux mieux conçus des divers autres pays. Comme puissances individuelles, je citerai notamment les usines de Trollhättan (80 000 HP), Bullerforsen (25 000), Kvarnsveden (18 000), Mockfjärd (16 000), Gullspång (16 500), plusieurs destinées à être bientôt augmentées ; parmi celles qui vont être entreprises : Untra (30 000), Johannesberg (15 000) ; enfin parmi celles qui sont projetées : Elfkärleby (30 000), Krangede (90 000), Norrforsen (49 000), Porjus (50 000) et jusque dans l'extrême Nord Vakkokoski (32 000), ces deux dernières destinées à l'électrification de la ligne de Narvik bien au-delà du cercle polaire et aux mines de Gellivara.

On doit remarquer que la plupart des installations se développent progressivement, il est rare qu'on leur donne dès le début la totalité de leur puissance définitive, mais on étudie les projets avec des vues d'avenir de façon à permettre les extensions tout en ménageant les sacrifices financiers pendant la période initiale, c'est une marche prudente et parfaitement justifiée.

Comme je ne puis songer à en faire ici une description générale même sommaire, je me bornerai à en donner une idée d'après quelques types choisis parmi les établissements les plus puissants (Trollhättan et Gullspång), les moyens (Yngaredsfors et Frykfors) et les petits (Jössefors), le tout réduit aux éléments les plus essentiels extraits de diverses publications et des renseignements que m'ont fournis les principaux constructeurs.

Usine de Trollhättan

Trollhättan. — Les chutes les plus renommées de la Suède sont celles de Trollhättan, elles ont été depuis l'objet de descriptions nombreuses dans les revues françaises ou étrangères (*) et il n'y aurait sans doute pas grande utilité à en faire de nouveau ici un exposé complet, aussi me bornerai-je à donner quelques dessins et à résumer les éléments les plus essentiels ou les moins connus.

La première idée d'aménagement du fleuve Gota dans l'intérêt du commerce et de la navigation remonte au XVI^e siècle, elle est due à Gustave Wasa qui ne put d'ailleurs lui donner suite à cause des guerres et des embarras de l'époque. Son fils, Charles IX en commença la réalisation en créant

les ouvrages de Venersborg et de Lilla-Edet ; Charles XII et ses successeurs la poursuivirent non sans de nombreuses vicissitudes. Vers 1750, trois groupes d'écluses étaient établis pour franchir l'obstacle des chutes de Trollhättan et, vers le début du XIX^e siècle, un canal navigable les contournait par des écluses de 35 m. sur 6^m45 avec 1^m90 d'eau sur les seuils, on en voit encore les restes aujourd'hui. Ces dimensions furent vite insuffisantes surtout lorsque, vers 1832, le canal de Gothie eût relié les lacs de la Baltique. On approfondit alors le canal et l'on élargit les écluses à 7^m45 avec 2^m97 d'eau sur les seuils, solution encore incomplète mais dont on avait dû se contenter jusqu'ici.

Depuis 1901, l'État a modifié radicalement la situation : il a racheté toutes les chutes du fleuve, tous les ouvrages et de vastes terrains, les îles et les usines de Trollhättan (*). Le Parlement saisi d'un projet d'ensemble, vient d'affecter 22 millions 1/2 de couronnes (32 millions de francs) à l'amélioration de la navigation entre le lac Vänern et la mer. Ce projet ne comporte pour tout le parcours (86 km. jusqu'à l'entrée de Göteborg), que six écluses (89 m. x 13^m70), dont quatre à Trollhättan ayant 8 m. de chute et 5^m50 de tirant d'eau, capables de recevoir des navires de 2 400 tonnes, le lac va se trouver ainsi ouvert à la navigation maritime. On a préparé d'autre part sa régularisation et l'on compte porter ainsi de 320 m³ à 450 et peut-être 500 m³ par seconde, le débit minimum de Göta-Elf. Sur ce volume, l'usine prendra un maximum de 350 m³ et le surplus (100 à 150 m³) restera dans le lit du fleuve pour animer le paysage et lui conserver l'aspect pittoresque (**) qui lui a valu sa renommée (Voir planche II).

Le programme comprend : un grand barrage régulateur avec vannes et tambours, un vannage de prise d'eau, un canal d'aménée capable de débiter par une ou deux branches 350 m³, huit grosses conduites forcées (et plus tard onze), trois petites conduites d'excitation, l'usine génératrice de 80 000 HP (et plus tard 110 000), l'usine transformatrice, un vaste réseau de transport et diverses installations accessoires. En voici les principales données :

BARRAGE RÉGULATEUR. — Seuil à la cote 35^m10 inférieur de 4^m40 aux hautes eaux, en béton revêtu de moellons de granit.

COMPOSITION	Vides	Pleins
Cinq vannes en bois, à deux rideaux de 3 ^m 70.	18 ^m 50	1 ^m 20
Une pile.....		3 ^m 00
Un 1 ^{er} tambour de 3 ^m 60 de diamètre.....	20 ^m 00	
La pile centrale portant les treuils moteurs..		4 ^m 00
Un 2 ^{me} tambour pareil au premier.....	20 ^m 00	
Une pile.....		2 ^m 50
Une vanne de chasse pour les glaces.....	3 ^m 00	
	61 ^m 50	10 ^m 70
Longueur totale.....		72 ^m 20

Passerelle supérieure de manœuvre.

(*) Plusieurs établissements industriels s'étaient installés dans les îles qui séparent les chutes : les aciéries Strisberg, une ancienne usine de carbure devenue fabrique de zinc, et une usine de pâte de bois. Les ateliers de constructions mécaniques Nydquist et Holm, établis sur la rive gauche, empruntent aussi l'énergie des chutes.

(**) On considère à juste titre que les touristes attirés chaque année par le beau spectacle des chutes apportent au pays une richesse qu'il faut ménager ; aussi l'État a-t-il l'intention de transformer en une sorte de parc national les îles qui séparent les divers bras du fleuve dont la rive droite, escarpée et boisée, a déjà été fort bien disposée dans ce sens par le Touring-Club de Suède. C'est un exemple utile à imiter partout où un aménagement de force hydraulique exécuté sans modération pourrait compromettre un site méritant d'être respecté.

(*) Voir notamment « L'usine hydro-électrique de Trollhättan », par J. Bailly (*Génie Civil* du 3 juillet 1909), et la brochure « Trollhättan » en langue française, publiée par la Direction royale des forces motrices hydrauliques à Stockholm.

Les parois du canal sont revêtues en maçonneries de granit appliquées sur le rocher, directement lorsque la profondeur d'eau ne dépasse 6 ou 7 m. et par l'intermédiaire d'un matelas de béton en cas contraire, avec drainage intérieur pour prévenir les sous-pressions.

On a cherché à prévenir aussi les fissures accidentelles en fixant d'avance les points où pourrait s'exercer le jeu des dilatations. Dans ce but, les murs de béton sont construits par blocs séparés, longs chacun de 10 mètres, en commençant par les blocs de rang pair, ceux de rang impair sont ensuite intercalés et assemblés aux premiers par des joints à emboîtements verticaux garnis intérieurement de toile bitumée et, sur le devant, d'un cordon d'asphalte, le tout complété par un parement appareillé en granit formant la paroi visible du canal. Ces précautions ne paraîtront pas superflues si l'on considère que le canal va recevoir un véritable fleuve de 350 m³ par seconde, 6 à 7 m. de profondeur et 2^m20 de vitesse sous un climat rigoureux.

CHAMBRE D'EAU. — En forme de trapèze évasé vers l'aval ; chasse-glaces et déversoirs (72 m.) sur les côtés ; passage à poissons ;

Huit chambres cloisonnées, commandées par autant de vannes Stoney de 8 m. d'ouverture, abritées par une superstructure générale formant salle fermée avec moteurs pour les vannes, ponts roulants, etc...

Grillages de garde dans chaque chambre, avec barreaux creux à l'intérieur pour circulation d'air chaud en cas d'encombrement par les glaces (disposition appliquée à Sarpsborg, Norvège).

CONDUITES FORCÉES.

Provisoirement (1909) ..	3 conduites pour excitatrices de 1 ^m 20
Définitivement	4 id. pr grosses unités { 4 ^m 25 de diamètre
Ultérieurement	8 id. id { intérieur

Chaque conduite a environ 60 m. de longueur, elle est en tôle, logée dans un tunnel correspondant creusé dans le roc, avec bourrage de béton entre le métal et le rocher sur toute la circonférence, l'épaisseur de la tôle varie de 6 à 20 mm., suivant la charge qui atteint 24^m25 sur le centre des turbines.

Le nombre des grosses conduites qui va être d'abord de quatre puis de huit sera porté à onze après l'aménagement du lac Vänér et lorsque le débit dérivé sera élevé lui-même à 350 m³ (Voir Planche III).

USINE GÉNÉRATRICE. — Dimensions du bâtiment 95^m × 25^m.

	Moteurs hydrauliques	Générateurs électriques
Huit grosses unités fournies par Nydquist et Holm de Trollhattan et par les ateliers de Karlstad	Turbines verticales doubles avec 6 ^m 70 d'aspiration. 187 tours par minute. 30 m c. par seconde. Normale 10000 HP. Puissance. Maximum 12 500. Régulateurs, servo-moteurs et pompes à huile.	Alternateurs triphasés (130 tonnes), 10 000 volts. 25 périodes. 11 000 K. V. A. fournis par l'Allmänna svenska elektriska Actiebolaget de Vesteras.
Trois petites unités excitatrices	Turbines simples 410 tours. 500 HP.	Dynamos. 220 à 310 volts. 350 kw.

Batterie annexe de 4 800 ampères-heure.

Pont roulant de 60 tonnes (23^m75).

Les calories produites dans les alternateurs sont employées au chauffage de l'usine et de diverses installations accessoires, on recueille ainsi l'équivalent calorifique du travail perdu en chaleur qui, pour les huit groupes ne représentera pas moins de 4 000 HP.

Les quatre groupes actuellement installés correspondant à une puissance de 40 000 HP, le prix de revient ressort à :

$$\frac{11\,200\,000}{40\,000} = 280 \text{ fr. par cheval électrique transformé à la}$$

sortie de l'usine ; lorsque les huit groupes seront en place, la dépense totale atteindra environ 16 millions de francs et, comme la puissance sera alors de 80 000 HP, le prix de

$$\text{revient ressortira à } \frac{16\,000\,000}{80\,000} = 200 \text{ fr. par cheval.}$$

USINE TRANSFORMATRICE. — Les alternateurs fournissent le courant à la tension de 10 000 volts ; ce courant est dirigé par des conducteurs placés à l'intérieur d'un tunnel cloisonné en 4 couloirs spéciaux, vers l'usine transformatrice qui contient, outre les transformateurs triphasés (de 3 × 3 670 K. V. A.) à bain d'huile refroidie, un hall de montage, un monte-charge et un laboratoire.

LIGNES DE TRANSPORT. — L'énergie produite dans l'usine de Trollhättan doit servir à différents usages : on compte envoyer à des localités lointaines 35 000 à 38 000 HP par des lignes à haute tension (50 000 volts) à 6 fils de cuivre. Une autre part sera distribuée dans le voisinage de l'usine génératrice à la tension de 10 000 volts par des lignes en aluminium. Les isolateurs sont en porcelaine et à triple cloche ; les supports consistent en pylônes métalliques de deux types différents, les uns flexibles, à deux montants pèsent environ 1 000 kilos et sont distants en ligne droite de 170 à 200 mètres, les autres, rigides et à quatre montants, sont placés tous les kilomètres ou aux changements de direction.

Une part probablement considérable de l'énergie des chutes de Trollhattan est destinée à l'électrification des chemins de fer du sud de la Suède, à l'étude depuis plusieurs années. On prévoit que la transformation portera sur 2 000 kilomètres de lignes et qu'elle coûtera 85 millions de francs. Si, comme il semble probable, elle se réalise bientôt, ce pays se trouvera le premier à avoir résolu sur une vaste échelle le problème, un peu partout à l'ordre du jour, de la traction électrique des chemins de fer. Le fait est à noter parce que la Suède, même dans sa région méridionale la plus peuplée est loin d'avoir une population aussi dense que les pays de l'Europe centrale et que ses chemins de fer n'ont ni le même trafic ni le même nombre de trains, mais on compte que la transformation permettra de les augmenter tout en procurant des économies d'exploitation.

Quoi qu'il en soit, il est certain que la création sur ce point d'un foyer d'énergie aussi puissant ne peut manquer d'imprimer à toute la région des progrès industriels et économiques considérables et de contribuer dans une large mesure au développement de tout le pays.

Usine de Gullspång

Il y a dans le sud de la Suède, à l'Est du lac Vänér et 24 m. plus haut que lui, un autre lac d'environ 130 kilomètres carrés qui s'y déverse par la rivière de Gullspång, c'est le lac Skagern. Quoique l'intervalle qui les sépare descende sur un point à deux kilomètres, le cours d'eau qui les réunit, suivant un parcours assez sinueux, n'a pas moins de 13 kilomètres de développement. L'idée d'utiliser leur différence de niveau est ancienne, toutefois on ne l'a pas réalisée

en ouvrant, comme on pourrait le croire, un canal artificiel entre les points les plus rapprochés des deux lacs, car divers obstacles s'y opposent, mais simplement en profitant de la pente de la rivière. Depuis longtemps, il y a eu là diverses petites usines, moulins, scieries, etc..., qui déclinaient d'ailleurs et avaient en partie disparu lorsque, en 1900 sur l'initiative de MM. Grevilli, maître de forges à Mariestad et J. Hedén, ingénieur à Lidköping, se constitua une société au capital de 1 250 000 couronnes (1 750 000 fr.), sous le nom de « Kraftaktiebolaget Gullspång-Munkfors », pour aménager suivant les méthodes modernes la chute de Gullspång et en distribuer l'énergie à Lidköping, Mariestad, Kristinehamn, Svarta et autres localités du voisinage ; aux premiers deman-

point 70 m³ par seconde et que l'étiage descende souvent à beaucoup moins (27 m³ en 1906), a-t-on pu, en prévision d'un aménagement rationnel, combiner la nouvelle usine pour utiliser une moyenne d'au moins 100 m³ et lui assurer un minimum de 45 sans parler des suppléments que pourra donner la régularisation de divers autres lacs du bassin.

Les études commencées en avril 1906, par le Vattenbyggnadsbyrån (*), furent poussées très activement : le projet fut déposé en juillet de la même année et les travaux entrepris par anticipation sans attendre l'autorisation régulière(**) ils furent terminés en moins de deux ans et l'usine solennellement inaugurée le 30 juillet 1908.

L'installation comprend un grand barrage de prise d'eau

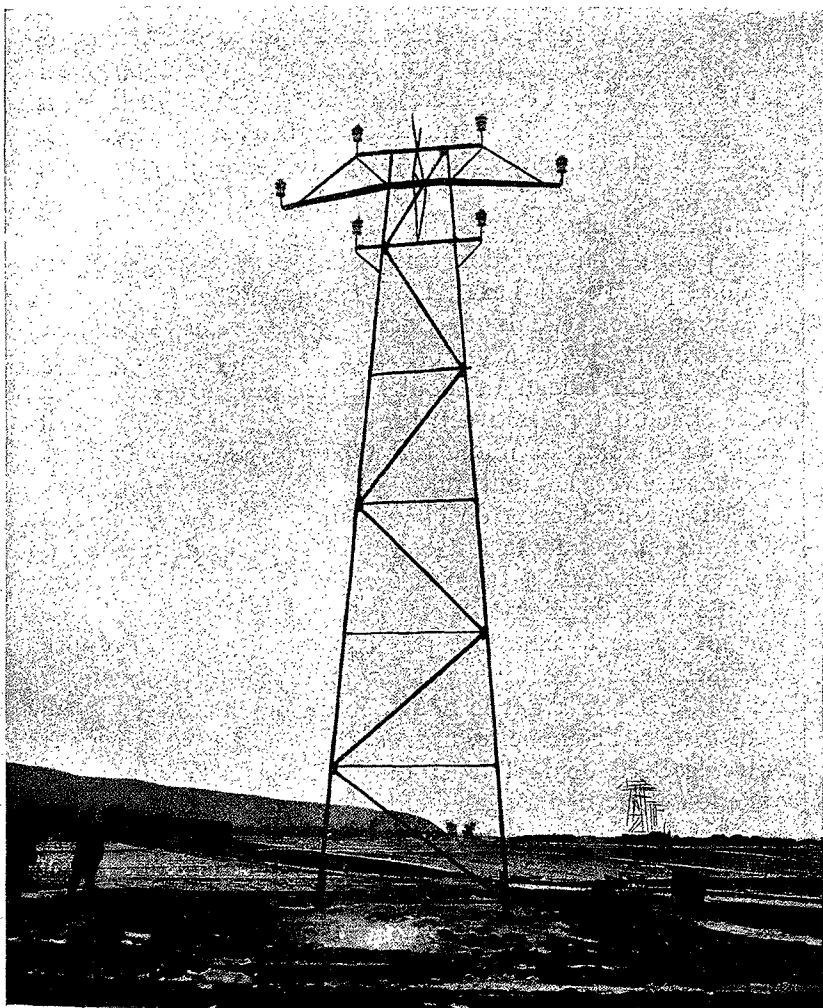


Fig. 2

Lignes de transport de Trollhattan

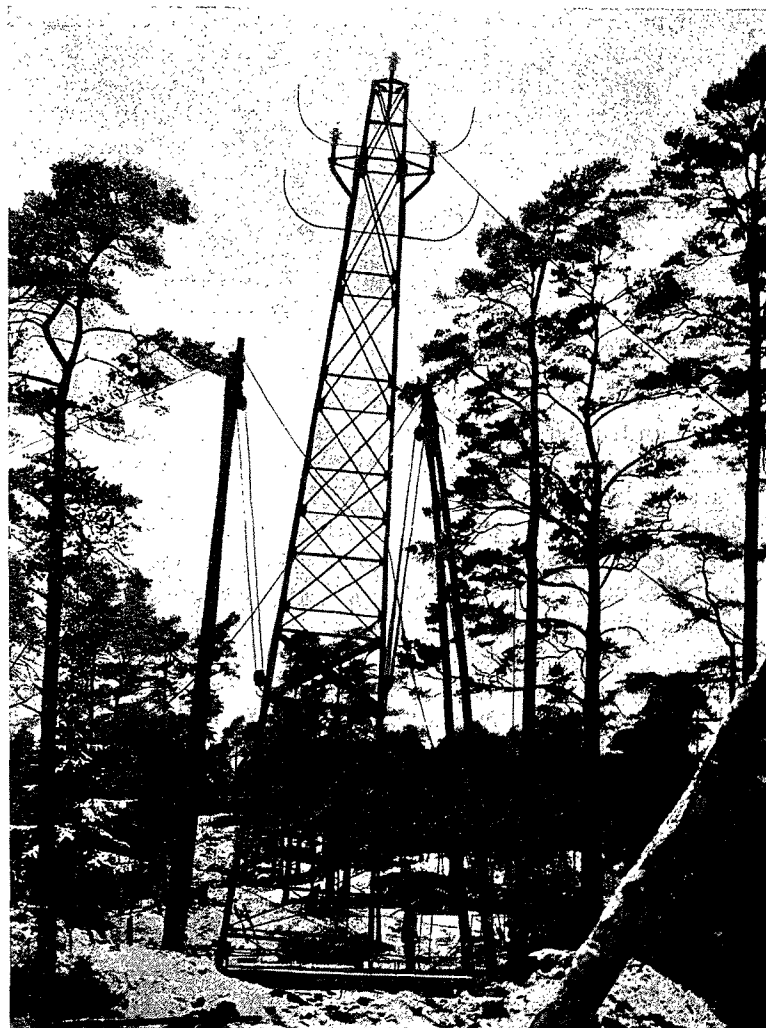


Fig. 3

deurs est venue se joindre la société électrique d'Orebro, propriétaire d'autres établissements et qui a préféré s'adresser à Gullspång plutôt que d'étendre ses propres installations sur la Svartafallen.

L'usine de Munkfors sur la rivière Klara ne disposant d'aucun bassin régulateur, ne peut pas emmagasiner les excédents d'eau de la nuit et des jours fériés tandis qu'à Gullspång on a la précieuse ressource du lac Skagern, en sorte que la société qui a réuni les deux établissements, possède un ensemble tout à fait avantageux et peut régler sa marche sur les besoins de chaque moment. Cette situation va devenir encore meilleure après la prochaine régularisation du lac Skagern et l'annexion de la chute d'Aras, haute d'environ 3 mètres, que forme la rivière à son embouchure dans le lac Vaner. Aussi, quoique le débit moyen naturel ne dépasse

en béton, pourvu de dix travées pour vannages régulateurs, d'un déversoir à glace, d'une échelle à poissons et de deux passes pour alevin d'anguille, un canal d'amenée long d'une

(*) Le Vattenbyggnadsbyrån est un établissement qui s'occupe, pour le compte des services publics, des villes et des particuliers, de tous les projets ou travaux hydrauliques. Fondé en 1902, par M. l'Ingénieur J.-G. Richert, Professeur à l'Ecole Technique supérieure de Stockholm, il se charge de l'étude et de l'exécution de travaux divers tels que canalisations, distributions, endiguements, ouvrages des ports, essais de turbines, chutes d'eau, etc... Il a pris part aux concours internationaux relatifs aux grandes entreprises hydrauliques, en Suède et à l'étranger, souvent avec succès ; son siège est à Stockholm, 29, Humlegårdsgatan.

(**) La procédure, en matière de prise d'eau, est assez compliquée, surtout lorsque, comme ici, il y a « Kungsädra » (chenal royal). La portion centrale du cours d'eau appartient au domaine public et l'on ne peut rien y faire sans une autorisation du Roi précédée d'une instruction

centaine de mètres accompagné de digues à la hauteur du lac Skagern régularisé, l'usine proprement dite et son canal de fuite, le tout assez concentré n'occupant guère que 600 à 700 m. suivant le cours de la rivière (Planche III).

BARRAGE. — On avait projeté d'abord un barrage massif avec fondation générale sur le roc, mais des sondages ayant montré que celui-ci ne se trouve guère qu'à 8 mètres de profondeur sous le milieu du lit, on y renonça par économie et l'on adopta un type qui donne une surface de fondation beaucoup plus réduite.

En plan, l'axe du barrage est tracé suivant un arc circulaire convexe vers l'amont ayant 40 mètres de corde et 36°50 de rayon, qui se prolonge sur chaque rive par une tangente. La portion centrale est un anneau en béton de 35 m. de rayon à l'intrados et 38 m. à l'extrados, en forme de voûte verticale cylindrique épaisse de *trois mètres* (3^m00) ; elle est renforcée tous les 6 mètres par des piliers ou nervures larges de 1 m. qui font saillie de 0^m50 sur le parement d'amont (extrados). La surface de fondation est ainsi réduite au minimum, la pression sur le rocher de base atteint 15 kilos par centimètre carré.

Les parties latérales du barrage sont pourvues de piliers en forme de contreforts inclinés qui augmentent les surfaces d'appui et reposent sur le rocher des rives.

La voûte cylindrique qui forme le milieu de l'ouvrage est toute entière en béton de ciment au dosage de 1/3/5 dans sa portion inférieure et 1/2/3 dans sa portion supérieure qui est en outre armée intérieurement ; les armatures sont de deux systèmes : pour résister au moment de renversement il y a sous le parement d'amont un premier système de tiges d'acier verticales et pour résister aux efforts de flexion, mais seulement sur une hauteur de 2 mètres, un second système de tiges horizontales intéressant toute l'épaisseur de la voûte dans la zone qui supporte la poussée transmise par les vannages ; les efforts correspondants atteignent 16 kilos par centimètre carré lorsque le niveau de la retenue est réglée à la cote 23 m. et peuvent aller jusqu'à 40 k. sous l'action des variations de température et de chargements dissymétriques sur les vannages.

L'écoulement des eaux est assuré par 50 vannes en bois réparties entre les dix travées que séparent les piliers du barrage et par un déversoir à glace, le tout disposé de façon à permettre d'élever la retenue à la hauteur maximum du lac Skagern quand il sera régularisé. Le barrage se prolonge en aval par un fort massif de pierres brutes formant guide-eau et protégeant l'ouvrage contre les affouillements.

Pendant la durée des travaux, on évacuait toutes les eaux par un tunnel provisoire de 50 m² de section, long d'environ 50 mètres, creusé sous la rive gauche et qui a rendu les plus grands services en permettant de construire le barrage sans aucune difficulté d'épuisement. Une fois celui-ci terminé, on a fermé l'entrée avec des poutrelles sans réussir cependant à les pousser jusqu'au fond à cause d'abondants dépôts de gravier qui avaient été amenés par les crues ; cette fermeture ne suffisant pas, on l'a complétée par un tampon intérieur en forme de voûte convexe vers l'amont que l'on a pu constituer en béton immergé non sans peine en recueillant les

filtrations dans des tuyaux munis de vannes que l'on a ensuite fermés et remplis eux-mêmes de béton. On a fait à cette occasion des expériences intéressantes sur les différents dosages et l'on a reconnu que les seuls convenables pour les cas de ce genre sont ceux qui ne comportent que de la pierre et du ciment sans addition de sable.

Le canal d'amenée, creusé en majeure partie dans le roc, est accompagné de digues et de murs en béton (dosage 1/5/7) avec parements drainés et revêtus d'un enduit protecteur au sidérosthène, il y a tous les 15 mètres des joints de dilatation en métal ondulé, scellés dans les massifs voisins, qui se sont montrés parfaitement étanches.

Usine et chambre d'eau. — L'usine et la chambre d'eau sont réunies dans une même construction. On devait d'abord loger les turbines dans des huches fermées au bout de conduites forcées, mais, sur les conseils du constructeur, on renonça à cette disposition pour adopter des chambres ouvertes verticales dont on avait été satisfait à Yngersfors ; ce système en effet facilite le montage et la surveillance, il est favorable au rendement et, quand il s'agit de gros débits comme ici (20 m³ par seconde et par turbine), il n'est pas sensiblement plus cher.

Le plan de l'installation comporte six groupes principaux et deux petits pour l'excitation. Chaque turbine principale a sa chambre d'eau indépendante placée verticalement au-dessus d'elle, l'entrée en est commandée par un grillage de garde, un rideau de poutrelles et une vanne spéciale. Celle-ci, d'un type nouveau breveté, large de 5^m50 et haute de 4^m60 se compose d'une tôle en forme de cylindre vertical convexe vers l'amont, raidie par des traverses horizontales et pourvue de liteaux de chêne sur les bords. Un by-pass à vanne indépendante fait communiquer les deux côtés du vannage. La fosse à turbine comprend une cuve cylindrique de 5^m50 de diamètre et 13 mètres de hauteur en tôle surmontée de la chambre proprement dite en béton armé à laquelle elle s'assemble par un joint élastique obtenu par un pli de la tôle avant le bourrage du béton ; on y a ajouté pour assurer l'étanchéité, un cordon d'étope paraffinée serré entre le bord de la tôle et une rainure circulaire creusée dans le béton. Il y a également des joints de dilatation vers l'entrée de chaque chambre contre le talon de béton qui porté sur le rocher ; enfin l'une des grandes cloisons de chaque chambre repose sur une poutre métallique dont l'élasticité suffit pour faire face aux déformations éventuelles. On s'est donc beaucoup préoccupé de prévenir le jeu irrégulier des diverses parties de la construction et il semble bien que l'on y a réussi.

A l'aplomb de l'axe des fosses une voie ferrée permet la circulation d'un pont roulant de 18 tonnes qui a servi au montage des turbines (Voir Planche III).

L'usine est à trois étages, elle est établie sur le rocher à 10 m. en contre-bas du sol naturel qui a été déblayé de façon à ne pas toucher les murs et à permettre un meilleur isolement de la salle des machines au point de vue de l'humidité. Le rez-de-chaussée renferme les génératrices directement commandées par les turbines avec accouplements rigides et les appareils de régulation. Le canal de fuite passe sous les turbines, il a été creusé en tunnel dans le rocher à grande profondeur pour laisser une épaisseur de toit suffisante sous les diverses fondations, les ouvertures pour le passage des tuyaux d'aspiration des turbines ont été ensuite percées dans ce toit de haut en bas ; ces tuyaux ont une longueur de six mètres, ils traversent un fort plancher en béton où repose la base des cuves cylindriques et sont

préparatoire par le tribunal du canton ; cette instruction a duré ici près de 18 mois et, le 15 novembre 1907, lorsqu'arriva l'autorisation, les travaux étaient déjà à moitié finis.

L'origine légale du « Kungsädra » est fort ancienne, elle remonte au vieux droit scandinave, on en trouve des traces dans les lois provinciales dès le XIV^e siècle (Voir, sur ces origines, l'Histoire de la propriété foncières en Suède, par L. Beauchet, p. 101, 535 et suivantes).

encore fixés à leur extrémité inférieure par une poutre en béton qui assure leur invariabilité.

Les murs de l'usine sont en béton avec armature dans les parties où s'ouvrent les baies d'éclairage. On a donné des soins particuliers à la ventilation de la salle où les génératrices doivent produire en pleine marche 180 calories par seconde, il y a une gaine d'aérage entre chaque groupe et la fosse de la turbine correspondante, des appels d'air ménagés par les panneaux mobiles des fenêtres, par les lucarnes du toit et la cage d'un ascenseur disposée à l'une des extrémités du bâtiment, enfin des orifices spéciaux pour ventilateurs de secours en cas de besoin.

Les transformateurs et l'appareillage de haute tension sont logés à l'entresol, les barres de connexion à l'étage supérieur.

Les divers planchers reposent sur des poutres métalliques, ils consistent en dallages de ciment et de verre armé ; celui de l'entresol est en dalles de béton préparées à l'avance en vue d'une pose rapide et d'une utilisation immédiate ; les poutres sont apparentes sauf sous le toit où elles portent un plafond.

L'ascenseur placé à l'extrémité ouest de l'édifice permet les communications et transports verticaux, une voie ferrée relie directement à la gare de Gullspång l'entresol où l'on peut amener des wagons pleins et les décharger avec un pont roulant de 20 tonnes à commande électrique.

Actuellement on a limité l'outillage à quatre groupes et fermé la salle par une cloison provisoire en bois qui sera enlevée lors de la mise en place des deux derniers groupes.

Ainsi qu'on l'a expliqué plus haut, tout est disposé pour permettre d'utiliser dans la même installation la chute d'Aras qui procurera un supplément notable de chute (10 % environ) ; dans ce but on a tenu le fond du canal de fuite à 2^m25 plus bas qu'il n'était nécessaire pour la chute de Gullspång seule, ce qui porte sa section utile à 50 m². Ce canal, après sa sortie du rocher, longe la rivière dont il n'est séparé que par un mur en maçonnerie construit à l'abri des deux bâtardaux en ciment et sans détournement des eaux.

Le chantier de construction de l'usine et du barrage de Gullspång comportait nécessairement des installations provisoires assez importantes, une station électrique de 250 HP, plusieurs voies ferrées avec matériel roulant desservant les ateliers de fabrication, dépôts de matériaux, etc..., deux compresseurs d'air pour les perforatrices, un réchauffeur pour l'hiver, une forge et divers appareils accessoires.

Les travaux ont été dirigés par le Wattenbyggnadsbyran, avec M. A.-E. Westerlind comme ingénieur en chef, assisté de MM. Thuresson, Lundberg et Stendberg, ingénieurs et de M. Gustafsson architecte ; on a consulté pour les turbines l'ingénieur A. Rosborg et, pour les appareils électriques la station d'essai Elektriska Förfningsanstalten.

Au début, le personnel comptait un effectif de 130 ouvriers qui s'est élevé dans la suite jusqu'à 850. On a eu dans l'été 1907 une grève de 2 mois qui a causé des retards et entraîné une hausse des salaires ; ceux-ci se sont élevés de 38 à 53 centimes pour les terrassiers, de 40 à 63 pour les maçons, mais le travail à la tâche que l'on a développé le plus possible a augmenté les salaires moyens qui ressortent en définitive à 0 fr. 56 pour les terrassiers, 0 fr. 84 pour les maçons et 1 fr. l'heure pour les mineurs ; il y avait pour ceux-ci trois postes de 8 heures. On a employé le travail de nuit sur une grande échelle pour les bétonnages avec un éclairage soigné, ce qui a causé naturellement une assez forte augmentation de dépense. Comme indication géné-

rale de l'importance du travail on peut retenir que les déblais de rocher ont porté sur un volume de 82 000 m³.

Les quatre groupes générateurs actuellement en place fournissent une puissance totale de 16 500 HP ou de 12 000 si l'on ne compte pas l'unité de réserve et, comme la dépense s'est élevée à 4 445 000 francs, le prix de revient du cheval électrique installé ressort à 270 fr. dans le premier cas et à 370 dans le second. Lorsque l'usine aura reçu ses six groupes générateurs, elle disposera de 25 000 HP ou de 21 000 sans la réserve et, comme la dépense atteindra alors 4 900 000 fr., le prix de revient définitif sera de 196 ou de 233 francs par cheval électrique suivant que l'on comptera toute la puissance installée ou que l'on exclura les unités de réserve. Il convient de retenir ces chiffres frappants par leur bas prix, et encore ne tient-on pas compte du supplément très appréciable de puissance que donnera sans nouvelle dépense appréciable, l'annexion de la chute d'Aras comme on l'a expliqué ci-dessus.

L'usine inaugurée le 30 juillet 1908 a produit 400 000 kw.-h. en septembre et environ 900 000 en octobre, la recette brute était alors d'environ 1 400 fr. par jour, elle s'est certainement développée depuis et tout permet d'espérer que l'affaire sera aussi avantageuse pour ses promoteurs que pour ses abonnés.

(A suivre)

R. DE LA BROSE.

ACADÉMIE DES SCIENCES

MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ

Sur la définition des unités électriques pratiques. Note de M. Ch.-Ed. GUILLAUME, présentée par M. J. Violle, séance du 3 janvier 1911.

La définition des unités électriques par leurs relations avec le centimètre, le gramme et la seconde, ne suffit pas aux besoins de la pratique métrologique. Celle-ci exige qu'elles puissent être représentées par des étalons, tout comme les unités fondamentales du système métrique.

Parmi les unités électriques, l'ohm a été, le premier, rapporté à sa représentation matérielle : l'ohm légal, puis l'ohm international, ont constitué deux étapes de l'approximation de l'unité conventionnelle à l'unité théorique du système cohérent. Puis, étendant le même principe, on a voulu définir par un étalon une deuxième unité de l'électricité, et la discussion s'est immédiatement restreinte au choix à faire entre l'ampère et le volt. La plupart des auteurs ont admis que la troisième unité fondamentale et les unités secondaires étaient alors imposées par la nécessité de satisfaire rigoureusement à la loi d'Ohm et aux autres relations de définition ; et cette opinion, implicitement admise, a dominé tous les débats au sein de la Conférence internationale des Unités électriques, réunie à Londres en 1908. La majorité a fait adopter provisoirement la représentation de l'ampère, mais non sans que les partisans de la matérialisation du volt en fonction de l'élément Weston eussent fait valoir d'excellents arguments en sa faveur. Aujourd'hui, la question se pose de nouveau sous la forme volt ou ampère.

Or, il est aisé de se convaincre qu'ainsi formulé, l'objet de la discussion repose sur un malentendu.

Admettons, en effet, le point de vue de la Conférence. La loi de Joule devant être satisfaite au même titre que la loi d'Ohm, toutes les unités sont imposées aussitôt que l'une d'entre elles est fixée ; l'ohm étant admis sans conteste, la discussion se trouve dès lors sans objet.

A cette obligation de satisfaire à la loi de Joule, les électriciens pensent échapper en définissant le watt comme étant le produit du volt par l'ampère. Mais cette conception de la genèse du watt,