

# LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques  
et de leurs applications

CHAMBRE-SYNDICALE  
DES FORCES HYDRAULIQUES  
33, Rue de Lisbonne, 33  
PARIS-8<sup>e</sup>

La Houille noire a fait l'Industrie moderne  
la Houille blanche la transformera.

3<sup>e</sup> Année. — Décembre 1904. — N<sup>o</sup> 12

## APPAREIL RÉPARTITEUR DES EAUX

ENTRE PLUSIEURS BASSINS

*Nous mettons sous les yeux de nos lecteurs la très intéressante communication suivante qui, nous en sommes convaincus, les intéressera grandement.*

Grenoble, le 8 novembre 1904.

Monsieur le Rédacteur en chef de *La Houille Blanche*,

Le Congrès de la Houille Blanche a eu l'occasion de voir à Lancy, en 1902, un appareil établi par M. Bergès pour jauger le débit du ruisseau par une fraction minime de son ensemble.

L'idée de fractionner le débit en un nombre plus ou moins grand de parties égales n'est pas nouvelle. Elle a été souvent énoncée, mais l'application en est difficile par suite de l'influence des parois que l'on ne peut éliminer qu'en réalisant une disposition parfaitement symétrique par rapport à un axe ou à un point.

A ce point de vue, les lecteurs de *La Houille Blanche* trouveront peut-être quelque intérêt à connaître une application de ce principe de la symétrie par rapport à un axe, que j'ai été conduit à réaliser précisément dans les vallées de Lancy et de Domène pour opérer un partage des eaux entre ces deux vallées. Vous en trouverez la description dans la note ci-jointe.

J'ajouterai que c'est cette application qui a suggéré à M. Bergès père la pensée de la renouveler dans son usine en l'étendant du triangle, qui sert de base dans le cas que je cite, à un polygone et finalement à un cercle pourvu de  $n$  ouvertures symétriques.

On pourrait l'appliquer souvent, car il ne manque pas de cas où cette disposition peut être économiquement réalisée. C'est pour ce motif que je me permets de vous faire hommage de ma note de 1898 (l'appareil répartiteur remonte à l'année 1894) avec l'espoir que la lecture pourra intéresser les abonnés de votre Revue.

Veillez agréer, Monsieur, l'assurance de mon bien sincère dévouement.

R. DE LA BROSSE,  
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

P. S. — Je puis vous dire que l'appareil dont traite cette note fonctionne depuis 1894 d'une façon régulière sans exiger aucun entretien spécial.

Les eaux du massif montagneux de Belledonne sont depuis longtemps utilisées par l'industrie et leur valeur devient de plus en plus grande à mesure que les emplois de l'énergie hydraulique se perfectionnent et se multiplient.

Le versant de la vallée de l'Isère, moins escarpé et plus peuplé que celui de l'Oisans, est sillonné de profondes coupures transversales dont les principales encaissent les ruisseaux de Domène, Lancy, Laval, Tencin, etc., à débits essentiellement variables avec les saisons.

En hiver, lorsque le froid sévit sur les hauteurs, et vers la fin de l'été après la fonte des dernières neiges, la plupart de

ces cours d'eau sont à sec ou réduits à un volume insignifiant. Pendant le reste de l'année, au contraire, ils roulent des masses importantes et font mouvoir de nombreux moulins, scieries, etc.

Ces variations sont évidemment défavorables à l'utilisation de leur puissance mécanique, les usines devant régler leurs moteurs et leur production sur le débit minimum susceptible de durer souvent pendant plusieurs mois et toujours plusieurs semaines.

Or, il est arrivé, à une époque déjà ancienne, que les industriels des deux vallées voisines de Domène et de Lancy sont entrés en compétition pour l'usage des eaux issues des lacs Doménons. La pente naturelle des lieux les conduisait à Revel et Domène par le vallon de la Prat et de l'Oursière, mais il suffisait de modifications insignifiantes et de quelques heures de travail pour en détourner une proportion importante vers le lac Crozet et le vallon de Lancy (1). La tentation devait donc être forte pour les habitants de ce vallon de s'attribuer quelque peu des eaux surabondantes qui descendaient par la Prat dans la direction de Domène, surtout à une époque où l'on était loin de profiter autant qu'aujourd'hui des moindres filets d'eau. Aussi semble-t-il que des entreprises de ce genre aient été tentées anciennement déjà et à plusieurs reprises. Les successeurs de ceux qui les ont pratiquées les premiers devaient en bénéficier plus qu'on n'aurait pu le supposer au début. Les usines se développaient à Domène comme à Lancy et les industriels des deux vallées ne tardèrent pas à se disputer des eaux qui leur devenaient chaque jour plus précieuses.

La guerre a duré vingt ans, elle a été fort vive quand la saison faisait baisser les débits et elle s'est déroulée (2) tant sur les lieux par les moyens violents que devant les tribunaux par les moyens juridiques. Elle a pris fin le 2 juillet 1884 par un arrêt de la Cour de Grenoble qui a reconnu aux intéressés de Lancy le droit de conserver définitivement les eaux dont ils étaient devenus possesseurs par une longue jouissance et qui leur étaient acquises par prescription.

(1) Le point favorable pour ce détournement est situé un peu au-dessus du col de la Prat, sur la droite du sentier des lacs Doménons, immédiatement au-dessus de la première chute du ruisseau et vers l'altitude de 2 300 mètres.

(2) Les adversaires entretenaient dans la région litigieuse des compagnies d'ouvriers qui détruisaient mutuellement leurs ouvrages; il n'était pas rare que les rigoles ouvertes un jour fussent comblées la nuit suivante par l'autre parti; l'été se passait ainsi en querelles de tous les instants.

Cet arrêt répartit le débit entre les deux vallées à raison des deux tiers pour Domène et de un tiers pour Lancey, mais en limitant celui-ci à un maximum de 500 litres par seconde. C'est seulement en 1894 que les intéressés se sont entendus pour clore une bonne fois toute discussion et pour appliquer d'une façon pratique l'arrêt de la Cour. Ils voulurent bien s'en remettre au soussigné pour l'étude des dispositions à prendre et pour l'exécution des ouvrages nécessaires et renoncèrent d'un commun accord à l'application de la clause du maximum dans le cas où elle compliquerait les travaux ou augmenterait notablement les dépenses (1).

Le problème à résoudre était donc le suivant :

1° Partager d'une façon permanente le débit variable du ruisseau des Doménons à raison des 2/3 pour Domène et 1/3 pour Lancey ;

2° Réserver pour l'avenir la possibilité de limiter à 500 litres par seconde la part de Lancey sans rendre nécessaires des modifications importantes des premiers ouvrages.

Il fallait proscrire tout appareil délicat ou exigeant une intervention périodique de l'homme, n'employer que des matériaux faciles à trouver sur place ou à transporter à dos de mulet, combiner le tout de telle façon que les ouvrages ne fussent ni fragiles ni même trop facilement accessibles pour les promeneurs et les bergers, avoir égard au climat rigoureux de la région, à l'action prolongée des gelées, enfin arrêter le programme et le mettre à exécution pendant la courte durée de l'été de Belledonne.

La première visite des lieux est du 12 juin 1894, mais une forte tourmente de neige empêcha ce jour-là de les bien reconnaître et l'on dut se borner à fixer à peu près l'emplacement de l'ouvrage dont le tracé n'eut lieu que le 5 juillet. Les travaux, commencés le lendemain, furent terminés le 10 octobre.

Cet ouvrage est conçu comme il suit :

L'on a divisé en trois parties égales le débit du ruisseau et l'on a réuni deux parts sur le versant de Domène, la troisième étant dirigée sur celui de Lancey. La division par tiers se trouve ainsi réalisée ; quant à la limitation de la dernière part à 500 litres, elle a été laissée momentanément de côté conformément à ce qui a été expliqué, mais les choses sont disposées de telle façon que l'on puisse, quand on le voudra et au moyen d'ouvrages supplémentaires peu coûteux, limiter effectivement cette part à 500 litres comme l'a prescrit la Cour. On expliquera plus loin comment.

La division d'un débit variable par tiers n'est pas exempte de certaines difficultés ; si l'on emploie des orifices pratiqués dans une même paroi plane, celui du milieu ne débite pas le même volume que les orifices latéraux parce que la con-

traction des filets liquides est inégalement influencée par les parois. Pour éviter cette cause d'erreur, l'on a eu recours à une disposition symétrique par rapport à un axe vertical, ayant pour base un triangle équilatéral : les eaux, réunies dans un canal découvert A C (Voir la fig. 1), entrent par un aqueduc voûté C D et remontent verticalement dans le puisard D, au sommet duquel elles s'échappent par trois déversoirs égaux et symétriquement disposés autour de son axe. On évite ainsi l'action perturbatrice des parois latérales inégalement écartées des orifices.

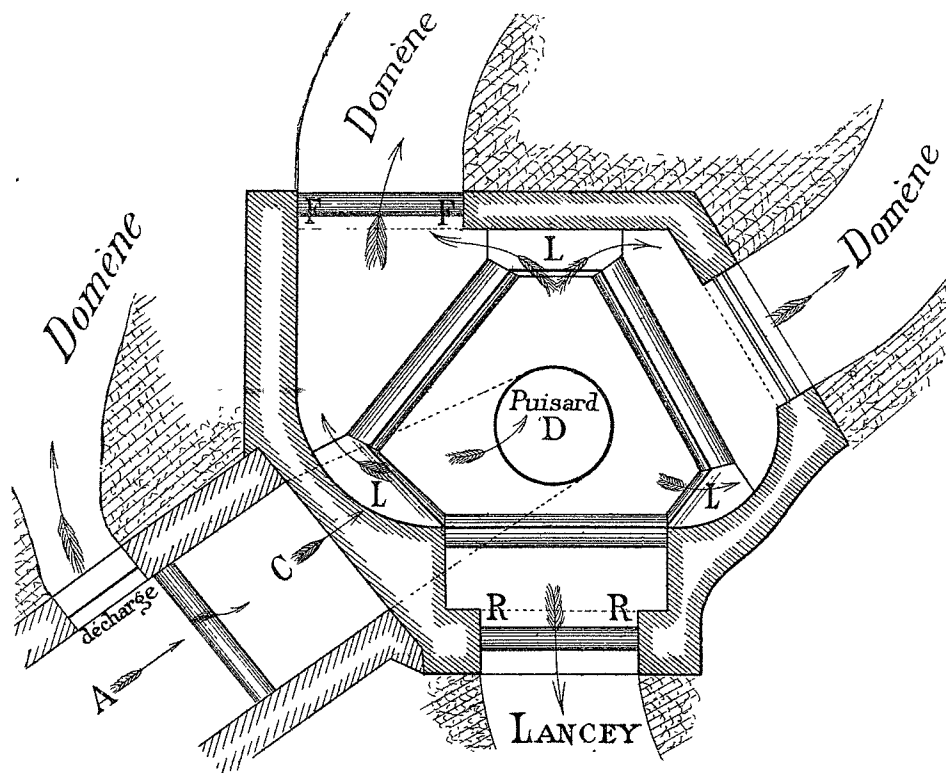


Fig. 1. — Plan de l'appareil répartiteur des eaux.

Chaque déversoir se compose d'une tôle découpée en forme de trapèze E H H E (Fig. 2) encastrée dans la maçonnerie ; cette disposition a pour but d'augmenter la hauteur de la lame déversante pendant les basses eaux (1) et de rendre moins facile l'arrêt des corps flottants qui, en s'accrochant au déversoir, pourraient en altérer le fonctionnement.

Les déversoirs sont déversés deux à deux par des trop-pleins L qui ramènent sur le versant de Domène tout ce qui s'écoule sur leurs crêtes. Il en résulte qu'en temps ordinaire, le débit se partage bien en trois parts égales par raison de symétrie, et qu'en cas de crue, à partir de l'instant où l'eau atteint le niveau des trop-pleins, un excédent proportionnellement considérable est dirigé sur Domène.

Les trop-pleins L sont arasés à 0<sup>m</sup>268 au-dessus du milieu H H des déversoirs. Le jour où l'on voudra appliquer la clause du maximum et limiter à 500 litres par seconde la part de Lancey, il suffira d'abattre les côtés du trapèze suivant la ligne G G, car la formule de l'écoulement en déversoir donne, pour un développement de 2 mètres et une charge de 0<sup>m</sup>268, un débit de :

$$1,80 \times 2^{m00} \times 0,268 \sqrt{0,268} = 0^{mc}500$$

(1) C'est par un compromis du 11 mai 1894 que les intéressés donnèrent mission au soussigné d'appliquer l'arrêt de la Cour et c'est le 18 juin qu'ils reconnurent inutile de s'occuper de la clause du maximum, le débit total ne dépassant 1 500 litres que dans des cas exceptionnels où il y a surabondance.

(1) Avec le profil E G G E, la lame d'eau, répartie sur une longueur G G = 2 m, aurait moins de hauteur qu'elle n'en a avec le profil E H H E qui la concentre vers sa base H H = 0,50.

Pour une solution rigoureuse, il faudrait encore à la vérité que la hauteur de la lame déversante ne dépassât jamais 0<sup>m</sup>268, car tout excédent de charge entraîne naturellement un excédent de débit, mais l'on pourra y arriver par approximations successives en limitant d'abord à 1 500 litres le volume qui pénètre dans le canal d'aménée au moyen de deux déversoirs supplémentaires de telle façon que les trop-pleins L n'aient pas ou peu à fonctionner. Le premier de ces déversoirs supplémentaires (Régulateur) aurait un développement de 12 mètres, le second (Distributeur) en aurait un de 4 mètres comme on le voit sur la fig. 3. Le débit maximum sur le seuil de ce dernier, toujours d'après la même formule, serait en effet :

$$1,80 \times 4^{m00} \times 0^{m35} \sqrt{0,35} = 1^{m500}.$$

Ainsi, en ajoutant aux ouvrages actuels les deux déversoirs supplémentaires dont il vient d'être question et sans rien démolir, on limitera à 1 500 litres le volume qui pénètre dans le répartiteur, le régulateur rejetant le surplus vers Domène.

En cas de très grande crue cependant, les eaux pourront encore s'élever au-dessus de la crête du régulateur et dépasser sur le distributeur la charge de 0<sup>m</sup>35 qui correspond (avec sa longueur de 4 m.) au débit de 1 500 litres. L'exactitude n'est donc pas absolue

facilement reconnaître combien exceptionnelle serait une crue qui, une fois ces dispositions complémentaires réalisées, donnerait sur Lancey un volume sensiblement supérieur à 500 litres. On s'est borné à indiquer ainsi le moyen de limiter le débit sur Lancey suivant ce qu'a prescrit la Cour, les intéressés l'appliqueront quand ils le jugeront utile, mais il paraît peu probable qu'ils aient jamais un intérêt sérieux à y recourir ; pour le moment et suivant ce qu'ils ont convenu par leurs accords du 18 juin 1894, la répartition se fait simplement par tiers sans condition de maximum.

L'ouvrage répartiteur est formé d'une enveloppe M N P en maçonnerie (fig. 2) à joints apparents d'où les eaux s'échappent par trois orifices F F, J J, R R, disposés en

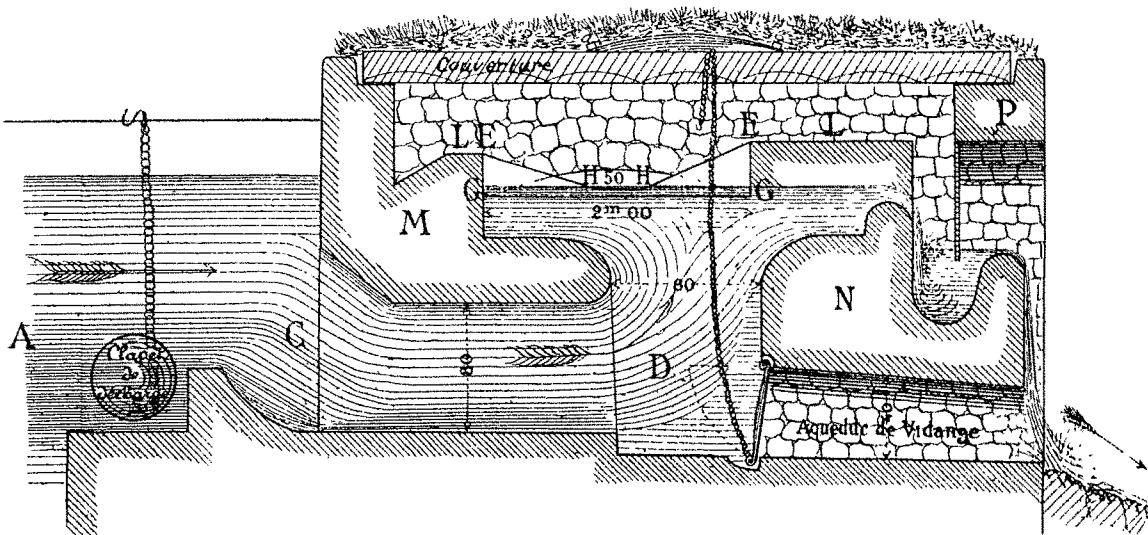


Fig. 2. — Coupe verticale de l'appareil répartiteur.

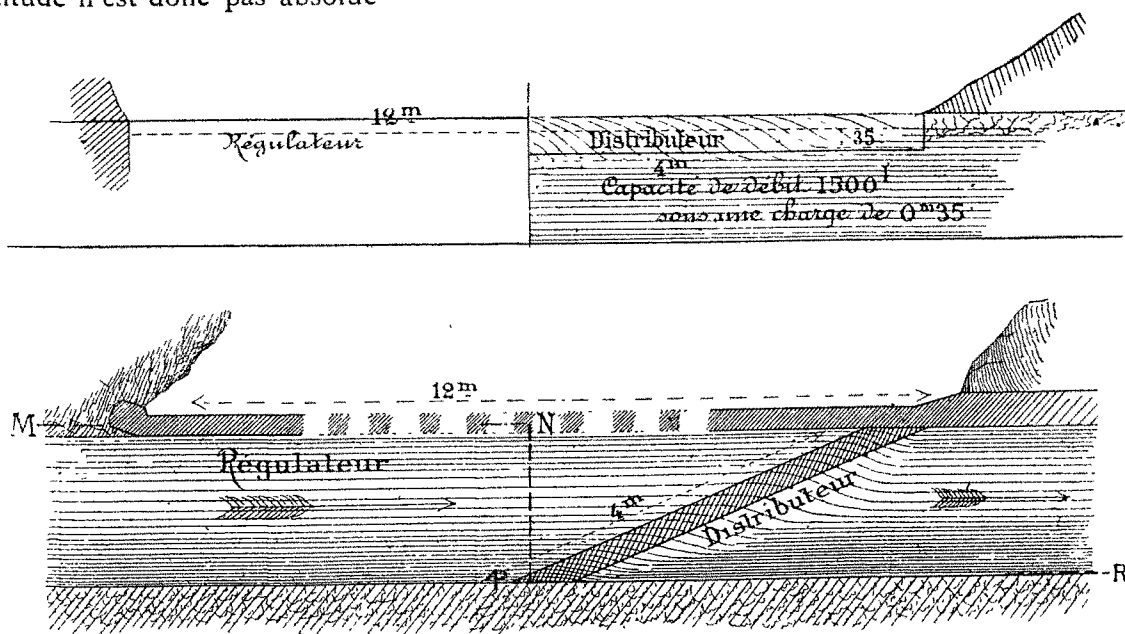


Fig. 3. — Régulateur de débit.

mais les trop-pleins du répartiteur corrigeront comme on vient de le voir l'erreur commise par excès et achèveront de ramener aux environs de 500 litres, sinon exactement à ce maximum, la part finale de Lancey.

En construisant la courbe des débits régularisés par la série de déversoirs que l'on vient de décrire, l'on peut

siphons afin d'éviter la circulation de l'air à l'intérieur et d'atténuer les effets du froid. A cet effet, en arrière de chaque orifice voûté, une tôle plongeante intercepte rigoureusement le passage de l'air. Le tout est recouvert de voûtes en béton de ciment portées sur une ossature en acier. Les poutres ont été combinées de façon à n'éprouver aucun effort supérieur à 10 kilos par millimètre carré sous l'action des charges permanentes et d'une surcharge de neige de 2 mètres de hauteur. Les fers ont reçu plusieurs couches de peinture.

Toutes les pièces métalliques ont subi à l'usine un montage provisoire à l'exception des deux poutres principales dont le poids considérable (180 kilos) eût trop compliqué le transport, ces deux pièces ont donc été fabriquées à pied d'œuvre au moyen d'une âme en tôle rivée à quatre cornières suivant un profil correspondant à la résistance qui vient d'être indiquée (10 k. par mm<sup>2</sup>).

L'ouvrage est fermé de toutes parts, on peut cependant y pénétrer par une trappe en tôle emboutie ménagée à la partie supérieure et fermée au moyen de deux cadenas différents dont les clefs ont été remises respectivement aux deux parties de telle sorte que la trappe ne puisse être ouverte qu'avec leur consentement mutuel. Une couche de terre gazonnée recouvre l'ensemble.

Les dépenses ont atteint le chiffre de 12 200 francs. Il est considérable eu égard à l'importance des travaux exécutés qui comprennent environ 60 mètres cubes de maçonnerie ou de béton et 1 600 kilos de fer ou d'acier. Pour s'expliquer l'élévation des dépenses, il faut retenir que les conditions d'exécution étaient absolument anormales et différentes de celles que l'on est habitué à rencontrer.

Ainsi le ciment qui vaut dans la vallée de l'Isère environ 4 ou 5 francs les 100 kilos (suivant la qualité) revenait à pied d'œuvre à 17 ou 18 francs ; l'on en a employé 22 000 kilos ; il a fallu créer le chemin d'accès ; les terrassements et autres travaux étaient payés à l'heure, aucun entrepreneur n'ayant voulu se charger à prix fait de travaux aussi exceptionnels et, comme les déblais comportaient l'extraction de blocs de rocher volumineux et l'emploi de la mine, le travail quotidien, malgré la surveillance organisée, n'était pas considérable ; les manœuvres étaient payés 0 fr. 50 l'heure, les mineurs 0 fr. 60, les maçons 0 fr. 70, la journée d'un mulet 12 francs. Le mètre cube de maçonnerie au ciment est revenu à 150 francs ; à titre de comparaison l'on peut compter qu'une maçonnerie semblable dans la plaine de Grenoble aurait coûté environ 50 francs, les transports à 2 300 mètres d'altitude ont donc triplé le prix de revient ; la majoration aurait été encore plus forte s'il avait fallu remonter de la vallée de l'Isère le sable comme le ciment (1), mais l'on a pu fort heureusement trouver sur place un sable à peu près satisfaisant ainsi que le gravier pour béton et la totalité de la pierre.

L'exemple de l'ouvrage du partage des eaux montre dans quelle proportion les conditions économiques du travail se modifient avec l'altitude et la distance aux centres d'approvisionnement, il ne paraît pas sans quelque intérêt à une époque où les constructions en montagne se multiplient (refuges alpins, prises d'eaux industrielles, ouvrages militaires, etc.) et nous espérons que l'exposé qui vient d'en être donné pourra peut-être quelquefois être consulté avec fruit.

Depuis sa construction qui remonte à quatre ans aujourd'hui, l'ouvrage n'a éprouvé aucune avarie et il semble permis d'espérer que, moyennant un léger entretien, notamment la visite et la peinture périodiques des fers, il pourra se maintenir dans des conditions satisfaisantes.

Grenoble, le 20 novembre 1898.

R. DE LA BROUSSE,

*Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.*

(1) Dans la construction du fort du Saint-Eynard (1 300 m. d'altitude), l'on a dû payer 30 francs le mètre cube de sable remonté de la vallée de l'Isère où il vaut couramment 3 francs.

## Chemin de fer Électrique Montreux-Oberland Bernois

Dans son important article sur le chemin de fer électrique de la Valteline (1), M. Courbier nous montrait, par un exemple devenu classique, le courant triphasé triomphant du courant continu qui jusqu'alors avait été presque exclusivement employé pour la traction électrique. Nous avons cru intéressant de décrire ici l'installation du chemin de fer électrique Montreux-Oberland Bernois où, après une étude approfondie, le courant continu a été préféré malgré la longueur assez grande du parcours (62 kms de Montreux à Zweisimmen) et malgré la puissance assez considérable des automotrices (160 HP pour les anciennes et 260 HP pour les nouvelles).

Avec le triphasé on a bien l'avantage très appréciable d'avoir automatiquement, en rampe comme en palier, une vitesse des trains à peu près constante sans recourir à un freinage mécanique et d'éviter ainsi dans les descentes une grande usure des bandages et des sabots. Cet avantage n'est certes pas à dédaigner pour un chemin de fer présentant de longues et fortes rampes, comme c'était le cas.

Un autre avantage des moteurs à courant triphasé réside dans la disparition du collecteur, point délicat des moteurs à courant continu, avantage qui maintenant est en somme assez faible car on arrive très bien, à l'heure actuelle, avec une construction soignée et un moteur bien étudié, à établir des collecteurs pouvant fournir un long et pénible service.

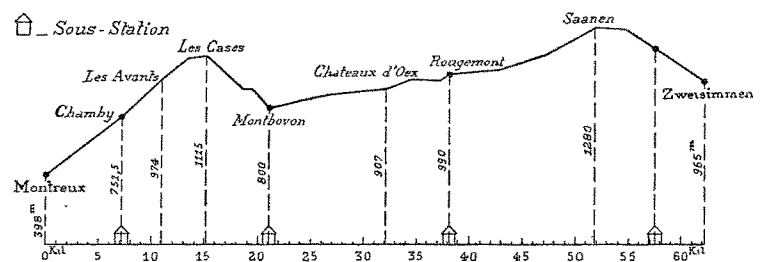


Fig. 1. — Profil en long de la ligne.

Il est en outre possible, avec le triphasé, de restituer aux descentes, lorsque les moteurs tournent au-dessus du synchronisme, une partie de l'énergie à la station génératrice ; mais le principal avantage du triphasé se trouve dans les stations de transformation devenues infiniment plus simples, d'un prix d'établissement bien inférieur et d'un entretien très réduit, une surveillance permanente n'étant pas nécessaire.

Enfin, comme pour le chemin de fer de la Valteline et la ligne d'essai de Marienfeld à Zossen, l'emploi pratique de la haute tension directement dans les voitures permet, pour les lignes de long parcours, une réduction importante des frais d'établissement par la diminution du poids de cuivre des conducteurs et la suppression ou le plus grand espacement des sous-stations, tout en permettant l'emploi de locomotives de grande puissance.

Malgré ces avantages, les conditions locales ont fait préférer le courant continu à la tension de 750 volts pour le chemin de fer de Montreux-Oberland Bernois.

Les fortes variations du profil en long auraient exigé pour les moteurs triphasés l'adoption de deux vitesses différentes : soit en couplant deux moteurs en cascade, ce qui aurait donné un rendement assez médiocre à moins d'employer comme à la Valteline une faible fréquence ; soit en faisant varier le nombre des pôles des moteurs, mais on tombait alors dans une très grande complication

(1) Voir *La Houille Blanche* d'octobre 1903.