

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 81 (1955)
Heft: 21-22: École polytechnique fédérale Zurich: centenaire 1855-1955,
fasc. no 2

Artikel: Le rôle des accumulations dans le développement des aménagements hydro-électriques en Suisse
Autor: Bruttin, Jules-François
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61372>

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: 26.01.2026

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

transversaux suivant la ligne de plus grande pente du parement et distants de 5 m à leur intersection avec le mur de pied. Tous les 20 m, le mur de pied est lui-même articulé grâce à un joint à emboîtements. Le masque repose sur des sommiers, armés également, disposés sous les joints. Ces sommiers sont noyés dans une couche de maçonnerie au mortier d'un mètre d'épaisseur qui repose elle-même sur une épaisseur de 2 m de maçonnerie sèche. Entre la dalle en béton armé et la maçonnerie au mortier, une couche de béton poreux de 20 cm recueillera les infiltrations éventuelles. Elle est par-

courue par des drains de 6 cm de diamètre qui abouissent dans la galerie de pied amont.

Le parement aval est constitué par un perré non maçonnable de 50 cm d'épaisseur posé sur une épaisseur de 1,60 m de maçonnerie sèche. Il est buté à l'aval par un petit mur de pied en béton.

L'étanchéité des joints du masque est réalisée par une clavette de mastic Igas protégée par une clavette en mortier armé, dispositif analogue à celui des joints entre les contreforts du barrage.

(A suivre.)

LE RÔLE DES ACCUMULATIONS DANS LE DÉVELOPPEMENT DES AMÉNAGEMENTS HYDRO-ÉLECTRIQUES EN SUISSE

par JULES-FRANÇOIS BRUTTIN, ingénieur E.P.F.

I. Historique

L'utilisation pratique de l'électricité n'a, de loin, pas encore un siècle, à peine quelque soixante-cinq ans, car c'est en 1890 qu'on réussit la première fois à transporter l'énergie électrique à quelque distance. Jusqu'à cette date, les nombreux aménagements qui existaient sur nos torrents et nos rivières, utilisaient la force hydraulique pour la transformer en effort mécanique. La roue du moulin avait déjà fait place à la turbine.

Il devait exister en Suisse, avant 1890, suivant des statistiques à vrai dire peu sûres et peu concordantes, quelque 60 000 chevaux hydrauliques installés dans un très grand nombre d'usines, dont une dizaine à peine atteignait 1000 CV, et dont la plus forte était sans doute l'usine de la Coulouvrenière construite en 1886, pour le service d'alimentation en eau de la ville de Genève ; elle contenait à cette date, sauf erreur, dix-huit groupes turbo-pompes de 250 CV chacun, soit 4500 CV.

De ces aménagements, il ne doit plus y en avoir beaucoup en service aujourd'hui ; nous les mentionnons cependant pour relever le fait que la technique des travaux en rivière, ainsi que la construction des turbines avaient déjà dépassé le stade de la plus tendre enfance lorsque l'électricité fit son apparition ; elles étaient prêtes, dès lors, au développement rapide qu'allait leur imposer l'électricité.

Toute classification a quelque chose d'arbitraire lorsqu'il s'agit d'un développement continu. Celle que nous choisissons pour définir trois périodes dans le développement des aménagements hydro-électriques n'échappe pas à la règle.

La première période dont l'étendue peut se classer de 1890 à la guerre 1914-1918, est caractérisée par la recherche des types de turbines appropriées aux diverses chutes, par la puissance très faible des groupes hydro-électriques et par l'absence complète de toute idée d'utilisation rationnelle d'une rivière et de plan d'ensemble dans le choix des sites.

La deuxième période depuis la guerre de 1914-1918 jusqu'à 1930-1935 est caractérisée par l'augmentation

rapide de la puissance des groupes qui a conduit à la mise au point d'un type d'usine à rendement optimum pour un tronçon de rivière ou de cours d'eau étudié pour lui seul.

La troisième période enfin est celle des aménagements complets régionaux, influencés avant tout par la préoccupation de l'utilisation intégrale de nos forces hydrauliques.

Nos premières usines

A la fin du siècle dernier, le génie civil avait une avance très marquée sur le développement mécanique.

Des usines construites en plein fleuve comme celle de Chèvres sur le Rhône genevois en 1896, des tunnels de plus de 8 km comme l'aménée d'eau de Hauterive en 1902, l'ancien barrage du Bois-Noir sur le Rhône en 1902 également, sont déjà des ouvrages de génie civil importants. S'ils ont relativement vite disparu, ils le doivent à leur équipement vieilli trop vite, et surtout trop faible.

En effet, dans la période de 1890 à 1914, l'équipement était conditionné par les besoins limités de la région que desservait l'usine, et limité en même temps, par l'encerclement et la faible puissance des groupes.

On installait un peu partout des usines destinées avant tout au courant d'éclairage qui devait rapidement supplanter le gaz. Les puissances demandées étaient faibles, et les possibilités de construction des alternateurs et de l'équipement électrique extrêmement limitées par les tâtonnements inévitables du début de l'électrotechnique.

On utilisait donc un tronçon de torrent ou de rivière favorable, on l'équipait pour le débit d'étiage, toutes les crues déversaient. Le bilan économique était simple. Pour une puissance installée à l'usine de x chevaux, il fallait installer dans le réseau la même puissance diminuée des pertes. On vendait cette puissance à forfait, sous forme de bougies, de lampes ou de chevaux. Le degré d'utilisation n'intervenait pas dans le calcul économique ; on ne parlait que kW et jamais kWh. C'est sans doute à ces débuts qu'il faut faire remonter

la confusion entre les kW et les kWh qui règne encore aujourd'hui chez beaucoup de consommateurs. Le souci du rendement des usines était également minime, étant donné la réserve d'eau dont disposait en général la rivière. Personne ne se souciait, en ce temps-là, d'utiliser au maximum les possibilités d'une rivière, et de réserver l'avenir.

Les usines de cette première période sont appelées à disparaître :

- 1^o parce qu'elles occupent les meilleurs emplacements avec un très mauvais degré d'utilisation et entraînent la construction des grandes usines.
- 2^o par suite de leur équipement vieilli trop tôt ;
- 3^o parce que les frais d'exploitation deviennent disproportionnés à la puissance disponible.

Plusieurs d'entre elles ont du reste déjà disparu pour faire place à de grandes usines modernes : Chèvres noyée dans le remous de Verbois, le Bois-Noir entièrement remplacé par Lavey, Hauterive dont seul le bâtiment de la centrale subsiste dans le nouvel aménagement de Rossens ; dans cette salle des machines d'Hauterive, il y avait en 1902, douze machines de 800 CV soit en tout 9600 CV. Actuellement la même place est occupée par cinq machines faisant au total 80 000 CV.

Certaines usines isolées géographiquement pourront peut-être subsister, à condition d'être modernisées, pour diminuer les frais d'exploitation.

La seconde période peut se situer en Suisse de la fin de la guerre 1914-1918 jusqu'à 1930 environ.

Pendant la guerre, l'électricité s'est définitivement imposée. On la veut non seulement pour l'éclairage, mais pour la force, le chauffage et la traction des chemins de fer. L'électrification des CFF lui donne un essor rapide, on songe déjà à la connexion de plus grands réseaux. Les progrès techniques vont de pair ; chaque nouvelle usine possède des groupes plus puissants que la précédente.

Ce développement, tout au moins pour *les basses chutes*, trouve son couronnement dans la construction, dans les années 1926 à 1931, de l'usine de Rybourg-Schwörstadt. Cette usine est, aujourd'hui encore, celle qui dans l'année produit le plus de courant en Suisse, soit plus de 700 millions de kWh dans quatre groupes turbinant chacun 300 m³/sec sous 11,40 m de chute et 39 500 CV de puissance. Si l'on compare ces chiffres à ceux des premières usines du Rhin, Rheinfelden (1898) qui contenaient vingt groupes de 800 à 1200 CV utilisant chacun 27 m³/sec, on peut se rendre compte du chemin parcouru durant ces trente ans.

Depuis Rybourg-Schwörstadt toutefois, on peut admettre que le développement en dimension des usines au fil de l'eau s'est stabilisé en Suisse. Birsfelden, la dernière des usines mises en service sur le Rhin, n'utilise que 1300 m³/sec contre 1200 à Rybourg et possède également quatre groupes.

Le développement des *hautes chutes et des accumulations saisonnières* est quelque peu décalé par rapport aux basses chutes. Il est, en effet, la conséquence de ce développement, car ce sont les basses chutes fortement équipées qui ont fait ressortir la disproportion de la production d'hiver et d'été. Tant que les usines au fil de l'eau étaient équipées pour les faibles débits d'étiage, leur production était à peu près constante. Lorsque

leur équipement augmenta pour atteindre le débit de 150 ou même 120 jours par an, le manque d'énergie d'hiver devint flagrant.

Des trois sources possibles pour combler ce déficit, l'importation, les usines thermiques et les accumulations saisonnières, nous devions en Suisse donner la préférence à la dernière. Les CFF donnèrent l'exemple en construisant le premier grand barrage : celui de Barberine, de 1919 à 1923. Cette œuvre de pionnier fut bientôt suivie d'autres ouvrages tels que le Wäggital, Montsalvens, et enfin la première Dixence en 1930-1934, qui avec ses 1700 m de chute fut et reste encore, sauf erreur, la plus haute chute du monde.

Nous pensons qu'avec la seconde guerre se termine la deuxième période de notre classement. On peut dire qu'à partir de cette date, la technique est suffisamment développée et sûre pour que les usines construites dès 1925 environ ne vieillissent plus autant que celles de la première période. Les types de turbines se sont précisés ; on construit des Pelton pour les hautes chutes, des Francis pour les chutes moyennes et des Kaplan pour les basses chutes. Les rendements de ces turbines ont atteint des chiffres tels qu'il ne sera jamais intéressant de les démolir pour gagner les quelques pour-cent encore possibles. Cette opération ne serait pas rentable. Ceci ne veut pas dire qu'il n'y a plus de progrès techniques à faire, non certes, mais les progrès futurs seront dirigés surtout dans le sens d'une économie plus grande et d'une réduction du coût des ouvrages, comme nous le verrons plus loin. Certaines usines cependant devront être modifiées en tout ou dans quelque partie de leurs ouvrages pour être intégrées dans les aménagements régionaux qui caractérisent la troisième période, dans laquelle nous a poussés l'évolution rapide de la consommation d'énergie pendant et après la guerre de 1939-1945.

La période des grands aménagements

Peut-on dire que celle-ci est née de la constatation très simpliste mais brusquement apparue, que nos ressources en énergie hydraulique n'étaient pas indéfinies ? La parution en 1945 de la publication du S.F.E. du recensement des forces hydrauliques encore disponibles en Suisse a frappé l'imagination par son plafond fixé à environ 25 milliards de kWh annuels, alors qu'en 1945 la Suisse en consommait déjà près de 9 milliards. Le développement rapide de la consommation, qui a passé en 1954 à plus de 13 milliards de kWh, a fait apparaître comme possible et aujourd'hui comme sûr, que les quelque 30 milliards de kWh hydrauliques économiquement aménageables en Suisse seront complètement utilisés et nécessaires à nos besoins avant qu'une autre forme d'énergie, en particulier l'énergie atomique, n'arrive à concurrencer comme prix de revient l'énergie hydraulique. Il y a lieu de remarquer à ce sujet que les investissements une fois achevés, les frais d'exploitation et d'entretien des centrales hydrauliques sont si faibles, que les usines existantes ne seront en aucun cas mises hors de service par la concurrence d'autres sources d'énergie. Il faut par contre s'attendre à ce que la construction de nouvelles usines hydrauliques cesse le jour où les investissements des centrales nucléaires s'avéreront inférieurs à ceux des nouvelles

centrales hydrauliques, *compte tenu de la qualité d'énergie produite*. Mais ceci ne peut pas être le cas en Suisse avant longtemps si les futurs aménagements sont conçus dans le sens indiqué plus loin.

La préoccupation primordiale devint dès lors *l'utilisation rationnelle de toute notre énergie hydraulique sous l'angle d'une répartition aussi égale que possible entre l'hiver et l'été*.

Partant de ce point de vue, on est arrivé aux grands aménagements régionaux. Pour être tout à fait juste, il faut cependant relever que certains ingénieurs aux vues lointaines et larges n'avaient pas attendu cette heure pour se soucier de tels aménagements. J'ai eu notamment sous les yeux à Fribourg une étude faite en 1913 par l'ingénieur en chef des E.E.F. d'alors, M. Maurer, où le cours de la Sarine était étudié depuis le Sanetsch jusqu'à Laupen. Le barrage de Rossens réalisé plus de trente ans plus tard y figurait déjà. Plusieurs idées de ce projet sont du reste reprises dans l'étude récemment parue sur l'aménagement de la Sarine par M. Chavaz, le sous-directeur actuel du S.F.E. Il convient également de signaler que le projet d'aménagement du Rhin de Schaffhouse à Bâle date de 1920, et qu'il est en voie de réalisation avec le nombre d'usines prévu à cette date. Il s'achèvera par la modernisation ou la reconstruction des usines antérieures à Rybourg-Schwörstadt, et par la construction des deux derniers paliers encore vierges de Koblenz et Säckingen. Dans cet aménagement, la chute est utilisée sans perte sur tout le cours du fleuve. Il en sera de même de Bâle à Strasbourg, lorsque sera achevé l'aménagement du grand canal d'Alsace, élaboré par un ingénieur suisse, M. René Koechlin, qui en a réalisé la première étape par l'usine de Kembs et dont les deux suivantes, Othmarsheim et Fessenheim, ont été reprises et réalisées par l'Electricité de France.

Malheureusement cette planification a fait défaut en particulier dans les cantons les plus riches en énergie hydro-électrique, soit le Valais et les Grisons, et ceci peut-être parce qu'ils ont été aménagés plus tôt que les autres. En Valais, particulièrement, il n'est pas un seul projet de grand aménagement qui ne se heurte à quelque usine existante. Parfois les difficultés nées de ces conflits sont faciles à surmonter du fait qu'il s'agit de très petites usines en face de très gros aménagements, ou d'usines appartenant à la même société que le nouvel aménagement ; parfois cependant, ces conflits peuvent devenir plus difficiles à résoudre s'il s'agit d'usines existantes relativement puissantes ou de sociétés aux intérêts divergents.

Quo qu'il en soit, il est de notre devoir de pallier maintenant, autant que faire se peut, ce manque de plan d'ensemble et de créer les nouveaux aménagements les plus rationnels en intégrant, dans la mesure du possible, les usines existantes et en sachant faire, s'il le faut, le sacrifice total ou le plus souvent partiel, de celles qui sont incompatibles avec notre nouvelle tâche.

II. Directives pour l'étude de nouveaux plans d'ensemble

Quelles peuvent être les lignes directrices pour l'établissement de grands plans régionaux ?

Nous voudrions en citer quelques-unes :

1. Un plan d'ensemble doit prévoir l'utilisation la plus complète possible des eaux encore disponibles.
2. Un plan d'ensemble doit rechercher les possibilités d'accumulation en vue d'équilibrer sur l'ensemble du pays la production d'énergie d'hiver et d'été.
3. Les nouvelles usines devront être fortement équipées et disposer d'une certaine réserve de puissance afin d'adapter la production aux besoins de la consommation.
4. Enfin les nouveaux aménagements doivent tenir compte de la diversité des besoins des consommateurs, réseaux généraux, industrie, électrochimie.

Ces directives sont si intimement liées les unes aux autres qu'il est difficile de les commenter séparément. Nous suivrons cependant en gros le schéma ci-dessus dans les réflexions qui suivent.

La première chose à faire est de fixer dans ses grandes lignes l'étendue de la région que doit comprendre une étude générale. Cette région doit être tout d'abord choisie très grande. Je ne craindrais pas de dire, par exemple, qu'en ce qui concerne le Valais, elle aurait dû au premier abord embrasser tout le canton, quitte après à le diviser en trois ou quatre zones.

De la région envisagée, il convient d'établir l'inventaire hydrologique et le potentiel énergétique. Cet inventaire doit s'étendre à tous les cours d'eau. Il est grandement facilité par les publications de l'annuaire hydrologique fédéral. Cet inventaire est absolu, il ne dépend pas de l'opinion ou des idées personnelles du projeteur. A notre avis, il pourrait parfaitement être établi par les services hydrauliques cantonaux aidés par le Service fédéral des eaux.

Il conviendrait ensuite d'examiner sur chaque cours d'eau quelles sont *les possibilités d'accumulation*. Ici intervient déjà l'avis personnel de l'ingénieur et l'influence du progrès technique. Sur ce point l'évolution de ces dernières années a été très rapide, par suite du développement de la technique des barrages et des digues.

Grandes accumulations saisonnières

Il convient ici de dire quelques mots sur l'état actuel de ce problème et ce qu'on peut attendre des prochaines années.

Tout d'abord au point de vue technique :

J'ai dit plus haut que les progrès techniques seraient avant tout à l'avenir, dirigés vers une plus grande économie des ouvrages.

En ce qui concerne les *barrages*, la technique du béton est au point, tout en se perfectionnant encore chaque jour. Quant aux types et dimensions des barrages en béton, le calcul des barrages-poids et des barrages-vôûtes est assez avancé pour permettre la construction de barrages de très grandes dimensions, dépassant 200 m de haut : Mauvoisin et Dixence. Dans les barrages-vôûtes, il est certes encore possible d'aller plus loin dans l'économie de matière. Les Italiens et les Français sont, sous ce rapport, plus audacieux que nous, freinés du reste dans les ouvrages de moyenne dimension par l'ingérence des militaires auxquels nous devons, en outre, l'abandon des barrages évidés qui pourtant

offrent de très intéressantes possibilités à l'art de l'ingénieur. On peut se demander du reste s'il est équitable que les Sociétés d'électricité soient contraintes de supporter les augmentations des frais de construction résultant des exigences militaires en vue d'un supplément de sécurité aléatoire et qui ne peut être qu'arbitrairement fixé.

Ce n'est donc pas dans les barrages en béton, mais dans *les digues en terre ou en enrochements* que les plus grands progrès restent à réaliser. Les digues seront désormais de plus en plus nombreuses. Ce n'est pas là une question de mode, mais le résultat du fait que les emplacements de barrages en béton, dont la fondation ne peut être que la roche en place, se font de plus en plus rares. Il subsiste cependant de nombreux emplacements propices dont le sous-sol est composé de terrains alluvionnaires ou de moraines sur lesquels il est possible de poser une digue, mais non pas un barrage en béton.

La consolidation et l'étanchéisation de ces sous-sols ont fait, dans ces dernières années, des progrès extrêmement rapides. La technique des injections se perfectionne chaque jour, tant au point de vue de la rapidité et de la profondeur des forages qu'à celui des produits injectés. La mécanique des sols est une science très jeune, mais appelée à de grands progrès. De plus en plus, on abandonnera le principe d'ouvrir la fondation et d'y construire un masque étanche homogène de béton ou d'argile, pour le remplacer par un masque consolidé et étanché par des injections. C'est la solution adoptée dans les alluvions qui constituent le sous-sol de la grande digue de Serre-Ponçon, sur la Durance.

Des progrès seront également réalisés dans les revêtements étanches où la tendance est très nette de remplacer le béton rigide avec des joints compliqués par un revêtement asphaltique continu, plus souple. La technique de ce qu'on appelle les bétons bitumineux ou bétons asphaltiques est promise à un grand avenir pour les revêtements des bassins et même des grandes digues dans les cas où l'étanchéité ne peut pas être réalisée au moyen des matériaux naturels à disposition.

Etudes des sols constituant le corps des digues au point de vue cohésion, stabilité, étanchéité, mise au point du revêtement étanche en béton asphaltique, consolidation et étanchement du sous-sol par injections, tels sont les problèmes à l'étude qui permettront à l'avenir de construire des digues plus économiques et plus sûres.

Après avoir étudié les possibilités techniques de réalisation d'accumulations dans une région ou un aménagement donnés, l'ingénieur devra en rechercher *les limites économiques*.

Quel montant peut-on investir par kWh accumulé ? Référons-nous d'abord aux usines existantes. Une comparaison n'est en tout cas possible que s'il s'agit de kWh accumulés identiques ; or ceux-ci ne sont vraiment identiques que dans des accumulations saisonnières ne se remplissant et ne se vidant qu'une fois l'an, donc dans des lacs artificiels de haute montagne. Une accumulation partielle comme nos lacs des préalpes, Sihlsee, Rossens n'est déjà plus comparable à une accumulation de haute montagne, parce que le jeu de la retenue n'est plus le même. A plus forte raison, il est impossible de fixer les normes pour des accumulations plus petites qui jouent plutôt le rôle de bassins de compensation pour l'étalement de crues passagères ou pour permettre la concentration de la production sur les heures de forte consommation des jours ouvrables.

Le tableau ci-dessous donne une comparaison des barrages alpins construits en Suisse, ou actuellement en construction. Il ne concerne malheureusement que le cube de béton, l'élément le plus important du prix de revient de l'accumulation.

On peut constater qu'avant la guerre l'on n'aurait pas construit une accumulation dont le coefficient $\frac{\text{kWh accumulés}}{\text{m}^3 \text{ de béton}}$ aurait été inférieur à 400, tandis que l'on descend maintenant en dessous de 300 et même de 250. Le barrage de Cleuson fait exception à la règle ; il s'agit cependant d'un cas spécial car toute l'eau accumulée dans ce bassin a été utilisée sans installation nouvelle dans l'usine existante de Chandoline.

Comparaison de différents aménagements à haute chute et bassin d'accumulation annuel

Barrage	Type	Volume de béton m^3	Volume d'eau accumulé Mio m^3	Chute brute moyenne m	Production spécifique kWh/m^3	Energie accumulée Mio kWh	Energie accumulée par m^3 de béton kWh/m^3
<i>Barrage en béton</i>							
Grimsel }	poids-vôûte	410 000	100 }	577 + 679 = 1256	2,7	300	610
Gelmer }	poids	81 000	13 }	442 + 679 = 1121	2,4	65	234
Rätherichsboden .	poids	277 500	27	507 + 577 + 679 = 1763	3,75	218	435
Oberaar	poids	500 000	58	971 + 332 + 280 = 1583	3,4	115	500
Lucendro }	poids évidé }	230 000	34	1727	3,65	182	432
Sella }	poids	421 000	50	1665	3,00	60	200
Première Dixence .	poids évidé	300 000	20	1460	3,11	124	540
Cleuson	poids évidé	230 000	40	418 + 1016 = 1434	3,13	564	269
Salanfe	poids	2 100 000	180	809 + 1005 = 1814	3,9	1365	232
Mauvoisin	vôûte	5 890 000	350	650 + 439 + 590 = 1679	3,55	256	316
Grande-Dixence .	poids	810 000	72	822 + 417 = 1239	2,64	132	400
Gougra	vôûte	330 000	50	390 + 509 + 297 = 1196	2,55	158	210
Lienne	vôûte	750 000	62	100 + 425 + 673 = 1198	2,55	255	392
Sambuco	vôûte-poids	650 000	100				
Zerwreila	vôûte-poids						

Pour être tout à fait instructif, ce tableau devrait être complété par une colonne contenant la somme investie par kWh accumulé. Cette somme devrait comprendre non seulement le barrage avec ses organes de vidange, mais également les frais d'adduction d'eau au bassin. La majeure partie des premières accumulations se remplissait simplement par gravité ; tout au plus y conduisait-on par de courtes galeries l'eau des torrents voisins. La nécessité d'utiliser au mieux les possibilités d'accumulation conduit maintenant à chercher l'eau dans les vallées voisines et parfois fort loin, comme par exemple à la Grande-Dixence. Dans certains cas il est même nécessaire de pomper partiellement l'eau de remplissage (Oberaar - Gougra - Grande-Dixence) ; il conviendrait alors que l'ensemble de l'aménagement soit à même de fournir lui-même dans les paliers inférieurs son énergie de pompage. Si celle-ci doit être achetée au dehors, il doit être bien difficile de calculer le montant exact des frais d'exploitation auxquels doit être incorporé l'achat d'énergie de pompage.

Faute de chiffres précis il nous est impossible de compléter comme nous le voudrions notre tableau comparatif. On peut cependant en conclure que le coût des accumulations construites avant guerre, mais calculées aux prix d'aujourd'hui, ne doit guère dépasser 20, au maximum 25 ct. par kWh accumulé, tandis que pour les nouvelles accumulations, il atteint et dépasse même dans certains cas 30 ct. par kWh. Il est probable que la limite économique actuelle doit se placer vers 35 ct. par kWh. Ce coût ne comprend bien entendu que les frais d'accumulation et non pas ceux de l'aménagement situé en aval du barrage ou de la digue.

Dans le calcul de l'énergie accumulée, nous avons tenu compte de la chute totale des différents paliers situés à l'aval de l'usine et appartenant au même propriétaire que l'accumulation. Le cas se présente cependant de plus en plus où l'une des usines aval qui bénéficie de l'accumulation n'appartient pas au propriétaire du barrage. La loi hydraulique fédérale prévoit le cas et admet que l'usine d'aval peut être amenée à participer d'une façon équitable aux frais de construction de l'accumulation dont elle tire bénéfice. Jusqu'à maintenant, cet article de la loi n'a, sauf erreur, pas trouvé d'application directe ; dans certains cas cependant (Lucendro - Gougra), des accords amiables sont intervenus dans le sens voulu par cet article. Nous pensons que l'application de cette clause équitable devra trouver à l'avenir de plus larges applications, et rendre ainsi économiquement possible la construction d'accumulations trop onéreuses si elles ne peuvent être amorties que par la chute encore disponible.

L'ampleur de l'accumulation ne sera pas choisie nécessairement uniquement en fonction de son prix de revient. Elle sera souvent limitée par la répartition que le propriétaire désire obtenir entre l'énergie d'hiver et l'énergie d'été. Les premières accumulations saisonnières les plus favorables ont été construites aussi grandes que possible, avec le seul souci de remplir tout de même le lac chaque année. La tendance actuelle est plutôt de réservier une partie de l'eau pour l'été, de façon à faire bénéficier les réseaux en été de la grande puissance disponible dans les usines d'accumulation.

En effet, en été le problème de la fourniture d'énergie

devient de plus en plus un problème de puissance. Les grandes centrales d'accumulation sont appelées à combler les pointes de consommation. Elles doivent pour cela disposer d'une certaine quantité d'eau en été. Celle-ci sera facilement choisie entre 20 et 40 % du total disponible annuellement. Ce chiffre doit rester toujours faible dans les accumulations dont le remplissage doit être complété par du pompage.

Le problème de la puissance pousse également à augmenter l'équipement des centrales d'accumulation. Ceci d'autant plus que les frais d'équipement ont tendance à diminuer en regard des frais d'accumulation.

Par ailleurs, on prévoit que les usines atomiques ne seront à même de fournir économiquement que de l'énergie à puissance constante. Le rôle des accumulations risque donc encore d'augmenter, ainsi que la valeur de l'énergie de pointe. La durée d'utilisation pendant le semestre d'hiver qui était facilement choisie entre 2000 et 2500 heures, a tendance à descendre maintenant entre 2000 et 1500 heures et même en-dessous.

L'utilisation de la chute en plusieurs paliers

Pour augmenter la rentabilité d'un aménagement régional, la tendance actuelle est de créer des groupes d'usines en plusieurs paliers. La prise d'eau du ou des paliers inférieurs sera facilement placée au confluent de la rivière régularisée par l'accumulation avec une autre rivière non accumulable. Le palier inférieur jouera ainsi en été le rôle d'usine au fil de l'eau pour la rivière non accumulable, et en hiver, le rôle d'accumulation. Le débit équipé déterminé par l'accumulation sera dans la règle plus fort que celui qu'on aurait choisi pour une usine au fil de l'eau construite pour elle-même. Cela permet une utilisation plus complète des eaux de printemps et d'été, et met à disposition en été une forte puissance.

C'est cette combinaison d'usines d'accumulation et d'usines au fil de l'eau utilisant dans les paliers inférieurs les mêmes ouvrages et les mêmes machines qui doit permettre dans les centres électrométallurgiques de créer de nouvelles sources d'énergie constante à bon marché pour ces usines, à condition de laisser la majeure partie du bénéfice de l'accumulation et de la puissance aux réseaux généraux qui en ont le plus besoin.

Petites accumulations et bassins de compensation

Le manque de puissance a également pour conséquence de pousser de plus en plus à la construction de petites accumulations sur les cours d'eau, qui ne peuvent pas être régularisées par de grands barrages. Les dimensions de ces accumulations s'adaptent aux conditions topographiques. Leur coût doit être justifié, d'une part, par l'augmentation de la quantité d'énergie produite par l'étalement de crues passagères, et d'autre part, par la valorisation de l'énergie concentrée sur les heures de jour pendant les périodes de basses eaux. Ces accumulations jouent donc en périodes de basses eaux le rôle de bassins de compensation journaliers ou hebdomadaires, permettant de maintenir la puissance pendant les heures de pointe, tandis qu'elles servent d'accumulation lorsque le débit de la rivière dépasse le débit équipé. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les progrès réalisés dans la technique des digues et des revêtements

étanches rendent de plus en plus possible et économique la construction de ces ouvrages, qu'en principe on devrait s'efforcer de *placer en tête* de toute nouvelle usine.

III. Conclusion

L'énergie hydraulique est une de nos rares matières premières en Suisse.

Elle doit être utilisée aussi complètement que possible, c'est-à-dire que nous devons nous acheminer à plus ou moins brève échéance (vingt à trente ans) vers l'équipement total de nos cours d'eau, soit environ 30 milliards de kWh annuels, le double de la production actuelle.

L'énergie de nos usines hydrauliques, surtout de celles qui restent à construire, est relativement chère, il faut donc lui donner le plus de valeur marchande possible, c'est-à-dire en faire de l'énergie de pointe.

Cette énergie de pointe augmentera encore de valeur, le jour où la base de notre courbe de consommation

sera fournie à puissance constante par des usines atomiques. Comme la grosse part des usines qui restent à installer se trouve dans nos cantons de montagnes, il faut y rechercher toutes les possibilités d'accumulation grandes et petites, et ne plus craindre d'équiper fortement les usines. On devrait tout au moins être large dans le dimensionnement des galeries, ce qui permettra toujours par la suite d'augmenter à peu de frais l'équipement des centrales.

Les sociétés privées et publiques à l'initiative desquelles nous devons l'impressionnant essor actuel de notre équipement hydroélectrique devront à l'avenir coordonner davantage encore leurs efforts en vue de l'utilisation la plus complète et la mieux valorisée possible des ressources hydrauliques qui nous restent. Il faut souhaiter également que ces efforts dans le sens de réalisations dépassant le cadre restreint d'intérêts locaux, soient encore mieux compris et appuyés par les autorités concédantes, en particulier dans les cantons où l'octroi des concessions est du ressort des communes.

LA NOUVELLE CORRECTION DES EAUX DU PIED DU JURA

par MM. FERNAND CHAVAZ, vice-directeur
et MAURICE BAER, ingénieur du Service fédéral des eaux à Berne, ingénieurs E.P.F.

Les graves inondations qui, une fois de plus, se sont produites au début de cette année le long des rives des lacs subjurassiens et de leurs émissaires, ont attiré à nouveau l'attention sur ces régions ainsi que sur les problèmes que pose leur assainissement. Nous croyons donc opportun de donner ici un aperçu sur les études qui ont été effectuées récemment en vue d'améliorer le régime de ces lacs ainsi que sur les travaux dont l'exécution est envisagée actuellement.

Comme il n'est guère possible d'exposer, même succinctement, les problèmes soulevés par les nouveaux travaux sans rappeler ceux effectués à l'enseigne de la première correction des eaux du Jura il y a trois quarts de siècle, ou même sans évoquer la situation dans laquelle se trouvait la région du pied du Jura, d'Yverdon à Soleure, avant cette correction, nous commencerons par donner quelques indications à ce sujet.

I. La première correction

A. La situation avant la première correction

Les lacs de Morat, de Neuchâtel et de Bienne communiquaient entre eux par la Broye et la Thielle, des rivières sinuées aux berges marécageuses. La Thielle servait aussi d'émissaire au lac de Bienne et par conséquent à l'ensemble des trois lacs et ce n'est qu'à Meienried qu'elle se jetait dans l'Aar qui, elle, se dirigeait alors vers le nord-ouest à partir d'Aarberg en évitant donc la région des lacs proprement dite.

Le niveau moyen des trois lacs étant de 2 à 3 m plus élevé qu'aujourd'hui, les plaines de l'Orbe et de la Broye ainsi que de vastes régions du Seeland fribour-

geois et bernois étaient recouvertes de marais incultes et insalubres, fréquemment inondés. Cette situation empirait sans cesse. En effet, vu la très faible pente de l'Aar entre Aarberg et Meienried, ses alluvions se déposaient dans cette région, élevant le niveau du lit à chaque crue. L'écoulement des eaux provenant des lacs devenait donc toujours plus difficile et, en période de crues, toute la région comprise entre Yverdon et Avenches, d'une part, et Bienne, d'autre part, ne formait plus qu'un immense lac.

Par ailleurs, l'Aar ne subissant pas l'influence régularisatrice du lac de Bienne, ses débits de crue étaient considérables, non seulement à l'amont, mais encore à l'aval de Meienried. Les inondations qui en résultait étaient d'autant plus graves que les crues de l'Aar n'étaient pas retardées comme aujourd'hui par le lac et qu'elles se produisaient alors souvent en même temps que celle de ses affluents, la Grande-Emme en particulier.

B. Le but et les travaux de la première correction

Le but de ces travaux fut donc de réduire le danger d'inondation dans la région des lacs du pied du Jura ainsi que le long de leurs émissaires et de permettre l'assainissement, puis la mise en culture des grandes plaines de l'Orbe, de la Broye et du Grand-Marais. A cet effet, le niveau moyen des lacs devait être abaissé de plusieurs mètres.

Les travaux furent exécutés sur la base d'un projet établi par l'ingénieur grison La Nicca. Ils consistent à canaliser la Broye et la Thielle entre les lacs et à détourner l'Aar dans le lac de Bienne par la construction des canaux de Hagneck et de Nidau à Büren.