Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 62 (1970)

Heft: 9

Artikel: Les bassins d'accumulation des alpes = Die Speicherseen der Alpen

Autor: Link, Harald

Kapitel: 4: Les bassins d'accumulation des Alpes occidentales = Die Speicherseen der Westalpen

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921070

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: 25.12.2025

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

4. Les bassins d'accumulation des Alpes occidentales

Parmi les bassins d'accumulation des Alpes occidentales, on peut distinguer ceux situés au nord, à l'ouest et au sud de la crête principale des Alpes. Ceux du versant nord collectent l'écoulement naturel jusqu'au lac de Genève; la région ouest englobe également les fleuves côtiers des Préalpes de Provence, et le versant sud, la partie concave de l'arc alpin avec le bassin versant du Pô. Parmi les 157 bassins d'accumulation des Alpes occidentales, il s'en trouve 57 dans la région nord — 56 en Suisse, un en France — 45 dans la région ouest, tous en France, et 55 dans le bassin du Pô, — un français, 38 italiens, 16 suisses. Dans ces nombres, sont comptés également d'anciens lacs naturels aménagés, soit 21 dans la région nord, 18 dans la région ouest et 26 dans la région sud. La région nord a enregistré, dans les dernières quinze années, le plus grand accroissement du nombre de lacs, la région ouest, par contre la plus forte augmentation de volume utile. 74 % de l'ensemble des aménagements réalisés entre 1955 et 1969 intéressent le bassin du Rhône. Le tableau 14 donne la répartition des réservoirs d'accumulation par bassins fluviaux.

Le tableau 15 donne la répartition des bassins par niveau d'altitude.

Les deux tiers d'entre eux sont des lacs de haute-montagne à 1500 m et plus d'altitude; ils représentent 57 % de la capacité totale de retenue, soit une proportion sensiblement plus importante que dans les Alpes orientales, en raison de l'incidence du relief plus élevé. L'altitude moyenne pondérée de l'ensemble des réservoirs d'accumulation est passée de 1342 m à 1648, grâce à l'appoint des nouveaux réservoirs dont l'altitude moyenne se situe à 1964 m. Pour la région ouest par contre, l'altitude moyenne qui était de 1298 m en 1954 s'est trouvée réduite à 906 m, en raison de l'incidence de plusieurs barrages en rivière de basse altitude (moyenne 760 m). Pour le sud des Alpes, on passe de 1870 m à 1762 m, la moyenne d'altitude des bassins récents se situant à 1690 m. Comme auparavant, ce sont donc les réservoirs du bassin du Pô qui présentent l'altitude moyenne la plus élevée, tant en conservant leur quote-part du volume utile total, soit 20 % environ. Les superficies des nouvelles retenues représentent actuellement environ 181 km². Le tableau 16 en donne la répartition par région.

L'accroissement est particulièrement sensible dans la région ouest. Pour 1 million de m³ de volume utile, il fallait

Répartition des bassins d'accumulation des alpes occidentales par bassins versants — Tableau 14

Aires fluviales[1]	ETAT en 1954		AUGMENTATION 1955—1969	
	Lacs nombre	Retenue en mio m³	Lacs nombre	Retenue en mio m³
ALPES DU NORD				
Rhin alpin avec la Thur	1	1	6	291
Limmat	6	293	2	96
Reuss	4	66	4	85
Aar supérieure	9	347	1	2
Sarine (Saane)	2	191	1	3
Rhône jusqu'au lac de Genève	11	413	8	310
			3 E	490
	33	1311	22	1277
ALPES DE L'OUEST				
Guiers	1	11	—	—
Isère / Arc	10	339	6	228
			1 E	270[2]
Drac et Romanche	6	156	3	214
Durance et Verdon	2	119	6	1341
Fleuves côtiers	8	53	3	43
	27	678	18	2096
ALPES DU SUD				
Stura di Demonte	—	—	1	12
Varaita jusqu'à Stura di Lanzo	5	57	1 E	20
Orco	5	85	1	5
Dora Baltea avec Sesia	5	34	3	176
Toce	17	177	—	—
Ticino supérieur avec Maggia	10	166	9+1 E	271
	42	519	14	484
Total general:	102	2508	54	3857

[1] Les bassins d'accumulation sont inclus dans les bassins fluviaux où ils restituent leurs eaux.
[2] part correspondant au Mont-Cenis

Niveau d'altitude de bassins d'accumulation des Alpes occidentales — Tableau 15

Niveau d'altitude en m	NORD DES ALPES Lacs nombre	NORD DES ALPES Volume Mio m³	OUEST DES ALPES Lacs nombre	OUEST DES ALPES Volume Mio m³	SUD DES ALPES Lacs nombre	SUD DES ALPES Volume Mio m³	TOTAL Lacs nombre	TOTAL Volume Mio m³
a) jusqu'en 1954:								
en-dessous de 500	1	7	3	55	3	7	7	69
500 à 1000	11	682	7	224	2	5	20	911
1000 à 1500	2	3	2	51	3	77	7	131
1500 à 2000	11	414	4	284	16	233	31	931
2000 à 2500	9	230	11	63	15	152	35	445
au-dessus de 2500	—	—	—	—	2	21	2	21
Totaux partiels:	34	1336	27	677	41	495	102	2508
b) au total actuellement:								
en-dessous de 500	1	7	10	605	4	93	15	705
500 à 1000	12	684	11	1269	5	29	28	1982
1000 à 1500	5	97	2	51	3	77	10	225
1500 à 2000	24	1108	8	495	23	802	55	2405
2000 à 2500	15	732	13	81	17	211	45	1024
au-dessus de 2500	—	—	1	3	2	21	3	24
Totaux:	57	2628	45	2504	54	1233	156	6365

4. Die Speicherseen der Westalpen

Die Speicherseen der Westalpen lassen sich in die nördlich, westlich und südlich des Alpenhauptkammes gelegenen einteilen. Dabei umfasst die Nordseite die Abflüsse bis zum Genfersee, die Westseite auch die Küstenflüsse in den provençalischen Voralpen und die Südseite den inneren Alpenbogen im Einzugsgebiet des Po. Von den 157 Westalpen-Speichern liegen 57 auf der Nordseite (56 schweizerische, ein französischer), 45 auf der Westseite, alle in Frankreich, und 55 im Pogebiet, davon ein französisches, 38 italienische und 16 schweizerische Becken. Ursprünglich Naturseen unter ihnen sind 21 auf der Nordseite, 18 im Westen und 26 im Süden. Beim Zuwachs der letzten 15 Jahre hat die Nordseite die grösste Zahl neuer Seen (23), die Westseite jedoch die stärkste Vermehrung des Stauraums zu verzeichnen. Die Verteilung der Speicherseen auf Flussgebiete ist aus Tabelle 14 ersichtlich. Vom Zuwachs 1955/69 entfallen 74 % allein auf das Rhonegebiet.

Die Höhenverteilung dieser Speicherseen wird in Tabelle 15 gezeigt.

Zwei Drittel von ihnen sind Hochseen in über 1500 m Meereshöhe mit 57 % des Gesamtraums, ein fühlbar höherer Anteil als in den Ostalpen als Auswirkung der grösseren Massenerhebung. Die durchschnittliche Höhenlage (Schwerpunkt) des Wasservorrats aller Speicherseen hat sich auf der Nordseite von 1342 m mit 1964 m für den Zuwachs auf 1648 m beträchtlich gehoben. Auf der Westseite hat sich dagegen die 1954 bestehende mittlere Höhenlage als Auswirkung mehrerer grosser Flusstalsperren von 1298 m mit 760 m für den grossen Inhaltszuwachs auf nur 906 m ermässigt. Für die Südseite ergeben sich aus 1870 m für den alten Bestand mit 1690 m für den Zuwachs nunmehr 1762 m. Die grösste Höhenlage weisen also wie früher, bei einem fast unveränderten Nutzraumanteil von rd. 20 %, die Seen im Po-Gebiet auf.

Die durch den Aufstau entstandenen neuen Wasserflächen in den Westalpen betragen jetzt rd. 181 km². Ihre Verteilung auf die drei Teilgebiete gibt Tabelle 16.

Besonders gross ist der Zuwachs auf der Westseite. Für 1 Mio m³ Nutzraum waren im Norden und Süden je rd. 2,3 ha erforderlich, auf der Westseite dagegen 3,5 ha. Für den Zuwachs der Jahre 1955/69 sind es im Norden und Süden

Verteilung der Westalpen-Speicher auf Flussgebiete — Tabelle 14

Flussgebiet[1]	BESTAND 1954 Seen Anzahl	BESTAND 1954 Nutzraum Mio m³	ZUWACHS 1955/1969 Seen Anzahl	ZUWACHS 1955/1969 Nutzraum Mio m³
NORDSEITE				
Alpenrhein mit Thur	1	1	6	291
Limmat	6	293	2	96
Reuss	4	66	4	85
Obere Aare	9	347	1	2
Saane (Sarine)	2	191	1	3
Rhone bis Genfersee	11	413	8	310
			3 E	490
	33	1311	22	1277
WESTSEITE				
Guiers	1	11	—	—
Isère mit Arc	10	339	6	228
			1 E	270[2]
Drac mit Romanche	6	156	3	214
Durance mit Verdon	2	119	6	1341
Küstenflüsse	8	53	3	43
	27	678	18	2096
SÜDSEITE				
Stura di Demonte	—	—	1	12
Varaita bis Stura di Lanzo	5	57	1 E	20
Orco	5	85	1	5
Dora Baltea und Sesia	5	34	3	176
Toce	17	177	—	—
Oberer Ticino mit Maggia	10	166	9+1 E	271
	42	519	14	484
zusammen	102	2508	54	3857

[1] Die Speicher sind hier den Flussgebieten zugerechnet, in die sie ihr Nutzwasser abgeben.

[2] Anteil Montcenis

Höhenlage der Westalpen-Speicherseen — Tabelle 15

Höhenstufe m ü. M.	NORDSEITE Seen Anzahl	NORDSEITE Nutzraum Mio m³	WESTSEITE Seen Anzahl	WESTSEITE Nutzraum Mio m³	SÜDSEITE Seen Anzahl	SÜDSEITE Nutzraum Mio m³	ZUSAMMEN Seen Anzahl	ZUSAMMEN Nutzraum Mio m³
a) bis 1954								
unter 500	1	7	3	55	3	7	7	69
500—1000	11	682	7	224	2	5	20	911
1000—1500	2	3	2	51	3	77	7	131
1500—2000	11	414	4	284	16	233	31	931
2000—2500	9	230	11	63	15	152	35	445
über 2500	—	—	—	—	2	21	2	21
zusammen	34	1336	27	677	41	495	102	2508
b) insgesamt								
unter 500	1	7	10	605	4	93	15	705
500—1000	12	684	11	1269	5	29	28	1982
1000—1500	5	97	2	51	3	77	10	225
1500—2000	24	1108	8	495	23	802	55	2405
2000—2500	15	732	13	81	17	211	45	1024
über 2500	—	—	1	3	2	21	3	24
zusammen	57	2628	45	2504	54	1233	156	6365

Superficies des retenues dans les Alpes occidentales

Tableau 16

Superficies en km²

Régions	SITUATION en 1954	AUGMENTATION 1955—1969	TOTAL
Nord	43,9	20,8	64,7
Ouest	15,8	72,6	88,4
Sud	15,9	12,2	28,1
Total Alpes occidentales:	75,6	105,6	181,2

compter, au nord et au sud des Alpes, une superficie de retenue de 2,3 ha, contre 3,5 ha à l'ouest des Alpes. En ce qui concerne les aménagements réalisés au cours des années 1955-1969, les caractéristiques correspondantes sont de 1,6 ha/Mio m³ au nord et au sud — valeurs relativement faibles en raison des grandes hauteurs de retenue —, contre 4,0 ha/Mio m³ dans la région ouest, essentiellement à cause de la forte proportion de barrages en rivière.

L'évolution du stockage d'énergie dans les bassins d'accumulation d'après leur répartition par région, ressort du tableau 17.

Potentiel énergétique des bassins d'accmulation des Alpes orientales

Tableau 17

	REGION NORD			REGION OUEST			REGION SUD		
	Vu Mrd m³	E TWh	e kWh/m³	Vu Mrd m³	E TWh	e kWh/m³	Vu Mrd m³	E TWh	e kWh/m³
Etat en 1954	1,34	2,86	2,14	0,68	1,20	1,77	0,49	1,52	3,09
Apports nouveaux avalants	—	0,23	2,31	—	0,26	2,15	—	0,04	3,18
nouveaux bassins 1955—1969	1,29	3,91	3,03	1,83	2,08	1,14	0,74	2,11	2,86
Totaux ou moyenne	2,63	7,00	2,66	2,51	3,54	1,41	1,23	3,67	2,98

Tandis que pour l'ensemble des Alpes occidentales, le coefficient de production avec une valeur de 2,32 kWh/m³ est insensiblement monté, des différences appréciables apparaissent d'une région à l'autre. Le coefficient de la région nord bénéficie d'une augmentation substantielle de 38 %, la région sud accuse par contre une légère diminution due à l'influence du bassin d'accumulation de grande capacité de Vogorno dans le Canton du Tessin. La région ouest enregistre une diminution plus notable encore du fait des barrages en rivière déjà cités. Le «rendement à l'hectare des terres submergées», atteint 1,17 GWh/ha au nord des Alpes, contre 0,40 GWh/ha à l'ouest et 1,28 GWh/ha au sud. Les valeurs des régions nord et sud sont environ 1,7 fois supérieures à celles des Alpes orientales, tandis que celles des Alpes de l'ouest se situent encore bien au-dessous de ces dernières.

Après cet aperçu statistique, nous étudierons chaque réservoir de plus près, grâce à un périple qui commence au nord par le Rhin et contourne ensuite l'arc alpin en commençant par la gauche. On pourra se reporter utilement au répertoire général ainsi qu'à la carte géographique joints à cet article.

4.1 BASSINS D'ACCUMULATION AU NORD DE LA CRETE PRINCIPALE

Dans la région des Grisons, la vallée du Rhin antérieur constitue l'accès Est à la grande transversale est/ouest de la Suisse; elle est marquée tant par ses habitats, parmi les plus anciens de Suisse, que par le transit transalpin favorisé par les cols de l'Oberalp et du Lucomagno, ce dernier étant, après Maloja (1815 m) le point de franchissement le moins élevé de la crête principale des Alpes.

Ses importantes ressources hydrauliques sont restées longtemps inexploitées, ce qui a permis de réaliser, pendant la période 1958—1967 un programme d'équipement de grand style suivant un plan d'ensemble cohérent. Dans le Tavetsch et l'Oberland des Grisons, les usines de Sedrun et Tavanasa exploitent les écoulements d'un bassin versant de 320 km² sous une hauteur de chute de 1110 m, répartie en deux paliers, et offrent ainsi au réseau une productibilité de 761 millions de kWh — dont 60 % en hiver — avec une puissance installée de 330 MW. Le résultat remarquable est dû à la présence de trois grands réservoirs implantés dans les vallées latérales côté sud et contenant au total 152 millions de m³.

Tous trois n'ont submergé qu'une maigre pâture, parsemée de cailloux. Le bassin dont l'altitude est la plus élevée est le lac de Curnera (1), dans une vallée isolée qui lui a donné son nom et dont il égaie l'aspect sévère. Le lac, d'une longueur de 2,5 km, reçoit en rive gauche l'affluent Rein de Meighels et comporte au droit d'un rétrécissement escarpé de la vallée, un barrage-voûte de 152 m de hauteur. Dans la vallée du Rein de Nalps, on trouve le lac de Nalps (2), qui fut aménagé le premier de 1958 à 1962 comme bassin de prise d'eau. La photo fig. 39 montre ce lac, long de 2 km, dans son cadre de hautes montagnes, dont certains sommets dépassent 3000 m. La branche symétrique de ce même lac, située dans une vallée glaciaire en U est mise en retenue par un barrage-voûte à arcs paraboliques, moins haut, mais plus large que le premier. En communication avec ce lac, et à la même altitude de 1908 m, on trouve dans la vallée supérieure du Rein de Medel, en contrebas du col du Lucomagno, le réservoir Santa-Maria (3) d'un volume utile de 70 millions de m³. Les deux bassins de Curnera et de Nalps, ainsi que la fraction externe du lac de Santa-Maria se situent entièrement dans la roche cristalline du St-Gotthard, la partie interne se trouve déjà dans la zone sédimentaire sud faite de dolomite du Trias et de schiste des Grisons. Le niveau de retenue de ce lac, long de 3 km et couvrant une superficie de 180 ha ne se situe qu'à 9 m au-dessous du col. La nouvelle route du Lukmanier, comportant plusieurs ouvrages de soutènement, le longe en rive droite. Au niveau du col on a érigé une grande statue de la Vierge ainsi qu'une chapelle, de style dépouillé, en souvenir de l'ancienne chapelle des Hospices, submergée par le lac.

Le deuxième groupement d'usines équipant le bassin du Rhin antérieur (230 MW, 533 GWh), exploite les écoulements d'un bassin de 201 km², (vallées supérieures de Vals et de Safien) pour les restituer dans le Domleschg sous une hauteur de chute de 1242 m. Le réservoir saisonnier de cet aménagement est le lac de Zervreila (4) sur le Rhin de

Neue Speicherseeflächen in den Westalpen

Seefläche in km² — Tabelle 16

Region	STAND 1954	ZUWACHS 1955/69	ZUSAMMEN
Nordseite	43,9	20,8	64,7
Westseite	15,8	72,6	88,4
Südseite	15,9	12,2	28,1
Westalpen	75,6	105,6	181,2

je rd. 1,6 ha/Mio m³, besonders niedrige Werte durch meist hohen Aufstau, auf der Westseite jedoch 4,0 ha wegen des erwähnten hohen Anteils der Flusstalsperren.

Die Entwicklung des Energieinhalts der Speicherseen unter Gegenüberstellung der drei Teilgebiete ist aus Tabelle 17 ersichtlich.

Energieinhalt der Westalpenspeicher — Tabelle 17

	NORDSEITE			WESTSEITE			SÜDSEITE		
	In Mrd m³	E TWh	e kWh/m³	In Mrd m³	E TWh	e kWh/m³	In Mrd m³	E TWh	e kWh/m³
Bestand	1,34	2,86	2,14	0,68	1,20	1,77	0,49	1,52	3,09
Zuwachs durch neue									
Unterlieger 1955/69	—	0,23	2,31	—	0,26	2,15	—	0,04	3,18
neue Seen 1955/1969	1,29	3,91	3,03	1,83	2,08	1,14	0,74	2,11	2,86
Total oder Mittel	2,63	7,00	2,66	2,51	3,54	1,41	1,23	3,67	2,98

Während für die ganzen Westalpen der mittlere Arbeitswert für den 2,7fach höheren Energieinhalt mit 2,32 nur geringfügig gestiegen ist, zeigen die drei Teilgebiete erhebliche Unterschiede. Für die Nordseite ist ein kräftiger Anstieg von 38 % zu verzeichnen, für die Südseite eine leichte Abnahme, verursacht durch den Grossspeicher Vogorno im Kanton Tessin, und im Westen eine stärkere Abnahme als Auswirkung der erwähnten Flusstalsperren. Die «kWh-Ernte» von den überstauten Flächen beträgt 1,17 GWh/ha für die Nordseite, 0,40 GWh/ha für die West- und 1,28 GWh/ha für die Südseite. Die Werte für die Nord- und Südseite sind etwa 1,7fach besser als die entsprechenden Werte in den Ostalpen, während der für die Westseite noch weit unter den letzteren bleibt.

Nach diesem statistischen Ueberblick wenden wir uns wieder den Seen im einzelnen zu, um sie auf einem Rundgang näher kennen zu lernen, der im Norden am Rhein beginnt und den Alpenbogen linksherum umkreist. Auf die Haupttabellen und die Karte sei verwiesen.

4.1 SPEICHERSEEN NÖRDLICH DES HAUPTKAMMS

Im Passland Grischun-Graubünden ist das Vorderrheintal der östliche Aufstieg in der grossen Alpen-Ost-West-Transversale der Schweiz und ältestes Siedlungs- und Durchgangsland über Oberalp- und Lukmanierpass, letzterer nächst Maloja (1815 m) der niedrigste Uebergang im Hauptkamm der Schweizer Alpen. Seine bedeutenden Wasserkräfte aber waren lange Zeit kaum genutzt, so dass in den Jahren 1958/67 ein grosszügiger Ausbau nach einheitlichem Plan verwirklicht werden konnte. Im Tavetsch und im mittleren Bündner Oberland stehen heute im Zweistufenwerk Sedrun-Tavanasa (1110 m Fallhöhe) aus 320 km² Einzugsgebiet 330 MW und 761 Mio kWh Dargebot mit 60 % Winteranteil zur Verfügung. Dieses günstige Verhältnis bewirken drei grosse Speicherseen in den südlichen Seitentälern mit insgesamt 152 Mio m³ Nutzraum. Bei allen wurde nur magerer, schuttübersäter Weideboden beansprucht. Der höchstgelegene ist der Stausee Curnera (1) im gleichnamigen einsamen Hochtal, dessen strenge Landschaft er bereichert.

Fig. 39

Stausee Nalps (1808 m) der Vorderrhein-Kraftwerke im Val Nalps im Tavetsch mit seiner 3000 m überschreitenden Bergumrahmung, links Piz Gannaretsch (3039 m)

Bassin d'accumulation de Nalps (1808 m) des usines hydro-électriques du Rhin antérieur dans le Val Nalps au Tavetsch avec sa couronne de sommets dépassant 3000 m, à gauche le P. Gannaretsch (3039 m)

(Flugphoto Comet/Zürich)

Vals supérieur à 1862 m d'altitude (capacité utile 100 millions de m³). L'origine de sa retenue remonte jusqu'au confluent des deux vallées, dominées par l'imposant Zervreiler Horn (cf. fig. 40). Au pied du barrage-voûte, haut de 150 m, se situe un bassin de compensation, point de départ d'une galerie d'adduction, longue de 14,2 km, vers les vallées de la Rabiusa et du Rhin postérieur (Domleschg), où elle alimente les deux usines de Safienplatz et de Rothenbrunnen. Grâce à des prises secondaires aménagées sur les affluents du versant droit de la vallée, la surface du bassin versant a été portée de 64 à 93 km². L'usine de pompage refoule en moyenne 30 millions de m³ d'écoulement estival dans le réservoir d'accumulation.

L'aménagement du groupement d'usines en deux paliers du Sarganserland est encore en préparation. Ce groupement doit utiliser les ressources d'un bassin versant de 160 km² comprenant la vallée supérieure de Weisstannen ainsi que la vallée de la Tamina pour les restituer 825 m plus bas dans le Rhin. L'incidence de l'évolution du marché de l'énergie sur le choix de type de centrale s'est fait sentir ici où à l'usine de lac classique, on a substitué une usine de pointe, combinée avec une usine de pompage, exigeant moins de volume de retenue et offrant davantage de puissance de pointe qui vient s'ajouter à la puissance fournie par la centrale nucléaire de Beznau. La pièce maîtresse de cet aménagement est le réservoir du Gigerwald (6) dans la vallée de Calfeisen, à 1335 m d'altitude, avec 33,4 millions de m³ de volume utile. La retenue, longue de 2,8 km collecte les apports d'un bassin versant de 57 km², auxquels s'ajoutent les apports d'un bassin de 95 km² dans la région de la Linth, amenés par des galeries d'adduction depuis la Seez supérieure. Cet ouvrage principal est complété par un bassin de compensation — utilisé en même temps comme réservoir inférieur de l'usine de pompage — de 2,5 millions de m³ à 865 m d'altitude: le lac de Mapragg (7). Une galerie en charge relie ce bassin à l'usine souterraine de Sarelli, dans la vallée du Rhin. Il est à noter que d'importantes quantités d'eau sont prélevées dans le bassin intermédiaire pour la dotation des gorges romantiques de la Tamina, en amont de Bad Ragaz. La puissance des deux usines atteint 262+84 MW et sa productibilité 535 GWh d'énergie de pointe, la consommation pour pompage atteignant 335 GWh.

Le puissant groupement d'usines Linth-Limmern a été aménagé sur le versant nord des Alpes de Glaris, à forte pluviométrie. Le réservoir du Limmernboden (11), collectant les apports d'un bassin versant de 17,4 km², se situe dans une profonde gorge rocheuse creusée dans le calcaire jurassique se prêtant particulièrement bien à la construction d'un barrage. Après plusieurs années de reconnaissances géologiques, l'aménagement de ce réservoir d'accumulation de 90 millions de m³ à 1857 m d'altitude a encore posé bien des problèmes par son envergure et ses multiples adductions secondaires, par le volume des travaux d'étanchéité, notamment sur le versant droit de la vallée, par les difficultés d'accès au site du chantier et enfin par l'exécution des travaux eux-mêmes.

La figure 41 donne une idée de ce site de haute montagne sauvage et hostile. L'accès au chantier du barrage-voûte, haut de 145 m, n'a été possible que par des téléphériques partant de Tierfehd, situé 1000 m plus bas, et aboutissant à une station creusée dans les flancs rocheux du Kalktrittli. Une galerie d'accès, longue de 2,9 km relie cette station au chantier de barrage; d'importantes installations de chantier: magasins, ateliers, station de compression, transformateurs, l'ensemble de la station de préparation d'agrégats et même un dortoir de 400 lits sont situés dans des cavernes ou appuyés au rocher, ce qui représente une performance unique par son envergure dans les chantiers alpins! L'étanchement des fondations a exigé 16 000 tonnes de ciment, injectées en partant de deux galeries de 400 m creusées dans le flanc droit de la vallée. Le lac naturel Muttsee (10), d'une profondeur de 68 m est un bassin de formation glaciaire situé 590 m plus haut du côté droit de la vallée; son débit disparaissait autrefois, peu après la sortie du lac, dans la grotte du Mutten, d'origine karstique et venait alimenter les puissantes sources du Brunnenguetli, dans la région de Tierfehd. Ce lac a été aménagé uniquement par approfondissement de la prise d'eau de 29 m, en bassin d'accumulation de 6 millions de m³, capable d'absorber la totalité des apports d'été. Il alimente une petite usine souterraine restituant dans la retenue du lac de Limmern à l'emplacement de la galerie d'accès citée ci-dessus. L'usine principale de Tierfehd, dotée d'une puissance de pointe de 260 MW, est alimentée d'une part par le lac de Limmern et d'autre part, sous une hauteur de chute de 480 m par l'adduction de Hintersand, dont les eaux peuvent être refoulées par pompage dans le bassin d'accumulation principal. La puissance globale du groupement d'usines, avec le palier inférieur de Linthal, atteint 340 MW et sa productibilité 360 GWh d'énergie de pointe, déduction faite de 67 GWh d'énergie de pompage.

La région de la Linth dispose ainsi d'un volume d'accumulation totale de 389 millions de m³, y compris le volume des bassins plus anciens du Klöntal (13) et du Innerthal (14), alimentant l'usine de Wäggital, ainsi que du lac de Sihl (15), alimentant l'usine d'Etzel. La capacité de stockage de cette région, exprimée en hauteur d'accumulation, atteint la valeur remarquable de 200 mm, égale à celle du bassin de la Sarine et dépassée seulement par le bassin du Rhône dans le Valais.

Dans le canton d'Uri, la Reuss supérieure a été équipée en 1955/60, après plusieurs années de travaux de reconnaissance, de l'usine de Göschenen, alimentée par le lac de Göschenerlp (17). Son bassin versant de 42,3 km² a été portée à 88,4 km² par les adductions secondaires des vallées de la Voralper Reuss au nord et de l'Urseren (Furkareuss). Ces bassins comportent 30 % de glaciers. Le lac de Göscheneralp, long de 2,4 km, s'intègre dans un paysage pittoresque au pied du Dammastock (3633 m) — cf. fig. 42 en couleurs —, il est mis en retenue par la digue la plus haute de Suisse, implantée dans une section de vallée relativement large, à un endroit où un seuil rocheux vient barrer l'auge glaciaire fortement alluvionnée. Le versant droit de cette vallée granitique est recouvert, à son pied, d'une couche d'éboulis de 65 m d'épaisseur. Le masque d'étanchéité interne du barrage est ancré dans la roche et composé d'alluvions de Göscheneralp, additionnées de 230 000 tonnes d'argile opalin. Les parements extérieurs sont constitués d'enrochement de gros calibre. La hauteur du barrage atteint 147 m dans sa partie centrale et même 155 m par rapport au pied du parement aval. Son couronnement, large de 11 m, arasé à 5 m au-dessus du niveau de retenue, est protégé par une calotte en blocs de granit de 4 m d'épaisseur. Pour garantir la teneur en eau optimale dans le noyau d'étanchéité, on a été amené, compte tenue de la fréquence des précipitations, à couvrir le chantier dans la zone de ce noyau. L'ensemble des usines de Göschenen (160 MW, 700 m de hauteur de chute) et de Wassen/Amsteg sur la Reuss produit 420 millions de kWh — dont 225 en hiver —. L'usine au fil de l'eau de Andermatt/Göschenen installée dans la même caverne produit de son côté 105 GWh.

Le lac de Glattalp (18), dans le canton de Schwyz, se situe dans une cuvette naturelle d'un massif karstique; il ne

(Photo Elektro-Watt, Ingenieurunternehmung AG, Zürich)

Fig. 42

Stausee Göscheneralp (1792 m) im Göschenertal/Gotthardmassiv; Blick gegen Dammastockgruppe (3630 m)
Bassin d'accumulation de Göscheneralp (1792 m) dans la vallée de Göschenen/Massif du St. Gotthard;
au fond la chaîne du Damastock (3630 m)

Den 2,5 km langen See, in den von links der Rein de Meighels mündet, staut in enger steiler Sperrstelle eine 152 m hohe Bogenmauer. Im Rein de Nalps liegt der Stausee Nalps (2), der Entnahmespeicher der Gruppe und deshalb als erster 1958/62 ausgeführt. Seinen 2 km langen See in 3000 m Höhe überschreitender Bergumrahmung zeigt Fig. 39. Im symmetrischen Trogtal staut ihn ebenfalls eine eindrucksvolle, weniger hohe, aber breitere, mit Parabelbögen gestaltete Gewölbemauer. Kommunizierend mit dem gleichen Stauziel 1908 m ü. M. folgt im breiten oberen Tal des Rein de Medel unter dem Lukmanierpass als grösster der Stausee Sta. Maria (3) mit 70 Mio m³. Die beiden Stauseen Curnera und Nalps liegen ganz, das Staubecken Sta. Maria liegt noch mit seinem äusseren Teil im Kristallin des Gotthardmassivs, der innere erstreckt sich bereits in dessen südlichen Sedimentmantel von Rauhwacke und Bündnerschiefer. Das Stauziel des 180 ha bedeckenden 3 km langen Sees liegt nur 9 m unter der Passhöhe. Am rechten Ufer begleitet ihn die z. T. mit Schutzbauten versehene neue Lukmanierstrasse. Auf der Passhöhe erheben sich eine hohe Marienfigur aus Granit und eine schlichte moderne Kapelle, zur Erinnerung an die alte im See versunkene Hospizkapelle.

Die zweite grosse Werkgruppe im Vorderrheingebiet nützt die Abflüsse des oberen Valser- und des Safien-Tales aus 201 km² bis ins Domleschg über 1242 m Fallhöhe (230 MW, 533 GWh). Ihr Jahresspeicher ist der Stausee Zervreila (4) im oberen Valserrhein, 1862 m ü. M. mit 100 Mio m³ Nutzraum. Seine Stauwurzel reicht in zwei sich hier vereinigende Täler hinein, überragt vom markanten Zervreiler Horn (Fig. 40). Am Fuss der 150 m hohen Bogenmauer liegt ein Ausgleichbecken, von dem der 14,2 km lange Ueberleitungsstollen ins Rabiusatal und weiter ins Domleschg (Hinterrhein) ausgeht und die beiden Hauptstufen Safien-Platz und Rothenbrunnen speist. Bacheinleitungen aus der rechten Talflanke ergänzen das 64 km² grosse natürliche Einzugsgebiet des Sees auf 93 km². Vom Seekraftwerk mit Speicherpumpen sind im Mittel 30 Mio m³ Sommerwasser hochzufördern.

Noch im Vorbereitungsstadium steht die Zweistufen-Gruppe der Kraftwerke Sarganserland. Sie nützt die Abflüsse eines Einzugsgebietes von rd. 160 km² im oberen Weisstannental und im Taminatal über 825 m Fallhöhe bis zum Rhein. In Auswirkung der Wandlungen in der Energiewirtschaft bietet sie das Beispiel der Umdisposition vom normalen Speicherwerk zum kombinierten Speicher- und Pumpspeicher-Spitzenkraftwerk mit verkleinertem Jahresspeicher und erhöhter Maschinenleistung, bestimmt zur Zusammenarbeit mit dem Atomkraftwerk Beznau. Kernstück ist das Staubecken Gigerwald (6) im Calfeisental, 1335 m ü. M., für 33,4 Mio m³ Nutzraum. Der 2,8 km lange See erfasst 57 km² natürliches Einzugsgebiet; von der oberen Seez werden die Abflüsse von 45 km² aus dem Linthgebiet übergeleitet. Der Hauptstufe ist das Ausgleich- und Pumpspeicher-Unterbecken Mapragg (7), 2,5 Mio m³, 865 m ü. M. zugeordnet. Von hier führt ein Druckstollen zum Kavernenkraftwerk Sarelli im Rheintal. Aus dem Zwischeneinzugsgebiet werden jedoch erhebliche Dotierwassermengen an die romantische Taminaschlucht oberhalb Bad Ragaz abgegeben. Die Leistung beider Werke beträgt 262 + 84 MW, das Dargebot 535 GWh hochwertige Spitzenenergie bei 335 GWh Pumpstromaufwand.

Auf der Nordseite der niederschlagreichen Glarner Alpen ist die bedeutende Werkgruppe Linth-Limmern entstanden. Im Jurakalk liegt zwischen steilen Felswänden der Limmernboden (11), ein geräumiges Becken von 17,4 km² natürlichem Einzugsgebiet mit günstiger Sperrstelle in enger Schlucht. Sein Ausbau zum Hauptspeicher für 90 Mio m³, 1857 m ü. M., nach jahrelangen geologischen Untersuchungen, hat vielfältige Aufgaben gestellt: im Gesamtausbau mit weitgreifenden Beileitungen in mehreren Horizonten, bei umfangreichen Abdichtungsmassnahmen, besonders in der rechten Talflanke, sowie in der Erschliessung des unwegsamen Baugebiets und der Baudurchführung. Fig. 41 vermittelt einen Eindruck dieser ungewöhnlich wilden und schroffen Gebirgslandschaft. Vom 1000 m tiefer gelegenen Talboden Tierfehd ist die Baustelle der 145 m hohen Bogenmauer nur durch Seilbahnen erschlossen worden. Von den in Kavernen untergebrachten Bergstationen am Kalktrittli geht ein 2,9 km langer Zufahrtsstollen zur Sperrstelle, in deren Steilwänden wesentliche Teile der Baueinrichtungen, Magazine, Werkstätten, Kompressoren und

Fig. 40

Stausee Zervreila (1862 m) im Valsertal; im Hintergrund Zervreilerhorn, Furketlihorn und das vergletscherte Rheinwaldhorn (3402 m)

Bassin d'accumulation de Zervreila (1862 m) dans la vallée de Vals; au fond, les sommets des Zervreiler Horn, Furketli Horn et Rheinwaldhorn (3402 m) à gauche

(Photo H. Rostetter/Ilanz)

possède pas d'exutoire naturel en surface pour les écoulements d'un bassin versant de 7,2 km², mais ceux-ci se perdaient par infiltration dans des grottes souterraines à une cote variant, suivant la saison, de 1830 à 1855 m d'altitude. Après les travaux d'étanchéité réalisés en 1965/67, la cote de retenue a pu être surélevée de 6 m et le volume porté à 7 millions de m³. Mais comme il subsiste encore d'importantes pertes par infiltration, on a renoncé à doter la nouvelle usine de Sahli (270 m de chute) d'une réserve saisonnière importante. Dans le but de limiter la perte, le niveau d'exploitation du lac est maintenu à une cote dépassant le moins possible la valeur minimale prescrite annuellement pour la saison d'été, à partir du 15 juillet.

Dans le Melchtal supérieure, on a aménagé en 1955/58 l'usine de lac de Hugschwendialp (15 MW, 830 m de hauteur de chute) alimentée par une réserve saisonnière de 7,5 millions de m³ répartie entre les lacs Melchsee (22) et Tannensee (21). Le Melchsee est étanche à l'état naturel, mais il existait à peu de distance en aval un entonnoir d'infiltration, le «Stäubiloch», dans lequel s'engouffrait la totalité du débit que l'on retrouvait au fond de la vallée après un parcours souterrain dans un réseau de crevasses. La construction d'une digue en terre a permis de surélever de 6 m le niveau de retenue qui, par ailleurs, peut aussi être abaissé de 7 m en-dessous de l'ancien niveau naturel. Le petit lac du Tannensee, dont le radier est constitué de schistes d'Oxford étanches, a exigé un barrage nettement plus imposant. Les deux digues sont fondées en partie sur le rocher, en partie sur la moraine suffisamment compacte. Le bassin versant naturel a été agrandi de 7,6 à 12,1 km² par l'adduction du Henglibach, affluent naturel de l'Aar à travers le Gental.

Le complexe de bassins d'accumulation bien connu de l'Aar supérieure (25 à 30) — Oberhasli — comprenant les grands lacs d'Oberaar (fig. 43), de Grimsel, de Gelmer et du Rätherichsboden, ainsi que les réservoirs plus modestes Trübtensee, Totensee (39) et Mattenalp, totalise, depuis l'achèvement du réservoir de l'Oberaar en 1954, un volume utile de 208 millions de m³. Les deux premiers lacs nommés ci-dessus, ont vu leur volume utile augmenter de 4,2 millions de m³ par le seul effet du recul des glaciers de l'Oberaar et de l'Unteraar. Cet ensemble a été complété, au cours de la décennie écoulée, par l'équipement des vallées de Gadmen (accès au col de Susten) et Gental, dans lesquelles ont été aménagés trois paliers: Fuhren, Hopflauenen et Innertkirchen II, fournissant 82 MW et 355 GWh. Le palier supérieur est alimenté par le lac naturel de l'Engstlensee (31) à 1850 m d'altitude. Les exigences de la protection des sites n'ont pas permis d'en surélever le niveau, l'utilisation de la tranche utile n'a donc pour effet qu'un abaissement de niveau pendant la période d'hiver.

Dans le bassin supérieur de la Sarine, canton de Berne, on a aménagé le petit réservoir du Sanetsch (34) à 2034 m d'altitude. Il collecte les écoulements (19,8 millions de m³) d'un bassin versant de 10,8 km² pour les besoins de la centrale d'Innergsteig (837 m de chute). Le bassin a été rendu accessible par une route partant du versant valaisan.

La proximité de la profonde vallée du Rhône a favorisé l'aménagement du Lac d'Arnon (35) sur le cours supérieur du Tscherzisbach, avec restitution vers la Grande Eau dans le Valais. Le premier aménagement de ce lac, né d'un glissement de terrain, remonte à la première guerre mondiale et comportait déjà une galerie d'adduction. En 1955/57 on a augmenté la tranche utile par un endiguement en terre de 9 m de hauteur. Le bassin se situe dans du flysch compact, mais à l'emplacement du barrage la roche primitive est recouverte de 50 m d'éboulis dont l'étanchement exigea la mise en œuvre d'injections de bentonite. Le bassin versant naturel de 7,1 km² a été porté à 11,2 km² par l'adduction de l'Isenau (versant du Rhône) débouchant dans la galerie principale. Le palier supérieur de Diablerets (5 MW, 336 m de chute) a été réalisé récemment.

On retrouve un exemple imposant de dérivation de rivière (La Sarine vers le Rhône) dans l'aménagement de l'usine d'accumulation par pompage du Hongrin-Léman (36). Au confluent du Hongrin et du Petit-Hongrin un barrage double crée un lac de retenue de 52 millions de m³. Deux élégants barrages-coupole prennent appui sur l'arête rocheuse, la «Colline de la Jointe», séparant les deux vallées et surélevée de 20 m par une culée artificielle commune aux deux barrages. Les fondations des barrages s'appuient en majeure partie sur du calcaire jurassique et crayeux, tandis que le bassin lui-même se trouve dans une zone de

Fig. 41

Stausee Limmernboden (1857 m) in den Glarneralpen, umrahmt von steilen Felsflanken; in Bildmitte das Kistenstöckli am Kistenpass (2638 m)

Bassin d'accumulation du Limmernboden (1857 m) dans les Alpes glaronaises, entouré de parois rocheuses à pic

(Photo Swissair-Photo AG/Zürich)

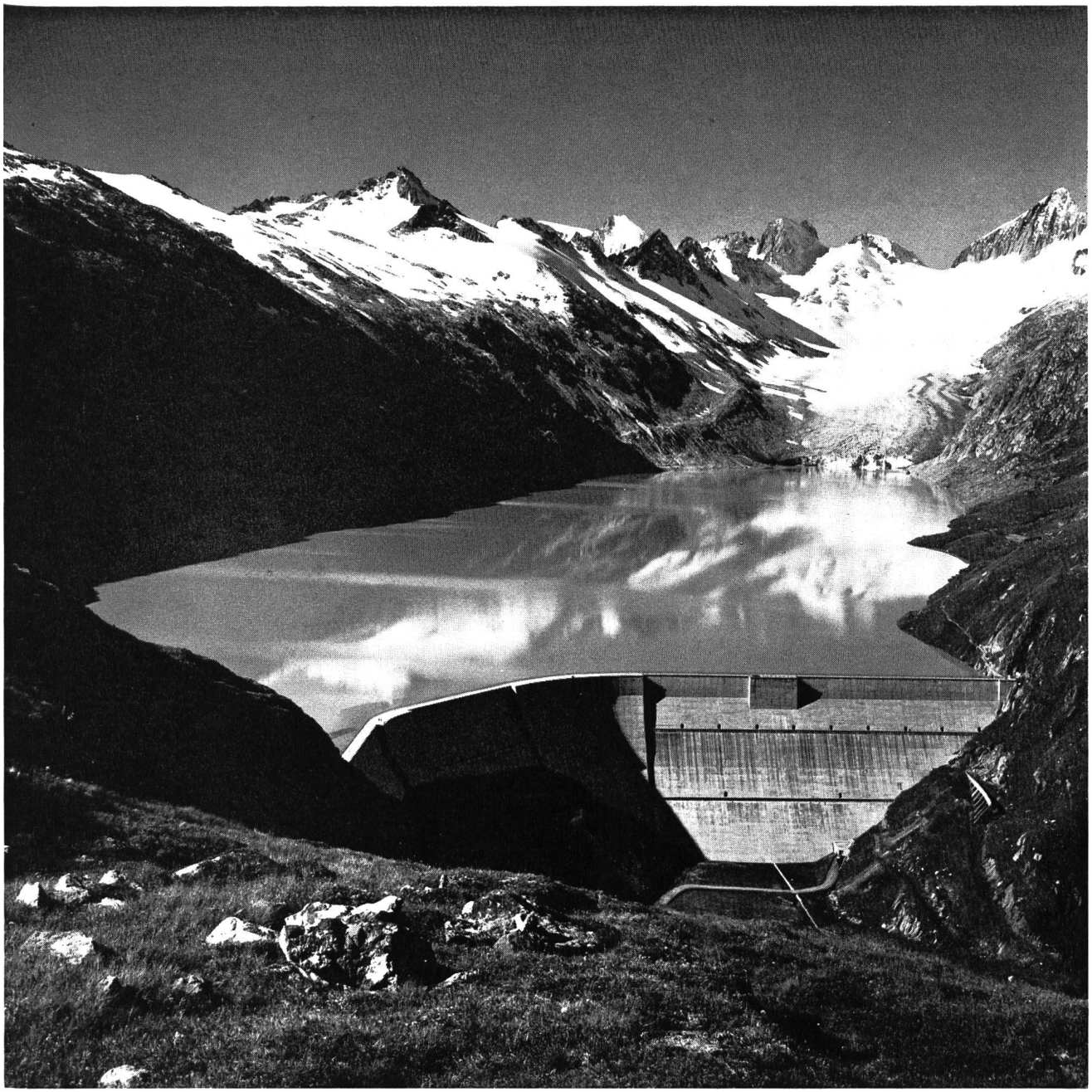


Fig. 43 Stausee Oberaar (2303 m) im Oberhasli mit Oberaarhorn (3638 m) über dem Oberaargletscher

Fig. 43 Bassin d'accumulation de l'Oberaar (2303 m) des usines hydroélectriques de l'Oberhasli, avec l'Oberaarhorn (3638 m) dominant le glacier de même nom (Werkphoto Kraftwerke Oberhasli AG/Innertkirchen)

Trafos, sogar die gesamte Aufbereitungsanlage für die Betonzuschläge und ein grosses Unterkunftshaus mit 400 Schlafplätzen in Felskavernen oder in Felsanschnitten angelegt werden mussten, in diesem Umfang einmalig in den Alpen. Die Untergrunddichtungen, hauptsächlich von zwei je etwa 400 m langen Stollen in der rechten Flanke aus, haben Einpressungen von 16 000 t Zement erfordert. 590 m höher auf der rechten Talseite liegt der natürliche, 68 m tiefe Muttsee (10), eine glazial überformte Doline. Früher verschwand sein Abfluss kurz nach dem Seeaustritt im sog. Muttenloch, einer grossen Karsthöhle, und speiste die starken Brunnengüetliquellen im Talboden von Tierfehd. Der See ist lediglich durch Absenkung um 29 m zu einem Speicher von 6 Mio m³ für seinen gesamten Sommerzufluss ausgestaltet und wird in einem kleinen Kraftwerk auf Stauzielhöhe des Limmernsees genutzt, dessen Kaverne am Ende des erwähnten Zufahrttunnels liegt. Die Hauptstufe Tierfehd, mit 260 MW besonders leistungsstark ausgelegt, nutzt zwei Stufen, ausser Limmern den Beileitungshorizont Hintersand mit 480 m Fallhöhe, aus dem über die Differenzhöhe zu speicherndes Wasser hochgepumpt wird. Zusammen mit der Unterstufe Linthal stellt die Werkgruppe 340 MW mit 360 GWh hochwertigem Dargebot, nach Abzug von 67 GWh Pumpstrom, zur Verfügung.

Zusammen mit den älteren grossen Speichern Klöntalersee (13), Innerthal (14) des Wäggitalwerks und Sihlsee (15) des Etzelwerks besitzt das Linth-Gebiet innerhalb der Alpen nunmehr 389 Mio m³ Nutzstauraum; es weist mit rd. 200 mm eine besonders grosse Speicherungshöhe auf, ebensoviel wie die Saane, und wird darin nur vom Walliser Rhonegebiet übertroffen.

Im Kanton Uri wurde nach mehrjährigen Voruntersuchungen 1955/60 die obere Reuss mit dem SBB-Kraftwerk Göschenen ausgebaut. Im Tal der Göschenerreuss liegt

flysch suffisamment étanche. Sur le plan technique, le barrage présente diverses particularités: pour s'adapter au mieux à la forme asymétrique de la vallée, les divers arcs de la voûte sont formés de deux demies ellipses différentes. La base des ouvrages est munie de joints d'étanchéité partant du parement amont et aboutissant à une galerie de visite située au tiers de l'épaisseur de la voûte. Les deux barrages sont en outre pourvus d'ouvrages de décharge de grande performance. Le lac de retenue d'une superficie de 1,6 km² comporte deux branches en «Y» dont la longueur cumulée depuis l'origine du remous atteint 5,3 km. Un réseau étendu d'adduction, d'une longueur totale de 21,2 km, double la surface du bassin versant naturel de 45,6 km², qui permet d'exploiter un volume d'apports de 102 millions de m³. Avec seulement 7,9 km de galerie en charge vers la cheminée d'équilibre dominant le lac de Genève, on exploite une chute de 844 m dans l'usine souterraine de Veytaux, située à proximité immédiate du château de Chillon. Equipée de quatre groupes de pompage de 60 MW, elle est destinée à compléter les centrales thermiques de base, notamment celle de Chavalon (300 MW) fonctionnant au fuel et implantée près de Vouvry à 450 m au-dessus de la vallée du Rhône, pour améliorer les conditions d'évacuation des fumées. La production due aux apports naturels atteint 203 GWh (170 en hiver), à laquelle il convient d'ajouter 535 GWh d'énergie due aux cycles de pompage-turbinage.

Sur le cours inférieur de la Sarine, nous citerons les bassins d'accumulation plus anciens de Montsalvens (37) sur la Jogne, et le grand Lac de la Gruyère (38) long de 11 km et qui empiète en partie sur la région des plaines. En aval de Fribourg, il faut mentionner le nouveau bassin d'accumulation de Schiffenen avec ses 35 millions de m³ de volume utile et mis en retenue par un barrage-voûte implanté sur du grès molasse.

En 1954, le Valais tenait déjà un rang honorable avec dix bassins d'accumulation d'un volume total de 409 millions de m³. Ces chiffres ont presque triplé depuis, si bien qu'il occupe maintenant le premier rang parmi toutes les grandes vallées alpestres, grâce à ses 18 bassins d'accumulation de haute montagne totalisant un volume utile de 1169 millions de m³. Avec le bassin d'accumulation de Gries (40) à 2387 m d'altitude, le Haut-Valais possède le lac artificiel le plus haut de Suisse après ceux, non endigués, du Muttsee (2446 m) et de Sfundau, (2390 m) qui sont en réalité des lacs naturels exploités par simple abaissement du niveau de retenue. Dans la vallée supérieure de l'Aegina, il retient les eaux de fonte du glacier de Gries issu du Blinnenhorn (3374 m). Un barrage-poids légèrement arqué de 60 m de haut verrouille la cuvette glaciaire dans laquelle se trouvait un petit lac naturel. Son bassin versant naturel de 10,5 km² fournit annuellement un apport de 22,8 millions de m³. En l'espace de quelques années, le volume utile est passé de 15 à 17 millions de m³ en raison du recul du glacier, phénomène comparable à celui du lac de retenue de Sabbione-Hohsand situé dans la région voisine du Toce. La photographie en couleur fig. 44 représente le lac dans son cadre des hautes Alpes. Aux termes d'une convention spéciale, la moitié environ du débit de l'Aegina est dérivée vers le bassin de la Maggia où elle est exploitée par un groupement d'usines en cascade jusqu'au Lac Majeur. Dans le canton du Valais, se situe le palier supérieur de cette chaîne: l'usine souterraine d'Altstafel (10 MW) à 1970 m d'altitude; ensuite, les eaux, enrichies par l'apport des 8,1 km² du bassin versant du Längtalbach, sont amenées, par une galerie de 4,5 km de long passant sous le Nufenenstock, dans la Vallée supérieure de Bedretto, où elles sont reprises par les collecteurs des centrales de la Maggia, vers le bassin de Robiei. A une telle altitude, l'ouverture des chantiers a été conditionnée par la construction préalable de voies d'accès, dont la création dans les vallées de l'Aegina et de Bedretto a influencé favorablement les autorités fédérale et cantonales dans leur décision d'établir une communication à deux voies par le col de Nufenen (2440 m).

Sur le versant nord de la vallée du Rhône, le glacier d'Aletsch, le plus grand des Alpes, donne naissance à la Massa qui présente un débit considérable. C'est ici que de 1964 à 1967 on a réalisé une centrale de haute-chute avec le bassin d'accumulation relativement petit de Gebidem (41). Il comporte un bassin versant de 197 km² composé aux 3/4 de glaciers. Une vallée en V, symétrique, situé dans un gneiss de bonne qualité, est verrouillée par un barrage-voûte fortement arqué de 122 m de hauteur, dont les culées ont nécessité la consolidation de rochers par des ancrages précontraints. En raison de l'importance des débits solides, on a prévu des chasses de dégravement périodiques; c'est pourquoi le barrage comporte à sa base trois vannes de vidange de fond. La centrale souterraine de Bitsch (100 MW, 397 GWh) fonctionne sous une chute brute de 744 m.

Dans la vallée supérieure de Saas, on a aménagé en 1960/1967 la grande plaine d'éboulis de Mattmark (42) en un vaste bassin d'accumulation, qui tient le 4° rang parmi les lacs des Alpes du Valais. Depuis des siècles il était connu comme une menace permanente pour la vallée, car à chaque progression du glacier de l'Allalin, ses masses venaient bloquer la vallée en créant une retenue, dont les eaux rompaient immanquablement la digue de moraines et provoquaient alors de sérieuses dévastations dans la vallée. Par ses moraines latérales, le glacier d'Allalin a fortement contribué à un important alluvionnement de la vallée principale. Comme le seuil rocheux que présentent si fréquemment les cuvettes glaciaires fait défaut ici, l'aménagement d'un bassin d'accumulation était autrefois fortement gêné par cette particularité. Ce n'est qu'avec le perfectionnement des techniques de construction des barrages en terre ou en enrochements, ainsi que des procédés d'étanchement des sols alluvionnaires — tels que nous l'avons déjà vu pour plusieurs barrages des Alpes orientales — qu'une solution économique a été rendue possible. C'est aujourd'hui l'une des plus imposantes digues des Alpes; haute de 120 m, longue de 770 m, constituée de 10,4 millions de m³ de remblais, elle donne naissance au bassin d'accumulation de Mattmark d'un volume de 100 millions de m³. Elle s'élève dans une vallée envahie sur une épaisseur de près de 100 m d'une couche composée alternativement d'alluvions et de moraines que l'on dut étancher par un large voile d'étanchéité obtenu par injection. Le lac, long de 3,3 km, est niché au cœur d'un grandiose panorama de haute-montagne dont la photographie fig. 45 donne une idée. Le bassin versant naturel de 37,1 km² est porté à 88,2 km² par des adductions provenant des deux versants de la vallée, si bien que le remplissage est assuré sans appoint de pompage, même dans les années de faible hydraulicité. La masse du barrage est constituée d'éboulis récupérés sur le site même du barrage; celui-ci comporte un large noyau d'étanchéité incliné et une masse de soutènement constituée du matériau grossier des moraines. La moraine latérale droite de l'Allalin put être en partie incorporée au barrage. Pour la constitution du voile d'étanchéité de 21 500 m² injecté dans la masse alluviale des fondations, on a consommé 214 000 m³ de coulis. Une large galerie de contrôle et de drainage à parois épaisses, parcourt la base du barrage et permet de surveiller les infiltrations et tassements, et de procéder éventuellement à des injections complémentaires. Durant la construction, le mauvais génie du Glacier d'Allalin s'est à nouveau mani-

(Werkphoto Maggia-Kraftwerke AG, Locarno)

Fig. 44

Stausee Gries (2386 m) im Aeginental/Wallis, mit Griesgletscher und Blinnenhorn (3374 m)
Bassin d'accumulation de Gries (2386 m) dans le Val de l'Aegina/Valais, avec le glacier de Gries et le sommet du Blinnenhorn (3374 m) au fond

Fig. 45 Stausee Mattmark (2197 m) im inneren Saastal, mit dem Allalingletscher im Vordergrund rechts; im Hintergrund rechts Monte Rosa-Ostwand mit Dufourspitze (4634 m), höchste Erhebung der Schweiz

Fig. 45 Bassin d'accumulation de Mattmark (2197 m) dans la vallée supérieure de la Viège de Saas, avec le Glacier d'Allalin au premier plan à droite et la paroi est du Mont Rose avec Pointe Dufour (4634 m) au fond à droite (Werkphoto Elektro-Watt/Zürich)

der grosse Stausee Göscheneralp (17). Sein natürliches Einzugsgebiet von 42,3 km² wurde durch Ueberleitungen aus dem Voralpertal im Norden und dem hinteren Urserental (Furkareuss) auf 88,4 km² vergrössert. 30 % davon sind vergletschert. Der 2,4 km lange Hochgebirgssee in prachtvoller Lage unter dem Dammastock (3633 m) (siehe die Farbbeilage Fig. 42) wird durch den höchsten Staudamm der Schweiz aufgestaut. An der verhältnismässig breiten Sperrstelle im Granit, an der eine Felsschwelle den verlandeten Gletschertrog abschliesst, war der Fels am rechten Hangfuss bis 65 m von Schuttmassen überdeckt. Der Steindamm ist in seinem inneren Dichtungskern, der an den Fels anschliesst, aus den Alluvionen der Göscheneralp unter Zusatz von 230 000 t Opalinuston und in den Aussenzonen aus grobem Hangschutt aufgebaut. In Dammitte über dem Fels ist der Damm 147 m hoch, über dem luftseitigen Fuss sogar 155 m. Seine 11 m breite Krone liegt 5 m über dem Stauziel und ist mit einer 4 m dicken Schutzkappe aus schwersten Granitblöcken versehen. Um für den Dichtungskörper den günstigsten Einbauwassergehalt zu sichern, hat man in dem niederschlagreichen Gebiet die Kernzone beim Bau überdacht. Im Kraftwerk Göschenen (160 MW, rd. 700 m Fallhöhe) und den anschliessenden Reussstufen Wassen und Amsteg werden 420 GWh neu erzeugt, davon 225 GWh im Winter, in einer in der gleichen Krafthauskaverne untergebrachten Laufstufe Andermatt-Göschenen weitere 105 GWh.

Im Kanton Schwyz liegt im obersten Muota-Gebiet der Glattalpsee (18), eingebettet in einer natürlichen Mulde in verkarstetem Gebirge. Ein natürlicher Oberflächenabfluss aus seinem 7,2 km² grossen Einzugsgebiet besteht nicht; er entwässerte bisher durch unterirdische Klüfte mit einer jahreszeitlichen Schwankung zwischen den Koten 1855 und 1830 m ü. M. Nach Abdichtungsarbeiten wurde 1965/67 ein 6 m höherer Spiegel erreicht, entsprechend einem Inhalt von rd. 7 Mio m³. Da jedoch noch beträchtliche Sickerverluste verblieben, hat man auf eine grössere Jahresspeicherung in der neuen 720 m-Stufe Sahli verzichtet. Um die Verluste zu reduzieren, lässt man den See möglichst wenig über den Spiegel 1849,5 m steigen, der als Mindeststau jeweils am 15. Juli vorgeschrieben ist.

Im oberen Melchtal ist 1955/58 die kleine Speicherstufe Hugschwendialp mit 830 m Fallhöhe (15 MW) ausgebaut worden, die den natürlichen Melchsee (22) und den höher gelegenen Tannensee (21) als Jahresspeicher mit zusammen 7,5 Mio m³ ausnützt. Der Melchsee selbst ist im natürlichen Zustand dicht, doch liegt etwas unterhalb im Quintnerkalk der Versickerungstrichter «Stäubiloch», in den früher der gesamte Seeabfluss hineinstürzte und in einem unterirdischen Klüftesystem zu Tale floss. Durch einen kleinen Erddamm wird der See um 6 m über den natürlichen Spiegel aufgestaut sowie um 7 m unter diesen abgesenkt. Der kleine Tannensee, dessen Untergrund aus dichtem Oxfordschiefer besteht, erforderte einen wesentlich grösseren Staudamm. Beide Dämme ruhen teils auf Fels, teils auf dichter Grundmoräne. Das natürliche Einzugsgebiet ist durch Beileitungen von 7,6 auf 12,1 km² vergrössert, davon 2,3 km² vom Henglibach, der natürlich ins Gental zur Aare entwässert.

Die bekannte Speichergruppe im obersten Aaregebiet, dem Oberhasli (25—30), mit den vier grossen Stau-

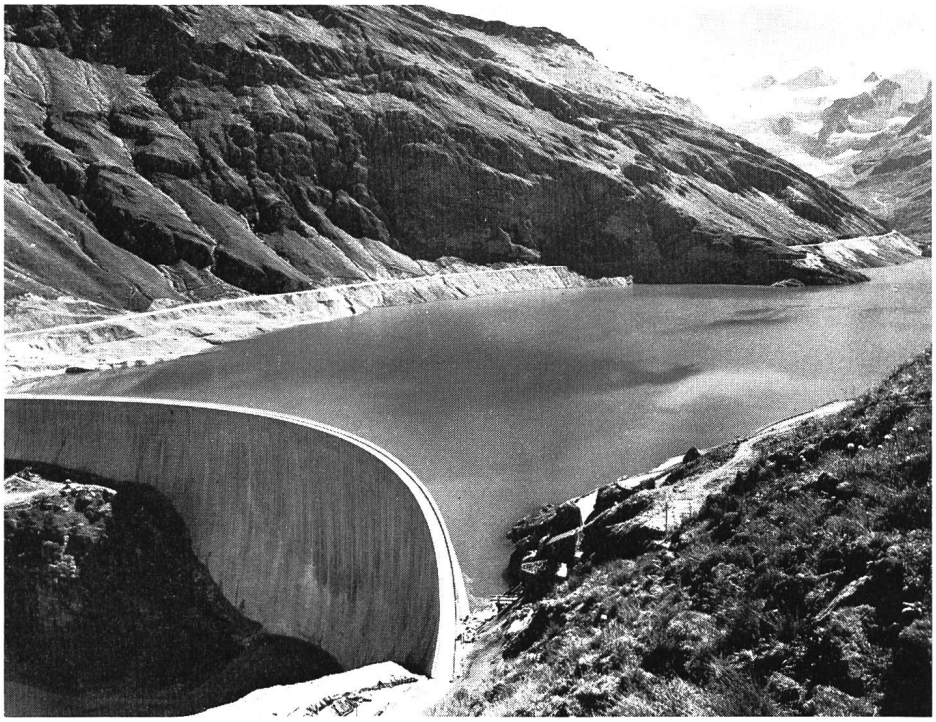


Fig. 46

Stausee Moiry (2249 m) im Val de Moiry/Val d'Anniviers

Bassin d'accumulation de Moiry (2249 m) dans le Val de Moiry/Val d'Anniviers

(Photo E. Brügger/Zürich)

festé: défiant tous les prognostics basés sur de nombreuses observations, une énorme avalanche de glace se détacha le 30 août 1965, écrasant le chantier au pied du barrage et faisant 88 victimes. L'exploitation en deux paliers dans les centrales de Zermeiggern et de Stalden, dont le palier inférieur fonctionne sous 1029 m de hauteur de chute, et collecte encore les apports de 74 km² supplémentaires, offre une puissance de 235 MW et une productibilité de 567 MWh dont 60 % pendant le semestre d'hiver.

Dans la vallée voisine de la Viège de Zermatt, il n'existe que le petit lac de Z'Mutt (43) sur le Z'Muttbach, du côté gauche de la vallée au pied du Cervin (Matterhorn). Ce lac sert de bassin d'accumulation et de compensation pour la centrale de pompage du même nom et est incorporé au réseau des adductions provenant de la chaîne de montagnes entourant Zermatt et dérivées vers la Grande Dixence. L'usine a pour rôle principal de refouler le débit avec 450 m de surélévation au niveau du collecteur principal, dans le secteur Ferpècle-Arolla, les eaux du grand glacier du Gorner; des mesures ont constaté une épaisseur de 550 m de glace!

Le Val d'Anniviers drainé par la Navisence, à été doté d'un important groupement d'usines d'accumulation en trois paliers exploitant un bassin de 245 km², y compris l'adduction de la vallée supérieure de Tourtemagne. Ce bassin est alimenté par les glaciers issus de montagnes dépassant 4000 m d'altitude, le Bieshorn, le Weisshorn, le Zinalrothorn, l'Obergabelhorn et la Dent Blanche, sans toutefois que leur origine remonte jusqu'à la crête. Le bassin d'accumulation saisonnier se trouve dans le Val Moiry, où du pied du glacier du même nom, une vaste cuvette fortement alluvionnée, est barrée par le verrou rocheux caractéristique de Chateaupré. Le lac de retenue de Moiry (46), long de 2,5 km, d'un volume de 77 millions de m³, et qui parmi les grands bassins n'est, à 2249 m, surpassé en altitude que par Gries et la Grande Dixence (fig. 46), collecte l'écoulement d'un bassin versant de 76,6 km², dont 35,5 km² — y compris les 6,2 km² que représente l'adduction de la Lona — appartiennent à la vallée de la Gougra, 36,6 km² à la Tourtemagne supérieure et enfin 4,5 km² au versant droit de la Navisence. Les eaux de la vallée voisine sont accumulées dans le bassin de compensation de Tourtemagne (44) à 2177 m d'altitude. Les deux bassins sont reliés par des conduites forcées à l'usine supérieure de Motec dans la vallée de la Navisence à 2,5 km en aval de Zinal, où un petit bassin de compensation collecte les apports de 107,6 km² supplémentaires appartenant à la vallée principale. Tous ces bassins sont composés en grande partie de glaciers, celui de Tourtemagne supérieur en comprend même 56 %. Les eaux du bassin de Tourtemagne rejoignent le bassin de Moiry, par une conduite en siphon, avec pompage d'appoint selon les niveaux relatifs; on peut en outre, grâce à une pompe plus puissante, refouler de l'eau depuis le bassin de Motec. Le barrage de Chateaupré est fondé sur du schiste de Casanna, roche gneissoïde de bonne qualité. Ce barrage-voûte de section parabolique, haut de 148 m, présente une longueur de crête de 610 m, car la voûte elle-même longue de 400 m environ, est prolongée sur sa droite par un barrage-poids de faible hauteur. L'accessibilité au chantier nécessita la réalisation préalable d'un important programme routier, totalisant 38 km de longueur dont 8,5 km de création nouvelle. C'est ce réseau routier qui permit d'acheminer jusqu'au barrage, depuis la vallée du Rhône, le ciment nécessaire aux 815 000 m³ de béton de masse. Le petit bassin de Tourtemagne est situé dans une cuvette glaciaire dont le verrou morainique a été profondément creusé par le torrent. Celui-ci a été fermé par un barrage en voûte mince en béton précontraint. L'ensemble des usines, dont le palier inférieur de Chippis de construction plus ancienne a été agrandi, produit avec ses 165 MW, 570 GWh dont 61 % en hiver.

En descendant la vallée du Rhône, on trouve ensuite, sur le versant droit, un groupement de deux usines de pointe en série dans le bassin de la Lienne qui se jette dans le Rhône, en amont de Sion. Cette rivière prend sa source au sud du col de Rawil et court dans une vallée encaissée et sauvage. Dans l'Alpe de Zeuzier, elle offrait la possibilité de créer un vaste bassin d'accumulation en amont d'un verrou rocheux de calcaire jurassique compact (Malm) dans lequel la Lienne avait creusé une gorge profonde de 150 m. C'est là qu'un barrage en voûte mince donne naissance au lac de Zeuzier (47) avec ses 50

seen Oberaar (Fig. 43), Grimsel und Gelmersee sowie Rätherichsboden, denen die kleineren Trübtensee, Totensee (39), Mattenalp zugeordnet sind, hat nach der Vollendung des Oberaarbeckens 1954 mit 208 Mio m³ zunächst ihren Endausbau erreicht. Die erstgenannten beiden Seen haben in den letzten 15 Jahren durch den Rückzug der in den Stau tauchenden Zungen der Oberaar- und Unteraargletscher 4,2 Mio m³ an Nutzraum gewonnen. Als Ergänzung sind im letzten Jahrzehnt noch das Gadmental, in dem die Strasse zum Sustenpass verläuft, und das Gental in drei Stufen mit den Kraftwerken Fuhren, Hopflauenen und Innertkirchen II (82 MW, 355 GWh) ausgebaut worden. Zur Oberstufe gehört der natürliche Engstlensee (31) 1850 m ü.M., im oberen Gental. Aus Rücksicht auf den Naturschutz wird er nicht aufgestaut, sondern nur im Winter abgesenkt.

Im obersten Saane-Gebiet, im Kanton Bern, ist auf 2034 m ü. M. der kleine Stausee Sanetsch (34) entstanden. Das Einzugsgebiet des Sanetschbaches ist hier 10,8 km² gross und liefert einen Abfluss von 19,8 Mio m³ für das Kraftwerk Innergsteig mit 837 m Fallhöhe. Das Speicherbecken ist durch eine Strasse von der Walliser Seite her erschlossen worden.

Die Nähe zum tiefgelegenen Rhonetal hat beim Arnensee (35) im oberen Tscherzisbach die Ausnutzung zur Grande Eau im Wallis bewirkt. Sie bestand schon seit dem ersten Weltkrieg durch Absenkung mittels Ueberleitungsstollen. 1955/57 ist der See, der durch einen Bergrutsch entstanden ist, durch einen Erddamm um 9 m aufgestaut worden. Das Seebecken liegt in dichtem Flysch, doch ist der gewachsene Fels an der Sperrstelle etwa 50 m überlagert, und die Bergrutschmasse erforderte Dichtungseinpressungen mit Bentonit. Das 7,1 km² grosse natürliche Einzugsgebiet konnte durch Einleitung der Isenau auf der Rhoneseite in den Stollen auf 11,2 km² vergrössert werden. Nunmehr ist auch die 336 m-Oberstufe Diablerets (5 MW) ausgebaut worden.

Eine Ueberleitung von Wasser aus der Saane zur Rhone in bedeutenderem Mass liegt auch bei dem neuen Spitzen- und Pumpspeicherwerk Hongrin-Léman (36) vor. Am Zusammenfluss von Hongrin und Petit Hongrin wird durch eine Doppelsperre ein Stausee von 52 Mio m³, 1255 m ü. M. gebildet. Zwei schlanke Kuppelmauern stützen sich auf den die Täler trennenden Felsbuckel «Colline de la Jointe», den ein gemeinsames künstliches Widerlager noch etwa 20 m überragt. Den Untergrund der Sperrstelle bilden überwiegend Kalke der Jura- und Kreideformation, während das Becken in einer Flyschzone guter Wasserdichtheit liegt. Die Talsperre ist noch in verschiedener Hinsicht technisch bemerkenswert: beide Mauern sind, in möglichst günstiger Anpassung an die unsymmetrische Talform, in den Bögen nach verschiedenen Halbellipsen geformt; im unteren Teil besitzen sie gedichtete Basisfugen, die von der Wasserseite etwa auf ein Drittel Mauerbreite bis zu einem Kontrollgang reichen; ausserdem sind sehr leistungsfähige Entlastungsanlagen angeordnet. Der 1,6 km² bedeckende See mit zwei Seitenbuchten ist zwischen den beiden Stauwurzeln 5,3 km lang. Ausgedehnte Beileitungen zu beiden Tälern mit insgesamt 21,2 km Stollenlänge verdoppeln das natürliche Einzugsgebiet von 45,6 km², so dass ein nutzbarer Zufluss von 102 Mio m³ erreicht wird. Mit nur 7,9 km Druckstollen zum Wasserschloss über dem Genfersee werden 844 m Fallhöhe erschlossen. Das grosse Kavernenkraftwerk Veytaux liegt in nächster Nähe der Wasserburg Château de Chillon. Ausgerüstet mit vier Pumpspeichersätzen je 60 MW ist es zur Zusammenarbeit mit thermischen Grundlastwerken bestimmt, zunächst dem 300 MW-Oelkraftwerk Chavalon, dieses bemerkenswert durch seine Lage — zwecks Verbesserung der Rauchabfuhr — 450 m hoch über dem Rhonetal bei Vouvry. Das Dargebot aus natürlichem Zufluss von 203 GWh (170 im Winter) erhöht sich um 535 GWh aus Wälzbetrieb.

An der unteren Saane bestehen die bekannten älteren Stauseen Montsalvens (37) im Jaunbach und der 11 km lange grosse Lac de la Gruyère (38), der schon in das Alpenvorland hinausreicht. Unterhalb Freiburg ist der neue Stausee Schiffenen zu erwähnen, mit 35 Mio m³ Nutzraum und einer weitgespannten Bogenmauer auf Molassesandstein.

Das Wallis hatte schon bis 1954 mit zehn Stauseen und 409 Mio m³ Nutzraum einen beachtlichen Rang erreicht. Seitdem ist hier nahezu eine Verdreifachung zu verzeichnen, so dass es nunmehr unter allen grossen Alpentälern mit 18 Hochseen und 1169 Mio m³ Beckenraum an vorderer Stelle steht. Das Oberwallis hat mit dem Staubecken Gries (40) 2387 m ü. M. den höchstgelegenen, durch ein Sperrbauwerk geschaffenen Speichersee der Schweiz erhalten (nach

Fig. 47

Stausee Zeuzier (1777 m) im oberen Lienne-Tal; rechts Rawil-Pass mit Uebergang ins Simmental

Bassin d'accumulation de Zeuzier (1777 m) au fond de la vallée de la Lienne; à droite le Col du Rawil, passage au Simmental

(Photo Perrochet/Lausanne)

Fig. 48 Staumauer Grande Dixence mit Stausee (2364 m) im Val des Dix; im Hintergrund Mont Blanc de Cheilon (3870 m)

Fig. 48 Barrage de la Grande Dixence et bassin d'accumulation du Lac des Dix (2364 m) dans le Val des Dix; au fond le Mt. Blanc de Cheilon (3870 m) (Photo G. Métrailler-Borlat/Sion)

millions de m³ de volume utile à 1777 m d'altitude. Dans le prolongement du verrou rocheux, il y avait du côté droit de la vallée, une gorge épigénétique plus petite, envahie par des éboulis, qu'il a fallu barrer par une digue en terre dont le noyau de béton est clavé sur la roche. Large de 600 à 700 m, ce lac de retenue n'a que 1,5 km environ de long et est enchassé dans un impressionnant fond de vallée (fig. 47). Avec l'appoint d'une adduction en rive gauche captant les eaux de l'Ertenze, il collecte les apports d'un bassin versant de 36,8 km², le palier inférieur collecte de son côté 57,5 km² supplémentaires. La centrale souterraine de Croix (854 m de hauteur de chute) et la centrale inférieure de St-Léonard (417 m de hauteur de chute) délivrent une puissance de 83 MW et une production de 180 GWh dont 157 GWh en hiver. A l'instar de ce qui fut réalisé dans maintes vallées valaisannes bénéficiant, grâce à leur faible altitude, d'un climat chaud et sec, cette vallée comprend un vaste réseau de canaux et de rigoles d'irrigation — les «Bisses» — qui remonte à plusieurs siècles et dont le tracé montre souvent la hardiesse des bâtisseurs. Les besoins de l'irrigation ont priorité sur ceux des réserves hydroélectriques; c'est ainsi que dans la vallée de la Lienne, ils atteignent environ 20 % des apports annuels! C'est pourquoi le palier supérieur de l'aménagement comporte une petite centrale auxiliaire assurant avec une chute réduite l'alimentation en eau des Bisses d'Ayent.

Le bassin le plus important du Valais est celui de la Grande Dixence, de son vrai nom, le Lac des Dix (48), dans la partie supérieure du même nom du Val d'Hérémence. C'est le premier exemple et en même temps le plus important, où le gisement potentiel d'un vaste réservoir d'accumulation a été exploité au maximum par surélévation de niveau d'une retenue plus ancienne alimentée par un réseau étendu d'adductions secondaires. Aujourd'hui, ce barrage, le plus imposant des Alpes, et avec ses 285 m de hauteur aussi le plus haut barrage-poids du monde, contient dans la région des glaciers 400 millions de m³ d'eau à 2364 m d'altitude. Tandis que l'ancien bassin d'accumulation de la Dixence était, avec ses 50 millions de m³ à la mesure des dimensions du bassin versant de sa vallée propre (49 km²), le supplément du volume utile actuel fait appel au Val d'Hérens, voisin côté est, et à la grande vallée de Zermatt ceinturée de monts et de glaciers célèbres. Les deux bassins réunis (102+245 km², dont la moitier de glaciers) fournissent 381 millions de m³. Les vallées prestataires bénéficient de débits réservés confortables; c'est ainsi que près de Zermatt, la Viège a un débit minimum de 12 m³/s durant les mois d'été. Le collecteur principal a son origine à 2496 m d'altitude dans le massif de Mischabel et s'étend sur 52 km de long comprenant deux passages en siphon sous le lit de glaciers. Elle est alimentée en eau par 27 captages de torrents, qui ap-

den nur durch Absenkung genutzten Naturseen Muttsee 2446 m ü. M. und Lago Sfundau 2390 m ü. M. im obersten Bavonatal). Es staut im oberen Aeginental den Abfluss des vom Blinnenhorn (3374 m) ausgehenden Griesgletschers. Eine 60 m hohe, leicht gekrümmte Gewichtsmauer schliesst das Zungenbecken ab, in dem sich ein kleiner Natursee befand. Das Einzugsgebiet von 10,5 km² liefert 22,8 Mio m³ Jahreszufluss. Der Nutzraum ist in wenigen Jahren durch den Rückgang des Gletschers von 15 auf 17 Mio m³ gewachsen, ein ähnlicher Vorgang wie beim Stausee Sabbione-Hohsand im nahegelegenen obersten Toce-Gebiet. Das Farbbild Fig. 44 zeigt den See in seiner hochalpinen Gebirgsumrahmung. Etwa die Hälfte des Abflusses der Aegina wird nach entsprechenden Vereinbarungen dem Maggia-Gebiet zur Nutzung über die dort vollausgebauten Fallhöhen bis zum Lago Maggiore zugeführt. Die oberste Stufe im Kanton Wallis bildet das Kavernenkraftwerk Altstafel (10 MW) auf 1970 m ü. M., von dort fliesst das Wasser, um das des Längtalbaches aus 8,1 km² vermehrt, durch den 4,5 km langen Ueberleitungsstollen unter dem Nufenenstock ins obere Bedrettotal und durch das weitere Zuleitungssystem der Maggiawerke zum Becken Robiei. Die Kraftwerkbauten in dieser Höhe haben umfangreiche Erschliessungen erfordert. Die Entstehung neuer Strassen im Aeginen- und Bedrettotal erleichterte zudem den Beschluss der eidgenössischen und kantonalen Behörden zum Ausbau einer zweispurigen Verbindung über den Nufenenpass (2440 m).

Auf der Nordseite des Rhonetales entsendet der Aletschgletscher, der grösste der Alpen, die abflussreiche Massa. Hier ist 1964/67 ein Hochdruckwerk mit dem kleineren Speicher Gebidem (41) ausgebaut worden. Er erfasst ein Gebiet von 197 km², das zu Dreiviertel vergletschert ist. Ein symmetrisches V-Tal in gesundem Gneis wird durch eine 122 m hohe stark gekrümmte Bogenmauer abgeschlossen, deren obere Widerlager Felssicherungen mittels Vorspannankern erfordert haben. Wegen der starken Geschiebezufuhr sind periodische Spülungen nötig und die Mauer ist dafür mit drei grossen Grundablassöffnungen ausgestattet. Das Kavernenkraftwerk Bitsch (100 MW, 397 GWh) hat 744 m Bruttofallhöhe.

Im inneren Saastal ist 1960/67 der grosse Geröllboden der Mattmark (42) in den viertgrössten Stausee der Walliser Alpen umgewandelt worden. Seit Jahrhunderten war er bekannt und gefürchtet als Bedrohung der Talschaft, wenn bei Gletschervorstössen die Eismassen des Allalingletschers aus der linken Talflanke das Tal blockierten und im Mattmarkboden sich ein See aufstaute, dessen Wasser bei den einst unvermeidlichen Durchbrüchen schwere Verwüstungen anrichteten. Der Allalingletscher mit seinen Seitenmoränen hat erheblich zur tiefen Auflandung des Haupttales beigetragen. Da hier die sonst so häufige Felsschwelle der Zungenbecken fehlt, widersetzten sich früher die natürlichen Verhältnisse dem Ausbau zum Speichersee. Erst die jüngste Entwicklung im Bau von Erd- und Felsdämmen und insbesondere in der Dichtung von Alluvialböden, wie wir sie bereits bei mehreren Dämmen in den Ostalpen angetroffen haben, hat hier eine wirtschaftliche Lösung ermöglicht. Heute staut einer der mächtigsten Dämme der Alpen, 120 m hoch, 770 m lang mit 10,4 Mio m³ Schüttmasse, 2197 m ü. M. den 100 Mio m³ fassenden Mattmarksee auf. Er ruht auf der fast 100 m mächtigen Talverschüttung aus Alluvionen und Moränen wechselnden Aufbaues, die durch eine breite Injektionsschürze gedichtet werden mussten. Der 3,3 km lange See ist in ein grossartiges Hochgebirgspanorama gebettet, von dem Fig. 45 einen Eindruck gibt. Das natürliche Einzugsgebiet von 37,1 km² wird durch Beileitungen aus beiden Talflanken auf 88,2 km² vergrössert, so dass die Füllung auch in abflussarmen Jahren ohne Zupumpen gesichert ist. Der Staudamm ist ganz aus im Sperrengebiet gewonnenen Schüttstoffen aufgebaut, mit einem schräg angeordneten breiten Dichtungskörper und einem Stützkörper aus grobem Moränengut. Die rechte Allalinseitenmoräne konnte teilweise einbezogen werden. In die 21 500 m² grosse Dichtungsschürze im Lockergestein unter dem Damm sind 214 000 m³ Injektionsgut verpresst worden. Ein geräumiger starkwandiger Kontroll- und Dränagestollen verläuft im Dammlager und gestattet die Ueberwachung von Durchsickerungen und Setzungsbewegungen wie auch gegebenenfalls Nachdichtungen. Während des Baues hat der Dämon des Allalingletschers noch einmal zugeschlagen. Allen Erkundungen und Beobachtungen zum Trotz löste sich am 30. August 1965 eine gewaltige Eislawine, verschüttete das Arbeitsfeld am Dammfuss und forderte dabei 88 Menschenleben. Der zweistufige Kraftausbau mit den Werken Zermeiggern und Stalden, der in der unteren Hauptstufe mit 1029 m Fallhöhe weitere 74 km² erfasst, erbringt 235 MW und 567 GWh, davon 60 % im Winterhalbjahr.

Im benachbarten Tal der Matter Vispe gibt es lediglich im Z'Muttbach auf der linken Talseite unter dem Matterhorn das kleine Becken Z'mutt (43) als Sammel- und Ausgleichbecken für das gleichnamige Pumpwerk im Zuge der Ueberleitungen aus dem Zermatter Bergkranz zur Grande Dixence. Dieses fördert vornehmlich den Abfluss des tiefherabreichenden grossen Gornergletschers, bei dem 550 m Eismächtigkeit gemessen wurde, rd. 450 m hoch auf die Höhe des Hauptzubringers im Ferpècle-Arolla-Abschnitt.

Das von der Navisence durchflossene Val d'Anniviers (Eifischtal) ist durch ein bedeutendes dreistufiges Speicherwerk unter Einbeziehung des oberen Turtmanntales mit insgesamt 245 km² ausgebaut. Das Gebiet wird von den Gletschern gespeist, die von den Viertausendern Bieshorn, Weisshorn, Zinalrothorn, Obergabelhorn und Dent Blanche ausgehen, ohne an den Hauptkamm heranzureichen. Der Jahresspeicher liegt im Val Moiry, wo unter dem gleichnamigen Gletscher ein weites verlandetes Becken durch den ausgeprägten Felsriegel von Chateaupré abgeschlossen ist. Der 2,5 km lange Stausee Moiry (46) mit 77 Mio m³ Nutzraum und der unter den grossen Becken nur vom Stausee Gries und von der Grande Dixence übertroffenen Höhenlage von 2249 m ü. M. (Fig. 46) wird aus einem Gesamtgebiet von 76,6 km² gespeist. Davon entfallen 35,5 km², einschl. 6,2 km² Beileitung von der Lona, auf das Gougratal, 36,6 km² auf die obere Turtmänna und 4,5 km² auf die rechte Talseite der Navisence. Das Wasser aus dem Nachbartal wird im Ausgleichbecken Turtmann (44) 2177 m ü. M. gesammelt. Von beiden Becken führen Kraftabstiege zum Oberstufenkraftwerk Motec im Navisencetal 2,5 km talaus von Zinal, wo ein kleines Ausgleichbecken weitere 107,6 km² des Haupttales erfasst. Alle Gebiete sind stark vergletschert, das der oberen Turtmänna sogar zu 56 %. Das Wasser aus dem Turtmannbecken fliesst über die Kraftabstiege als Düker dem Moirysee zu, je nach Wasserstand mit Pumphilfe; ausserdem kann noch durch eine stärkere Pumpe Wasser aus dem Becken Motec hochgefördert werden. Die Sperrstelle Chateaupré liegt im Casannaschiefer, einem guten Paragneis. Die 148 m hohe mit Parabelbögen gestaltete Gewölbemauer hat die bedeutende Kronenlänge von 610 m, da der eigentliche Bogen von rd. 400 m rechtsseitig durch einen radial anschliessenden niedrigen Gewichtsflügel verlängert ist. Zur Erschliessung war ein umfangreiches Strassenbauprogramm erforderlich. Ueber 38 km teils ausgebaute, teils neuangelegte (8,5 km) Strasse ist der Zement für 815 000 m³ Mauerbeton vom Rhonetal

Fig. 49

Stausee Mauvoisin (1960 m) im Val de Bagnes

Bassin d'accumulation de Mauvoisin (1960 m) dans le Val de Bagnes

(Photo Elektro-Watt/Zürich)

portent 158 millions de m³ par simple gravité, et par quatre usines de pompage dont deux dans la vallée de Z'Mutt, près de Zermatt, et une dans chacune des vallées de Ferpècle et d'Arolla qui refoulent sous 480 m de hauteur d'élévation, 223 millions de m³ d'eau provenant de huit autres captages situés à des cotes moins élevées. Lors des hautes eaux, le collecteur principal débite 80 m³/s — soit 83 % du débit moyen de la Limmat à Zurich — qui se déversent en cascade dans la retenue de la Grande Dixence. Le lac de retenue, long de 5,2 km, avec le Mont Blanc de Cheilon (3870 m) en fond de vallée (fig. 48) a une superficie de 400 ha. Son coefficient surface/volume, s'établit à 1,0 ha par million de m³, qui, en raison de son énorme profondeur, est le plus réduit de tous les réservoirs alpins. La construction du barrage a duré de 1951 à 1961 dont 8 années de bétonnage. En 1957, après achèvement de la première tranche des travaux, l'ancien barrage a été submergé pour la première fois avec une mise en retenue partielle de 50 millions de m³. Le réseau des adductions fut achevé en 1965. Les deux centrales souterraines de Fionnay dans le Val de Bagnes, et de Nendaz dans la vallée du Rhône, équipées respectivement d'une puissance de 321 et de 367 MW (chacune comportant six groupes), produisent ensemble sous 1886 m de hauteur de chute brute, 1560 GWh dont 1400 en hiver. L'ancienne centrale de Chandoline (126 MW, 350 GWh), qui exploite également les eaux refoulées par pompage dans le bassin de St-Barthélemy (49) dans le Val de Cleuson voisin côté ouest, est maintenue en exploitation.

A Fionnay se situe également l'usine de lac alimentée par le Lac de Mauvoisin (51), — le deuxième par ordre de grandeur des lacs valaisans — long de 5 km et contenant 180 millions de m³; il est mis en retenue sur le cours supérieur de la Drance, par le barrage-voûte le plus haut de Suisse (fig. 49). Son bassin versant agrandi à 167 km² (dont 46% de glaciers) par des adductions secondaires, longe sur 20 km la crête principale, ce qui n'était pas le cas pour les bassins du Val des Dix et du Val de Cleuson. Un peu en amont du barrage se trouve l'endroit où autrefois, à plusieurs reprises, particulièrement en 1595 et 1818, la rupture du tristement célèbre glacier de Giétro, provoqua l'obstruction de la rivière par des masses de glace, créant une importante retenue artificielle, qui, se libérant brutalement, entraîna de terribles dévastations dans toute la vallée et jusque dans celle du Rhône. Compte tenu de l'époque de sa construction (1951 à 1957), Mauvoisin ainsi que la première tranche de la Grande Dixence figurent statistiquement parmi les bassins d'avant 1955. Les centrales de Fionnay et de Riddes (85 et 225 MW) alimentées par le bassin de Mauvoisin, fournissent une production annuelle de 760 GWh. La proximité géographique des deux centrales de Fionnay, a permis d'interconnecter leurs bassins de compensation, donc de réalimenter exceptionnellement le palier inférieur de l'une des usines par le bassin de l'autre.

Le Val d'Entremont menant au Col du Grand Saint-Bernard et drainé par la Drance de même nom, a été équipé à 1810 m d'altitude, du bassin d'accumulation Les Toules (52) d'un volume de 20 millions de m³. Une barre rocheuse dans un schiste de Casanna y verrouille une vaste cuvette. Le bassin versant naturel de 41 km² a été porté à 78,2 km² par des adductions captées dans le versant droit de la vallée, notamment celle du Valsorey. Il cotoie sur 17 km la crête principale, dominée par le Grand Combin (4314 m). Son ouvrage de retenue est un barrage-coupole, le premier de Suisse. Il a été construit en deux étapes: avec une arase provisoire à 25 m de hauteur en 1958, puis en 1961/63 à l'arase définitive à 85 m de hauteur, après que la route d'accès au col, longeant le thalweg, ait été transférée à flanc de coteau selon un tracé et un profil hors neige adapté au nouveau tunnel routier du St-Bernard. Elle offre de merveilleux points de vue sur l'imposant barrage et sur le lac de 2 km de long qui agrémente la haute-vallée. Les eaux du bassin sont exploitées par la nouvelle centrale de Pallazuit (32 MW) et par trois centrales inférieures plus anciennes sous une dénivellation totale de 1180 m jusqu'au niveau de Martigny.

Un aménagement comparable à celui de la Grande Dixence, réalisé en commun par la France et la Suisse, est actuellement en chantier à Emosson, dans la vallée de la Barberine. Cette vallée était déjà équipée du bassin d'accumulation de Barberine (54) ainsi que du bassin com-

angefahren worden. Das kleine Turtmannbecken nutzt eine glaziale Mulde, in deren Riegel der Bach eine enge Schlucht eingeschnitten hat. Diese ist durch eine dünne Bogenmauer aus vorgespanntem Beton geschlossen worden. Die ganze Werkgruppe, deren bestehende Unterstufe Chippis erweitert wurde, liefert mit 165 MW ein Dargebot von 570 GWh, davon 61 % im Winter.

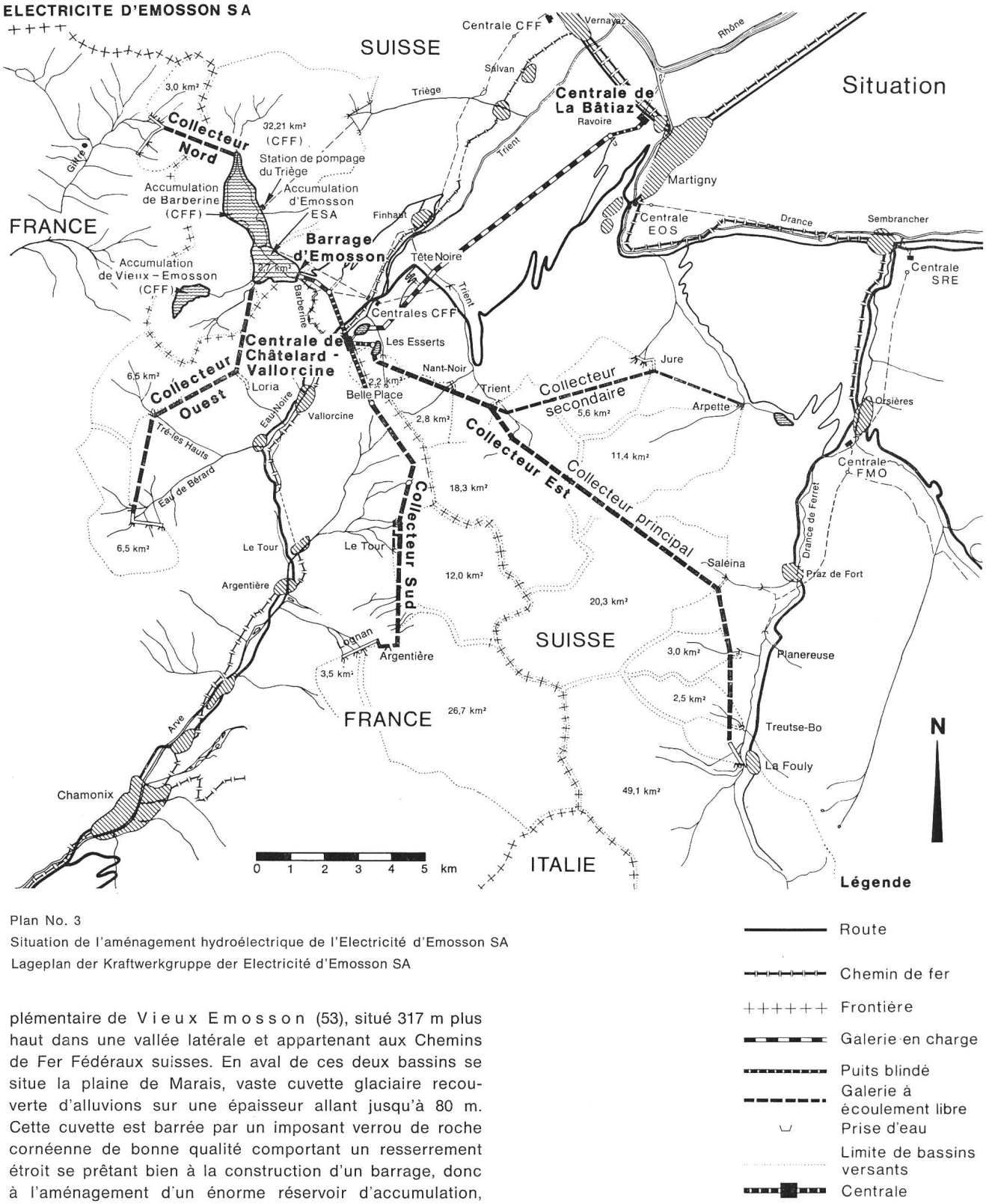
Rhoneabwärts folgt auf der rechten Talseite ein Zweistufenspeicherwerk im Gebiet der oberhalb Sitten mündenden Lienne. Diese entspringt südlich vom Rawil-Pass und durchfliesst ein tiefes und wildes Tal. In der Alpe de Zeuzier bot sie ein geräumiges Speicherbecken, abgeschlossen durch einen Felsriegel in kompaktem Jura-(Malm)Kalk, in den die Lienne eine 150 m tiefe enge Schlucht geschnitten hat. Hier staut eine schlanke Bogenmauer den Stausee Zeuzier (47) 1777 m ü. M. mit 50 Mio m³ Nutzraum. Auf der rechten Talseite war in Verlängerung des Felsriegels eine kleinere, von Geröll erfüllte epigenetische Schlucht durch einen Erddamm mit auf den Fels reichendem Betonkern zu verschliessen. Der See ist bei 600—700 m Breite nur rd. 1,5 km lang, umgeben von einem eindrucksvollen Talschluss (Fig. 47). Mit einer linksufrigen Beileitung von der Ertenze erfasst er 36,8 km², die Unterstufe nochmals 57,5 km². Das Kavernenkraftwerk Croix (854 m Fallhöhe) und das Talkraftwerk St. Léonard (417 m) erbringen mit 83 MW ein Dargebot von 180 GWh, davon allein 157 im Winterhalbjahr. Als Beispiel für viele Walliser Täler mit ihrem in den tieferen Regionen warmen und trockenen Klima sei hier die Speisung der seit Jahrhunderten betriebenen, ausgedehnten und oft kühn geführten Bewässerungskanäle und -gerinne — der «Bisses» — erwähnt. Dieser Bedarf ist vor dem für die Speicherung und Wasserkraftnutzung verfügbaren Wasser zu berücksichtigen; im Liennetal erreicht er z. B. etwa 20 % des gesamten Jahresabflusses. Aus der Oberstufe ist dafür ein kleines Nebenkraftwerk für eine Teilhöhe zur Speisung der Bisses d'Ayent abgezweigt.

Der bedeutendste Walliser Speichersee ist der als Grande Dixence bekannte Lac des Dix (48) im gleichnamigen hinteren Talabschnitt des Val d'Hérémence. Er ist das erste und zugleich grösste Beispiel, wo eine günstige grosse Speichermöglichkeit unter Ueberstauung einer älteren kleineren Anlage durch ausgedehnte Beileitungen ad maximum ausgebaut wurde. Heute staut die mächtigste Sperrmauer der Alpen, mit 285 m zugleich die höchste Gewichtsmauer der Welt, 2364 m ü. M. 400 Mio m³ Wasser der Gletscherregion. Während das alte Dixence-Staubecken mit 50 Mio m³ dem Zufluss des Einzugsgebietes im eigenen Tal von 49 km² angemessen war, wird das zusätzliche Speicherwasser aus dem östlich benachbarten Val d'Hérens und dem grossen Zermatter Tal mit seinem Kranz berühmter Berge und Gletscher zugeführt. Aus 102 + 245 km², zur Hälfte vergletschert, werden 381 Mio m³ übergeleitet. Den Stammtälern sind reichliche Mindestabflüsse belassen; so führt die Vispe bei Zermatt in den Sommermonaten mindestens 12 m³/s. Der Hauptzubringer beginnt in der Mischabelgruppe auf 2496 m ü. M. und erstreckt sich, mit zwei grossen Dükern unter Gletscherbetten, über rd. 52 km Länge. Er wird von 27 Bachfassungen gespeist, die im freien Gefälle 158 Mio m³ bringen, und von vier Pumpwerken, zwei im Zermatter Z'Mutt-Tal, je eins im Ferpècle- und Arolla-Tal, die aus nochmals acht Fassungen in tieferen Horizonten i. M. 223 Mio m³ bis 480 m hoch fördern. Bei Vollwasser ergiessen sich aus der Stollenmündung an der Stauwurzel 80 m³/s — etwa 83 % des Jahresmittels der Limmat in Zürich entsprechend — als mächtiger Wassersturz bis zum jeweiligen Spiegel in den Dixence-See. Der 5,2 km lange See, mit dem Mont Blanc de Cheilon, 3870 m, im Talschluss (Fig. 48), bedeckt 400 ha. Sein Einheitswert F/I ist wegen der ausserordentlichen Stauhöhe mit 1,0 ha/Mio m³ der kleinste aller alpinen Speicher. Der Bau der Staumauer hat die Jahre 1951/61, mit acht Betonierjahren beansprucht. 1957 wurde nach dem ersten Bauabschnitt (+ 50 Mio m³) die alte Mauer erstmals überstaut. Das System der Ueberleitungen war 1965 vollendet. Die beiden Kavernenkraftwerke Fionnay im Bagnes- und Nendaz im Rhone-Tal mit 321 und 367 MW Maschinenleistung (je sechs Einheiten) erbringen seitdem zusammen über 1886 m Bruttofallhöhe 1560 GWh, davon 1400 GWh im Winter. Das alte Dixence-Kraftwerk Chandoline, das auch die übergepumpten Wasser des Stausees St. Barthélemy (49) im westlich benachbarten Val de Cleuson verarbeitet (126 MW 350 GWh), bleibt weiter in Betrieb.

Fionnay ist zugleich Standort des Oberstufenkraftwerks des bisher zweitgrössten Walliser Hochsees, des 5 km langen Lac de Mauvoisin (51) mit 180 Mio m³, den in der oberen Drance de Bagnes die höchste Bogenmauer der Schweiz aufstaut (Fig. 49). Sein durch Beileitungen auf 167 km² vergrössertes, zu 46 % vergletschertes Einzugsgebiet grenzt, im Gegensatz zu Val des Dix und Val de Cleuson, auf 20 km Länge an den Hauptkamm. Wenig oberhalb der Staumauer liegt die Stelle, wo früher mehrfach, besonders 1595 und 1818, Abbrüche des berüchtigten Giétrogletschers den Fluss weit hinauf stauten und zu fürchterlichen Verheerungen durch das ganze Tal bis zur Rhone Anlass gaben. Mit der Bauzeit 1951/57 ist Mauvoisin, wie auch die 1. Etappe der Grande Dixence statistisch zum Bestand vor 1955 gerechnet. Die Mauvoisin-Werke Fionnay und Riddes (85+225 MW) liefern 760 GWh. Die Nachbarschaft der beiden Kraftwerke in Fionnay hat es ermöglicht, zwischen ihren Ausgleichbecken eine Verbindung anzuordnen, durch die im Ausnahmefall Wasser aus dem Dix- oder Mauvoisin-Becken der jeweils anderen Unterstufen-Zentrale zugewiesen werden kann.

Das zum Grossen St. Bernhard-Pass hinaufleitende Val d'Entremont, durchflossen von der gleichnamigen Drance hat 1810 m ü. M. den 20 Mio m³-Stausee Les Toules (52) erhalten. Ein Felsriegel im Casanna-Schiefer begrenzt hier eine weite Mulde. Das Einzugsgebiet von 41 km² ist durch Beileitungen aus der rechten Talseite, vor allem des Valsorey, auf 78,2 km² gebracht. Auf 17 km Länge grenzt es an den Hauptkamm, flankiert vom Grand Combin 4314 m. Das Sperrbauwerk ist eine weitgespannte Kuppelmauer, die erste der Schweiz. Sie ist in zwei Bauabschnitten ausgeführt worden, zunächst 1958 auf 25 m Höhe, 1961/63 im Vollausbau auf weitere 60 m, nachdem die Passstrasse aus dem Talboden entsprechend hoch an den Hang verlegt war, in einem dem neuen Strassentunnel angepassten grosszügigen und wintersicheren Ausbau. Sie bietet reizvolle Ausblicke auf das eindrucksvolle Bauwerk und den das Hochtal belebenden 2 km langen Stausee. Den Speicher nutzen das neue Kraftwerk Pallazuit (32 MW) und drei bestehende Unterliegerwerke bis Martigny über 1180 m.

Eine Wiederholung des Beispiels der Grande Dixence, diesmal als internationales Werk in schweizerisch-französischer Partnerschaft bedeutet die noch im Bau befindliche Anlage Emosson im Barberinetal. Hier bestehen bereits der alte Stausee Barberine (54) und im Seitental der 317 m höher gelegene Ergänzungsspeicher Vieux Emosson (53) der Schweizerischen Bundesbahnen. Unterhalb von beiden bietet ein weites, bis 80 m tief verlandetes glaziales Becken, die Plaine de Marais, abgeschlossen durch einen hohen Felsriegel mit enger Sperrstelle in bestem Hornfels, eine ideale Möglichkeit für einen geräumigen Speicher, zu dessen Füllung jedoch ausgedehnte Beileitungen, z. T. mit Pumphilfe erforderlich sind. Die Einbeziehung der Abflüsse



Plan No. 3
Situation de l'aménagement hydroélectrique de l'Electricité d'Emosson SA
Lageplan der Kraftwerkgruppe der Electricité d'Emosson SA

plémentaire de Vieux Emosson (53), situé 317 m plus haut dans une vallée latérale et appartenant aux Chemins de Fer Fédéraux suisses. En aval de ces deux bassins se situe la plaine de Marais, vaste cuvette glaciaire recouverte d'alluvions sur une épaisseur allant jusqu'à 80 m. Cette cuvette est barrée par un imposant verrou de roche cornéenne de bonne qualité comportant un resserrement étroit se prêtant bien à la construction d'un barrage, donc à l'aménagement d'un énorme réservoir d'accumulation, d'un volume tel qu'il ne peut être rempli qu'avec l'appoint d'une réserve étendue d'adductions secondaires, en partie par pompage. Le captage des écoulements des bassins français voisins de l'Eau Noire, du Giffre et de l'Arve permit de projeter un aménagement géant dont le plan no.3 donne une vue d'ensemble. Le nouveau bassin d'accumulation d'Emosson (54), à 1930 m d'altitude contient 225 millions de m³ de volume utile, et submerge l'ancien bassin de la Barberine (39 millions de m³) sous 42 m d'eau. Quatre collecteurs principaux collectent les apports d'une superficie totale de 173 km²; trois de ces collecteurs proviennent de bassins français, d'une altitude supérieure à celle de la retenue, la quatrième provenant de la Drance de Ferret, du Durand et du Trient en Suisse, à une altitude inférieure de 400 m à celle de la retenue. La superficie globale du bassin versant est ainsi portée à 208 km². Des rectifications de frontière ont été opérées pour que le bassin et le barrage d'Emosson soient entièrement situées en territoire helvétique, et la centrale supérieure de Châtelard-Vallorcine, entièrement en territoire français. Le lac de retenue, long de 4,3 km et formant un plan d'eau de 3,3 km², est accessible par une nouvelle route longue de 11,7 km, partant de la Route de la Forclaz, et conduisant à la crête du

aus den französischen Nachbargebieten von Eau Noire, Giffre und Arve führte hier zu einem günstigen Grossausbau, von dem Plan 3 eine Uebersicht gibt. Der neue Stausee Emosson (54) 1930 m ü. M. bringt 225 Mio m³ Nutzraum, wobei das alte Barberinebecken (39 Mio m³) 42 m überstaut wird. Vier Zubringerstollen, drei oberhalb des Stauziels aus den französischen Einzugsgebieten und ein rd. 400 m tieferliegender aus den schweizerischen Bächen Drance de Ferret, Durand und Trient erfassen 173 km² neues Einzugsgebiet mit 34 % Vergletscherung und bringen das Gesamtgebiet auf rd. 208 km². Durch Grenzregulierungen wird erreicht, dass Staubecken und Sperrstelle Emosson ganz auf schweizerisches, das Oberstufenkraftwerk Châtelard-Vallorcine auf französisches Staatsgebiet zu liegen kommen. Der 4,3 km lange Stausee mit 3,3 km² Spiegelfläche wird durch eine neue 11,7 km lange Strasse von der Route de la Forclaz über Finhaut zur Krone der 180 m hohen Bogenmauer erschlossen. Der Zweistufenausbau über 1468 m erbringt 634 GWh mit 339 MW. Im Kraftwerk Châtelard-Vallorcine sind zwei Horizonte zusammengefasst, von Emosson und vom grossen Hauptsammler Ost. Aus dessen Ausgleichbecken Les Esserts werden vom zugeführten Wasser i. M. 91 Mio m³ über 414 m Differenzhöhe hochgepumpt. Die bestehenden SBB-Kraftwerke, denen 55,6 Mio m³ Stauraumanteil zustehen, werden vom Wasserschloss des neuen Kraftabstiegs aus angeschlossen.

4.2 SPEICHERSEEN WESTLICH DES HAUPTKAMMS

Im Nordteil der französischen Alpen ist die Isère ein Wasserkraft- und Stausee-Gebiet ersten Ranges. In ihrem am Alpenrand rd. 11 000 km² grossen Einzugsgebiet waren bis 1954 bereits 16 Speicherseen entstanden. Nunmehr sind es 25 mit 937 Mio m³ Nutzraum. Wird noch der aus dem Isère-Gebiet gespeiste Anteil des Montcenis-Beckens (270 Mio m³) hinzugerechnet, so hat es die für seine Grösse bedeutende Speicherungshöhe von 110 mm erreicht.

In der oberen Isère war der Stausee Tignes, jetzt Lac du Chevril (60) benannt, bei seiner Inbetriebnahme der grösste Alpenspeicher. Fig. 50 zeigt den 2,8 km² grossen See, den die Strasse nach Val d'Isère und zum Col d'Iséran begleitet. Sein einschliesslich mehrerer Beileitungen 249 km² grosses Einzugsgebiet ist noch durch die Ueberleitung aus 87 km² vom oberen Arc vergrössert worden, in der das Kraftwerk Val d'Isère mit Einbeziehung der Isère-Zuflüsse Calabourdane und Charvet eine 200 m-Stufe ausnützt. In der rechten Talflanke des Sees ist der im gleichnamigen Hängetal 648 m höher gelegene natürliche Lac de la Sassière (59), Einzugsgebiet 10,7 km², durch 22 m Aufstau und 12 m Absenkung zu einem 9,7 Mio m³-Speicher ausgebaut worden. Das Sperrbauwerk ist ein leicht gekrümmter Steindamm mit Betondichtungsdecke, der teils auf Fels, teils Moräne gegründet ist. Man erreicht den hochalpin gelegenen See (Fig. 51) über eine 9 km lange, neu ausgebaute Strasse. Die fünf Kraftwerke der oberen Isère bis Malgovert mit zusammen 477 MW liefern nunmehr 990 GWh.

Im Beaufortin-Massiv auf der rechten Seite des mittleren Isère-Gebiets liegt im Talschluss des Dorinet der seit Beginn des Jahrhunderts genutzte, in drei Etappen ausgebaute natürliche Lac de la Girotte (61). Südlich davon ist seit 1955 das bedeutende Speicherwerk Roselend — La Bathie mit ausgedehntem Beileitungssystem (23 Fassungen) entstanden. In drei benachbarten Stauseen mit zus. 210 Mio m³ werden die Wasser aus 272 km² zusammengeführt. Das Hauptbecken Roselend (62), 1557 m ü. M., fasst 183 Mio m³. Wo sich die Wildbäche Roselend und Treicol zum Doron de Beaufort vereinigen, liegt eine im weichen Lias-

Fig. 50

Stausee Tignes/Lac du Chevril (1790 m) mit Blick talauswärts gegen die Talsperre

Le bassin d'accumulation de Tignes/Lac du Chevril (1790 m), vue vers l'aval et le barrage

(Photo Ehrmann/EDF)

barrage-voûte de 180 m de haut, en passant par Finhaut. L'exploitation en deux paliers sous une chute de 1468 m produit 634 GWh avec une puissance de 339 MW. La centrale de Châtelard-Vallorcine est alimentée à la fois par le bassin d'Emosson et par le collecteur principal Est. A partir du bassin de compensation de cette usine (les Esserts), on refoule en moyenne 91 millions de m³ d'apports dans le réservoir supérieur sous une hauteur d'élévation de 414 m. Les anciennes usines des Chemins de fer suisses dont la quotepart du volume utile est de 55,6 millions de m³, sont alimentées à partir de la cheminée d'équilibre de la nouvelle conduite forcée.

4.2 BASSINS D'ACCUMULATION A L'OUEST DE LA CRETE PRINCIPALE

Dans la partie nord des Alpes françaises, le bassin de l'Isère constitue une région de premier ordre quant aux ressources en énergie hydraulique et en possibilités d'accumulation. Son bassin versant, couvrant environ 11 000 km² en bordure des Alpes, avait déjà été équipé de 16 bassins d'accumulation jusqu'en 1954. Actuellement on en compte 25 représentant 937 millions de m³ de volume utile. Si l'on y ajoute la quote-part du bassin de l'Isère — soit 270 millions de m³ —, dans le volume du lac du Mont-Cenis, sa capacité de stockage atteint la hauteur de 110 mm, valeur remarquable eu égard à sa dimension.

Sur l'Isère supérieure, le lac de retenue de Tignes, appelé maintenant Lac du Chevril (60), était au moment de sa mise en service, le plus grand des bassins d'accumulation alpins. La photo fig. 50 représente ce lac d'une superficie de 2,8 km², bordé par la route menant à Val d'Isère et au Col de l'Iseran. Son bassin versant de 249 km², y compris les superficies collectées par plusieurs adductions secondaires, a été augmentée de 87 km² par la dérivation de l'Arc supérieur sur laquelle la centrale de Val d'Isère, utilisant les eaux des affluents Calabourdane et Charvet, exploite une chute de 200 m. Sur le versant droit de la vallée du lac, on trouve 648 m plus haut, dans une vallée de même nom, le lac naturel de La Sassière (59) alimenté par un bassin de 10,7 km² qui, grâce à une surélévation de 22 m et une excavation de 12 m, a été aménagé en un bassin d'accumulation de 9,7 millions de m³. Constitué par une digue en enrochements légèrement arquée et étanchée par un revêtement de béton, le barrage repose en partie sur la roche, en partie sur la moraine. Ce lac alpin de haute altitude (photo fig. 51) est accessible par une route de 9 km nouvellement aménagée. D'une puissance totale de 477 MW, les cinq centrales installées sur l'Isère supérieure jusqu'à Malgovert, produisent 990 GWh.

Dans le Massif de Beaufortin, sur la rive droite du cours moyen de l'Isère, on trouve au fond de la vallée du Dorinet, le lac naturel de la Girotte (61) exploité depuis le début de ce siècle et aménagé en trois étapes. Au sud de celui-ci, on a créé depuis 1955 l'aménagement de Roselend-La Bathie comportant un vaste réseau d'adductions (23 captages). Trois bassins rapprochés recueillent les eaux de 272 km² et retiennent 210 millions de m³. Le bassin d'accumulation principal de Roselend (62) retient 183 millions de m³ à 1557 m d'altitude. Au confluent des torrents de Roselend et de Treicol (Doron de Beaufort), on trouve dans un massif de Lias tendre une vaste dépression travaillée par l'érosion dont le bassin versant de 45 km² est barré par un verrou de roche cristalline. Sur celui-ci repose un imposant barrage d'un type composite inhabituel: un barrage-voûte implanté dans la gorge est prolongé des deux côtés par des barrages à contreforts dont celui de droite coiffe la longue crête en pente douce qui rejoint le Col de Méraillet. La photo fig. 52 et la photo en couleur fig. 53 en donnent une vue d'ensemble. Le lac d'une longueur de 4,5 km a une superficie de 3,2 km². Le collecteur d'amenée principal, long de 30 km, débute au torrent du Mercuel; à sa jonction avec les adductions du lac de retenue de Tignes, il draine les apports d'un bassin versant de 142 km² et aboutit à la centrale des Saulces (18 MW, 100 m de chute). Le lac de la Gittaz (63) comportant un bassin versant de 20,2 km² est situé dans la vallée voisine côté nord; il est mis en retenue par un barrage implanté dans un étranglement en plein schiste cristallin. Son niveau de retenue avait

Fig. 51

Lac de la Sassière (2460 m)
Blick vom Abschlussdamm gegen die Aiguille de la Gr. Sassière

Lac de la Sassière (2460 m)
et Aiguille de la Gr. Sassière

(Photo Ehrmann/EDF)

Gebirge erodierte geräumige Mulde, deren 45 km² grosses natürliches Einzugsgebiet ein kristalliner Riegel abschliesst. Dieser trägt ein eindrucksvolles, konstruktiv aussergewöhnliches Sperrbauwerk: im Schluchtteil ein mächtiges Gewölbe, an das beiderseits Pfeilermauern anschliessen, deren rechte den langen sanft ansteigenden Grat zum Col de Méraillet aufhöht. Fig. 52 und die Farbbeilage Fig. 53 vermitteln ein Gesamtbild. Der 4,5 km lange See hat 3,2 km² Spiegelfläche. Der Hauptzubringerstollen von 30 km Länge beginnt am Torrent du Mercuel, anschliessend an die Beileitungen zum Stausee Tignes, und erfasst 142 km² Einzugsgebiet. An seinem Ende liegt die 100 m-Stufe Les Saulces (18 MW). Das Becken La Gittaz (63) im nördlichen Nachbartal mit 20,2 km² Einzugsgebiet und enger Sperrstelle in kristallinem Schiefer war ursprünglich mit 33 m höherem Stau geplant. Mit Rücksicht auf den klüftigen Fels, der eine schwere Bogengewichtsmauer erforderte, hat man sich mit einem kleineren Ausbau begnügt. Im Zuge des südwestlich verlaufenden Druckstollens ist im Torrent de Poncellamont der Stausee St. Guérin (64) eingefügt. Hier mündet die südliche Zuleitung von der Ormente (29 km²). Eine Bergstrasse über den Col du Pré (1703 m) verbindet ihn mit dem Roselend-See. Das repräsentative Kavernenkraftwerk La Bathie in der Tarentaise nutzt 1208 m Fallhöhe und ist mit 500 MW und rund 1 Mrd. kWh Dargebot eines der grössten Spitzenwerke Frankreichs.

Das grosse Gebiet des Arc, des obersten Hauptzubringers der Isère, besass bis 1954 nur zwei Speicherseen mit 44 Mio m³, jedoch im Haupttal, der Maurienne, seit alters dem Sitz zahlreicher Werke der Elektrometallurgie und -chemie, eine Kette von Laufwerken mit zusammen 600 m Fallhöhe, sowie zahlreiche Hochdruckstufen in den Seitentälern. Eine grossräumige Speichermöglichkeit fehlt diesem Tal; ein älterer Plan eines Stausees im oberen Arc bei Bessans war belastet mit Gründungsschwierigkeiten und der Ueberstauung von Siedlungen. Eine grosszügige Lösung hat im letzten Jahrzehnt der Grossausbau des Montcenis-Beckens durch französisch-italienische Zusammenarbeit gebracht. Jenseits des Montcenis-Passes gelegen und zur Dora Riparia entwässernd, gehörte es früher zu Italien, und der natürliche Lago di Moncenisio (106) war seit 1920 durch Aufstau zu einem 31 Mio m³-Speicher ausgebaut und in drei Stufen über rund 1400 m Fallhöhe genutzt. Die Staatsgrenze umzog früher die Wasserscheiden des Seegebietes an drei Seiten. Der Friedensvertrag von 1946 hat die Grenze vom Kamm nach Osten in die kürzeste Verbindung gelegt, wodurch See und Oberstufe an Frankreich kamen. Italien behielt jedoch die Wasserrechte sowie Dargebot und Betriebsführung des Kraft- und Pumpwerks Gran Scala. Nunmehr wird der See durch einen mächtigen Erd- und Felsdamm von 1400 m Kronenlänge und 14,4 Mio m³ Schüttmasse unterhalb der alten kleinen Sperren um 53 m höher gestaut und ein Gesamtnutzraum von 320,7 Mio m³ erreicht, der durch sehr ausgedehnte Beileitungen aus dem Arc- und Cenischia-Gebiet gefüllt wird. Nach dem Massstab der Zuflüsse aus dem Po- und dem Rhonegebiet ist der italienische Anteil 51,1 Mio m³, der französische 269,6 Mio m³, und nach dem gleichen Schlüssel erfolgt die Abarbeitung nach beiden Gebieten in je einem neuen Grosskraftwerk. Der Lageplan Nr. 4 gibt eine Uebersicht des Gesamtwerkes. Das vom Arc angeschlossene Einzugsgebiet beträgt 267,5 km², das weniger abflussreiche der Cenischia 51,4 km² natürlich und 47,4 km² Beileitungen, z. T. mit Pumphilfe. Im Arc-Gebiet haben allein die Hauptstollen 39 km Länge. Bemerkenswert sind die Vorkehrungen, sowohl von der bestehenden Kleinspeicher-Stufe Aussois Ueberschusswasser durch eine neue Dükerleitung zuzuführen, wie auch aus der erwähnten Ueberleitung vom oberen Arc nach Tignes in abflussarmen Jahren Wasser abzuzweigen, um derart eine optimale Betriebswasserwirtschaft zu erreichen. Das neue Kraftwerk Villarodin erhält 364 MW und liefert i. M. 600 GWh hochwertige Spitzenenergie, das entsprechende italienische Kavernenkraftwerk Venalzio mit 1356 m Fallhöhe desgleichen 240 MW und 227 GWh. Der vergrösserte Montcenis-See (Fig. 54) ist 5 km lang und seine Seefläche mit 6,7 km² die grösste aller alpinen Speicherseen in dieser Höhenlage. Die verlegte Passstrasse begleitet ihn; das alte Hospiz wurde durch einen Neubau ersetzt.

Fig. 52 Stausee Roselend (1557 m) mit der Talsperre aussergewöhnlicher Bauart; im Hintergrund das dominierende Mont Blanc-Massiv (4810 m)

Fig. 52 Le bassin d'accumulation de Roselend (1557 m) avec son barrage d'une construction non habituelle; au fond le massif du Mont Blanc (4810 m) (Photo aérienne A. Perceval/Paris)

Ein erheblicher Nutzen des Montcenisspeichers ist der Ausgleich der Abflüsse im mittleren und unteren Arc. Von den alten Stufen werden acht durch vier neue, wesentlich höher ausgelegte mit 750 m Bruttofallhöhe ersetzt. Als Ausgleichbecken für Villarodin und das Bissorte-Kraftwerk La Praz (90 MW) ist im Arc der 1,2 Mio m³-Stausee Pont des Chèvres (68) angelegt worden. Die Stufe Aussois hat oberhalb ihres bestehenden Speichers Plan d'Aval (66) in einer 130 m höher gelegenen Gletscherwanne den Stausee Plan d'Amont (65) erhalten. Fig. 55 zeigt diese interessante Gruppe am Rande des 1963 neugeschaffenen 570 km² grossen französischen Vanoise-Nationalparks.

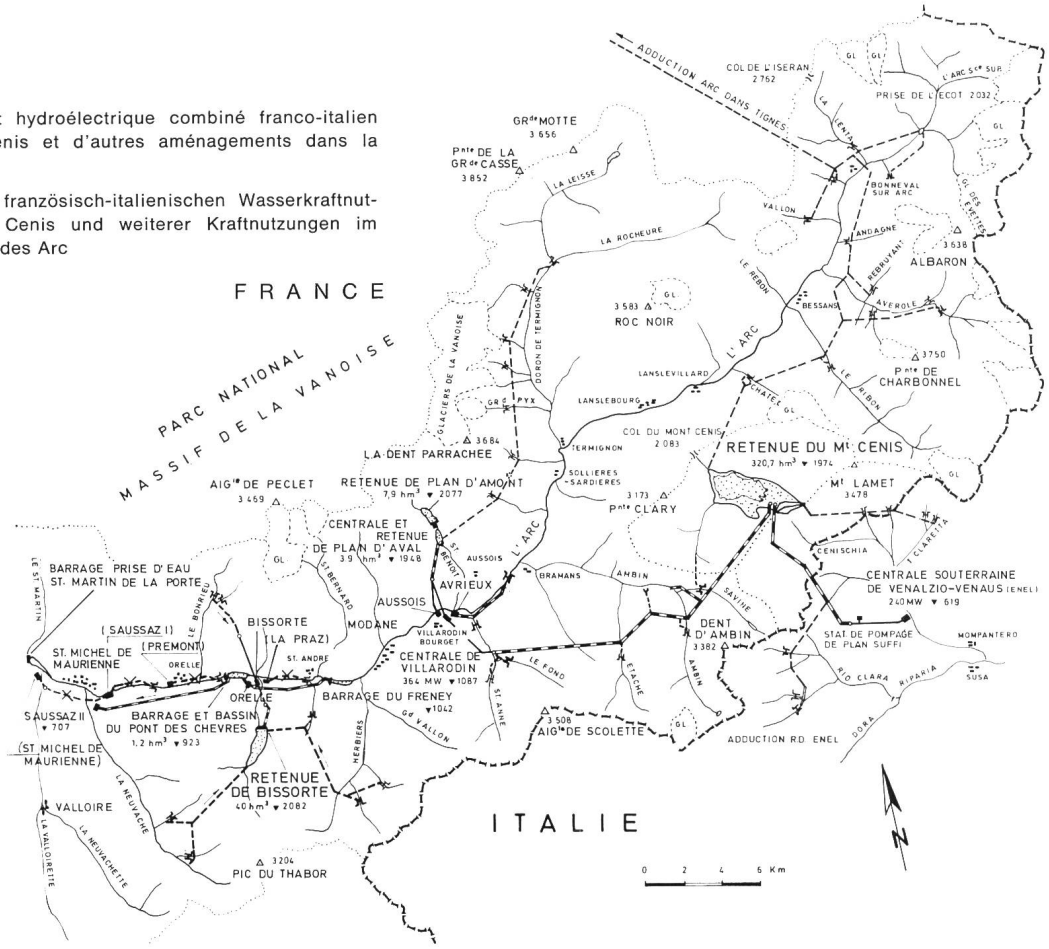
été fixé dans le projet initial à une cote supérieure de 33 m à celle finalement choisie, mais grâce à la consistance de la roche fortement fissurée exigeant un barrage poids-voûte massif on s'est finalement contenté d'un aménagement plus modeste. Sur le parcours sud-ouest de la galerie en charge, on a intercalé le lac de retenue de St-Guérin (64) situé sur le Torrent de Poncellamont. C'est là que débouche l'adduction sud de l'Ormente (29 km²). Une route de montagne passant par le Col du Pré (1703 m) le relie au lac de Roselend. Exploitant 1208 m de chute, l'usine souterraine de La Bathie, dans la Tarentaise, fournit une puissance de 500 MW et une productibilité de 1 milliard de kWh et compte parmi les plus puissantes usines de lac françaises.

La vaste région de l'Arc, principal affluent de l'Isère supérieure, ne possédait jusqu'en 1954 que deux bassins d'accumulation totalisant 44 millions de m³ de volume utile. Dans la vallée principale de la Maurienne, qui depuis longtemps abritait de nombreuses usines d'électrométallurgie et d'électrochimie, on trouvait toutefois une chaîne de centrales au fil de l'eau exploitant au total 600 m de chute ainsi que des centrales de haute-chute dans les vallées latérales. Cette vallée encaissée n'offre pas de site favorable à l'implantation d'un lac de retenue; un projet relativement ancien d'aménagement d'un bassin d'accumulation près de Bessans, sur l'Arc supérieur, a achoppé pour des questions de fondation du barrage et de submersion d'agglomérations. Au cours de la dernière décennie, une solution grandiose à ce problème a été apportée par l'aménagement du bassin d'accumulation du Mont-Cenis, œuvre de la collaboration franco-italienne. Situé au-delà du Col du Mont-Cenis et se déversant dans la Dora Riparia, il appartenait autrefois à l'Italie; dès 1920 le lac naturel de Moncenisio (106) avait été aménagé par surélévation du niveau en un bassin d'accumulation de 31 millions de m³ et ses eaux étaient exploitées sous 1400 m de chute en trois paliers. La frontière franco-italienne suivait autrefois la ligne de partage des eaux sur trois côtés du bassin versant. Le traité de paix de 1946 a déplacé la frontière de la crête vers l'Est en raccourcissant son tracé, ce qui eu pour effet de faire passer le lac et le palier supérieur des usines en territoire français. Cependant l'Italie conserva ses droits d'eaux ainsi que l'exploitation et la production de l'usine de pompage de Gran Scala. Aujourd'hui le lac est mis en retenue par un imposant barrage en terre et en enrochements, d'une longueur de crête de 1400 m et constitué de 14,4 millions de m³ de remblais. Implanté en aval de l'ancien barrage, il relève le niveau des eaux de 53 m et permet le stockage d'un volume utile de 320,7 millions de m³, dont le remplissage est assuré par un vaste réseau de galeries d'amenée provenant des bassins de l'Arc et de la Cenise. Les quote-parts respectives de chaque pays sont proportionnelles aux apports des bassins du Pô et du Rhône, soit 51,1 millions de m³ pour la part italienne et 269,6 millions de m³ pour la part française. Cette même clé s'applique à l'exploitation du volume d'eau dans chacune des nouvelles usines de grande puissance. Le plan 4 montre une vue d'ensemble général de cet aménagement. Les apports proviennent d'une part du bassin versant de l'Arc (267,5 km²) et d'autre part, de celui de la Cenischia (51,4 km²) complété par 47,4 km² d'adductions secondaires, dont certaines sont refoulées par pompage. Dans le bassin de l'Arc, les collecteurs principaux ont à eux seuls 39 km de longueur. Les dispositions prévues pour garantir une exploitation optimale des eaux sont remarquables; c'est ainsi que, par une nouvelle conduite forcée, on récupère par siphonage les déversés de l'aménagement existant d'Aussois, et que par la dérivation de l'Arc supérieur vers Tignes on peut soutirer de l'eau durant les années de faible hydraulicité. La nouvelle

Plan No. 4

Situation de l'aménagement hydroélectrique combiné franco-italien de la retenue du Mont Cenis et d'autres aménagements dans la région de l'Arc

Lageplan der kombinierten französisch-italienischen Wasserkraftnutzung des Speichers Mont Cenis und weiterer Kraftnutzungen im französischen Einzugsgebiet des Arc



Der alte Bissorte-Stausee (67) ist noch durch Beileitungen von der Neuvache bereichert worden; seine 1150 m-Stufe erbringt nunmehr 255 GWh.

Isère-abwärts im Grésivaudan finden sich aus dem alten Bestand die Karseengruppe der Sept Laux (69—72) im obersten Bréda-Tal und der kleine Lac du Crozet (73) in der Belledonne-Kette. Neue Grossanlagen hat das bei Grenoble mündende Drac-Tal erhalten. Der Drac entwässert die Massive des Pelvoux, Champsaur und Dévoluy. In seinem Mittel- und Unterlauf durchfliesst er auf 45 km Länge tiefe Schluchten in einem grossenteils epigenetischen Tal in Kalken und Mergelkalken der Liasformation. Streckenweise sind die steilen Schluchtwände 350—450 m hoch. Dem seit 1935 bestehenden grossen Stausee Le Sautet (74) mit seiner eindrucksvollen Schlucht-Sperre und den Kraftwerken Sautet und Cordéac folgt vor der Mündung des Bonne-Tales der Stausee St. Pierre (75). Von 29 Mio m³ Gesamtstauraum sind 11 Mio m³ nutzbar. Den 6 km langen See staut in einer Talenge eine nur 130 m breite Bogenmauer mit grossen, durch Schützen verschlossenen Ueberläufen für ein Katastrophenhochwasser von 1800 m³/s. Die Bonne ist aus einer Fassung bei Pont Haut durch den verlängerten Stollen eines nunmehr aufgegebenen älteren Kraftwerks beigeleitet. Das neue Kraftwerk Cognet mit 2,3 km Druckstollen erreicht 90 m Fallhöhe (100 MW, 231 GWh).

Die anschliessende wilde Schluchtenstrecke nimmt auf 17 km Länge der grösste der Drac-Stauseen ein, die Anlage Monteynard (76) mit 276 Mio m³ Gesamtstauraum, davon 185 Mio m³ bei 40 m Spiegelschwankung nutzbar. Das Einzugsgebiet ist hier 2050 km² gross mit 1840 Mio m³ Jahresabfluss. An der Sperrstelle sind die hohen Steilwände von zahlreichen etwa hangparallelen Störungen durchzogen. Man hat sie mit klangvollen mythologischen und geschichtlichen Frauennamen benannt — Bérénice, Béatrix, Aglaé, Joséphine u. a. — und in der Tat haben sie Geologen und Ingenieuren nicht wenig Sorgen bereitet! Nach umfangreichen Erkundungsarbeiten, u. a. sechs Stollen, ist als Sperrbauwerk eine Bogengewichtsmauer ausgeführt worden, welche die Talflanken stützt, gegen Blockstürze kaum empfindlich ist, und es ermöglichte, die sehr grosse Hochwasserentlastung (HQ_{1000} = 2500 m³/s) als Skisprungüberläufe anzuordnen und das Spitzenkraftwerk (300 m³/s in vier Maschinen, 320 MW, 466 GWh) im Mauerinnern unterzubringen. Umfangreiche Dichtungs- und Vergütungsarbeiten durch Einpressungen im Fels waren nötig; die Störung «Julie la Rousse», die bis 1 m dick von rotem, nicht injizierbarem Lehm erfüllt war, ist durch einen Betonrost in fünf Schächten und vier Horizontalstollen verdübelt worden. Fig. 56 zeigt dieses landschaftlich und technisch eindrucksvolle Werk.

Als Ausgleichbecken folgt im untersten Teil der Drac-Schlucht der Stausee Notre Dame de Commiers (77). Bei noch 5,2 km Länge weist er 34 Mio m³ Gesamtinhalt und 17,9 Mio m³ Nutzraum auf. Sein Sperrbauwerk ist wieder ein Beispiel von Staudämmen auf mächtigen Alluvialschichten, hier bei bis 55 m überdeckter felsiger Talsohle (Fig. 57). Der 41 m hohe Damm mit schrägem Kern wird ergänzt durch eine 7200 m² grosse Einpressschürze in zwei bis fünf Reihen. Am rechten Hanganschluss ist die Hochwasserentlastung in Skisprungform für max. 3000 m³/s angeordnet. Der Stausee speist die aufeinanderfolgenden Kraftstufen St. Georges de Commiers und Champ II vor der Romanchemündung (82 bzw. 88 m³/s, mit zus. 75 MW und 328 GWh). Die Schluchtstrecke des Drac begleitet rechtsufrig oberhalb der Steilwände die Corniche du Drac mit vielen landschaftlich reizvollen Ausblicken.

Im Romanche-Gebiet ist der ältere Bestand von fünf Speicherseen mit 60 Mio m³ unverändert geblieben. In Fig. 58 wird der grösste, Le Chambon (79), erneut vorgestellt. An seinem rechten Ufer verläuft die Strasse zum Col du Lautaret und Col du Galibier (2556 m, Uebergang zur Maurienne) mit ihrem berühmten Panorama der stark vergletscherten Meije (3983 m).

Nahe Briançon fliesst von links die Cerveyrette der jungen Durance zu. In ihr finden wir den kleinen Stausee Pont Baldy (84) mit einer 50 m hohen Bogenmauer als Wochenspeicher einer 120 m-Stufe. Im Mittellauf der Durance, zwischen Embrun — mit der schönsten alten Kirche des Dauphiné — und der Einmündung der Ubaye erstreckt sich der neue Lac de Serre Ponçon (85) 780 m ü. M. auf

Fig. 54

Der grosse Stausee Mont Cenis (1974 m), der z. T. in Frankreich, z. T. in Italien genutzt wird

La grande retenue du Mont Cenis (1974 m), exploitée partiellement en France et en Italie

(Photo Gloagnes/EDF)

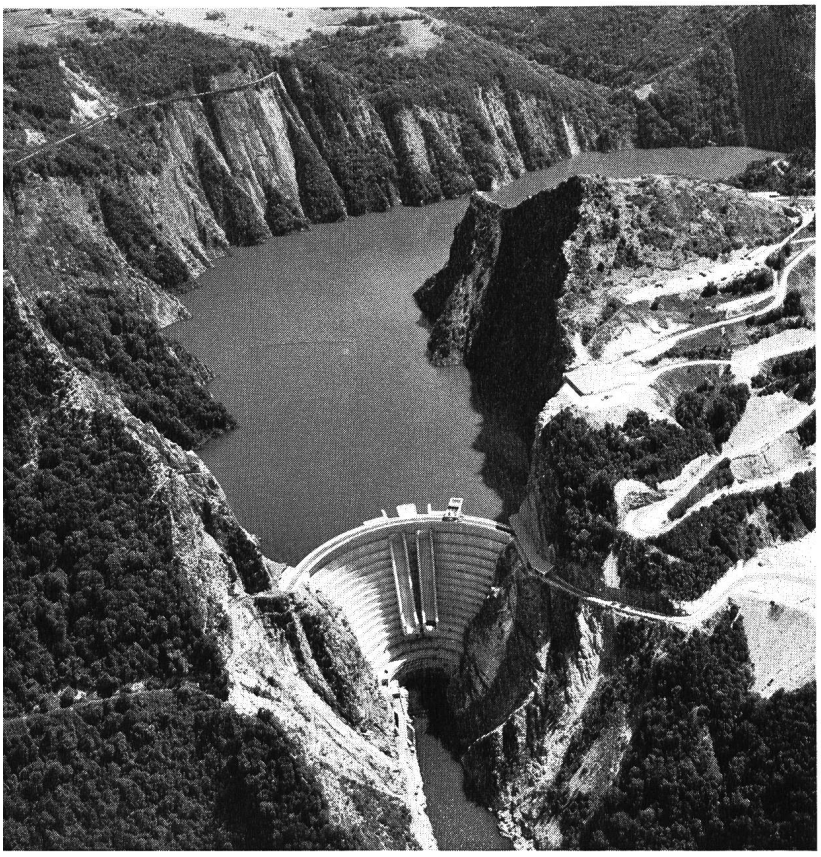
Fig. 55 Blick talauswärts auf die Stauseen Plan d'Amont (2077 m) und Plan d'Aval am Rande des Vanoise Nationalparks

Fig. 55 Vue vers les deux retenues en cascades Plan d'Amont (2077 m) et Plan d'Aval (1948 m), en bordure du Parc National de la Vanoise

(Photo Ehrmann EDF)

Fig. 56 Stausee Monteynard (490 m) in der engen Drac-Schlucht

Fig. 56 Le bassin d'accumulation de Monteynard (490 m) dans la gorge étroite du Drac (Photo Brigaud/EDF)



centrale de Villarodin est dotée d'une puissance de 364 MW et produit annuellement environ 600 GWh d'énergie de pointe; la centrale souterraine italienne fournit de son côté 240 MW et 227 GWh sous une hauteur de chute de 1356 m. Le nouveau lac du Mont-Cenis (photo fig. 54) a une longueur de 5 km et une superficie de 6,7 km², la plus vaste de tous les bassins d'accumulation alpins à cette altitude. Il est dominé par la nouvelle route du col du Mont-Cenis; l'ancien hospice submergé a été remplacé par une construction neuve.

L'aménagement du Mont-Cenis a eu pour conséquence heureuse la régularisation des débits de l'Arc moyen et de l'Arc inférieur. Les aménagements anciens, en huit paliers, sont remplacés aujourd'hui par quatre paliers seulement exploitant une hauteur de chute brute de 750 m. Comme bassin de compensation pour les centrales de Villarodin et de La Praz sur la Bissorte (90 MW), on a aménagé sur l'Arc le lac du Pont des Chèvres (68) d'un volume de 1,2 millions de m³. L'usine d'Aussois a été dotée, en amont de son bassin d'accumulation existant, le Plan d'Aval (66), du lac de retenue du Plan d'Amont (65) situé 130 m plus haut dans une cuvette glaciaire. La photo fig. 55 représente cet intéressant ensemble situé en bordure du Parc national de la Vanoise créé en 1963 et couvrant une superficie de 570 km². L'ancien lac de retenue de Bissorte (67) a été équipé d'adductions supplémentaires provenant de la Neuvache, ce qui a permis de porter la production de son usine (1150 m de chute) à 255 GWh.

En descendant l'Isère, nous trouvons dans le Grésivaudan, le groupe des anciens lacs d'origine glaciaire, ceux des Sept Laux (69—72) dans la vallée supérieure du Bréda, et le petit lac du Crozet (73) dans la chaîne de Belledonne. La vallée du Drac dont le confluent se situe près de Grenoble, a été dotée de réalisations importantes. Cette rivière collecte les eaux des massifs du Pelvoux, du Champsaur et du Dévoluy, et parcourt sur une longueur de 45 km des gorges profondes, taillées dans une vallée épigénétique constituée en grande partie de calcaire et de calcaire marneux de formation liassique. Par endroits, les falaises ont une hauteur allant de 350 à 450 m. Le grand lac du Sautet (74) réalisé en 1935 comporte un impressionnant barrage en travers d'une gorge profonde et alimente les centrales du Sautet et de Cordéac; il est suivi à l'amont du confluent de la Bonne, du Lac de St-Pierre (75) d'un volume total de 29 millions de m³, dont 11 millions de m³ de volume utile. Ce lac, long de 6 km, est mis en retenue par un barrage-voûte de 130 m de large implanté dans un étranglement de la vallée, et muni de déversoirs équipés de vannes et calculés pour un débit de crue de 1800 m³/s. Grâce à un captage situé près de Pont-Haut, le débit de la Bonne est dérivé dans le lac par le prolongement de la galerie d'une ancienne usine désaffectée. La nouvelle centrale de St-Pierre-Cognet (100 MW, 231 GWh), alimentée par une galerie en charge de 2,3 km, exploite une hauteur de chute de 90 m.

Immédiatement en aval se situe l'aménagement de Monteynard (76), le plus important du Drac, dont la retenue s'étire sur 17 km de gorges sauvages. Son volume total atteint 246 millions de m³, dont 185 millions de m³ occupent la tranche utile de 40 m. Le bassin versant a une superficie de 2050 km² et délivre un écoulement annuel de 1840 millions de m³. Sur le site de barrage, les falaises sont truffées de nombreuses failles de direction à peu près parallèle aux versants qu'on a baptisées de noms féminins évocateurs tirés de la mythologie ou de l'histoire — entre autres: Bérénice, Béatrice, Aglaé, Joséphine — et, à dire vrai, elles ont causé pas mal de soucis aux géologues et

20 km Länge mit 28 km² Fläche und 1270 Mio m³ Gesamtstauraum als grösster Speichersee der Alpen (Fig. 59). Er hat die Verlegung von zwei kleinen Ortschaften, Savines und Ubaye, sowie Eisenbahn und Strassen erfordert. Sein Einzugsgebiet ist 3600 km² gross mit einem mittleren Zufluss von 88 m³/s. Schon seit dem Katastrophenhochwasser von 1856 hat man hier eine Talsperre studiert, doch erst ein Jahrhundert später waren die technischen Mittel für die wirtschaftliche Bewältigung dieser grossen Aufgabe gereift. An der Sperrstelle, einem gewundenen Defilé in schwarzem Mergel, liegt der Fels in einer Erosionsrinne bis 130 m unter dem Flussbett. Das Sperrbauwerk ist ein 125 m hoher Erddamm mit 14,0 Mio m³ Schüttmasse, zu dem alle Schüttstoffe in günstiger Zusammensetzung in der Nähe vorhanden waren. Für die Untergrunddichtung ist erstmalig in den Alpen die schon mehrfach erwähnte Injektionstechnik in Alluvionalboden in grossem Masse angewendet worden (vergl. Sylvenstein, Durlassboden, Mattmark, Notre Dame de Commiers). Die Einpressschürze umfasst auf 35 m Breite 12 Reihen Bohrlöcher. Die grossen Entlastungs- und Entnahmeanlagen sind alle als Stollen im linken Hang angeordnet. Die Grundablässe leisten 1200 m³/s, der Ueberlauf 2000 m³/s. Das grosse Kavernenkraftwerk ist als Spitzenwerk für 300 m³/s und 320 MW ausgelegt und liefert 700 GWh. Unterhalb des Dammes liegt als Ausgleichbecken der 2 km lange Stausee Espinasses (86).

Die Durance-Talsperre ist eine Mehrzweckanlage grossen Stils: neben der Wasserkraftnutzung dient sie dem Hochwasserschutz und der Landbewässerung in der Provence. Für die Sicherung des Speisewassers der zahlreichen Kanäle, die von der unteren Durance ausgehen, sind 200 Mio m³ ausgewiesen. Der starke Ausgleich der Wasserführung war die Voraussetzung für den grosszügigen Ausbau der Durance durch grosse Kanalkraftwerke bis zum Mittelmeer über 657 m Fallhöhe. Unter Einbeziehung älterer Werke ist dieser Ausbau im letzten Jahrzehnt nahezu vollendet worden. Er umfasst sieben Hauptstufen oberhalb der Verdonmündung, unterhalb dieser (Wehr Cadarache 256 m ü. M.) weitere fünf mit 220 bis 270 m³/s Ausbaudurchfluss und 5,2 Mrd. kWh Gesamtdargebot. Die letzten beiden, in denen das Durancewasser über 30 km und 117 m Höhenunterschied zum Etang de Berre abgeleitet wird, folgen einem Lauf des Flusses aus geologischer Vorzeit. Das grösste Werk der Kette (116 m Fallhöhe, 756 GWh) liegt oberhalb des malerischen, von einer Zitadelle gekrönten alten Städtchens Sisteron an einer Engstelle der Durance, dem Tor zwischen Dauphiné und Provence. Unterhalb der Kanalbrücke, die vor der Asse-Mündung den von Oraison kommenden Werkkanal auf das rechte Duranceufer überführt, mündet von rechts die Largue. Nahe Forqualquier liegt in deren gleichnamigem Nebenflüsschen der kleine Stausee La Laye (87). Mit 2,4 Mio m³ dient er Bewässerungsaufgaben.

Der Verdon, der grösste Nebenfluss der unteren Durance, besitzt in seinem Oberlauf die ältesten, gleich nach dem Zweiten Weltkrieg ausgebauten Speicherseen dieses Gebiets. Der grosse Stausee Castillon (88) und der unterhalb als Ausgleichbecken anschliessende kleinere Chaudanne (89), in gefaltete Juraschichten eingebettet, sind geologisch und technisch bemerkenswerte Anlagen. Das Luftbild Fig. 60 zeigt sie in ihrer Landschaft. Neue Werke entstanden am unteren Verdon. Die grosse Talweitung von Ste. Croix und Les Salles, zwischen dem berühmten Grand Canyon des Verdon, der hohen Schule der Wildwasserfahrer, und dessen unterer Schluchtstrecke nimmt der noch im Bau stehende Stausee Ste-Croix (90) ein, auf 13 km Länge mit 21,8 km² Oberfläche, 477 m ü.M., als an Fläche

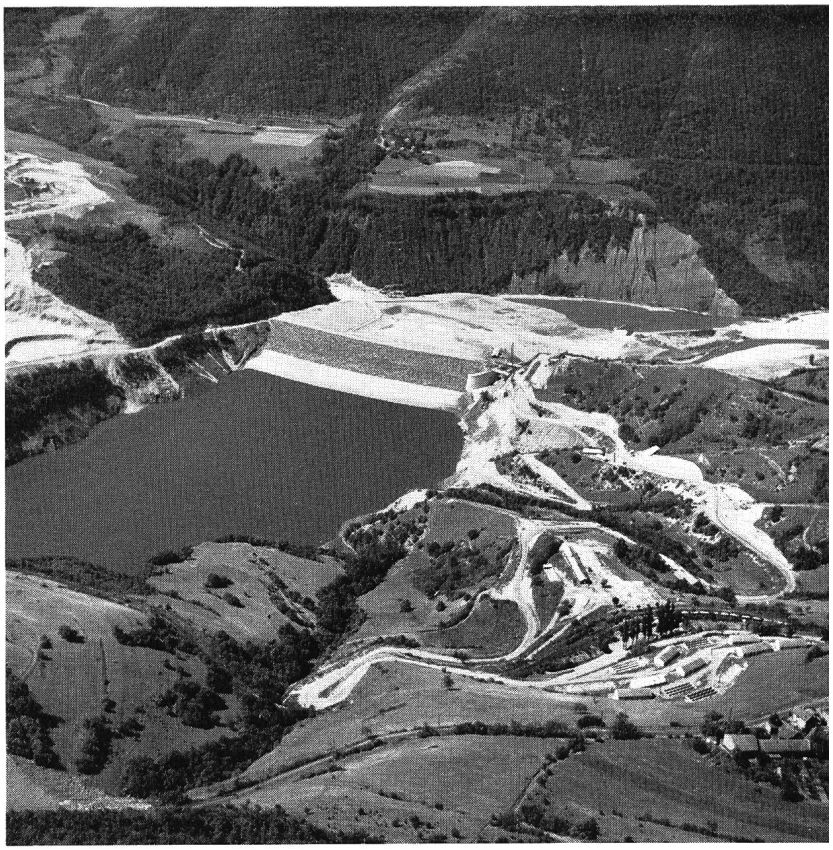


Fig. 57 Stausee Notre Dame de Commiers (363 m) in der unteren Drac-Schlucht

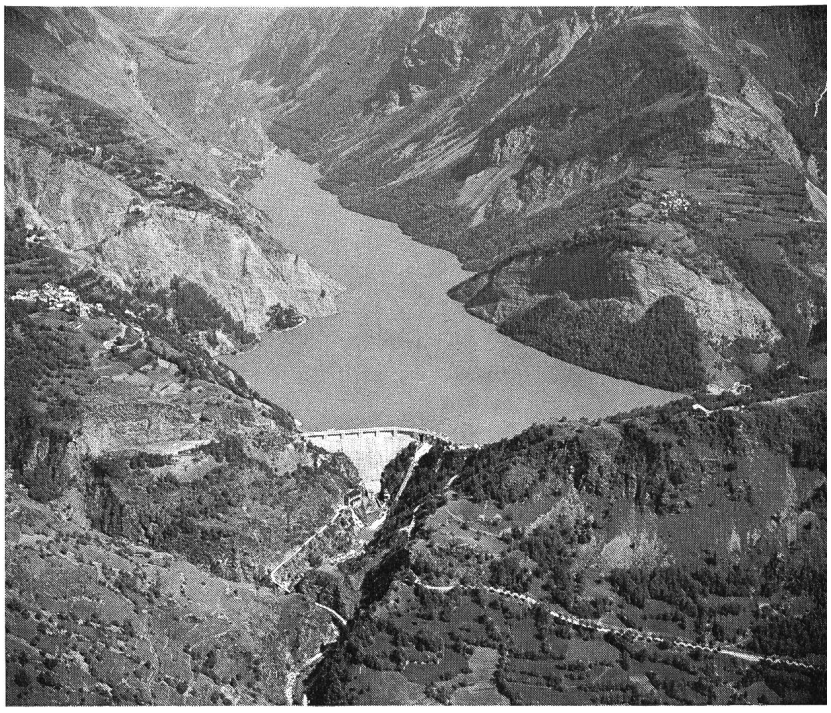
Fig. 57 Le bassin d'accumulation de Notre Dame de Commiers (363 m) dans la partie inférieure de la gorge du Drac

(Photo Brigaud/EDF)

Fig. 58 Stausee Le Chambon (1040 m) im Romanche-Gebiet/Dauphiné

Fig. 58 Le bassin d'accumulation du Chambon (1040 m) dans la région de la Romanche/Dauphiné

(Photo aérienne A. Perceval/Paris)



aux ingénieurs! Après de nombreuses reconnaissances géologiques, ayant nécessité le forage de six galeries d'exploration, l'ouvrage de retenue choisi fut un barrage poids-voûte qui étaie les flancs de la vallée et qui est peu sensible aux chutes de rochers. Cet ouvrage est pourvu d'un évacuateur de crue en saut de ski, calculé pour une crue millénaire de 2500 m³/s et abrite dans sa maçonnerie l'usine de pointe (320 MW, 466 GWh) équipée pour un débit de 300 m³/s réparti sur quatre groupes. De volumineux travaux d'étanchéité et de consolidation par injections se révélèrent nécessaires; la faille «Julie la Rousse» gorgée d'une argile rouge d'une épaisseur atteignant jusqu'à 1 m, où toute injection était impossible, fut traitée par un quadrillage de béton constitué de cinq puits verticaux reliés par quatre galeries horizontales. La photo fig. 56 représente cet ouvrage remarquable tant sur le plan technique que sur le plan esthétique.

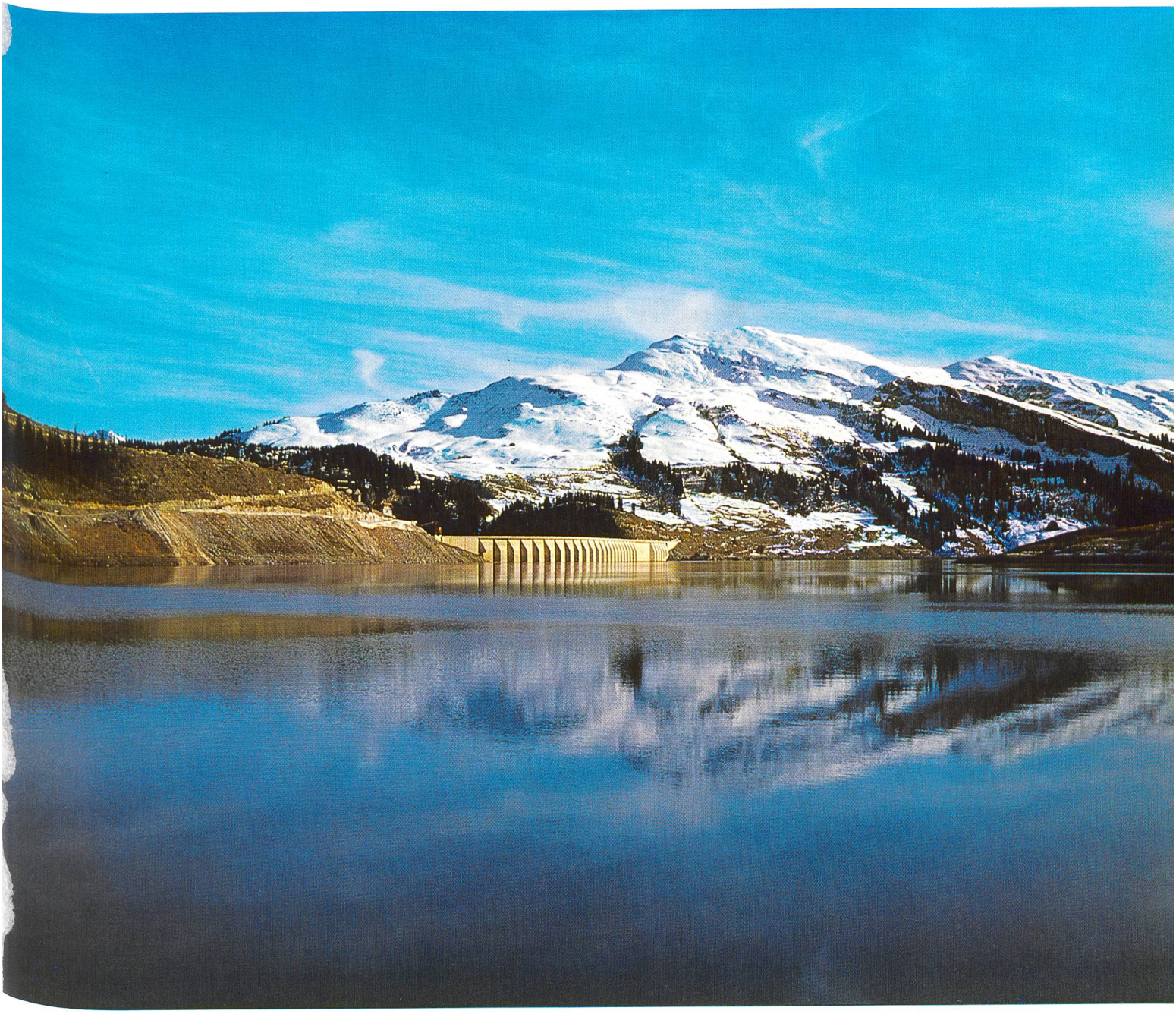
A l'aval de cet aménagement se situe, dans la partie inférieure des gorges du Drac, le bassin de compensation de Notre-Dame de Commiers (77). D'une longueur de 5,2 km et d'une capacité totale de 34 millions de m³, il offre un volume utile de 17,9 millions de m³. Son ouvrage de retenue constitue un nouvel exemple de barrage implanté sur d'épaisses couches d'alluvions qui atteignent ici une épaisseur de 55 m au-dessus du seuil rocheux (fig. 57). D'une hauteur de 41 m, le barrage comporte un noyau d'étanchéité incliné complété par un rideau d'injection de 7200 m² sur deux à cinq rangs. Près du clavage rive droite de la digue, on a aménagé un déversoir de crue en saut de ski capable d'un débit de 3000 m³/s. Ce lac alimente successivement les centrales de St-Georges de Commiers et de Champ-s/Drac II, échelonnées à l'amont du confluent de la Romanche (débit équipé respectivement 82 et 88 m³/s, puissance totale 75 MW, productibilité 328 GWh). Sur leur rive droite, les gorges du Drac sont dominées par une route en corniche qui offre de splendides points de vue.

Dans le bassin de la Romanche, on ne note aucun aménagement nouveau depuis la création de cinq réservoirs plus anciens totalisant 60 millions de m³. La photo fig. 58 représente le plus grand de ceux-ci, le Chambon (79). Sur sa rive droite se trouve la route menant aux Cols du Lautaret et du Galibier (2556 m) donnant accès à la Maurienne, avec son célèbre panorama sur la Meije (3983 m) largement couverte de glaciers.

La Cerveyrette, qui se jette dans la Durance à la hauteur de Briançon, a été équipée d'un petit bassin d'accumulation, le lac du Pont-Baldy (84). Il est mis en retenue par un barrage-voûte de 50 m de haut et sert de réservoir hebdomadaire à une usine de moyenne chute (120 m). Sur le cours moyen de la Durance, entre Embrun — qui possède la plus belle église ancienne du Dauphiné — et le confluent de l'Ubaye, s'étend le nouveau Lac de Serre-Ponçon (85) à 780 m d'altitude, qui par sa longueur de 20 km, sa superficie de 28 km² et son volume total de 1270 millions de m³, est le plus grand des bassins d'accumulation des Alpes (photo fig. 59). Cet aménagement a nécessité la reconstruction de deux localités, Savines et Ubaye, ainsi que le déplacement d'une voie ferrée et de routes. Son bassin versant s'étend sur 3600 km² et délivre un débit moyen de 88 m³/s. Déjà lors des crues catastrophiques de 1856, on avait envisagé la construction d'un barrage, mais il a fallu plus d'un siècle pour que l'on dispose de moyens techniques appropriés à l'envergure d'un tel ouvrage. A l'endroit du barrage, implanté dans un défilé tortueux constitué de marne noire, on trouve la roche à une profondeur de 130 m en-dessous du lit de la rivière. Le barrage lui-même est formé d'une digue en terre haute de 125 m, constituée de 14 millions de m³ de remblais extraits sur place. Pour la réalisation de l'étanchéité des fondations, on a mis en œuvre, pour la première fois dans les Alpes à une telle échelle, la technique d'injections en alluvions déjà citée (cf. Sylvenstein, Durlassboden, Mattmark, Notre-Dame de Commiers). Le rideau d'injections s'étend sur une largeur de 35 m et comprend 12 rangées de forages. Les vidanges de fond et la prise d'eau ont été aménagés en galerie dans le flanc gauche de la vallée. Les évacuateurs de fond peuvent débiter 1200 m³/s, ceux de surface 2000 m³/s. L'usine souterraine, absorbe un débit de 300 m³/s pour une puissance installée de 320 MW et assure une production annuelle de 700 GWh. Au pied du barrage se situe le bassin de compensation de Espinasses (86).

Cet aménagement sur la Durance est un exemple typique d'ouvrage à buts multiples puisqu'en dehors de la production d'énergie, il assure la protection contre les crues ainsi que l'irrigation de la Provence, pour laquelle on a réservé une fraction de volume de 200 millions de m³. La régularisation du débit fort capricieux de la Durance conditionnait la rentabilité des aménagements au fil de l'eau, situés à l'aval et exploitant au total 657 m de chute brute jusqu'à la Méditerranée. Ces aménagements ont été pratiquement terminés au cours de la dernière décennie et comprennent sept usines à l'amont de l'embouchure du Verdon et cinq autres à l'aval de cet affluent, toutes équipées pour un débit compris entre 220 à 270 m³/s. La productibilité totale de la chaîne d'usines atteint 5,2 milliards de kWh. Il est intéressant de noter que les deux dernières usines se situent sur un cours artificiel long de 30 km, offrant une dénivellation de 117 m jusqu'à l'Etang de Berre, et qui était emprunté par la rivière elle-même à une époque antérieure à notre ère géologique. La plus puissante unité (116 m de chute, 756 GWh) se situe à l'amont de la pittoresque ville de Sisteron, dominée par une vieille citadelle, dans un rétrécissement de vallée constituant la porte entre le Dauphiné et la Provence. En aval de l'aqueduc par lequel le canal usinier d'Oraison traverse la Durance se situe en rive droite le confluent de la Largue. Près de Forqualquier se situe le bassin de La Laye (87), aménagé sur l'affluent de la Largue de même nom, et contenant 2,4 millions de m³ pour les seuls besoins de l'irrigation.

Les réservoirs les plus anciens de cette région, aménagés juste après la deuxième guerre mondiale, équipent le cours supérieur du principal affluent de la Basse Durance: le Verdon. Le grand lac de Castillon (88), ainsi que le bassin de compensation plus petit de Chaudanne 89), niché au fond d'un plissement jurassique, présentent un intérêt particulier sur les plans géologique et technique. La photo aérienne fig. 60 donne une vue d'ensemble de ces deux lacs. Le vaste élargissement de vallée de Ste-Croix-Les-Salles, situé entre le grand Canyon du Verdon, haut lieu de l'école des canoëistes, et les Basses Gorges du Verdon a été retenu comme site du réservoir de Ste-Croix (90) actuellement en cours d'aménagement. La longueur de ce lac atteint 13 km et sa superficie 21,8 km² — ce qui correspond au deuxième rang des bassins alpins. La cote de retenue a été fixée à 477 m. Son barrage est implanté entre deux falaises presque verticales à l'entrée des Basses Gorges du Verdon. Grâce à la surélévation de niveau de 80 m, le volume total de ce réservoir atteint 767 millions de m³, mais la tranche utile de 16 m n'en contient que 300 millions, dont 225 millions sont réservés à l'irrigation en période sèche. Entre la cote nominale de retenue (477) et le couronnement du barrage (483), on a réservé un creux de 100 millions de m³ pour l'écrêtement des crues. Le bassin ver-



(Photo Brigand/EDF)

Fig. 53

Stausee Roselend (1557 m) im französischen Alpengebiet
Le lac d'accumulation de Roselend (1557 m) dans la région française des Alpes

zweitgrösster Stausee der Alpen. Sein Sperrbauwerk liegt am Beginn der unteren Verdonschlucht in einer Engstelle mit fast senkrechten Wänden. Vom Gesamtinhalt von 767 Mio m³ sind bei rund 80 m Aufstau auf 16 m Schwankungsraum 300 Mio m³ nutzbar, von denen 225 Mio m³ — in Ausnahmefällen noch zusätzliche 100 Mio m³ — als Vorrat für sommerliche Mangelzeit der Bewässerung gewidmet sind. Darüber liegen noch 100 Mio m³ beherrschbarer Hochwasserschutzraum (Mauerkrone 483 m ü. M.). Das Einzugsgebiet beträgt 1591 km² mit 31,7 m³/s mittlerem Zufluss. Das Kavernenkraftwerk Ste Croix und die folgende neue Stufe Quinson (vergl. Abschnitt 4.4) mit zusammen 121 MW erbringen 260 GWh. Die Talsperre erhält — wie bereits früher der Speicher Tignes — keine Hochwasserüberläufe im Stauziel, sondern nur zwei grosse Grundablässe, die zusammen mit den Turbinen das 1000jährige Hochwasser abzuführen vermögen. Sie sind in dem 34 m hohen schweren Fundamentsockel der weitere 60 m hohen schlanken Bogenmauer untergebracht. Das ganze Sperrbauwerk erfordert nur 50 000 m³ Beton, jedoch 18 000 m² Dichtungsschleier. Seit 1924 wurde diese Talsperre geologisch studiert; ihre Probleme im Karstgebiet sind hauptsächlich solche der Dichtigkeit des Stauraums und der Talflanken der Sperrstelle. Rechtsufrig befindet sich ein kleineres verkarstetes Gebiet von Jura-Kalk, dessen Verbindung mit zahlreichen unterhalb der Sperre gelegenen Grotten zu prüfen war. Linksufrig liegt im Stauraum nahe der Mauer die grosse Karstquelle Fontaine l'Evêque, in der Wasser aus dem Artuby auf 30 km Entfernung (400 km² Einzugsgebiet, Schüttung 5,7 m³/s) zutage treten. Ihr System von Karstschläuchen kommt an der Mündung unter 80 m Stau.

Bereits im Betrieb steht seit 1967 der Verdon-Stausee Gréoux (91). Rund 17 km oberhalb der Mündung staut ihn ein 54 m hoher Erddamm auf 13 km Länge. Der See hat einen Gesamtinhalt von 80 Mio m³, doch wird nur eine Schwankung von 1,5 m kraftwirtschaftlich genutzt; in erster Linie bezweckt der Stau die Hebung des Wasserspiegels zur Speisung des neuen Canal de Provence, der als Ergänzung des Canal du Verdon der Speisung der ausgedehnten Bewässerungssysteme südlich der unteren Durance dient und bei Aix in das seit 1952 bestehende grosse Staubecken Bimont (92) im Infernet mündet. In der Anfangsstrecke des Canal de Provence zweigt die Zuleitung zum Kraftwerk Vinon (28 MW, 130 GWh) an der Verdonmündung ab. Fig. 61 lässt die grosse Bereicherung erkennen, die der stets gefüllte, 3,3 km² grosse See seinem in Mergelkalke der Kreideformation eingeschnittenen gewundenen Tal verleiht.

In den Provençalischen Voralpen finden sich ausser dem erwähnten Speicher Bimont noch 55 km östlich das alte Becken Carcès (94) im Caramy, einem Nebenlauf des Argens, ebenfalls für Bewässerungsaufgaben, und östlich von Toulon, am Südfuss des Massif des Maures, die neue kleine Trinkwassersperre Trapan (93), die ein Erddamm mit wasserseitiger Asphaltbetondecke aufstaut.

Westlich von Cannes ist in den letzten Jahren ein grösserer Mehrzweckspeicher, der Stausee St. Cassien (95) im Biançon, einem Zufluss der Siagne, entstanden. Von 60 Mio m³ Gesamtstauraum sind auf 11,3 m Schwankungshöhe 39 Mio m³ nutzbar, die sich mit 20 Mio m³ auf Bewässerung, 9 Mio m³ auf Wasserkraft und 10 Mio m³ Hochwasserschutzraum verteilen. Das Bewässerungswasser wird zum Teil in das südwestlich angrenzende Gebiet des Reyran abgegeben. Die Siagne speist bereits zwei grosse Bewässerungskanäle: für die Rosenstadt Grasse mit ihren 25 000 ha Blumenfeldern (Parfümindustrie) und Cannes, sowie die Region von Fréjus. Das Einzugsgebiet des Biançon von 131 km² bringt nur 30 Mio m³ Zufluss, dazu werden von der wesentlich abflussreicheren oberen Siagne 170 Mio m³ aus 223 km² übergeleitet. Das sich in zwei Täler verzweigende Staubecken liegt im Karbon, die schluchtartige Sperrstelle, die ein 66 m hoher Erddamm schliesst, im Gneis. Ein flacher Sattel am rechten Ufer war durch einen bis 15 m hohen Nebendamm aufzuhöhen. Das zugehörige kleine Kavernenkraftwerk (20 MW) liefert unter 120 m Fallhöhe 44 GWh.

In den Meeralpen hat das grosse Gebiet des Var, mit den Nebenflüssen Tinée — der die höchste Passstrasse der Alpen über den Col de la Bonette (2802 m) zum oberen Ubaye-Tal folgt — und Vésubie, in der obersten Gordolasque, einem Zufluss der letzteren, den ersten Speichersee erhalten. Der kleine Lac Long (96) 2,6 Mio m³, 2561 m ü. M. ist zugleich das höchste Speicherbecken der französischen Alpen. Der natürliche Karsee unter der Cime du Gélas (3143 m) ist mässig aufgestaut durch kleine Sperren in zwei Talfurchen. Er dient als Fernspeicher der neuen 600 m-Stufe Belvédère (12 MW, 38 GWh). Im oberen Roya-Gebiet sind aus dem alten Bestand die Karseegruppen im Vallon Casterino (97—100) und Vallon Inferno (101) zu erwähnen. Erstere mit ihren vier Seen von zusam-

Fig. 59 Lac de Serre Ponçon (780 m) an der Durance, mit 1270 Mio m³ der grösste Speichersee der Alpen

Fig. 59 Lac de Serre Ponçon (780 m) sur la Durance; avec son volume de 1270 millions de m³ le plus grand bassin d'accumulation des Alpes (Photo Brigaud/EDF)

sant couvre une superficie de 1591 km² et délivre un débit moyen de 31,7 m³/s. Les usines de Ste-Croix et de Quinson, (aménagement prévu à l'aval) auront une puissance totale de 121 MW et une productibilité de 260 GWh. Le barrage ne comporte pas de déversoir de crue au niveau de la retenue, mais deux vidanges de fond, qui permettent, déduction faite du débit des turbines, d'absorber la crue millénaire. Ces ouvrages de vidange sont logés dans le massif de fondation haut de 34 m, au-dessus duquel s'érige la voûte mince, haute de 60 m. Le cube de béton de l'ouvrage n'atteint que 50 000 m³, mais il est complété par un voile d'étanchéité de 18 000 m². Les études géologiques du barrage ont été entreprises dès 1924 et se heurtaient principalement, dans ce massif karstique, à des problèmes d'étanchéité du bassin et des appuis du barrage. En rive droite de la retenue on trouve un massif de calcaire karstique du Jurassique supérieur, dont il importait de rechercher et d'éliminer les liaisons éventuelles avec le réseau de grottes situé en aval. En rive gauche, à faible distance en amont du barrage, débouche la source karstique Fontaine l'Evêque qui, par un réseau de crevasses long de 30 km, draine les eaux de l'Artuby (400 km², 5,7 m³/s). La résurgence étant submergée par la retenue de Ste-Croix, ce réseau est mis en charge de 80 m.

Le bassin de Gréoux (91) sur le Verdon est en service depuis 1967; situé à 17 km à l'amont de l'embouchure, il est mis en retenue sur une longueur de 13 km par une digue en terre haute de 54 m. Le volume total du lac atteint 80 millions de m³, mais le marnage pour les besoins de la production d'énergie n'intéresse qu'une tranche de 1,5 m. La vocation première de cet ouvrage est de relever le niveau du plan d'eau pour permettre l'alimentation du nouveau canal de Provence, qui, avec le concours du canal du Verdon, alimente le vaste réseau d'irrigation de la Basse Durance et se jette près d'Aix dans la retenue de Bimont (92) aménagée en 1952 sur l'Infernet. Le canal d'amenée de l'usine de Vinon (28 MW, 130 GWh), située près du confluent du Verdon, est alimenté par le cours supérieur du Canal de Provence. L'illustration fig. 61 met en évidence l'enrichissement qu'apporte ce bassin à sa vallée tourmentée creusée dans la marne crayeuse.

Outre le bassin de Bimont, on trouve dans les Préalpes provençales, à 55 km plus à l'est, l'ancien bassin de Carcès (94) aménagé sur le Caramy, affluent de l'Argens, pour les besoins de l'irrigation. A l'est de Toulon, au pied du massif des Maures, se situe le petit réservoir d'eau potable de Trapan (93), dont la digue est étanchée avec du béton bitumineux.

Récemment, on a aménagé, à l'ouest de Cannes, le lac de St-Cassien (95), un grand réservoir à buts multiples sur le Biançon, affluent de la Siagne. Il contient 60 millions de m³, dont 39 millions dans la tranche utile de 11,30 mètres, destinés pour 20 millions de m³ à l'irrigation, 9 millions à l'énergie électrique et 10 millions à l'écrêtement des crues. Une fraction de l'eau d'irrigation est dérivée vers le bassin du Reyran, contigu côté sud-ouest. La Siagne, de son côté, alimente déjà deux canaux d'irrigation: l'un pour la ville de Grasse et ses 25 000 ha de fleurs destinées à l'industrie du parfum, ainsi que la ville de Cannes, l'autre pour la région de Fréjus. Le bassin versant propre du Biançon (131 km²) ne fournit que 30 millions de m³, c'est pourquoi on a foré une galerie amenant 170 millions de m³ du bassin, mieux arrosé, de la Siagne supérieure, drainant 223 km². Le bassin de retenue, bifurquant sur deux vallées, se situe dans un massif carbonifère, alors que l'ouvrage de retenue, une digue en terre de 66 m de hauteur, est implantée dans une gorge constituée de gneiss. Sur la rive droite, une légère dépression en ensellement a dû être surélevée par une digue auxiliaire haute de 15 m. La petite usine souterraine alimentée par ce bassin (20 MW, 44 GWh) exploite une chute de 120 m.

Dans les Alpes Maritimes, le premier réservoir d'accumulation équipant la vaste région du Var et de ses affluents Tinée — dont la vallée est reliée à celle de l'Ubaye par le Col le plus élevé des Alpes, celui de la Bonette (2802 m) — et Vésubie, a été aménagé sur le cours supérieur de la Gordolasque, affluent de la Vésubie. Le petit Lac Long (96) d'un volume de 2,6 millions de m³ est à l'altitude 2561 m, le bassin d'accumulation le plus haut des Alpes françaises. Sa cuvette, creusée par l'érosion glaciaire au pied de la Cime du Gélas (3143 m) est légèrement surélevé par deux petits barrages fermant chacun une branche de vallée. Ses eaux sont exploitées dans l'usine de Belvédère, située plus en aval. Dans le bassin supérieur de la Roya nous citerons le groupement de lacs d'érosion glaciaire du vallon Casterino (97 à 100) et du vallon Inferno (101), déjà recensés en 1953; le premier de ces groupements comprend 4 bassins d'un volume total de 6,4 millions de m³ à une altitude comprise entre 2221 et 2435 m ce qui représente l'ensemble de lacs le plus élevé des Alpes françaises (altitude moyenne supérieure de 190 m à celle des Sept Laux).

Avant de quitter le territoire français pour nous consacrer aux lacs suisses et italiens du bassins du Pô, nous voudrions souligner une particularité commune à un grand nombre de lacs de l'ouest des Alpes: le fort pourcentage de «volume mort» dans les retenues en rivière. C'est ainsi que les dix grands bassins sur le Drac, la Durance, le Verdon et le Biançon totalisant un volume utile de 1802 millions de m³, comportent encore un volume mort de 930 millions de m³ en-dessous de leur cote de retenue minimale. Le volume utile n'atteint donc que 66 % du volume total alors que le pourcentage correspondant des réservoirs d'altitude se situe entre 96 et 99 %! On peut voir dans ce chiffre, établi par de tels bassins à faible altitude, le résultat d'un compromis entre les exigences de la production d'énergie — qui demande une hauteur de chute suffisante pour être rentable — et celles de la régularisation des débits — qui demande un creux utile aussi grand que possible. La part croissante du thermique dans la production d'énergie a, par ailleurs, influencé également le choix des caractéristiques de ces ouvrages. Les faibles hauteurs de marnage, alliées aux importantes superficies de plan d'eau, contribuent certainement à l'embellissement des sites et expliquent aussi les fortes valeurs du coefficient donnant la superficie par m³ utile calculé, pour les bassins français (cf. tableau no 16).

Certaines particularités nous paraissent également dignes d'être mentionnées: ce sont les creux préventifs pour l'absorption des crues que l'on trouve dans trois importants réservoirs dépourvus de déversoirs de surface, mais équipés de puissantes vidanges de fond. Tignes et Roselend permettent ainsi de stocker, avec 1,5 m de surélévation de niveau, 4,2 respectivement 4,8 millions de m³ d'apport de crue. Le réservoir de Ste-Croix présente, quant à lui, un creux atteignant 100 millions de m³. Ces valeurs n'ont pas été prises en compte dans nos statistiques mais méritent d'être soulignées, pour comparaison avec les aménagements homologues des Alpes de l'Est.

4.3 BASSINS D'ACCUMULATION AU SUD DE LA CRETE PRINCIPALE

Dans la partie italienne des Alpes maritimes, les vallées du Gesso qui se jette près de Cuneo dans la Stura di Demonte,

Fig. 60 Die Stauseen Castillon (880 m) und Chaudanne (790 m) im oberen Verdon

Fig. 60 Les bassins d'accumulation de Castillon (880 m) et Chaudanne (790 m) sur le Verdon supérieur

(Photo aérienne A. Perceval/Paris)

men 6,4 Mio m³ zwischen 2435 und 2221 m ü.M. ist die höchstgelegene Speicherseen-Gruppe in den französischen Alpen, im Mittel 190 m höher als die Sept Laux.

Ehe wir das französische Staatsgebiet verlassen, um uns den italienischen und schweizerischen Seen im Po-Gebiet zuzuwenden, verdient eine Besonderheit vieler Seen der Westseite einen Hinweis. Es sind die grossen Toträume der Flusstalsperren. Die zehn grossen Stauseen in Drac, Durance, Verdon und Biançon mit 1802 Mio m³ Nutzraum haben zusammen rund 930 Mio m³ Totraum unter dem Absenkziel, nur rund 66 % Nutzraumanteil am Gesamtinhalt, während dieser bei den Hochseen meist 96 bis 99 % beträgt. Er entsteht bei diesen Becken in geringer Meereshöhe aus einem optimalen Kompromiss zwischen den Erfordernissen einer genügenden Mindestfallhöhe der Talsperrenkraftwerke und des Speicherraums für den Abflussausgleich, wobei auch der stärkere kalorische Anteil der französischen Verbundwirtschaft mitwirkt. Die geringeren Spiegelschwankungen und grossen Mindestseeflächen kommen dem Landschaftsbild zugute. Hier liegt auch eine Ursache für die verhältnismässig grossen Einheitswerte Seefläche zu Nutzraum, die sich in der statistischen Auswertung (vergl. Tab. 16) für die französischen Seen ergeben hatten. Eine andere Besonderheit sind die beherrschbaren Hochwasserschutzräume bei drei grossen Stauseen, die keinen Ueberlauf im Stauziel, jedoch besonders leistungsfähige Grundablässe haben. Tignes und Roselend bieten dadurch bei 1,5 m Ueberstau 4,2 und 4,8 Mio m³ Schutzraum, Ste-Croix sogar 100 Mio m³. Diese Werte sind in die Statistik nicht einbezogen, verdienen jedoch Beachtung im Vergleich mit verschiedenen Hochwasserschutzräumen in den Ostalpen.

4.3 SPEICHERSEEN SÜDLICH DES HAUPTKAMMS

Im italienischen Teil der Meeralpen waren die Täler des Gesso, der bei Cuneo in die Stura di Demonte mündet, lange Zeit ungenutzt. 1862/65 haben sie im Gesso di Entracque den Stausee Piastra (103) 956 m ü. M. mit 12,3 Mio m³ erhalten. Unterhalb des Zusammenflusses von Gesso della Rovina und Gesso di Barra sperrt der 1,8 km lange See ein Einzugsgebiet von 88,3 km², das durch Beileitungen vom Gesso di Valetta im Westen (106,7 km²) und den Wildbächen Bousset und Laus (50,5 km²) im Osten auf 245,5 km² mit 276 Mio m³ Zufluss erweitert wurde. Das Sperrbauwerk ist eine 95 m hohe Gewichtstaumauer mit leicht bergwärts geknickten Flügeln. Die Anlage ist als Unterstufe eines Grossausbaues des Gesso-Gebietes geplant. Ausserdem dient sie einer Verbesserung der Landbewässerung im Unterlauf. Das zugehörige Kraftwerk Andonno (65 MW) liefert zunächst 151 GWh unter 268 m Fallhöhe.

In den Cottischen Alpen besitzen die Täler der Varaita, der obersten Dora Riparia und der Stura di Lanzo unver-

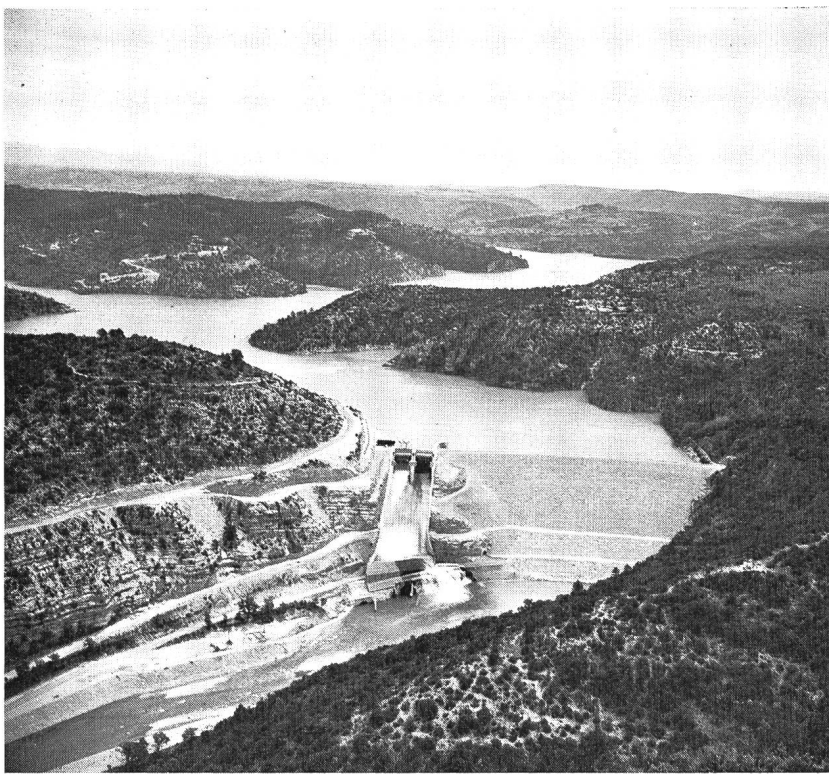


Fig. 61 Stausee Gréoux (359 m) im unteren Verdon

Fig. 61 Bassin d'accumulation de Gréoux (359) sur le Verdon inférieur (Photo aérienne A. Perceval/Paris)

restèrent longtemps inexploitées. De 1962 à 1965, le Gesso di Entracque a été équipé du lac de retenue de Piastra (103) d'un volume de 12,3 millions de m³ à 956 m d'altitude. En aval du confluent du Gesso della Rovina et du Gesso di Barra, le lac de retenue, long de 1,8 km, collecte les eaux du bassin versant propre de 88,3 km², qui, par les adductions du Gesso di Valetta à l'ouest (106,7 km²) et des torrents de Bousset et de Laus (50,5 km²) à l'est, est porté à 245,5 km² délivrant au total 276 millions de m³. L'ouvrage est constitué par un barrage-poids de 95 m de hauteur dont les deux ailes sont légèrement infléchies vers l'amont. Cet aménagement a été conçu comme réservoir inférieur d'un équipement plus vaste du bassin du Gesso. Il contribue en outre à l'irrigation des terres situées en aval. Avec ses 268 m de hauteur de chute, la centrale d'Andonno (65 MW) qui lui est rattachée, fournit actuellement 151 GWh.

Dans les Alpes Cottiennes, les vallées de la Varaita, du cours supérieur de la Dora Riparia et de la Stura di Lanzo sont équipées de quatre bassins d'accumulation représentant 25,4 millions de m³, déjà cités au précédent recensement. Le plus grand, celui de Castello (104) se trouve au sud de l'imposante pyramide du Monte Viso (3841 m), où le Pô prend sa source. Il s'y ajoute les 5,1 millions de m³, représentant la part italienne de l'aménagement du Mont-Cenis (106) ou Moncenisio, déjà cité dans la description du bassin de l'Arc. Le Lago della Rossa (107) à 2716 m d'altitude, dont le remplissage s'effectue en partie par pompage, reste le lac de retenue le plus haut de toutes les Alpes. En amont et en aval de Turin, il faut mentionner sur le cours même du Pô, les biefs de Moncalieri, de S. Mauro et, le plus important, celui de Cimena avec 23 m de hauteur de chute.

Dans la partie Est des Alpes Graies, l'Electricité de Turin a achevé en l'espace de 40 ans, l'équipement de la vallée moyenne de l'Orco, comprenant six bassins d'accumulation totalisant 87,2 millions de m³ et six centrales exploitant une hauteur de chute totale de 1974 m (268 MW, 706 GWh). La crête nord est dominée par le Gran Paradiso (4061 m). Cinq de ces réservoirs ont déjà été recensés en 1953, à savoir les lacs naturels surélevés Lago Agnel (109) et Lago Serrù (110), dont la centrale supérieure de Villa (34 MW) a été récemment agrandie, le bassin principal d'accumulation de Ceresole Reale (111) sur l'Orco, et, latéralement sur l'affluent gauche, le Piantonetto, les bassins d'accumulation de Piantelessio (112) et de Valsoera (113), tous situés dans un massif de gneiss. Par son altitude de 2412 m, ce dernier est le plus élevé du groupe. La chute de 495 m qui sépare les deux bassins a été récemment équipée de l'usine d'accumulation par pompage de Telessio d'une puissance de 34 MW. La photo fig. 62 représente le lac de Piantelessio dans son site grandiose de haute-montagne. Pour compléter ce groupe, on a aménagé, à 1900 m d'altitude, le bassin d'accumulation du Lago Eugio (114), d'un volume de 5,0 millions de m³, collectant l'écoulement d'un bassin de 9,9 km². Il est mis en retenue, sur le torrent du même nom, par un imposant barrage à contreforts (photo fig. 63).

Au coeur des hautes-Alpes, la Dora Baltea draine dans la vallée d'Aoste, les eaux d'un bassin de 3350 km². En 1954, elle ne comptait que cinq bassins d'accumulation relativement petits d'une capacité de 34,4 millions de m³, tous aménagés avant la Seconde guerre mondiale. Depuis lors, elle a été équipée de deux importants lacs de retenue, les plus grands des Alpes occidentales italiennes, dans les vallées latérales de Val Grisenza et de Valpelline. Dans la première, on a achevé en 1957 l'aménagement du bassin d'accumulation de Beauregard (116) situé à 1770 m d'altitude et contenant 70 millions de m³ (Fig. 64). Il collecte les apports d'un bassin versant de 93,6 km² dont une faible partie provient du captage de trois torrents dérivés dans la galerie en charge rive gauche. Le fond de la vallée est dominé par l'Aiguille de la Grande Sassière, 3747 m. Par un chemin carrossable longeant sur la droite le lac long de 4 km, on atteint une petite église, et en passant par le refuge Bezzi du Club Alpin Italien, on accède, par le col du Rocher Blanc (2832 m) à la vallée de l'Isère en aval du lac de retenue de Tignes. Le lourd barrage-voûte, d'une hauteur de 132 m, implanté sur du mica-schiste a posé des problèmes de fondations et de définition de forme, en raison de la qualité hétérogène du rocher. En rive gauche, la déformabilité de la roche partiellement désagrégée et mylonitisée, est dix fois plus forte qu'en rive droite, si bien que l'épaisseur de la voûte en culée rive gauche a été plus fortement dimensionnée, afin de réduire la poussée sur la roche. Il y avait en outre au pied de ce versant, une grande cavité comblée par des moraines, et qu'il a fallu purger à coups de mine, puis remplir de béton. La centrale d'Avise (145 MW, 285 GWh) exploite les eaux de ce bassin sous une chute de 1044 m. Immédiatement après, sur la Dora Baltea, une chaîne de huit usines de moyenne chute s'échelonne sur 370 m de dénivellation jusqu'en aval du Lis. Les plus récentes de celles-ci, les usines souterraines de Sarre et de Quart (50 + 40 MW), se trouvent en tête de cette chaîne.

Près de la cité romaine d'Aoste, se situe le confluent du Buthier, dont la vallée latérale de l'Artanavaz est longée par la route d'accès au col du Grand St-Bernard. Dans la vallée principale, on découvre dans un grandiose fond de vallée dominé par la Dent d'Hérens (4179 m) et les Jumeaux (3872 m) aux cimes resplendissantes, le réservoir le plus récent, celui de Place Moulin (117) retenant 105 millions de m³ à 1968 m d'altitude (fig. 65). Son bassin versant naturel est de 74 km²; des adductions secondaires provenant des deux versants voisins le portent à 137 km² dont 19,7 % de glaciers. Le plus puissant barrage poids-voûte d'Italie, d'un volume de béton de 1 510 000 m³ et de 155 m de hauteur donne naissance à un lac de 3,3 km de long sur la rive droite duquel un chemin carrossable conduit à l'alpage Parayer au pied de la montée vers le Rifugio Aosta. Ce barrage massif ancré dans du schiste cristallin, est pourvu, selon une technique italienne, d'un joint périphérique à la liaison avec le massif de fondation (pulvino). On note également que ce barrage, ayant une largeur de base de 42 m, présente un joint longitudinal en-dessous de la cote 1890. Les vannes de vidange ont une capacité de 300 m³/s à niveau maximal; le déversoir de trop-plein peut évacuer de son côté 470 m³/s. Les ouvrages de décharge et de prise d'eau ont toutes été aménagées dans le versant droit. Ce bassin alimente les usines de Valpelline et de Signayes sur le Buthier (1363 m de hauteur de chute, 162 MW, 500 GWh, dont 370 GWh en hiver), et en aval de Sarre, la chaîne d'usines exploitant 266 m de chute sur la Dora Baltea. Le lac de Place Moulin se trouve si proche du Lac des Dix et du Lac de Mauvoisin situés sur le versant nord de la crête principale, que nous trouvons ici dans un cercle de 25 km de diamètre, les trois lacs de haute altitude les plus importants des deux versants des Alpes occidentales, avec 685 millions de m³ sur 490 km², soit, de loin, la plus forte concentration d'énergie de toutes les Alpes.

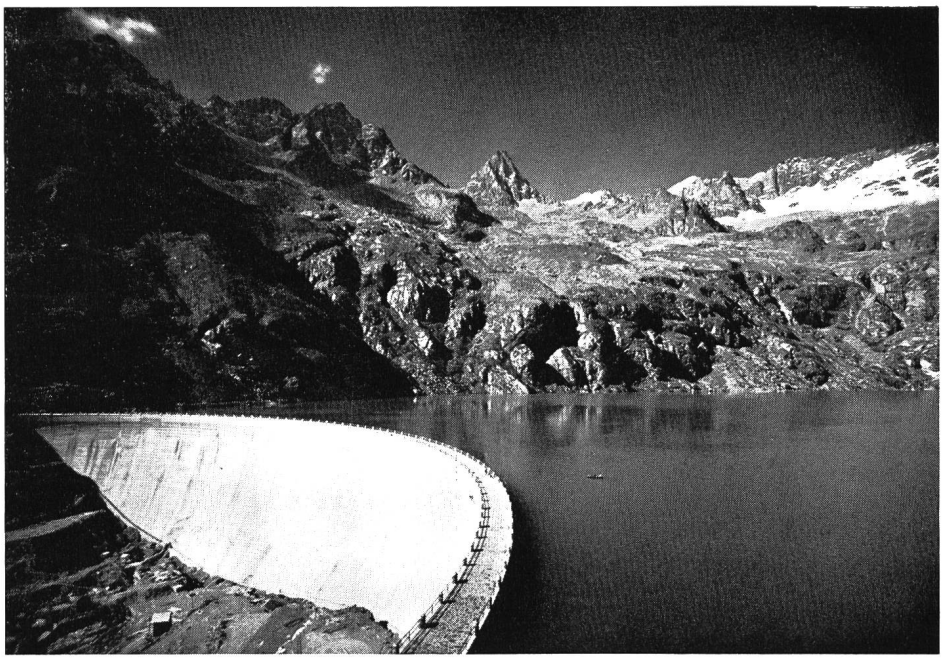
La vallée moyenne de la Valtournanche (Valtornenza) est équipé des réservoirs de haute altitude de Goillet (118) et de Cignana (119). La photo fig. 66 représente le premier, situé à 2526 m d'altitude et offrant un point de vue sur la paroi sud du Cervin. Dans le Val de Gressoney, issu de la Crête du Lis dans le Mont-Rose, on trouve en altitude

Fig. 62

Stausee Pian Telessio (1918 m) in den Grajischen Alpen, mit Torre del Gran S. Pietro (3692 m)

Bassin d'accumulation de Pian Telessio (1918 m) dans les Alpes Grées; au fond Torre del Gran S. Pietro (3692 m)

(Photo ENEL/Compartimento di Torino)



ändert vier Stauseen mit 25,4 Mio m³. Der grösste, Castello (104), liegt südlich der beherrschenden Pyramide des Monte Viso (3841 m), an der der Po entspringt. Hinzu kommt der beim Arc-Gebiet behandelte Grossausbau des Moncenisio-Speichers (106) mit weiteren nunmehr 51,1 Mio m³ italienischem Anteil. Der Lago della Rossa (107), 2716 m ü. M., teils durch Pumpspeicherung zu füllen, ist weiterhin der höchstgelegene Speichersee der ganzen Alpen. Oberhalb und unterhalb von Turin sind im Po selbst die Flussstaustufen Moncalieri, S. Mauro und als grösste Cimena mit 23 m Fallhöhe zu erwähnen.

Im östlichen Teil der Grajischen Alpen haben die Stadtwerke Turin innerhalb 40 Jahren das innere Orco-Tal zu einem System von nunmehr sechs Speichern mit 87,2 Mio m³ und sechs Kraftwerken über 1974 m Fallhöhe ausgebaut (268 MW, 706 GWh). Den Nordkamm krönt der Gran Paradiso (4061 m). Zum alten Bestand gehören die aufgestauten Naturseen Lago Agnel (109) und Lago Serrù (110), deren Oberstufenkraftwerk Villa (34 MW) noch erweitert wurde, der Hauptspeicher Ceresole Reale (111) im Orco sowie in der Seitenstufe des linksufrigen Piantonetto die Speicherseen Piantelessio (112) und Valsoera (113), alle im Gneisgebirge. Letzterer ist mit 2412 m ü. M. der höchstgelegene der Gruppe. Die 495 m-Stufe zwischen beiden wurde jüngst durch das Pumpspeicherwerk Telessio von 34 MW ausgebaut. Fig. 62 zeigt den Piantelessio-See in seiner grossartigen Hochgebirgsumrahmung. Als Ergänzung dieser Gruppe ist der Stausee Lago Eugio (144) 1900 m ü. M., 5,0 Mio m³, 9,9 km² Einzugsgebiet, im von Osten ins Wasserschloss der Stufe Rosone beigeleiteten gleichnamigen Wildbach, mit einer wuchtigen Pfeilermauer hinzugekommen (Fig. 63).

Im Herzen der Hochalpen entwässert die Dora Baltea aus der Valle d'Aosta ein Gebiet von 3350 km². 1954 besass es lediglich fünf kleinere Speicherseen mit 34,4 Mio m³, alle bis zum 2. Weltkrieg errichtet. Seitdem hat es mit zwei bedeutenden Stauseen in den inneren Seitentälern Val Grisenza und Valpelline die grössten der italienischen Westalpen erhalten. Im ersteren ist 1957 der Stausee Beauregard (116) 1770 m ü. M. mit 70 Mio m³ vollendet worden. Er erfasst ein Einzugsgebiet von 93,6 km², zum kleinen Teil mittels drei Bacheinleitungen in den linksufrigen Druckstollen. Den Talschluss krönt die Aiguille de la Grande Sassière 3747 m. Auf einem Fahrweg rechts des 4 km langen Sees (Fig. 64) gelangt man zu einem Kirchlein, und über die CAI-Hütte Bezzi führt ein Uebergang über den Col du Rocher Blanc (2832 m) ins Isère-Tal unterhalb des Stausees Tignes. Die 132 m hohe schwere Bogenstaumauer steht auf Glimmerschiefer und hat wegen stark unterschiedlicher Felsgüte Probleme bei der Formgebung und Gründung gebracht. Links ist die Verformbarkeit des zum Teil gestörten und mylonitisierten Gesteins zehnmal grösser als am rechten Hang, so dass die Gewölbedicke am linken Kämpfer zur Ermässigung der Felspressung wesentlich stärker bemessen wurde als rechts. Zudem war an diesem Hangfuss eine von Moräne erfüllte grosse Höhlung unter bergmännischen Massnahmen auszuräumen und durch Beton zu füllen. Den Speicher nutzt die 1044 m-Stufe Avise (145 MW, 285 GWh). In der Dora-Baltea folgt an diese anschliessend eine Kette von acht grossen Mitteldruckstufen über 370 m bis unterhalb des Lys-Tales. Die jüngsten sind Sarre und Quart am Kopf der Kette, beide mit grossen Kavernenzentralen (50 und 40 MW).

Bei der Römerstadt Aosta mündet der Buthier, durch dessen rechtes Seitental des Artanavaz die Strasse vom Grossen St. Bernhard-Pass herabzieht. Im Haupttal findet sich unter einem grossartigen Talschluss, mit Dent d'Hérens (4179 m) und Les Jumeaux (3872 m) über leuchtenden Firnen, der jüngste Stausee Place Moulin (117) 1968 m ü. M. mit 105 Mio m³ Nutzraum (Fig. 65). Sein natürliches Einzugsgebiet ist 74 km² gross; beiderseitige Beileitungen aus dem äusseren Tal bringen es auf 137 km² mit 19,7 % Gletscheranteil. Die mächtigste Bogengewichtsmauer Italiens mit 155 m Höhe und 1 510 000 m³ Kubatur staut den 3,3 km langen See, an dessen rechtem Ufer ein Fahrweg zur Alm Prarayer am Aufstieg zum Rifugio Aosta führt. Auch diese schwere Mauer, in kristalline Schiefer eingefügt, ist nach der italienischen Technik mit einer Umfangsfuge über einem Fundamentsockel (pulvino) ausgestattet; eine Besonderheit ist bei 42 m grösster Sohlenbreite eine Längsfuge in Mauermitte unterhalb der Kote 1890 m. Die Auslässe gestatten 300 m³/s unter Vollstau abzuführen, der Ueberlauf leistet sogar 470 m³/s. Entlastungen und Entnahme liegen alle im rechten Hang. Der Speicher speist die Stufen Valpelline und Signayes im Buthier (1363 m Fallhöhe, 162 MW, 500 GWh, davon 370 GWh im Winter) und unterhalb Sarre

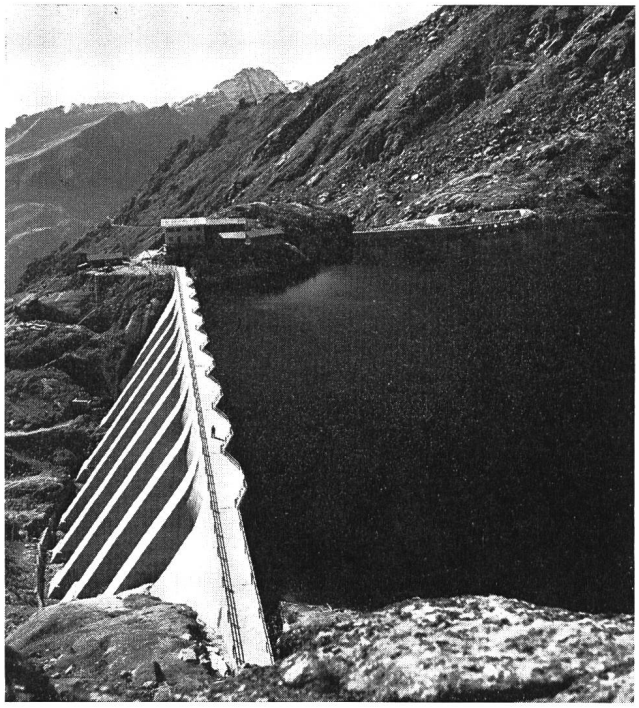


Fig. 63 Stausee Eugio (1900 m) im Orco-Gebiet

Fig. 63 Bassin d'accumulation de l'Eugio (1900 m) dans la région de l'Orco

(Photo Moncalvo/Torino)

le Lago Gabiet (120) et le Lago Vargno (121), plus modeste. Au cours de la dernière décennie, on a aménagé sur le Lis les usines de Sendren et de Zuino exploitant une hauteur de chute de 690 m (33 MW, 148 GWh), et augmenté la puissance de l'aménagement inférieur du Pont St-Martin (500 m de chute). Le lac de Sessera (122), réservoir hebdomadaire d'une centrale de l'industrie textile, a été aménagé en 1960 sur la Sesia, affluent à fort débit se jetant dans le Pô à l'Est du précédent. Son ouvrage de retenue est un barrage à voûte mince.

Nous arrivons ensuite dans la région du Tessin, à forte densité de réservoirs d'accumulation. Entre les Alpes du Valais et celles du Tessin — du Mont-Rose, par le Col du Simplon, jusqu'au Col de Gries —, les vallées latérales droites du Toce remontent jusqu'à la crête principale des Alpes sur une longueur de 94 km. Les sites de cette région fortement découpée, très humide et riche en dénivellations, étaient déjà largement équipés à la fin de la Seconde guerre mondiale. Les seize bassins d'accumulation réalisés jusqu'alors, ont été complétés en 1949-1953 par le réservoir de Sabbione (123), le plus vaste et le plus haut (2460 m) dont la retenue a été portée à 42 millions de m³ par la résorption du glacier de Hohsand submergé par la retenue. Depuis lors, ce groupement est resté tel quel avec une capacité de stockage de 176 millions de m³. Ses lacs se répartissent entre la vallée moyenne de Val Formazza (sept lacs pour 99 millions de m³), les vallées du Devero et de la Cairasca (trois lacs pour 42 millions de m³), et l'ensemble en trois paliers du Val di Antrona, comprenant cinq lacs pour 32 million de m³.[4]) Immédiatement à l'ouest, on retrouve le lac de Mattmark, déjà cité. Neuf de ces lacs sont d'anciens lacs naturels surélevés. On note également plusieurs exemples de barrages construits selon la technique spécifiquement italienne de digues en moellons rangés. Le plus ancien étant le Codelago (130) le plus élevé, celui d'Alpe Cavalli (138). Avec ses 28 centrales hydroélectriques d'une puissance de 590 MW, la région du Toce produit environ 1,7 milliard de kWh.

A l'est du Lac Majeur, à 3 km au sud de la frontière suisse, on exploite depuis 1911 le lac naturel, le Lago Delio (140), surélevé de 8 m, comme réservoir de 4 millions de m³ pour une usine de haute chute. Sa situation à 735 m au-dessus du Lac Majeur pour une distance à vol d'oiseau de 1600 m seulement, dans un massif géologiquement favorable de roche cristalline, présentait des conditions particulièrement avantageuses pour l'aménagement d'une puissante usine de pompage utilisant le Lac Majeur comme bassin inférieur. Alors qu'en 1964 encore, on pensait réaliser le projet d'une usine de 920 MW en conservant tel quel le Lago Delio, l'ENEL a décidé en 1965 de construire une centrale de 1040 MW de puissance installée (970 MW de puissance moyenne) avec un bassin supérieur de 10 millions de m³ permettant de stocker 17 GWh. Il permet à la centrale souterraine de Roncovalgrande (huit groupes de 130/90 MW) un fonctionnement continu en turbine de 17 heures environ, ce qui présente un intérêt particulier pour l'exploitation en cycle hebdomadaire, la réserve de secours en cas d'incident sur le réseau, et offre d'une manière générale une grande souplesse de fonctionnement. Compte tenu de quelques adductions existantes, le bassin versant de ce réservoir n'atteint que 4,8 km² débitant annuellement 5 millions de m³. Si l'on compare ce chiffre avec le volume du cycle annuel de 570 millions de m³, on constate qu'il s'agit d'une usine d'accumulation de pompage pur, actuellement la plus puissante des Alpes, et, après celle de Vianden[5], la seconde d'Europe. Un abaissement de 22 m au-dessous du niveau naturel du Lago Delio a permis de gagner un volume de 3,3 millions de m³, la surélévation d'une même quantité représente, de son côté, un gain de volume de 6,7 millions de m³. Les anciens petits barrages des extrémités nord et sud ont été remplacés par des barrages-poids implantés sur du gneiss de bonne qualité.

Les bassins d'accumulation de Sambuco (146) et de Palagnedra (147) constituent la première étape de l'équipement de la Valle Maggia dans le Tessin suisse, réalisée de 1950 à 1956. Le bassin de Palagnedra, situé sur la Melezza, rivière à fort débit et aux crues fréquentes, a perdu de sa capacité de retenue par suite d'importants engravements, au point que des dragages s'avérèrent nécessaires. La deuxième étape, réalisée au cours des années 1963/70 intéressa la vallée supérieure de la Bavona, dans laquelle on créa un intéressant groupement de cinq bassins en haute-altitude. La pièce maîtresse en est le couple, interconnecté par une galerie de 7,1 km, des bassins du Lago Naret (145) dans la partie supérieure du Val Sambuco, et de Cavagnoli (142), contenant ensemble 59 millions de m³ à l'altitude commune de 2310 m. La galerie de jonction reçoit en outre l'eau du lac naturel surélevé de Sfundau situé à 2390 m d'altitude et contenant 4 millions de m³. Sa cuvette située au pied du Col de Cristallina et barrée par un haut verrou rocheux, écoulait jusqu'alors son débit par un réseau de crevasses que l'on colmata par un voile d'étanchéité injecté sous pression à partir d'une galerie d'injection forée sous le verrou rocheux. Pour assurer son remplissage on y dévie le débit de la Valleggia à partir de la vallée de Bedretto supérieure. Bien que cette tranche d'altitude couvre trois vallées, son bassin versant n'atteint que 14,1 km², avec un écoulement annuel de 31 millions de

[4]) Pour des détails complémentaires, se reporter à la publication de 1953 «Bassins d'Accumulation des Alpes», pages 55 à 57 avec trois photos.

[5]) Après achèvement de l'équipement du dernier groupe, portant la puissance de cette installation à 1100/745 MW, avec un bassin supérieur contenant 4,4 GWh seulement.

über 266 m die Dora Baltea-Kette. Das Place Moulin-Bekken liegt so eng benachbart zum Lac des Dix und Lac du Mauvoisin auf der Nordseite des Hauptkamms, dass wir hier in einem Kreis von 25 km Durchmesser die drei bedeutendsten Hochspeicher der Westalpen-Nord- und -Südseite finden, mit 685 Mio m³ auf 490 km² Fläche die weitaus stärkste Energiekonzentration der ganzen Alpen.

Das innere Valtornenza (Valtournanche) birgt die hochalpin gelegenen Stauseen Goillet (118) und Cignana (119). Den ersteren, 2526 m ü. M., zeigt Fig. 66 mit dem Blick auf die Südwand des Matterhorns. In dem vom Liskamm am Monte Rosa ausgehenden Val di Gressoney finden sich der hochgelegene Lago Gabiet (120) und der kleinere Lago Vargno (121). Im letzten Jahrzehnt sind hier noch die Lis-Stufen Sendren und Zuino über 690 m Fallhöhe (33 MW, 148 GWh) ausgebaut und die 500-m-Unterstufe Pont St. Martin erweitert worden. Der östlich folgende Po-Zufluss, die abflussreiche Sesia, hat 1960 den kleinen Stausee Sessera (122) mit einer schlanken Bogenmauer erhalten. Er dient als Wochenspeicher eines Kraftwerks der Textilindustrie.

Wir kommen nun in das mit zahlreichen Speicherseen besetzte Tessin-Gebiet. Zwischen Walliser und Tessiner Alpen, vom Monte Rosa über den Simplon- bis zum Gries-Pass, grenzen die rechten Seitentäler des Toce auf 94 km Länge an den Alpen-Hauptkamm. Das reich gegliederte, abfluss- und gefällreiche Gebiet war bereits bis zum Ende des 2. Weltkriegs kraftwirtschaftlich sehr weitgehend ausgebaut. Die bis dahin entstandenen 16 Speicherseen wurden 1949/53 durch den grössten und höchstgelegenen Stausee Sabbione (123) 2460 m ü. M. ergänzt, dessen Nutzraum durch Schwund des angestauten Hohsandgletschers auf 42 Mio m³ gewachsen ist. Seitdem ist die Gruppe mit nunmehr 176 Mio m³ Gesamtnutzraum unverändert geblieben. Ihre Seen verteilen sich auf das innere Val Formazza (sieben Seen mit 99 Mio m³), Devero- und Cairasca-Tal (drei Seen mit 42 Mio m³) und die vielgestaltige, dreistufige Gruppe (fünf Seen mit 32 Mio m³) im Val di Antrona.[4]) Westlich benachbart liegt der Mattmarksee. In neun Fällen sind Naturseen aufgestaut worden. Hier finden sich auch viele Beispiele der in Italien entwickelten Bauweise der Steinsatzdämme, der älteste am Codelago (130), der höchste auf der Alpe Cavalli (138). Aus 28 Kraftwerken mit 590 MW erbringt das Toce-Gebiet rd. 1,7 Mrd. kWh.

Auf der Ostseite des Lago Maggiore, 3 km südlich der Schweizer Grenze wurde der um 8 m aufgestaute natürliche Lago Delio (140) schon seit 1911 als 4 Mio m³-Speichersee einer kleinen Hochdruckstufe genutzt. Seine Lage 735 m über dem Langensee bei nur 1600 m Horizontalentfernung und guten geologischen Verhältnissen im kristallinen Gebirge boten besonders günstige Voraussetzungen für ein grosses Pumpspeicherwerk mit dem Langensee als Unterbecken. Nachdem noch 1964 eine Anlage unter Beibehaltung des bestehenden Lago Delio mit 920 MW geplant war, hat sich die ENEL 1965 entschlossen, für einen Ausbau von 1040 MW installierter und 970 MW mittlerer Werkleistung ein Oberbecken von 10 Mio m³ Nutzraum mit 17 GWh Energieinhalt zu schaffen. Es verleiht dem Werk Roncovalgrande (Kaverne mit acht Maschinensätzen je 130/90 MW) eine Benutzungsdauer bei einmaliger Abarbeitung von rund 17 Stunden und damit einen besonderen Wert durch Wochenspeicherung, erhöhte Störungsreserve und grosse Anpassungsfähigkeit an alle Möglichkeiten. Das Einzugsgebiet des Sees, bereits durch kleine bestehende Beileitungen erweitert, hat nur 4,8 km² mit 5 Mio m³ Zufluss. Bei etwa 570 Mio m³ gepumptem Jahresbetriebswasser handelt es sich praktisch um ein reines Pumpspeicherwerk, z. Zt. das grösste des Alpenraums und nächst Vianden[5]) das zweitgrösste Europas. Vom Nutzraum des erhöhten Lago Delio werden

[4]) nähere Beschreibung s. Speicherseen 1953, S. 55/57 mit drei Abbildungen

[5]) nach der im Bau stehenden Leistungserhöhung 1100/745 MW bei 4,4 GWh Arbeitsvermögen des Oberbeckens

Fig. 64 Stausee Beauregard (1770 m) im Tal der Dora di Valgrisenza

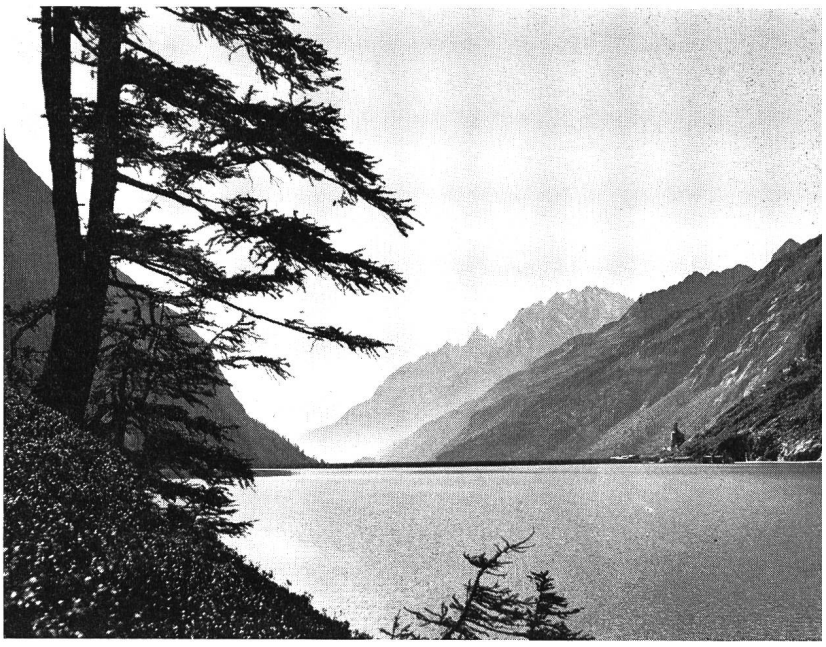
Fig. 64 Bassin d'accumulation de Beauregard (1770 m) dans le Valgrisanche

(Photo ENEL/Compartimento di Torino)

Fig. 65 Stausee Place Moulin (1968 m) im Buthier, Valpelline

Fig. 65 Bassin d'accumulation de Place Moulin (1968 m) sur le Buthier, Valpelline

(Photo ENEL/Compartimento di Torino)



m³ si bien qu'une bonne moitié de volume de retenue doit être refoulée par pompage à partir de la cote 1940 m. C'est à cette altitude que se situent deux bassins communicants relativement petits, Robiei (143) et Zöt (144), d'une capacité totale de 7,7 millions de m³, faisant fonction de bassins de compensation jumelés. En aval du bassin de Robiei, comme nous l'avons indiqué plus haut, on collecte le débit de la vallée supérieure de l'Aegina (Bassin d'accumulation de Gries) ainsi que celui de captages dans la vallée supérieure de Bedretto, ce qui permet de recueillir les apports d'un nouveau bassin de 55,7 km². Au Lac Naret, nettement le plus étendu, deux ouvrages relativement longs — le plus grand étant un barrage-voûte de 80 m de haut — barrant les deux branches d'une vallée, séparées par un éperon rocheux, c'est là un nouvel exemple de structure glaciaire de ce type. Par contre, le bassin de Cavagnoli possède un défilé encaissé creusé dans un paragneiss de bonne qualité, dans lequel est ancré un barrage en voûte mince de 105 m de haut (photo fig. 67). Dans le fond de la vallée, il existait jusqu'à une profondeur atteignant 50 m, un chenal creusé par l'érosion mais comblé par des alluvions. Pour ne pas retarder la progression des travaux, on le consolida par une voûte, puis, pendant le bétonnage de la base du barrage, on l'excava pour l'obturer par un tampon bétonné. Le bassin de l'Alpe de Robiei est mis en retenue par un barrage-poids de 356 m de long, fondé sur du schiste lustré et comportant des évidements aux joints entre plots; c'est là und procédé de construction suisse dont les applications les plus marquantes sont les barrages de Räthe-richsboden, d'Oberaar et d'Albigna.

L'aménagement supérieur de Robiei, exploitant une hauteur de chute de 370 m, n'a pas seulement été conçu comme simple usine de lac à réservoir saisonnier, mais aussi comme usine de transfert d'énergie par pompage, puisque cette centrale est équipée de cinq turbines-pompes totalisant 170 MW, réalisation que l'on rencontre pour la première fois en Suisse, à cette échelle. La dimension des deux réservoirs, associée à la faible longueur de la conduite forcée (1,5 km) présentaient en effet des conditions idéales pour un tel aménagement. Avec une hauteur de chute de 890 m, l'usine principale de Bavona a une puissance installée de 140 MW. Le canal de fuite de cette usine débouche dans un collecteur alimentant, à Peccia, les usines de Cavergno et de Verbano appartenant à la première tranche d'équipement de la Maggia. La productibilité totale est augmentée de 330 GWh, d'énergie d'hiver, alors que la production d'été est revalorisée par le jeu du transfert d'heures creuses à heures pleines. La hauteur de chute, comptée entre le niveau de retenue du réservoir supérieur et celui du Lac Majeur, atteint 2317 m; c'est là la plus haute dénivellation de Suisse entièrement équipée d'une chaîne d'usines de lac où chaque m³ d'eau produit 4,5 kWh. Les modes d'accès aux chantiers de haute-altitude méritent d'être signalés: le point de départ Bavona, situé à 1050 m d'altitude

Fig. 66 Lago Goillet (2526 m) oberhalb Cervinia/Valtornenza, dominiert von der Matterhorn-Südwand (4478 m)

Fig. 66 Bassin d'accumulation de Goillet (2526 m) au-dessus de Cervinia/Valtournanche, dominé par la paroi sud du Cervin (4478 m)

(Photo ENEL/Compartimento di Torino)

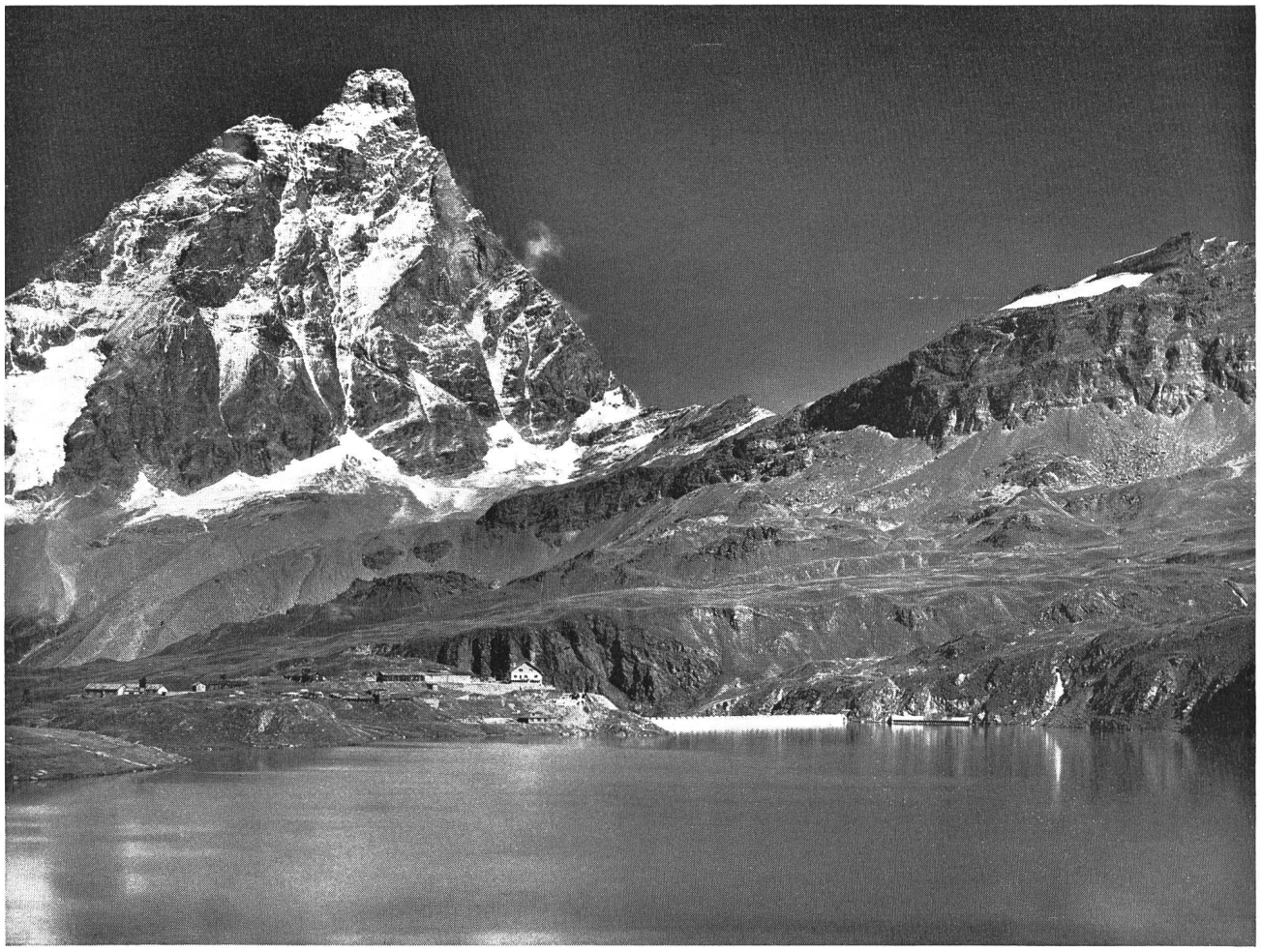


Fig. 67

Stausee Cavagnoli (2310 m) im obersten Val Bavona; im Hintergrund der Cavagnoligletscher mit Marchhorn (2962 m)

La retenue de Cavagnoli (2310 m) dans la vallée supérieure de Bavona; au fond le glacier des Cavagnoli et le P. del Termine (2962 m)

(Photo Officine Idroelettriche della Maggia SA/Locarno)

3,3 Mio m³ durch Absenkung um 22 m unter den natürlichen Spiegel und 6,7 Mio m³ durch ebensoviel Aufstau gewonnen. Die alten kleineren Sperrmauern am Nord- und Südende sind durch neue Gewichtsmauern auf gutem Gneis ersetzt.

Im schweizerischen Tessin-Gebiet hat die Valle Maggia im ersten Ausbau 1950/56 die Speicherseen Sambuco (146) und Palagnedra (147) erhalten. Letzterer in der sehr abfluss- und hochwasserreichen Melezza hat durch starke Geschiebeablagerungen an Nutzraum eingebüsst, so dass bereits Baggerungen notwendig wurden. Der Weiterausbau in den Jahren 1963/70 erstreckte sich auf das obere Bavonatal, in dem eine interessante Gruppe von fünf Hochseen entstanden ist. Das Kernstück sind die durch einen 7,1 km langen Stollen kommunizierend verbundenen Becken Lago Naret (145) in dem oberen Val Sambuco und Cavagnoli (142) mit dem gemeinsamen Stauziel 2310 m ü. M. und 59 Mio m³ Nutzraum. In den Verbindungsstollen eingeleitet ist der Anstich des aufgestauten natürlichen Lago Sfundau, 2390 m ü. M., mit weiteren 4 Mio m³. Seine Wanne unter dem Cristallina-Pass hinter einem hohen Felsriegel entwässerte bisher bei 2364 m mittlerem Seespiegel durch Klüfte, die von einem Injektionsstollen unter dem Felsriegel durch einen Einpressschleier abgedichtet wurden. Zur Füllung ist aus dem obersten Bedrettotal die Valleggia übergeleitet. Dieser obere Horizont, obwohl er drei Tälern angehört, umfasst nur 14,1 km² mit 31 Mio m³ Jahreszufluss, so dass gut die Hälfte des Speicherwassers aus einem unteren Horizont auf 1940 m ü. M. hochgepumpt werden muss. Hier sind zwei kleinere Becken kommunizierend verbunden, Robiei (143) und Zöt (144) mit zusammen 7,7 Mio m³ Nutzraum als Zwillings-Ausgleichbekken. Nach Robiei wird, wie früher erwähnt, der Abfluss aus dem oberen Aeginental (Speicher Gries) sowie aus Fassungen im oberen Bedrettotal übergeleitet, so dass hier weitere 55,7 km² zusammengefasst sind. Am Lago Naret, dem an Fläche weitaus grössten See der Gruppe, schliessen zwei verhältnismässig lange Mauern, die grössere als 80 m hohe Bogensperre, zwei Talfurchen beiderseits eines kräftigen Felsbuckels ab, ein neuerliches Beispiel solcher glazialen Formen (vgl. Campo Moro). Das Becken Cavagnoli besitzt dagegen eine schluchtartige Sperrstelle in gutem Paragneis, in die sich eine 105 m hohe schlanke Bogenmauer fügt (Fig. 67). In der Talsohle fand sich eine noch 50 m tiefer reichende mit Alluvionen gefüllte Erosionsrinne. Um den Baufortschritt nicht aufzuhalten, ist sie überwölbt und dann zugleich mit dem Mauerbau ausgeräumt und durch einen Fundamentpfropfen geschlossen worden. Das Becken in der breiten Alp Robiei wird auf Bündnerschiefer durch eine 356 m lange Gewichtsmauer mit Hohlräumen an den Blockfugen aufgestaut, eine Schweizer Bauweise, deren bedeutendste Vertreter die Mauern Rätherichsboden, Oberaar und Albigna sind.

Das Oberstufenkraftwerk Robiei mit 370 m Fallhöhe ist über die Bedürfnisse der Speicherfüllung hinaus als grosses Pumspeicherwerk mit 170 MW in fünf Pumpenturbinensätzen ausgebaut, in diesem Mass erstmals in der Schweiz. Dafür boten die grossen Becken im Ober- und Unterwasser und nur 1,5 km Länge der Triebwasserleitung günstige Voraussetzungen. Die Hauptstufe Bavona mit 890 m Fallhöhe hat 140 MW Leistung. Aus ihr geht das Wasser durch den Beileitungsstollen nach Peccia in die Stufen Cavergno und Verbano des 1. Maggiaausbaues über. Das Gesamtdargebot wird um 330 GWh ausschliesslich hochwertiger Winterenergie vermehrt bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität des Sommerstromes. Die Fallhöhe zwischen dem Stauziel der Oberstufe und dem Langensee beträgt 2312 m, es handelt sich hier um das höchste, durch eine vollständige Kette von Speicherwerken mit hoher Leistung ausgebaute Nutzungsgefälle der Schweiz, in dem 1 m³ Wasser 4,5 kWh liefert. Bemerkenswert ist die Erschliessung der hochgelegenen Baustellen. Der Ausgangsort Bavona 1050 m ü. M. ist wintersicher auch durch einen Zufahrtstunnel ab Peccia erreichbar, von dort wurde die Höhenregion bis Robiei nur durch zwei permanente Seilbahnen von 1,5 und 20 t Tragkraft bedient, der oberste Bereich Cavagnoli sowohl durch eine Strasse wie eine 10 t-Seilbahn ab Robiei.

Schliesslich ist auf die ausserordentliche Konzentration von Speicherseen in diesem Gebiet der Alpen hinzuweisen. Ein Kreis von 25 km Durchmesser umfasst 14 Seen, neben den sechs der oberen Maggia noch sieben im oberen Toce-

est accessible en toutes saisons à partir de Peccia par un tunnel routier; à partir de là on accède aux chantiers supérieurs de Robiei uniquement par deux téléfériques définitifs d'une force respective de 1,5 t et 20 t; le site le plus élevé, celui de Cavagnoli, est accessible par la route, mais également par un téléférique de 10 t à partir de Robiei.

Il convient également de mentionner l'extraordinaire concentration des bassins d'accumulation dans cette région des Alpes. Un cercle de 25 km de diamètre engloberait quatorze lacs; en plus des six de la Maggia supérieure, les sept de la région du Toce supérieur, plus le bassin de Gries, soit en tout 250 millions de m³. On trouve ensuite, par ordre d'importance pour une même surface, le groupement de la région de l'Adamello dans les Alpes orientales avec onze lacs et 188 millions de m³, puis le groupe de l'Aar comprenant Göscheneralp et Lucendro avec neuf lacs et 308 millions de m³.

Situé entre la vallée de la Maggia et la vallée inférieure du Tessin (Riviera), le Val Verzasca est caractérisé par un fort débit et un régime très irrégulier. Non loin de son confluent, il a été équipé d'un important bassin d'accumulation et de régularisation, celui de Vogorno (148) à 470 m d'altitude, d'une capacité de retenue utile de 86 millions de m³ pour un bassin versant de 233 km² (photo fig. 68). Sa capacité totale est de 105 millions de m³, et, par abaissement exceptionnel de 20 m en-dessous de sa cote de retenue minimale, il est possible d'y prélever 8 millions de m³ supplémentaires. Une gorge profonde située dans un massif de gneiss de bonne qualité, parfaitement symétrique sur le plan morphologique et géologique, représentait le site idéal pour un barrage en voûte mince, à arcs élliptiques d'épaisseur constante, qui, avec 220 m de hauteur, est le second de Suisse, après celui de Mauvoisin. A proximité de chaque culée de rive, on a aménagé un déversoir de crue en six pertuis, dont les coursiers sont profilés en sauts de ski échelonnés, capables d'évacuer un débit de crue de 1000 m³/s dans l'axe de la vallée. Un peu en aval du barrage on trouve la centrale souterraine (105 MW, 234 GWh), au niveau du Lac Majeur, dans lequel elle débite par une galerie de restitution longue de 1,8 km seulement. La centrale n'est accessible que par un puits d'ascenseur de 200 m de profondeur. Le bâtiment d'accès, regroupant les cellules des transformateurs, les locaux annexes et la salle de commande en encorbellement, constitue par son site et son architecture harmonieuse un ensemble remarquable. Sur sa rive gauche le lac est bordé sur près de 6 km par une nouvelle route d'accès à la vallée.

Fig. 68 Stausee Vogorno (470 m) im Verzascatal

Fig. 68 La retenue de Vogorno (470 m) dans la Vallée de Verzasca (Photo V. Vicari/Lugano)

Dans les vallées latérales de la Leventina (Tessin), cinq bassins d'accumulation énumérés au recensement de 1953, subsistent sans modification; ce sont des lacs naturels aménagés d'un volume utile total de 68,5 millions de m³: le Lago Sella (149), les Lago Cadagno et Ritom (150/151) à gauche, ainsi que ceux de Tremorgio (152) et de Chironico (153) à droite. Il faut y ajouter le Lago di Lucendro (16), 25 millions de m³, situé sur le versant nord du Gotthard, et dont les eaux sont dérivées vers Airolo. Les débits de l'Unteralpreuss supérieure et de la vallée du Cadlimo (Medelserrhein) sont, de leur côté, dérivés vers le lac de Ritom si bien que les apports d'environ 47 km² appartenant au bassin du Rhin sont affectés aux aménagements du versant sud des Alpes bénéficiant de dénivellations plus importantes. La centrale vétuste de Biaschina, sur le Tessin, a été remplacée en 1967 par un nouvel aménagement exploitant une hauteur de chute supérieure de 25 m, équipé d'une piussance triple, et comprenant un bassin de 0,4 millions de m³ dans le Val d'Ambra. Celui-ci collecte les apports d'un bassin agrandi de 80 km² par des adductions secondaires débouchant dans la galerie rive droite. Le gain de puissance atteint 60 GWh, celui de la productibilité 140 GWh. La centrale elle-même présente une architecture originale à base d'arcs de parabole.

L'équipement du Val Blenio, drainé par le Brenno, a été longtemps freiné par les débats portant sur l'opportunité d'une dérivation de la Greina et sur le problème corrélatif d'un soutirage dans le bassin du Rhin au profit du versant sud.[6]) Ce projet a été finalement réalisé entre 1956 et 1963, mais avec les seuls apports de son bassin versant propre de 275 km². La pièce maîtresse en est le grand lac de retenue de Luzzone (154) à 1591 m d'altitude, d'une capacité de 87 millions de m³ et qui s'étend sur 3 km dans la vallée du même nom (photo fig. 69). Un réseau étendu d'adductions, s'étendant jusqu'au Brenno à l'ouest, et au glacier de Bresciana dans le massif d'Adula (Rheinwaldhorn 3402 m) au sud, porte la superficie de son bassin versant de 36,5 km² à 107 km², si bien que le remplissage est assuré par les écoulements naturels, même en année sèche. Les deux collecteurs principaux débouchent à la cote 1697 m. La hauteur de chute jusqu'au niveau de retenue, est exploitée par la centrale de Luzzone. L'imposant barrage voûte d'une hauteur de 208 m constitué de 1,3 millions de m³ de béton, est fondé sur des schistes lustrés. Sur le versant gauche, la qualité médiocre de la roche a nécessité le renforcement de la culée. La crête du barrage est accessible sur le versant droit, par une nouvelle route partant de Campo. En aval rive gauche de l'usine de lac d'Oli-

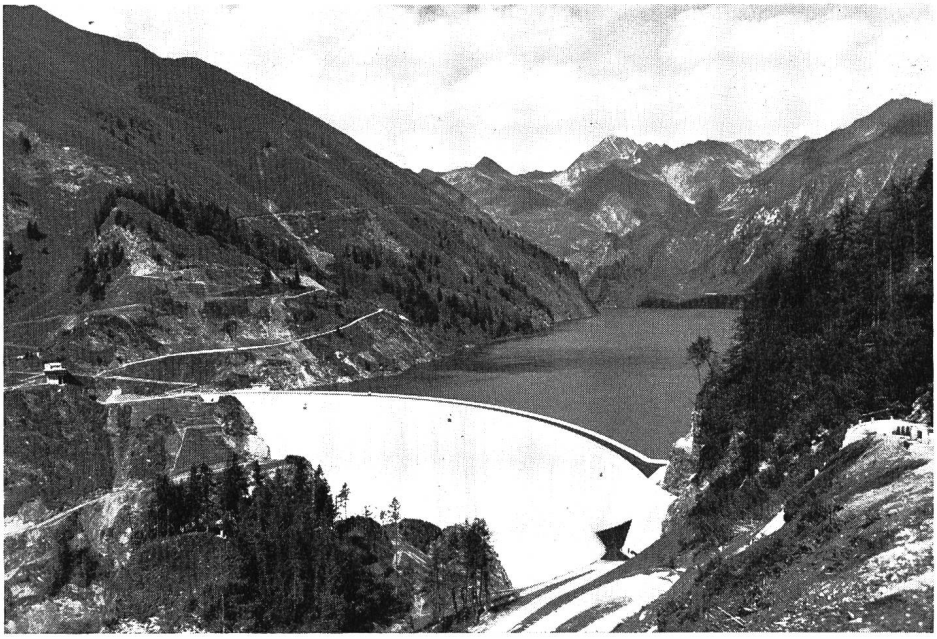
[6]) cf. Bassins d'Accumulation des Alpes, Edition 1953, pages 58/59.

Fig. 69

Stausee Luzzone (1591 m) im oberen Bleniotal; rechts, im Grenzkamm gegen den Valserrhein, Piz Terri (3151 m)

Bassin d'accumulation de Luzzone (1591 m) dans la vallée supérieure de Blenio; sur la crête vers le Rhin de Vals le P. Terri (3151 m)

(Photo OFIMA/Locarno)



Gebiet und das Becken Gries mit zusammen 250 Mio m³. Die nächststärksten Gruppen auf gleicher Fläche sind das Adamello-Gebiet in den Ostalpen mit 11 Seen (188 Mio m³) und die Aaregruppe mit Göscheneralp und Lucendro, 9 Seen mit 308 Mio m³.

Das zwischen dem Maggia- und unteren Tessintal (Riviera) gelegene Val Verzasca weist hohen Abfluss und ein sehr unregelmässiges Regime auf. Nahe ihrer Mündung ist die Verzasca nun durch einen bedeutenden Speichersee reguliert, Vogorno (148) 470 m ü. M. mit 86 Mio m³ Nutzraum bei 233 km² Einzugsgebiet (Fig. 68). Der Gesamtstauraum ist 105 Mio m³, und bei 20 m tieferer Absenkung können ausnahmsweise weitere 8 Mio m³ Zuschuss gegeben werden. Eine tiefe Schlucht in gutem Gneisgebirge, morphologisch wie geologisch symmetrisch, bot günstige Voraussetzungen für die 220 m hohe schlanke Bogenmauer Contra mit elliptischen Bögen konstanter Dicke, nächst Mauvoisin die zweithöchste Bogenstaumauer der Schweiz. An beiden Hanganschlüssen sind sechsfeldrige Hochwasserüberläufe angeordnet, die gestaffelt sprungschanzenförmig enden und 1000 m³/s Hochwasser in die Schluchtmitte hinauswerfen können. Wenig unterhalb der Mauer liegt das Talsperrenkraftwerk (105 MW, 234 GWh) als Kaverne tief im Fels auf der Höhe des Langensees, zu dem ein nur 1,8 km langer Unterwasserstollen hinausführt. Es ist lediglich durch einen 200 m tiefen Aufzugsschacht zugängig. Das oberirdische Eingangsbauwerk mit den Trafoplätzen, Nebenräumen und kanzelartig vorgebauter Warte ist durch seine Lage und wirkungsvolle Architektur ein bemerkenswerter Teil des Gesamtwerks. Entlang des fast 6 km langen Sees führt linksufrig eine neue Strasse taleinwärts.

In den Seitentälern der Leventina (Tessin) finden sich aus dem alten Bestand unverändert fünf Speicherseen mit 68,5 Mio m³ Nutzraum, die ausgebauten Naturseen Lago Sella (149), Cadagno und Ritom (150/151) links, sowie Tremorgio (152) und Chironico (153) rechts. Zu ihnen ist noch der nach Airolo abgearbeitete Lago di Lucendro (16) auf der Nordseite des Gotthards mit 25 Mio m³ zu rechnen. Auch die Abflüsse der oberen Unteralpreuss und des Cadlimotales (Medelserrhein) sind zum Ritomsee übergeleitet, so dass insgesamt rund 47 km² Einzugsgebiet des Rheins den grösseren Fallhöhen der Alpensüdseite zugewiesen sind. Die alte Tessinstufe Biaschina ist 1967 durch einen Neubau mit 25 m grösserer Fallhöhe, 80 km² grösserem Einzugsgebiet durch Einleitung von Seitenbächen in den rechtsufrigen Stollen, verdreifachter Leistung, dem Spitzenbecken Val d'Ambra (0,4 Mio m³) und einem originellen Krafthaus mit Parabelbögen ersetzt worden (Zuwachs 60 MW, 140 GWh).

Der Ausbau des vom Brenno durchflossenen Val Blenio war lange Zeit durch die Diskussionen um die Einbeziehung der Greina und die damit verbundenen Probleme einer Wasserableitung aus dem Rheingebiet nach Süden verzögert worden.[6]) 1956/63 ist er unter Beschränkung auf das eigene Einzugsgebiet aus 275 km² verwirklicht worden. Sein Kernstück ist der grosse Stausee Luzzone (154) 1591 m ü. M. mit 87 Mio m³, der sich auf 3 km Länge im gleichnamigen Tal erstreckt (Fig. 69). Ausgedehnte Beileitungen, bis zum Lukmanierbrenno im Westen und Brescianagletscher im Adulamassiv (Rheinwaldhorn, 3402 m) im Süden, bringen sein 36,5 km² grosses Einzugsgebiet auf 107 km², so dass auch in trockenen Jahren eine Füllung aus natürlichen Zuflüssen gesichert ist. Beide Zubringer münden auf 1697 m ü. M.; die Fallhöhe bis zum jeweiligen Bekkenspiegel nutzt das Kraftwerk Luzzone. Die 208 m hohe mächtige Bogenmauer mit 1,3 Mio m³ Betonmasse steht auf Bündnerschiefer. Am linken Hang haben ungünstige Felsverhältnisse einen verstärkten Mauerflügel erfordert. Eine neue Zufahrtstrasse ab Campo erreicht die Mauerkrone auf der rechten Talseite. Unterhalb der Speicherstufe Olivone mit 573 m Fallhöhe führt in der linken Talflanke ein 14,9 km langer Freilaufstollen zum Ausgleichbecken Malvaglia (155), von diesem ein 10,5 km langer Druckstollen zum Hauptkraftwerk Biasca mit 711 m Fallhöhe am Tessin. Der 4,1 Mio m³ fassende 2 km lange Stausee im Orino besitzt eine elegante 92 m hohe Bogenmauer im Gneis. Die drei Bleniokraftwerke mit 391 MW erbringen 932 GWh, wovon 48 % im Winter.

Im Misoxer Tal, das durch den neuen Strassentunnel unter dem S. Bernardino-Pass eine verstärkte Verkehrsbedeutung erhalten hat, greift der Kanton Graubünden weit nach Süden. Der Wasserkraftausbau seines oberen Gebietes bis Soazza hat nur den kleinen Speicher Isola (156) 1604 m ü. M. gebracht. Der 2,8 km lange Moësa-Stausee (Fig. 70), liegt mit seiner Sperrstelle rund 4 km unterhalb des Dorfes

[6]) vergl. Speicherseen 1953, S. 58/59

vone exploitant une hauteur de chute de 573 m, une galerie à écoulement libre longue de 14,9 km, conduit au bassin de compensation de Malvaglia (155) lequel alimente par une galerie en charge de 10,5 km la centrale principale de Biasca sur le Tessin (711 m de hauteur de chute). Le lac de Malvaglia sur l'Orino est long de 2 km et contient 4,1 millions de m³; il est mis en retenue par un barrage-voûte ancré sur le gneiss. Les trois centrales du Val Blenio produisent avec une puissance installée de 391 MW, 932 GWh dont 48 % en hiver.

Par l'intermédiaire de la vallée de Misox qui, grâce au nouveau tunnel routier percé sous le col du St-Bernhardin, connaît une recrudescence de trafic routier, le Canton des Grisons pousse une pointe vers le sud. Seul le petit bassin d'accumulation d'Isola (156) à 1604 m d'altitude, équipe la région supérieure jusqu'à Soazza. Ce lac de retenue sur la Moësa (photo fig. 70), long de 2,8 km se situe à environ 4 km en aval du village de San Bernardino, entièrement dans le massif cristallin de l'Adula. La centrale de Isola (410 m de hauteur de chute) qui en dépend est également alimentée par une adduction complémentaire provenant de la vallée voisine de la Calancasca et fournissant 60 millions de m³. Partant du petit bassin de compensation de Corina, une galerie en charge aboutit à l'usine souterraine de Soazza (708 m de hauteur de chute). Ce groupement d'usines totalise une puissance de 104 MW et produit 476 GWh, dont un quart seulement durant le semestre d'hiver.

C'est ici que nous terminons notre périple. Le tableau D donne encore des renseignements sur les centrales situées en aval ainsi que sur les propriétaires des bassins d'accumulation des Alpes occidentales.

4.4 BASSINS D'ACCUMULATION PROJETES DANS LES ALPES OCCIDENTALES

Au début de cet article (§ 1 et 2.2) nous avions déjà tracé les grandes lignes de l'équipement futur de bassins d'accumulation en fonction du développement du marché de l'énergie; dans cette optique, nous donnons quelques indications sur les principaux gisements ayant quelque chance d'être équipés dans les Alpes occidentales, en précisant que même les projets les plus récents sont encore susceptibles d'être retouchés (accroissement du volume utile, de la puissance installée, extension en usine de pompage). Nous évoquerons également le problème — particulièrement aigu en Suisse — de la disponibilité de réserve de puissance pour l'interconnexion, qui gagne de l'importance avec l'accroissement de la taille des grosses unités nucléaires: les puissantes usines de lac demeurent, jusqu'à ce jour, la meilleure solution à ce problème! Pour cette prospection, nous allons, comme précédemment, partir du nord, à la limite entre les Alpes de l'Est et de l'Ouest.

Dans le bassin du Rhin, il existe au moins huit sites favorables à l'aménagement de réservoirs d'énergie. Nous citerons en premier lieu ceux bénéficiant potentiellement d'une importante chaîne d'usines avalantes. Le site le plus haut du Rhin antérieur, celui de la Greina, présente un intérêt particulier, car il était déjà fortement discuté vers 1950: il concerne un large haut-plateau de pente faible situé au pied du col séparant les vallées de Somvix et de Blenio et barré côté nord par un verrou de gneiss granitique se prêtant bien à l'implantation d'un barrage donc à l'aménagement d'un très important réservoir. Le projet initial prévoyait une retenue de 106 millions de m³ à 2280 m d'altitude; le volume a été ramené aujourd'hui à 63 millions de m³, en considérant les possibilités de collecte — à cette altitude — d'adductions secondaires, provenant notamment du Medelserrhein. L'exploitation des eaux est prévue, sous 983 m de chute, dans une usine restituant dans le réservoir de Runcahez (0,43 millions de m³) alimentant lui-même l'usine de Tavanasa (482 m de chute). Le versant sud des Alpes distant de 4 km seulement, offre une excellente possibilité de transfert par pompage à partir du bassin de Luzzone, dont les adductions en altitude présentent encore des excédents d'été. On pourrait concevoir ici à l'avenir un aménagement de grande envergure, réalisable en plusieurs étapes et comparable à celui du Mont-Cenis, avec une exploitation répartie sur les deux versants.

Le réservoir de Panix prévu dans une vallée latérale en rive gauche, doit contenir 15 millions de m³ à 1465 m d'altitude et alimenter une usine exploitant une chute de 770 m aboutissant à Ilanz. Ce bassin pourrait collecter les apports d'une importante région grâce à des adductions bilatérales. L'usine correspondante doit être construite en même temps que le maillon manquant sur le Rhin antérieur à l'aval de Tavanasa, dans l'optique d'une revalorisation d'énergie par pompage. L'Alpe de Lampertsch, dans la vallée supérieure du Valserrhein (Vallée de Lenta), se prêterait fort bien à l'aménagement d'un réservoir de 30 millions de m³ à 2050 m d'altitude. Ce site avait tout d'abord été retenu comme palier supérieur de l'aménagement de Zervreila; un projet ultérieur le désigne comme bassin supérieur pour l'équipement de la vallée de Lugnez, dans laquelle il est encore possible d'aménager le lac de Silgin retenant 35 millions de m³ à 1210 m d'altitude. Le bassin de Lampertsch n'est distant, lui aussi, que de 5 km du lac de Luzzone, ce qui offrirait une nouvelle possibilité — moins intéressante toutefois que celle de la Greina — d'implantation d'une usine de transfert d'énergie par pompage.

L'Alpe Curciusa, sur le ruisseau d'Areua, affluent du Rhin postérieur près de Nufenen, représente un site favorable pour un bassin d'accumulation: une étude déjà ancienne prévoit à cet endroit, à 2164 m d'altitude, un réservoir de 23 millions de m³ utilisable comme bassin supérieur de l'usine de Pian S. Giacomo bénéficiant de 965 m de chute jusqu'au bassin de compensation de Corina à l'aval duquel on trouve l'usine de Soazza (708 m). Avec l'appoint d'une adduction provenant du Val Balniscio, son remplissage peut être assuré par les seuls écoulements naturels. La dérivation de l'eau du bassin rhénan vers le Sud des Alpes qu'entrainerait cet aménagement pourrait être compensée, volume pour volume, par un soutirage dans la vallée de la Moësa vers le ruisseau d'Areua, en dessous du barrage de Curciusa.

Malgré son équipement déjà très poussé, le Valais offre encore quelques sites de moyenne importance susceptibles d'être aménagés. La cuvette de Gletsch, où, au 19ème siècle encore, se terminait le glacier du Rhône, se prête à l'aménagement d'un réservoir de 46 millions de m³ a 1830 m d'altitude, qui est inscrit au plan d'équipement du Valais Supérieur. Il viendrait également renforcer l'usine de Bitsch, qui, jusqu'à présent n'est alimentée que par la Massa. Dans une vallée latérale gauche du Haut-Valais on projette la création du lac de Kumme, d'un volume de 25 millions de m³ à 2120 m d'altitude. Des travaux préparatoires sont actuellement en cours, et l'on peut entrevoir une réalisation prochaine de ce programme. Le projet d'aménagement d'un bassin plus modeste dans la vallée de la Lonza (Lötschental), celui de Ferden (1,7 million de m³, cote 1311 m) a atteint le même degré de maturité.

Fig. 70

Stausee Isola (1604 m) unterhalb des Höhenkurorts San Bernardino im Misox

Bassin d'accumulation de Isola (1604 m) près de la station climatique de San Bernardino/ Mesocco

(Photo Elektro-Watt/Zürich)

San Bernardino, ganz im Kristallin der Adula-Decke. Dem zugehörigen Kraftwerk Isola (410 m Fallhöhe) werden in einer zweiten Stufe rund 60 Mio m³ Wasser aus dem Nachbartal der Calancasca zugeleitet. Vom kleinen Ausgleichbecken Corina geht der Druckstollen zum Kavernenkraftwerk Soazza mit 708 m Fallhöhe. Die Gruppe mit 104 MW erbringt 476 GWh, davon allerdings nur ein Viertel im Winterhalbjahr.

Damit ist der Rundgang geschlossen. Tabelle D unterrichtet noch über die Unterliegerkraftwerke und die Eigentümer der Westalpenspeicher.

4.4 GEPLANTE SPEICHERSEEN IN DEN WESTALPEN

Unter Hinweis auf die in den Abschnitten 1 und 2.2 bereits skizzierte, für den Ausbau künftiger Speicher sich entwickelnde Situation folgen auch für die Westalpen einige Angaben über die wichtigsten noch aussichtsreichen Möglichkeiten. Auch jüngere Projekte werden künftig noch manche Abwandlungen erfahren (Stauraumgrösse, Leistungserhöhung, Erweiterung zum gemischten Pumpspeicherwerk). Erwähnt sei hier noch das — besonders für die Schweiz wichtige — Problem der Bereitstellung von Reserveleistung in der Verbundwirtschaft, das mit dem Wachsen der Einzelleistung grosser Kernkraftwerksblöcke an Bedeutung gewinnt; für diese bleiben hochausgelegte Grossspeicherwerke unübertroffen. Wir beginnen einen Rundgang wie vorher wieder im Norden an der Grenze zwischen Ost- und Westalpen.

Im Rheingebiet finden sich noch mindestens acht gute Speichermöglichkeiten. Genannt seien hier in erster Linie die durch das Bestehen hoher ausgebauter Unterliegerstufen begünstigten. Die oberste im Vorderrheingebiet ist gleich eine besonders interessante, die in den vierziger Jahren vieldiskutierte Greina. Dieses unter dem Pass zwischen Somvixer- und Blenio-Tal gelegene, breite, schwach geneigte Hochtal, dessen nördlicher Riegel aus Granitgneis eine günstige Sperrstelle bietet, kann ein sehr grosses Becken aufnehmen. Früher war es mit Stauziel 2280 m ü. M. für 106 Mio m³ geplant, zuletzt mit 63 Mio m³ bei Beschränkung auf die in dieser Höhe erreichbaren Beileitungen, vornehmlich vom Medelserrhein, und Abarbeitung über eine 983 m-Stufe zum grossen Spitzenbecken Runcahez (0,43 Mio m³) der Stufe Tavanasa mit ihren weiteren 482 m. Die Südseite bietet bei nur 4 km Entfernung eine gute Pumpspeichermöglichkeit vom Stausee Luzzone, in dessen hochliegendem Beileitungshorizont noch Sommerwasserüberschuss besteht. Künftig kann ein Grossausbau mit Nutzung nach beiden Seiten, vergleichbar der Montcenis-Lösung, unter Umständen in Etappen, reizvoll werden.

Im linksseitigen Panixer Tal bietet der Stausee Panix, 1465 m ü. M., bisher für 15 Mio m³ projektiert, eine 770-m-Stufe bis Ilanz. In ihm kann durch beiderseitige Beileitungen ein grösseres Gebiet erfasst werden. Sein Krafthaus ist gemeinsam mit der noch fehlenden Vorderrheinstufe ab Tavanasa vorgesehen, und künftig wird man an eine Aufwertung durch Pumpspeicherung über die Differenzhöhe denken. Im obersten Valser Rhein (Lenta-Tal) ist die Lampertschalp für ein grösseres Staubecken von etwa 30 Mio m³, 2050 m ü. M., gut geeignet. Ursprünglich als Oberstufe zum Speicher Zervreila ausersehen, hat man es später als obersten Speicher eines Ausbaues des Lugnezer Tales geplant, in dem noch der Stausee Silgin, 1210 m ü. M. 35 Mio m³ möglich ist. Auch dieses Becken liegt nur 5 km vom Speicher Luzzone entfernt, mit einer, der Greina allerdings an Güte nachstehenden Pumpspeichermöglichkeit.

Im Hinterrheingebiet mündet bei Nufenen der Areuabach, in dessen oberem Tal die Alp Curciusa einen guten Speicherraum, ganz im Kristallin, bietet. Geplant ist hier seit langem ein Staubecken 2164 m ü. M. für 28 Mio m³ als Oberstufe für das Misoxer Tal mit 965 m Fallhöhe in einem Kraftwerk Pian S. Giacomo am Ausgleichbecken Corina, dem die bestehende Stufe Soazza (708 m) folgt. Mit einer Beileitung

Dans les Alpes françaises, les année à venir verront la réalisation de deux petits réservoirs s'inscrivant dans le cadre de l'équipement de l'Arc inférieur. Le premier, celui de Longefan (1,5 million de m³, altitude 527 m) près de St-Jean-de-Maurienne s'insère comme bassin de compensation entre l'usine souterraine de l'Echaillon et la prise d'eau de l'important aménagement Arc-Isère (collectant les eaux d'un bassin de 1638 km²) qui — à l'instar de son homologue Isère-Arc — court-circuite la grande boucle de l'Arc par une galerie de 18 km forée sous le Massif de Belledonne. A l'intersection avec la vallée du Breda, on prévoit d'implanter le réservoir de pointe de Flumet (3,5 millions de m³, altitude 498 m). L'usine souterraine Le Cheylas, avec une puissance installée de 480 MW, produira 803 GWh sur 257 m de hauteur de chute.

L'aménagement de l'imposant Lac de Champagny (204 millions de m³, altitude 1580 m, hauteur de retenue 150 m), avec son groupement de deux usines sur le Doron de Bozel a été reporté à une date ultérieure, la priorité ayant été donnée à un projet d'équipement de l'Eau d'Olle, dans la moyenne Romanche. En amont du défilé boisé de Maupas la vallée s'élargit en une vaste cuvette, la plaine de Grand'Maison, qui doit être submergée par un réservoir de 204 millions de m³, à 1700 m d'altitude et couvrant une superficie de 3,0 km². Son barrage fondé sur la roche cristalline, aura une hauteur de 200 m. Son remplissage est assuré par simple gravité, grâce à un réseau étendu d'adductions provenant des cours supérieurs de la Romanche, de l'Arc et de la Bréda. Le site est d'ores et déjà accessible par les routes conduisant aux cols du Glandon et de la Croix de Fer (2068 m), connu pour ses majestueux points de vue. L'usine de pointe Le Verney (970 m de chute) sera construite à l'extrémité aval du dernier faux-plat de la vallée d'Eau d'Olle. A la suite de cet ouvrage, se situe la chaîne d'usines du couloir industriel de la Romanche exploitant au total 430 m de chute; en tête de cette chaîne se situe la plus ancienne centrale souterraine des Alpes, celle de Bâton (1045 m de chute), mise en service en 1925.

Sur le Verdon, déjà équipé de quatre grands réservoirs, on projette deux nouveaux aménagements: à 12 km en aval du barrage de Ste-Croix, un barrage-voûte haut de 49 m créera en 1974, à 404 m d'altitude, une retenue de 19,5 millions de m³, celle de Quinson, dans les Basses Gorges du Verdon. Avec une hauteur de tranche utile de 5 m seulement, il fera fonction de bassin de compensation d'un volume utile de 8 millions de m³. L'usine de Ste-Croix, de son côté, sera équipée d'un groupe complémentaire turbine-pompe de 54 MW et 87 m³/s. En amont du Grand Canyon, entre Pont de Soleil et Castellane, sur la Route Napoléon, se trouve le site du futur bassin de Chasteuil, mis en retenue par le barrage de Taloire, d'une contenance utile de 60 millions de m³, et collectant les apports d'un bassin de 840 km². L'équipement hydroélectrique doit être particulièrement poussé: une galerie en charge de 15 km, court-circuitant le parcours encaissé et sinueux de la rivière, long de 30 km, jusqu'à l'origine du remous de la retenue de Ste-Croix, alimentera sous 233 m de dénivellation, l'usine de pointe et de pompage de Moustiers, équipée d'une puissance de 800 à 1000 MW. Un bassin auxiliaire de 20 millions de m³, celui de La Tour, aménagé dans la vallée de Vallonge située au nord-est, sera rempli par pompage sur environ 200 m de hauteur de refoulement supplémentaire, et permettera aux turbines de Moustiers d'exploiter une chute de 415 m. Cette réalisation permettra de laisser subsister un débit suffisant dans le Grand Canyon, grâce notamment aux apports de l'Artuby.

Le grand lac d'Allos, situé sur le versant gauche du Verdon supérieur, a été retenu comme point de départ d'une dérivation vers la vallée de la Tinée. Il est le plus grand du groupe de lacs, situé en contrebas de la crête formant frontière avec l'Italie, et intégré dans un projet d'équipement de cette région prévoyant l'alimentation de l'usine de Pont Haut exploitant 1000 m de chute par les deux versants de la vallée. Le volume utile de ce lac à l'altitude 2270 m atteindra 42 millions de m³, essentiellement par abaissement de son niveau. Le volume des lacs de Vens supérieur et de Vens moyen, situés respectivement à l'altitude 2341 et 2315 m, doit atteindre 1,2 et 3,8 millions de m³. Plus au sud, le lac de Rabuons, à 2505 m d'altitude, contiendra 8,9 millions de m³. Tous ces lacs, situés dans un massif cristallin seront surélevés par de petits barrages ou des digues en enrochements. Il faut noter que le bassin Tinée-Var est déjà équipé pour l'exploitation d'une chute totale de 680 m. La vallée de l'Esteron, affluent rive droite du Var inférieur a été choisie comme site du réservoir de Pont de la Cerise, à 300 m d'altitude, peu rentable pour la production d'énergie, mais intéressant pour garantir l'alimentation de Nice en eau potable. La Provence offre d'ailleurs encore certaines possibilités d'aménagement de réservoirs, destinés principalement à l'irrigation ou au stockage d'eau potable; parmi eux nous citerons le bassin du Vallon Dol de 2,5 millions de m³, dans le massif calcaire au Nord de Marseille. On projette également dans cette région, d'agrandir le réservoir existant de Bimont pour accroître son volume utile de 20 millions de m³.

Dans la chaîne des Alpes italiennes le projet le plus important vise l'équipement du Gesso supérieur en amont du bassin existant de Piastra. Le lac naturel de la Rovina, sur le Gesso de Rovina, serait aménagé en réservoir de 1,2 million de m³, à 1500 m d'altitude, collectant les apports d'un bassin versant de plus de 100 km² grâce à un réseau d'adductions s'étendant vers l'Est et l'Ouest. On prévoit en outre, à la cote 2000 m la création du réservoir de Chiotas (30 millions de m³), bassin supérieur d'une puissante installation d'accumulation par pompage. Chacun des deux bassins serait relié par une galerie en charge à une usine restituant dans la retenue de Piastra. L'usine est équipée de quatre groupes turbo-pompes de 140 MW exploitant le bassin supérieur de Chiotas et d'un groupe de 100 MW pour le bassin de Rovina, les pompes n'ayant à vaincre que la différence de niveau entre ces deux lacs. Les travaux préparatoires de cet ouvrage sont actuellement en cours.

L'ancien projet d'aménagement du bassin de Moiola, sur la Stura di Demonte reste actuel pour résoudre un problème d'irrigation et de protection contre les crues; il consiste à rétablir un ancien lac de l'époque post-glaciaire, comblé par les moraines. Il retiendrait à 703 m d'altitude un volume utile de 40 millions de m³ provenant d'un bassin versant de 570 km². Son ouvrage de retenue serait une digue en terre haute de 40 m et fondée sur une couche alluviale étanche; le volume important des débits solides représenterait toutefois une lourde sujétion pour ce réservoir.

aus Val Balniscio kann er aus natürlichem Zufluss gefüllt werden. Der mit der Nutzung des Areuabaches nach Süden verbundene Wasserentzug aus dem Rheingebiet lässt sich durch Zuleitung einer gleich grossen Wassermenge aus dem Moësa-Gebiet in den Areuabach unterhalb der Staumauer Curciusa ersetzen.

Im Wallis finden sich trotz dessen weitfortgeschrittenen Ausbauzustandes noch mehrere Speichermöglichkeiten mittlerer Grösse. Der Talboden Gletsch, wo noch im 19. Jahrhundert die Zunge des Rhonegletschers endete, kann 1830 m ü. M. ein 46 Mio m³-Becken aufnehmen. Es ist Bestandteil des Ausbauplanes Oberwallis und des Vollausbaues des bisher nur die Massa nutzenden Kraftwerks Bitsch. In einem linken Seitental des Oberwallis wird der Stausee Kumme, 2120 m ü. M. mit 25 Mio m³ geplant. Vorarbeiten sind im Gange, und es besteht die Absicht einer baldigen Verwirklichung. Das gleiche gilt für ein kleineres Projekt im Lötschental, den 1,7 Mio m³-Lonzaspeicher Ferden, 1311 m ü. M.

In den französischen Alpen werden in den nächsten Jahren beim Neuausbau des unteren Arc zwei kleinere Staubecken entstehen. Das 1,5 Mio m³-Becken Longefan, 527 m ü. M. bei St-Jean de Maurienne liegt als Ausgleichbecken zwischen dem Kavernenkraftwerk l'Echaillon und dem Einlauf der grossen Unterstufe Arc-Isère (1638 km²), die — vergleichbar der Stufe Isère-Arc — mit einem 18 km langen fensterlosen Stollen unter der Belledonne-Kette den grossen Arc-Bogen abschneidet. An der Kreuzung mit dem Bréda-Tal ist das Spitzenbecken Flumet, 498 m ü. M., 3,5 Mio m³, eingeschoben. Das Kavernenkraftwerk Le Cheylas mit 480 MW wird unter 257 m Fallhöhe 803 GWh erbringen.

Von den Grossspeicherplänen ist der eines zweistufigen Ausbaues des Doron de Bozel mit dem Stausee Champagny (1580 m ü. M., 204 Mio m³, 150 m Stauhöhe) für später zurückgestellt. Den Vorrang hat ein grosses und günstigeres Speicherwerk im Tal der Eau d'Olle im mittleren Romanche-Gebiet. Oberhalb des bewaldeten Défilé de Maupas öffnet sich der weite Talboden der Plaine de Grand' Maison. Sie soll ein Staubecken aufnehmen, das auf 1700 m ü. M. 204 Mio m³ Nutzraum mit 3,0 km² Seefläche aufweist und durch eine 200 m hohe Sperrmauer im Kristallin abgeschlossen wird. Sehr ausgedehnte Beileitungen aus den oberen Seitentälern von Romanche, Arc und Bréda erlauben die Füllung in freiem Gefälle. Das Gebiet ist bereits erschlossen durch die Passstrassen über den Col du Glandon und Col de la Croix de Fer (2068 m), letzterer mit berühmter Aussicht. Das Spitzen-Kraftwerk Le Verney kommt ans Ende der untersten Flachstrecke des Eau d'Olle-Tales. Seinen 970 m Fallhöhe folgen in der Romanche die ausgebauten 430 m ihres «Couloir industriel». Bemerkenswert ist an dessen Beginn die kleine Seitenstufe Bâton (1045 m) mit der ältesten, bereits 1925 in Betrieb gekommenen Kraftwerkkaverne der Alpen.

Der Verdon soll zu seinen bereits bestehenden vier grossen Stauseen zwei weitere erhalten. 12 km unterhalb der Sperrmauer Ste-Croix wird bereits bis 1974 eine 49 m hohe Bogenmauer in der unteren Schluchtstrecke den langen schmalen Stausee Quinson schaffen, der 404 m ü. M. mit 19,5 Mio m³ Gesamtinhalt bei 5 m Spiegelschwankung ein Ausgleichbecken von 8,0 Mio m³ Nutzraum bildet. Das Kraftwerk Ste-Croix wird dann zusätzlich einen Pumpenturbinensatz (87 m³/s, 54 MW) erhalten. Oberhalb des Grand Canyon zwischen Pont de Soleils und Castellane an der Route Napoléon ist 710 m ü. M. der Stausee Chasteuil mit etwa 60 Mio m³ Nutzraum bei 840 km² Einzugsgebiet und einer Wasserkraftnutzung grossen Stils geplant. Ein 15 km langer Druckstollen soll den gewundenen, über 30 km langen Verdon-Lauf bis zur Stauwurzel des Lac de Ste-Croix abschneiden. Das Kraftwerk Moustiers mit 233 m Fallhöhe wird ein grosses Spitzen- und Pumpspeicherwerk mit 800 bis 1000 MW Leistung werden. Im nordöstlich nur 2 km entfernt gelegenen Valonge-Tal ist 415 m über dem Stauziel Ste-Croix der Oberspeicher La Tour von 20 Mio m³ Nutzraum vorgesehen, der durch Pumpen über die Differenzhöhe zu füllen ist. Die Lösung ermöglicht es, dem Grand Canyon, der noch vom Artuby gespeist wird, eine gute Wasserführung zu belassen.

Der grosse Lac d'Allos in der linken Talflanke des obersten Verdontales ist ausersehen zur Ueberleitung ins Tinée-Tal. Zusammen mit der Seengruppe unter dem Grenzkamm gegen Italien bildet er den Hauptspeicher eines Ausbaues dieser Hochregion mit dem Kraftwerk Pont Haut mit rund 1000 m Fallhöhe von beiden Talseiten. Der abflusslose See im Kalkgebirge, 2270 m ü. M. bietet 42 Mio m³ Nutzraum hauptsächlich durch Absenkung. Die Seen Vens Supérieur und Vens Moyen, 2341 m bzw. 2315 m ü. M. sollen 1,2 und 3,8 Mio m³ Nutzraum erhalten, der südlich davon gelegene grössere Lac de Rabuons 8,9 Mio m³, 2505 m ü. M. Diese Naturseen im Kristallin werden durch kleine Mauern oder Steindämme aufgehöht. In Tinée-Var sind bereits 680 m Fallhöhe ausgebaut. Der untere Var empfängt von rechts den Esteron. In diesem wird für die Wasserversorgung von Nizza ein grösserer Stausee Pont de la Cerise, rund 300 m ü. M. geplant. In der Provence ist das eine oder andere Staubecken für Bewässerungs- und Wasserversorgungsaufgaben zu erwarten, so ein 2,5 Mio m³-Speicher im Vallon Dol im Kalkgebirge nördlich von Marseille. Ausserdem ist eine schon früher vorgesehene Vergrösserung des Nutzraumes im Stausee Bimont um etwa 20 Mio m³ bei 14 m Spiegelhebung geplant. Er soll durch ein neues Pumpwerk aus dem in Höhe des jetzigen Betriebstauziels mündenden Zuleitungsstollen vom Canal du Verdon gefüllt werden.

Im italienischen Alpenbogen ist das wichtigste Projekt das des Ausbaues des oberen Gesso, oberhalb des bestehenden Stausees Piastra. Im Gesso della Rovina wird der natürliche Lago della Rovina rund 1500 m ü. M. einen kleineren Speicher (1,2 Mio m³) bilden, der durch Beileitungen von Osten und Westen reichlich 100 km² Einzugsgebiet erfasst. Auf rund 2000 m ü. M. wird der Hauptspeicher Chiotas für 30 Mio m³ geschaffen und als Oberbecken eines grossen Pumpspeicherwerks dienen. Von jedem der beiden Speicher führen Druckstollen zum gemeinsamen Kraftwerk am Stausee Piastra. Es ist für 4x140 MW-Pumpspeichersätze für die Oberstufe und 100 MW für die Mittelstufe Rovina-Piastra geplant, wobei über die Differenzhöhe gepumpt wird. Die Vorarbeiten für dieses grosse Vorhaben sind bereits im Gange.

Hauptsächlich für Bewässerungsaufgaben und Hochwasserschutz behält der ältere Plan des Stausees Moiola in der Stura di Demonte Bedeutung. Dabei ist ein postglazialer verlandeter Moränenstausee wiederherzustellen. Er würde auf 703 m ü. M. ein Einzugsgebiet von 570 km² beherrschen und mit einem rund 40 m hohen Erddamm auf dichten Seeabsätzen 40 Mio m³ Nutzraum schaffen. Ein Problem stellt die starke Geschiebezufuhr aus dem grossen natürlichen Zuflussgebiet.

Tableau C Tabelle C

No 1)		Name Nom 2)	Flussgebiet Bassin fluvial	Stauziel m ü. M Cote de retenue m.s.m.	Nutzraum Volume utile Mio m³	Energieinhalt Energie accumulée Mio kWh	Seefläche Surface du bassin ha	Spiegelschwankung Variation de niveau m	Sperrbauwerk / Barrage Typ Type 3)	Höhe Hauteur m	Länge Longueur m	Masse Volume 1000 m³	Bauzeit Durée de construction
		Speicherseen nördlich des Hauptkamms	**Bassins d'accumulation au nord de la crête principale**										
		a) SCHWEIZ — SUISSE											
1		Curnera	Aua de Curnera/Vorderrhein/ Rhein	1956	40,8	113,6	80	108	V	152	340	562	1962/67
2		Nalps	Rein de Nalps/Vorderrhein	1908	44,5	120,2	93	88	V	128	480	595	1958/62
3		Sta. Maria	Froda/Medelserrhein/ Vorderrhein	1908	67,0	181,0	180	80	V	130	540	776	1964/67
4		Zervreila	Valserrhein/Glenner/Vorderrhein	1862	100,0	286,0	161	127	V	151	504	626	1954/57
6		Gigerwald	Tamina/Rhein	1335	33,4	71,2	71	85	V	147	440	495	1972/77
7		Mapragg	Tamina/Rhein	865	2,5	3,0	26	13	P	72	140	90	1971/76
5		Gübsenweiher	Sitter/Thur/Rhein	683	0,9	0,6	17	10	2 P	24	105	10	1897/1900
8		Parmort Nord	Schmelzibach/Seez/Limmat/ Aare/Rhein	1030	0,7	1,1	11	13	P	30	126	9	1947/48
		Ost							P	10	143		
9		Ob. Murgsee (n)	Murgbach/Walensee (Linth/Limmat)	1828	1,2	2,6	18	7	2 P+T	5	90	1	1925
10		Muttsee (n)	Limmernbach/Linth/Limmat	2446	6,0	23,8	40	29	—	—	—	—	1961/62
11		Limmernboden	Limmernbach	1857	90,0	258,0	134	107	V	145	375	550	1959/63
12		Garichte	Niederenbach/Sernf/Linth	1623	3,0	7,7	16	24	P	42	229 +254	56	1929/31
13		Klöntalersee (n)	Löntsch/Linth	851	49,1	54,7	327	24	T	22	217	146	1905/08
14		Innerthal	Wägitaler Aa/Zürichsee (Limmat)	900	147,2	191,0	415	50	P	110	156	236	1921/25
15		Sihlsee	Sihl/Limmat	889	91,8	128,2	1095	13					
		In den Schlagen							P	30	127	22	1932/37
		Hühnermatt							T	15	165	64	
16		Lago di Lucendro (n)	Gotthardreuss/Reuss (Nutz. — utilis. Ticino)	2134	25,0	88,3	54	82	F	73	270	154	1942/47
17		Göscheneralp	Göschenerreuss/Reuss/ Aare/Rhein	1792	75,0	221,0	132	92	E	155	540	9350	1956/60
18		Glattalpsee (n)	Muota/Reuss	1849	2,3	7,0	24	16	—	—	—	—	1966/69
19		Lauerzersee (n)	Steineraa/Seeweren/Muota/ Reuss	448	6,8	2,4	310	2,2	Bp	—	—	—	
20		Bannalp	Seklisbach/Engelberger Aa/ Vierwaldstättersee (Reuss)	1586	1,5	4,1	15	16	T	36	182	139	1935/37
21		Tannensee (n)	Gr. Melchaa/Sarner Aa/ Vierwaldstättersee	1975	3,8	10,9	33	19	T	23	650	355	1955/58
22		Melchsee (n)	Gr. Melchaa	1693	3,7	10,7	55	13	T	8	290	50	1955/57
23		Lungernsee (n)	Aa/Sarner Aa	689	50,0	39,5	201	36	—	—	—	—	1921/1926
24		Aegerisee (n)	Lorze/Reuss	724	7,9	6,6	724	1,1	Bp	—	—	—	1857
25		Oberaar	Aare/Rhein	2303	60,5	243,2	147	71	Pe	100	526	453	1950/54
26		Trübtensee (n)	Aare	2365	1,0	4,1	10	18		9	48	1	1949/50
27		Grimselsee (n)	Aare	1909	101,7	312,2	262	88					
		Spitallamm							PV	114	258	338	1928/32
		Seeuferegg							P	42	352	70	
28		Rätherichsboden	Aare	1767	27,0	77,2	67	63	Pe	94	456	279	1948/50
29		Gelmersee (n)	Gelmerbach/Aare	1849	13,0	33,9	63	30	P	35	370	81	1927/29
30		Mattenalp	Urbachwasser/Aare	1875	2,0	5,8	18	13	P	25	98	11	1848/50
31		*Engstlensee (n)*	*Gentalwasser/Gadmerwasser/ Aare*	*1850*	*2,0*	*6,2*	*45*	*5*	—	—	—	—	*1961*
32		*Brienzersee (n)*	*Aare*	*565*	*69,0*	*39,3*	*2918*	*2,4*	*Bp*	—	—	—	*1856*
33		Thunersee (n)	Aare	558	74,0	42,2	4780	1,6	Bp	—	—	—	1726, 1788
34		Sanetsch	Sanetsch/Saane/Aare	2034	2,7	7,8	29	14	Pe	42	210	42	1960/65
35		Arnensee (Lac d'Arnon)	Tscherzisbach/Saane-Sarine	1534	(6,5)	(10,0)	35	26	—	—	—	—	1917/18
	E	(n)	(Nutz. — utilis. Grande Eau/ Rhône)	1543	10,3	24,8	45	9	T	17	140	40	1955/57
36		Hongrin	Hongrin/Sarine (Nutz. — utilis. Lac Léman/Rhône)	1255	52,1	124,0	160	75	2 C	125	595	345	1965/70
37		Montsalvens	Jogne/Sarine	800	11,0	11,9	70	23	V	55	110	26	1918/21
38		Lac de la Gruyère (Rossens)	Sarine/Aare	677	180,0	151,4	960	35	V	83	320	255	1944/47
39		Totensee	Rhone (Nutz. — utilis. Aare)	2160	2,5	7,7	18	28	P	19	74	4	1949/50
40		Gries	Griesbach/Aegina/Rhone (Nutz. — utilis. Maggia)	2387	17,0	78,1	50	46,5	P	60	400	250	1963/65
41		Gebidem	Massa/Rhone	1437	8,5	19,2	21	70	V	122	327	228	1964/67
42		Mattmark	Saaser Vispa/Rhone	2197	100,0	386,0	176	87	T	120	770	10400	1958/67
43		Z'Mutt	Z'Muttbach/Matter Vispa	1970	0,9	—	38	45	V	77	140	28	1961/64
44		Turtmann	Turtmannbach/Rhone	2177	0,8	3,2	10	12	V	32	110	3	1957/58
45		Illsee (n)	Ill- u. Meretschibach/Rhone	2360	6,3	27,8	21	52	P	22	268	21	1922/26 E 1942
46		Moiry	Gougra/Navizence/Rhône	2249	77,0	315,0	129	99	V	148	610	815	1954/58
47		Zeuzier	Lienne/Rhône	1777	50,0	166,7	85	107	V	156	256	300	1954/57
48		Dixence	Dixence/Borgne/Rhône	2240	(50,0)	(203,0)	130	60	F	87	459	421	1929/35
	E	Grande Dixence, 1. Phase		2262	(+50,0)	(+207,5)	+70	92	P	178	450	(1800)	1951/56
		Grande Dixence, Vollausbau		2364	400,0	1812,0	400	194	P	285	695	5957	1955/61
49		St. Barthélemy (Cleuson)	Printze/Rhône	2186	20,0	73,0	50	74	Pe	87	420	400	1947/50
50		Lac de Fully (n)	Lac de Fully/Rhône	2139	4,7	17,5	27	30	P	14	110	5	1912/14
51		Mauvoisin	Drance de Bagnes/Rhône	1961	180,0	680,0	208	161	V	237	520	2030	1951/57
52		Les Toules	Drance d'Entremont/ Drance de Bagnes/ Rhône	1810	20,0	61,6	61	62,5	C	86	454	235	1960/63
53		Vieux Emosson	Nant de Drance/Barberine/ Trient/Rhône	2205	13,5	48,0	54	36	PV	65	170	70	1952/55
54		Barberine	Barberine	1689	(39,0)	(125,0)	132	50	P	79	284	230	1921/25
	E	Emosson	Barberine+adductions (voir plan no 3, p. 320)	1930	225,0	802,5	327	145	V	180	555	1100	1967/72
55		Salanfe	Salanfe/Rhône	1925	40,0	145,0	200	39	P	52	616	230	1948/52
56		Lac de Tanay (n)	Lac de Tanay/Rhône	1416	2,5	5,8	17	22	—	—	—	—	1901/02
		b) FRANKREICH — FRANCE											
57		Le Jotty (Bioge)	Dranse de Morzine/Lac Léman/Rhône	646	1,0	0,7	16	10	V	20	138	13	1948/49
		Speicherseen westlich des Hauptkamms	**Bassins d'accumulation à l'ouest de la crête principale**										
		FRANKREICH — FRANCE											
58		Lac d'Aiguebelette (n)	Le Thiers/Guiers/Rhône	375	10,9	4,5	552	2	P	5	45	1	1911
59		Lac de la Sassière (n)	Torr. de la Sassière/Isère	2460	9,7	39,5	45	34	E	30	315	153	1957/59
60		Lac du Chevril (Tignes)	Isère/Rhône	1790	227,8	645,0	280	135	V	180	430	650	1948/53
61		Lac de la Girotte (n)	Dorinet/Doron de Beaufort/ Arly/Isère	1753	50,0	153,0	80	108	VM	50	500	115	1942/49

1 Nummer in der Uebersichtskarte; E = Erweiterung
Numéro dans la carte synoptique; E = extension

2 (n) = gestauter oder abgesenkter Natursee; Erh. = Erhöhung der Sperre
(n) = Lac naturel aménagé; Erh. = rehaussement du barrage

3 P Gewichtsstaumauer / Barrage-poids
Pe Gewichtsstaumauer mit Sparräumen / Barrage-poids évidé
PV Bogengewichtsstaumauer / Barrage poids-voûte
V Bogenstaumauer / Barrage-voûte
C Kuppelstaumauer / Barrage-coupole
F Pfeilerstaumauer / Barrage à contreforts
VM Pfeilergewölbestaumauer / Barrage à voûtes multiples
T Erddamm / Barrage en terre
E Steindamm / Barrage en enrochements
Bp Kleines Wehr / Petit barrage
Ra Kunstbecken / Réservoir artificiel

No 1)	Name Nom 2)	Flussgebiet Bassin fluvial	Stauziel m ü. M Cote de retenue m.s.m.	Nutzraum Volume utile Mio m³	Energieinhalt Energie accumulée Mio kWh	Seefläche Surface du bassin ha	Spiegelschwankung Variation de niveau m	Sperrbauwerk / Barrage Typ Type 3)	Höhe Hauteur m	Länge Longueur m	Masse Volume 1000 m³	Bauzeit Durée de construction
62	Roselend	Doron de Beaufort/Arly/Isère	1557	183,0	520,0	320	105	V+F	150	804	920	1956/61
63	La Gittaz	Torr. de la Gittaz/Doron de Beaufort	1562	13,6	39,2	39	52	PV	64	164	110	1962/68
64	St. Guérin	Torr. de Poncellamont/Isère	1557	13,0	37,4	45	48	V	70	250	60	1959/61
65	Plan d'Amont	Torr. de St. Bénoit/Arc/Isère	2077	7,9	26,8	39	38	F	49	350	116	1955/57
66	Plan d'Aval	Torr. de St. Bénoit/Isère	1948	3,9	12,3	22	30	P+V	48	203 +103	80	1947/50
67	Bissorte (n)	Bissorte/Arc/Isère	2082	40,0	140,0	117	55	P	63	545	300	1931/36
68	Pont des Chèvres	Arc/Isère	923	1,2	1,1	16	6	P	15	—	5	1967/69
69—72	Sept Laux (Lac Cotepen, de la Motte, Carré, du Cos) (n)	Bréda/Isère	2129 2182	13,7	49,3	65	30	P	—	—	50	1912/18 1939/42
73	Lac du Crozet (n)	Combe de Lancey/Isère	1988	2,3	6,0	12	25	P	18	60	5	vor 1900
74	Le Sautet	Drac/Isère	765	95,2	131,4	350	40	PV	126	80	100	1931/35
75	St. Pierre-Cognet	Drac (+Bonne)	580	11,1	11,3	125	11	V	76	130	42	1955/57
76	Monteynard	Drac	490	185,0	153,5	657	40	PV	150	210	450	1959/62
77	Notre Dame de Commiers	Drac	363	17,9	10,3	164	12	T	41	330	1215	1961/64
78	Le Chambon	Romanche/Drac	1040	49,5	82,7	140	60	P	136	293	300	1930/34
79	Lac de Bramant (n)	Eau d'Olle/Romanche	2448	2,0	5,5	14	25	P	25			1918
80	Lac Mort (n)	Emissaire des Lacs de Laffrey/Romanche	936	4,2	6,8	27	22,5	T	10	786	25	1931/32
81	Lac de Petichet (n)		923	2,0	2,9	66	2,9	P	2	38	1	1907
82	Lac de Laffrey (n)		909	2,4	3,5	127	2,2	Bp	—	—	—	1907
83	Bouvante	Lyonne/Bourne/Isère	574	1,3	1,0	22	10	P	30	35	8	1924/25
84	Pont Baldy	Cerveyrette/Durance	1853	1,1	2,0	18	10	V	50	70	6	1966/67
85	Serre Ponçon	Durance/Rhône	780	1030,0	1160,0	2600	55	T	125	600	14000	1955/60
86	Espinasses	Durance	657	3,1	2,9	122	3	Bp	—	—	—	1958/60
87	La Laye	La Laye/Largue/Durance	455	2,4	1,2	24	18	P	28	180	30	1963/65
88	Castillon	Verdon/Durance	880	113,0	134,5	490	50	V	100	200	125	1942/48
89	Chaudanne	Verdon	790	6,0	6,2	45	20	V	75	95	24	1949/51
90	Ste. Croix	Verdon	477 482	300,0 + 100,0	160,0 —	2180 2340	16 (Hochwasserschutzraum — réserve d'écrêtement des crues)	V	94	138	40	1970/73
91	Gréoux	Verdon	359	4,8	3,2	329	1,5	T	54	220	850	1964/67
92	Bimont	Infernet/Arc	336	18,0	—	100	48	V	88	190	120	1950/52
93	Trapan	Trapan/Gapeau		1,2	—	13	15	T	24	182	210	1965/67
94	Carcès	Caramy/L'Argens	169 So 167 Wi	8,0 So 6,0 Wi	—	100	12	T	16	128	110	1933/35
95	St. Cassien	Biançon/Siagne	147	39,0	7,0	370	9	T	66	210	1000	1963/66
96	Lac Long (n)	Gordolasque/Vesubie/Var	2561	2,6	8,3	25	17	P E	16 17	77	4 10	1967/69
97	Lac de l'Agnel (n)	Casterino/Bionia/Roya	2435	1,8	4,5	25	11	P	7	126	2	1914/18
98	Lac du Bat (n)	Casterino/Roya	2340	2,1	5,3	30	11	P	10	32	1	1914/18
99	Lac Noir (n)	Casterino	2276	0,9	2,3	17	10	P	10	60	2	1914/18
100	Lac Vert (n)	Casterino	2221	1,6	4,0	17	15	P	9	42	1	1914/18
101	Lac Long (n)	Inferno/Bionia	2111	1,2	3,2	13	14	P	14	225	12	1914/18
102	Les Mesces	Bionia	1369	1,3	3,0	9	25	P	65	154	117	1913/17

	a) FRANKREICH — FRANCE											
106	Lac du Mont-Cenis (n)	Cenise (Cenischia)/ Dora Riparia/Po	1921	(31,6)	(91,1)	266	17	2 P	28	106+141	33	1920/22
								T	7	200	14	
E		France:	1974	269,6	806,0	668	82	T/E	120	1400	14400	1963/69
		Italie:		51,1	166,0							
	b) ITALIEN — ITALIE											
103	Piastra	Gesso di Entracque/ Gesso Stura di Demonte/	956	12,1	6,6	47	46	P	88	423	380	1963/65
104	Castello	Tanaro/Po	1586	12,3	25,2	44	46	P	74	247	220	1936/42
105	Rochemolles	Varaita di Chianale/Varaita/Po Rochemolles/Dora di Bardonecchia/Dora Riparia/Po	1969	3,4	7,6	18	35	P	68	260	153	1928/31
107	Lago della Rossa (n)	Gurie/Stura di Viù/ Stura di Lanzo/Po	2716	8,6	33,8	53	20	P	26	270	29	1927/32
108	Malciaussia	Sola/Stura di Viù	1805	1,1	2,3	12	20	V	27	109	7	1932/33
109	Lago d'Agnel (n)	Agnel/Orco	2295	2,0	7,1	20	17	P	17	150	11	1936/38
110	Lago Serrù (n)	Orco/Po	2275	13,7	48,5	56	38	P	45	344	116	1947/51
111	Ceresole Reale	Orco	1573	35,4	71,6	165	38	P	54	300	188	1927/30
112	Pian Telessio	Piantonetto/Orco	1918	23,2	72,7	53	68	PV	80	515	375	1952/55
113	Valsoera (n)	Balma/Piantonetto/Orco	2412	8,0	34,9	33	40	PV	44	224	37	1952/53
114	Eugio (n)	Eugio/Orco	1900	4,9	15,2	19	41	F	55	217	76	1958/59
116	Beauregard	Dora di Valgrisenza/ Dora Baltea/Po	1770	70,0	204,4	153	85	V	132	394	430	1953/57
117	Place Moulin	Buthier/Dora Baltea	1968	105,0	346,5	180	120	PV	155	78	1510	1961/65
118	Lago Goillet (n)	Marmore/Dora Baltea	2526	11,8	50,0	46	33	P	46	368	142	1936/43
119	Cignana (n)	La Plana/Marmore	2170	16,1	57,1	71	39	P	58	402	153	1926/28
								E	23	106	25	
120	Lago Gabiet (n)	Lys/Dora Baltea	2374	4,4	16,1	27	36	P	43	212	78	1918/22
121	Lago Vargno (n)	Pacolulla/Lys	1684	1,0	2,4	9	18	E	24	122	39	1918/20
115	Gole di Gurcia	Chiusella/Dora Baltea	428	1,1	0,4	18	16	V	50	79	4	1922/25
122	Sessera	Sessera/Sesia/Po	800	1,5	~1,5	14	15	V	43	89	10	1958/60
123	Sabbione	Sabbione/Toce/ Lago Maggiore (Ticino/Po)	2460	42,0	185,6	128	48	F	64	279	135	1949/53
124	Morasco	Gries/Toce	1816	17,6	52,3	65	41	P	59	565	259	1936/40
125	Val Toggia	Roni/Toce	2191	15,4	57,6	80	33	P	46	199	110	1929/32
126	Lago Kastel (n)	Roni/Toce	2224	9,4	35,0	55	24	E	17	268	32	1924/28
127	Lago Obersee (n)	Vannino/Toce	2328	1,2	4,6	20	8	E	12	130	9	1921/23
128	Lago Vannino (n)	Vannino/Toce	2177	9,8	36,5	49	39	E	39	120	90	1917/21
129	Lago Busin (n)	Vannino/Toce	2385	3,5	13,0	32	14	P	21	230	18	1921/23
130	Codelago	Arbola/Devero/Toce	1867	16,1	51,0	100	23	E	33	116	53	1908/12
131	Agaro	Agaro/Devero	1597	19,3	51,9	65	43	P	57	243	150	1936/40
132	Lago d'Avino (n)	Ciampere/Cairasca/Diveria/Toce	2247	6,4	7,2	36	25	E	27	275	29	1911/13
133	Larecchio	Tonnello/Isorno/Toce	1836	2,7	3,7	13	25	P	33	164	38	1936/38
134	Camposecco	Banella/Troncone/Ovesca/Toce	2335	5,4	21,0	39	19	P	28	348	45	1925/30
135	Lago Cingino (n)	Sangoria/Troncone	2262	4,5	16,8	15	54	P	45	152	51	1925/30
136	Alpe Camplicciolì	Troncone	1360	8,8	18,5	32	49	P	72	278	240	1924/28

1 Nummer in der Uebersichtskarte; E = Erweiterung
Numéro dans la carte synoptique; E = extension

2 (n) = gestauter oder abgesenkter Natursee; Erh. = Erhöhung der Sperre
(n) = Lac naturel aménagé; Erh. = rehaussement du barrage

3 P Gewichtsstaumauer / Barrage-poids
Pe Gewichtsstaumauer mit Sparräumen / Barrage-poids évidé
PV Bogengewichtsstaumauer / Barrage poids-voûte
V Bogenstaumauer / Barrage-voûte
C Kuppelstaumauer / Barrage-coupole
F Pfeilerstaumauer / Barrage à contreforts
VM Pfeilergewölbestaumauer / Barrage à voûtes multiples
T Erddamm / Barrage en terre
E Steindamm / Barrage en enrochements
Bp Kleines Wehr / Petit barrage
Ra Kunstbecken / Réservoir artificiel

Tableau C (suite)

Tabelle C (Fortsetzung)

No 1)	Name Nom 2)	Flussgebiet Bassin fluvial	Stauziel m ü. M Cote de retenue m.s.m.	Nutzraum Volume utile Mio m³	Energieinhalt Energie accumulée Mio kWh	Seefläche Surface du bassin ha	Spiegelschwankung Variation de niveau m	Sperrbauwerk / Barrage Typ Type 3)	Höhe Hauteur m	Länge Longueur m	Masse Volume 1000 m³	Bauzeit Durée de construction
137	Lago d'Antrona (n)	Ovesca	1085	5,5	8,7	30	26	—	—	—	—	1924/26
138	Alpe Cavalli	Loranco/Ovesca	1500	8,3	19,8	46	22	E	41	165	120	1922/26
139	Ceppi Morelli	Anza/Toce	781	0,7	0,3	7	10	V	46	37	11	1928/29
140	Lago Delio (n)	Rio Casmera/Lago Maggiore	930	(4,0)	(5,7)	28	12	2 P	18	34	10	1909/11
E			945	10,0	17,6	36	45	2 P	28	394+154	61	1967/70
141	Creva	Tresa/Lago Maggiore	232	1,1	0,2	13	12	P	33	60	11	1927/29
	c) SCHWEIZ — SUISSE											
142	Cavagnoli	Bavona/Maggia/Lago Maggiore	2310	27,9	126,1	46	86	V	105	310	221	1964/68
—	Lago Sfundau	Bavona/Maggia	2390	4,0	18,3	14	49	—	—	—	—	1967/69
143	Robiei	Bavona/Maggia	1940	6,5	24,2	24	40	Pe	68	356	182	1964/67
144	Zöt	Riale del Basodino/Bavona	1940	1,2	4,5	13	15	V	37	145	17	1964/67
145	Lago di Naret (n) I	Maggia	2310	31,1	140,6	73	83	V	80	435	305	1964/68
	II							P	45	260	70	
146	Sambuco	Maggia	1461	63,0	163,0	112	91	PV	130	363	775	1952/56
147	Palagnedra	Melezza/Maggia	486	4,0	2,7	26	30	PV	72	120	65	1950/53
148	Vogorno	Verzasca/Lago Maggiore	470	86,4	55.0	170	80	V	220	380	658	1961/65
149	Lago Sella (n)	Riale Sella/Ticino/Po	2256	9,0	31,8	45	29	P	36	330	75	1942/47
150	Lago Cadagno (n)	Lago dello Stabbio/L. Ritom/ Foss/Ticino	1921	2,0	6,5	11	20	Bp	—	—	—	1947
151	Lago Ritom (n)	Murinascia Grande/Foss/Ticino	1853	47,0	152,3	149	48	P	27	309	38	1916/20 E 1952/53
152	Lago di Tremorgio (n)	Lagasca/Ticino	1830	9,0	28,3	36	31	—	—	—	—	1918
153	Lago di Chironico (n)	Fim (Ticinetto)/ Ticino	1770	1,5	1,6	14	11	E	12	46	3	1907
154	Luzzone	Val Luzzone/Brenno/Ticino	1591	87,0	249,0	125	155	V	208	530	1330	1958/63
155	Malvaglia	Orino/Brenno/Ticino	990	4,1	7,3	19	46	V	92	290	162	1956/59
156	Isola	Moesa/Ticino	1604	6,0	15,5	40	29	PV	45	290	71	1959/60

1 Nummer in der Uebersichtskarte; E = Erweiterung
Numéro dans la carte synoptique; E = extension

2 (n) = gestauter oder abgesenkter Natursee; Erh. = Erhöhung der Sperre
(n) = Lac naturel aménagé; Erh. = rehaussement du barrage

3 P Gewichtsstaumauer / Barrage-poids
Pe Gewichtsstaumauer mit Sparräumen / Barrage-poids évidé
PV Bogengewichtsstaumauer / Barrage poids-voûte
V Bogenstaumauer / Barrage-voûte
C Kuppelstaumauer / Barrage-coupole
F Pfeilerstaumauer / Barrage à contreforts
VM Pfeilergewölbestaumauer / Barrage à voûtes multiples
T Erddamm / Barrage en terre
E Steindamm / Barrage en enrochements
Bp Kleines Wehr / Petit barrage
Ra Kunstbecken / Réservoir artificiel

SPEICHERSEEN UND UNTERLIEGENDE KRAFTWERKE IN DEN WESTALPEN

BASSINS D'ACCUMULATION ET USINES EN AVAL DANS LES ALPES OCCIDENTALES

Tableau D — Tabelle D

No. [1]	SPEICHERSEE BASSIN D'ACCUMULATION	UNTERLIEGENDE KRAFTWERKE USINES EN AVAL	EIGENTÜMER BZW. NUTZUNGSBERECHTIGTER DES SPEICHERS PROPRIETAIRE RESP. CONCESSIONNAIRE DU BASSIN D'ACCUMULATION
1	Curnera	Sedrun*, Tavanasa	Kraftwerke Vorderrhein AG, Disentis/Mustèr
2	Nalps		
3	Sta. Maria		
4	Zervreila	Seekraftwerk, Safien Platz, Rothenbrunnen	Kraftwerke Zervreila AG, Vals
6	Gigerwald	Mapragg*, Sarelli*	Kraftwerke Sarganserland AG, Baden
7	Mapragg	Sarelli*	
5	Gübsenweiher	Kubelwerk St. Gallen	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG, St. Gallen
8	Parmort	Plons-Mels	Elektrizitätswerk d. politischen Gemeinde Mels
9	ob. Murgsee	Merlen, Plätz, Gödis	Elektrizitätswerk der Ortsgemeinde Murg
10	Muttsee	Limmern*, Tierfehd*, Linthal	Kraftwerke Linth-Limmern AG. Linthal
11	Limmernboden	Tierfehd*, Linthal	
12	Garichte	Schwanden	Kraftwerke Sernf-Niederenbach AG, Schwanden
13	Klöntalersee	Löntschwerk Netstal	Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK), Baden
14	Innerthal	Rempen, Siebnen	AG Kraftwerk Wäggital, Siebnen
15	Sihlsee	Etzelwerk Lidwil	Etzelwerk AG, Einsiedeln
16	Lago di Lucendro	Airolo, Piottino+Piotta, Nuova Biaschina	Aar e Ticino S.A., Olten/Bodio
17	Göscheneralp	Göschenen*, Wassen+Amsteg	Kraftwerke Göschenen AG, Göschenen
18	Glattalpsee	Sahli, Bisistal, Hinterthal, Wernisberg	Elektrizitätswerk des Bezirks Schwyz AG, Schwyz
19	Lauerzersee	Ingenbohl	K. Hürlimann Söhne AG, Brunnen
20	Bannalp	Oberrickenbach, Wolfenschiessen+Dallenwil	Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden, Stans
21	Tannensee	Melchseewerk Hugschwendialp+Kaiserstuhl, Unteraa, Alpnach	Kanton Obwalden (Gemeinde-Elektrizitätswerk Kerns)
22	Melchsee		
23	Lungernsee	Unteraa+Alpnach	Centralschweizerische Kraftwerke AG, Luzern
24	Aegerisee	Unterägeri, Neuägeri	Spinnereien Aegeri, Neuägeri
25	Oberaar	Oberaar* (Grimsel), Handeck I, Innertkirchen I*	Kraftwerke Oberhasli AG (KWO), Innertkirchen
26	Trübtensee		
39	Totensee	Handeck I, Innertkirchen I*	
27	Grimselsee		
29	Gelmersee		
28	Rätherichsboden	Handeck II*, Innertkirchen I*	
30	Mattenalp		
31	Engstlensee	Fuhren*, Hopflauenen°, Innertkirchen II	
32	Brienzersee	Interlaken	Industrielle Betriebe, Interlaken
33	Thunersee	Thun	Licht- und Wasserwerke, Thun
34	Sanetsch	Innergsteig+Montbovon, Hauterive, Oelberg, Schiffenen	Kraftwerk Sanetsch AG, Gsteig
35	Arnensee—Lac d'Arnon	Diablerets, Pont de la Tine, Les Farettes	Société des Forces Motrices de la Grande Eau, Aigle
36	Hongrin	Veytaux*	Forces Motrices de l'Hongrin-Léman S.A., Château d'Oex
37	Montsalvens	Broc, Hauterive, Oelberg, Schiffenen	Entreprises Electriques Fribourgeoises, Fribourg
38	Greyerzersee — Lac de la Gruyère	Hauterive, Oelberg, Schiffenen	
40	Gries	Altstafel*, Bavona*, Cavergno*, Verbano*	Kraftwerk Aegina AG, Ulrichen
41	Gebidem	Bitsch*+Chippis, Lavey*	Electra Massa AG, Naters
42	Mattmark	Zermeiggern, Stalden*	Kraftwerke Mattmark AG, Saas-Grund
43	Z'Mutt	Station de pompage Z'Mutt*	Grande Dixence S.A., Sion
45	Illsee	Oberems, Turtmann	Illsee-Turtmann AG (ITAG), Oberems
44	Turtmann	Motec, Vissoie, Chippis	Forces Motrices de la Gougra S.A., Sierre
46	Moiry		
47	Zeuzier	Croix*, St. Léonard	Electricité de la Lienne S.A., Sion
48	Grande Dixence	Stations de pompage Z'Mutt*, Stafel, Ferpècle*, Arolla; Fionnay*, Nendaz* resp. Chandoline	Grande Dixence S.A., Sion resp.
49	Cleuson	Station de pompage St. Barthélemy; Chandoline	S.A. L'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS), Lausanne
50	Lac de Fully	Fully	S.A. L'Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne
51	Mauvoisin	Fionnay*, Riddes	Forces Motrices de Mauvoisin S.A., Sion
52	Les Toules	Pallazuit+Orsières, Sembrancher, Martigny-Bourg	Forces Motrices du Grand St. Bernard, Bourg-St. Pierre
53	Vieux Emosson	Châtelard, Vernayaz	Chemins de fer féderaux suisses (CFF), Berne
54	Emosson	Châtelard-Vallorcine, La Bâtiaz (ESA) resp. Châtelard, Vernayaz (CFF)	Electricité d'Emosson S.A./ESA, Martigny
55	Salanfe	Miéville*	Salanfe S.A., Vernayaz
56	Lac de Tanay	Vouvry	Société des Forces Motrices de la Grande Eau, Aigle

[1] No. in der Übersichtskarte
No dans la carte synoptique

* Kaverne
caverne

° Halbkaverne bzw. eingeerdet
semi-caverne resp. enterrée

No. [1]	SPEICHERSEE BASSIN D'ACCUMULATION	UNTERLIEGENDE KRAFTWERKE USINES EN AVAL	EIGENTÜMER BZW. NUTZUNGSBERECHTIGTER DES SPEICHERS PROPRIETAIRE RESP. CONCESSIONNAIRE DU BASSIN D'ACCUMULATION
57	Le Jotty	Bioge	Electricité de France (EDF), Paris
58	Lac d'Aiguebelette	La Bridoire	
59	Lac de la Sassière	Le Saut*, Le Chevril, Brévières, Malgovert+Pomblière, Moutiers, Randens*	
60	Lac du Chevril (Tignes)	Brévières . . . Randens*	
61	Lac de la Girotte	Belleville, Hauteluce II, Beaufort, Villard, Queige, Roengers, Venthon	
62	Roselend	La Bathie*	
63	La Gittaz		
64	St. Guérin		
65	Plan d'Amont	Plan d'Aval, Aussois+paliers sur l'Arc: La Praz, Prémont, La Saussaz, St. Michel de Maurienne, St. Félix, Montricher, St. Jean de Maurienne, Pontamafrey, La Christine (anciennes) resp. Orelle*, La Saussaz II*, L'Echaillon*, Le Cheylas* (nouveaux)	Electricité de France (EDF), Paris
66	Plan d'Aval	Aussois+La Praz . . . La Christine resp. Orelle . . . Le Cheylas*	
67	Bissorte	Bissorte (La Praz)+Prémont . . . La Christine resp. Saussaz II* . . . Le Cheylas*	
68	Pont des Chèvres	Prémont . . . La Christine Saussaz II* . . . Le Cheylas*	
69—72	Sept Laux	Fond de France+paliers sur le Bréda: Prémoinet, Riondet, Pinsot, Bout du Monde, Le Parc, Bréda, Pontcharra	
73	Lac du Crozet	Pré du Fourneau, Lancey	
74	Le Sautet	Le Sautet°, Cordéac, Cognet°, Monteynard, St. Georges de Commiers, Champ sur Drac II, Pont de Claix (Drac-Romanche), Rondeau (Drac inférieur)	
75	St. Pierre-Cognet	Cognet° . . . Rondeau	
76	Monteynard	Monteynard . . . Rondeau	
77	Notre Dame de Commiers	St. Georges de Commiers . . . Rondeau	
78	Le Chambon	Chambon, St. Guillerme+Livet, Les Vernes, Les Roberts, Rioupéroux, Les Clavaux, Pierre-Eybesse Noyer-Chut, Péage de Vizille+paliers sur le Drac: Pont de Claix, Rondeau	Electricité de France (EDF), Paris
79	Lac de Bramant	Le Rivier, Le Verney, Fonderie d'Allemont, Livet (Romanche) . . . Rondeau (v. No. 78)	
80	Lac Mort	Lac Mort+Pont de Claix, Rondeau	
81/82	Lacs de Laffrey	Jouchy-Loula+Pont de Claix, Rondeau	
83	Bouvante	Bouvante	
84	Pont Baldy	Pont Baldy*, L'Argentière+Durance à partir de Serre Ponçon (v. No. 85)	Régie Municipale d'Electricité de Briançon
85	Serre Ponçon	Serre Ponçon*, Curbans*, Ventavon, Le Poët (en projet Sisteron, Aubignosc), Oraison*, La Brillanne, Le Largue, Manosque, Ste. Tulle I/II, Beaumont, Jouques, St. Estève-Janson, Mallemort, Salon, St. Chamas	Electricité de France (EDF), Paris
86	Espinasses	Curbans . . . St. Chamas	Syndicat d'Irrigation
87	La Laye	Jouques . . . St. Chamas	
88	Castillon	Castillon, Chaudanne, Ste. Croix, Quinson, Vinon (en projet Cadarache)+Jouques . . . St. Chamas	Electricité de France (EDF), Paris
89	Chaudanne	Chaudanne . . . St. Chamas	
90	Ste. Croix	Ste. Croix . . . St. Chamas	
91	Gréoux	Vinon . . . St. Chamas	
92	Bimont	— (Irrigation — Bewässerung)	
93	Trapan	— (Alimentation en eau — Wasserversorgung)	Société du Canal de Provence
94	Carcès	— (Irrigation — Bewässerung)	Société des Eaux, Toulon
95	St. Cassien	St. Cassien*, Tanneron	
96	Lac Long (Gordolasque)	Belvédère, St. Martin vesubie, Roquebillière, St. Jean la Rivière	Electricité de France (EDF), Paris
97—100	Lacs de Casterino	Les Mesces, St. Dalmas, Paganin, Fontan, Breil (EDF)	
101	Lac Long (Inferno)	Airola, Bevera (ENEL)	
102	Les Mesces	St. Dalmas . . . Bevera	
106	Mont Cenis	France: Villarodin+Orelle* . . . Cheylas* Italia: Stazione di pompaggio Pian Suffi, Venalzio*, Mompantero	EDF, Paris ENEL, Comp. di Torino

[1]) No. in der Übersichtskarte
No dans la carte synoptique

* Kaverne
caverne

° Halbkaverne bzw. eingeerdet
semi-caverne resp. enterrée

No. [1]	SPEICHERSEE BASSIN D'ACCUMULATION	UNTERLIEGENDE KRAFTWERKE USINES EN AVAL	EIGENTÜMER BZW. NUTZUNGSBERECHTIGTER DES SPEICHERS PROPRIETAIRE RESP. CONCESSIONNAIRE DU BASSIN D'ACCUMULATION
103	Piastra	Andonno	Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (ENEL), Compartimento di Torino
104	Castello	Casteldelfino, Sampeyre, Brossasco	
105	Rochemolles	Bardonecchia, Conlegno (F. S.)+Chiomonte, Susa (AEM Torino)	Ferrovie dello Stato (F. S.), Roma
107	Lago della Rossa	Dietro la Torre, Crot, Lemie, Fucine	ENEL, Comp. di Torino
108	Malciaussia	Crot, Lemie, Fucine	
109	Lago d'Agnel	Villa, Rosone I, Bardonetto, Pont	Azienda Elettrica Municipale di Torino (AEM Torino), Torino
110	Lago Serrù		
111	Ceresole Reale	Rosone I, Bardonetto, Pont	
113	Valsoera	Telessio*, Rosone II, Bardonetto, Pont	
112	Pian Telessio	Rosone II, Bardonetto, Pont	
114	Eugio		
116	Beauregard	Avise*+paliers sur la Dora Baltea: Sarre*, Quart*, Pontey*, Montjovet*, Hône*, Bard, Carema, Quincinetto	ENEL, Comp. di Torino
117	Place Moulin	Valpelline, Signayes*+Quart* . . . Quincinetto	
118	Lago Goillet	Perrères, Maen, Covalou, Chaillon+Montjovet* . . . Quincinetto	
119	Cignana	Maen, Covalou . . . Quincinetto	
120	Lago del Gabiet	Gressoney, Sendren, Zuino, Pont St. Martin+Bard . . . Quincinetto	
121	Lago Vargno	Sendren . . . Quincinetto	
115	Gole di Gurzia	Ponte Preti	
122	Sessera	Varallo	Lanificio Zegna
123	Sabbione	Morasco*, Motta, Fondovalle, Feltrinelli, Crego, Crevola I, Gasparoni, Villadossola II	ENEL, Comp. di Milano
124	Morasco	Motta (trois conduites — drei Aeste) . . . Villadossola II	
125	Val Toggia		
126	Lago Castel		
127	Obersee		
129	Lago Busin		
128	Lago Vannino		
130	Codelago	Devero, Goglio, Conti+Crevola I, Gasparoni, Villadossola II	
131	Agaro	Goglio . . . Villadossola II	
132	Lago d'Avino	Varzo, Crevola II*+Gasparoni, Villadossola II	
133	Larecchio	Cipata, Ceretti, Pontetto, Montecreteste+Gasparoni, Villadossola II	
134	Camposecco	Camplicciolì, Pirelli, Colombo	
135	Lago Cingino		
136	Camplicciolì	Pirelli (trois conduites — drei Aeste), Colombo	
137	Lago d'Antrona		
138	Alpe Cavalli		
139	Ceppi Morelli	Ceppi Morelli, Piedimulera, Pestarena	
140	Lago Delio	Roncovalgrande*	
141	Creva	Creva	Maggia Kraftwerke AG (MKW), Locarno; Officine Idroelettriche della Maggia S.A., Locarno
142	Cavagnoli	Robiei*, Bavona*, Cavergno*, Verbano*	
	Lago Sfundau		
145	Lago di Naret		
143	Robiei	Bavona*, Cavergno*, Verbano*	
144	Zöt		
146	Sambuco	Peccia*, Cavergno*, Verbano*	
147	Palagnedra	Verbano*	
148	Vogorno	Contra*	Verzasca S.A., Lugano
149	Lago Sella	Airolo, Piottino+Piotta, Nuova Biaschina	Aar e Ticino S.A., Olten/Bodio
150	Lago Cadagno	Ritom+Piottino, Nuova Biaschina	Schweizerische Bundesbahnen (SBB), Bern
151	Lago Ritom		
152	Lago di Tremorgio	Rodi, Nuova Biaschina+Piottino	Azienda Elettrica Ticinese/AET, Bellinzona
153	Lago di Chironico	Ticinetto+Nuova Biaschina	Società Elettrica Sopracenerina S.A., Locarno
154	Luzzone	Olivone*, Biasca*	Officine Idroelettriche di Blenio S.A., Olivone
155	Malvaglia	Biasca*	
156	Isola	Isola*, Soazza*	Misoxer Kraftwerke AG, Mesocco

[1] No. in der Übersichtskarte
No dans la carte synoptique

* Kaverne
caverne

° Halbkaverne bzw. eingeerdet
semi-caverne resp. enterrée