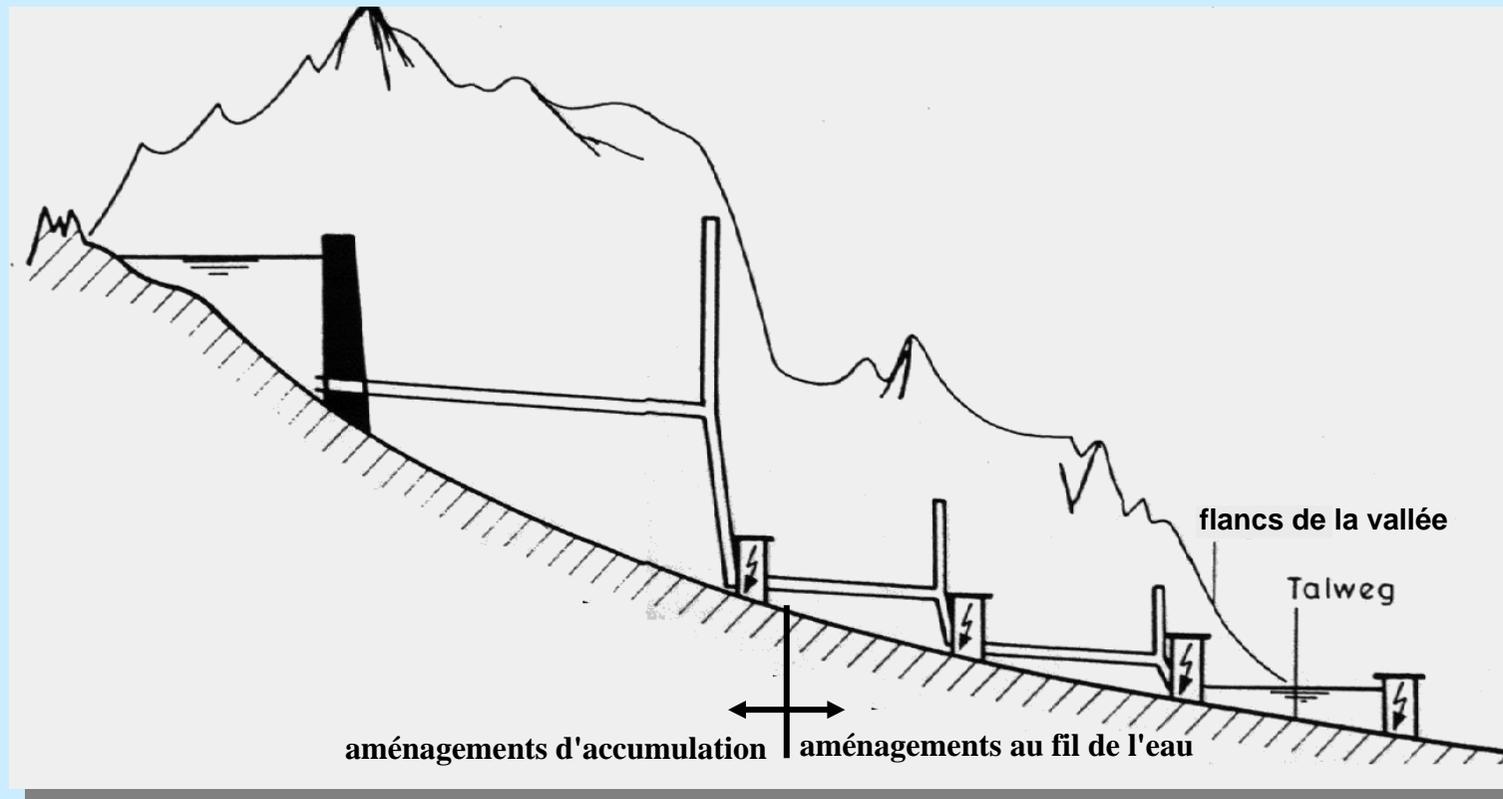


Aménagements hydrauliques

Aménagements hydroélectriques

Aménagement systématique d'un cours d'eau avec des centrales hydroélectriques



haute chute > 200 m

moyenne chute

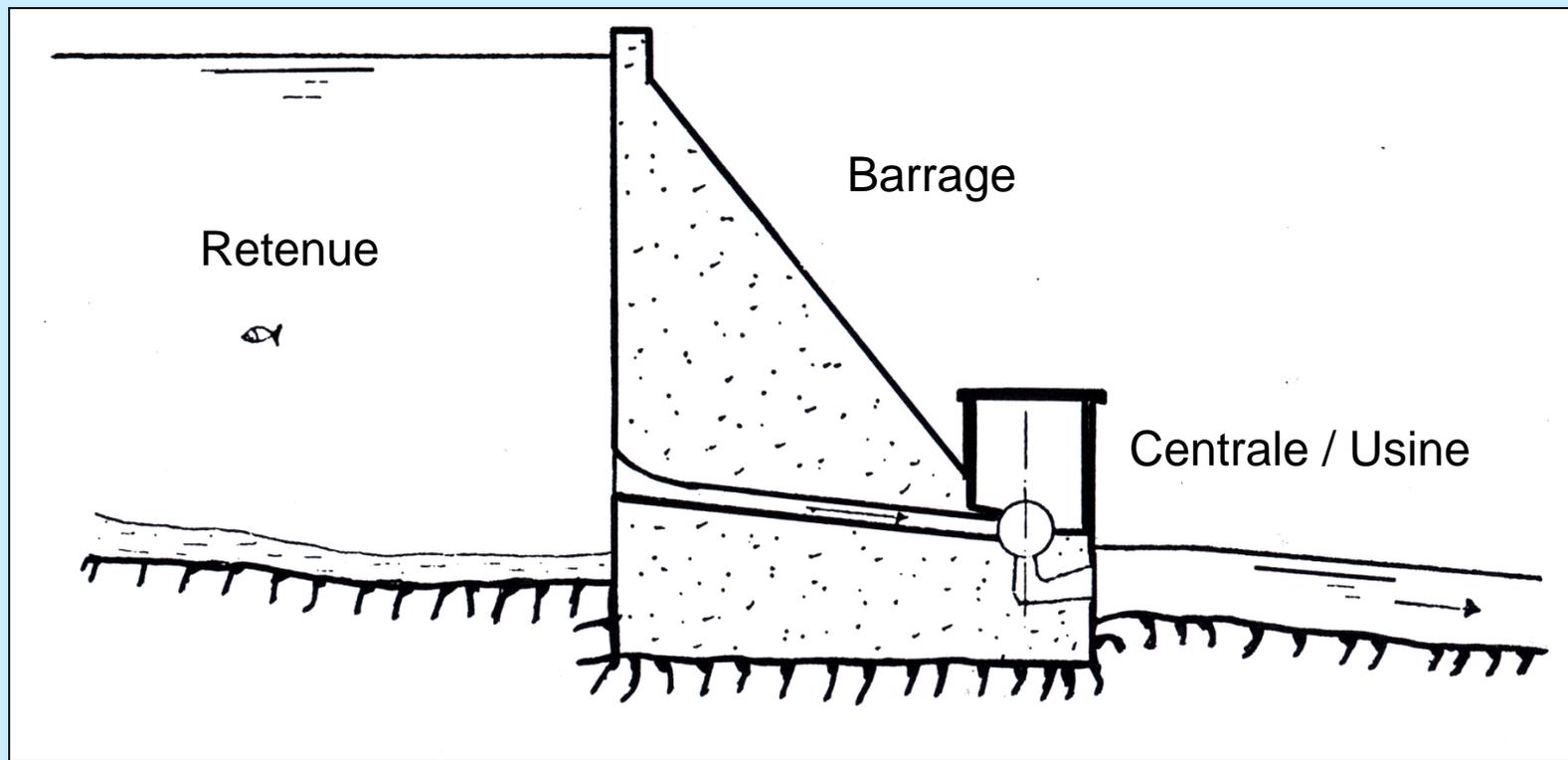
basse chute < 40 m

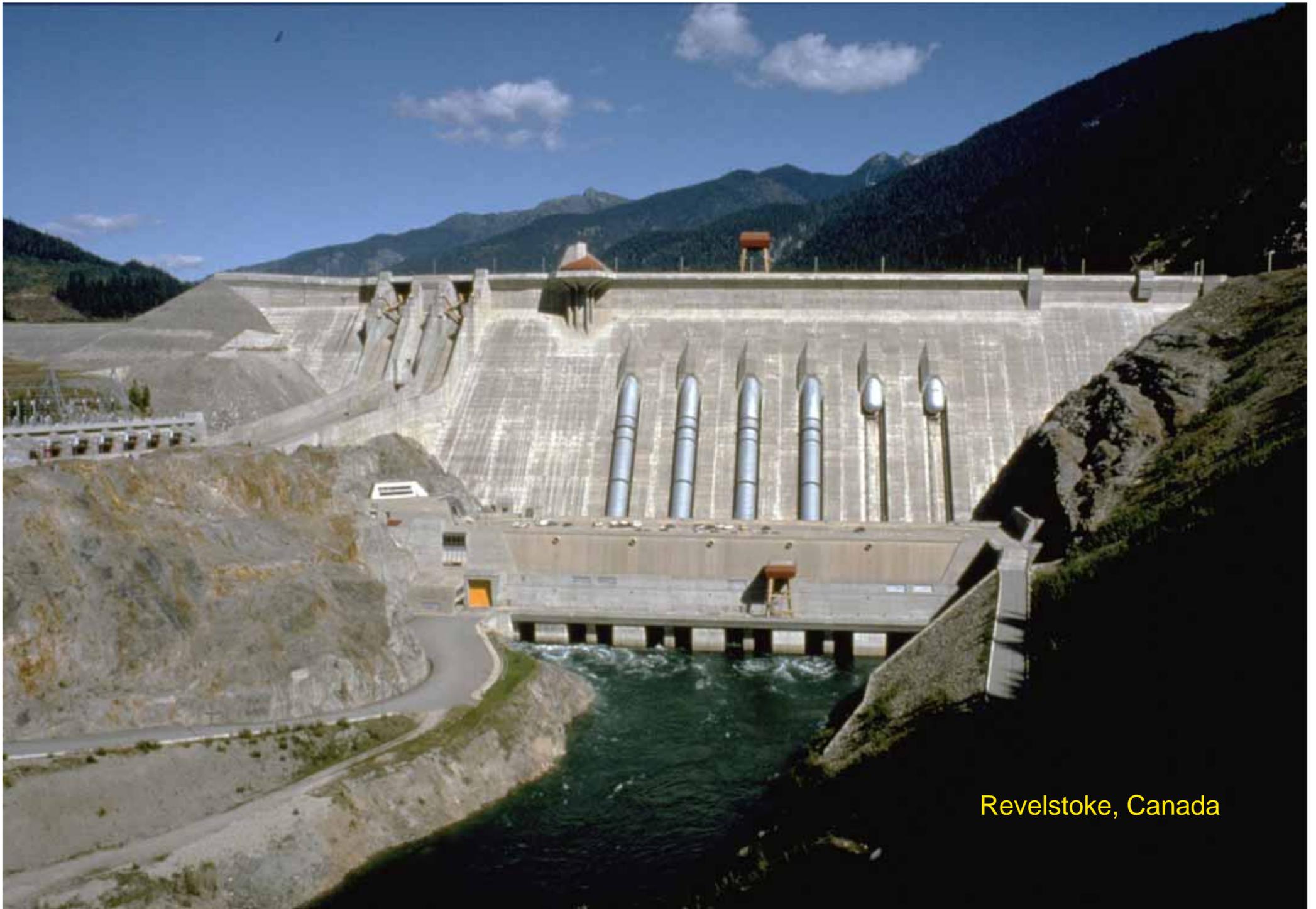
Aménagements à moyenne chute

- ⇒ chute entre 40 et 200 m, débits importants
- ⇒ construits sur les cours d'eau moyens des rivières
- ⇒ utilisation comme aménagement au fil de l'eau ou aménagement à accumulation (en cas de présence d'une retenue)
- ⇒ deux types d'aménagements
 - ◆ aménagement avec canal ou galerie d'amenée, la centrale est aménagée jusqu'à quelques kilomètres à l'aval du barrage (= aménagement avec dérivation d'eau)
 - ◆ aménagement sans canal ou galerie d'amenée avec une centrale située directement au pied du barrage (= aménagement sans dérivation d'eau = barrage-usine)

Aménagements à moyenne chute

Type: barrage usine (sans dérivation d'eau)





Revelstoke, Canada

Exemples d'aménagements à moyenne chute de type barrage-usine

Aménagement (Pays)	Chute brute	Débit équipé	Puissance installée	Volume utile de la retenue	Type de barrage	Année d'achèvement
Schiffenen (Suisse)	44 m	123 m ³ /s	71 MW	35 x 10 ⁶ m ³	poids-voûte	1964
Zervreila (Suisse)	127 m	20 m ³ /s	22.4 MW	100 x 10 ⁶ m ³	voûte	1958
Hoover (Etats Unis)	195 m	850 m ³ /s	1'345 MW	35'200 x 10 ⁶ m ³	poids-voûte	1936
Shahid Abbaspour (Iran)	170 m	760 m ³ /s	1'000 MW	1'420 x 10 ⁶ m ³	voûte	1976
Génissiat (France)	70 m	720 m ³ /s	425 MW	12 x 10 ⁶ m ³	poids	1949
Itaipu (Brésil)	120 m	12'600 m ³ /s	12'600 MW	29'000 x 10 ⁶ m ³	à contreforts	1982
Trois Gorges (Chine)	113 m	25'250 m ³ /s	18'200 MW	39'000 x 10 ⁶ m ³	poids	2010

Schiffenen, Fribourg, 47 m, 1963







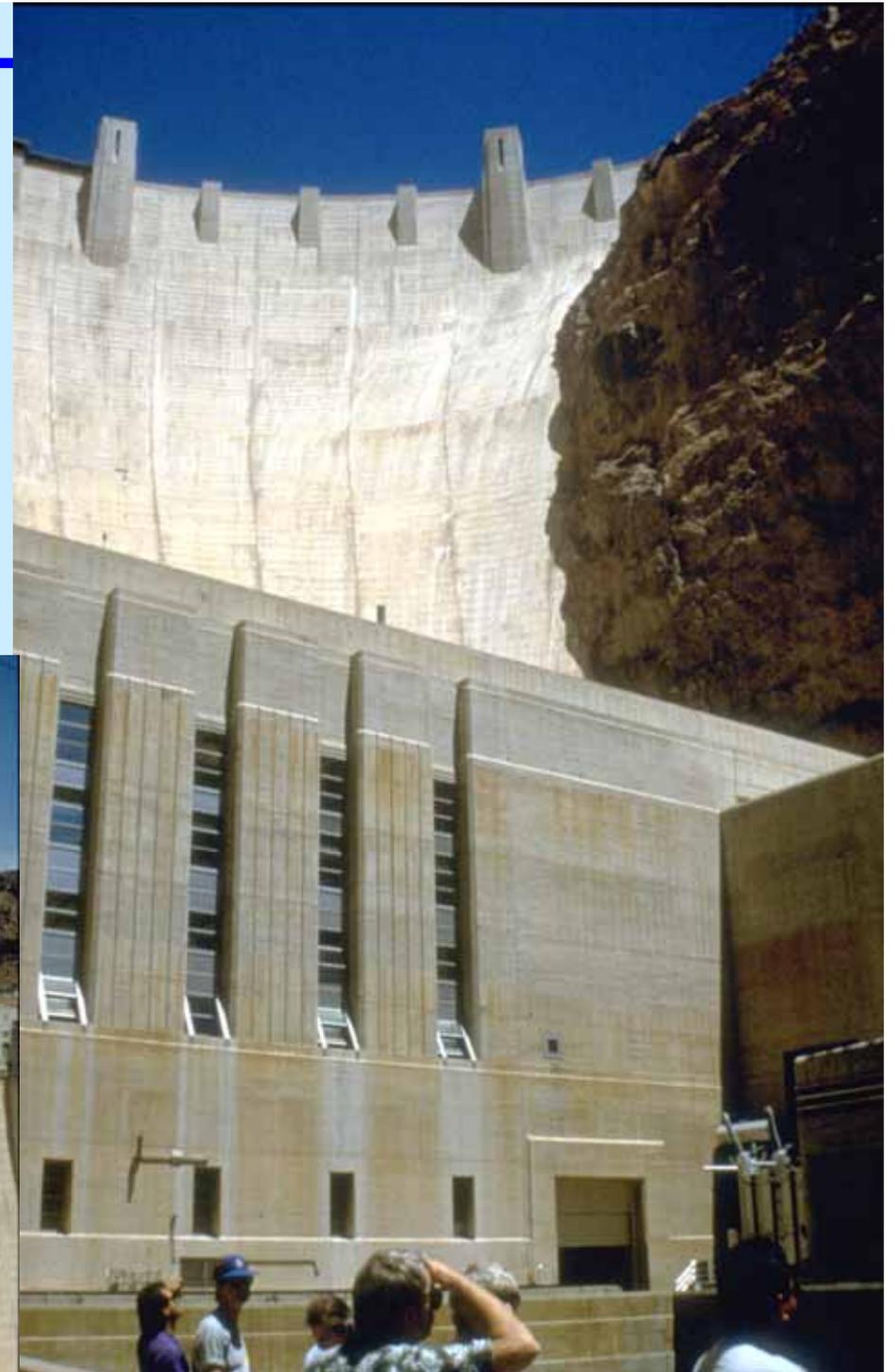
Zervreila, Grison, 127 m



Hoover Dam, Arizona

Aménagements hydrauliques

Aménagements hydroélectriques





Itaipu, Brésil



Itaipu, Brésil

87 4 28



Itaipu, Brésil



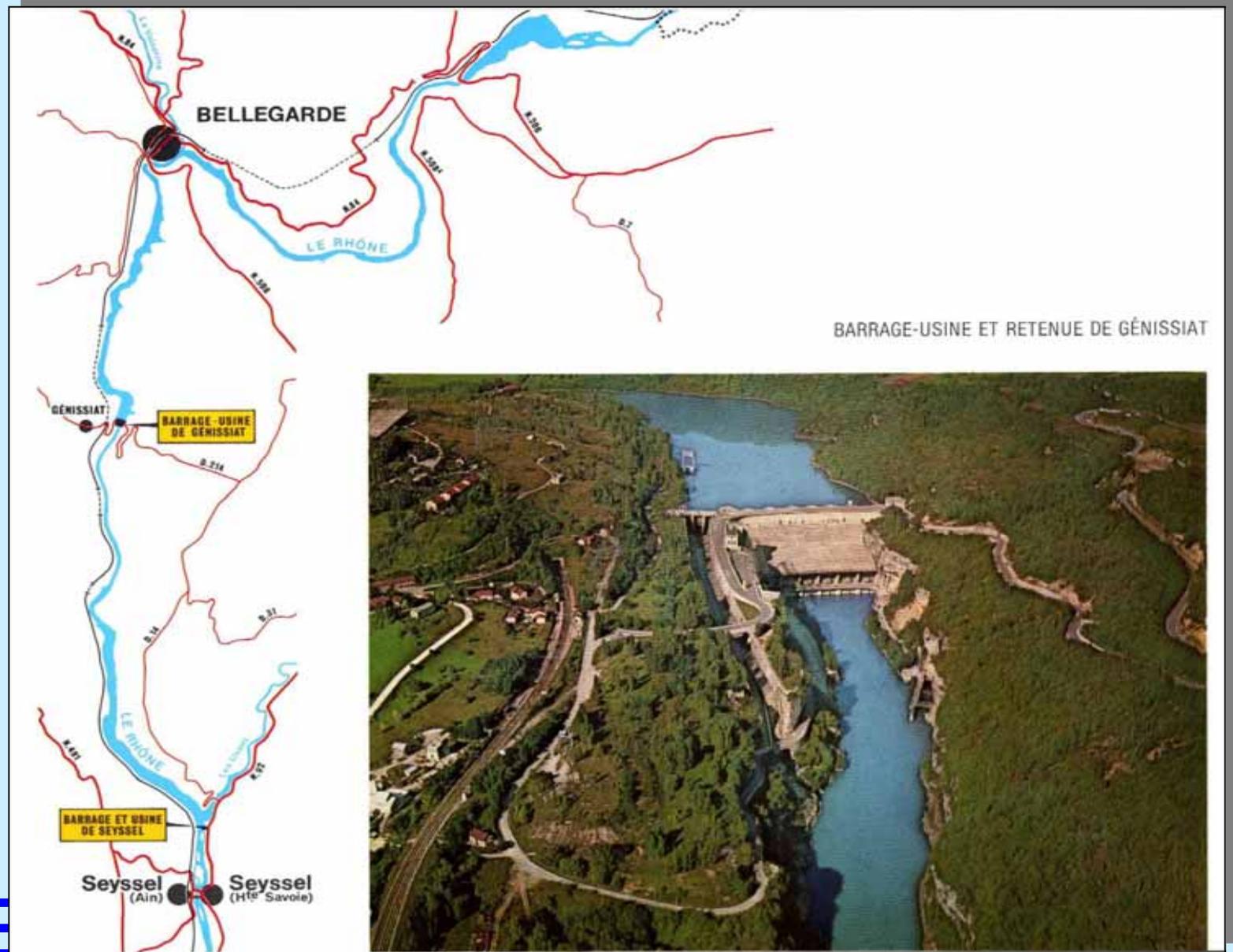
Itaipu, Brésil

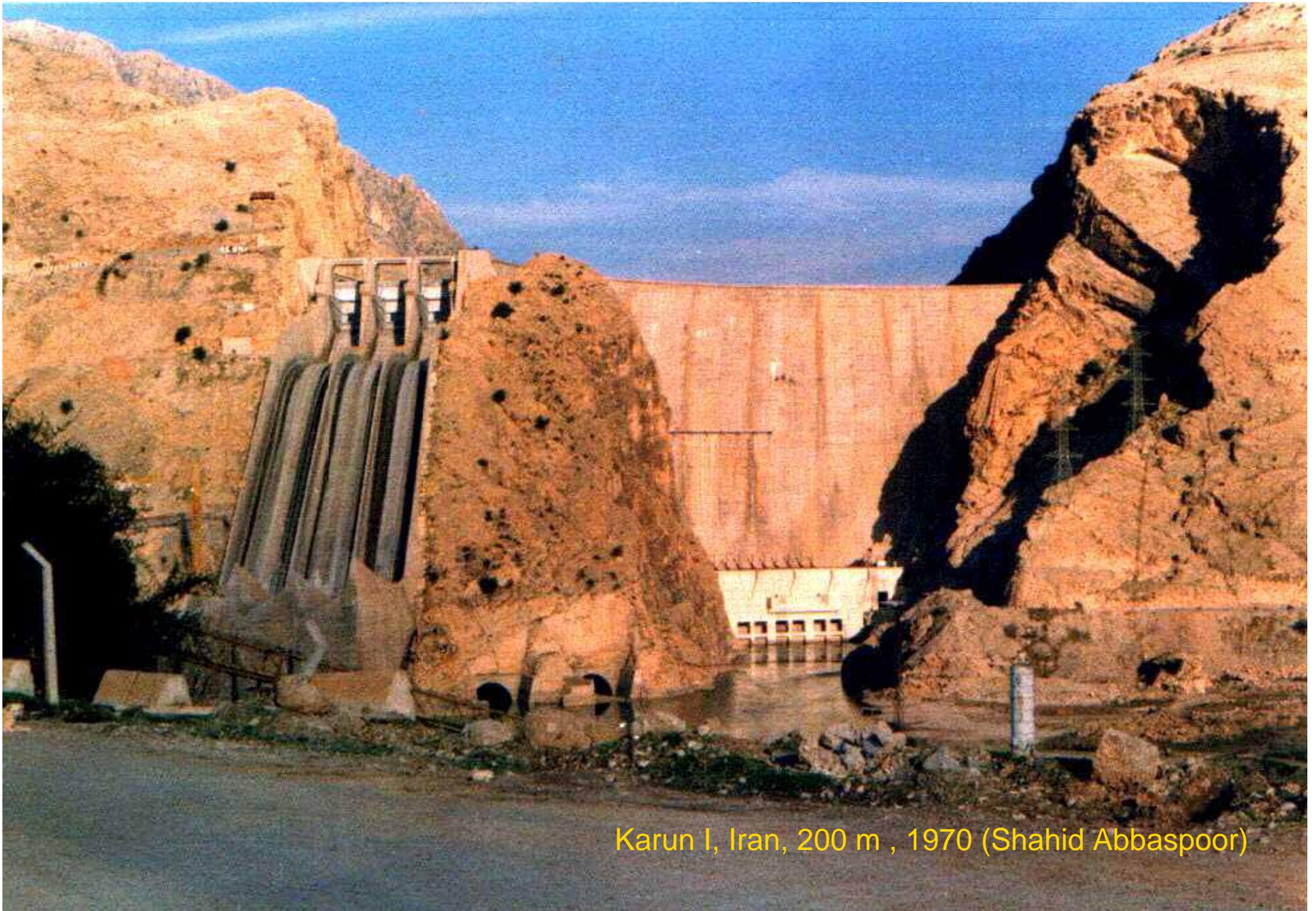
Génissiat



Aménagements hydrauliques

Aménagements hydroélectriques





Karun I, Iran, 200 m , 1970 (Shahid Abbaspour)

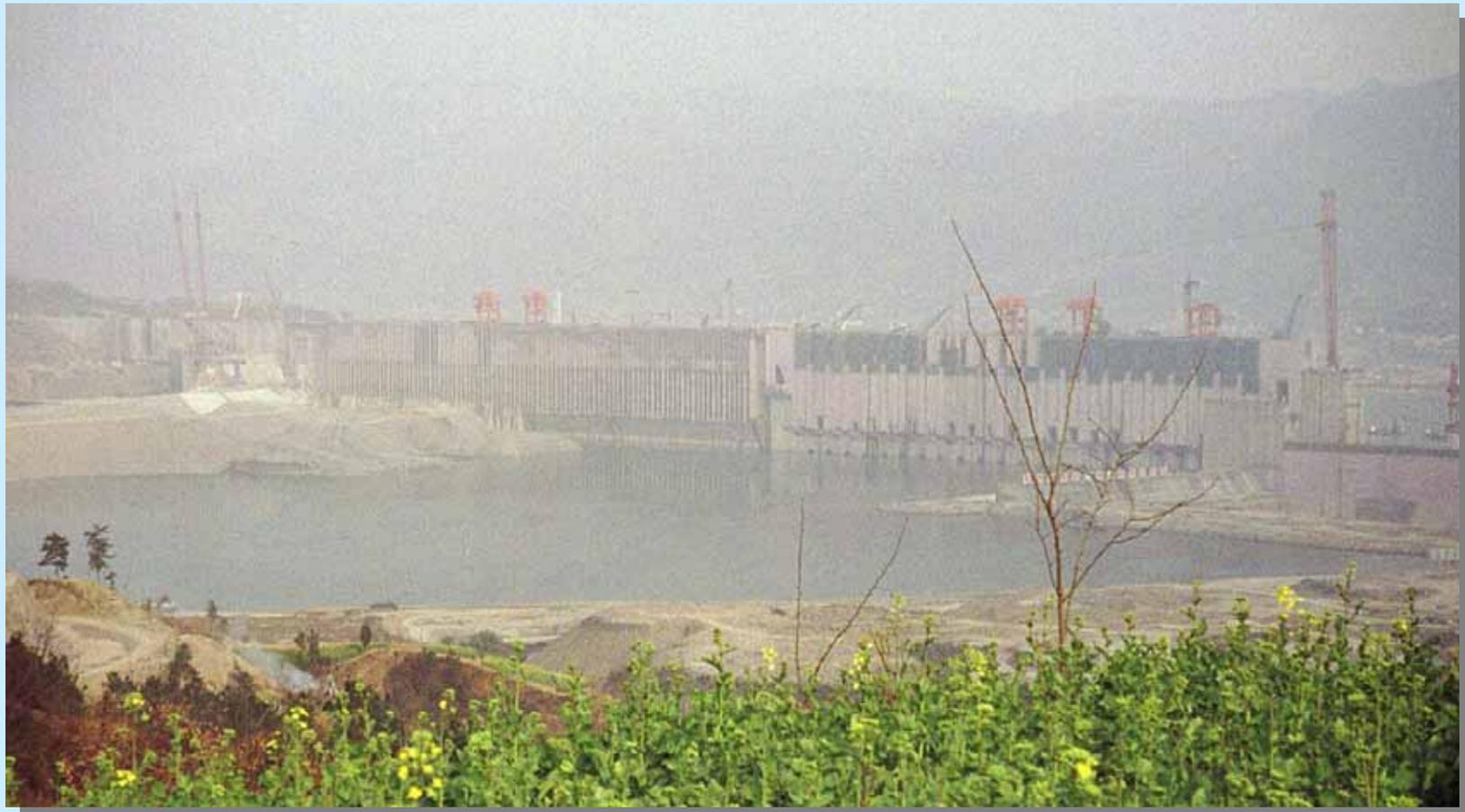
Karun I, Iran, 200 m , 1970 (Shahid Abbaspoor)





Karun I, Iran, 200 m , 1970 (Shahid Abbaspoor)

Barrage des Trois Gorges sur le Yangtze en Chine





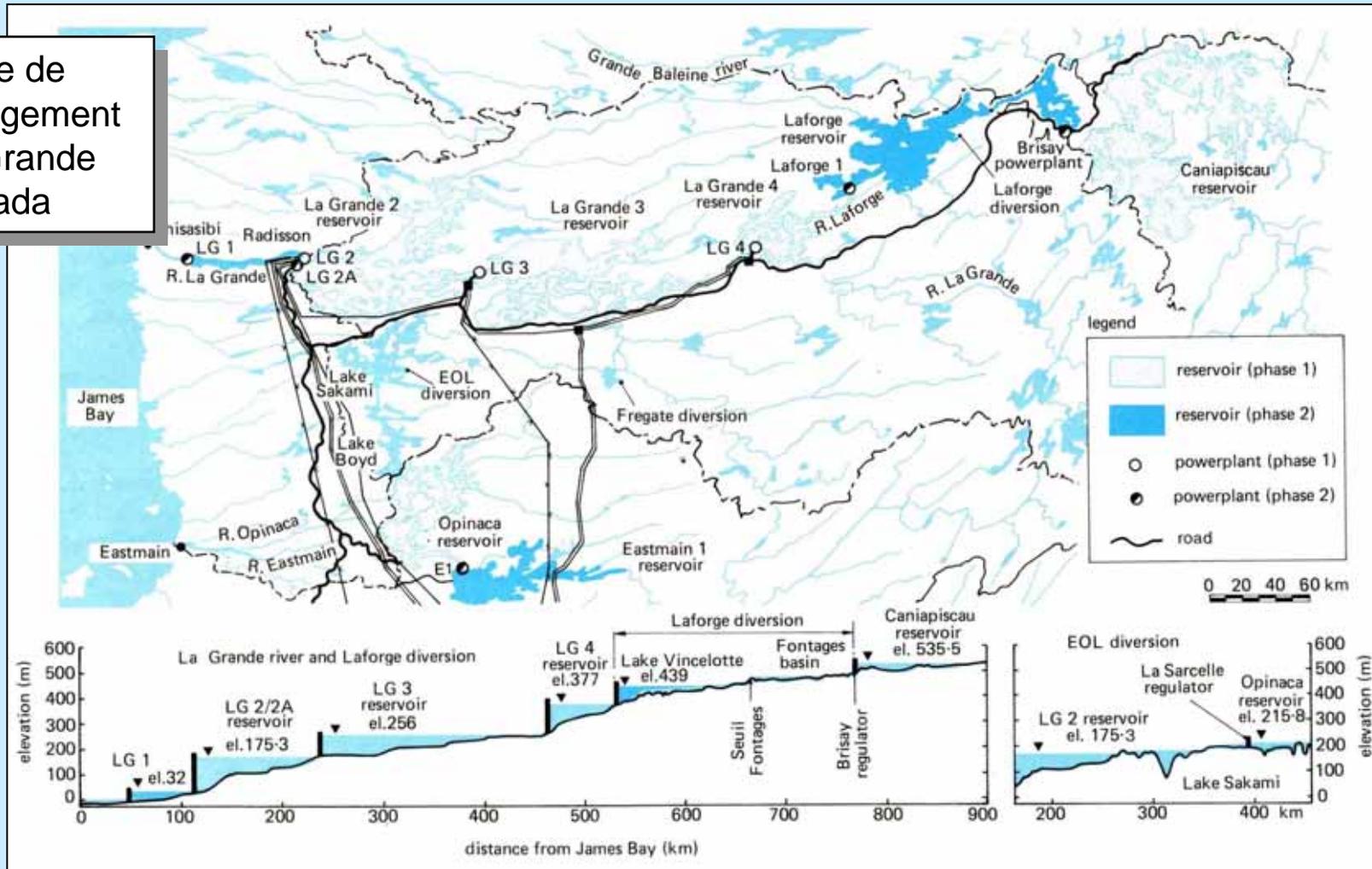


Aménagements hydrauliques

Aménagements hydroélectriques

Aménagements à moyenne chute disposés "en cascade"

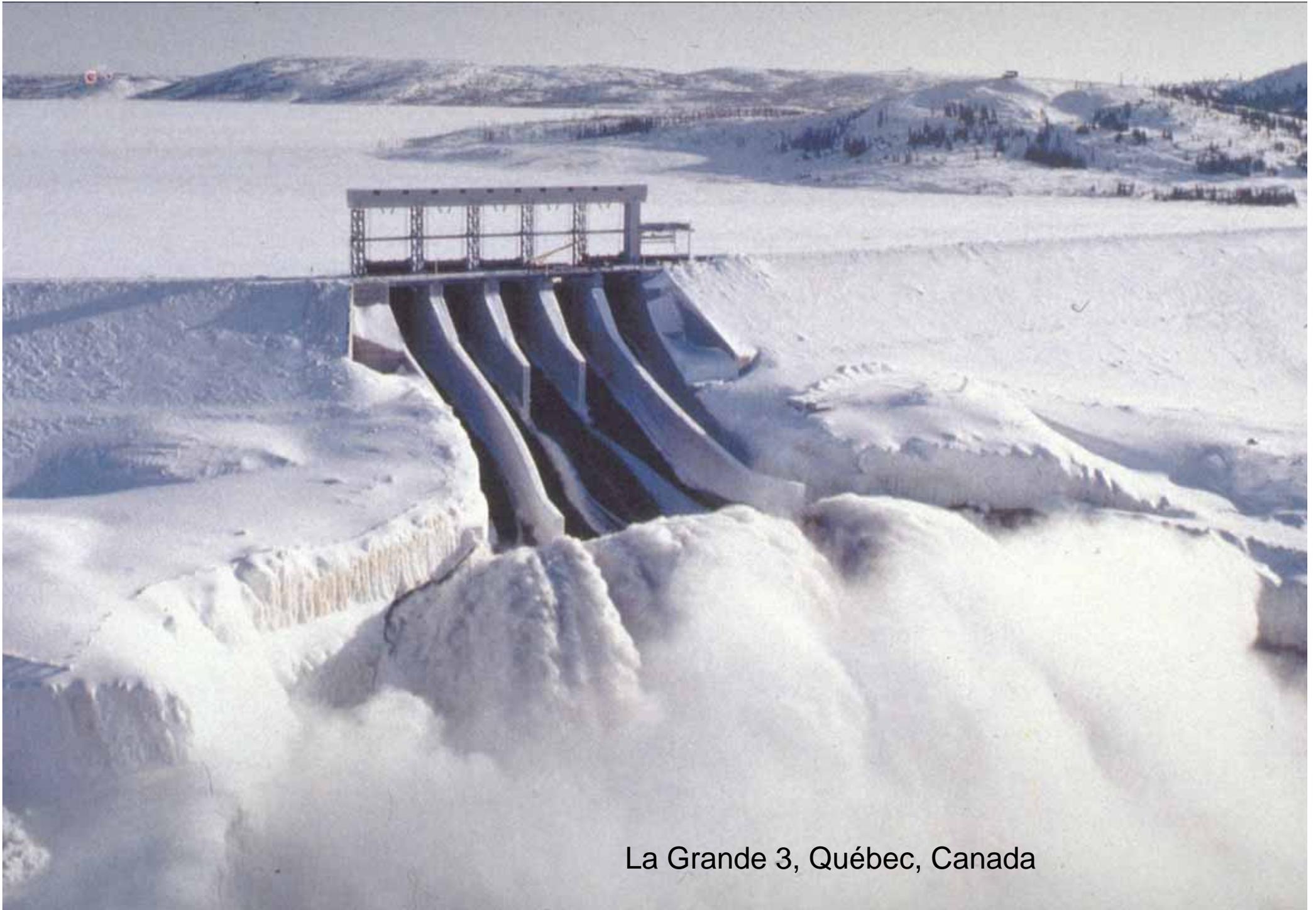
Exemple de l'aménagement de La Grande au Canada



Aménagements à moyenne chute disposés "en cascade"

Exemple de l'aménagement de La Grande au Canada

Centrale/Usine	Puissance installée	Chute nette	Débit équipé	Année d'achèvement
La Grande 2	5328 MW	142 m	4800 m ³ /s	1978
La Grande 3	2304 MW	76 m	2900 m ³ /s	1981
La Grande 4	2650 MW	119 m	2100 m ³ /s	1984
La Grande 2A	1998 MW	138.5 m	1620 m ³ /s	1992
La Grande 1	1368 MW	27.5 m	595 m ³ /s	1995
La Forge 1	820 MW	57.3 m	1613 m ³ /s	1994
La Forge 2	280 MW	26.9 m	1200 m ³ /s	1997
Brisbay	460 MW	37.5 m	1133 m ³ /s	1993



La Grande 3, Québec, Canada



La Grande 2, Québec, Canada

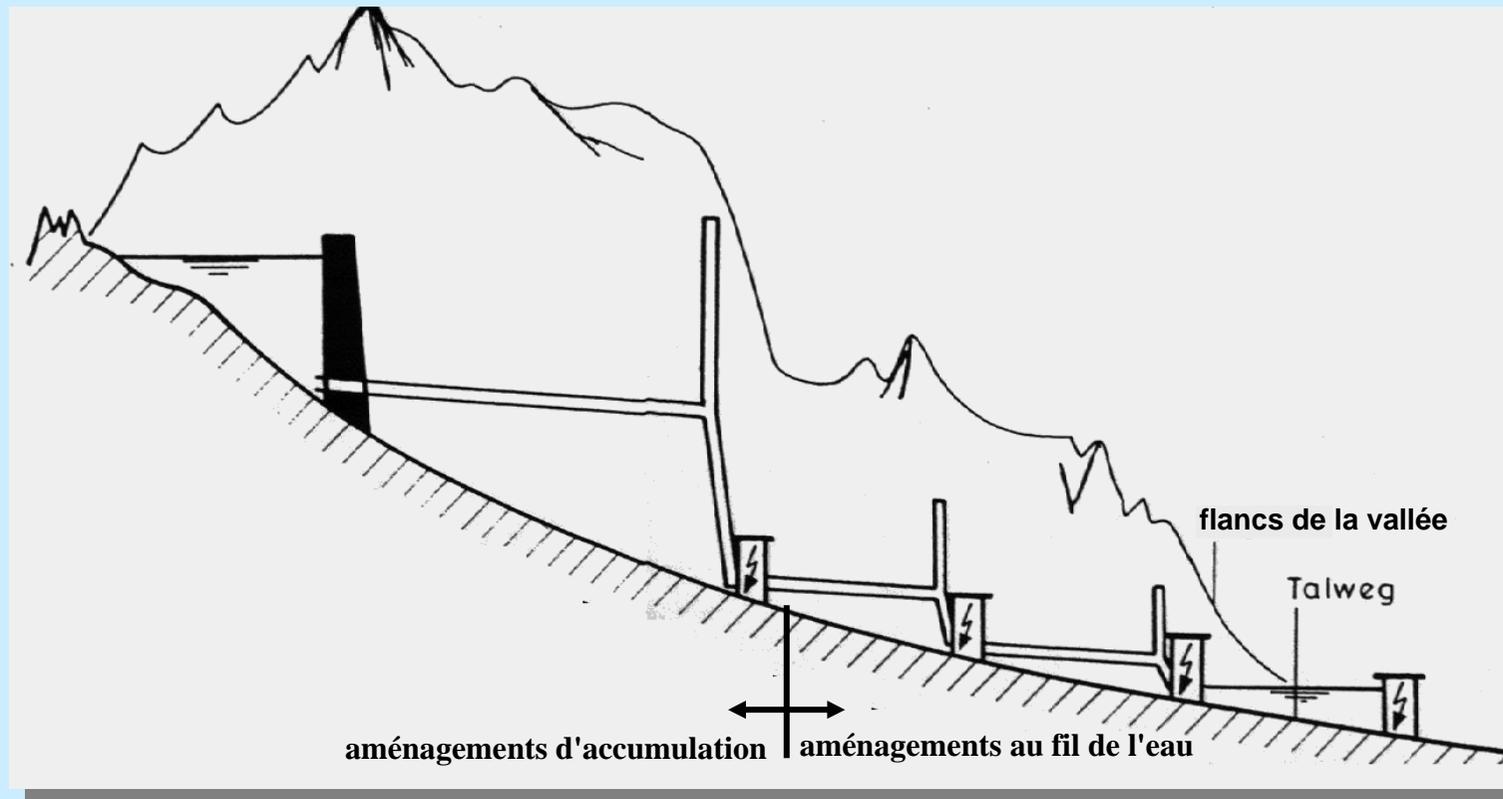


La Grande 2, Caniapiscou, Canada

Aménagements hydrauliques

Aménagements hydroélectriques

Aménagement systématique d'un cours d'eau avec des centrales hydroélectriques



haute chute > 200 m

moyenne chute

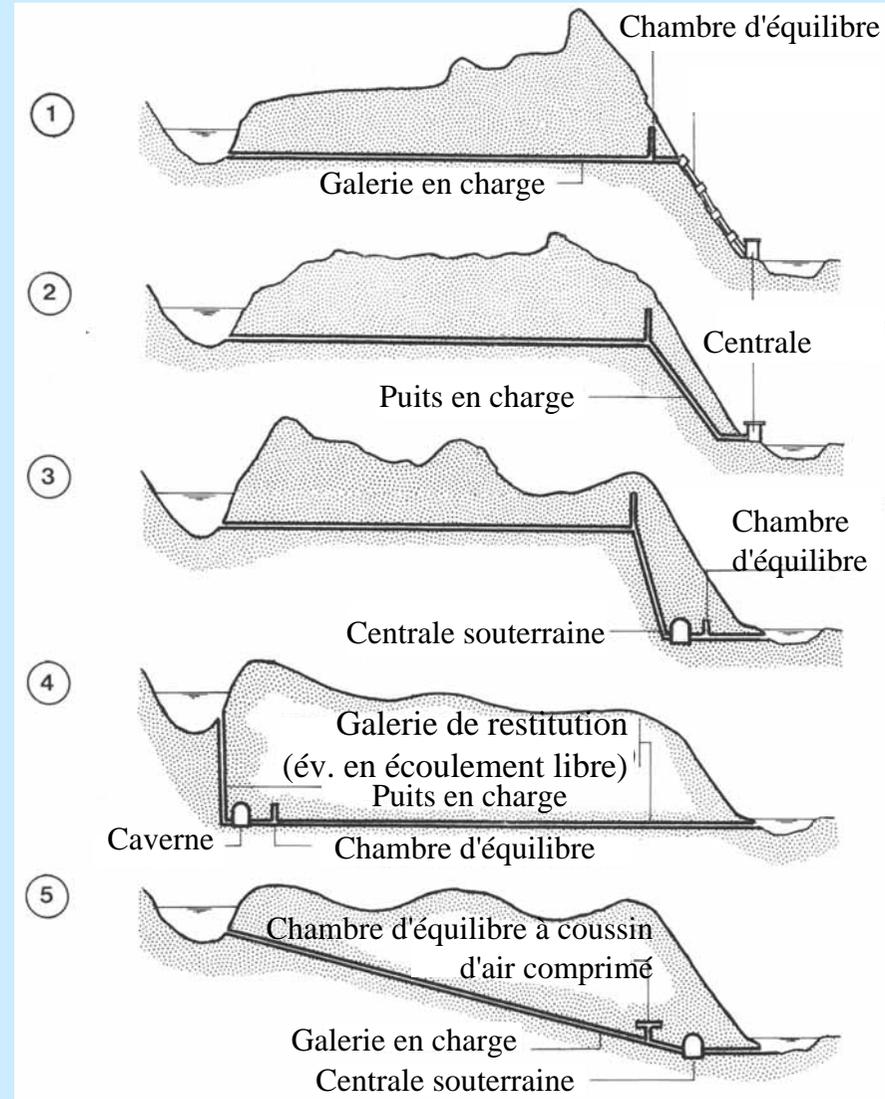
basse chute < 40 m

Aménagements à haute chute

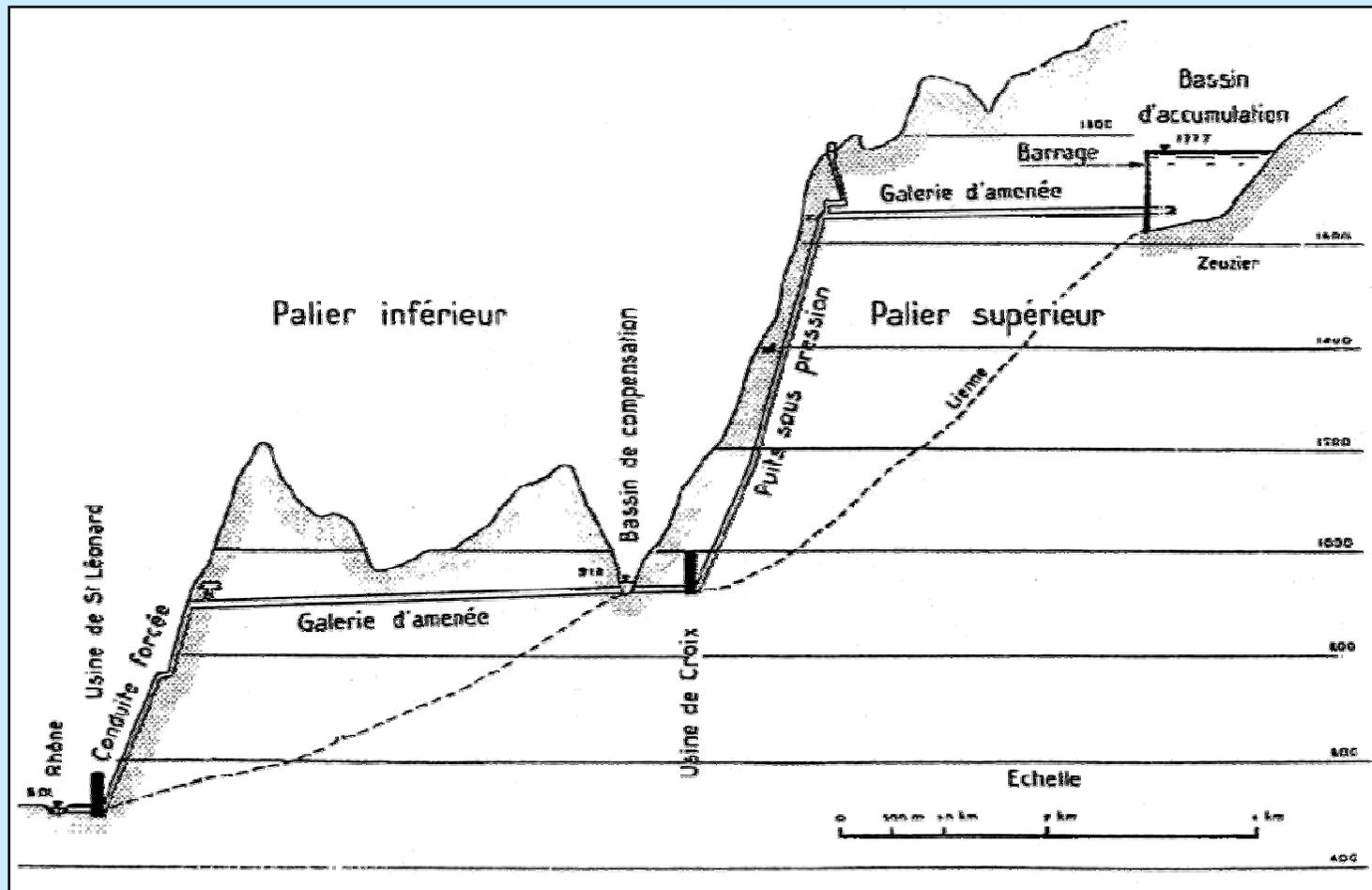
- ⇒ chute > 200 m, débits importants
- ⇒ situés dans la partie amont des bassins versants
- ⇒ pente du cours d'eau doit être forte pour que les ouvrages de dérivation soient aussi courts que possible
- ⇒ en général des aménagements avec dérivation d'eau (ouvrages de dérivation de grande longueur)
- ⇒ ouvrages d'amenée avec écoulement en charge (grandes fluctuations du niveau de la retenue, souplesse à l'exploitation)

Aménagements hydrauliques Aménagements hydroélectriques

Evolution de la
disposition des
aménagements à
haute chute



Disposition courante d'un aménagement à haute chute en Suisse



Aménagement d'ensemble d'un bassin versant par un complexe à haute chute

Principaux types de solutions:

- a) aménagements en "Y"
- b) aménagements avec prises secondaires
- c) alimentation d'un réservoir par des bassins versants latéraux (par gravité ou par pompage)
- d) prise d'eau et restitution dans deux cours d'eau différents (transfert de l'eau d'un bassin versant à un autre)
- e) aménagements en paliers successifs
- f) aménagements à retenues multiples

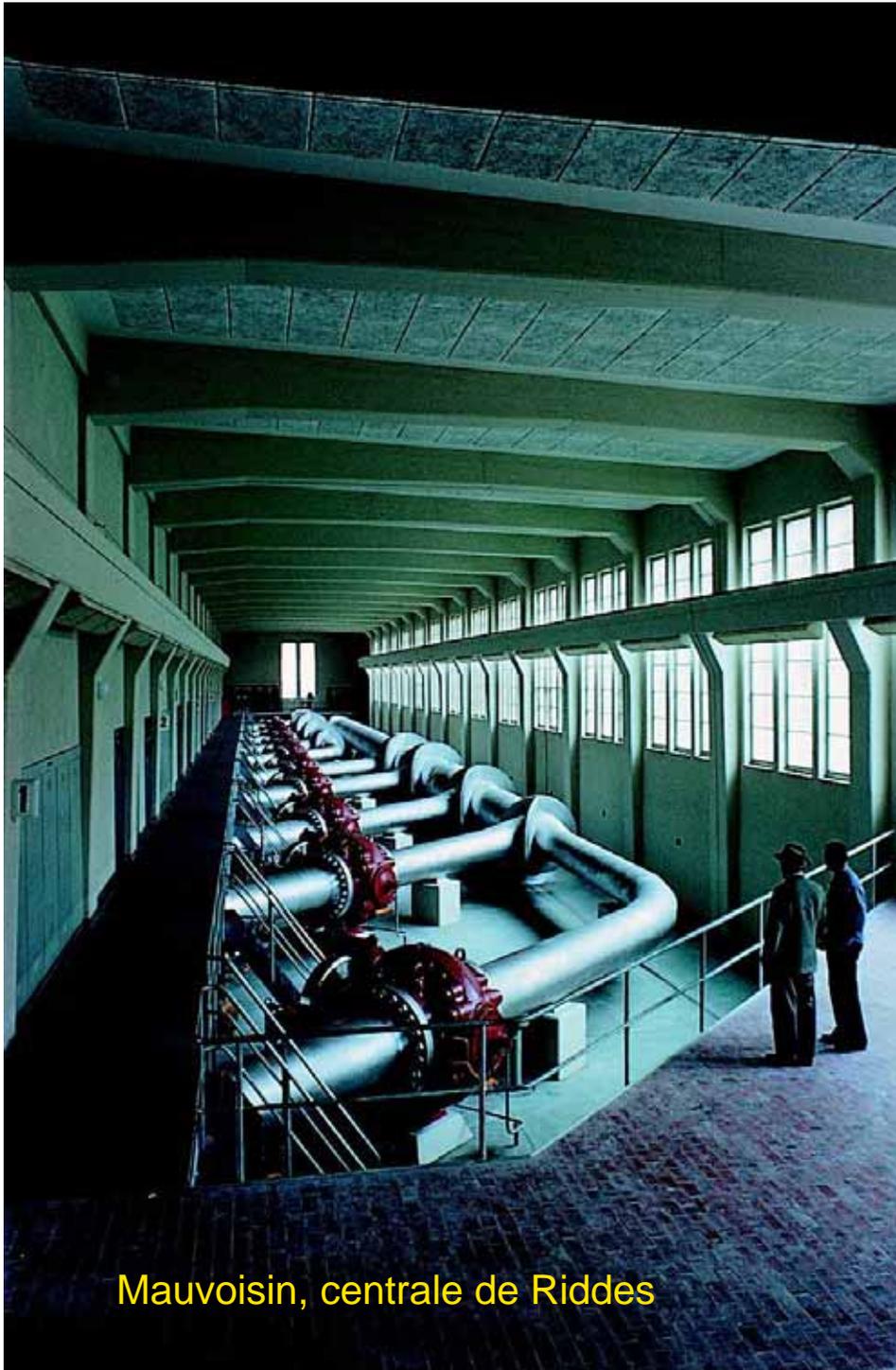
Aménagements hydrauliques Aménagements hydroélectriques

Aménagements à
haute chute avec
prises
secondaires

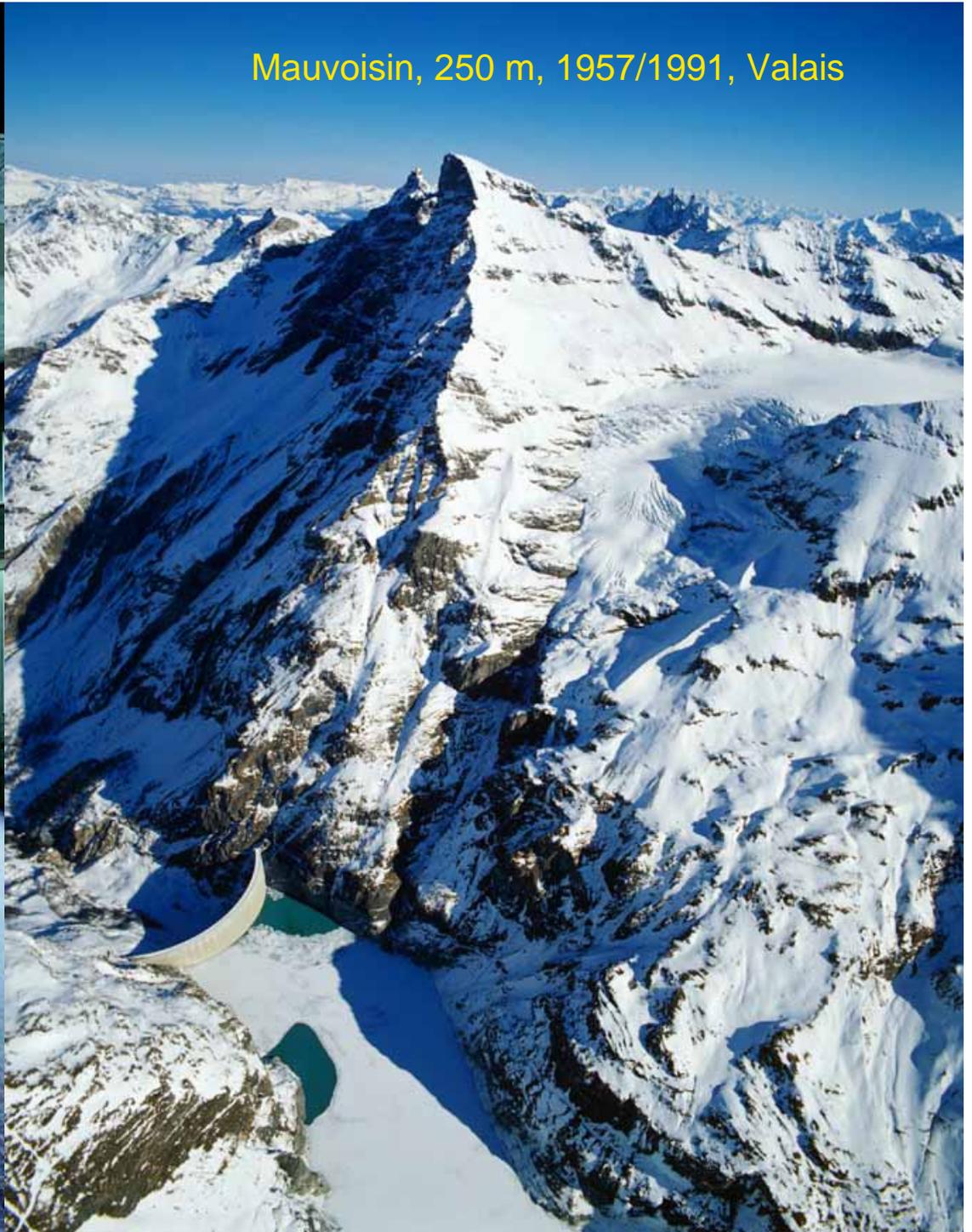
Exemple de
Mauvoisin en
Suisse



Laboratoire de constructions hydrauliques

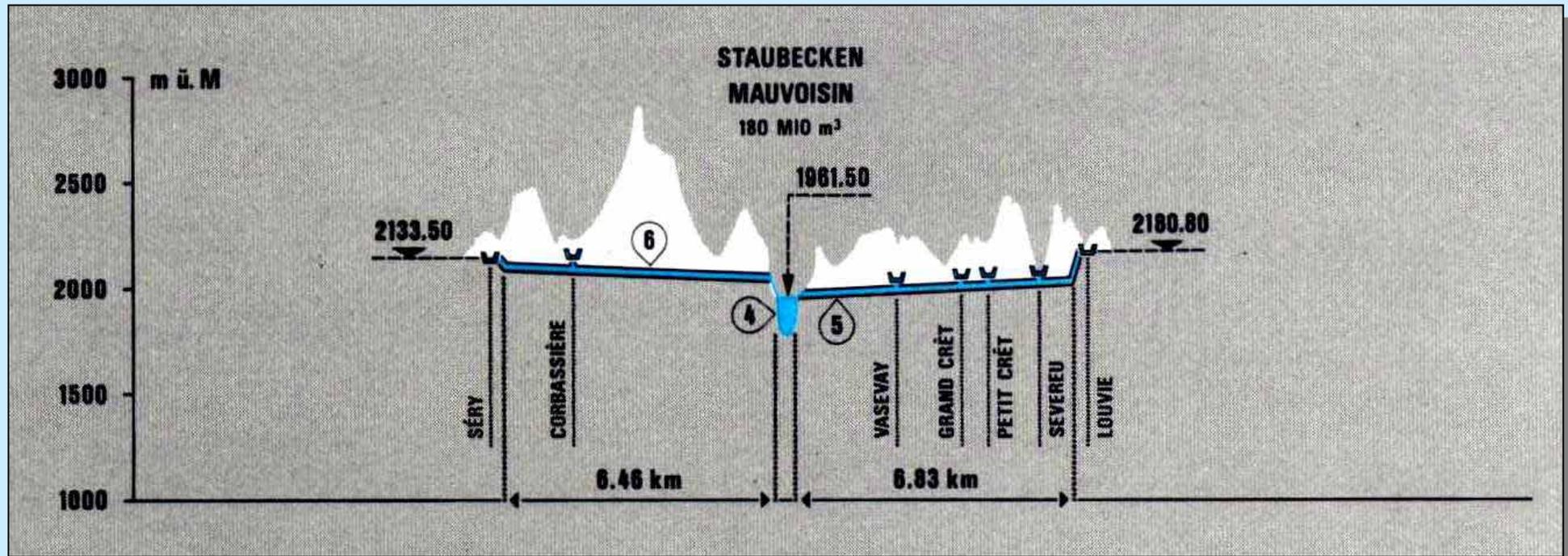


Mauvoisin, centrale de Riddes

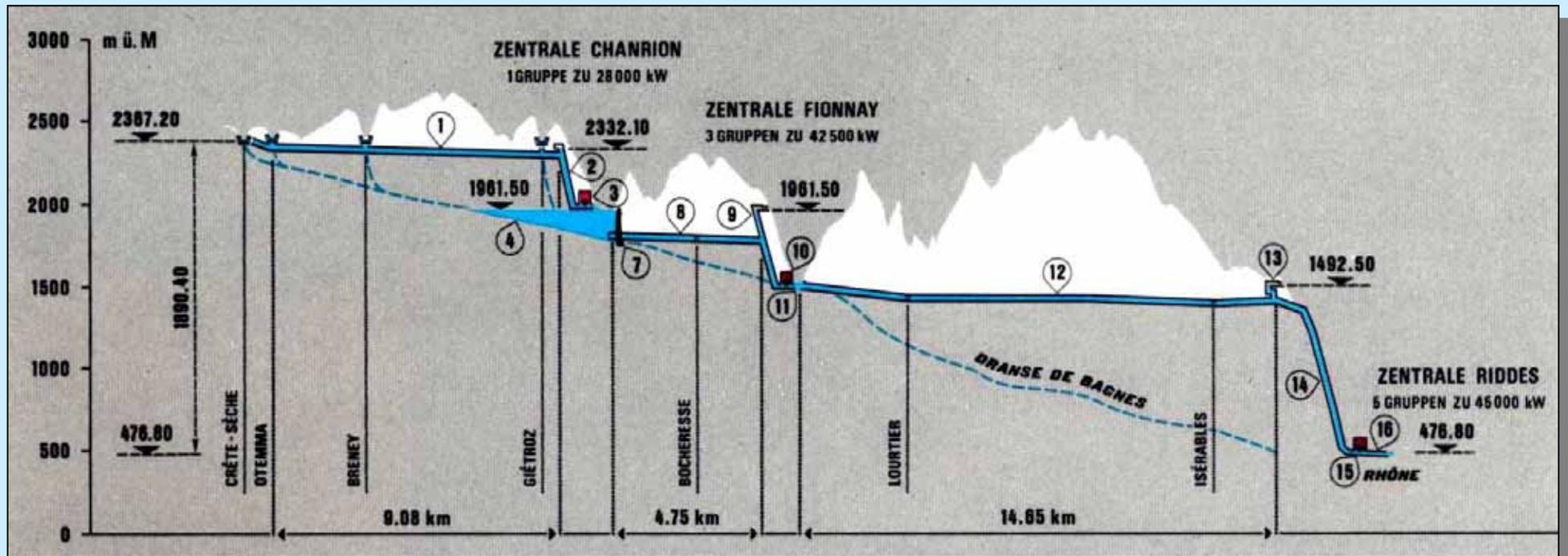


Mauvoisin, 250 m, 1957/1991, Valais

Aménagements à haute chute avec prises secondaires



Aménagements à haute chute avec prises secondaires

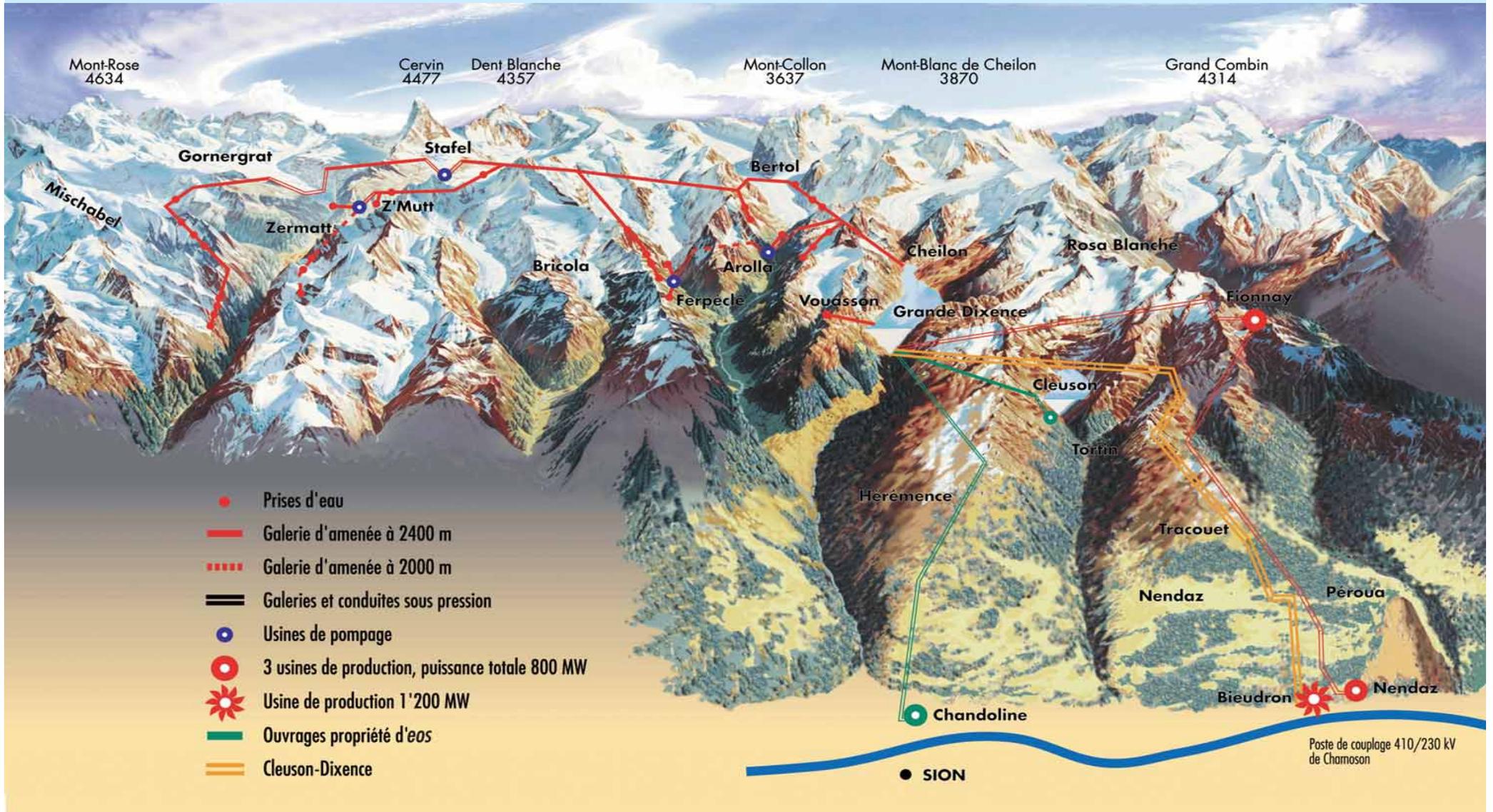


Aménagement d'ensemble d'un bassin versant par un complexe à haute chute

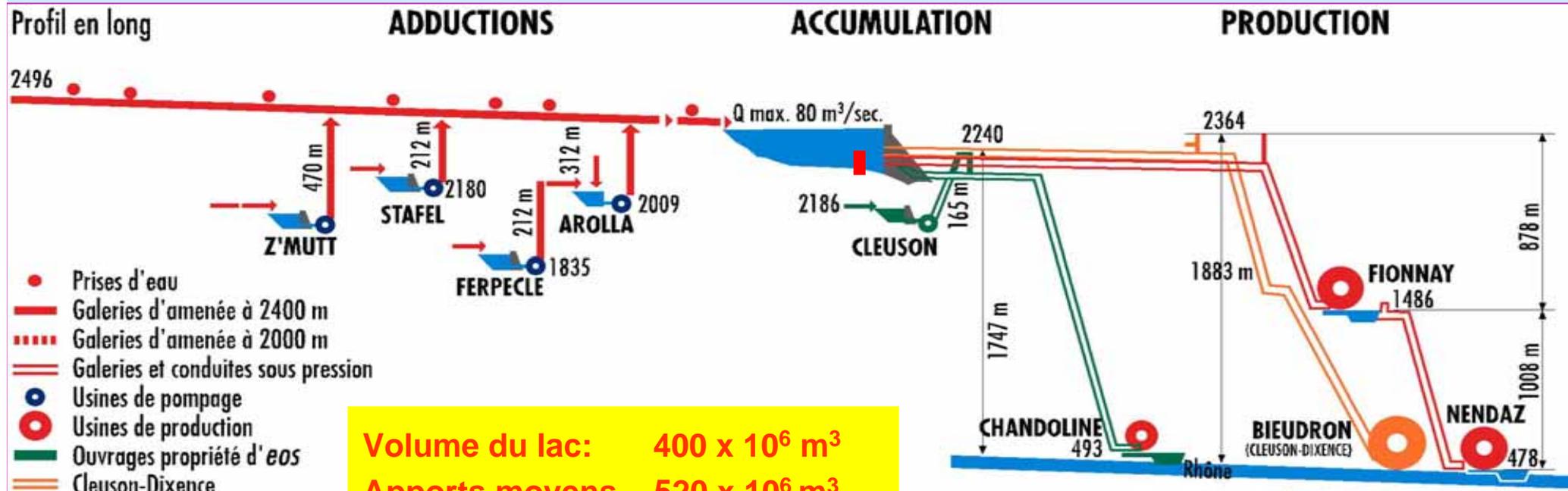
Principaux types de solutions:

- a) aménagements en "Y"
- b) aménagements avec prises secondaires
- c) alimentation d'un réservoir par des bassins versants latéraux (par gravité ou par pompage)
- d) prise d'eau et restitution dans deux cours d'eau différents (transfert de l'eau d'un bassin versant à un autre)
- e) aménagements en paliers successifs
- f) aménagements à retenues multiples

Vue panoramique de l'aménagement



Profil en long de l'installation



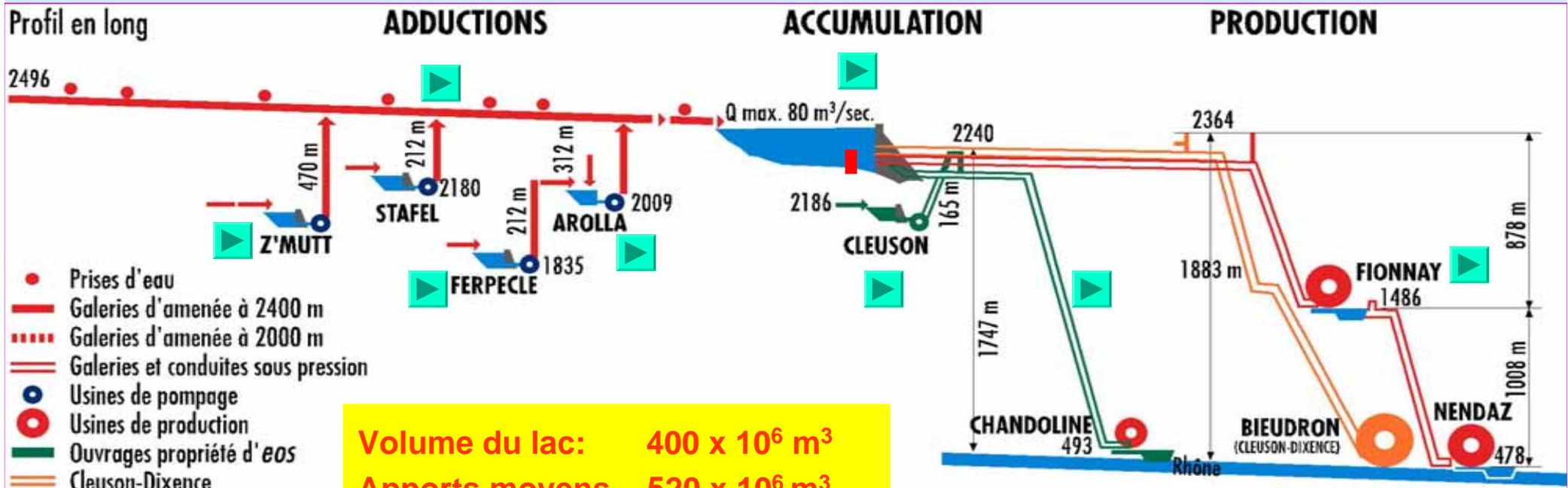
Volume du lac: 400 x 10⁶ m³
Apports moyens ~ 520 x 10⁶ m³

Bassin versant 350 km²
 35 Glaciers
 75 Prises d'eau
 100 km de galeries

90 % Eau de la fonte des glaciers
 10% Eau de la fonte des neiges

Chandoline	120	MW
Fionnay	680	MW
Nendaz	1'200	MW
Bieudron	1'200	MW
Total	2'000	MW

Profil en long de l'installation



Volume du lac: 400 x 10⁶ m³
Apports moyens ~ 520 x 10⁶ m³

Bassin versant 350 km²
 35 Glaciers
 75 Prises d'eau
 100 km de galeries

90 % Eau de la fonte des glaciers
 10% Eau de la fonte des neiges

Chandoline	120	MW
Fionnay	680	MW
Nendaz	1'200	MW
Bieudron	1'200	MW
Total	2'000	MW

L'aménagement Cleuson-Dixence

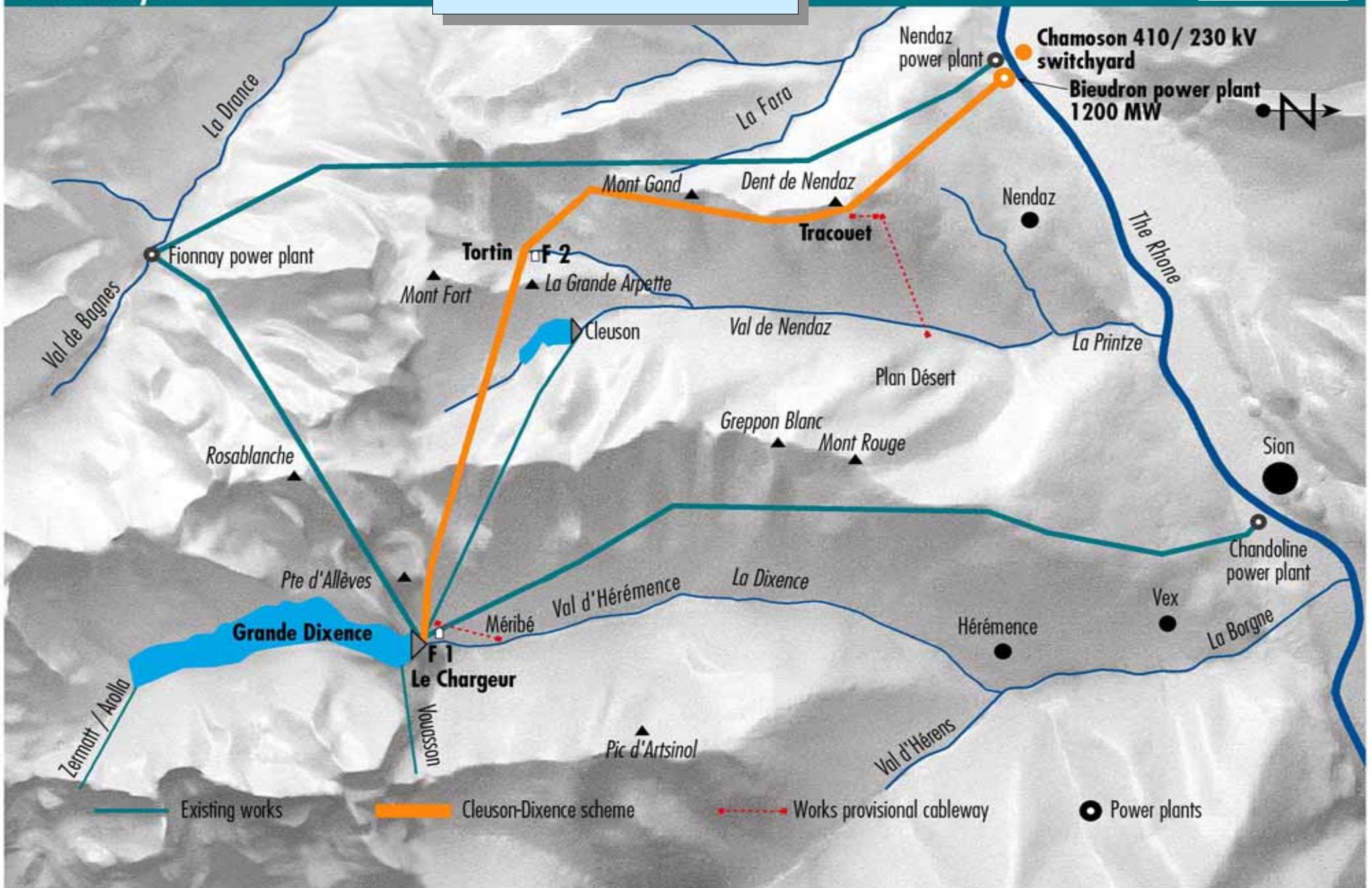
1992-1998

L'augmentation de puissance de l'installation



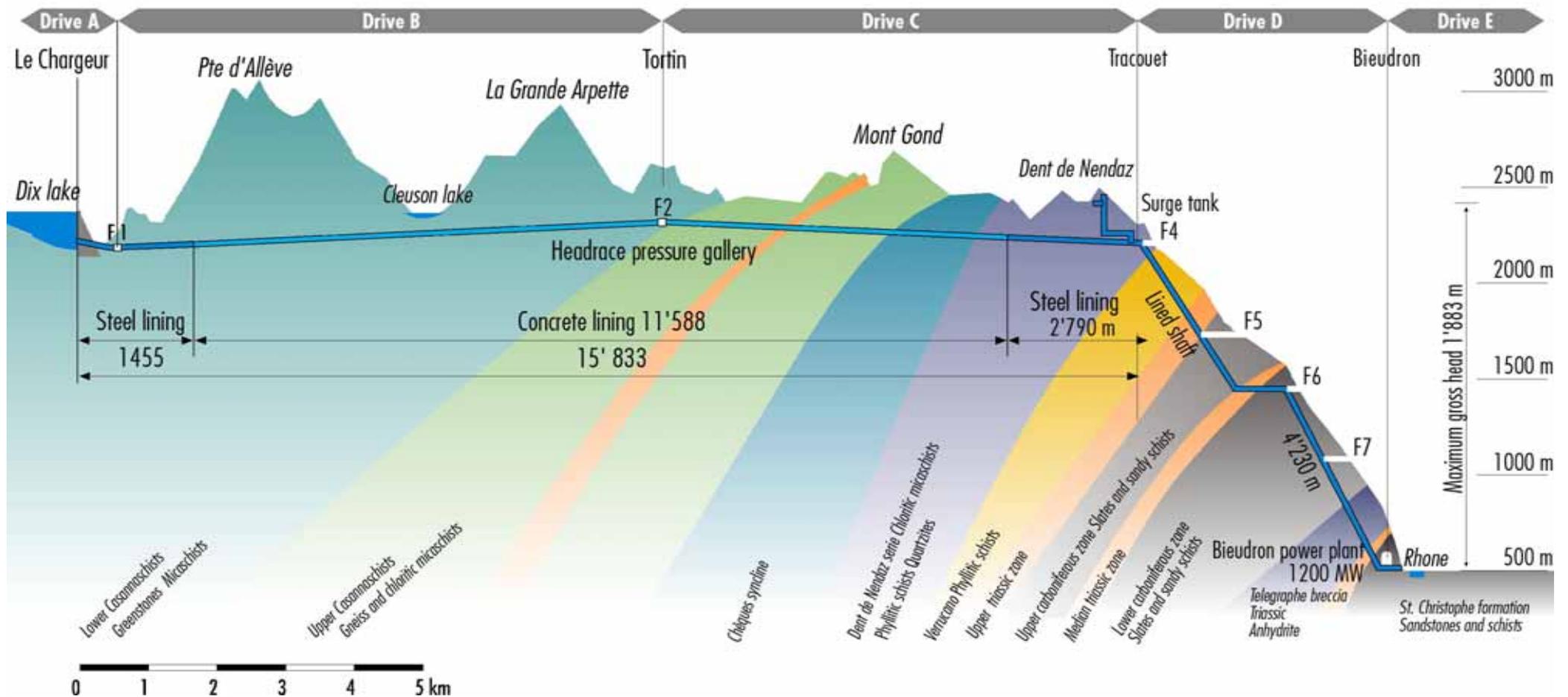
Capacité de la retenue de Grande - Dixence
 $400 \times 10^6 \text{ m}^3$
(+ apports d'hiver)
(Apports annuels moyens été + hiver $\sim 520 \times 10^6 \text{ m}^3$)

Chandoline	120 MW	10 m³/s	Production d'hiver octobre-avril ~ 200 jours	Production journalière
Fionnay/Nendaz	680 MW	45 m³/s		
Total	800 MW	55 m³/s	~2000-2100 heures	~10 heures/jour
Cleuson-Dixence	1200 MW	75 m³/s		
Puissance totale	2000 MW	130 m³/s	~ 1'000 heures	~4-5 heures/jour



Cleuson-Dixence Coupe longitudinale et géologie

Longitudinal profile and geology

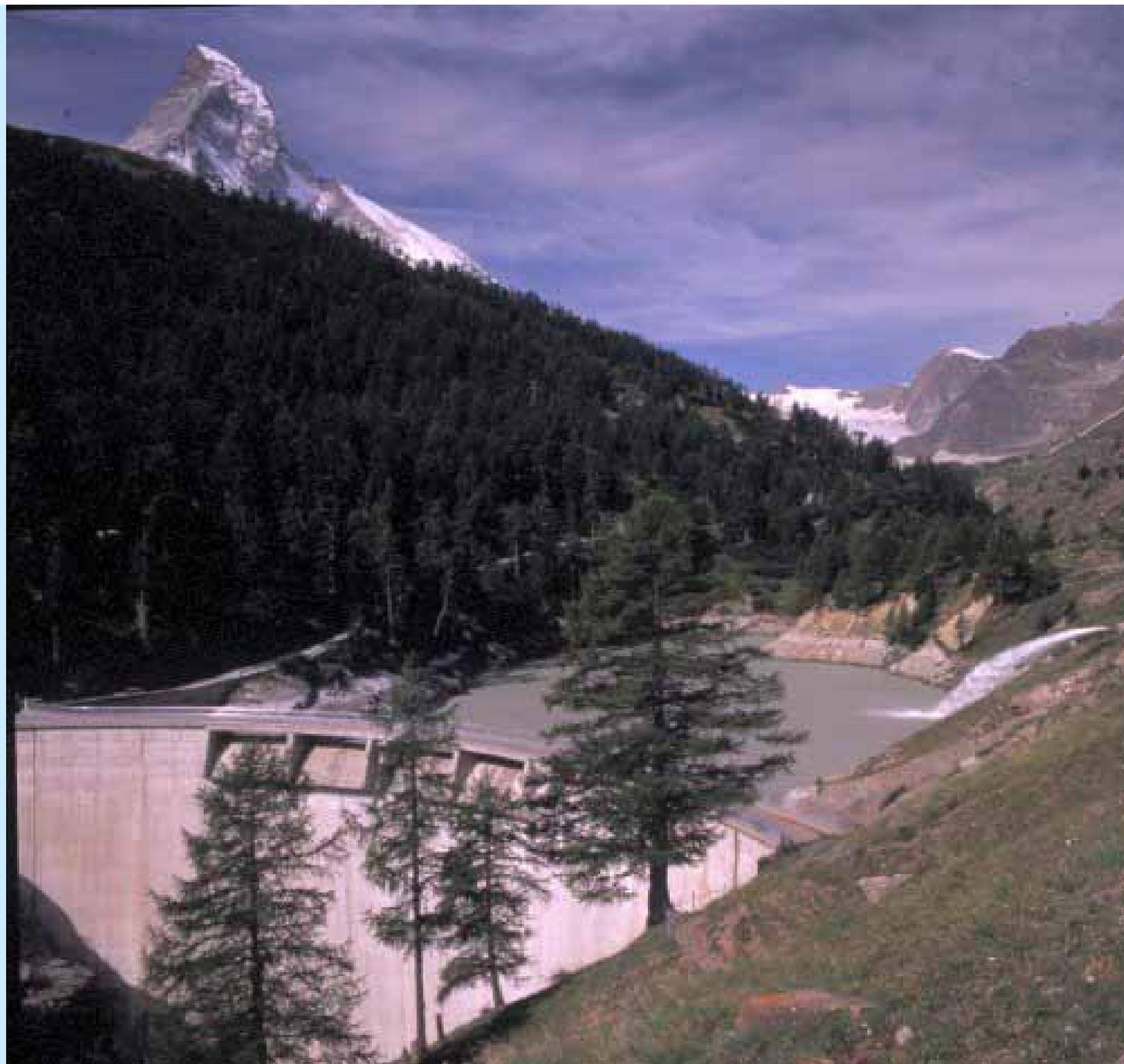


**Barrage
et pompage
de
Z'Mutt**

2 x 30 MW

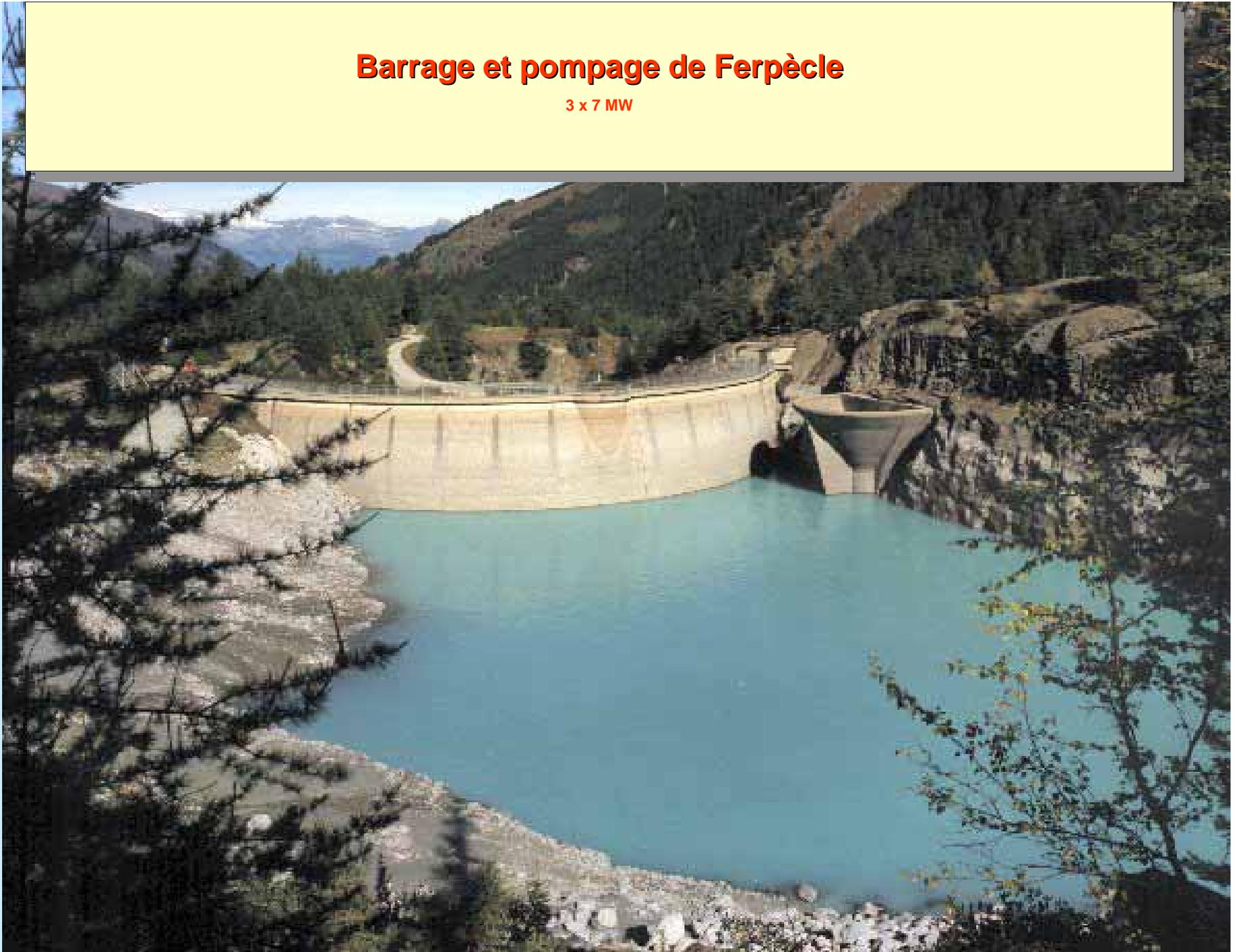
2 x 14 MW

1 x 2 MW



Barrage et pompage de Ferpèche

3 x 7 MW



Prise d'eau à Ferpècle





Pompaggio d'Arolla
3 x 16 MW



Le collecteur principal

**Zermatt
Arolla
Val des Dix**





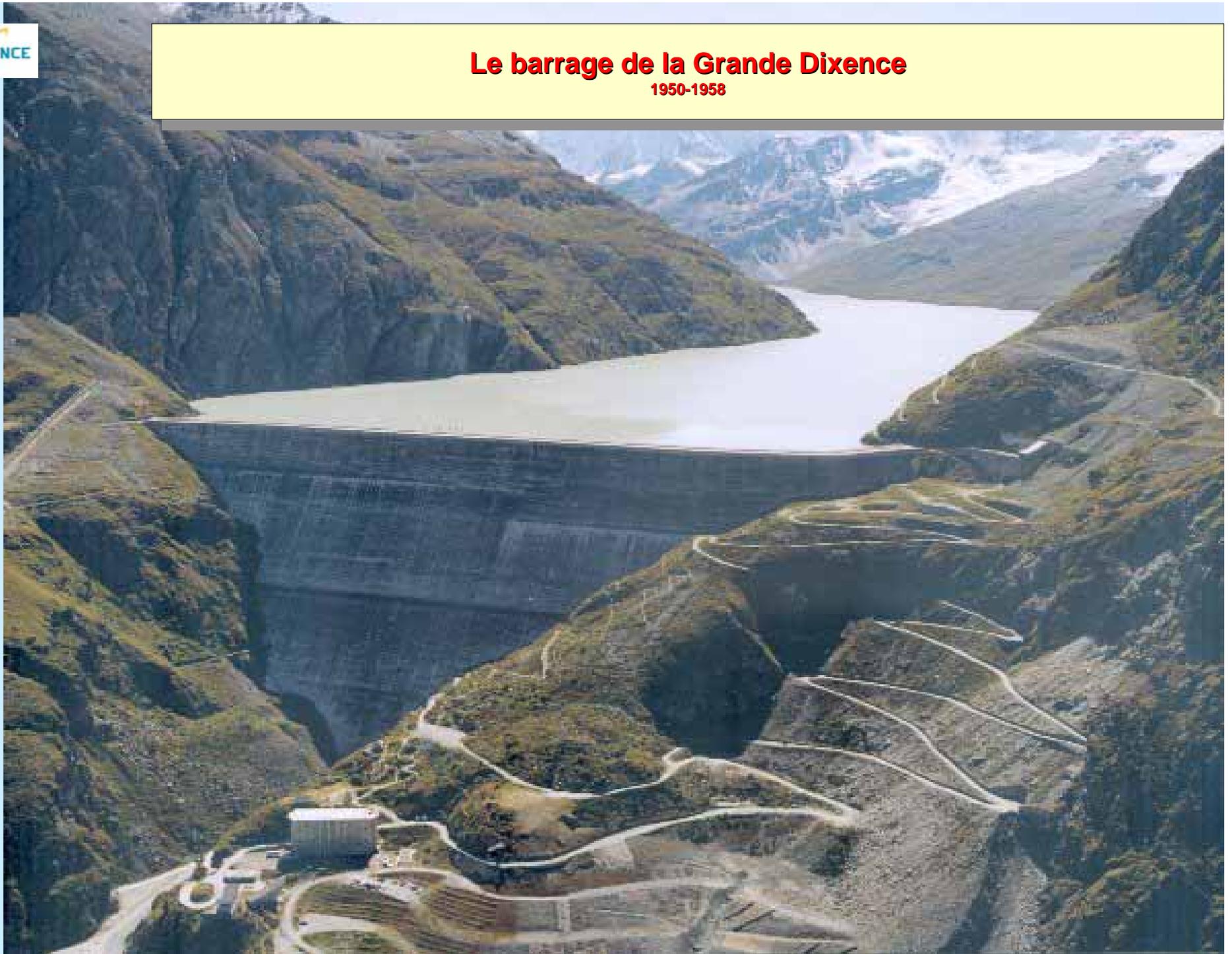
Le barrage de la Dixence 1930-1935

**Les barrages
de la
Dixence
et de la
Grande Dixence**



Le barrage de la Grande Dixence

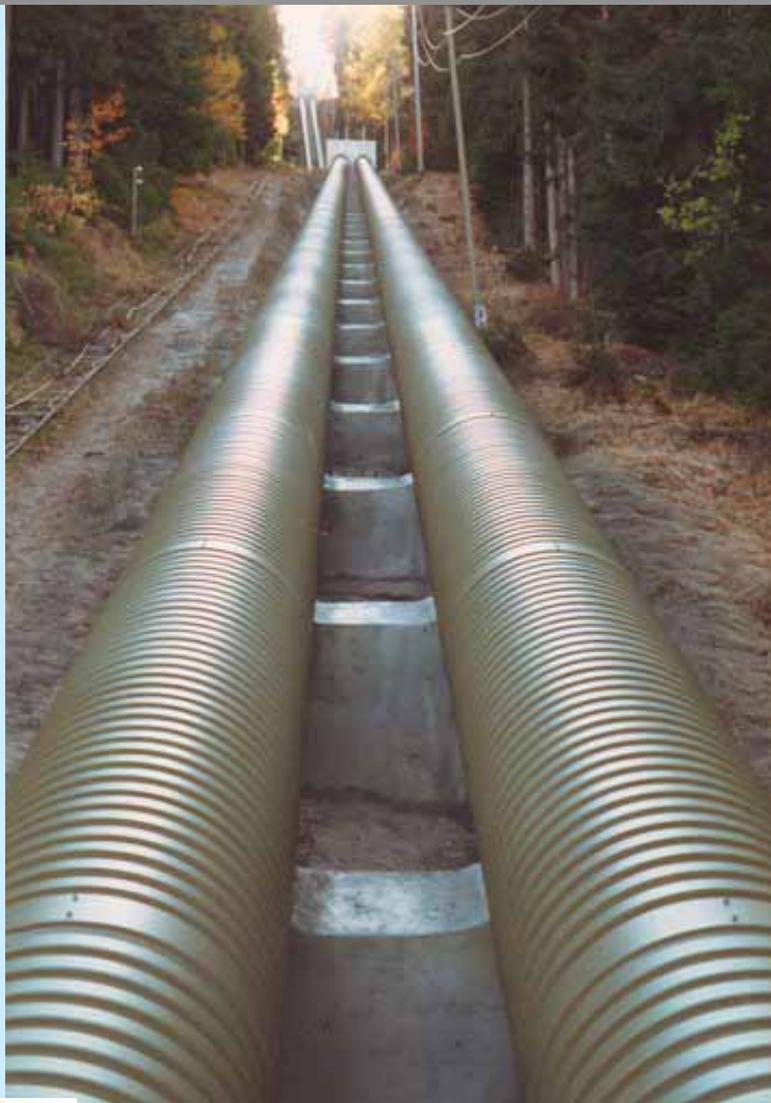
1950-1958



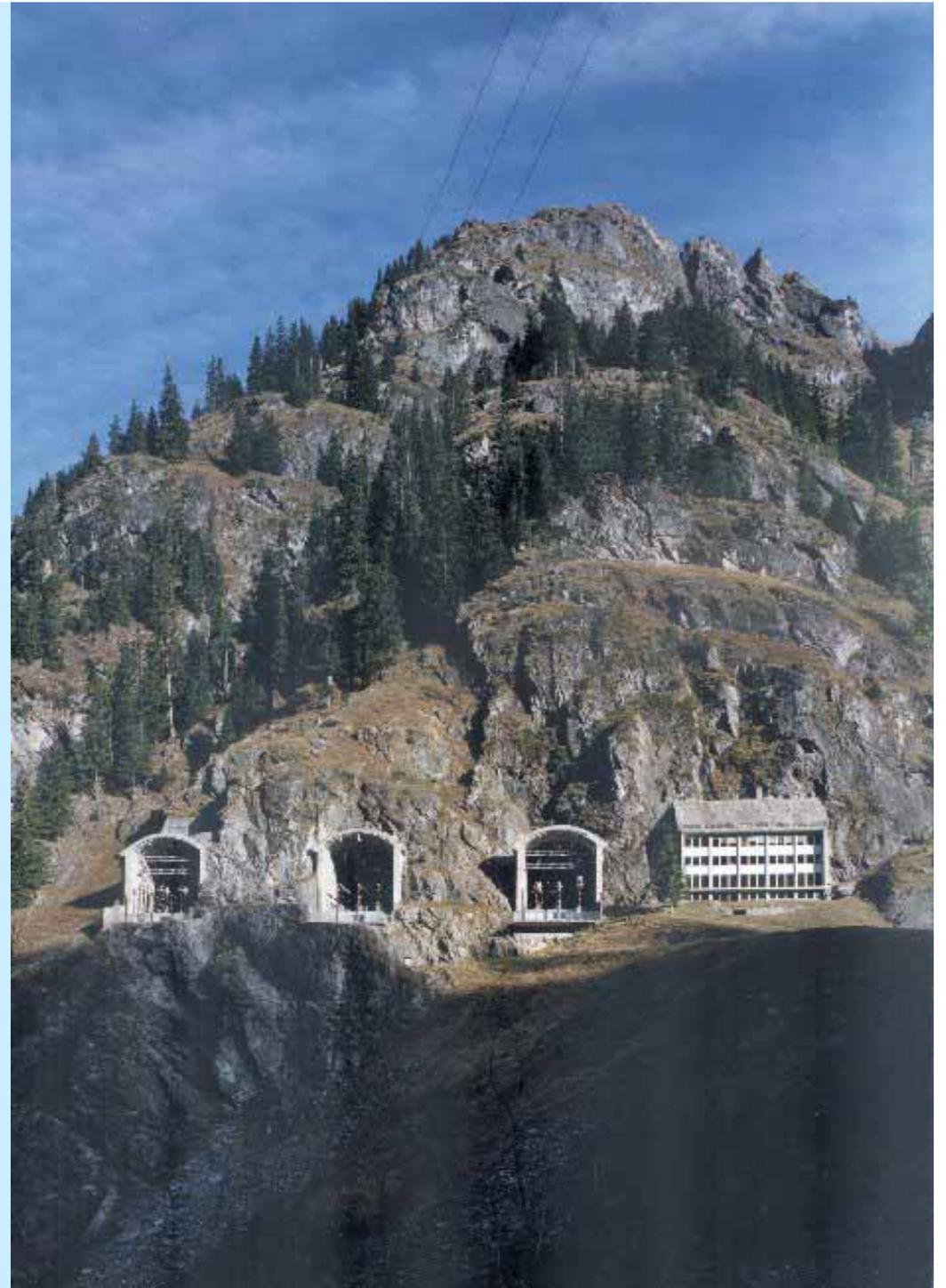
**Le barrage
de Cleuson**



**La conduite forcée
de Chandoline (1930-35)**
Hauteur de chute = 1747 m



La centrale de Fionnay



Le bassin de Fionnay



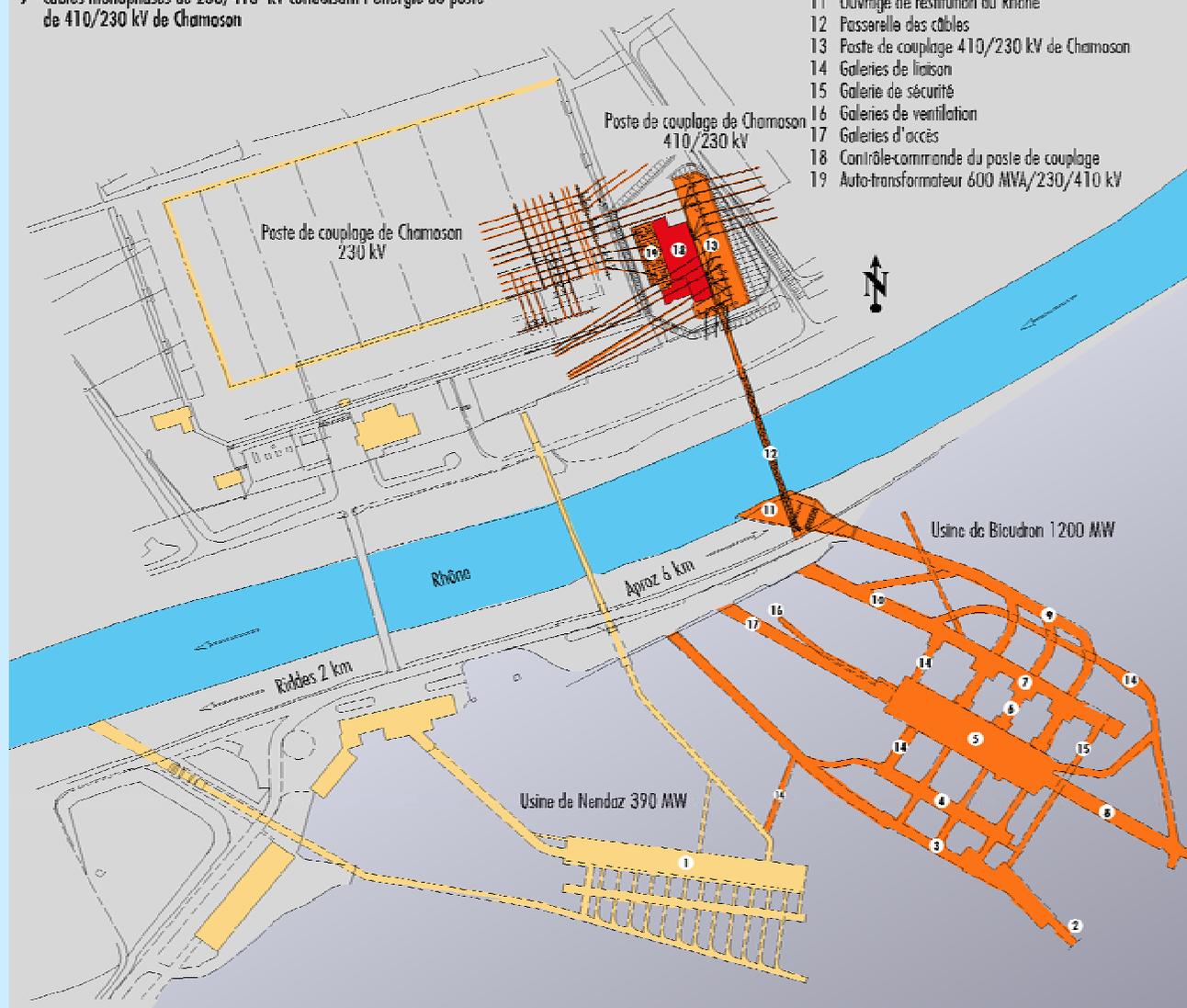
Les centrales de Nendaz et de Bieudron

Usine de Bieudron

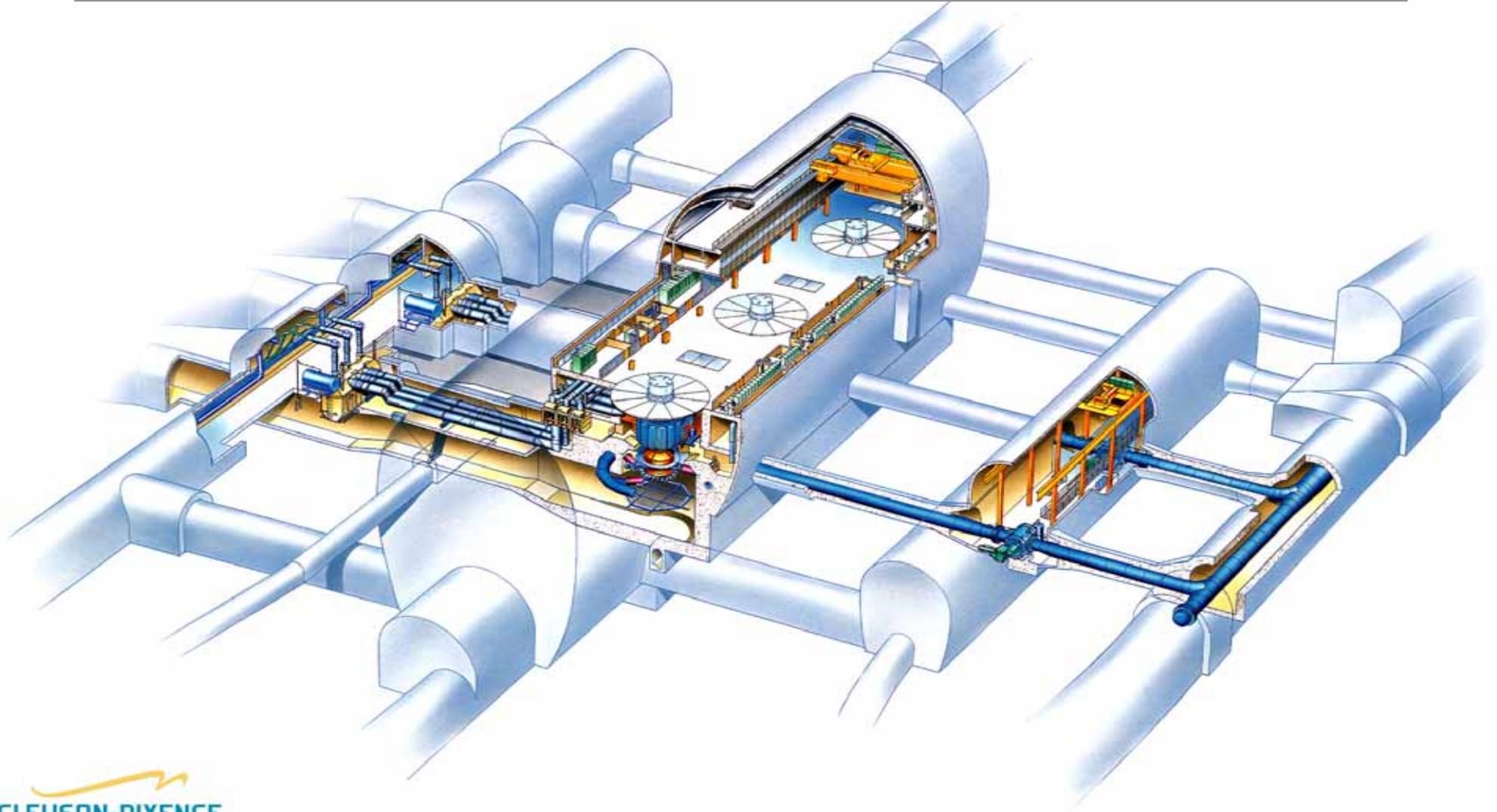
Située à proximité de l'usine existante de Nendaz (Grande Dixence), la caverne principale de Bieudron mesure plus de 100 m de long et 39 m de haut pour une largeur de 25 m. L'usine est constituée de 3 cavernes et de plusieurs galeries d'accès et de liaison représentant un volume excavé de 150'000 m³. Elle comprend 3 groupes verticaux tournant à 428 tours/minute. Avec:

- 3 vannes sphériques d'un diamètre de 1,40 m
- 3 turbines PELTON de 423 MW de puissance unitaire
- 3 alternateurs de 465 MVA avec barres statoriques et enroulements rotoriques refroidis à l'eau
- 3 transformateurs triphasés de 465 MVA
- 9 câbles monophasés de 230/410 kV conduisant l'énergie au poste de 410/230 kV de Chamoson

- 1 Usine de Nendaz, 390 MW
- 2 Arrivée du puits blindé, 75 m³/s
- 3 Répartiteur, 3 fois 25 m³/s
- 4 Chambre des vannes sphériques
- 5 Salle des machines de Bieudron
- 6 Galeries des barres
- 7 Cellules des transformateurs
- 8 Réservoir d'eau de refroidissement, capacité 21 000 m³
- 9 Galerie de restitution de l'eau et canal de fuite
- 10 Galerie des câbles 410 kV et accès aux transformateurs
- 11 Ouvrage de restitution au Rhône
- 12 Passerelle des câbles
- 13 Poste de couplage 410/230 kV de Chamoson
- 14 Galeries de liaison
- 15 Galerie de sécurité
- 16 Galeries de ventilation
- 17 Galeries d'accès
- 18 Contrôle-commande du poste de couplage
- 19 Auto-transformateur 600 MVA/230/410 kV

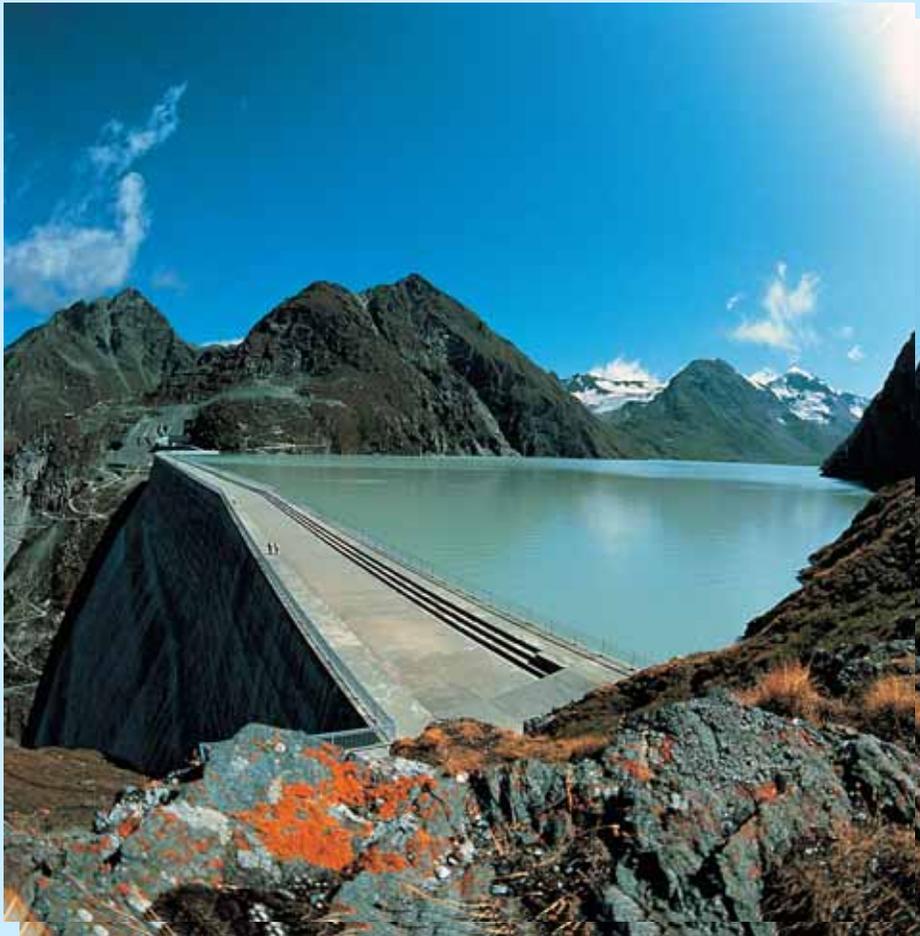


La centrale de Bieudron



Aménagements hydrauliques

Aménagements hydroélectriques



Exemple de la Grande-Dixence en Suisse

Aménagement d'ensemble d'un bassin versant par un complexe à haute chute

Principaux types de solutions:

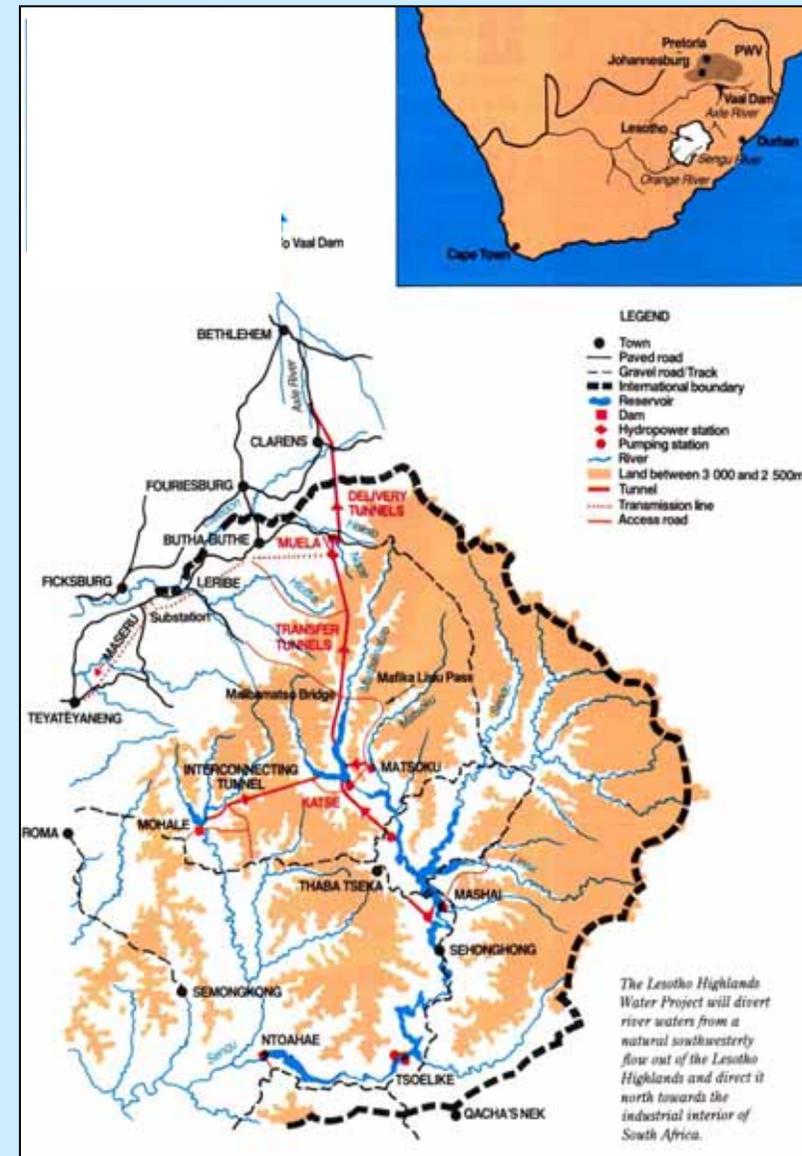
- a) aménagements en "Y"
- b) aménagements avec prises secondaires
- c) alimentation d'un réservoir par des bassins versants latéraux (par gravité ou par pompage)
- d) prise d'eau et restitution dans deux cours d'eau différents (transfert de l'eau d'un bassin versant à un autre)
- e) aménagements en paliers successifs
- f) aménagements à retenues multiples

Aménagements hydrauliques

Aménagements hydroélectriques

Aménagements à haute chute avec restitution dans deux cours d'eau différents

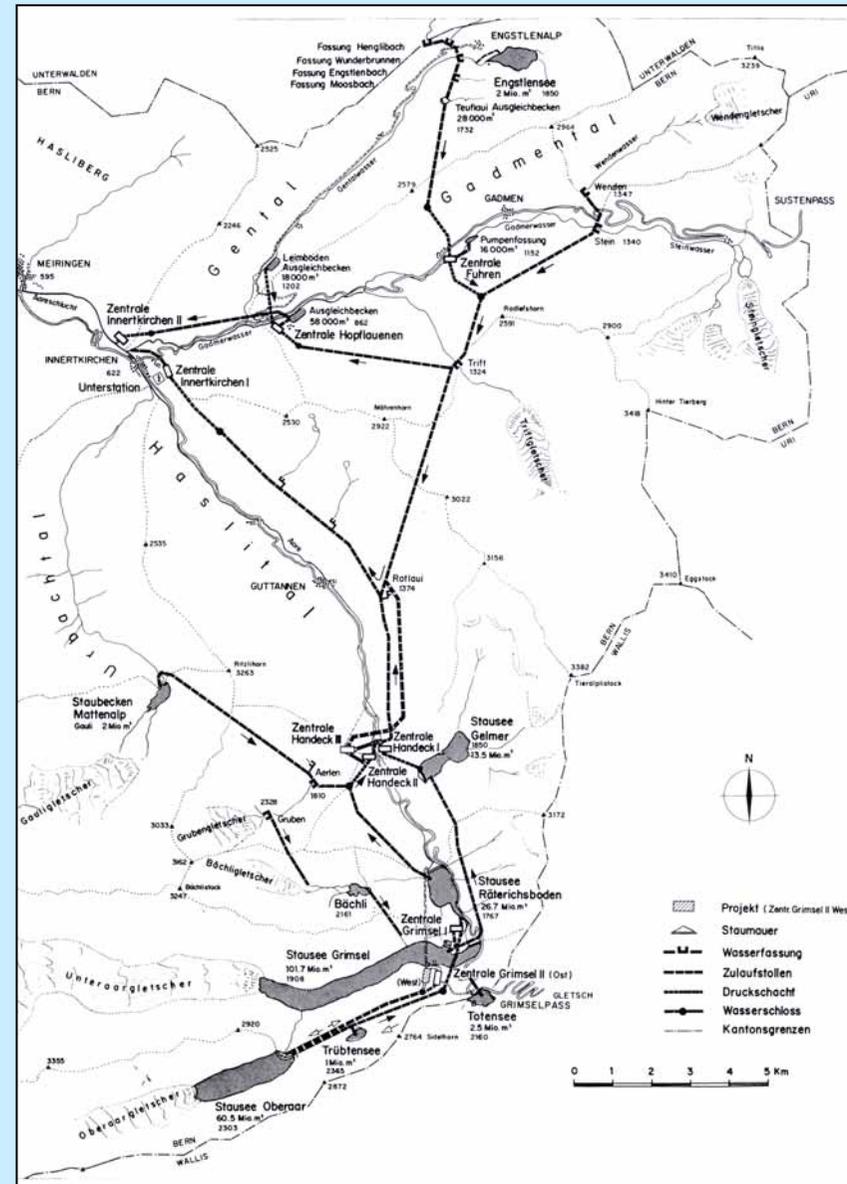
Exemple de Lesotho Highlands au Lesotho



Aménagements hydrauliques Aménagements hydroélectriques

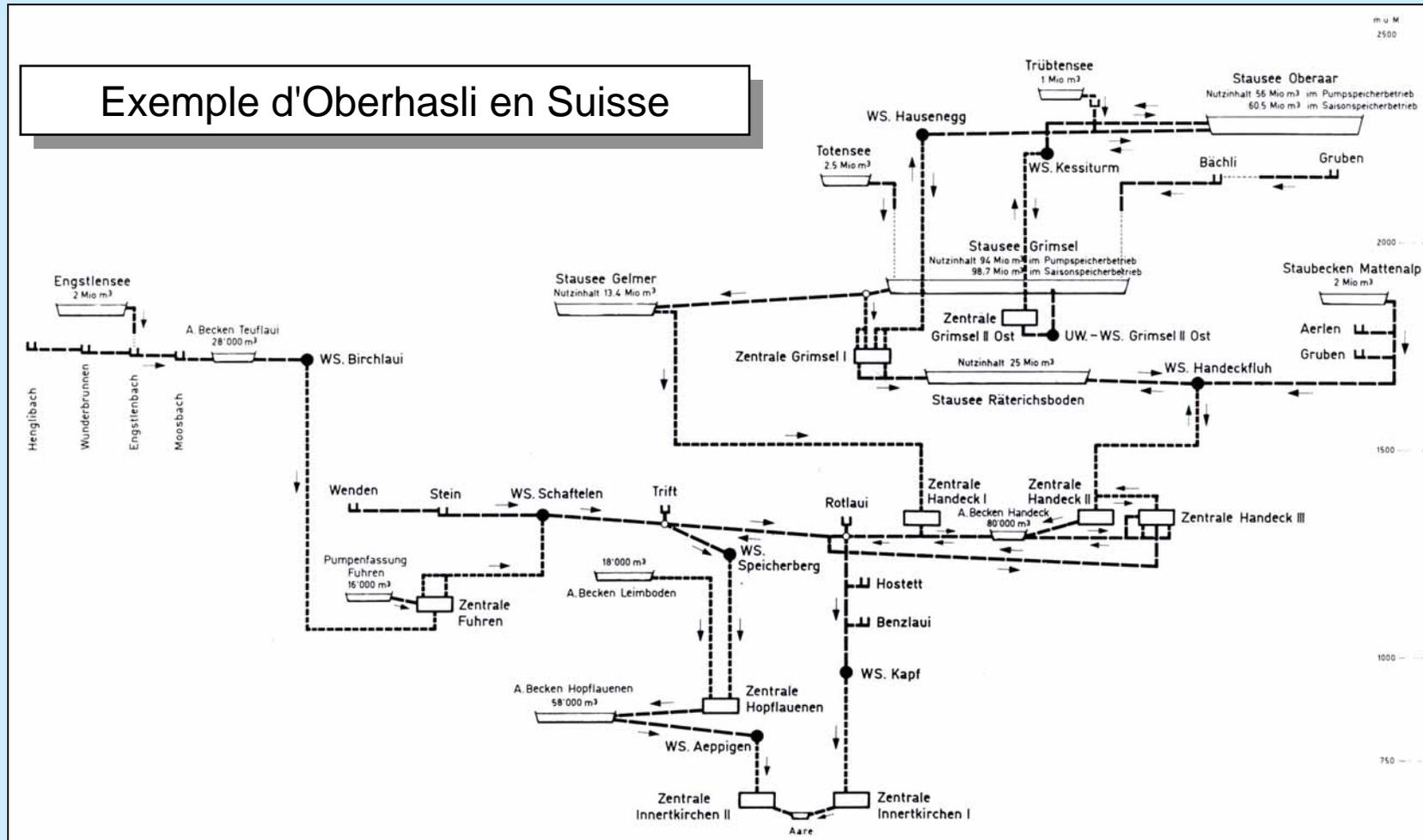
Aménagements à haute chute avec retenues multiples

Exemple d'Oberhasli en Suisse



Aménagements à haute chute avec retenues multiples

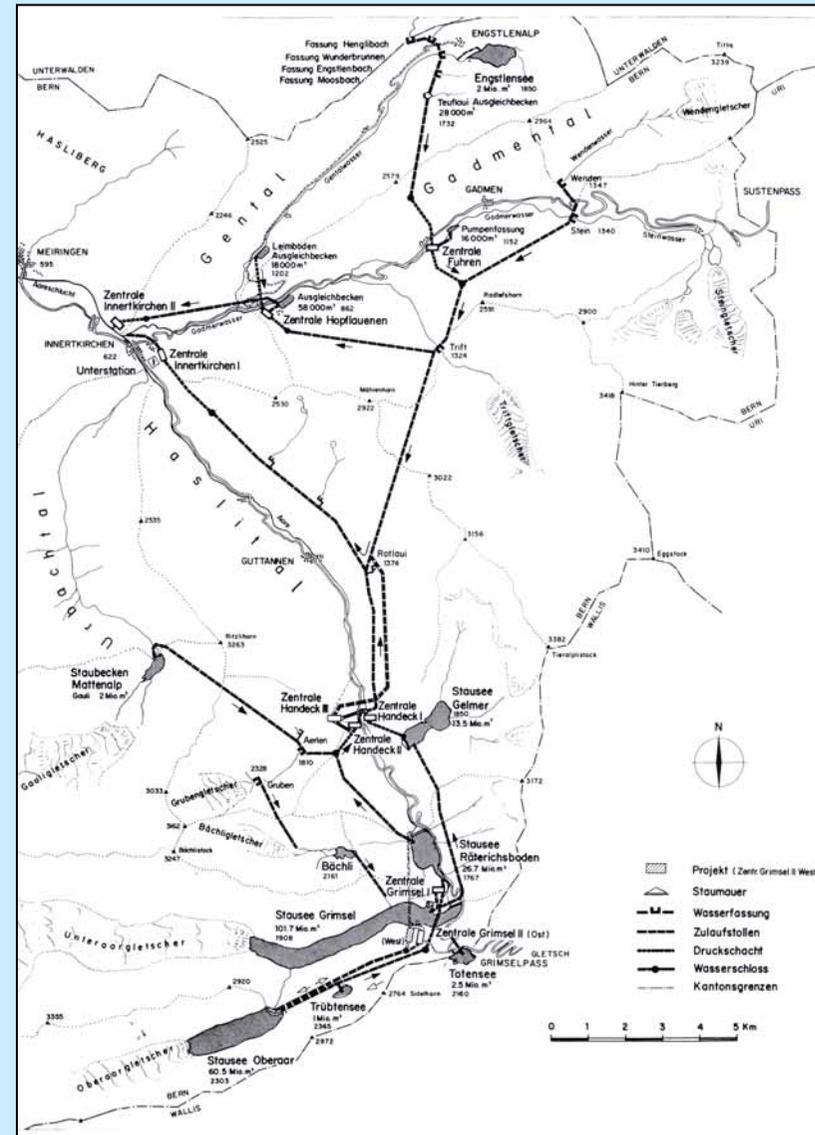
Exemple d'Oberhasli en Suisse







Gelmer, 35 m, 1929





Spitallamm, 114 m, 1932

Puissance et production

⇒ Puissance installée: $P_i = \eta_g \cdot \rho \cdot g \cdot Q_e \cdot H_N$

⇒ Energie productible:

- ◆ énergie productible en une année d'hydraulicité
- ◆ énergie productible pendant une année déterminée
- ◆ énergie produite (ou production)

⇒ Temps d'utilisation idéal

⇒ Puissance garantie - puissance de pointe

Temps d'utilisation idéal

$$T_{id} = E_{pm} \text{ (ou } E_p) / P_i \text{ [h]}$$

Les temps d'utilisation idéaux typiques T_{id} pour des aménagements à haute chute sont:

- aménagement avec bassins de compensation (retenue journalière) 4000 à 5000 h
- aménagement avec stockage partiel (retenue ne permet pas le stockage saisonnier complet) 2000 à 3000 h
- aménagement avec stockage saisonnier complet < 2000 h
- aménagement avec réservoir saisonnier et production concentrée sur les heures de demande de pointe (tendance actuelle pour des projets d'extension) < 1000 h