

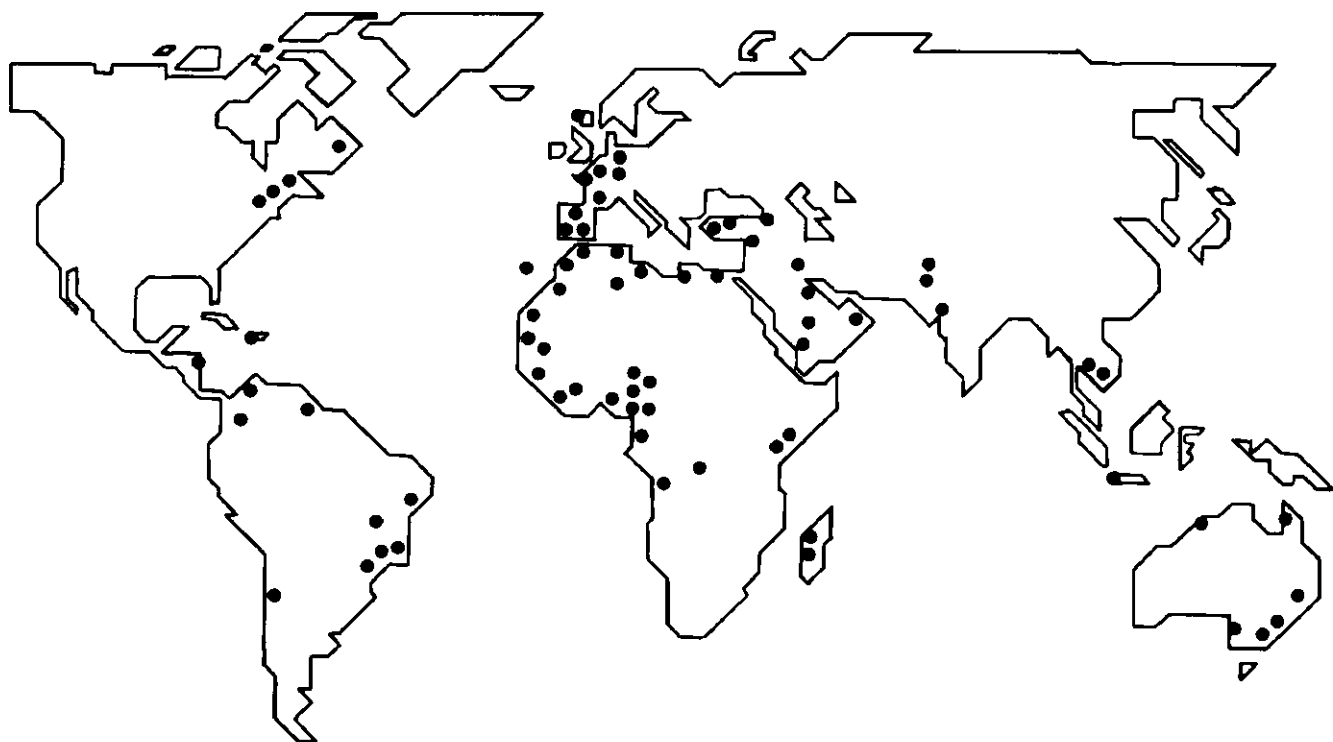
# GRANDS

# BARRAGES

ISSN 0397-4634



# DUMEZ DANS LE MONDE



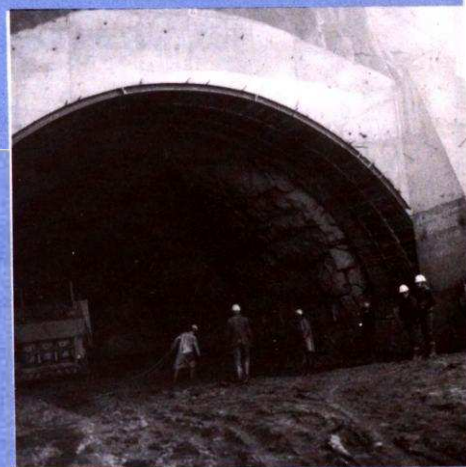
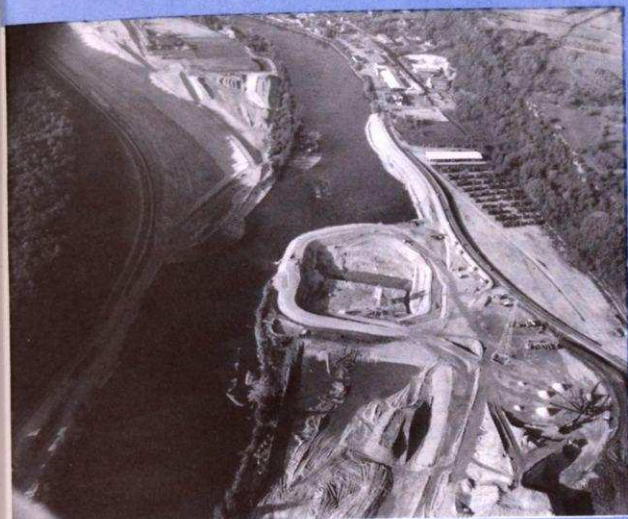
## DES HOMMES QUI ENTREPRENNENT

barrages, travaux souterrains,  
travaux maritimes, dragages,  
constructions industrielles,  
terrassements, routes, ouvrages d'art,  
bâtiment, constructions industrialisées



RTG

345. AVENUE GEORGES-CLEMENCEAU / 92022 NANTERRE CEDEX FRANCE / TEL (1) 776 42 43 / TELEX 620 844 ZEMUD NANTR



Sault-Brenaz : vue aérienne de l'enceinte de construction du barrage et de l'entrée de la dérivation. (Photo Morat)

## LES GRANDS BARRAGES

### DOSSIER

#### Editorial

par Jean ROYER ..... 13

#### Les barrages : Histoire, rôles et risques

par A. GOUBET ..... 15

#### Impact des grands barrages sur l'environnement

par J.-P. HENRY ..... 19

#### Le barrage de Laparan

par J.-C. MILLET et L. MONFORT ..... 22

#### Le barrage réservoir "Aube"

par J.-P. DUBEL ..... 26

#### L'aménagement de la chute de Sault-Brenaz

par P. SAVEY et J. LECORNU ..... 28

#### Sault-Brenaz : la construction de l'usine Lot 2

par Ph. FLEURY ..... 32

#### 150 ans de confortements du barrage de Grosbois-en-Montagne

par M. SCHWIRTZ et A. PETITJEAN ..... 35

#### Barrage d'Aït Chouarit sur l'Oued Lakhdar

par P. SCOTT de MARTINVILLE ..... 39

#### Les barrages au service du développement régional en Languedoc-Roussillon.

par J.-P. PLANTEY ET A. JENSEN ..... 43

#### L'avenir des barrages hydroélectriques en France

par J. GAUTHERON ..... 47

#### L'avenir des barrages agricoles

par D. LOUDIÈRE ..... 51

#### Barrages et développement en zone sahélienne

par M. KERN ..... 56

BATIMENT - MAISONS INDIVIDUELLES - GÉNIE CIVIL -  
ROUTES - TERRASSEMENTS - INSTALLATIONS ET  
LIGNES ÉLECTRIQUES - CANALISATIONS - MONTAGES  
D'USINE - INGÉNIERIE - GESTION D'OUVRAGES ET  
DE CONCESSIONS PUBLIQUES - SECTEUR INDUSTRIEL -  
OFFSHORE.

## **GTM-ENTREPOSE**

61, avenue Jules-Quentin - NANTERRE (Hauts-de-Seine)

Tél. : (1) 725.60.00

Télex : GTMNT 611306 - Télécopieur

HAVAS CONTACT

## **ENTREPRISES LÉON BALLOT BTP**

Société Anonyme  
au capital de 31.500.000 F

BATIMENT

TRAVAUX PUBLICS

*Siège Social :*

155, Bd Haussmann 75008 PARIS

☎ **563.01.66**

## **GESTION TECHNOLOGIE RECHERCHE**

L'EFFICACITÉ D'UN GROUPE  
AU SERVICE DE LA COLLECTIVITÉ



**COMPAGNIE GENERALE  
DES EAUX**

52, rue d'Anjou, 75384 Paris Cedex 08  
Téléphone : 266.91.50





**ENTREPRISE**  
**PICO**  
**TRAVAUX PUBLICS BATIMENT**  
**TRAVAUX SOUTERRAINS**

42, Bd. Victor Hugo 04002 Digne tel: 31.30.51



**SAFEGE**  
SOCIÉTÉ ANONYME FRANÇAISE D'ÉTUDES ET DE GESTION

**INGÉNIEURS CONSEILS**

**PRODUCTION  
ET DISTRIBUTION D'EAU  
ASSAINISSEMENT  
ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES  
TÉLÉCONTRÔLE  
GÉNIE CIVIL  
BARRAGES - OUVRAGES HYDRAULIQUES  
AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES  
INFRASTRUCTURES  
ASSISTANCE TECHNIQUE**

76, rue des Suisses B.P. 727  
**92007 NANTERRE CEDEX**  
Téléphone : (1) 724.72.55  
Télex : SAGETOL 612 611 F  
Câble : SUISUS NANTERRE





## **société française de distribution d'eau**

•  
Gestion des services  
de distribution d'eau  
et d'assainissement

•  
*89, rue de Tocqueville  
75017 PARIS  
Téléphone : 766.51.98*



**ÉTUDES ET  
RÉALISATIONS  
D'ÉQUIPEMENTS  
AÉRONAUTIQUES  
ET MÉTÉOROLOGIQUES**

75, rue La Boétie  
75008 PARIS

Tél. 359.22.93

Télex 641360

## **LES SPÉCIALITÉS ROUTIÈRES**

60, rue Louise-Michel **93209 LEVALLOIS-PERRET**

*Tél. : 270.71.83*

SIGNALISATION AGRÉÉE  
MATÉRIEL DE CHANITER  
CHAINES PLASTIQUES  
PANNEAUX A FIBRES OPTIQUES  
TOUTES PLAQUES et PANNEAUX ÉMAIL  
et de SÉCURITÉ  
P. & C. — EDF — MUNICIPALITÉS  
TRAVAUX PUBLICS



# Entreprise MULLER Frères

## TRAVAUX PUBLICS

**BOULAY - MOSELLE**



### **Domaines d'activité du département "Terrassements" :**

Terrassements généraux, Barrages en terre et digues, Routes, Autoroutes, Chemins de fer, Canaux, Dragage, Déroctage sous l'eau, Dignes en mer, Enrochements, Plates-formes d'usines, Fouilles profondes, Aérodomes, Pistes d'envol.

### **MULLER Frères**

**est "pilote" du groupement  
réalisant le barrage du  
VIEUX-PRÉ dans les VOS-  
GES.**



## **SIMECSOL**

SOCIÉTÉ D'ÉTUDES ET D'INGÉNIEURS CONSEILS

115 RUE ST DOMINIQUE, 75007 PARIS - TÉL. 555.07.11 - TELEX SICSOL 270703

**GÉOTECHNIQUE - Mécanique des sols et des roches**

**Géologie - Hydrogéologie**

**SONDAGES - ESSAIS - LABORATOIRE**

**MESURES - AUSCULTATION D'OUVRAGES**

**GÉNIE CIVIL**

Agences :

BORDEAUX - DUNKERQUE - LYON - MARSEILLE - NANTES - PERPIGNAN - STRASBOURG

Représentations :

ALGÉRIE - ZIMBABWE - BOTSWANA - AMÉRIQUE DU SUD - ASIE DU SUD-EST

Filiales :

CAMEROUN - ESPAGNE - GRANDE-BRETAGNE

SIMECSOL a participé à l'étude et la conception des barrages :

Les Moulinets à Cherbourg, d'Aire-sur-la-Lys (62), St-Savinien (17), La Mazelle (Massif Central), usine marémotrice de la Rance ; barrage et écluses sur la Seine, l'Yonne, la Marne, l'Oise, le Rhône (Bourg-les-Valence, Caderousse, St-Vallier, Vaugris), ainsi que des barrages à l'étranger : Iril-Emada en Algérie et Saguling sur l'île de Java



# LE BARRAGE DU VIEUX-PRÉ

Situé à la limite entre les départements des **VOSGES** et de **MEURTHE-et-MOSELLE**, le barrage du **VIEUX-PRÉ** permettra la création d'une retenue d'eau d'une capacité utile de 50 millions de m<sup>3</sup>.

Construit pour Électricité de France, il doit compenser les pertes par évaporation dans les réfrigérants atmosphériques de la Centrale Nucléaire de CATTE-NOM (Moselle) lorsque le débit de la Moselle, à proximité de laquelle est construite la Centrale Nucléaire, devient inférieur à 26 m<sup>3</sup> par seconde à la frontière luxembourgeoise.

Le barrage doit en outre contribuer à "réguler" le débit de quelques autres rivières des Vosges et de Meurthe-et-Moselle.

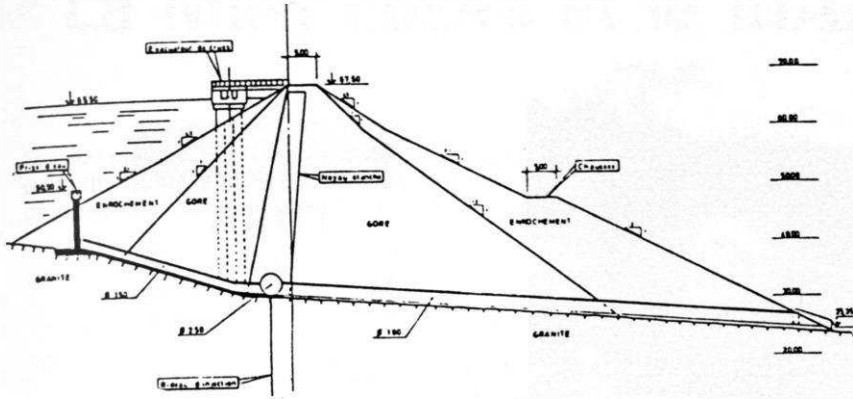
Il permettra en outre de réaliser un centre de tourisme et de loisirs grâce au plan d'eau créé.

L'entreprise **MULLER** Frères de **BOULAY** (Moselle) est "pilote" du Groupement d'entreprises réalisant le barrage du **VIEUX-PRÉ** dans les **VOSGES**.



*Le barrage en construction.*

## BARRAGE DES MOULINET'S

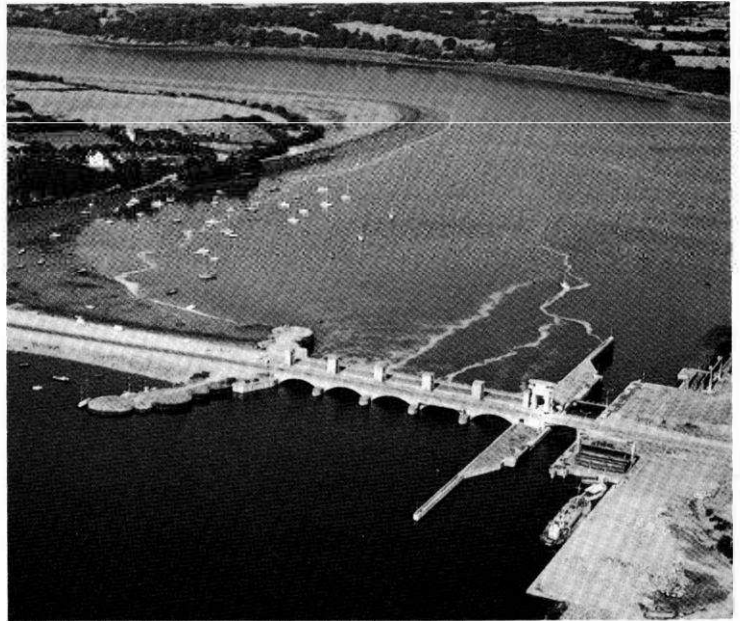


Barrage en terre, hauteur 36 m, longueur 155 m, réserve d'eau douce à la pointe de La Hague.

# SIMECSOL

SOCIÉTÉ D'ÉTUDES ET D'INGÉNIEURS CONSEILS  
115 RUE ST DOMINIQUE, 75007 PARIS - TÉL. 555.07.11 - TÉLEX SICSOL 270703

Depuis sa création, SIMECSOL a participé à l'étude et la réalisation de plusieurs grands ouvrages hydrauliques. Dans de nombreux cas, son intervention a permis de trouver des solutions originales pour la résolution de problème de fondations difficiles.



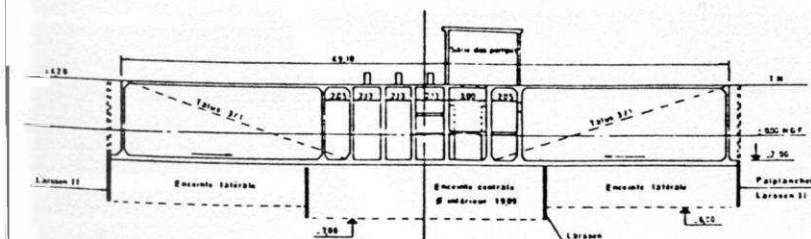
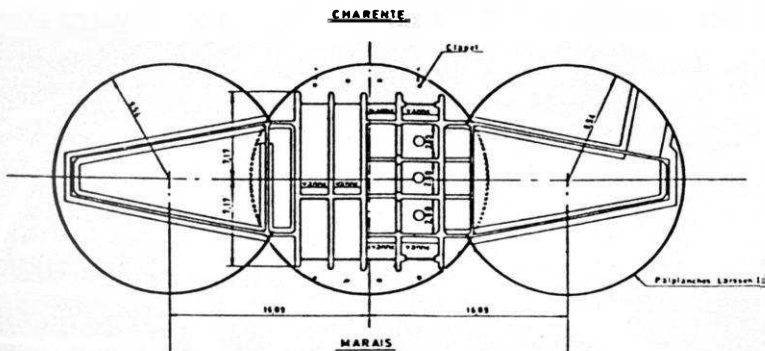
Barrage d'ARZAL sur l'estuaire de la Vilaine.

Photo HEURTIEZ

## Barrage d'ARZAL - Morbihan

Ce barrage en enrochement de 12 m de hauteur, 600 m de long, fondé sur 30 m de vase molle est une variante présentée par A. CAQUOT et J. KERISEL au projet de l'Administration.

## BARRAGE DU PONT ROUGE



En bordure de la Charente, hauteur 6 m, longueur 150 m. Ouvrage en béton construit dans une enceinte multiple en palplanches métalliques sur une très grande épaisseur de vase molle. Ce barrage abrite une station de pompage.



AUTOROUTES - PONTS - BARRAGES  
TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX  
TRAVAUX SOUTERRAINS - PARKINGS  
CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES  
BÂTIMENT

**CITRA Siège Social :** 13, avenue Morane-Saulnier - 78141 Vélizy-Villacoublay  
Tél. : **(3) 946.96.95** - Tlx : Pavel 698 732 F

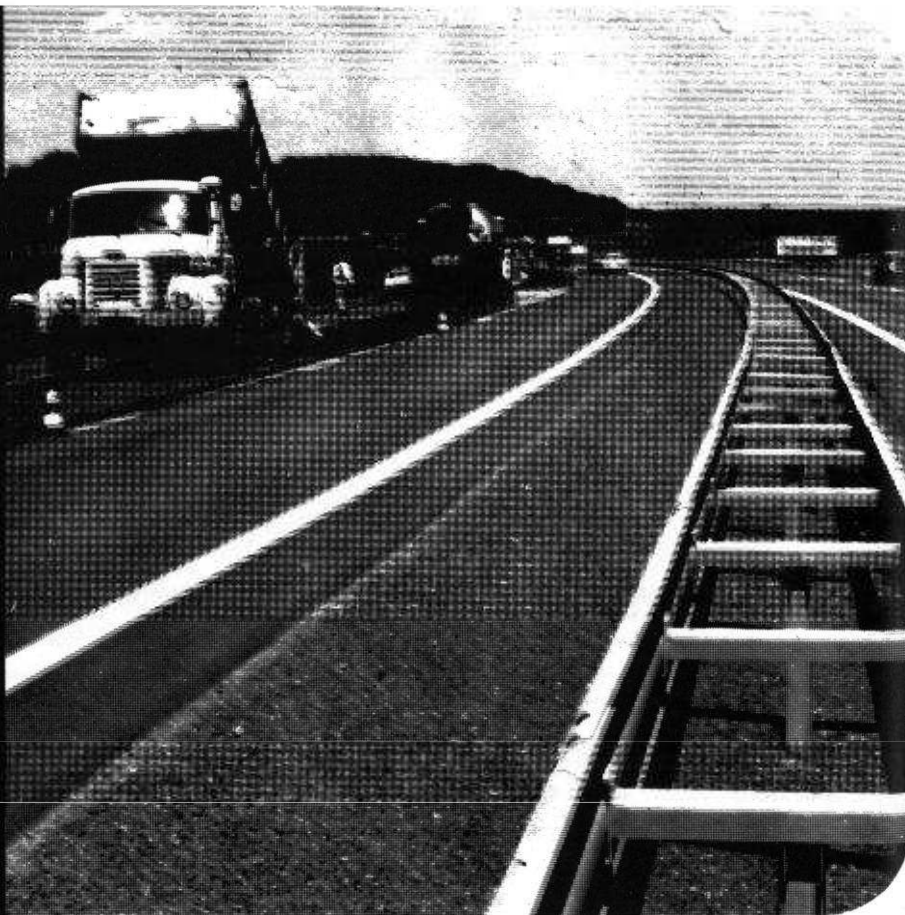
**Directions régionales et agences :**

84 Avignon - 33 Bordeaux - 67 Brumath - 29 Châteaulin - 60 Compiègne - 59 Dunkerque  
- 17 La Rochelle - 56 Lorient - 69 Lyon - 57 Metz - 44 Montoir - 51 Reims - Paris -  
31 Toulouse - 37 Tours

**actiflex**  
émulsion  
aux élastomères



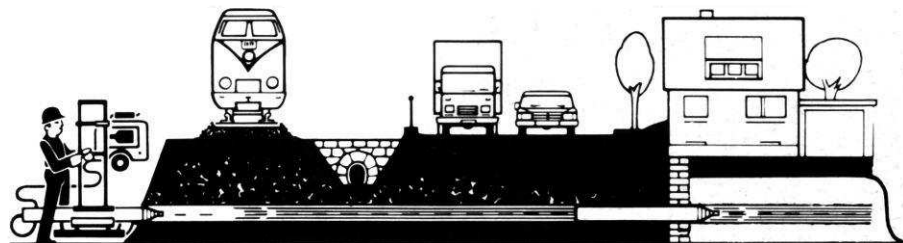
1 avenue morane saulnier 78141  
Velizy Villacoublay CEDEX  
boîte postale n°21 téléphone 9469660





# La MINI Fusée et le MAXI Pousse-tube

Sur son stand 522 D 3 à EXPOMAT 1985 la Société TRACTO-TECHNIQUES exposera sa gamme de matériel de forage, comprenant les fusées GRUNDOMAT en version "traction-de-tube" et GRUNDORAMM en version "pousse-tube" permettant de poser des tubes et câbles sous voies ferrées et routes sans ouvertures de tranchées.



Cette gamme a encore une fois été élargie par 2 types de fusées, la MINI GRUNDI de  $\varnothing$  extérieur 40 mm pour la pose de câbles ou fourreaux de 1" de  $\varnothing$ .



*MINI GRUNDI  $\varnothing$ 40 mm conçue spécialement pour la télévision à câble et les fourreaux de 1".*

La version "traction-de-tube" permet de passer des fourreaux pour l'eau, l'électricité, le gaz ou le téléphone en un seul passage (voir croquis). Toutes les fusées sont équipées d'un système de marche-arrière permettant ainsi des forages borgnes ou verticaux (protection cathodique, pose de micro-pieux, ancrages et autres).

La version "pousse-tube" sert à réaliser des  $\varnothing$  importants de forages en tubes acier sous routes ou voies ferrées. La nouvelle machine, le COLOSS 350 permet d'enfoncer des tubes jusqu'à  $\varnothing$  ext. 1.000 mm sur des distances jusque-là inconnues dans la technique de fonçage.

*Gamme des pousse-tubes "GRUNDORAMM" pour enfoncer des  $\varnothing$  importants de tubes acier sous voies ferrées et routes.*

Type de pousse-tube	TITAN	HERCULE	GIGANT	KOLOSS
$\varnothing$ mm	145	220	260	350
Longueur (m)	1,85	1,85	1,90	2,3
Poids (kg)	180	410	660	1300
Débit d'air (m <sup>3</sup> /min.)	4,0-5,0	6,0-7,0	10,0-12,0	20,0
$\varnothing$ du tube	jusqu'à 400	jusqu'à 600	jusqu'à 800	jusqu'à 1000

Sous réserve de modifications techniques.



La terre qui s'accumule à l'intérieur du tube lors du fonçage, est partiellement évacuée par une pièce intermédiaire en évitant ainsi un compactage dans le tube et en facilitant la vidange du tube (brevet déposé).



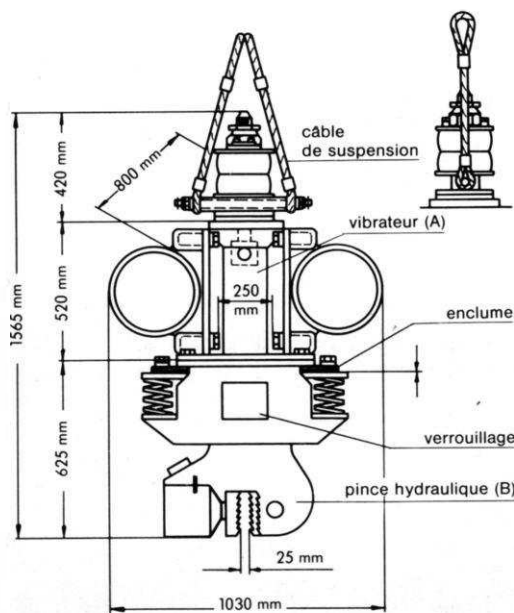
Pièce intermédiaire montée entre le pousse-tube GRUNDORAMM et le tube évitant le compactage du terrain à l'intérieur du tube acier.

En outre, la TRACTO-TECHNIQUES présente un appareil réchauffeur d'air comprimé UNITHERM qui évite le gel des outils pneumatiques en hiver.

## NOUVEAUTÉ

Mariage entre la vibration et le battage.

L'ELORAMM est un vibreur électrique qui sert à la fois de vibreur et de batteur (selon la nature du terrain).



Caractéristiques techniques		ELORAMM
Force centrifuge	kN (to)	0-150 (15)
Moment statique	Nm (kg/cm)	61 (610)
Amplitude d'oscillation (double)	mm	9,2
Force de battage	Nm (kp/m)	0-1280 (130)
Amplitude de frappe	mm	0-8
Puissance des moteurs endurance	kW	2x8
Puissance des moteurs pour mise en route	kW	2x17,5
Tours par minute	T/min.	1480
Courant de régime	A	2x15,2
Démarrage étoile triangle		Δ
Tension / fréquence	V/Hz	380/50
Nombre d'ampères nécessaires	A	63
Générateur nécessaire	kVA	30-60
Câble d'amenée jusqu'à 50m	mm <sup>2</sup>	4x10
Force de traction maximum	kN (to)	70 (7)
Poids total	kg	1325
Tirage de palplanches jusqu'à	kg	650
Enfonçage de palplanches jusqu'à	kg	500

Sous réserve de modifications techniques.

Lors des travaux d'assainissement, l'ELORAMM permet d'enfoncer et d'extraire des palplanches rapidement et presque silencieusement.

Pour faire la connaissance de tout le matériel, rendez-vous sur le stand 522 D 3 lors de l'exposition internationale EXPOMAT à Villepinte - 3-11 mai 1985

**La TRACTO-TECHNIQUES S.A. vous attend.**

PRIX DE L'INNOVATION 1984  
**LE JOINT C.W.S.** (Procédé Breveté)

**BACHY**  
C'EST AUSSI  
LA HAVEUSE DE PAROI



Acierie d'Hagondange / Fosse de coulée continue

92 Rue Baudin - BP 225  
92306 LEVALLOIS PERRET  
Tel. 730 29 29

Le Service des **CONGÉS PAYÉS**  
dans les **TRAVAUX PUBLICS**  
ne peut être assuré que par

## **LA CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS DE FRANCE ET D'OUTRE-MER**

Association régie par la loi du 1<sup>er</sup> juillet 1901  
Agréée par arrêté ministériel du 6 avril 1937 (J.O. 9 avril 1937)

**7 et 9, Av. du Gal-de-Gaulle - Terrasse Bellini - LA DÉFENSE 11  
92812 PUTEAUX Cedex  
Tél. : 778.16.50 — C.C.P. 2103-77 PARIS**

La loi du 20 juin 1936 et le décret du 30 avril 1949 font une obligation aux Entrepreneurs de TRAVAUX PUBLICS de s'y affilier sans retard.

Il n'existe pour toute la France qu'une seule Caisse de Congés payés pour les Entrepreneurs de TRAVAUX PUBLICS.



# LOCATION SANS CHAUFFEUR D'ENGINS DE VOIRIE

## UNE FORMULE D'AVENIR

La Société LE MATÉRIEL DE VOIRIE (L.M.V.) spécialisée depuis 70 ans dans la fabrication d'engins de nettoyage urbains (BALAYEUSES-RAMASSEUSES, ARROSEUSES, LAVEUSES, etc...) a mis récemment sur le marché un modèle de conception nouvelle : LA BALAYEUSE-RAMASSEUSE BR15. Cette machine, parfaitement adaptée aux besoins de notre époque, a séduit d'emblée les responsables municipaux et s'est attirée spontanément la sympathie des premiers utilisateurs. Elle présente, en effet, un ensemble de qualités qui n'avaient encore jamais été réunies sur un même engin : Rapport performances/Prix inattaquable - Bilan d'exploitation très économique - Fonctionnement silencieux - Esthétique nouvelle - Fiabilité à toute épreuve - Grande facilité de conduite et d'entretien.

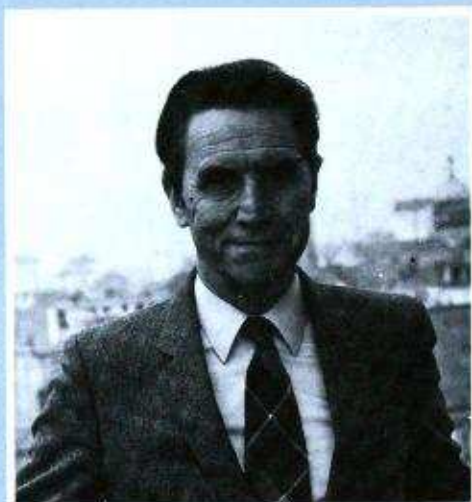
S'appuyant sur un large sondage auprès de 4.000 municipalités de toutes dimensions et compte tenu des caractéristiques particulièrement attractives de cette "BR15", la Société L.M.V. a décidé de mettre en place, à l'échelon national, une Organisation de **LOCATION SANS CHAUFFEUR**. Cette initiative intéresse principalement les municipalités qui ne disposent pas en permanence d'engins de nettoyage, ou celles qui souhaitent procéder au remplacement momentané d'un engin indisponible. Le recours à la location sans chauffeur devrait également s'imposer pour la réalisation de travaux exceptionnels, périodiques ou saisonniers. Il est en effet possible de louer une BR15 pour de très courtes périodes, et même à la journée, au même titre que n'importe quel véhicule utilitaire et sans autre formalité.

Il convient de souligner que la **LOCATION SANS CHAUFFEUR** d'engins de voirie n'a encore jamais été pratiquée en France. Il fallait en effet disposer pour cela d'un engin à la fois performant, très fiable et très simple à manœuvrer, pouvant être mis entre toutes les mains. Toutes ces conditions étant réunies sur la BR15, l'idée a rapidement fait son chemin.

Un premier réseau de location est d'ores et déjà opérationnel. Des développements sont prévus au cours de l'année 1985 pour répondre à une demande qui devrait considérablement se développer dans les mois à venir.



# Editorial



## *Interview de M. Jean ROYER, Ancien Ministre, Président de l'Établissement Public pour l'Aménagement de la Loire et de ses affluents (EPALA)*

**PCM : La revue PCM a souhaité consacrer son numéro de février aux grands aménagements hydrauliques. Pensez-vous, M. Le Président que ceux-ci soient encore de nos jours une nécessité ?**

J. ROYER : Les grands aménagements hydrauliques sont une nécessité et je pense qu'il est urgent de prendre conscience que la marge d'insécurité du pays s'est dangereusement accrue. Le meilleur exemple peut en être donné par l'année 1983 au cours de laquelle les inondations dans notre pays ont frappé 330 000 personnes et causé plus de 4 milliards de francs de dégâts dans tous les bassins fluviaux de la France.

D'autre part, il ne faut pas cacher les conséquences de l'abaissement du niveau des nappes souterraines et fluviales sur l'adduction en eau potable des villes, et plus généralement sur tous les usages mêmes de l'eau. Pour toutes ces raisons il faut éviter l'anarchie dans l'écrêtage des grandes crues trentenaires ou centenales et dans le soutien des étiages pour les bassins qui ont un régime fluvial irrégulier, notamment la Loire, la Garonne, la Saône et même la Seine sur certains de ces biefs.

Comment le faire sinon en établissant des barrages ? Ce ne sont plus les barrages de la génération d'après guerre qui avaient un objectif principal d'ordre économique : la production d'électricité. Maintenant les aménagements hydrauliques ont un rôle de protection et d'équilibre.

**PCM : Des aménagements hydrauliques qui n'auraient pas une finalité économique immédiate ont-ils en fait un avenir ?**

J. ROYER : Il faut être réaliste : je n'ignore nullement les difficultés de l'entreprise lorsqu'il s'agit de construire dans notre cas une demi-douzaine d'ouvrages ayant la double vocation d'être écrêteurs de crues et de soutien des étiages, en évitant que le coût total soit trop élevé par rapport au service rendu. L'ensemble coûtera 2 milliards de francs, qui, incontestablement, devront être intégralement payés au titre du service rendu. Les effets économiques à en attendre sur le moyen et le long terme — "je pense par exemple au tourisme sur les plans d'eau des retenues, au développement de l'irrigation, aux captages pour nos villes" — sont pratiquement inchiffrables.

**PCM : Comment financer 2 milliards d'investissement.**

J. ROYER : Il faut que le réalisme passe par deux qualités essentielles qui sont :

— une solidarité dans l'effort : le bassin de la Loire fait 1/5 du territoire français et regroupe environ 7 millions d'habitants, et il faut donc que les Ligériens, du Puy jusqu'à Nantes, soient bien d'accord pour participer au financement des constructions prévues, et d'autre part,

— un effort d'organisation et de volonté entre l'Etat, les Agences de Bassins et les collectivités territoriales rassemblées. Un aménagement comme celui de la Loire est un ensemble de portée nationale et non simplement inter-régionale.

Cette organisation et cette volonté permettraient en créant de grands chantiers et à la condition d'employer des technologies et du matériel français, de créer des emplois et de soutenir les activités de travaux publics.



Est-ce possible ?

Pour l'instant, en pleine crise économique, il semblerait bien que la solidarité existe, mais l'organisation et notamment les montages financiers sont encore loin d'exister. Il faut absolument que l'Etat s'engage à travers par exemple le fonds spécial des grands travaux en ajoutant une quatrième rubrique pour les travaux d'hydraulique, qui compléterait celle des économies d'énergie, des transports et des travaux routiers.

Je suis partisan également d'augmenter le nombre des participants : l'aménagement d'un fleuve comme la Loire est de dimension non seulement nationale mais aussi européenne.

L'Epala a l'intention très ferme de demander à la Commission Européenne un concours du FEDER. Ce concours de l'Europe pourrait être de deux ordres : soit un investissement par subventions directes, avec l'accord de la Datar, soit une participation par des prêts de la Banque Européenne d'Investissement.

Ensuite il faut reconsidérer la nature et les modalités des emprunts : il faut être audacieux et trouver un système de financement complètement réadapté à l'ampleur, au coût et à la durée de l'entreprise. Voilà le problème posé.

**PCM : Compte tenu de l'importance des travaux d'aménagement hydrauliques et de leurs conséquences potentielles, quelles sont à votre avis les précautions dont doit s'entourer le décideur ?**

Il faut intégrer dans nos études la totalité des dimensions du problème. Il ne faut jamais en oublier une. Nous n'avons le droit ni d'oublier les dimensions de l'hydraulique ni les dimensions de l'environnement, ni celles de l'économie. Il ne faut pas non plus oublier la psychologie : il ne s'agit pas d'aller faire des sondages géotechniques à tel ou tel endroit sans qu'une concertation locale ait auparavant eu lieu. Il ne faut pas oublier non plus les problèmes d'eutrophisation des retenues, de colmatages éventuels des puits d'eau potable à l'aval des barrages, de remontées des poissons migrateurs, ou de disparition de certaines entreprises agricoles ou industrielles sur les bords des fleuves aménagés, ni la nécessaire restitution des moyens de travailler et d'habiter dans tous les secteurs qui sont touchés. En premier lieu, il faut une conception globale de l'ensemble des problèmes posés par la construction des ouvrages : en deuxième lieu il ne faut pas faire les études sans les Elus des populations, ou contre eux.

Dans notre cas, nous avons distribué une quinzaine de millions de francs de crédits d'étude depuis le Puy jusqu'à Nantes, en passant par Montluçon, la vallée de la Vienne et le Cher. Nous avons tenu de nombreuses réunions pour bien entendre les représentants élus de la population, et je suis allé à Villerest 15 fois sur le terrain pour régler les problèmes.

C'est à ces conditions que l'on arrive à faire d'un barrage non pas un fléau, mais un progrès même dans l'ordre local. Il ne faut pas bloquer le progrès mais il faut le maîtriser et le répartir entre tous ceux qui en ont réellement besoin, aussi bien ceux qui bénéficient de la construction des ouvrages — à l'aval généralement —, que ceux qui apparemment en ont supporté les servitudes à l'amont, mais qui bénéficieront des progrès qu'ils entraînent.

**PCM : Notre dernière question est plus corporative : quel est selon vous le rôle que les ingénieurs des Ponts et Chaussées ont à jouer dans le cadre que vous venez de décrire ?**

J. ROYER : Ce rôle est facile à déterminer et vous le connaissez bien : tout d'abord les différents services d'hydrologie et d'hydraulique de l'Etat ont fait leur preuve depuis des siècles déjà et doivent continuer à servir de conseiller technique d'une part, de meneurs d'études d'autre part, et enfin de maître d'œuvre dans la conduite d'un chantier, avec dans ce cas d'autres techniciens : il y a ceux de l'EDF qui ont fait leurs preuves aussi, ainsi qu'un certain nombre de Cabinets privés spécialisés.

On retrouve les ingénieurs des Ponts et Chaussées dans le domaine de l'exploitation des barrages et du contrôle par télémesure des différences de niveau d'eau qui se produisent dans les bassins. C'est ainsi qu'à l'Epala tout le réseau de télémesure est établi par le soin des I.P.C.

Là encore le maître d'ouvrage doit voir globalement les problèmes posés et répartir équitablement entre les services publics et les initiatives privées l'ensemble des missions (d'études de pilotages, et les nécessaires missions de contrôle).

La synthèse d'une part, l'équilibre dans la répartition des missions d'autre part, c'est comme cela que se reflètera la véritable image de la France.



# Les barrages : Histoire - Rôles et Risques

par *André GOUBET,*  
*Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées*  
*Chargé de mission auprès du Directeur du Gaz, de l'Électricité et du Charbon*

Si l'on demandait à un Français ce qu'évoque pour lui le mot "barrage" il répondrait sans doute "électricité" ou "béton". Or les barrages destinés uniquement, ou même principalement, à la production énergétique ne sont pas les plus nombreux, quant aux ouvrages en béton ou en maçonnerie, ils ne constituent qu'une assez faible minorité des ouvrages.

Un peu d'histoire nous permettra d'y voir plus clair.

## Un peu d'histoire

### D'abord l'agriculture

Les civilisations les plus anciennes semblent s'être organisées autour, et peut-être à cause, des ouvrages liés à la maîtrise de l'eau utilisée à des fins agricoles. En effet, la réalisation d'investissements lourds (canaux d'irrigation...), leur entretien et leur protection, le partage de l'eau exigeaient des structures sociales stables et complexes, régissant des populations importantes.

Ces civilisations sont apparues dans des régions soumises à l'alternance des saisons sèches et humides (Asie des moussons, Égypte...) ou dans des zones semi-arides (Arabie) dont les pluies brutales et rares devaient être valorisées au mieux.

Il est vraisemblable que les premiers aménagements ne comportaient que des rigoles d'irrigation puis qu'apparurent des barrages. Des plus anciens, sans doute réalisés en terre, il ne peut rien subsister : de hauteur modeste, envasés depuis longtemps, reconquis par la végétation, ils ont totalement disparu (on a d'ailleurs perdu trace de barrages en terre vieux de quelques siècles seulement).

Les plus anciens barrages connus, en Jordanie et en Égypte, datent d'environ 5 000 ans, mais leur importance suffit à prouver qu'ils avaient eu de nombreux antécédents. Au 2<sup>e</sup> millénaire avant J.-C. Les ouvrages se multiplient de la Grèce à l'Indus. Au 1<sup>er</sup> millénaire on en trouve un peu partout de la Turquie à la Chine.

On connaît bien par exemple le barrage en maçonnerie de Marib au Sud Yémen construit il y a 3 000 ans et qui a été utilisé 1 500 ans. Haut de 20 m environ, long de 600 m il aurait encore aujourd'hui droit au titre de "grand barrage".

Puis les barrages en terre se développèrent rapidement dans toute l'Asie des moussons au début de notre ère avec le développement de la culture du riz : le plus ancien barrage japonais en service serait contemporain de Clovis !

À la même époque, en Occident, les Romains ont construit un certain nombre de barrages en maçonnerie mais d'importance généralement modeste : en Provence, en Espagne (où certains sont encore en usage), en Libye, en Asie Mineure. Le plus ancien barrage voûte connu date de cette époque, ses ruines ont été retrouvées près de St-Rémy de Provence.

Les grandes invasions et le Moyen Âge allaient suspendre la construction des barrages importants pendant mille ans en Europe. Par contre, et en parallèle avec le développement des barrages en terre du sud-est asiatique, allait se perpétuer en Iran une longue tradition de barrages en maçonnerie (le plus souvent de barrages-poids). Elle devait atteindre son apogée avec le barrage voûte de Karit, haut de 60 m, construit à la fin du 13<sup>e</sup> siècle et qui allait détenir le record mondial de hauteur pendant 6 siècles. Aujourd'hui, totalement envasé, il demeure à peu près intact.

Encore aujourd'hui, certains des plus grands barrages actuels sont destinés, au moins pour partie, à l'irrigation, surtout en zone aride ou semi-aride. Et en France même, une tranche des barrages de Serre-Ponçon et Sainte-Croix qui constituent nos deux plus importantes retenues, est réservée à l'irrigation de la Provence.

Et puisqu'élevage et agriculture sont souvent connexes rappelons, à titre de curiosité, la réalisation au Moyen Âge et même après, dans notre pays et sans doute ailleurs, de nombreux petits barrages destinés à créer des étangs réservés à la piscicul-

ture : un hectare d'étang procurait peut-être plus de protéines qu'un hectare de forêt ou de lande.

### Ensuite les transports

La voie d'eau, à une époque où le cheval ne pouvait transporter lentement que quelque centaines de kilos, présentait des avantages considérables et le développement des voies navigables artificielles en Europe est sans doute une des grandes étapes du développement moderne.

Mais, qui dit canaux dit bief de partage à alimenter : le premier grand barrage français en maçonnerie toujours en service est celui de Lampy (16 m de haut) construit en 1780 pour alimenter le canal du Midi, mais dès 1672 celui-ci utilisait les eaux du barrage de St-Ferréol (35 m de haut) dont la structure composite utilise à la fois la grante et la terre.

Vinrent ensuite, entre 1830 et 1842, les barrages de Grosbois et de Chazilly pour le canal de Bourgogne ainsi que ceux de Voireau, Globel et Bosmeleac pour le canal de Nantes à Brest et un peu plus tard, le barrage des Settons (canal de Bourgogne).

Le barrage de Bouzey, mis en service en 1884 et dont la rupture en 1895 causa une centaine de victimes, contribuait également à l'alimentation du canal de Bourgogne.

Les franchissements de nouveaux seuils par des voies navigables deviennent rares au moins en France et le service des Voies Navigables ne construit plus de barrages ; par contre, il a à entretenir un certain nombre d'ouvrages qui, tant en raison de leur âge que des techniques mises en œuvre lors de leur construction, peuvent poser aujourd'hui des problèmes délicats.

### Puis l'industrie et les villes

Les développements industriels du 19<sup>e</sup> siècle provoquèrent à la fois le développement de grandes cités et l'apparition d'ensembles industriels de grande taille ayant parfois des besoins en eau importants : pour alimenter St-Étienne, et pour écrier les crues menaçant la ville, on réalisa en 1866 le barrage du Gouffre d'Enfer ; dans l'igno-

rance de l'existence des anciens barrages iraniens, on considérait naguère qu'il avait détenu le record mondial de hauteur (52 m) pendant 40 ans.

Suivirent immédiatement des barrages pour desservir Annonay, St-Chamond, Roanne, Firminy,...

De nombreux barrages français récemment construits ou en projet sont destinés totalement ou partiellement à l'alimentation en eau des agglomérations ; la ceinture de barrages en cours de réalisation depuis un demi-siècle autour de Paris contribue par exemple à cette fonction.

### Enfin arriva l'énergie puis l'électricité

L'utilisation énergétique de l'eau remonte au 1<sup>er</sup> siècle de notre ère et elle a connu un vif essor depuis le 12<sup>e</sup> siècle jusqu'à l'apparition de la machine à vapeur. Il est vraisemblable que certaines villes se sont développées au Moyen Age autour des sites hydrauliques comme plus tard d'autres sont apparues autour du carreau des mines. De même qu'un coche d'eau transportait une charge bien supérieure à celle d'un cheval, une modeste roue de moulin fournissait une énergie bien supérieure.

Mais jusqu'à 1837, l'énergie hydraulique n'a pu être valorisée que dans des installations dont la hauteur de chute ne dépassait guère le mètre. Nous pouvons hésiter à classer dans la catégorie des barrages les ouvrages qui créaient des chutes aussi faibles.

On peut tout au plus remarquer que la hauteur des écluses de navigation (ou des "passes" qui permettaient la navigation ou le flottage à sens unique sur des cours d'eau descendant vers Paris) et la hauteur utilisable par les moulins étaient voisines. On a assisté aux 18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles à l'équipement plus ou moins conjoint "énergie-navigation" de nombreuses vallées parfois abandonnées aujourd'hui par l'un et l'autre usage. Les ouvrages hydrauliques étaient parfois considérables pour l'époque et il serait intéressant, pour la petite histoire, de savoir comment les dépenses étaient partagées !!

En 1837, Fourneyron aménage une chute de 108 m en Forêt Noire et l'expression "Houille Blanche" apparaît vers 1854. Trente ans plus tard l'hydroélectricité prend naissance et les barrages destinés à la production d'énergie vont se multiplier surtout après la seconde guerre dans toutes les montagnes européennes dont les possibilités sont à peu près totalement utilisées aujourd'hui, du moins dans les pays fortement industrialisés.

Mais il ne faut pas oublier qu'à l'opposé le potentiel mondial demeure presque vierge et que son équipement complet procurerait une quantité d'énergie du même ordre de grandeur que celle contenue dans les réserves pétrolières actuellement connues.

Cette perspective largement ouverte, jointe aux besoins de terres irriguées nouvelles dans des pays de plus en plus peuplés, explique que les bureaux d'études et les

entrepreneurs français, qui s'étaient créés ou organisés à l'occasion des réalisations nationales, soient tournés aujourd'hui résolument vers l'étranger... où ils ont notamment à affronter leurs collègues européens qui ont suivi un chemin analogue.

### ...Suivies de la protection contre les crues et du soutien d'étiage

Les barrages du 19<sup>e</sup> siècle étaient très coûteux : le barrage du Gouffre d'Enfer cité ci-dessus est revenu à 1 600 000 F (francs or bien sûr) pour 1 600 000 m<sup>3</sup>. L'eau stockée ne pouvait donc être utilisée que pour des usages nobles. Les barrages de protection contre les crues ne sont guère apparus en France qu'après la seconde guerre mondiale lorsque les techniques modernes ont permis de réduire suffisamment les coûts.

Si dès 1924, on prévoyait de protéger Paris contre les crues à l'aide d'une ceinture de barrages, ce n'est que quarante ans plus tard que le premier vit le jour. Dans le bassin de la Loire, le barrage de Villerest se termine tout juste, tandis que le département du Gard poursuit la mise en place d'un ensemble d'ouvrages dont la grande crue de 1958 a montré l'intérêt. De la même façon, le relèvement des débits d'étiage, en dehors d'utilisations bien définies (irrigation, alimentation en eau potable), ne peut être généralement envisagé que si le coût de l'eau n'est pas excessif. Ce résultat est généralement atteint qu'avec un barrage pouvant être conjointement utilisé à une autre fin.

### Moulin à eau (Tarn).



### Et pour terminer, un peu de tourisme

Dans notre civilisation de loisirs, l'eau joue un rôle touristique important et l'on a réalisé des plans d'eau dans ce seul but, mais ces barrages demeurent l'exception. Par contre on s'efforce de tirer le meilleur parti des réservoirs créés par ailleurs : barrages hydroélectriques pleins pendant l'été, plans d'eau de queues de retenues maintenus grâce à une petite digue annexe.

### Le registre mondial des grands barrages

La plupart des pays regroupés au sein de la Commission Internationale des Grands Barrages ont associé leurs efforts pour réaliser un recueil international des "grands barrages" (c'est-à-dire des barrages de plus de 15 m au-dessus des fondations : un grand barrage peut donc être un ouvrage assez modeste). Il contient environ 15 000 références dont 400 pour la France. Seule manque en pratique, et pour peu de temps encore, la Chine (qui, il est vrai, aurait à elle seule construit également 15 000 ouvrages grands barrages de hauteur toutefois relativement modeste) et, pour partie, l'URSS.

Son examen permet quelques constatations intéressantes qui recourent pour partie les développements précédents :

En 1900 il n'existait que 820 grands barrages dans le monde (Chine exclue) dont 475 au Japon (irrigation) et 170 en Grande-Bretagne (développement industriel). Parmi ceux-ci 700 étaient en terre. Ces barrages intéressaient seulement 23 des États existants actuellement.

Ensuite on assiste à un développement quasi exponentiel : dans chacune des décennies successives du 20<sup>e</sup> siècle sont mis en service 300, 500, 900, 1 000 (crise économique mondiale), 1 000 (seconde guerre mondiale), 2 400, 3 600, 3 600 barrages.

Alors qu'en 1900, 85 % des grands barrages étaient en terre (et 97 % en 1830 !!), bon nombre des plus importants ouvrages sont réalisés en béton ou en maçonnerie après 1900 sous des formes très variées (barrages poids, voûte, voûtes multiples, à contre-forts...). Mais à partir de la fin de la dernière guerre les barrages en remblai (terre ou enrochement) reviennent en force pour s'imposer généralement même dans les plus grands ouvrages : les deux plus hauts barrages du monde seront (l'un est encore en construction) en terre ou enrochement. Ceci résulte de l'apparition des moyens de manutention modernes qui ont considérablement réduit le coût des remblais.

Aujourd'hui, même dans le cas où une fondation rocheuse permettrait de réaliser un barrage en béton, il est souvent moins coûteux d'utiliser les matériaux existants au voisinage pour réaliser un ouvrage en remblai.

Et l'on voit maintenant apparaître la technique du "béton compacté au rouleau" (pour franciser l'expression anglo-saxonne) qui unit à la fois les avantages du béton et du matériel de compactage classique et pourrait être appelée à un brillant développement.

## Les risques

Nous venons de passer en revue les multiples justifications économiques des barrages ; leur multiplication également rappelée ci-dessus, suffit à démontrer leur intérêt.

Mais, parallèlement, aux barrages peuvent être associées les plus grandes catastrophes imputables en temps de paix à des réalisations humaines : 3 catastrophes ont causé plus de 2 000 morts chacune, 3 autres environ 1 000 victimes. Même si deux accidents tragiques récents au Mexique et en Inde viennent de rappeler l'existence d'autres risques industriels, on conçoit aisément que des précautions toutes particulières s'imposent tant lors de la construction qu'au cours de l'exploitation des barrages.

Il faut toutefois constater que le nombre de victimes imputable à des ruptures de barrages est pour le monde entier, Chine exclue, d'environ 15 000, ce qui doit représenter l'ordre de grandeur des accidents mortels du travail survenus au cours de la construction des 15 000 grands barrages existants. C'est aussi l'ordre de grandeur des accidents mortels qui auraient pu être associés à la production de charbon nécessaire pour remplacer les seuls barrages hydroélectriques.

On doit ensuite noter la nette amélioration de la situation par rapport au début du siècle : au plan mondial 2 à 3 % des barrages construits vers 1900 se rompaient contre 2 à 3 % aujourd'hui, bien que l'on réalise souvent des ouvrages plus complexes sur des sites moins favorables.

Cette évolution résulte sans doute de causes multiples :

— meilleure connaissance technologique : la rupture du barrage de Bouzey a conduit Maurice Lévy à énoncer la "condition" auquel son nom reste attaché et l'accident de Malpasset a mis en évidence l'intérêt d'un drainage systématique du terrain de fondation à l'aval des barrages-voûtes. Ce n'est guère qu'à partir de 1860 que la construction des barrages en maçonnerie a cessé d'être empirique et depuis 1930 celle des barrages en terre.

— meilleure appréciation des crues exceptionnelles (40 % des ruptures de barrages est imputable aux crues).

*Il semble que le 1/4 des grands barrages construits aux États-Unis au siècle dernier se soit rompu !*

— meilleure appréciation de la notion même du risque lié aux barrages : certains ouvrages construits aux États-Unis à la fin du siècle dernier étaient réalisés sans le concours du moindre ingénieur.

— surveillance plus attentive lors du premier remplissage du barrage (40 % des ruptures surviennent à cette occasion).

— meilleur suivi en exploitation du comportement des barrages (développement des moyens d'auscultation).

On peut enfin constater que la sécurité des ouvrages réalisés au Japon et en Europe est manifestement meilleure que celle des barrages construits dans le reste du Monde..., mais rien ne permet de comparer objectivement la situation française à celle de nos proches voisins.

Il est évident qu'une bonne sécurité suppose l'intervention successive d'une bonne conception par un bureau d'études compétent, d'une réalisation soignée par un entrepreneur consciencieux et bien surveillé, d'une exploitation attentive et également surveillée.

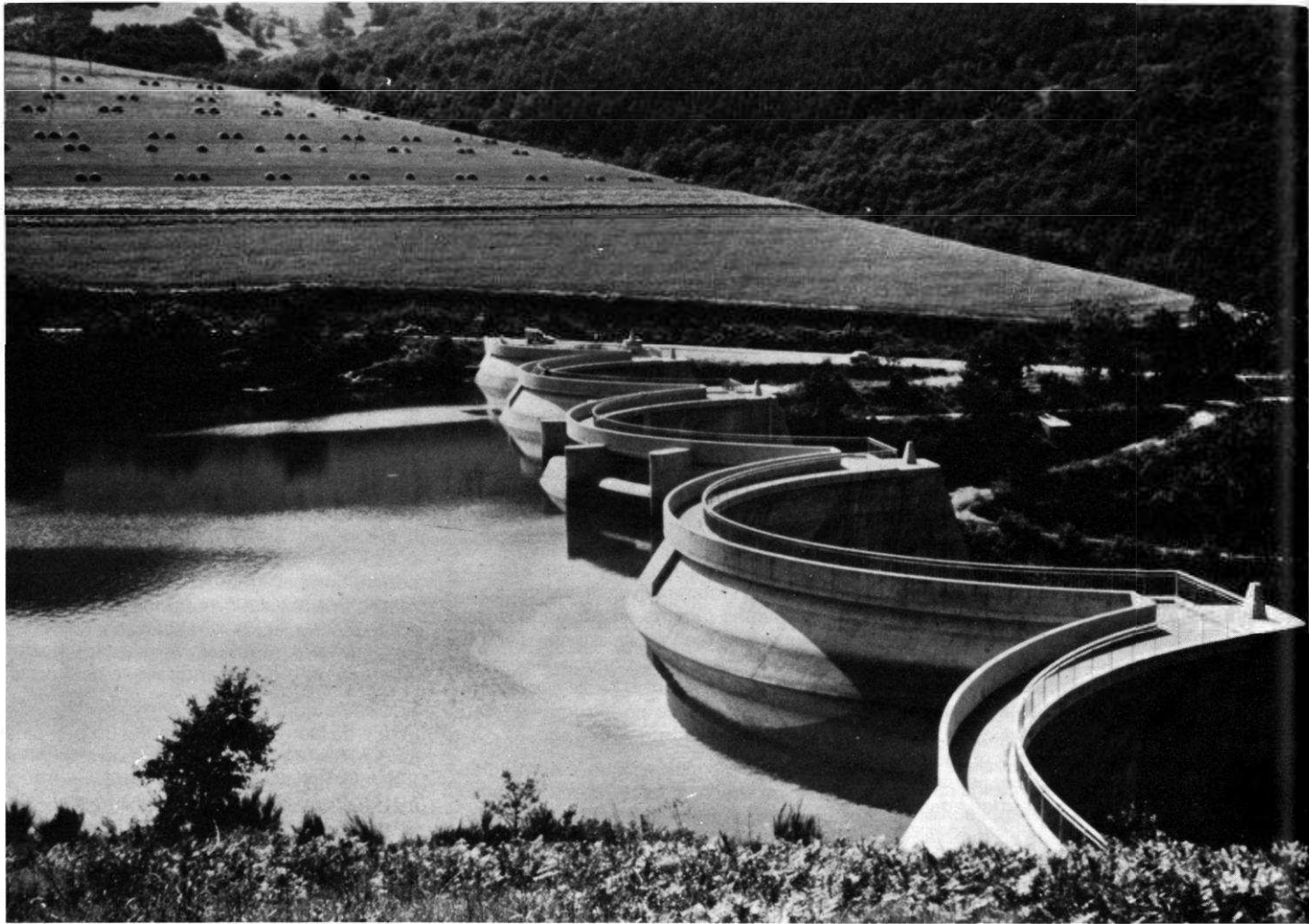
Et c'est là qu'intervient l'administration sur le rôle de laquelle je m'étendrai un peu plus longuement : en France, tout barrage construit sur un cours d'eau et susceptible de mettre en cause la sécurité publique est soumis au contrôle technique d'un service de l'État : service chargé de la police des eaux pour les barrages autorisés, service du Ministère du redéploiement industriel et du commerce extérieur pour les barrages hydroélectriques faisant partie d'aménagements concédés. Les missions de ces services de l'État sont définies avec précision dans une circulaire de 1970 (tant pendant la construction qu'en cours d'exploitation).

De la sorte, on évite notamment que, même dans le cas où maître de l'ouvrage, maître d'œuvre, bureau d'études et exploitant sont confondus dans un même organisme, ce dernier, aussi compétent fut-il, soit seul à intervenir. Aucun ingénieur n'est à l'abri d'une erreur ou d'une omission, aucun technicien n'est sûr d'éviter les conséquences de l'accoutumance. L'intervention d'un contrôle externe ne peut que diminuer sensiblement les risques (1).

C'est une réflexion de même nature qui a conduit le Gouvernement à créer en 1966, quelques années après la catastrophe de Malpasset, le Comité Technique Permanent des Barrages (décret du 13 juin 1966). Celui-ci, composé de fonctionnaires des cadres techniques et de personnalités hautement qualifiées, doit notamment être consulté sur les avant-projets et projets de barrages de plus de 20 m de haut au-dessus du sol. Son avis porte tant sur le contenu technique du dossier que sur la compétence, les pouvoirs et les moyens d'action de l'ingénieur appelé à diriger les travaux.

*(1) Un contrôle externe, qui revêt des formes très diverses, existe d'ailleurs dans de nombreux pays européens.*





*Le barrage de Soulagès (1968).*

Le Comité constitue donc, au stade de l'élaboration du projet, un partenaire supplémentaire particulièrement compétent dont la saisine oblige le concepteur à faire les études et reconnaissances nécessaires pour établir son projet et formaliser ses intentions dans un projet détaillé.

Mais quelle que soit la vigilance des techniciens, ceux-ci ne peuvent garantir de façon absolue l'intégrité et la pérennité d'un ouvrage. Toutefois l'expérience montre qu'un barrage ne se rompt pratiquement jamais brutalement : la ruine de l'ouvrage intervient après un processus de dégradation qui s'étend parfois sur plusieurs mois et toujours sur au moins quelques jours. L'expérience montre également que les pertes en vies humaines diminuent considérablement lorsque la population est prévenue d'une rupture, même très peu de temps à l'avance. C'est pourquoi tous les grands barrages récents et, dans la mesure du possible les barrages anciens, sont munis de dispositifs d'auscultation qui permettent de surveiller de façon continue le comportement de l'ouvrage et de procéder très généralement à temps utile aux interventions nécessaires et qui fourniraient un préavis précieux en cas d'évolution défavo-

nable irréversible. Par ailleurs, pour les barrages français les plus importants (20 m de haut et 15 millions de m<sup>3</sup>) on a installé, à l'aval immédiat, des sirènes qui peuvent être actionnées depuis le barrage et on a défini la zone susceptible d'être submergée en cas de rupture pour permettre aux autorités compétentes (Protection Civile) d'organiser la sauvegarde des populations concernées.

---

## Conclusion

---

Cet article ne constitue qu'un rapide survol du développement progressif d'une technique apparue voici près de 10 000 ans et qui a toujours été associée à l'évolution générale de l'humanité.

Ce numéro de la revue permettra d'en préciser les différents aspects tant en ce qui concerne les utilisations futures et variées des barrages en France, que les aspects techniques de quelques réalisations récentes dans notre pays ou à l'étranger où nos techniciens sont très présents.

Il permettra aussi d'essayer de clarifier l'interaction entre grands barrages et environnement : ardemment souhaitée par certains lorsqu'ils doivent limiter les crues ou soutenir les étiages, âprement combattue par d'autres lorsqu'ils noient les richesses écologiques de certaines vallées, voire des villages. Les très grands ouvrages ont toujours un impact considérable aux facettes multiples et contradictoires sur notre milieu et notre vie.

# Impact des grands barrages sur l'environnement

par J.-P. HENRY, IPC,

Direction de la Prévention des Pollutions - Ministère de l'Environnement

La Direction de la Prévention des Pollutions est souvent amenée à instruire des projets de grands barrages, qu'ils aient comme principal objet d'écrêter les crues, de soutenir les étiages ou de produire de l'énergie...

Ces projets dont la nécessité était communément admise par le passé suscitent parfois aujourd'hui une vive contestation. L'état actuel d'équipement des rivières et le constat des impacts cumulés des ouvrages, le développement des solutions alternatives aux grands barrages, la conjoncture économique peu favorable à leur réalisation conduisent assurément les aménageurs à s'interroger sur l'opportunité de certains projets. Pour les mêmes raisons, les populations susceptibles d'être affectées par un projet interpellent le Gouvernement et en particulier le Ministère de l'Environnement sur ses intentions à son égard.

Dans l'article ci-dessous, J.-P. Henry chargé de la "Mission Énergie" au sein de la Direction de la Prévention des Pollutions évoque les formes diverses de l'opposition aux grands barrages et mentionne quelqu'uns de leurs effets sur l'environnement. Au-delà, il rappelle la nécessité de prendre en compte les objectifs de développement ou de protection du patrimoine des collectivités directement concernées et les objectifs généraux de gestion des eaux des Bassins et de protection de la nature dans la conception des projets.

**Th. Chambolle** Directeur de la Prévention des Pollutions

Les projets de grands barrages, relativement bien acceptés par le passé, suscitent aujourd'hui de vives oppositions, alors même que les programmes de construction sont réduits. C'est que d'une part l'utilité des projets est moins manifeste qu'hier. D'autre part, l'évolution des besoins conduit à équiper des sites sensibles, à envisager des conditions d'exploitation a priori plus dommageables pour l'environnement.

## Les grands barrages : des projets contestés

Qu'il s'agisse en effet des barrages hydroélectriques ou des ouvrages de régulation, des solutions de substitution existent apparemment. Il n'est pas évident que le développement du programme électro-nucléaire

doive être accompagné de la construction de grands barrages - stations de transfert d'énergie par pompage - alors qu'il est question de "surproduction" d'électricité et qu'il est envisagé de moduler la charge des centrales nucléaires pour l'adapter aux variations de la demande.

Les grands ouvrages de régulation sont destinés à faire face à des situations relativement exceptionnelles où s'intègrent dans un programme à long terme de gestion de l'eau : leur intérêt général est mal aisé à percevoir. Ils sont en outre implantés dans des régions peu ou pas concernées par les besoins à satisfaire et dont les habitants ne tireront pas avantage des projets. Ils peuvent apparaître enfin comme une solution de facilité. Plutôt que de construire de nouveaux ouvrages, pour soutenir les étiages, il vaudrait mieux économiser l'eau, renforcer la lutte contre la pollution, revoir l'exploitation de retenues existantes... Pourquoï avoir laissé se développer l'urbanisation, le développement d'activités dans des zones inondables, qui rendent aujourd'hui nécessaire un barrage écrêteur de crues.

Ainsi devant les nuisances prévisibles d'un barrage, c'est son utilité même ou le choix du site d'implantation qui est parfois remis en cause. L'abandon récent de quelques projets, après des travaux de reconnaissance, contribue à conforter une telle attitude.

Les inconvénients des grands projets ne sont pourtant plus ce qu'ils étaient : il ne viendrait plus à l'esprit de retenir un projet noyant de nombreuses habitations ou une riche zone agricole. Mais des projets sont envisagés là où on ne les attendait pas : par exemple les retenues des stations de transfert d'énergie par pompage sont implantées en haute montagne, dans des sites où les seuls apports naturels sont nettement insuffisants pour envisager un équipement hydroélectrique traditionnel. Les territoires concernés, inexploités par l'homme, ou dont l'exploitation traditionnelle a été abandonnée, constituent des zones naturelles qui semblaient devoir être préservées et nombreux sont ceux qui en souhaitent la préservation, sinon la protection par voie réglementaire.

Les nouvelles conditions d'exploitation des barrages hydroélectriques, occasionnent des perturbations nouvelles, en vue de mieux répondre à la demande d'électricité : fréquentes variations du niveau du plan d'eau, brusques variations du débit restitué. Elles renforcent le caractère artificiel d'une retenue et lui font perdre son intérêt pour les communes d'accueil, pour le tourisme, le milieu aquatique en est profondément affecté.

## Quelques impacts des grands barrages

C'est dans ce contexte, assez nouveau, et en partie conjoncturel, que les Maîtres d'Ouvrage sont amenés à analyser les effets des projets de barrage sur l'environnement et à rechercher les moyens d'y remédier, de les compenser. Il ne s'agit pas seulement des effets sur le milieu aquatique, les plus courants et les plus immédiats. Il s'agit aussi des effets liés à l'existence du barrage, à sa construction (période de chantier) et à son exploitation dans les conditions normales et exceptionnelles.





"Un site de grand barrage hydroélectrique en haute montagne".

(EDF Aménagement de Grand Maison. Etude d'Impact).

Le vote récent de la Loi relative à la Pêche en Eau Douce et à la Gestion des Ressources Piscicoles et les débats qui l'ont précédé ont rappelé, si besoin était, la réalité des nuisances occasionnées par les barrages et la sensibilité de l'opinion à leur égard. La Loi a du reste renforcé des obligations anciennes ou introduit des obligations nouvelles en vue d'effacer partiellement l'obstacle constitué par le barrage, - par la mise en œuvre des dispositions assurant le passage des poissons, - d'en limiter les effets sur les eaux hors de la retenue - par fixation d'un débit réservé minimal à l'aval des barrages, - en vue enfin de prévenir les effets des vidanges, qui devront être préalablement autorisées.

L'impact physico-chimique et biologique sur les eaux emmagasinées et restituées suscite encore aujourd'hui interrogations et études. Un important programme est prévu sur ce point dans le cadre de la convention qui lie EDF aux Ministères chargés de l'Energie et de l'Environnement. L'impact est d'autant plus fort que la qualité des eaux est à l'origine plus mauvaise, ce qui conduit comme on le verra plus loin à replacer le projet de barrage dans un programme gé-

néral d'aménagement du cours d'eau concerné (1).

— L'impact du chantier, parfois non étudié dans le passé, n'est nullement négligeable. Il est du reste durable, ne serait-ce que par ce que le biotope d'une rivière est toujours très long à reconstituer. Mais il est difficile à appréhender au moment de la décision de réalisation, - le programme des travaux est rarement arrêté alors, - son contrôle par le Maître d'Ouvrage est malaisé dans le cadre traditionnel des relations Maître d'Ouvrage -

Entrepreneur. Enfin et surtout, les effets du chantier sont les premières perturbations apportées au milieu, parfois même avant la décision de réalisation, pour les travaux de reconnaissance. (La création de voies nouvelles, carrossables, susceptibles de générer ou d'accroître la fréquentation touristique motorisée est régulièrement contestée). Ils sont de ce seul fait très mal ressentis.

(1) Ces quelques lignes ne sauraient épuiser un aussi abondant sujet. "Energie Électrique et Environnement" publié sous la direction de M. R. Ginocchio aux éditions Eyrolles, donne un résumé succinct de l'impact des aménagements hydroélectriques sur l'environnement (p. 192 à 201).

Tout projet de barrage a des effets perturbateurs sur le paysage, qui, au cas particulier des équipements hydroélectriques, ne se limitent pas et de beaucoup à la seule retenue. La ou les conduites forcées et lignes d'alimentation ou d'évacuation de l'énergie sont fortement, et mal perçues. Dans le passé, leur conception n'a pas toujours reçu les soins souhaitables, entre autres parce qu'il s'agit d'accessoires au projet qui n'ont en outre suscité pendant longtemps aucune objection sérieuse.

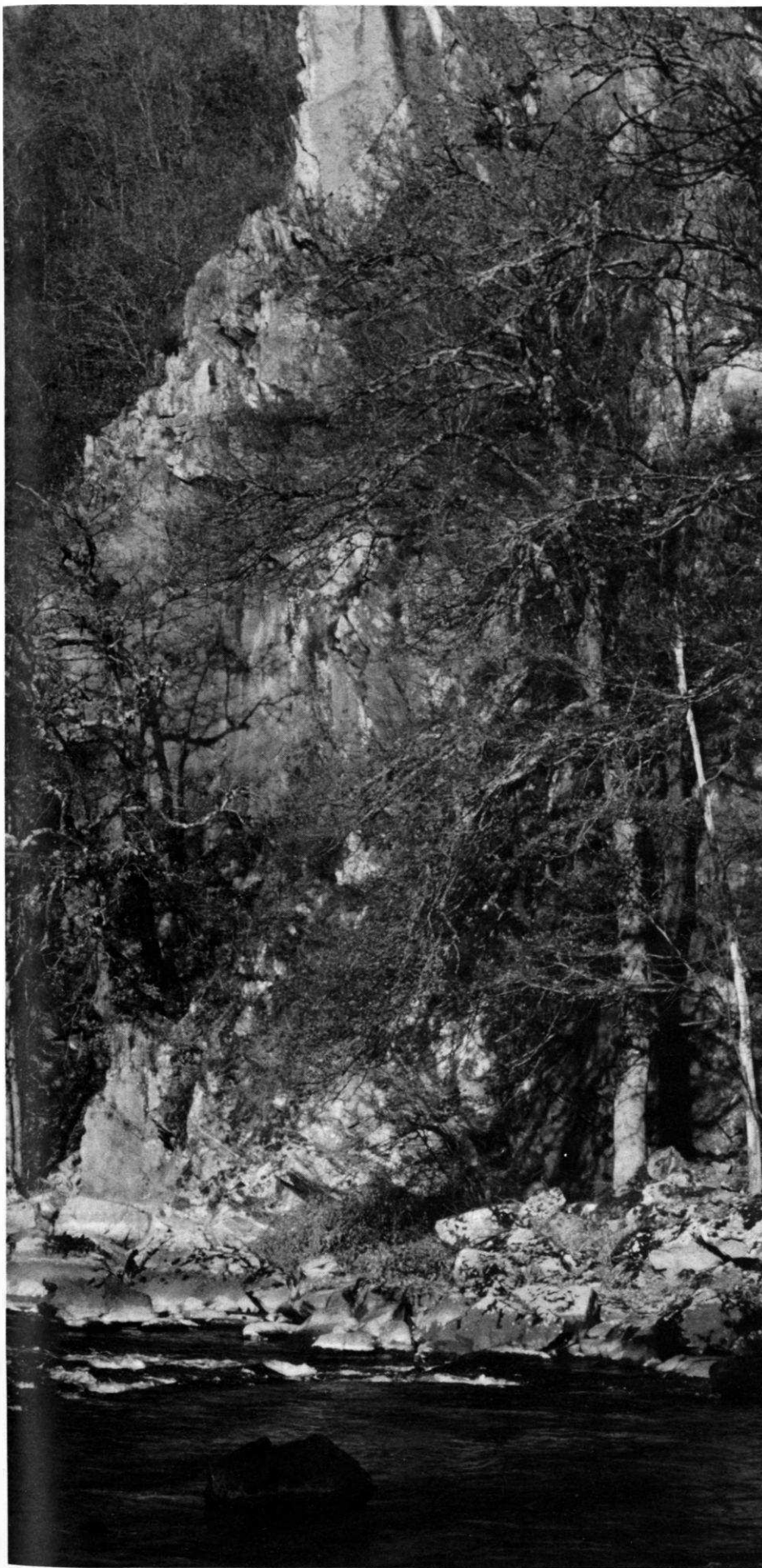
---

## Des mesures d'accompagnement à l'intégration des projets

---

De longue date, de nombreux effets des grands barrages ont été bien identifiés, admis pour la plupart comme inévitables, - ils le sont effectivement pour une bonne part, - et reconnus justiciables de compensations pour les populations directement affectées. Des compensations sont régulièrement accordées au cas des barrages hydroélectriques.





Une altération, même faible, d'un paysage harmonieux est mal acceptée. Ici, la base du rocher de Jupille sera submergée de quelques mètres.  
(EDF Aménagement de la chyte de Chézelles. Etude d'Impact)

ques : réserves en eau et en énergie au profit des collectivités territoriales, redevances piscicoles. Le champ des compensations a été sensiblement élargi par la Loi relative à la Protection de la Nature.

Au-delà des compensations, de plus en plus nettement, les collectivités locales directement concernées demandent que les grands barrages soient conçus et exploités en vue de contribuer à leur programme de développement. Ainsi chaque fois que cela est envisageable, le plan d'eau de la retenue - ou une partie seulement -, maintenu à un niveau sensiblement constant, sera le support d'équipements touristiques.

Enfin le souci d'une bonne gestion des eaux d'un bassin conduit de façon systématique à apprécier l'intérêt d'un projet de barrage, à préciser ses caractéristiques et à envisager des mesures d'accompagnement, compte tenu des divers usages actuels et prévisibles de l'eau. Dans cette optique, des usages multiples seront recherchés pour un barrage (production d'énergie, soutien des étiages, écrêtement des crues). (EDF et le Ministère de l'Environnement procèdent actuellement à un examen des conditions hydrauliques créées par les barrages existants, à l'inventaire des situations critiques, et à la recherche de moyens à même d'y porter remède).

La réalisation d'un projet pourra également être subordonnée - et ceci est relativement nouveau - à la participation du Maître d'Ouvrage à des programmes d'épuration des eaux, que ces travaux soient rendus nécessaires par le projet ou qu'ils doivent être de son fait anticipés. Dans une approche plus globale, il peut aussi être envisagé que les conditions d'exploitation d'ouvrages existants, situés dans le même bassin que le projet, soient revues.

Tant pour répondre à des obligations réglementaires - étude d'impact - qu'aux préoccupations diverses des personnes concernées par un projet de grand barrage, le Maître d'Ouvrage est amené à analyser les effets de son projet et à rechercher les moyens d'y remédier, ce qui soulève parfois des questions difficiles et de longs délais d'études. En outre, cette démarche, pour être fructueuse, suppose que les interrogations et propositions du public aient été bien perçues en temps utile, c'est-à-dire au minimum que le Maître d'Ouvrage se soit donné le temps de les recueillir et de les faire suffisamment expliciter.

Cette démarche, nécessaire, apparaît de moins en moins suffisante. On attend également du Maître d'Ouvrage, qu'il conçoive un projet susceptible de contribuer aux objectifs de développement des collectivités qui subissent les inconvénients du projet, et d'être intégré dans un programme général de gestion des eaux. C'est à cette condition qu'un projet sera bien accepté. Il ne sera pas forcément moins efficace pour le Maître d'Ouvrage et la décision d'aménagement sera toujours jugée beaucoup plus équitable.

# Le barrage de Laparan

par J.-CL. MILLET, EDF, Service de la Production Hydraulique  
et L. MONFORT, EDF, G.R.P.H. "Pyrénées"

Le barrage de Laparan est implanté à 1 500 m d'altitude dans les Pyrénées Ariégeoises, dans la vallée de l'Aston, affluent rive gauche de l'Ariège. Il est destiné à créer une retenue saisonnière complétant ainsi le potentiel hydroénergétique d'Électricité de France dans cette région.

## Géologie — Appuis

Le site de Laparan présente une morphologie typiquement glaciaire. Les études et les reconnaissances (1 600 m de forages, 3 galeries) ont conduit à choisir une implantation de l'ouvrage à l'amont de la partie la plus rétrécie du verrou glaciaire afin de se soustraire à des particularités géologiques pouvant conduire à des dispositions onéreuses.

A cet endroit, la vallée est dissymétrique :

— le versant rive gauche dans sa partie haute est formé d'affleurements rocheux où les vires étroites succèdent aux abrupts. Le pied du versant est occupé par des éboulis.

— le versant rive droite présente une pente régulière où éboulis et affleurements rocheux sous forme d'arêtes sont intimement imbriqués.

En fond de vallée, le remplissage alluvionnaire est important du fait d'un surcreusement du rocher vers l'amont : il atteint 20 à 25 m au droit du barrage. Le rocher constituant le substratum est un gneiss homogène fort peu altéré.

L'appui de la voûte est constitué par une entaille en forme de U dans le rocher. La profondeur de cette tranchée est telle que l'on ait une surface d'appui située à 5 m au minimum sous l'affleurement de façon à éviter la zone superficielle décomprimée.

Pour des raisons géologiques, cette profondeur a été augmentée en RD tandis qu'un léger report vers l'amont de l'appui RD a entraîné une incidence moins bonne sur la rive gauche d'où une augmentation des dimensions du talus amont de la tranchée pouvant atteindre plus de 20 m.

Les fouilles qui devaient ainsi se développer entre les cotes 1 550 et 1 435 comprenaient des terrassements dans les éboulis de rives et les alluvions de fond de vallée puis la création dans le rocher de l'ancrage.

Les particularités d'exécution de ces terrassements sont dues à la topographie et aux conditions géologiques du site auxquelles les méthodes de réalisation ont dû être adaptées.

## Caractéristiques principales de l'ouvrage

L'ouvrage est une voûte en béton à double courbure (rayon intérieur 132 m, rayon extérieur au couronnement 135 m) son développement en crête est de 280 m.

Son épaisseur à la clé est variable de 16,50 m au niveau des fondations à 3,80 m en crête. La hauteur maximale au-dessus du fond de fouille est de 106 m représentant un volume total de béton voisin de 205 000 m<sup>3</sup>.

Les caractéristiques de la retenue créée par le barrage se résument en quelques chiffres :

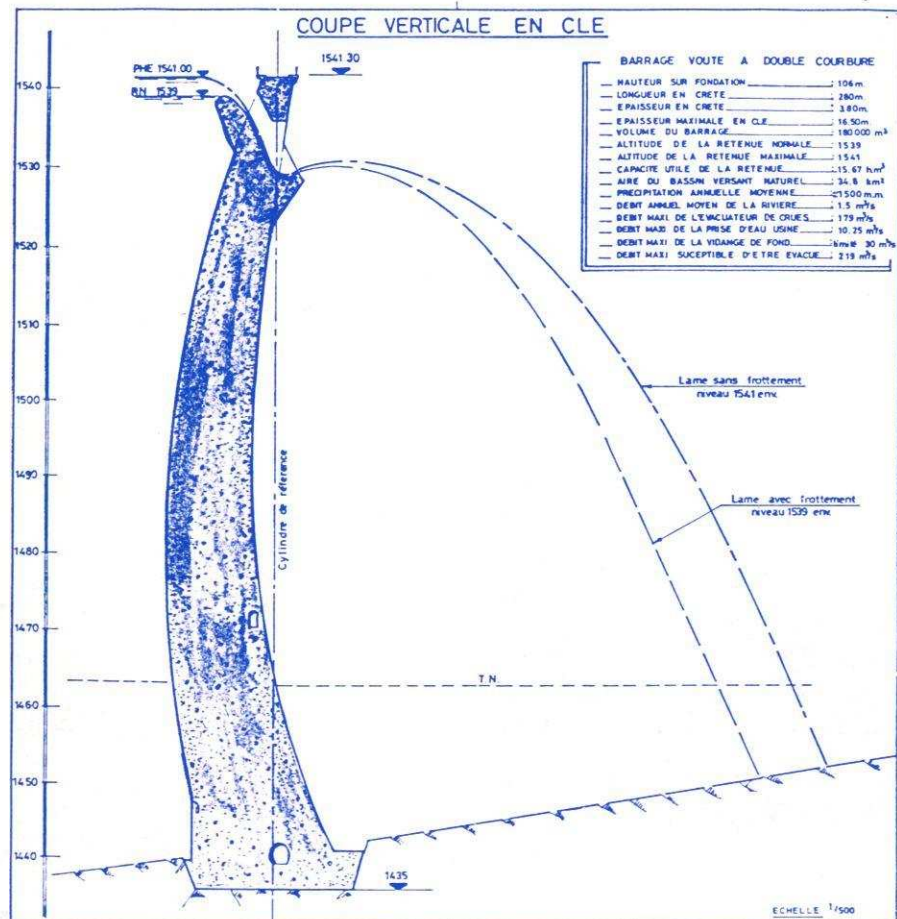
- réserve totale : 16 hm<sup>3</sup>
- réserve utile : 15,6 hm<sup>3</sup>
- hauteur de la tranche utile : 66 m
- surface de la retenue à niveau maximal : 40 ha environ.

Les ouvrages auxiliaires dont le barrage est équipé sont constitués par :

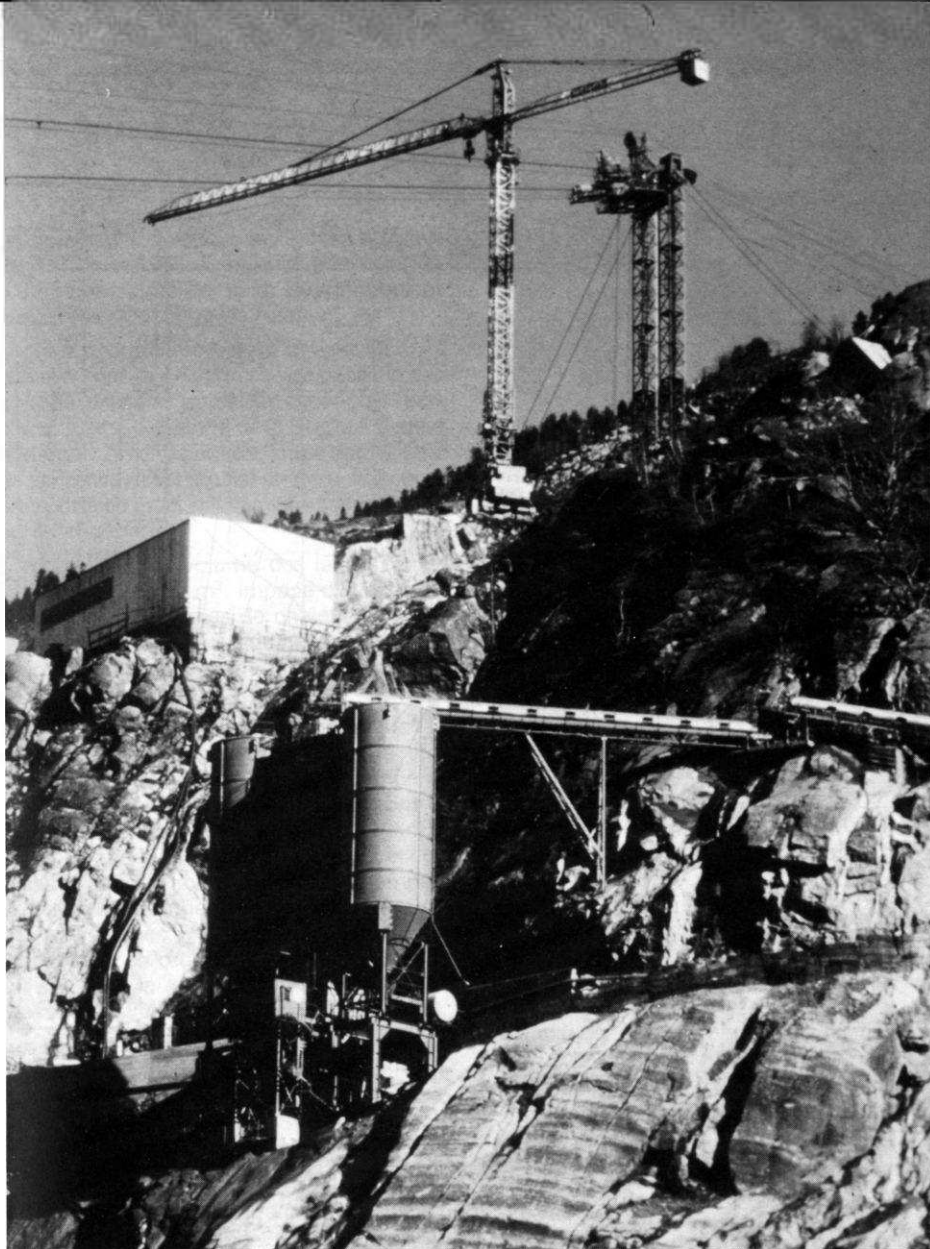
- une vidange de fond évacuant un débit maximal de 30 m<sup>3</sup>/s. Conformément aux dispositions habituelles, elle est équipée de 2 vannes en série : une vanne wagon de garde amont et une vanne segment aval de réglage.
- un déversoir de surface offrant une ouverture de 27 m est capable d'un débit de 179 m<sup>3</sup>/s, débit supérieur au débit instantané de la crue décennale.

La prise d'eau de l'aménagement hydroélectrique capable de dériver 10,25 m<sup>3</sup>/s est implantée en rive gauche, à l'amont immédiat du barrage.

Coupe verticale en clé.







La centrale à béton sous les points fixes du Blondin.

Enfin, pour permettre la réalisation de l'ouvrage, rappelons les caractéristiques de deux ouvrages préliminaires :

- la dérivation provisoire constituée par une galerie  $O 1 = 60 \text{ m}$ ,  $L = 400 \text{ m}$  creusée en rive droite
- le batardeau amont dont les caractéristiques seront développées ci-après.

## Travaux préparatoires

Les travaux préparatoires ont été exécutés entre 1980 et 1983. Ils ont été réalisés dans le cadre de l'aménagement provisoire de la chute dont l'exploitation a pu commencer, au fil de l'eau, avant la construction du barrage, à partir du mois de mai 1983.

Ces travaux préparatoires ont comporté essentiellement :

- une route d'accès de 4 km environ de longueur, prolongeant la route desservant la retenue de Riete et aboutissant sur la rive droite de la retenue.
- la dérivation provisoire.
- le batardeau de protection amont du chantier, de 10 m de hauteur environ et 85 m de longueur en crête, constitué par une di-

que en alluvions, avec étanchéité amont formée d'une membrane "Colétanche" posée sur un géotextile Bidim. L'étanchéité sous le batardeau est assurée par un voile d'injections d'une profondeur de 40 m.

- une prise d'eau provisoire aménagée en rive gauche du torrent dans le batardeau amont et se raccordant pour une conduite Bonna  $\varnothing 1,50 \text{ m}$  à la prise d'eau définitive située en tête des 4040 m de galerie type III.

## Installations de chantier

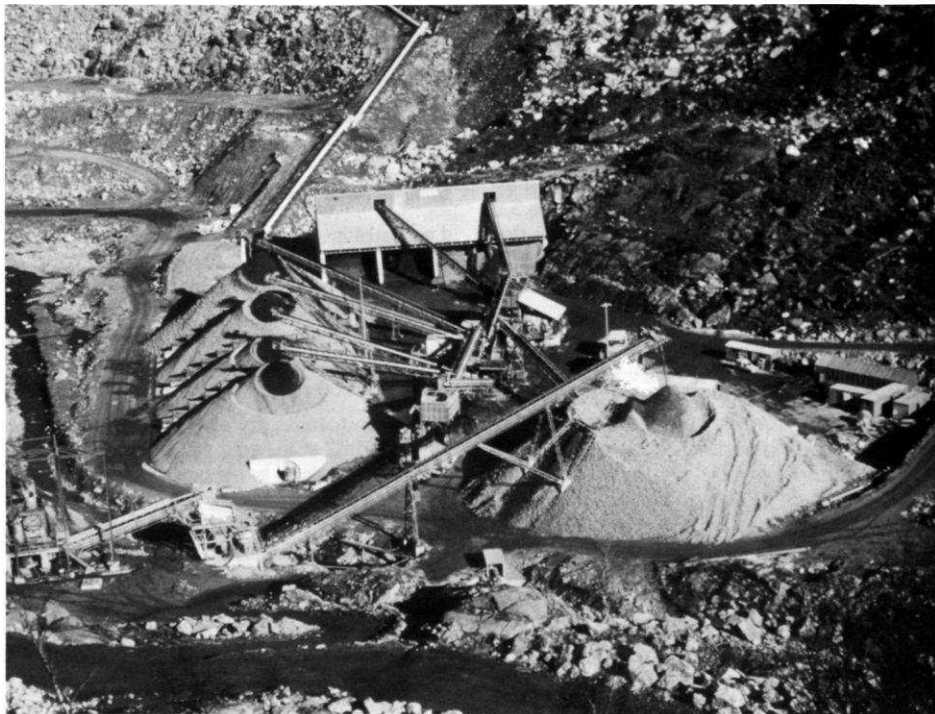
Les installations principales concernent d'une part la préparation des agrégats et la fabrication des bétons, d'autre part les manutentions sur le chantier.

Les granulats nécessaires à la fabrication du béton sont extraits d'une carrière ouverte dans les gneiss dans la partie amont de la retenue. La définition de son emprise est telle que l'exploitation ne dépassera pas le niveau de la retenue normale.

Le matériau extrait est un gneiss analogue à celui formant les appuis du barrage : il est dur, abrasif et ne présente pas de phénomène d'attrition.

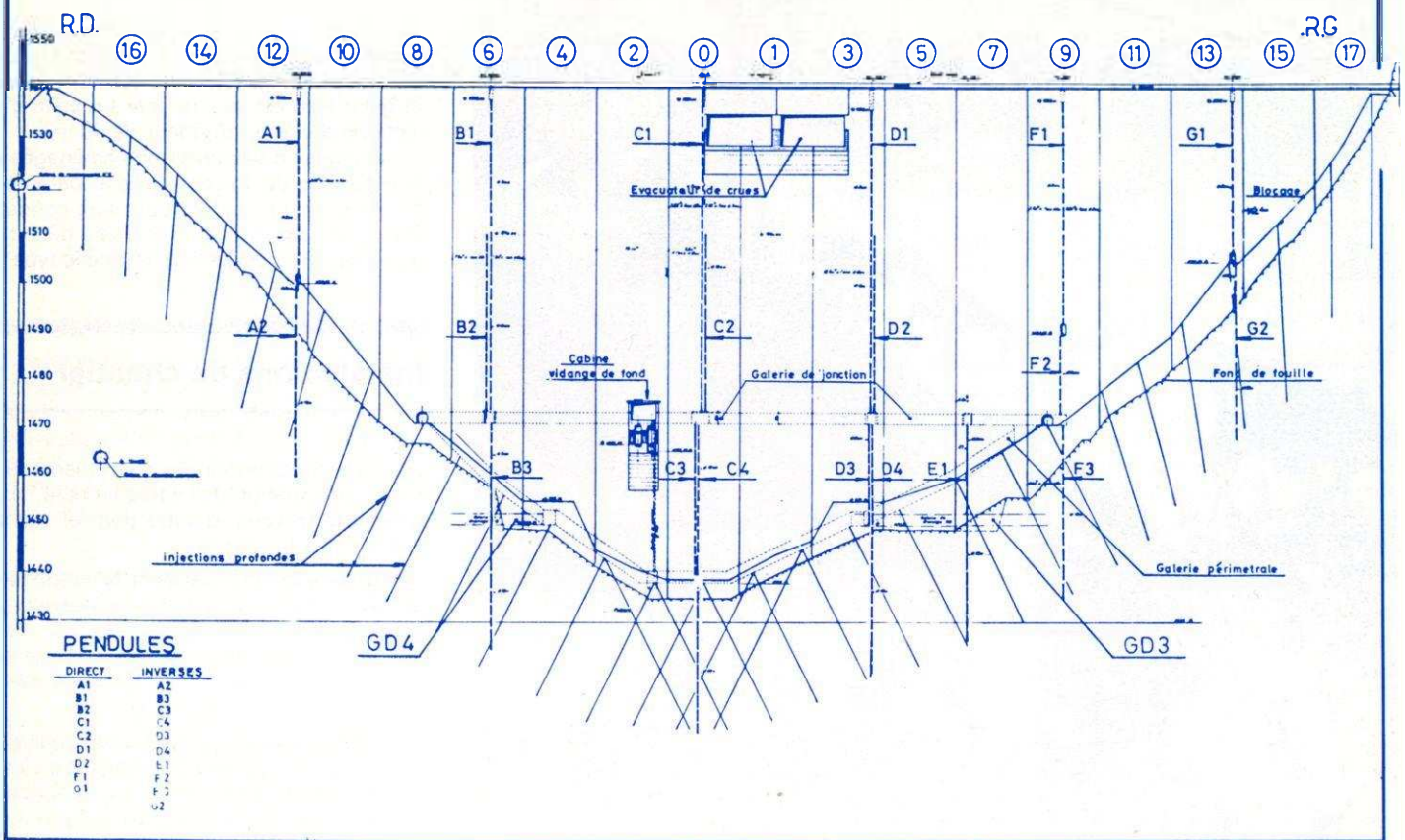
La carrière est exploitée sur deux étages, par fronts de 15 m de hauteur. Les matériaux extraits sont acheminés vers une station de concassage-criblage distante de 200 m de la carrière capable d'un débit de production de 200 T/heure de matériaux lavés, classés en six catégories granulométriques : 2 sables 0,08/0,63 mm et 0,63/5 mm et 4 graviers 5/16 mm, 16/31,5 mm, 31,5/63 mm, 63/120 mm.

La station de préparation des granulats de béton.





## ELEVATION AVAL



### Dérivation à Val.

Les sables sont stockés sous halls couverts, les agrégats en tas. La reprise s'effectue par extracteurs en tunnel sous les tas et les halls, sur appel de la centrale de fabrication des bétons.

La liaison entre les stocks à la station de concassage-criblage et les six compartiments du stockage de la centrale à béton, est assurée par un grand transporteur couvert de 500 m de longueur, équipé d'une bande de 800 mm, capable d'un débit de 300 t/h. Ce transporteur se développe vers la rive droite de la cuvette, entre le niveau 1473, carreau de la station, et le niveau 1569, goulotte de répartition au sommet de la centrale, selon une pente moyenne de 20 %, atteignant pour certains tronçons jusqu'à 30 %.

La centrale de fabrication du béton est une centrale automatique Pataud, équipée d'un malaxeur à axe horizontal Sonthofen de 3,5 m<sup>3</sup>, et dotée de deux silos de stockage des ciments d'une capacité totale de 1 000 tonnes. La centrale est capable de produire 110 m<sup>3</sup> de béton à l'heure.

Outre le transporteur à bande de liaison entre la station de concassage-criblage et la centrale à béton, les manutentions sont principalement assurées, au-dessus du barrage, par deux blondins d'une capacité de 15 t et d'une portée utile de 412 m. Les points fixes de ces blondins sont en rive droite et la circulaire en rive gauche. Il s'ensuit que l'aire d'intervention des blondins ne couvre que seize plots. Une grue à tour Richier G 13.72 BR 6, implantée à l'aval de la culée de rive droite, dessert donc les trois ou quatre plots extrêmes RD. Sa hauteur est de 45 m et sa flèche de 40 m est capable de 5 t en tout.

La circulaire du blondin est une circulaire artificielle posée sur une charpente métallique en estacade. Elle est tenue, à l'arrière, par douze massifs en béton distants de 9 m et ancrés chacun par quatre tirants VSL de 80 t, scellés sur 14 m dans le rocher. Compte tenu de l'inaccessibilité du site, les bétons des massifs ont été transportés par l'hélicoptère.

Les points fixes sont haubannés, les haubans étant repris :

- latéralement, sur des massifs-poids en béton,
- à l'arrière, sur des massifs ancrés par sept ancrages : quatre de 36 t et trois de 144 t.

## La construction du barrage

### Les terrassements

Les terrassements destinés à dégager, en rives, les appuis du barrage et, en fond de vallée, les fondations de l'ouvrage représentent un volume de :

- 200 000 m<sup>3</sup> de matériaux meubles (non rocheux et alluvions)
- et 65 000 m<sup>3</sup> de matériaux rocheux.

Ils ont en totalité été exécutés entre le mois de mai 1982 et le mois de juin 1983. Les terrassements dans le rocher des appuis de rives, dans les gneiss de Riète, ont été réalisés avec prédécoupage, en phase définitive. En raison de l'escarpement de la rive gauche, cette opération a été un véritable travail d'alpinistes. En rive droite, la route d'accès ouverte en travaux préparatoires permettait d'amener aisément les engins à pied d'œuvre. En rive gauche, par contre, il a été nécessaire de créer une piste très

escarpée dont les pentes dépassent souvent 20 %.

Les abattages ont été exécutés par volées de 6 m de hauteur. En raison des difficultés d'accès, les deux premières volées ont été réalisées à la main, pour permettre de réaliser une plate-forme très étroite sur laquelle pouvait évoluer une pelle araignée Menzi-Muck.

Dans l'ensemble, les terrains excavés se sont révélés de très bonne tenue : quelques épinglages ont cependant été effectués, par précaution, soit à titre préventif, soit après exécution des déblais.

### L'étanchéité sous le barrage

L'étanchéité sous le barrage comprend deux types d'injections :

- un dispositif de collage béton-rocher
- une voile d'étanchement au large du rocher.

Le dispositif de collage béton-rocher est assuré par des perforations de 3 m de profondeur, à la maille de 3 m x 3 m et équipées, en partie haute, de tubes métalliques O 20/27 mm, scellés dans le massif de béton des plots du barrage, et débouchant dans la galerie périmétrale, parallèle au profil de la fouille et remontant jusqu'à la cote 1 470,00. Au-dessus de ce niveau, les injections sont faites à partir du parement aval du barrage.

La voile d'étanchement du rocher est exécutée au moyen d'injections profondes dans des forages perforés depuis la galerie périmétrale ou depuis le pied aval de l'ouvrage. Après les injections, un réseau de forages de drainage sera réalisé à l'aval du voile d'étanchéité.



## Les bétons

Les premiers bétons du barrage ont été coulés le 10 juin 1983. L'ouvrage est construit en dix-neuf plots de 15 m de longueur et par levées de 2,50 m de hauteur.

Le liant hydraulique est un ciment CLK 45 choisi en raison de l'agressivité possible des eaux qui sont très pures. Ce ciment est fourni par l'usine d'Ébange de la Société Cedest (Lafarge). Amené par voie ferrée depuis l'est de la France, il est stocké en gare de Foix et transporté en vrac, par camions spéciaux jusqu'au chantier.

L'importance du volume des levées, pouvant atteindre 800 m<sup>3</sup>, impose d'avoir à résoudre des problèmes de chaleur d'hydratation en été, et de prise du béton par temps froid, le bétonnage s'effectuant du 1<sup>er</sup> avril au 30 novembre.

Pour les bétonnages par temps chaud, la centrale a été équipée d'un système de réfrigération permettant d'abaisser la température de l'eau jusqu'à + 1° C. Par contre, par temps froid, il est possible de chauffer l'eau de gâchage jusqu'à 60° C et de réchauffer à l'air chaud, dans les compartiments de stockage de la centrale, les agrégats des classes 5/16 et 15/31,5. Pour faciliter la mise en œuvre, deux adjuvants sont utilisés dans la composition du béton : un plastifiant BV 40 et un entraîneur d'air AER.

Les bétons fabriqués par la centrale en gachées de 3,50 m<sup>3</sup> sont transportés jusque sous les blondins et sous la flèche de la grue Richier, par un silobus SMISO de 5 m<sup>3</sup> chargé par gravité sous la trémie de réception de la centrale, et circulant sur une voie ferrée de 1,44 m, longue de 100 m.

Les bétons sont repris dans des bennes Sécatol, à ouverture pneumatique de 4,5 m<sup>3</sup> et mis en œuvre dans les plots, coffrés par des coffrages grimpants, hauts de 3 m et habillés d'une peau coffrante en contreplaqué de 20 mm d'épaisseur.

Ils sont vibrés par des appareillages comprenant trois aiguilles vibrantes hydrauliques Vibratechniques de Ø 150 mm, montées sur une poutre portée par les bras d'un boteur D4 et d'un boteur D3. Une vibration d'appoint est effectuée à la main avec des aiguilles vibrantes pneumatiques Vibratechniques de Ø 100 et 140 mm.

Les becs avant et arrière de l'évacuateur de crue sont coulés à l'aide d'éléments préfabriqués en béton et formant coffrages.

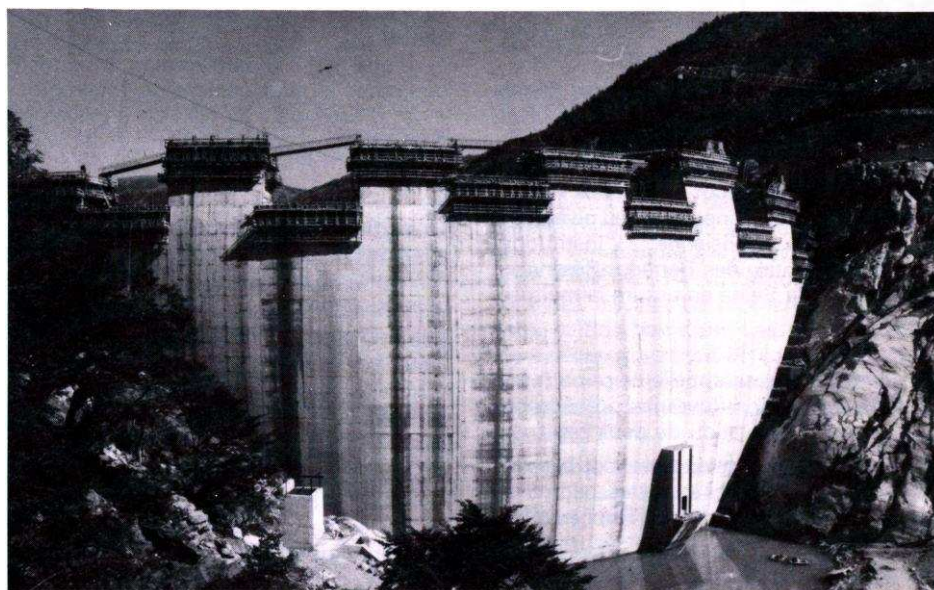
Au total, un volume de 205 000 m<sup>3</sup> environ a été mis en place entre juin et décembre 1984.

## L'étanchéité du corps du barrage

Les dix-huit joints entre les plots de construction du barrage comprennent des boîtes de cisaillement de 0,30 m d'épaisseur, en forme de tenons et mortaises ; ils sont fermés sur les parements amont et aval par des joints d'étanchéité Seuralité, type S 350, de



Barrage en construction.



Barrage en cours de finition.

350 mm de largeur et des joints horizontaux identiques, découpant des caissons de 12,50 m environ de hauteur.

Le clavage des joints entre les plots est assuré par des injections de coulis, à travers des rampes ménagées dans le béton et par des clapets "capitaine", réinjectables après que le béton de masse ait achevé son retrait.

Le contrôle de la stabilité du barrage, dont les calculs ont pris en compte la sismicité du site, comprend essentiellement une auscultation par pendules et pendules inversés, et quelques appareils extensomètres et fils profonds.

### Maître d'œuvre et d'ouvrage

Électricité de France — G.R.P.H.  
"Pyrénées"

### Ingénieur Conseil

Bureau Coyne et Bellier

### Travaux de Génie Civil

Groupement d'Entreprises Ballot et Campenon Bernard avec comme entreprises sous-traitantes : Solétanche - Sodafer - Richard

# Le Barrage-Réservoir "Aube"

par Jean-Pierre DUBEL, I.P.C.  
Institution Interdépartementale  
des Barrages-Réservoirs du Bassin de la Seine

Le Barrage-Réservoir "Aube", actuellement en cours de réalisation, est situé, comme les Barrages-Réservoirs "Seine" et "Marne", sur les argiles de Champagne Humide. Implanté dans le Parc Naturel Régional de la Forêt d'Orient, en rive gauche de l'Aube, il est très proche du Barrage-Réservoir "Seine" et distant d'une trentaine de kilomètres de Troyes.

Il aura une double influence sur les débits de la rivière, en écrétant les crues en hiver et au printemps, et en renforçant les débits les plus faibles en été et à l'automne. Son action sera sensible tout le long des vallées de l'Aube et de la Seine, jusqu'au niveau de l'agglomération Parisienne. L'Institution Interdépartementale des Barrages-Réservoirs du Bassin de la Seine en assure la maîtrise d'ouvrage.

La caractéristique essentielle de ce barrage, qui le distingue des ouvrages précédents, réside dans la réalisation de deux bassins.

Fermés par des digues en terre, ces bassins sont constitués par les cuvettes naturelles de l'Amance, de l'Auzon et du Temple, affluents de l'Aube.

Les deux plans d'eau ainsi constitués seront reliés par un canal de jonction, et mis en communication avec la rivière par deux canaux d'aménée et de restitution.

L'emprise globale des ouvrages représente près de 3 000 hectares soit une superficie comparable à celle du Lac d'Annecy, pour un volume de 175 millions de mètres cubes.

Les travaux nécessaires comportent, pour l'essentiel, la réalisation de 13 kilomètres de digues en terre et de 10 kilomètres de canaux, le plus souvent exécutés en déblai. Ils nécessitent la déviation de chemins départementaux, ruraux et forestiers, la construction de 9 ponts pour le franchissement des canaux, ainsi que la déviation d'une ligne à haute tension.

Le coût global de l'opération est estimé à 1 milliard 330 millions de francs, en valeur janvier 1984.

C'est en 1974 que l'Institution Interdépartementale des Barrages-Réservoirs du Bassin de la Seine a décidé d'entreprendre cette

réalisation. Elle a alors sollicité le concours de l'État et de l'Agence Financière de Bassin "Seine-Normandie".

La Déclaration d'Utilité Publique de l'ouvrage est intervenue fin 1977. Mais ce n'est qu'en 1979 que deux Comités Interministériels ont abouti :

- d'une part à la participation d'Électricité de France au financement de l'ouvrage ;
- et d'autre part au plan de financement de l'opération et des mesures d'accompagnement.

La participation d'Électricité de France résulte de la compensation des débits évaporés au niveau de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine.

Courant 1981, un arrêté des Ministres de l'Intérieur et de l'Environnement, clôturant l'Enquête de Défense contre les Eaux, a autorisé l'Institution à engager ces travaux.

Cette enquête de Défense contre les Eaux s'est déroulée dans les quelque 300 communes et 10 départements situés le long de l'Aube et de la Seine, depuis le site de l'ouvrage, jusqu'au confluent de l'Oise.

Le plan de financement qui vient d'être évoqué comporte une participation de l'ordre de 200 millions de francs d'Électricité de France (100 millions de francs, valeur janvier 1978 réévalués en fonction de l'érosion monétaire), le solde étant subventionné aux taux de :

- 40 % pour l'Agence Financière de Bassin "Seine-Normandie"
- 30 % pour l'État
- 10 % pour l'Établissement Public Régional d'Ile-de-France
- 20 % restant à la charge de l'Institution.

La réalisation de l'ouvrage a débuté par les acquisitions de terrains, maintenant effectuées pour l'essentiel, puis a été suivie par les rétablissements de communication.

L'importance de l'emprise du barrage a nécessité la mise en œuvre d'un programme d'accompagnement et de mesures compensatoires.

Ainsi l'Institution a-t-elle pris en charge le remembrement et les travaux connexes de

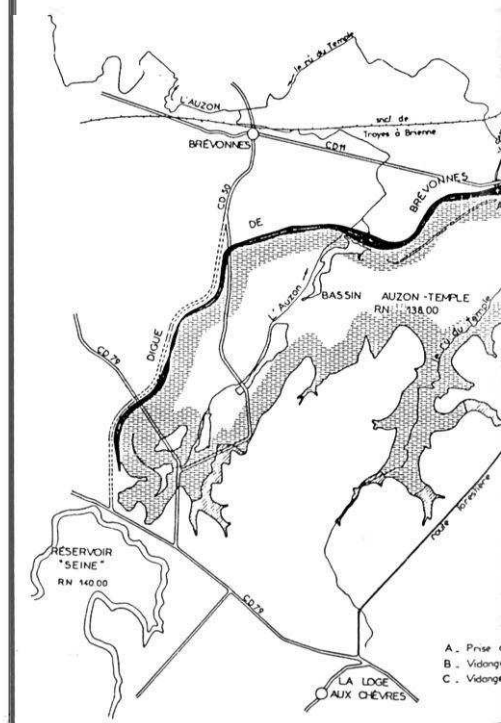
8 000 hectares de terres agricoles, et la reconstitution du potentiel forestier détruit.

Cette dernière opération consiste à acquérir 1 850 hectares de forêts dégradées ou menacées, à reconstituer dans le bassin hydrographique de la Seine ou de ses affluents. Dans ce cadre, 1 700 hectares de forêts, situées pour l'essentiel dans le département de l'Aube, ont déjà été achetées par l'Institution, et les premiers travaux d'amélioration ont été entrepris.

Le programme initial de réalisation des travaux principaux prévoyait l'échelonnement des réalisations des deux digues et trois canaux pour un achèvement en 1987-1988. C'est ainsi que la réalisation du canal d'aménée et des ouvrages de prise d'eau a été engagée en 1983.

Plan d'ensemble.

PLAN





La construction de la digue de Radonvilliers, clôturant le premier bassin : Bassin Amance, a été entreprise à l'automne 1984, tandis que les travaux du canal de jonction devraient maintenant intervenir en 1985.

## Les travaux en cours

Hormis les travaux de rétablissements de communications de déviations routières et franchissement des canaux engagés dès 1981, et dont l'achèvement est prévu à la fin de l'année 1985, les travaux en cours sont ceux du canal d'aménée et de la digue de Radonvilliers.

Le canal d'aménée assurera de façon gravitaire, l'écoulement du débit dérivé en direction du premier bassin. Il sera susceptible de dériver 135 m<sup>3</sup>/s, ce qui représente les deux tiers de la plus grande crue connue de l'Aube au niveau des ouvrages de prise d'eau. Il est entièrement réalisé en déblais, et a une longueur de 4 400 mètres.

Les ouvrages de prise d'eau en Aube comportent un barrage en rivière qui se substitue à un ancien barrage, exploité jusqu'en 1981 par Électricité de France. Ce barrage mobile, actuellement achevé, a une largeur totale de 60 mètres, et comporte deux passes équipées de vannes segments à volets déversants de 12 mètres de largeur, et un seuil déversant de 28 mètres. En tête du canal, deux passes de 9 mètres de largeur, équipées chacune d'une vanne segment, permettront de contrôler le débit dérivé. La cuvette hydraulique du canal est constituée de dalles en béton, coulées à joints secs de



Canal d'aménée.

15 cm d'épaisseur, et reposant sur une couche drainante de 30 cm, d'épaisseur.

A son extrémité aval, il se termine au débouché dans le Bassin Amance par un seuil déversant de 34 mètres de largeur.

Les deux millions de mètres cubes de déblais extraits ont été répartis sur cinq dépôts définitifs dont l'implantation a été arrêtée en concertation avec les communes concernées. Le plus important, de 36 hectares, au lieu-dit "la Côte Moutonne", sera restitué à l'agriculture.

La réalisation de ces ouvrages a été confiée à un groupement d'entreprises constitué par les Entreprises Pertuy, Neyrpic et Spie-Trindel. L'achèvement des travaux est prévu pour le printemps 1986.

La digue de Radonvilliers, de 3 360 mètres de longueur et de 16,5 mètres de hauteur maximale, barrera la Vallée de l'Amance pour fermer le premier bassin du Réservoir "Aube".

Ce Bassin Amance couvrira environ 500 hectares, et aura une capacité de 23 millions de mètres cubes.

Cette digue en terre sera constituée par un noyau étanche en limon, stabilisé par deux recharges extérieures en matériaux graveleux. Le talus aval sera couvert de terre végétale engazonnée ; le talus amont sera protégé par un tapis en béton bitumineux. Les matériaux mis en remblais seront extraits de la cuvette.

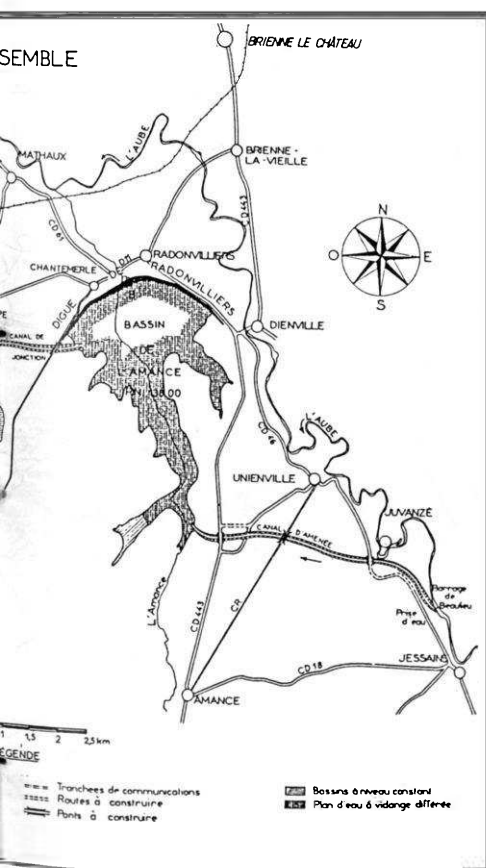
Ces travaux ont été confiés à un groupement d'entreprises formé par les Sociétés Bec, Guintoli et Demathieu & Bard. Le début des travaux est intervenu à la fin de l'été 1984, et leur achèvement est prévu pour l'été 1986.

La mise en eau de l'ouvrage en 1988-1989 suppose l'engagement de la digue de Brévonnes en 1985, puis celle du canal de resti-

tution en 1986, mais de grandes incertitudes pèsent sur ce calendrier de réalisation.

En effet, alors que le contrat de plan intervenu entre l'État et la Région Ile-de-France prévoit l'aide de l'État pour l'achèvement de l'ouvrage au cours de la durée du plan, le Gouvernement a décidé de ne plus inscrire, à partir de 1985, au budget du Ministère de l'Environnement, de crédits pour subventionner les collectivités locales qui réalisent des travaux de protection contre les eaux et des barrages. Les moyens financiers nécessaires sont actuellement recherchés pour que cette décision de débudgétisation ne se traduise pas par un désengagement de l'État...

Exprimons simplement le souhait que cet assombrissement des perspectives ne soit que temporaire, et que très vite la lumière soit faite sur le plan définitif de l'ouvrage. Ainsi l'ensemble des riverains : agriculteurs, industriels ou citoyens pourront bénéficier des effets de régularisation du Barrage-Réservoir "Aube".



# L'aménagement de la chute de Sault-Brenaz

*P. SAVEY I.C.P.C.*

*Directeur des Études et Travaux à la Compagnie Nationale du Rhône*

*et J. LECORNU I.C.P.C.*

*Directeur Adjoint des Études et Travaux  
à la Compagnie Nationale du Rhône*

## Introduction

L'aménagement du Rhône entre la frontière suisse et la mer, concédé à la Compagnie Nationale du Rhône, est réalisé au triple point de vue de l'utilisation de la puissance hydraulique, de la navigation et des développements agricoles.

Le programme comporte vingt chutes réparties à raison de huit sur le Haut-Rhône en amont de Lyon et de douze sur le Bas-Rhône entre Lyon et la mer.

L'énergie susceptible d'être produite par l'ensemble des équipements hydroélectriques est de 16,6 milliards de kWh et correspond à une puissance de plus de 3 000 MW sous une chute totale cumulée de 275 m.

Le programme d'équipement sur le Bas-Rhône à l'aval de Lyon a été achevé en 1980 constituant par la même occasion une voie navigable à grand gabarit de 310 km entre Lyon et la mer.

Sur le Haut-Rhône, étaient en service au moment de la crise pétrolière, une chute ancienne, Cusset, et l'ensemble Génissiat-Seysse mis en œuvre immédiatement après la guerre pour faire face aux besoins pressants d'énergie électrique qui se manifestaient alors : restaient donc à équiper cinq chutes possibles totalisant une hauteur d'environ 70 m et un productible de 1,8 milliard de kWh.

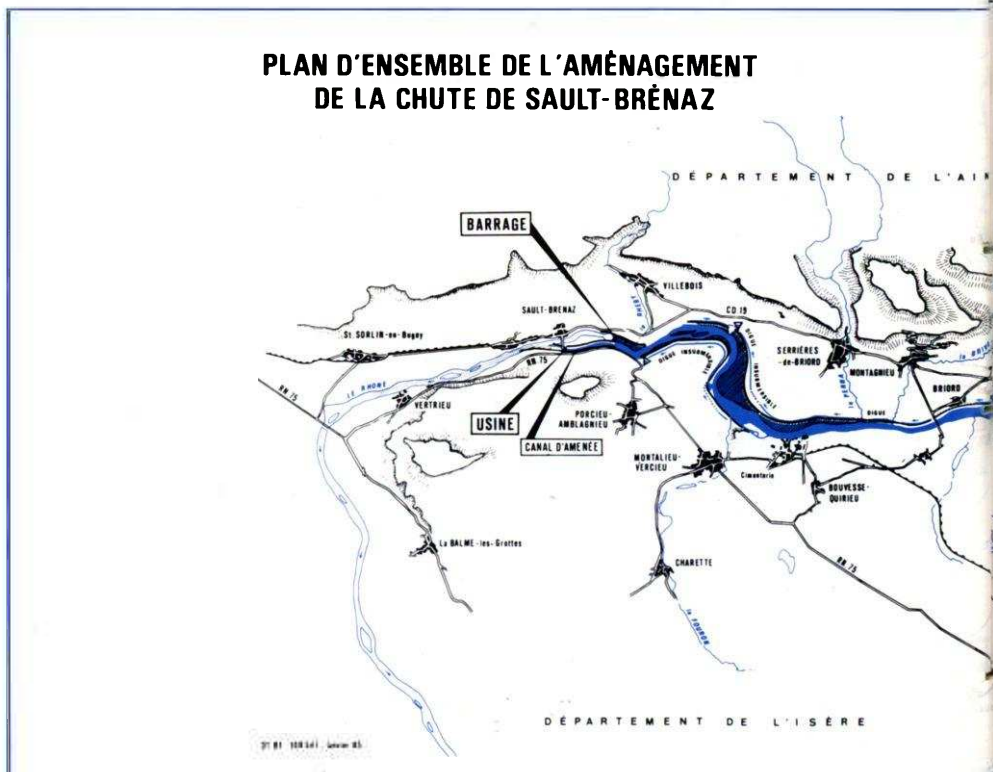
La mise en œuvre de ces chutes permet de disposer d'une chaîne continue de vingt usines utilisables simultanément en pointe,

grâce à un fonctionnement en écluse à partir du réservoir de tête de Génissiat ; l'énergie de l'ensemble des usines hydroélectriques du Rhône s'en trouvera ainsi hautement valorisée. Trois chutes : Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon ont été mises en service respectivement en 1980, 1982 et 1984 ; l'aménagement de Sault-Brenaz, qui concerne une chute d'une dizaine de mètres, est l'avant dernier de cet ensemble.

## I — Généralités sur l'aménagement de la chute de Sault-Brenaz

Il intéresse au total près d'une trentaine de kilomètres - du PK 59 au PK 88,7 du Rhône

### PLAN D'ENSEMBLE DE L'AMÉNAGEMENT DE LA CHUTE DE SAULT-BRÉNAZ



en amont de Lyon -. Le remous de la retenue s'étend jusqu'à la restitution de la chute amont de Brégnier-Cordon.

Aménagement de basse chute, il ne constitue pas stricto sensu un "grand barrage" par sa hauteur, mais l'ensemble des ouvrages, digues, barrage mobile, usine, stations de pompage, par leur développement linéaire et par leur volume, est important. Leur coût, soit 700 MF H.T.V.A., en témoigne ainsi que le volume de la retenue (34 millions de m<sup>3</sup>) et l'importance des terrassements (6 millions de m<sup>3</sup> dont 400 000 m<sup>3</sup> dans le rocher).

Les problèmes soulevés sont multiples et complexes ; outre la technique proprement dite des ouvrages, ils tiennent également au rétablissement des communications diverses, à l'écoulement des eaux pluviales et usées, aux alimentations en eau, au maintien et au développement des activités, tant agricoles qu'industrielles, de la section de la vallée concernée.

La Déclaration d'Utilité Publique a été prononcée le 18 août 1983, les travaux préparatoires ont commencé dès le mois de septembre 1983 ; les terrassements de l'usine ont été engagés en avril 1984 et les premiers bétons coulés en octobre de cette même année. La mise en eau de l'aménage-

ment doit intervenir dans le courant de l'été 1986.

## II — Description du projet

L'aménagement comporte un barrage mobile qui crée une retenue partiellement endiguée et un court canal de dérivation sur lequel est implantée l'usine hydroélectrique.

### 2.1 — Les ouvrages en béton

L'usine, dont la construction est décrite par ailleurs, sera équipée de 2 groupes réglables Neyrpic à axe horizontal du type "bulbe", d'une puissance unitaire de 22,3 MW, chacun capable d'absorber un débit de 350 m<sup>3</sup>/s ; le diamètre de la roue est de 6,25 m et sa vitesse est de 85,7 tr/mn. Un pont sur l'usine assure la continuité du CD 52 N.

Le barrage est fondé sur un môle rocheux. Construit à terre à l'intérieur d'un batardeau en terre étanché par une paroi moulée, il comporte quatre passes équipées de vannes-segments de 18 m de largeur et de 11,9 m de hauteur. Ces vannes sont munies

de volets déversants permettant l'évacuation des corps flottants.

Accolée au barrage, se trouve une microcentrale équipée d'un groupe Kaplan à axe vertical de 1,3 MW destiné à turbiner le débit minimum réservé dans le Rhône court-circuité par le canal de dérivation, soit 20 m<sup>3</sup>/s.

Le barrage comporte à l'amont un pont de service sous lequel roule l'engin de manœuvre des batardeaux.

### 2.2 — Le canal de dérivation

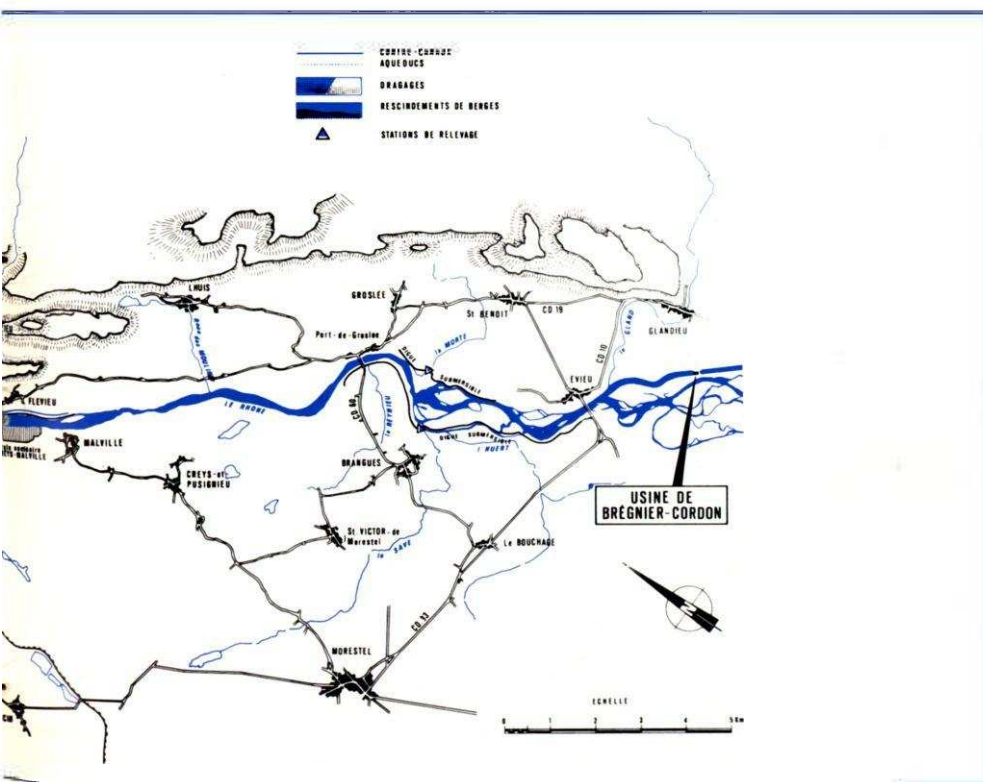
Le canal d'amenée, creusé pour partie dans le calcaire, s'appuie en rive gauche sur les contreforts du plateau de l'Île Crémieu et comporte en rive droite une digue avec un noyau en matériaux fins. Cette digue se refermera sur la culée rive gauche du barrage par l'intermédiaire d'un massif de coupure qui sera réalisé au moment de la mise en eau de l'aménagement. Le canal de fuite est entièrement creusé dans les alluvions. Au total, le canal est long de 1,6 km.

### 2.3 — La retenue

La partie aval de la retenue est contenue par des endiguements insubmersibles constitués par des digues en terre, qui s'étendent sur 3 km en rive droite et 4,5 km en rive gauche.

Sur cette rive, en amont, il n'est pas nécessaire de réaliser un endiguement car les terrains qui bordent le Rhône sont à une altitude supérieure à celle de la retenue. Seuls quelques points particuliers nécessiteront un traitement spécial (installations de la cimenterie Vicat de Montalieu et terres agricoles de Mépieu). En rive droite, au contraire, un endiguement submersible pour une crue de 1 800 m<sup>3</sup>/s (fréquence décennale) est prévu sur 8 km de longueur. Compte tenu de l'éroitesse de la plaine, la réalisation d'un endiguement insubmersible aurait conduit à des emprises trop importantes. En outre, la présence de l'agglomération de Briord en bordure même du Rhône, ne permet pas d'assurer facilement la continuité d'une protection insubmersible.

L'ensemble des eaux d'infiltration et de drainage des plaines situées en arrière des digues est récolté par des contre-canaux puis rejeté dans la retenue par l'intermédiaire de deux stations de relevage en aval des endiguements insubmersibles. On acquiert ainsi une maîtrise complète du niveau de la nappe phréatique.





Les terrains situés entre les digues et le lit mineur ainsi que certaines îles font l'objet de dérasements qui permettent d'obtenir les matériaux nécessaires à la réalisation de ces digues et qui, par augmentation de la section mouillée, diminuent la pente des lignes d'eau ce qui augmente la hauteur de chute à l'usine.

En amont de ces endiguements, le Rhône traverse un défilé rocheux très escarpé où aucun terrassement n'est nécessaire.

Plus à l'amont, se trouvent les plaines basses de Brangues, le Bouchage, les Avenièrres (Isère) et Saint-Benoît (Ain) qui sont fréquemment submergées par les crues du Rhône à partir de 1 000 m<sup>3</sup>/s. Les niveaux de crue ne sont pas modifiés par l'aménagement ; par contre les niveaux bas subissent une surélévation sensible par le fait de la retenue. La CNR avait prévu de mettre en œuvre un projet de drainage pour pallier les remontées possibles de la nappe phréatique. On verra plus loin que ce projet a été modifié à la demande des riverains.

#### 2.4 — Les dragages et l'aménagement du Rhône court-circuité par la dérivation

Afin d'augmenter la hauteur de chute à l'usine, l'aménagement sera complété, après la mise en service du barrage, par des dragages réalisés dans le Rhône à l'aval de la restitution.

Enfin des seuils destinés à maintenir la surface du plan d'eau devant le village de Sault-Brénaz seront construits dans le Rhône court-circuité dont le débit réservé sera de 20 m<sup>3</sup>/s en hiver et 60 m<sup>3</sup>/s en été.

#### 2.5 — Rétablissement des communications

Outre un certain nombre de chemins ruraux ou vicinaux interceptés par l'aménagement et qui seront rétablis en bordure des emprises, il a été nécessaire de réaliser au titre des travaux préparatoires les déviations du CD 19 en rive droite sur une longueur de 0,6 km et de la RN 75 en rive gauche sur une longueur de 2,3 km.

### III — Insertion dans le site et relations avec les collectivités

Un tel aménagement, qui concerne une trentaine de kilomètres du Rhône, entraînera de profondes modifications des rives. En vue d'assurer sa bonne insertion dans le site, la CNR a entrepris une action générale, en étroite concertation avec les collectivités locales (Communes ou Syndicats, Départements) soucieuses de valoriser leur façade fluviale. On donne ci-après quelques indications sur cette action.

#### 3.1 — Aménagements paysagers

Plusieurs types d'actions sont engagées afin de conserver puis recréer un paysage de qualité.

Tout d'abord, la conception architecturale de l'usine et du barrage a été confiée à Maurice Novarina, Membre de l'Institut, assisté de Jean-René Salagnac, Architecte DPLG ; dans ce cadre il a été décidé que la façade aval de l'usine intégrerait une œuvre du sculpteur Ivan Avoscan.

Des dispositions particulières ont été adoptées au passage de certains points sensibles de ce tronçon du Rhône afin de les préserver ou de les mettre en valeur. Cela concerne notamment le secteur de la Chapelle St-Léger qui domine le Rhône. C'est également le cas de l'agglomération de Briord en rive droite et du hameau de "port Bigara" en rive gauche. De même, l'incorporation du Fouron (affluent de rive gauche) dans la retenue, tient compte de la proximité de l'agglomération de Montalieu. Le Rhône court-circuité avec la présence des "saults" devant l'agglomération de Sault-Brénaz a fait l'objet d'études spécifiques réalisées sur modèle réduit ; les seuils de fond prévus dans ce passage en accord avec les riverains, permettront le franchissement des canoës-kayaks.

Enfin, un certain nombre de précautions sont prises pour conserver au maximum la végétation existante, quitte à transplanter certains arbres qui présentent un intérêt particulier. Des études ont été réalisées en collaboration avec le CEMAGREF, Division Protection de la Nature, pour définir les aménagements paysagers à réaliser à la fin des travaux. Ces études ont porté sur la forme des ouvrages (adoucissement de talus, modelé de terrassement, etc...), et ont permis de définir les plantations qui devront être mises en œuvre et qui utiliseront les arbres en provenance de la pépinière que la CNR a spécialement créée afin de disposer des sujets rustiques que l'on ne trouve pas en qualité suffisante sur le marché.

#### 3.2 — Aménagements de loisirs

Dans ce domaine, la présence de l'eau offre de multiples possibilités (baignade, planches à voiles, navigation de plaisance, canoë-kayak, etc...).

Pour faciliter le franchissement de la chute par les plaisanciers qui désirent parcourir le Rhône, la CNR mettra en œuvre un dispositif permettant le franchissement de la chute par les bateaux de plaisance. Constitué par un portique mobile qui prend le bateau dans l'eau, lui fait franchir la chute à terre puis le remet à l'eau, il circulera à proximité de l'usine.

La dénivelée existant entre le canal usinier et le Rhône court-circuité permettra d'implanter une "rivière artificielle" à canoë-kayak comparable à celle qui existe à Saint-Pierre-de-Bœuf (aménagement du Péage-de-Rousillon en aval de Lyon) et qui a été étudiée

sur maquette au laboratoire d'hydraulique de la CNR. La prise d'eau qui l'alimentera a été subventionnée par le département de l'Ain et est en cours de réalisation. Le parcours proprement dit pourrait être financé par les collectivités intéressées, et bénéficiaire du concours d'autres partenaires.

Enfin, le vaste plan d'eau d'environ 180 ha créé par la retenue dans sa partie aval a permis aux communes de Montalieu-Vercieu en rive gauche (Isère) et de Serrières-de-Briord en rive droite (Ain) d'envisager la création de zones de loisirs nautiques.

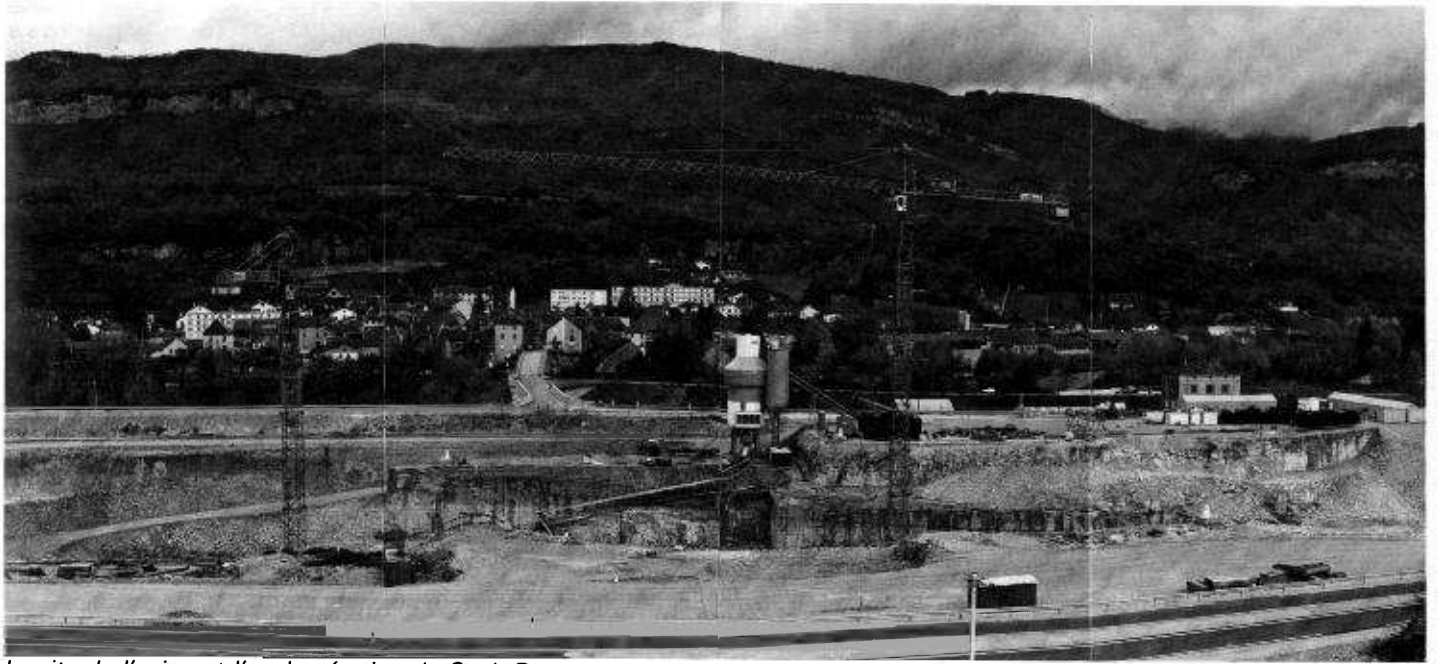
Si le projet de Serrières-de-Briord qui comporte une plage, un appontement et un camping est relativement modeste, celui de Montalieu est beaucoup plus important. Il comporte un port de plaisance qui pourrait offrir à terme 300 emplacements, des plages de mise à l'eau pour les embarcations légères, une baignade artificielle, un camping, un parc public, divers équipements sportifs et d'hébergement.

Ces équipements sont financés par les collectivités locales qui bénéficient, pour la réalisation des infrastructures lourdes, des prix des marchés passés par la CNR pour ses travaux. Cela a parfois nécessité des modifications assez importantes des ouvrages CNR, pour les rendre compatibles avec ces projets de base de loisirs (modification de tracé des endiguements, création de vastes plates-formes dominant le plan d'eau, passage du contre-canal en aqueduc drainant, etc...). Cela implique également une concertation étroite et une programmation précise des divers travaux.

#### 3.3 — Protection des riverains contre les crues

En plus des zones qui sont protégées totalement ou partiellement des crues du Rhône du fait des endiguements de la retenue (plaines de Briord, de Serrières-de-Briord et de Montalieu, soit environ 500 ha), les plaines situées à l'aval de la restitution bénéficieront d'une diminution de la fréquence des submersions, conséquence des dragages énergétiques.

A la demande des riverains de la partie amont de la retenue, il est envisagé de compléter le simple projet de drainage que la CNR devait mettre en œuvre dans cette zone, par des endiguements destinés à protéger une surface de l'ordre de 2 300 ha contre les crues dont la période de retour est de 8,5 ans en créant deux vastes polders. Le maître d'ouvrage de ce projet qui serait financé par l'État, les collectivités locales (Région, Départements) et les riverains, ainsi que par la CNR à concurrence du montant de son projet de drainage, serait le Syndicat Intercommunal de Défense contre les Eaux du Rhône avec maîtrise d'œuvre assurée par la CNR. Une Enquête d'Utilité Publique doit se dérouler au premier semestre 1985 sur ce projet.



Le site de l'usine et l'agglomération de Sault-Brenaz.

### 3.4 — Relations avec les agriculteurs

Les protections contre les crues décrites précédemment ont un effet très bénéfique sur l'agriculture. De plus, afin de compenser en partie la perte de surface agricole due aux emprises de l'aménagement, la CNR, remettra aux agriculteurs certaines zones qui doivent faire l'objet de remblais (zones basses, dépôts, etc...). Ce traitement, qui pourra concerner une quarantaine d'hectares, nécessite la mise en œuvre de moyens spéciaux afin que les sols restitués soient compatibles avec une bonne utilisation agricole.

Des discussions sont également en cours avec la commune de Serrières-de-Briord qui envisage de remblayer partiellement une zone marécageuse lui appartenant pour une mise en valeur agricole.

Enfin, dans le cadre de la Convention Agricole annexée au décret d'utilité publique de la chute, la CNR apporte une contribution financière aux travaux d'utilité collective destinés à améliorer les productions agricoles. Il peut s'agir des remembrements et travaux connexes, de drainage, d'irrigation et de mesures destinées à faciliter la commercialisation des produits.

Bien entendu, toutes ces opérations sont effectuées en étroite liaison avec les Chambres d'Agriculture et les Services concernés (SRAE et DDA).

### 3.5 — Inventaire et sauvetage du patrimoine archéologique

La vallée du Rhône a, de tout temps, été un lieu privilégié de pénétration et d'occupation par les hommes. De nombreux vestiges en témoignent. Afin que ce patrimoine soit convenablement recensé, et dans toute

la mesure du possible épargné par les travaux, il a été prévu, avec les Services du Ministère de la Culture, d'organiser :

- une reconnaissance préalable destinée à répertorier les sites existants et susceptibles d'être affectés ou détruits par les travaux ;
- des fouilles de sauvetage des sites découverts qui ne peuvent pas être évités par les travaux.

C'est ainsi qu'une dizaine de sites couvrant la période du néolithique final au moyen âge ont été recensés. Certains ont pu être évités par des adaptations locales du projet à l'intérieur des emprises prévues, d'autres ont pu être protégés par des remblais, d'autres enfin font ou feront l'objet de fouilles de sauvetage.

### 3.6 — Aménagements divers

Un tel projet intéresse naturellement un certain nombre de réseaux (communications, eau, assainissement).

Outre les modifications du réseau de routes et chemins évoquées ci-avant, certains réseaux d'alimentation en eau potable (par exemple celui de Porcieu-Montalieu) et certains réseaux d'assainissement (essentiellement ceux de Montalieu et de Briord) doivent être adaptés.

Toutes ces modifications de réseaux s'accompagnent en général d'améliorations et de modernisations qui constituent un bénéfice non négligeable pour les collectivités.

Des installations industrielles existantes localement ont également bénéficié, dans le cadre des travaux de l'aménagement, de restructurations qui leur ont permis, soit d'augmenter leur potentiel, soit de rationa-

liser leurs installations, soit enfin de leur offrir des possibilités de développement ultérieur.

## IV — Conclusion

Avant dernier maillon des aménagements hydroélectriques du Haut-Rhône, la chute de Sault-Brenaz pourra être complétée dans les années à venir par un aménagement de navigation car le projet d'une voie navigable entre Lyon et Evieu (environ 100 km) est inscrite au Schéma Directeur des Voies Navigables approuvé par le Gouvernement en avril 1984. Pour cela, et en ce qui concerne Sault-Brenaz, il suffira de construire une écluse à proximité de l'usine et de réaliser quelques dragages, l'essentiel du chenal ayant été mis au gabarit au titre de l'aménagement hydroélectrique.

Cette réalisation, par les retombées diverses qui en découlent, comme toutes celles qui l'ont précédée dans la vallée et celle qui doit suivre, constitue donc à l'échelon régional une véritable opération à buts multiples conforme aux objectifs que le législateur a fixé à la Compagnie Nationale du Rhône.

Bien qu'il s'agisse au départ d'une opération de grande envergure qui vise à tirer l'énergie du fleuve, l'aménagement se présente aussi comme une opération de chirurgie fine par la recherche d'une profonde intégration dans le site en étroite concertation avec les riverains.

C'est aussi la mise en œuvre d'une technique sophistiquée, tant dans la conception des ouvrages, que dans leur réalisation, puis leur exploitation. La place manque pour évoquer cette technologie qui constitue cependant un bel exercice de l'art de l'ingénieur.

# Sault-Brénaz

## La construction de l'usine Lot n° 2

par Philippe FLEURY,  
Directeur Général Adjoint  
des Entreprises L. CHAGNAUD & FILS

Le lot de travaux dont le groupement d'entreprises Chagnaud-Razel est adjudicataire comporte, essentiellement, les ouvrages suivants (cf.) :

- l'usine et ses annexes,
- un tronçon du canal d'amenée,
- le canal de fuite, et l'amorce d'un chenal dragué dans le Rhône,
- le dispositif de franchissement de la chute par les bateaux de plaisance,
- le voile d'étanchement du rocher et la paroi d'étanchéité dans les alluvions.

L'ordre de service de commencer les travaux a été notifié au groupement le 2 avril 1984. Le délai global est de 30 mois, décomposé en 14 délais partiels nécessaires pour l'installation, en parallèle aux travaux de génie civil, des parties électromécaniques.

Aujourd'hui, fin décembre 1984, les terrassements rocheux à l'emplacement du bouchon amont et le bouchon amont sont réalisés. Les radiers des groupes 1 et 2 sont en cours et devraient être achevés conformément au planning contractuel le 31 janvier 1985. Le cinquième du marché a été exécuté.

### 1 — Les installations de chantier

Il est encore prématuré de juger le principe adopté de dissociation des opérations de bétonnage, des opérations de manutention proprement dites, nécessitées par les coffrages et les ferrailages. Néanmoins le recours à des tapis pour le bétonnage et aux grues pour toutes les autres manutentions, y compris, si nécessaire, pour les petits bétonnages, paraît donner satisfaction.

### 2 — Les terrassements

Si le groupement a pu réaliser la première phase de terrassements dans le délai prévu (388 000 m<sup>3</sup>), il s'est heurté à un rocher doublement difficile à exploiter.

Le pendage, notamment en fond de fouille, a conduit à des purges importantes.

Les nombreuses diaclases que ne laissent pas prévoir l'étude géologique ont obligé l'entrepreneur à mettre au point des plans de tir utilisant des explosifs plus puissants que prévu avec une quantité nettement

supérieure à la fourchette haute stipulée dans les recommandations du cahier des charges (300 à 400 m<sup>3</sup>). Pour ce qui concerne les prédécoupages, compte tenu des résultats médiocres obtenus par les procédés classiques, il a été mis au point, avec les fournisseurs, un nouvel explosif : le cisalite qui a donné entière satisfaction.

Au plan du matériel mis en œuvre, il y a lieu de noter que la reprise des déblais a été exécutée par une pelle Poclain 600 dont le rendement moyen a atteint 280 m<sup>3</sup>/h rendement satisfaisant compte tenu du tri visuel des gros blocs effectué par cette pelle au cours du chargement elle est servie par 3 dumpers de 35 T qui faisaient la navette entre le terrassement et la grille de tri — fonctionnant par gravité — qui assu-



Vue générale des terrassements.

(Photo Jean Yves)





Vue générale du système ROTEC d'alimentation du béton.

(Photo Jean Yves)

rait une coupure dans les enrochements : blocométrie supérieure à 200 mm. Au niveau de la grille de tri, les matériaux triés étaient repris par une chargeuse CAT 988 B et 3 dumpers de 35 T.

Une difficulté propre à ce chantier est le fait que l'espace disponible pour l'évolution des engins s'amenuisait à mesure que la fouille s'approfondissait. Il n'était pas possible de faire fonctionner simultanément tous les ateliers nécessaires : foration, boulonnage, marinage.

La sécurité a fait l'objet d'un soin particulier. Outre les dispositifs classiques d'avertisseur, les risques spécifiques liés à l'exploitation gravitaire de la grille de tri ont conduit l'entrepreneur à développer systématiquement les relations radio à bords d'engins. Le groupement anime par ailleurs le Collège Inter-entreprises d'Hygiène et Sécurité.

## 3 — Le génie civil

### 3.1 Le matériel employé

**3.1.1 La centrale à béton** (Granier) est du type vertical C 200. Elle est prévue pour produire 60 m<sup>3</sup>/h. Le cycle de bétonnage est entièrement automatique. Il comporte le contrôle de la teneur en eau de sable et de la plasticité du béton.

La centrale est équipée d'un malaxeur Sonthofen "LEC 1,5" à deux arbres horizontaux, de 1,5 m<sup>3</sup> de capacité. Les agrégats sont stockés dans 4 cases d'un volume total de 200 m<sup>3</sup>. Le ciment CPA 55 est stocké dans 2 silos de 100 T chacun.

**3.1.2 Les tapis Rotec** (cf. ). L'alimentation entre la centrale et la zone à bétonner est réalisée par un ensemble de 6 tapis transporteurs de 450 mm de large et de 30 m de longueur. L'extrémité, côté centrale, est complétée par un tapis extracteur de 750 mm de large et 15 m de long qui reçoit le béton d'une trémie agitatrice à 2 vis constituant trémie tampon entre le malaxeur et les bandes transporteuses. Côté plot à bétonner, un "swinger" de portée variable — jusqu'à 20 m maximum — monté sur mât est orientable dans toutes les directions et répartit le béton aux emplacements prévus. Le débit maximum de cette installation est de 110m<sup>3</sup>/h. Comme les tapis supportent des pentes ou des rampes de - 20° à + 30°, cette installation est très souple -souplesse encore accentuée par l'utilisation de deux "swingers" simultanément, les "branchements" sur la ligne de tapis étant effectués rapidement à la grue. La structure en aluminium est très légère et réduit le poids des ensembles à manutentionner à une valeur inférieure à 4 T.

**3.1.3 Les grues** — Deux grues à tour Poutain type 85.20 L de 6/12 T de force à l'aval et 8/16 T à l'amont couvrent l'ensemble de l'ouvrage. Une grue mobile assure les petites manutentions diverses.

**3.1.4 Les coffrages** — Les coffrages utilisés sont du type Simpra "barrage" et modulaires Indumat, représentant une superficie de 1 200 m<sup>2</sup> (800 m<sup>2</sup> Simpra et 400 m<sup>2</sup> Indumat).

**3.1.5 L'ordre de grandeur de la valeur à neuf** du matériel présent sur le chantier représente un montant de 40 MF HT se répartissant comme suit :

#### Terrassements :

• Pelle	5.3
• Dumpers 6 × 2.1	12.6
• Crawl et divers perforation	2.2
• Chargeuse 988	1.8
• Pelle	1.0
• Tracteurs	1.5
• Niveleuse	0.8
• Divers	2.0
Total	27.2

#### Génie Civil :

• Centrale	1.3
• Tapis	4.8
• Grues 2 × 1.6 + 0.3	3.5
• Coffrages	1.8
• Divers	1.4
Total	12.8

Le montant du marché relatif au lot n° 2 s'élève à 66 MF HT, dont 25 MF environ de terrassements. Si on retrouve le ratio habituel pour ce type de travaux : le montant du matériel neuf égale le montant des travaux,

au niveau du génie civil, en revanche, le ratio de 30 % (12.8 : 41) est un peu fort et lié à l'importante mécanisation du chantier (bétonnage).

### 3.2 Le béton

Les granulats pour béton proviennent, après accord de la Compagnie Nationale du Rhône, d'un emprunt dans le lot 3 (60 000 m<sup>3</sup>

environ) correspondant aux terrassements du canal d'aménée.

Les bétons sont composés à partir de 4 catégories de granulats comme précisé dans le tableau ci-dessous. Ils sont criblés, lavés et classés par un sous-traitant installé à proximité immédiate du chantier : l'entreprise Morel.

Les cadences de bétonnage comme le béton de pierre - du fait de la seule présence de la granulométrie 31.5-80 - justifiaient à elles seules la mise en place par tapis.

A ce jour, fin décembre 1984, 7 500 m<sup>3</sup> de béton ont été coulés.

Les phases les plus importantes ont été de 850 m<sup>3</sup> en 16 heures, soit 53 m<sup>3</sup>/h de moyenne. La chaîne de matériels de bétonnage a nécessité une étude très précise d'implantation des mâts supports des "swingers", qui, une fois mise en place, n'a pas posé de problème particulier. La trompe en caoutchouc à l'extrémité du swinger supprime les problèmes de ségrégation grâce à l'effet de paroi d'autant plus sensible que les agrégats sont gros.

Ce système de bétonnage à haut débit doit dorénavant être utilisé en liaison avec notre système de coffrage. Est-ce que leur adaptation respective sera satisfaisante ? C'est ce que doivent montrer les prochaines phases de bétonnage.

Béton de (m <sup>3</sup> )	R (MPa)	Eau (l.)	CPA 55 (kg)	0 - 5	5 - 16	□ mm (kg)	16-31.5	31.5-80
• pierres	22	136	250	736	367		252	722
• graviers	22	159	275	785	423		779	—
• gravillons	22	165	300	825	1128		—	—

## ENTREPRISES

*Leon Chagnaud & Fils*

Siège social :

153, boulevard Haussmann, 75008 PARIS

Tél. : (1) 563.00.22

**TRAVAUX PUBLICS - BÂTIMENT  
PRODUITS EN BÉTON - ESPACES VERTS  
TERRAINS DE SPORT  
MOBILIER DE LOISIRS**

#### Agence France-Sud

B.P. 40  
13321 MARSEILLE Cedex 16  
Tél. : (91) 46.70.09  
Télex 440 488 F

#### Agence Ile-de-France

B.P. 5  
78410 AUBERGENVILLE  
Tél. : (3) 095.09.09  
Télex 695 585 F



#### Usine de BERGERAC

B.P. 90  
24103 BERGERAC  
Tél. : (53) 57.57.66  
Télex 540 273 F

#### Usine de MIGNENNES

B.P. 13  
89400 MIGNENNES  
Tél. : (86) 80.09.89  
Télex 801 810 F

#### Usine d'AUBERGENVILLE

B.P. 11  
78410 AUBERGENVILLE  
Tél. : (3) 095.42.00  
Télex 695 585 F

#### Département "EXPORTATION"

Machines pour fabrication de produits en béton armé (Machines, ingénierie, usines clés en main, process).  
Même adresse.

# RAZEL

ENTREPRISE RAZEL FRÈRES

Christ de SACLAY (Essonne)  
B.P.109-91403 ORSAY Cedex

Tel. (6) 941.81.90 + Telex 692538

**TERRASSEMENT  
OUVRAGES D'ART  
GÉNIE CIVIL  
VRD**

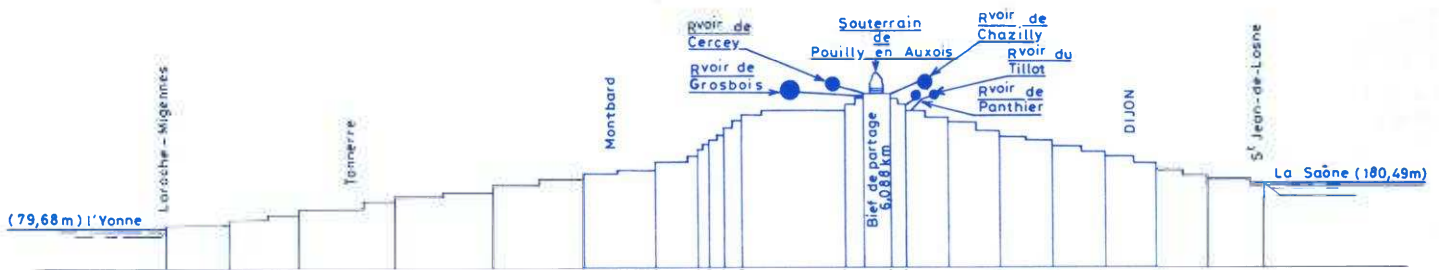
PARIS, ALGER, DOUALA, LIBREVILLE, ABIDJAN, COTONOU, BRAZZAVILLE, DAKAR, LAGOS



# Cent cinquante ans de confortements du barrage de Grosbois-en-Montagne

par Michel SCHWIRTZ, I.C.P.C.,  
Directeur Départemental de l'Équipement de la Côte-d'Or,  
chargé du Canal de Bourgogne  
et Alain PETITJEAN, I.C.P.C.  
chargé de l'Arrondissement Territorial Nord  
à la Direction Départementale de l'Équipement de la Côte-d'Or

PROFIL-EN-LONG DU CANAL DE BOURGOGNE



Profil en longueur - Canal de Bourgogne.

Le Canal de Bourgogne, officiellement ouvert à la navigation le 28 décembre 1832, relie l'Yonne à la Saône en un parcours de 242 km de long. Soixante-seize écluses sur le versant Saône et cent-treize sur le versant Yonne élèvent les bateaux jusqu'au bief de partage des eaux, le plus haut de France à près de 380 m d'altitude.

Aucune ressource en eau pérenne n'étant disponible à proximité du bief de partage, il

fallut recourir à des réservoirs pour assurer l'alimentation en eau de la partie haute du Canal. Cinq barrages furent donc édifiés de 1830 à 1837, puis modifiés ou confortés à de nombreuses reprises jusqu'à aujourd'hui (1).

Parmi ces barrages, celui de Grosbois-en-Montagne, qui barre la Brenne (2) à 10 km de sa source, présente un intérêt particulier tant son histoire mouvementée illustre bien les vicissitudes qui accompagnent le progrès des techniques.

Le barrage de Grosbois-en-Montagne a été construit de 1831 à 1837, sous la direction

de MM. Bonnetat, Ingénieur en Chef du Canal de Bourgogne, et Lacordaire, Ingénieur ordinaire. Il s'agissait d'un mur rectiligne long de 550 m, haut de 22,30 m au-dessus du fond du thalweg (3), large de 6,50 m en crête et d'au plus 16 m en pied (cet élargissement étant obtenu par une succession de redans placés du côté amont).

Le barrage était conçu pour une retenue normale à la cote (20,24), soit une capacité de 7 250 000 m<sup>3</sup> ; jusqu'à la cote (3,40), l'eau peut être prélevée dans une tour de prise d'eau située en rive gauche, puis acheminée jusqu'au bief de partage du Canal par une rigole longue de 15 km (qui franchit en souterrain le plateau séparant la vallée de la Brenne de celle de l'Armançon).

Malheureusement, si les fondations du barrage s'enfoncent de 5 m dans le terrain naturel (valeur portée à 7 m pour les parafoilles), elles reposent sur une couche de marnes molles de 1 à 2 m d'épaisseur, dont l'angle de frottement est compris entre 20 et 28°, et la résistance à la compression limitée à 3,5 M Pa. Cette couche (qui constitue le sommet d'un banc de marnes indues du lias (Domérien) d'environ 20 m

d'épaisseur, sous lequel on rencontre le calcaire compact) aurait dû être éliminée à la construction, car elle est tout à fait impropre à constituer la fondation d'un barrage-poids.

Aussi n'est-il pas surprenant que, lors du premier remplissage du barrage, le 16 février 1938, alors que l'eau atteignait la cote (17,45), on ait vu une lézarde importante s'ouvrir en rive gauche, à la jonction du mur avec la tour de prise d'eau. Cet incident ayant clairement révélé que le barrage subissait d'importants mouvements dans sa zone centrale, on y construisit aussitôt sept arc-boutants, dont la butée venait s'ajouter à

(1) Un sixième barrage fut construit sur l'Armançon, à Pont et Massène, de 1878 à 1882, au titre du plan de modernisation du réseau navigable (plan Freycinet).

(2) affluent de l'Armançon, lui-même affluent de l'Yonne.

(3) le radier de la vidange de fond, à l'altitude 379,92 NGF, constitue le zéro de l'échelle du barrage.

celle fournie par le terrain naturel sur les 7 m de parafouille. Un nouveau remplissage partiel montra que l'expédient était vain, et on fut amené à construire, de 1840 à 1842, sept contreforts dans la zone centrale ; au cours des remplissages de 1844 et 1847, de nouveaux incidents, affectant cette fois les rives du mur, amenèrent à y édifier, de 1852 à 1855, deux nouveaux contreforts.

Ainsi conforté, l'ouvrage se comporta correctement et put être exploité sous la retenue normale prévue au projet. La catastrophe de Bouzey (1) amena cependant à procéder, en 1896, à une révision générale de ses conditions de stabilité. Il fut conclu que la stabilité du barrage n'était assurée qu'au prix de tractions de pied dans le parement amont du mur, ce qui n'était pas acceptable. La décision fut alors prise, sur le rapport de Maurice Lévy, de compenser en partie la poussée de l'eau s'exerçant sur le barrage en créant une contre-poussée sur son parement aval, grâce à un contre-réservoir dont le niveau serait inférieur de 8 m à celui du réservoir.

Sous la direction de MM. Galliot, Ingénieur en Chef du Canal de Bourgogne, et Cléry, Ingénieur ordinaire, fut donc construite, de 1900 à 1905, à 250 m à l'aval du barrage principal, une digue homogène en remblais argileux longue de 400 m, haute de 16,40 m au-dessus du fond du thalweg (2), large de 8,50 m en crête et d'au plus 95 m en pied. La digue était conçue pour une retenue normale à la cote (15,35), permettant une exploitation du réservoir principal à la cote (22,30) (3).

Malheureusement, la pente du talus amont (3/1 en moyenne) s'avéra rapidement trop forte pour la perméabilité de l'argile de la digue : en novembre 1920, à l'issue d'une vidange "rapide", ce talus subit un important glissement sur ses 225 m centraux. La digue fut réparée en 1924, mais sans grande modification, ce qui provoqua à nouveau des incidents mineurs au cours des vidanges de 1924 et 1933.

Ce n'est qu'en 1948 que le profil amont fut sérieusement renforcé par immersion d'enrochements, permettant enfin une vidange complète du contre-réservoir sans incidents. Le réservoir principal put alors être ramené à sa cote normale de (22,30).



Vue d'aval du mur et des contreforts du barrage de Grosbois-en-Montagne.



Vue d'amont de la digue en terre de Grosbois-en-Montagne au cours de la vidange de juillet 1983.

(1) Barrage proche d'Épinal, construit pour l'alimentation en eau du Canal de l'Est (branche Sud), qui se rompit le 27 avril 1895, entraînant la mort d'environ 100 personnes.

(2) Le radier de la vidange de fond, qui constitue le zéro de l'échelle de cette digue, est situé 1,12 m plus bas que celui du barrage principal.

(3) Les cotes sont toujours données dans l'échelle de leur barrage, dont le zéro est décalé de 1,12 m.

La catastrophe de Malpasset (1) ayant amené à prescrire la révision spéciale de tous les barrages anciens intéressant la sécurité publique, une expertise des barrages de Grosbois fut confiée en 1974 au bureau d'Ingénieurs Conseils Coyne et Bellier ; elle fut suivie en 1977 par des sondages de reconnaissance et la mise en place d'une instrumentation permettant une surveillance continue (piézomètres et pendule inverse).

L'exploitation de toutes les mesures disponibles aboutit en 1982-1983 au diagnostic suivant, tenant compte de l'avis du Comité Technique Permanent des Barrages :

• pour le barrage principal en maçonnerie :

— sous une retenue normale de (20,75), ce barrage ne présente une sécurité acceptable au glissement de pied (2) que si la retenue normale du contre-réservoir est relevée d'un mètre, passant ainsi à (16,35),

— la crue de projet, dont la période de retour est de 5 000 ans, est caractérisée par un volume de 1 300 000 m<sup>3</sup> arrivant au barrage en 6 heures, avec un débit de pointe de 100 m<sup>3</sup>/s. L'évacuateur de crues actuel doit être modifié (notamment par la construction d'un ouvrage de restitution des eaux dans la contre-retenu) pour accepter un débit de 20 m<sup>3</sup>/s. Dans ces conditions, les plus hautes eaux du réservoir principal s'élèvent d'environ 1 m au-dessus de la retenue normale, s'établissant ainsi à (21,75). La stabilité de l'ouvrage reste acceptable sous cette cote (3), le niveau du contre-réservoir s'élevant alors à (16,95),

— le séisme de projet, d'intensité VII dans l'échelle MSK (4), devrait conduire à des dommages très importants (fissuration du barrage, poinçonnement de la fondation sous les contreforts, déplacements irréversibles vers l'aval de l'ordre de 20 cm) et à une mise hors service de l'ouvrage, sans toutefois provoquer de catastrophe.

• pour la digue en terre :

— sous une retenue normale portée à (16,35), la stabilité de la digue n'est assurée de manière satisfaisante ni en fonctionnement normal (risque de glissements affectant le talus aval), ni en vidange rapide (talus amont). Il convient donc d'épaissir le profil en travers de cet ouvrage par des recharges en enrochements sur les deux talus,

— la partie haute de la digue, au-dessus de la cote (10,30), n'étant pas suffisamment étanche, il convient d'y créer un noyau étanche en argile soigneusement compactée,

— la crue de projet sortant du réservoir principal s'évacue sans difficultés par les ouvrages actuels de la digue sous les plus hautes eaux s'élevant de 60 cm au-dessus de la retenue normale, s'établissant ainsi à (16,95),

— le séisme de projet ne conduit à aucun dommage grave sur la digue.

C'est sur ces bases que le bureau Coyne et Bellier a dressé l'avant-projet détaillé de confortement de ces barrages. Les travaux portent pour l'essentiel sur la digue, et consistent :

— à relever de 1,60 m la crête,

— à constituer en partie haute amont un noyau étanche mettant en œuvre 23 000 m<sup>3</sup> d'argile provenant d'un emprunt ouvert sur la rive gauche du réservoir principal,

— et à recharger les talus amont et aval avec 160 000 tonnes d'enrochements (tout venant 0-500 mm), isolés de l'argile par un voile géotextile (25 000) m<sup>2</sup> de Bidim U 64 surmonté d'une couche de matériaux de transition (33 000 tonnes de concassé 5-50 mm) ; enrochements et transition étant produits dans une carrière ouverte spécialement à 2 km de là, dans un banc de calcaire compact du Bajocien inférieur.

La maîtrise d'ouvrage des travaux, dont le coût total s'élève à environ 15 000 000 F, est assurée par l'État (Ministère des Transports) en trois tranches (1983, 1984 et 1985).

La maîtrise d'œuvre des travaux est assurée par la Direction Départementale de l'Équipement de la Côte-d'Or. Les principaux marchés (5) ont été passés en août 1983, et le gros des travaux s'est déroulé de septembre 1983 à juin 1984, permettant de remonter dès cet hiver le contre-réservoir à la cote (15,35), et le réservoir principal à (19,00). Les cotes définitives (respectivement (16,35) et (20,74)) ne pourront être atteintes qu'au printemps 1986, après que les travaux de modification des évacuateurs de crues (tranche 1985) aient été effectués et si l'interprétation des mesures de surveillance continue (notamment celles de pressions interstitielles dans la digue) ne révèle aucune anomalie de fonctionnement

Plusieurs particularités des travaux qui viennent d'être réalisés méritent d'être signalées :

— la vidange du contre-réservoir n'avait plus été effectuée depuis 1950, du fait des risques de rupture amont qu'elle faisait courir, malgré le confortement de 1948. L'avant-projet de confortement de la face amont de la digue a donc dû être établi sur la base de documents relativement anciens.

(1) Barrage proche de Fréjus, qui se rompit le 2 décembre 1959, entraînant la mort de 421 personnes.

(2) coefficient de sécurité d'au moins 1,56 par rapport au tg O minimum dans les marnes de fondation.

(3) coefficient de sécurité d'au moins 1,20 par rapport au tg O minimum dans les marnes de fondation.

(4) séisme du 18 octobre 1326, dont l'épicentre était proche de Bâle.

(5) Entreprise Lahaye pour la carrière ; groupement d'entreprises Roger-Martin, Bec, Rougeot pour les terrassements.

DIGUE DE GROSBOSIS II

Profil en travers type des travaux de confortement

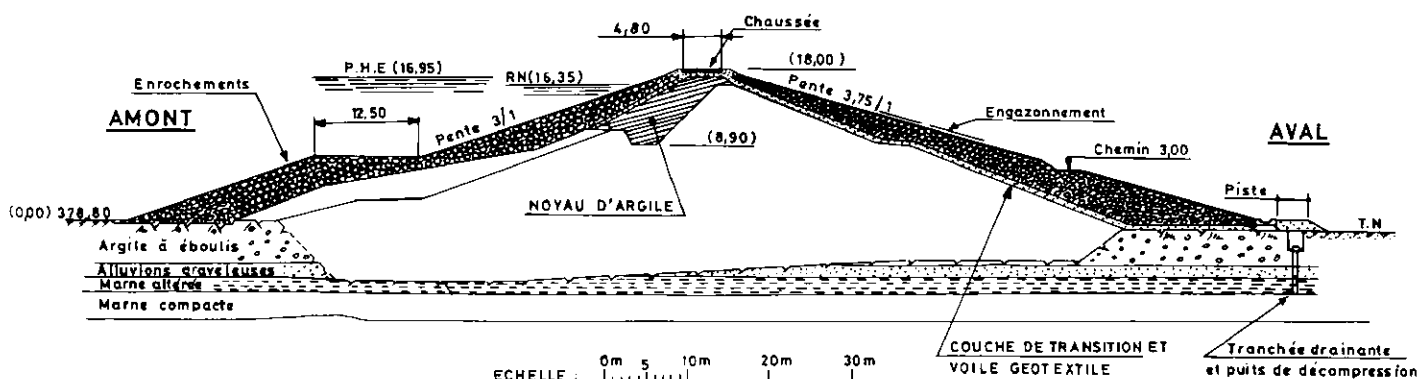


Fig. 2 - Digue de Grosbois II.



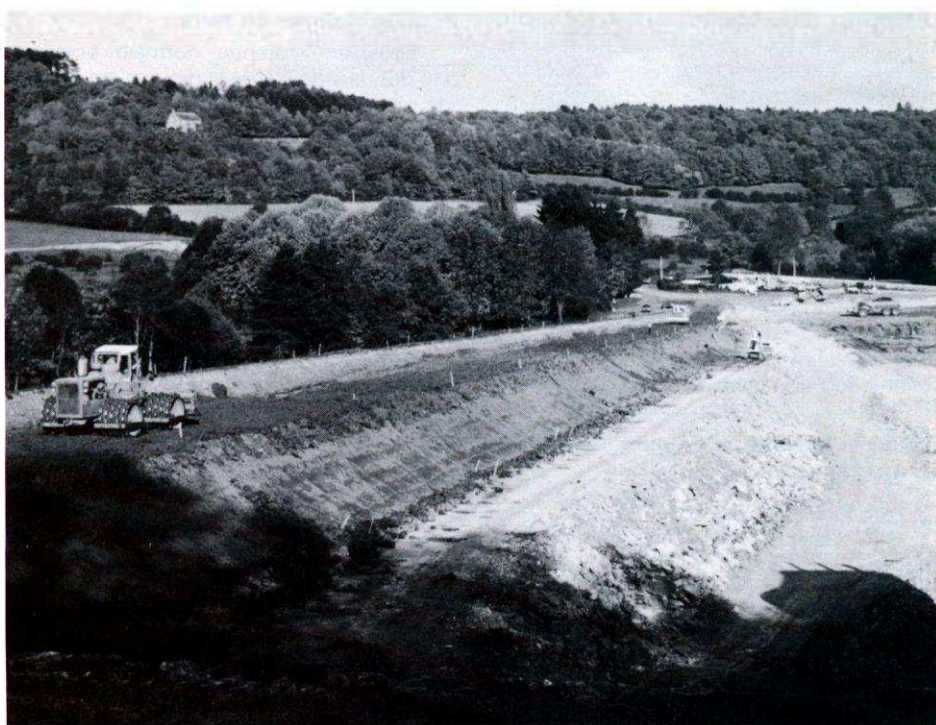
La vidange en vue du chantier a été entamée le 1<sup>er</sup> juillet 1983, date à laquelle la retenue du réservoir principal avait été suffisamment abaissée (du fait des besoins en eau du Canal) pour que l'on puisse diminuer la contre-poussée. Cette vidange a été conduite avec précautions (notamment : surveillance topométrique renforcée de la crête, et inspections visuelles quotidiennes) et très lentement (10 cm par jour pour les 3 mètres supérieurs) jusqu'au 27 août 1983, date à laquelle fut opérée la pêche de fond.

Fort heureusement, aucun incident n'est survenu pendant cette vidange, et les dispositions du projet n'ont finalement pas eu à être sensiblement modifiées.

— la constitution du noyau étanche était la partie la plus délicate du chantier. Il convenait en effet d'extraire l'argile existant à l'emplacement du futur noyau, impropre à toute réutilisation du fait de son hétérogénéité, et de lui substituer une argile d'apport mise en place et compactée par couches de 0,30 m d'épaisseur. Le noyau avait été conçu pour être monté indépendamment de la recharge amont d'enrochements, afin de pouvoir le réaliser dès l'ouverture du chantier. Mais celle-ci n'ayant lieu qu'en septembre, il subsistait un risque important de voir les précipitations bloquer toute mise en œuvre d'argile, tant les conditions de teneur en eau et de compactage étaient sévères. Tout s'est finalement très bien passé, grâce aux conditions de sécheresse assez exceptionnelles de l'automne 1983.

— l'ouverture d'une carrière pour fournir les enrochements et les transitions avait été décidée du fait de l'éloignement des carrières en activité, engendrant des coûts et des nuisances de transports importants. Le banc calcaire reconnu par sondages s'est finalement avéré difficile à exploiter, du fait de son litage et de nombreuses veines argileuses. Le matériau résultant, assez pollué, rentrait néanmoins dans le fuseau granulométrique imposé pour les enrochements, sous réserve que les dalles les plus importantes soient au préalable fractionnées. La confection du matériau de transition (5-50 mm) par une centrale de concassage mobile installée à la carrière, d'une capacité de production de 250 t/heure, a donné de très bons résultats. Enfin, la transformation des voies d'accès à la carrière en pistes de chantier convenables (portance et largeur) a imposé la mise en place de quantités importantes de matériaux, dans des conditions souvent difficiles, puisqu'à flanc de coteau.

— la différence de rythme entre les fournitures de matériaux (argile, enrochements, concassé) et leur consommation a obligé à constituer des stocks tampons d'une certaine importance sur des emprises assez réduites, les seules acceptables étant concentrées sur la rive droite du contre-réservoir. Les matériaux provenant tous de la rive gauche, leur seul accès autorisé était constitué par les pistes de chantier situées sur la face amont du barrage, d'où un risque de ralentissement des opérations de mise en œuvre des enrochements sur cette face.



*L'achèvement du noyau d'argile.*

Grâce à la mise à disposition des engins de transport de la risberme amont de 12,50 m de large, prévue dans le profil de confortement, ce risque a pu être supprimé très tôt dans le chantier.

— l'intérêt que présente le site constitué par les deux réservoirs et leur écrin de collines verdoyantes a amené à prendre des précautions particulières dans le traitement des détails de l'aménagement, en liaison avec la Délégation Régionale à l'Architecture et à l'Environnement. C'est ainsi que le site de la carrière a été choisi hors de vue des ouvrages, que le nouveau parement aval de la digue a été recouvert de terre végétale et enherbé, que le parc paysager recouvert par la recharge aval de la digue sera reconstitué, que les modifications à apporter aux ouvrages en maçonnerie sont toutes réalisées en pierre de taille, enfin qu'une plage a pu être aménagée sur la rive du contre-réservoir.

En conclusion, il nous reste à souhaiter que les présents travaux de confortement permettent aux barrages de Grosbois-en-Montagne d'accéder à la sérénité de l'âge mûr, après 150 ans d'une jeunesse si mouvementée. Le fait que tant de nos prédécesseurs aient pu formuler en vain le même vœu n'est cependant pas sans nous inspirer quelque inquiétude.

### **Avis de vacance de poste de professeur à l'ENPC**

**SPÉCIALITÉ : Méthodes Numériques en Mécanique.**

**ACTIVITÉS : enseignement et recherche.**  
En matière d'enseignement, il conviendra d'élaborer un cours et de le dispenser seul ou en équipe en une trentaine d'heures (comprenant exposés et travaux dirigés) à des Élèves de l'ENPC ayant déjà reçu, au cours de leur première année de scolarité, une formation en Mécanique et en Analyse Numérique.

Ce cours sera commun à deux départements de l'École :

— Sciences Mécaniques et Sciences de la Matière.

— Sciences Mathématiques.

Les modèles de structures et de matériaux, les fondements de la méthode des éléments finis font l'objet d'enseignements existants : dans le cours à créer on mettra l'accent sur l'application des éléments finis et leur utilisation effective dans les divers domaines de la mécanique des solides et des fluides ; en particulier on s'intéressera aux problèmes et aux méthodes de résolution numériques. Sur le plan pédagogique on organisera, en s'appuyant sur les moyens du centre de calcul, l'utilisation par les élèves de logiciels de calcul scientifique.

Il importera également de contribuer à la formation par la recherche des Élèves de l'ENPC par le choix et l'encadrement de travaux effectués dans le cadre des projets de fin d'études, de DEA, de thèses.

Les candidats devront faire parvenir une lettre de candidature ainsi que leur curriculum vitae et une liste de travaux à la Direction de l'Enseignement, 28, rue des Saints-Pères, 75007 Paris, avant le 31/03/85.

# Barrage d'Aït Chouarit sur l'Oued Lakhdar

par Patrick SCOTT de MARTINVILLE,  
Directeur Dumez Afrique

## Introduction

Le barrage d'Aït Chouarit est situé en plein Atlas à 150 km à l'est de Marrakech et à 1 000 m d'altitude. Il entre dans le cadre de l'aménagement hydroagricole du Haouz et devra assurer les fonctions d'irrigation (35 400 ha) d'alimentation en eau potable pour la ville de Marrakech ainsi que de production d'énergie hydroélectrique avec l'aménagement de la chute d'Amougguez située à environ 7 km à l'aval du site du barrage. Les travaux qui ont démarré en novembre 1982 s'achèveront fin 1986.

## Description de l'ouvrage

### Le barrage en terre

Le barrage est de type barrage poids réalisé en remblai à noyau en limon vertical mince, d'une hauteur de 144,50 m et d'un développement en crête de 380 m. L'ouvrage ainsi défini représente environ 2 000 000 m<sup>3</sup> de fouilles et près de 9 500 000 m<sup>3</sup> de remblais ; à ces mouvements de terre il faut ajouter près de 1 000 000 m<sup>3</sup> de terrassement pour les diverses pistes d'accès du site. Les grandes quantités de remblais à mettre en place associées à des délais très courts, ont conduit l'entreprise Dumez à réaliser une première en adoptant un système de mise en place à l'aide de convoyeurs mobiles. En effet les cadences de remblai imposées par le planning s'élevant à 2 500 T/h, une mise en place traditionnelle par Dumper de 50 t représenterait une cadence d'un dumpertoutes les minutes, soit une multitude d'engins avec tous les imprévus qu'entraîne le matériel roulant = pannes, accidents bien sûr mais aussi difficulté voire impossibilité de circuler sur les pistes transformées en véritables patinoires de

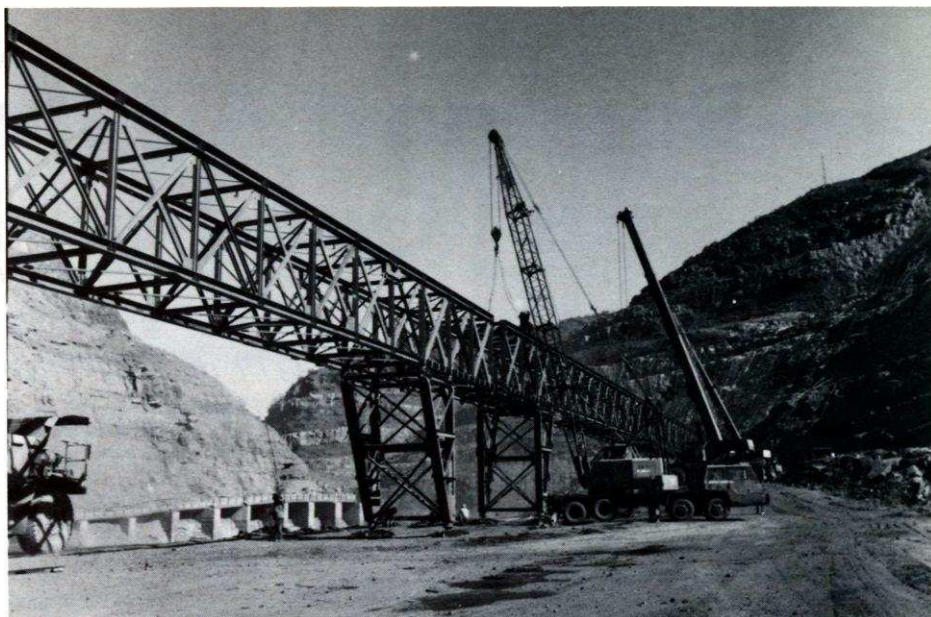
*Pistes d'accès à la rivière par l'aval du site, taillées dans un terrain naturel de pente supérieure à 1 : 1.*





glaise certains jours de fortes pluies. Il fallait donc trouver un autre moyen de transport fiable, rationnel et bien sûr économique : transport par tapis à partir de deux trémies situées dans les emprunts, les tapis sont auto-élévateurs et prolongés par des remblayeurs automoteurs sur chenilles qui assurent la répartition latérale tout en limitant au minimum le régalage au moyen de boutteurs. Ce système représente près de 970 m de tapis sans compter les deux remblayeurs de 35 m chacun. Si l'investissement s'avère être très important puisque la montée des remblais doit s'effectuer en moins de deux ans, la rentabilité est assurée par le coût de fonctionnement.

La dérivation de l'Oued se fait par une galerie provisoire que nous décrivons plus loin, et un batardeau amont de 50 m qui présente la particularité d'être complètement intégré à l'ouvrage.



Tapis transporteurs auto-élévateurs en cours de montage dans la zone des remblais.

Caractéristiques de la retenue		Caractéristiques du barrage	
Longueur	4,5 km	Développement en crête	380 m
Longueur maximale	2,0 km	Cote du couronnement	974,50 NGM
Volume au niveau normal	270 Mio m <sup>3</sup>	Largeur en crête	12 m
Volume aux plus hautes eaux	300 Mio m <sup>3</sup>	Hauteur max. au-dessus du lit de l'oued	134,50 m
Volume de la branche morte	40 Mio m <sup>3</sup>	Hauteur maximum sur fondations	144,50 m
Surface au niveau normal	670 ha	Remblais env.	9.500.000 m <sup>3</sup>
Cote de retenue normale	966,00 NGM	Fouilles env.	2.000.000 m <sup>3</sup>
Niveau des plus hautes eaux	970,00 NGM		

## Les galeries

L'ouvrage principal décrit précédemment s'il est imposant par ses dimensions ne doit pas faire oublier les ouvrages en béton qui lui sont associés et qui sont au nombre de quatre

- dérivation provisoire
- vidange de fond
- évacuateur de crues
- galeries de drainage et d'injection.

### a — Dérivation provisoire

La galerie de dérivation provisoire n'a de provisoire que le nom, il s'agit en effet d'un ouvrage fondamental dans le rôle qu'il joue pendant toute la durée des travaux et qui est en soi un gros chantier. Cette galerie de 750 m de longueur, représentant près de 52 000 m<sup>3</sup> de déblais, 18 000 m<sup>3</sup> de béton, 450 t de ferrailage, conditionne l'avancement des travaux par son rôle capital. Dix-huit mois après le démarrage du chantier la dérivation de l'Oued était effectuée permettant l'attaque des fouilles en fond d'Oued, le chantier étant hors d'eau pour la crue centenaire (1 000 m<sup>3</sup>/s).

Cet ouvrage sera condamné en fin de chantier et obturé, l'envasement rapide de la retenue empêchant qu'il puisse jouer le rôle de vidange de fond.



Sortie aval de la dérivation provisoire.



## b — Vidange de fond

La vidange de fond a sa prise située plus de 30 m au-dessus de celle de la dérivation provisoire, son tracé est presque parallèle à celui de cette dernière et mesure 800 m de long avec une section en fer à cheval de 5 m de diamètre environ. Elle est équipée d'une vanne segment située au fond d'un puits de près de 80 m de hauteur assurant sa ventilation ainsi que l'accès à la chambre de manœuvre des vannes.

## Évacuateur de crues

Il s'agit d'une galerie circulaire de 10 m de diamètre, et non plus en fer à cheval comme les précédentes galeries, d'une longueur de 425 m. La tête aval se trouve juste au-dessus de la sortie de la vidange de fond et se prolonge par un saut de ski. La hauteur de chute étant de 40 m l'impact du jet se trouve alors déporté à plus de 150 m du pied



Vidange de fond - Bolonnageau Boltec.

### Maître d'Œuvre

Ministère de l'Équipement  
Direction des Aménagements  
Hydrauliques

### Ingénieur Conseil

Coyne & Bellier

### Laboratoire de Contrôle

LPEE Casablanca

### Entreprises

Campagnes de Reconnaissances  
1948 - 1950 - 1953 - 1968  
BACHY/S.I.F.

Campagnes Géophysiques  
Compagnie Africaine de Géophysique

Génie Civil = Groupement des Entreprises TAISSIR  
CHAUFOR DUMEZ - DUMEZ AFRIQUE

### Financement

Fonds Koweïtien du Développement Économique Arabe  
Fonds d'Abou Dahbi pour le Développement Économique  
Fonds Arabe pour le Développement Économique et Social

Communauté Européenne et Banque  
Européenne d'Investissement

France = Gouvernement et Crédit  
Acheteur

Japon = Crédit fournisseur  
(Komatsu - Mitsui)

### Sous-Traitants

Injection Traitement de Sol = Groupement des entreprises  
SOLETANCHE et INTRAFOR, SOLMAROC et COFORMA

Forage de puits incliné au Raise Drill = INTRAFOR COFOR  
Auscultation = TELEMAR

Transporteur Mobile auto-  
élévateur à convoyeur : R.E.I.

### Association Barrage Aït Chouarit

#### Effectifs du chantier

1.200 agents et ouvriers marocains  
55 agents expatriés

#### Montant des travaux

1,3 Mds F

#### Matériel Principal

3 Boutteurs Komatsu D455 A  
6 Boutteurs Komatsu D355 A  
6 Boutteurs Komatsu D85 A  
1 Chargeuse Komatsu D95 S  
1 Chargeuse Komatsu D75 S  
2 Niveleuses Komatsu GD 705R  
15 Dumpers Komatsu HD 465  
4 Chargeuses Caterpillar 992C  
2 Chargeuses Cartepillar 966D  
4 Dumpers Caterpillar DJB 330  
1 Jumbo Boomer Atlas H 173  
1 Jumbo Boltec Atlas  
1 Jumbo Promec Atlas  
5 Compacteurs ABG 186  
1 Compacteur Dynapac C51S  
7 Compresseurs XA 350  
2 Compresseurs XA 210  
2 Compresseurs XA 80  
5 Camions toupie GBM 280  
2 Pompes à béton PUTZMEISTER  
2 Grues PH 330  
1 Grue PPM 2009  
1 Grue Pinguely  
2 Pelles Komatsu PC 220  
2 Crawl hyd. ROC 712  
4 Crawl A.C. ROC 601  
1 Station à béton 80 m<sup>3</sup>/h Lambert  
1 Station de concassage et reconstitution de filtres et drains Bergeaud de 300 T/heure



de l'ouvrage. L'élément le plus remarquable de cet ouvrage se trouve être la tulipe du déversoir en forme de corolle de 35 m de diamètre et son entonnoir de près de 65 m de hauteur. On imagine quelles sont les difficultés pour réaliser l'exécution et le bétonnage à l'intérieur de ce puits. Pour faciliter l'excavation un avant-trou a été réalisé au Raise Drill avec le matériel utilisé dans les galeries de drainage et d'injection, le profil définitif sera obtenu par abattage complémentaire.

### Galeries de drainage et d'injection

Le réseau de galeries de drainage s'étend sur trois niveaux avec une longueur totale de 2 000 m. La galerie d'injection de 750 m enveloppe le périmètre du barrage. Les galeries inclinées et les puits verticaux sont réalisés au Raise Drill.

### Conclusion

Un barrage en terre de 145 m de hauteur, 9 500 000 m<sup>3</sup> de remblais à mettre en place en moins de deux ans, 2 000 m de galerie de grande section, 3 000 m de galerie de petite section. Voilà les données du problème posé à l'entreprise pour réaliser ce grand marché en quatre ans ; cela suppose



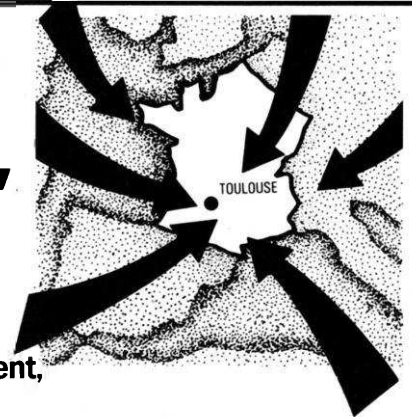
Vue de la vallée depuis l'amont. En rive droite : entrées des galeries de dérivation provisoire et de vidange de fond.

bien sûr une grande expérience des gros chantiers à l'exportation, de l'innovation et une organisation infaillible. Un ordinateur est installé sur le site (IBM 34) et assure la gestion du chantier (paie, comptabilité budgétaire, gestion du matériel, des stocks, du

personnel) et permet après deux années d'activité de faire des projections sur l'avenir et d'utiliser les résultats pour des projets futurs. Expérience et innovation sont les maîtres mots du chantier du barrage d'Ait Chouarit.

LEVENEMENT 85

## POURQUOI LE MONDE ENTIER DE LA PIERRE, DU MARBRE ET DU GRANIT SE RENCONTRE A ROC-EXPO.



Professionnels, Prescripteurs, Acheteurs de la planète réfléchissent, s'informent et résolvent leurs problèmes au Salon des Arts et Techniques de la Pierre, du Marbre et du Granit. Du 7 au 11 mai 85. A Toulouse.

- Parce que les **professionnels** du monde entier découvrent à Roc-Expo, 17 000 m<sup>2</sup> d'exposition internationale : machines et accessoires, matériaux et produits finis, techniques et technologies...
- Parce que les **créateurs** de toutes nations présentent aux **acheteurs internationaux** innovations matérielles et technologiques, créations nouvelles (mobilier urbain et d'intérieur, funéraire, décoration...)
- Parce que les **ingénieurs** des grands travaux nationaux et internationaux testent à Roc-Expo matériels et matériaux (de l'extraction à l'utilisation pour routes, voies, constructions...) et rencontrent leurs futurs fournisseurs.
- Parce que les **architectes** et **prescripteurs** font le joint à Roc-Expo des techniques, des innovations et animent la réflexion des colloques.
- Parce que les **IVF** découvrent à Roc-Expo les idées nouvelles pour leurs futurs équipements urbains (de l'aménagement piétonnier au funéraire, de la construction à la décoration...)
- Parce que les **pouvoirs publics** français suivent attentivement Roc-Expo et participent à l'inauguration et à l'animation des colloques.

- Parce que Roc-Expo devient un centre international de la création, encouragé par la Filière Pierres Françaises.
- Parce que Roc-Expo vous propose des **voyages avion** à tarifs promotionnels au départ de nombreuses villes françaises et étrangères.
- Parce que Roc-Expo est à **Toulouse**, ville rose, ville des technologies avancées. Ville de charme et de Renommée **Gastro-nomique**.
- Parce que Toulouse et Roc-Expo vous proposent une soirée exceptionnelle : **Buffet-Gala**. Ah ! La vie française...

Roc-Expo 85, c'est 5 jours d'animations intenses. A Toulouse. Pour voir. Pour montrer. Pour se montrer.

**PARC DES EXPOSITIONS. 7 au 11 mars 85.**  
**B.P. 4128. 31030 Toulouse - Cedex - FRANCE.**

**VOYAGE-SERVICE**

- TARIFS AVION EXCEPTIONNELS
- option : SOIREE GALA BUFFET.

contactez

**TOULOUSE**  
J. CARRARA (61) 25.21.77

**PARIS**  
M. BODIN (1) 359.03.84

MICHEL BODIN - RC LYON 85 A 1499

**Le Salon des Arts et Techniques de la Pierre, du Marbre et du Granit.**





- exploitant, accessoirement, le potentiel hydroélectrique (le régime hydrologique permet d'assurer une bonne régularité de fourniture d'énergie en période hivernale, contribuant ainsi localement à soulager les "pointes" de consommation EDF),

- facilitant sur place la promotion d'activités induites par la création du lac : le plan d'eau constitue généralement un point d'attrait supplémentaire - dans un arrière pays où l'activité touristique prend une part croissante dans l'économie locale, par ailleurs, l'organisation et la surveillance de la pêche, de la chasse au gibier d'eau, sont amodiées aux fédérations compétentes,

- permettant, le cas échéant, aux hydra-vions Canadair de venir écopper l'eau au plus près des massifs forestiers d'accès difficile et particulièrement sensibles au feu.

Il est évidemment délicat de maintenir une bonne compatibilité entre les diverses exigences de ces multiples fonctions ; ce d'autant plus que le mode de gestion de la retenue évolue progressivement dans le temps : ainsi, par exemple, toutes précautions doivent être prises au départ pour que les implantations touristiques (campings, villages de vacances, bases nautiques) qui s'installent très rapidement en périphérie du lac soient conçues en tenant compte des contraintes techniques liées aux fluctuations du plan d'eau, limitées pendant les premières années, mais appelées à croître dans l'avenir, au fur et à mesure que la réalisation des réseaux de distribution en aval, et de l'intensification progressive des structures d'exploitation ; ce qui amène, dans certains cas, à réaliser des ouvrages spécifiques dans les zones où les contraintes de marnage s'avèrent dirimantes (plan d'eau constant en queue de retenue, etc...).

Il est intéressant de signaler que l'amélioration des connaissances en matière d'hydrologie, et la performance des réseaux d'annonce de crues mis en place par les Départements permettent désormais, dans bien des cas (projets de barrage de la Borie, de la Peyne, de Caramany, par exemple) de mieux exploiter la capacité des sites par une gestion avec recouvrement des tranches réservées respectivement à l'écrêtement et au stockage.

Par ailleurs, bien que les exigences de l'irrigation en matière de qualité des eaux soient en général relativement limitées, (encore que la promotion de cultures spéciales ou très intensives, faisant appel à des techniques fines d'irrigation, soit à cet égard de plus en plus contraignantes) le fait qu'une partie des eaux stockées soit destinée à l'alimentation en eau potable, et le souci de préserver la qualité de l'environnement, en aval du barrage, conduisent de plus en plus à adopter des dispositions relativement coûteuses, telles que les prises à niveaux étagés, qui, autrefois, n'étaient adoptées que dans ces cas très spécifiques.

De manière plus générale, ces grands barrages s'inscrivent dans le cadre d'une politique cohérente d'aménagement concerté des grandes vallées, définie et promue par les Départements, et retenue comme prioritaire dans les grandes orientations du Contrat conclu entre l'État et la Région pour le 9<sup>e</sup> Plan.

Ainsi :

#### Dans le bassin de l'Hérault : les barrages du Salagou et de la Peyne

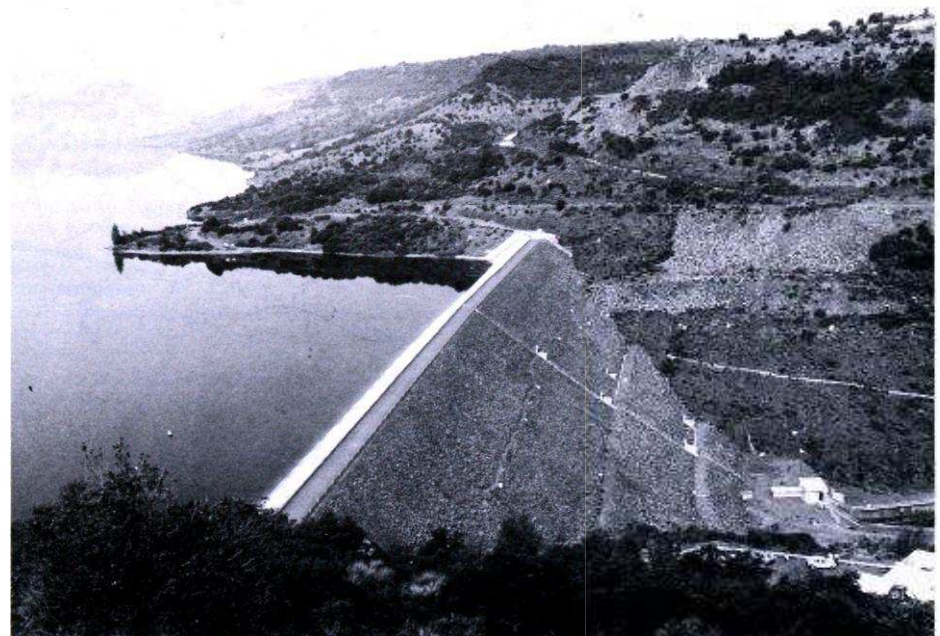
L'aménagement de cette importante vallée a commencé par la réalisation, en 1968, du barrage du Salagou étudié, réalisé et exploité par la Compagnie du Bas-Rhône Languedoc pour le compte du Département de l'Hérault. Du type digue en enrochements à masque amont en béton bitumineux et d'une hauteur de 62 m, il présente une capacité de retenue de 125 millions de m<sup>3</sup>. Tout en garantissant les apports d'eau nécessaires pour les besoins de l'irrigation en aval, il a permis le développement d'une activité touristique importante (campotel, campings...). Il est accessible aux Canadair. Il doit être prochainement équipé d'une turbine de 0,5 m<sup>3</sup>/s qui permettra d'assurer une productibilité annuelle d'environ 1 million de kWh.

Plus récemment la vallée de l'Hérault a fait l'objet, à l'initiative du Département, d'un programme global d'aménagement et de développement dont le volet "Aménagements Hydrauliques" a été approuvé par la Communauté Européenne qui doit contribuer à son financement.

Dans le cadre de ce programme la Compagnie du Bas-Rhône Languedoc a reçu du Département une mission de maîtrise d'œuvre générale pour l'étude et la réalisation des infrastructures hydrauliques



#### SALACOU.





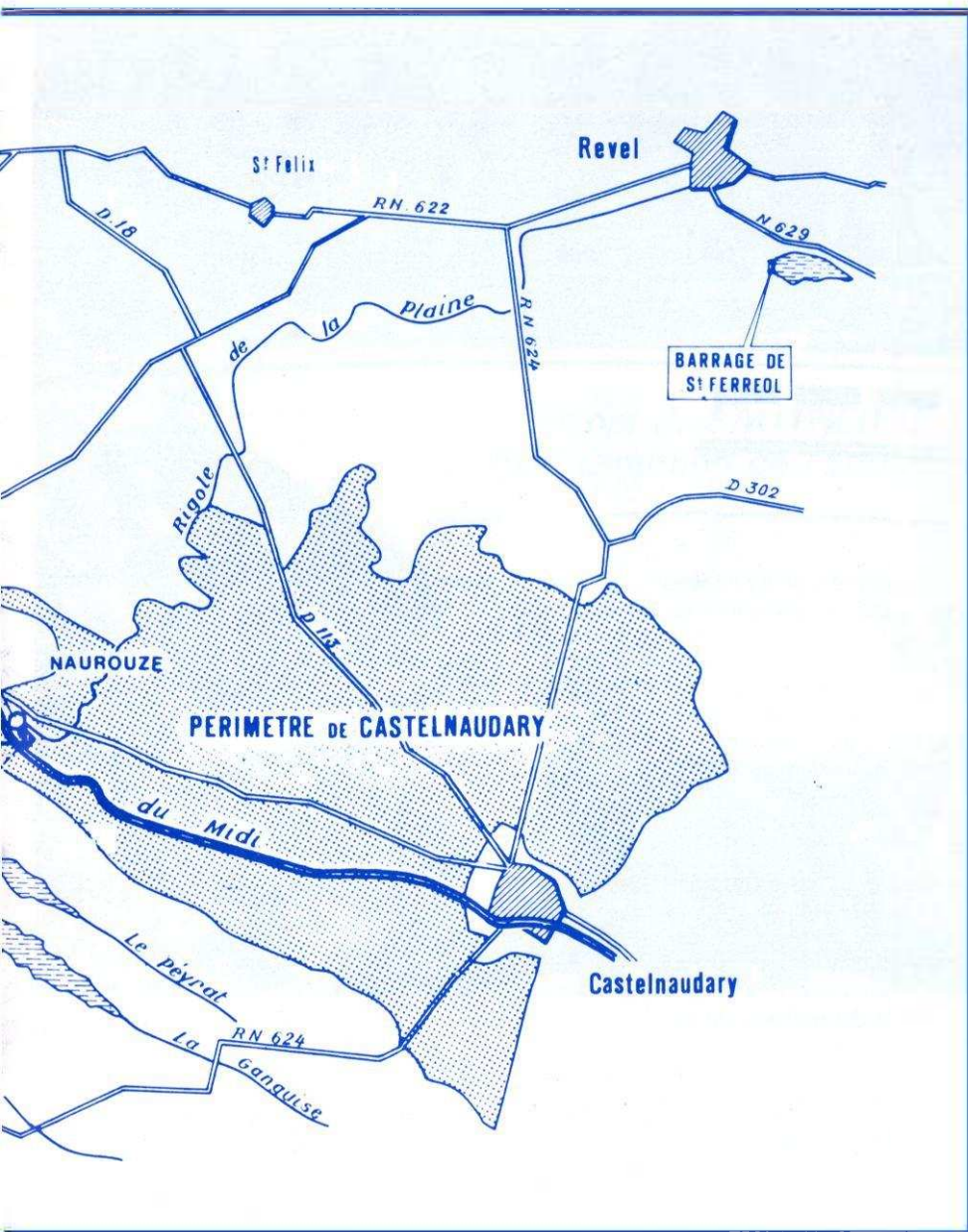


Schéma du Lauragais Ouest-Audois.

nécessaires à l'aménagement de la vallée qui comprennent des endiguements et, dans un premier temps, la réalisation du barrage des Olivettes sur la Peyne, affluent de rive droite de l'Hérault. Ce barrage, dont les travaux doivent être engagés dès cette année, est une digue en enrochements à masque amont en béton bitumineux de 35 m de hauteur. Il contrôle un bassin versant de 30 km<sup>2</sup> et a pour fonctions le stockage en vue de l'irrigation et du soutien des étiages et l'écrêtement des crues.

**Dans la vallée de l'Orb : le barrage d'Avène**

Construit en 1962, c'est le premier des barrages conçus, réalisés et exploités par la compagnie.

Il s'agit d'un barrage voûte de 62 m de hauteur contrôlant un bassin de 152 km<sup>2</sup> et stockant 33,6 millions de m<sup>3</sup>. Il permet d'assurer la desserte en eau agricole, industrielle et potable de la région de Béziers et du Sud Narbonnais. Il a été équipé en 1975 d'une turbine de 3,2 m<sup>3</sup>/s produisant en année moyenne 8 millions de kWh.

Un seuil en queue de retenue a permis le développement des activités à Ceilhes et Rozels.

**Dans l'ouest Audois : les barrages de la Ganguise et de Laprade**

Depuis 1977, la Compagnie du Bas-Rhône Languedoc a reçu mission d'équiper à l'irrigation le Lauragais Audois qui couvre une superficie d'environ 40 000 ha de Carcassonne au seuil de Naouroze (limite entre versants méditerranéen et atlantique).

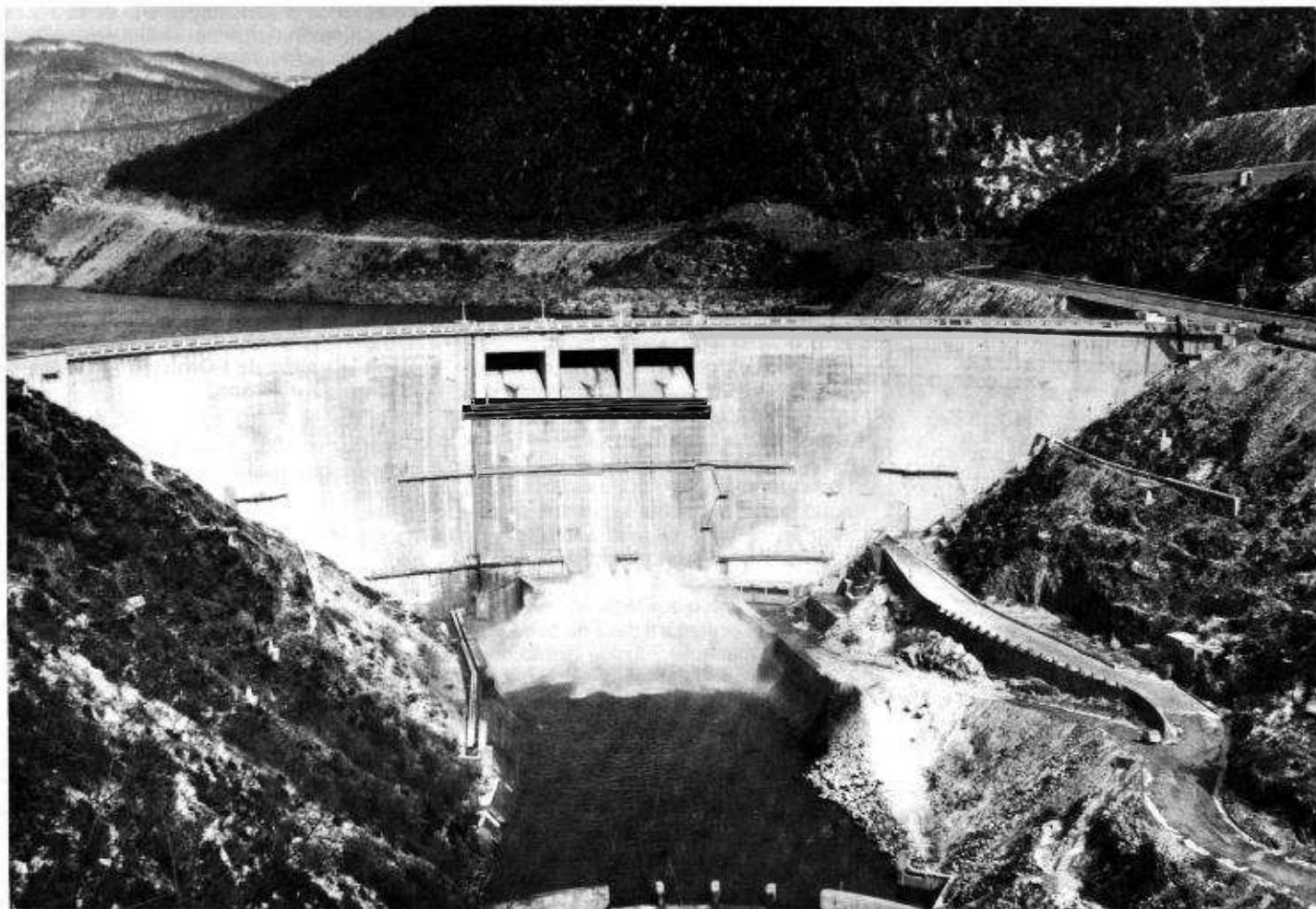
Le schéma d'alimentation de la partie Ouest de ce périmètre est assez original puisqu'il fait appel à un barrage de stockage situé sur le versant atlantique dont le remplissage est assuré par les eaux de la Montagne Noire (versant méditerranéen) non utilisées pour l'alimentation du Canal du Midi. Un système de transfert, installé au seuil de Naouroze, comprenant une station de pompage reliée à la retenue par une conduite et une galerie, permet en hiver, aux heures creuses, le remplissage du barrage et en période d'irrigation la mise en pression du réseau de distribution.

Le barrage de la Ganguise qui assure la fonction stockage est une digue en terre zonée de 27 m de hauteur créant une retenue utile de 22 millions de m<sup>3</sup>. Il est prévu lorsque les besoins hydro-agricoles dépasseront la capacité de régulation du système actuel de surélever d'environ 6 m la digue pour porter la capacité de la retenue à 40 millions de m<sup>3</sup>, son remplissage devant être complété par transfert d'une partie des eaux stockées au barrage de Montbel, récemment achevé et actuellement en cours de mise en eau.

**GANGUISE.**







*Barrage d'Avène sur l'Orb dans l'Hérault, retenue de 33 millions de m<sup>3</sup>.*

Là aussi, le plan d'eau, aisément accessible depuis les Centres urbains de Toulouse, Carcassonne, Castelnaudary, a attiré, au delà de toutes prévisions, les activités nautiques dûment organisées par une Association Départementale.

Plus à l'Est, est en vue de satisfaire les besoins en eau potable et agricole de la région de Carcassonne, le Département de l'Aude a décidé de concéder à la Compagnie du Bas-Rhône Languedoc l'étude, la réalisation et l'exploitation du barrage de Laprade dont les travaux viennent de s'achever et dont la mise en eau est en cours. D'une capacité de 8,8 millions de m<sup>3</sup>, il permettra de régulariser en année moyenne 13,3 millions de m<sup>3</sup>.

**Dans la Vallée des Gardons : le barrage de La Borie**

Une étude générale de l'aménagement hydraulique, du Gard, réalisée à l'initiative du Département, a mis en évidence après comparaison systématique des diverses solutions envisageables, l'intérêt technique et économique de réaliser le barrage de La Borie sur le Gardon de Mialet. Il permettra d'améliorer la sécurité des riverains vis à vis des risques d'inondations, d'accroître les débits disponibles en période estivale et surtout de permettre l'irrigation des plaines

aval qui couvrent une superficie agricole utile de 24 000 ha, et où la demande en eau d'irrigation se manifeste de façon particulièrement aiguë.

Le barrage de La Borie étudié par la Compagnie du Bas-Rhône Languedoc est un barrage poids béton déversant de 46 m de hauteur créant une retenue de 26 millions de m<sup>3</sup>. Compte tenu de son implantation en amont de centres importants d'intérêt touristique et culturel, des dispositions toutes particulières sont prévues dans le projet pour respecter les contraintes d'environnement (barrage de queue de retenue, aménagement touristique le long du lac en aval, tour de prise à niveau étagé pour le contrôle de la qualité et de la température de l'eau...). La décision, quant à la réalisation de ce barrage, doit être prise très prochainement par les instances départementales.

**En Roussillon : les barrages de Vinca, Villeneuve de la Raho et Caramany**

Cette région comprend déjà de nombreux petits périmètres agricoles anciens, qui ont une très longue pratique de l'irrigation gravitaire.

Pour assurer la protection contre les crues et l'irrigation des secteurs non encore équipés, les études de schéma départemental hydraulique ont abouti à l'identification de trois ouvrages majeurs :

Deux d'entre eux sont déjà en service ; le Département en a confié l'exploitation à la Compagnie : il s'agit du barrage de Vinca, dans la vallée de la Tet (25 Mm<sup>3</sup>, affectés à l'écrêtement des crues et au stockage) et de la réserve de Villeneuve de la Raho (14 Mm<sup>3</sup>) à vocation de stockage pour l'irrigation, et de plan d'eau touristique, et dont le remplissage est assuré pour l'essentiel par transfert des eaux de la Tet.

Le troisième, le plus important, est le barrage d'Ansignan-Cassagnes-Caramany à vocation de protection contre les crues de l'Agly, et de fourniture d'eau d'irrigation notamment dans le périmètre de la Salanque.

Le Département a décidé d'entreprendre, dès le 9<sup>e</sup> Plan, les aménagements préliminaires indispensables pour permettre la libération de l'emprise du futur lac, en vue d'une réalisation au titre du 10<sup>e</sup> Plan.



# L'avenir des barrages hydroélectriques en France

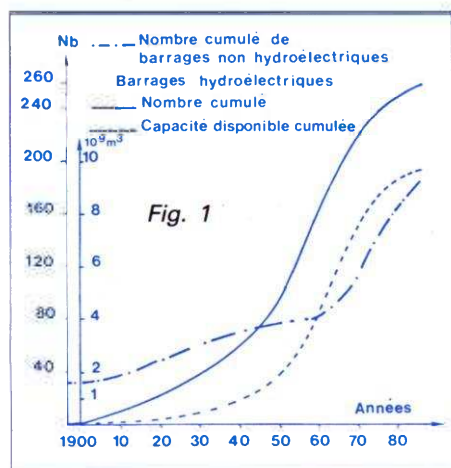
par J. GAUTHERON  
EDF Direction de l'Équipement

## Les barrages hydroélectriques : le passé

Dans son article d'introduction Monsieur Goubet rappelle l'ancienneté des barrages à vocation énergétique. Toutefois, les grands barrages hydroélectriques — un ouvrage de plus de 15 m de hauteur est un grand barrage selon la terminologie internationale — n'apparaissent en France qu'avec le début du siècle.

Une douzaine existent en 1920. En 1946 environ 75 sont en exploitation. Commence alors une période de vingt cinq ans de très grande expansion pendant laquelle 150 grands barrages sont réalisés. Puis pendant les douze années qui viennent de s'écouler le rythme moyen de construction tend à revenir à ce qu'il était pendant la première moitié du siècle (fig. 1). La capacité cumulée de ces mêmes ouvrages évolue suivant la même courbe en "S". Mais l'expansion des années 1946 à 1970 est encore plus marquée ici puisque la capacité cumulée a été multipliée par sept au cours de cette période alors que le nombre des barrages n'avait été multiplié "que" par trois.

L'allure de la branche basse de ces courbes — jusque vers 1946 — suit bien l'accroisse-

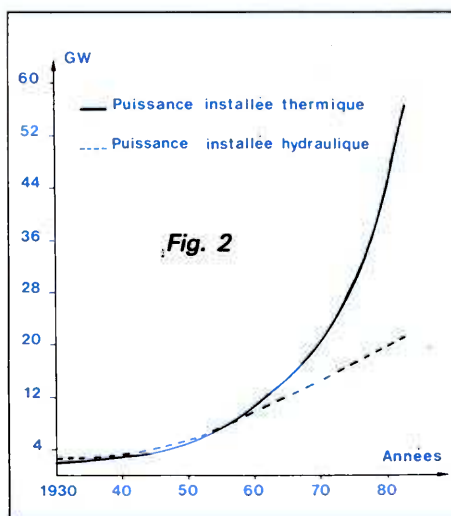


ment de la consommation électrique et de la puissance installée totale. Mais, paradoxe apparent, la prédominance de l'énergie hydroélectrique va disparaître au cours de ces vingt cinq années d'expansion des barrages hydroélectriques puisque la puissance thermique installée dépasse celle de l'hydraulique vers 1955 (figure 2) et que l'énergie d'origine thermique dépasse la moitié de la consommation totale dès le début des années 1960 (figure 3).

A quels facteurs nouveaux le ralentissement amorcé en 1970 est-il dû : épuisement des sites possibles, difficultés accrues de construction, meilleure prise en compte des contraintes liées à l'environnement...? Tous ces éléments interviennent bien évidemment à des degrés divers. Sont-ils seuls déterminants? Il est possible d'en douter lorsqu'on constate (figure 1) que la construction des barrages non énergétiques s'accélère alors que celle des barrages hydroélectriques ralentit.

## L'utilisation des barrages : son évolution

La création d'une dénivellation utilisée pour

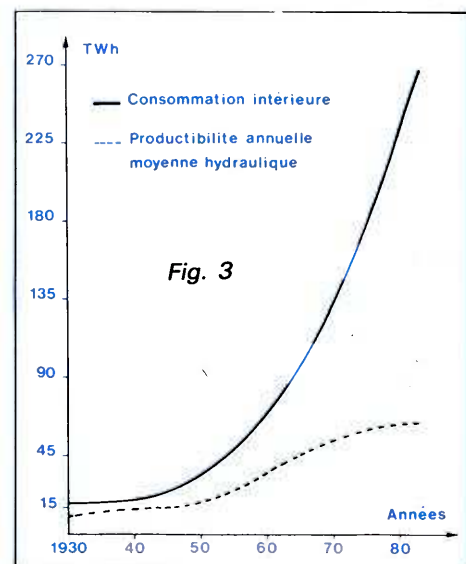


la production de l'électricité fut longtemps le rôle essentiel sinon unique de beaucoup de barrages.

Puis on entra (figure 1) dans une période de développement, qui se poursuit aujourd'hui, de l'utilisation des retenues. La taille de celles-ci permet, si elle est suffisante par rapport aux débits, de stocker de l'énergie — sous forme d'eau — puis de la délivrer en fonction de la demande. Cette eau stockée provient le plus souvent de la rivière sur laquelle est bâti le barrage mais transite parfois par de très longs réseaux d'adduction.

Les fonctions d'accumulation — à l'échelle plurihoraire, hebdomadaire, saisonnière — sont donc étroitement dépendantes de la capacité des retenues, mais aussi de l'hydrologie des rivières ou torrents qui les alimentent. Quant aux règles de déstockage, elles varient dans le temps, tenant compte de l'ensemble des données économiques et optimisant les choix entre la garantie de puissance donnée par l'hydraulique et l'économie de combustibles (fuel notamment).

Enfin, les années 1970 marquent le début véritable — même si le premier exemple date des années 1930 — des stations de transfert d'énergie par pompage : une retenue haute est remplie — totalement ou partiel-



lement — par cycles répétés par de l'eau pompée depuis une retenue inférieure. Cette technique fait apparaître de nouveaux sites — retenues hautes insuffisamment alimentées naturellement et même parfois cuvettes totalement artificielles —. En montagne elle peut éviter la réalisation de longs réseaux d'adduction. Enfin, si la retenue basse est suffisamment grande ou très bien alimentée, le pompage permet des utilisations répétées de la capacité de la retenue haute, même si celle-ci a un caractère saisonnier.

## La demande d'électricité : son évolution

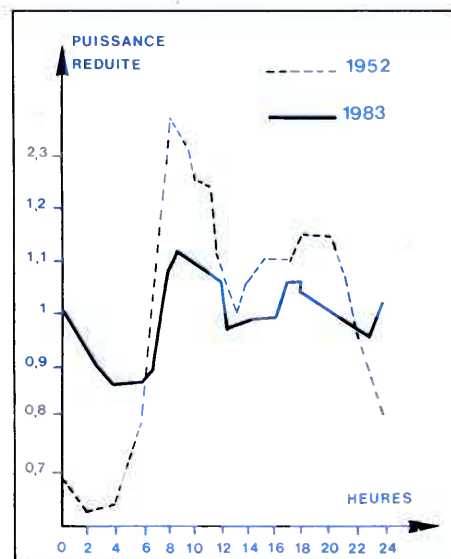
Cette variation dans le temps de l'utilisation des barrages et de leurs retenues est liée d'une façon générale à la place de l'hydroélectricité — et plus particulièrement à celle des lacs de retenue — à l'intérieur de la production globale du parc des centrales électriques.

Les figures 2 et 3 montrent bien que l'accroissement général de la demande et celui de la puissance du parc. Mais l'élément déterminant pour l'hydraulique est l'évolution qualitative de la puissance appelée.

Examinons trois des facteurs les plus caractéristiques dont les poids relatifs ont varié fortement au cours des trente dernières années et dont toutes les analyses confirment que l'évolution va se poursuivre.

— Les courbes de puissance réduite de la figure 4 montrent l'aplatissement relatif très marqué de la courbe de charge des jours les plus chargés.

Fig. 4



— La figure 5 fait apparaître l'accroissement relatif et absolu de la différence de consommation entre l'été et l'hiver — appelé "saisonnalisation".

— Enfin, la sensibilité de la demande à la température augmente : de 0,5 GW par degré environ aujourd'hui (figure 6) elle pourrait s'approcher à terme de 1 GW par degré. Mais d'ores et déjà au cours d'un même hiver le creux de la demande d'un jour froid peut se situer au même niveau que la pointe d'un jour doux.

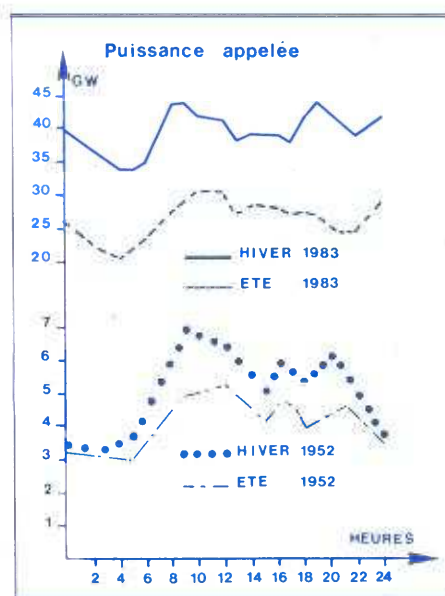


Fig. 5

## Les barrages hydroélectriques : le présent et l'avenir

Depuis 1960 (figure 3) la part de l'hydroélectricité n'a cessé de diminuer à l'intérieur de la consommation globale et le niveau ultime de la productibilité moyenne ne devrait pas, vu d'aujourd'hui, dépasser 75 Twh. Ceci n'est pas contradictoire avec une poursuite de l'accroissement de la capacité stockée, qui correspond actuellement à environ 10 TWh.

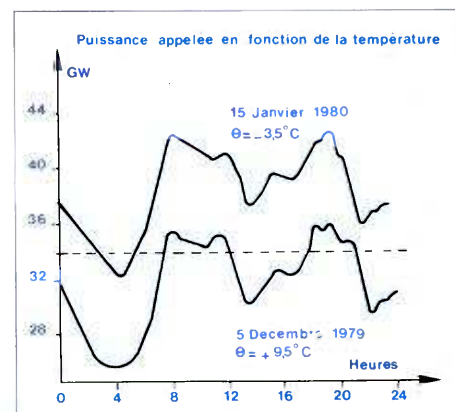


Fig. 6



Photo Villerest.



En effet, cet accroissement des capacités stockées est l'une des voies, mais pas la seule, de l'augmentation de la puissance installée hydroélectrique dont il convient de rappeler que depuis 1946 elle progresse à un rythme moyen d'environ 0,5 GW par an (figure 2).

On trouve d'ailleurs parmi les ouvrages qui viennent d'être mis en service ou qui vont l'être, des exemples d'objectifs de barrages à construire et de la nouvelle utilisation des barrages existants, dont il convient de rappeler qu'ils sont environ 250.

L'aplatissement relatif des courbes de charge journalières, l'utilisation du parc hydraulique existant, les possibilités croissantes de réglage offertes par les centrales nucléaires ne justifieront certainement plus beaucoup de grands ouvrages nouveaux conçus uniquement dans le but du suivi journalier.

La saisonnalisation va continuer à s'accroître mais la compétitivité du nucléaire jusque vers 3 000 heures de fonctionnement sinon même 2 000 heures fait que cet accroissement va être pris en charge essentiellement par cette filière.

Toutefois même dans cette optique, une adaptation du parc existant, des compléments modestes à celui-ci se révèlent souvent intéressants.

Citons le barrage de Garrabet en tête de l'aménagement de Ferrières (400 MW et 150 GWh) sur un tronçon non encore équipé de l'Ariège. De capacité faible il ne permet qu'une régularisation journalière. Mais il bénéficie pleinement de celle des retenues saisonnières existantes de Lanoux et de Naguille. Rappelons le barrage de Laparan décrit par Monsieur Millet dans un article de ce même numéro et soulignons que de tels projets sont tout à la fois relativement modestes et potentiellement nombreux.

Rappelons aussi que dans les D.O.M. où les conditions énergétiques sont différentes de celles de la France continentale, le barrage de Takamaka est en construction à la Réunion et celui de Petit Saut en projet en Guyane.

Enfin, en constatant (figure 1) l'expansion de la construction des barrages dont le but est non énergétique on peut penser que des utilisations annexes hydroélectriques seront parfois intéressantes : cela est montré par l'exemple de Villerest (photo 1) destiné à la lutte contre les crues et au soutien des étiages mais qui a justifié la construction d'une usine de 60 MW apportant 170 GWh.

Mais les grands barrages seront de plus en plus destinés et utilisés à répondre aux pointes de la demande, en particulier à celles liées aux aléas climatiques et qui ne concernent que quelques centaines d'heures chaque année. Ici encore des exemples actuels donnent un éclairage sur ce que sera l'avenir.

Le barrage de Sarrans sur La Truyère date des années 1930 et la puissance de son usine n'était que de 116 MW. L'implantation de



Photo de Sarrans.

la conduite forcée du nouveau groupe de 63 MW permettant de mieux concentrer la production sur les heures les plus chargées a été réalisée en perçant le barrage lui-même (photo 2).

Dans le haut de la vallée de l'Arc le barrage de Bissorte construit dans les années 1930 domine le bassin du Pont des Chèvres d'autant, lui, de la fin des années 1960. Un simple suréquipement n'était pas intéressant, la capacité de Bissorte (30 hm<sup>3</sup>) étant trop faible. L'hydrologie de l'Arc a permis de projeter, puis d'engager une station de transfert d'énergie par pompage de 750 MW qui permettra d'utiliser plusieurs fois chaque hiver la capacité de Bissorte.

Enfin, les barrages de Grand'Maison (photo 3) et du Verney viennent, eux, d'être terminés et sont en cours de remplissage. Ils constituent les ouvrages haut et bas d'une station de transfert d'énergie par pompage entière-

ment nouvelle qui constitue le plus gros aménagement hydroélectrique français (1 800 MW) et l'un des plus importants d'Europe.

Dans ce domaine de la grande hydraulique de puissance les sites potentiels de suréquipement, ou d'aménagements partiellement ou totalement nouveaux sont relativement nombreux. Pour ne citer que quelques exemples, parmi les plus connus, rentrent dans cette catégorie : Serre-Ponçon, l'ensemble Roselend — Saint-Guérin, le complexe Tignes — Haute Isère, la Haute Romanche avec le Chambon, dans les Alpes, Redenat dans le Massif Central, Naguille, Lanoux dans les Pyrénées. Mais bien évidemment les solutions proposées et leur programmation dépendront de l'ensemble des facteurs de choix : évolution de la demande, valeur économique, poids financier des projets, aléas, environnement...



1984

# ANNUAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES

INGÉNIEURS DU CORPS - INGÉNIEURS CIVILS

Téléphone : 390.28.32

Téléphone : 390.34.13

**ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES**

28, RUE DES SAINTS-PÈRES - PARIS 7<sup>e</sup>

Les Ingénieurs des Ponts et Chaussées jouent, par vocation, un rôle éminent dans l'ensemble des Services des Ministères des Transports, de l'Urbanisme et du Logement.

Ils assument également des fonctions importantes dans les autres Administrations, et dans les organismes du Secteur Public, Parapublic et du Secteur Privé, pour tout ce qui touche à l'Équipement du Territoire.

En outre, dans tous les domaines des Travaux Publics (Entreprises, Bureaux d'Études et d'Ingénieurs Conseils, de Contrôle) les Ingénieurs Civils de l'École Nationale des Ponts et Chaussées occupent des postes de grande responsabilité.

C'est dire que l'annuaire qu'éditent conjointement les deux Associations représente un outil de travail indispensable.

Vous pouvez vous procurer l'édition 1984 qui vient de sortir, en utilisant l'imprimé ci-contre.

Nous nous attacherons à vous donner immédiatement satisfaction.

## **BON DE COMMANDE**

à adresser à  
**OFERSOP — 8, bd Montmartre, 75009 PARIS**

### **CONDITIONS DE VENTE**

Prix .....	325,00 F
T.V.A. 18,60 .....	60,45 F
Frais d'expédition en sus .....	30,00 F

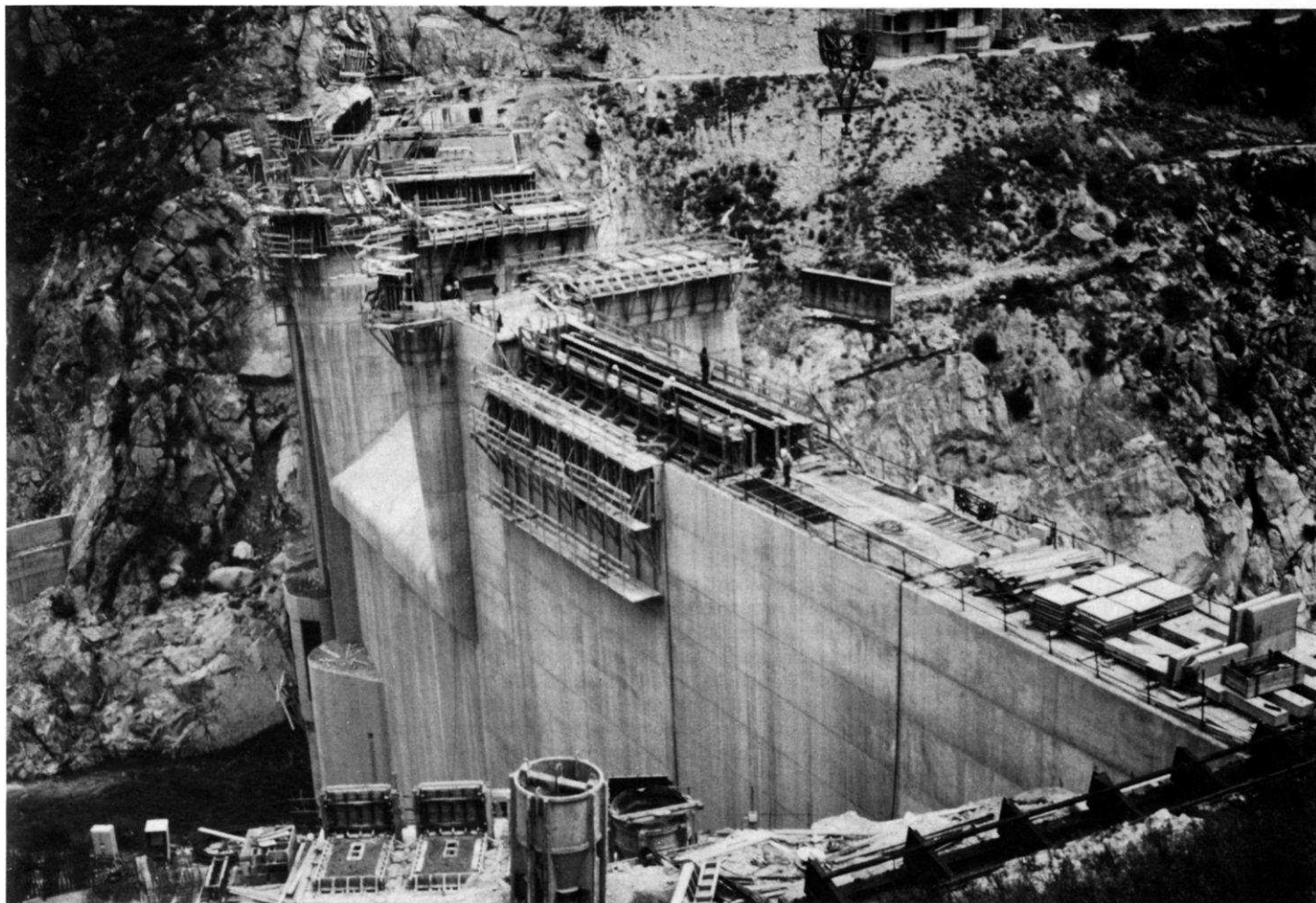
- règlement ci-joint réf. : .....
- règlement dès réception facture.

Veillez m'expédier ..... annuaire(s) des Ingénieurs des Ponts et Chaussées dans les meilleurs délais, avec le mode d'expédition suivant :

- expédition sur Paris
- expédition dans les Départements
- expédition en Urgent
- par Avion

# L'avenir des barrages agricoles

*Daniel LOUDIERE  
ICGREF au CEMAGREF*



*Le barrage de Vinça en cours de construction.*

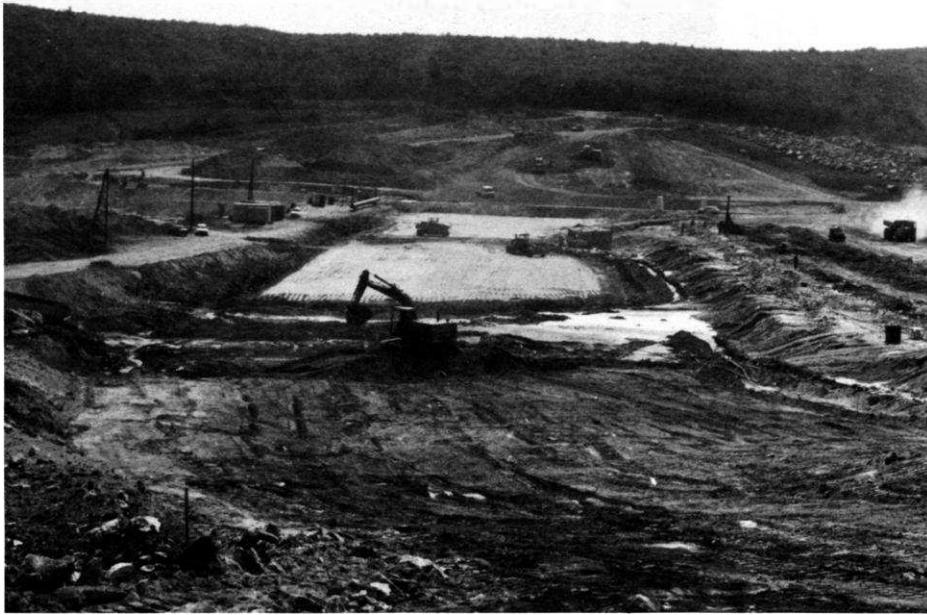
Serre-Ponçon, Sainte-Croix... grandes retenues pour l'agriculture ! N'y voyez aucun paradoxe puisque si ces barrages d'EDF ont, vous le savez tous, une vocation hydroélectrique marquée il n'en reste pas moins vrai que la fraction de la retenue réservée à l'agriculture est suffisamment importante pour attester cette affirmation. Ceci étant posé, il ne faut pas perdre de vue que sous le vocable des barrages agricoles on peut citer, pour la France, des ouvrages aussi divers que des barrages-voûtes de 60 à 80 m de hauteur, des barrages-poids en béton ou

en maçonnerie, des contreforts et surtout d'innombrables remblais en terre. Peut-on alors considérer que les maîtres d'ouvrage sont spécifiques ? oui lorsqu'il s'agit d'un agriculteur ou d'un groupement d'agriculteurs sous forme d'Association Syndicale autorisée (ASA) ; toutefois, de nombreux ouvrages appartiennent à des communes, des syndicats intercommunaux, des départements, des syndicats mixtes, des institutions interdépartementales et même à l'État.

Quant aux objectifs, il n'existe aucune solu-

tion de continuité entre l'irrigation, l'agriculture, le soutien des étiages, l'alimentation en eau potable et les loisirs ; en effet, dès que les ouvrages atteignent une certaine taille il est fréquent que les buts soient multiples. Certes, les retenues collinaires ont en général un objet restreint d'utilisation de l'eau pour l'agriculture ; à l'opposé de ces retenues collinaires, ouvrages typés quant aux coûts, aux objectifs et à la conception, les autres barrages construits au titre de l'équipement rural ne correspondent à aucune catégorie particulière.





Les chantiers du barrage de Laprade.

## A — Quels barrages pour l'équipement rural ?

### Les retenues collinaires

Cette dénomination nous vient d'Italie. Dans les années 1950, ce pays a lancé un vaste programme de réalisation de tout petits barrages en terre. Appartenant en général à un seul agriculteur ces tout petits ouvrages (hauteur variant de 3 à 8 m) étaient réalisés de façon très rustique : remblais extraits de la cuvette de la retenue, poussage des terres au bouteur et "compactage" par passage des engins de terrassement.

Ce programme qui s'est développé pendant une quinzaine d'années s'est ensuite fortement ralenti du fait des incidents liés à la rusticité de la technique, de la rareté des sites topographiquement favorables, de l'importance des débits de crue et des débits solides.

En France, les retenues collinaires se sont développées avec la création des grandes Sociétés d'Aménagement Régional (SAR) telles que la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne. Il s'agit de remblais en terre, la terre venant de l'emprise de la cuvette en général, créant des retenues qui se remplissent pendant les périodes pluvieuses de novembre à avril, l'eau est utilisée pour l'irrigation de mai à septembre.

Les ouvrages ont une hauteur comprise entre 4 et 15 m et le volume d'eau stocké varie entre 30 000 et 200 000 m<sup>3</sup>.

L'examen de la coupe-type permet d'illustrer les choix difficiles qu'il faut effectuer entre sécurité et économie du projet : les parements sont protégés de façon rudimentaire (terre végétale et enherbement) ; le drain est réduit (drain vertical en tran-

chée ou drain bande) ; la tranchée d'ancrage est maintenue systématiquement, le remblai est homogène.

Les départements du sud de la France, en particulier sous l'impulsion des DDA du Sud-Ouest (Ariège, Lot-et-Garonne, Gers...) ont donc su créer une tradition de retenues collinaires (bureaux d'études et entreprises) permettant de réaliser des ouvrages dans des conditions financières très favorables ; en 1984 plusieurs marchés se sont traités à moins de 10 F/m<sup>3</sup> HT, ce prix comprend l'extraction de la terre, le transport sur le site et le compactage.

### Les retenues à vocation touristique

L'affirmation de la vocation touristique du territoire rural s'est souvent concrétisée par la réalisation des plans d'eau où l'on pratique la baignade, la voile, le canotage et la pêche. Pourvu que la hauteur d'eau soit supérieure à 1,50 m afin de limiter le développement de la végétation, le critère de choix d'un site et sa surface ramenée à son coût.

*Le chantier du barrage de l'Ailette (Aisne).*



Pour illustrer notre propos nous vous proposons de jeter un coup d'œil à l'aménagement de l'Ailette dans l'Aisne.

surface du plan d'eau : 180 ha

profondeur maximale de l'eau : 8 m

hauteur maximale du barrage : 15 m (au-dessus des fondations)

longueur du barrage : 820 m

volume du remblai : 200 000 m<sup>3</sup>

évacuateur de crues : frontal sur digue, en béton armé

débit de crue de projet : 10 m<sup>3</sup>/s.

Aménagements divers : golf 18 trous, base nautique (voile et planche à voile), parcours d'aviron, deux plages, mini-station (maison du temps libre), terrain de camping, centre équestre avec parcours de cross, zone de pêche, circuit pédestre...

Maître d'ouvrage : Syndicat mixte d'aménagement du plan d'eau des vallées de l'Ailette et de la Bièvre.

Maître d'œuvre : DDA de l'Aisne.

Contrôle et laboratoire : SOCOTEC — CE-MAGREF.

Titulaire du marché de génie civil : Bourdin et Chaussée.

### Les retenues pour l'alimentation en eau potable

L'approche économique de tels ouvrages est très différente car les conditions de valorisation de l'eau sont bien meilleures.

Pour fixer les idées, en irrigation de grande culture on cherche à ne pas dépasser tous les barrages 2,50 F HT 1984 par mètre cube d'eau stockée ; mais dans le cas des retenues destinées à l'eau potable le prix de réalisation des infrastructures de stockage de l'eau dépasse parfois nettement 10 F HT 1984 par m<sup>3</sup> stocké.

Les capacités des retenues sont en général comprises entre 1 et 10 millions de m<sup>3</sup>, les ouvrages correspondants relèvent de la technique des grands barrages.

Dans certains départements, ce sont de véritables ensembles de réservoirs qui ont été réalisés :

— en Vendée : Mervent, Albert, Pierre-brune, Rochereau, le Marillet (en cours de construction).

— dans les Côtes-du-Nord : Ville-Hatte, le Gouet, Kerne-Uhel.

— dans le Bas-Rhin : Alfeld, Kruth-Wildenstein, Milchelbach.

Dans d'autres régions les ouvrages sont plus dispersés, parmi les plus récents il faut citer Puy-Terrier (Deux-Sèvres), le Drennec (Finistère) et Chamboux (Côte-d'Or), trois barrages en terre de hauteur variant entre 15 et 25 mètres et stockant de 3 à 12 millions de m<sup>3</sup> d'eau.

## B — Quelques progrès techniques récents :

Les barrages de plus de 20 m de hauteur au-dessus du terrain naturel font l'objet d'une réglementation spéciale. Les barrages de hauteur inférieure ne peuvent être construits sans l'autorisation de l'administration lorsqu'ils sont établis sur un cours d'eau non domanial. De plus, une circulaire du 14 août 1980 prévoit des consignes de surveillance stricte du comportement des ouvrages à la première mise en eau, des visites périodiques du barrage, de ses abords et de ses organes annexes, ainsi que des mesures d'auscultation périodique.

Dans ce contexte et compte tenu d'une sensibilisation des citoyens aux risques liés aux barrages, il est apparu utile d'établir une méthode \* permettant d'apprécier les projets de retenue dès le début de leur étude

\* Note technique n° 5 du CEMAGREF "Appréciation globale des difficultés et des risques entraînés par la construction des barrages" juin 1978.

en fonction de l'importance de l'ouvrage à concevoir, des difficultés provenant des circonstances naturelles du site et du danger qu'une rupture éventuelle ferait courir à l'aval. L'un des buts essentiels de cette démarche est de faire prendre conscience dès le démarrage de l'affaire, à l'ingénieur chargé du projet, des différents problèmes qui se posent et des difficultés auxquelles il se heurtera, et par suite de l'amener le plus tôt possible à réfléchir aux moyens à utiliser pour les surmonter.

Les progrès récents en matière de reconnaissance géotechniques ont été appliqués avec succès aux barrages en aménagement rural qu'il s'agisse des méthodes électromagnétiques ou sismiques, qu'il s'agisse de l'enregistrement des paramètres de forage...

L'un des principaux points faibles dans la conception des barrages en terre de petite ou de moyenne dimension est le fait qu'ils sont en général homogènes et constitués de matériaux argileux ; ce type de structure, adopté pour son coût réduit, est évidemment inacceptable pour un très grand barrage ; en effet les données relatives aux accidents survenus à des barrages ont montré la sensibilité de ces ouvrages aux sous-pressions (stabilité fin de construction, vidange rapide, régime permanent), aux gradients hydrauliques (renard...) et aux fortes déformations (fissuration). Les réponses à ce problème ont été multiples : meilleure appréciation de la cohésion effective, prise en compte modérée de cette cohésion dans les calculs, dispositions constructives adaptées (risbermes, recharges, drainage...). En ce qui concerne le drainage, il faut noter la mise en place de drains verticaux de faible épaisseur (40 à 80 cm) par tranchées successives effectuées dans le remblai, au fur et à mesure de sa progression.

## L'utilisation des géotextiles et des géomembranes :

L'utilisation des géotextiles dans les barrages en terre est maintenant acceptée par la plupart des maîtres d'œuvre ; actuellement la Commission Internationale des Grands Barrages prépare un bulletin sur cette question. En l'espèce les petits barrages en terre ont constitué un champ d'application privilégié et ceci a commencé dès 1970. Ultérieurement, le laboratoire a pris le relais et de nombreux essais ont porté sur les caractéristiques de perméabilité (transmissivité, permittivité) ou de filtration (mesure du diamètre de filtration). Les règles de dimensionnement sont loin d'être figées et, selon les auteurs, les approches sont très différentes pour ne pas dire divergentes. L'utilisation des géotextiles dans des zones critiques des grands ouvrages, telle que le contact avec un noyau mince, ne peut être recommandée. Par contre dans les ouvrages de taille moyenne, de nombreux usages se sont révélés positifs ; transition sous rip rap de protection de talus, protection d'un collecteur dans un drain aval, enrobage de drains grossiers de construction, séparation entre deux zones de granularités très différentes... Des échantillons prélevés sur différents barrages (Maurepas, Valcros...) ont confirmé le bon comportement in situ des géotextiles mis en place sous enrochement de protection, sous réserve d'une continuité suffisante de l'enrochement afin que le géotextile reste bien appliqué sur son support.

Les géomembranes ont fait une entrée plus progressive dans les travaux hydrauliques. Lors du colloque organisé à Paris en 1983 sur l'étanchéité superficielle des bassins, barrages et canaux un bilan de l'utilisation des géomembranes dans les barrages a été présenté. Deux régions ont plus particulièrement fait appel à ces techniques : le Sud-Est et la Corse. La seule Direction Départementale de l'Agriculture du Var a assuré la maîtrise d'œuvre de six barrages en terre d'une dizaine de mètres de hauteur : les étanchéités artificielles réalisées ont toutes donné lieu à interventions plus ou moins délicates lors de la première année de la mise en eau, cinq d'entre elles donnent entière satisfaction après cinq à dix ans de fonctionnement, le léger débit de fuite qui existe sur la sixième est tel qu'une partie de la retenue ne peut être mobilisée lors des étés les plus secs. L'absence de protection mécanique sur les géomembranes bitumineuses n'a pas eu de conséquence sérieuse et les détériorations ont été réduites, même dans la zone de battillage. En Corse la SOMIVAC a réalisé deux grands barrages en enrochement étanchés par géomembranes :

— l'Ospedale : hauteur 26 m, fruit amont 1,7/1, géomembrane bitumineuse armée sur support constitué d'un géotextile et d'un bitumineux ouvert, protection par pavés posés sur un géotextile ;



Mise en place du rip rap sur un géotextile.



— Codole : hauteur 28 m, fruit amont 1,7/1, géomembrane en PVC posée en adhérence sur un géotextile et sur une couche de béton bitumineux ouvert, protection par de grandes dalles en béton coulées in situ sur un géotextile protégeant la géomembrane.

### Les barrages déversants :

L'étude des ruptures et des incidents survenus à des barrages en terre a montré que le premier risque est celui de la submersion.

Une première voie consiste à améliorer notre connaissance hydrologique du site : des progrès considérables ont été faits dès la dernière décennie en particulier grâce au réseau de stations limnimétriques mis en place par les Services Régionaux d'Aménagement des Eaux, l'emploi de méthodes plus adaptées telles que celles du gradex pour les crues de faible fréquence, et la mise au point de synthèses régionales permettant d'attribuer a priori des valeurs plus fiables aux coefficients existants dans certaines formules d'hydrologie.

Une deuxième voie a consisté à concevoir et réaliser des ouvrages susceptibles de résister à l'action de l'eau en cours de submersion. Citons trois conceptions différentes remplissant cette condition et ayant fait l'objet de réalisations en France :

— le déversoir central en béton placé sur la digue. Par une conception particulière on rend ce type d'ouvrage déformable à condition que les tassements des 4 remblais et des fondations restent modérés.

— la digue déversante revêtue d'un perré avec mastic bitumineux. La carapace est constituée d'une couche relativement épaisse de gros enrochements, 30 à 60 cm, mis en place soigneusement afin d'obtenir une bonne imbrication des blocs entre eux et un mastic bitumineux est coulé à chaud sur le perré pour lui apporter une forte cohésion et le rendre imperméable. Un soin particulier doit être apporté au drainage. Sept ouvrages de ce type ont été réalisés entre 1976 et 1984. Celui de Vieure dans l'Allier a été l'objet d'une auscultation particulière dont les données devraient permettre de vérifier la pertinence de l'approche adoptée.

— le parement aval vertical. Deux barrages déversants à parement aval vertical ont été réalisés par la Direction Départementale de l'Agriculture du Var au titre de la lutte contre les incendies dans le périmètre pilote des Maures. Le premier à Vallon des Bîmes est en terre armée, le second à Maraval est en boudins de géotextiles ; pour les deux ouvrages la lame d'eau est renvoyée à une certaine distance du pied aval grâce à un seuil en béton armé placé sur la crête.



La pose de la géomembrane.

### L'auscultation des barrages de petite ou moyenne dimension :

Alors que, dans les années 1960, seuls les grands barrages étaient dotés d'un dispositif détaillé d'auscultation, il est maintenant facile de constater que des ouvrages de taille plus modeste sont non seulement surveillés régulièrement mais encore équipés de façon à apprécier leurs tassements et leur comportement hydraulique (débits de fuite et pression interstitielle). Le dépouillement des données et leur ajustement à des lois générales prédéterminées permettent de mettre en évidence les évolutions irréversibles du remblai et de se faire une idée plus précise de son comportement effectif, en effet, l'analyse des séries chronologiques n'est pas toujours suffisamment explicative.

### C — Quelques perspectives d'avenir :

L'art de la prévision est difficile, mais d'ores et déjà certaines voies paraissent prometteuses :

#### • utiliser des matériaux difficiles

En Australie un important programme de réalisation de barrages en terre à vocation agricole a été remis en cause, car les argiles dispersives utilisées ont donné lieu à de nombreuses ruptures par renard.

Depuis, les méthodes d'identification des sols dispersifs, en particulier grâce au Soil Conservation Service, ont beaucoup pro-

gressé : "crumb test", double hydromètre, trou d'épingle et analyse des cations des sels dissous dans l'eau interstitielle. Parallèlement les techniques de traitement de ces matériaux ont permis leur utilisation avec succès dans des grands barrages.

L'utilisation de matériaux durs mais sensibles à l'eau (c'était le cas des marnes utilisées pour la réalisation du barrage de Montbel en Ariège) est rendue possible grâce à l'emploi de matériels de terrassements puissants tant au stade de l'extraction que de la mise en place.

Les services du Ministère de l'Agriculture ont suivi depuis 1975 la réalisation de plusieurs remblais constitués de granit décomposé (arène et gore). Il s'agit notamment des barrages du Drenec (Finistère), de Puy-Terrier (Deux-Sèvres), Chamboux (Côte-d'Or) et Laprade (Aude) ; force est de constater la diversité des conceptions : homogène, noyau, paroi moulée, injection de produits spéciaux, géomembrane sur parement amont. Une réflexion approfondie devrait permettre de dégager des critères de conception des ouvrages dans le cas d'utilisation de tels matériaux.

#### • mieux utiliser les progrès de la chimie

Les géomembranes et les géotextiles nous sont fournis par l'industrie chimique ; parallèlement les injecteurs maîtrisent de mieux en mieux la formulation de leurs produits.

Le traitement des sols a connu des applications limitées dans les barrages en terre, on peut citer : le sol-ciment en protection antibatillage (barrage de Joué-les-Tours), la bentonite, les silicates. Mais que penser des hydrophobants ou des échangeurs d'ions ?

## • échapper aux classifications

Sans vouloir mettre en cause la nécessité de normaliser et de classer, il faut reconnaître que toute démarche normalisante est stérilisatrice. Inversement, l'innovation vient souvent de l'adaptation à un domaine nouveau de techniques ou de procédés connus ailleurs :

le béton compacté ou roulé est l'aboutissement d'une démarche de ce type puisqu'il s'est agi d'adapter les techniques de mise en place des sols à un béton dosé en conséquence. De même, l'utilisation des sols intermédiaires (sols consistants mais pas assez durs pour être classés enrochements) devrait être plus fréquente dans les petits barrages malgré la difficulté à réaliser en laboratoire des essais susceptibles de les caractériser.

## • améliorer notre appréhension du comportement global des barrages

Ceci est applicable à toutes sortes de barrages, aussi bien en statistique qu'en dynamique ; il s'agit de la mesure des paramètres significatifs, des codes de calcul, des logiciels...

rages devrait subir un net ralentissement pendant la décennie 1980 par rapport à la décennie précédente :

— de façon générale alors qu'au cours de la décennie 70 les investissements d'infrastructures ont été privilégiés, pour la décennie en cours, d'une part, le niveau relatif des investissements devrait diminuer et, d'autre part, les investissements à caractère social ou productif devraient être choisis en priorité ;

— la consommation d'eau dans l'industrie, en particulier les industries agro-alimentaires s'est stabilisée ;

— la couverture du territoire en réseaux d'eau potable est quasi complète et il existe une forte préférence de nombreux responsables de collectivités locales pour l'utilisation des eaux souterraines ;

— la surface agricole utile irriguée ne croîtra qu'à un très faible taux ; les développements porteront sur la généralisation des techniques les plus évoluées (irrigation localisée), sur leur automatisation y compris pour l'irrigation de surface et sur la maîtrise de l'irrigation (conduite optimale, choix des matériels...);

— le développement de l'aquiculture d'eau douce en étang ou en lac peut se faire sur la base des réalisations actuelles ;

— les collectivités locales, très sensibles à leur attrait touristique, doivent maintenant faire face aux effets de la crise et la promotion des loisirs a perdu sa priorité ;

— enfin, il est vraisemblable que la gestion des eaux, tant au niveau des ouvrages que des régions, devrait être largement améliorée du fait de la généralisation de l'informatique, de l'automatisation et surtout de l'amélioration des concepts en matière d'optimisation de la gestion.

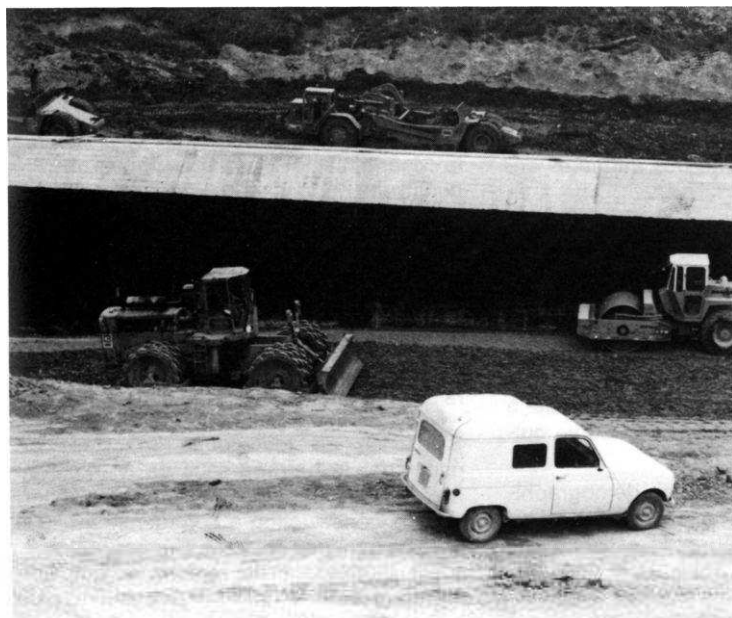
Compte tenu du temps nécessaire aux études de barrages, cela implique que, de 1984 à 1990, le nombre de barrages construits sera beaucoup plus faible que dans la période précédente.

Deux domaines devraient échapper à cette analyse pessimiste : la protection contre les crues et la réhabilitation des barrages anciens. Les demandes d'études qui passent au CEMAGREF permettent de dégager très nettement cette tendance.

Mais soyons prudents, car il suffirait d'une sécheresse catastrophique telle que celle qui a affecté la moitié ouest de la France en 1976 pour relancer l'intérêt de nombreux décideurs pour les barrages. Malheureusement les hydrologues m'ont paru sur ce point aussi muets que mon marc de café.

## En guise de conclusion :

Les barrages de taille moyenne ont parfois constitué des bancs d'essais pour des techniques, des matériaux ou des conceptions qui ont été ensuite adaptés sur de grands ouvrages, ceci confirme leur intérêt mais ne saurait les justifier. C'est en fonction des besoins de la collectivité qu'il faut raisonner. De nombreux indices permettent de penser que le rythme de réalisation de bar-



Le barrage de Montbel (Ariège) compactage le long de la galerie sous remblais.

# NETTOIEMENT URBAIN

## balayeuses-ramasseuses hydro-mécaniques

- Économie d'exploitation (un seul moteur)
- Fiabilité
- Efficacité
- Silence en fonctionnement
- Maniabilité (3 roues)



**Le Matériel de Voirie**

Premier constructeur français de matériel de nettoyage

43, rue Michel Carré  
95101 ARGENTEUIL CEDEX  
Téléphone : (3) 961 83 55  
Télex. 695077



# Barrages et développement en zone sahélienne

## Exemple de l'aménagement du fleuve Sénégal

par M. KERN  
CEMAGREF

Division Hydraulique Générale

Nous ne pouvons pas ignorer les difficultés de survie que rencontrent ces dernières années les populations des zones sahéliennes. Notre réflexe de développeur est de proposer des aménagements, qui, dans la mesure du possible, corrigent l'irrégularité des ressources hydriques, principale cause de cette catastrophe.

Nous ne pouvons pas plus ignorer les critiques qui ont été faites à l'occasion de certains aménagements hydrauliques africains, plus particulièrement le barrage d'Assouan.

Dans les pays en voie de développement, peu industrialisés, l'impact sur l'économie, la sociologie, les mœurs, la santé, de la réalisation d'un barrage, même petit, est nettement plus important que celui d'un ouvrage semblable en pays riches. En général, le premier objectif de ces ouvrages est la satisfaction des besoins de l'agriculture nécessaire à l'autosuffisance alimentaire. Ils ne dégagent donc que difficilement des produits financiers et s'ils permettent la survie des populations, leur justification économique, au sens des calculs économiques des pays développés, est difficile.

### Nécessité d'améliorer les ressources en eau.

Le climat de zone sahélienne est caractérisé par une période de pluies assez importantes, d'une durée de l'ordre de 3 mois. L'économie de subsistance qu'il a permis

de développer est basée sur la culture de décrue (exploitation agricole des zones inondées pendant une durée suffisante) et la culture sous pluie. L'élevage suit aussi ces évolutions hydriques annuelles tout comme les transports par voie fluviale et la pêche. Les productions ainsi disponibles sont limitées et très aléatoires. Ces 12 dernières années, cette situation a été aggravée par une réduction sensible de l'hydraulicité (en 12 ans le volume de la crue du fleuve Sénégal n'a atteint que deux fois le volume de la "crue décennale sèche" estimée sur les cinquante années précédentes).

Cette situation peu favorable est rendue catastrophique par une augmentation de la population comprise entre 2 et 3 % par an selon les pays au cours des dernières décennies.

Le seul espoir de satisfaction des besoins vivriers est la correction de l'hydraulicité par des aménagements petits ou grands qui permettent, soit de développer les surfaces exploitées par les cultures traditionnelles, soit de modifier le type de culture, ce qui augmente les rendements (passages de 5 quintaux/ha/an en culture traditionnelle à 80 ou 100 quintaux/ha/an en double culture irriguée).

A moyen terme, si l'évolution démographique n'est pas bouleversée seule la deuxième solution permettra de satisfaire les besoins. Cet objectif implique la constitution de réserves, donc la réalisation de barrages, et d'autres ouvrages, pour assurer une redistribution des ressources en eau dans le temps et dans l'espace.

### Historique des barrages en Afrique Sahélienne

Lorsque cela leur était nécessaire, les civilisations anciennes ont assuré une certaine maîtrise de l'eau en Afrique, comme dans le reste du monde. C'est ainsi que l'histoire attribue l'un des plus grands projets de l'antiquité, comportant la construction de barrages, à la première dynastie égyptienne, fondée par Ménès il y a environ cinq millénaires.

A des époques plus proches de la nôtre, on peut constater que dans des pays comme la Mauritanie, des petits barrages ont été construits par des villages pour développer la culture de décrue sur les surfaces submergées par le plan d'eau lors de la saison des pluies. De même, en Casamance dans le Sud du Sénégal, de petits ouvrages ont été réalisés pour y développer la culture du riz. Ces réalisations indigènes sont la marque d'une évolution des techniques culturelles vers une maîtrise de l'eau.

S'agissant de techniques importées on peut citer le barrage seuil de Markala au Mali élément principal de l'Office du Niger, dont la construction a commencé en 1938 et s'est terminée en 1947. Sur cet ouvrage, il est intéressant de remarquer que son entretien est assuré d'une manière plus satisfaisante que sur d'autres aménagements du même type. Il a été accepté par la population qui le considère comme un bien





collectif, au même titre qu'une Mosquée. Cette situation favorable est probablement due au nombre élevé de Maliens y ayant travaillé et à la durée du chantier.

Plusieurs centaines de petits barrages ont été réalisés au Burkinafaso (ex Haute-Volta) depuis une trentaine d'années. Des techniques spécifiques concernant le dessin et la conduite du chantier y ont été développées pour s'adapter aux conditions locales particulières (absence d'eau pendant le chantier, conditions hydrologiques mal connues, utilisation de la latérite...).

Citons enfin la réalisation de petites digues en pierre dans les falaises du pays Dogon pour le développement de la culture de l'oignon dont le commerce est assez lucratif.

## Exemple de l'aménagement du fleuve Sénégal.

De longue date le Sénégal, comme le Niger, était étudié pour développer dans son bassin une agriculture basée sur une maîtrise plus ou moins totale de l'eau. Par trois Sociétés (Saed, Sonader, OVSTM) trois Etats riverains du fleuve : Sénégal, Mauritanie et Mali ont déjà développé une agriculture de ce type avec les ressources en eau actuellement disponibles. Seule une régulation des débits par des aménagements importants permet de réaliser une double culture qui rentabilisera l'investissement fait sur les périmètres agricoles (de l'ordre de 50 000 F/ha).

Pour ce faire les trois Etats concernés se sont regroupés dans un organisme international, l'OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal) qui les représente tant auprès de sources de financement que des bureaux d'études et entreprises. Cet organisme et les sources de financement au nombre de 15 (Européennes, Arabes, Africaines, Internationales) ont réussi à se mettre d'accord sur un programme de travaux adapté à un programme de financement pour un aménagement dont le coût est estimé à 3 milliards de francs. Il comprend :

Le barrage de Manantali (béton poids évidé, et digues en terre) sur le Bafing\* au Mali. Sa capacité de 13 milliards de m<sup>3</sup>\*\* permettra de garantir un débit minimum de 300 m<sup>3</sup>/s à Bakel où le Sénégal entre dans la vallée. Ces lachures permettront aussi de produire 800 Gwh d'énergie hydro-électrique lorsque l'usine sera construite (actuellement non financée) et la navigation sur le fleuve après quelques corrections de son lit.

\* Le Bafing représente la moitié des apports du fleuve.

\*\* Rappelons que la plus grande réserve d'eau artificielle de France est celle de Serre-Ponçon et est de l'ordre de 3 milliards de m<sup>3</sup>.



Vue générale du chantier au printemps 84. Au premier plan le sas de l'écluse ; au fond

Le barrage antisel de Diama (ouvrage en rivière de contrôle des niveaux) situé à 40 km en amont de l'embouchure qui, en évitant la remontée de la langue salée (remontée sur 300 km en l'état actuel), permettra l'utilisation des 300 m<sup>3</sup>/s pour l'agriculture et l'alimentation en eau des villes sur, pratiquement, toute la longueur du fleuve.

Que cet accord ait pu voir le jour est déjà un succès qui mérite l'admiration car rappelons que :

— il concerne trois Etats pour lesquels les retombées économiques et les nuisances ne seront pas de même nature et difficilement comparables,

— 15 sources de financement sont concernées,

— l'investissement représente la moitié d'un budget annuel de l'ensemble des trois Etats,

— les objectifs sont triples et ils ne concernent pas de la même manière les 3 Etats : Irrigation pour la Mauritanie et le Sénégal, navigation pour le Mali et la Mauritanie, énergie pour le Sénégal et le Mali,

— l'effet négatif est important pour le Mali sans retombée à court terme (un millier de km<sup>2</sup> noyé et 15 000 personnes déplacées),

— les sources de financement ont surtout été mobilisées pour le développement agri-

cole, qui, pour atteindre l'objectif de 375 000 ha aménagés, nécessitera un investissement supplémentaire six fois plus élevé que celui des barrages.

## Les difficultés et les effets négatifs.

Les impacts négatifs du barrage d'Assouan sont présents dans tous les esprits et, bien que ce projet ne soit pas comparable à celui du fleuve Sénégal, toutes les implications d'un tel aménagement doivent être étudiées. Ce souci a d'ailleurs toujours été présent dans l'esprit des responsables de l'OMVS.

Le bassin du fleuve est actuellement en équilibre écologique même si celui-ci correspond à des flux biologiques, hydriques, économiques ... faibles et une économie catastrophique. Dans ce milieu, les barrages, et particulièrement celui de Manantali, vont apporter une perturbation de grande ampleur. Citons quelques-uns de ces effets :

— une régulation du fleuve à un débit de 300 m<sup>3</sup>/s à Bakel induit une réduction telle de la crue moyenne que les cultures de



anie.

décruës sont supprimées. Elles concernent en année moyenne 80 000 ha. L'OMVS a prévu de maintenir une crue artificielle telle que 80 000 ha puissent être exploités pendant un certain nombre d'années. Cette disposition induit une réduction du productible hydroélectrique de 800 Gwh à 400 Gwh.

Si, après construction de l'usine, celle-ci est reliée à un gros consommateur comme la ville de Dakar (ce qui est économiquement rentable) il y aura concurrence entre une activité qui facilite le remboursement (l'énergie sera vendue) et le maintien d'une culture n'apportant pas de ressources directes.

— La création de plans d'eau, lacs, rizières et canaux, facilitera le développement des escargots vecteurs de la bilharziose. Avec la régularisation des débits, l'onchocécrose (cécité des rivières) pourrait devenir le véritable danger pour les populations. Une extension des habitats favorables aux moustiques, vecteurs du paludisme se fera. De vastes programmes sont prévus en matière de soins préventifs et curatifs, et d'éducation sanitaire. Bien que d'un coût faible par rapport aux aménagements, ils trouvent, en général, plus difficilement le financement et le personnel requis pour leur mise en œuvre.

— Les chantiers permettent à plusieurs milliers de personnes de disposer de revenus mensuels supérieurs aux revenus annuels des paysans. L'expérience acquise par ces

ouvriers ou cadres sera-t-elle acquise pour les sociétés de développement agricole moyennant des rémunérations moindres, ou y aura-t-il contagions de salaires élevés (pour l'économie locale) incompatibles avec l'équilibre financier de ces sociétés ?

— La modification des traditions agricoles ne se fait pas plus rapidement en Afrique qu'ailleurs et le passage d'un type de mise en valeur à un autre induit des bouleversements aussi bien de la tradition que des structures sociales. L'expérience a montré que les projets réussis ont été ceux adaptés à l'organisation sociale existante. Malheureusement il ne peut en être ainsi que pour une surface réduite et elle ne permet que difficilement la commercialisation d'une production.

En zone sahélienne, l'autosuffisance alimentaire passe par le contrôle des ressources en eau de surface, donc par la réalisation de petits et de grands barrages. Seuls ces derniers sont à la taille des problèmes connus et prévisibles pour l'an 2000, en raison principalement de l'évolution démographique. Il ne faut pas se cacher que ces aménagements modifient dans de grandes proportions des équilibres écologiques, économiques et sociologiques fragiles. Il est indispensable d'en tenir compte et de les prévoir dans la mesure du possible si l'on veut qu'ils soient acceptés par tous et conduisent à de nouveaux équilibres plus bénéfiques aux populations locales et aux économies des pays.

## MARNE-LA-VALLÉE : CARREFOUR DE L'EUROPE

### MARNE-LA-VALLÉE : Carrefour de l'Europe

450 entreprises y respirent déjà

C'est bien à Marne-la-Vallée que se réalise le mieux le fameux paradoxe d'Alphonse Allais : "LA VILLE A LA CAMPAGNE".

En effet, le site de la vallée de la Marne où elle prend place offre un ensemble de parcs, bois et plans d'eau unique en région parisienne, dont l'importance et la qualité justifient une fréquentation dépassant largement le cadre local.

Depuis le printemps dernier la base de loisirs de Torcy, équipée d'un plan d'eau de 25 ha et dans un proche avenir d'un second plan d'eau de 80 ha, accueille des centaines de visiteurs chaque week-end.

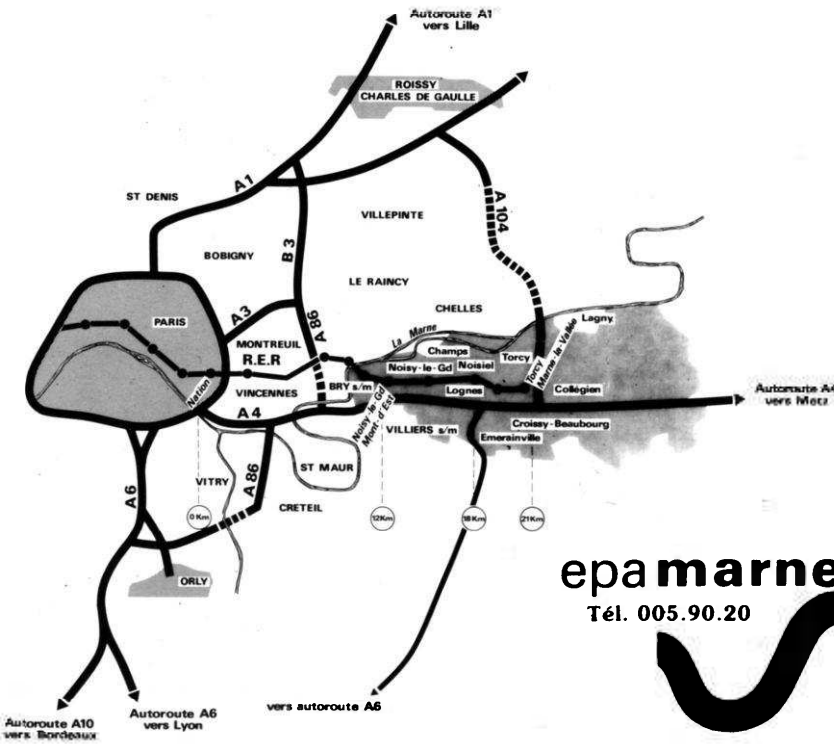
Mais ce n'est pas un hasard si d'ores et déjà Marne-la-Vallée se présente également comme une plaque tournante de la vie industrielle et des affaires.

L'implantation d'entreprises telles que Danzas, Bull, Service S.A., IBM, Control Data, Honda France, Yamaha ou Kodak le prouve.

Marne-la-Vallée, déjà toute proche de Paris, grâce à ses cinq gares RER et l'autoroute A 4, se présente ainsi comme le prolongement verdoyant de la métropole.

Dans deux ans, les tous derniers tronçons de l'autoroute A 86 seront mis en service et relieront Marne-la-Vallée aux aéroports de Roissy et d'Orly, apportant à la ville nouvelle les meilleures conditions d'accès et confirmant sa vocation de carrefour international. Egalement, bientôt la voie rapide, souvent appelée l'autoroute des villes nouvelles, déjà bien avancée, permettra d'accéder de l'autoroute A 4 - Metz, Strasbourg, Francfort - à l'autoroute A 1 - Lille, Bruxelles -, à l'autoroute A 6 - Lyon, Marseille - et à l'autoroute A 10 - Bordeaux, Nantes -, sans passer par Paris.

Ainsi Marne-la-Vallée se trouvera au confluent des liaisons autoroutières Europe du Nord, Europe de l'Est, Europe du Sud.



5, boulevard Pierre-Carle à NOISIEL - 77426 MARNE-LA-VALLÉE - Cedex 12 - Tél. : 005.90.20



# ENPC Formation continue

## les barrages en terre

mardi 4 au vendredi 7 juin 1985

paris

Cette session est consacrée à l'étude des différentes phases de conception, de construction et de suivi des barrages en remblais, essentiellement des barrages en terre. Dans un premier temps, on insistera au-delà des méthodes de calcul d'un ouvrage sur l'aspect qualitatif de sa conception et notamment sur l'ensemble des raisonnements conduisant aux choix du concepteur. Dans un second temps, la visite du barrage de l'Aube permettra d'aborder les problèmes liés à l'exécution de l'ouvrage à la fois dans ses dimensions techniques et économiques et d'évoquer les aspects pathologiques.

**Cette session s'adresse aux ingénieurs ayant de bonnes connaissances en génie civil, en particulier en mécanique des sols et devant s'intéresser aux barrages en terre : contrôle, conduite d'opération, maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre ou construction.**

### RESPONSABLES

M. Daniel LOUDIERE  
*Ingénieur en chef  
du GREF  
CEMAGREF*

M. Georges POST  
*Directeur technique  
Coyne et Bellier*

### CONFÉRENCIERS

M. ANTOINE  
*Professeur de géologie  
Université scientifique  
et médicale de Grenoble*

M. BLONDEAU  
*Socotec*

M. BONASSI  
*Coyne et Bellier*

M. CADOT  
*Directeur technique  
Entreprise Razel Frères*

M. DUNGLAS  
*Directeur scientifique  
CEMAGREF*

M. DUPAS  
*Directeur général  
Mecasol*

M. JOSSEAUME  
*LCPC*

M. POCHAT  
*CEMAGREF*

### mardi 4 juin

9 h 30 Introduction — Aspects administratifs et législatifs  
10 h 45 Géologie et hydrogéologie  
14 h 00 Hydraulique interne  
16 h 00 Conception des barrages

M. LOUDIERE  
M. ANTOINE  
M. JOSSEAUME  
M. BONASSI

### mercredi 5 juin

9 h 00 Les ouvrages annexes  
11 h 00 L'auscultation  
14 h 00 Calculs de stabilité et de tassement  
16 h 00 Application pratique

MM. DUNGLAS  
POCHAT  
M. LOUDIERE  
M. DUPAS  
MM. JOSSEAUME  
LOUDIERE

### jeudi 6 juin

Visite de barrages en cours de construction et terminés

### vendredi 7 juin

9 h 00 Moyens et méthodes d'exécution — Les coûts  
11 h 00 Contrôle des remblais  
14 h 00 Assurance et contrôle technique  
15 h 00 Pathologie des barrages

M. CADOT  
M. POST  
M. BLONDEAU  
MM. LOUDIERE  
POST  
MM. LOUDIERE  
POST

mensuel

28, rue des Saints-Pères  
Paris-7<sup>e</sup>

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

M. BELMAIN  
Président de l'Association

### ADMINISTRATEUR DELEGUE :

Olivier HALPERN  
Ingénieur des Ponts et Chaussées

### REDACTEURS EN CHEF :

Anne BERNARD GELY  
Jacques GOUNON  
Ingénieurs des Ponts et Chaussées

### SECRETAIRE GENERALE DE REDACTION :

Brigitte LEFEBVRE du PREY

### ASSISTANTE DE REDACTION :

Eliane de DROUAS

### REDACTION - PROMOTION ADMINISTRATION :

28, rue des Saints-Pères  
Paris-7<sup>e</sup> - 260.25.33

**Bulletin de l'Association des Ingénieurs  
des Ponts et Chaussées, avec la collaboration  
de l'Association des Anciens Elèves  
de l'École des Ponts et Chaussées.**

### ABONNEMENTS :

— France : 265 F (TTC)  
— Etranger 265 F (frais de port en sus)  
Prix du numéro : 27 F  
dont T.V.A. : 4 %

### PUBLICITE :

Responsable de la publicité :  
H. BRAMI  
Société OFERSOP :  
8, Bd Montmartre  
75009 Paris  
Tél. 824.93.39

### MAQUETTE : Monique CARALLI

### COUVERTURE :

Photo BRIGAUD SODEL.  
*Barrage de Sainte-Croix-du-Verdon.*

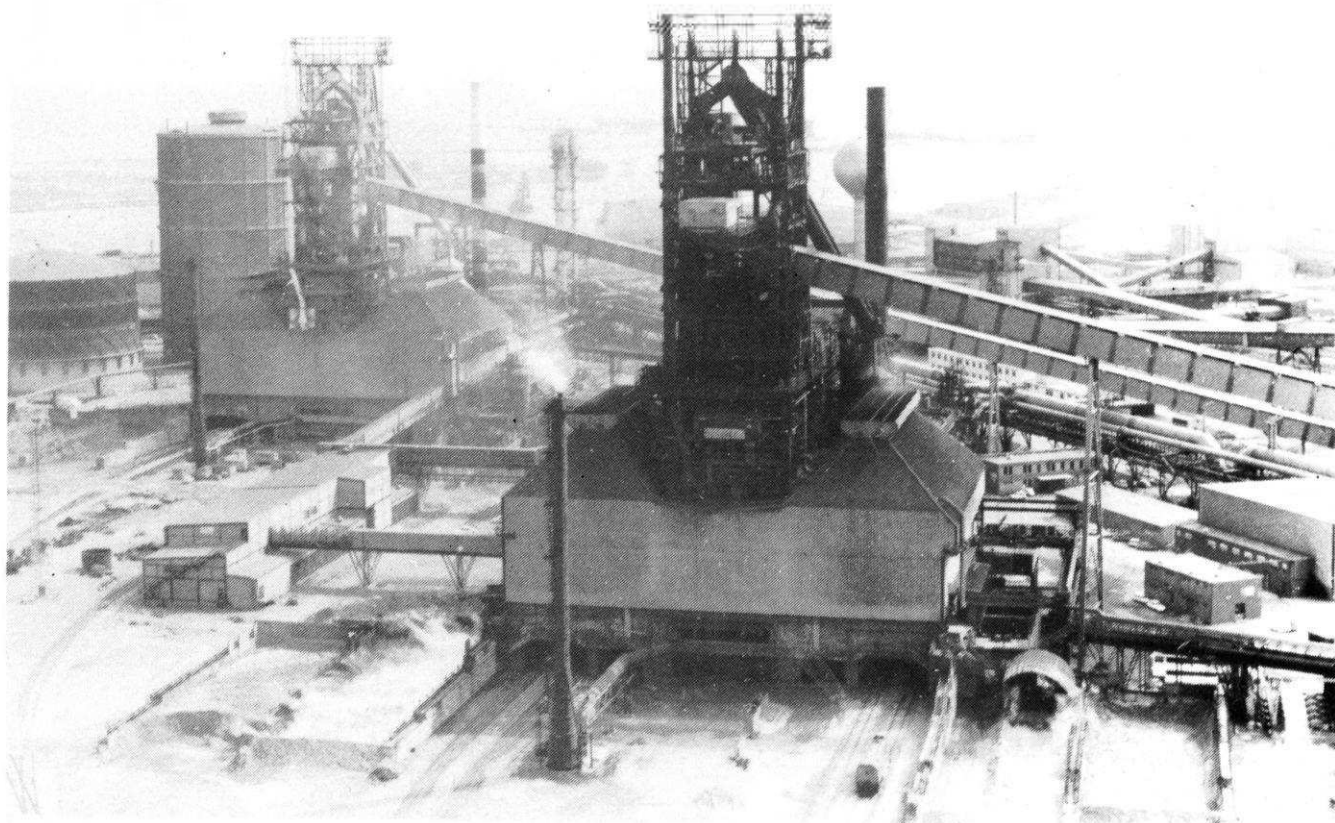
Dépôt légal 1<sup>er</sup> trimestre 1985  
N° 850101  
Commission Paritaire N° 55.306.

L'Association des Ingénieurs des Ponts et  
Chaussées n'est pas responsable des opinions  
émises dans les conférences qu'elle organise  
ou dans les articles qu'elle publie.

IMPRIMERIE MODERNE  
U.S.H.A.  
Aurillac

# SOLMER

à FOS-SUR-MER



**LAITIER BOULETÉ ou LAITIER BOULETÉ PRÉBROYÉ**

*pour la fabrication de grave-laitier  
agrégat léger et isolant*

**GRAVE-LAITIER TOUT LAITIER PRÊTE A L'EMPLOI**

UTILISATION : ROUTE - TERRAIN DE SPORTS .....

CIMENTERIE : POUR CIMENTS CPJ - CHF - CLK :

FOURNITURE ACTUELLE POUR LA REALISATION DES BARRAGES

DE D I A M A (SENEGAL) ET M A N A N T A L I (MALI).

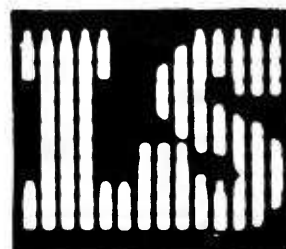
**SCORIES D'ACIERIE L.D.**

UTILISATION : ROUTE - CIMENTERIE - AGRICULTURE

**LIVRAISON**

- par trains complets et en régularité
- par voie d'eau (peniches et bateaux)
- par camion

TOUTES QUANTITES

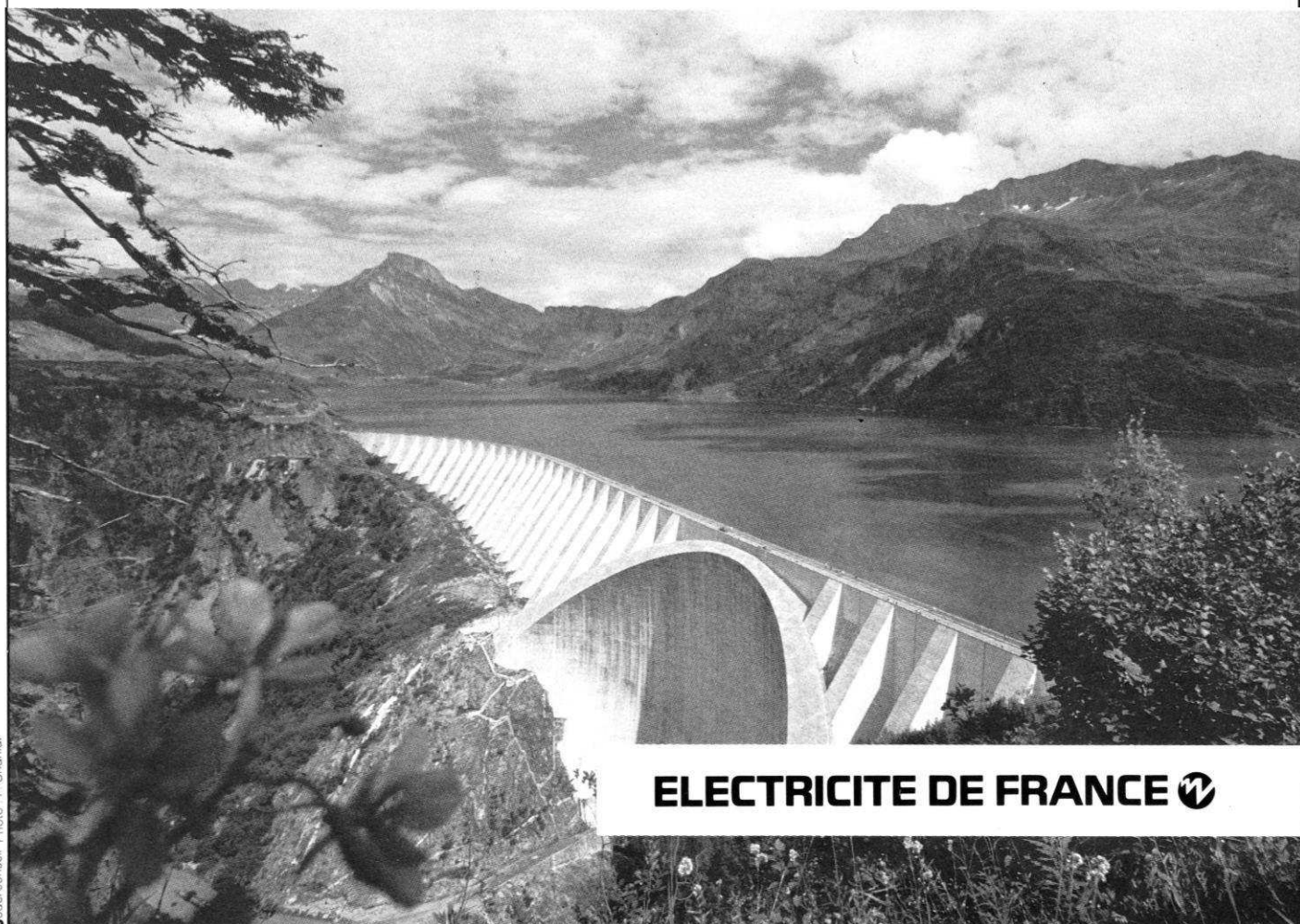


**LAITIER  
SOLMER  
42 47.35.94**



# LES SOMMETS DE L'HYDRAULIQUE

*Les réserves d'eau de nos barrages permettent d'ajuster instantanément la production à la demande d'électricité. Dans leur souci permanent d'améliorer l'intégration des ouvrages hydrauliques dans l'environnement, ingénieurs et architectes sont souvent parvenus à de grandes réussites esthétiques.*



**ELECTRICITE DE FRANCE** 

*Barrage de Roselend, en Savoie.*