

## CONJUGAISON DES RÉSERVOIRS SAISONNIERS

PAR S. FERRY \*  
ET J. VALLÉE \*\*

Le problème que nous nous proposons de traiter ici ne concerne pas la politique générale d'utilisation de la réserve saisonnière; en d'autres termes, nous ne cherchons pas comment déterminer à chaque instant la réserve énergétique globale optimale.

Nous considérons que cette dernière est une donnée et notre but est de la répartir au mieux entre les différents réservoirs, pendant la saison des déstockages.

De cette répartition dépendent en effet les hauteurs de chute, les rendements et les risques de déversement qui déterminent la valeur en énergie des retenues.

La valeur en énergie que nous avons à considérer est celle du moment, en ce sens qu'elle dépend uniquement de l'instant auquel on se place et de la situation de chaque réservoir au même instant; mais c'est aussi une « espérance mathématique », car ce sont les valeurs moyennes de certains paramètres que nous devons prendre en compte et non pas leur valeur réelle du moment.

Il s'agit en premier lieu des apports journaliers dans les réservoirs. Leurs variations peuvent être rapides et non prévisibles suffisamment à l'avance; l'optimum calculé avec les apports réels du moment serait donc profondément modifié en peu de temps sans qu'il soit possible de réaliser le changement de répartition correspondant. Il n'en est pas de même

si l'on utilise la valeur moyenne des apports à l'époque considérée.

En second lieu, nous utiliserons un rendement moyen journalier, fonction uniquement de la hauteur de chute.

Enfin les pertes par déversement constituent un risque caractéristique de l'époque et de l'état du réservoir, qui ne peut s'exprimer qu'en « espérance mathématique ». Il convient de préciser ici que, pour calculer cette dernière on doit considérer la probabilité des crues qui peuvent prendre naissance au cours de l'unité de temps adoptée, et déterminer les pertes d'énergie qui s'ensuivront éventuellement si le réservoir se remplit avant que ne s'opère le retour à la conjugaison.

Cela nécessite d'adopter certaines hypothèses sur les modalités particulières d'exploitation du réservoir au cours de chaque crue.

Il ressort de ces considérations, que si nous parlons d'espérance mathématique de la valeur en énergie des apports, il s'agit d'une moyenne correspondant à des aléas du moment et non pas à ceux d'un avenir plus ou moins lointain.

Notre but est alors de maximiser à tout instant la valeur totale en énergie, des apports dans les réservoirs à conjuguer. Ce sera bien la conduite optimale, si la réalisation de l'optimum du moment n'entraîne pas l'impossibilité de le réaliser ultérieurement et c'est dans cette hypothèse que nous nous plaçons, quitte à vérifier sa légitimité.

On notera que dans cette même hypothèse, il n'y a pas lieu de tenir compte des variations de valeur

\* Anciennement Ingénieur en Chef au Service de la Production hydraulique d'Electricité de France.

\*\* Adjoint au Chef à la Division Exploitation, Service de la Production hydraulique.

économique de l'énergie en fonction de l'époque puisqu'il s'agit de réaliser une suite de valeurs en énergie optimales, sans influence les unes sur les autres.

**1. — Usines de lac n'influençant pas d'autres lacs (réservoirs isolés)**

**1. Principe de la méthode.**

Appelons E l'espérance mathématique de la valeur en énergie des apports journaliers à un réservoir lorsqu'il présente un creux volumétrique V à une époque donnée; nous désignons par C la quantité d'énergie qui peut être stockée dans le creux V.

E est une fonction de V (donc de C) et de l'époque. La dérivée  $dE/dC = \varphi_t(C)$  représente le gain énergétique journalier (positif ou négatif) produit par un accroissement d'une unité du creux énergétique C, à l'époque t.

Ce gain sera souvent positif pour  $C = 0$ , c'est-à-dire à réservoir plein, en raison des risques de déversements importants; il deviendra négatif pour un creux suffisant, car les pertes de chute et de rendement correspondant à un accroissement de C l'emportent alors sur la réduction corrélative des énergies déversées.

La répartition optimale d'un creux énergétique total donné entre un certain nombre de réservoirs conduit à rechercher l'égalité des valeurs de  $\varphi_t = dE/dC$  afférentes à chacun des réservoirs.

S'il en est ainsi, en effet, tout transfert marginal d'énergie entre deux réservoirs se traduit par un gain de la valeur en énergie des apports dans l'un, exactement compensé par la perte dans l'autre. Si, par contre, les  $\varphi$  ne sont pas égaux, un gain pourra être réalisé en accroissant le creux du réservoir pour lequel  $\varphi$  est le plus grand et en réduisant d'autant celui du réservoir dont le  $\varphi$  est le plus petit (en valeur algébrique). En d'autres termes, il faudrait alors déstocker par priorité dans l'ordre des  $\varphi$  décroissants et stocker par priorité dans l'ordre inverse.

Le problème de la conjugaison entre réservoirs se ramène donc théoriquement au calcul, pour chaque réservoir, de la fonction  $\varphi_t(C) = dE/dC$ .

Si les réservoirs n'appartiennent pas à la même région, il y a lieu d'affecter  $\varphi_t$  d'un coefficient correcteur tenant compte des différences des pertes moyennes de transport, à l'époque t.

**2. Calcul de E et  $dE/dC$  d'un réservoir.**

Appelons :

- $\bar{A}$  le volume moyen probable des apports journaliers à l'époque t au réservoir considéré;
- $k_0$  le coefficient énergétique de valorisation des apports dans l'usine de lac sous la chute correspondant au creux volumétrique V (ou énergétique C);  $k_0$  est donc une fonction de V (ou C);
- $k_i$  le coefficient énergétique moyen de valorisation des apports dans une usine influencée d'indice i;

$$K = \sum_0^n k_i$$

$\bar{D}_0$  le volume moyen probable des apports perdus par déversements à l'usine de lac, par suite de crue survenant à l'époque t au cours d'un intervalle de temps unité (soit la journée);

$\bar{D}_i$  le volume moyen probable déversé à l'usine i sur les apports  $\bar{A}$  par suite de crue survenant à l'époque t au cours d'un intervalle de temps unité.

Les volumes déversés sont évidemment des fonctions de V (donc de C).

L'expression de E s'écrira :

$$E = K\bar{A} - \sum_0^n k_i \bar{D}_i = k_0(\bar{A} - \bar{D}_0) + \sum_1^n k_i(\bar{A} - \bar{D}_i) \quad (1)$$

d'où l'on déduit  $dE/dC$  :

$$\varphi_t(C) = \frac{dE}{dC} = (\bar{A} - \bar{D}_0) \frac{dk_0}{dC} - \frac{k_0 d\bar{D}_0}{dC} - \sum_1^n k_i \frac{d\bar{D}_i}{dC} \quad (2 a)$$

Soit, puisque  $dC = KdV$  :

$$\varphi_t(C) = \frac{dE}{dC} = \frac{\bar{A} - \bar{D}_0}{K} \frac{dk_0}{dV} - \sum_0^n \frac{k_i}{K} \frac{d\bar{D}_i}{dV} \quad (2 b)$$

*Remarque :*

Il peut être intéressant d'écrire le premier terme du deuxième membre de (2 b) sous une autre forme :

En désignant par :

- h la chute brute de l'usine de lac correspondant au creux V dans le réservoir;
- $\eta$  le rendement global de l'usine de lac sous cette chute;
- S la surface de retenue correspondante.

On peut écrire :

$$dV = Sdh \quad \text{et} \quad \frac{dk_0}{k_0} = \frac{dh}{h} + \frac{d\eta}{\eta}$$

et en posant :

$$x = d\eta/\eta : dh/h$$

il vient :

$$\frac{dE}{dC} = -(\bar{A} - \bar{D}_0) \frac{k_0}{K} \frac{1+x}{Sh} - \sum_0^n \frac{k_i}{K} \frac{d\bar{D}_i}{dV} \quad (2 c)$$

L'expression précédente montre que si la variation relative du rendement est faible vis-à-vis de la variation relative de chute qui la provoque, x peut être négligé en regard de l'unité; c'est ce qui se produit au voisinage de la chute optimale de tracé des turbines de l'usine de lac.

Par contre, pour des chutes très inférieures à cette dernière, x ne peut être négligé et peut même être voisin de l'unité.

Rappelons également les expressions de  $V$  et  $C$  en fonction de  $h$ ,  $S(h)$  et  $k_0(h)$  :

$$V(h) = \int_h^{h_M} S(h) dh$$

$$C(h) = \int_h^{h_M} k_0(h) S(h) dh$$

$h_M$  étant la chute brute à réservoir plein.

### 3. Détermination de $dk_0/dC$ .

Ce terme peut être calculé connaissant la courbe de capacité de la retenue et les rendements du matériel en fonction de la hauteur de chute.

### 4. Calcul des déversements et de leurs dérivées par rapport à $V$ à chaque époque.

Ce point est plus délicat car il implique des hypothèses sur les réactions de l'exploitant en présence d'une crue, ainsi que sur la valeur relative de l'énergie susceptible d'être produite en heures creuses.

Le déversement  $D_i$  dans une usine est la moyenne des déversements résultant des crues susceptibles de débiter à l'époque considérée dans l'intervalle de durée unité, compte tenu des modalités d'exploitation au cours de la crue. Par « crue », on entend la série des débits journaliers successifs supérieurs à une certaine valeur, pour laquelle les apports ne peuvent être intégralement évacués de façon utile par les turbines.

Dans toutes les applications traitées ci-après, les déversements moyens ont été déterminés pour différentes valeurs de  $V$ , par calcul du volume déversé correspondant à chacune des crues d'une période prise comme référence, c'est-à-dire sur le plus grand nombre d'années où les données étaient disponibles, et en se donnant une règle définie d'exploitation à partir du début de la crue.

Le calcul des dérivés des déversements peut s'opérer de deux façons :

- soit globalement pour l'ensemble des crues à partir de la courbe  $\bar{D}_i(V)$ ;
- soit en prenant la moyenne des dérivées calculées pour chaque crue. Lorsqu'il y a déversement au cours d'une crue, les  $dD_i/dV$  sont compris entre 0 et  $-1$  selon la règle de turbinage adoptée et l'importance des apports effectifs aux usines aval par rapport à leurs débits maximaux turbinables; s'il n'y a pas de déversement, tous les  $dD_i/dV$  sont nuls.

## 2. — Conjugaison de réservoirs en série

### 1. Deux complications s'introduisent lorsqu'on a affaire à des réservoirs en série disposant chacune d'une usine pied de barrage :

D'une part, le coefficient énergétique total  $K$  d'un réservoir influençant n'est plus seulement fonction du niveau dans ce réservoir, mais aussi du niveau

dans le ou les réservoirs aval. Toutefois, dans la pratique, on peut souvent obtenir une bonne approximation en utilisant des coefficients énergétiques moyens pour les ouvrages influencés.

D'autre part, les déversements d'un réservoir influencé dépendent de l'état du ou des réservoirs amont et de la politique d'exploitation adoptée pour ces réservoirs au cours d'une crue. Il est donc nécessaire d'effectuer pour chaque crue le calcul du déversement pour de nombreuses combinaisons des creux des réservoirs en série. Les hypothèses d'exploitation, au cours d'une crue, doivent tenir compte des interactions des réservoirs, en égard aux caractéristiques des bassins versants intermédiaires et des équipements des usines.

Chaque cas particulier doit donc faire l'objet d'une adaptation appropriée et nous donnons, ci-après, les principes généraux applicables en toute hypothèse.

### 2. Relations de base.

Nous établirons les relations de base dans le cas pratiquement le plus complexe de trois usines de lacs en série, avec des usines influencées intermédiaires, au fil de l'eau ou d'éclusée.

Nous adoptons les notations suivantes :

$\bar{A}', \bar{A}'', \bar{A}'''$  : sont les apports totaux probables (naturels) à chaque lac, pendant l'unité de temps (soit la journée, pour fixer les idées) à l'époque  $t$ ;

$k_0', k_0'', k_0'''$  : sont les coefficients énergétiques des usines de lac, variables avec la chute;

$k_i', k_i'', k_i'''$  : les coefficients énergétiques fixes relatifs aux usines influencées entre le premier et le second lac, le second et le troisième, et à l'aval du troisième;

$\bar{D}_0', \bar{D}_i', \bar{D}_0'', \bar{D}_i'', \bar{D}_0''', \bar{D}_i'''$  : sont les volumes moyens probables perdus par déversement aux diverses usines, par suite des crues survenant au cours de l'unité de temps à l'époque  $t$ ;

$V', V'', V''', C', C'', C'''$  : sont les creux volumétriques et énergétiques.

L'espérance mathématique de la valeur en énergie des apports aux lacs est donnée par la relation :

$$E = \sum_0^n k_i' (\bar{A}' - \bar{D}_i') + \sum_0^n k_i'' (\bar{A}'' - \bar{D}_i'') + \sum_0^n k_i''' (\bar{A}''' - \bar{D}_i''')$$

les  $k_i$  étant des constantes pour  $i \neq 0$  et les  $k_0$  dépendant de l'état des réservoirs considérés, les  $n$  correspondent au nombre d'usines dans les différentes situations.

La conjugaison optimale est celle qui répond à la condition :

$$\frac{\partial E}{\partial C'} = \frac{\partial E}{\partial C''} = \frac{\partial E}{\partial C'''}$$

soit :

$$\frac{1}{K'} \frac{\partial E}{\partial V'} = \frac{1}{K''} \frac{\partial E}{\partial V''} = \frac{1}{K'''} \frac{\partial E}{\partial V'''}$$

avec :

$$K' = \sum_0^{n'} k_i' + \sum_0^{n''} k_i'' + \sum_0^{n'''} k_i'''$$

$$K'' = \sum_0^{n''} k_i'' + \sum_0^{n'''} k_i'''$$

$$K''' = \sum_0^{n'''} k_i'''$$

Les dérivées partielles peuvent s'écrire :

$$\frac{1}{K'} \frac{\partial E}{\partial V'} = \frac{\bar{A}' - \bar{D}_0'}{K'} \frac{\partial k_0'}{\partial V'} - \frac{1}{K'} \left[ \sum_0^{n'} \frac{\partial D_i'}{\partial V'} + \sum_0^{n''} \frac{\partial D_i''}{\partial V'} + \sum_0^{n'''} \frac{\partial D_i'''}{\partial V'} \right]$$

$$\frac{1}{K''} \frac{\partial E}{\partial V''} = \frac{\bar{A}'' - \bar{D}_0''}{K''} \frac{\partial k_0''}{\partial V''} - \frac{1}{K''} \left[ \sum_0^{n''} \frac{\partial \bar{D}_i''}{\partial V''} + \sum_0^{n'''} \frac{\partial \bar{D}_i'''}{\partial V''} \right]$$

$$\frac{1}{K'''} \frac{\partial E}{\partial V'''} = \frac{\bar{A}''' - \bar{D}_0'''}{K'''} \frac{\partial k_0'''}{\partial V'''} - \frac{1}{K'''} \sum_0^{n'''} \frac{\partial \bar{D}_i'''}{\partial V'''}$$

Pour chaque combinaison des  $V'$ ,  $V''$ ,  $V'''$  on peut calculer les  $K$ , les  $\partial k_0 / \partial V$  et les  $\partial \bar{D} / \partial V$ , donc les  $\partial E / \partial C$ .

Lorsque la conjugaison est réalisée entre les trois réservoirs en série, la valeur commune  $\varphi_t(C)$  à l'époque  $t$  de  $\partial E / \partial C'$ ,  $\partial E / \partial C''$  et  $\partial E / \partial C'''$  est égale à  $dE/dC$  avec  $C = C' + C'' + C'''$ , sauf en régime bloqué.

A chaque valeur de  $C$  correspond ainsi une valeur de  $dE/dC$  égale à  $\partial E / \partial C'$ ,  $\partial E / \partial C''$ ,  $\partial E / \partial C'''$ , d'où  $C'$ ,  $C''$  et  $C'''$  dont la somme est égale à  $C$ .

La répartition des variations de  $C$  entre les trois réservoirs est ainsi obtenue.

Ces trois réservoirs étant conjugués, peuvent alors être traités comme un réservoir unique et conjugués avec un autre réservoir, ou un autre groupe de réservoirs en série.

### 3. — Applications \*

#### 1. Conjugaison des réservoirs de Grandval et Sarrans.

a) C'est la première application des théories précédentes que nous avons effectuée.

Les deux réservoirs sont disposés en série sur la Truyère et leurs bassins versants respectifs sont de 1 928 et 2 462 km<sup>2</sup>.

L'ensemble des usines influencées prises en compte comprend : Lanau (située entre les deux

réservoirs) et à l'aval : Brommat, Couesque, Cambeyrac, Cajarc, Luzerch, Fumel, Temple.

L'espérance mathématique de la valeur en énergie  $E$  des apports a été calculée mois par mois, pour une série de valeurs des creux énergétiques  $C'$  et  $C''$  à Grandval et Sarrans. Pour les valeurs données  $C$  de la somme  $C' + C''$ , la conjugaison a été obtenue en recherchant les couples de valeurs ( $C'$ ,  $C''$ ) donnant à  $E$  la valeur la plus élevée.

Le calcul de la valeur en énergie des apports pour chaque creux énergétique, c'est-à-dire chaque niveau des retenues, tient compte d'une part des variations de hauteur de chute et du rendement des turbines avec celle-ci, d'autre part de l'espérance mathématique du volume des apports ainsi que des volumes d'eau déversés.

Le calcul des volumes déversés est établi par l'étude individuelle et systématique de toutes les crues relevées pendant la période de référence de 1917 à 1961, à l'aide des débits journaliers mesurés à Sarrans. Une étude hydrologique donne la corrélation entre les débits à Sarrans et à Grandval.

Deux hypothèses extrêmes ont été faites en ce qui concerne la prévision des crues : prévision parfaite et absence de prévision. Il convient de noter au passage que les calculs font ainsi apparaître les différences de valeur en énergie entre les deux hypothèses, c'est-à-dire le gain énergétique lié à la prévision des crues.

Dans les calculs, l'existence d'une prévision parfaite se traduit par l'adaptation des turbines aux débits effectifs de crue et la meilleure utilisation du creux à Grandval, pour réduire les déversements à Sarrans.

Il a été admis que les quantités d'eau transmises n'avaient de valeur que pendant 18 heures par jour.

Dans le cas de l'absence de prévision, le calcul des volumes déversés est réalisé en supposant que le débit turbiné à Grandval en période de crue est toujours le même. Toutefois, le débit fixe adopté est celui qui minimise l'espérance mathématique de l'énergie déversée au cours des crues pour l'ensemble des usines intéressées.

C'est le débit turbinable pendant 18 heures à Brommat, sous équipé, qui définit les périodes de crue.

#### b) Les résultats obtenus.

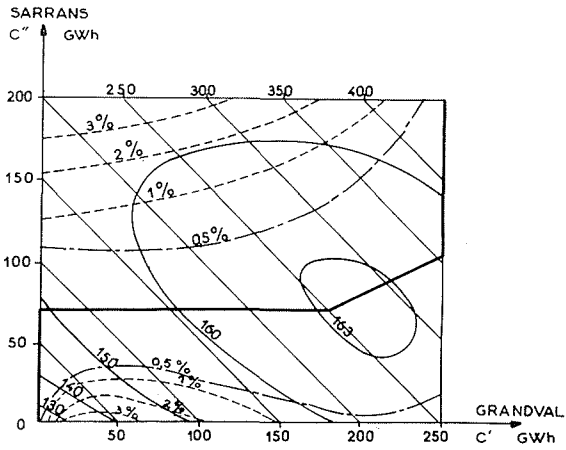
Les résultats sont présentés sous forme de graphiques mensuels qui figurent la conjugaison d'octobre à mai des deux réservoirs supposés libres (graphiques n° 1 à 4). Bien entendu, les contraintes qui peuvent leur être imposées, par exemple maintien d'un culot ou d'une réserve de puissance, seraient à introduire par ailleurs.

Les mois de décembre, janvier et février ont été traités ensemble en raison de l'homogénéité du régime de la Truyère au cours de ces mois, y compris sur le plan de la distribution des crues, mais les valeurs qui figurent sur les graphiques sont exprimées par mois.

Les graphiques comportent, outre les courbes de conjugaison, les courbes d'égales valeurs en énergie des apports ainsi que celles d'égal pourcentage de perte d'énergie par rapport à la valeur énergétique des apports du mois, lorsque l'on s'écarte de la conjugaison.

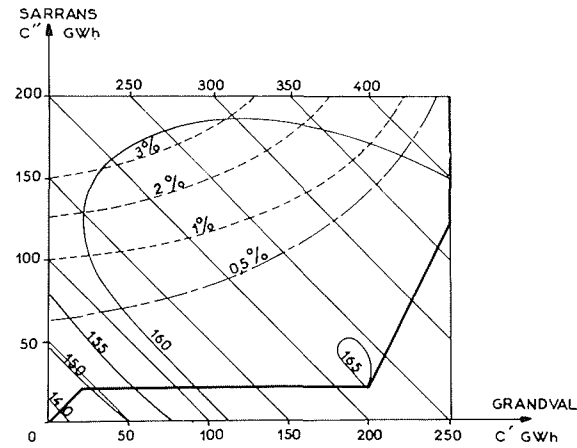
\* Les calculs ont été exécutés à l'aide de programmes qui ont permis d'utiliser tout d'abord la calculatrice électronique de l'Université de Grenoble, puis celle de la Division Technique Générale du Service de la Production hydraulique, dès que cette machine fut mise en service.

Décembre-  
janvier-  
février  
December-  
January-  
February



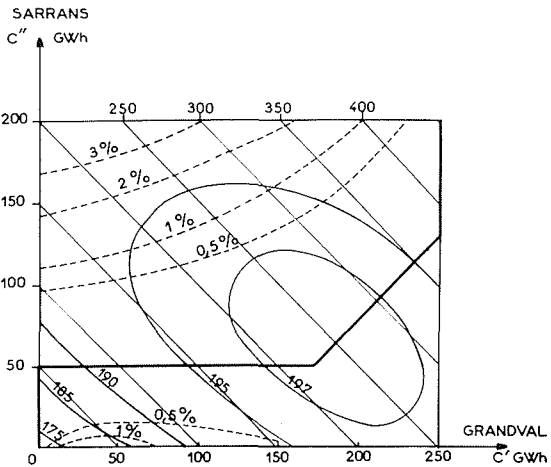
1/

PRÉVISION PARFAITE / IDEAL FORECAST

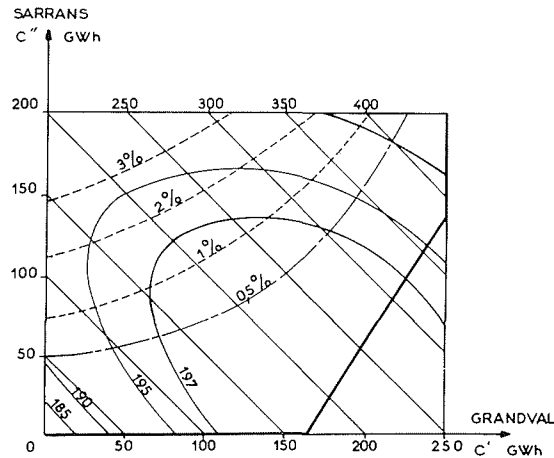


2/

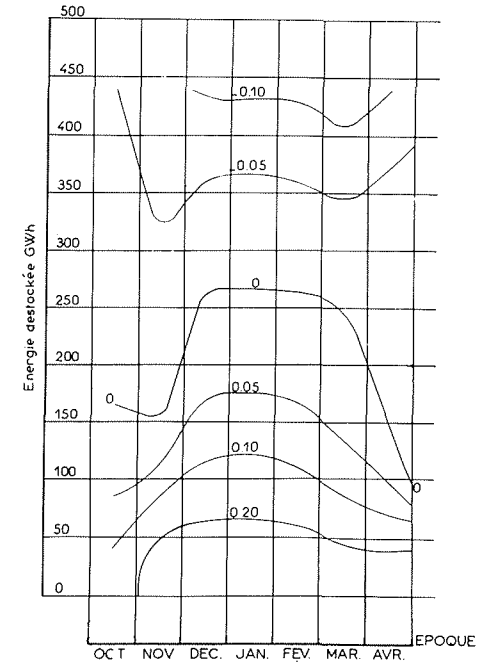
Mars  
March



3/

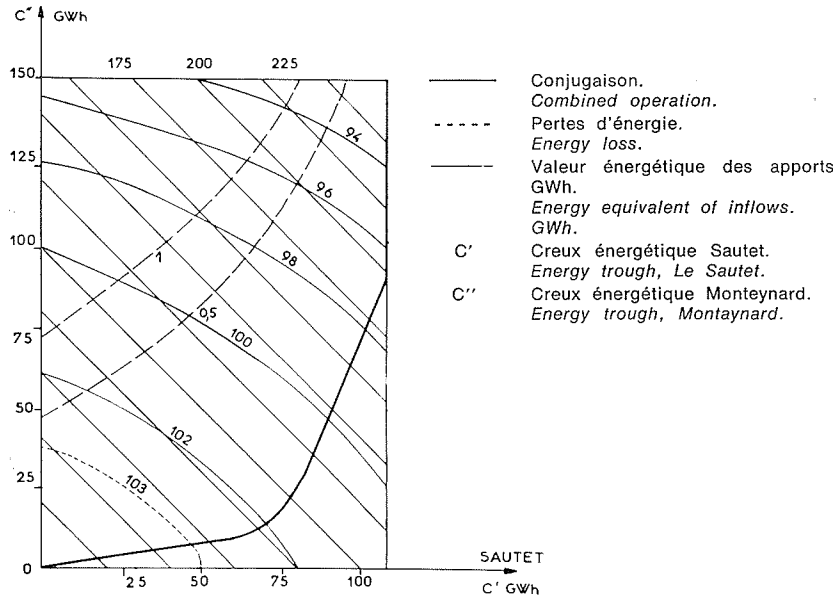


4/



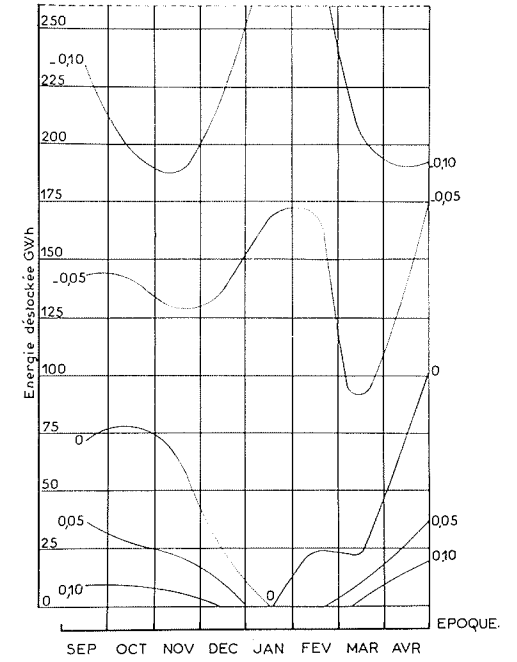
5/ Courbes à  $\varphi$  constant.  
Constant  $\varphi$  curves.

- Conjugaison / Combined operation.
- - - - - Pertes d'énergie / Energy loss.
- Valeur énergétique des apports. GWh / Energy equivalent of inflows. GWh.
- C' Creux énergétique Grandval / Energy trough, Grandval.
- C'' Creux énergétique Sarrans / Energy trough, Sarrans.

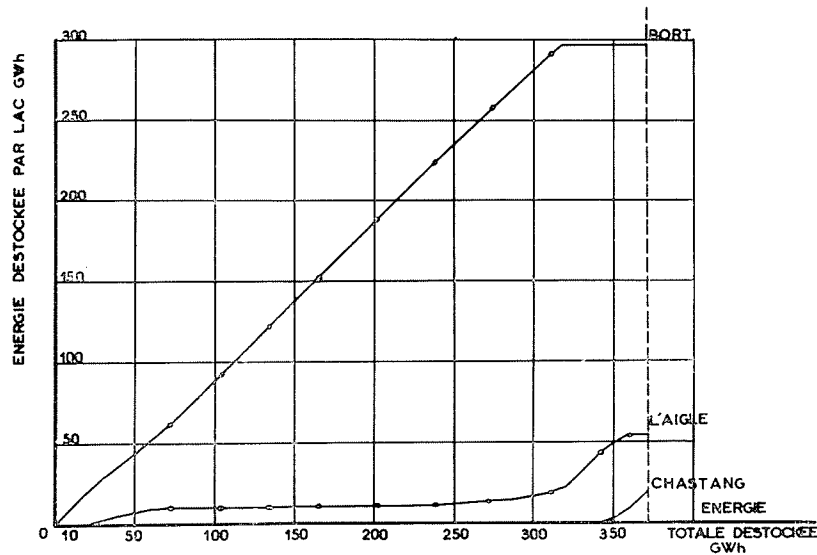


6/ Mois de janvier / January.

CONJUGAISON  
DES RÉSERVOIRS DU SAUTET  
ET DE MONTEYNARD  
  
COMBINED OPERATION  
OF LE SAUTET AND MONTEYNARD  
RESERVOIRS

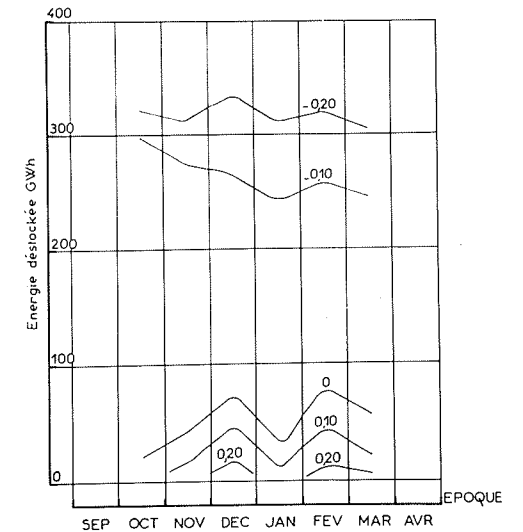


7/ Courbes à  $\varphi$  constant / Constant  $\varphi$  curves.



8/ Mois de novembre / November.

CONJUGAISON  
DES RÉSERVOIRS DE BORT,  
L'AIGLE ET CHASTANG  
  
COMBINED OPERATION  
OF BORT, L'AIGLE AND CHASTANG  
RESERVOIRS



9/ Courbes à  $\varphi$  constant / Constant  $\varphi$  curves.

Lorsqu'on se trouve en présence de deux valeurs  $C'$  et  $C''$  en dehors de la courbe de conjugaison, le point correspondant de celle-ci est tel que  $C' + C''$  est donné; on se déplace donc sur une droite  $C' + C'' = Cte$ , c'est-à-dire selon une direction perpendiculaire à la première bissectrice.

Pour fixer les idées, on peut remarquer que la valeur en énergie des apports d'octobre à avril étant de l'ordre de 1 milliard de kWh, le pour-cent représente une énergie de 10 millions de kWh. Des tableaux de valeurs des fonctions  $\varphi$  ont été établis. Ces valeurs sont traduites par des abaques à  $\varphi$  constant en fonction des mois (graphique n° 5).

## 2. Conjugaison des réservoirs du Sautet et de Monteynard.

a) Ces deux réservoirs sont placés en série sur le Drac et leurs bassins versants respectifs sont de 1 020 et 2 050 km<sup>2</sup>.

Les usines influencées dont les coefficients énergétiques ont été introduits dans les calculs sont :

- Cordéac, Saint-Pierre-Cognet, s'intercalant entre les deux réservoirs.
- Saint-Georges de Commiers, Champ-II, Beauvoir, Saint-Hilaire, Pizançon, La Vanelle, à l'aval de Monteynard.

La conjugaison a été obtenue en égalant les valeurs de  $\partial E/\partial C'$  et  $\partial E/\partial C''$  selon la méthode indiquée précédemment.

A cet effet,  $\partial E/\partial C'$  et  $\partial E/\partial C''$  ont été déterminés pour une série de valeurs de  $V'$  et  $V''$  et l'on a déduit les couples conjugués ( $V' V''$ ) et ( $C' C''$ ). Sauf en régime bloqué où elle est égale à l'une des deux valeurs  $\partial E/\partial C'$  ou  $\partial E/\partial C''$ , la fonction  $\varphi(C)$  est la valeur commune de ces dérivées partielles, avec  $C = C' + C''$ .

Le calcul des déversements porte sur les crues des périodes 1921-1934 et 1957-1964, série d'années pour lesquelles sont connus et reconstitués les débits naturels journaliers au Sautet et à Monteynard.

Le fort équipement de Monteynard (300 m<sup>3</sup>/s) où le déversement est négligeable, permet de simplifier l'exploitation en régime de crue. On a supposé que l'on turbine modérément au Sautet jusqu'au remplissage, puis le débit maximal. A Monteynard, on turbine le débit d'équipement de Saint-Georges (88 m<sup>3</sup>/s) puis le débit maximal après remplissage. Il a été admis que les quantités d'eau transmises n'ont de valeur que pendant 18 h par jour.

### b) Les résultats obtenus.

Un graphique a été établi pour chaque mois, de septembre à avril; on y a représenté à la fois la courbe de conjugaison et les courbes d'égales valeurs en énergie des apports ainsi que les courbes d'égales pertes d'énergie exprimées en valeur absolue (GWh/mois) lorsqu'on s'écarte de la conjugaison (graphique n° 6).

Comme précédemment, pour une valeur  $C$  du creux énergétique global des deux réservoirs, le point conjugué est l'intersection de la courbe de conjugaison avec la droite  $C' + C'' = C$ .

On peut constater sur ces graphiques que le sommet des collines se rapproche de l'origine au cours des mois d'hiver où la rétention est évidemment la

plus forte et les risques de déversements réduits. Le sommet se déplace pour les mois moins froids : septembre, octobre, novembre, mars, avril.

Les graphiques montrent que si l'on part de réservoirs pleins, le déstockage doit s'effectuer légèrement sur le réservoir aval, et ensuite en grande partie sur le réservoir amont pour se terminer par le réservoir aval.

Des tableaux de valeurs de  $\varphi$  ont été établis, comme pour le couple Sarrans-Grandval.

L'abaque à  $\varphi$  constant en fonction des mois fait l'objet du graphique n° 7.

## 3. Conjugaison des réservoirs de Bort, L'Aigle et Chastang.

La série d'usines, sur la Dordogne, faisant l'objet de cette conjugaison est composée de Bort, L'Aigle, Chastang, Argentat, dont les bassins versants respectifs sont de : 1 651 km<sup>2</sup> (avec la Rhue), 2 815 (avec la Sumène), 3 660 (avec la Luzège), 4 193 (avec la Doustre et la Glane de Servières) et 4 418 km<sup>2</sup>.

Situées bien à l'aval d'importants affluents et de faibles chutes, les usines de Mauzac et Tuilière n'ont pas été introduites dans les calculs. On a négligé par ailleurs l'incidence des réservoirs sur affluents.

On a effectué les calculs pour 10 valeurs de  $V'$ , 7 valeurs de  $V''$  et 6 valeurs de  $V'''$ .

La période de référence choisie pour le calcul des déversements à partir des débits journaliers naturels à Bort et Argentat est 1918-1934. C'est à partir des débits aux deux extrémités de la chaîne que sont reconstitués les débits intermédiaires en tenant compte des écrêtements créés par certaines dériva-tions (Rhue, Sumène, Luzège, Doustre et Glane de Servières).

A partir de 1935, la mise en service de plusieurs réservoirs sur des affluents de la Dordogne rend peu sûre la reconstitution des débits journaliers naturels.

Comme pour le Drac et la Truyère, on a admis que les débits transités par un aménagement n'avaient de valeur que pendant 18 h par jour, sauf à Argentat qui peut turbiner 24 h sur 24 (compensation).

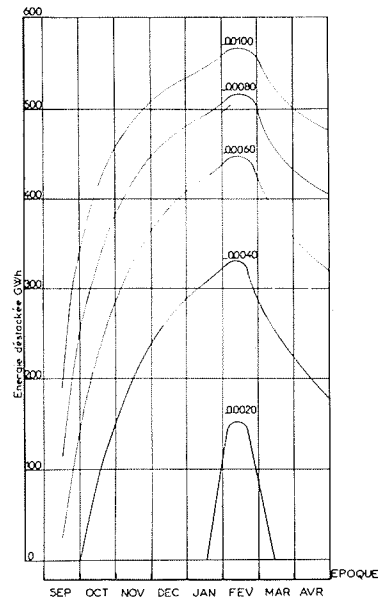
Nous sommes ainsi conduits, en période de crue, à adopter comme débits turbinés (ramenés à 24 h) avant remplissage et après remplissage, les valeurs suivantes :

— Bort. . . . .	100 et 150 m <sup>3</sup> /s
— L'Aigle. . . . .	150 et 225 m <sup>3</sup> /s
— Chastang. . . . .	200 et 300 m <sup>3</sup> /s
— Marèges. . . . .	160 m <sup>3</sup> /s
— Argentat. . . . .	220 m <sup>3</sup> /s

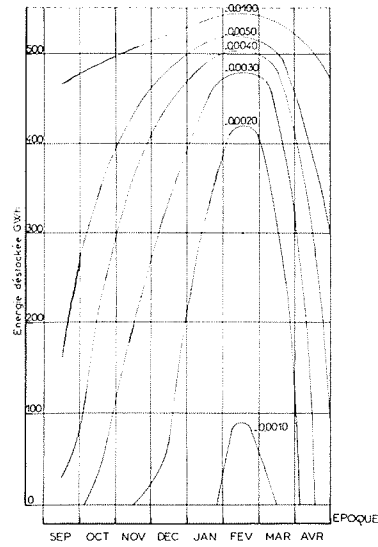
### Les résultats obtenus.

La traduction graphique de la conjugaison, mois par mois de septembre à avril, montre que l'on est pratiquement ramené à la conjugaison de deux réservoirs (voir graphique n° 8). En effet, lors d'un déstockage partant des trois réserves pleines, on peut voir que celle de Chastang doit être maintenue pratiquement pleine, jusqu'à la vidange des deux autres.

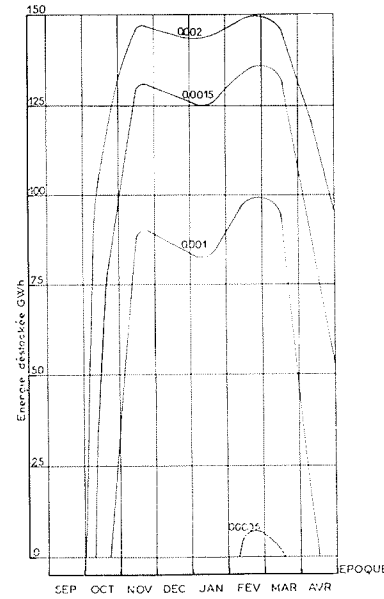
Pour l'Aigle et Bort, on observe que le creux à l'Aigle doit d'abord être maintenu faible tandis que l'on tire essentiellement sur Bort, comme on l'avait



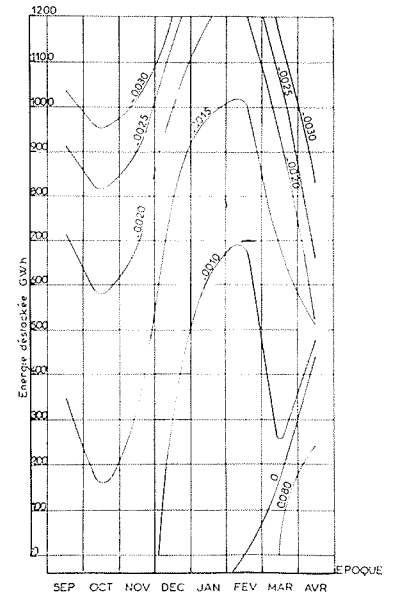
10/ Tignes.



11/ Roselend.



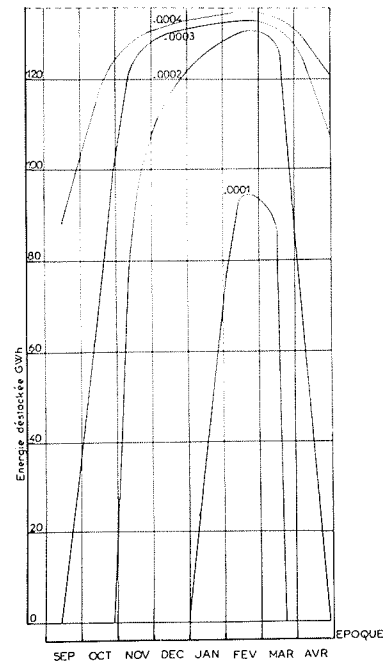
12/ Belleville.



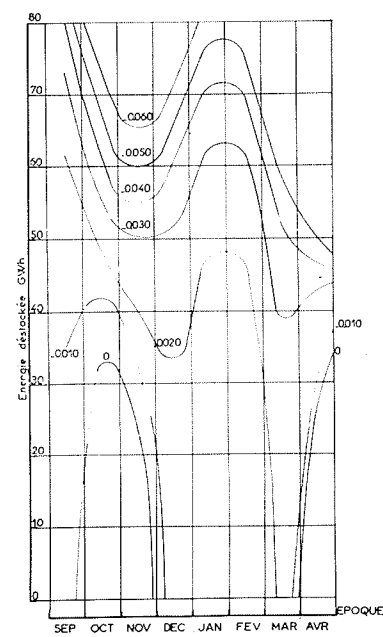
13/ Serre-Ponçon.

Courbes  
à  $\varphi$   
constant.

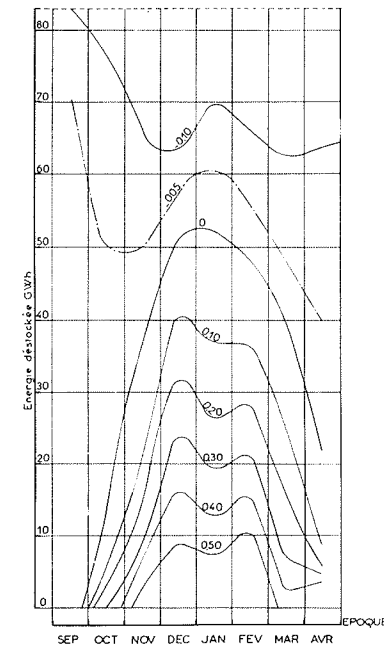
Constant  
 $\varphi$   
curves.



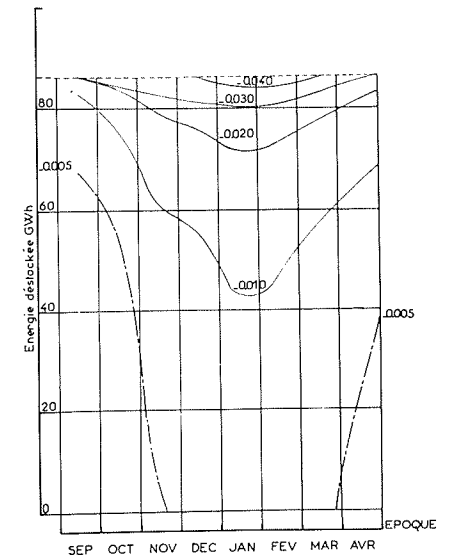
14/ Bissorte.



15/ Castillon.



16/ Saint-Etienne-Cantalès.



17/ Peyrat-le-Château.



déjà constaté pour les deux couples de réservoirs en série étudiés précédemment.

L'abaque à  $\varphi$  constant en fonction des mois fait l'objet du graphique n° 9.

#### 4. Les réservoirs isolés.

Les principaux réservoirs isolés des Alpes et du Massif Central ont fait l'objet de calculs des valeurs de la fonction  $\varphi$  (C).

Comme précédemment, les résultats ont été traduits en abaque à  $\varphi$  constant en fonction des mois de la période de déstockage. Ils font l'objet des graphiques n° 10 à n° 17 et concernent les réservoirs suivants :

##### *Alpes :*

Tignes, Roselend, Bissorte, Belleville, Serre-Ponçon, Castillon.

##### *Massif-Central :*

Peyrat-le-Château, Saint-Etienne-Cantalès.

Les cas traités sont ceux pour lesquels les données hydrologiques disponibles étaient suffisantes.

---

#### 4. — Conclusion

---

L'exposé ci-dessus montre comment, au moyen d'une seule fonction  $\varphi_t$  (C), on peut condenser toutes les caractéristiques d'une usine de lac intervenant dans la valeur en énergie des apports à l'époque  $t$  : rendement du matériel suivant la chute, topo-

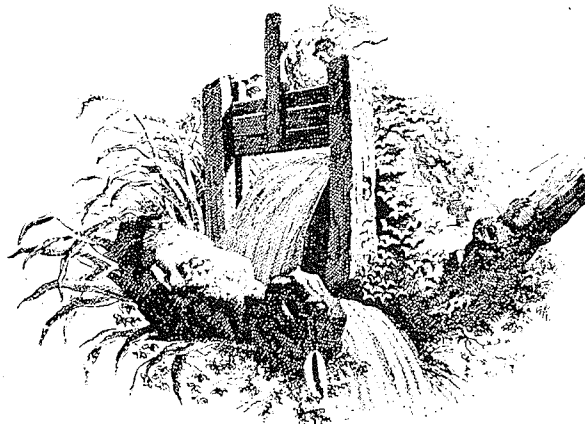
graphie du réservoir, régime hydrologique. La connaissance de ces fonctions détermine théoriquement la conjugaison optimale du réservoir, compte tenu s'il y a lieu d'un coefficient de correction pour les pertes de transport.

En fait, il se trouve que les fonctions  $\varphi$  prennent généralement des valeurs très différentes d'un réservoir à l'autre; les réservoirs présentant des valeurs communes sont peu nombreux, et leurs valeurs communes correspondent souvent à des situations extrêmes (l'un étant près de la vidange alors que l'autre est encore presque plein).

L'application des seules considérations développées ci-dessus, conduirait donc à utiliser la plupart des réservoirs les uns après les autres, un petit nombre d'entre eux étant vides simultanément. Bien entendu, cela n'est pratiquement pas possible, car leur équipement serait alors insuffisant pour réaliser le déstockage désiré, et la puissance correspondante ne permettrait pas d'assurer la modulation journalière de la courbe de charge. De plus, à un moment donné, l'origine de l'énergie n'est pas indifférente pour le réseau et le coefficient moyen de transport évoqué ci-dessus ne suffit pas à caractériser cette difficulté.

Il n'en reste pas moins que l'on connaît ainsi d'une part les réservoirs pour lesquels il est possible de respecter approximativement une conjugaison théorique, d'autre part l'ordre de priorité dans lequel il convient de les utiliser à l'intérieur des contraintes d'exploitation qui interviennent par ailleurs.

Nous croyons donc que les données ainsi calculées constituent un élément utile, en vue d'une exploitation rationnelle visant à valoriser au maximum les apports dans nos usines hydroélectriques.



Gravure du XVIII<sup>e</sup> siècle

# LA HOUILLE BLANCHE

rappelle  
ses volumes  
hors-série  
et ses  
numéros  
spéciaux

## **HYDRAULIQUE ET ÉLECTRICITÉ FRANÇAISES**

Édition anglaise : Un volume (1950), 413 pages..... Broché 22 F

## **B O R T**

Un volume (1953), 367 pages..... Broché 20 F

## **DONZÈRE-MONDRAGON**

Un volume (1955), 486 pages..... Relié 48 F

## **T I G N E S**

Un volume (1958), 440 pages..... Relié 80 F

## **LE DANUBE**

N° 2/1964 de « La Houille Blanche », 218 pages..... Broché 40 F

## **LES ÉNERGIES DE LA MER**

IV<sup>es</sup> Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1956).  
Deux volumes, 751 pages..... Brochés 80 F

## **TURBINES ET POMPES HYDRAULIQUES**

V<sup>es</sup> Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1958).  
Deux volumes, 730 pages..... Brochés 100 F

## **L'HYDRAULIQUE SOUTERRAINE**

VI<sup>es</sup> Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1960).  
Deux volumes, 663 pages..... Brochés 160 F

## **BULLES ET GOUTTES**

### **La tension superficielle en hydraulique**

VII<sup>es</sup> Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1962).  
Deux volumes, 624 pages..... Brochés 200 F

## **LES INSTABILITÉS EN HYDRAULIQUE ET EN MÉCANIQUE DES FLUIDES**

VIII<sup>es</sup> Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1964).  
Deux volumes, 674 pages..... Brochés 250 F

## **L'HYDRAULIQUE DU POINT DE VUE MÉDICAL**

N° 2/1966 de « La Houille Blanche », 150 pages..... Broché } France : 25 F  
Etranger : 30 F

## **MACHINES HYDRAULIQUES : ÉTUDES RÉCENTES**

N° 2-3/1968 de « La Houille Blanche », 150 pages..... Broché 40 F