3. ETUDE RAPIDE DES CRUES DE 1936 à 1957

En extrapolant les résultats de l'étude précédente, on peut examiner rapidement quel aurait pu être l'effet du barrage de DAGANA sur les crues survenues de 1936 à 1957.

Pour chaque année, on a adopté la courbe de fonctionnement qui assure le meilleur compromis entre la recherche d'une submersion importante, et celle d'une décrue assez précoce. C'est ainsi que, pour 1944, on a choisi la courbe moyenne IIc de préférence aux courbes extrêmes IIa et IIe (Cf. Graphique).

Les résultats sont indiqués sur le tableau annexe et sur la Planche 5.

On voit que l'utilisation du barrage entraîne deux conséquences simultanées :

Augmentation des superficies submergées, jusqu'à 155 000 ha (1941),

Avancement de la date du début de la décrue, avancement pouvant atteindre 30 j (1937, 1938, 1951, 1957); ceci entraîne un accroissement du rendement à l'hectare.

Il serait intéressant d'établir une liaison entre ces deux aspects complémentaires et de chiffrer de quelle façon l'accroissement de superficie inondée et l'augmentation du rendement entraînent un accroissement de la production totale. Mais les données actuelles sont encore insuffisantes pour résoudre cette question.

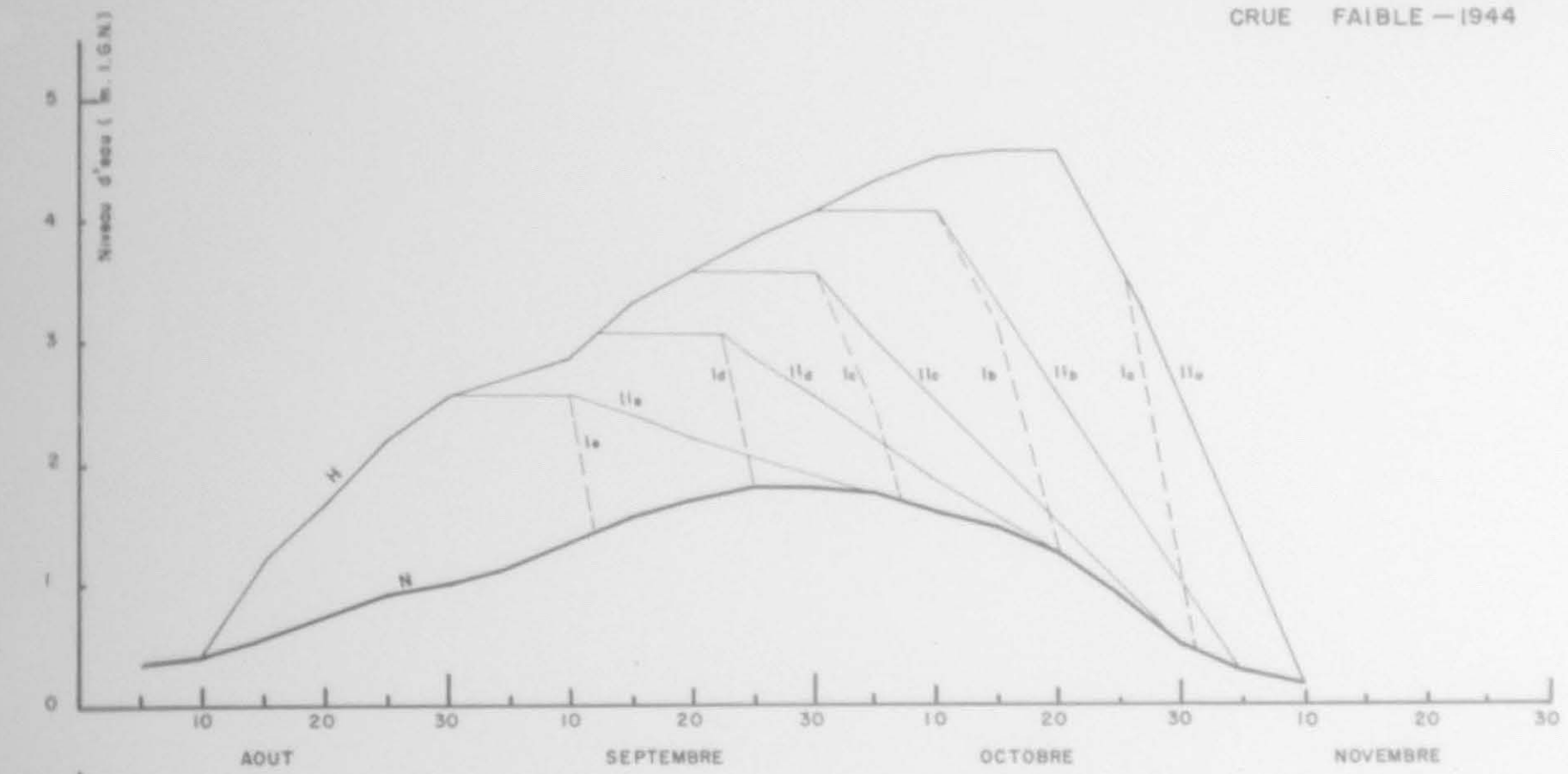
4. CONCLUSION

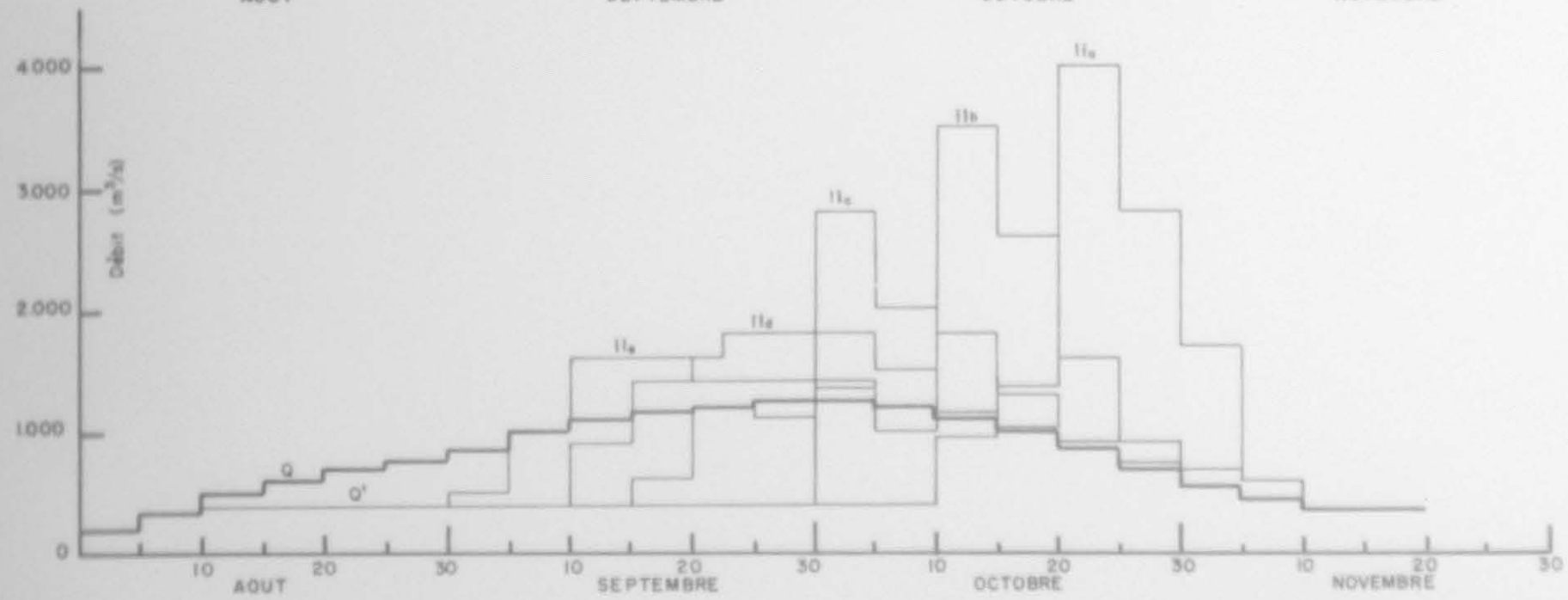
Cette étude ne prétend pas exposer le fonctionnement optimum du barrage de DAGANA : les données agronomiques sont encore insuffisantes pour cela.

Elle montre du moins que la réalisation du barrage permet d'envisager TOUTE UNE GAMME DE POSSIBILITES POUR LA SUBMERSION ARTIFICIELLE.

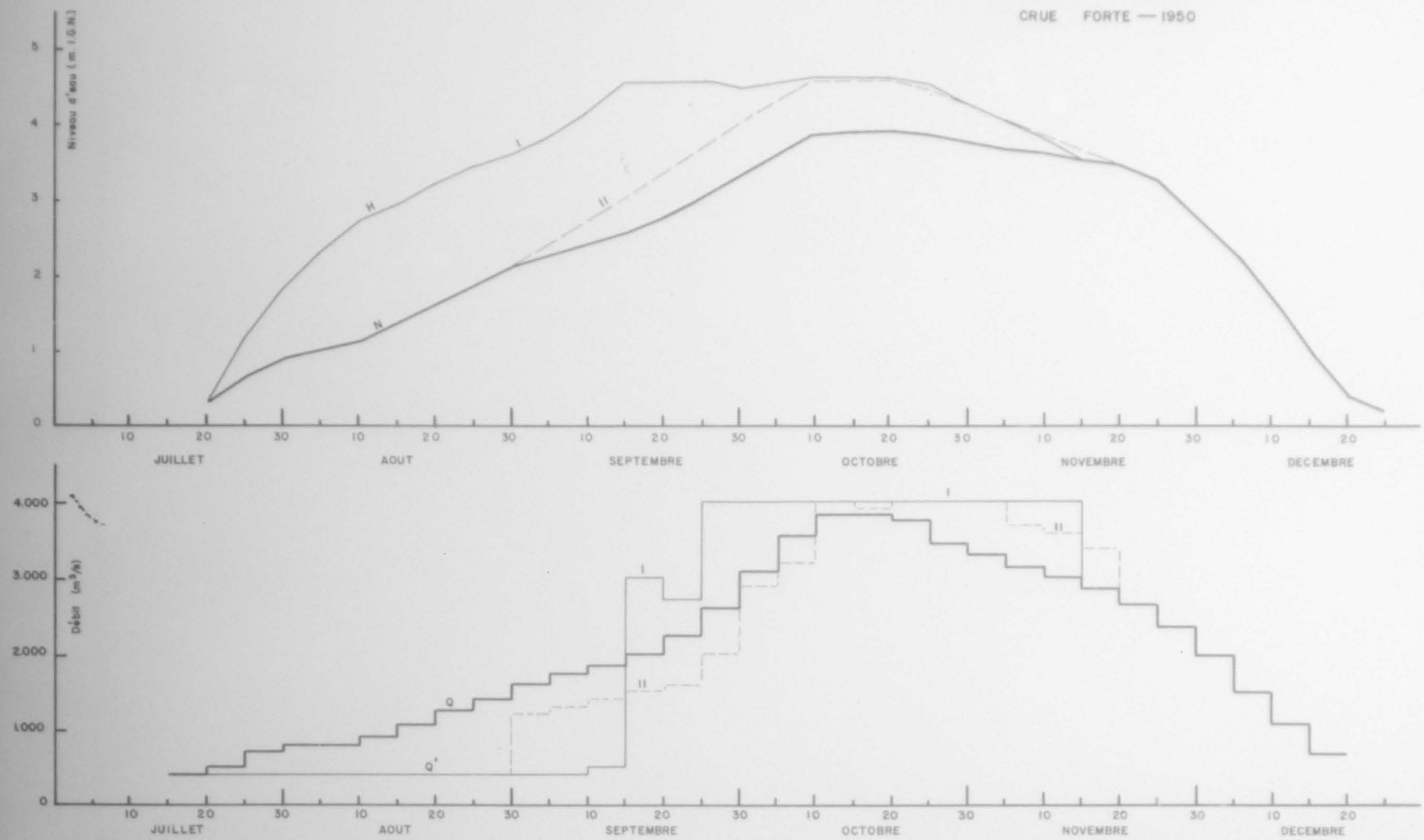
SUBMERSION ARTIFICIELLE

CRUE FAIBLE — 1944

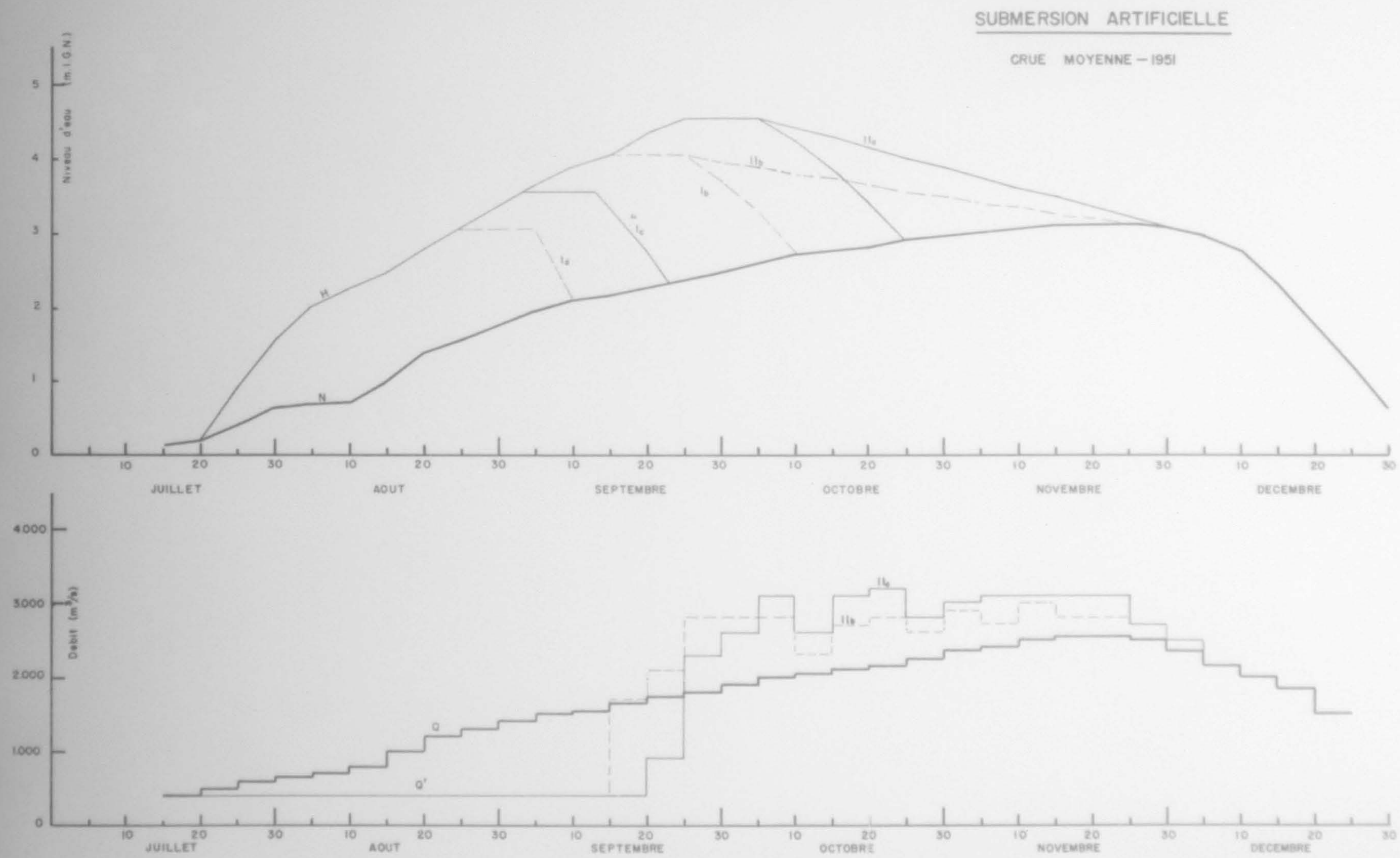




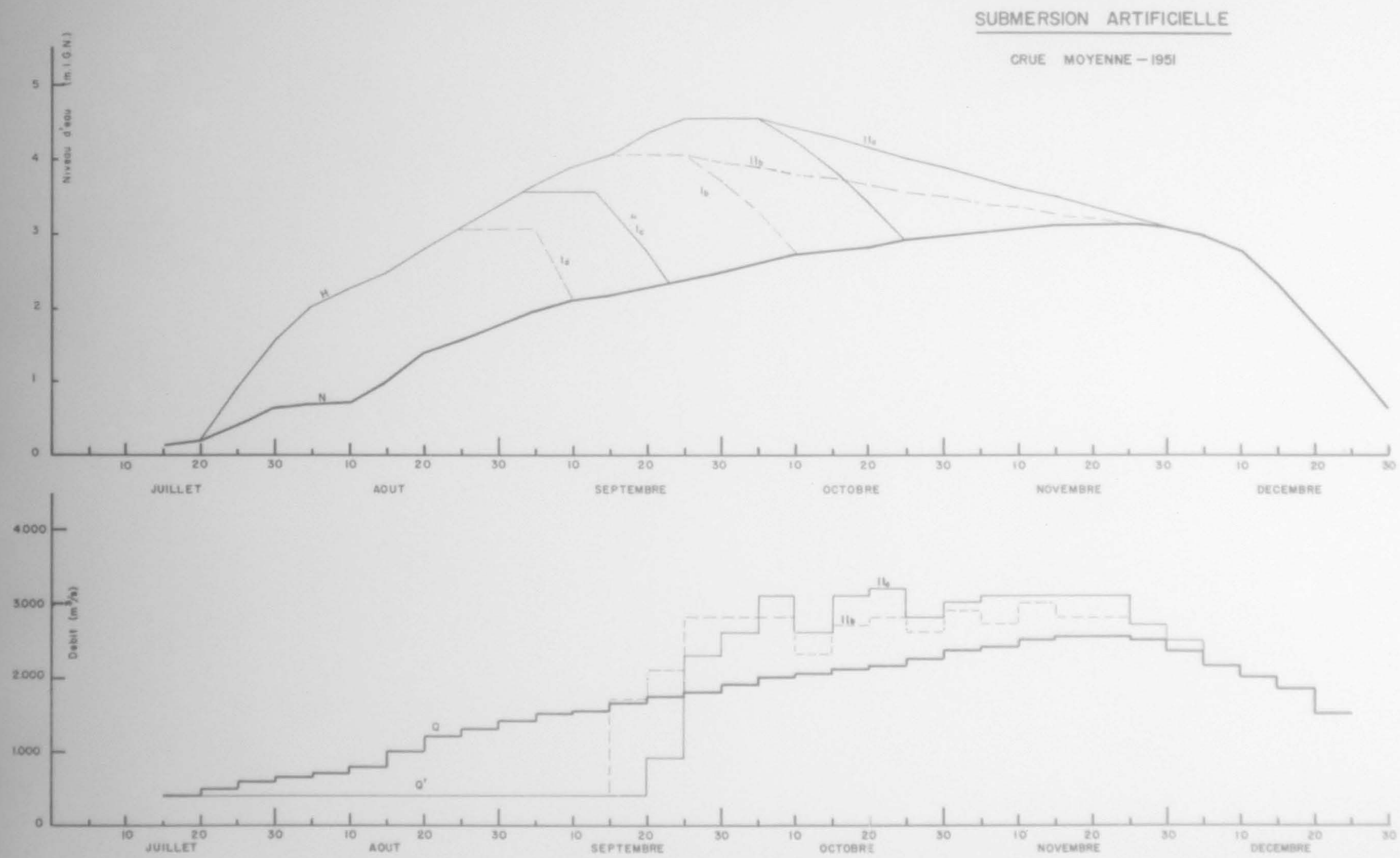
M Gn. E O 123.157 R 7283-115



M.Gn. E.O.123 156 R 7283-116



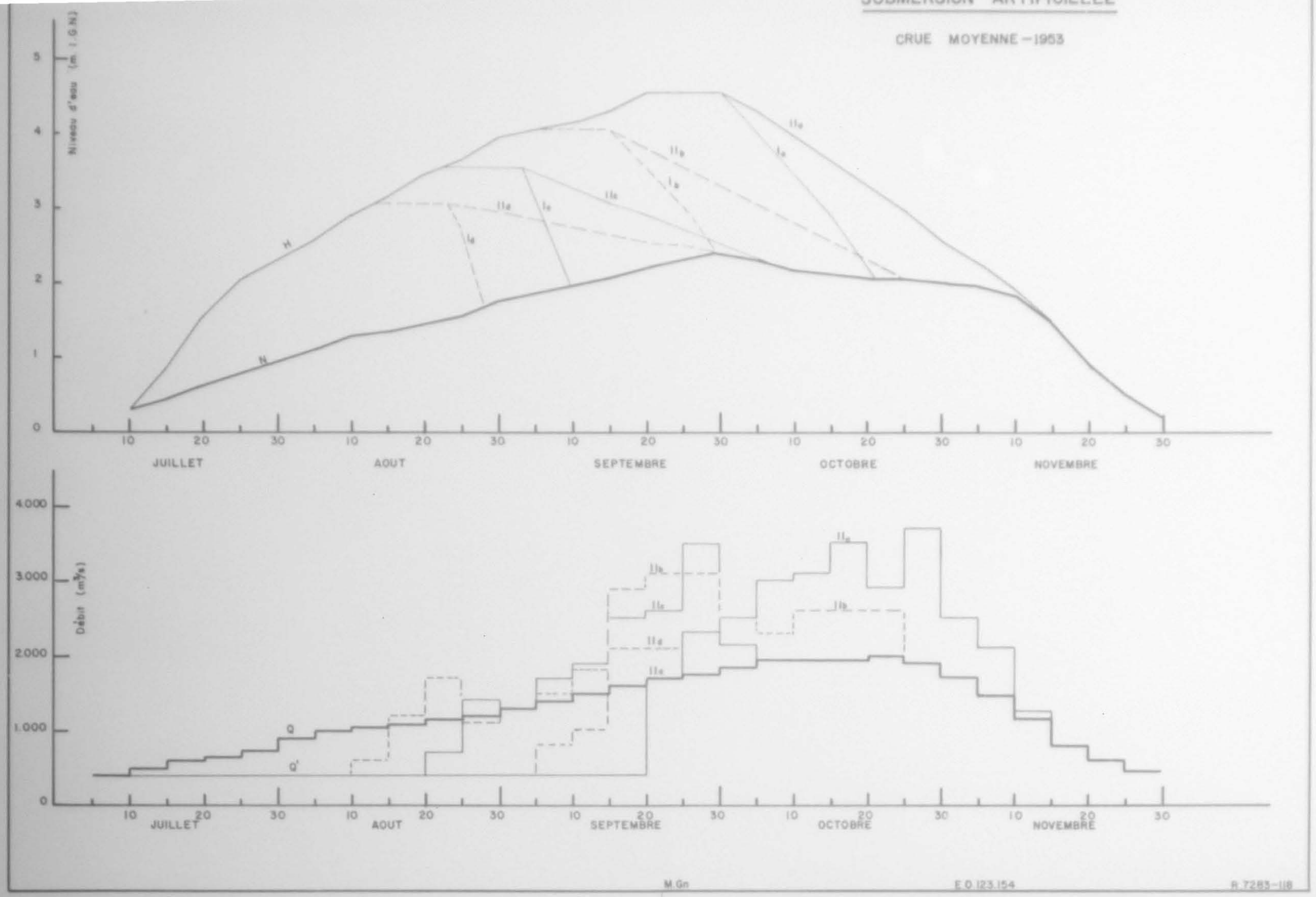
M.Gn. E.D.123.155 R.7283-117



M.Gn. E.D.123.155 R.7283-117

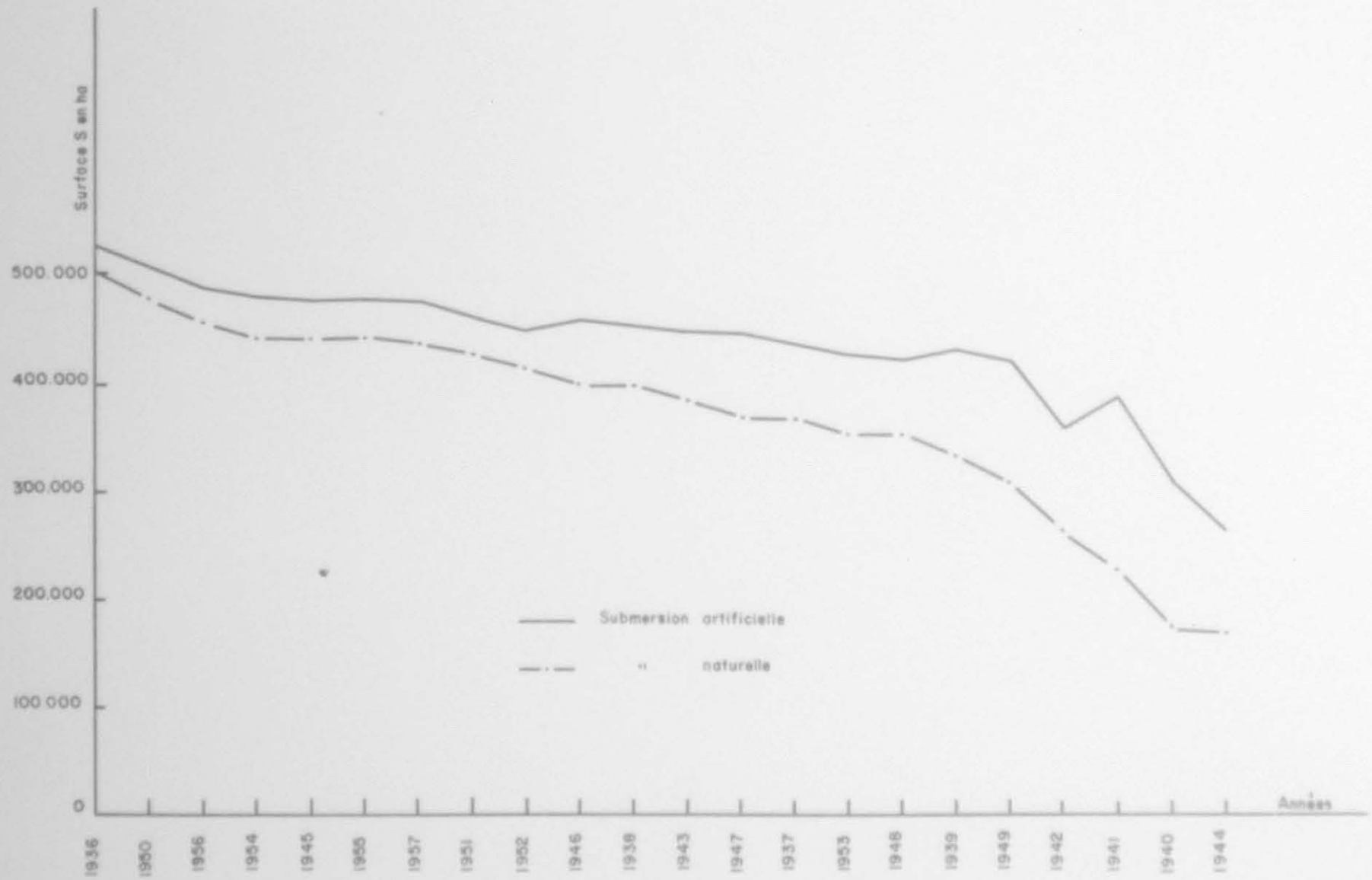
SUBMERSION ARTIFICIELLE

CRUE MOYENNE – 1953



M.Gn E.O.123.154 R.7283-118

SUPERFICIE INONDEE



M Gn E.O 123/58 R.7283-119

- IV -
MODE D'UTILISATION DU LAC DE GUIERS

1. POSITION DU PROBLEME

Le Lac de GUIERS est une vaste dépression naturelle s'étendant Nord-Sud sur la rive gauche du fleuve, dans la région de RICHARD-TOLL. Il est relié au SENEGAL par le chenal de la TAOUEY.

Dans l'état naturel, il était rempli par l'intermédiaire de la TAOUEY lors de la crue annuelle; il se vidait lors de la décrue.

Ces conditions favorables ont été utilisées par les dirigeants de l'exploitation de RICHARD-TOLL : ils ont établi à l'entrée de la TAOUEY un pont-barrage qu'ils ferment au début de la décrue, afin d'éviter la vidange du lac. Ils disposent alors d'une importante quantité d'eau douce, dans laquelle ils effectuent, par pompage, des prélèvements pour l'irrigation des casiers rizicoles.

Le bilan actuel du Lac de GUIERS est mal connu. En première approximation, on peut estimer qu'en année de crue assez forte le volume accumulé peut atteindre 400 millions de m3, dont :

Perdus par évaporation avant la crue suivante	270 millions
Inutilisables (cote trop basse)	50 millions
Pouvant servir pour l'irrigation de RICHARD-TOLL	80 millions

Pour accroître les quantités d'eau disponibles, il est nécessaire d'augmenter la cote de remplissage du lac. On peut envisager, en particulier, deux solutions :

Surélévation du plan d'eau du SENEGAL, au moyen du barrage de DAGANA,

Diminution des pertes de charge entre le SENEGAL et le lac, par canalisation de la TAOUEY.

La première solution a déjà été étudiée (rapport SOGETIM-SEEHM, pièce A VII 5). Nous examinerons rapidement ici la seconde.

2. ELEMENTS DE BASE

. Volumes et superficies du lac* en fonction de la cote.

Ils sont fournis par la pièce A VII 5 b du rapport SOGETIM-SEEHM.

. Evaporation

La valeur mensuelle de l'évaporation a été déterminée approximativement à l'aide de divers documents, le total annuel a été admis égal à 2,25 m.

. Niveau du SENEGAL

Le niveau du SENEGAL à RICHARD-TOLL se déduit du niveau à DAGANA (pièce A VII 1 b) par soustraction de la perte de charge entre DAGANA et RICHARD-TOLL.

. Année d'étude

L'année adoptée est l'année 1941. C'est une année de faible crue : 90 % environ des crues lui sont supérieures.

. Canal

Le canal aurait une longueur de 16,9 km. Son radier serait à la cote + 0,50 à RICHARD-TOLL et - 1,00 dans le Lac de GUIERS.

Les calculs ont été conduits pour des largeurs de 100 m, 200 m et 300 m.

3. RESULTATS

Le niveau maximum atteint à RICHARD-TOLL en 1941 est de 2,32 IGN.

Le niveau de remplissage du Lac de GUIERS serait de (Cf. Planches 121, 122 et 123) :

---

* Ou du moins de la partie principale située au Nord de la digue de "BENGUE".

Avec un canal de 300 m	2,32 IGN
Avec un canal de 200 m	2,30 IGN
Avec un canal de 100 m	1,72 IGN

Le volume de remplissage du lac serait respectivement de :

560 millions de m3,
555 millions de m3,
380 millions de m3.

Il n'y a aucun profit à prendre un canal de largeur supérieure à 200 m.

La solution la plus satisfaisante semble être de réaliser un canal large de 150 m. Le volume accumulé serait de 510 millions de m3 en 1941; le complément de remplissage serait assuré par pompage.

En année moyenne, ce canal serait largement suffisant, et l'on pourrait accumuler 700 à 800 millions de m3 dans la cuvette.

Le volume de terrassements nécessaire serait d'environ 3 millions de m3.

4. RECHERCHES COMPLEMENTAIRES

De nombreuses recherches sont encore nécessaires avant que l'on ne puisse décider si le canal du Lac de GUIERS est à construire.

Ces recherches porteraient sur divers points :

- Topographie

  Détermination du profil exact du canal et de l'aspect d'une zone de fuites possibles vers le village de NIET-YONE.

- Hydrologie

  Comportement du canal pour différentes crues du SENEGAL. Volume d'eau disponible dans chaque cas.

- Dépenses

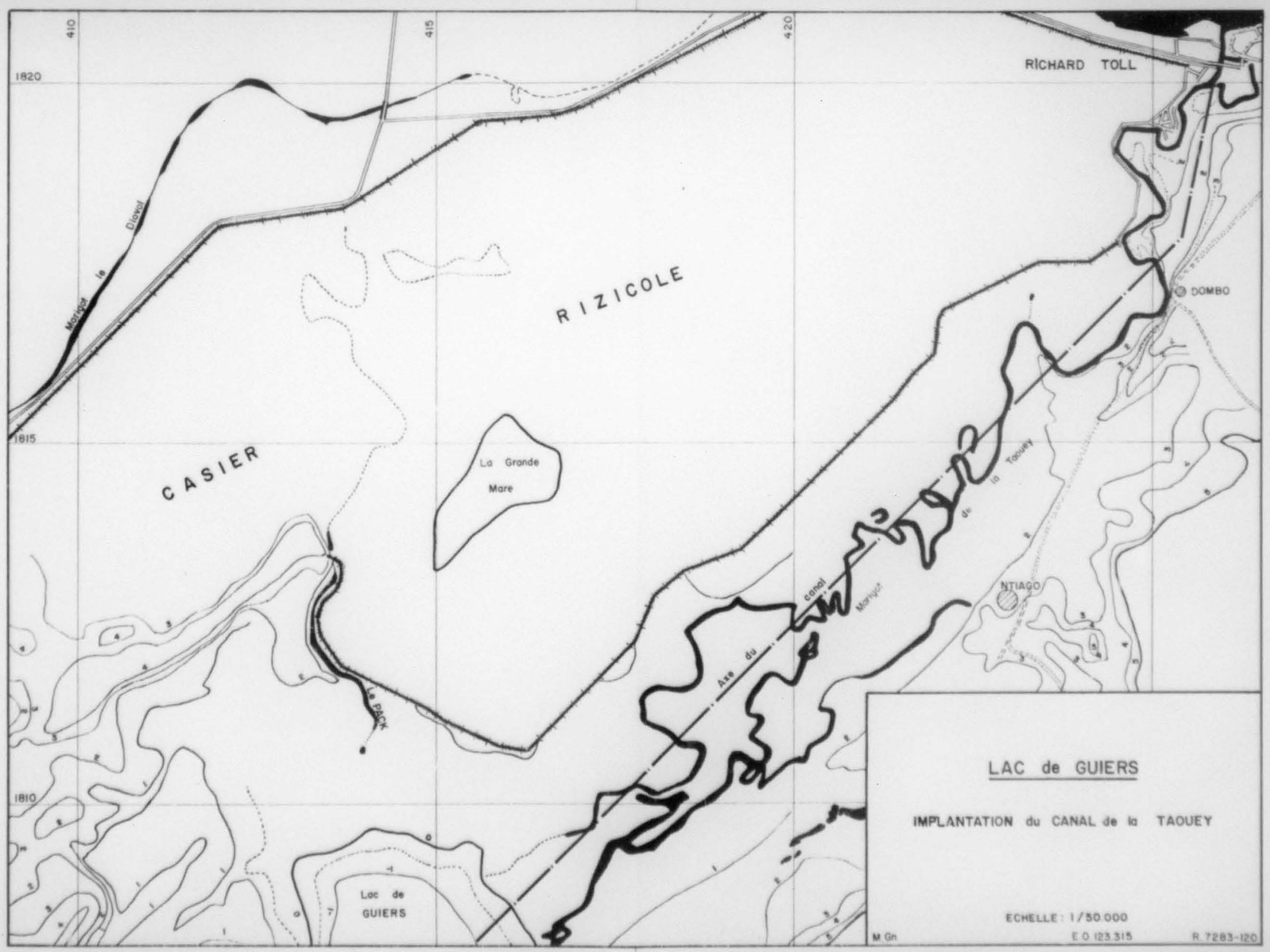
  Coût du canal et des ouvrages complémentaires, prise d'eau dans le SENEGAL, barrage à RICHARD-TOLL, digues de fermeture dans la région de NIET-YONE.

C'est seulement lorsque ces recherches seraient terminées qu'il deviendrait possible d'indiquer, POUR LE REMPLISSAGE DU LAC DE GUIERS, laquelle des deux solutions est préférable :

Réalisation du barrage de DAGANA,
Creusement du canal.

C'est seulement lorsque ces recherches seraient terminées qu'il deviendrait possible d'indiquer, POUR LE REMPLISSAGE DU LAC DE GUIERS, laquelle des deux solutions est préférable :

Réalisation du barrage de DAGANA,
Creusement du canal.

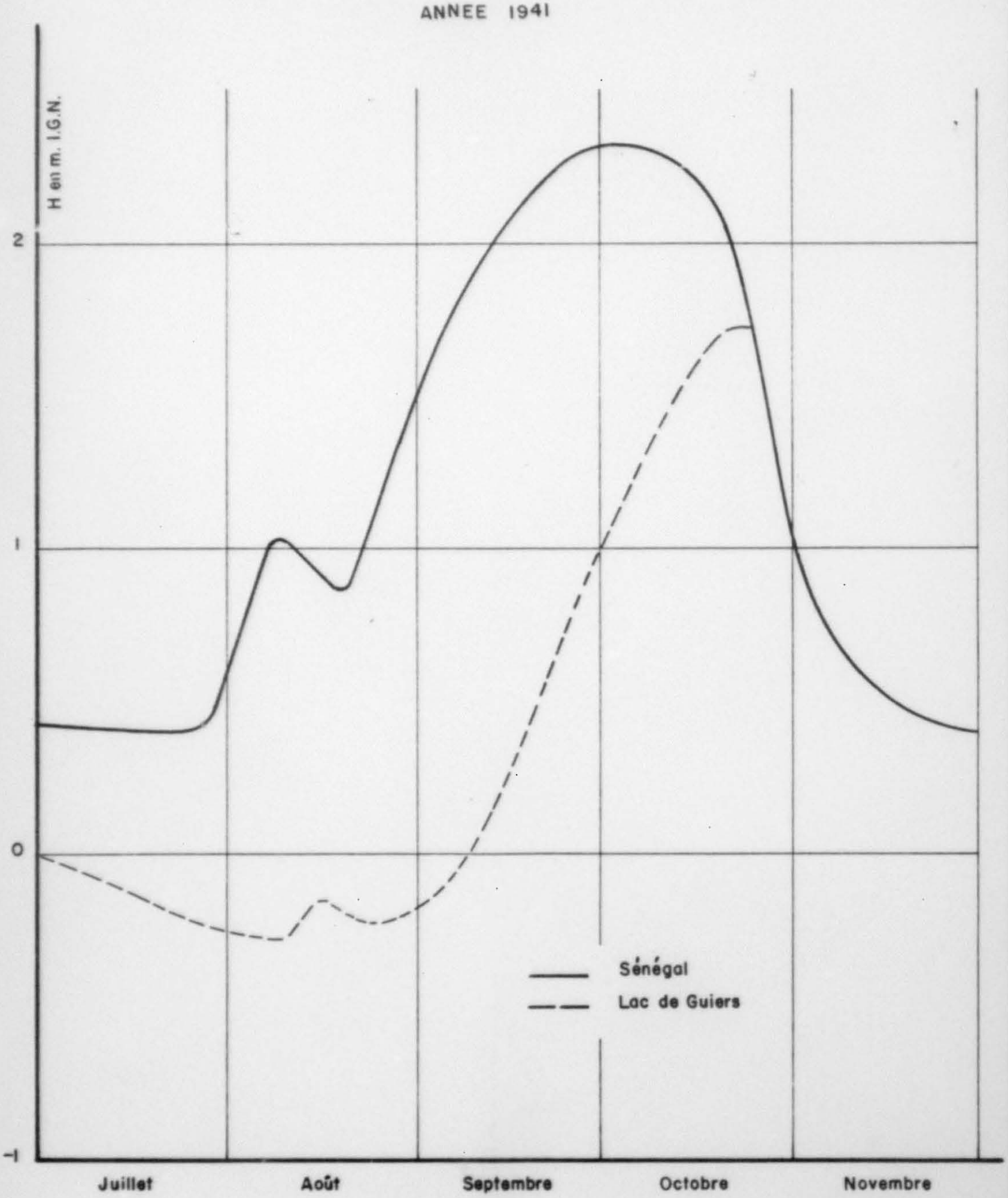

410
415
420
1820
1815
1810
RICHARD TOLL
DOMBO
NTIAGO
RIZICOLE
CASIER
La Grande
Mare
Marigot la Diaval
Marigot de la Taouey
canal
Axe du
LE PACK
Lac de
GUIERS
LAC de GUIERS
IMPLANTATION du CANAL de la TAOUEY
ECHELLE : 1/50.000
M Gn
E O 123.315
R 7283-120

LAC de GUIERS

VARIATION du NIVEAU dans le LAC

LARGEUR du CANAL 100m.

ANNEE 1941



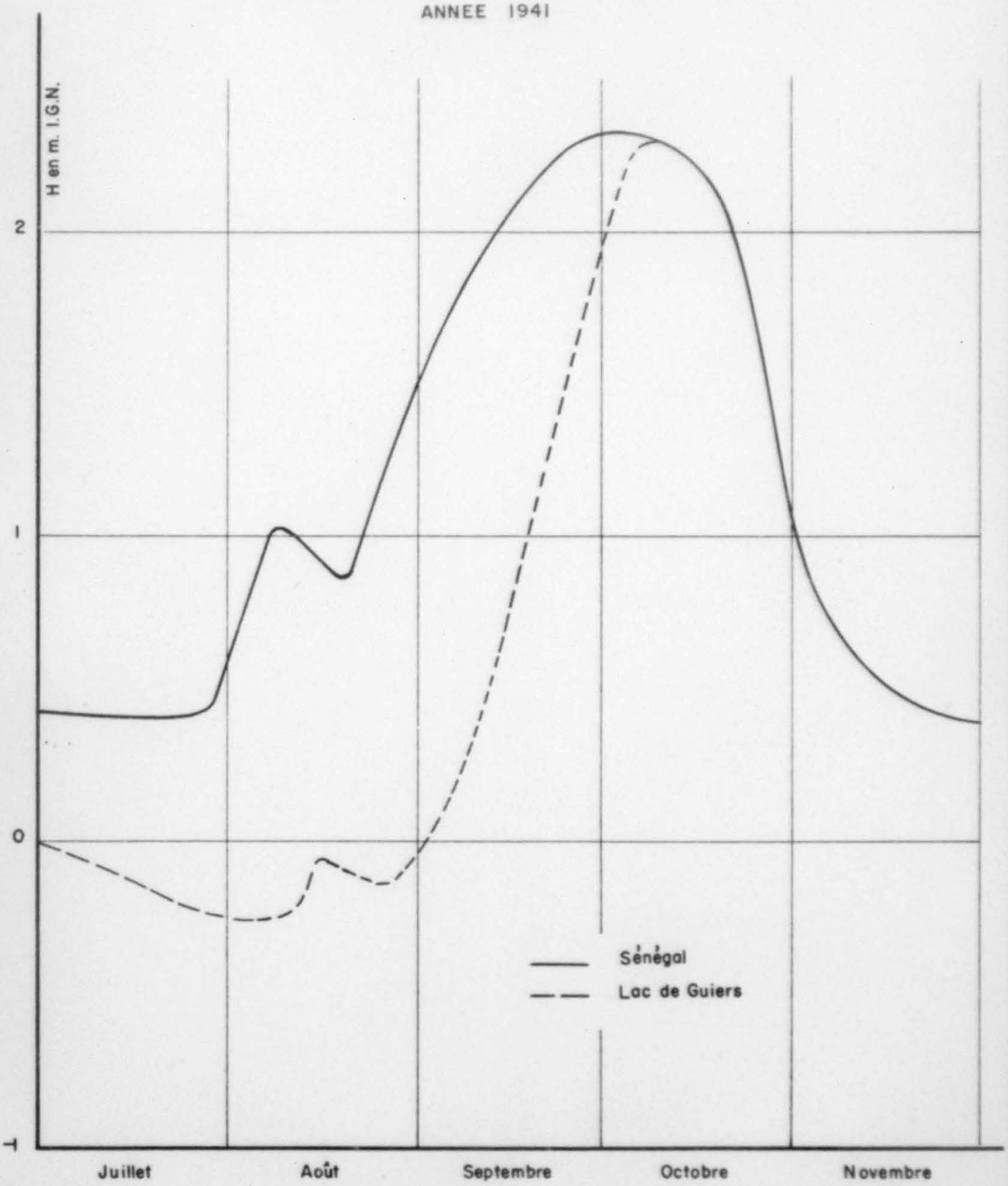
M.Gn. E.O. 123.321 R.7283-121

LAC de GUIERS

VARIATION du NIVEAU dans le LAC

LARGEUR du CANAL 200m.

ANNEE 1941



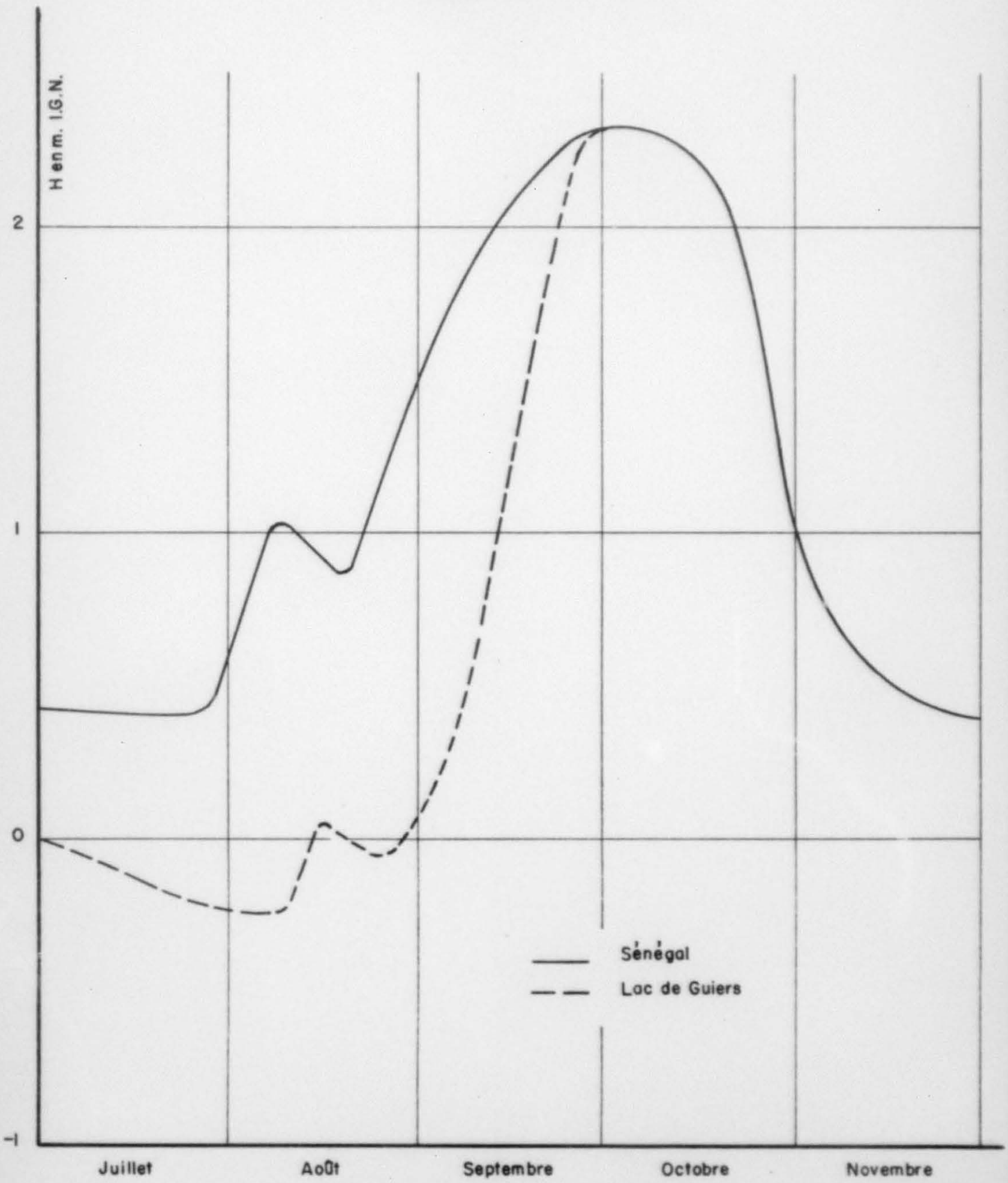
M.Gn. E.O.123.322 R.7283-122

LAC de GUIERS

VARIATION du NIVEAU dans le LAC

LARGEUR du CANAL 300m.

ANNEE 1941

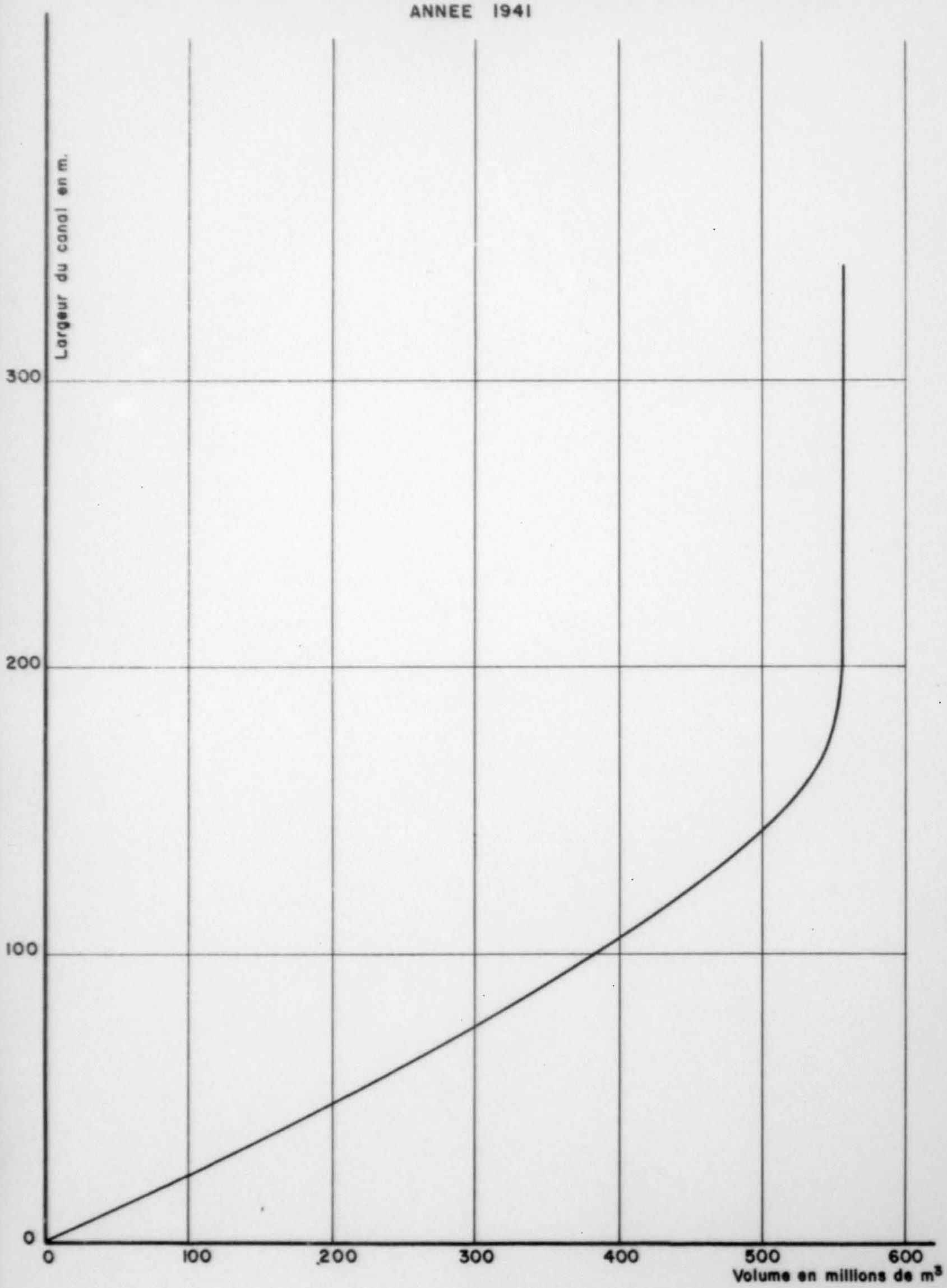


M.Gn. E.O. 123.323 R 7283-123

LAC de GUIERS

VOLUME EMMAGASINE en FONCTION de la LARGEUR du CANAL

ANNEE 1941



M.Gn. E.O.123.324 R.7283-124

- V -

VARIATION DE PENTE DES LIGNES D'EAU DU SENEGAL POUR LA CRUE ET LA DECRUE

1. POSITION DU PROBLEME

C'est un fait bien connu en hydrologie que, pour une même hauteur d'eau à l'échelle, la pente de la ligne d'eau n'est pas la même en crue et en décrue.

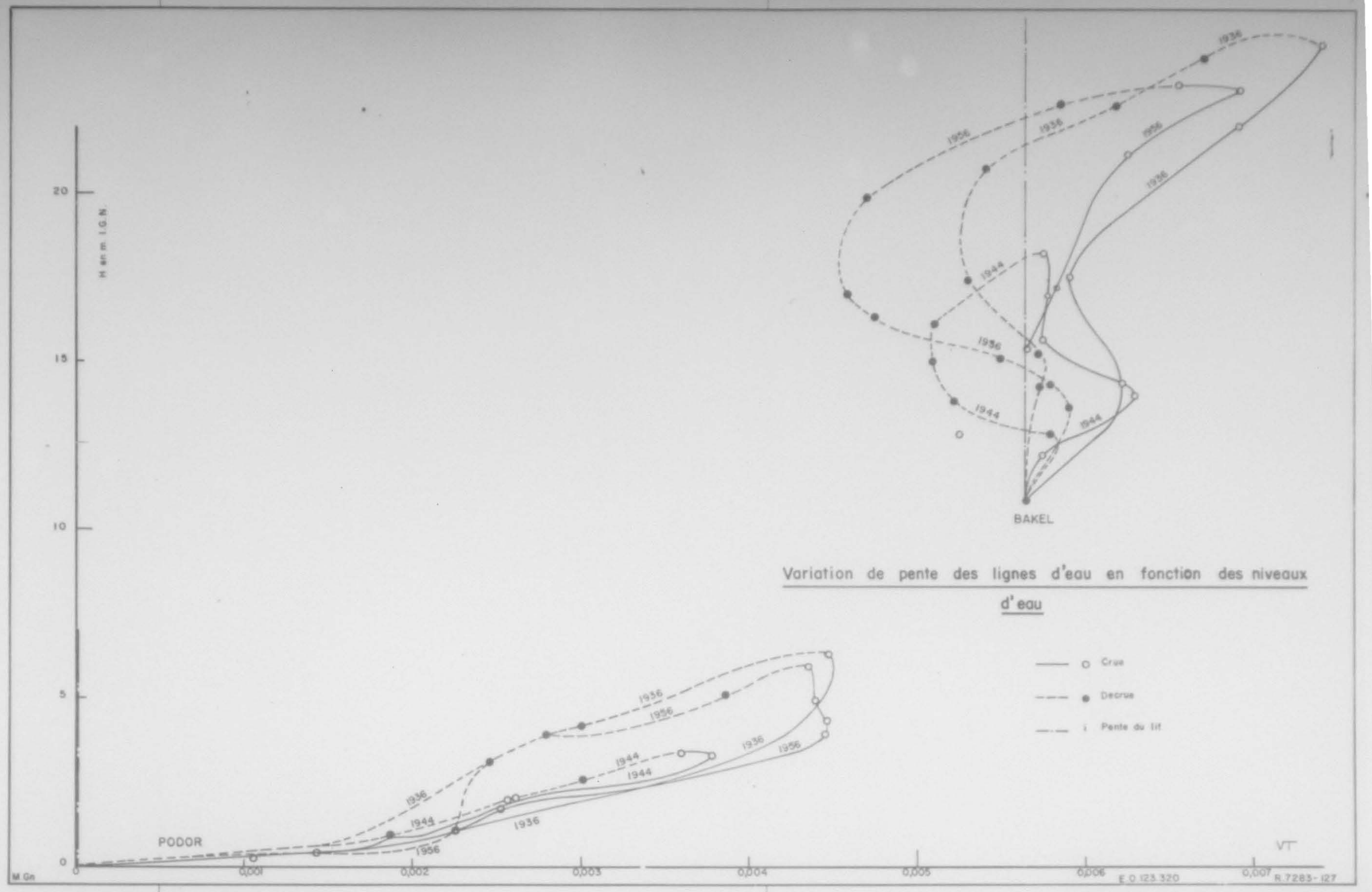
Ce phénomène présente une importance considérable pour l'étalonnage des stations de jaugeage.

Dans le cas particulier du SENEGAL, il mérite d'être examiné soigneusement.

Les profils en long des ondes de crues du SENEGAL tirés des graphiques limnimétriques pour les escales de BAKEL, OUAOUNDE, MATAM, KAEDI, DIORBIVOL, SALDE, BOGHE, PODOR et DAGANA nous donnent grossièrement une idée des variations de pentes des lignes d'eau provoquées par des ondes de crues du SENEGAL. Comme les profils sont choisis pour des intervalles de temps très arbitraires, nous essaierons simplement d'avoir de ces profils une idée sur la nature des variations des pentes et non sur leurs valeurs exactes. Dans ce but, nous avons construit pour BAKEL, PODOR et KAEDI des courbes indiquant les cotes de plans d'eau en fonction de la racine carrée de la pente ($\sqrt{i}$ étant proportionnel au débit) des lignes d'eau (années 1936, 1944 et 1956).

2. RESULTATS A BAKEL

Au voisinage de BAKEL, $\sqrt{i}$ et la hauteur moyenne du lit sont respectivement 0,00565 et + 11 m. Dans nos courbes ci-jointes, les crues sont représentées par les courbes en traits continus et décrues par les courbes en traits interrompus. Nous remarquons qu'au début de la crue, $\sqrt{i}$ s'accroît et atteint une valeur maximum de 0,00625 pour une cote de plan d'eau + 14 m. Par la suite, plus le niveau monte, plus $\sqrt{i}$ décroît pour atteindre une valeur minimum de 0,0058 entre les cotes de plan d'eau de + 17 et + 18 m. Au-dessus de la cote +18m,



Variation de pente des lignes d'eau en fonction des niveaux d'eau

- VI -
RECHERCHE D'UN SITE POUR UN PETIT BARRAGE AMONT

1. POSITION DU PROBLEME

Quelle que soit la conclusion à laquelle on parviendra par la suite au sujet du barrage de GOUINA, il semble qu'il soit intéressant d'établir, dans un avenir très proche, un petit barrage dans la zone amont du bassin versant.

Ce barrage serait beaucoup plus modeste, avec une retenue de l'ordre de 300 millions de m3; son rôle serait de restituer, au printemps, l'eau nécessaire pour le démarrage des cultures irriguées.

Il importe de RECHERCHER DES MAINTENANT UN SITE DE BARRAGE SATISFAISANT.

Dans cette note, nous examinons très rapidement les diverses possibilités, soit (Cf. carte jointe) :

Sur le SENEGAL, à GOUINA même,
Sur le SENEGAL, entre BAKEL et KAYES,
Sur le SENEGAL, entre KAYES et GOUINA,
Sur le SENEGAL, le BAFING ou le BAKOY, en amont de GOUINA,
Sur la FALEME,
Sur le GORGOL.

2. EMPLACEMENT A GOUINA MEME

Cet emplacement doit être examiné en priorité, car c'est incontestablement le mieux connu.

Le barrage serait implanté à une centaine de mètres en amont des chutes et comporterait deux parties :

Une zone centrale déversante ayant la largeur du lit, soit 600 m, et une hauteur de 18 m, et construite par exemple en béton ou maçonnerie;

Deux zones latérales non déversantes, d'une longueur totale de 770 m, constituées, par exemple, en enrochements avec masque amont.

Une crue de 8000 m3/s pourrait être évacuée, dont 500 m3/s par les vannes de fond et 7500 m3/s par déversement en tête sous une charge de 3,20 m.

Les avantages seraient les suivants :

les fondations sont saines,

on pourrait établir une centrale de 11 000 CV permanents,

le petit barrage pourrait, éventuellement, servir de batardeau pour le grand, par la suite.

Mais les inconvénients sont notables :

la capacité ne serait que de 200 millions de m3 environ;

le remous serait d'environ 0,50 m à BAFOULABE; cette ville devrait être protégée par des digues;

le volume de matériaux à mettre en place serait important (200 000 m3), eu égard à la capacité de la retenue;

la voie ferrée devrait être déviée sur une dizaine de kilomètres;

au total, le prix de l'ouvrage serait de l'ordre de 3 milliards CFA.

EN CONCLUSION, le SITE DE GOUINA, qui est favorable à la réalisation d'un grand barrage avec production électrique et emmagasinement d'eau important, CONVIENT MAL A L'EDIFICATION D'UN BARRAGE MODESTE.

3. EMPLACEMENT ENTRE BAKEL ET KAYES

Entre BAKEL et KAYES, le SENEGAL comporte de nombreux seuils, qui ont été inventoriés dans le compte rendu d'activité UHEA de 1952.

Certains d'entre eux présenteraient des affleurements rocheux plus ou moins importants. Ce sont, d'amont en aval, les seuils de :

- ORTOGOTEL,
  DIAKANDAPE,

TAMBOUKANE,
AMBIDEDI,
KABOU,
KOUNGANI,
BAKEL.

Les cinq premiers seuils n'ont pas fait l'objet d'études d'taillées; d'ailleurs ceux qui sont situés le plus en amont risquent de provoquer un remous important à KAYES.

- Seuil de BAKEL

Le seuil de BAKEL a été examiné par la Mission COYNE et BELLIER dans l'optique de la réalisation d'une retenue de l'ordre de 4 milliards de m3; les conclusions de cette étude doivent être transposées à une retenue de 300 millions de m3.

En première analyse, on peut avancer quelques appréciations rapides :

Avantages

Un bon ancrage latéral,

Retenue de 300 millions de m3 obtenue pour une faible hauteur de barrage,

Pas de déplacement de la voie ferrée,

Action à la fois sur les apports de la FALEME et du SENEGAL.

Inconvénients

Topographiquement, conditions difficiles pour l'évacuation des crues,

Par suite de la grande superficie de la retenue, pertes importantes par évaporation.

La nature du terrain du fond du lit n'est pas connue. Une reconnaissance complète par sondages serait nécessaire pour fixer ne serait-ce qu'un simple ordre de grandeur de la dépense.

- Seuil de KOUNGANI

Le seuil de KOUNGANI a fait également l'objet de diverses recherches (UHEA, MAS, COYNE et BELLIER).

Les avantages et inconvénients seraient les mêmes qu'à BAKEL, avec toutefois des conditions topographiques et géologiques plus favorables en ce qui concerne l'assise de l'ouvrage et l'évacuation des crues.

Là aussi, une campagne de reconnaissance du fond du lit serait nécessaire pour qu'il soit possible de chiffrer la dépense totale.

Enfin, tous les emplacements situés entre BAKEL et KAYES présentent l'inconvénient qu'un barrage réalisé en l'un de ces endroits risquerait de noyer les terres assez bonnes de la vallée.

4. EMPLACEMENT ENTRE KAYES ET GOUINA

Dans ce secteur, un seuil a déjà été équipé, avec petit barrage et usine, CELUI DU FELOU. Il est peut-être possible de surélever le barrage, ce qui permettrait sans doute d'obtenir à peu de frais un certain gain d'énergie électrique. L'importance de la retenue et la valeur de la surélévation à envisager ne sont pas connues.

Il existe peut-être d'autres seuils en amont des chutes du FELOU. Pour certains d'entre eux, il est possible qu'apparaîssent les inconvénients suivants :

Retenue limitée par les chutes de GOUINA en amont, d'où nécessité de réaliser un barrage relativement élevé pour obtenir la capacité désirée.

Déviation de la voie ferrée.

5. EMPLACEMENT EN AMONT DE GOUINA SUR LE SENEGAL, LE BAKOY OU LE BAFING

- Sur le SENEGAL, entre GOUINA et BAFOULABE, il semble que divers seuils puissent être trouvés. Un seul d'entre eux a été repéré : celui de GALOUGO*, à 20 km de GOUINA, qui a fait l'objet d'un examen de la part de la Mission COYNE et BELLIER.

---

* . En fait, il existe deux seuils assez semblables, distants de quelques kilomètres.

La conclusion de cette mission est qu'en cet endroit le volume de matériaux et le coût d'un grand barrage seraient probablement beaucoup plus faibles qu'à GOUINA; par contre, la production d'énergie électrique serait moins importante.

Pour un petit barrage, les conclusions seraient sans doute les mêmes.

Par ailleurs :

le problème de la protection de BAFOULABE et celui de la déviation de la voie ferrée se poseraient également, comme pour GOUINA;

le barrage de GALOUGO serait noyé dans la retenue du grand barrage de GOUINA, si celui-ci se fait ultérieurement.

Au total, il est actuellement difficile de dire si le site de GALOUGO serait plus favorable que celui de GOUINA pour l'édification d'un petit barrage.

- Sur le BAKOY ou le BAFING, on peut sans doute trouver des seuils rocheux où édifier un barrage de faible largeur; par contre, le resserrement de la vallée et la pente assez forte du lit conduiraient peut-être à adopter une assez grande hauteur pour obtenir les 300 millions de m3 nécessaires.

6. EMPLACEMENT SUR LA FALEME

La FALEME présente de nombreux seuils rocheux. L'un d'eux pourrait sans doute convenir, à condition qu'il soit situé en amont du village de KIDIRA et du pont ferroviaire.

Les avantages seraient, a priori, les suivants :

Largeur modérée (200 m peut-être),

Crues plus faibles que sur le SENEGAL (évacuateur étudié pour 3000 m3/s contre 8000 m3/s à GOUINA),

La construction d'un barrage sur la FALEME ne poserait pas d'hypothèque pour la construction ultérieure d'un grand barrage sur le HAUT-SENEGAL.

7. EMPLACEMENT SUR LE GORGOL

Un emplacement de barrage se trouve à la passe de GLEÏTA, près de MBOUT.

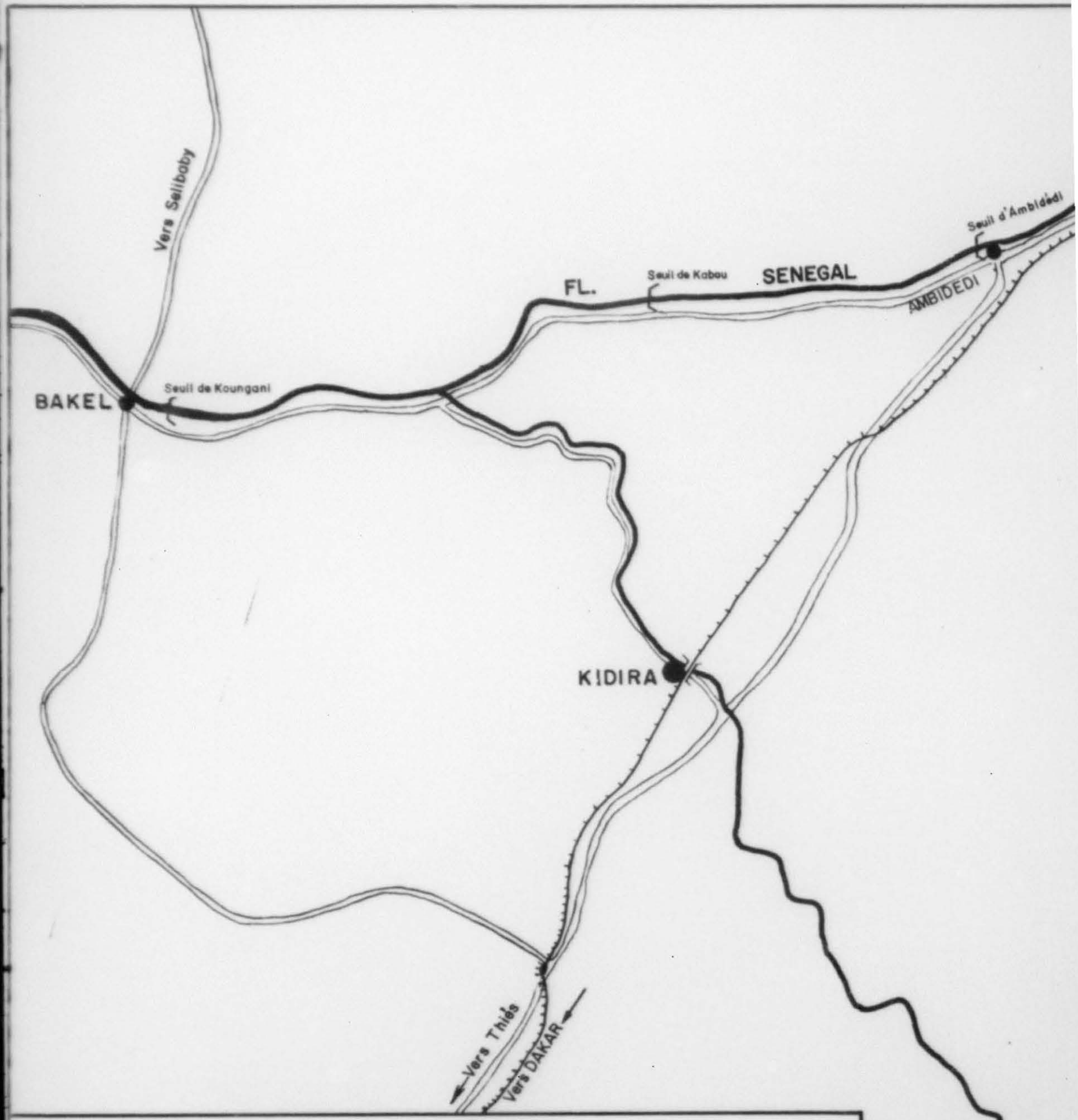
Nous ne le mentionnons que pour mémoire, car il est déjà étudié par la MAURITANIE en vue d'une mise en valeur locale.

8. CONCLUSION

Cet examen rapide, basé sur des données très sommaires, ne peut conduire au choix motivé d'un site pour le petit barrage amont.

Il semble seulement que le cours de la FALEME, en amont de KIDIRA, se présente sous un angle assez favorable.

UNE CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE TRES COMPLETE EST NECESSAIRE.

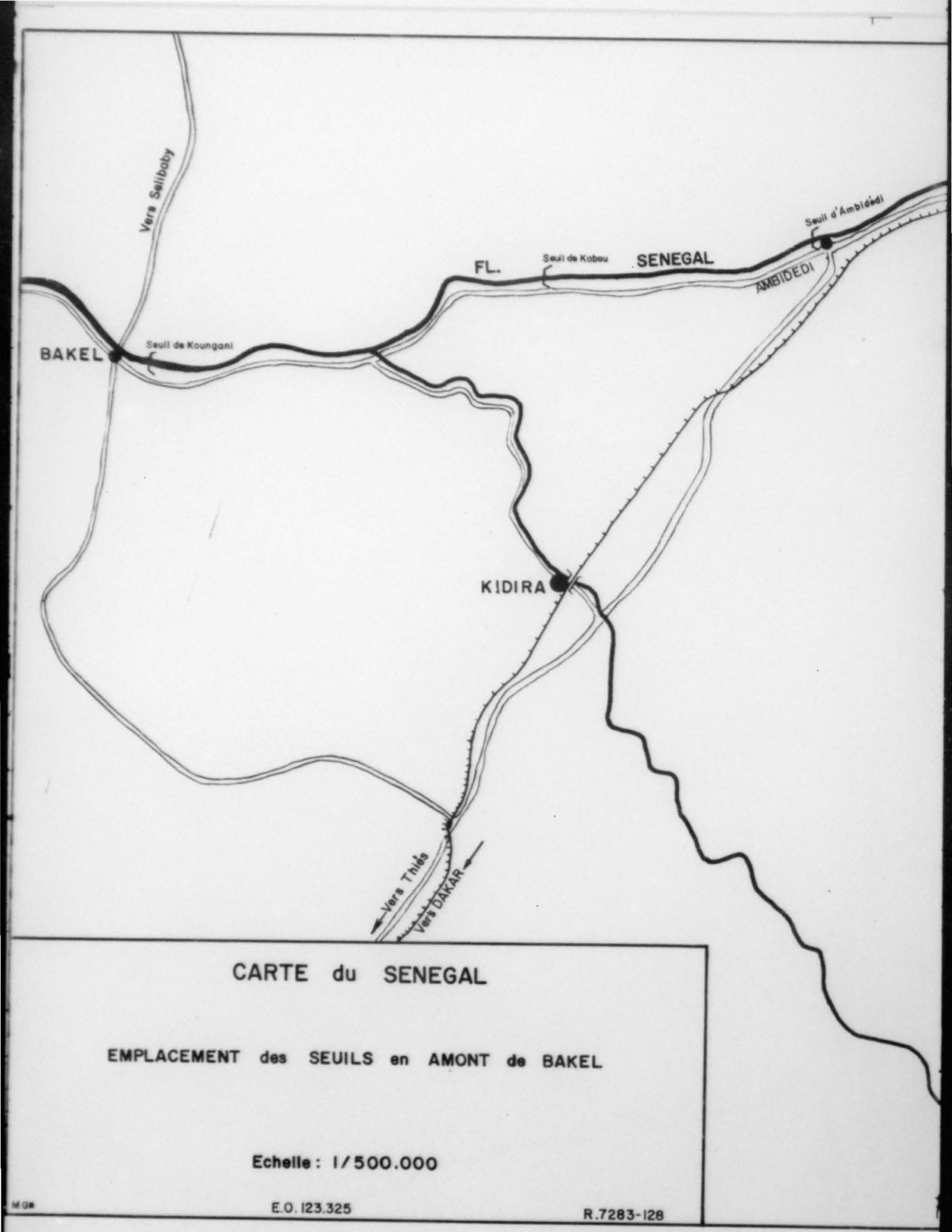


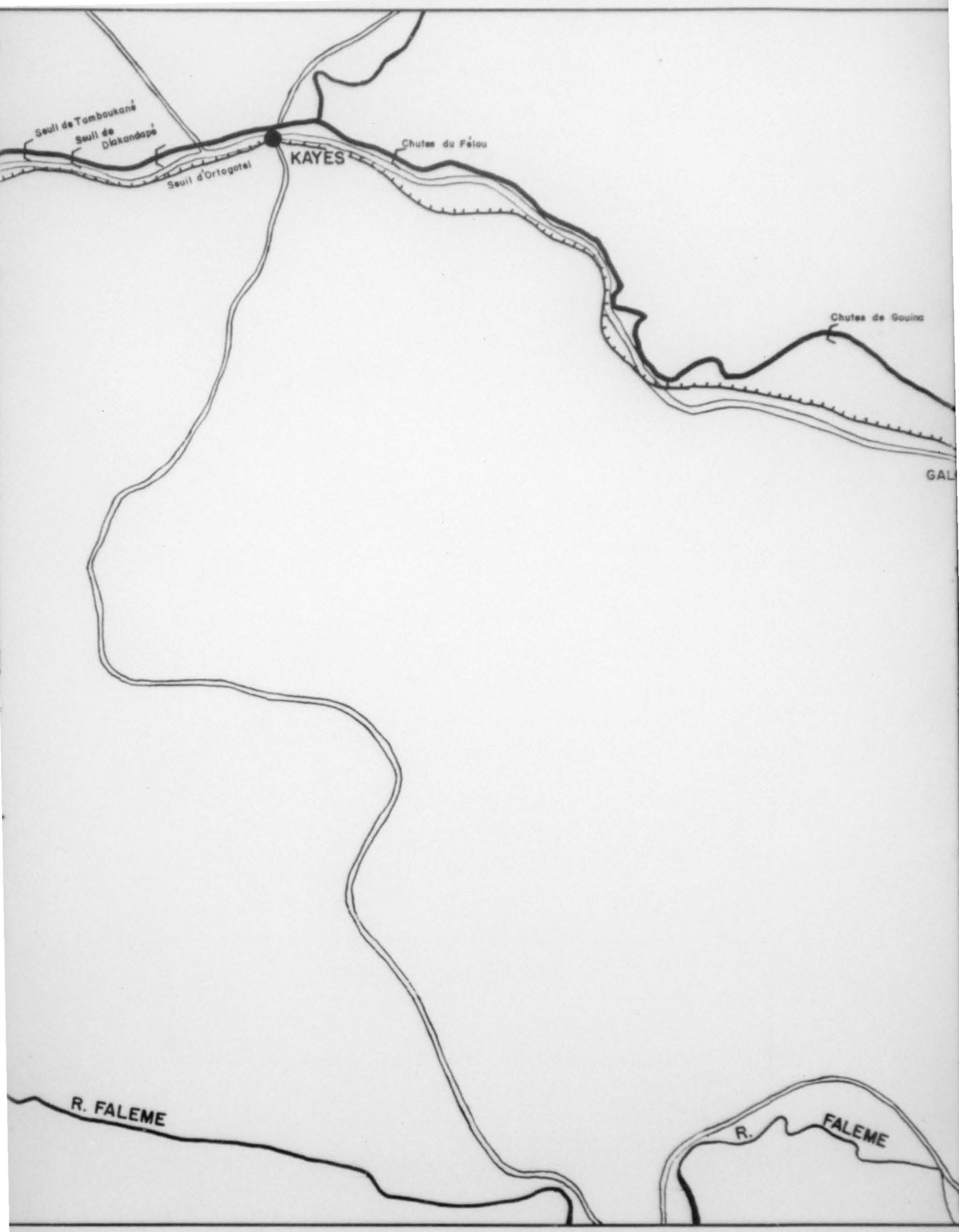
CARTE du SENEGAL

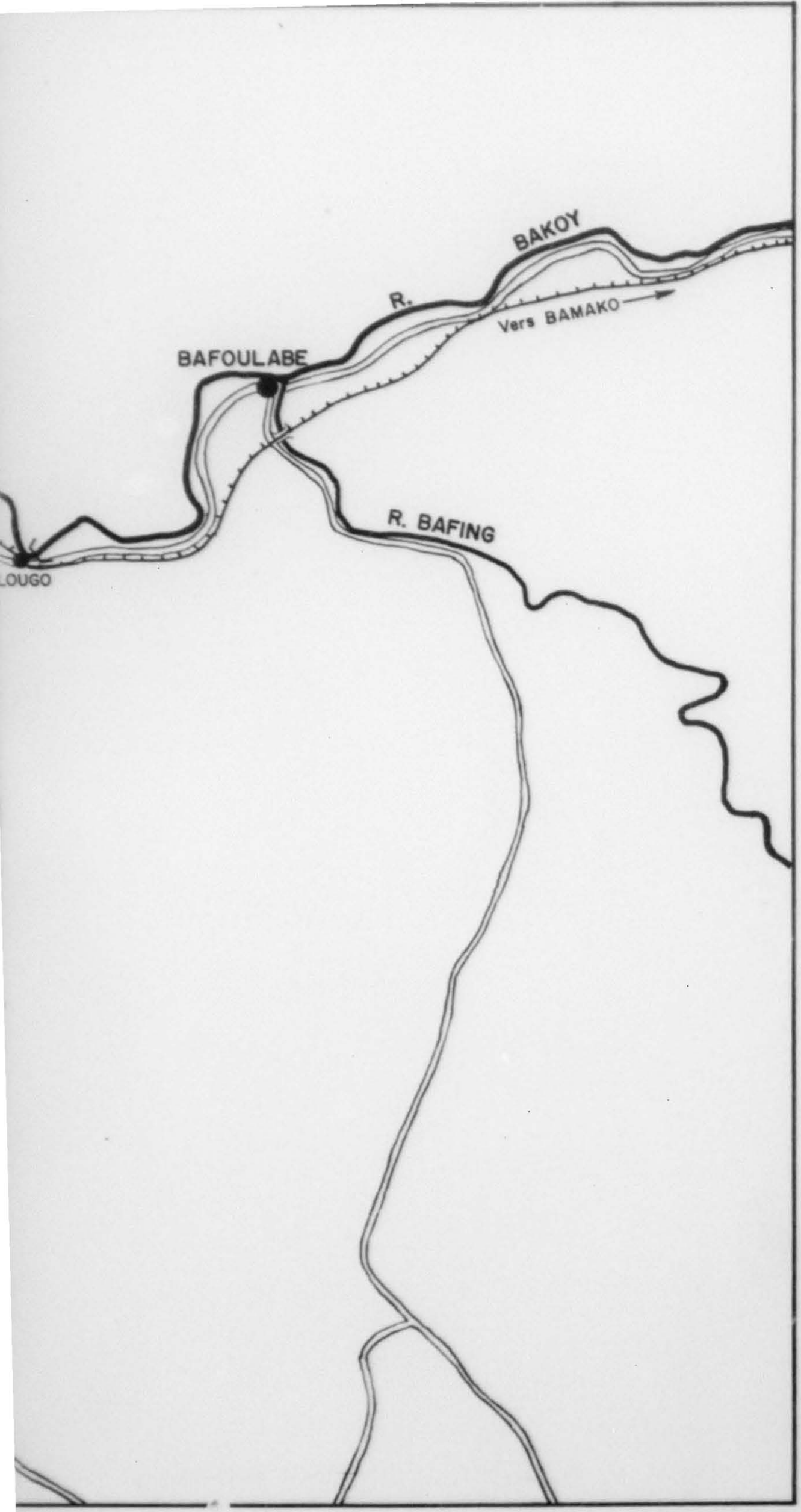
EMPLACEMENT des SEUILS en AMONT de BAKEL

Echelle : 1/500.000

MGB E.O. 123.325 R.7283-128

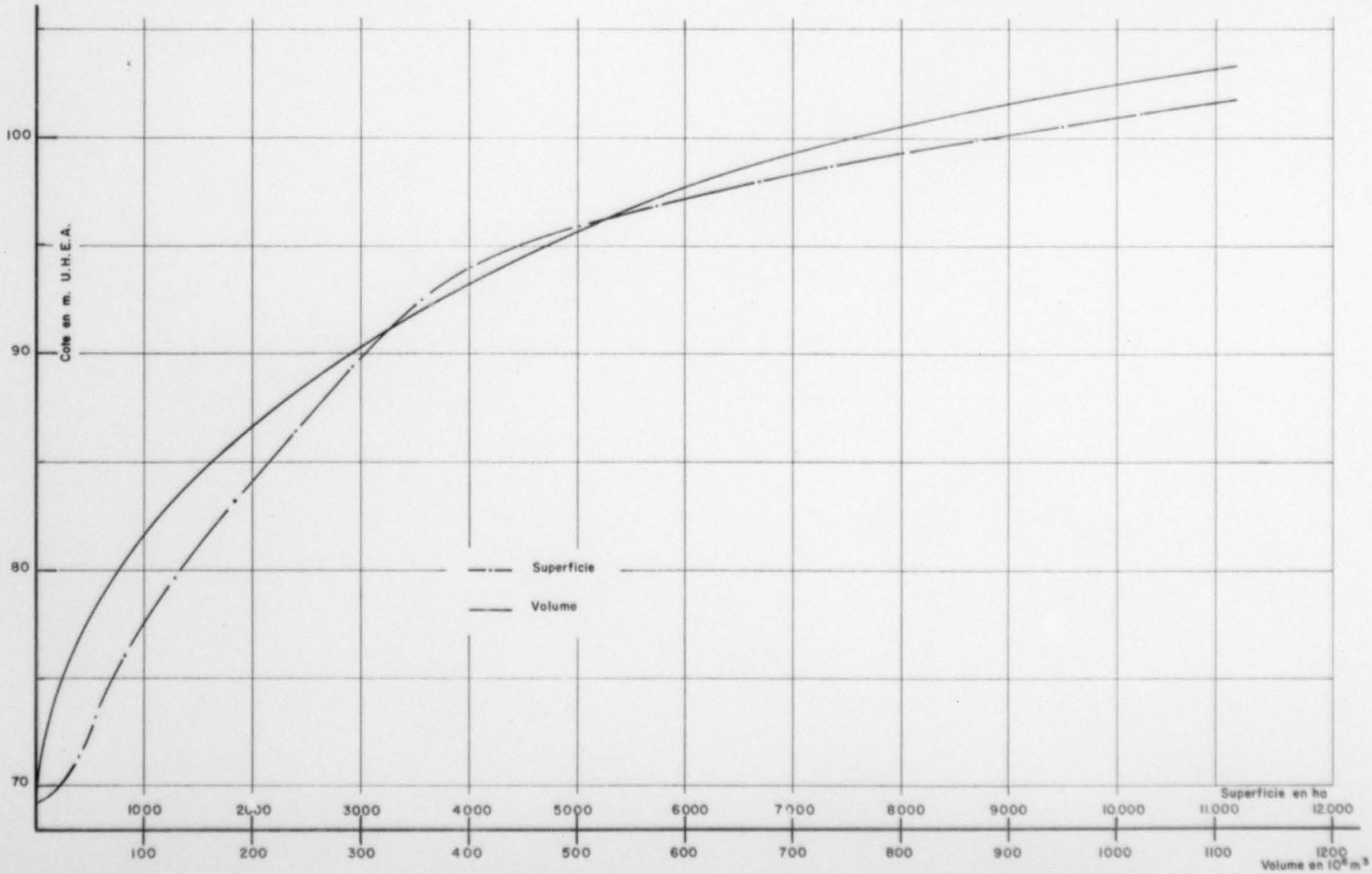

Vers Selibaby
Seuil d'Ambidédi
Seuil de Kabou
SENEGAL
FL.
AMBIDEDI
BAKEL
Seuil de Koungani
KIDIRA
Vers Thiès
Vers DAKAR
CARTE du SENEGAL
EMPLACEMENT des SEUILS en AMONT de BAKEL
Echelle : 1/500.000
E.O. 123.325
R.7283-128


Seuil de Tomboukané
Seuil de Diakandapé
Seuil d'Ortogotel
KAYES
Chutes du Félou
Chutes de Gouina
GAL
R. FALEME
R.
FALEME


BAKOY
R.
Vers BAMAKO
BAFOULABE
R. BAFING
LOUGO

PETIT BARRAGE de GOUINA

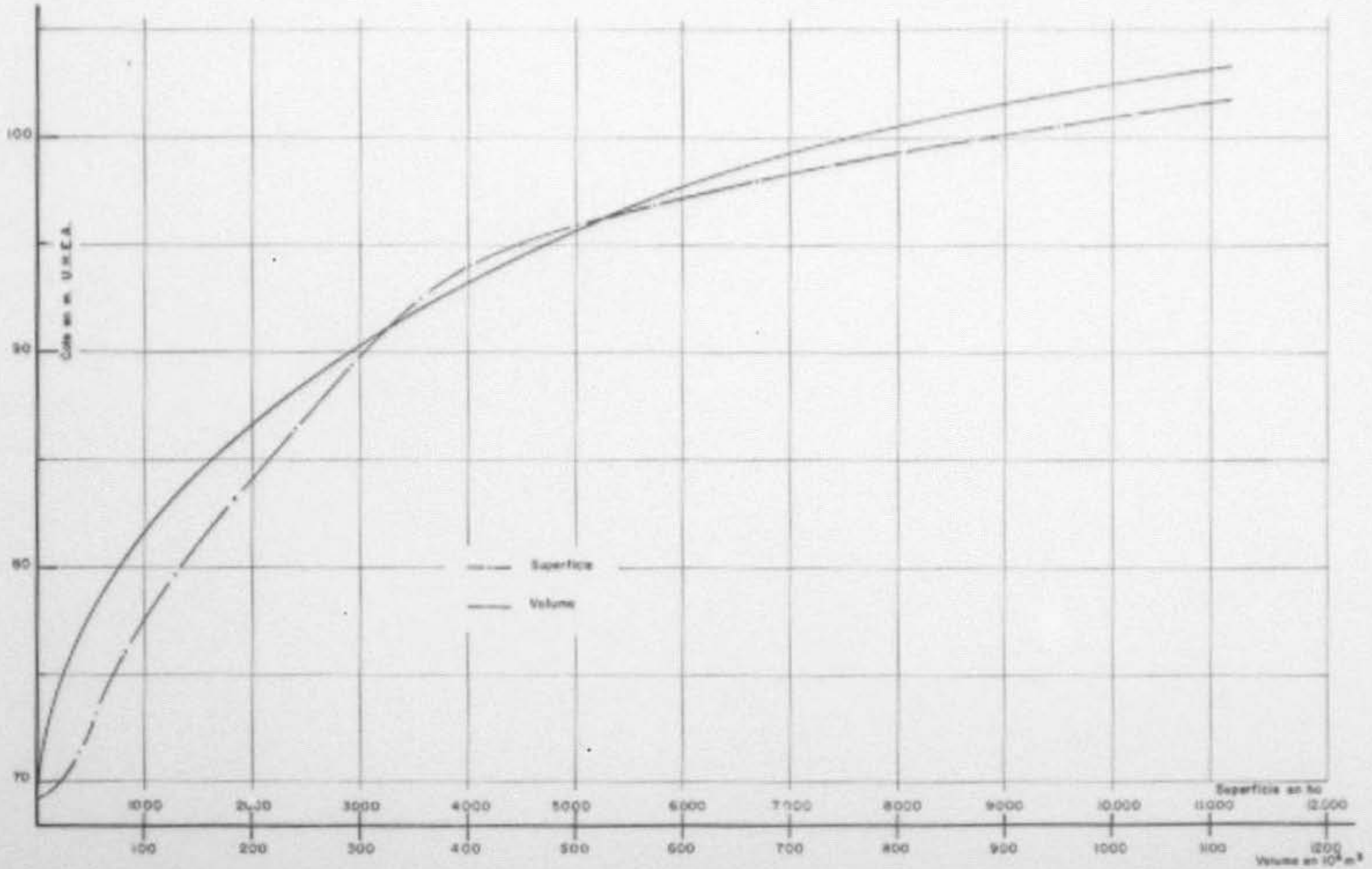
Variation de la superficie et du volume en fonction de la cote du plan d'eau



M.Gn. E.0.123.280 R.7283-129

PETIT BARRAGE de GOUINA

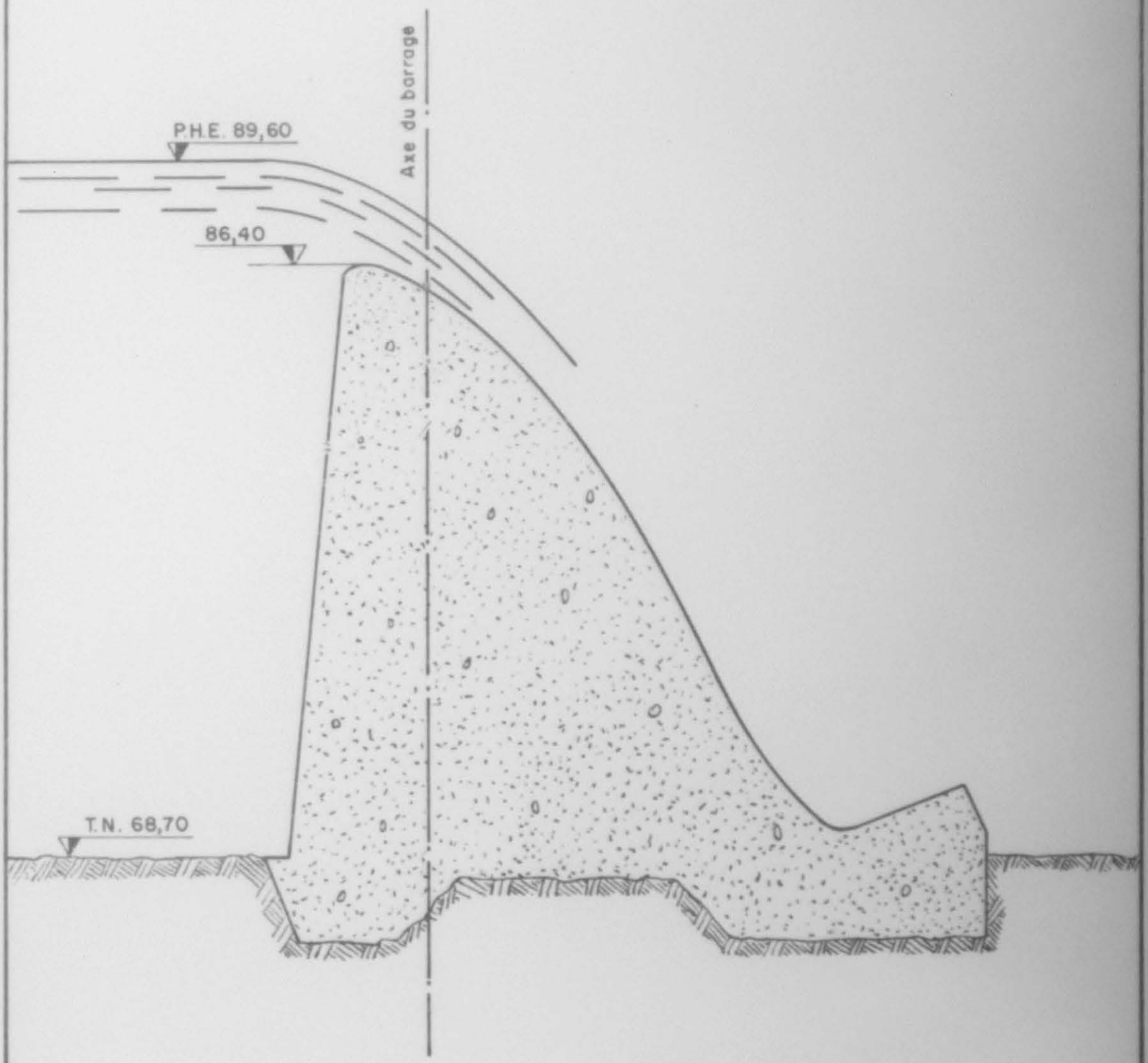
Variation de la superficie et du volume en fonction de la cote du plan d'eau



PETIT BARRAGE de GOUINA

Coupe de la zone deversante

Echelle : 1/200



M.Gn E.0.123.281 R.7283-130

- VII -

POMPAGES DANS LE SENEGAL EN VUE DE L'IRRIGATION DES CASIERS PILOTES

1. POSITION DU PROBLEME

La réalisation de cultures irriguées dans la vallée exige la fourniture d'un volume d'eau important en étiage avant l'arrivée de la crue.

CE VOLUME D'EAU PEUT-IL ETRE OBTENU PAR POMPAGE DANS LE SENEGAL ?

2. BESOINS EN EAU POUR LES CULTURES IRRIGUEES

Dans l'Annexe I (Agronomie), les besoins en eau théoriques ont été chiffrés pour les différentes cultures irriguées dont la mise en route peut être envisagée, soit :

Riz en semis direct,
Riz repiqué,
Maïs et sorgho irrigués,
Coton,
Canne à sucre,
Cultures fruitières et maraîchères,
Engrais vert.

Le choix parmi ces différentes cultures ne pourra être fait qu'en fonction de nombreux facteurs à la fois agropédologiques et humains, sociaux, économiques, financiers.

Toutefois, pour amorcer la discussion, on peut, dès maintenant, proposer trois schémas rationnels possibles d'équipement (Cf. Annexe I) :

		Superficie
SCHEMA I	Canne à sucre	4/30
	Riz en semis direct	5/30
	Coton	7/30
	Maïs, sorgho ou haricot d'hivernage	7/30
	Engrais verts	7/30

SCHEMA II { Identique au schéma I, mais avec riz repiqué au lieu de riz en semis direct.

		Superficie
SCHEMA III	Riz repiqué	1/2
	Coton	1/6
	Maïs, sorgho ou haricot de saison sèche	1/6
	Engrais verts	1/6
	Avec de plus, en culture dérobée :	
	Maïs, sorgho ou haricot de saison sèche	1/6

Les besoins en eau correspondant à ces trois schémas sont rappelés dans le tableau I ci-joint. On y a indiqué les débits mensuels nécessaires pour :

1 ha,

5000 ha (superficie minimum viable pour un casier-pilote),

30 000 ha (superficie minimum probable de la phase d'équipement, dite des casiers).

A partir de ces chiffres théoriques, on a déterminé mensuellement les besoins en eau effectifs probables correspondant à l'adoption d'un coefficient de sécurité raisonnable. Dans ce but :

- Pour chaque mois, on a noté les chiffres les plus forts parmi ceux des trois schémas proposés*; ces chiffres restent inférieurs à ceux que donnerait la culture plus exigente en eau étendue à la totalité des casiers.

- Ces chiffres ont été majorés de 50 % afin de tenir compte :

  de l'incertitude due au caractère théorique de la détermination des besoins en eau,

  de l'importance probable des pertes par infiltration dans les canaux et par évaporation.

Les besoins en eau admis effectivement sont présentés dans le tableau II.

---

* Ces chiffres sont soulignés dans le tableau I

3. DEBITS D'ETIAGE DU SENEGAL

Pendant les 3/4 de l'année environ, les débits du SENEGAL sont considérablement plus forts que les besoins en eau. Il n'y a donc pas de difficulté théorique à irriguer les casiers-pilotes par pompage dans le fleuve.

Par contre, pour la période d'étiage (correspondant aux mois d'Avril à Juin), la question doit être examinée de plus près.

Les débits d'étiage ne peuvent être déterminés dans la basse vallée (influence de la marée); ils sont très mal connus dans la vallée moyenne.

Il y a donc lieu d'utiliser les observations faites à la station de BAKEL dans la partie supérieure de la vallée. En cet endroit, des mesures limnimétriques sont effectuées depuis 1901, mais c'est seulement depuis 1950 que la période annuelle d'observation comprend la période d'étiage. La courbe de tarage permet de déterminer les débits correspondants; dans le Tableau III, on a indiqué les débits journaliers du SENEGAL du 1er Avril au 15 Juin pour la période 1951-1955 (d'après les Annuaires Hydrologiques de la France d'Outre-Mer).

Les débits d'étiage dans la partie moyenne de la vallée ont été admis égaux à ceux de BAKEL.

En fait, il faudrait peut-être, certaines années, majorer légèrement les chiffres de BAKEL pour tenir compte de :

En aval de KAEDI, de l'apport d'étiage du GORGOL;

D'un léger gain dû à la différence entre l'apport des nappes souterraines et l'évaporation (Cf. Rapport M.A.S., Chapitre II, page 63). Mais cette correction n'existe que pour les étiages résultant de grandes crues. Pour les étiages qui suivent les crues faibles, cette correction peut être nulle ou négative : il est donc prudent de ne pas en tenir compte.

4. POMPAGE DANS LE SENEGAL EN PERIODE D'ETIAGE

Malgré leur précision limitée, les éléments précédents permettent de comparer, pour la période d'étiage, les besoins en eau effectifs pour 30 000 ha et le débit du SENEGAL.

Pour les années 1950 à 1955

- Les besoins en eau sont supérieurs au débit du SENEGAL :

du 1er Avril au 31 Mai 1950	.....	60 j*
du 18 Avril au 6 Juin 1951	.....	30 j
du 1er Mai au 14 Juin 1952	.....	45 j
du 20 Avril au 15 Juin 1953	.....	35 j
du au 26 Mai 1954	.....	indéterminé

Par contre, en 1955, ils lui sont nettement inférieurs.

Pour tenir compte des années très déficitaires (car la période 1950-1955 correspond à une pluviométrie supérieure à la moyenne), on admettra que LES BESOINS EN EAU PEUVENT ETRE SUPERIEURS AU DEBIT DU SENEGAL ENTRE LER 1er AVRIL ET LE 15 JUIN, SOIT PENDANT 2 MOIS 1/2.

- Les besoins en eau du 1er Avril au 15 Juin valent :

En Avril :	15,3 x 31 x 86 400	41 millions m3
En Mai :	18,9 x 30 x 86 400	49 millions m3
En Juin :	25,7 x 15 x 86 400	33 millions m3
Soit au total, environ	.....	125 millions m3

- Apports du SENEGAL, du 1er Avril au 15 Juin :

En Avril 1950	31,1 millions m3
En Mai 1951	8,3 millions m3
En Juin 1953	0,4 millions m3
Soit au total, environ	40 millions m3

Pour une année d'étiage sévère, ce chiffre pourrait tomber facilement à 15 MILLIONS DE M3 ENVIRON.

- Déficit du débit du SENEGAL par rapport aux besoins en eau, du 1er Avril au 15 Juin

Pour une année d'étiage sévère, ce déficit pourrait être de :

125 millions m3 - 15 millions m3 = 110 millions de m3

---

* Chiffres peu précis.

Equipement de pompage complexe et peu rentable,

Obligation d'adopter pour chaque casier-pilote des superficies limitées, certainement inférieures à 5000 ha, superficie qui semble être l'ordre de grandeur du minimum viable,

Implantation préférentielle des casiers-pilotes au voisinage des fosses les plus importantes,

Enfin, risque d'assèchement de grandes parties de rivières ou marigots, entrainant une perturbation redoutable dans l'abreuvement du bétail.

Au total, ON RISQUERAIT DE S'IMPOSER AU DEPART DE LOURDES SUJETIONS DANS LA REALISATION DES CASIERS-PILOTES ET DE COMPROMETTRE GRAVEMENT LA VALEUR DE L'EXPERIMENTATION.

Le pompage dans le SENEGAL dans de telles conditions semble difficilement justifié.

5. NECESSITE DE CONSTRUCTION D'UN BARRAGE EN AMONT

Le pompage dans le SENEGAL ne semble pouvoir être réalisé de façon satisfaisante que si le débit du SENEGAL est constamment supérieur aux besoins en eau.

Un tel résultat ne peut être obtenu que par l'édification d'un barrage en amont de la zone irrigable, soit dans le haut-bassin*.

Le volume à fournir en étiage n'étant que de 110 millions de m3, une petite capacité suffisait. En adoptant une nouvelle marge de sécurité, on aboutit à UNE CAPACITE UTILE DE 200 MILLIONS DE M3.

6. REMARQUE COMPLEMENTAIRE

Il faut noter toutefois que le pompage dans le SENEGAL en étiage, en l'absence de tout barrage amont, serait sans doute acceptable pour la mise en valeur d'une superficie réduite, 5000 ha par exemple.

Il y a donc là une solution satisfaisante pour la mise en route rapide d'un premier casier-pilote, pendant la période préliminaire de prospection d'un emplacement de barrage et de construction de l'ouvrage.

---

* Le cas du Lac de GUIERS n'est pas examiné ici.

BESOINS EN EAU THEORIQUES POUR DIVERS SCHEMAS D'EQUIPEMENT

(exprimés en l/s pour 1 ha, et en m3/s pour 5000 et 30 000 ha)

TABLEAU 1

Superficie irriguée (ha)	Schémas	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	I	0,14	0,15	0,17	0,34	0,42	0,57	0,90	0,26	0,50	0,65	0,38	0,32
	II	0,14	0,15	0,17	0,20	0,21	0,48	0,97	0,39	0,50	0,65	0,38	0,32
	III	0,35	0,20	0,21	0,27	0,06	0,14	1,48	0,94	0,70	0,71	0,27	0,12
5000	I	0,70	0,75	0,85	1,70	2,10	2,85	4,50	1,30	2,50	3,25	1,90	1,60
	II	0,70	0,75	0,85	1,00	1,05	2,40	4,85	1,95	2,50	3,25	1,90	1,60
	III	1,75	1,00	1,05	1,35	0,30	0,70	7,40	4,70	3,50	3,55	1,35	0,60
30 000	I	4,20	4,50	5,10	10,20	12,60	17,10	27,00	7,80	15,00	19,50	11,40	9,60
	II	4,20	4,50	5,10	6,00	6,30	14,40	29,10	11,70	15,00	19,50	11,40	9,60
	III	10,50	6,00	6,30	8,10	1,80	4,20	44,40	28,20	21,00	21,30	8,10	3,60

Pour chaque superficie, les besoins maxima sont encadrés.

BESOINS EN EAU EFFECTIFS ADMIS POUR DIVERSES SUPERFICIES

(exprimés en l/s pour 1 ha, et en m3/s pour 5000 et 30 000 ha)

TABLEAU 2

Surface irriguée (ha)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0,52	0,30	0,32	0,51	0,63	0,86	2,22	1,41	1,05	1,07	0,57	0,48
5000	2,60	1,50	1,60	2,60	3,20	4,30	7,30	7,10	5,30	5,30	2,90	2,40
30 000	15,80	9,00	9,40	15,30	18,90	25,70	43,70	42,30	31,50	32,00	17,10	14,40

BESOINS MENSUELS MOYENS ET DEBITS DU SENEGAL
(1er Avril au 30 Juin)

TABLEAU III

Date	Besoins mensuels moyens en eau (m3/s)		Débits SENEGAL (m3/s)					
	Pour 5000 ha	Pour 30 000 ha	1950 (moyenne mensuelle)	1951	1952	1953	1954	1955
1er Avril				31	50	27	-	59
2 Avril				30	49	25	-	58
3 Avril				29	48	25	-	57
4 Avril				28	47	24	-	54
5 Avril				27	46	30	-	53
6 Avril				26	45	29	-	52
7 Avril				25	43	29	-	50
8 Avril				24	42	28	-	50
9 Avril				23	41	27	-	49
10 Avril				22	40	26	-	48
11 Avril				22	39	25	-	48
12 Avril				21	38	25	-	46
13 Avril				20	37	24	-	46
14 Avril				19	36	23	-	47
15 Avril				18	35	23	-	46
16 Avril	2,6	15,3	12	17	34	20	-	45
17 Avril				16	32	19	-	51
18 Avril				15	31	18	-	54
19 Avril				14	30	18	-	53
20 Avril				13	29	15	-	59
21 Avril				13	28	14	-	61
22 Avril				12	27	13	-	63
23 Avril				11	25	13	-	57
24 Avril				10	24	13	-	54
25 Avril				10	23	12	-	53
26 Avril				9	22	5,7	-	52
27 Avril				8	21	9,2	-	51
28 Avril				7,5	20	8,5	-	51
29 Avril				7	19	7,1	-	50
30 Avril				6,5	18	5,7	-	44

Date	Besoins mensuels moyens en eau (m3/s)		Débit SENEGAL (m3/s)					
	Pour 5000 ha	Pour 30 000 ha	1950 (moyenne mensuelle)	1951	1952	1953	1954	1955
1er Juin				5,5	4	0,0	40	54
2 Juin				5,5	4	0,0	40	77
3 Juin				5	4,5	0,0	35	87
4 Juin				5	4,5	0,0	45	87
5 Juin				8	5	0,2	83	91
6 Juin				24	5	0,5	105	98
7 Juin				33	5	0,5	110	99
8 Juin				35	5	0,5	115	101
9 Juin				37	5,5	0,5	120	105
10 Juin				38	6	0,5	135	102
11 Juin				40	6,5	0,5	200	103
12 Juin				45	7	0,5	350	103
13 Juin				47	8	0,2	465	109
14 Juin				50	23	0,2	510	146
15 Juin	4,3	25,7	29	52	30	0,0	485	157
16 Juin				55	32	164	450	187
17 Juin				58	33	240	405	199
18 Juin				66	31	246	350	226
19 Juin				80	31	236	325	246
20 Juin				88	39	236	315	294
21 Juin				96	52	236	300	304
22 Juin				103	73	232	275	412
23 Juin				107	78	230	400	460
24 Juin				116	65	227	520	485
25 Juin				115	58	232	450	474
26 Juin				112	49	238	400	457
27 Juin				110	46	240	300	463
28 Juin				105	46	262	285	463
29 Juin				106	55	264	265	463
30 Juin				114	74	266	230	429

- VIII -

PROBLEMES D'ORDRE HYDROGEOLOGIQUE QUE PEUT POSER L'AMENAGEMENT DE LA VALLEE ET DU DELTA

1. ETUDES DEJA EFFECTUEES

La Mission d'Aménagement du SENEGAL a amorcé quelques études des nappes souterraines, particulièrement dans le delta. Des résultats partiels peuvent être trouvés dans les ouvrages suivants :

J. DUBOIS —— Expériences de DEBI. Note interne de la MAS.

J. DUBOIS —— Projet d'aménagement des cuvettes centrales du Delta du SENEGAL.

J. DUBOIS —— Etudes sur le drainage et la migration du sel à RICHARD TOLL, 1955.

J. DUBOIS —— Relevés des piézomètres du delta du SENEGAL. Documents internes de la MAS, 1957-1958.

ARCHAMBAULT —— Données pour servir à l'étude de la nappe du delta du SENEGAL, 1954.

La reconnaissance du cadre géologique et géomorphologique peut être trouvée dans les ouvrages déjà cités, Annexe I, Agronomie.

On peut y ajouter de rares coupes de sondages, en particulier celles des deux sondages effectués par SASIF à RICHARD-TOLL.

Pour la vallée, on trouve des renseignements sur les nappes et la constitution géologique dans la publication de :

DEGALLIER et ELOUARD L'eau dans l'Ouest Mauritanien et le BAS-SENEGAL.

ARCHAMBAULT —— Rapport sur les éléments d'un équipement hydraulique de la basse Mauritanie, Février 1950.

EDMAD et ROMAD — Carte des affleurements géologiques en bordure de la vallée au 1/200 000, 1955.

DEGALLIER —— Hydrologie du FERLO Septentrional, 1954.

2. POSITION ACTUELLE DES PROBLEMES

Il convient d'examiner séparément les problèmes qui se posent dans le Delta et dans la Vallée du SENEGAL, car ils sont de nature assez différente.

Le Delta

Les études déjà réalisées, bien qu'encore trop restreintes en regard des superficies en cause, ont cependant permis de dégager des premières idées sur le régime des nappes du delta.

Il semble que, sur la majeure partie du delta, on trouve sous une couche superficielle à prédominance argileuse et très peu perméable, des horizons sableux relativement épais et perméables.

La nappe qui existe dans ces sables est pratiquement horizontale et très salée. On a beaucoup discuté sur l'origine de cette salure. En fait, il importe peu de savoir si le sel est contemporain des dépôts ou s'il est dû à des infiltrations d'eaux marines. Il est probable que ces deux causes ont pu jouer et si la première n'avait pas existé, la seconde aurait suffi pour aboutir à l'état final actuel qui était le seul possible.

La salure de la nappe entraîne la salure des sols par remontée capillaire et évaporation au cours de la saison sèche qui suit la crue. Cette salure est très inégale et très sensible aux petites différences de niveaux, puisque l'intensité de l'évaporation varie beaucoup avec la profondeur de la nappe sous le sol.

Chaque saison pluvieuse et chaque crue entraînent le lessivage d'une partie du sel ainsi accumulé dans l'horizon superficiel et on peut considérer qu'actuellement une sorte d'équilibre moyen se trouve réalisé.

Il importe de préciser dans quelle mesure cet état de chose est préjudiciable à l'agriculture et quelles seraient les modifications qu'il faudrait lui apporter.

Si on considère que le delta doit être consacré à la riziculture, l'opinion couramment répandue est que la salure de la nappe et du sol intervient peu car le dessalement produit par la submersion est suffisant. Cette opinion devrait être réexaminée à la lumière des expériences en cours à RICHARD-TOLL.

Si on envisage, pour parvenir à un emploi rationnel de la main-d'oeuvre, l'installation de cultures complémentaires pendant les 6 mois laissés libres par la riziculture, il devient très important d'envisager les moyens de dessaler les terres et la nappe, au moins superficiellement. A cet égard, la présence d'une couche assez perméable sous les argiles superficielles constitue un élément très favorable. Les premières études effectuées ont trop souvent conclu à l'impossibilité d'un dessalement en raison de la très faible perméabilité de la couche superficielle. Celle-ci représente certainement un obstacle sérieux, mais probablement pas insurmontable au prix de traitements appropriés destinés à en amémiorer la structure (défucages, amendements, engrais verts, ...) Tout reste à faire dans ce sens.

La Vallée

L40UVrage de M. DEGALLIER et de M. ELOUARD recense les nappes existant dans la Vallée et de part et d'autre de celle-ci, tout en précisant leurs relations.

- La nappe alluviale

  L'origine de la nappe alluviale est à rechercher dans les infiltrations du fleuve, particulièrement lors des crues. Il semble qu'elle se prolonge sous le diéri, et là elle peut sans doute être également alimentée par les infiltrations lors de la saison des pluies. Très douce à l'amont, elle se sale légèrement vers l'aval.

  Dans l'état actuel, la présence de cette nappe ne constitue nulle part un obstacle aux cultures, elle-même est pratiquement partout trop profonde pour leur apporter une aide à la fin de la période végétative, sauf dans les falo et waléré. La suppression des crues et leur remplacement sans autre précaution par des irrigations sur des périmètres de quelque importance risque fort d'entraîner une remontée locale de la nappe sous ces périmètres. Celle-ci peut amener un engorgement du sol et rendre impossible la plupart des cultures, même dans les zones où la nappe est initialement très profonde, car les dépôts alluviaux sont assez hétérogènes dans le détail avec de nombreuses couches argileuses très peu perméables et un apport d'eau important en surface peut entraîner la création de nappes suspendues.

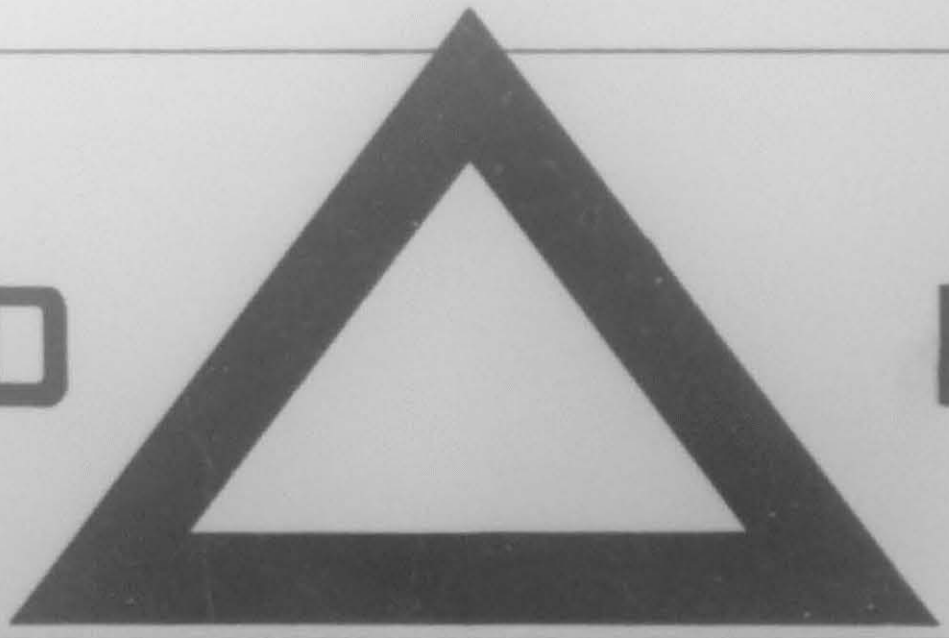
La création de périmètres d'irrigation devra donc être précédée de l'étude des risques de remontée de la nappe et de l'aptitude des sols au drainage.

- Les nappes du FERLO et de MAURITANIE

D'après les études effectuées, tant au SENEGAL qu'en MAURITANIE, il semble que les nappes de ces deux régions soient alimentées par les infiltrations du fleuve. Il est difficile de préjuger de l'influence que pourrait avoir une régularisation des débits du SENEGAL et la suppression des crues. Cette étude reste donc à faire entièrement, si on envisageait la réalisation d'un grand réservoir du type GOUINA

oOo

END



FIN

100 VUES

12 JUIN 1976

04200

FÉDÉRATION DU MALI

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

PRÉSIDENCE DU CONSEIL

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ACTION POUR LE DÉVELOPPEMENT

EXPERTISE RELATIVE AUX ÉTUDES D'AMÉNAGEMENT DU SÉNÉGAL

Première partie

ÉTUDES DU FLEUVE SÉNÉGAL

Annexes

Hydraulique

SOGRÉAH
SOCIÉTÉ GRENOBLOISE D'ÉTUDES ET D'APPLICATIONS HYDRAULIQUES
— GRENOBLE-FRANCE —

SOGETHA
SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DES TECHNIQUES HYDRO - AGRICOLES
— PARIS —

R. 7283

PIÈCE 2. 2

S O M M A I R E

-

I - MODE D'UTILISATION DU BARRAGE DE GOUINA 2

POSITION DU PROBLEME 2

ELEMENTS DE BASE 3

METHODE DE CALCUL 4

RESULTATS 6

CONCLUSION 6

II - NOTE SUR LES ESSAIS DE CALCUL DE CRUES DU SENEGAL SUR MACHINE ELECTRONIQUE 8

POSITION DU PROBLEME 8

DONNEES A NOTRE DISPOSITION 9

MODELE MATHEMATIQUE 9

AJUSTEMENT DU MODELE MATHEMATIQUE 11

RESULTATS 12

CONCLUSION 12

III - MODE D'UTILISATION DU BARRAGE DE DAGANA 13

POSITION DU PROBLEME 13

ETUDE DETAILLEE DES CRUES DE 1944, 1950, 1951 et 1953 14

ETUDE RAPIDE DES CRUES DE 1936 A 1957 17

CONCLUSION 17

IV - MODE D'UTILISATION DU LAC DE GUIERS 18

POSITION DU PROBLEME 18

ELEMENTS DE BASE 19

RESULTATS 19

RECHERCHES COMPLEMENTAIRES 20

V - VARIATION DE PENTE DES LIGNES D'EAU DU SENEGAL POUR LA CRUE ET LA DECRUE 22

POSITION DU PROBLEME 22

RESULTATS A BAKEL 22

RESULTATS A PODOR 23

RESULTATS A KAEDI 23

CONCLUSION 24

VI - RECHERCHE D'UN SITE POUR UN PETIT BARRAGE AMONT 25

POSITION DU PROBLEME 25

EMPLACEMENT A GOUINA MEME 25

EMPLACEMENT ENTRE BAKEL ET KAYES 26

EMPLACEMENT ENTRE KAYES ET GOUINA 28

EMPLACEMENT EN AMONT DE GOUINA SUR LE SENEGAL, LE BAKOY OU LE BAFING 28

EMPLACEMENT SUR LA FALEME 29

EMPLACEMENT SUR LE GORGOL 30

CONCLUSION 30

VII - POMPAGES DANS LE SENEGAL EN VUE DE L'IRRIGATION DES CASIERS-PILOTES 31

POSITION DU PROBLEME 31

BESOINS EN EAU POUR LES CULTURES IRRIGUEES 31

DEBITS D'ETIAGE DU SENEGAL 33

POMPAGE DANS LE SENEGAL EN PERIODE D'ETIAGE 33

REMARQUE COMPLEMENTAIRE 36

VII - PROBLEMES D'ORDRE HYDROGEOLOGIQUE QUE PEUT POSER L'AMENAGEMENT DE LA VALLEE ET DU DELTA 42

ETUDES DEJA EFFECTUEES 42

POSITION ACTUELLE DES PROBLEMES 43

oOo

Cette annexe contient plusieurs études hydrauliques particulières effectuées dans le cadre de l'expertise du fleuve SENEGAL.

Ces études visent à préciser certains points qui n'avaient pas été examinés lors des recherches antérieures; elles n'aboutissent pas à des conclusions définitives, mais apportent cependant des éléments d'appréciation qui pourront être utiles dans l'avenir.

Elles portent sur huit aspects du problème :

Mode d'utilisation du barrage de GOUINA,

Note sur les essais de calcul des crues du SENEGAL sur machines électroniques,

Mode d'utilisation du barrage de DAGANA,

Mode d'utilisation du lac de GUIERS,

Variation de pente des lignes d'eau du SENEGAL en crue et en décrue,

Recherche d'un site pour un petit barrage amont,

Pompage dans le SENEGAL en vue de l'irrigation des casiers-pilotes,

Problèmes d'ordre hydrogéologique que peut poser l'aménagement de la vallée et du delta.

- I -
MODE D'UTILISATION DU BARRAGE DE GOUINA

1. POSITION DU PROBLEME

Rappelons que le site de GOUINA, à 1000 km de la mer, présente des conditions géologiques et topographiques très favorables à l'édification d'un barrage de grande capacité. Ce barrage a été préconisé depuis longtemps par l'UNION HYDRO-ELECTRIQUE AFRICAINE (UHEA).

Trois avantages principaux peuvent être attendus, a priori, de cet ouvrage :

Production d'énergie électrique,
Régularisation interannuelle du SENEGAL,
Modification de la crue annuelle.

Les études antérieures ont porté principalement sur les deux premiers points; elles ont permis d'établir que :

l'utilisation de l'énergie électrique serait encore assez limitée dans l'état économique actuel de la région;

la régularisation interannuelle n'est pas réalisable, même avec une capacité de 16 ou 20 milliards de m3; ceci est dû à la succession de séries d'années sèches et humides*.

Ces constatations amènent à donner au troisième point une importance plus grande qu'on ne le pensait initialement. Et l'intérêt de GOUINA se trouve donc largement lié à la réponse que l'on apportera à la question suivante :

PEUT-ON MODIFIER DE FAÇON SATISFAISANTE LA CRUE ANNUELLE ?

---

* Cf. Rapport général CONNE et BELLIER, 15 Mars 1956.

Le barrage de GOUINA recevrait dans sa retenue 80 % des eaux qui pénètrent dans la vallée à BAKEL (la FALEME, entre GOUINA et BAKEL, apporte les 20 % restants). Il pourrait accumuler tout ou partie des eaux de la crue annuelle, et les restituer au début de l'année suivante à l'époque optimum au point de vue agronomique.

2. ELEMENTS DE BASE

- Débits et volumes

  Les débits et volumes cumulés à BAKEL ont été déterminés par la SEBA; ce sont ces chiffres qui ont été utilisés dans le rapport COYNE et BELLIER. Par la suite, l'examen comparatif des indications de l'échelle de BAKEL et des échelles récentes de KIDIRA sur la FALEME et de GOUINA sur le HAUT-SENEGAL a conduit la MISSION D'AMENAGEMENT DU SENEGAL (M.A.S.) à revoir l'étalonnage de l'échelle de BAKEL.

  Les débits et volumes cumulés à BAKEL se trouvent majorés de 20 à 25 %; ce sont ces valeurs rectifiées qui ont été adoptées.

  De plus, on a admis que le débit à GOUINA était égal à 80 % de celui de BAKEL; celui de la FALEME à KIDIRA, à 20 %.

  Certaines années (1908, 1909, 1910, 1919, 1920, 1921, 1929) ont dû être éliminées par suite de lacunes importantes dans les mesures.

- Capacité

  On a admis 16 milliards de m3, valeur qui a été fréquemment proposée pour la retenue de GOUINA.

- Evaporation

  Il n'est pas possible d'introduire l'évaporation dans le processus actuel de calcul. De ce fait, les résultats obtenus comportent une certaine approximation.

- Date des lâchages

  On a admis que les lâchages étaient effectués en Avril à débit constant.

3. METHODE DE CALCUL

La méthode de calcul est explicitée sur les Planches 105 à 108.

Sur les Graphiques 105 et 106, on a tracé, en fonction du temps :

la courbe C, représentant les volumes d'eau cumulés arrivant dans la retenue,

la courbe C', obtenue à partir de la précédente grâce à un décalage vers le haut de 16 milliards de m3 (valeur de la capacité du barrage),

la ligne D, correspondant à l'utilisation du barrage adoptée et formée partiellement d'une ligne brisée (par exemple, tronçons "ab" et "dfgi" de la Planche 105) et d'une portion de la courbe C (par exemple "bd").

Le volume d'eau retenu dans le barrage est égal, suivant les cas :

Lors du remplissage ou de la vidange, à la différence d'ordonnée (inférieure à 16 milliards de m3) entre la courbe C' et la ligne brisée;

Lorsque le barrage est plein, à la différence d'ordonnée entre les courbes C et C' , constante et égale à 16 milliards de m3*.

Deux exemples permettront de mieux comprendre l'application de la méthode :

Année 1901-1902

- Remplissage - Secteur "abc"

  Le volume accumulé croît de 0 au point a à 16 milliards de m3 en bc (différence d'ordonnée entre b et c).

- Conservation de l'eau - Secteur "bcde"

  Le volume de la crue étant supérieur à 16 milliards de m3, le surplus est évacué. La quantité d'eau conservée reste constamment égale à 16 milliards de m3, décalage entre les courbes C et C'.

---

* Rappelons qu'avec cette méthode, on ne peut tenir compte des pertes par évaporation.

- Vidange - Secteur "def" (Avril 1902)

  Les 16 milliards accumulés sont évacués en l'espace d'un mois; le volume décroît de 16 milliards (de) à zéro (f).

Année 1902-1903

- Remplissage - Secteur "fgh"

  L'accumulation dure du 1er Mai 1902 au 31 Mars 1903, où elle vaut 9,35 milliards de m3. En effet, l'apport annuel étant inférieur à la capacité du barrage, celui-ci ne se remplit pas entièrement et il n'y a pas déversement. La ligne brisée ne coupe pas la courbe C avant le 31 Mars 1903.

- Vidange - Secteur "ghi"

  Le volume de 9,35 milliards de m3 accumulé est vidé durant le mois d'Avril.

On voit donc que deux cas peuvent se présenter :

L'APPORT ANNUEL EST SUPERIEUR A 16 MILLIARDS DE m3 (Cf. 1901-1902). Le volume excédentaire est éliminé lorsque le barrage est plein. Il y a donc une crue naturelle en automne, sur laquelle le barrage ne peut agir. Les 16 milliards de m3* sont évacués en Avril de l'année suivante, ce qui fournit un débit constant de 6200 m3/s pendant ce mois.

L'APPORT MENSUEL EST INFERIEUR A 16 MILLIARDS DE m3 (Cf.1902-1903). Il n'y a pas de crue naturelle. Tout l'apport annuel de V_{m3} est évacué en Avril de l'année suivante sous forme d'un débit constant égal à : $\frac{V}{30 \times 86\,400}$ m3/s et inférieur à 6200 m3/s.

A partir des volumes "artificiels" lâchés par le barrage, il est facile d'obtenir les débits "artificiels" mensuels. En y ajoutant les débits de la FALEMME - admis égaux à 20 % des débits "naturels" à BAKEL - on aboutit aux Planches 107 et 108 relatives aux années 1901-1928 et 1930-1953.

---

* En fait, il s'agit de 16,05 milliards de m3 pour tenir compte de l'apport du SENEGAL en Avril, au moment du vidage.

4. RESULTATS

On voit sur les Graphiques 107 et 108 que l'on obtient deux crues très différentes :

En Avril, une CRUE "ARTIFICIELLE" du SENEGAL fournissant un débit égal ou inférieur à 6200 m3/s, suivant que l'année précédente fournissait au barrage plus ou moins de 16 milliards de m3.

En fin d'été et en automne, une CRUE NATURELLE égale à la crue naturelle de la FALEME, augmentée éventuellement (lorsque la crue de l'année en cours dépasse 16 milliards de m3) par la queue de crue du SENEGAL non régularisable par le barrage.

Les deux cas extrêmes sont les suivants :

1914	Crue "artificielle"	7,60 milliards de m3 en Avril avec un débit de 2940 m3/s
	Crue "naturelle"	2,90 milliards de m3 de la FALEME avec un débit maximum de 340 m3/s
1924	Crue "artificielle"	16,05 milliards de m3 en Avril avec un débit de 6200 m3/s
	Crue "naturelle"	25,45 milliards de m3, dont 8,20 de la FALEME, 17,25 du SENEGAL avec un débit maximum de 7690 m3/s

5. CONCLUSION

La réponse à la question posée est la suivante :

Le barrage de GOUINA, avec une capacité de 16 milliards de m3, peut modifier sensiblement le régime du SENEGAL. IL PEUT PERMETTRE DE CREER UNE CRUE ARTIFICIELLE A LA DATE VOULUE, par exemple en Avril; cette crue serait d'au moins 3000 m3/s, avec un volume total de 7,50 milliards de m3 (en admettant à peu près comme minimum les résultats de 1907).

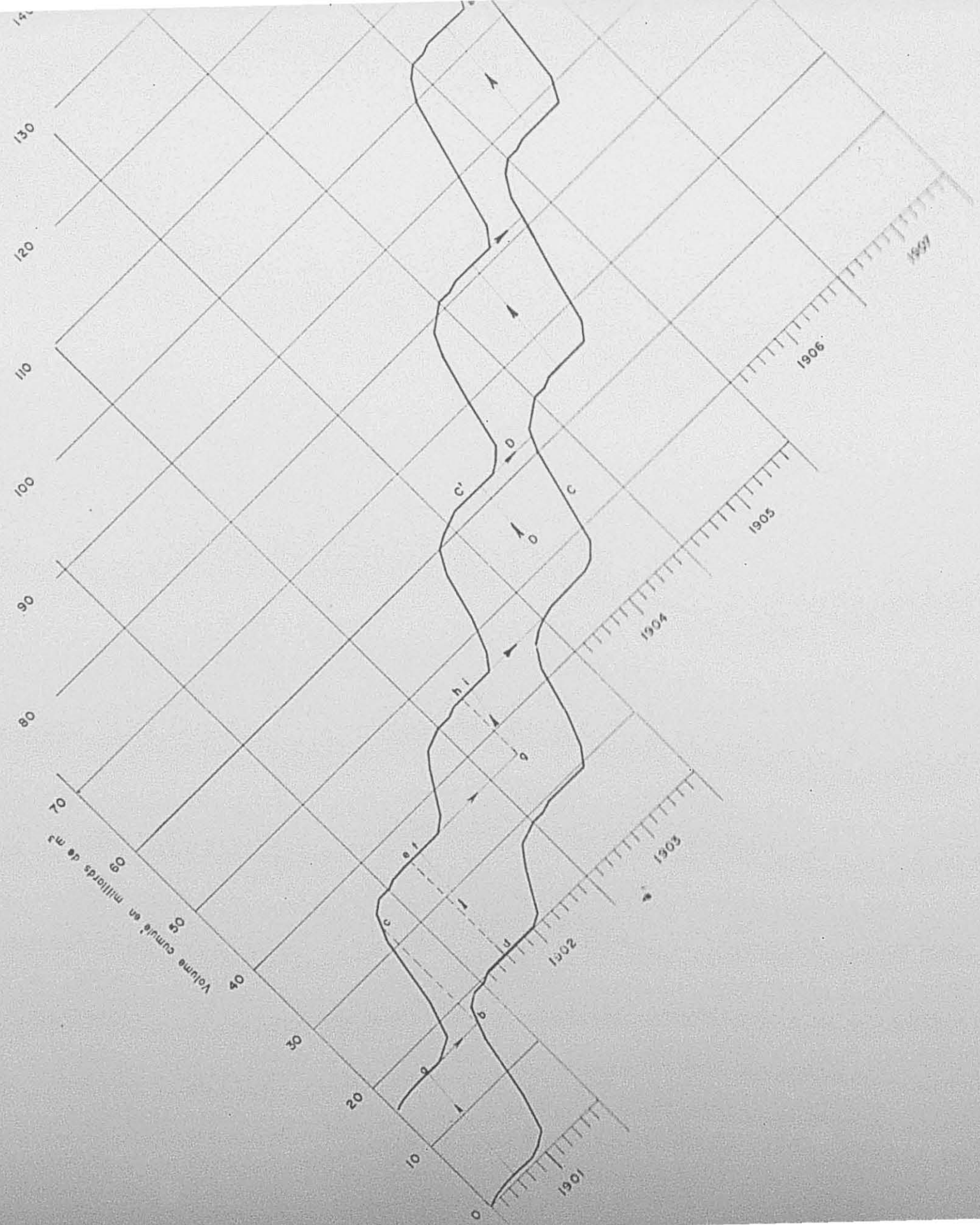
Toutefois, suivant les années, cette crue peut :

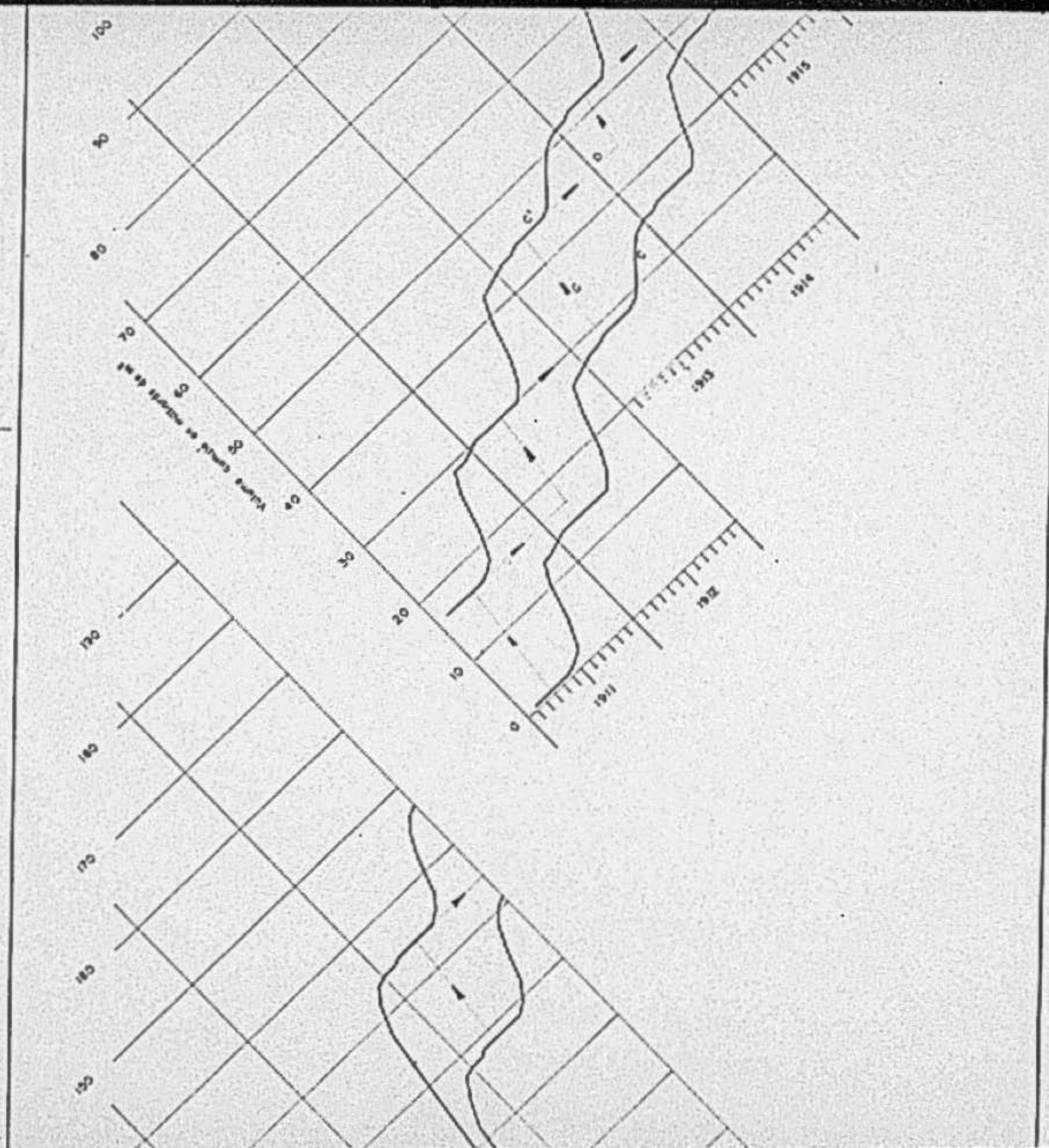
n'être suivie que de la crue modérée de la FALEME, en été-automne,

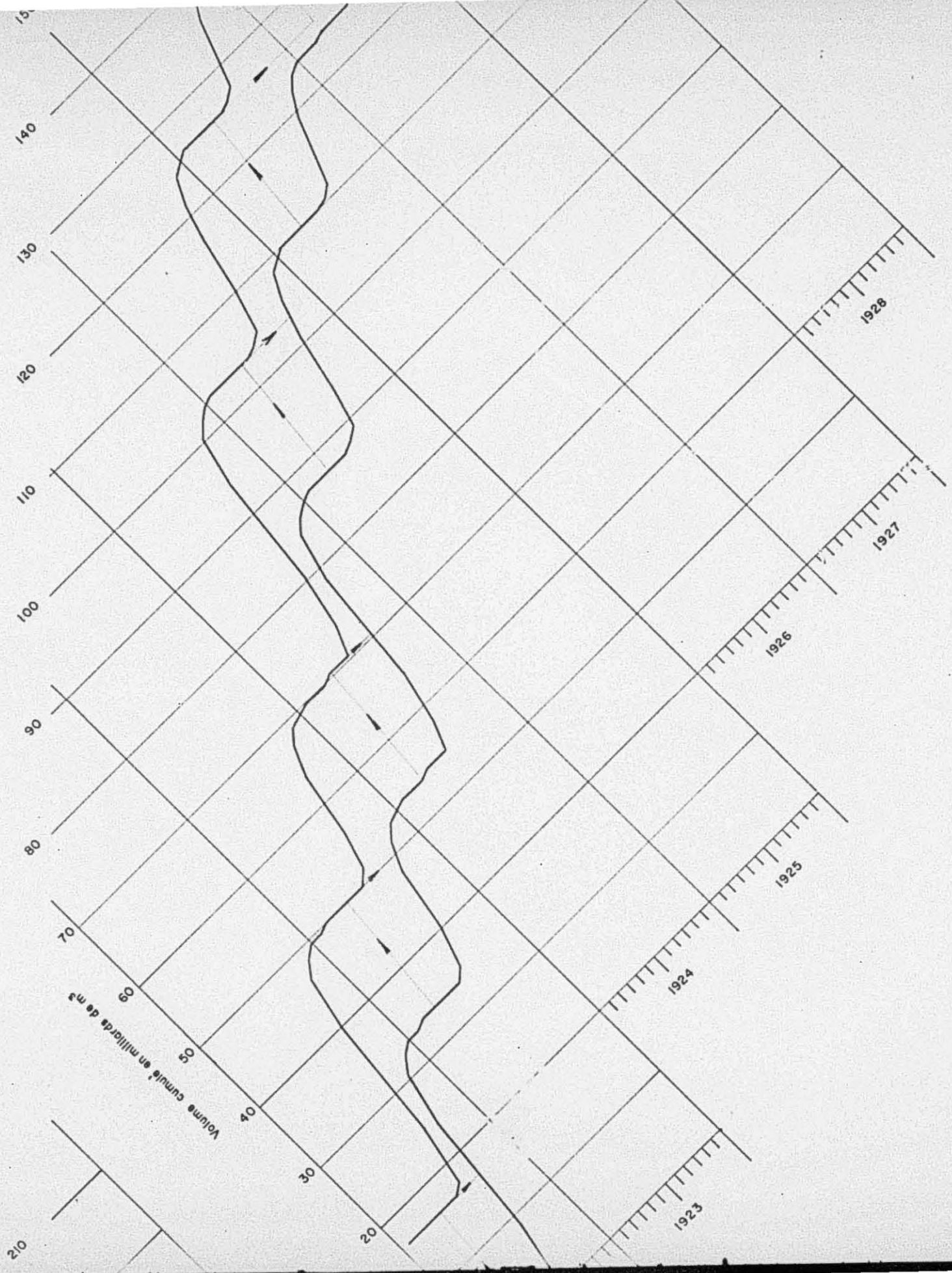
précéder une crue plus ou moins forte FALEME + SENEGAL (jusqu'à 7500 m3/s et 25 milliards de m3 environ en 1924).

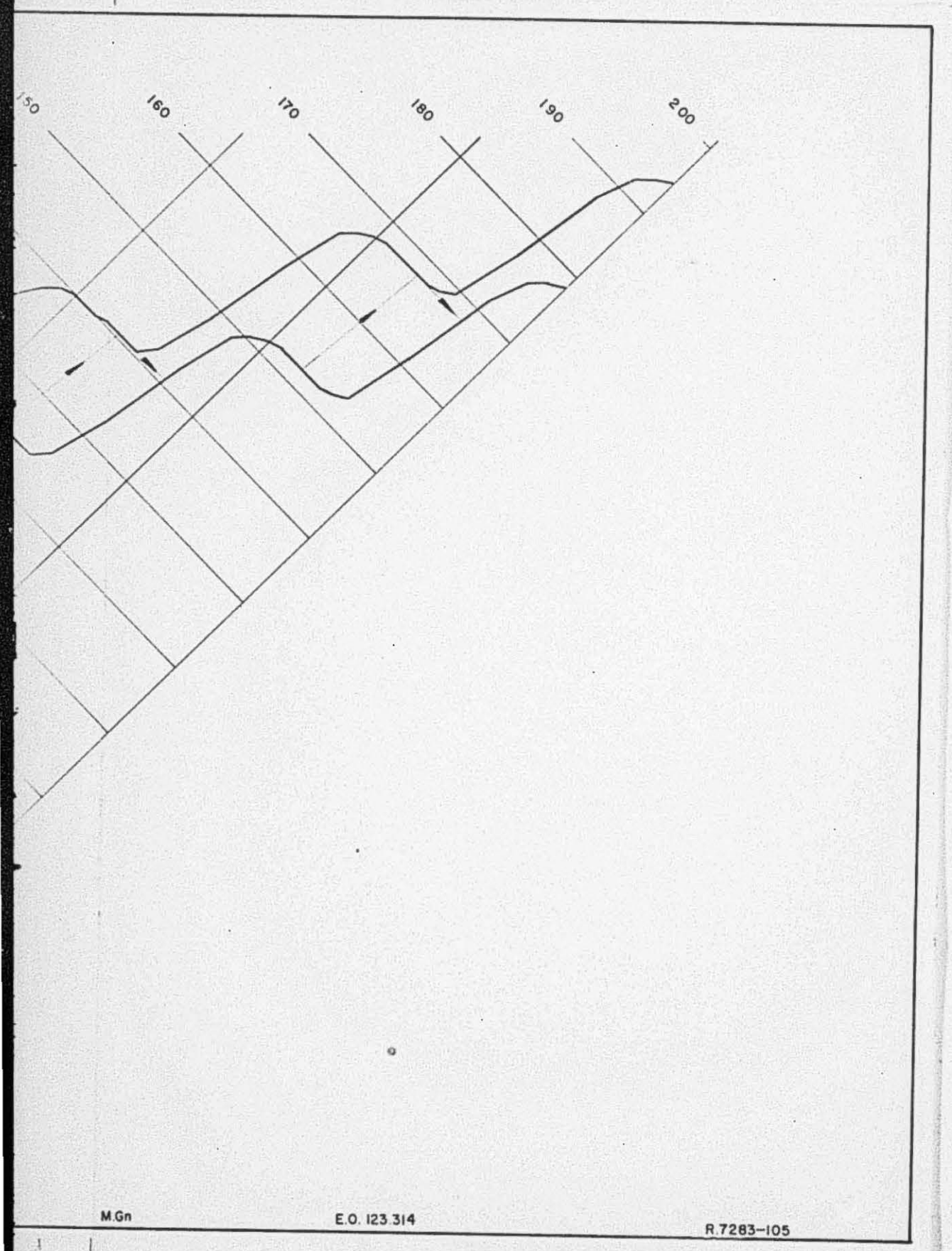
Aucune prévision à moyen terme n'est possible.

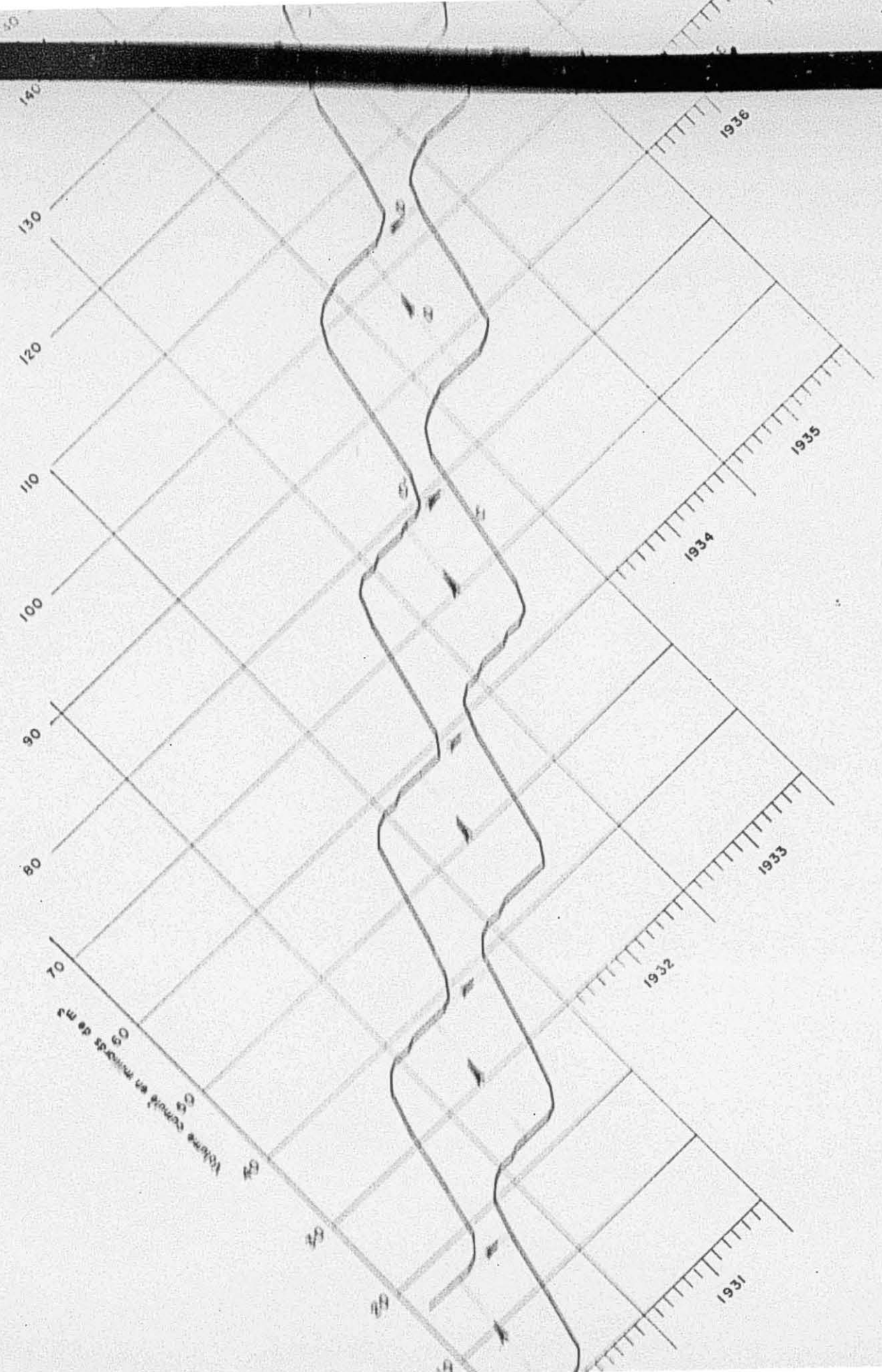
L'étude présente ne peut aller plus loin. Elle apporte cependant aux agronomes certains éléments de base pour les recherches.

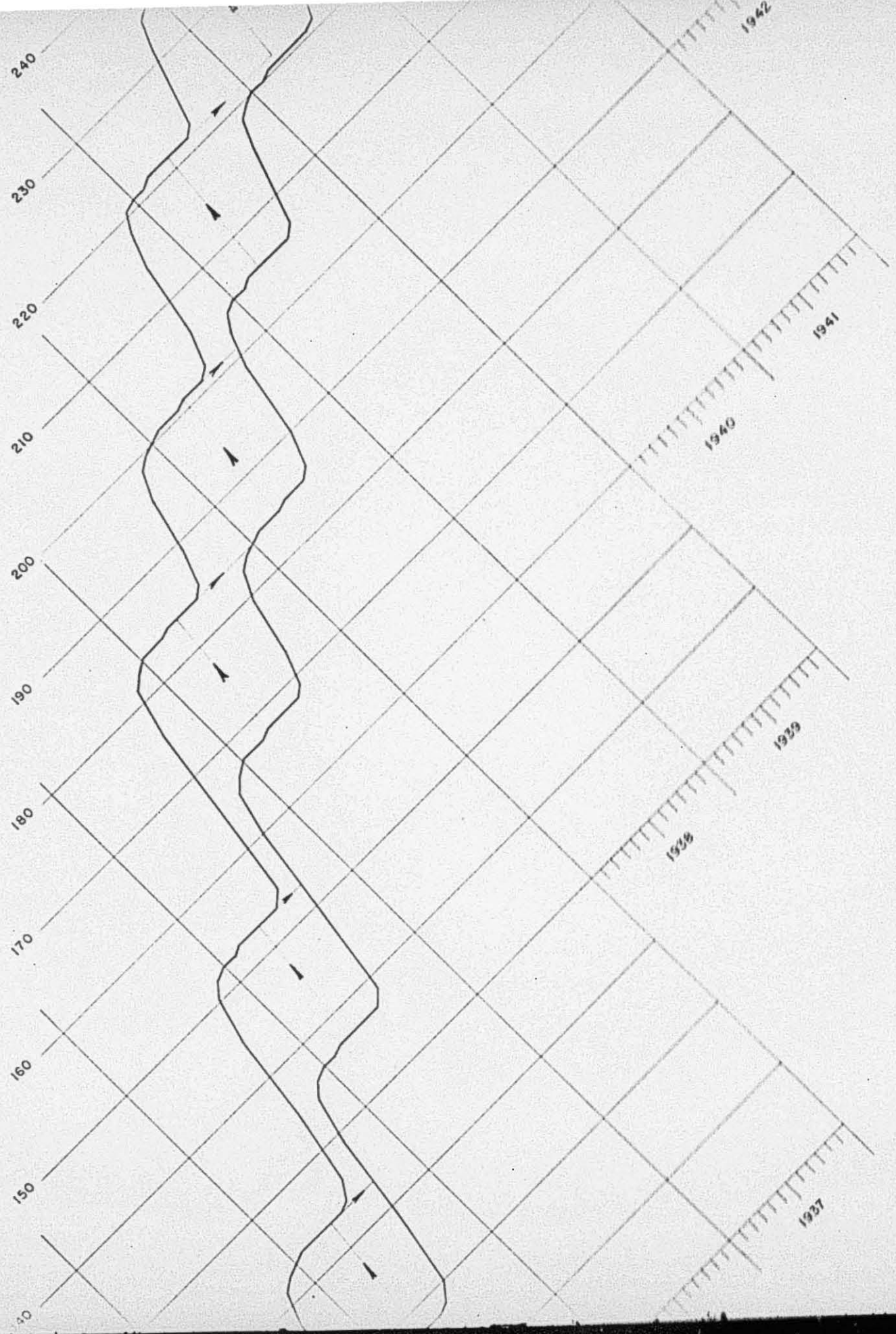

Volume cumulé en milliards de m³
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
a
b
c
d
e
f
g
h
i
C'
C
D

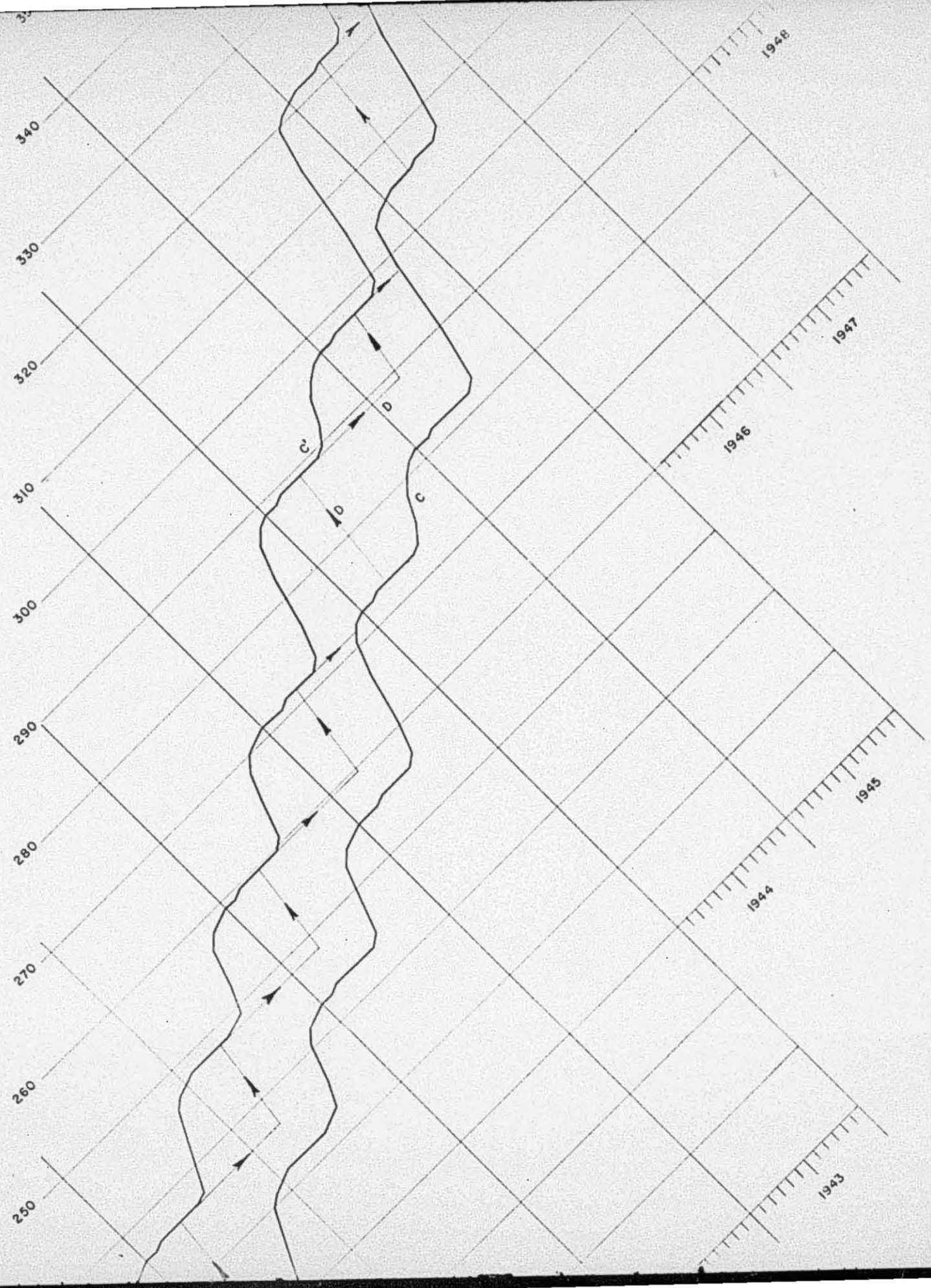

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1911
1912
1913
1914
1915
C'
C
D

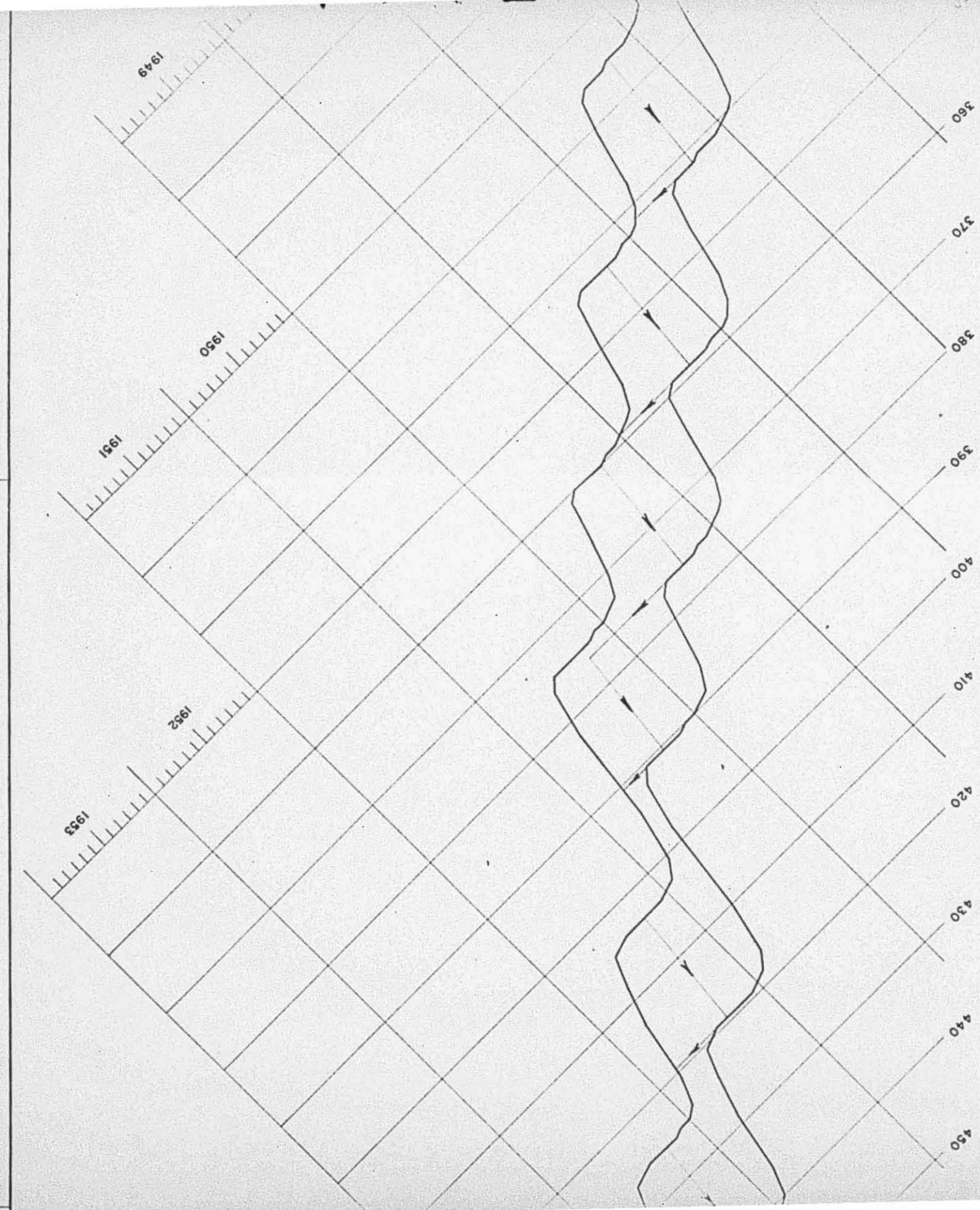

Volume cumulé en milliards de m3
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
1923
1924
1925
1926
1927
1928

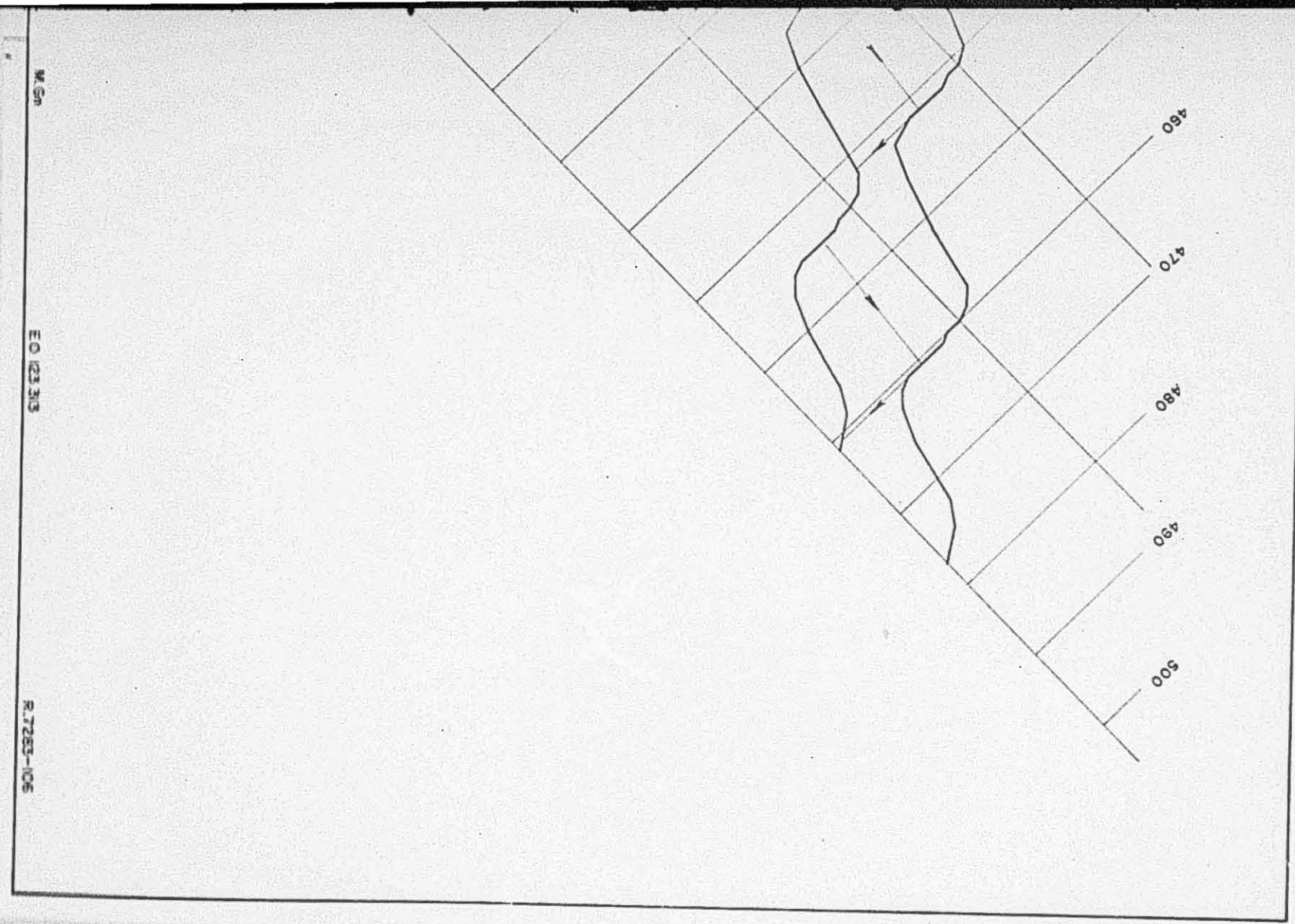

150
160
170
180
190
200
M.Gn
E.O. 123.314
R.7283-105

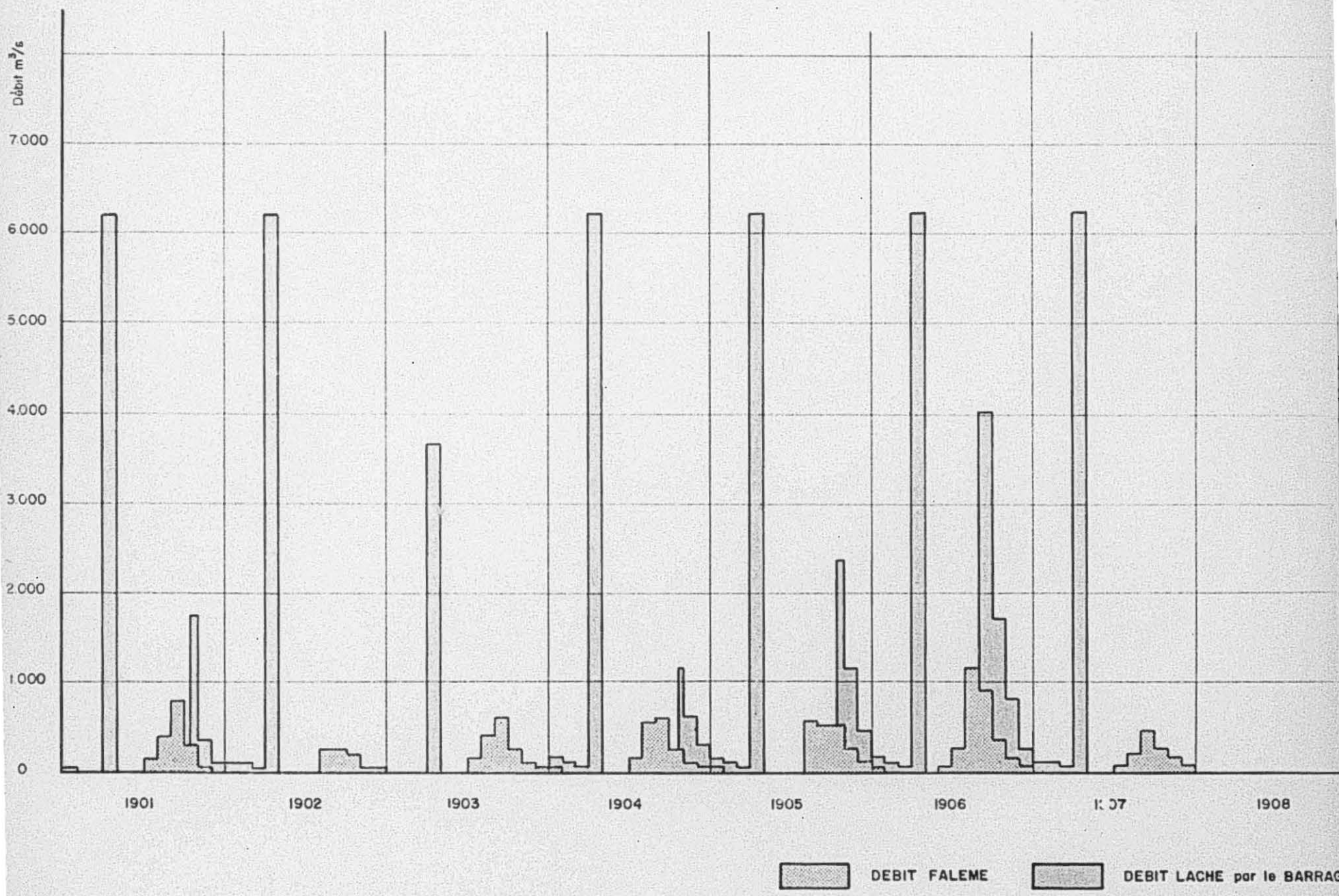

140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
Volume cumulé en millions de m3
1931
1932
1933
1934
1935
1936

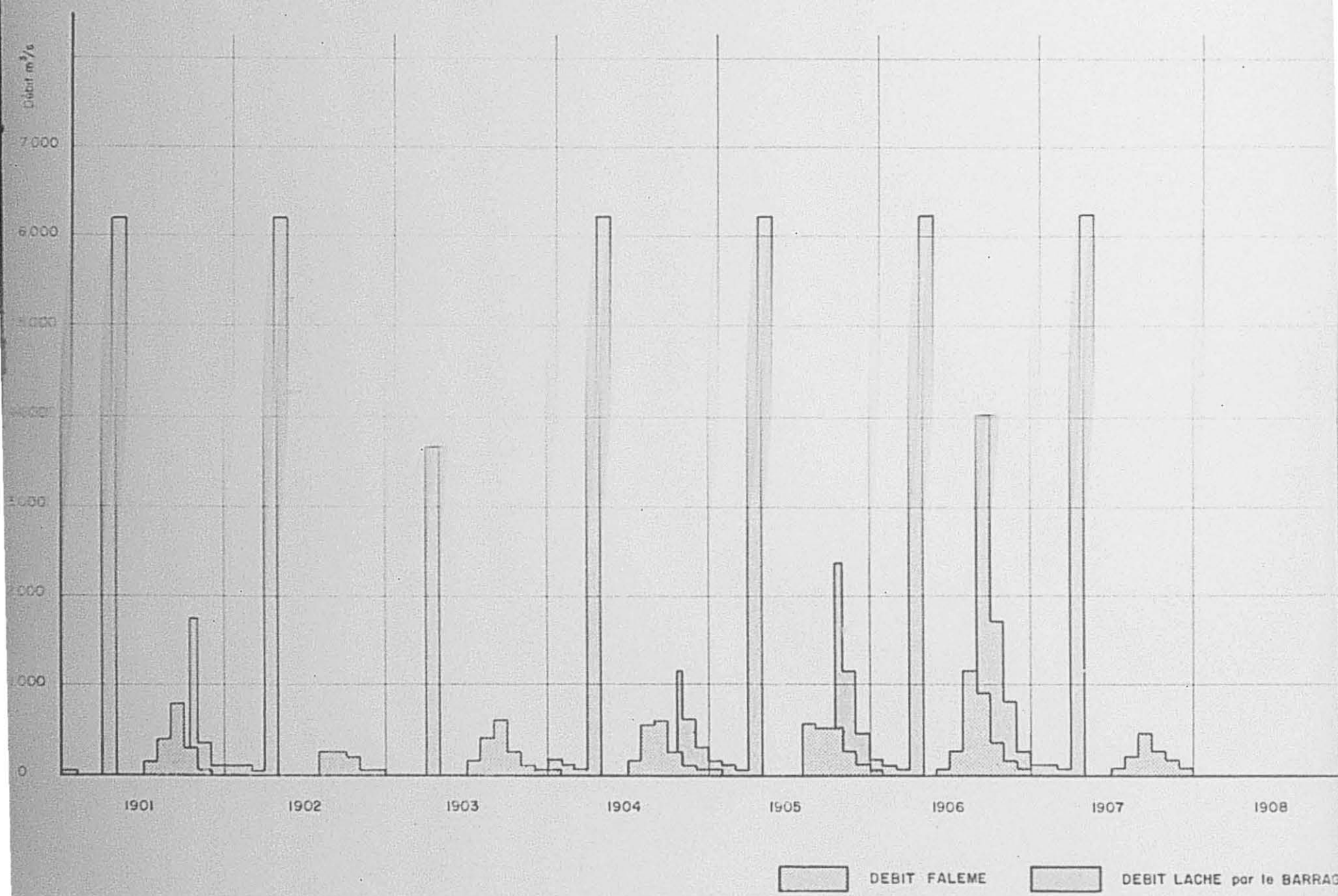

240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
1937
1938
1939
1940
1941
1942

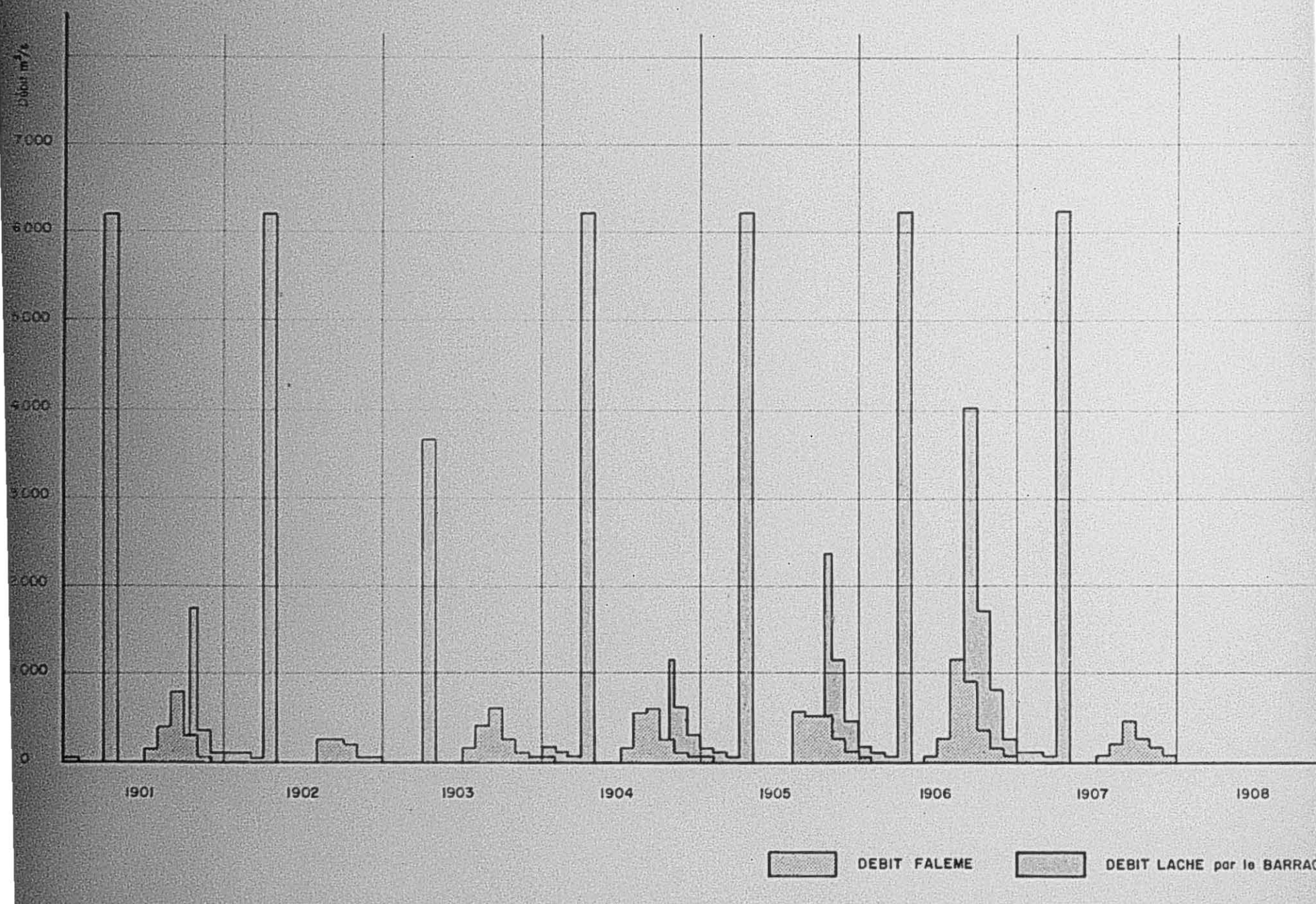

340
330
320
310
300
290
280
270
260
250
1948
1947
1946
1945
1944
1943
C'
C
D
D

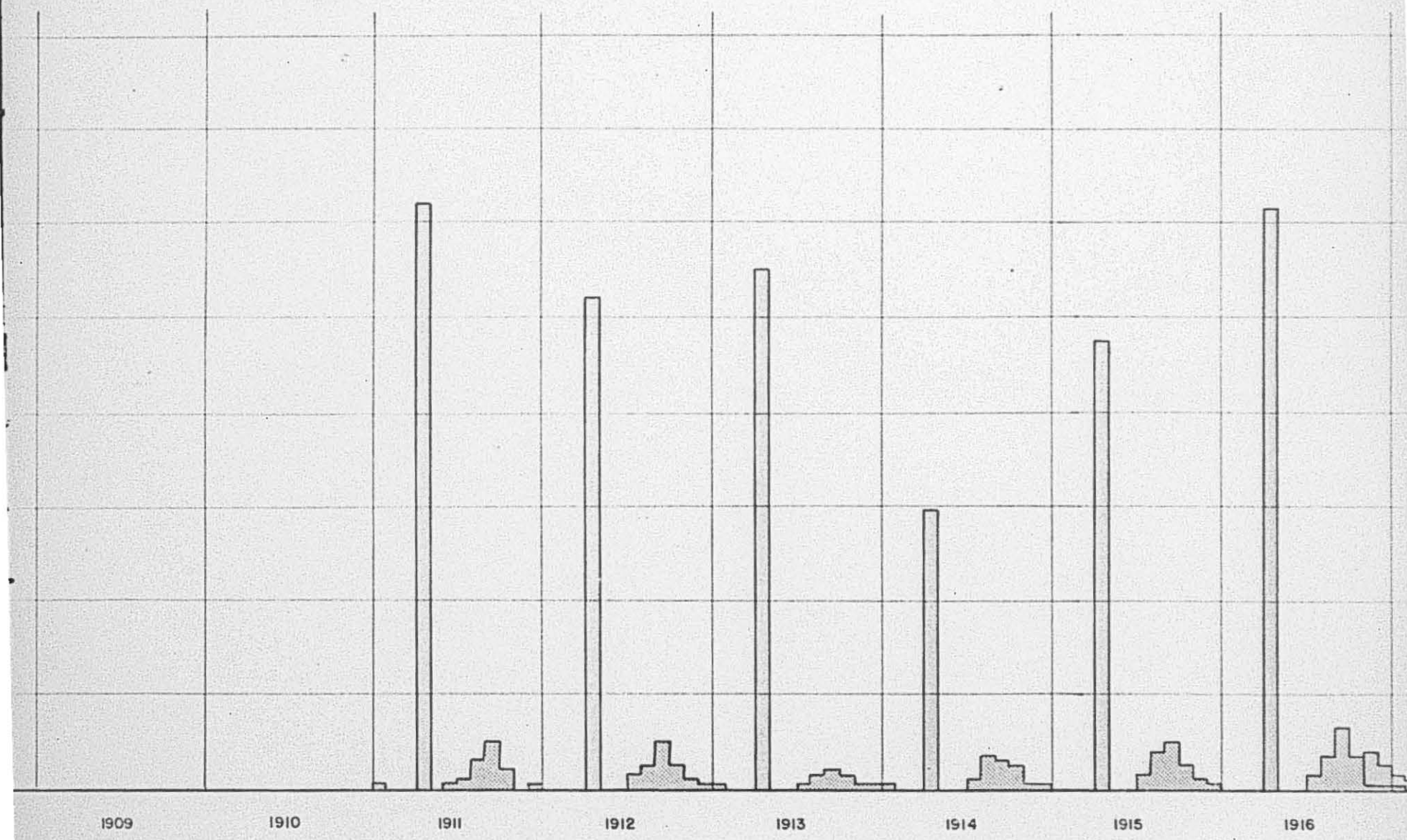

1949
1950
1951
1952
1953
360
370
380
390
400
410
420
430
440
450


460
470
480
490
500
M.Gn
E.O. 123.313
R.7263-106

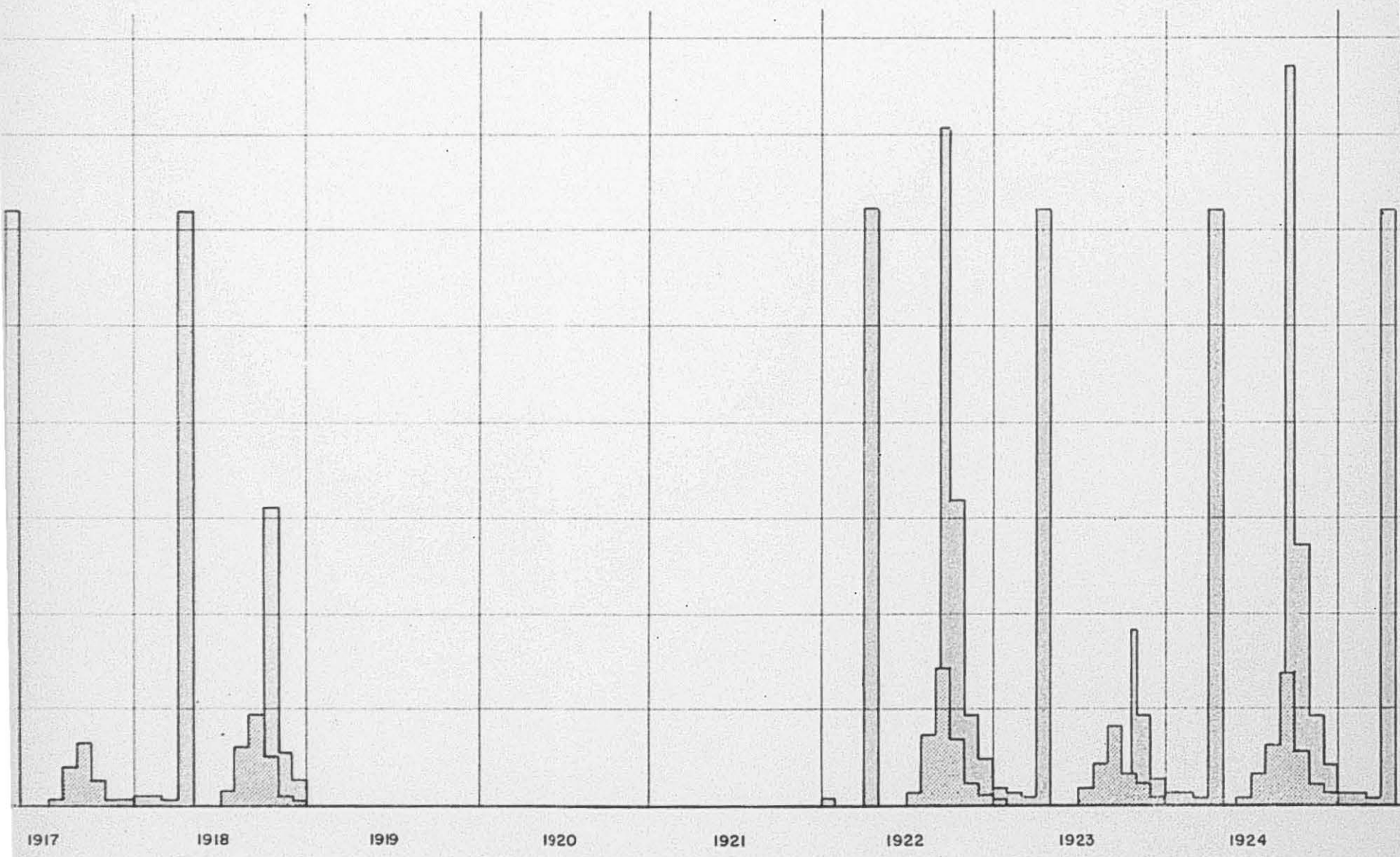

Débit m³/s
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1908
DEBIT FALEME
DEBIT LACHE par le BARRAG


Débit m³/s
7.000
6.000
0
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
DEBIT FALEME
DEBIT LACHE par le BARRAG


Débit m³/s
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
DEBIT FALEME
DEBIT LACHE par le BARRAG



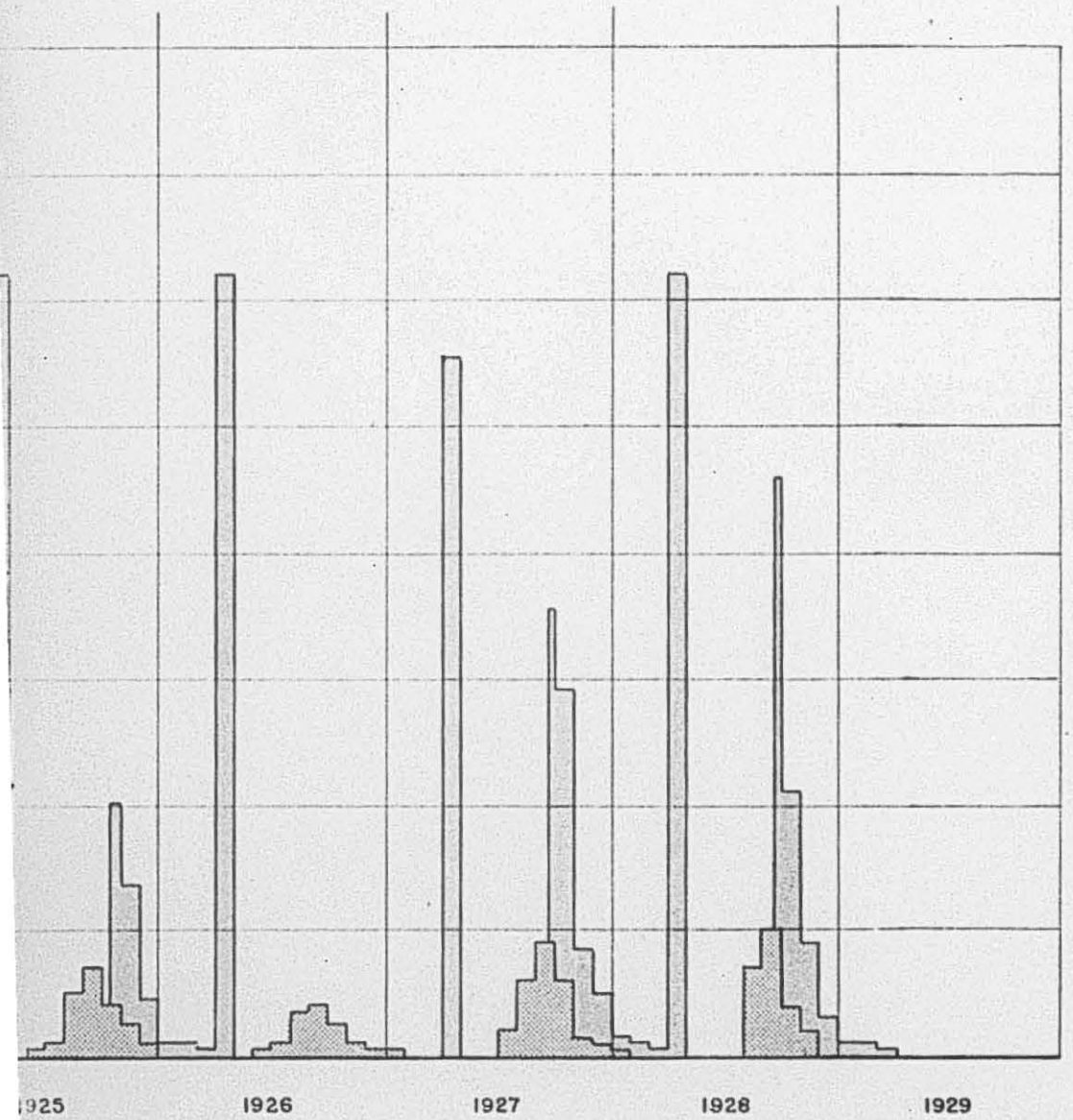
SE de GOUÏNA


1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924

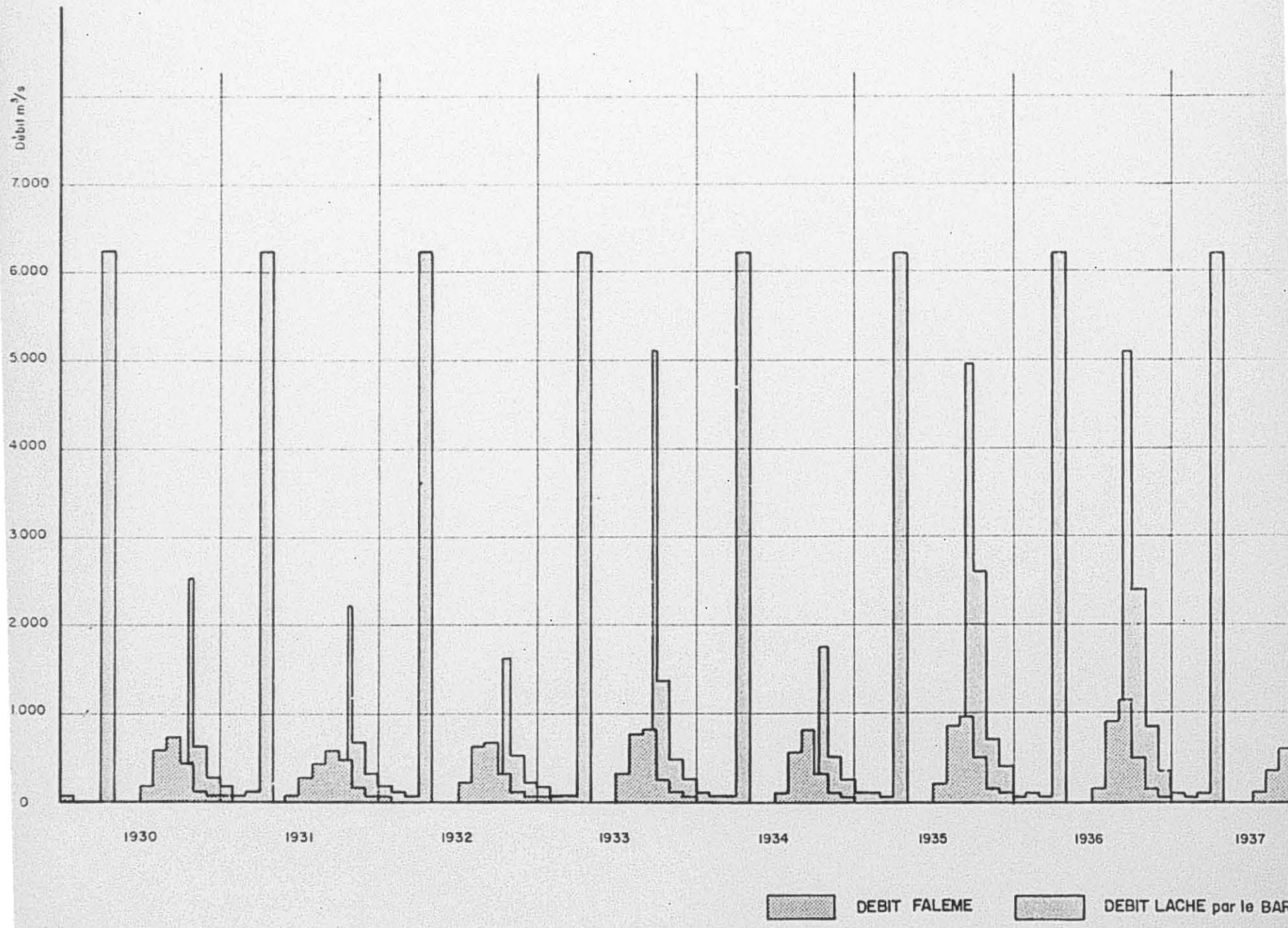
DEBIT FALEME

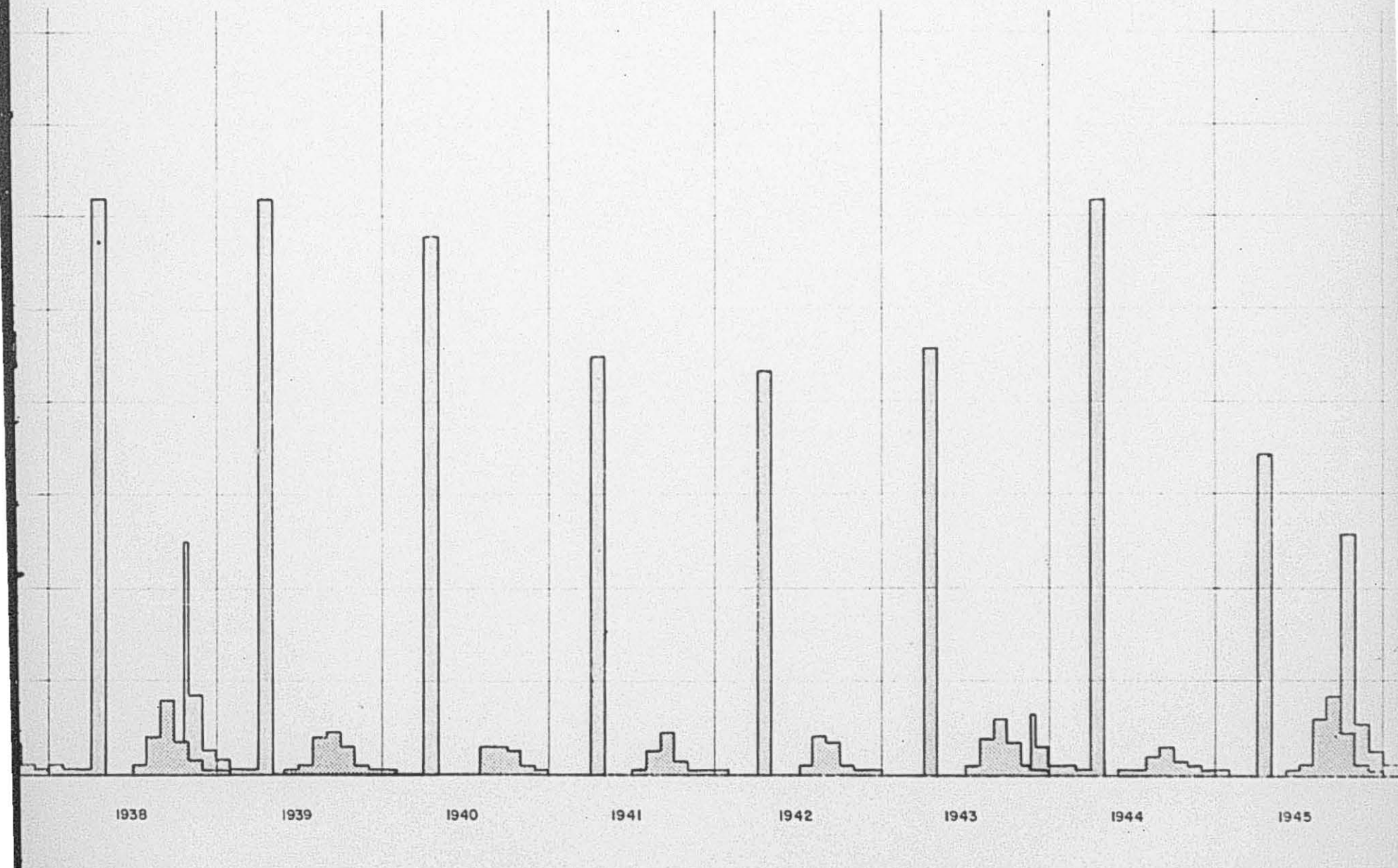
et DEBIT LACHE par le BARRAGE de GOUÏNA

PERIODE 1901 - 1922



M.Gn. E.O.123.316 R.7283-107


Débit m³/s
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
DEBIT FALEME
DEBIT LACHE par le BAR

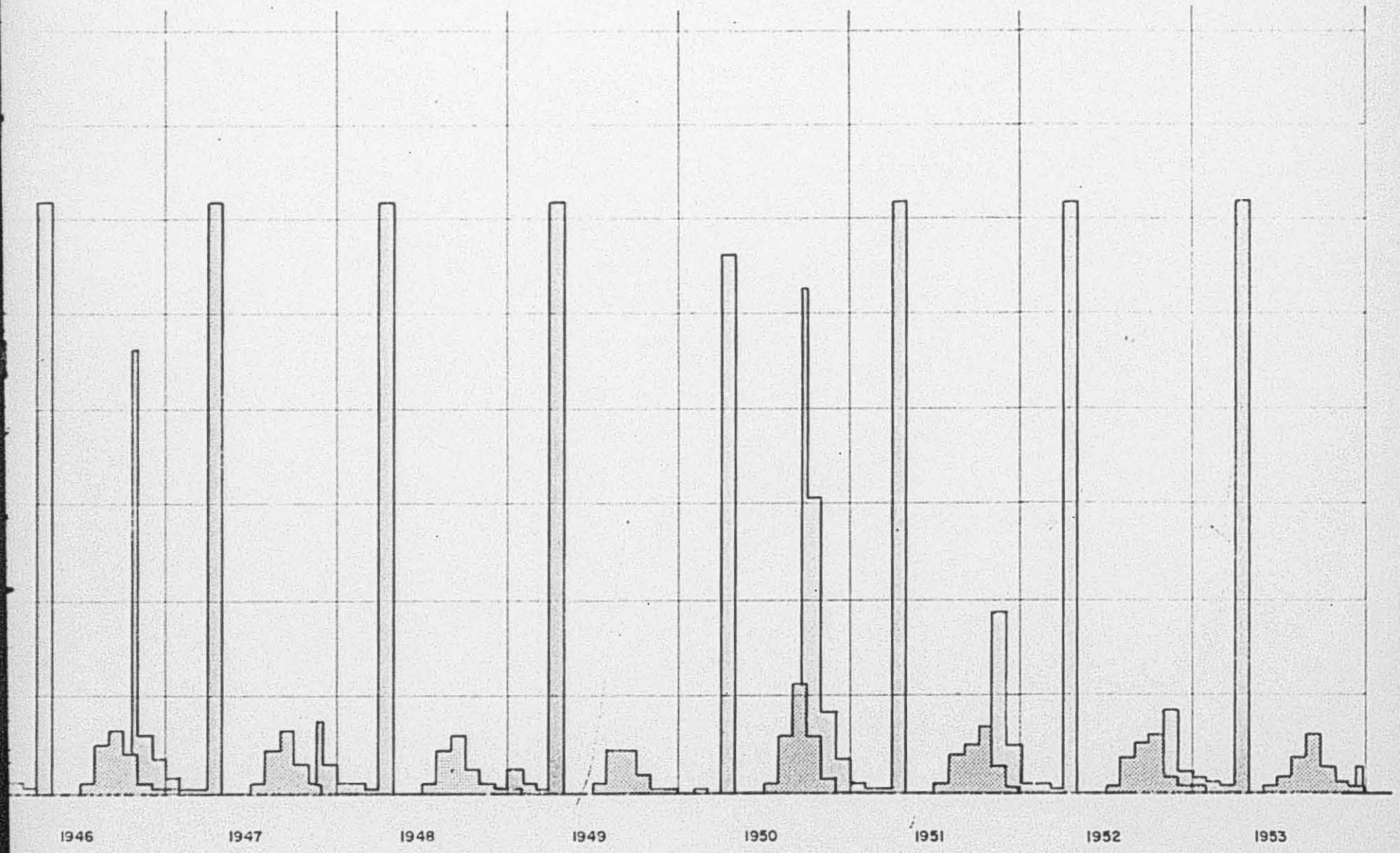


AGE de GOUÏNA

DEBIT FALEME

et DEBIT LACHE par le BARRAGE de GOUÏNA

PERIODE 1930-1953



M.Gn. E.O.123.317 R.7283-108

- II -

NOTE SUR LES ESSAIS DE CALCUL DE CRUES DU SENEGAL SUR MACHINE ELECTRONIQUE

1. POSITION DU PROBLEME

Nous avons procédé à des essais de calcul sur machine électronique, dans le but de déterminer s'il était possible de calculer avec une approximation suffisante le développement des crues dans la rivière SENEGAL plus ou moins aménagée.

Depuis quelques années, on procède à l'intégration numérique des équations différentielles de la propagation des crues en utilisant des calculatrices électroniques. Le principe de la méthode généralement utilisée est simple : on remplace les équations différentielles qui régissent la propagation des crues par des équations aux différences faisant intervenir des intervalles de temps et des intervalles de longueur finis. L'intégration numérique effectuée pas à pas ne présente pas de difficulté de principe. Toutefois, il faut remarquer que, lorsque l'intervalle de longueur x a été choisi, il existe une limite supérieure de la valeur de l'intervalle de temps t que l'on ne saurait dépasser sans risquer d'obtenur des résultats fortement divergents. C'est ce qui explique la petitesse de l'intervalle du temps choisi et ainsi la longueur du calcul sur machine.

Etant donné la complexité du phénomène de la propagation des crues dans le cas particulier du SENEGAL, où le fleuve se divise en bras qui se rejoignent à l'aval, étant donné également le manque de données dont nous disposions, en particulier en ce qui concerne la rugosité, nous n'étions pas certains d'arriver à un résultat acceptable.

En utilisant un modèle mathématique de la rivière très idéalisé, à part quelques imperfections de détails qui pourront encore être corrigées, il semble que nous soyons arrivés à un résultat satisfaisant.

2. DONNEES A NOTRE DISPOSITION

- Données topographiques

Les cartes au 1/50 000 et les courbes de surface du rapport d'étude de DAGANA, et divers autres plans ont permis d'établir les aires de diverses sections du fleuve pour différentes cotes. Entre les sections choisies, on a procédé à une interpolation linéaire. Une difficulté apparaît lorsqu'il s'agit de tenir compte des méandres du lit ordinaire lorsque la vallée est noyée.

Dans notre première tentative, tout en respectant les volumes, nous avons supposé que le lit ordinaire avait la même longueur que la vallée proprement dite. Inversement, on pourrait faire des essais en développant la rivière et en répartissant le volume inondé de part et d'autre, ou — s'il le fallait — étudier un schéma plus juste et plus complexe.

- Relevés des niveaux

Nous avions à notre disposition les relevés des niveaux pour les stations de BAKEL, MATAM, SALDE, BOGHE, PODOR et DAGANA pour la crue de 1956 (Plan EO 123 339). Nous avons introduit, en fait, dans le calcul, uniquement les relevés de BAKEL comme condition à l'amont du tronçon considéré. Le calcul donne le développement des niveaux aux autres points.

- Données sur les débits

Il nous a été fourni l'évolution des débits à BAKEL (Plan EO 123 328) et une courbe donnant la relation hauteur/débit approximative à DAGANA (Plan EO 123 338). Nous ne nous sommes pas servis de l'évolution des débits à BAKEL du fait que ces débits sont calculés. Mais nous nous sommes servis de la relation hauteur/débit à DAGANA comme condition limite à l'aval du tronçon considéré dans le calcul. En fait, nous avons quelque peu modifié la courbe hauteur/débit en lui donnant la forme analytique :

$$Q = 500\ H + 500\ H^2 + 40\ H^3$$

3. MODELE MATHEMATIQUE

Pour pouvoir pratiquement aborder le calcul, il a fallu très fortement idéaliser la rivière. La simplification essentielle consistait

à admettre que la rivière avait un lit unique bien déterminé, dont les sections avaient des aires définies. Nous avons négligé les pluies éventuelles dans la vallée même, ainsi que l'évaporation. D'autre part, une autre complication se présente : la longueur du lit mineur n'était pas la même (du fait des méandres) que celle du champ d'inondation. Dans le calcul, nous avons choisi comme longueur de base la longueur du champ d'inondation, en prévoyant une correction approximative pour tenir compte des méandres. La longueur du tronçon considéré est ainsi de 390 km environ (correspondant à 600 km environ du cours de la rivière en étiage).

Un calcul de principe montre que les forces d'inertie jouent un rôle absolument négligeable dans la propagation des ondes de crue du SENEGAL. Nous n'en avons pas tenu compte, ce qui a permis de simplifier considérablement la programmation du calcul.

Le cours de 390 km entre DAGANA et BAKEL a été divisé en 13 tronçons d'une longueur L = 30 km . Dans les tronçons, il est admis que le débit est proportionnel à la racine de la pente de la ligne d'eau, le coefficient de proportionnalité dépendant de la cote moyenne de cette même ligne d'eau.

La variation de cette constante de proportionnalité a été estimée en se basant sur la loi de Manning-Strickler pour chacun des 13 tronçons envisagés; les valeurs mêmes des constantes figurent dans les tables mises en mémoire dans la machine et qui sont consultées à chaque calcul.

Le calcul même se décompose en deux phases :

- Calcul des débits pour des niveaux donnés

  En chacun des 13 tronçons, la pente et la cote moyenne sont données puisque les cotes sont fixées aux extrémités. Le débit momentané au temps t peut donc être calculé dans tous les tronçons comme indiqué plus haut.

- Modifications des niveaux pendant l'intervalle de temps t

  Comme en général, les débits de tous les tronçons ne sontpas les mêmes, cela implique que les niveaux doivent être modifiés aux extrémités des tronçons. Pour cela, on fait la différence au temps t entre le débit du tronçon amont et le débit du tronçon aval qui,multipliée par t ,donne le volume d'eau mis en réserve. Cette réserve se répartit sur une surface égale à la largeur B multipliée par la longueur d'un tronçon (30 km). En divisant le volume d'eau mis en réserve par la surface BL , on obtient la variation du niveau pendant l'intervalle de temps t . Les largeurs dont on a besoin figurent également dans la machine sous

forme de tables, en fonction du point et de la cote. Les cotes au temps t + t sont alors calculées par simples additions.

Cette méthode est valable pour tous les points de calcul des cotes, à l'exception de l'extrémité amont (BAKEL) et l'extrémité avan (DAGANA).

Pour BAKEL, la détermination ne pose pas de problème puisqu'on introduit, dans la machine (par la lecture de cartes perforées), directement l'évolution des niveaux. A DAGANA, par contre, la cote est déterminée par la condition d'égalité entre le débit qui vient d'amont et celui qui est donné par la courbe hauteur/débit prescrite.

Une fois toutes les cotes calculées au temps t + t , le calcul reprend par la détermination des débits et ainsi de suite.

Comme il a été dit plus haut, le cours de la rivière a été divisé en 13 tronçons de 30 km de longueur chacun. A ce choix correspond un intervalle de temps maximum admissible de 180 mn environ. Par mesure de sécurité, nous avons choisi un intervalle de temps de 160 mn, c'est-à-dire qu'il faut faire 9 cycles de calcul pour connaître l'évolution des débits pendant 1 j.

Cela explique la lenteur des calculs : en effet, la durée de la crue étant de 6 mois, il faut procéder au calcul d'environ 1650 cycles, c'est-à-dire calculer plus de 20 000 débits et 20 000 cotes. Le calcul dure environ 3 h sur l'ordinateur IBM 650 que nous avons à notre disposition.

4. AJUSTEMENT DU MODELE MATHEMATIQUE

Pour le moment, nous ne l'avons fait porter que sur la rugosité — ce qui est le travail le plus facile.

Nous avons admis que la loi de Manning-Strickler était valable et, tout d'abord, nous avons admis que la valeur du coefficient de Strickler était uniformément de 25 (soit, en fait, environ 30 pour le lit mineur du fait des méandres). Cette hypothèse nous a conduits à une évolution visiblement fausse de la crue, le maximum de la cote à DAGANA étant atteint bien avant le moment donné par les observations et sa valeur manifestement trop forte.

Il a donc fallu modifier successivement les valeurs admises pour le coefficient de Strickler et faire des essais répétés pour parvenir à un accord à peu près satisfaisant entre le calcul et les observations.

5. RESULTATS

La valeur du coefficient de Strickler k de 25 (resp. 30) semble exacte pour le lit mineur.

Par contre, la valeur de k à admettre dans les champs d'inondation serait beaucoup plus réduite (cette valeur est l'expression mathématique idéalisée d'une réalité infiniment plus complexe) et semble devoir se situer généralement aux environs de 5. Pour le tronçon compris entre BOGHE et PODOR, il semble même qu'il n'y ait pas de vitesse longitudinale de l'eau dans la zone d'inondation.

En réalité, il faudrait analyser la topographie de plus près que nous l'avons fait, afin de mieux distinguer les zones à faible écoulement (forêts, cuvette presque fermée) des zones à écoulement plus intense et mieux schématiser la longueur effective de l'écoulement.

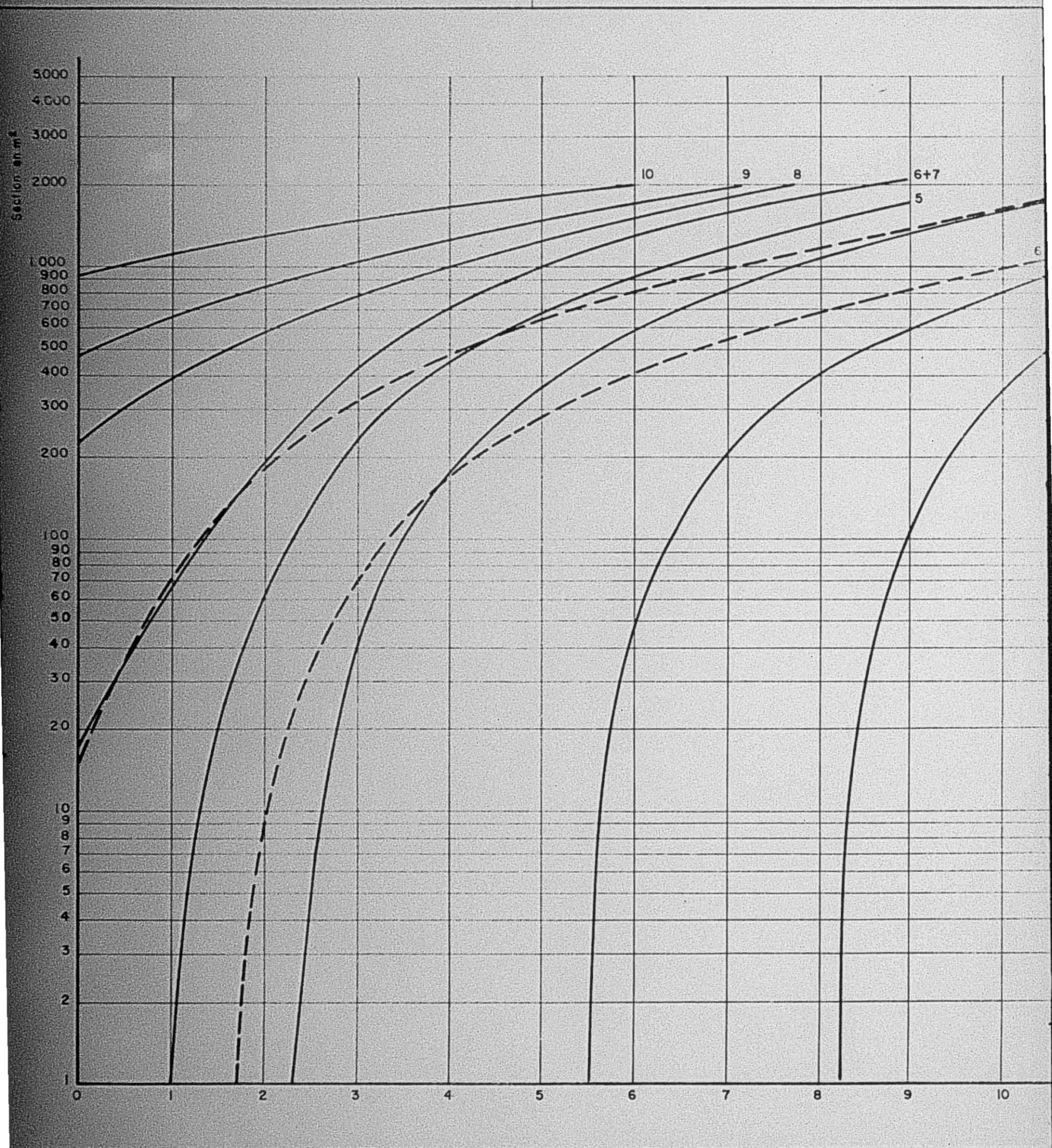
Après un certain nombre d'essais, nous sommes arrivés à un résultat qui, dans l'ensemble, commence à devenir déjà satisfaisant pour la crue de 1956. Avant de procéder aux modifications permettant de corriger certaines erreurs de détail, nous avons préféré procéder au calcul de la crue de 1955.

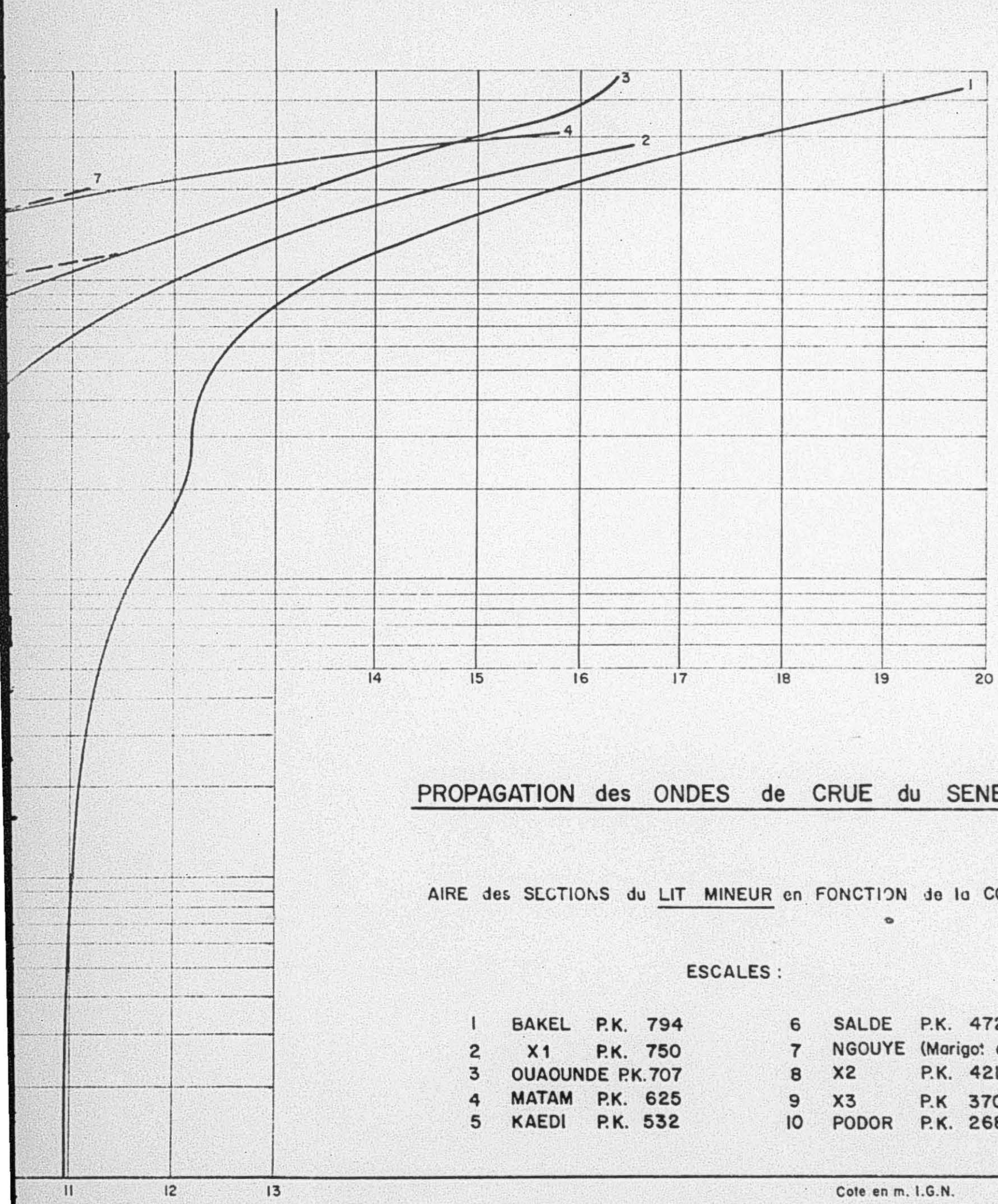
On retrouve sur cette crue très différente à peu près les mêmes défauts de détail des calculs précédents. Cette étude préliminaire nous permet de conclure qu'une analyse plus détaillée de la topographie, une extension des calculs jusqu'à la mer (alors que la limite avant était DAGANA, où la loi débit est mal connue) doivent permettre de très bien ajuster le modèle mathématique.

Au stade actuel de réglage de ce modèle, nous avons, à titre d'exemple, examiné ce que donnerait une crue artificielle de 16 milliards de m3 à BAKEL, de durée assez courte et avec un fort débit de pointe (montée linéaire en 10 j -- palier de 20 j à 6000 m3/s — descente linéaire en 10 j). On voit qu'avec une telle crue on aboutit à une surface submergée sensiblement égale à la surface de la crue de 1956 de volume plus important et plus étalé au début et à la fin.

6. CONCLUSION

Cette étude préliminaire montre que, dans le cas du SENEGAL, le modèle mathématique doit pouvoir être mis au point. Il permettrait de faire tous les calculs hydrauliques qui font actuellement défaut dans les projets d'ensemble.


Section in m²
5000
4000
3000
2000
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
10
9
8
6+7
5
6



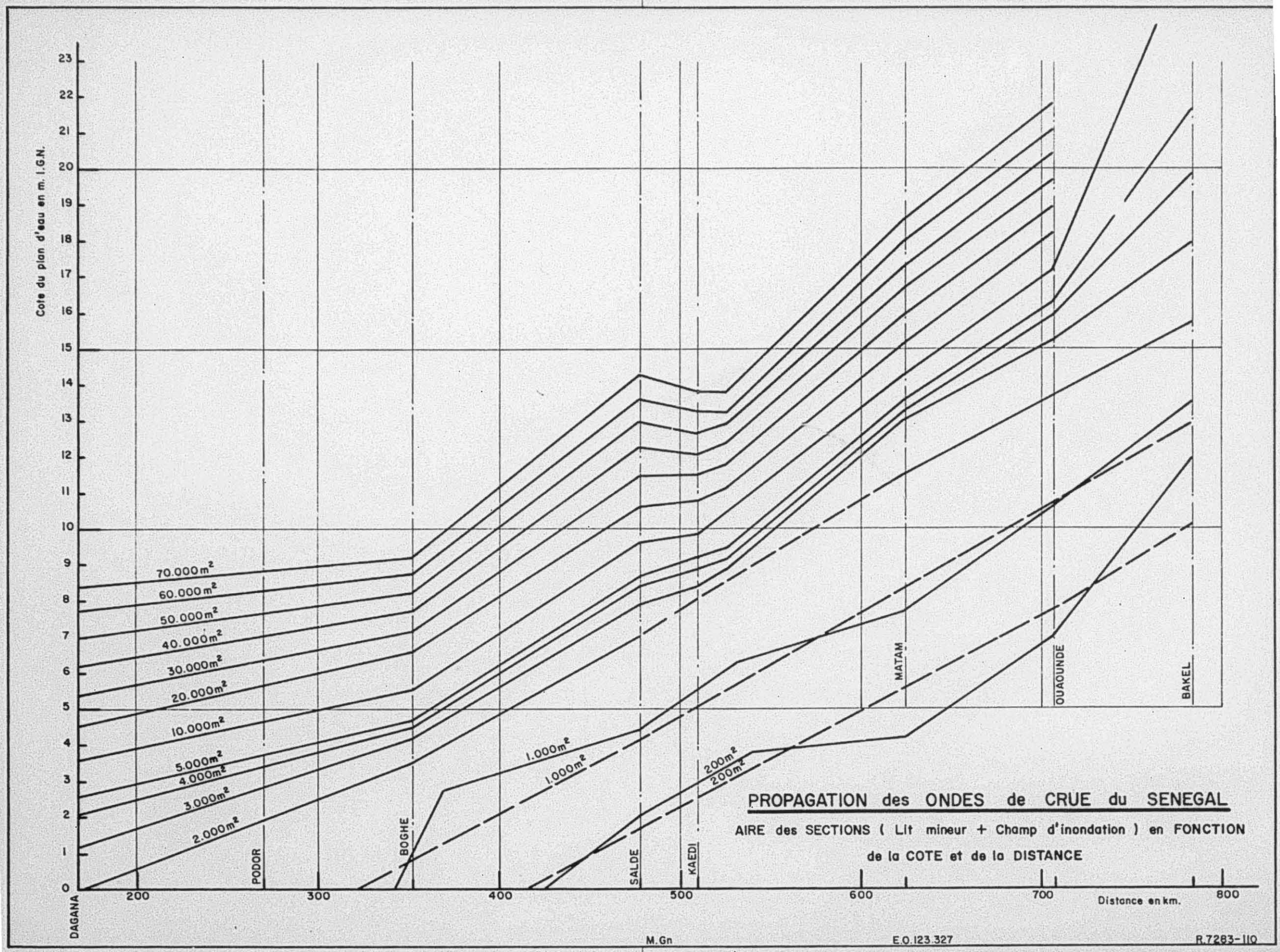
PROPAGATION des ONDES de CRUE du SENEGAL

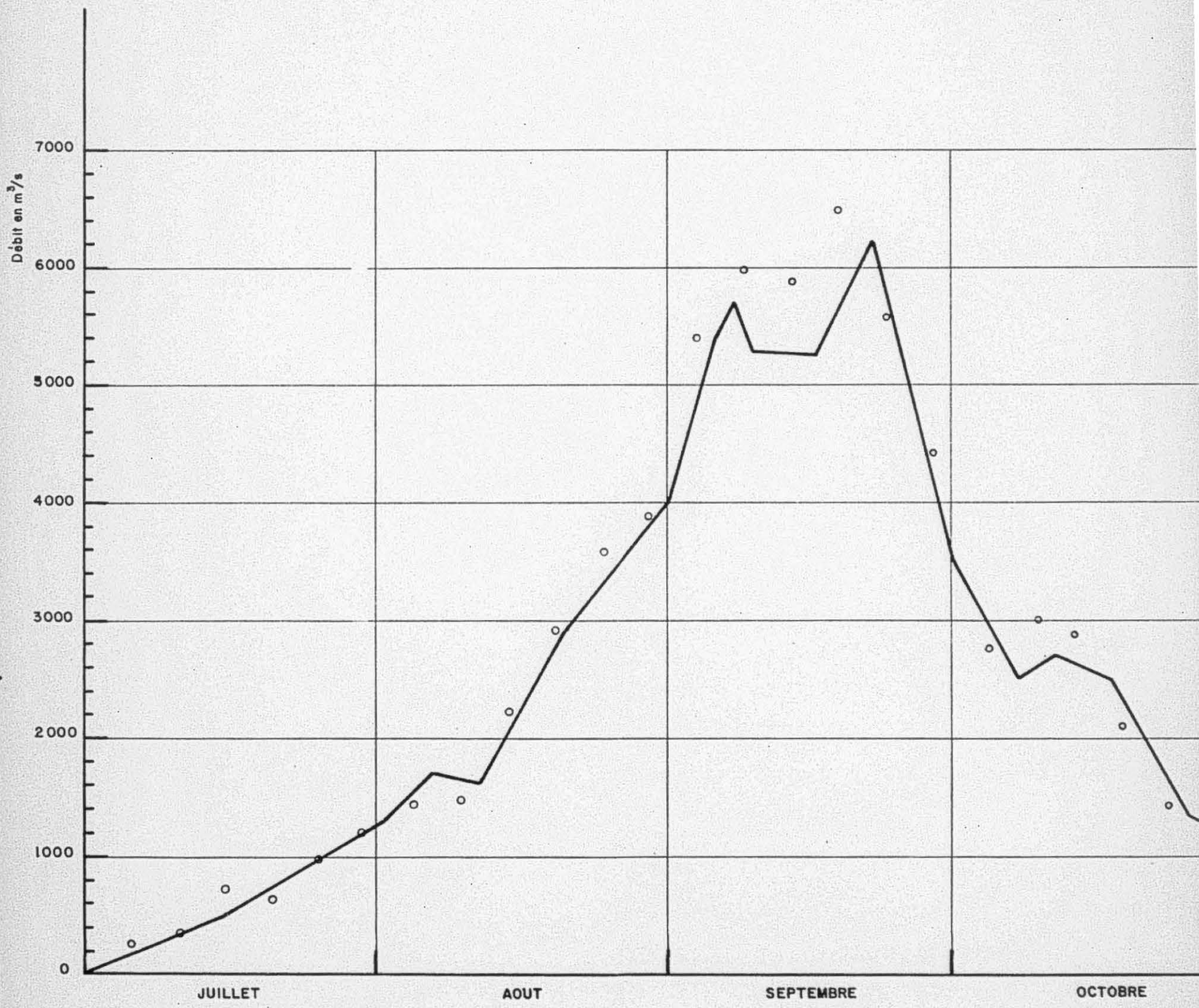
AIRE des SECTIONS du LIT MINEUR en FONCTION de la COTE

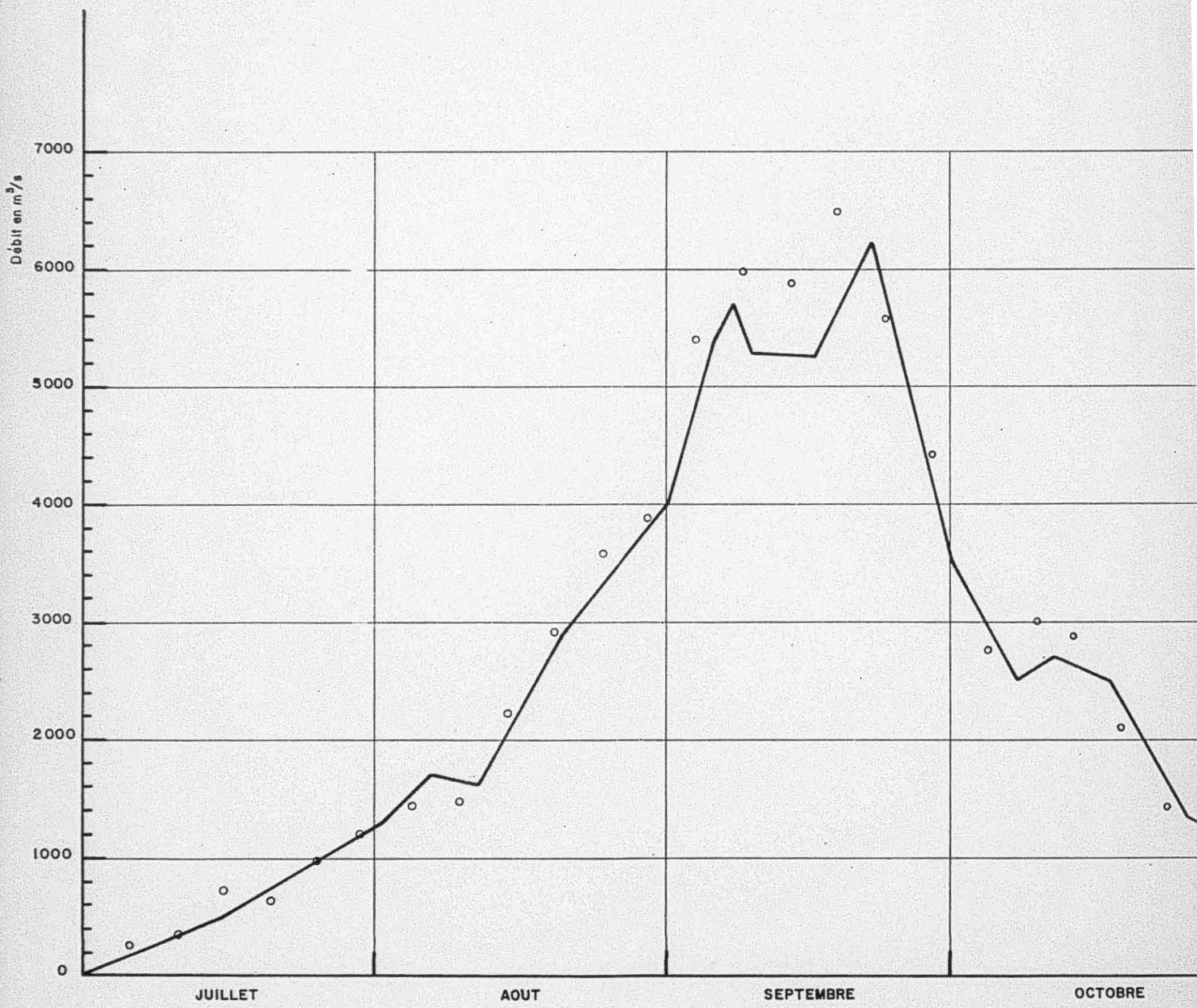
ESCALES :

1	BAKEL	P.K. 794	6	SALDE	P.K. 472
2	X1	P.K. 750	7	NGOUYE	(Marigot de DOUE)
3	OUAOUNDE	P.K. 707	8	X2	P.K. 421
4	MATAM	P.K. 625	9	X3	P.K 370
5	KAEDI	P.K. 532	10	PODOR	P.K. 268

M.Gn. E.0.123.326 R.7283-109


Cote du plan d'eau en m. I.G.N.
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
70.000m²
60.000m²
50.000m²
40.000m²
30.000m²
20.000m²
10.000m²
5.000m²
4.000m²
3.000m²
2.000m²
1.000m²
1.000m²
200m²
200m²
DAGANA
PODOR
BOGHE
SALDE
KAEDI
MATAM
OUAOUNDE
BAKEL
200
300
400
500
600
700
800
Distance en km.
PROPAGATION des ONDES de CRUE du SENEGAL
AIRE des SECTIONS (Lit mineur + Champ d'inondation) en FONCTION
de la COTE et de la DISTANCE
M.Gn
E.O.123.327
R.7283-110

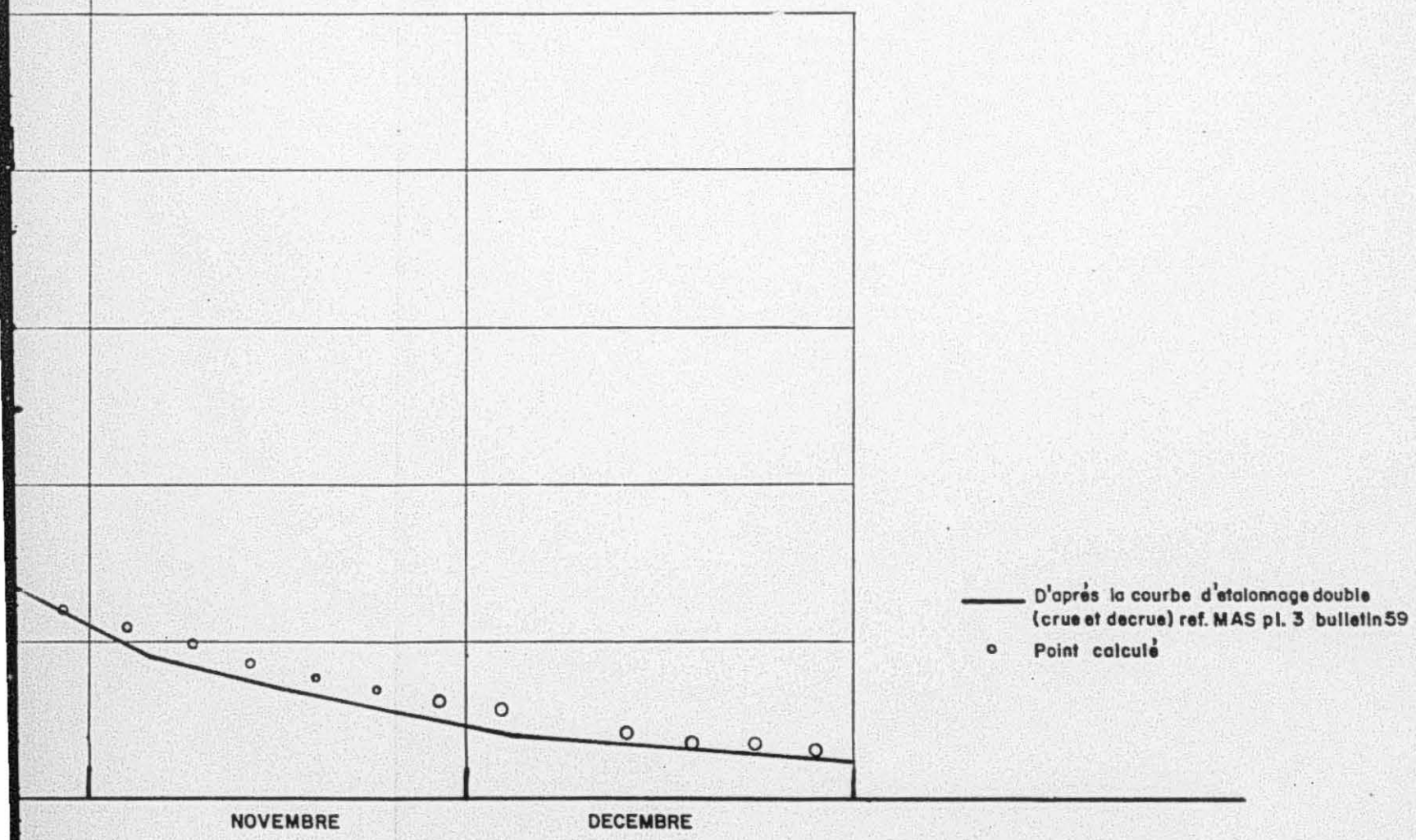

Débit en m³/s
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE


Débit en m³/s
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE

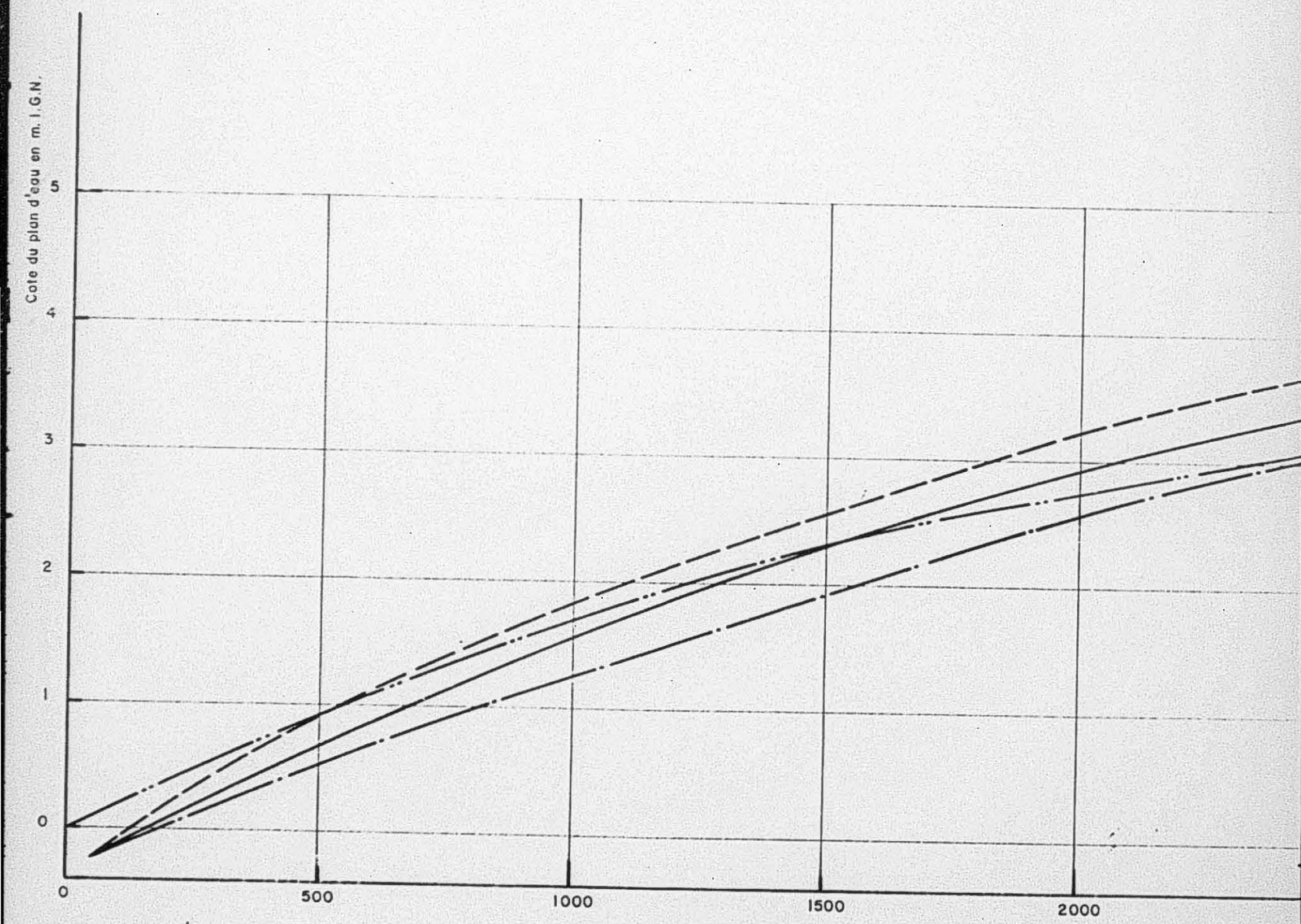
PROPAGATION des ONDES de CRUE du SENEGAL

DEBIT de CRUE a BAKEL

ANNEE 1956

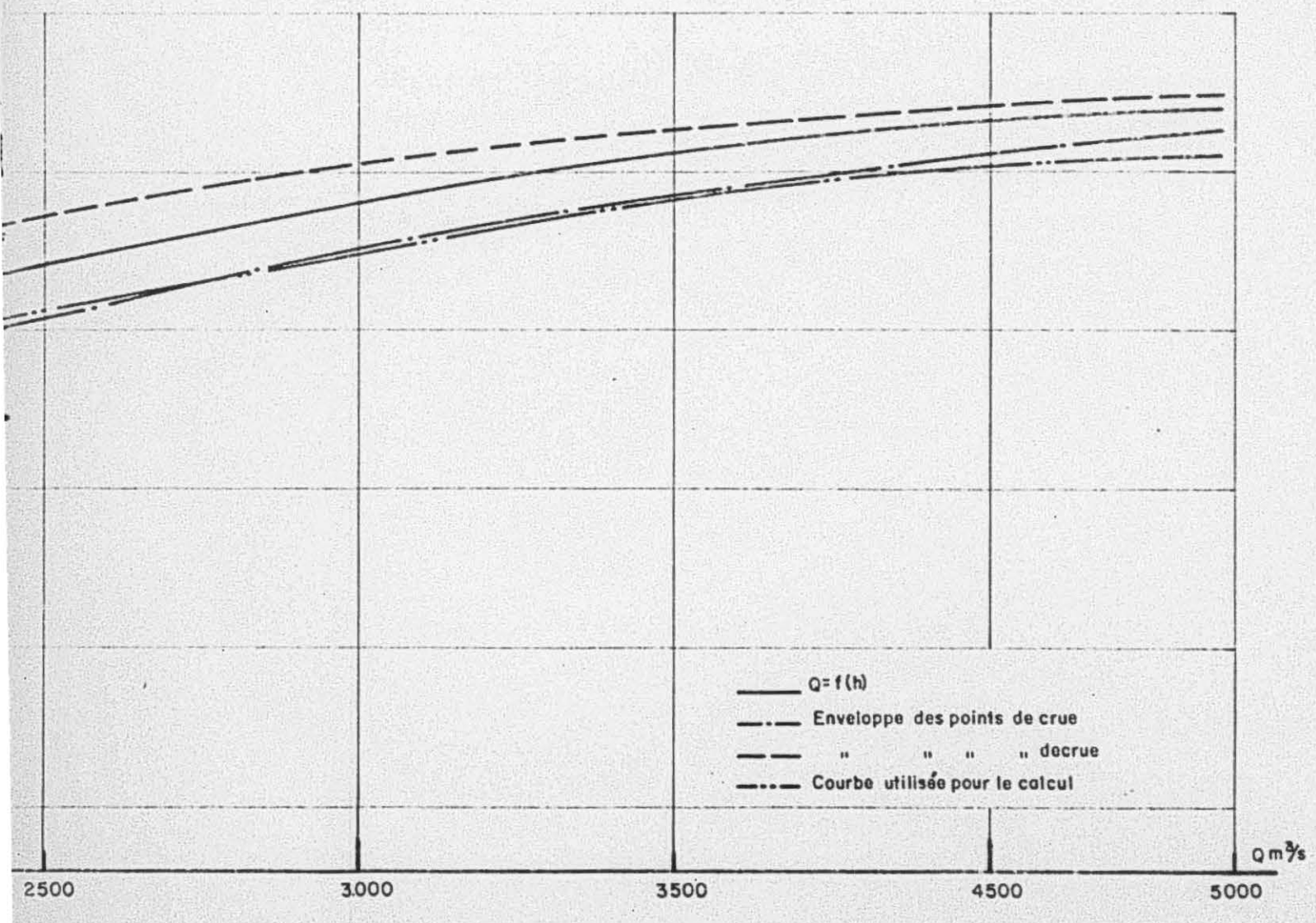


M.Gn E.O.123328 R.7283-III

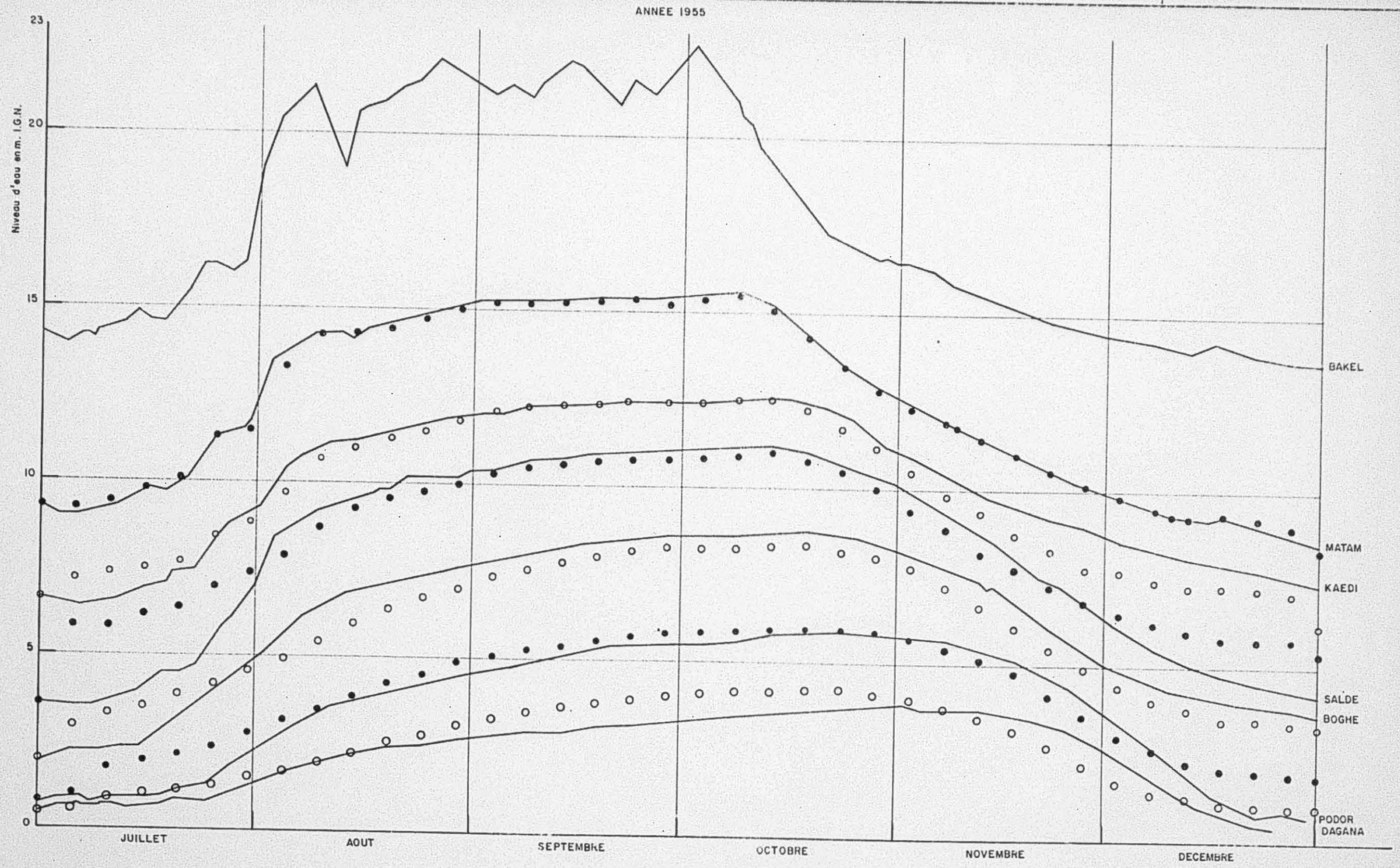

Cote du plan d'eau en m. I.G.N.
5
4
3
2
1
0
0
500
1000
1500
2000

PROPAGATION des ONDES de CRUE du SENEGAL

DEBIT a DAGANA en FONCTION de la HAUTEUR D'EAU

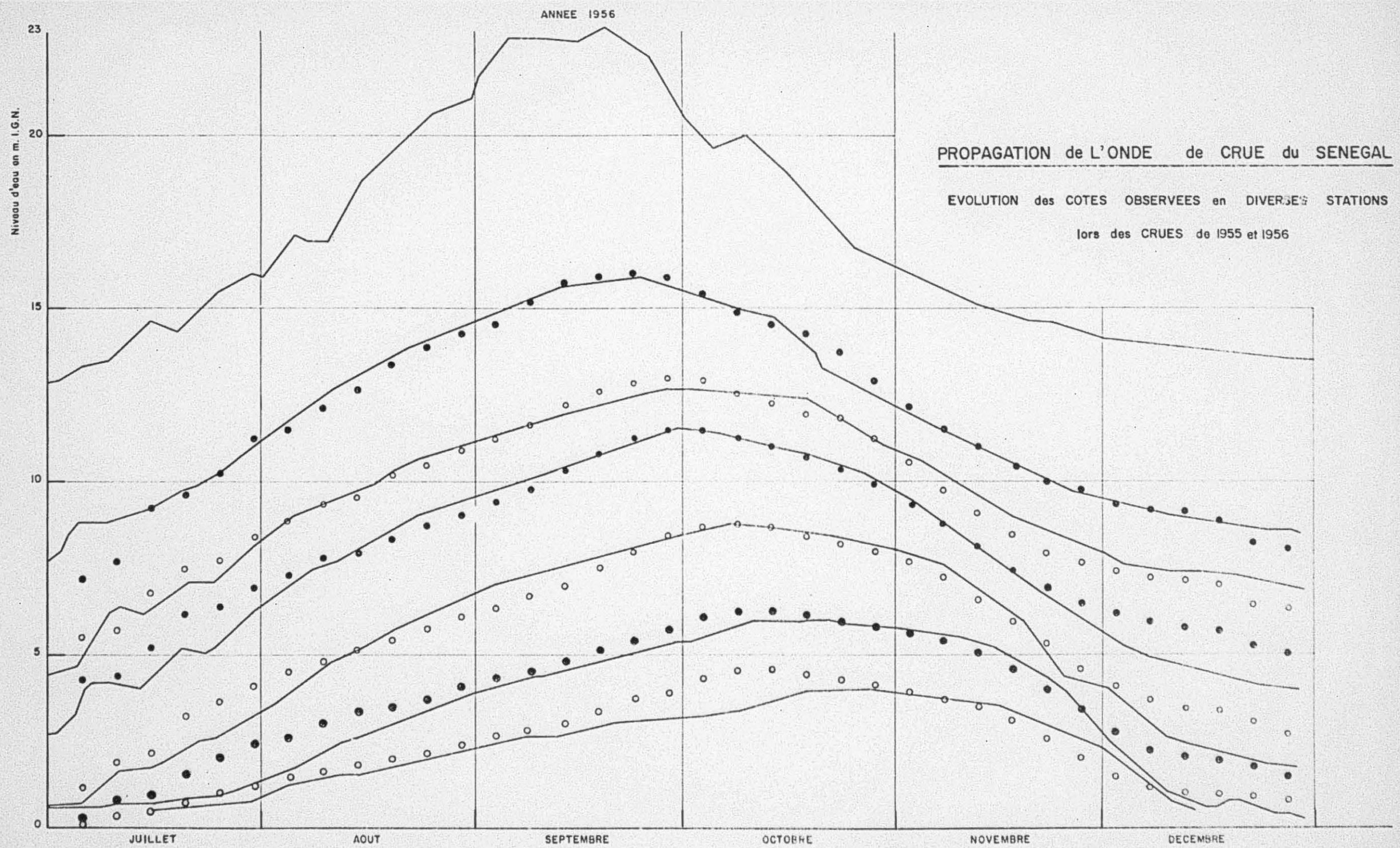


M.Gn E.O.123.338 R.7283-112



—— D'après enregistrement limnigraphique M.A.S

o Point calculé pour: DAGANA, BOGHE, KAED



PROPAGATION de L'ONDE de CRUE du SENEGAL

EVOLUTION des COTES OBSERVEES en DIVERSES STATIONS

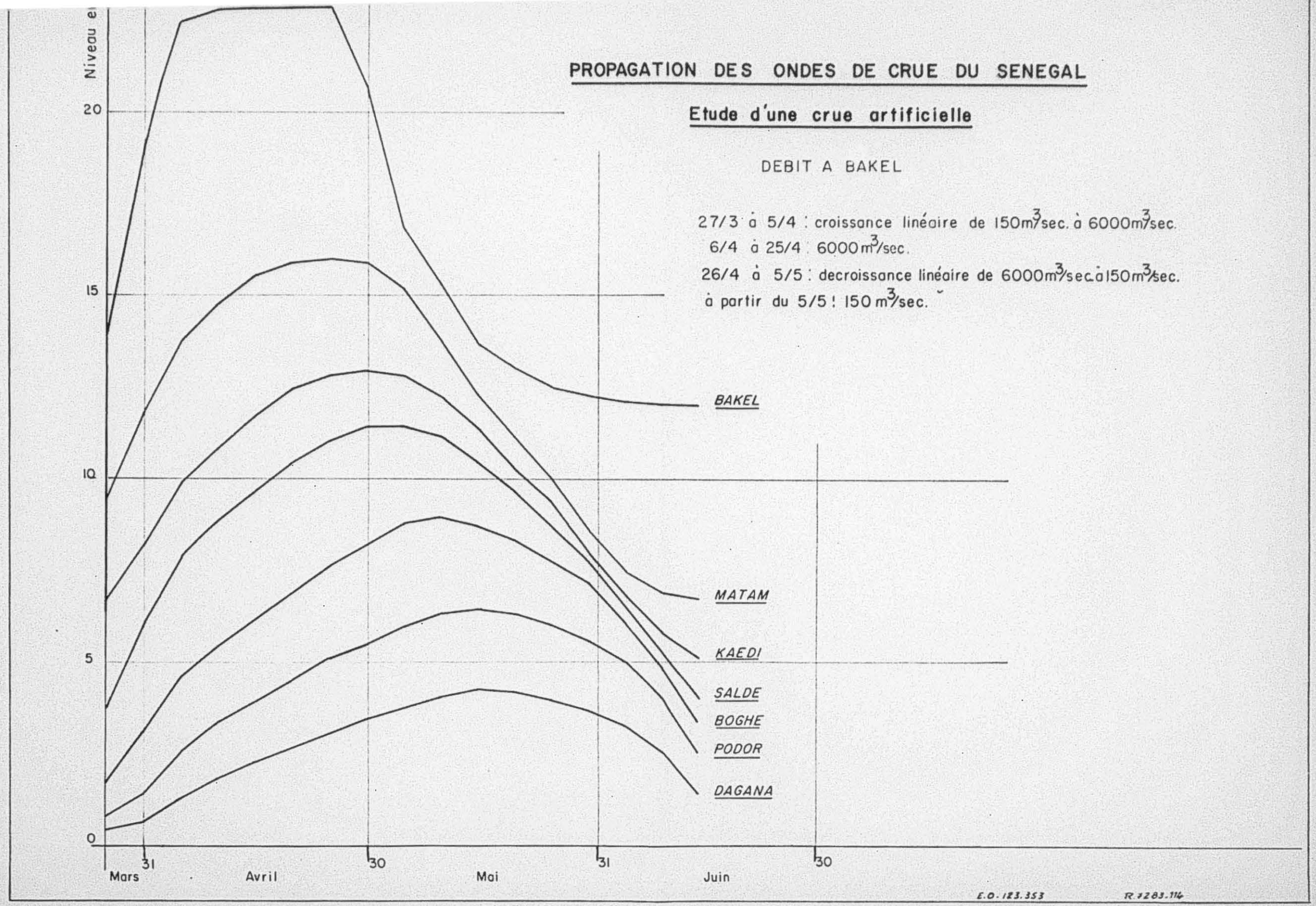
lors des CRUES de 1955 et 1956

● Point calculé pour : PODOR, SALDE, MATAM

M Gn

E.O 123.339

R 7283


PROPAGATION DES ONDES DE CRUE DU SENEGAL
Etude d'une crue artificielle
DEBIT A BAKEL
27/3 à 5/4 : croissance linéaire de 150m³/sec. à 6000m³/sec.
6/4 à 25/4 : 6000 m³/sec.
26/4 à 5/5 : decroissance linéaire de 6000m³/sec. à 150m³/sec.
à partir du 5/5 : 150 m³/sec.
Niveau en
20
15
10
5
0
BAKEL
MATAM
KAEDI
SALDE
BOGHE
PODOR
DAGANA
31
30
31
30
Mars
Avril
Mai
Juin
E.O. 123.353
R.7283.114

- III -
MODE D'UTILISATION DU BARRAGE DE DAGANA

1. POSITION DU PROBLEME

Le barrage de DAGANA peut avoir deux destinations princopales :

Modifier la submersion (en la décalant et en l'augmentant) des terres de la vallée moyenne;

Permettre un remplissage plus complet du Lac de GUIERS, dont la capacité peut être utilisée pour l'irrigation du Casier de RICHARD-TOLL et des terres du haut-delta.

Ces deux destinations sont parfois appelées :

Action "amont", pour la culture de décrue,
Action "aval", pour l'irrigation.

Seule la première de ces destinations est examinée ici.

Cette question a déjà été étudiée dans le rapport SOGETIM-SEEHM en 1956 (document A VII). Mais, depuis cette date, la connaissance des impératifs agronomiques a progressé, et ceci amène à reprendre l'étude dans une optique légèrement différente. On s'est préoccupé ici de respecter deux conditions :

Montée artificielle aussi précoce que possible,

Descente artificielle pas plus tardive que la descente naturelle; cette deuxième conditions peut obliger parfois à ne pas chercher à obtenir la cote maximum de submersion.

Par ailleurs, une méthode de calcul légèrement différente a permis de s'affranchir de toute hypothèse relative au débit du SENEGAL, en amont de la zone d'action, à KAEDI.

Le calcul a été effectué pour un emplacement de barrage à P12; les résultats ne seraient pas très différents pour l'emplacement de KEUR MOUR.

Il comporte deux parties :

Etude détaillée de certaines crues caractéristiques. Ces crues sont :

Crue naturelle FAIBLE	1944
Crue naturelle FORTE	1950
Crue naturelle MOYENNE	1951 1953

Etude rapide des crues de 1936 à 1957.

2. ETUDE DETAILLEE DES CRUES DE 1944, 1950, 1951 et 1953

Méthode de calcul

- En l'absence du barrage, la "crue naturelle" correspond à :

  En P12, débit Q et niveau N (connus),
  A KAEDI, débit q et niveau n (inconnus),
  Entre KAEDI et P12, volume V emmagasiné (inconnu).

  D'où, pendant le temps Δt :

$$q\,\Delta t = q\,\Delta t - \Delta V \qquad (1)$$

  avec ΔV positif pour un remplissage, négatif pour une vidange.

- L'action du barrage se traduit par une courbe de remous supérieure à la courbe d'écoulement naturel. Soit W le volume de "l'onglet" de remous compris entre les deux courbes.

  On a :

  En P12, débit Q' * lâché par le barrage (fixé arbitrairement) et niveau H (à déterminer),

  A KAEDI, débit q et niveau n (inconnus, mais admis inchangés)

  Entre KAEDI et P12, volume $V + W$ emmagasiné (inconnu).

7283
2.2

* Q' est au moins égal à 400 m3/s, débit admis arbitrairement pour le remplissage du Lac de GUIERS et inférieur ou égal à 4000 m3/s débit maximum admissible dans le SENEGAL en aval du barrage.

D'où, pendant le temps Δt :

$$Q' \ \Delta t = q \ \Delta t - \Delta V - \Delta W \qquad (2)$$

avec ΔV et ΔW positifs pour un remplissage, négatifs pour une vidange.

- Par comparaison des égalités (1) et (2), on obtient :

$$(Q - Q') \ \Delta t = \Delta W \qquad (3)$$

où ΔW peut être positif ou négatif.

Cette égalité permet de déterminer, à chaque instant, le volume W de l'onglet à partir de Q (connu) et de Q' (fixé arbitrairement).

- L'abaque A VII 3b4 du rapport SOGETLM-SEEHM peut permettre de déterminer la hauteur R du remous au barrage en fonction de W, pour le débit naturel correspondant Q *.

- On obtient ainsi la hauteur H provoquée par le remous au barrage :

$$H = N + R$$

Résultats

Pour chacune des années étudiées, on a examiné différentes possibilités :

Niveau maximum de submersion égal à 4,55, 4,05, 3,55, 3,05, etc... = courbes a, b, c, d, etc...

Descente très raide, avec lâchage de 4000 m3/s par le barrage, ou descente plus douce rejoignant finalement la descente naturelle : courbes I et II.

---

* Cet abaque a été établi pour diverses valeurs du débit Q. En toute rigueur, il faudrait calculer le remous en régime variable. Mais ceci conduirait à des calculs beaucoup plus compliqués que ceux - déjà fastidieux - qui ont permis l'établissement du présent abaque.

Il y a donc toute une gamme possible de modes de fonctionnement du barrage, correspondant aux courbes Ia, IIa, Ib, Ic, IIc, Id, IId, etc... représentées sur les graphiques joints en annexe.

Il sera possible ultérieurement de choisir celles de ces courbes qui conviennent le mieux aux besoins agronomiques.

On peut schématiser ainsi la situation :

- 1944 - Crue naturelle faible

  On peut obtenir artificiellement :

  soit une forte submersion (a ou b) fin Octobre, début Novembre,

  soit une submersion moyenne (c ou d) fin Septembre, début Octobre.

- 1950 - Crue naturelle forte

  Il n'y a pas intérêt à avancer la crue, car la descente ne peut se produire avant celle de la crue naturelle.

  On peut donc augmenter la submersion naturelle, mais pas avancer la décrue.

- 1951 et 1953 - Crue naturelle moyenne

  On peut réaliser :

  soit une submersion forte (a ou b) en Septembre-Octobre,

  soit une submersion au-dessus de la moyenne (c) en Septembre.

Conclusion

En conclusion, le barrage de DAGANA permet de modifier de façon appréciable la crue naturelle; le fonctionnement optimum sera commandé en grande partie par des impératifs agronomiques.

On voit, en gros, que la décrue naturelle peut ne pas être changée notablement tandis que la décrue pour les terres hautes submergées artificiellement peut être avancée sensiblement.