

66-3

Waterbouwkundig Laboratorium  
Borgerhout  
**BIBLIOTHEEK**

152597

LE BARRAGE DE LIXHE

MOD. 221

PREMIER RAPPORT

## TABLE DES MATIERES.

---

	Page
<u>INTRODUCTION</u>	1
I. <u>LE MODELE.</u>	3
II. <u>LES ESSAIS.</u>	4
1) Niveau d'eau de la Meuse	4
2) Caractéristiques de la vanne principale	8
3) Stabilité du ressaut	9
4) Vitesses à l'aval du barrage	11
5) Pressions sur les profils d'approfondissement	14
6) Ventilation de la zone de sous-pression pour le projet III.	15
7) Débits déversants par les clapets.	18
III. <u>CONCLUSIONS.</u>	19

---

## INTRODUCTION.

---

En vue de la régularisation de la Meuse, en aval de Liège, la construction d'un barrage a été prévue à Lixhe, localité se trouvant à quelques kilomètres au nord de Visé (cfr. annexe 1 et 1 bis). La construction d'une écluse pour des bateaux de 2000 T ainsi que d'une centrale hydroélectrique près du barrage fait partie du projet.

Le Laboratoire de Recherches Hydrauliques a été chargé de l'examen des aspects hydrauliques de ce projet (\*).

Les données principales sont les suivantes :

- les vannes , au nombre de six, seront du même type que celles de Neuville-sous-Huy (cfr. annexe 2); chaque vanne comporte une vanne principale et une hausse.
- elles seront manoeuvrées verticalement. Leur largeur sera de 24m.  
Largeur totale entre les piles :  $6 \times 24 = 144$  m.  
Largeur des piles : 3,20 m chacune;
- des clapets mobiles évacueront les petits débits par déversement;
- hauteur totale de retenue : 7,00m ;
- en aval des vannes il a été prévu un approfondissement dans le fond de la rivière de  $\pm$  5,00m . Quant à la forme du profil d'approfondissement plusieurs propositions ont été faites (cfr. annexe 3).  
Les projets I et II prévoient des profils "type Creager".

---

(\*) cfr. la lettre OW/ML/BE I - 1183 du 3. 9. 1963 du Service d'Etudes des Ouvrages d'Art hydrauliques - ref. W.L. 45760/Mod. 221 et l'annexe "Barrage de Lixhe".

Les projets III et III bis comportent des profils d'approfondissement verticaux. La cote définitive du fond de la rivière, en aval du barrage, sera réalisée en deux phases. Initialement cette cote sera de 42,86 m. Ultérieurement l'approfondissement sera porté à 42,06m sur une longueur de ~ 6,3 Km selon les données obtenues après les essais au Laboratoire (cfr. fig. Ibis); cela permettra de conserver une profondeur d'eau d'au moins 4 m dans la rivière.

- Deux implantations de la vanne ont été examinées (cfr. annexe 3 implantations 1 et 2), la première décalée vers l'aval par rapport à la crête du radier amont d'une distance égale à 1/5e de la retenue pour les projets I et II soit 1,40m; pour les projets III et IIIbis , cette distance est 35 cm.

Au Laboratoire chaque profil a fait l'objet d'un examen spécial en ce qui concerne :

- 1) Les caractéristiques de débit de la vanne principale.
- 2) La stabilité du ressaut sur le radier aval du barrage en fonction du débit et du niveau de la rivière.
- 3) Les trajectoires du courant, au droit du barrage en amont et en aval de celui-ci, en fonction des levées de la vanne principale et de la position de celle-ci par rapport à l'approfondissement.
- 4) Les pressions statiques et les différences de pressions sur les profils d'approfondissement pour les diverses levées et implantations de la vanne.
- 5) Les vitesses de courant.

## I. LE MODELE.

---

Afin de pouvoir comparer les projets proposés on a construit au Laboratoire un modèle à deux dimensions. En première approximation on n'a pas tenu compte de l'interaction des diverses vannes et de ses conséquences sur le ressaut. De même pour l'influence des piles et de la centrale sur l'écoulement.

Une vanne schématisée (cfr. annexe 4) similaire à celles de Neuville-sous-Huy et Ivoz-Ramet, a été mise en modèle, du moins en ce qui concerne la partie qui sera en contact avec l'écoulement lors du passage de l'eau en dessous de la vanne. La hausse basculante n'a pas été réalisée dans le modèle (\*).

Tous les résultats de modèle sont obtenus pour un fonctionnement en vanne de fond.

Le modèle à deux dimensions nous a déjà permis de tirer quelques conclusions concernant les projets proposés.

### Echelles du modèle.

Echelle des longueurs	: $\alpha_l = 1/25$
Echelle des profondeurs	: $\alpha_h = 1/25$
Echelle des vitesses	: $\alpha_v = 1/5$ (d'après Froude)
Echelle des débits	: $\alpha_Q = 1/3125$

---

(\*) Référons-nous aux essais faits par le L.R.H. pour les vannes du barrage d'Ivoz-Ramet (semblables à celles de Neuville-sous-Huy). Un étalonnage de débit de la hausse se trouve dans le rapport : "Druk-en debietmetingen, hoofdzakelijk op een model der Wipschuif van de stuwdam te Ramet-Ivoz" - Mod. 80.

## II. LES ESSAIS.

---

### 1) Niveau d'eau de la Meuse.

Les niveaux d'eau de la Meuse, immédiatement en aval de Lixhe, peuvent être prédéterminés par le calcul d'axes hydrauliques. Les calculs ont été faits dans diverses hypothèses.

#### a) Première hypothèse (\*):

- coefficient de rugosité de Bazin :  $\gamma = 1,30$
- largeur de la Meuse (profil rectangulaire):  $l = 144 \text{ m}$
- cote de fond de la Meuse en aval du barrage  $42,06 \text{ m}$
- le fond est horizontal à l'aval du barrage sur  $3.600 \text{ m}$ .
- la pente de fond au delà est de  $24 \text{ cm/Km}$ .
- on suppose le mouvement uniforme réalisé dans la partie où la pente est de  $24 \text{ cm/Km}$ .

L'annexe 5 donne le résultat de ce calcul, notamment la hauteur d'eau en aval du barrage en fonction du débit de la rivière (hypothèse a).

#### b) Un second calcul fut fait avec des hypothèses légèrement différentes.

Le débit est donné par  $Q = \Omega \bar{v}$

où  $\Omega$  = section mouillée.

$\bar{v}$  = vitesse moyenne pour  $\Omega$ .

---

(\*) Service d'Etudes des Ouvrages d'Art Hydrauliques. cfr.

Note en bas de la page 1.

$\bar{v}$  est donné par  $\bar{v} = C \sqrt{RI}$

où  $C$  = coefficient de Chézy

$R$  = rayon hydraulique =  $\frac{\text{section mouillée}}{\text{périmètre mouillé}}$

$I$  = pente de la ligne d'énergie.

Bazin exprime  $C$ , en fonction de  $R$  et d'un coefficient de rugosité  $\gamma$ , par la formule :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

Thijsse exprime  $C$ , en fonction de  $R$  et d'un coefficient de rugosité  $k$ , par la formule:

$$C = 18 \log \frac{12 R}{k}$$

Les 2 expressions de  $C$  ont des propriétés communes :

- $C$  est fonction du rayon hydraulique et d'un coefficient de rugosité ( $\gamma$  ou  $k$ ).
- $C$  croît lorsque le coefficient de rugosité décroît.
- $C$  croît lorsque  $R$  croît.

Cependant les 2 expressions ne se couvrent pas parfaitement : il n'y a pas une relation  $f(k, \gamma) = 0$  mais bien une relation  $f(k, \gamma, R) = 0$ .

Pour le second calcul nous avons supposé :

- qu'en remontant à partir de Borgharen, la Meuse avait un profil rectangulaire avec une largeur de 160m;
- que son fond était d'abord incliné de 0,2417m par km sur la longueur A'B' (annexe 1 bis) puis horizontal à la cote 42,06 jusqu'au barrage de Lixhe (sur une longueur de 3600m);

- que le mouvement était uniforme sur la partie A'B' ;
- que la formule de Thijssse était applicable avec un coefficient k constant, sur toute la longueur et quel que soit le débit.

Le coefficient k a été déterminé de la façon suivante :  
pour  $I = 0,000.241.7$        $Q = 3500 \text{m}^3/\text{sec}$        $B = 160 \text{ m}$   
nous admettons que  $\gamma$  de Bazin = 1,3 sur la partie A'B' de l'annexe 1 bis.

La formule

$$Q = R \sqrt{RI} \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

ou

$$q = \frac{Q}{B} = R \sqrt{RI} \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

est vérifiée pour les valeurs précitées lorsque  $R = 7,74 \text{ m}$ .

Avec cette valeur et la valeur  $\gamma = 1,3$ , de la formule

$$\frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = 18 \log \frac{12R}{k}$$

nous obtenons  $k = 4,65$ .

Cette méthode de calcul donne des niveaux d'eau moins élevés (cfr. annexe 5, hypothèse b). Par la suite, sauf indication contraire, ce sont ces valeurs qui seront utilisées dans ce rapport.

./. .

c) Un troisième calcul fut fait avec les hypothèses suivantes (\*):

- profils en travers de la Meuse en aval de Lixhe : d'après le plan E<sup>3</sup> n° 1904 - Meuse Liégeoise.
- coefficient de rugosité  $\gamma = 1,8$
- profil en long de la Meuse : d'après le plan E<sup>3</sup> n° 1904 - Meuse Liégeoise.
- cote de fond du radier horizontal : 42,06m sur une longueur de 6300m à l'aval du barrage futur (\*\*).
- cotes imposées à Ei sden.

pour	$Q = 500 \text{ m}^3/\text{sec}$	47,21m
	$Q = 1000 \text{ m}^3/\text{sec}$	48,47m
	$Q = 1500 \text{ m}^3/\text{sec}$	49,67m

d) Un quatrième calcul fut fait avec les hypothèses c) mais la cote de fond du radier horizontal a été prise égale à 42,86m, sur une longueur de 2950m .

e) Un cinquième calcul fut fait avec les hypothèses suivantes :

- hypothèses du paragraphe c) mais avec niveau d'eau constant à Borgharen : 46,34 m.

\*

\* \* }

Les niveaux d'eau calculés à Lixhe en admettant les hypothèses mentionnées sous c), d) et e) figurent à l'annexe 5 .

---

(\*) cfr. l'étude :"Aménagement de la basse Meuse"-Mod. 229.

(\*\*) cfr. la lettre du Service de la Meuse Liégeoise, réf. n° 81370/358 - 0 .

## 2) Caractéristiques de la vanne principale.

Sur le modèle à deux dimensions on a déterminé en premier lieu les caractéristiques de la vanne principale. Pour un niveau amont constant (cote :  $Z = 54,00 \text{ m}$  (\*)) donc avec une profondeur d'eau  $H_{\text{amont}} = 7,00 \text{ m}$  nature) on a déterminé le débit qui passe en dessous de la vanne en fonction de la levée et du niveau aval. Ces mesures ont été faites pour les divers types de profils d'approfondissement proposés ainsi que pour les 2 implantations de vannes (voir introduction et annexe 3). La cote de fond en aval était pour tous ces essais de 42,06m.

Les annexes de 6 à 10 donnent, en trait fin, pour les projets I, II, III et III bis, les caractéristiques de la vanne principale pour les deux implantations de celle-ci (cfr. annexe 3). Des essais ont été faits également pour un projet IIIbis modifié dans lequel notamment on n'a pas arrondi l'angle droit que le radier amont forme avec le mur vertical en opposition avec le projet III et IIIbis où cela a eu lieu.

On remarque que l'on a indiqué en abscisse le débit par unité de largeur et non pas le débit total de la rivière. Ceci est important pour les conclusions à tirer concernant la stabilité du ressaut en aval du barrage (voir plus loin § 3).

Les annexes n° 6 à 10 donnent aussi, en gros trait plein, la courbe  $H_{\text{aval}} = f(Q_{\text{rivière}})$  (cfr. ci-dessus hypothèse b) calculée en partant de Borgharen dans l'hypothèse que le fleuve est en mouvement uniforme sur les 7,200 kilomètres situés immédiatement en amont du barrage de Borgharen.

(\*) mesuré à 25,00m (nature) en amont du bordé amont de la vanne principale.

L'intersection de cette courbe avec les caractéristiques de la vanne détermine des points de fonctionnement.

3) Stabilité du ressaut.

L'approfondissement a pour but de localiser le ressaut dans lequel une grande partie de l'énergie se dissipe. La géométrie de l'approfondissement est choisie de manière telle que le ressaut n'aie pas tendance à se déplacer vers l'aval lors de l'abaissement du niveau dans le bief aval.

Nous dirons que le ressaut est instable lorsqu'il a tendance à se déplacer pour une faible variation d'un paramètre. C'est ce critère qui a servi à dresser les courbes R figurant aux annexes 6 à 10 (hauteur après ressaut) et obtenues en faisant varier le niveau aval pour la cote amont et une levée de vanne donnée.

L'abaissement progressif du niveau aval de la vanne de Lixhe, en un point situé immédiatement en aval du ressaut, a été réalisé en ouvrant progressivement le dispositif qui, en modèle, remplace le barrage de Borgharen. Le niveau ainsi réalisé à Borgharen ne correspond généralement plus au mouvement uniforme (régime normal).

Le niveau aval de Lixhe, critique au sens qu'il correspond au début de l'instabilité du ressaut, a été porté, en traits interrompus courts (courbes R) sur les annexes n° 6 à 10.

. / ..

Les mêmes niveaux aval critiques ont été déterminés par calcul dans l'hypothèse d'un lit à la cote 42,06m (et sans encuvement) en aval du barrage. Les courbes en traits interrompus longs des annexes n°6 à 8 donnent ces hauteurs calculées; comme l'énergie est moins dissipée ces hauteurs sont supérieures à celles des courbes R.

Les points de fonctionnement situés au-dessus de la courbe R correspondent à un ressaut stable.

La zone d'instabilité se trouve donc en dessous des courbes R.

La courbe de fonctionnement  $q = f(H)$  étant pour tous les projets située au-dessus de la courbe R, on peut en déduire que le ressaut est stable.

Exemple : Supposons le profil II avec implantation I et  $H_{aval} = 46,55m$  (annexe 7).

Les 6 vannes sont levées de 0,75m. Pour qu'on est en fonctionnement normal le débit écoulé par unité de largeur :  $q = 6,80 \text{ m}^3/\text{sec m}$  d'après l'annexe 7. Ceci correspond à un débit de rivière de  $Q \approx 6,8 \times 144 \approx 979 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Le point de fonctionnement A se trouvant au-dessus de B, le ressaut est stable.

Par contre si, contrairement au fonctionnement normal, on voulait écouler le même débit  $Q \approx 979 \text{ m}^3/\text{sec}$  avec 2 vannes en maintenant le niveau aval à 46,55m, on triplerait la valeur de  $q$ , ce qui nécessiterait une levée de vanne de plus de 2,35m. Le ressaut deviendrait instable, le point A' passant sous B'.

. / ..

Les annexes 6 à 10 peuvent servir de base pour les consignes de manoeuvre des vannes.

La comparaison des annexes 6 et 7 montre que le projet II est plus favorable que le projet I. La courbe  $R_{II}$  est située à environ 0,50 m au-dessus de  $R_I$ .

L'annexe 8 montre que le projet III sans encuvement est le plus défavorable. Le projet IIIbis est comparable au projet II. Au point de vue stabilité du ressaut, l'implantation de la vanne suivant l'axe longitudinal de l'approfondissement n'influence que très peu les résultats cités ci-dessous.

Aux points de fonctionnement le ressaut est toujours noyé quels que soient le type de projet et la levée de vanne.

Les photos 1 à 7 montrent divers écoulements.

#### 4) Vitesses à l'aval du barrage.

Sur modèle, des relevés de vitesses ont été faits en aval du barrage à 1 m au-dessus du radier.

Les annexes 11 et 12 donnent la vitesse en fonction du débit par unité de largeur en 4 sections situées à 50, 60, 76,5 et 111,75 m à l'aval du barrage (origine des abscisses cfr. annexe 3).

Pour le grand débit envisagé de la rivière  $Q = 3500 \text{m}^3/\text{sec}$  ou pour  $q \approx 24,3 \text{ m}^3/\text{sec}$ , on a mesuré des vitesses de  $\sim 2,3$  à  $2,8 \text{ m/sec}$  à environ 75 m en aval du barrage, en

.//..

admettant ( hypothèse b ) une section rectangulaire avec une largeur au plafond de 160m pour un niveau du fond 42,06. La hauteur d'eau est (annexe 5)  $h = 51,35 - 42,06 = 9,29 \text{ m.}$

La vitesse moyenne théorique est donc :

$$V_{\text{théor.}} = \frac{3500}{160 \times 9,29} \approx 2,35 \text{ m/sec}$$

En se référant au diagramme empirique de Hjulström (annexe 13), concernant les phénomènes d'érosion, il apparaît que des mesures de précaution doivent être prises pour protéger le fond de la rivière en aval du barrage de Lixhe sur une longueur d'environ 75m .

Sur le profil "Creager" lui-même (projets I et II ) se présentent des vitesses qui sont considérablement plus grandes.

Le tableau ci-dessous nous donne :

- 1°) la vitesse moyenne  $V = \frac{Q}{\Omega}$  (calculée sans contraction;  
 $Q$  = le débit mesuré (sur l'annexe 7, projet II implantation 1)  
 $\Omega$  = la section théorique immédiatement en dessous de la vanne pour diverses levées.
- 2°) la vitesse au droit de la contraction de la veine liquide en admettant  $\mu = 0,62$ .

Des phénomènes de cavitation locales ainsi que des matériaux durs charriés par la rivière peuvent agrandir supplémentairement l'érosion du coursier.

. / ..

levée de la vanne (m en nature)	vitesse (m/sec)	vitesse (m/sec) $\mu=0,62$
0,125	11,55	18,65
0,25	10,53	17,00
0,50	10,41	16,80
0,75	9,88	15,95
1,00	9,42	15,20
1,25	9,56	15,42
1,50	9,42	15,20
1,75	9,41	15,19
2,00	9,19	14,82
2,25	9,28	14,98
2,50	9,19	14,82
2,75	9,03	14,58

Le coefficient de contraction  $\mu = \frac{Q}{\Omega \sqrt{2gh}}$  reste  
d'après B. Gentilini entre

0,6 (petites levées de vannes)  
et 0,7 (grandes levées de vannes)

Cet auteur fait dépendre le coefficient  $\mu$  de l'angle  $\alpha$  que fait la tangente à la partie inférieure de la vanne avec l'horizontale.

Pour la vanne principale à Lixhe  $\alpha$  est constant et est voisin de  $54^\circ$ .

. / .

L'exécution du coursier et le matériau employé demanderont donc une attention spéciale du fait que :

- 1) toute irrégularité du coursier provoque des zones de dépressions locales.
- 2) les matériaux charriés aux grandes vitesses sont susceptibles d'endommager l'ouvrage.
- 5) Pressions sur les profils d'approfondissement.

Les annexes 14 à 19 montrent les pressions mesurées pour les profils d'approfondissement considérés et exprimées en mètres d'eau.

La pression a été mesurée pour diverses levées de vannes (débits). Les mesures ont été faites pour les 2 implantations de vanne en sens longitudinal (à cet effet cfr. l'annexe 3).

Pour plus de clarté on n'a dessiné, sur les annexes de 14 à 19, que les lignes de pressions pour 4 ou 5 levées de la vanne principale.

Sur les annexes de 20 à 24 figurent les variations de pressions lors de levées de vannes dans des prises de pression bien déterminées, là où notamment on a constaté que les sous-pressions étaient généralement les plus grandes.

Les graphiques nous révèlent les positions les plus défavorables en ce qui concerne les sous-pressions.

Sur le modèle des vibrations de la vanne ont été observées lors de petites levées de la vanne (le gradient de pression le long du coursier y est maximum, voir annexe 15).

. / .

L'implantation n°1 proposée par le S.O.A.H. est la plus favorable en ce qui concerne les sous-pressions - tant pour le projet I que pour le projet II, les sous-pressions sont petites (inférieures à 0,50m de hauteur d'eau).

Le profil vertical donne des sous-pressions supérieures . En outre lors de petites levées de vanne (jusque 1,50m) il se forme , pour les niveaux d'eau aval d'après l'hypothèse b, des poches d'air entre la veine liquide et la paroi verticale de l'approfondissement; l'enfoncement de cet air par l'eau et l'arrivée brutale d'air de l'extérieur provoquent des instabilités de la veine liquide occasionnant un danger de vibration des vannes principales.

#### 6) Ventilation de la zone de sous-pression pour le projet III.

Le L.R.H. a essayé d'obtenir des courants stables pour le projet III en appliquant un principe proposé par le Prof. L. Escande (\*).

Au moyen d'une fente aspiratrice on peut éviter,dans certains cas, la formation de poches d'air dues au décollement de la veine liquide du coursier.

---

(\*) cfr. entr'autres : Prof. L. Escande : " Les barrages déversoirs à fente aspiratrice" . Le Génie Civil du 15 avril 1952 p.145.

L'effet d'une fente aspiratrice a été examiné sur le modèle. On a constaté que pour le projet III ( mur de chute vertical) il n'est pas possible de créer en aval une dépression capable d'aspirer la veine liquide à l'endroit du décollement, sans utilisation d'une pompe aspiratrice onéreuse.

Un autre procédé , qui peut être appliqué, pour obtenir des courants stables pour le projet III est l'aération continue de l'espace entre la veine liquide et la paroi verticale de l'approfondissement au moyen de cheminées d'aération installées dans les piles de la retenues et/ ou bien une aération latérale de la veine liquide. La disposition des embouchures des cheminées d'aération éventuelles, d'où l'air amené affluera dans l'espace intermédiaire entre la paroi verticale et le jet d'eau, doit être choisie telle que son amenée ne soit empêchée par le niveau d'eau aval.

Le débit d'air nécessaire peut être calculé approximativement par la formule suivante :

$$\frac{Q_{\text{air}}}{Q_{\text{eau}}} = 0,04 \left( \frac{v}{\sqrt{gy}} - 1 \right)^{0.85} \quad (*)$$

---

(\*) Communiqué par l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique et d'Hydraulique à Toulouse.  
Cfr. également Comptes-rendus A.I.R.H. - Den Haag 1955-  
C<sub>10-20</sub> et La Houille Blanche n°2/1965 - L. Levin.

. / ..

où  $Q_{air}$  : débit d'air en m<sup>3</sup>/sec.

$Q_{eau}$  : débit d'eau par vanne en m<sup>3</sup>/sec.

v : vitesse du jet d'eau en m/sec à l'endroit où l'air est entraîné par la veine liquide.

y : épaisseur de la veine liquide en cet endroit en mètres.

g : accélération de la pesanteur en m/sec<sup>2</sup>.

(cfr. croquis : annexe 25).

Le tableau ci-dessous donne l'ordre de grandeur des débits d'air nécessaires par vanne principale pour diverses levées. (projet III - implantation 1 de la vanne principale)

levée de la vanne (m nature)	$Q_{air}$ par vanne (m <sup>3</sup> /sec)
0,125	8,6
0,250	9,5
0,50	13,4
0,75	14,1
1,00	15,1

Remarquons aussi que pour l'hypothèse b de l'annexe 5 la courbe  $q = f(H)$  en gros trait plein du graphique "implantation 1" de l'annexe 7 montre que le niveau aval de la rivière atteint la

. / .

cote amont du fond (47.00) pour une levée de la vanne de  $\sim$  85 cm alors qu'une courbe  $q = f(H)$  calculée pour l'hypothèse c montre que la cote (47,00) est déjà atteinte pour une levée de  $\sim$  35 cm. En effet, l'intersection de cette courbe sur le graphique précité avec l'ordonnée 47 est donnée par la considération que les abscisses des courbes  $q_b = f(H)$  pour  $H = 47$  sont dans le même rapport que les abscisses des courbes b et c pour  $H = 47$  sur l'annexe 5. Connaissant ainsi l'abscisse  $q_c$  le graphique précité de l'annexe 7 montre alors que la levée de vanne correspondante est de environ 35 cm.

7) Débits déversants par les clapets.

Pour les vannes d'Ivoz-Ramet on a fait un étalonnage de débits pour les clapets. Des mesures de pressions ont été également faits. Les vannes de Neuville-sous-Huy et de Lixhe sont semblables à celles d'Ivoz-Ramet.

On ne peut additionner tout court les débits partiels obtenus par des étalonnages séparés quand les vannes fonctionnent simultanément en déversement et en écoulement de fond, sauf quand l'aération du côté aval de la vanne principale est complète(\*) .

Le débit total est alors égal à la somme des débits partiels obtenus par l'étalonnage.

---

(\*) Cfr. Prof. L. J. Tison : "Cours d'Hydraulique" Tome I-p. 193.

Quand l'aération est incomplète le débit total sera plus grand.

Quand le côté aval de la vanne principale n'est pas complètement aéré il peut se produire d'ailleurs des souspressions en aval, provoquant la formation de tourbillons et ensuite des vibrations des vannes principales et leur destruction éventuelle.

Le Laboratoire de Recherches Hydrauliques n'a pas fait des essais à cet effet.

Le prof. L. Escande (\*) a fait un examen approfondi de la formation de ces tourbillons dangereux, ainsi que pour une forme de vanne principale qui se rapproche de celle à Lixhe (sans clapet mobile mais à déversoir fixe). La relation de la hauteur de la vanne ( $\Delta$ ) avec la hauteur de la retenue ( $H$ ) semble être un critère de sécurité pour le cas où on n'applique pas une aération. D'après le Prof. L. Escande on doit prendre  $\frac{\Delta}{H} \approx 0,60$ . Cette condition est remplie pour le barrage de Lixhe vu que la valeur minimale de  $\frac{\Delta}{H} \approx 0,8$ .

### III. CONCLUSIONS.

1. Le Laboratoire de Recherches Hydrauliques a examiné 4 projets du barrage de Lixhe (cfr. l'annexe 1). Les caractéristiques des débits ont été déterminées pour une vanne schématisée, l'écoulement se faisant sous la vanne (cfr. les annexes 2, 3, 4 et 5).

---

(\*) Recherches sur le fonctionnement simultané des "barrages mobiles en déversoirs et en vannes de fond". La Houille Blanche - n° spécial B - 1948.

Il a été examiné en quelle mesure le ressaut, créé à l'aval du barrage, reste en place dans la partie approfondie. La géométrie de la surprofondeur et les cotes du fond s'avèrent importantes. Le projet II crée un ressaut plus stable que les projets I ou III. Le projet IIIbis est comparable au projet II au point de vue de la stabilité du ressaut.

2. Les vitesses du courant, à 1 m en dessus du fond du lit à l'aval de Lixhe et à 75 m environ en aval de l'origine indiquée à l'annexe 3, sont encore de l'ordre de grandeur de 2,50m/sec pour un débit de 3500 m<sup>3</sup>/sec; la vitesse moyenne dans les mêmes circonstances est de l'ordre de grandeur de 2,35m/sec.  
Les coursiers des projets I et II comportent des vitesses moyennes très grandes (voir p.13) surtout pour des petites levées de la vanne principale. Il faudra <sup>en</sup>tenir compte lors du choix des matériaux d'exécution.
3. Pour les projets I et II, les lois des pressions sur la partie approfondie, ont des allures normales. Pour les projets III et IIIbis , de grandes sous-pressions ont été mesurées; l'écoulement est très instable; on pourrait y remédier par une ventilation complète.
4. Les débits passant au-dessus de la hauteur peuvent être repris d'un rapport antérieur du Laboratoire de Recherches Hydrauliques (voir page 3).
5. Lorsque le barrage débite par écoulement de fond des vibrations ont été observées lors de petites levées de la vanne.

6. Lorsque le barrage débite simultanément par déversement et par écoulement de fond des sous-pressions peuvent se présenter et celles-ci peuvent être accompagnées de vibrations. Celles-ci ne comporteront toutefois pas de suites préjudiciables pour l'ouvrage d'art, puisque le rapport de la hauteur de la vanne à la hauteur de retenue est suffisante pour l'ouvrage projeté à Lixhe.
7. L'interaction des différentes vannes et ses conséquences pour le ressaut ainsi que l'influence des piles et de la centrale électrique sur l'écoulement n'ont pas été examinées.
8. Toutes les conclusions sont tirées d'essais faits avec les hypothèses b de la page 4 . Si l'on adopte les hypothèses e (fournies au laboratoire après la fin des essais) on peut admettre qu'en ce qui concerne la stabilité du ressaut et les vitesses maxima la situation sera plus favorable.
9. Le programme de manoeuvre des vannes ainsi que l'interaction de celles-ci feront l'objet d'une étude sur un modèle représentant les six passes.

Borgerhout, janvier 1966.

L'Ingénieur des Ponts et  
Chaussées,  
chargé de l'étude,

L'Ingénieur en Chef-Directeur, L'Ingénieur en Chef-  
Directeur des Ponts  
et Chaussées,  
Directeur du Laboratoire  
de Recherches Hydrauliques



I. COEN

O. D'HEYGERS.

A. STERLING.

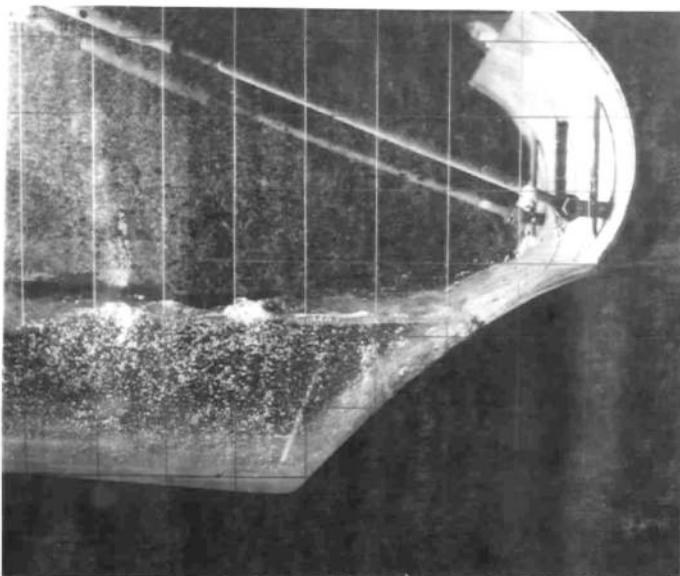


Photo n°1 - Projet I -  
levée de la vanne : 0,25 m (nature)

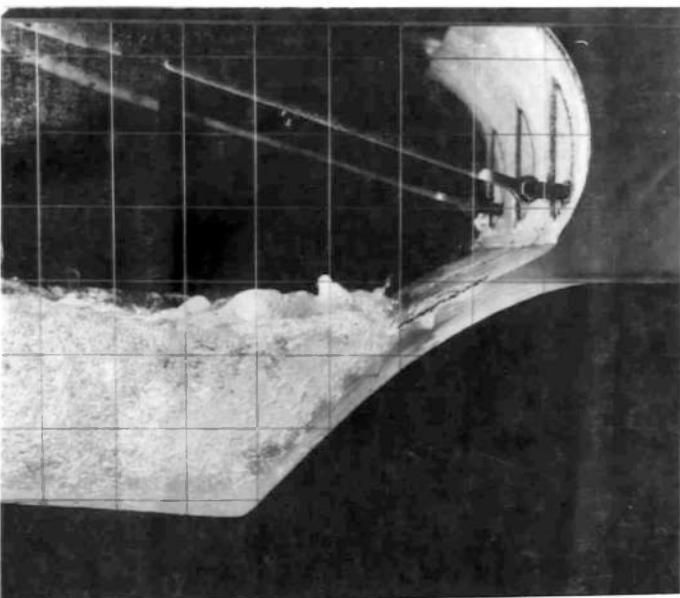


Photo n°2 - Projet I -  
levée de la vanne : 1,25 m (nature)



Photo n°3 - Projet I -  
levée de la vanne : 2,25 m (nature)

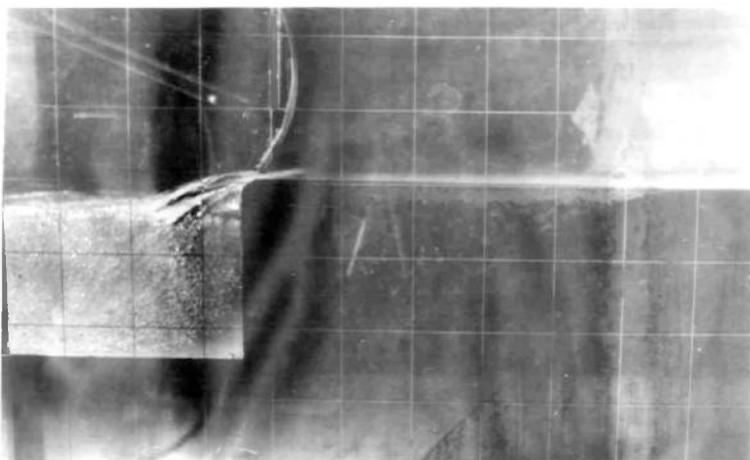


Photo n° 4 - Projet III -  
levée de la vanne : 0,50 m (nature)

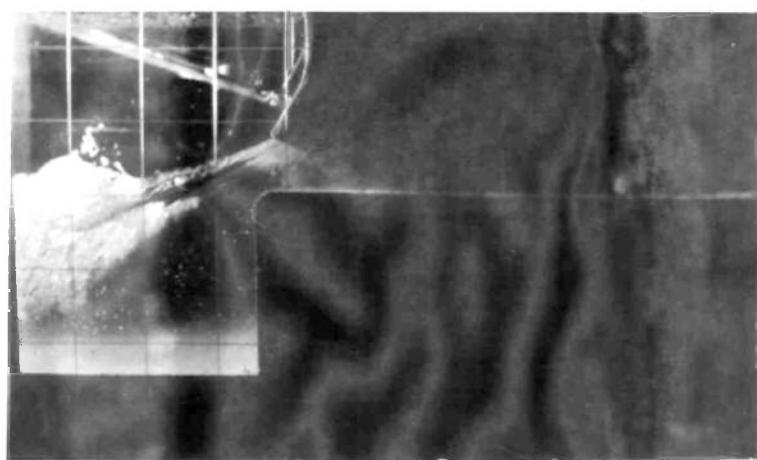


Photo n°5 - Projet III -  
levée de la vanne : 1,50 m (nature)

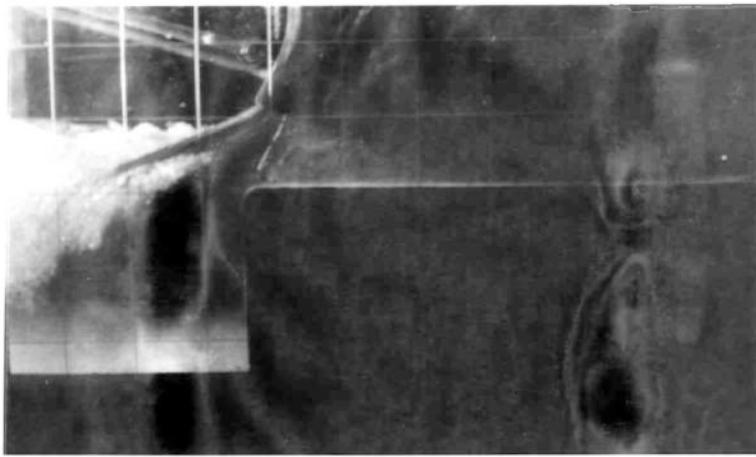


Photo n°6 - Projet III -  
levée de la vanne : 2,25 m (nature)

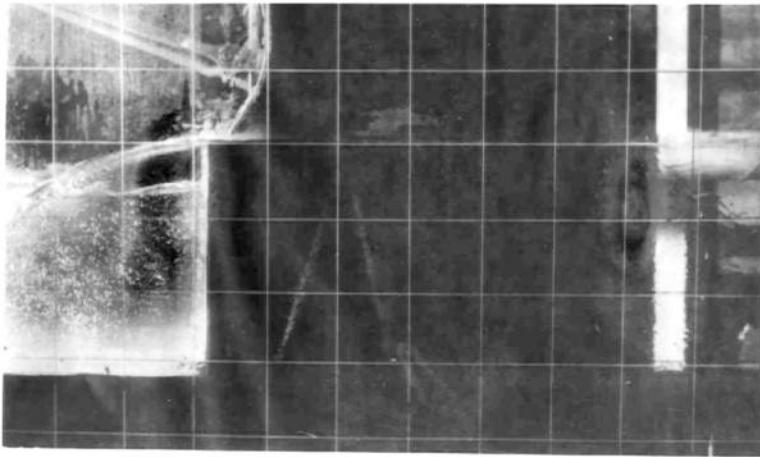
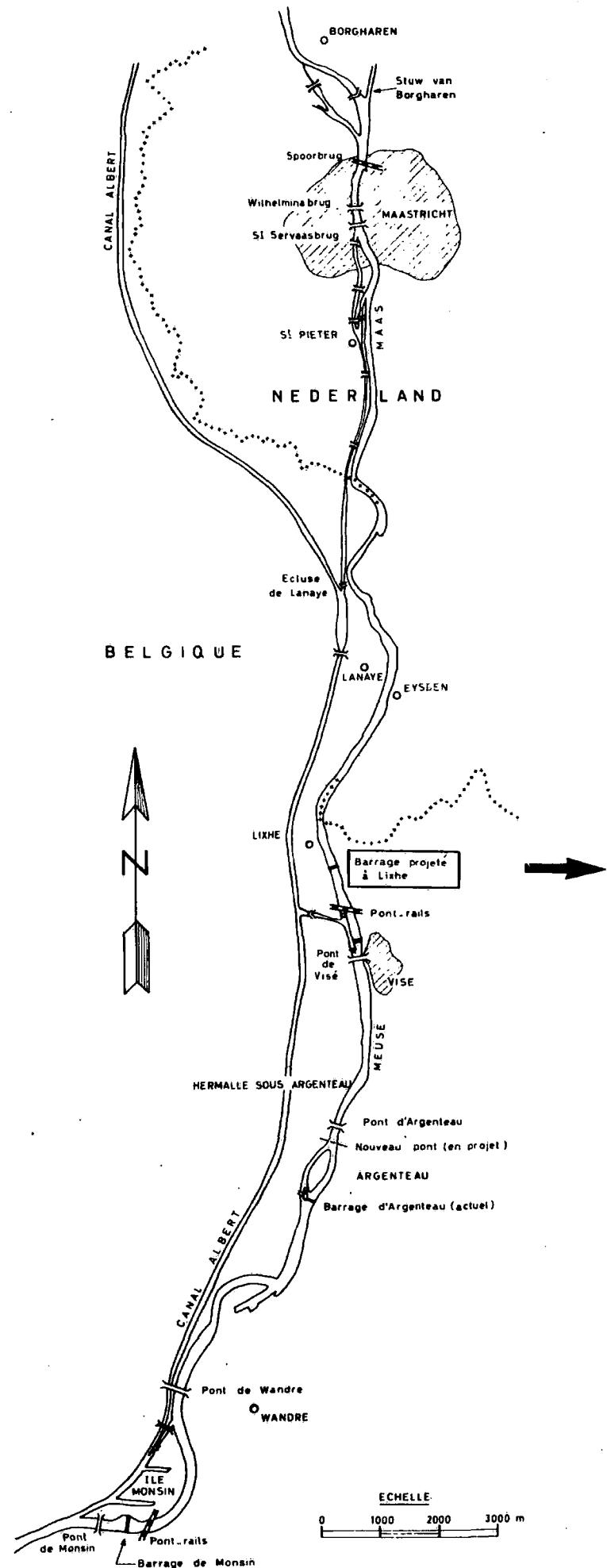


Photo n°6 - Projet IIIbis - avec  
seuil à angle vif - levée de la  
vanne : 0,50 m (nature)

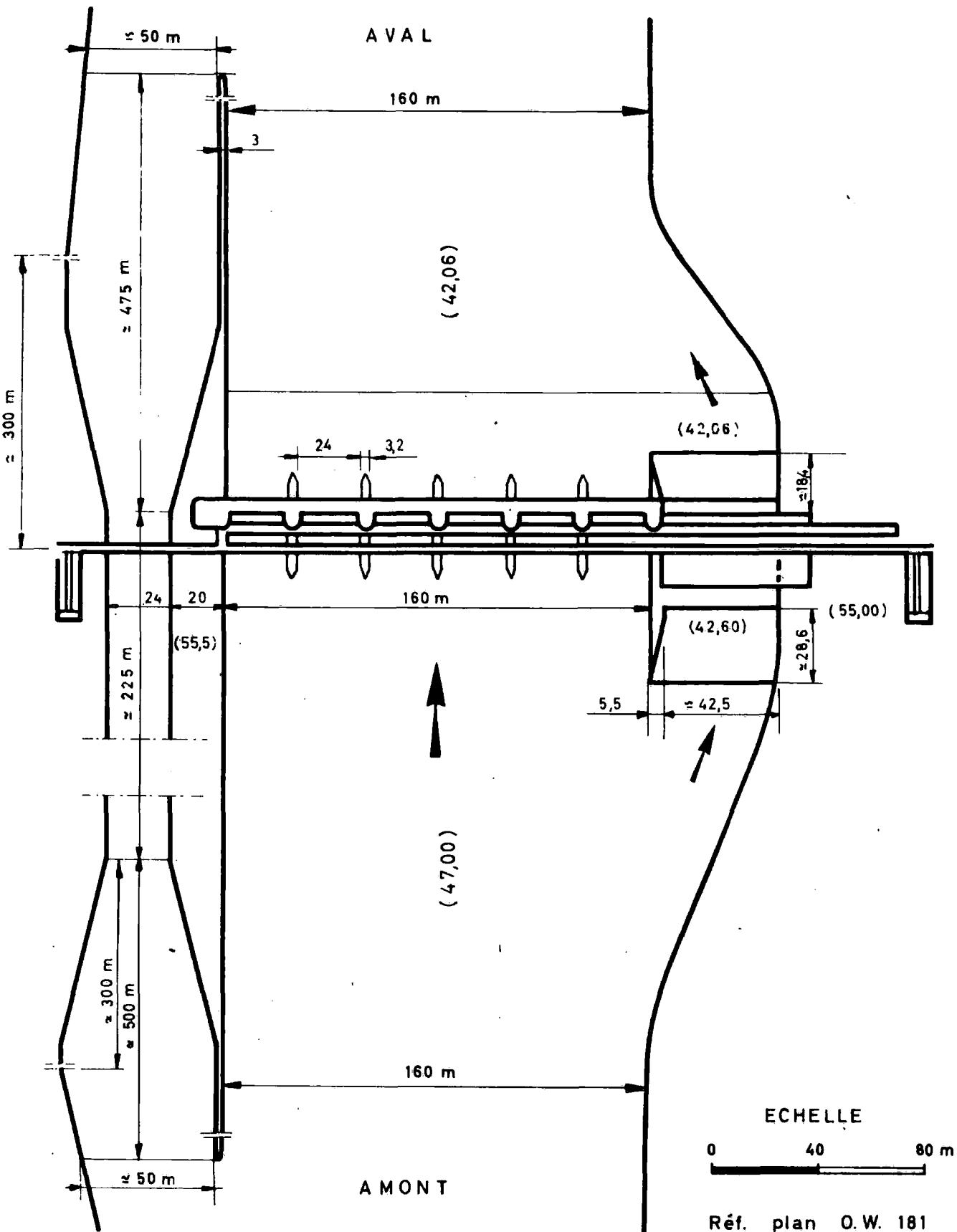


PLAN DE SITUATION

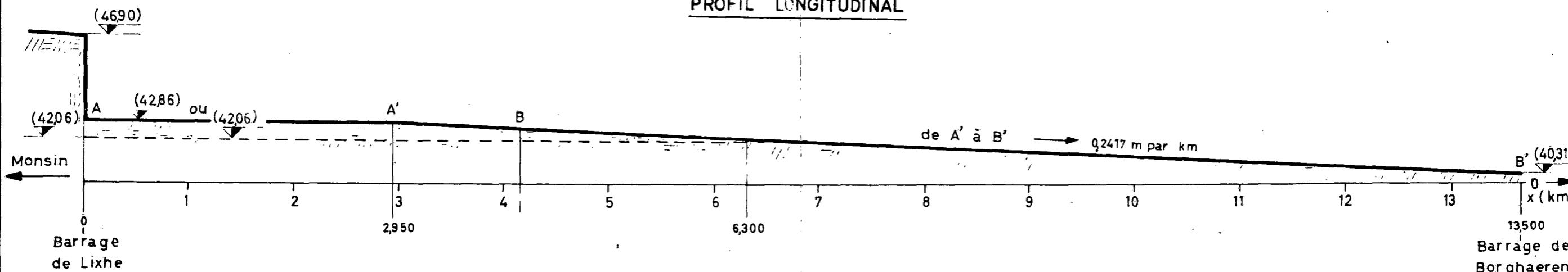
Annexe 1



VUE EN PLAN DU BARRAGE



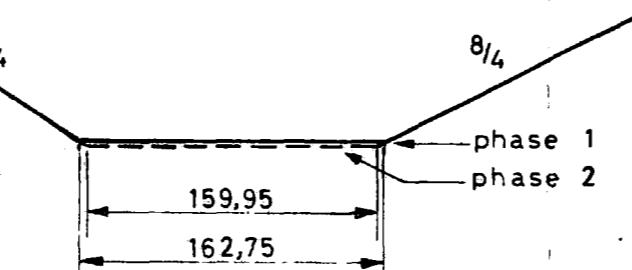
PROFIL LONGITUDINAL



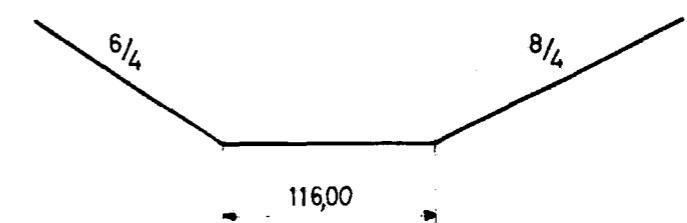
PROFILS TRANSVERSAUX

Section A - A'

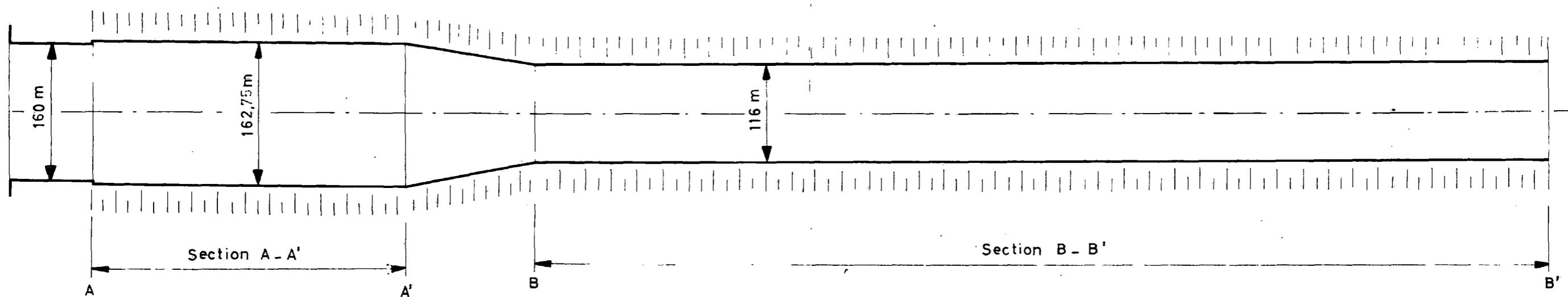
AA'	L	Radier
phase 1	162,75	42,86
phase 2	159,95	42,06



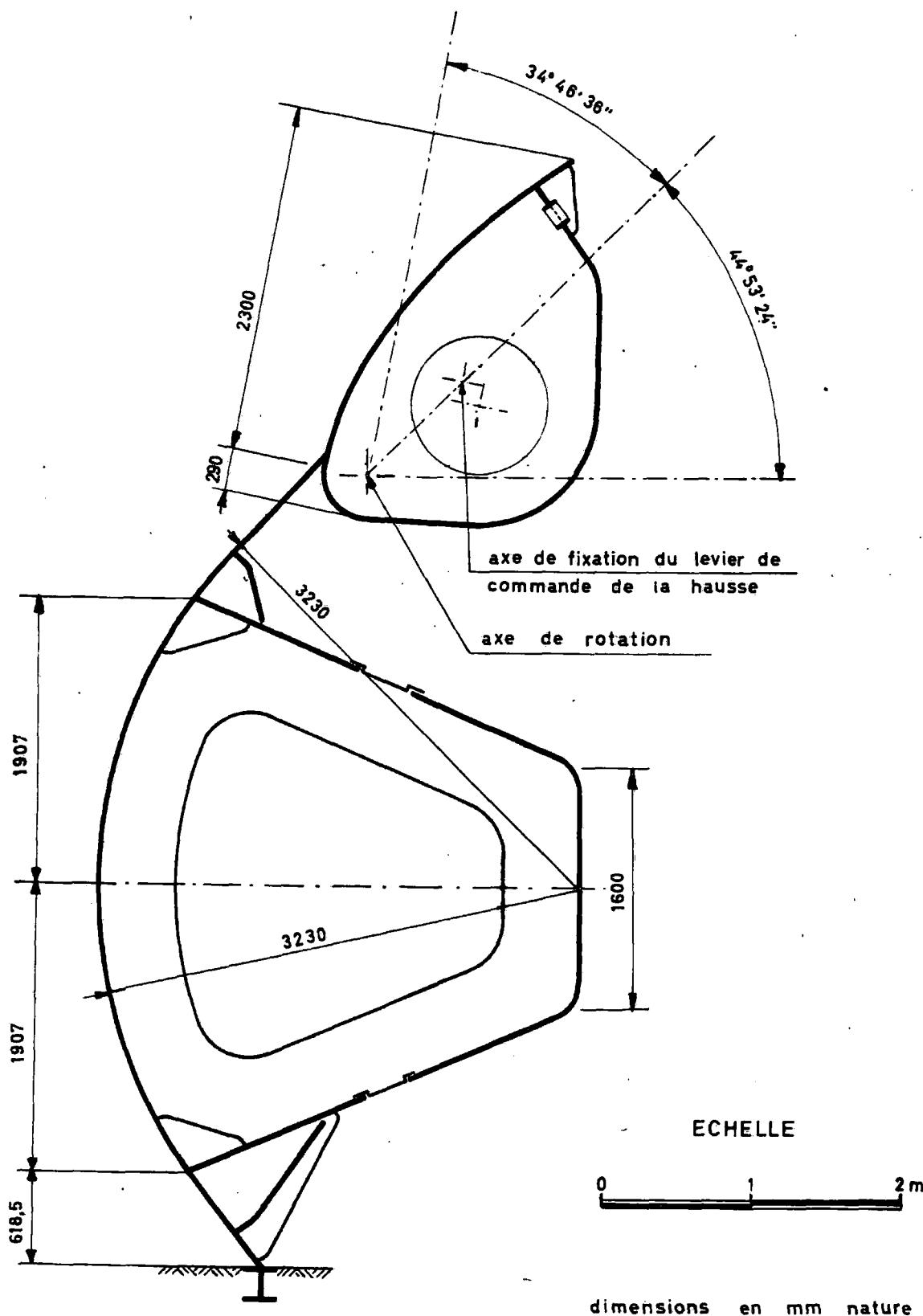
Section B - B'



VARIATION DE LA LARGEUR AU PLAFOND DU COURS D'EAU



## VANNE DU BARRAGE DE NEUVILLE s/HUY



Réf. plan O.W. 197

N.P. (54,00)

Pmax. (54,15)

Echelle: 0 20cm mod  
0 2 5m natPROJETS DU BARRAGE  
DE LIXHE  
COUPES LONGITUDINALES

MOD. 221

Annexe 3

Opwaarts ←

H.H.W.(52,50)

N.H.H.W.(51,00)

ONTWERP I

Afwaarts →

(47,00)

(45,00)

(43,00)

(41,00)

L.L.W. (46,06)

(42,06)

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

ONTWERP II

(47,00)

4/4

16,111

(46,118)

(45,00)

(43,00)

(41,00)

(42,06)

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

ONTWERP III

(47,00)

1 2

(45,00)

(43,00)

(41,00)

(42,06)

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

ONTWERP III bis

(47,00)

1 2

(45,00)

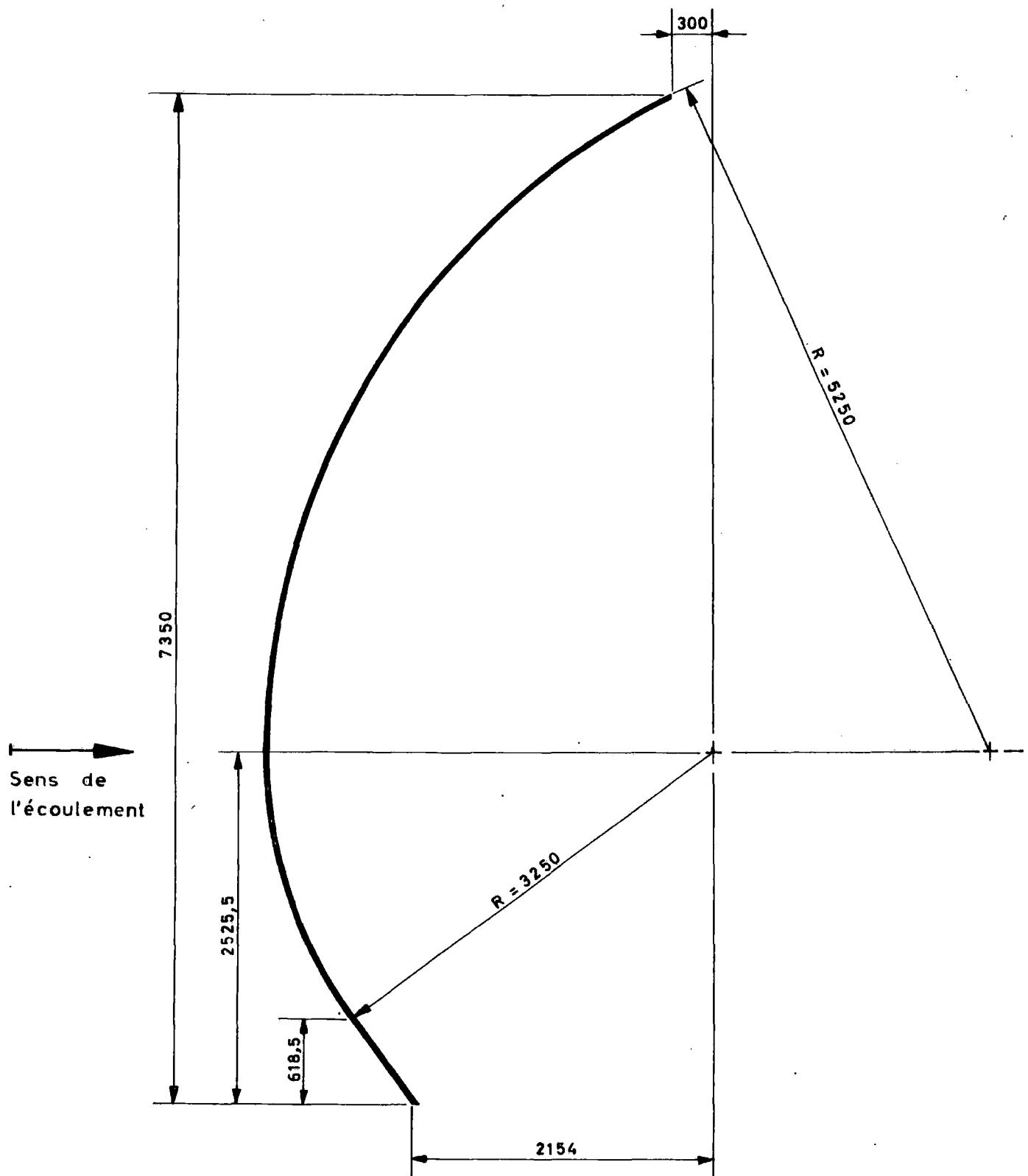
(43,00)

(41,00)

(42,06)

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

## VANNE DU MODELE

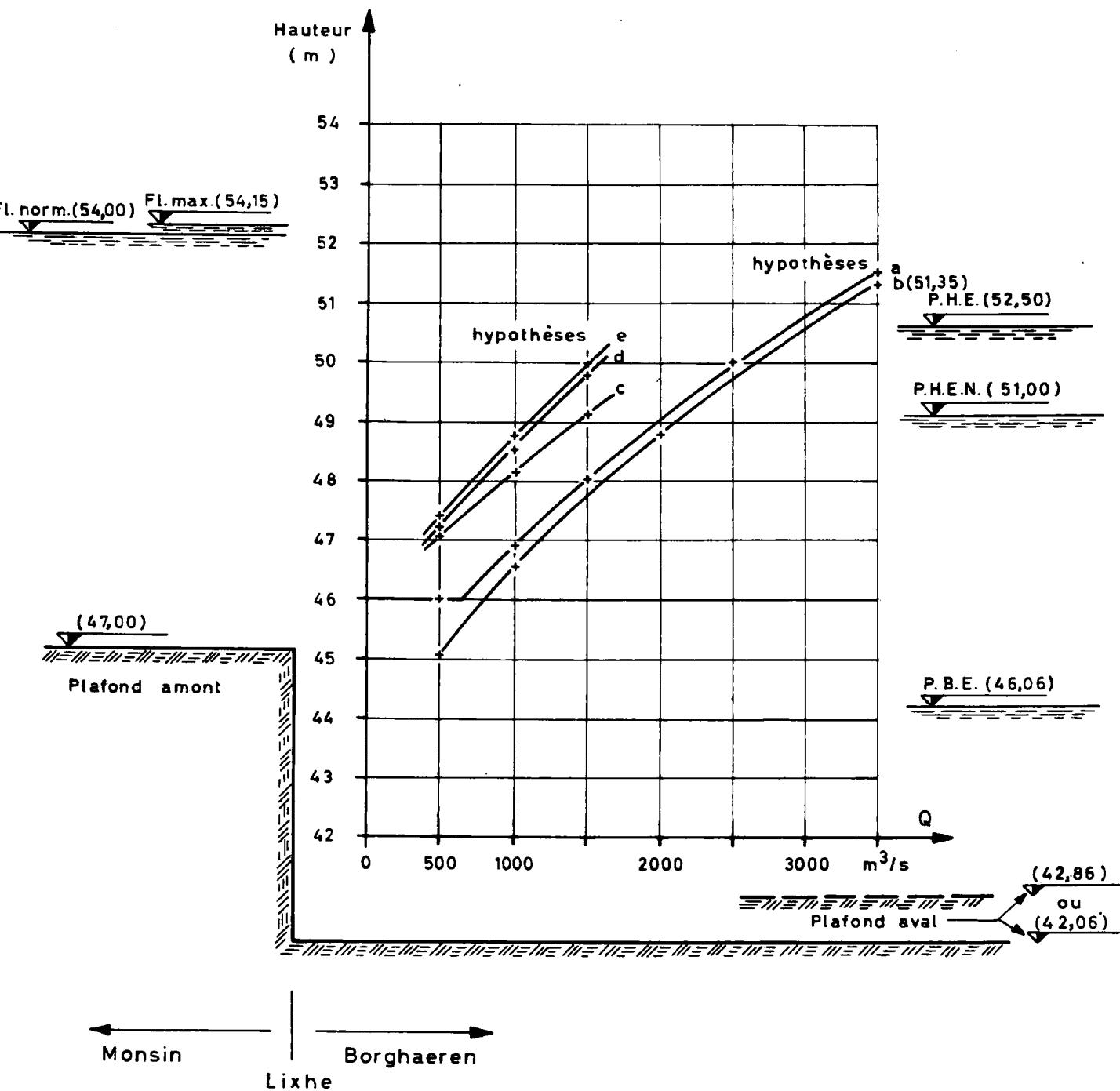


Echelle

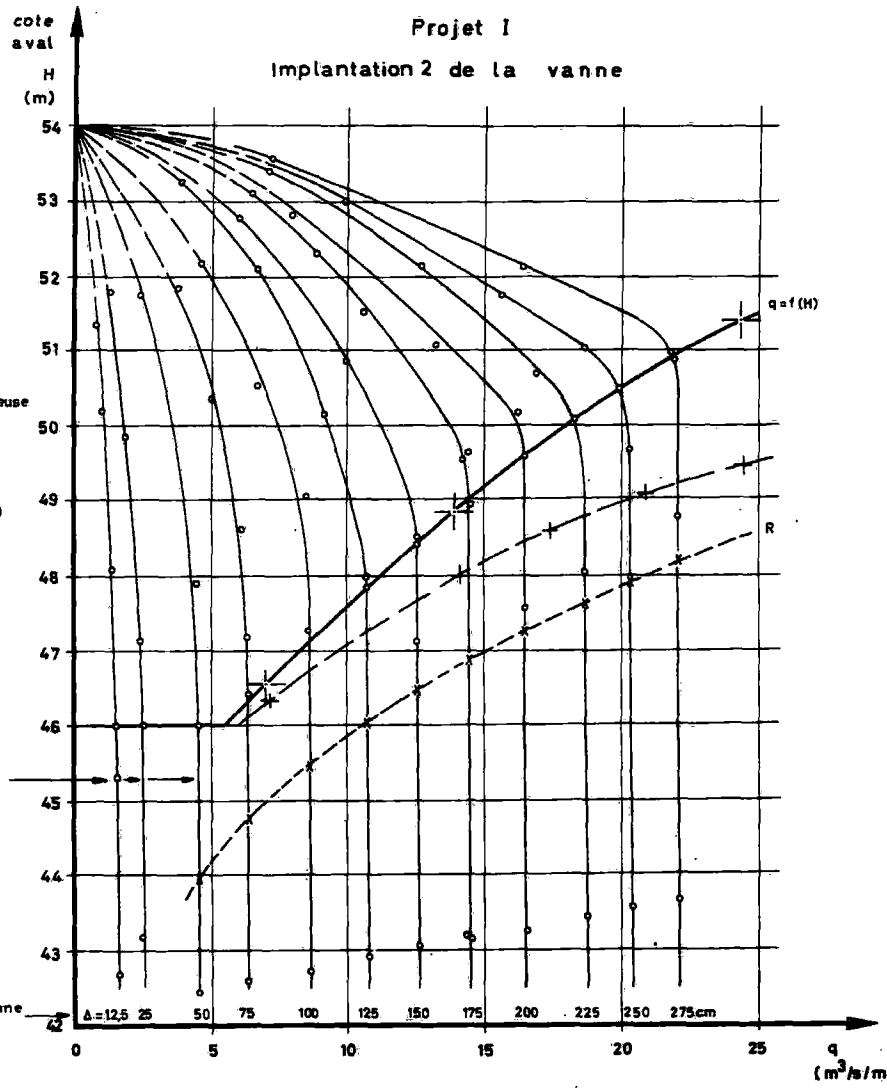
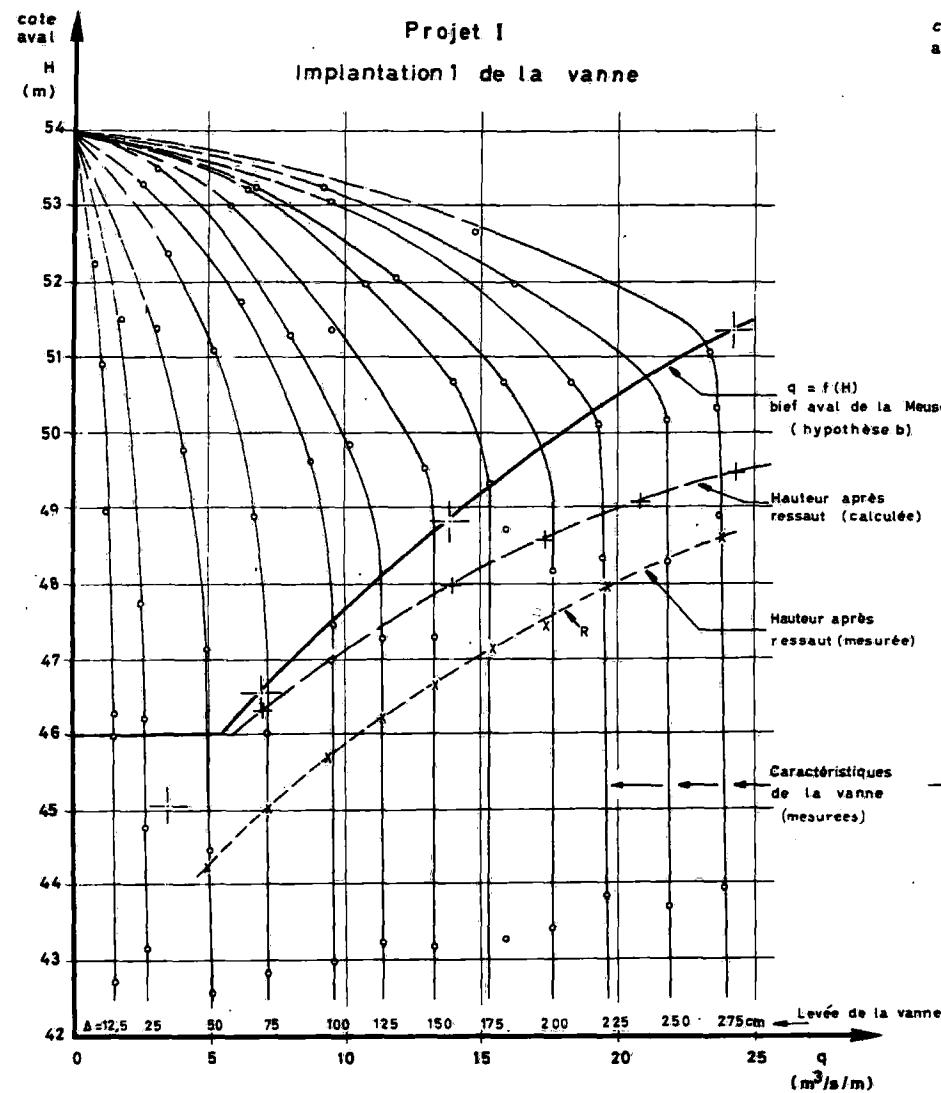
0 1 2 m

Dimensions en mm nature

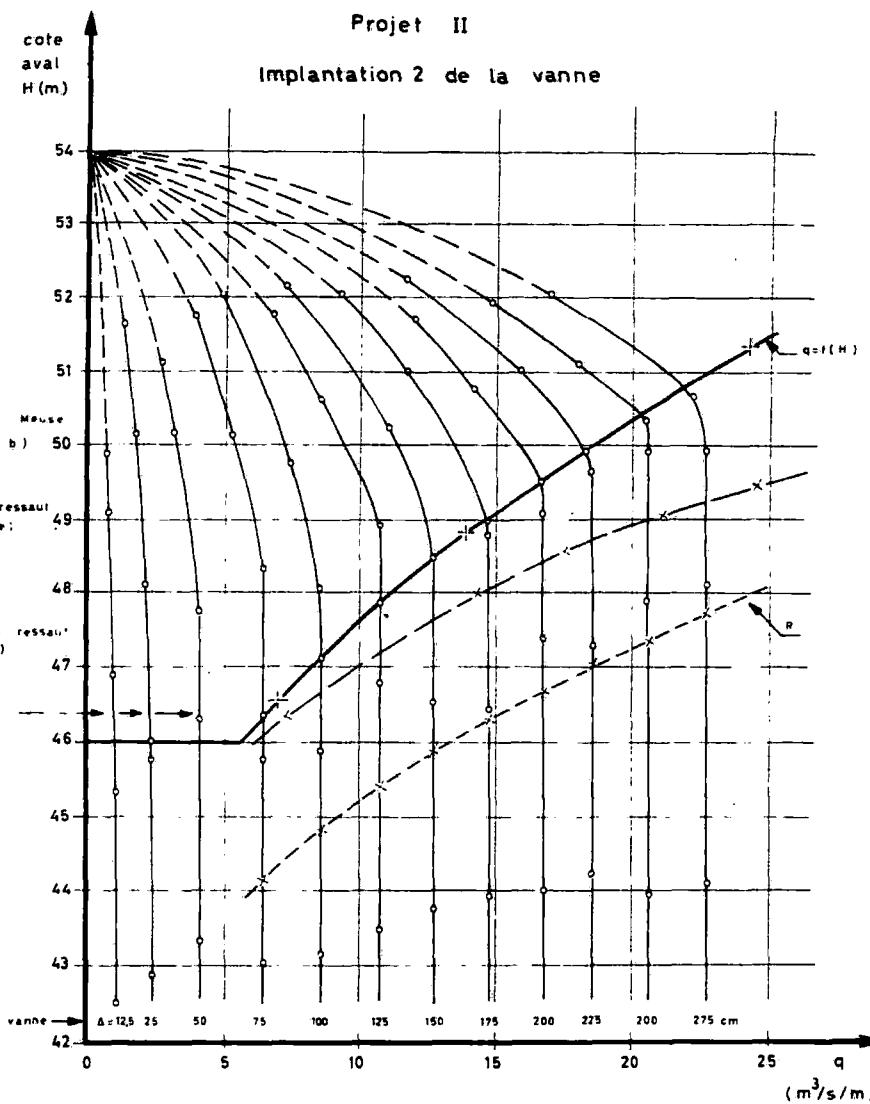
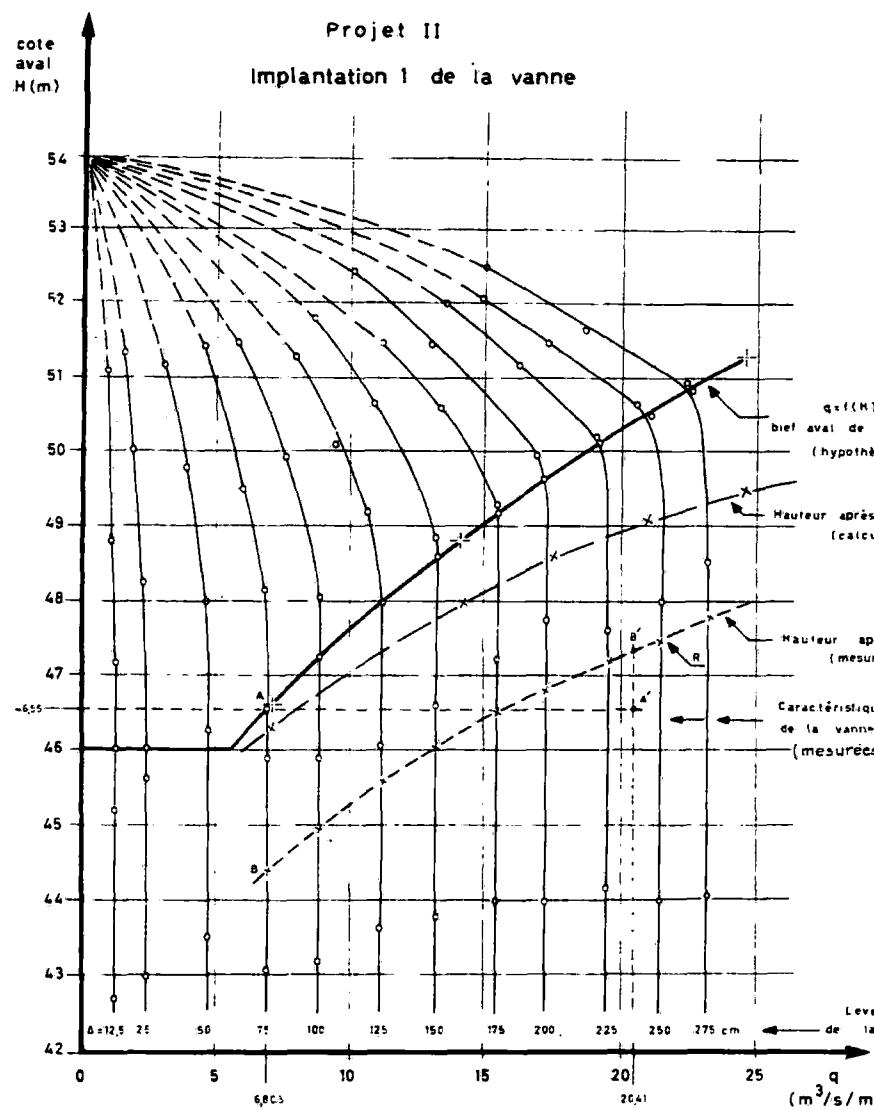
## HAUTEURS D'EAU CALCULEES A LIXHE



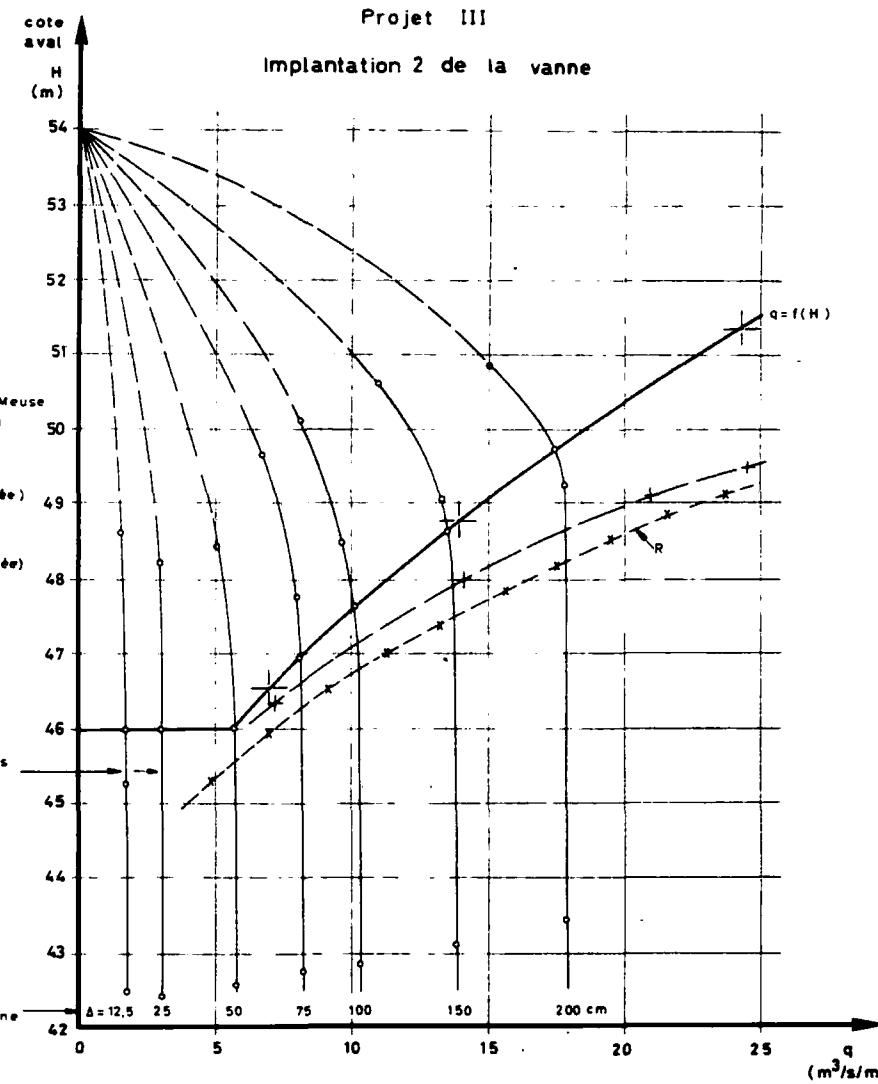
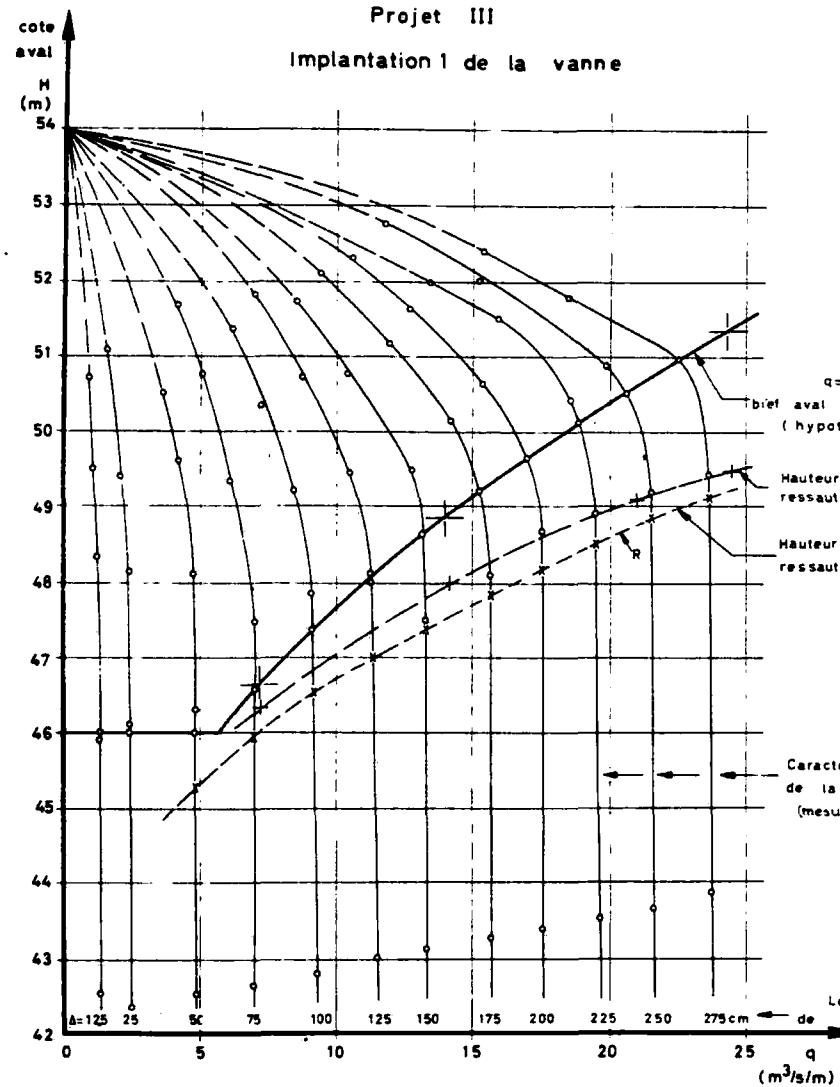
## CARACTERISTIQUES DE LA VANNE



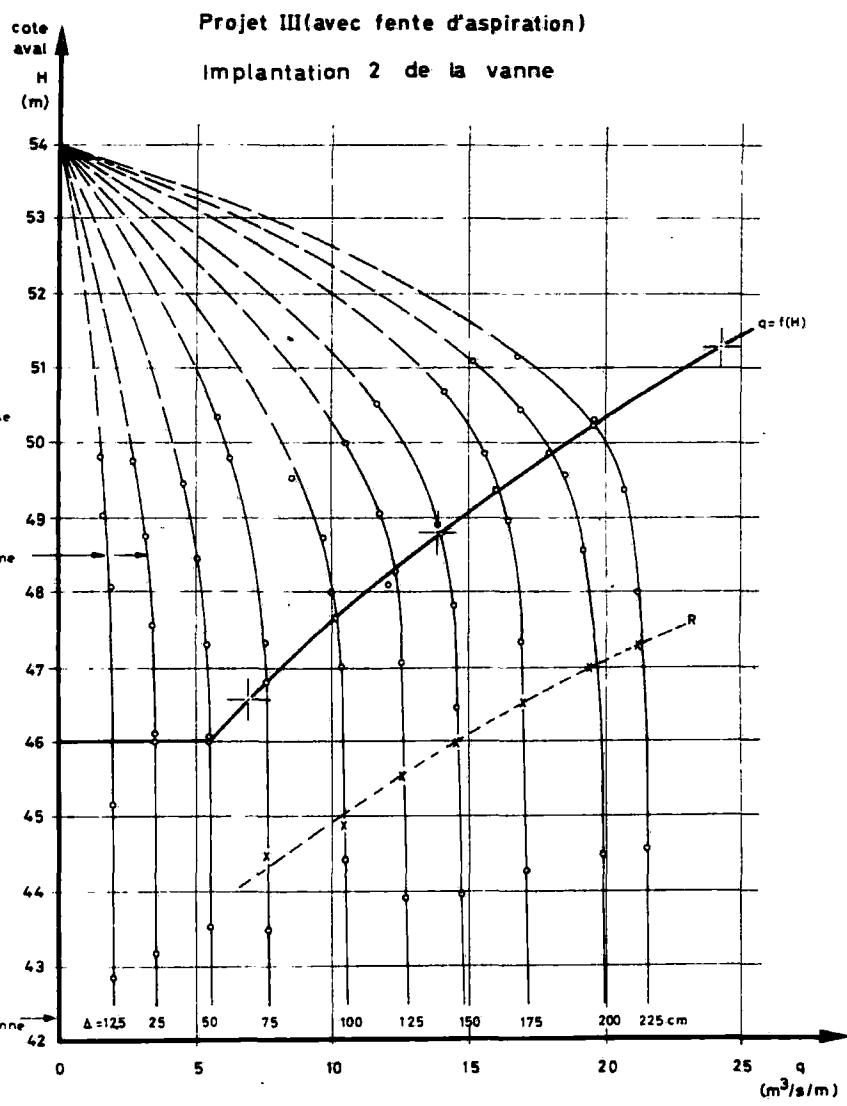
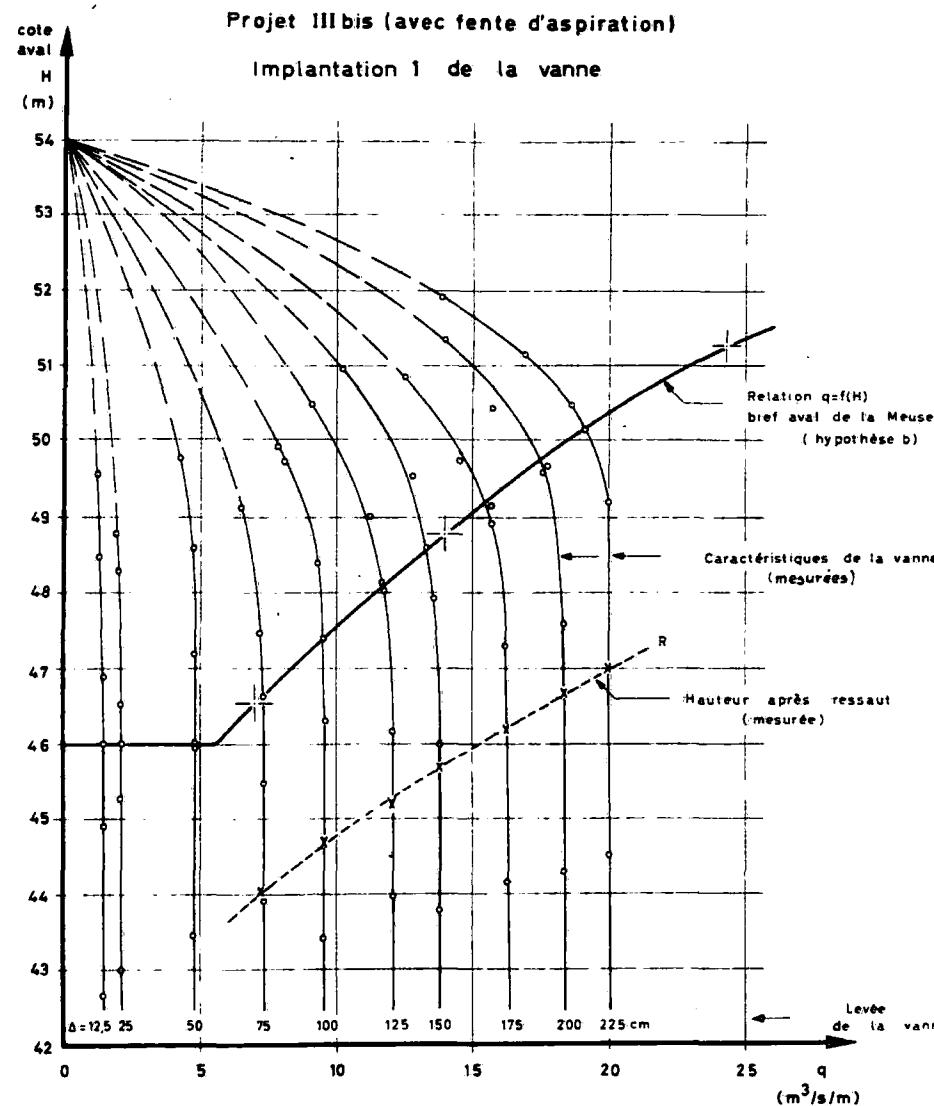
## CARACTERISTIQUES DE LA VANNE



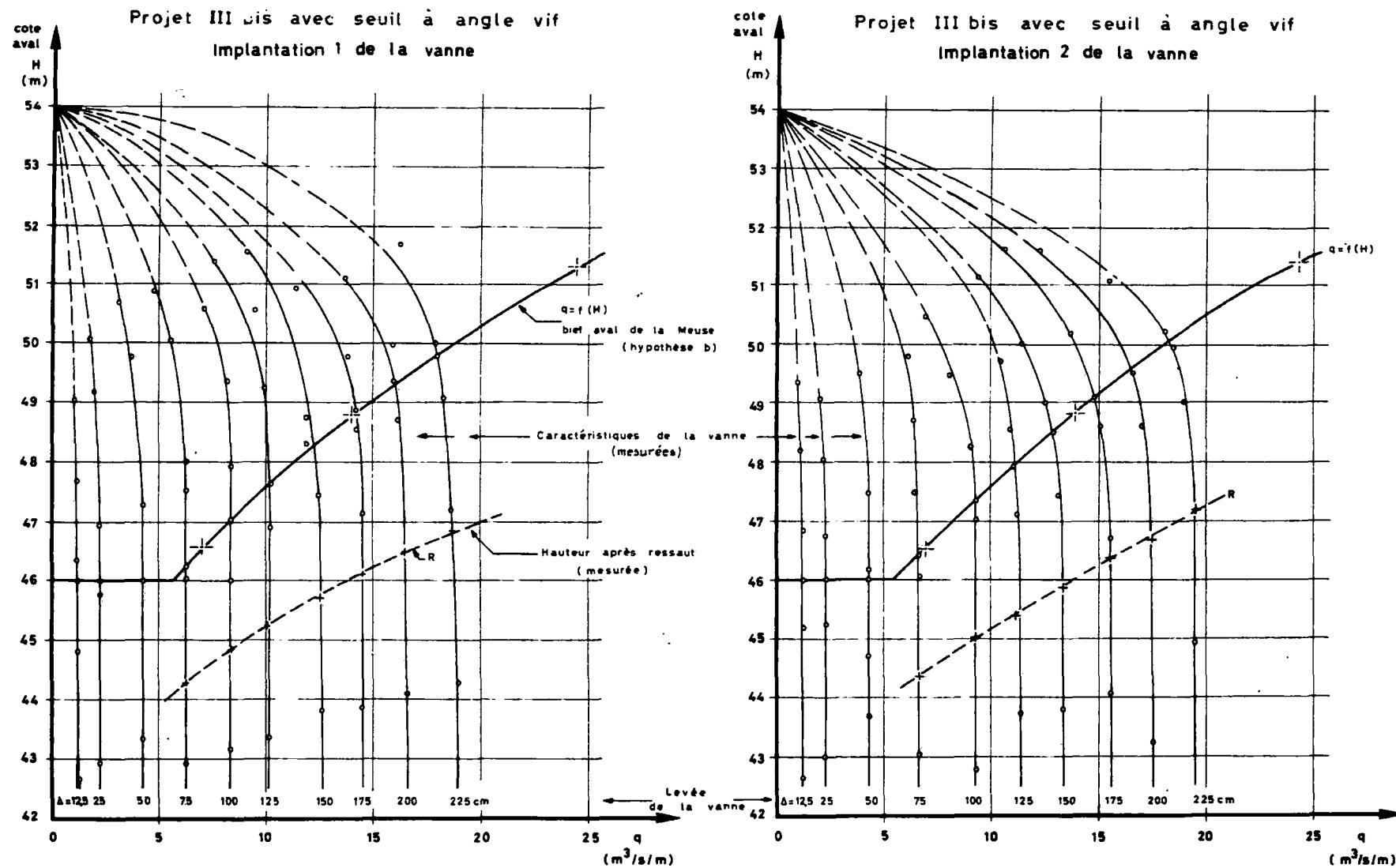
# CARACTERISTIQUES DE LA VANNE



## CARACTERISTIQUES DE LA VANNE

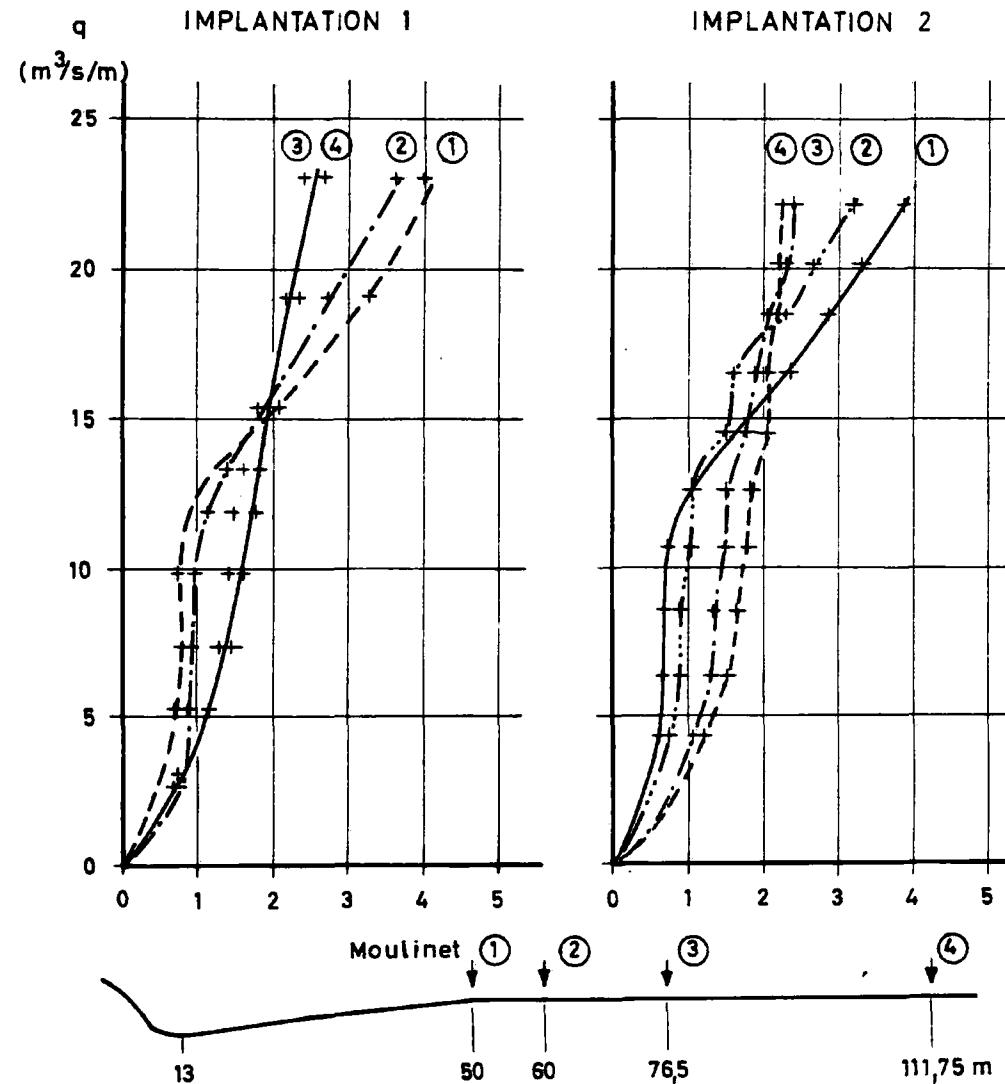


## CARACTERISTIQUES DE LA VANNE

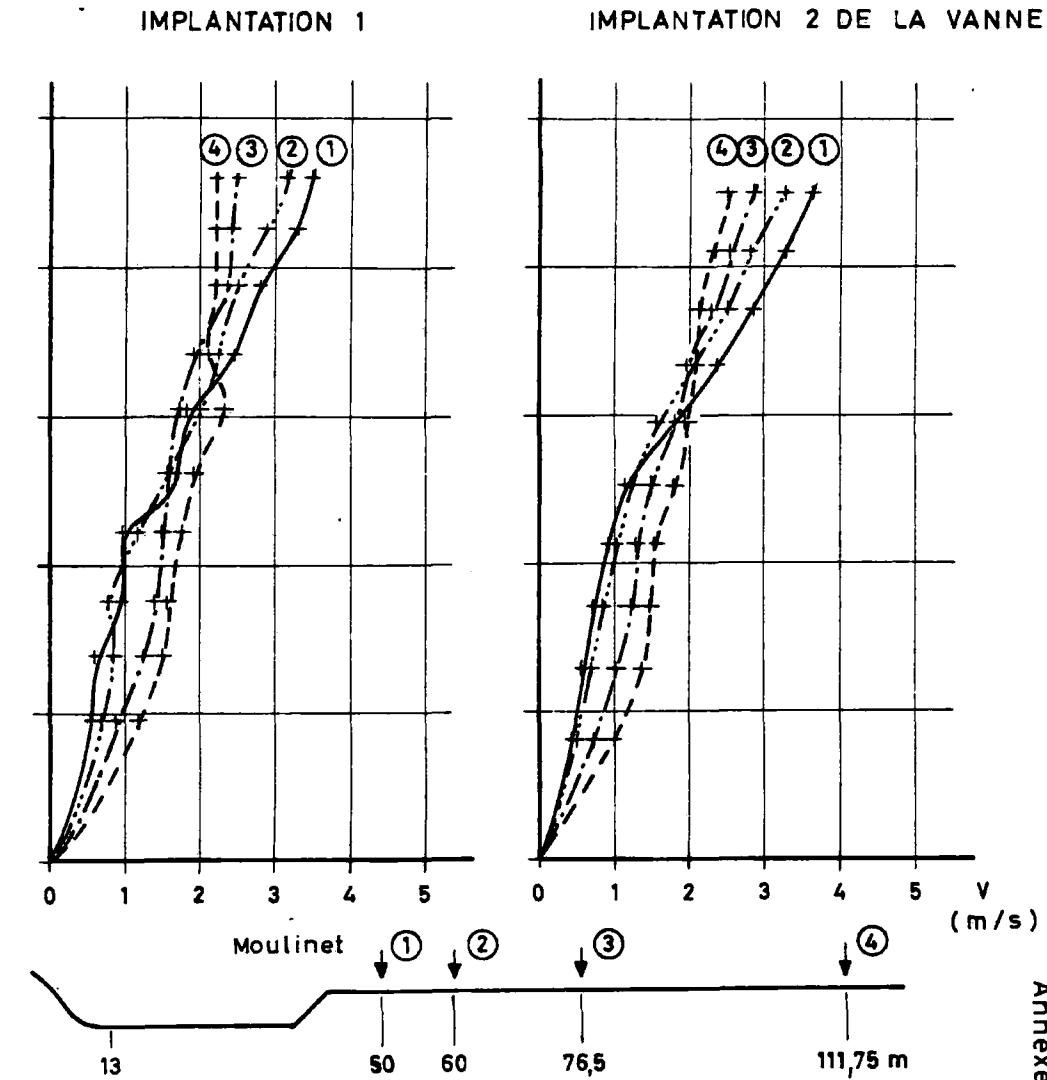


VITESSES EN AVAL DU BARRAGE

Projet I



Projet II

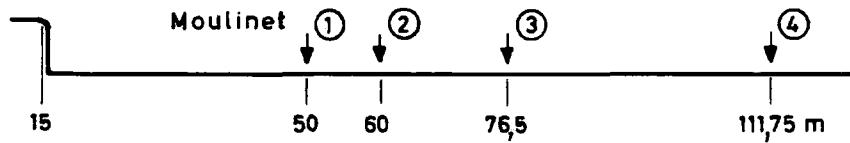
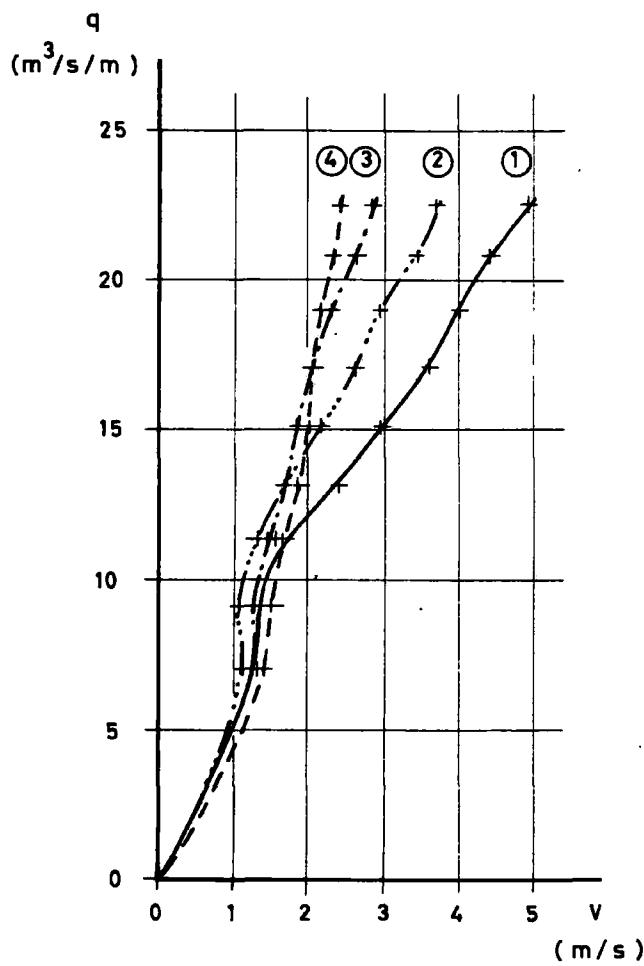


## VITESSES EN AVAL DU BARRAGE

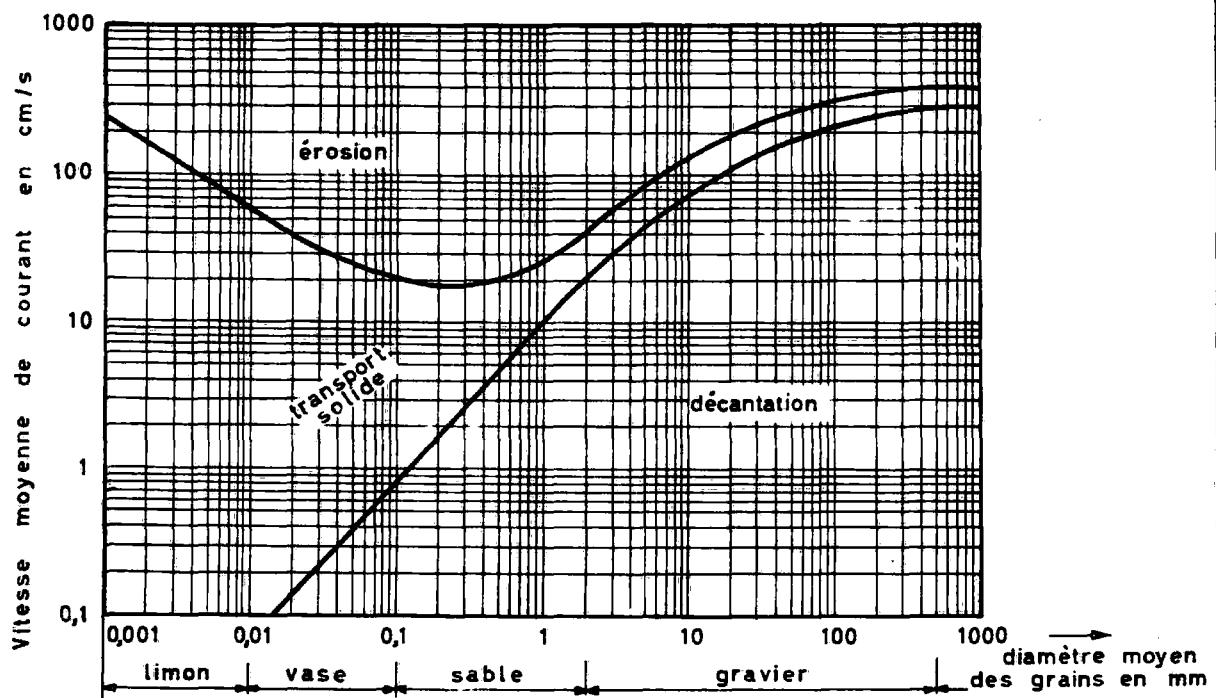
---

Projet III

### IMPLANTATION 1 DE LA VANNE



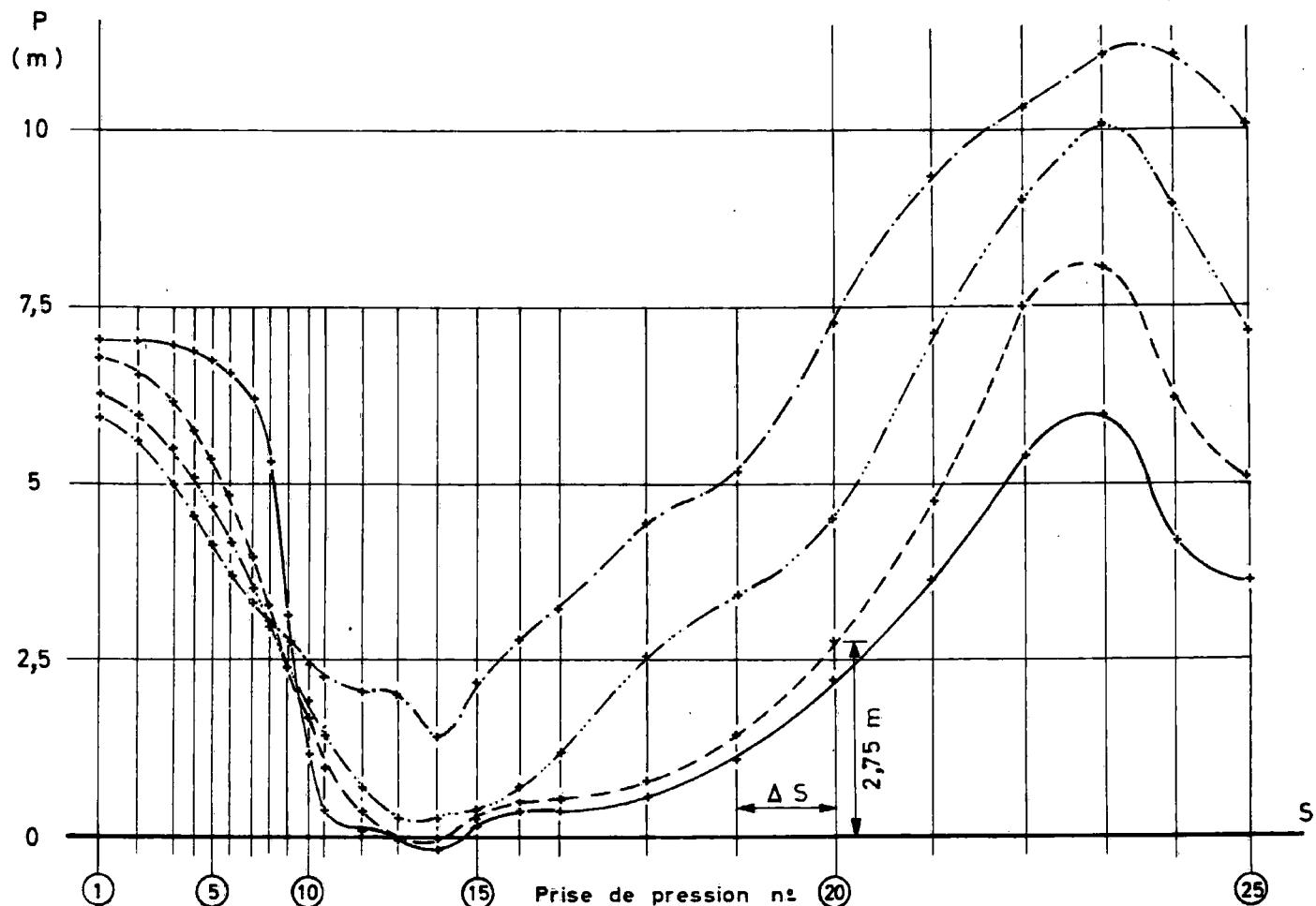
### DIAGRAMME DE HJULSTRÖM



# PRESSEURS SUR LE COURSIER

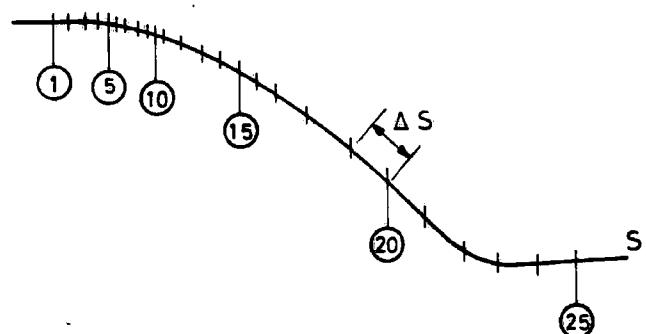
## Projet I

### IMPLANTATION 1 DE LA VANNE



Levée de la vanne

—	25
- - -	100
- - -	175
- - -	275 cm



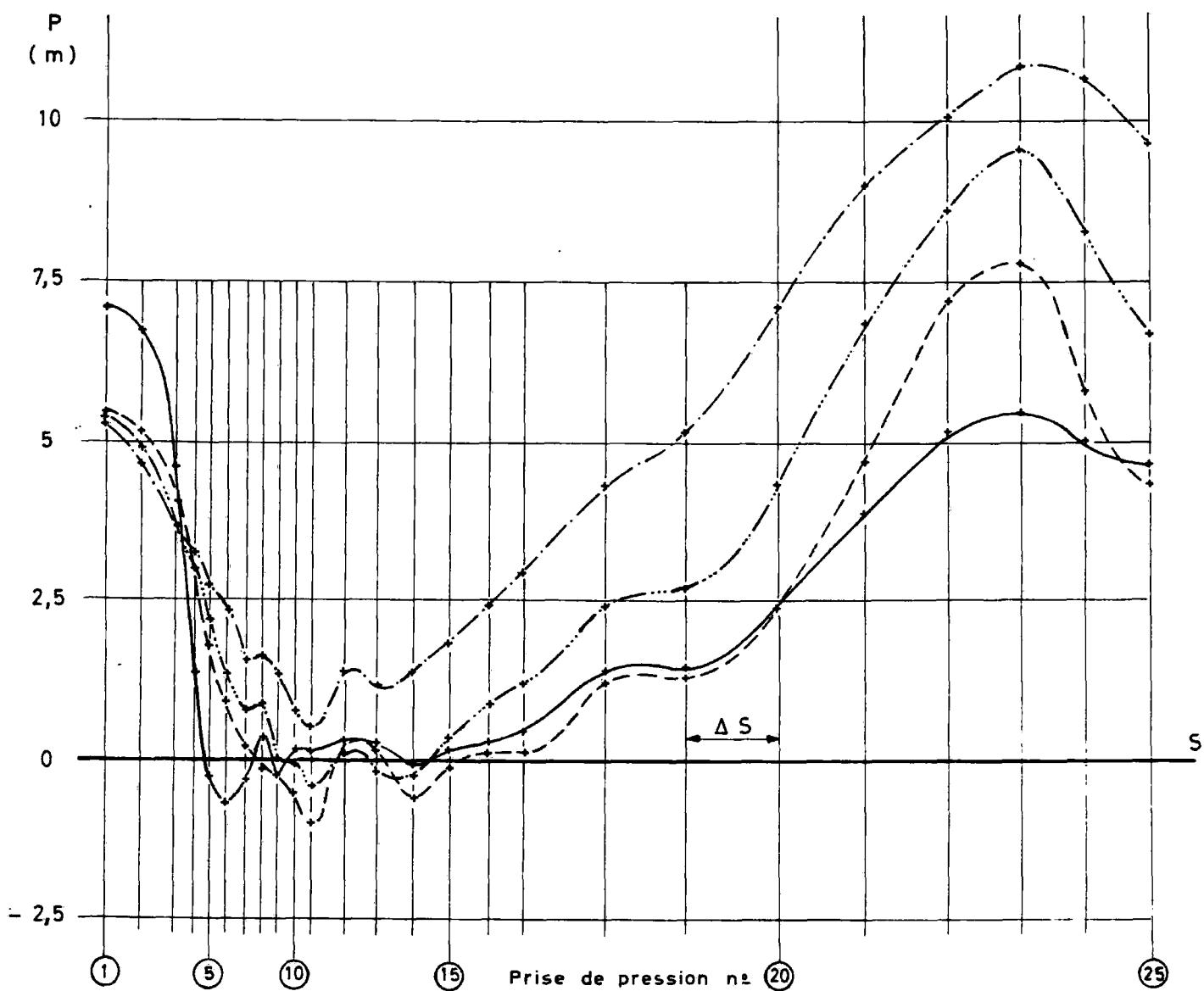
#### EXEMPLE :

Pour une levée de vanne de 1,00 m, la pression dans la prise 20 est 2,75 m hauteur d'eau

# PRESSEURS SUR LE COURSIER

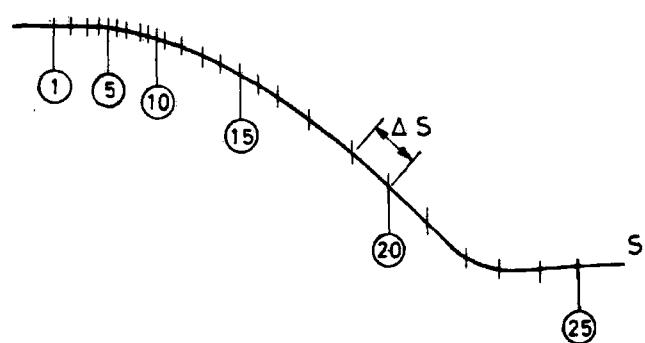
## Projet I

### IMPLANTATION 2 DE LA VANNE



Levée de la vanne

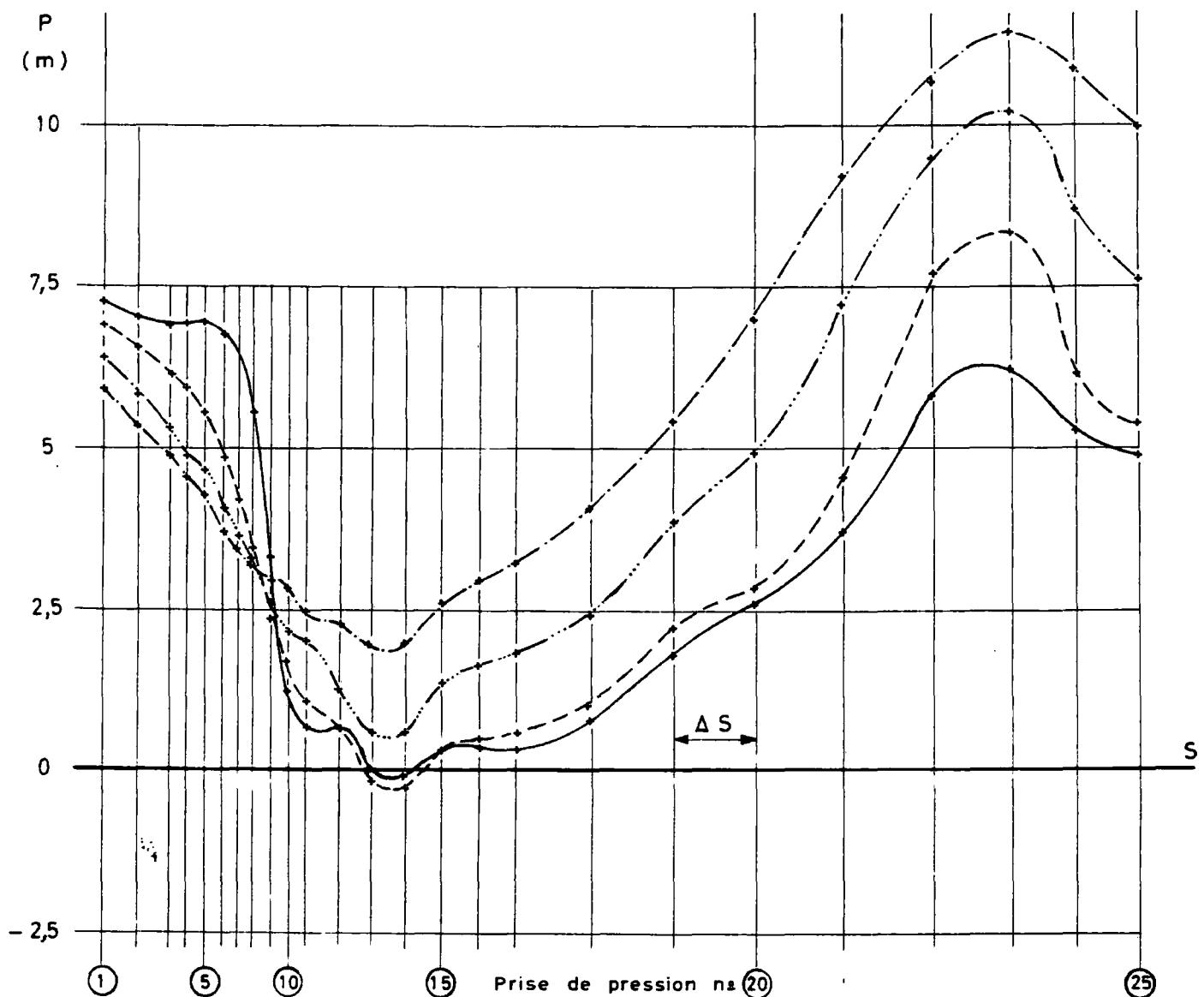
—	25
- - -	100
—	175
- - -	275 cm



# PRESSEURS SUR LE COURSIER

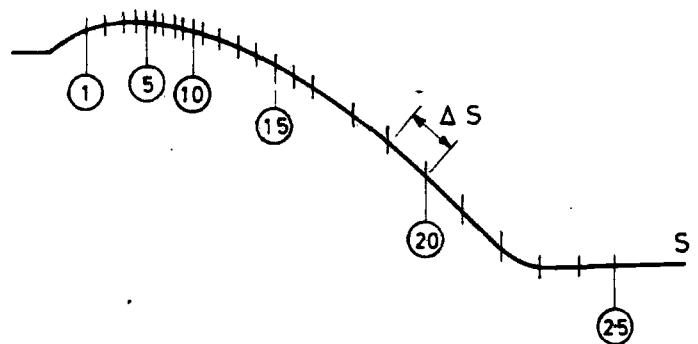
## Projet II

### IMPLANTATION 1 DE LA VANNE



Levée de la vanne

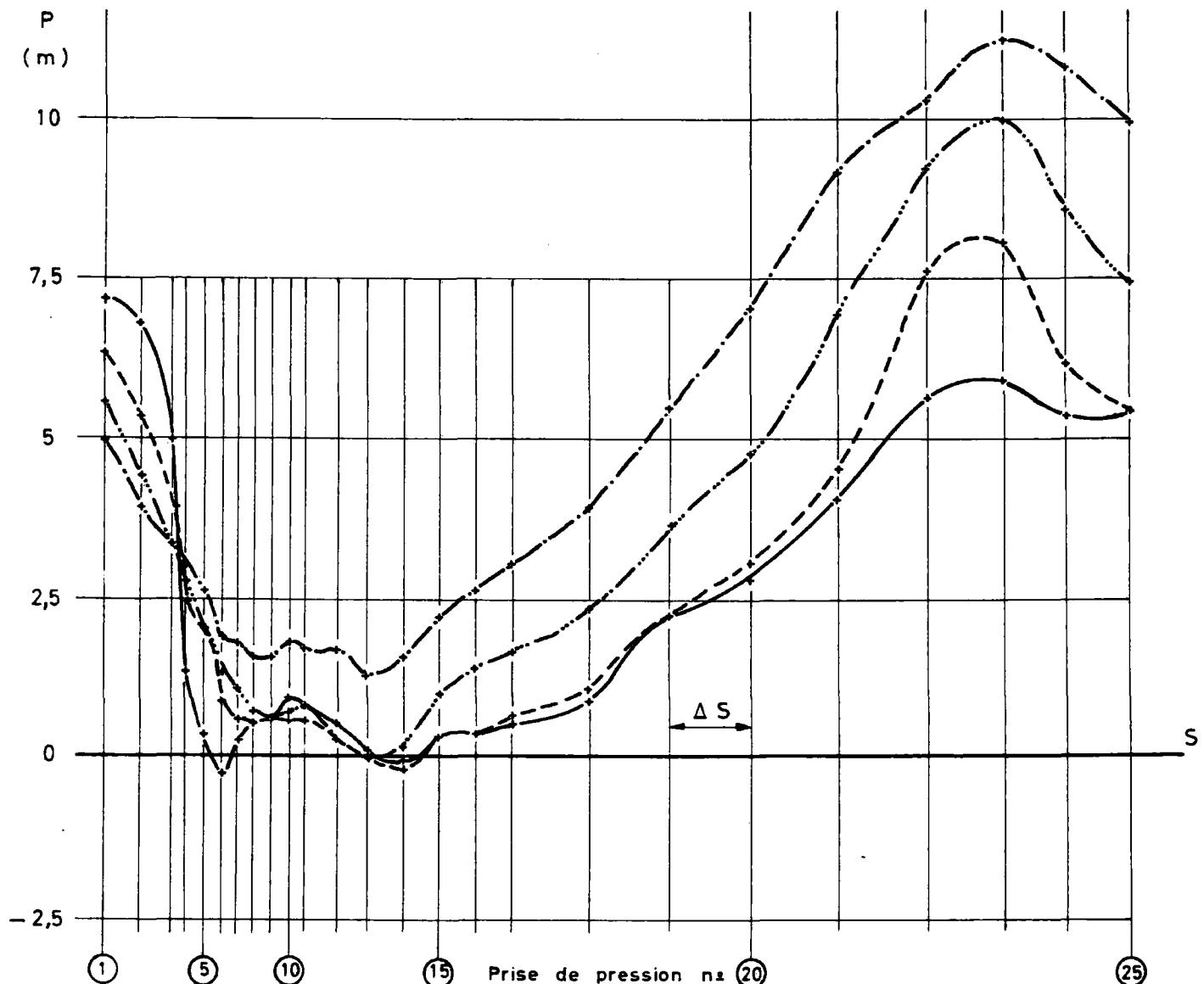
—	25
- - -	100
— · —	175
— · - -	275 cm



## PRESSIONS SUR LE COURSIER

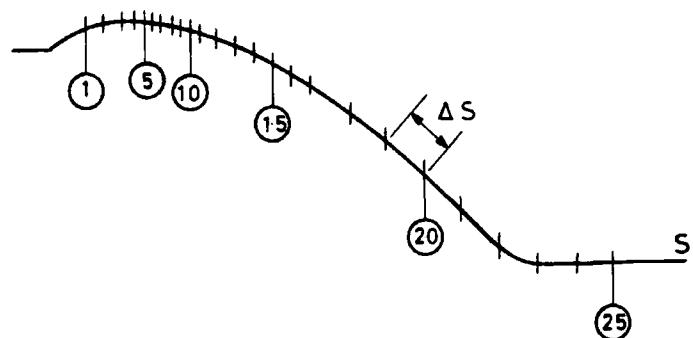
### Projet II

IMPLANTATION 2 DE LA VANNE

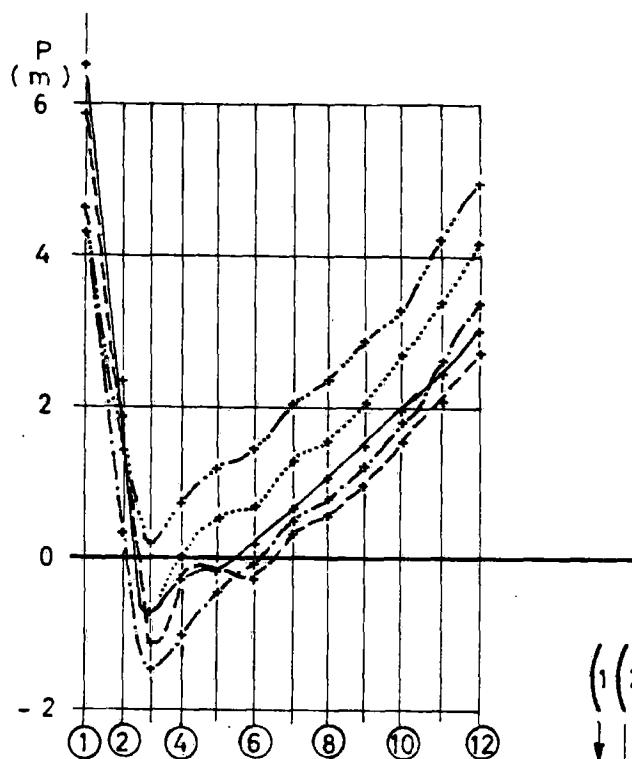


Levée de la vanne

—	25
- - -	100
— · —	175
— - - -	275 cm



# PRESSIONS SUR LE COURSIER



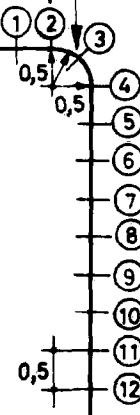
## Projet III

### IMPLANTATION 1 DE LA VANNE

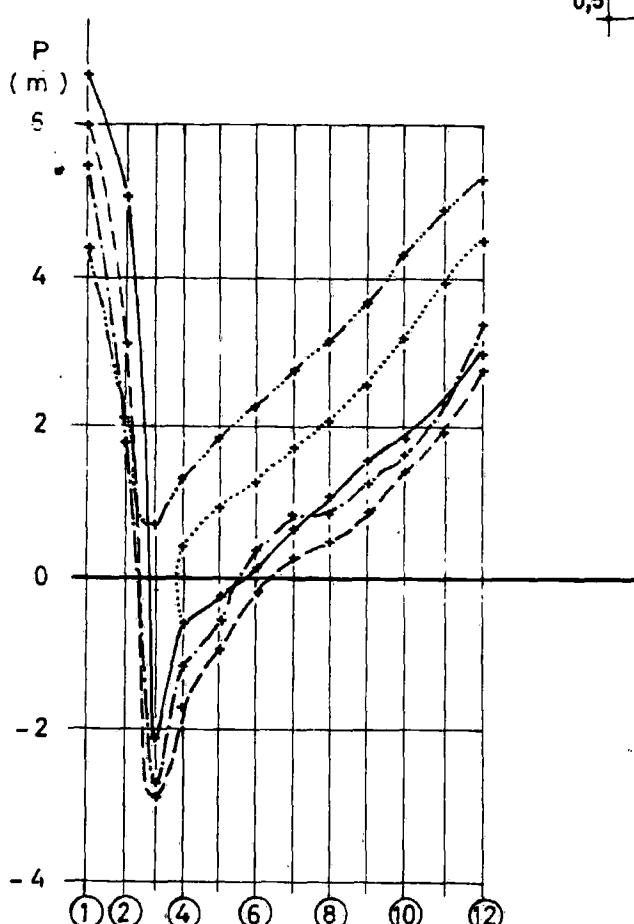
Levée de la vanne

- 25
- - - 50
- - - - 75
- - - - - 125
- — — — 175 cm

(1) (2) ← implantations de la vanne



Prises de pressions



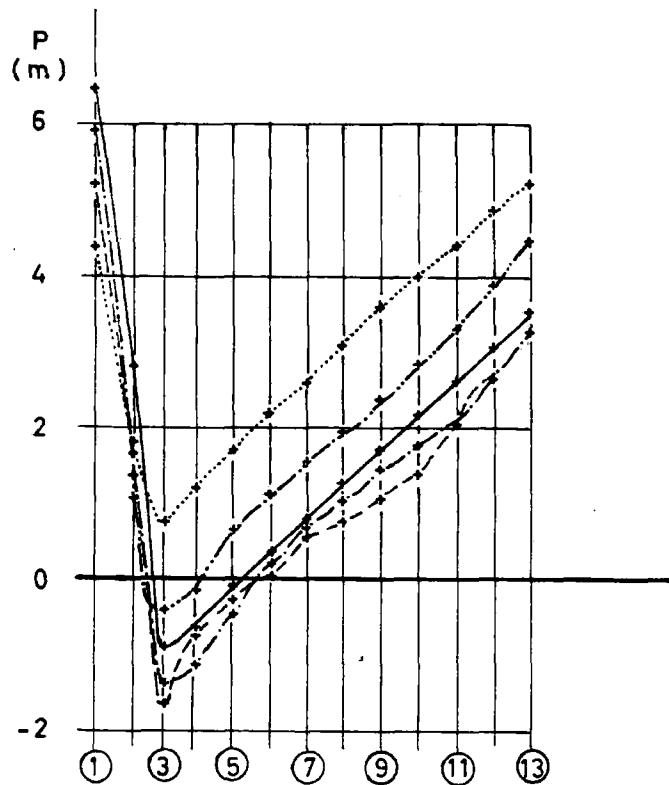
## Projet III

### IMPLANTATION 2 DE LA VANNE

Levée de la vanne

- 25
- - - 50
- - - - 75
- - - - - 150
- — — — 200 cm

# PRESSEURS SUR LE COURSIER

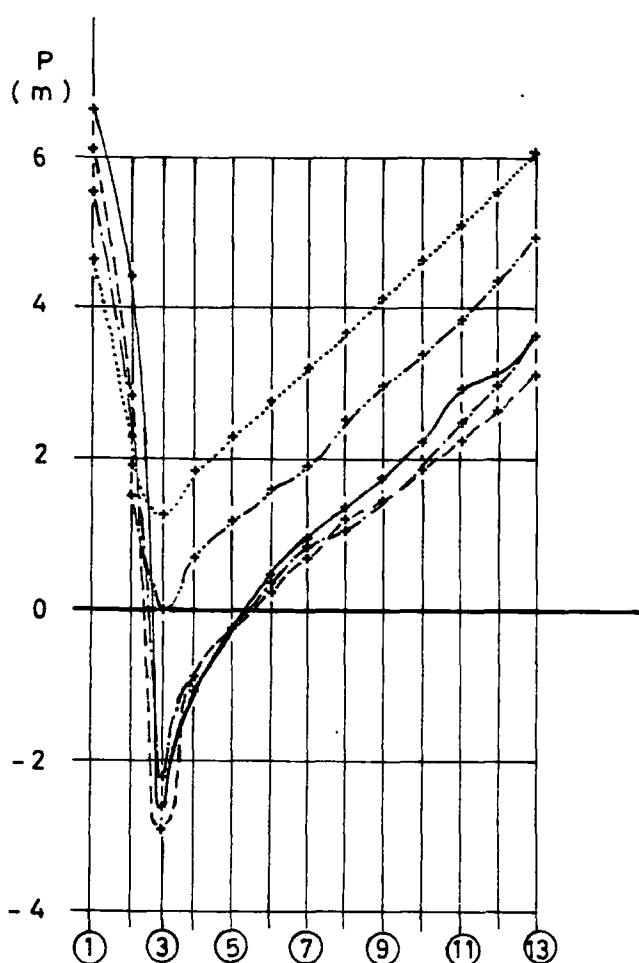
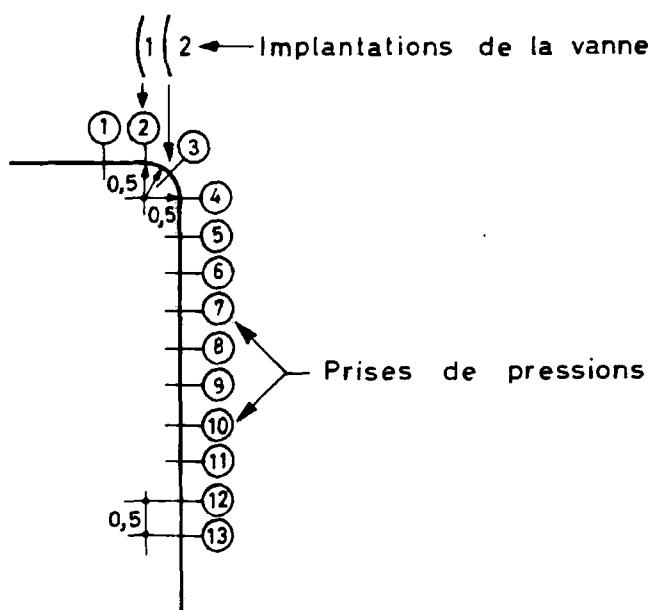


## Projet III bis

IMPLANTATION 1 DE LA VANNE

Levée de la vanne

25
50
75
125
175 cm



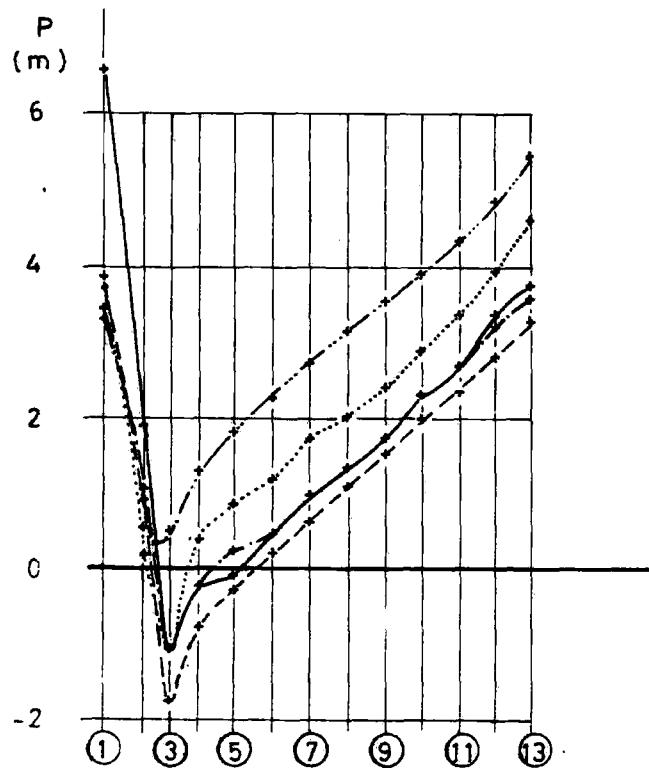
## Projet III bis

IMPLANTATION 2 DE LA VANNE

Levée de la vanne

25
50
75
150
200 cm

## PRESSIONS SUR LE COURSIER



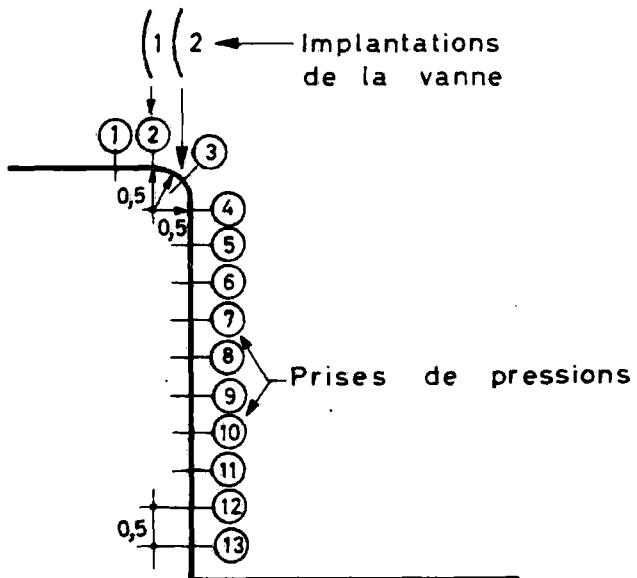
## Projet III bis

Avec fente d'aspiration

## IMPLANTATION 1 DE LA VANNE

Levée de la vanne

25
50
75
125
175 cm



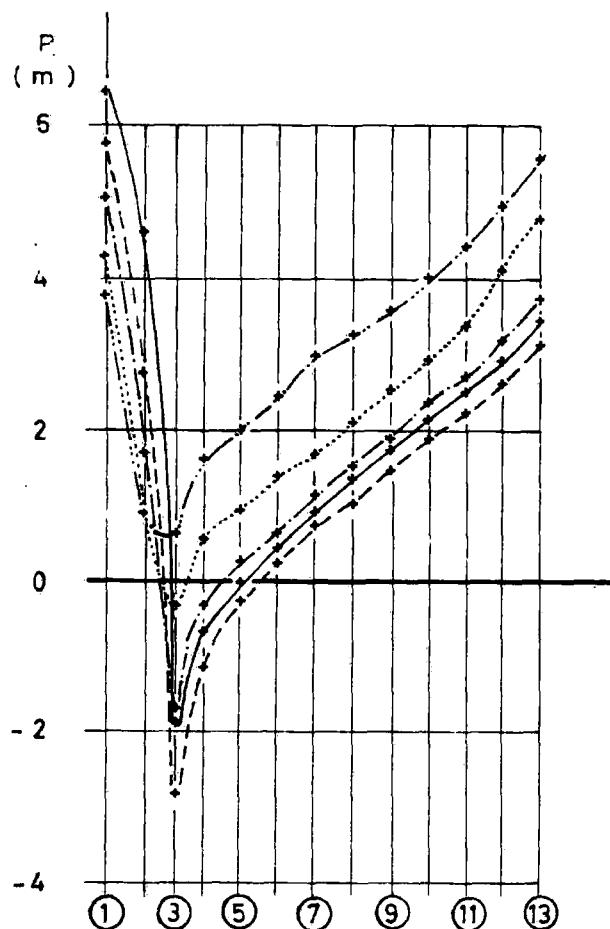
## Projet III bis

Avec fente d'aspiration

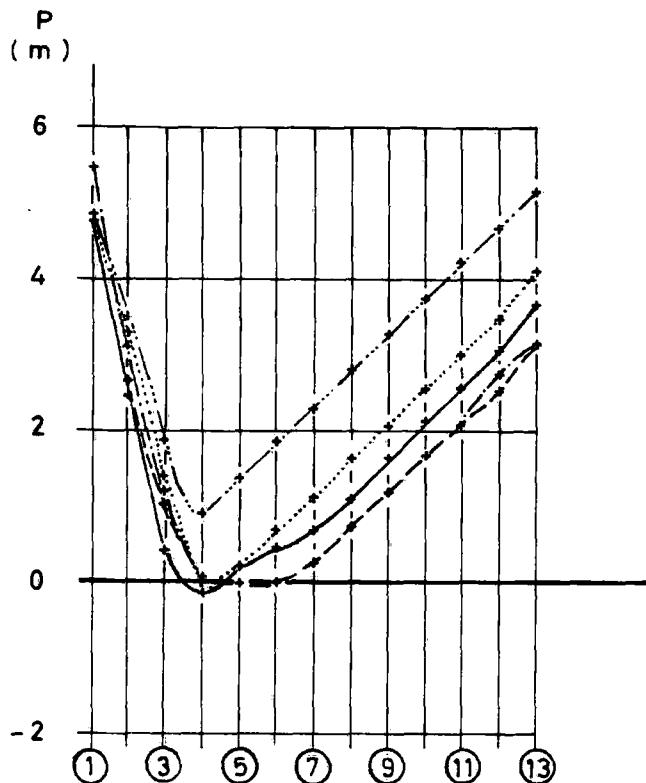
## IMPLANTATION 2 DE LA VANNE

Levée de la vanne

25
50
75
125
175 cm



# PRESSEURS SUR LE COURSIER



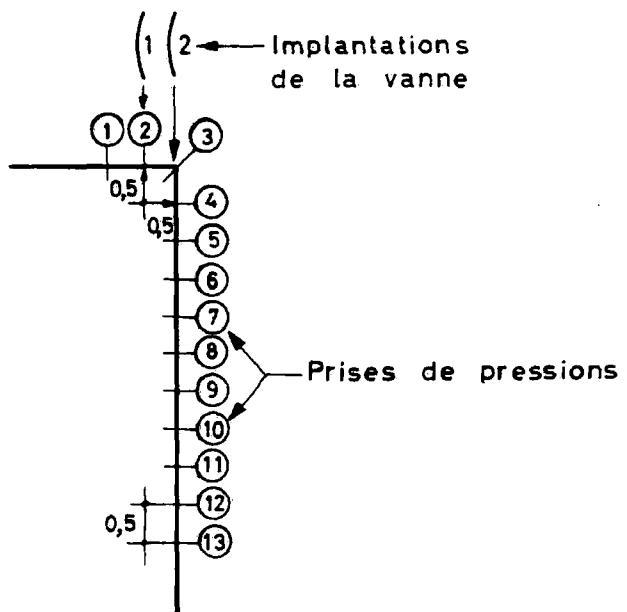
Projet III bis

Avec seuil à angle vif

IMPLANTATION 1 DE LA VANNE

Levée de la vanne

25
50
75
125
175 cm



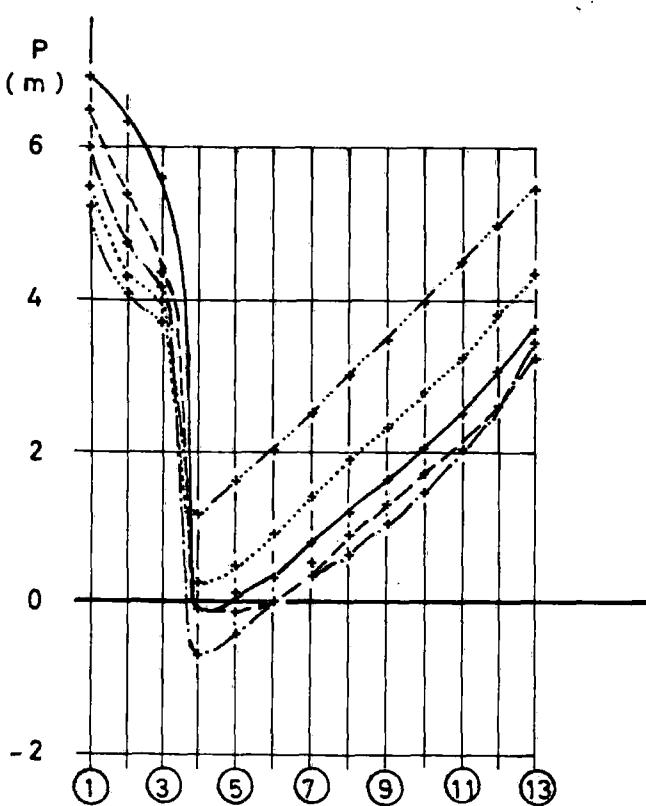
Projet III bis

Avec seuil à angle vif

IMPLANTATION 2 DE LA VANNE

Levée de la vanne

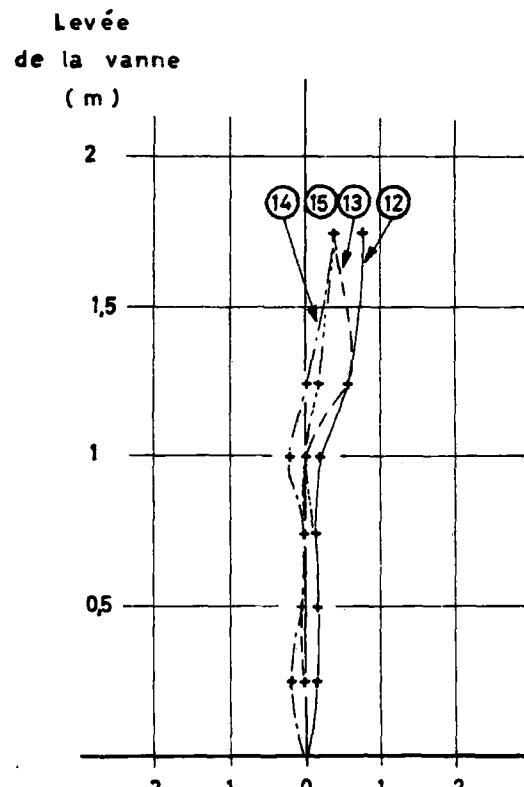
25
50
75
125
175 cm



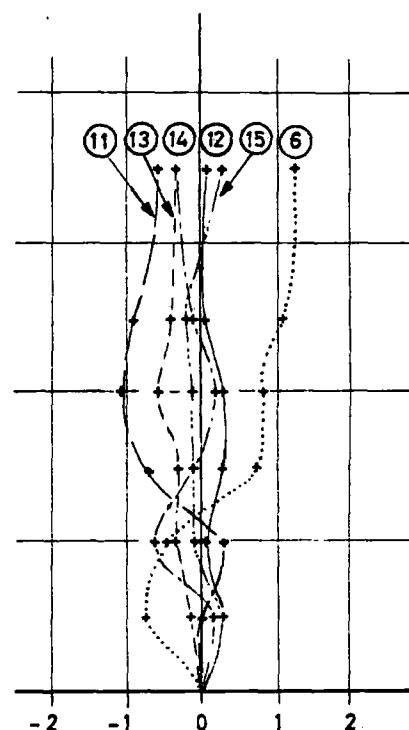
**VARIATION DES PRESSIONS**

**Projet I**

**IMPLANTATION 1**

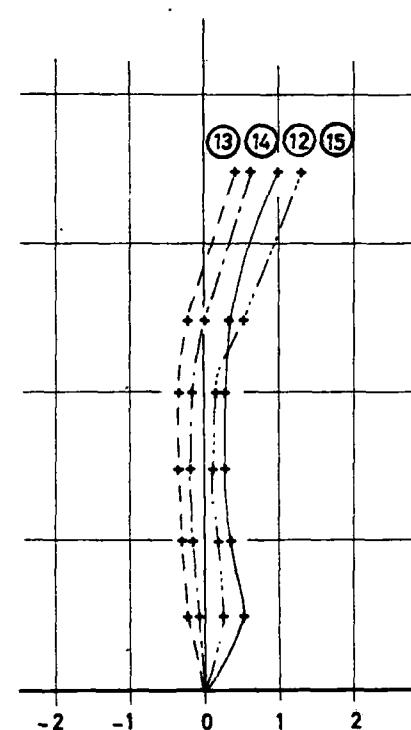


**IMPLANTATION 2**

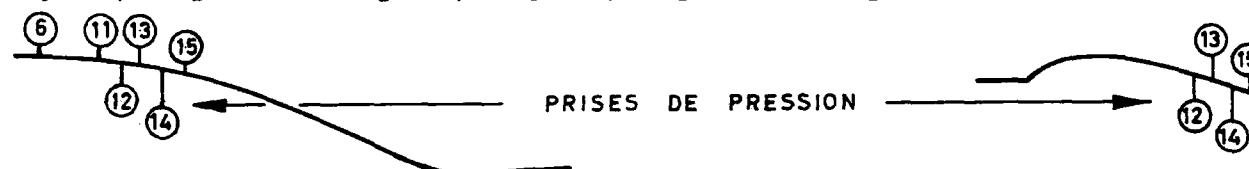
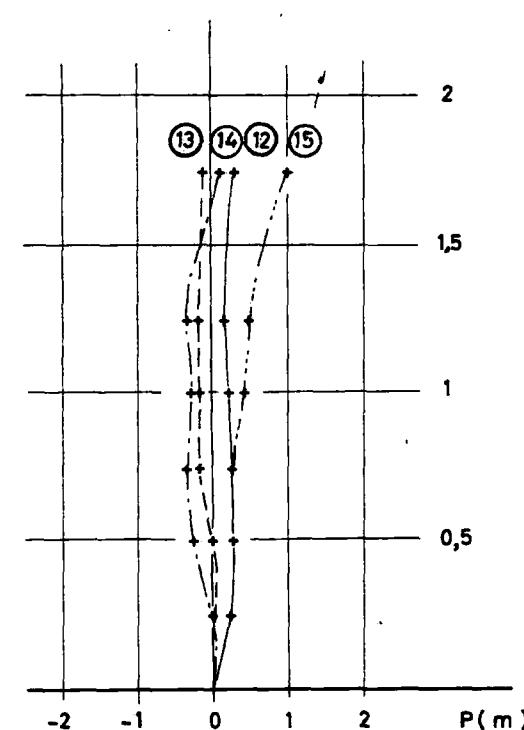


**Projet II**

**IMPLANTATION 1**

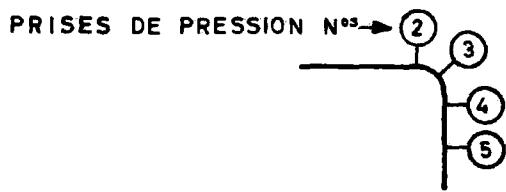
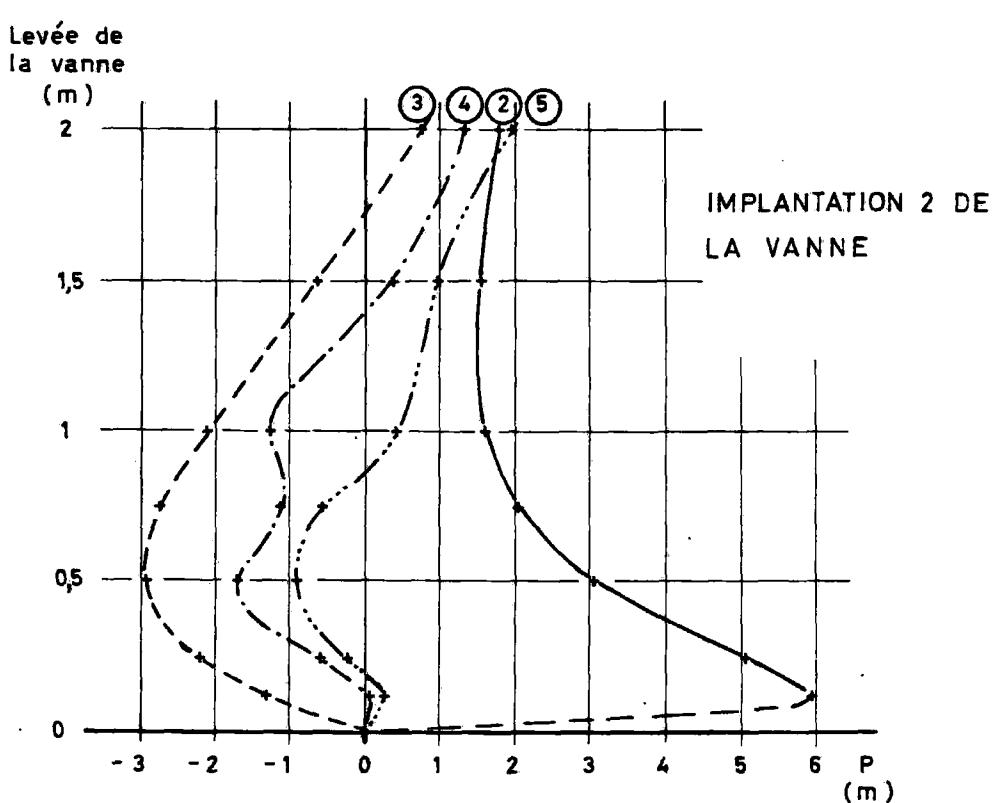
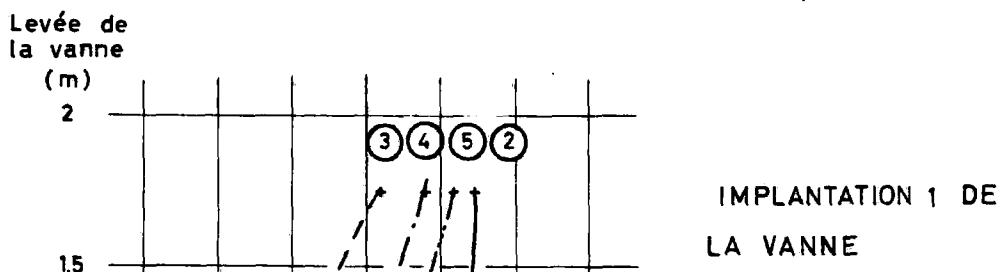


**IMPLANTATION 2 DE LA VANNE**



VARIATION DES PRESSIONS

## Projet III



VARIATION DES PRESSIONS

## Projet III bis

Levée  
de la vanne

(m)

2

1,5

1

0,5

-3

-2

-1

0

1

1,5

0,5

2

1,5

P (m)

(3) (4) (2) (5)

IMPLANTATION 1

DE LA VANNE

Levée  
de la vanne

(m)

2

1,5

1

0,5

-3

-2

-1

0

1

1,5

2

1,5

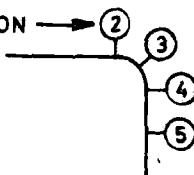
P (m)

(3) (4) (5) (2)

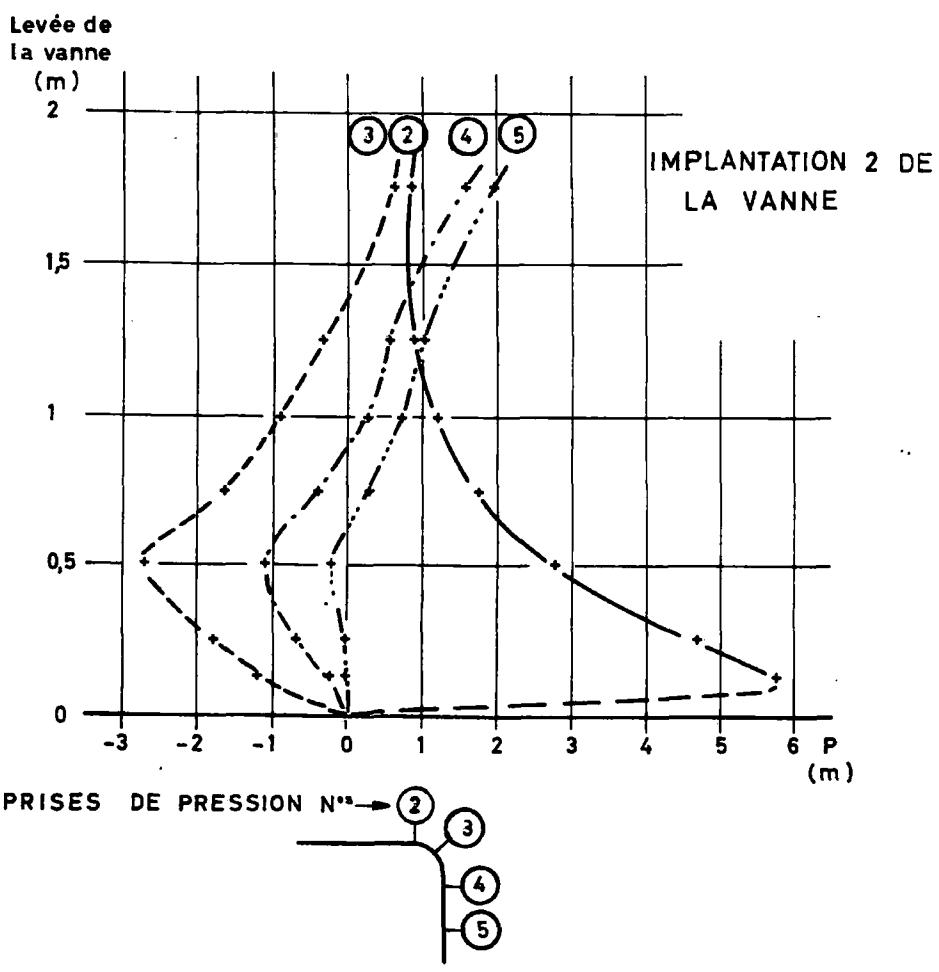
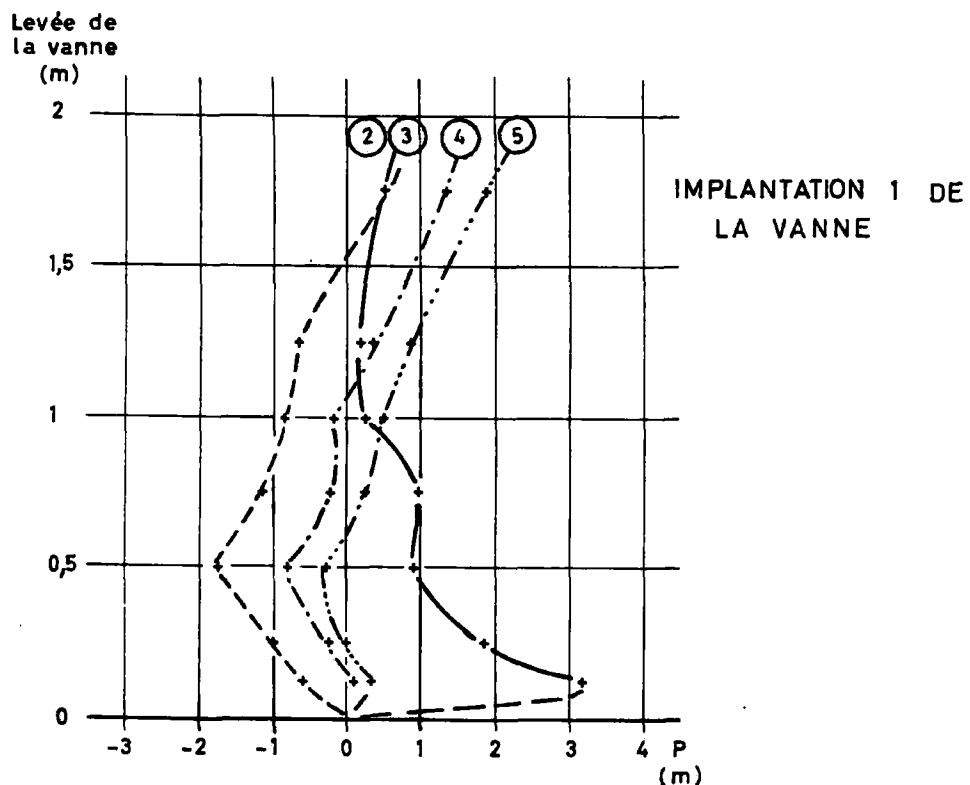
IMPLANTATION 2

DE LA VANNE

PRISES DE PRESSION →



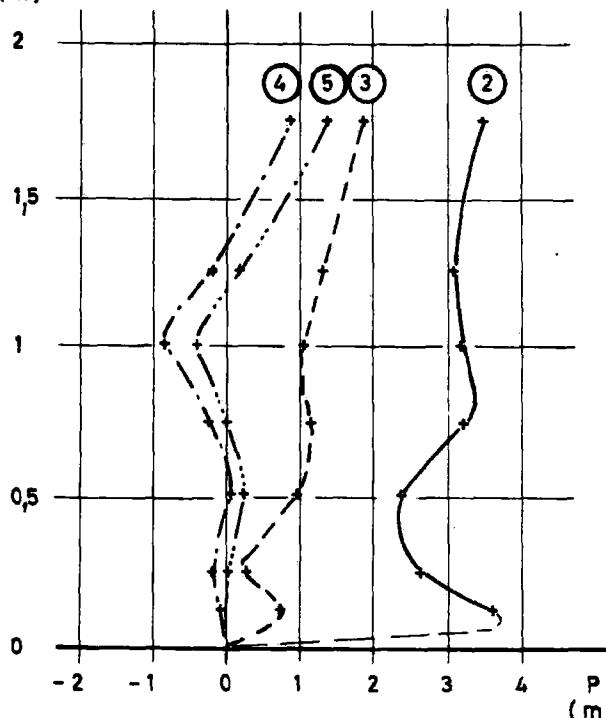
**Projet III bis (avec fente d'aspiration)**



Projet III bis (avec seuil à angle vif)

Levée de  
la vanne

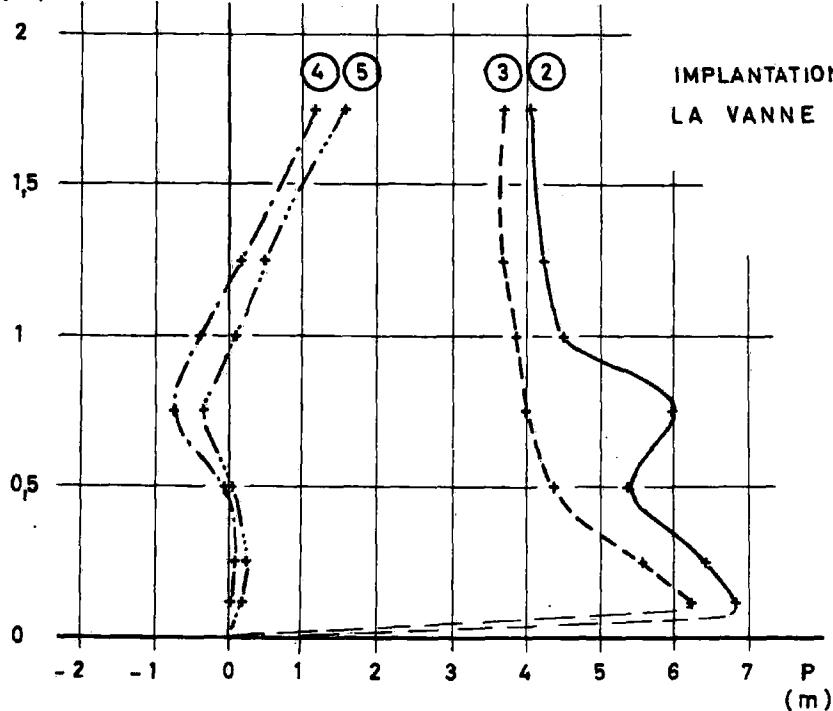
(m)



IMPLANTATION 1 DE  
LA VANNE

Levée de  
la vanne

(m)



IMPLANTATION 2 DE  
LA VANNE

PRISES DE PRESSION N° →

