

MÉMOIRES

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

AU MOYEN DE

MODÈLES A ÉCHELLE RÉDUITE DE DIVERS TYPES

DE

SIPHONS AUTO-AMORCEURS

PAR

BONNET, L.

Administrateur-Inspecteur général
des Services maritimes de l'Escaut.

BLOCKMANS, J.

Ingénieur principal
des Ponts et Chaussées.

LAMOEN, J.

Ingénieur des Ponts et Chaussées.

PLANCHE I.

La présente étude a été entreprise au Laboratoire de Recherches Hydrauliques des Ponts et Chaussées à Berchem-Anvers à la demande du Service des Canaux Houillers, en vue de l'établissement à Vilvorde d'une batterie de siphons auto-amorceurs sur le Canal Maritime de Willebroek à Bruxelles. Il ne sera relaté ici que cette partie des essais qui avait trait à la recherche d'un type de siphon qui, tout en ayant un rendement hydraulique très favorable, réalise l'amorçage automatique dans les conditions prescrites par le Service des Canaux Houillers, conditions qui seront exposées ci-après.

Le but de l'ouvrage est le suivant. A chaque crue dangereuse pour les terrains riverains, une partie des eaux de la rivière Senne sont captées en amont de Bruxelles et envoyées dans le Canal Maritime de Bruxelles au Rupel; à Vilvorde, le débit emprunté à la rivière est restitué à celle-ci au moyen de la batterie projetée. Le fonctionnement de cette batterie est réglé de manière que la flottaison du canal n'excède jamais la cote (+ 13,50 m.), ni ne descende au-dessous de (+ 13,30 m.), le niveau normal des eaux étant maintenu à (+ 13,40 m.) par rapport au zéro du nivellement général de Belgique. Le débit maximum à évacuer par la batterie de siphons avait primitivement été fixé à 55 m³/sec. et le premier projet prévoyait l'établissement de 9 cellules disposées en 3 batteries de 3 siphons. Le débit par siphon devait donc être :

$$Q = \frac{55}{9} = 6,111 \text{ m}^3/\text{sec.} = 6111 \text{ l/sec.}$$

Le niveau de la génératrice terminale de la vasque de sortie se trouvant au niveau (+ 11,34 m.) (cote présumée des plus hautes eaux de Senne en aval de la batterie de siphons; voir les types de siphons figurés à la planche I), on peut admettre que les siphons travailleront sous une charge $H = 13,50 \text{ m.} - 11,34 \text{ m.} = 2,16 \text{ m.}$ à laquelle correspond un débit théorique de (Ω = section droite du tube de siphon, soit un rectangle d'une largeur de 3,10 m. et de 0,80 m. de hauteur) :

$$Q_{th} = \Omega \sqrt{2gH} = 3,10 \times 0,80 \times \sqrt{2g \times 2,16} = 16,145 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Le projet de départ prévoyait donc un rendement de :

$$\eta = \frac{6111}{16145} = 0,38.$$

La flottaison normale du Canal Maritime étant (+ 13,40 m.), la crête du déversoir du siphon ne peut être établie à un niveau inférieur à cette cote (voir les types de siphons figurés à la planche I); d'autre part le niveau maximum admissible dans le canal étant (+ 13,50 m.), l'amorçage automatique doit se

réaliser pour une hauteur d'eau sur la crête du déversoir du siphon inférieure ou tout au plus égale à 13,50 m. — 13,40 m. = 0,10 m.

L'étude a été faite en opérant sur des modèles de siphons à l'échelle de $\frac{1}{10}$. Toutefois des essais complémentaires de con-

trôle ont eu lieu sur un modèle, à plus grande échelle : $\left(\frac{1}{2,5}\right)$ du type de siphon que le laboratoire a proposé d'exécuter.

Essais sur modèles à l'échelle de $\frac{1}{10}$.
(Planche I et photo 1.)

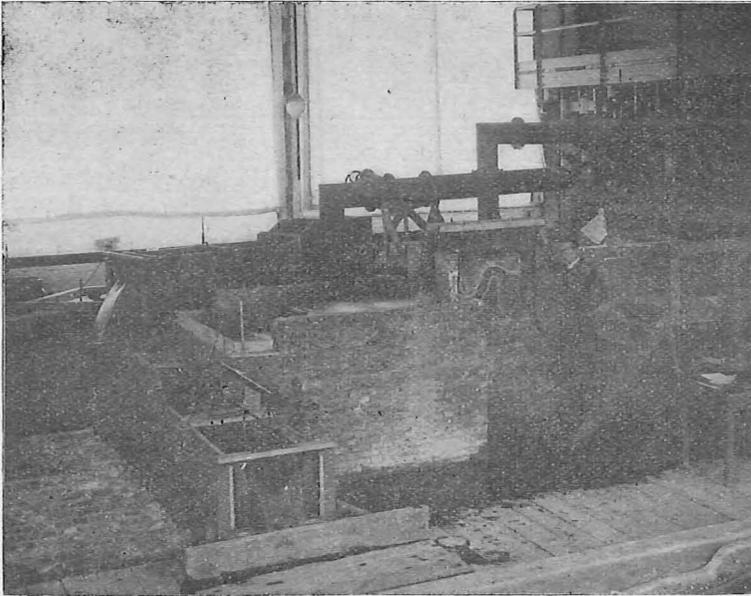


Photo 1

L'alimentation du modèle était faite au moyen d'une conduite de 300 mm. de diamètre qui partait du réservoir supérieur

à niveau constant du laboratoire (pour la description de ce réservoir, voir la « Note sur le Laboratoire de Recherches Hydrauliques d'Anvers », *Annales des Travaux Publics de Belgique*, juin 1935) et qui débouchait dans le réservoir amont du modèle d'une superficie de 2,00 m. × 1,00 m. et d'une profondeur de 1,50 m. environ. Ce réservoir représentait le Canal Maritime et le chenal d'amenée. Afin de régler le débit du modèle, la conduite d'alimentation était munie d'une vanne que l'on voit clairement sur la photo 1 où un ouvrier la manoeuvre. En sortant du réservoir amont, le courant s'engageait dans un canal de 340 mm. de largeur à l'extrémité duquel se trouvait le modèle du siphon d'une largeur de 310 mm., ce qui correspond à la largeur de la nature, et dont les parois latérales étaient formées de deux glaces, une de ces glaces étant recouverte d'un quadrillage qui est nettement visible sur la photo 1. Le plafond du canal (coupe AA de la planche) correspondait à la cote (+ 10,10 m.) de la nature. A la sortie du siphon, le courant se jetait dans un réservoir d'une superficie de 1,80 m. × 1,80 m. (coupe CC de la planche), qui représente la Senne et dont le plafond correspond à la cote (+ 7,10 m.) de la nature. Ensuite l'eau passait dans une caisse de jauge munie d'un déversoir triangulaire où l'on mesurait le débit qui s'écoulait dans le modèle; cette caisse avait été préalablement tarée avec une très grande précision. Le jet qui s'écoulait au-dessus du déversoir triangulaire tombait dans le canal central du laboratoire (voir note mentionnée ci-dessus). Le niveau de l'eau dans le canal (coupe AA, planche I) était déterminé au moyen d'un pointeur de plan d'eau consistant en une règle graduée, munie à son extrémité inférieure d'une pointe, et mise en mouvement par une crémaillère. La règle coulisse dans un manchon qui reste fixe et est pourvu d'un vernier. Grâce à cet appareil, la position du plan d'eau pouvait être repérée d'une façon très précise; il permettait en même temps de déterminer exactement la charge h au-dessus de la crête du siphon. Il suffisait pour cela de réaliser le contact entre la surface de l'eau et la pointe. Le pointeur de niveau était placé à une distance suffisante de l'entrée du siphon parce que l'on craignait une chute dans le

canal d'amenée à l'ouvrage. Des expériences ultérieures ont montré qu'il n'en était rien. La charge au-dessus du déservoir triangulaire de la caisse de jauge est mesurée d'une façon analogue.

Lorsque le siphon travaille dans les conditions normales de fonctionnement, c'est-à-dire lorsqu'il est complètement rempli d'eau, la loi de similitude de Froude lui est pratiquement applicable. En effet l'influence de la viscosité est négligeable comparativement aux actions de la pesanteur et des forces d'inertie.

Si $\frac{1}{n}$ (dans notre cas $n = 10$) représente l'échelle du modèle, les coefficients permettant de passer des grandeurs de la nature aux grandeurs correspondantes du modèle sont :

pour les débits	$\frac{1}{n^2 \sqrt{n}} = \frac{1}{316,23}$
pour les temps	$\frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{3,1623}$
pour les vitesses	$\frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{3,1623}$

Le débit du modèle d'un pertuis de siphon, correspondant à celui du projet du Service des Canaux Houillers, devient dès lors :

$$q = \frac{Q}{10 \times 10 \times \sqrt{10}} = \frac{6111}{316,23} = 19,32 \text{ l/sec.}$$

et le débit théorique du modèle est :

$$q_{th} = \frac{Q_{th}}{10 \times 10 \times \sqrt{10}} = \frac{16145}{316,23} = 51,05 \text{ l/sec.}$$

Pour tous les états de fonctionnement du siphon où l'air entre en jeu, la similitude de Froude exigerait que l'on réduisît la pression atmosphérique agissant dans le modèle dans le

rapport $\frac{1}{n}$ (= $\frac{1}{10}$ dans le présent cas). Les caractéristiques d'amorçage obtenues dans le modèle ne peuvent donc pas être reportées à la nature. Si nous désignons par γ la hauteur d'amorçage du modèle et par Γ la même quantité pour la grandeur d'exécution, on peut toutefois présumer que :

$$\Gamma < n \gamma$$

c'est-à-dire que les hauteurs d'amorçage qui résultent des essais sur modèles sont plus grandes que les hauteurs correspondantes de la nature. Les essais du Dr Ing. A. Veronese (*Energia Elettrica*, juillet 1934) appuient cette manière de voir. Nous l'avons d'ailleurs contrôlée, lors des essais que nous avons exécutés à grande échelle, sur le type de siphon que nous avons proposé d'adopter (voir plus loin).

Exposé des divers essais.

Pour chaque modèle de siphon nous avons déterminé :

a) la courbe des débits q (modèle) en fonction de la charge h sur la crête du déversoir du siphon (comme il a été dit plus haut cette crête correspond à la flottaison normale + 13,40 m. dans le Canal Maritime). On faisait varier le débit q en agissant sur la vanne intercalée dans la conduite d'alimentation du modèle. Après avoir manœuvré la vanne, et ce afin d'être sûr que le régime d'écoulement était établi, on attendait une dizaine de minutes avant de relever le niveau d'eau en amont du siphon et la charge sur le déversoir triangulaire de la caisse de jauge. D'après ce qui a été dit ci-dessus, ces données sont directement extrapolables à la nature, si bien entendu le courant traversant le siphon n'est pas accompagné de bulles d'air.

b) les caractéristiques de l'amorçage : cote d'amorçage et parfois aussi le temps d'amorçage. Ces caractéristiques n'ont été déterminées que pour les types I, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI. Dans les différents modèles de siphons que nous avons exécutés, le dispositif de désamorçage consistait en une ouver-

ture de 10 mm. de hauteur établie sur presque toute la largeur du siphon. La paroi supérieure horizontale de cette ouverture se trouvait au niveau du seuil du déversoir du siphon, par conséquent au niveau de la flottaison normale du canal.

Type I (voir planche I).

Lors des essais sur ce type, on a constaté les deux phénomènes suivants :

1° lorsque le plan d'eau dans le réservoir aval du siphon est suffisamment élevé, l'air sous le jet sortant du siphon peut disparaître et il se produit dès lors une augmentation du débit. Il

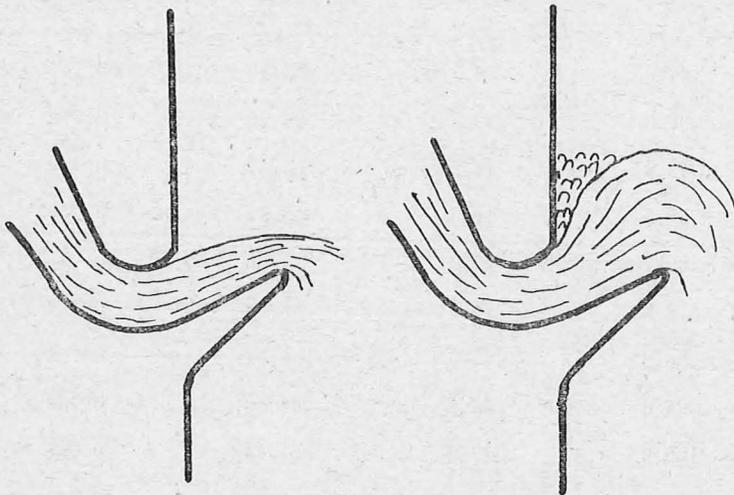


Fig. 1

Première figure d'écoulement

Seconde figure d'écoulement

résulte de ceci que lorsque les eaux seront très hautes dans la Senne, le débit des siphons sera plus grand que lorsque les eaux seront basses ;

2° le jet de sortie peut présenter deux aspects fort différents qui sont esquissés à la figure n° 1. La 1^{re} figure d'écoulement avec jet contracté donne des débits moindres que le 2^{me} aspect du jet.

On a tracé pour ce type I des diagrammes en portant en

abscisses les débits q en l/sec. et en ordonnées les hauteurs d'eau h en mm. au-dessus de la crête du déversoir du siphon. Chaque point (h, q) correspond à la moyenne de 10 lectures au pointeur de niveau en amont du siphon et de 10 lectures au pointeur de la caisse de jauge.

Dans le cas de la 1^{re} figure d'écoulement, le niveau dans le réservoir aval étant voisin de celui des plus hautes eaux de la Senne (donc pas d'air au-dessous du jet sortant du siphon) on a obtenu les points expérimentaux suivants :

h en mm.	q en l/sec.	qh en l sec.	$\eta =$ rendement
27,9	39,7	53,13	0,747
38,3	40,7	54,30	0,750
49,4	41,6	55,52	0,749
58,6	42,3	56,51	0,749
69,7	43,3	57,68	0,751
78,9	44,1	58,63	0,752
88,8	45,0	59,64	0,755
98,3	45,8	60,60	0,756
109,9	46,2	61,74	0,748
118,9	47,15	62,61	0,753

Pour la 2^{me} figure d'écoulement et un niveau aval voisin des plus hautes eaux de Senne on a trouvé :

h en mm.	q en l/sec.	q_{th} en l/sec.	$\eta =$ rendement
14,4	40,0	51,57	0,776
	point le plus bas pour lequel le siphon fonctionne sans aspirer des bulles d'air.		
14,9	39,7	51,63	0,769
19,5	40,5	52,16	0,776
19,7	40,4	52,19	0,774
24,7	40,7	52,76	0,771
25,1	41,1	52,81	0,778
28,6	41,05	53,21	0,771
29,4	41,7	53,30	0,754
30,0	41,2	53,37	0,772
34,2	41,9	53,84	0,778
34,6	41,6	53,88	0,772
39,3	41,85	54,41	0,769
39,9	42,0	54,47	0,771
40,9	42,0	54,58	0,770
44,3	42,1	54,96	0,766
45,0	42,4	55,04	0,770
49,7	42,8	55,55	0,770
49,8	42,4	55,56	0,763
54,6	43,2	56,08	0,770
59,4	43,6	56,59	0,770
64,5	44,2	57,13	0,774
69,7	44,6	57,68	0,773
74,9	45,2	58,22	0,776
80,3	45,5	58,78	0,774
81,3	45,7	58,88	0,776
85,3	46,1	59,29	0,778
89,7	46,3	59,73	0,774
94,9	46,6	60,26	0,773
100,6	46,6	60,83	0,766
	pendant cette expérience les deux figures d'écoulement se sont présentées.		
104,6	47,5	61,22	0,776
115,0	48,2	62,24	0,774

Pour la 1^{re} figure d'écoulement et un niveau d'aval plus bas (jet de sortie aéré par au-dessous) :

h en mm.	q en l/sec.	Observations
9,2	35,15	
10,9	35,25	
15,8	35,80	
19,1	35,80	
29,2	36,50	
33,3	37,10	
40,7	37,50	
47,9	38,20	
50,4	38,45	
62,0	39,45	
63,9	39,60	
77,1	40,35	

Pour la 2^{me} figure d'écoulement et un niveau d'aval plus bas (jet de sortie aéré par au-dessous, v. tableau, p. 19.)

Lors d'un essai, la figure d'écoulement passe parfois, sans raison apparente, de l'un des aspects à l'autre. Cette possibilité de deux figures d'écoulement est analogue au phénomène que l'on a depuis longtemps observé dans les ajutages cylindriques rentrants, dits de Borda (voir p. ex. Bouasse: *Jets, tubes et canaux*. Paris, Delagrave, 1923). Si l'on obstrue suffisamment la sortie d'un tel ajutage et que l'on retire ensuite l'obstacle, il se peut que la veine contractée qui se présentait primitivement se soit épanouie et qu'elle sorte à gueule-bée en débitant une plus grande quantité d'eau. Lorsque le siphon type I présente

h en mm.	q en l/sec.	Observations
5,8	36,8	La conduite de dés-amorçage était obturée.
3,2	37,9	Idem
10,3	38,8	
31,3	41,0	
38,4	41,5	
41,4	42,0	
48,7	42,5	
57,8	43,15	
72,9	44,35	
85,0	45,2	
101,3	46,25	

la 1^{re} figure d'écoulement et que nous introduisons un obstacle dans le jet de sortie nous passons à la 2^{me} figure d'écoulement.

Caractéristiques d'amorçage.

Etant donné un modèle de siphon et étant donné le dispositif expérimental dont nous avons fait emploi, les débits que l'on envoie dans le modèle peuvent, selon leur grandeur, être classés en trois catégories :

Première catégorie de débits = de 0 l/sec. à un débit q_a lui-même extrêmement petit et qui est le débit le plus grand pour lequel le siphon ne montre aucune velléité d'amorçage (il est bien au-dessous de 0,3 l/sec. pour ceux de nos modèles qui présentaient un bon amorçage).

Envoyons dans le modèle un débit q , compris entre 0 l/sec. et q_a ($0 < q < q_a$). Après un certain temps, on obtient un état de régime avec une certaine hauteur d'écoulement sur les géné-

ratrices horizontales 5 et 6 (voir planche I, type I). On constate que le courant reste collé à la paroi inférieure du siphon; le dispositif destiné à faciliter l'amorçage (nez d'amorçage, siphon auxiliaire ou tout autre système que l'on pourrait imaginer) ne peut entrer en action, c'est-à-dire ne parvient pas à former un jet (ou un jet suffisamment puissant) dans le tube du siphon. Pour que le courant décolle, il faut en effet avoir une certaine hauteur d'écoulement au-dessus de 6. Notons encore ici que pour être efficace, le jet ne doit pas nécessairement frapper la paroi supérieure du siphon; il suffit qu'il ait assez de puissance pour entraîner en aval de la génératrice 4 (génératrice horizontale la plus basse de la paroi supérieure) l'air emprisonné dans le corps du siphon.

La seconde catégorie de débits est comprise entre q_a et q_b , en désignant par cette dernière notation le débit le plus petit que l'ouvrage peut écouler tout en maintenant son fonctionnement comme siphon (le débit q_b correspond évidemment à une valeur de h très petite, qui peut même être légèrement négative — voir le premier des points expérimentaux obtenus pour le type V — et est accompagné d'une aspiration d'air constituée par une file ininterrompue de bulles d'air qui s'introduisent par le conduit de désamorçage). Ce débit q_b peut être déterminé de la façon suivante : le siphon étant complètement amorcé, on diminue progressivement le débit envoyé dans le modèle; le débit q_b est légèrement supérieur à celui pour lequel se produit le désamorçage.

Pour la détermination de la cote d'amorçage, il convient de faire usage de débits de cette catégorie et même de se tenir le plus près possible de q_a , car si l'on prend des débits trop élevés, on arrive le plus souvent (et notamment pour le type I) au phénomène suivant : Si l'on envoie des débits trop grands, la vitesse de montée du plan d'eau en amont du siphon devient excessive (il s'agit ici de vitesses de montée excessivement rapides qui ne pourraient jamais se présenter dans la nature); on observe alors que le courant se colle jusqu'à la sortie contre la paroi inférieure du siphon de telle façon que la vasque aval ne reste plus remplie. Dans ces conditions on ne parvient pas à

chasser l'air, à moins que l'on augmente encore le débit de telle sorte que le niveau amont s'élève jusqu'à hauteur de la paroi supérieure au-dessus du seuil du siphon.

Décrivons maintenant le phénomène tel qu'il se passe pour un débit suffisamment petit de la 2^{me} catégorie, que nous désignerons par q . La vasque aval se remplit et quand le niveau d'eau y atteint la génératrice 4 (planche I, type I), l'air contenu dans le tube du siphon sera de ce fait séparé de l'atmosphère. Comme il faut d'autre part une hauteur d'écoulement au-dessus de la génératrice 5, l'air emprisonné sera légèrement comprimé et le niveau d'eau en 7 sera un peu inférieur au niveau en 8; la même dénivellation se produira entre les niveaux 0 et 1. Dès que le niveau dans la vasque aval atteint la génératrice 4, on constatera une diminution de la hauteur d'écoulement sur le seuil 6 du siphon. Si, avant remplissage de la vasque, le dispositif d'amorçage avait déjà produit un jet, on verra celui-ci diminuer brusquement ou même disparaître tout à fait. Le débit du siphon en ce moment sera inférieur à q , il faut donc que le niveau en 0 monte, suivi du niveau en 1. Le jet d'amorçage se renforce (ou revient quand il avait déjà disparu); il atteint la puissance voulue pour commencer à entraîner l'air emprisonné dans le corps du siphon; cet air se raréfie de plus en plus; le niveau en 1 monte maintenant plus vite que celui en 0; le débit du siphon croît; il atteint la valeur q et puis la dépasse. A partir de cet instant le niveau en 0 commence à baisser tandis que le siphon continue à augmenter son débit jusqu'au moment où il se désamorçe, par suite du fait que le niveau en 0 vient trop près de la paroi supérieure du conduit de désamorçage. Comme cote d'amorçage γ nous avons retenu la cote la plus haute que le niveau en 0 atteint pendant ce phénomène. La cote γ dépend du débit dont on fait usage et augmente avec ce débit. Cependant, si l'on prend q suffisamment petit, γ n'est pas tellement sensible à de légères variations du débit, ainsi qu'il ressort des valeurs suivantes de la cote d'amorçage :

γ = élévation du plan d'eau dans le Canal Maritime par rapport au seuil du siphon (modèle) = 12,6 mm.; 12,9 mm.;

12,9 mm. ; 12,4 mm. ; 12,8 mm. ; 12,9 mm. ; 12,5 mm., relevées sur le type I avec des valeurs de q différentes mais suffisamment petites.

Lorsque nous indiquons un temps d'amorçage, nous désignons par ce terme le temps qui s'écoule entre l'instant où le niveau en I se met à remonter (après la dépression qu'il a subie initialement) jusqu'au moment où il ne reste plus d'air dans le siphon.

La compression initiale de l'air emprisonné dans le corps du siphon apparaît comme extrêmement défavorable pour l'amorçage. Ainsi le type VIII (planche I) est identique au type V, sauf que la génératrice 4 a été placée à 10 mm. (modèle) au-dessus de 5 (niveau des plus hautes eaux dans la Senne). Il en est résulté une diminution de la cote d'amorçage de 20,2 mm. — 11,0 mm. = 9,2 mm. ; cette cote a donc été réduite de moitié environ. La disposition contraire adoptée dans les types III et IV est donc absolument à rejeter. Dans ce relèvement de 4 par rapport à 5, il faut évidemment se tenir dans des limites très étroites ; il faut craindre les rentrées d'air par l'aval du siphon. Lorsqu'on envoie dans le modèle un débit de la 2^{me} catégorie, on n'atteint jamais un état de régime ; il y aura des périodes où le siphon ne débite pas, puis il s'amorce partiellement, se désamorce et le même cycle recommence.

Les débits de la 3^{me} catégorie sont supérieurs à q_b . On peut obtenir un état de régime. Le(s) fonctionnement(s) correspondant(s) du siphon est (sont) alors suffisamment défini(s) par des courbes $h = f(q)$ à donner pour chaque type en particulier.

Parmi les cotes indiquées ci-dessus pour l'amorçage du type I nous avons retenu $\gamma = 12,4$ mm. Nous avons vérifié qu'en maintenant le plan d'eau du Canal Maritime à cette cote, on parvient réellement à un amorçage complet du siphon. Avant de pouvoir effectuer une telle opération, il faut évidemment acquérir une certaine dextérité dans le maniement de la vanne qui se trouve dans la conduite d'amenée au modèle. Si l'on envoie un débit trop petit, le plan d'eau d'amont descend au-dessous de $\gamma = 12,4$ mm. et le siphon se désamorce. Si l'on

envoie un débit trop grand, on dépasse la cote $\gamma = 12,4$ mm. et si, dans ces conditions, le siphon s'amorce on ne serait cependant pas certain que les 12,4 mm. de surélévation suffisent à mettre le modèle en fonctionnement.

Sur le modèle du type I on a relevé les temps d'amorçage suivants : 60 sec. ; 59 sec. ; 61 sec. (en maintenant $\gamma = 12,4$ mm. environ) ; 82 sec. (par suite d'une manœuvre incorrecte le plan d'eau a dépassé assez bien la cote d'amorçage).

Conclusions. — Les constatations faites montrent que le type I n'est pas mauvais. Moyennant des améliorations il pourrait être admis. Toutefois avant de pousser cette étude plus à fond, nous avons voulu examiner si des formes entièrement différentes ne pouvaient pas conduire à une solution meilleure.

Type II (voir planche I).

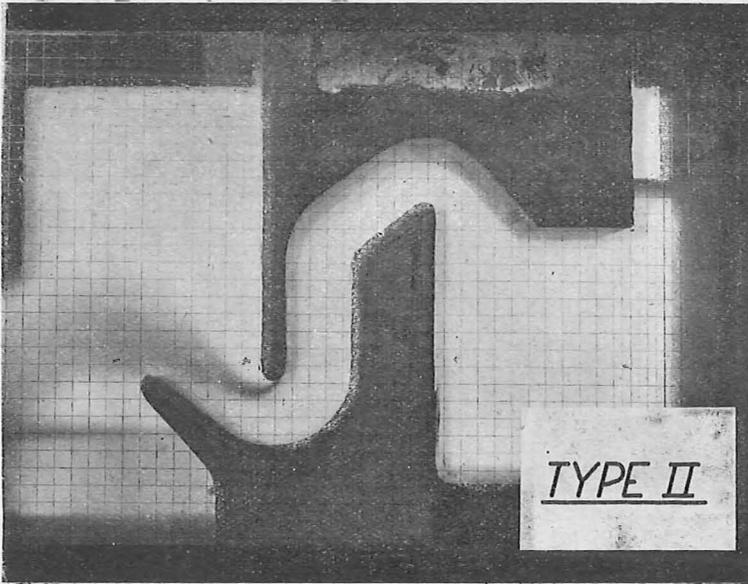


Photo 2

Ce type ne présente pas de nez. Le jet devant produire l'amorçage était supposé devoir se réaliser par la paroi oblique

à l'aval du seuil du siphon. Ces prévisions ne se sont pas confirmées; la veine reste collée à la paroi verticale antérieure du siphon. Aussi l'amorçage ne se fait qu'à des niveaux tellement élevés, qu'ils excluent l'usage de ce type. La photo n° 2 représente ce siphon en fonctionnement; on voit la contraction de la veine sortante, contraction qui est toujours un indice de mauvais rendement.

Voici les points expérimentaux obtenus sur ce type; il y avait de l'air au-dessus du jet de sortie. (V. tableau, p. 25.)

Conclusions. — Amorçage difficile et mauvais rendement, donc type à écarter.

Type III.

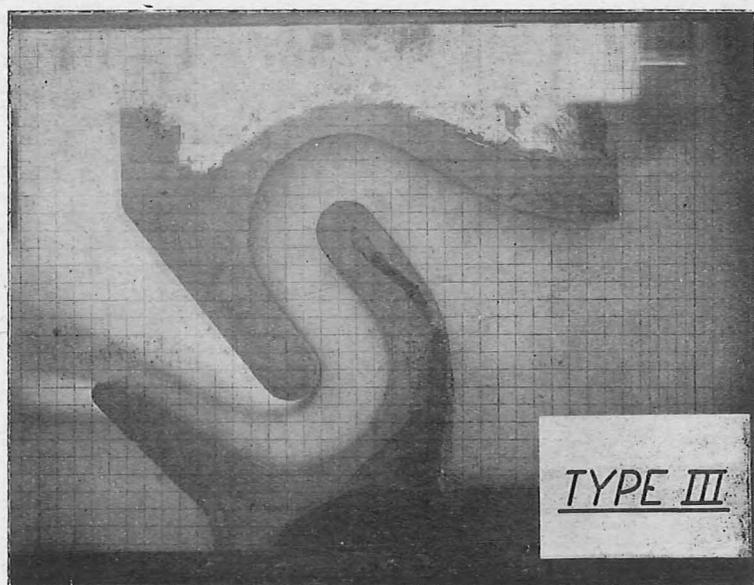


Photo 3

Siphon en forme d'S (voir planche I). Le corps du siphon a partout la même section transversale, sans aucune discontinuité. L'on comptait sur la forme même de la paroi antérieure du siphon, à l'aval du seuil, pour réaliser le jet devant provo-

h en mm.	q en l/sec.	q_{th} en l/sec.	$\eta =$ rendement
7,5	21,0	50,76	0,414
7,6	20,9	50,77	0,412
9,9	21,2	51,04	0,415
9,9	21,0	51,04	0,411
12,6	21,2	51,36	0,413
16,3	21,6	51,79	0,417
17,7	21,35	51,96	0,411
19,1	21,50	52,12	0,413
21,0	21,6	52,34	0,413
22,7	21,6	52,53	0,411
26,1	21,9	52,92	0,414
27,7	21,91	53,10	0,413
29,5	22,2	53,31	0,416
30,1	22,0	53,38	0,412
33,3	22,1	53,74	0,411
35,4	22,4	53,97	0,415
39,1	22,2	54,38	0,408
40,5	22,4	54,54	0,411
40,6	22,7	54,55	0,416
42,4	22,5	54,75	0,411
46,0	22,9	55,14	0,415
47,8	22,8	55,34	0,412
50,4	22,9	55,62	0,412
51,2	23,1	55,71	0,415
52,0	22,9	55,80	0,410
56,0	23,4	56,23	0,416
57,9	23,3	56,43	0,413
60,4	23,6	56,70	0,416
62,4	23,6	56,91	0,415
62,8	23,4	56,95	0,411
65,5	23,8	57,24	0,416
67,8	23,6	57,48	0,411
70,2	24,05	57,73	0,417
72,3	23,8	57,95	0,411
75,3	24,4	58,26	0,419
77,8	24,1	58,52	0,412
82,2	24,4	58,97	0,414
82,8	24,2	59,03	0,410
87,5	24,5	59,51	0,412
93,0	24,7	60,18	0,410
97,8	24,85	60,55	0,410
101,7	24,9	60,94	0,409
107,4	25,15	61,50	0,409
116,8	25,4	62,41	0,407
120,2	25,5	62,74	0,406

quer l'amorçage. L'arête horizontale la plus basse de la paroi supérieure du siphon à la sortie de celui-ci a été abaissée de 20 mm. (en modèle) au-dessous du niveau des plus hautes eaux de la Senne. L'amorçage de ce type se faisait très difficilement. Le jet restait collé à la paroi antérieure du siphon.

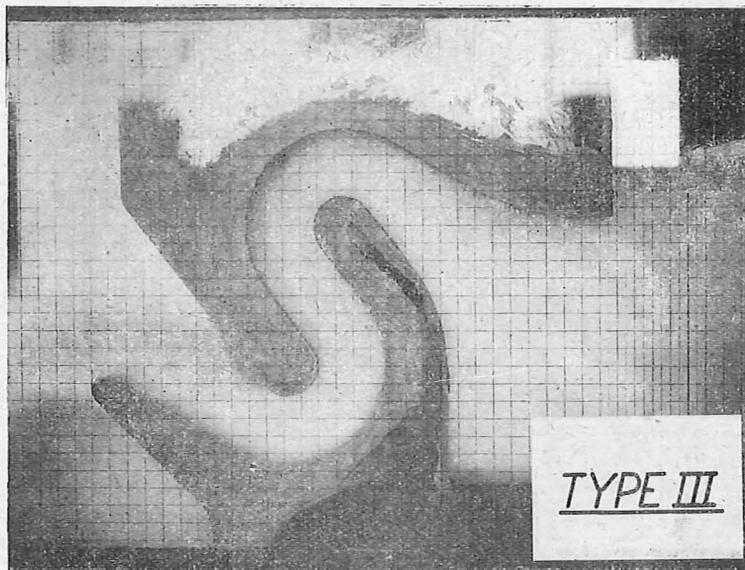


Photo 4

D'autre part nous avons pu constater que l'abaissement, au-dessous du niveau de l'arête terminale de la vasque, de l'arête horizontale la plus basse de la paroi supérieure du siphon, constitue une très mauvaise solution; elle entrave véritablement l'amorçage parce qu'elle empêche la sortie de l'air. Dans ce type de siphon les deux figures d'écoulement sont très nettement apparues ainsi qu'on peut se rendre compte par l'examen des photos 3 et 4. La photo 3 est relative à la première figure d'écoulement où le jet de sortie se détache très nettement de la paroi supérieure du siphon; la photo n° 4 donne une image de la 2^{me} figure d'écoulement.

On a obtenu les points expérimentaux suivants pour la 1^{re} figure d'écoulement, avec aération au-dessous du jet de sortie :

h en mm.	q en l/sec.	q_{th} en l/sec.	$\eta =$ rendement
9,5	26,8 aspiration d'air par le siphon	50,99	0,526
10,5	27,2 ld.	51,11	0,532
12,3	27,25 valeur de h la plus petite pour laquelle le siphon n'aspire pas d'air.	51,33	0,531
16,8	27,3	51,85	0,527
18,1	27,60	52,00	0,531
21,8	27,85	52,43	0,531
27,3	28,10	53,06	0,530
32,5	28,4	53,66	0,529
37,4	28,7	54,20	0,530
38,7	28,55	54,34	0,525
42,8	28,95	54,79	0,528
46,2	29,1	55,17	0,527
48,3	29,15	55,40	0,526
50,3	29,1	55,61	0,523
54,6	29,45	56,08	0,525
57,6	29,8	56,40	0,528
59,4	29,65	56,60	0,524
59,8	29,75	56,63	0,525
63,9	29,82	57,07	0,523
67,8	30,1	57,48	0,524
69,5	29,9	57,66	0,519

h en mm.	q en l/sec.	q_{th} en l/sec.	$\eta =$ rendement
74,9	30,1	58,22	0,517
75,0	30,5	58,23	0,524
78,0	30,5	58,54	0,521
80,3	30,8	58,78	0,524
83,4	30,7	59,10	0,519
86,8	31,1	59,44	0,523
89,4	31,2	59,70	0,523
91,7	31,8	59,94	0,531
94,3	31,35	60,20	0,521
97,8	31,6	60,55	0,522
98,9	31,6	60,66	0,521
104,2	31,7	61,18	0,518
108,0	32,15	61,56	0,522
110,5	32,0	61,80	0,518
112,1	32,9	61,96	0,530
113,5	32,4	62,09	0,522
117,3	32,6	62,46	0,522
118,6	32,6	62,59	0,521
125,5	32,8	63,25	0,519
127,1	33,05	63,40	0,521
128,7	33,0	63,55	0,519
131,7	33,8	63,84	0,529
132,1	33,0	63,87	0,517
137,7	33,5	64,40	0,520
138,4	33,3	64,47	0,517

La 2^{de} figure d'écoulement avec aération au-dessous du jet de sortie a donné :

h en mm.	q en l/sec.	q_{lh} en l/sec.	$\eta =$ rendement
13,7	30,1	51,49	0,585
14,2	30,75	51,55	0,597
18,8	30,7	52,08	0,589
19,3	31,1	52,14	0,596
24,3	31,3	52,72	0,594
27,8	31,95	53,12	0,600
29,4	31,65	53,30	0,594
34,0	32,05	53,82	0,596
39,7	33,6	54,45	0,599
39,7	33,25	54,45	0,611
44,0	33,1	54,93	0,603
45,8	33,75	55,12	0,612
46,2	à partir de cette valeur de h la 2 ^{de} figure d'écoulement se transforme toujours après un certain temps en la 1 ^{re} figure. Ce temps toutefois reste suffisant pour effectuer la mesure du débit.		
49,1	33,4	55,48	0,602
49,3	33,9	55,50	0,611
50,4	34,1	55,62	0,613
53,4	34,55	55,95	0,618
53,8	33,9	55,99	0,604
58,8	34,6	56,53	0,612
63,9	ici la transformation de la 2 ^{de} figure en la 1 ^{re} , se fait après environ 30 secondes.		

Pour la 1^{re} figure d'écoulement avec jet de sortie non aéré au-dessous on a trouvé :

h en mm.	q en l/sec
10,9	27,5
26,2	28,4
37,3	29,15
39,7	28,4
60,7	30,0
72,5	30,7
75,2	30,8
92,5	31,65
98,3	32,25
111,5	32,7
117,3	32,9
133,5	33,7

Pour la 2^{de} figure d'écoulement avec jet non aéré au-dessous :

h en mm.	q en l/sec.	q/h en l/sec.	$\eta =$ rendement
17,8	31,5	51,97	0,606
29,5	32,7	53,31	0,613
40,3	33,8	54,52	0,620
46,8	33,7	55,23	0,610
57,4	34,75	56,38	0,616
58,9		56,54	
on est passé à la 1 ^{re} figure après environ 8 minutes.			
77,2	36,5	58,46	0,624

On remarque que le débit augmente légèrement lorsqu'il n'y a pas d'air sous le jet de sortie. D'autre part on constate la différence notable entre les débits dans le cas de la 1^{re} et de la 2^{de} figure d'écoulement. A partir d'une certaine charge ($h = 46$ mm. environ dans le modèle) la 2^{de} figure d'écoulement devient instable dans le modèle; à partir de cette charge la 2^{de} figure d'écoulement se transforme en la première après un temps plus ou moins long. Plus la charge est grande et plus le temps après lequel la transformation s'effectue est petit. On peut dire qu'à partir de $h = 64$ mm. (modèle) l'existence de la 2^{de} figure d'écoulement est pratiquement impossible.

La transformation inverse (1^{re} figure d'écoulement se transformant en la 2^{de}) est impossible, sauf dans le cas particulier suivant: supposons que l'on se trouve en présence de la 1^{re} figure et que l'on diminue constamment la charge h . A un certain moment cette quantité devient tellement petite que le siphon aspire de l'air et alors la 1^{re} figure d'écoulement se transforme brusquement en la 2^{de}.

Conclusions. — Amorçage difficile. Deux régimes de fonctionnement. Rendements peu satisfaisants pour les deux régimes.

Type IV (voir planche I).

Dispositif analogue au type III sauf que la partie centrale du tube du siphon est moins inclinée et que, dans le but d'obtenir un décollement du jet d'amorçage, la paroi inférieure est munie d'un redent, immédiatement à l'aval du seuil du siphon.

Pour la 1^{re} figure d'écoulement avec aération au-dessous du jet de sortie on a trouvé :

h en mm.	q en l/sec.	qh en l/sec.	$\eta =$ rendement
9,7	25,9	51,02	0,508

Valeur de h la plus petite pour laquelle le modèle n'aspire pas d'air.

17,4	26,3	51,92	0,507
22,2	26,45	52,48	0,504
26,5	26,7	52,97	0,504
33,0	27,0	53,70	0,503
37,8	27,3	54,24	0,503
41,8	27,6	54,68	0,505
46,9	27,85	55,24	0,504
52,7	27,9	55,87	0,499
57,0	28,25	56,34	0,501
67,9	28,65	57,49	0,498
78,9	29,1	58,63	0,496
87,3	29,5	59,49	0,496
98,0	29,8	60,57	0,492
106,3	30,35	61,39	0,494
115,2	30,7	62,26	0,495
125,7	31,3	63,27	0,494
136,5	31,7	64,29	0,493
146,4	32,25	65,21	0,495
156,7	32,7	66,16	0,494

Pour la 2^{de} figure d'écoulement avec aération au-dessous du jet de sortie :

h en mm.	q en l/sec.	qm en l/sec.	$\eta =$ rendement
8,7	27,25	50,90	0,535
	aspiration d'air.		
10,6	27,45	51,12	0,537
12,8	27,75	51,38	0,540
16,2	27,9	51,78	0,539
19,7	28,4	52,19	0,544
20,7	28,25	52,30	0,540
23,3	28,7	52,60	0,546
26,0	28,8	52,91	0,544
29,1	29,15	53,26	0,547
31,8	29,2	53,57	0,545
35,0	29,7	53,93	0,551
39,0	29,95	54,37	0,551
43,9	30,45	54,91	0,555
47,7	30,8	55,33	0,557
55,0	31,5	56,12	0,561
58,1	on est passé à la 1 ^{re} figure d'écoulement.		
58,7	31,8	56,52	0,563
62,2	32,2	56,89	0,566
68,0	après 2 ou 3 minutes on est passé à la 1 ^{re} figure d'écoulement.		

L'amorçage était extrêmement difficile, sans doute par suite du fait que dans ce type également l'arête horizontale la plus basse de la paroi postérieure est située plus bas que la génératrice terminale de la vasque.

Conclusions. — L'amorçage difficile aurait sans doute pu être amélioré en relevant l'arête horizontale la plus basse de la paroi postérieure, mais les rendements des deux régimes étant peu satisfaisants, ce type est peu recommandable.

Type V (voir planche I).

Dans ce type l'amorçage doit se faire par l'intermédiaire d'un siphon auxiliaire (baby siphon).

Le modèle avait une largeur de 51 mm. Nous donnons ci-dessous un tableau de valeurs de h , avec en regard les valeurs correspondantes trouvées pour les débits. Afin de rendre ces débits observés comparables à ceux d'un siphon de 310 mm.

de largeur, ils ont été multipliés par le rapport $\frac{310}{51}$.

La construction et le placement (étanche) dans le canal d'expérimentation d'un tel modèle peu large étaient beaucoup plus faciles et il est évident que les caractéristiques de l'amorçage ne se trouveront pas notablement modifiées du fait de la dimi-

nution de largeur. Les débits (multipliés par $\frac{310}{51}$) ne seront

cependant pas les mêmes que ceux que l'on observerait sur un modèle de 310 mm. de largeur, car la forme d'une section de 80 mm. \times 51 mm. n'est pas semblable à celle d'une section

de 80 mm. \times 310 mm. Les débits (multipliés par $\frac{310}{51}$) d'un

siphon de 51 mm. seront un peu inférieurs à ceux d'un siphon de même coupe longitudinale, mais de 310 mm. de largeur.

Avec jet de sortie aéré par au-dessous on a relevé les points expérimentaux suivants :

h en mm.	q en l/sec.	q_{th} en l/sec.	$\eta =$ rendement
0,1	30,3	49,84	0,608
5,6	32,82	50,53	0,650
9,5	33,42	50,99	0,655
12,2	33,4	51,31	0,651
16,8	34,1	51,85	0,658
21,6	34,8	52,41	0,664
25,8	35,4	52,89	0,669
30,5	35,9	53,42	0,672
36,8	36,7	54,13	0,678
42,5	37,4	54,76	0,683
46,1	38,0	55,16	0,689
48,8	39,6	55,45	0,714
49,7	39,6	55,55	0,713
51,7	39,9	55,76	0,716
54,1	40,0	56,02	0,714
59,8	40,3	56,63	0,712
65,1	40,7	57,20	0,712
70,6	41,1	57,77	0,711
80,4	41,9	58,79	0,713
92,1	42,7	59,98	0,712
115,0	44,4	62,24	0,713
118,9	44,8	62,61	0,716

L'amorçage se faisait dans de très bonnes conditions pour $\gamma = 20,2$ mm. Toutefois, lorsque la vitesse de montée de la flottaison dans le canal amont devient excessive, on observe le phénomène déjà décrit pour le type I : le courant se colle partout contre la paroi inférieure du siphon et l'amorçage ne se produit pas.

Conclusions. — Le type n'est pas mauvais. L'amorçage toutefois paraît une opération délicate qui peut être améliorée. Le rendement est bon. L'étude a été poussée un peu plus loin en réalisant le type VIII.

Type VIII (voir planche I).

Le modèle avait une largeur de 54 mm. La seule différence que ce type présente avec le précédent (type V) est le relèvement, au-dessus du niveau de l'arête terminale de la vasque, de la partie la plus basse de la paroi supérieure du siphon, de manière que la génératrice la plus basse de cette paroi supérieure se trouve à 10 mm. (en modèle) au-dessus de l'arête supérieure terminale de la vasque.

Voici les points expérimentaux obtenus avec le jet de sortie aéré par au-dessous; les débits observés sont réduits à 310 mm. de largeur :

h en mm.	q en l/sec.	q_{th} en l/sec.	$\eta =$ rendement
5,4	33,29	50,51	0,659
14,2	34,61	51,55	0,671
25,1	36,00	52,81	0,682
34,8	37,31	53,90	0,692
44,5	39,89	54,98	0,726
55,0	41,04	56,12	0,731
65,0	41,44	57,19	0,725
75,3	42,47	58,26	0,729
85,0	43,27	59,26	0,730
94,7	43,96	60,51	0,726
99,8	44,08	60,75	0,726
104,9	44,48	61,25	0,726
114,1	45,34	62,15	0,730
125,1	45,92	63,21	0,726

On a relevé les cotes d'amorçage suivantes :

$\gamma = 12,2\dots, 12,1\dots, 11,8\dots, 11,7\dots, 11,6\dots, 11,5\dots, 11,0\dots, 11,7$ mm.

Celles-ci sont notablement inférieures à celles du type V, ce qui montre le grand avantage que présente la modification apportée au point de vue de l'amorçage. On a vérifié que pour $\gamma = 11,0$ mm. le siphon s'amorçait complètement.

Afin de vérifier si la présence du siphon auxiliaire influait sur les débits, le « baby siphon » fut bouché et les débits furent relevés tout comme dans l'expérience précédente, le jet de sortie étant aéré par au-dessous. Voici les points expérimentaux qui ont été obtenus ; si l'on traçait la courbe $h = f(q)$ on constaterait qu'elle n'est pas modifiée du fait de l'obturation du siphon auxiliaire :

h en mm.	q en l/sec.	qn en l/1ec.	$\eta =$ rendement
6,5	33,40	50,64	0,660
17,2	34,90	51,90	0,672
26,6	35,87	52,98	0,677
36,9	37,60	54,14	0,694
44,8	39,89	55,01	0,725
46,0	38,45	55,14	0,697
48,4	40,46	55,41	0,730
56,2	40,98	56,25	0,729
67,7	41,90	57,47	0,729
77,1	42,59	58,45	0,729
87,0	43,39	59,46	0,730
97,0	44,08	60,47	0,729
107,4	44,77	61,50	0,728
116,8	45,34	62,41	0,726

Conclusion. — L'amorçage est très satisfaisant. Le rendement du régime unique est bon. C'est un type que l'on pourrait adopter; seulement on peut hésiter quelque peu à le préconiser à cause du danger d'obturation du « baby siphon » par des corps solides amenés par l'eau, ce qui aurait pour conséquence un amorçage beaucoup plus difficile.

Type VI (voir planche I).

Ce dispositif est inspiré de celui réalisé au barrage de Buttgenbach sur la Warche. Le modèle avait 78 mm. de largeur.

Les débits observés ont été multipliés par $\frac{310}{78}$. Le jet de sortie

était aéré par au-dessous. L'on constatera que ce siphon donne des débits très petits. (V. tableau, p. ci-après.)

En ce qui concerne l'amorçage on a trouvé :

$\gamma = 19,7\dots, 16,8\dots, 18,7\dots, 19,0\dots, 19,3\dots, 19,1\dots, 19,2\dots, 20,4\dots, 18,8\dots, 19,5$ mm.

Il a été vérifié que pour $\gamma = 16,8$ mm. le siphon pouvait réellement s'amorcer.

Conclusion. — Rendement peu satisfaisant. Après cette étude d'ensemble, on est retourné au type I qui donne déjà de bons résultats et qui paraissent pouvoir encore être améliorés. On a ainsi réalisé les types VII, IX, X et XI.

Type VII (voir planche I).

Ce type diffère du type I par les modifications suivantes. La sortie a été établie en forme de tuyère, en ramenant vers l'aval la face terminale postérieure de la paroi supérieure du siphon et en provoquant par le tracé de la face inférieure de cette partie supérieure un élargissement progressif de la veine liquide. L'on espérait de cette manière augmenter le rendement. Une légère modification a également été apportée à la paroi supérieure à l'entrée du siphon où l'arête vive a été remplacée par un arrondi. Le modèle avait une largeur de 310 mm.

h en mm.	q en l/sec.
7,8	23,62
7,5	24,21
25,0	24,53
30,3	24,61
37,8	25,20
46,9	25,60
58,4	26,20
66,7	26,47
70,4	26,67
76,8	27,11
87,9	27,39
97,6	27,80
107,8	28,20
116,6	28,60
127,6	29,00
137,9	29,37
146,2	29,77
156,8	30,17

Avec jet de sortie aéré par au-dessous on a obtenu les points expérimentaux suivants :

h en mm.	q en l/sec.
8,4	38,80
8,7	38,75
11,5	39,25
14,1	39,70
18,6	40,20
20,7	40,80
23,7	41,50
27,9	41,60
30,1	42,20
33,1	42,50
37,2	42,90
42,9	43,50
48,6	43,95
55,2	44,55
58,0	44,80
63,6	45,35
68,0	45,75
73,9	46,20
79,2	46,65
87,6	47,35
97,4	48,10
107,9	48,65
117,8	49,35
128,1	50,05

Avec jet de sortie non aéré par au-dessous on a trouvé :

h en mm.	q en l sec.
11,2	40,30
17,7	41,00
21,0	41,50
26,6	42,00
30,7	42,45
36,0	42,95
41,1	43,40
44,3	43,75
49,7	44,25
56,0	44,75
62,1	45,25
71,1	46,15
81,7	46,70
91,1	47,55
101,3	48,15
112,0	49,00
121,3	49,45

Au-dessus de $h = 40$ mm. ces débits se confondent avec ceux obtenus pour le jet aéré; pour les valeurs de h inférieures à 40 mm. le jet non aéré donne des débits un peu plus grands. Dans le type VII l'air a parfois une tendance à s'introduire sous la paroi supérieure de la tuyère de sortie. Toutefois on ne peut parler ici de l'existence de deux figures d'écoulement. Mais il est possible, lorsque le jet de sortie est aéré par au-dessous, de

réaliser artificiellement un écoulement correspondant à la 1^{re} figure d'écoulement du type I en insufflant, au moyen d'un tuyau en caoutchouc, de l'air dans le corps du siphon. L'on est ainsi parvenu à provoquer le détachement du jet de sortie au droit de l'arête horizontale la plus basse de la paroi supérieure du siphon et l'on a ainsi obtenu les débits suivants :

$$h = 15,0 \text{ mm.} \dots \dots \dots q = 36,20 \text{ l/sec.}$$

$$h = 60,5 \text{ mm.} \dots \dots \dots q = 39,75 \text{ l/sec.}$$

Ces chiffres correspondent à ceux donnés pour les mêmes hauteurs par le fonctionnement le moins avantageux du type I (1^{re} figure d'écoulement; jet de sortie aéré par au-dessous).

Les hauteurs d'amorçage suivantes ont été relevées :

$$\gamma = 14,5\dots, 14,4\dots, 15,1\dots, 15,4\dots, 14,1\dots, 14,0\dots, 14,0 \text{ mm.}$$

On a vérifié que pour $\gamma = 14,0 \text{ mm.}$ le siphon peut s'amorcer entièrement.

Conclusion. — Rendements favorables, pour les deux régimes possibles, mais il convient encore d'examiner si l'amorçage ne peut pas être rendu encore plus facile.

Type IX (voir planche I).

Le modèle correspond à celui du type VII auquel la modification suivante a été apportée : la génératrice horizontale la plus basse de la paroi supérieure du siphon a été établie à 5 mm. au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la Senne. La largeur du modèle était 310 mm.

L'on a constaté au cours des essais que l'air a parfois une tendance à s'introduire par la paroi supérieure de la tuyère de sortie du siphon.

Voici les résultats obtenus avec jet de sortie aéré-au-dessous. (V. tableau, p. ci-après.)

En ce qui concerne l'amorçage l'on constate, pour des vitesses de montée trop grandes dans le canal amont, l'inconvénient déjà signalé pour le type I. Toutefois la hauteur d'amorçage est devenue sensiblement plus petite. On a mesuré

h en mm.	q en l/sec.	q_{th} en l/sec.	rendement
6,4	39,50	50,63	0,780
	aspiration d'air de temps en temps.		
11,2	39,70	51,20	0,775
13,6	40,00	51,48	0,777
14,2	40,05	51,55	0,777
15,7	40,60	51,72	0,785
17,9	40,45	51,98	0,778
21,1	41,45	52,35	0,786
25,1	41,85	52,81	0,792
26,3	42,35	52,94	0,800
32,2	42,85	53,61	0,799
35,7	43,50	54,01	0,805
41,6	44,00	54,66	0,805
45,3	44,60	55,07	0,810
46,5	45,15	55,20	0,818
52,4	45,60	55,84	0,817
56,4	46,15	56,30	0,820
60,6	46,30	56,72	0,816
65,6	46,85	57,25	0,818
70,4	47,45	57,75	0,822
76,4	47,60	58,38	0,815
78,4	47,95	58,58	0,819
84,0	48,40	59,16	0,818
86,0	48,95	59,36	0,825
95,5	49,50	60,32	0,821
106,3	50,45	61,39	0,822

$\gamma = 6,4\dots, 8,1\dots, 7,7\dots, 7,3\dots, 7,0\dots, 7,4\dots, 7,7\dots, 6,8\dots, 7,3\dots, 7,4$ mm.

On a vérifié que le siphon s'amorce pour $\gamma = 6,4$ mm.

Conclusions. — Amélioration sérieuse du type précédent, surtout au point de vue amorçage.

Type X (voir planche I).

Ce type est identique au type IX, sauf que le fond de la vasque aval a été plus incurvé; cette modification a été apportée dans le but de combattre la légère tendance de l'air à s'introduire par la paroi supérieure de la tuyère de sortie. Elle ne

s'est pas révélée entièrement efficace; lorsque le jet est aéré par au-dessous l'air a encore des velléités à s'introduire par la dite paroi. Il n'est cependant plus possible, même artificiellement, de réaliser la 1^{re} figure d'écoulement. La largeur du modèle est de 310 mm. Avec jet aéré par au-dessous on a trouvé :

h en mm.	q en l/sec.	Observations
6,6	37,00	de temps en temps aspiration d'air.
7,9	37,20	
11,4	37,70	
14,7	38,15	
17,5	38,45	
21,2	39,20	
24,4	39,50	
29,6	40,25	
33,7	40,70	
39,0	41,60	
43,0	42,10	
46,7	42,55	
50,3	43,25	
55,2	43,85	
59,8	44,30	
63,8	44,75	
66,0	45,10	
70,3	45,70	
73,8	46,20	
77,9	46,65	
83,0	47,35	
83,5	47,15	
88,8	48,10	
94,5	48,50	
99,1	49,05	
103,6	49,50	
110,4	50,45	
114,2	50,90	

Avec jet de sortie non aéré au-dessous :

h en mm.	q en l/sec.	Observations
6,7	38,00	de temps en temps il y a aspiration d'air.
14,7	39,10	
23,1	40,25	
33,1	41,60	
43,2	42,95	
52,9	44,20	
63,0	45,35	
73,4	46,60	
84,5	48,00	
92,8	48,95	
102,5	49,90	
113,1	50,90	

En ce qui concerne l'amorçage nous avons relevé :

$\gamma = 8,8\dots, 8,6\dots, 8,6\dots, 8,9\dots, 9,1\dots, 7,8\dots, 8,7\dots, 8,1\dots, 8,9\dots, 7,2$ mm.

Il a été vérifié que pour $\gamma = 7,2$ mm., le siphon s'amorce réellement. On a mesuré 45 sec. et 61 sec. comme temps d'amorçage.

Conclusion. — Le type est un peu moins satisfaisant que le précédent, mais la tendance à pénétration de l'air par l'aval est diminuée.

Type XI (voir planche I).

Ce type est identique au type X sauf :

a) une modification à la paroi supérieure de la tuyère de sortie, ayant pour effet de réduire sa largeur à l'aval de la

génératrice inférieure de la paroi supérieure du siphon. Cette modification s'est montrée complètement efficace : la section de sortie du siphon reste entièrement remplie ;

b) la paroi inférieure à l'entrée a été légèrement inclinée sur la verticale et a été raccordée progressivement au plafond du canal d'amenée, ceci afin de combattre la formation d'un cloaque de dépôts en cet endroit et d'éviter le tourbillon qui s'y formait.

Les courbes $h = f(q)$ relatives à ce modèle de siphon figurent à la planche n° I. La courbe 1 est relative au jet de sortie aéré par au-dessous. Les points expérimentaux sont indiqués par le signe \odot . Il n'est plus possible, même artificiellement, de réaliser la 1^{re} figure d'écoulement. Voici les débits observés : (V. tableau, p. ci-après.)

La courbe 2 de la planche I donne la courbe des débits avec jet de sortie non aéré par au-dessous. Les points expérimentaux sont désignés par le signe \square . Voici les valeurs observées :

Courbe 2. h en mm.	q en l/sec.	q/h en l/sec.	$\eta =$ rendement
1,8	36,40	50,08	0,727 aspiration continue d'air.
2,2	37,2	50,12	0,742 idem.
5,2	38,05	50,48	0,754 idem.
10,8	39,05	51,15	0,763
15,1	39,7	51,65	0,769
24,1	41,15	52,69	0,781
34,5	42,5	53,87	0,789
44,9	43,55	55,02	0,792
58,2	44,75	55,93	0,800
61,7	45,75	57,15	0,801
75,1	46,8	58,24	0,804

Courbe 1. h en mm.	q en l/sec.	q_{th} en l/sec.	$\eta =$ rendement
1,3	35,45 une file ininter- rompue de bulles d'air parcourt le siphon.	50,01	0,709
2,3	35,85 idem.	50,14	0,697
6,1	36,90 de temps en temps il y a aspiration d'air.	50,59	0,729
9,2	37,40	50,96	0,734
15,1	38,00	51,65	0,736
19,5	38,50	52,16	0,738
23,3	39,30	52,60	0,747
24,0	39,35	52,68	0,747
30,0	39,80	53,37	0,746
33,3	40,50	53,74	0,754
39,7	41,20	54,45	0,757
44,3	41,75	54,96	0,760
49,8	42,35	55,56	0,762
54,7	42,95	56,09	0,766
56,8	43,30	56,31	0,769
61,3	44,00	56,79	0,775
68,4	45,00	57,54	0,782
90,9	47,55	59,86	0,794
118,3	50,40	62,56	0,806
157,3	53,55	66,21	0,809

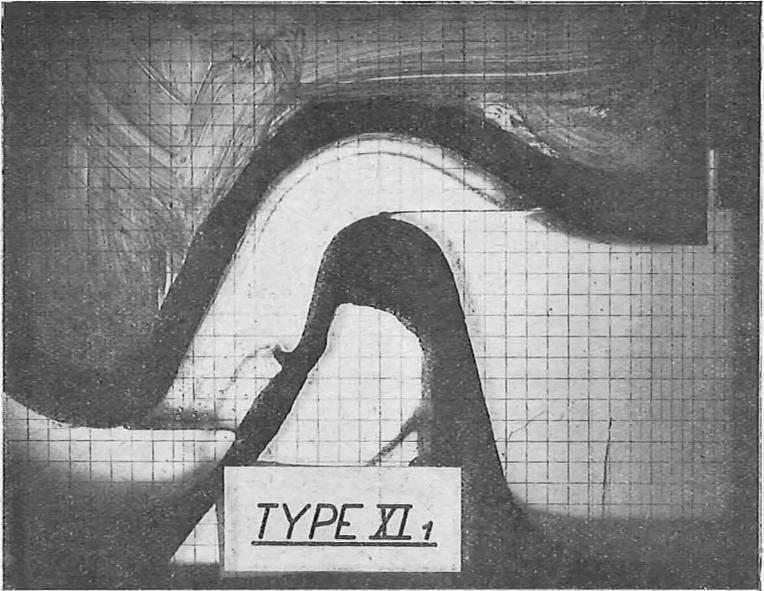


Photo 5

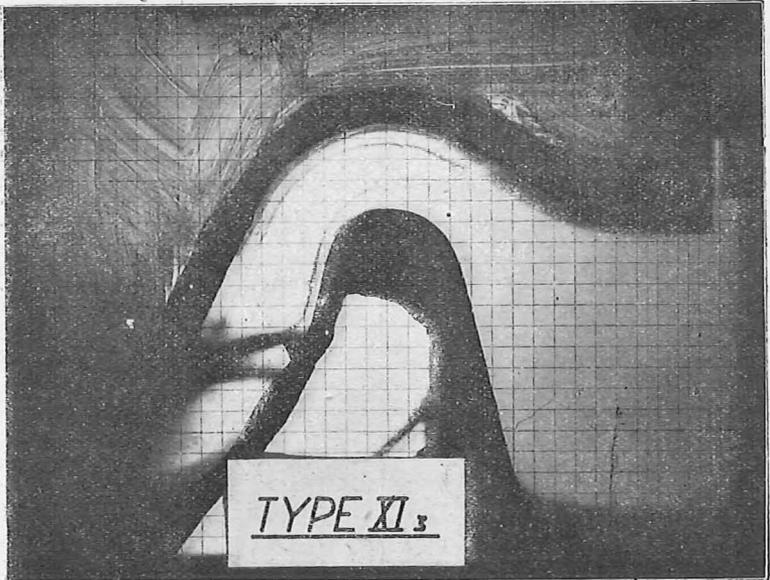


Photo 6

En ce qui concerne l'amorçage du type XI on peut, pour l'analyse générale du phénomène, se reporter à ce qui a été dit lors de la discussion du type I. Seulement, à cause du relèvement de la génératrice 4 (voir planche I, type I) par rapport

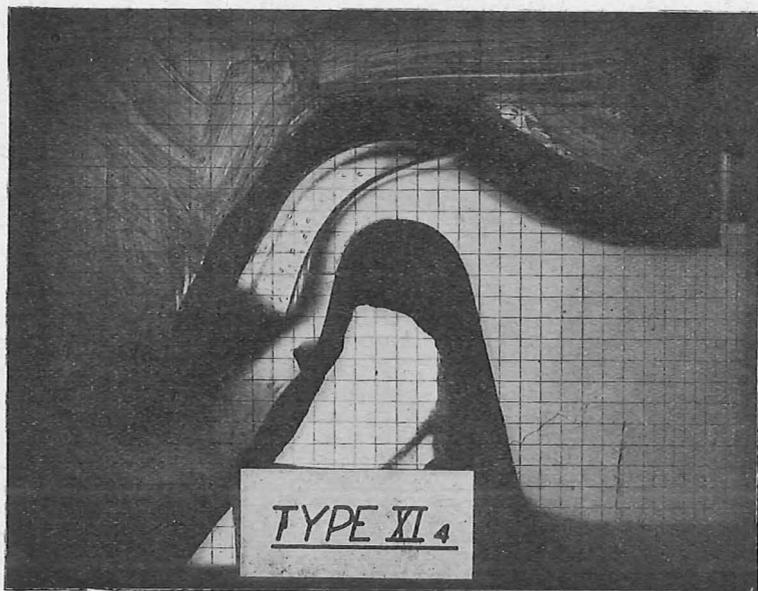


Photo 7

au niveau des plus hautes eaux de la Senne (génératrice 5) la compression initiale de l'air emprisonné dans le corps du siphon a pratiquement disparu.

Les photos 5, 6 et 7 donnent des stades successifs dans l'amorçage du type XI. Pour tous les autres types décrits précédemment et possédant de bonnes caractéristiques d'amorçage, le phénomène se présente sous une forme identique.

Pour le type XI on a mesuré $\gamma = 6,5\dots, 7,2\dots, 7,0\dots, 7,1$ mm. Il faut signaler aussi que pour les grandes vitesses de montée de la flottaison dans le canal amont du siphon l'inconvénient signalé pour l'amorçage du type I a complètement disparu dans le type XI. Temps d'amorçage du modèle = on a relevé 33 sec., 31 sec., 34 sec., 36 sec.

Conclusion. — Ce type donne satisfaction à tous les points de vue.

Essais sur modèles à l'échelle de $\frac{1}{2,5}$.
(Voir planche I et photo 8.)

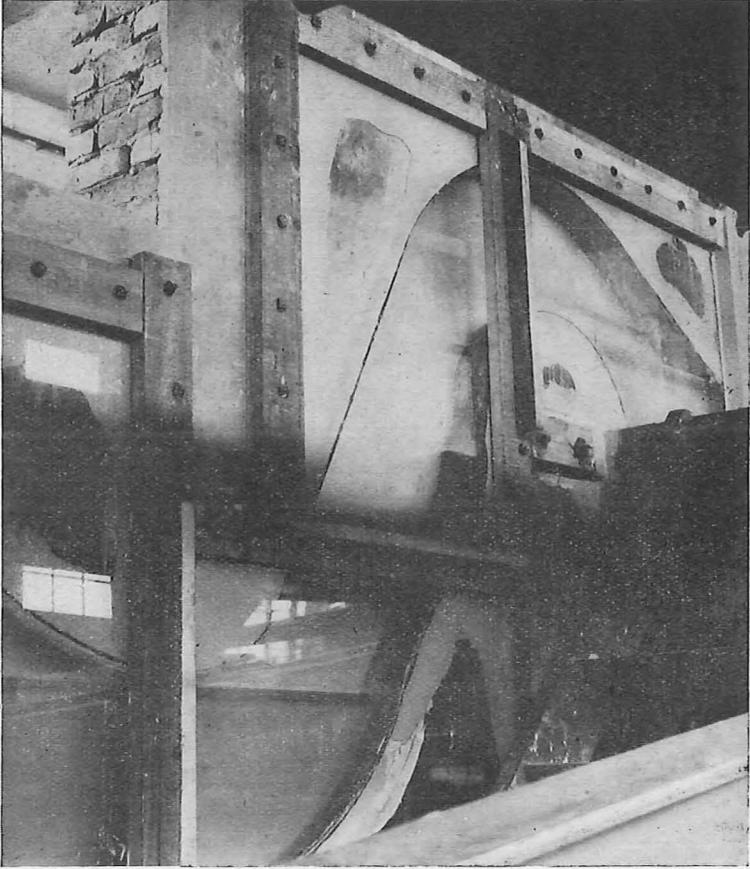


Photo 8

Les expériences sur modèles à l'échelle de $\frac{1}{10}$ ont permis de reconnaître que parmi les siphons soumis aux essais, c'était le type XI qui était le plus satisfaisant. C'est ce type que le

laboratoire a proposé au Service des Canaux Houillers, mais afin de donner toutes les garanties possibles quant à son bon fonctionnement, nous avons fait un modèle au $\frac{1}{2,5}$ de ce

siphon, afin d'établir les caractéristiques d'amorçage pour un dispositif qui se rapproche davantage de l'ouvrage en grandeur d'exécution. Nous avons déjà fait remarquer ci-dessus que la loi de Froude n'est pas applicable au phénomène de l'amorçage.

L'installation expérimentale est figurée partiellement à la photo 8; elle est identique en principe à celle employée pour les modèles au $\frac{1}{10}$ et il en est de même du mode opératoire

suivi dans les expériences. Elle comporte un réservoir amont, un canal d'amenée dont les parois latérales sont formées par des plaques en béton, le modèle du siphon et un réservoir aval avec déversoir pour la mesure des débits.

Le siphon type XI a été reproduit à l'échelle de $\frac{1}{2,5}$. Comme

on était limité par le débit maximum disponible dans le laboratoire, on n'a pas pu donner au modèle la largeur de similitude de $\frac{310}{2,5} = 124$ cm. On a dû prendre une largeur de 10 cm.,

ce que l'on pouvait faire sans grand inconvénient puisqu'il s'agissait surtout d'étudier les conditions de l'amorçage. Plaçons-nous au début de l'amorçage et supposons une mince couche liquide s'écoulant par dessus le seuil 6 (planche I, type I) du siphon. Abstraction faite des autres facteurs (p. ex. la tension superficielle) qui peuvent provoquer un défaut de similitude entre l'amorçage du modèle et celui du prototype, on peut dire que le frottement le long de la paroi jusqu'à la pointe extrême du nez aura une influence proportionnellement beaucoup plus grande dans le modèle que dans l'ouvrage en vraie grandeur et que par conséquent le courant aura une vitesse relativement beaucoup plus petite dans l'essai sur petite échelle que dans la nature. Les jets qui se détachent de la pointe ne

suivront donc pas la même trajectoire et celui du modèle aura une amplitude moindre que celui du prototype. Les essais ont montré que ce fait peut amener une divergence considérable entre l'amorçage d'un modèle à petite échelle $\left(\frac{1}{10}\right)$ et celui

d'un modèle à grande échelle $\left(\frac{1}{2,5}\right)$ et donc à fortiori avec

l'amorçage du prototype. Nous avons essayé 7 formes du nez d'amorçage en modifiant toujours, au droit de la pointe du nez, l'inclination de la tangente à la courbe qui relie cette pointe au seuil 6 (voir planche I, type I) du siphon. Nous avons reproduit d'abord (mais 4 fois plus grand évidemment) le nez d'amorçage employé pour le modèle au 1/10 du type XI. Dans le petit modèle, ce dispositif assurait un bon amorçage avec $\gamma = 6,5$ mm., ce qui reviendrait en nature à $\Gamma = 65$ mm. Dans

le modèle au $\frac{1}{2,5}$, le jet d'eau, relativement plus rapide, était

beaucoup trop puissant. Il se dressait perpendiculairement à la paroi du siphon et venait se briser contre la paroi supérieure, de sorte qu'il ne pouvait plus provoquer un entraînement efficace de l'air. La trajectoire optimum du jet au début de l'amorçage est celle qui rencontre à peu près tangentiellement la paroi supérieure dans les environs de la vasque aval.

Nous avons obtenu un amorçage très irrégulier, les cotes d'amorçage étant

$$\gamma = 63,0\dots, 71,7\dots, 62,8\dots, 47,8\dots, 44,3\dots, 48,8 \text{ mm.}$$

ce qui reviendrait en nature à

$$\Gamma = 2,5 \gamma = 157,5\dots, 177,7\dots, 157,0\dots, 119,0\dots, 110,7\dots, 120,0 \text{ mm.}$$

Nous avons essayé ensuite 6 autres formes du nez en redressant progressivement, au droit de la pointe du nez, la tangente à la courbe reliant la dite pointe au seuil du siphon. Lorsque cette tangente se rapproche trop de la verticale, l'amorçage devient de nouveau très irrégulier et les hauteurs d'amorçage

redeviennent grandes. Il existe donc deux inclinaisons-limites entre lesquelles il convient de se tenir si l'on veut assurer un amorçage aisé. Nous avons pu constater heureusement que ces deux limites comprennent un vaste champ (environ 28°) dans lequel la tangente au droit du nez d'amorçage peut être choisie. Il a paru logique dès lors — eu égard également au fait que la meilleure direction pour la tangente dans le prototype peut être

différente de celle dans le modèle au $\frac{1}{2,5}$ — de prendre la

moyenne entre ces directions-limites, ce qui correspond sensiblement à la tangente du nez que nous avons préconisé et qui figure à la planche I. Avec cette forme de nez nous avons obtenu les cotes d'amorçage suivantes :

$$\gamma = 16,4\dots, 17,3\dots, 18,8\dots, 18,0\dots, 17,0 \text{ mm.}$$

ce qui correspond en nature à :

$$\Gamma = 41,0\dots, 43,25\dots, 47,0\dots, 45,0\dots, 42,5 \text{ mm.}$$

On a vérifié que pour $\gamma = 16,4$ mm. le siphon au $\frac{1}{2,5}$ s'amorce réellement.

Nous avons également fait couler quelques débits par le modèle au $\frac{1}{2,5}$. Le jet de sortie était aéré par au-dessous et

nous avons relevé les charges h correspondantes. En multipliant les débits par $\frac{12,4}{4 \times 4 \times \sqrt{4}}$ et les charges par $\frac{1}{4}$ on a reporté

ces résultats à la planche I (désignation des points expérimentaux = Δ) sur le diagramme qui donne les courbes $h = f(q)$

obtenues sur un modèle au $\frac{1}{10}$ du type XI. La courbe du grand

modèle correspond très bien à la courbe I du petit, surtout si l'on tient compte du fait que le grand modèle était très étroit, ce qui a forcément diminué le débit.

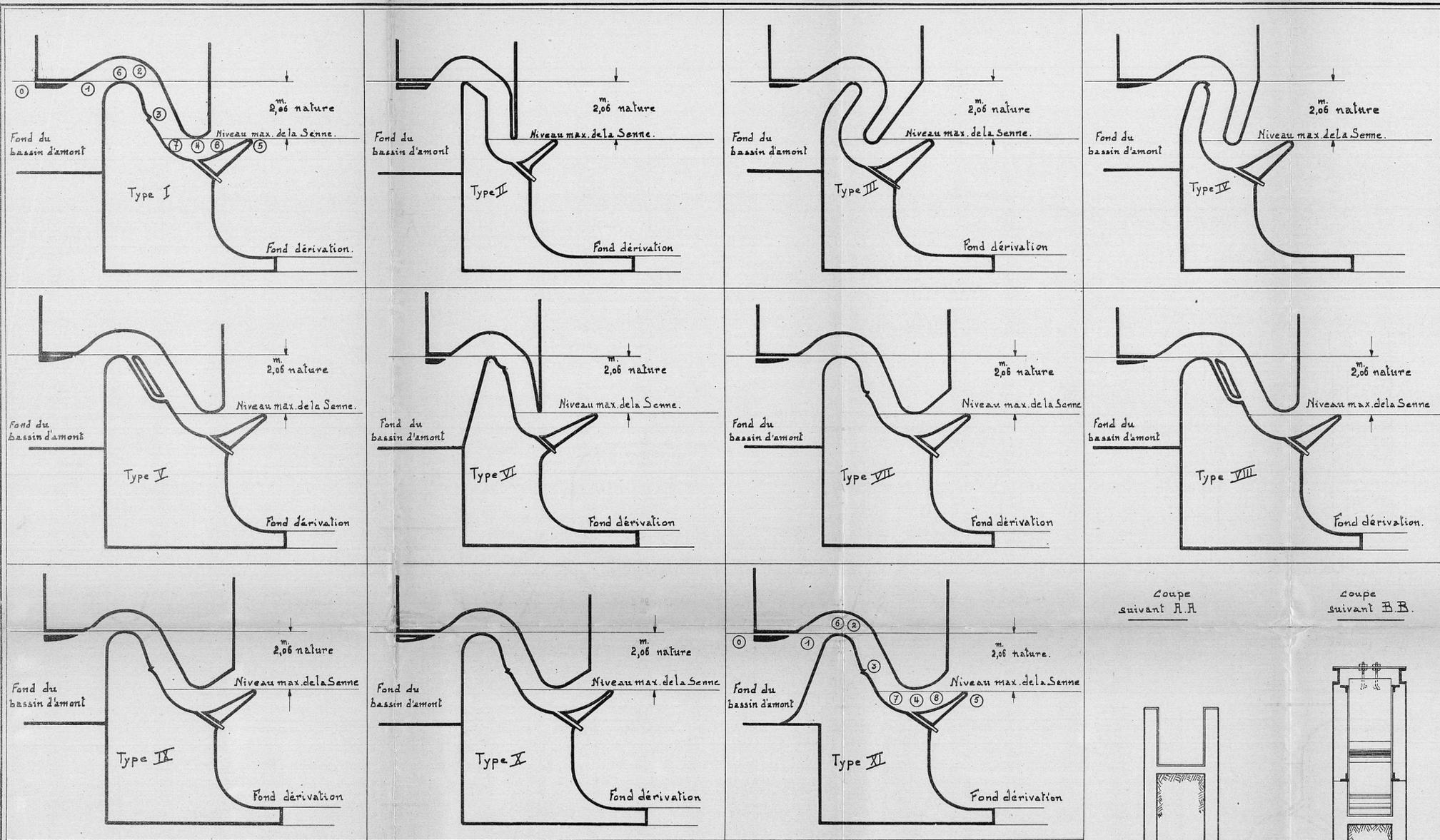
Conclusions générales.

Le laboratoire a proposé d'exécuter le siphon type XI en le munissant du nez d'amorçage figuré en détail sur la planche I. Vu le bon rendement (voir tableaux) obtenu avec ce type XI, le Service des Canaux Houillers compte établir une batterie de siphons pouvant écouler un débit de 90 m³/sec. au lieu des 55 m³/sec. primitivement prévus.

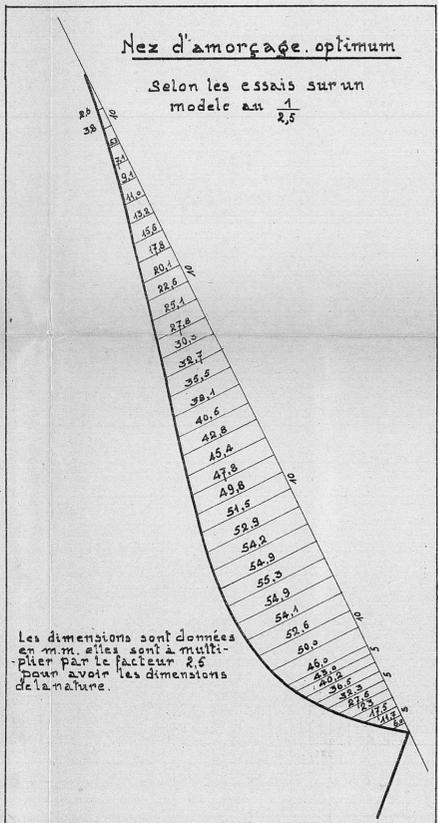
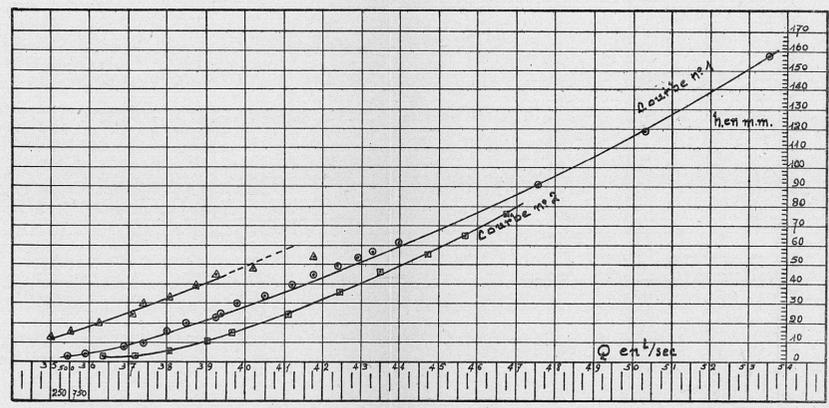
Quoique dans le modèle au $\frac{1}{10}$ de ce siphon il n'a guère été possible — même artificiellement — de produire la 1^{re} figure d'écoulement, on a jugé prudent de tenir compte d'une telle éventualité et, au lieu des 37,4 l/sec. (pour $h = 10$ mm.) on a compté seulement sur

$$q = 37,4 \times \frac{35,15}{38,70} = 34 \text{ l/sec.}$$

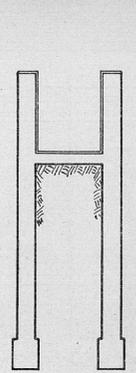
où 35,15 l/sec. et 38,70 l/sec. sont les débits (obtenus par interpolation sur les résultats expérimentaux) du type I pour $h = 10$ mm., respectivement pour la 1^{re} et la 2^{de} figure d'écoulement, le jet de sortie étant aéré par au-dessous.



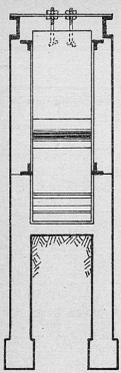
Courbe $h=f(Q)$ pour le siphon type XI



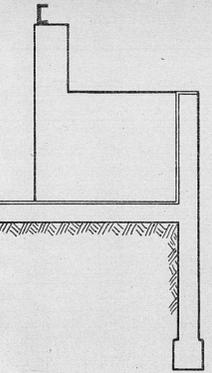
Coupe suivant R.R.



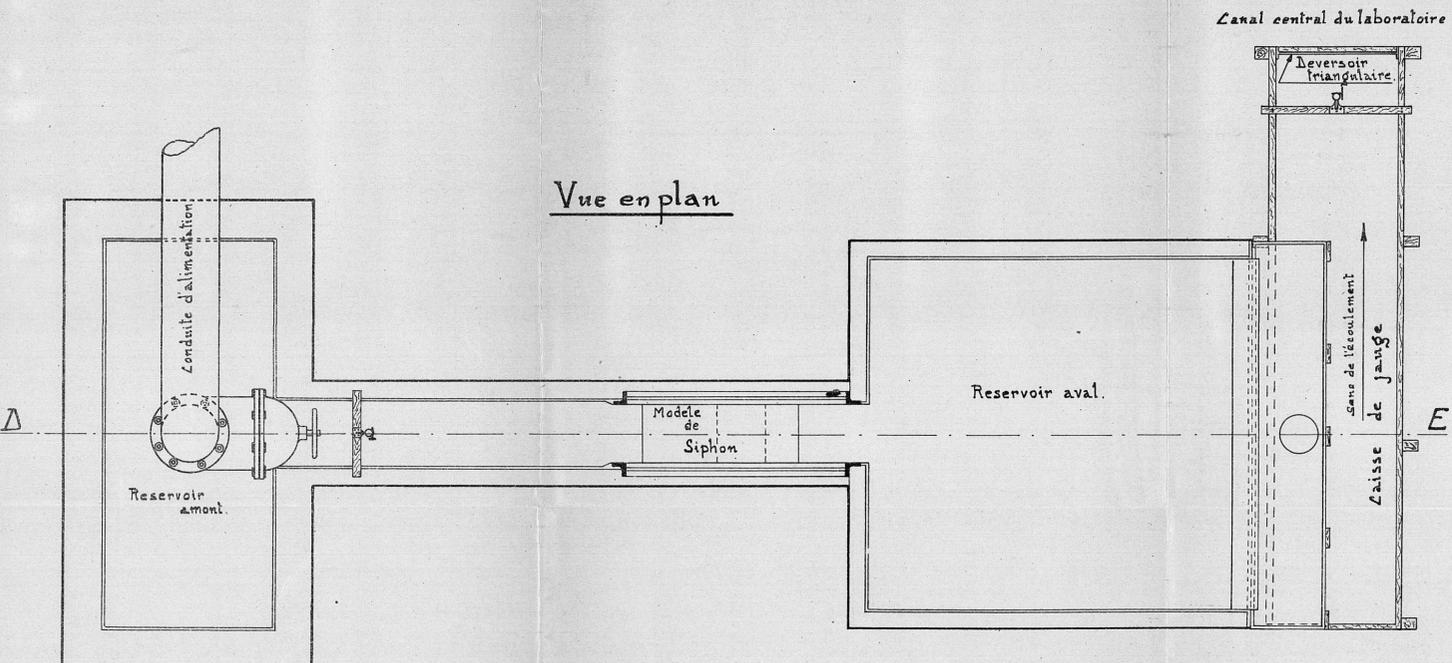
Coupe suivant B.B.



Coupe suivant L.L.



Vue en plan



Coupe Longitudinale D.E.

