Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 59 (1933)
Heft: 14

Artikel: Notes sur le calcul des déversoirs et seuils
Autor: Jaeger, Ch.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-45660

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Comme les dispositions que le Gouvernement allemand se propose, dans l'intérêt de la navigation, d'imposer aux entrepreneurs pendant l'exécution des travaux sont identiques à celles que la Commission avait reconnues appropriées en 1927, les membres de la sous-commission n'ont pas présenté d'observations sur le nouveau projet et la Commission a constaté, dans sa session d'avril 1932, que ce projet ne soulevait aucune objection au point de vue des intérêts de la navigation et du flottage.

Ports d'hivernage. — En 1929 (voir le compte rendu de cette année) la Commission avait pris acte de déclarations du Gouvernement allemand suivant lesquelles, vu l'extension toujours croissante de la navigation des bateaux-citernes, il étudiait les mesures à prendre pour assurer, le cas échéant, l'hivernage de ces bateaux.

Dans sa session d'avril 1932, la Commission a constaté avec satisfaction, que, comme suite à cette étude, dans plusieurs ports rhénans allemands, notamment dans les ports de Rüdesheim, de Neuss et de Duisbourg, des parties de bassins avaient été réservées pour l'hivernage des bateaux-citernes.

Revision de l'Etiage équivalent 1923. — Ainsi que le faisait connaître le compte rendu précédent, la Commission avait décidé d'entreprendre la revision de l'Etiage équivalent 1923 et avait chargé, à cet effet, un Comité technique présidé par M. Schlingemann, Commissaire des Pays-Bas, d'étudier la question et de présenter un rapport à la Commission. Sur la base du rapport de ce Comité, la Commission centrale, dans sa session de novembre, a fixé un nouvel Etiage équivalent qui répond aux conditions moyennes du fleuve pendant la période quinquennale 1926-1930. Les cotes adoptées aux différentes échelles correspondent aux débits qui, en moyenne, n'ont pas été dépassés pendant 20 jours sans glace par an dans la période 1906-1930. Voici les cotes de l'*E. E.* 1932 à quelques échelles du Rhin (l'ancien *E. E.* a été reproduit entre parenthèses) :

Bâle	—37	(13)	Caub	108	(144)
Strasbourg	148	(191)	Cologne	61	(127)
Maxau	316	(342)	Ruhrort	—64	(31)
Mannheim	184	(230)	Nimègue	691	(773)

Ponts de Strasbourg-Kehl et de Huningue. — La Commission a pris connaissance, dans sa deuxième session, de l'état du problème du relèvement des ponts de Strasbourg-Kehl et de Huningue.

Aménagement du Rhin entre Bâle et Strasbourg. — La Commission s'est également tenue au courant, dans sa deuxième session, de la marche des travaux d'aménagement du Rhin entre Bâle et Strasbourg.

Il résulte des déclarations des Commissaires de France qu'en ce qui concerne le barrage, le seul travail de génie civil restant à effectuer était la construction du seuil de la troisième ouverture à partir de la rive gauche, entre parafouilles terminés. De l'équipement mécanique et électrique, il restait à monter les vannes et les treuils des troisième et quatrième ouvertures à partir de la rive gauche. Les travaux de protection des rives étaient à peu près terminés, de même que les canalisations de drainage. Les ouvrages d'adaptation des déversements d'eaux usées sur les deux rives étaient terminés, à l'exception de l'équipement mécanique et électrique des stations de pompage.

En ce qui concerne la dérivation, les travaux étaient entièrement terminés.

Les écluses étaient achevées. A l'usine, les travaux de génie civil étaient terminés ; les deux premiers groupes étaient achevés, le montage des trois autres groupes était en cours. Les installations électriques étaient à peu près terminées.

Le canal a été ouvert à la navigation le 1er mai 1932 ; la première surélévation du plan d'eau a été commencée le 4 juillet. La cote de la retenue provisoire 240+NN a été atteinte le 23 août. La surélévation au-dessus de cette cote jusqu'à la retenue définitive a été entreprise au début du mois de décembre. Les deux premiers groupes de l'usine ont été mis en service le 1er octobre.

Des déclarations du Commissaire de Suisse concernant la régularisation du Rhin il résulte que les travaux se sont poursuivis normalement, que le programme de la deuxième année a été approuvé par la commission des travaux, que les bas niveaux du Rhin ont même permis de commencer le couronnement des épis et la construction de quelques digues, travaux qui n'étaient pas prévus au programme de la première année et, enfin que, sur certains secteurs régularisés, une amélioration du chenal a pu être constatée.

Travaux exécutés sur le Rhin et dans les ports au cours de l'année 1931. — Comme par le passé, la Commission a reçu communication des relevés indiquant les travaux exécutés sur le Rhin et dans les ports, communications qui sont reproduites dans le Rapport annuel. *(A suivre.)*

Notes sur le calcul des déversoirs et seuils,

par M. CH. JAEGER, ingénieur diplômé.

(Suite et fin) [1]

c) *Exemples pratiques et discussion des résultats.*

Il est très regrettable que les données que nous possédons sur les barrages du Pinet et du Puechabon, étudiés par M. Escande ne nous permettent pas de reconstituer la courbe du parement aval et de calculer les coefficients de débit sur ces deux exemples, pour lesquels on a vérifié expérimentalement l'existence d'un potentiel des vitesses, hypothèse sur laquelle nous appuyons nos calculs.

Parmi les autres travaux expérimentaux systématiques sur des déversoirs à crête arrondie, nous retiendrons ceux de Rehbock [2] et de Koch [3]. Rehbock a donné, pour les déversoirs à crête de section circulaire et dont le parement aval fait un angle $\beta = 60^0$ avec l'horizontale, la formule empirique suivante :

$$q = {}^2/_3 \left[0{,}845 - 0.0206 \left(3{,}8 - \frac{H'}{R_1} \right)^2 + \frac{H'}{12H''} \right] H' \sqrt{2gH'}$$

valable pour :

$$H' < 0{,}4H'' + 0{,}5\, R_1.$$

Dans cette formule H' représente la hauteur d'eau à l'amont, mesurée à partir de la crête, et H'' la hauteur du barrage. Si H'' est très grand, H' tend vers H, hauteur de la ligne d'énergie (cas que nous examinerons seul ici).

Nous avons calculé, en appliquant nos équations, que pour :

$\rho_1 = 4$ et $\beta = 60^o$, on trouve :

$K_1 = 0{,}534$; $\Psi_1 = 0{,}673$; $\Psi_2 = -0{,}628$ et $P = -0{,}045$

et enfin $\underline{m = 0{,}387}$

La formule de Rehbock donne $m_R = 0{,}389$. La concordance est donc très bonne.

Si nous prenons, par contre, $\rho_1 = 2$ et $\beta = 15^o$, nous trouvons $K_1 = 0{,}82$, c'est-à-dire plus grand que la valeur de K_1 qui donne le débit maximum ; et $m = 0{,}368$, plus petit que m_{max}. Il y a donc des solutions réelles de part

[1] Voir *Bulletin technique* du 24 juin 1933, page 153.

[2] Rehbock : « Verhandlungen d. Gesellschaft deutscher Naturforscher und Aertzte, 83 » (1911) et Leipzig 1912.

[3] Koch-Carstanjen : « Von der Bewegung des Wassers und den dabei auftretenden Kräften », Berlin Springer 1926.

et d'autre du maximum. Rehbock n'a pas étudié ces cas ; par contre, on en trouve un certain nombre représentés dans l'ouvrage de Koch.

On se heurte à une grosse difficulté, dès que ρ_1 prend des valeurs petites et en particulier dans le domaine pour lequel la formule de Rehbock n'est elle non plus valable. Dans ce cas, les pressions sur le parement aval et l'intégrale P prennent des valeurs négatives élevées. Les solutions trouvées, pour autant qu'il en existe, ne semblent pas acceptables (ce dont on s'apercevra aisément en les comparant à des valeurs calculées avec ρ_1 plus grand).

Remarquons d'abord que, si P prend des valeurs négatives élevées, la forme du barrage doit être qualifiée de défectueuse. En effet, des pressions négatives élevées, agissant sur le parement aval, peuvent engendrer des vibrations dangereuses pour le barrage et la solution doit être rejetée. Il est heureux que notre calcul nous permette de déceler ces cas, pour lesquels il n'est d'ailleurs pas indispensable de rechercher la valeur réelle du coefficient de débit.

Nous pouvons cependant tenter une explication de ces faits, grâce à un certain nombre d'expériences, publiées par Koch [1]. En examinant les relevés des nappes déversantes, qu'il a observées, on note les faits suivants : Dans deux cas il a choisi $\rho \cong 0{,}50$; dans ces deux cas la nappe déversante se décolle nettement du parement aval du déversoir, constitué d'ailleurs par un cylindre creux, aéré par en dessous. Dans le troisième cas $\rho \cong 1$, le décollement ne se produit qu'au bord du cylindre. Si l'on étudie la loi de variation des épaisseurs de la nappe, on constate que l'équation (8), dérivée de la loi de Bernoulli, est mal observée. Fait essentiel, dans les trois cas la valeur des pressions négatives est très élevée et le coefficient de débit est celui qui correspond au maximum de la fonction m (équation (9)), soit pour :

$$\rho_1 \cong 1 \quad \text{et} \quad 0{,}5$$
$$m = 0{,}51 \quad \text{et} \quad 0{,}575 \text{ à } 578.$$

D'après ces trois expériences concordantes, le coefficient m atteindrait sa valeur maximum lorsque la nappe déversante se décolle nettement.

Peut-on déduire de ces observations une explication plausible du phénomène? Observons d'abord que le théorème des quantités de mouvement est tout à fait général et reste valable dans tous les cas. Quant à notre hypothèse relative à la valeur du rayon de courbure des filets liquides, elle reste, dans ces cas également, une hypothèse approximative certes, mais qui nous paraît suffisante. Ce serait donc la loi de Bernouili qui ne serait plus valable, soit par suite du décollement de la nappe déversante, soit en raison des pressions négatives excessives (ce qui concorde d'ailleurs avec le fait constaté que dans ces cas, les barrages se mettent à vibrer).

S'il en est réellement ainsi, les résultats expérimentaux de M. Escande ne seraient pas tout à fait généraux. D'autre part, il serait également impossible de résoudre le problème de façon tout à fait générale au moyen de la méthode hydrodynamique de la représentation conforme. La solution échapperait donc provisoirement aux méthodes d'analyse connues. Quoi qu'il en soit, il semble qu'il y aurait intérêt à reprendre, sur ces bases, l'étude systématique des déversoirs à crête arrondie, de forme circulaire ou quelconque, en y comprenant les cas où la nappe déversante se décolle partiellement ou totalement.

[1] Koch-Carstanjen, p. 211 à 213 ; fig. 311, 312 et 313.

d) *Rappel des formules anciennes.*

Pour compléter le tableau que nous donnons des déversoirs, il convient de juxtaposer à nos formules nouvelles les résultats des recherches classiques et les formules anciennes. Le tableau I et la figure 2 donnent une vue d'ensemble des variations possibles du coefficient m en fonction de ρ_1 et de K_1. Nous compléterons ces données dans la deuxième partie de notre étude, en calculant l'écoulement de la nappe déversante sur des seuils. Nous verrons que pour des seuils où $\rho = \infty$, on trouve $m = 0{,}365$ à $0{,}385$. Comme autre limite de la variation de m, nous trouvons $m_{max} = 0{,}575$, pour $\rho_1 = 0{,}50$.

Parmi les formules anciennes, nous choisissons, à titre de comparaison, celle de Weissbach (dans laquelle V est la vitesse de l'eau à l'amont du déversoir) :

$$(15) \qquad q = \frac{2}{3}\,\mu\sqrt{2g}\left[\left(H' + \frac{V^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{V^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

qui devient la formule de Poléni, pour V petit ($H' \cong H$) :

$$(16) \qquad q = \frac{2}{3}\,\mu\sqrt{2g}\,H^{3/2}.$$

Citons encore la formule plus récente de Bundschu :

$$(17) \qquad q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}\mu_o\sqrt{g}\,H^{3/2}.$$

Ces deux dernières formules sont d'ailleurs identiques, si l'on y fait

$$\mu_o = \mu\sqrt{3} = 1.732\,\mu$$

Ecrivons de notre côté :

$$q = mH\sqrt{2gH} \qquad \text{d'où} \qquad m = \frac{2}{3}\,\mu.$$

Or Bundschu a trouvé que μ_o variait entre :

	μ_o	1	1,13	et	1,25
d'où	μ	0,58	0,65	et	0,72
et	m =	0,385	0,435	et	0,48.

On voit donc que les formules anciennes, tout en donnant des résultats qui se laissent superposer avec les nôtres, devaient correspondre à des déversoirs très divers, allant du type à seuil large ($m = 0{,}385$) au barrage à rayon de courbure relatif ρ, petit ($m = 0{,}48$), déversoirs entre lesquels il n'était point possible de faire une distinction.

Pour être complets, nous citerons encore les valeurs trouvées par Boussinesq, pour un réservoir à crête mince et à nappe libre aérée :

$$m = 0{,}4342$$

pour les nappes noyées par en dessous ou adhérentes :

$$0{,}280 < m < 0{,}579$$

Les variations de m sont, en ces cas, du même ordre de grandeur que pour les déversoirs à crête arrondie. Si l'on ajoute à ces données les valeurs expérimentales données par Bazin pour des déversoirs à section rectangulaire, on peut se faire un tableau assez précis des valeurs que le coefficient de débit m peut prendre.

3. Etude de la forme à donner à un déversoir.

Les remarques faites plus haut, nous permettent de penser que, si l'on facilite le décollement d'une nappe déversante au moyen d'un nez, aéré par en dessous, le débit devient maximum, pour un rayon de courbure du sommet de la crête donné. On voit cependant immédiatement les désavantages d'une pareille solution, propre à provoquer des vibrations dans le barrage.

Il faut donc plutôt rechercher quelle forme il y a lieu de donner à un déversoir, pour qu'il évacue le débit maximum, ou un débit donné, sans que les pressions dépassent une certaine limite prescrite.

Recherchons par exemple, la condition pour qu'en un point du parement, la pression soit nulle. Faisons $N = 0$, l'équation (7) devient :

$$(18) \qquad 1 + c - \left(\frac{\rho + K}{\rho}\right)^2 (1 + C - K \cos\theta) = 0$$

d'où :

$$(19) \qquad \rho = \frac{1 + c - K\cos\theta}{\cos\theta} + \sqrt{\frac{(1 + c - K\cos\theta)(1 + c)}{\cos^2\theta}}.$$

c et K sont inconnues. Il faut, en outre, que l'équation des quantités de mouvement soit satisfaite. Il reste encore un degré de liberté, et nous pouvons nous prescrire le débit m.

En tenant compte de (19) le débit sera donné par la formule :

$$(20) \qquad m = 2{,}3 \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{(1 + c - K\cos\theta)\sqrt{1 + c}}{\cos\theta} \\ + \dfrac{1 + c}{\cos\theta}\sqrt{1 + c - K\cos\theta} \end{array} \right\} \log \sqrt{\frac{1 + c}{1 + c - K\cos\theta}}.$$

Considérons en particulier le sommet de la crête, pour lequel les équations (19) et (20) deviennent :

$$(21) \qquad \rho_1 = 1 - K_1 + \sqrt{1 - K_1}$$

et

$$(22) \qquad \left\{ \begin{array}{l} m = 2{,}3\,\rho_1 \log \dfrac{1}{\sqrt{1 - K_1}} = \\ = 2{,}3\left[1 - K_1 + \sqrt{1 - K_1}\right] \log \dfrac{1}{\sqrt{1 - K_1}}. \end{array} \right.$$

On vérifie sans difficulté que la valeur maximum du coefficient de débit qui satisfasse à l'équation (22) est

$m = 0{,}5215$, qui correspond à $K_1 = 0{,}779$ et $\rho_1 = 0{,}6718$.

Nous pouvons aussi résoudre le problème général. Donnons-nous $m \leq 0{,}5215$ et vérifions s'il existe une forme de déversoir telle que $N \equiv 0$ (pression nulle en tout point du parement aval).

Posons :

$$1 + c = x^2$$

et

$$1 + c - K\cos\theta = y^2$$

d'où

$$K\cos\theta = x^2 - y^2.$$

La figure 3 indique quelle est la signification physique

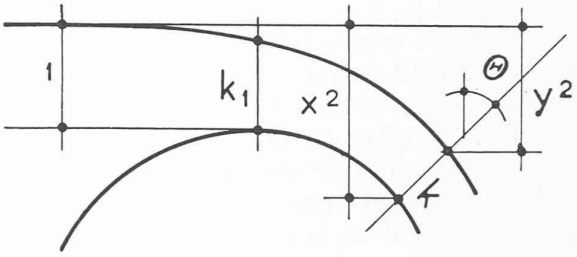

Fig. 3. — Nappe déversante exerçant des pressions nulles sur le parement aval.

des grandeurs x^2 et y^2. Nous écrirons alors le coefficient de débit sous la forme :

$$(23) \qquad m = 2{,}3 \frac{xy}{\cos\theta}(x + y) \log \frac{x}{y}.$$

L'équation des quantités de mouvement (11) devient pour $P = 0$ et $N \equiv 0$:

$$(24) \qquad K_1 - \frac{1}{2}K_2^1 + K_1\sqrt{1 - K_1} = (x^2 - y^2)\left[\frac{x^2 + y^2}{2} - xy\right].$$

K_1 étant une fonction connue de m, grâce à l'équation (9), il est possible de résoudre par tâtonnement les deux équations simultanées (23) et (24) pour un certain nombre de points du parement aval. Le problème de la forme à donner à un déversoir serait donc théoriquement résolu dans ses grandes lignes.

4. Conclusions.

Nous sommes donc en mesure de calculer le coefficient de débit m :

a) dans le cas d'une nappe déversante possédant un potentiel des vitesses, ce qui semble être le cas, lorsque la nappe reste collée au parement aval sans que les pressions négatives prennent des valeurs excessives ;

b) lorsque la nappe se détache entièrement du parement aval. En ce cas, le débit est maximum, pour un rayon de courbure donné au sommet du déversoir ;

c) Nous ne pouvons rien dire quant aux cas intermédiaires d'une nappe ne se décollant que partiellement, par le fait de pressions négatives élevées. Tout au plus pourrait-on estimer m par interpolation ;

d) nous pouvons rechercher, par le calcul, des formes de déversoirs appropriées, telles que le coefficient de débit ait une valeur donnée sans que les pressions sur le parement aval dépassent certaines valeurs prescrites.

Les deux problèmes essentiels, relatifs aux déversoirs à crête arrondie, seraient donc résolus au moyen d'un calcul hydraulique approximatif, qui présente quelque

analogie avec la théorie de Boussinesq sur les déversoirs en mince paroi. Il ne nous semble pas qu'un calcul d'hydrodynamique puisse conduire plus loin.

Nous espérons que notre méthode de calcul facilitera le dessin de projets de barrages et orientera les recherches expérimentales sur les déversoirs à crête arrondie vers des voies nouvelles.

Un nouveau pont Bel-Air-Montbenon à Lausanne.

Dans le dernier numéro du *Bulletin technique*, j'ai eu l'occasion de vous entretenir d'un projet d'élargissement du Grand-Pont, élaboré par la Direction des travaux, et soumis au Conseil communal de Lausanne, qui, quand ces lignes paraîtront, aura peut-être déjà pris, à son propos, une décision définitive.

Ou du moins provisoirement définitive, puisque, de l'avis de tous ceux qui se sont un peu préoccupés de la question, et de l'avis de la Direction des travaux elle-même, la solution choisie ne peut être que provisoire.

Or, un fait nouveau important vient de surgir, dont les quotidiens ont parlé, mais dont je me sens pressé d'entretenir les lecteurs du *Bulletin*.

Il s'agit d'un pont nouveau, presque en palier, à jeter, de Bel-Air à Montbenon, par-dessus la plateforme du Flon, en utilisant les terrasses des bâtiments existants ou à construire. Le projet, dressé avec autant de goût que de soin par M. *R. Bonnard*, architecte à Lausanne, aidé de son collaborateur, M. *Boy de la Tour*, est à la fois séduisant et hardi. Nous croyons savoir que l'idée n'en est pas absolument nouvelle, mais la réalisation proposée, simple, d'apparence très pratique, nous paraît heureuse. Il faut toutefois faire à son propos quelques réserves, que je formulerai en terminant.

Décrivons d'abord succinctement l'ouvrage, d'après les figures ci-contre, et d'après les explications que voulut bien nous donner M. Bonnard, mercredi dernier.

Le pont, sur lequel les camions ne pourraient pas circuler, serait constitué par deux terrasses d'immeuble

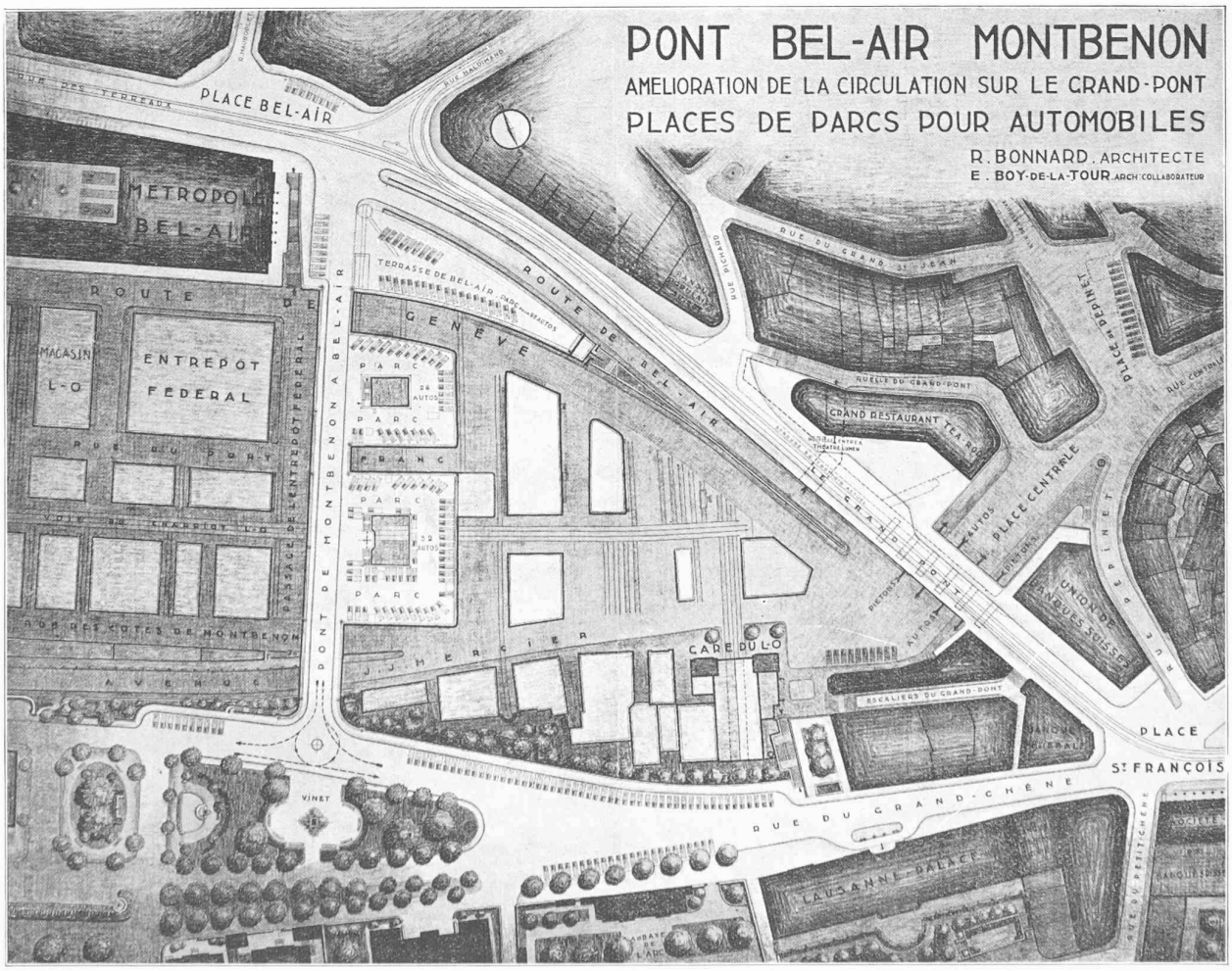

Fig. 1. — Plan de situation du pont Bel-Air-Montbenon. — Projet de MM. *R. Bonnard* et *E. Boy-de-la-Tour*, architectes.
Echelle 1 : 2400.