Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 91 (1965)

Heft: 14: Epuration des eaux usées - Sauvegarde des eaux naturelles - Incinération des ordures, fascicule no 2

Artikel: Assainissement de la ville de Genève

Autor: Weisz, Heinz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-67666

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: 16.07.2025

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

survie. Si nous voulons que notre pays soit encore vivable dans un siècle, il faut à tout prix préserver ses ressources naturelles essentielles qui sont l'eau et l'atmosphère. Si la rentabilité à court terme de travaux de protection des eaux est quasiment négligeable, leur rentabilité à long terme est certaine. Il y va non seulement de la santé publique ou de l'équilibre psychique de la population, pour laquelle un cadre naturel sain est indispensable, il y va aussi des réserves en eau indispensables à la vie économique et urbaine. En rejetant des eaux usées sans traitement préalable dans un cours d'eau ou un lac, on contribue à la pollution de ces milieux qui constituent précisément nos plus importantes réserves d'eau potable. Lorsqu'on sait les exigences toujours accrues que l'on pose à l'eau pour les besoins industriels et la qualité exceptionnelle qu'une eau doit avoir pour être vraiment buvable, on ne s'étonne plus que l'eau de qualité soit toujours plus difficile à trouver en surface ou sous terre et que son traitement avant consommation devienne toujours plus coûteux. « L'eau, facteur limitatif de l'expansion industrielle. » « Bientôt l'eau de boisson en bouteille. » Ces cris d'alarme ne relèvent déjà plus de la prophétie de malheur ! Ils deviennent chaque jour davantage une réalité. Toute la population et surtout ses édiles doivent comprendre l'importance capitale de l'eau dans la civilisation moderne, investir les fonds nécessaires à un équipement d'assainissement général et surtout œuvrer pour une planification régionale de ces équipements pour assurer leur plus grande efficacité dans un bassin hydrographique. Notre pays progresse trop lentement dans ce domaine vital. Les restrictions de crédits entravent avant tout l'équipement à long terme : cette erreur sera lourde de conséquences. L'effort exceptionnel accompli par Genève au cours des dernières années et qui s'achèvera dans deux ans par un investissement totalisant plus de 200 millions de francs mérite d'être cité en exemple d'une communauté qui n'a pas hésité à voir le problème en grand et à longue échéance et à créer ainsi un des éléments essentiels de l'infrastructure urbaine de l'avenir.

ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE GENÈVE

par HEINZ WEISZ, ingénieur civil diplômé EPF, SIA, Genève

Avant-propos

Nous ne voulons pas, dans ce qui suit, montrer la nécessité urgente de réaliser l'épuration des eaux. Tout a déjà été dit. Nous voulons, au contraire, nous réjouir de ce que le canton de Genève, sous l'impulsion de responsables, dans les deux sens du mot, aura été assaini en presque totalité et ce en moins de dix ans.

Il a fallu pour cela une coordination intime entre tous les spécialistes, beaucoup de compétence, d'initiative et d'enthousiasme, mais surtout une confiance totale entre les diverses personnes qui se sont occupées des multiples problèmes.

Nous nous plaisons à souligner cette confiance que le maître d'œuvre nous a témoignée à travers toutes les difficultés rencontrées. C'est cet élément psychologique qui nous a permis de mener à bonne fin un programme très vaste dans un temps particulièrement court.

L'assainissement de la ville de Genève se propose de récolter la totalité des eaux des bassins versants du lac, du Rhône et de l'Arve. Ces eaux devaient être amenées par quatre grands collecteurs et deux siphons à la station de pompage située à la jonction du Rhône et de l'Arve. Elevées, elles s'écoulent à travers un tunnel jusqu'aux îles d'Aïre, emplacement de la station d'épuration. Le réseau genevois existant, unitaire bien entendu, devait être capté, ce qui amena à construire de grands collecteurs sur les rives mêmes de l'Arve et du Rhône ; celui de la rive droite du Rhône a été construit en galerie. La configuration de la rive empêchant ici toute construction d'immeuble, cette solution pouvait s'entendre étant au surplus plus économique.

La quantité d'eau à écouler a été définie avec le maître d'œuvre, la division de l'assainissement du canton de Genève, à 15 l/s d'eau usée et 15 l/s d'eau de pluie par hectare. Le nombre d'habitants pour lequel les égouts ont été dimensionnés est celui de la saturation de la zone d'influence, c'est-à-dire 840 000 habitants. A la date de la mise en service seront raccordés environ 200 000 habitants. Comme les nouveaux quartiers seront entièrement équipés en réseau séparatif, la dilution d'eau usée changera avec les années. Il était sur un plan économique beaucoup plus intéressant de construire les collecteurs à leur dimension définitive, d'autant plus que pour les tunnels une section minimum s'impose pour des raisons de possibilité d'exécution.

Un des problèmes essentiels avant de passer à l'exécution était de définir les niveaux en altitude des divers ouvrages. Le départ et certains points du parcours étaient définis par l'arrivée des égouts existants.

Par contre, était libre le choix de la pente des galeries, ce qui influençait leur section, et la hauteur de pompage, ainsi que le niveau d'implantation de la station d'épuration, qui se trouvait devoir être fondée sur un remblai composé de gadoues.

La hauteur de pompage se traduisait d'autre part par des frais annuels considérables, par exemple pour un mètre de hauteur les frais de pompage capitalisés représentent 1 000 000 de francs. Il fallait ainsi avec trois paramètres, hauteur de pompage, pente et section galeries, niveau d'implantation de la station d'épuration, trouver le contexte général.

Les problèmes qui se posent aux techniciens sont de nature très différente. Il y a les problèmes hydrauliques pour lesquels il a fallu, avec beaucoup de prudence, appliquer les lois de l'hydraulique de l'eau pure à l'eau usée. Il y a les problèmes statiques, qui dans le génie civil de cette nature sont très variés. Il y a surtout les problèmes d'exécution. Qu'il s'agisse de la cons-

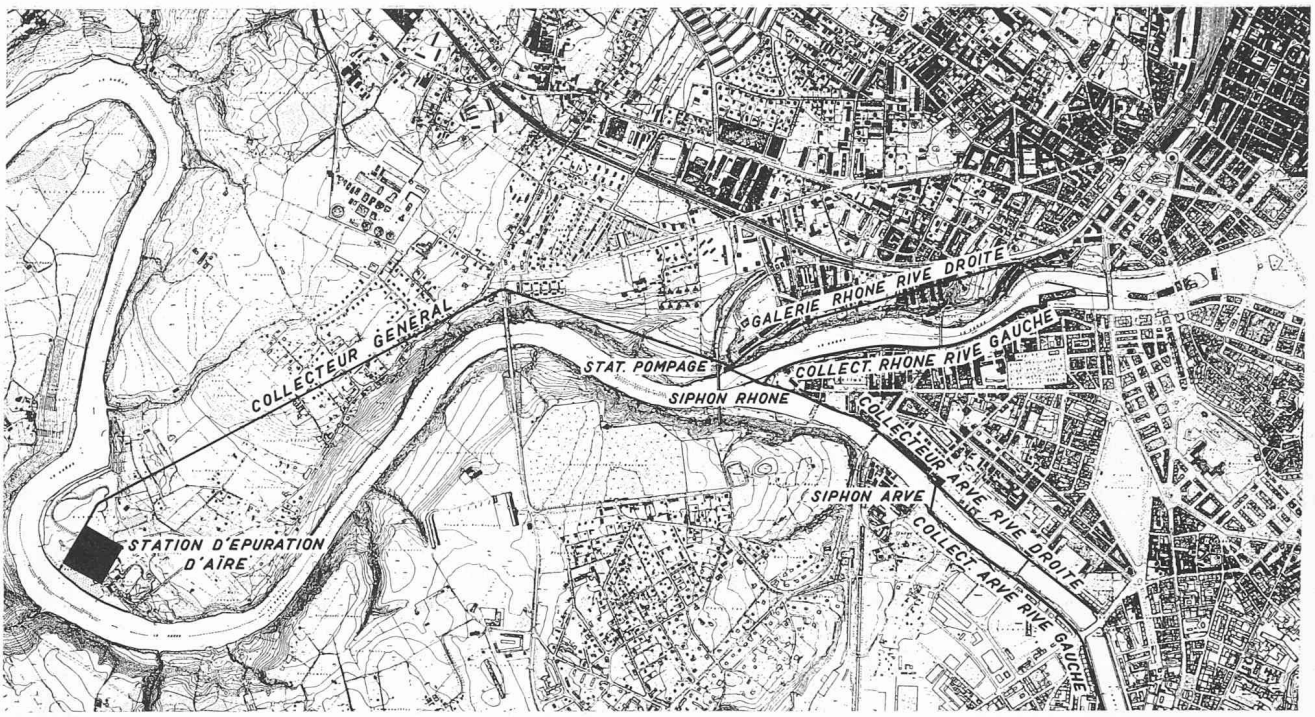

Fig. 1. — Plan d'ensemble.

truction proprement dite ou des problèmes d'occupation de chaussée qui en découlent, l'exécution demande une préparation et une surveillance très serrées.

Les trois titres qui suivent ont été choisis parmi beaucoup d'autres, deux traitant de l'exécution, le troisième d'un nouveau type de siphon qui, à notre connaissance, n'a encore jamais été exécuté à cette échelle.

Ils sont rédigés par trois de nos collaborateurs qui ont assumé principalement l'étude et la direction des travaux de ces trois ouvrages, c'est-à-dire : M. *André Praz* pour les collecteurs en galerie, M. *Claude Budry* pour les collecteurs de l'Arve et du Rhône, M. *Dieter Sippel* pour les siphons de l'Arve et du Rhône.

Construction des collecteurs en galeries

1. *Introduction — projet général*

Dans le cadre des grands travaux pour l'assainissement de la ville de Genève, figure l'exécution de deux collecteurs d'amenée en galerie, soit :

— Le collecteur Rhône Rive droite.
— Le collecteur général.

2. *Tracé des collecteurs — caractéristiques générales*

a) *Collecteur Rhône Rive droite*

Ce collecteur se raccorde sur l'ancienne canalisation sise au quai du Seujet et aboutit à la station de pompage de Saint-Jean.

Les caractéristiques de cette galerie sont les suivantes :

Section libre : 5,30 m². — Longueur : 1250 m.
Pente : 1 : 1000. — Débit maximum : 8 m³/s.
Cote de départ : 368,25. — Arrivée : 367,00.
Les couvertures de terrain maximum et minimum sont respectivement de 40 et 15 m.

b) *Collecteur général*

Le point de départ de celui-ci est la station de pompage de Saint-Jean et son aboutissement la station d'épuration d'Aïre.

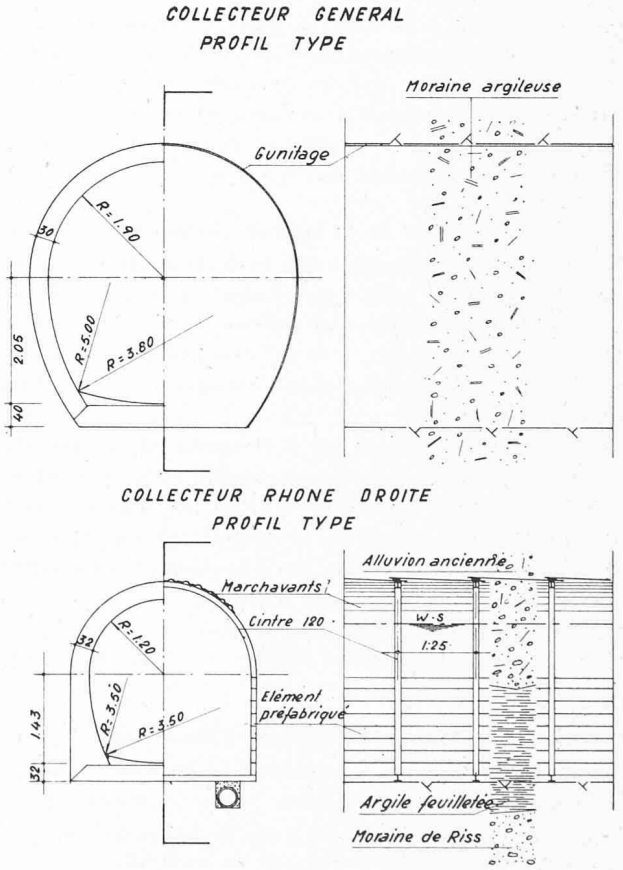

Fig. 2. — Collecteur général. Profil type.

Les caractéristiques sont les suivantes :

Section libre : 12,48 m². — Longueur : 2640 m.
Pente : 0,7 : 1000. — Débit maximum : 28 m³/s.
Cote de départ : 374,75. — Arrivée : 372,90.
Les couvertures de terrain maximum et minimum sont respectivement de 45 et 8,50 m.

3. *Géologie*

a) *Collecteur Rhône Rive droite*

Le tracé du collecteur est situé au fond de la couche d'alluvion ancienne, dans la nappe phréatique et dans l'argile feuilletée de l'interglaciaire, touchant par endroit les cailloutis rissiens.

Nous avions donc à tenir compte de deux difficultés importantes pour l'exécution de cette galerie.

1. Nécessité de se préserver contre d'importantes venues d'eau.
2. Le risque de la rupture de fond lors de l'excavation dans les argiles feuilletées, par suite de la pression d'eau de la nappe située sous les argiles et en relation directe avec le Rhône.

b) *Collecteur général*

Le tracé de ce collecteur traverse deux zones de terrains bien distinctes :

1. Abstraction faite des cinquante premiers mètres qui, eux, traversent la zone de remblais CFF, le tracé, jusqu'à 200 m en aval du pont Butin, se trouve entièrement dans l'alluvion ancienne compacte, bien drainée et protégée dans sa partie supérieure par un toit imperméable de moraine.
2. La deuxième partie se trouve dans la moraine argileuse massive et compacte et dans son ensemble imperméable.

Dans cette seconde zone, la couverture n'est plus que de 17 à 18 m et des terrains apparaissent en toit, fort graveleux, baignés d'une nappe d'eau. Certaines précautions seront à prendre en cours d'exécution. Au vu de ces données géologiques, l'excavation de cette galerie pouvait s'envisager par les procédés classiques. Soit : attaque de tout le profil avec boisage partiel de la voûte dans les zones non compactes et application d'un voile gunité dans les sections morainiques.

4. *Choix de la méthode de travail*

Le projet mis en soumission prévoyait une exécution classique pour le collecteur général et la méthode du bouclier pour le collecteur Rhône Rive droite. A la remise des documents, il a été étudié les propositions faites par les entreprises pour l'exécution du collecteur Rhône Rive droite.

La variante proposée par l'entreprise adjudicatrice a été retenue. Cette variante consistait à excaver le collecteur Rhône Rive droite à l'aide du procédé « Messervortrieb ». Cette méthode développée et employée en Allemagne est intéressante par comparaison au système du bouclier pour les raisons suivantes :

a) Coût de 30 % inférieur au bouclier.
b) Utilisation multiple et facilités de retrait de l'installation.

5. *Description de la méthode « Messervortrieb »*

Ce procédé consiste à avancer à l'aide d'un couteau à éléments multiples, les phases étant les suivantes :

a) Fonçage des couteaux à l'aide de vérins hydrauliques en calotte d'abord, puis sur les piédroits.
b) Excavation dans l'ordre : calotte, puis piédroits.
c) Pose des cintres métalliques Gerlach 120.
d) Pose d'éléments préfabriqués venant s'emboîter dans les cintres.
Ces éléments sont munis de trous permettant des injections, si celles-ci s'avèrent nécessaires.
e) Bétonnage d'un jet continu.
f) Dans le cas où un boisage frontal est nécessaire, celui-ci se fait à l'aide de madriers, l'appui des étais étant constitués par les cintres.

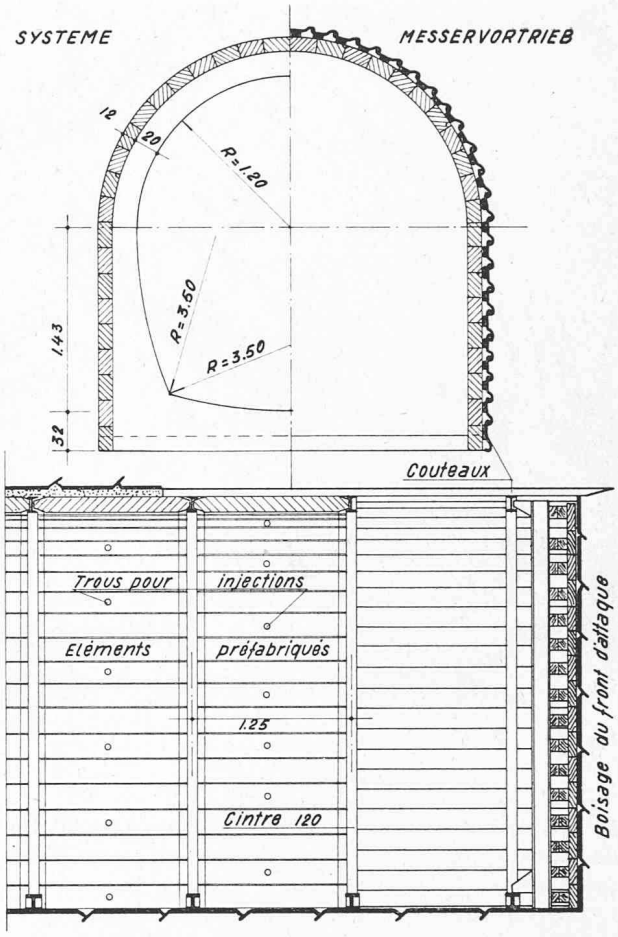

Fig. 3. — Exécution selon la méthode « Messervortrieb ».

6. *Travaux en galerie*

a) *Collecteur général*

L'excavation de cette galerie a débuté le 21 juin 1963. Nous avions à traverser la zone de remblais CFF, dans des conditions assez difficiles. Le bétonnage s'est exécuté par étapes de 5,00 m, avec interruption de l'avancement. Le système de bétonnage étant le suivant : gâchage à l'installation extérieure, transport par wagons-silos rotatifs se déversant sur un tapis roulant, qui lui à son tour déverse le béton dans une pompe (système Torkret). Le coffrage adopté est le système « Aeberli », cintres et planches métalliques.

A la verticale des voies CFF, nous avons rencontré, comme prévu, l'alluvion ancienne.

L'avancement s'est poursuivi au rythme de 7,00 à 8,00 m par jour, l'entreprise travaillant avec trois équipes de huit heures. Dans de tels sols, l'excavation s'est faite à l'aide de marteaux piqueurs.

L'étayage de protection fut soit des cintres Gerlach 90 dans les parties non compactes, soit une simple projection de gunite dans les zones de bonne consistance. Afin d'accélérer les travaux, une gare mobile fut installée permettant d'une part le stationnement du train de bétonnage et d'autre part le passage des trains évacuant les déblais ; ainsi excavation et bétonnage pouvaient être simultanés.

En confirmation des études géologiques à la station 1100, nous avons atteint la moraine argileuse. Celle-ci s'est avérée très compacte et dure. Nous avons par conséquent eu recours à des explosifs.

A l'aplomb du collecteur sont situées de nombreuses villas. C'est pourquoi il a été installé un sismographe ayant pour fonction de mesurer les amplitudes des trépidations ; on put modifier les schémas de tir, dans les cas où celles-ci s'avéraient trop importantes.

A ce jour, il reste environ 700 m à exécuter ; selon nos prévisions le percement devrait avoir lieu à la fin de cette année.

b) *Collecteur Rhône Rive droite*

Les travaux d'avancement ont débuté le 25 juillet 1963. Il a été créé un profil spécial sur une longueur de 50 m permettant l'installation d'une gare de stationnement.

Les conditions géologiques étant favorables, nous avons commencé les travaux d'excavation sans la protection des couteaux du système « Messervortrieb ». Par contre, les cintres étaient posés à 1,25 m d'écartement, permettant ainsi la pose des éléments préfabriqués jusqu'à la hauteur de l'argile feuilletée.

La protection en calotte était assurée par les marchavants. Pour permettre l'assèchement du radier pour le bétonnage, un drain de 30 cm de diamètre a été posé, récoltant les eaux de la nappe et les amenant à la fosse de pompage située au fond du puits d'accès. Ce drain a été injecté une fois le bétonnage terminé.

Les venues d'eaux à la fosse se situaient entre 50 et 60 l/s. Afin de parer à une éventuelle rupture de fond, nous avons foré à intervalles réguliers des trous de décharge à travers toute l'épaisseur des argiles feuilletées.

La méthode d'excavation a été la même que pour le collecteur général, soit au marteau-pic dans les graviers et au marteau-bêche dans les argiles, ces dernières étant très compactes et dures. Lors du bétonnage, l'avancement était interrompu.

La section de la galerie ne permettait pas l'installation d'une gare mobile.

Mis à part le radier, les difficultés d'exécution de ce collecteur se sont avérées moins importantes que prévues. Ceci explique l'avance prise sur le programme initial et atteignant six mois environ. A ce jour, nous exécutons quelques petits travaux de finition au coffrage et prévoyons la fin de ceux-ci au courant du mois de mai.

La compacité de l'alluvion ancienne était assez grande pour nous permettre d'avancer sans la protection des couteaux. C'est pourquoi la méthode « Messervortrieb » n'a été employée que partiellement. Par contre, dans la section se trouvant dans les argiles feuilletées s'altérant très rapidement, un étayage à l'avancement fut indispensable. Nous avons par conséquent maintenu la distance des cintres à 1,25 m, ceci afin de permettre la pose des éléments préfabriqués jusqu'à la hauteur de l'alluvion ancienne. Le bourrage entre les argiles et les éléments s'exécutait sitôt ces derniers en place.

Le choix de cette variante permettait, en cas de difficultés subitement accrues, de mettre en place le dispositif d'avancement au couteau en une demi-journée.

Trois grands collecteurs au bord du Rhône et de l'Arve

A. *Introduction*

L'extension considérable de Genève a rendu insuffisante l'infrastructure d'égouts et la protection des eaux a nécessité la construction de grands collecteurs.

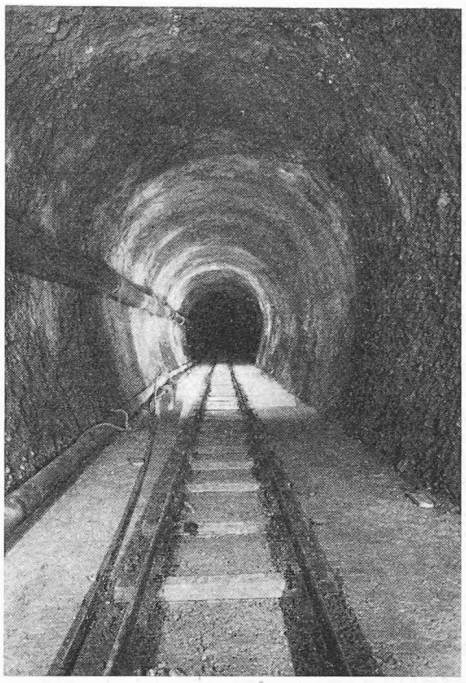

Fig. 4. — Collecteur général.
Section excavée avec protection gunitée.

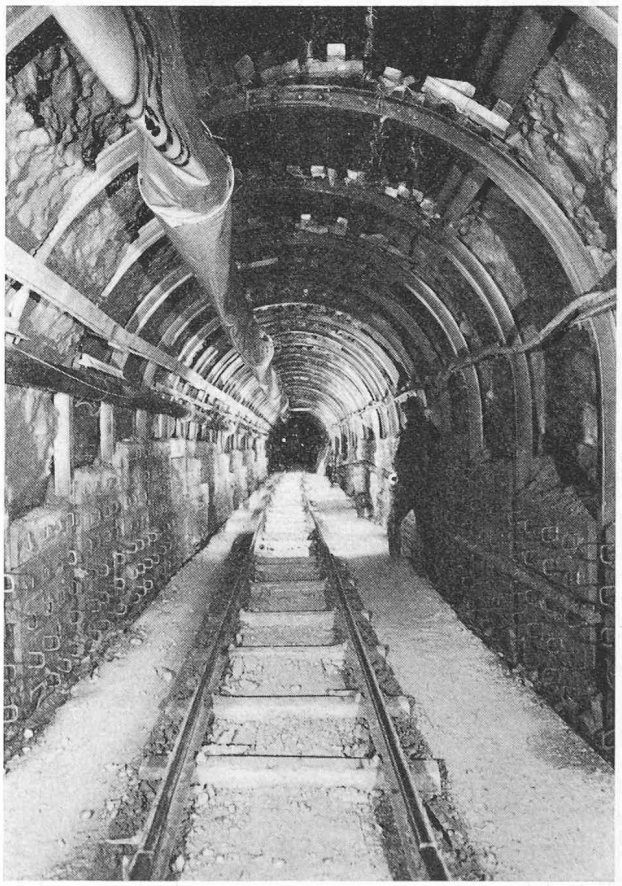

Fig. 5. — Collecteur Rhône Rive droite.
Section excavée avec :
a) protection de la voûte à l'aide de marchavants ;
b) protection de la section intermédiaire par application de gunite ;
c) protection de la section se trouvant dans les argiles feuilletées par boisage à l'aide d'éléments préfabriqués.

Les anciennes canalisations du système unitaire se déversant soit dans le lac, soit dans les rivières, les collecteurs furent construits le long des rives ; mis en chantier dès le milieu de 1963, ils sont pratiquement terminés aujourd'hui.

La configuration des rives, l'occupation du sol et du sous-sol et l'emploi futur des rives pour d'éventuelles routes express ont déterminé l'implantation des collecteurs, soit :

1) Le collecteur Arve Rive gauche, d'une longueur de 1300 m et d'un diamètre variant de 1,00 à 2,00 m, a pu être construit entièrement sous les routes.
2) Le collecteur Arve Rive droite, d'une longueur de 1600 m pour un diamètre de 1,50 à 3,00 m, a été construit en partie sous les chaussées et en partie dans l'Arve, entre un double rideau de palplanches.
3) Le collecteur Rhône Rive gauche, d'une longueur de 1100 m avec un diamètre constant de 2,20 m, a été entièrement construit dans le Rhône, entre un double rideau de palplanches.

B. *Exécution des collecteurs*

Partout où l'accès est possible, diverses méthodes s'offrent pour l'exécution d'un grand collecteur. Les tuyaux fabriqués, solution chère et qui par le nombre des joints présente pour ces grands diamètres un inconvénient technique, ont été écartés d'emblée. Il restait la méthode des collecteurs coulés sur place, avec des coffrages préfabriqués en bois, ou selon le système dit « Ductube ».

1. *Ductube*

Ce système consiste en un coffrage cylindrique en caoutchouc gonflable permettant de bétonner des tronçons de 20,00 m pour un diamètre de 1,00 m, de 10,00 m pour un diamètre de 1,50 m, et de 8,50 m pour un diamètre de 2,00 m ou 2,50 m.

Ce système présente entre autres les avantages d'une grande facilité de mise en place, d'une facile absorption des différences dans l'alignement des boisages et permet des rayons de courbure suivant les diamètres de l'ordre de 50 m.

Les collecteurs ont été bétonnés en deux fois, le fond avec la cunette d'abord et le cylindre de la canalisation proprement dit ensuite. Cette façon de faire a l'avantage d'une plus grande précision en facilitant la mise en place des coffrages ductubes.

Les pressions de gonflage varient en fonction du diamètre et sont de l'ordre de 0,240 kg par cm² pour un diamètre de 1,00 m et de 0,180 kg par cm² pour un diamètre de 2,50 m. Il est donc évident que plus le diamètre est grand, plus les déformations sont sensibles, le coffrage ayant tendance à s'ovaliser et non d'une manière régulière vers le bas. Le même principe d'exécution a été employé pour les collecteurs construits entre palplanches.

2. *Pousse-tube*

Il n'a pas été possible de travailler partout en fouille ouverte, principalement lors des traversées des voies à grand trafic ; les collecteurs ont été exécutés alors en faisant appel au pousse-tube. Cette méthode consiste à construire aux abords de la zone à traverser une cellule de poussée, sorte de chambre à ciel ouvert dans laquelle une installation de vérins hydrauliques permet de pousser horizontalement des tuyaux cylindriques en béton de 2,00 m de longueur et dont le diamètre peut aller jusqu'à 3,50 m.

Les matériaux sont excavés au front d'attaque soit à la main, soit au marteau-piqueur ou encore à l'explosif. Ils sont transportés vers la cellule par des wagonnets puis sortis par un palan qui les déverse dans un silo et de là sur un camion.

L'avancement peut varier entre 0,50 m et 2,00 m par jour en fonction des terrains rencontrés.

Lorsqu'un tuyau est entièrement poussé, l'installation hydraulique est ramenée vers l'arrière, un nouveau tuyau est mis en place, et le travail reprend au front d'attaque.

Lorsqu'un changement de direction inattendu survient, de petits vérins sont placés entre les tuyaux permettant ainsi de reprendre la direction prévue.

Cette méthode est également valable pour des changements de direction prévus au projet.

Ce système très plaisant est parfait théoriquement ; il suffit partout où il est impossible de travailler en fouille ouverte, de pousser des tuyaux sous l'obstacle.

Les réalisations ont montré que cette méthode est valable dans des terrains secs de bonne cohésion et pour des diamètres de tuyaux poussés ne dépassant pas 2,00 m.

Pour de plus grands diamètres, ainsi que dans des terrains mous et gorgés d'eau,

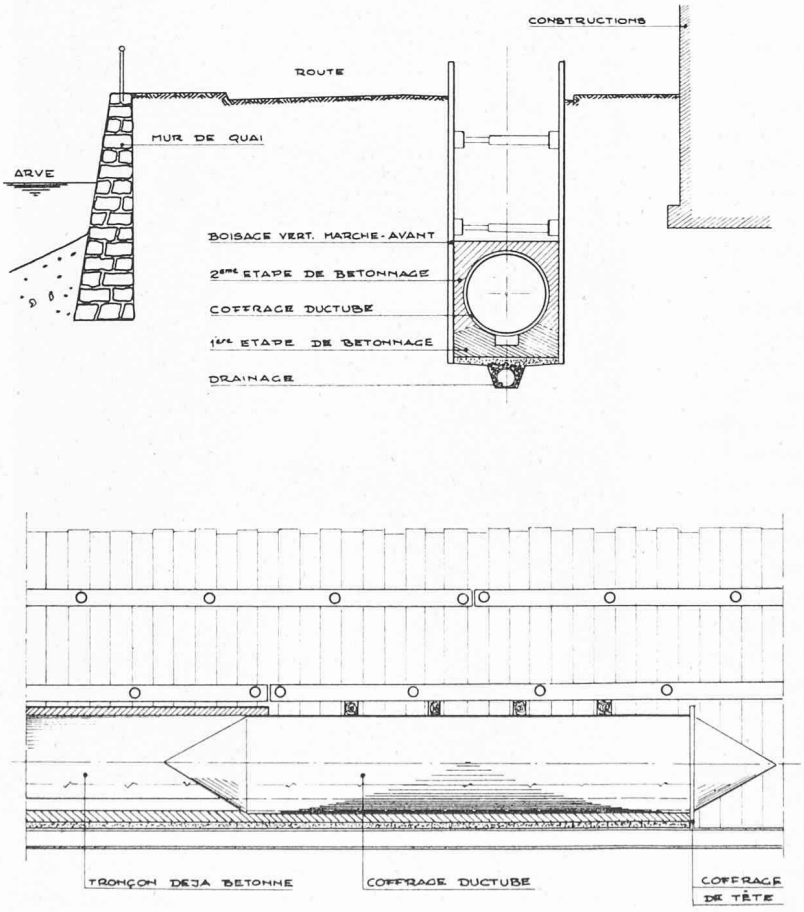

Fig. 6. — Schéma du système « Ductube ».

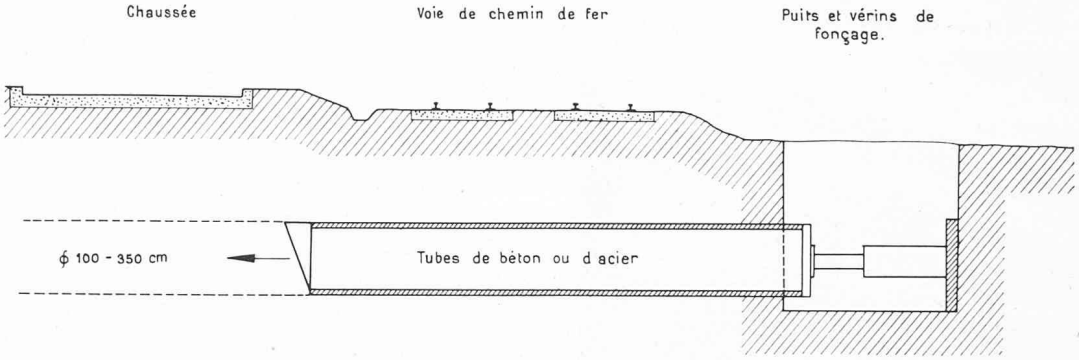

Fig. 7. — Schéma d'un pousse-tubes.

comme c'était le cas pour le collecteur Arve Rive droite, l'exécution pose des problèmes très ardus, notamment à cause des risques d'éboulement au front d'attaque ; l'avancement devient alors très lent.

Nous avons diminué ce risque d'éboulement en découpant le premier tuyau selon l'angle estimé de frottement interne du terrain. Cette façon de faire a par contre un inconvénient majeur, celui d'infléchir vers le bas la conduite. Cet inconvénient est impossible à éliminer étant donné le diamètre des tuyaux (3,50 m extérieur) ; ceci, malgré toutes sortes d'artifices, notamment la pose locale de petits vérins qui théoriquement du moins aurait dû corriger la direction.

La présence de la nappe d'eau a nécessité d'importants pompages dans des puits filtrants disposés à cet effet le long du parcours. D'une manière générale, on devrait avoir soin de choisir dans des terrains difficiles le diamètre du tuyau suffisamment grand pour pouvoir, malgré les déformations, inscrire la section définitive à l'intérieur.

Par contre, partout où le terrain se prêtait le système pousse-tube a donné entière satisfaction.

C. *Exécution des déversoirs d'orage*

Le réseau d'égouts genevois raccordé aux grands collecteurs est essentiellement unitaire. Afin de ne pas sur-dimensionner inutilement les collecteurs principaux, des déversoirs d'eau de pluie ont été construits à l'intersection du collecteur principal et des égouts secondaires d'une certaine importance. Il a fallu déterminer pour chaque égout secondaire sa zone d'influence, et en fonction d'une dilution souhaitée, admettre une quantité d'eau dans l'égout principal et en déverser le surplus. Les déversoirs à lames exigent des ouvrages trop importants pour des grandes quantités d'eau, pour qu'ils aient pu être retenus ici. Il a été préféré un déversoir à orifice réglable, mais fixe, pour un débit admis sous une pression hydrostatique choisie.

La pression hydrostatique étant fonction de la hauteur de lames réglables à volonté, le type même du déversoir a pu être généralisé pour tous les captages d'égouts secondaires.

En période sèche, le collecteur absorbe par son orifice la totalité de l'eau usée arrivant de l'égout. Cette quantité pouvant varier avec le temps en fonction d'une urbanisation de la zone du bassin versant, il suffira alors, pour adapter la capacité d'écoulement, de régler l'orifice du déversoir.

L'eau déversée s'écoule dans les égouts existants qui ont ainsi pu être réemployés.

En principe, cette eau ne devrait pas être chargée de boues, toutefois un dépotoir a été prévu qui devrait, le cas échéant, être vidé par des suceuses.

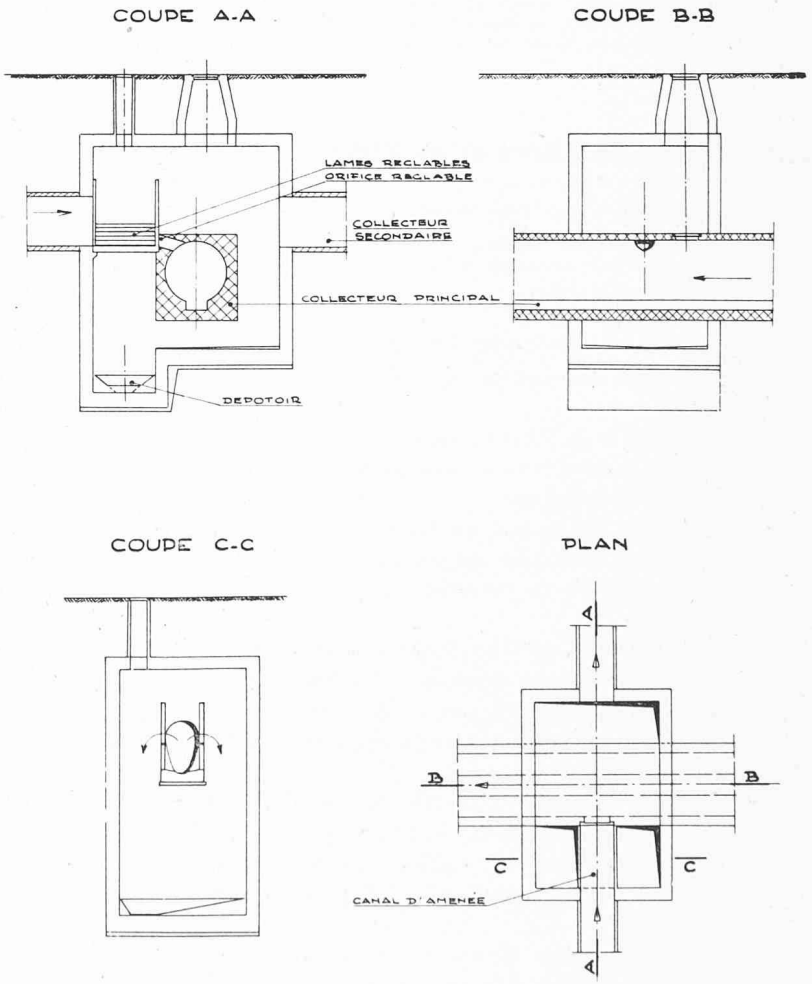

Fig. 8. — Schéma d'un déversoir.

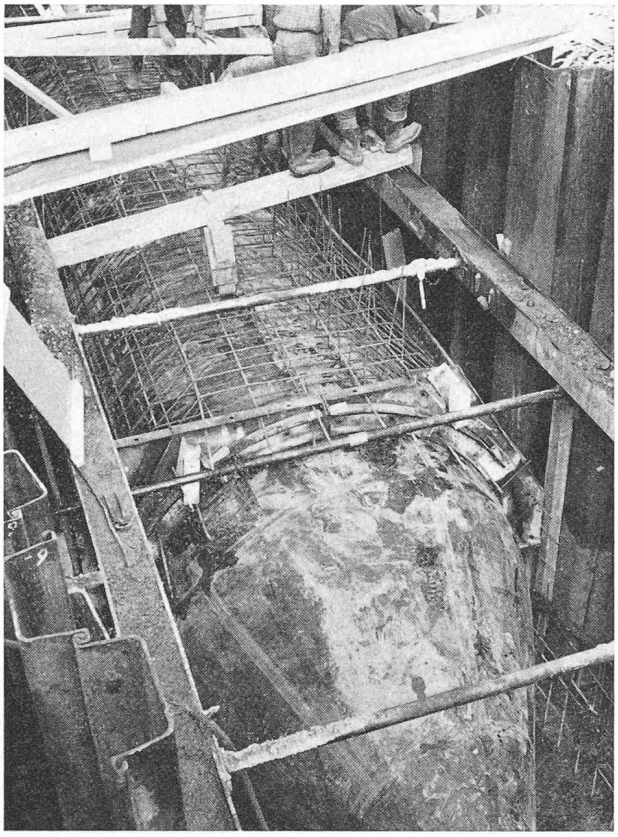

Figure 9. — Collecteur Rhône Rive gauche

Vue d'un coffrage Ductube entre palplanches avec son armature. Les briques terre cuite visibles au centre haut de la photo ont servi de drainage vertical, conduisant l'eau d'infiltration dans la canalisation d'évacuation située sous le collecteur.

Les siphons de l'Arve et du Rhône

L'étude se divise en trois chapitres :

A. Emplacement des siphons.
B. Géométrie des ouvrages d'entrée et de sortie.
C. L'étude hydraulique.

A. *Emplacement des siphons*

L'emplacement des siphons est déterminé par le projet général.

L'axe du siphon de l'Arve coupe les axes des collecteurs et l'angle d'ouverture est déterminé par un calcul économique et hydraulique.

L'emplacement du siphon du Rhône est imposé par l'implantation de la station de pompage ainsi que par l'implantation obligée de l'ouvrage d'entrée.

B. *Géométrie des ouvrages d'entrée et de sortie*

Devant chaque ouvrage d'entrée se trouve un déversoir ainsi qu'un by-pass qui permet de fermer l'entrée de l'ouvrage par un batardeau, afin de le mettre hors service.

D'autre part, une grille à l'entrée permet de retenir les détritus trop importants qui risqueraient de boucher les orifices des conduites du siphon. Ces déchets sont évacués par des bennes transportées à l'aide d'un palan électrique.

Dans chaque ouvrage d'entrée, une installation de télé-alarme transmet les dérangements à une centrale qui se trouve dans la station de pompage de Saint-Jean. Est admis comme dérangement une cote d'alarme fixée à volonté, du niveau d'eau dans le collecteur en amont du siphon ; et cela quelles que soient les causes provoquant ce niveau limite.

C. *Etude hydraulique*

1. *Conditions*

a) Afin d'éviter les dépôts dans les conduites, il a été admis que la vitesse d'écoulement ne s'abaissait jamais en dessous de 0,60 m/s. La même condition s'applique aux remous de sortie. En fonction de cette condition et des quantités actuelles et futures d'eau à transporter, les siphons ont été subdivisés en trois conduites de diamètres différents. Le diamètre de la plus petite conduite est fonction de la vitesse minima comme dit plus haut et du débit actuel nocturne en eaux usées. Les diamètres de la deuxième et de la troisième conduite sont toujours fonction de la vitesse minimale admise et de la quantité maximum maximorum en eaux usées et eaux pluviales prévues par le projet général. Une condition importante se greffe sur ces données de base ; c'est qu'en aucun cas la mise en marche de la deuxième ou de la troisième conduite ne fasse tomber le débit dans la première conduite en dessous d'une quantité qui assure la vitesse minima exigée.

b) Pour obtenir un auto-curage des tuyaux, l'entrée a été étudiée de manière à garantir une pointe de vitesse de l'écoulement d'environ 2 m/s lors de chaque mise en marche. D'autre part, la durée minimale de marche d'une conduite du siphon de l'Arve est suffisante pour renouveler la totalité du volume d'eau dans cette conduite. Pour les mêmes raisons de purge, les pentes ont été limitées à 1 : 5.

c) Toutes les conduites sont en acier Alto St. 37, avec des épaisseurs de paroi variant entre 7 et 12 mm. L'intérieur des tuyaux est zingué et revêtu d'une protection bitumineuse.

Une protection cathodique a été prévue contre les courants vagabonds. L'ensemble des trois tuyaux est revêtu d'un béton CP 300 d'une épaisseur minimum de 40 cm.

2. *Fonctionnement*

Habituellement, de tels siphons sont équipés par des vannes automatiques d'entrée ou de sortie, et commandées par flotteur en fonction du niveau du plan d'eau dans l'ouvrage d'entrée. Cette solution traditionnelle est chère en coût de construction et en frais d'exploitation. C'est pourquoi nous avons étudié un système plus rationnel : le siphon auto-amorceur. Sur le diagramme de la figure 12 on voit, à gauche, en coupe, le puits d'entrée équipé d'un siphon auto-amorceur, c'est-à-dire un cylindre à double paroi en acier.

La paroi intérieure est liée à la paroi extérieure par soudure à une couronne, qui fait fonction de lame déversante.

a) Sur le diagramme sont tracées d'abord les courbes de remplissage hauteur/débit pour les collecteurs amont et aval de diamètre de 2,00 m et la courbe de remplissage du collecteur amont, sous la condition d'une vitesse de 0,60 m/s, ainsi que les caractéristiques des conduites combinées entre elles, qui sont fonction de la caractéristique hauteur/débit du collecteur aval, majorée des pertes de charge.

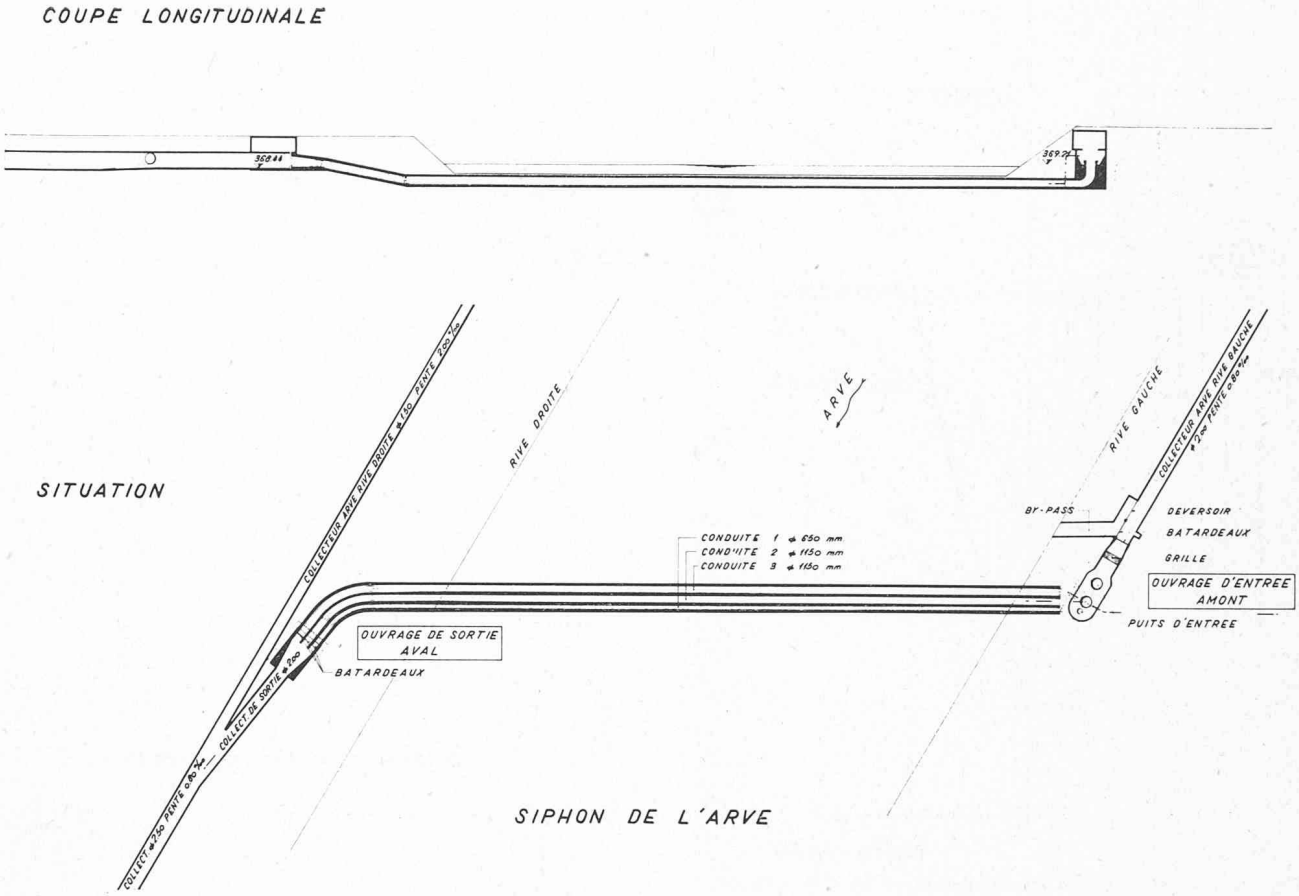

Fig. 10. — Siphon de l'Arve.

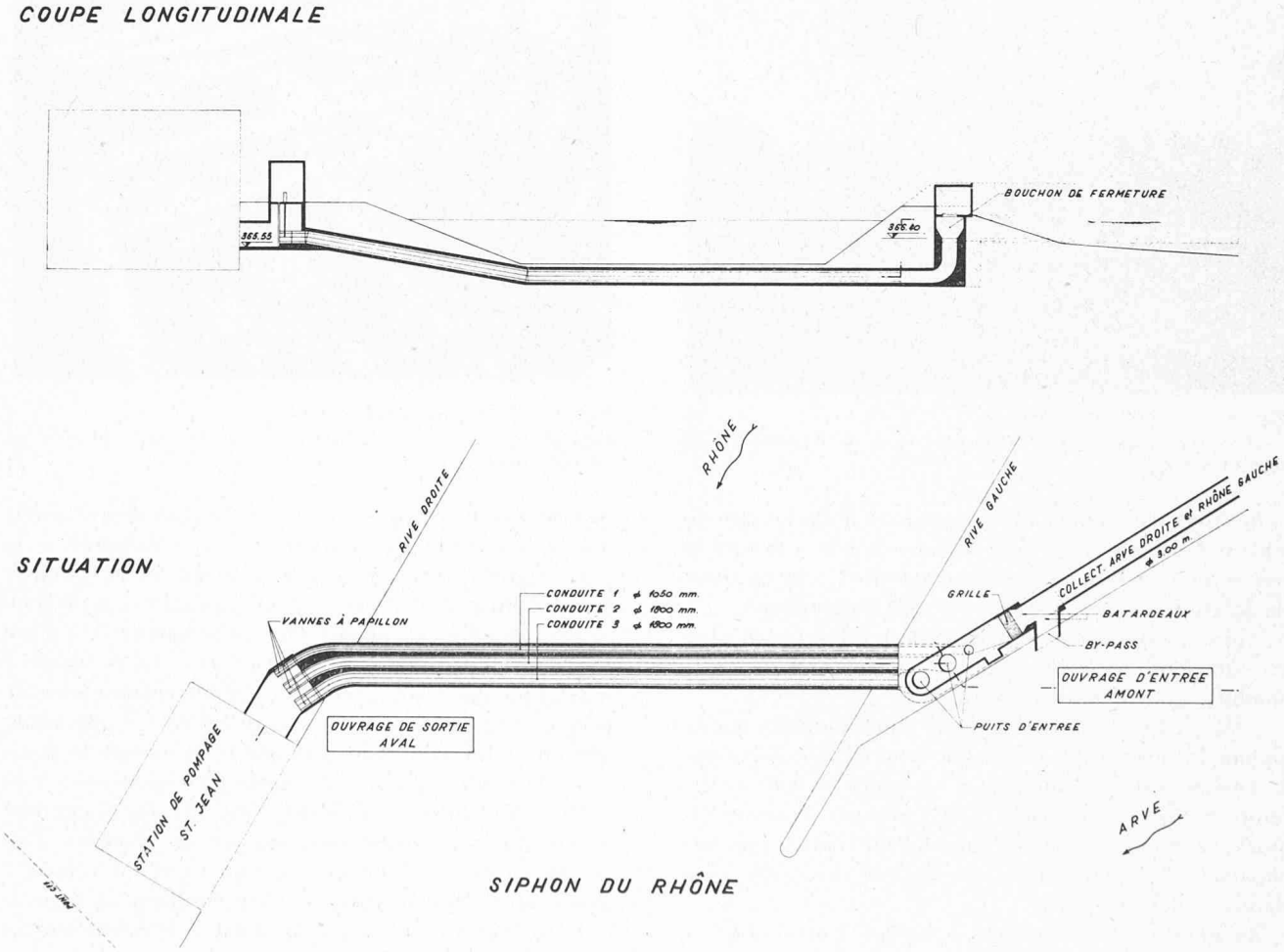

Fig. 11. — Siphon du Rhône.

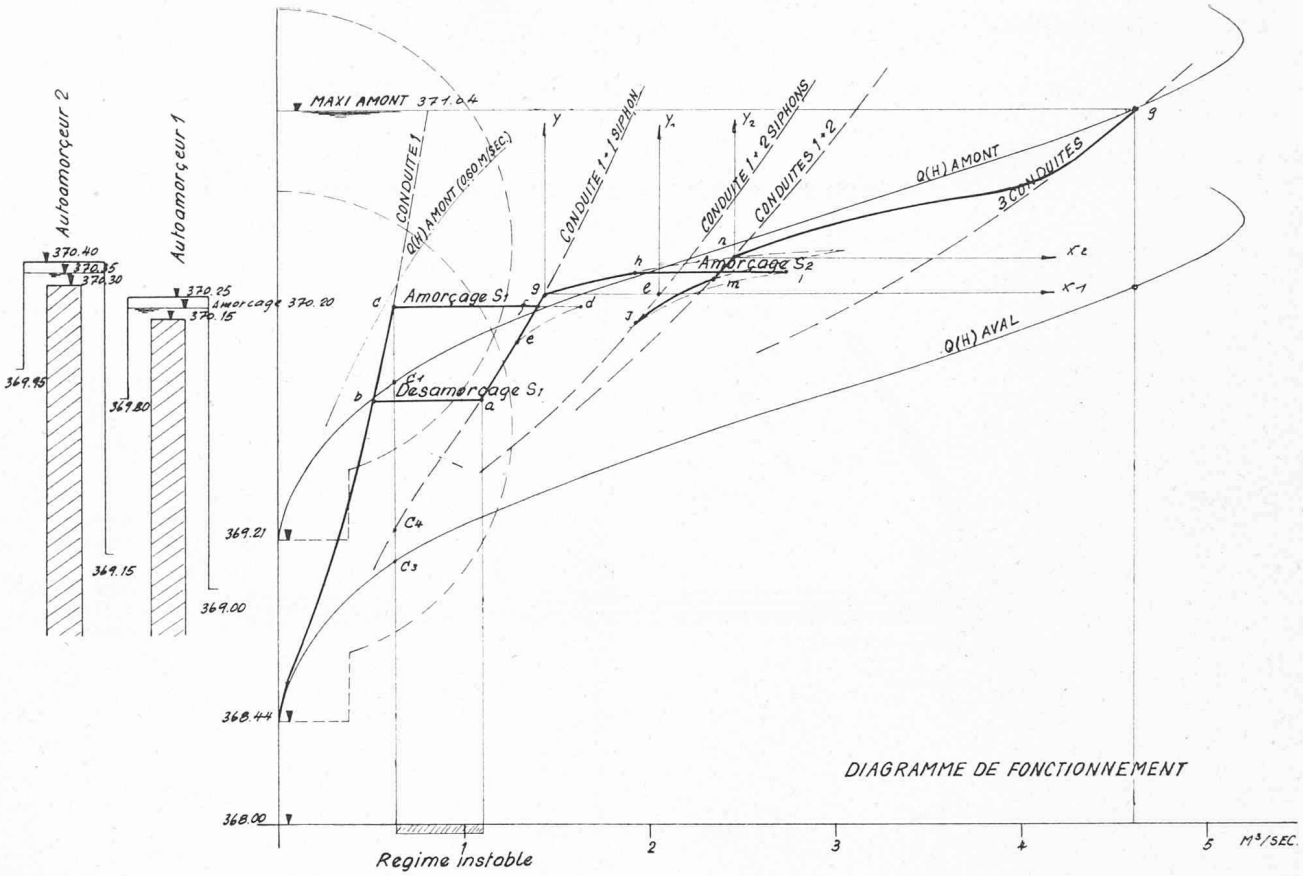

Fig. 12. — Diagramme de fonctionnement des siphons.

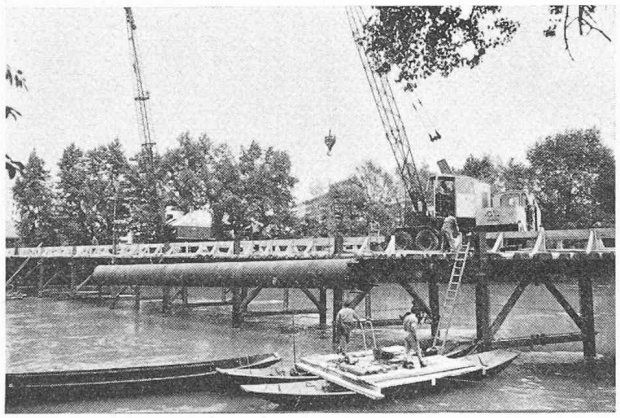

Fig. 13. — Siphon de l'Arve.
Conduite métallique avant l'immersion dans la tranchée préalablement préparée.

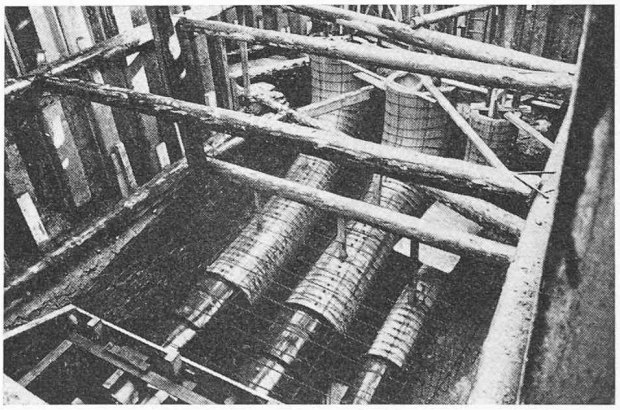

Fig. 14. — Siphon de l'Arve.
Coffrage de raccord des tuyaux métalliques au puits d'entrée de l'ouvrage amont.

b) Nous nous fixons alors la cote de désamorçage du siphon 1 de telle sorte qu'elle corresponde à la vitesse minimum de 0,60 m/s dans la conduite 2, soit un débit de 1,110 m³/s. C'est le point « a » du diagramme.

Après désamorçage, le débit descend de « a » en « b », puis le point figuratif rejoint la caractéristique de la conduite 1 et la suit jusqu'en « c ».

c) Le point « c » correspond au réamorçage du siphon 1 ; il est fixé par construction, de telle sorte que la variation du niveau « b » à « c » soit de 0,40 m. La hauteur « b-c » représente alors, comme ci-dessus, le stockage dans le collecteur amont d'un volume égal à la capacité d'une tuyauterie, en l'occurrence celle d'un diamètre de 1,15 m.

Au moment de l'amorçage, le siphon 1 dispose d'une charge « cc3 » qui lui permet de débiter d'une façon instantanée la valeur « c-d ». Mais le plan d'eau amont baisse, le remous d'exhaussement « cc1 » disparaît et le point figuratif rattrape la caractéristique de la conduite 1 + 1 siphon et tend vers le débit normal « c4 », mais ne peut l'atteindre, puisqu'en «a» le siphon 1 désamorce. Pour tous les débits compris entre « a » et « c4 », le siphon 1 fonctionne donc par chasses ; ce phénomène de chasse ne peut être toléré pour le siphon du Rhône ; il provoquerait un « affolement » des pompes de la station de pompage de Saint-Jean, qui se trouve en aval de ce siphon.

d) Si le débit est supérieur à « a », le point figuratif remontera sur la caractéristique de la conduite 1 + siphon en direction de « f » puis en « g » le déversoir 1 commencera à contribuer à l'alimentation de la conduite 2. Après l'inondation du puits 1, le même travail se reproduit au siphon auto-amorceur 2.