HYDRAULIQUE DES STATIONS D'ÉPURATION D'EAUX USÉES

PAR A. MOAN

Introduction

Le mariage de l'air et de l'eau, ou plus généralement d'un gaz et d'un liquide, engendre des phénomènes de deux sortes :

— les uns, de nature chimique, par action moléculaire des constituants;

— les autres, de nature physique, phénomènes d'agitation, de dissolution, de moussage, etc.

Les seconds réagissent d'ailleurs fréquemment sur les premiers, en les favorisant et en les multipliant.

Toute la technologie actuelle en matière d'épuration des eaux est basée sur cette interaction étroite, aux multiples aspects.

Dans la généralité des cas, la présence du gaz et du liquide est, par nature, fugace, difficilement assimilable à une interprétation mathématique. Les théories hydrauliques d'une part, pneumatiques d'autre part, parviennent, au prix de complications souvent grandes, à rendre compte du comportement du milieu liquide et du milieu gazeux, et à reproduire à l'échelle la plupart des phénomènes qui préoccupent le technicien; celui-ci peut en déduire des lois, estimer des constantes.

Cette précieuse similitude se trouve malheureusement en défaut dès que les deux milieux se mélangent; l'approche des problèmes posés exige alors des ressources d'ingéniosité de la part des chercheurs, qui doivent bien souvent abandonner un trop lourd arsenal mathématique contre une perception plus directe, plus sensitive des phénomènes.

Plus qu'un résultat chiffré, c'est bien souvent seulement le signe positif ou négatif d'une dérivée, somme toute la « tendance » du phénomène, qui compte.

Incompatibles en apparence, l'air et l'eau, le gaz et le liquide, découvrent, aux frontières de leurs domaines respectifs, des affinités étranges et riches de conséquences.

L'un ou l'autre fluide peut, au cours de cette brève rencontre, imposer sa loi à l'autre, c'est affaire de présentation, et tout l'art du technicien consiste à trouver les « formes » qui conduisent au but recherché; l'énergie d'un torrent d'eau peut alors être domptée par un bulleur à poissons rouges, aussi bien qu'un chute de quelques centimètres peut engendrer une dépression motrice aux effets considérables.

Dans cet exposé, nous n'envisageons nullement tous les problèmes posés par l'écoulement des eaux usées et des boues dans les conduites et ouvrages d'épuration, mais uniquement quelques problèmes assez particuliers que nous avons eu à résoudre sur le plan de ces régulations hydrauliques, dans certaines installations récentes de traitement d'eaux usées et dans un domaine voisin, celui des irrigations.

Nous examinerons en premier lieu les moyens dont nous disposons pour contrôler les débits liquides dans les installations de traitement, puis nous verrons, par quelques exemples concrets, comment ces moyens peuvent être mis en œuvre.

* Ingénieur en chef à la Société Générale d'Epuration et d'Assainissement, Paris.

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1967030

A. MOAN

Vannages utilisés en traitement et distribution des eaux

En traitement des eaux, la plupart des vannages n'exigent qu'une faible résistance mécanique, car les ouvrages sont généralement ouverts à l'air libre, peu profonds, et dans les phénomènes mis en jeu, n'interviennent que des charges de quelques décimètres à quelques mètres.

Par contre, les débits à traiter exigent de fortes sections de passage. Les vannages conventionnels (vannes-rideaux, batardeaux, clapets), sont mal adaptés à ces conditions d'utilisation; nous leur préférons, toutes les fois que cela est possible, l'emploi de vannages hydropneumatiques :

1. Bondes siphoïdes à interdiction par pression ou à fonctionnement sous dépression.

Ce type d'appareil s'adapte aisément à une commande automatique ou à une commande « assistée », par le jeu d'un circuit auxiliaire en pression ou en dépression, selon le cas.

Le choix entre la bonde siphoïde « comprimée », et la bonde « sous-dépression » résulte souvent de la disponibilité de l'un ou l'autre fluide moteur sur l'installation; il peut aussi résulter de la sécurité de marche à maintenir en cas de panne du fluide moteur.

2. Siphons-clapets.

Nous franchissons, avec les siphons-clapets, un nouveau pas dans le degré d'élaboration des siphons. Tout comme les précédents, le siphon-clapet reste encore ignorant du débit qui le traverse, mais il n'autorise ce débit que dans un seul sens. Ceci suppose un asservissement pneumatique qui condamne le passage en cas d'inversion des niveaux.

Ce type d'appareil peut être utilisé comme clapet de crue ou de marée sur les rejets d'effluents épurés. Il offre, dans ce cas, des avantages évidents sur les dispositifs mécaniques équivalents, par le fait qu'il n'absorbe que peu de charge et garantit une étanchéité absolue, sans aucun risque de coincement. Ceci est spécialement intéressant lorsqu'on désire éviter la remontée des eaux salines vers l'installation.

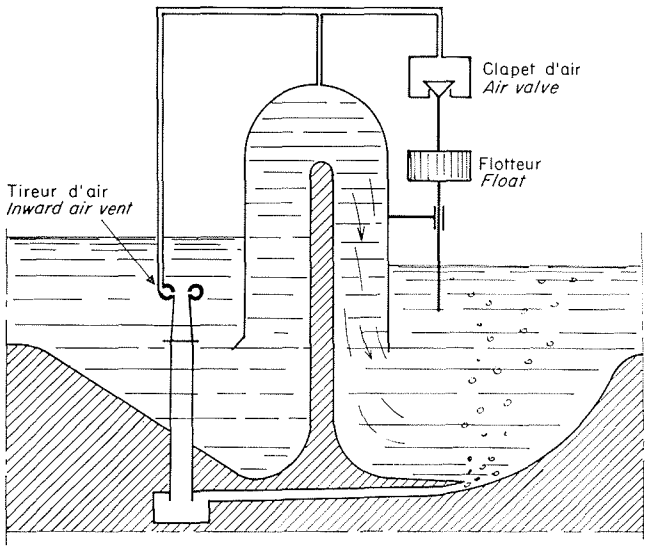
L'asservissement pneumatique utilise un « tireur d'air », fonctionnant sur une fraction du débit à traiter, qui met en dépression l'appareil principal tant qu'il dispose d'une charge positive.

Cette dépression est limitée par un régleur simple, comportant un robinet d'air à flotteur qui désamorce le siphon lorsque le niveau aval s'élève au-dessus de la cote zéro.

Le siphon principal est généralement construit en béton armé, vu la section importante à réaliser. Le béton précontraint est intéressant dans cette application par l'étanchéité qu'il confère aux parois.

3. Les siphons partialisés simples.

Lorsqu'il s'agit de régler toute une gamme de débits entre un niveau amont variant peu et un niveau aval plus bas, on peut envisager, en dehors des solutions par vannes, celles utilisant les siphons partialisés.



1/ Siphon clapet.
Siphon and float valve.

La « partialisation » résulte d'un équilibre obtenu entre l'amorçage total et le désamorçage complet.

Sa difficulté réside essentiellement dans la stabilité de l'équilibre, à chaque instant et pour chaque régime de fonctionnement, entre le débit d'air entraîné par l'écoulement dans le siphon (débit d'air sortant) et le débit d'air fourni par le dispositif régleur (débit d'air entrant).

Loi du débit d'air sortant.

En ne considérant, dans le siphon, que le tube coudé proprement dit parcouru par l'eau, il existe (pour un tube donné placé dans des conditions données de niveau aval et amont) une loi entre le débit d'eau le traversant, et le débit d'air entraîné de l'intérieur de la hotte vers l'extérieur (air sortant sous forme de bulles).

Cette loi est représentée par une courbe en cloche dont on peut avoir l'intuition puisque :

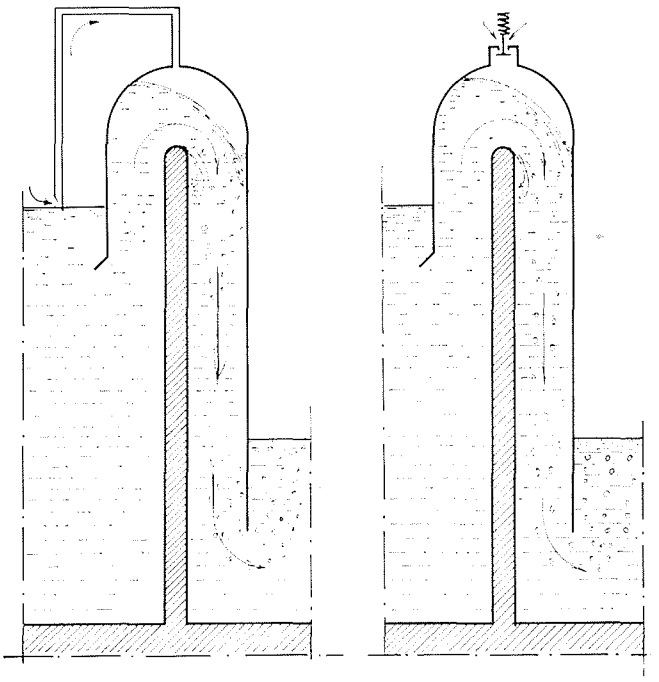
— à débit d'eau nul ou faible, il ne peut y avoir d'air entraîné;

— à débit maximal, il ne peut non plus y avoir d'air entraîné (il n'y a plus d'air sous la hotte).

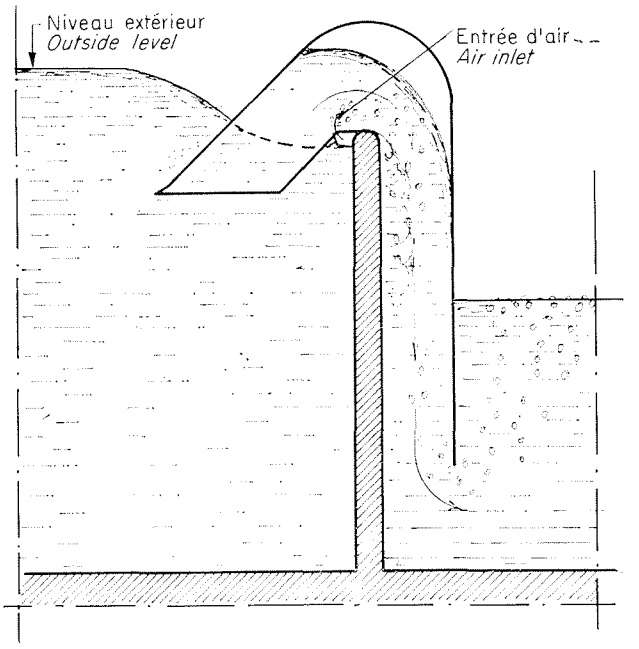
Loi du débit d'air entrant.

Pour réaliser la partialisation, nous pouvons adjoindre au tube coudé un robinet branché au sommet. Sa courbe caractéristique, d'allure parabolique, recoupe la courbe en cloche ci-dessus en trois points :

— l'origine, qui est sans intérêt;



2/ Siphons partialisés.
Self-priming siphons.



3/ Siphon autostable partialisé par les commissures.
"Autostable" self-priming siphon.

— un premier point, situé sur la partie ascendante de la courbe en cloche, et qui correspond à un fonctionnement instable;

— un second point, situé sur la partie descendante de la courbe en cloche, et vers lequel tend tout régime intermédiaire.

Il existe, bien entendu, une famille de courbes correspondant aux diverses ouvertures du robinet, auxquelles correspond toute la branche descendante de la courbe en cloche.

Faire varier l'ouverture de l'entrée d'air, revient donc à obtenir tous les équilibres possibles pour les débits d'eau correspondant à cette branche seulement.

On admet généralement que la zone d'instabilité (branche ascendante) s'étend, en gros, de 0 à 30 % du débit maximal (siphon totalement amorcé).

Les siphons « autostables ».

Pour obtenir, malgré tout, des fonctionnements stables dans cette zône 0-30 %, il sera nécessaire d'asservir l'entrée d'air, par des moyens adaptés au problème à résoudre.

Dans le cas, par exemple, du réglage automatique d'un plan d'eau amont, il s'agit de faire passer dans le siphon un débit d'eau fortement croissant à mesure que le plan d'eau amont monte légèrement.

Il est aisé d'obtenir ce résultat pour la partie « stable » de la courbe en cloche, grâce à un joint hydraulique constitué par le propre plan d'eau à régler. Ce joint se trouve en effet progressivement obturé par la montée du plan d'eau; le *sens* de l'action régulatrice est bon.

Au contraire, dans la partie montante (instable), de la courbe en cloche, il faut augmenter le débit d'air en même temps que le débit d'eau, ce qui exige du niveau formant joint qu'il *s'abaisse* quand le débit augmente.

Une première solution pour obtenir ce résultat, est d'introduire l'air de partialisation par les « commissures » du siphon. En effet, en ce point, le niveau local subit les effets des accélérations plus fortes qui règnent au voisinage de l'intrados du siphon, et commence par s'abaisser lorsque le débit croît.

Une deuxième solution est celle trouvée par Neyrpic, consistant en une soupape *mobile* tarée et tendant à s'ouvrir sous l'effet de la dépression intérieure du siphon.

La caractéristique de cette soupape s'adapte automatiquement, par l'élasticité du ressort, aux conditions à réaliser; elle peut s'appliquer à divers cas et, en particulier, à des réglages automatiques de niveaux amont plus ou moins proches, ou de niveaux aval.

Elle est donc extrêmement intéressante mais, du fait de l'élasticité du ressort équipant la soupape, on doit admettre un décrément parfois plus fort que la stabilité du niveau réglé ne le demanderait.

Le siphon « bénitier ».

Dans le siphon bénitier, on crée artificiellement un niveau auxiliaire variant dans le bon sens, en dotant l'extrados du siphon d'un boîtier ouvert à la partie supérieure et protégeant l'orifice d'entrée d'air de partialisation. Ce boîtier se trouve alimenté en eau, au début du fonctionnement du siphon, non par le niveau amont, qui n'atteint pas l'arase du boîtier, mais par l'intérieur du siphon.

Le niveau qui s'établit dans ce boîtier est donc sollicité vers l'intérieur du siphon, d'autant plus violemment que le débit est important, et il tend

bien à *descendre* quand le débit s'accroît. On obtient ainsi un réglage amont quasi constant, dans une gamme de débits allant de 9 à 100 % du débit maximal. (La hauteur du boîtier du bénitier est limitée de telle sorte qu'au-dessus d'un débit supérieur à 30 % du maximum, l'orifice de partialisation soit alimenté en eau par déversement sur le boîtier).

Tous ces types de siphon peuvent être amorcés rapidement en prévoyant un branchement sous dépression, qui force le niveau intérieur à s'élever dès que le niveau extérieur dépasse la cote d'alerte. Equipés de la sorte, les siphons autostables sont un excellent moyen de réglage précis d'un plan d'eau et, par extension, d'évacuation des débits excédentaires alimentant ce niveau.

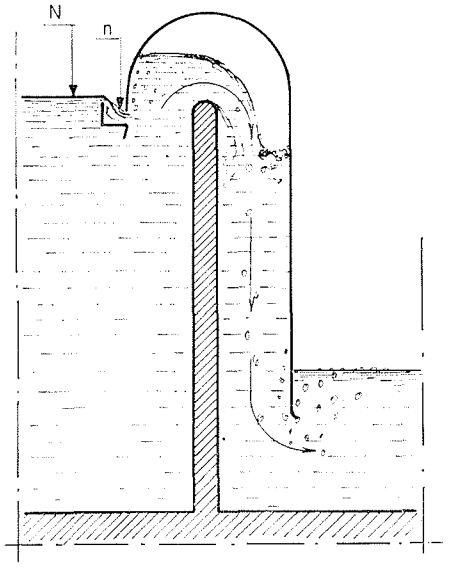
4. Les siphons régulateurs à flotteurs.

Ce type d'appareil se propose, non plus de régler un *niveau* comme les précédents, mais un débit, qui devra, indépendamment des conditions de niveau à l'amont ou à l'aval du siphon, pouvoir être :

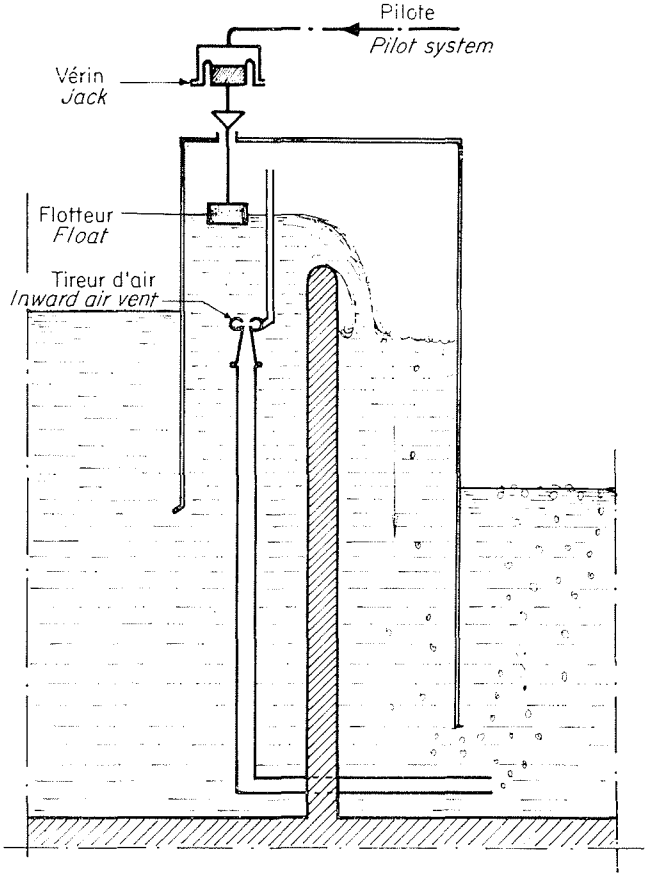
— soit prédéterminé par réglage manuel,
— soit asservi à une variable auxiliaire.

Le débit déversant à l'intérieur de l'appareil est maintenu constant par le maintien à une cote donnée, du niveau sous la hotte, au-dessus du seuil du siphon, qui fonctionne alors en déversoir sous dépression.

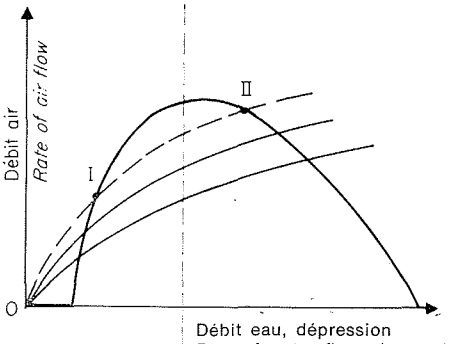
Le réglage de la lame versante s'opère habituellement au moyen d'un flotteur plongeant dans le



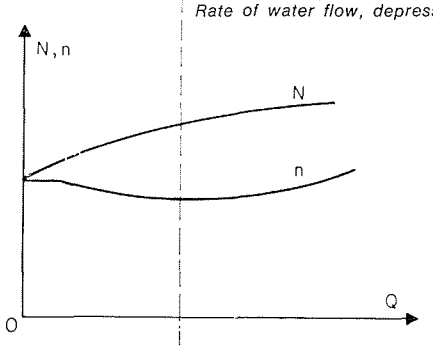
◀ 4/
Siphon autostable « bénitier ».
Auxiliary priming chamber-type siphon.

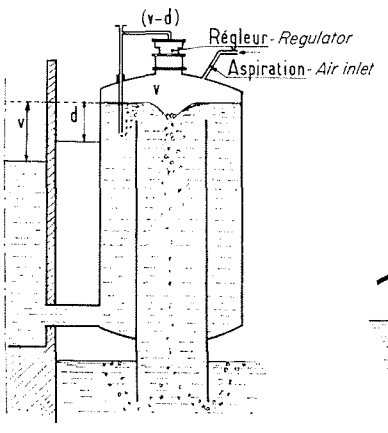


6/ ▶
Siphon régulateur à flotteur.
Float controlled regulation siphon.

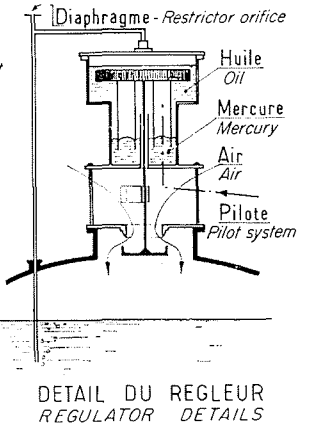


◀ 5/
Bondes siphoïdes.
Siphoniform outlets.





7/ ▶
Siphon régulateur à contrôle pneumatique.
Pneumatically controlled regulating siphon.



DETAIL DU REGLEUR
REGULATOR DETAILS

niveau intérieur à régler et commandant « l'air entrant » au moyen d'un obturateur à portée sphérique.

Le débit est donc obtenu directement par réglage de la lame, la dépression n'en est plus qu'une conséquence, et elle varie avec le niveau amont, sans avoir aucune influence sur le débit.

Pour rendre le réglage de ce débit automatique, il suffit d'exercer sur le flotteur un effort vertical dirigé vers le bas, exercé par exemple au moyen d'une cloche mobile extérieure. Cette cloche baigne, à la base, dans un joint hydraulique.

Une dépression pilote, modulée en fonction du débit à obtenir, est introduite sous cette cloche et provoque l'effort en question.

La dépression pilote peut, naturellement, être liée à toute grandeur devant commander le réglage (niveau amont ou aval proche ou lointain, débit déversant qu'il s'agit d'écrêter, qualité d'une boue, etc.).

La modulation de cette dépression est réalisée dans des conditions idéales, même pour les problèmes les plus compliqués, par les transformateurs hydrostatiques, dont la théorie est esquissée ci-après.

Une amélioration notable a été apportée à cet appareil, par la compensation des efforts dus à la dépression intérieure sur le clapet d'entrée d'air. En effet, si le siphon fonctionne sous un niveau amont pouvant varier beaucoup, l'effort qui s'exerce sur le clapet est notablement plus fort aux niveaux amont bas qu'aux niveaux amont hauts, et il en résulterait une erreur sur la cote de réglage du niveau intérieur. Cet effort parasite peut être compensé par trois dispositions possibles :

— rapport des sections flotteur/clapet supérieur à la précision de réglage recherchée;
— canne de lestage du flotteur communiquant avec l'atmosphère, et de section égale à celle de l'obturateur;
— effort compensateur exercé sur le flotteur par une cloche hydraulique ou un soufflet.

Une autre amélioration a consisté à réaliser l'introduction d'air par l'intermédiaire d'un relais pneumatique, beaucoup plus sensible aux variations du niveau réglé que le clapet décrit ci-dessus. Toutefois, cette modification s'est avérée souvent superflue dans les applications courantes.

5. Les siphons régulateurs à contrôle pneumatique.

De par leur conception même, les siphons régulateurs à flotteur exigent pour fonctionner correctement :

— de l'eau propre;
— un large dimensionnement des sections de passage, conduisant à un écoulement suffisamment calme pour que la lame versante que l'on veut mesurer soit stable.

La vitesse dans la branche aval de ces modèles doit, par ailleurs, être limitée pour éviter un trop fort entraînement d'air à gros débit, qui risquerait de créer un « emballement » du siphon.

Enfin, l'équipage mobile solidaire du flotteur est nécessairement assez lourd, surtout dans les appareils fonctionnant sous une forte variation de niveau, en raison de la canne d'équilibrage citée ci-dessus. Il en résulte une assez grande inertie de marche, qui peut être un inconvénient dans les applications où les débits varient rapidement.

Pour toutes ces raisons, nous avons été amené à concevoir un nouveau régulateur, dans lequel la stabilité de réglage est notablement accrue, tout en autorisant des débits d'air considérables.

De plus, la détection du débit se fait par palpage pneumatique, soit à l'intérieur de l'appareil, soit à l'extérieur sur un déversoir ou un orifice « en série » avec le régulateur.

Il devient, dès lors, possible de réduire les dimensions de l'appareil, et de lui demander des services nouveaux.

Par exemple, le régulateur pourra être placé très loin du point de contrôle du débit ou encore, on pourra monter en parallèle plusieurs régulateurs, qui fonctionnent sous la dépendance d'un seul régleur.

Enfin, l'absence de tout équipement mécanique à l'intérieur du siphon, facilite grandement l'installation des régulateurs aussi bien que leur entretien, et autorise leur emploi quelle que soit la nature des eaux.

Le nouveau régleur est conçu pour fonctionner soit sur une pression pilote, soit sur une dépression pilote.

La figure 8 montre le dispositif du servo-régleur, type « pression ».

Il comprend essentiellement un ensemble mobile composé de deux cloches et d'un obturateur, ce dernier coiffant un siège à portée sphérique.

Les deux cloches plongent dans des capacités fixes contenant la première du mercure, la seconde une huile incongelable.

De ce fait, elles délimitent des capacités fermées par joints hydrauliques, et dans lesquelles peuvent s'exercer des efforts pneumatiques :

— La première capacité communique, par un tube, avec la dépression régnant à l'intérieur du régulateur. Ce tube débouche, à cet effet, à une certaine distance au-dessous du niveau de la lame versante.

La dépression régnant dans le tube est donc celle du siphon, diminuée de la hauteur d. (voir fig. 7).

Comme l'obturateur est sollicité, de son côté, par la dépression à l'intérieur du siphon, la cloche et l'obturateur peuvent être dimensionnés de telle sorte que la résultante des efforts sur l'ensemble mobile soit indépendante de la valeur de la dépression dans le siphon, pour ne plus dépendre que de l'enfoncement d, soit, en définitive, de la valeur de la lame versante, à une constante près;

— La seconde capacité reçoit, par une tuyauterie de quelques millimètres de diamètre, une pression pilote, élaborée par un dispositif pneumatique de manière à asservir le régleur à la variation d'un plan d'eau caractéristique. Ce dispositif pourra être du type « transformateur hydrostatique », ou du type « dynamique ».

L'ensemble mobile est donc, en définitive, sollicité par un effort vertical dirigé du haut vers le bas, d'autant plus fort que la lame versante est plus forte, et par un effort compensateur dû à la pression pilote, dirigé du bas vers le haut, et d'autant plus fort que cette pression pilote est plus élevée.

Tout effort de frottement ou d'hystérésis résultant

de l'inertie des pièces en mouvement sont ainsi supprimés; il en résulte une très grande sensibilité.

D'autre part, l'appareil est complètement libéré de l'influence des variations accidentelles de niveau à son amont comme à son aval, ce qui lui confère une très bonne stabilité de réglage.

Pilotage par calculateurs hydrostatiques

Tous les siphons, doseurs et contrôleurs pneumatiques cités ci-dessus nécessitent pour leur asservissement une impulsion pneumatique, qui peut être soit une pression, soit une dépression pilote. Ce pilote, modulé en fonction du résultat recherché, sera engendré par un calculateur hydrostatique, recevant d'une part information de la variable à contrôler sous forme d'une pression de « palpage », et délivrant d'autre part un signal « pilote » agissant sur l'appareil récepteur.

La loi de transformation de l'information en pilote pourra, selon les applications, être basée :

— sur une relation mathématique connue;

— sur une relation expérimentale vérifiée;

— sur une interaction différée, temporisée ou à action différentielle, entre les deux variables considérées.

Nous citerons, parmi les applications typiques de cette technique :

a) Le transformateur pression-dépression.

Dans cet appareil, deux capacités fermées contenant un liquide communiquent par le fond.

La première capacité reçoit, au-dessous du liquide, la pression de « palpage » correspondant à la variable-témoin; cette pression provoque le passage d'une certaine quantité de liquide vers la seconde capacité.

La seconde capacité est équipée en vase de Mariotte, c'est-à-dire que l'air atmosphérique y est introduit par une tuyauterie débouchant au sein du liquide. On crée une dépression au-dessus du liquide dans cette seconde capacité; cette dépression s'ajuste à la valeur pour laquelle l'air se met à buller dans le tube de Mariotte; sa valeur est indiquée par la hauteur du liquide au-dessus de l'échappement, mais cette hauteur dépend de la pression qui s'exerce dans la première capacité et de la forme des deux capacités.

D'une façon générale, si le volume situé au-dessous du niveau d'échappement dans la première capacité s'exprime par une relation $V = f_1(p)$, et que le volume situé dans la seconde capacité au-dessus de ce même niveau ait pour valeur : $V = f_2(d)$, l'identité $f_1(p) = f_2(d)$ permet, par un choix judicieux des fonctions f_1 *et* f_2, de réaliser toutes les transformations qui peuvent se poser dans cette technique d'asservissement pneumatique.

b) Le pilote « universel ».

Tous les problèmes de régulation hydraulique à niveaux libres qui se posent en matière de traitement des eaux se ramènent schématiquement à considérer :

— un niveau amont;

— un niveau aval;

— un vannage régulateur entre ces deux niveaux (ou éventuellement, plusieurs vannages en série).

Le niveau amont pourra être « pilote », et commander le vannage; ce sera la régulation « par amont ».

Le niveau aval peut, dans d'autres cas, être appelé à jouer ce rôle; ce sera la régulation « par l'aval ».

Enfin, dans certains problèmes, c'est la différence des niveaux amont et aval que l'on peut se préoccuper de maintenir, dans certaines limites de variations autorisées pour chacun. C'est le cas du fonctionnement à niveaux associés, ou encore « à perte de charge constante ».

Des systèmes intermédiaires de régulation par « bouclage » sont parfois rendus nécessaires par les conditions du projet. Dans ce cas, la stabilité du fonctionnement pose un problème délicat; cette stabilité suppose une compensation des réserves « négatives » qui se constituent, en cas de variation du débit, sur tous les plans d'eau situés en amont du vannage commandé par l'aval, par une réserve « positive » au moins égale, disponible à l'aval de ce vannage.

L'instabilité propre au système par bouclage doit, par ailleurs, être neutralisée par une action plus nuancée du vannage; il sera indiqué, dans ce cas, de recourir à un pilotage différentiel, tenant compte non seulement des variations du niveau témoin, mais du signe et de la vitesse de ces variations.

Le pilote « universel » que nous avons mis au point répond à tous les problèmes ci-dessus.

Applications

A - Station d'épuration de la ville de Genève à Aïre.

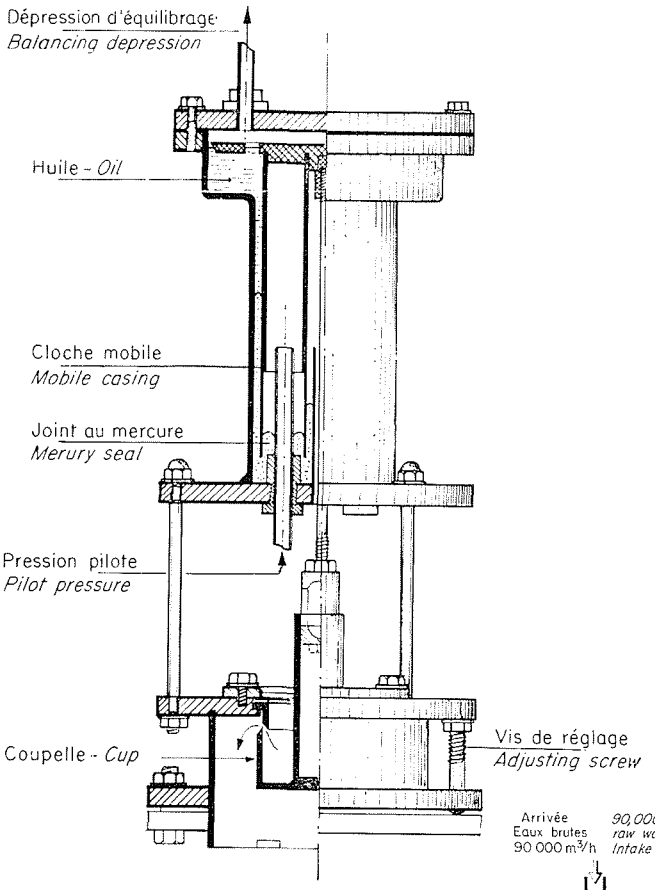
1. Problème posé du point de vue hydraulique.

a) *Débits.*

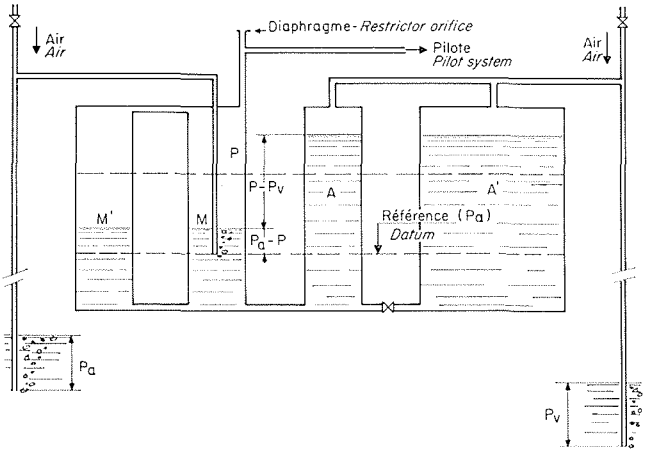
Les documents fournis par le Département des Travaux Publics de Genève, fixant les bases techniques selon lesquelles devaient être établis les ouvrages d'épuration de l'installation d'Aïre, indiquaient que le réseau d'égouts drainant le Canton de Genève évoluerait progressivement entre 1962 et l'an 2000, du système unitaire actuel vers un système de plus en plus séparatif.

Le débit maximal au débouché du collecteur général sur la Station d'épuration s'établit de ce fait comme suit :

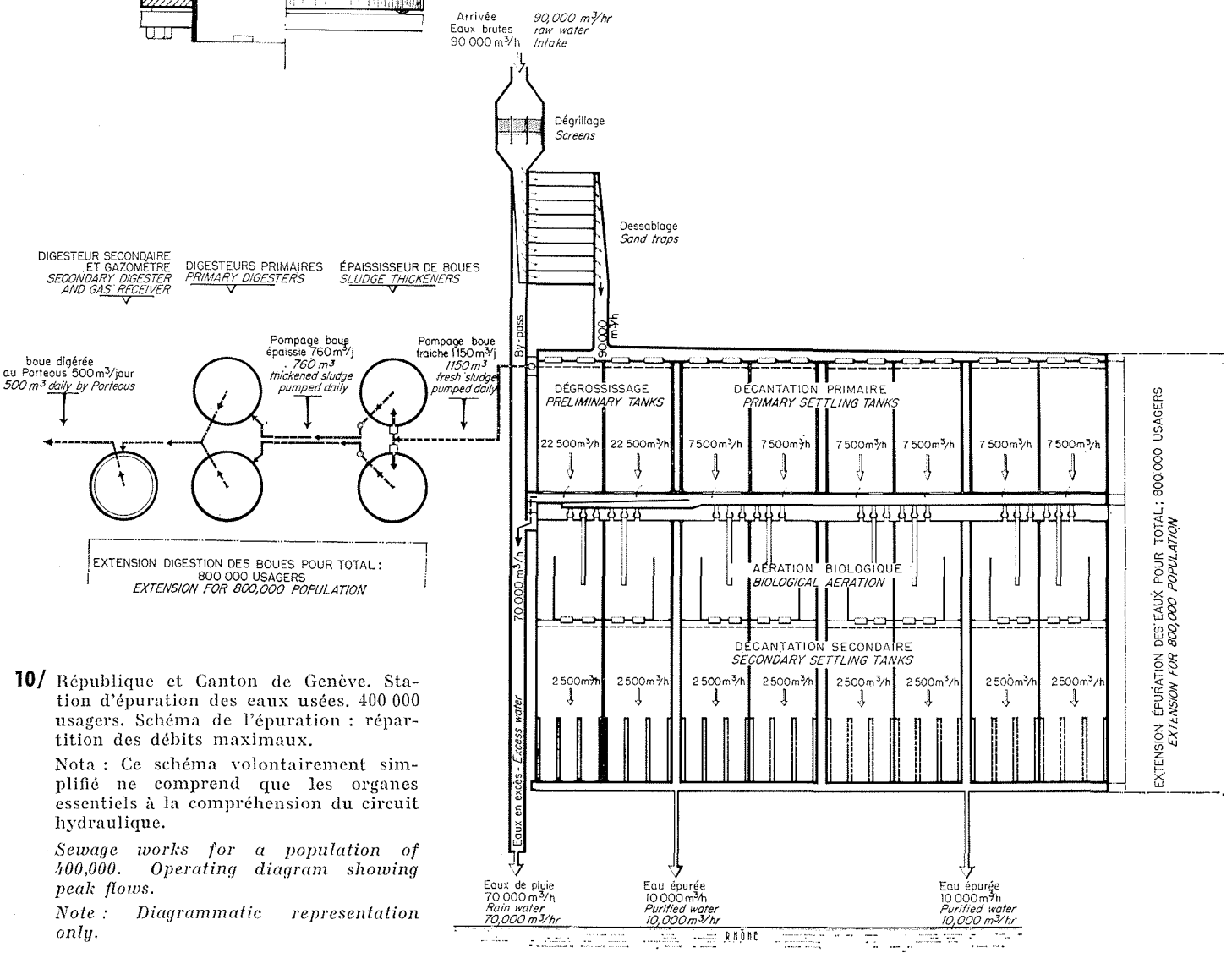
Années	Population desservie (hab.)	Débit eaux usées moyenne d'été sur 17 h : 15 l/s pour 1 000 hab. (m^3/s)	Eaux de pluie 15 l/s et par hectare réduit (m^3/s)	Débits totaux (m^3/s)
1962	225 000	3,4	21,6	25
1975	400 000	6	19,7	25,7
2000	820 000	12,3	15,2	27,5



8/ Régleur hydropneumatique.
Hydropneumatic regulator.



9/ Pilote pneumatique « universel ».
"Universal" pneumatic pilot system.

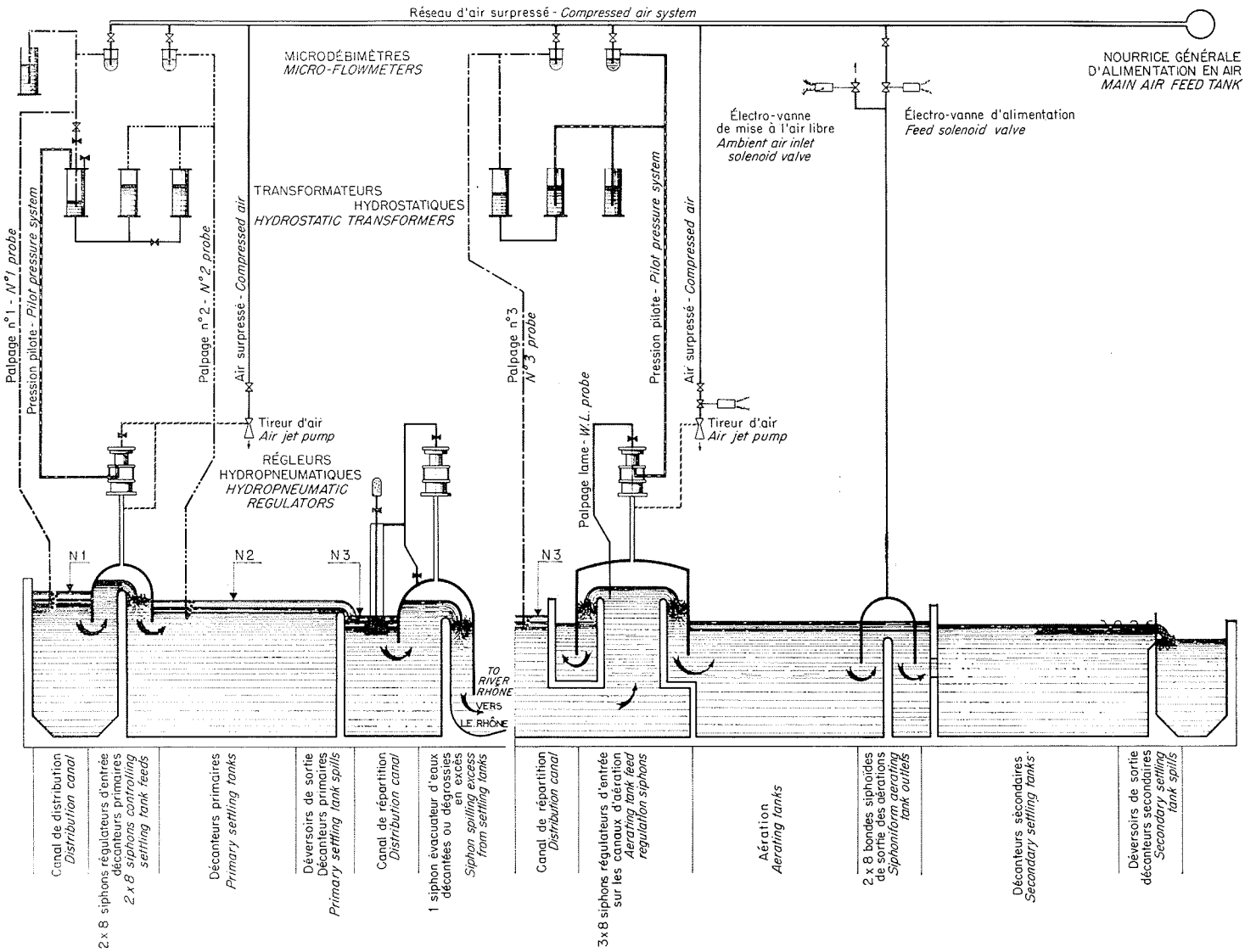


10/ République et Canton de Genève. Station d'épuration des eaux usées. 400 000 usagers. Schéma de l'épuration : répartition des débits maximaux.

Nota : Ce schéma volontairement simplifié ne comprend que les organes essentiels à la compréhension du circuit hydraulique.

Sewage works for a population of 400,000. Operating diagram showing peak flows.

Note : Diagrammatic representation only.



11/ Station d'épuration de Genève :
Schéma de régulation. / *Regulation system diagram.*

Le projet des ouvrages de traitement proprement dit était à étudier pour la situation prochaine (1975, 400 000 habitants), mais les ouvrages de tête pouvaient être, avantageusement, réalisés d'emblée pour la situation future (an 2000, 820 000 habitants).

b) *Nappe phréatique.*

L'examen des sondages effectués sur le site d'Aïre permettait de situer la nappe phréatique à la cote 369,10 environ vers le centre du terrain prévu pour la première tranche, avec un pendage de 3 mm/m environ, en direction du Rhône. Il apparaissait évident que les terrains perméables, constitués par des alluvions remaniées qui constituent le sous-sol, étaient entièrement sous la dépendance hydrostatique du Rhône, et que les travaux de fondation au-dessous de la cote 369,00 seraient des plus onéreux.

c) *Vitesses.*

Le rapport débit maximal/débit minimal dans les ouvrages d'entrée est de l'ordre de 20. Il n'était donc pas possible de satisfaire à la fois les conditions de vitesses minimales à respecter pour éviter le dépôt des matières en suspension à petit débit et de vitesses maximales, qui sont plafonnées par des considérations de perte de charge. Compte tenu de la grande extension en surface des installations, nous avons donc limité la vitesse maximale dans les canaux à 1,2 m/s à débit maximal et prévu des dispositifs de soufflage d'air dans toutes les parties où les vitesses peuvent s'abaisser au-dessous de la vitesse d'auto-curage.

d) *Equirépartition.*

Jusqu'à concurrence d'un débit de 20 000 m³/h, il est souhaitable d'équirépartir les eaux entre les ouvrages en service, de façon à obtenir les meilleurs résultats de traitement possibles. Mais le débit arrivant à l'installation peut varier d'un moment à l'autre; il faut donc disposer d'un automatisme hydraulique qui équirépartisse le débit, quelle qu'en soit la valeur, sur chaque série successive d'ouvrages (décanteurs primaires, canaux d'aération, décanteurs secondaires).

e) *Débits en excès.*

Le débit excédant 20 000 m³/h doit être restitué au Rhône après décantation primaire. Ici encore, il est souhaitable que cette opération se réalise sans intervention manuelle, puisque les variations de débit peuvent se situer à tout moment, de jour comme de nuit.

f) *Dégrossissage des débits excédant 45 000 m³/h.*

Le cas des débits excédant 45 000 m³/h est déjà beaucoup plus rare, puisque la fréquence des heures de pluie d'intensité correspondante n'excède pas 100 h par an, la fréquence des heures de pluie correspondant à 90 000 m³/h n'étant plus que de 27 h par an. On pourrait donc admettre que les manœuvres nécessaires pour affecter un certain nombre de décanteurs primaires au dégrossissage des eaux au-dessus de 45 000 m³/h puissent être effectuées manuellement. Nous verrons que, grâce aux dispositifs d'asservissement pneumatique que nous avons prévus, il est néanmoins possible d'assurer ces manœuvres automatiquement, tout en réservant la possibilité d'une intervention manuelle en tant que de besoin.

g) *Répartition des débits sur les canaux d'aération.*

Le devis-programme imposait un dispositif permettant d'assurer la distribution de l'eau en « série ou en parallèle », dans les canaux d'aération. Nous avons étudié un dispositif permettant de réaliser en outre plusieurs autres combinaisons de répartition, de façon à permettre d'utiliser au mieux les moyens d'épuration, et de conduire l'épuration biologique d'après la nature des eaux et en vue du meilleur rendement.

Nous pensons que le passage d'un schéma à un autre doit pouvoir s'effectuer rapidement, par télécommande, à partir d'un poste de contrôle central, et sans que l'on soit obligé de manœuvrer de nombreuses vannes.

Il apparaît en outre désirable de pouvoir placer « en observation » certains canaux, avant de généraliser l'adoption d'un schéma, de façon à ne l'adopter qu'à bon escient.

Résumé des conditions à réaliser :

Nous avions donc besoin, en définitive, de régler les débits :

a) à l'entrée des décanteurs primaires, de façon soit à équirépartir le débit, soit à le répartir selon une loi prédéterminée lorsqu'il excède une certaine valeur;

b) à l'entrée des canaux d'aération, de façon à :

— équirépartir ce débit entre les canaux selon le schéma retenu; ou,

— répartir ce débit selon le désir de l'exploitant.

2. Solution adoptée.

Nous avons résolu la plupart des problèmes posés ci-dessus par l'utilisation généralisée des siphons partialisés pour la répartition des débits à travers l'installation. Ces appareils présentent sur les vannes et autres organes d'obturation et de régulation, les avantages suivants :

— simplicité de construction;

— facilité d'entretien;

— possibilité d'un contrôle et d'une télécommande centralisée;

— économie sur les pertes de charge.

L'installation est conçue pour fonctionner en commande hydraulique par « l'amont », c'est-à-dire que toute variation du débit dans le collecteur, est immédiatement et automatiquement absorbée par les ouvrages. A cet effet, l'eau sortant du collecteur débouche librement dans le bassin de réception, aménagé pour briser cette énergie cinétique et tranquiliser le niveau de l'eau. Cet ouvrage communique librement avec huit dessableurs fonctionnant en parallèle et dans lesquels l'équirépartition du débit est assurée quel que soit le débit, grâce à l'équilibre des pertes de charge sur les huit trajets susceptibles d'être suivis par l'eau.

Décanteurs primaires.

A la sortie des dessableurs, l'eau est admise dans un canal de distribution alimentant en parallèle seize siphons régulateurs d'entrée sur les décanteurs primaires.

Ces siphons neutralisent l'effet des pertes de charge dans le canal de distribution, aussi bien que les différences de plan d'eau entre les décanteurs et les dégrossisseurs. En effet, leur débit est asservi pneumatiquement aux variations du niveau N_1, en un point de contrôle du canal de distribution.

Pour les faibles valeurs de N_1, tous les siphons débitent de la même façon. Au-dessus d'une certaine cote, quatre séries de siphons sont bloqués au débit « de décantation maximale », tandis que les autres séries absorbent l'excédent d'eau en « dégrossissage ».

A la sortie des décanteurs primaires, l'eau décantée s'écoule par surverse sur de simples déversoirs à seuil profilé en béton. Le niveau N_2 sur ces déversoirs est la variable régulatrice des siphons d'entrée d'eau, tandis que le niveau N_1 dans le canal d'alimentation constitue le niveau témoin pilote.

Entre les décanteurs primaires et les canaux d'aération, est prévu un grand canal dans lequel s'établit un niveau N_3. Pour les valeurs inférieures de N_3, tout le débit est absorbé par les canaux d'aération, jusqu'à concurrence de 20 000 m³/h. Au-dessus de cette valeur, un siphon évacuateur entre en service et règle un plan d'eau dans le canal avec un décrément de 0,10 m au débit maximal.

Le débit d'eau décantée ou d'eau dégrossie en excès aurait pu être restitué au Rhône par un simple déversoir; cependant, vu l'importance du débit à évacuer (70 000 m³/h), le développement de ce déversoir aurait dû être très important pour éviter un marnage notable du plan d'eau à l'amont des canaux d'aération. Or, toute perte de charge se traduit par un enfoncement des ouvrages aval, onéreux du fait de la cote de la nappe phréatique.

Nous avons donc préféré substituer au déversoir un siphon partialisé dont le décrément de réglage est beaucoup moindre, soit 0,10 m seulement.

Bassins d'aération :

L'admission des eaux dans les huit bassins d'aération se fait par vingt-quatre siphons régulateurs partialisés, soit trois régulateurs par bassin, ce qui permet l'obtention de plusieurs circuits hydrauliques dans les ouvrages.

Chaque bassin est divisé en trois canaux de rangs 1, 2, 3.

La sortie de la liqueur aérée, dirigée vers les décanteurs secondaires, s'effectue par trois déversoirs noyés. Les déversoirs des canaux de rangs 1 et 2 sont équipés chacun d'une bonde siphoïde à fonctionnement pneumatique faisant office d'obturateur.

L'emploi judicieux des régulateurs d'entrée et des bondes siphoïdes de sortie permet d'obtenir les schémas hydrauliques correspondant aux fonctionnements suivants :

— Série, parallèle, réaération, step aération, réaération et step.

Les siphons d'entrée ont pour fonction :

— l'obtention du schéma de fonctionnement choisi pour les trois canaux (en liaison avec les bondes siphoïdes de sortie);

— l'équirépartition automatique des eaux décantées dans les bassins d'aération, quels que soient le schéma de fonctionnement choisi et le nombre de bassins en service.

Les différents schémas de fonctionnement des canaux d'aération sont obtenus par la combinaison de trois circuits de pilotage, reliés chacun aux huit siphons homologués des huit bassins d'aération; enfin, les deux premiers bassins d'aération peuvent être expérimentés à débit constant (réglable) dans n'importe lequel des schémas de fonctionnement, un pilotage spécial étant prévu à cet effet.

Décanteurs secondaires.

Les huit décanteurs secondaires sont alimentés en liqueur aérée, à partir des bassins d'aération correspondants, par l'intermédiaire d'une grille de tranquillisation et d'équirépartition en béton armé.

La reprise des eaux épurées s'effectue par un ensemble de déversoirs métalliques crénelés. Des différences de niveau entre les déversoirs de chaque ouvrage (pouvant provenir d'un tassement des ouvrages) sont sans influence sur l'équirépartition des débits, réalisée uniquement par le pilotage des siphons d'entrée aux bassins d'aération.

Avantages de cette solution.

Tous les organes régulateurs sont étudiés de façon à pouvoir fonctionner :

— soit en servocommande automatique;

— soit en télécommande manuelle.

Ces dispositions confèrent à l'installation une très grande souplesse, et autorisent l'adaptation du schéma hydraulique à toutes les conditions de traitement.

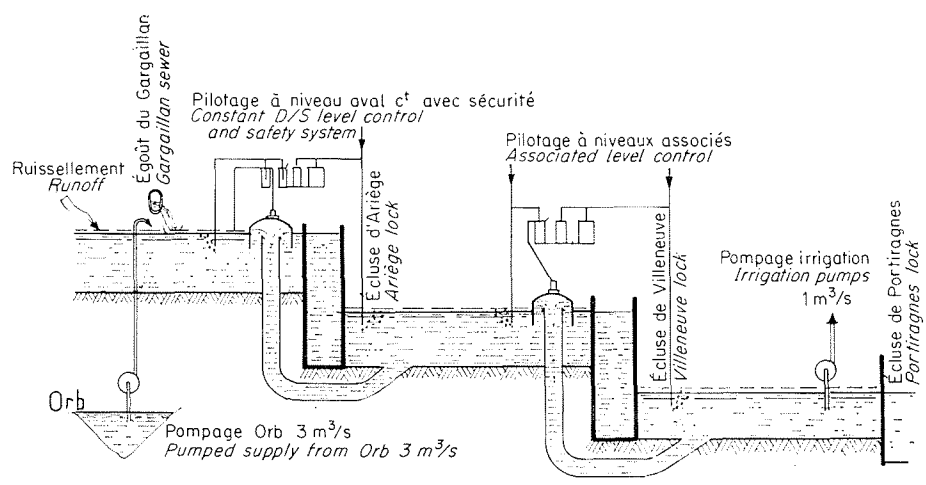
Aucun appareillage mécanique n'est immergé dans les canaux d'alimentation des ouvrages; ceci supprime toute nécessité d'intervention susceptible d'entraîner la vidange d'un canal d'alimentation et, par suite, l'arrêt complet de la station.

B - Irrigations : CNRBRL.

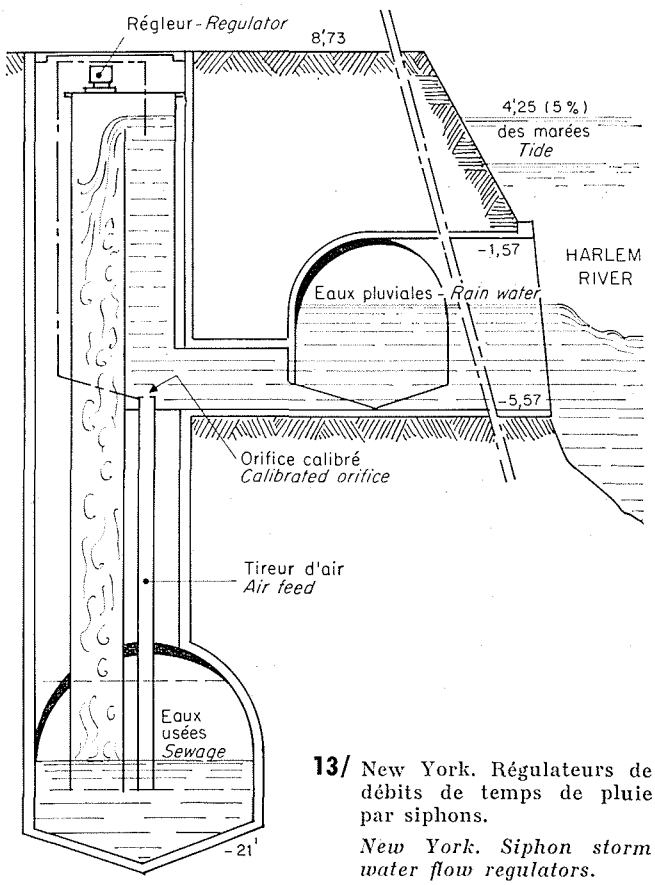
La Compagnie du Rhône et du Bas-Rhône-Languedoc se proposait d'utiliser le canal du Midi entre les écluses de Portiragnes, de Villeneuve et Ariège, comme canal de transit des eaux d'irrigation, en respectant cependant les normes de niveaux imposées par le Service de la Navigation.

Il se trouve que le premier des biefs peut recevoir un afflux considérable d'eaux de pluie (et d'égouts) provenant du ruisseau Gargaillan.

Les projets d'irrigation ont conduit à installer, d'une part, à l'amont, une pompe de 3 m³/s, pré-



12/ CNRBRL. Régulation du canal du Midi.
Canal du Midi regulation system.



13/ New York. Régulateurs de débits de temps de pluie par siphons.

New York. Siphon storm water flow regulators.

levant dans l'Orb, d'autre part, à l'aval, une usine de pompage pouvant appeler un débit de 1 m³/s qui sera porté à 2 m³/s.

Les rôles auxiliaires des trois biefs considérés sont donc au nombre de trois :

— « *l'écoulement* » des eaux sauvages (drainage qui relève de la méthode « commande par l'amont »);

— « *la mise en réserve* » de volumes d'eau pompés à l'amont pour l'irrigation (stockage avec variations de niveaux);

— « *le libre service* », où lesdites réserves sont mises à la libre disposition de l'usine de pompage située à l'aval (irrigation qui relève de la méthode « commande par l'aval »).

Pour obtenir ce résultat, les deux écluses d'Ariège et de Villeneuve ont été équipées d'un by-pass avec siphon circulaire. Un puits central en béton de diamètre 2,5 m constitue la branche aval principale du siphon et un couvercle en tôle de diamètre 4 m représente la hotte.

La chute est de l'ordre de 2 m et le débit maximal a été prévu à 3 m³/s. Un tireur d'air met la hotte en dépression. Chaque siphon est contrôlé par un pilote universel à trois capacités.

Pour l'équipement du siphon de l'écluse d'Ariège, la pression de référence est créée par bullage sous un niveau d'huile, placé à l'amont de l'écluse; le siphon règle ainsi un niveau constant à son aval : C'est sa mission principale.

Mais l'huile est contenue dans une capacité fermée, au-dessus de laquelle un tube conduit l'air (après bullage de référence) à proximité du niveau maximal du bief amont. Si le niveau du premier bief monte trop, il s'effectue un second bullage en série avec le premier, si bien que le niveau aval se trouve alors « associé » au niveau amont.

En outre, branchée à l'amont du bullage de référence, il y a, en parallèle avec lui, une dérivation plongeant sous le niveau du premier bief. Si ce niveau descend trop, cette dérivation se met à fonctionner et le niveau aval à descendre en-dessous de sa cote théorique.

Pour l'équipement du siphon de l'écluse de Villeneuve, le montage est plus simple, puisque le tube de référence plonge directement sous le niveau du second bief.

Dans ces conditions, les variations de niveau du troisième bief suivent celles du second : le siphon de Villeneuve règle une chute constante.

C - New York, siphons de crue sur collecteurs d'égouts.

Le réseau d'égouts de la City est construit en séparatif, il comporte des collecteurs superficiels, chargés du drainage des eaux de ruissellement, et des collecteurs profonds (intercepting sewers), recueillant les eaux usées.

Des communications des premiers aux seconds, équipées de vannes motorisées, sont prévues de place en place, leur rôle étant de détourner vers le réseau-vanne les fractions les plus polluées du réseau pluvial.

Ce dispositif, déjà préfiguré dans le projet Richet du début du siècle pour Saint-Petersbourg, correspond à une conception qui, pour être rationnelle, n'en est pas moins lourde de sujétions d'exploitation.

Les vannes motorisées se trouvent placées dans des conditions d'emploi très sévères et leur maintenance coûte cher.

Les égouts superficiels se déversant directement à la mer, le niveau libre y dépend donc simultanément du débit véhiculé, mais aussi des marées.

Le débit à soutirer sur l'égout superficiel est considéré comme constant; on pourrait d'ailleurs imaginer de le faire varier selon un critère lié à la pollution dans l'égout de surface.

Un siphon régulateur, à contrôle pneumatique, est en cours d'installation, à titre expérimental, pour régler ce problème.

Il comprend un siphon métallique, alimenté par une conduite prélevant le débit de fond du collecteur superficiel, et maintenu sous dépression par un tireur d'air dérivant une fraction du débit.

L'ensemble est prévu pour être installé dans un regard existant, sans aucune modification de génie civil.

Le débit sera contrôlé par un pilote maintenant une lame constante sur le déversoir, dans certaines limites de débit et de niveau dans le collecteur de surface.

L'appareil fonctionne sans aucun apport d'énergie extérieure.

Discussion

Président : M. Pierre Koch

Avant de donner la parole à M. Moan, M. le Président évoque la mémoire de M. Bezault, fondateur de la Société Générale d'Epuration et d'Assainissement et beau-père de M. Dufournet, président-directeur général de cette Société, qui, au début de la carrière de M. Koch dans l'assainissement, apparaissait comme l'une des toutes premières à s'être préoccupée de ces problèmes en France; compte tenu de cette ancienneté, elle se trouve aujourd'hui particulièrement qualifiée pour nous fournir des renseignements très précieux sur le sujet.

M. le Président, observant que la communication de M. Moan porte surtout sur les appareils de mesure et de régulation, souligne l'importance des mesures dans toute science appliquée, et notamment dans les prévisions et les vérifications. Il souligne aussi l'évolution de la technique des stations d'épuration : alors que, par exemple vers 1935, dans la première étape de réalisation de la station d'Achères, on recherchait les commodités d'exploitation en admettant une durée d'aération de six ou huit heures, actuellement, pour diverses raisons (économies de coût et de surface, etc.), on en est à rechercher des durées de l'ordre d'une heure et demie. Avec un tel changement d'échelle, c'est la notion du rendement qui prend la vedette et qui pose, à son tour, des problèmes de mesure et de régulation.

Après l'exposé de M. Moan, M. le Président remercie le conférencier et ouvre la discussion.

Sur la demande de M. Foulon, relative au débit maximal de siphons partialisés, M. Moan rappelle que le plus gros siphon à réaliser sera vraisemblablement le siphon autostable de l'installation de Genève, restituant au Rhône les débits d'eau excédentaires. Ce débit sera de l'ordre de 70 000 m³/h, c'est-à-dire de 25 m³/s. Dans le même ordre de grandeur, le siphon de Clichy, autostable et fonctionnant par les commissures, est prévu pour 20 m³/s. Dans le cas du Bas-Rhône-Languedoc, les siphons assurant la transmission de la régulation peuvent donner chacun 3 m³/s et, dans le cas de Gênes, le siphon d'entrée est prévu pour un débit de 2 m³/s. Dans le sens inverse, on peut descendre à des débits extrêmement réduits : une dizaine de litres par seconde dans les applications de filtres.

M. le Président reconnaît l'intérêt que peut présenter l'application des siphons à la surverse de Richer; alors que l'achoppement des voies et moyens avait freiné l'essor du système en cause, on retrouve ainsi celui-ci avec un large décalage dans le temps.

M. le Président remercie MM. Dufournet, Moan et Foulon.