

**Fonds National pour le Développement  
des Adductions d'Eau**

**LES NOUVELLES TECHNIQUES  
DE TRANSPORT D'EFFLUENTS**



**ASSAINISSEMENT SOUS PRESSION  
ASSAINISSEMENT SOUS VIDE**

**Document Technique**

**F N D A E**

**N° 17**



*Eau 02282*

ministère de l' **agriculture** et de la **pêche**

**DIRECTION DE L'ESPACE RURAL  
ET DE LA FORÊT**

Sous-Direction du Développement Rural  
19, avenue du Maine - 75015 Paris

DOCUMENTATION TECHNIQUE  
**F N D A E**

Fonds National pour le Développement  
des Adductions d'eau

Juin 1995

**CEMAGREF - DICOVA**

**B.P. 22**

**92162 ANTONY CEDEX**

# **LES NOUVELLES TECHNIQUES DE TRANSPORT D'EFFLUENTS**

**Bernard Brémond**  
**CEMAGREF groupement de Bordeaux**  
50, avenue de Verdun - 33612 Cestas Cedex

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les " copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective " et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, " toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite " (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).  
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Les nouvelles techniques de transport d'effluents -1995- B. Brémond -1<sup>re</sup> édition, ISBN. 2-11-088781-8 Dépôt légal 1<sup>er</sup> trimestre 1995 - Documentation technique FNDAE n° 17 - Photos : CEMAGREF - Dessins : J. Bonnet et F. Guillon CEMAGREF - Maquette réalisée par F. Guillon CEMAGREF - Imprimeur SPEED IMPRESSION - 39, rue du Breteil 33326 EYSINES Cedex - Edition : CEMAGREF Bordeaux, 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex.

# SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCTION</b>  | <b>5</b>  |
| <br><b>CHAPITRE I : ASSAINISSEMENT SOUS PRESSION A FONCTIONNEMENT ALEATOIRE</b>                                  |           |
| <b>1 - PRINCIPE GENERAL</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2 - LE DEBIT DES POMPES EST CALE SUR LE DEBIT DE POINTE ARRIVANT DANS LE POSTE</b>                            | <b>7</b>  |
| 2 - 1 Principe   | 7         |
| 2 - 2 Exemple du réseau de Neuvic (Dordogne)   | 7         |
| <b>3 - LES CAPACITES INSTANTANEEES DE REFOULEMENT SONT SUPERIEURES AU DEBIT DE POINTE ARRIVANT DANS LE POSTE</b> | <b>9</b>  |
| 3 - 1 Principe   | 9         |
| 3 - 2 Avantages et inconvénients du système  | 9         |
| 3 - 3 Composants du système  | 9         |
| 3 - 4 Entretien et renouvellement  | 11        |
| 3 - 5 Consommation d'énergie   | 11        |
| 3 - 6 Calcul et Dimensionnement  | 11        |
| 3 - 7 Limites du système   | 12        |
| 3 - 8 Exemple du réseau de St Trojan (Charente Maritime)   | 12        |
| <br><b>CHAPITRE II : ASSAINISSEMENT SOUS PRESSION A FONCTIONNEMENT COORDONNE</b>                                 |           |
| <b>1 - PRINCIPE GENERAL</b>  | <b>15</b> |
| <b>2 - ASSAINISSEMENT COORDONNE AVEC DES POMPES CLASSIQUES</b>   | <b>15</b> |
| 2 - 1 Intérêt du système   | 15        |
| 2 - 2 Installation des postes, protection anti-bélier  | 15        |
| 2 - 3 Les différents procédés de coordination  | 15        |
| 2 - 4 Dimensionnement d'un système coordonné   | 16        |
| 2 - 5 Exemple du réseau de Kourou (Guyane)   | 18        |
| 2 - 6 Exemple du réseau du syndicat d'assainissement de Miribel-Neyron (Ain)                                     | 20        |
| <b>3 - ASSAINISSEMENT COORDONNE AVEC DES POMPES DILACERATRICES</b>   | <b>23</b> |
| 3 - 1 Intérêt du système   | 23        |
| 3 - 2 Exemple du réseau de Lamothe (Gironde)   | 23        |
| <br><b>CHAPITRE III : LES AERO-EJECTEURS</b>   |           |
| <b>1 - PRINCIPE GENERAL ET HISTORIQUE</b>  | <b>25</b> |
| <b>2 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT</b>  | <b>25</b> |
| <b>3 - AVANTAGES ET LIMITES</b>  | <b>26</b> |
| 3 - 1 Avantages  | 26        |
| 3 - 2 Limites  | 26        |
| <b>4 - DOMAINE D'APPLICATION</b>   | <b>26</b> |
| <b>5 - DESCRIPTION DES APPAREILS DE RELEVAGE</b>   | <b>26</b> |
| 5 - 1 Système à distributeur mécanique d'air comprimé  | 26        |
| 5 - 2 Système à commande pneumatique   | 27        |
| 5 - 3 Les dispositifs particuliers   | 27        |
| 5 - 4 Caractéristiques et installations des appareils  | 27        |
| <b>6 - PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE L'AIR COMPRI ME</b>   | <b>28</b> |

|  |    |
|--|----|
| 6 - 1 Centrale de compression  | 28 |
| 6 - 2 Transport de l'air comprimé  | 28 |
| 7 - MISE EN SERVICE  | 28 |
| 7 - 1 Réglage et mise en route   | 28 |
| 7 - 2 Essais   | 28 |
| 8 - ENTRETIEN ET RENOUELEMENT  | 29 |
| 8 - 1 Compresseur  | 29 |
| 8 - 2 Aéro-éjecteurs   | 29 |
| 9 - CONSOMMATION D'ENERGIE   | 29 |
| 10 - CALCUL ET DIMENSIONNEMENT   | 29 |
| 10 - 1 Réseau de refoulement   | 29 |
| 10 - 2 Air comprimé  | 30 |
| 11 - EXEMPLES  | 31 |
| 11 - 1 Réseau du domaine universitaire de Saint Martin d'Hères et Gières (Isère) | 31 |
| 11 - 2 Réseau de Heugleville-sur-Scie (Seine Maritime)                           | 32 |

#### CHAPITRE IV : ASSAINISSEMENT SOUS VIDE

|  |    |
|--|----|
| 1 - PRINCIPE GENERAL   | 35 |
| 2 - SITUATION DE L'ASSAINISSEMENT SOUS VIDE EN FRANCE                  | 35 |
| 3 - SYSTEMES D'ASPIRATION  | 36 |
| 3 - 1 Les vannes ou valves   | 36 |
| 3 - 2 Les contrôleurs ou activateurs                                   | 36 |
| 3 - 3 Les bâches de transfert  | 36 |
| 3 - 4 Les canalisations  | 36 |
| 3 - 5 La centrale de vide  | 37 |
| 4 - EXIGENCES NORMATIVES   | 37 |
| 5 - DOMAINE D'EMPLOI DE L'ASSAINISSEMENT SOUS VIDE                     | 38 |
| 6 - EXPLOITATION ET MAINTENANCE  | 38 |
| 6 - 1 Généralités  | 38 |
| 6 - 2 Exemple d'exploitation   | 38 |
| 7 - DIMENSIONNEMENT DU RESEAU  | 40 |
| 7 - 1 Disposition générale   | 40 |
| 7 - 2 Débit à prendre en compte  | 40 |
| 7 - 3 Calcul des pertes de charge et dimensionnement des canalisations | 40 |
| 7 - 4 Limites du système   | 41 |
| 8 - DIMENSIONNEMENT DE LA STATION DE VIDE                              | 41 |
| 8 - 1 Pompes de refoulement  | 41 |
| 8 - 2 Pompes à vide  | 41 |
| 8 - 3 Cuve de stockage et de réserve de vide                           | 42 |
| 9 - EXEMPLE DE CALCUL  | 43 |
| 10 - EXEMPLE DE RESEAUX  | 43 |
| 10 - 1 Exemple du réseau d'Arbonne-la-Forêt (Seine et Marne)           | 43 |
| 10 - 2 Exemple du réseau de St Macaire (Gironde)                       | 45 |
| CONCLUSION   | 47 |
| BIBLIOGRAPHIE  | 49 |
| ANNEXES  | 51 |

# INTRODUCTION

**P**endant plusieurs dizaines d'années, le gravitaire a constitué la seule technique autour de laquelle se sont développés les projets d'assainissement. Cependant, deux raisons ont permis l'émergence de nouveaux procédés où la pesanteur est abandonnée au profit d'autres formes d'énergie : électricité, air comprimé ou force atmosphérique :

- dans certaines circonstances, un décalage est apparu entre les besoins d'assainissement des collectivités et les possibilités offertes par les solutions standardisées trop coûteuses ou techniquement insuffisantes ;
- au fil des années, le coût des travaux d'assainissement gravitaire a dû prendre en compte les exigences croissantes sur la qualité de pose, évaluée notamment par les tests d'étanchéité.

L'objet de ce cahier technique est de présenter les nouvelles techniques de transport d'effluents et de dégager leurs principaux domaines d'application.

Il s'adresse aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'oeuvre qui sont confrontés à des problèmes de mise en place de réseaux d'assainissement dans des conditions difficiles et qui recherchent une solution alternative à la technique gravitaire. Il décrit les différents procédés disponibles en France et les dispositifs technologiques qui y sont attachés.

Les procédés abordés dans ce document relèvent de deux grands types de technique :

- l'assainissement sous pression,
- l'assainissement sous vide.

L'assainissement sous pression est le procédé qui présente le plus grand nombre de variantes, en fonction :

- de la nature des dispositifs de mise en pression :
  - les pompes d'assainissement classiques,
  - les pompes d'assainissement à dispositifs dilacérateurs,
  - les aéro-éjecteurs ;
- du mode de fonctionnement, c'est-à-dire de la possibilité pour les dispositifs de mise en pression de fonctionner indépendamment ou non les uns des autres :
  - fonctionnement aléatoire,
  - fonctionnement coordonné.

Ce document présente les exigences normatives dans le domaine des réseaux sous pression à fonctionnement aléatoire ainsi que dans celui des réseaux sous vide, telles qu'elles se dégagent des travaux de normalisation européenne à la date de sortie de ce document. Certains détails sont donc susceptibles d'évoluer d'ici à la publication définitive des normes.

Des méthodes de calcul sont présentées pour chacun des procédés, afin de permettre au maître d'oeuvre d'aborder lui-même le dimensionnement des ouvrages et de pouvoir ainsi avoir des échanges plus fructueux avec les entreprises spécialisées. Il ne faut pas perdre de vue, cependant, que ces méthodes manquent de validation expérimentale.

Enfin les problèmes des coûts d'investissement et de fonctionnement sont abordés au travers d'exemples de réalisation. Les chiffres, résultant de conditions particulières locales, seront à considérer avec précaution par le lecteur.



# ASSAINISSEMENT SOUS PRESSION A FONCTIONNEMENT ALEATOIRE

---

## 1 - PRINCIPE GENERAL

**L**es postes de refoulement, situés à l'aval des bassins de collecte, sont branchés sur un réseau de canalisations ramifiées, c'est-à-dire un réseau qui ne comporte pas de maille (on dit également arborescent) ayant à l'aval une extrémité unique pouvant être une station d'épuration, un poste de refoulement, un regard de réseau gravitaire. On dit que le fonctionnement d'un tel système de refoulement est aléatoire si le déclenchement d'un poste est indépendant de l'état des autres postes. En général, cette mise en route intervient lorsqu'un niveau haut est atteint, mais le fonctionnement peut être également commandé par horloge, de façon à limiter le temps d'arrêt des pompes à une valeur maximum.

Ainsi, le nombre de postes de refoulement en fonctionnement simultané est aléatoire. Les pressions et les débits de refoulement varient à chaque poste en fonction des différentes combinaisons rencontrées. Cette variation des points de fonctionnement peut présenter des inconvénients majeurs si elle n'a pas été prévue.

Il y a deux façons de procéder pour concevoir ces systèmes :

- le débit des pompes est calé sur le débit de pointe arrivant dans le poste et on étudie les différentes situations de fonctionnement de façon à dimensionner les diamètres et choisir les pompes à mettre en place ;
- on met en place des capacités instantanées de refoulement largement supérieures aux débits de pointe arrivant dans les postes de telle façon que, même en période de pointe, le fonctionnement d'une pompe soit de courte durée. On peut ainsi définir une probabilité de fonctionnement pour chacun des postes et dimensionner les conduites en fonction de situations probables, ce qui permet d'éliminer un grand nombre de configurations ayant très peu de chances d'être rencontrées.

## 2 - LE DEBIT DES POMPES EST CALE SUR LE DEBIT DE POINTE ARRIVANT DANS LE POSTE

### 2 - 1 - Principe

Toutes les situations peuvent se présenter entre le fonctionnement d'une pompe seule et celui simultané de toutes les pompes. La stabilisation des points de fonctionnement est la principale difficulté de la méthode, c'est pourquoi les systèmes de ce type, équipés de postes traditionnels, ont été réservés à des réseaux ne comportant que peu de postes. Le fonctionnement de la plupart de ces réseaux est progressivement coordonné (cf. chap. 2).

La stabilisation du point de fonctionnement s'effectue en général par addition d'une perte de charge singulière. Les variations engendrées par les changements de configurations de pompage sont alors relativement moins importantes. L'utilisation d'une vanne est à proscrire avec des pompes classiques, les risques de bouchage étant trop grands. Dans le cas des pompes équipées de dispositifs dilacérateurs, il est possible de concentrer les pertes de charge dans un tronçon de faible diamètre (63/75) entre le poste de refoulement et le raccordement à la canalisation principale. D'une longueur de quelques dizaines de mètres, ce tronçon est posé dans la même tranchée que la conduite principale.

### 2 - 2 - Exemple du réseau de Neuvic sur l'Isle (Dordogne)

MAITRE D'OUVRAGE : Commune de Neuvic sur l'Isle

MAITRE D'OEUVRE : Bureau d'étude SOCAMA S.A. (33)

CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION

Il s'agissait de raccorder le centre de détention du But (550 équivalent-habitants), nouvellement construit, au réseau séparatif existant, distant de 2670 m, en prenant en compte l'assainissement de 6 écarts, situés non loin de la canalisation à poser.

## PROCEDURE DE DEVOLUTION

### Appel d'offres avec concours

#### SOLUTIONS ENVISAGEES ET CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA SOLUTION RETENUE

La solution gravitaire a été jugée trop coûteuse. Le projet adopté est un système par pompage aléatoire. Il comprend :

- 6 postes de refoulement équipés de pompes Flygt Grinder M 3085, situés aux points 1, 2, 3, 4, 5, et 7 du plan ;
- 1 poste de refoulement équipé d'une pompe Guinard ER 1352 SC 614 au point 6 ;
- 670 m de PVC Ø 63/75 10 bars à joint ;
- 2000 m de PVC Ø 126<sup>6</sup>/140 10 bars à joint.

Chaque pompe a été choisie en fonction du débit de pointe du secteur qu'elle assainit. Ce débit varie de 1 à 3 m<sup>3</sup>/h aux points 1, 2, 3, 4, 5 et 7, le débit du centre de rétention étant de 43 m<sup>3</sup>/h.

Les courbes caractéristiques des pompes permettent le refoulement simultané de tous les postes. Chaque pompe peut fonctionner seule sans que le point de fonctionnement soit en dehors de la zone permise par le constructeur. Cette condition a été atteinte en utilisant la technique décrite au paragraphe précédent.

Des ventouses eaux usées ont été placées aux points hauts du profil en long.

La télésurveillance du poste 6 est assurée par le réseau autocommuté.

#### COUT (1990) :

- 800 kF TTC la canalisation de refoulement et le poste 6 ;
- 500 kF TTC les 6 autres postes restants et leurs raccordements amont.

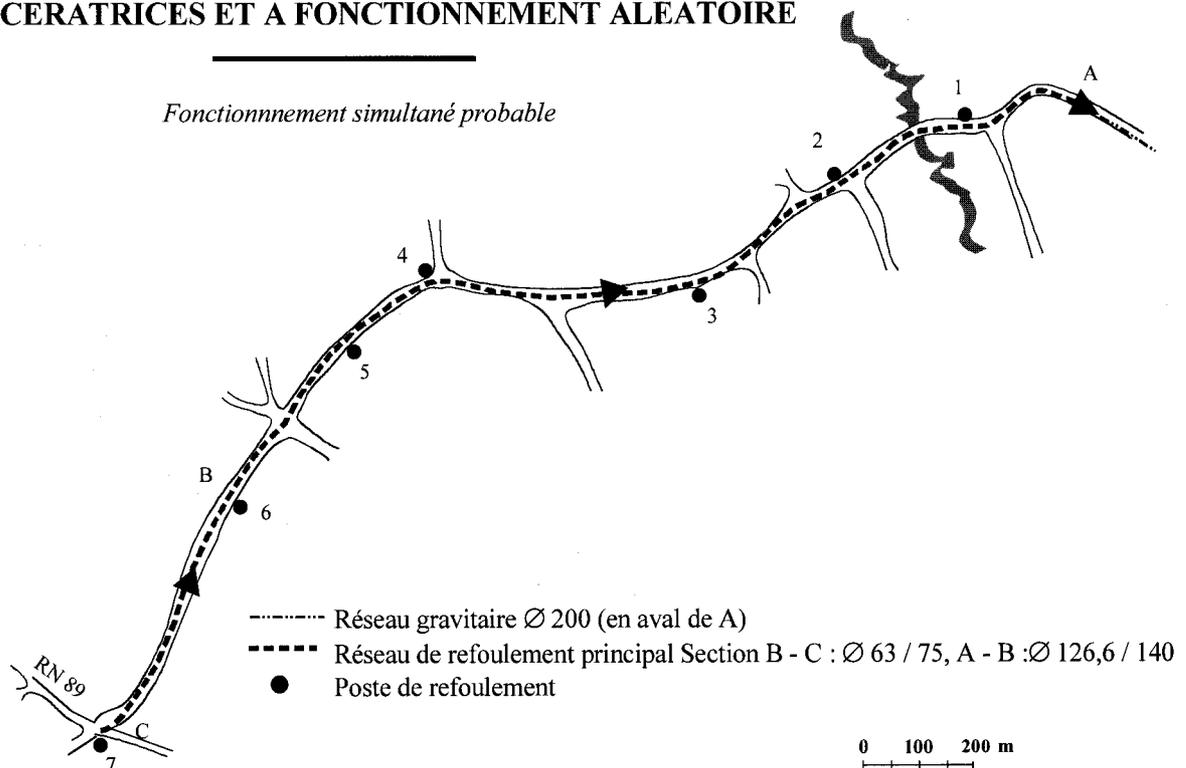
#### NOM DES ENTREPRISES :

- Electromécanique : ETM 24260 Le Bugue
- Terrassement : Ets Laurière 24400 St Front de Pradoux

Commune de Neuvic sur l'Isle - 24 -

## RESEAU SOUS PRESSION EQUIPE DE POMPES DILACERATRICES ET A FONCTIONNEMENT ALEATOIRE

*Fonctionnement simultané probable*



d'après document SOCAMA

### 3 - LES CAPACITES INSTANTANEEES DE REFOULEMENT SONT SUPERIEURES AU DEBIT DE POINTE ARRIVANT DANS LE POSTE

#### 3 - 1 - Principe

Afin de maîtriser les conditions aléatoires de fonctionnement, on conçoit le système pour que la situation d'avoir plus de 2 pompes en fonctionnement simultanément à l'amont d'un tronçon ait une probabilité d'occurrence faible, de l'ordre de 5 %. Cela suppose que les débits de pompage installés soient largement supérieurs aux débits maximums des effluents. Le dimensionnement des canalisations du tronçon est effectué en prenant pour débit de projet le débit maximum correspondant à 2 postes (au plus) fonctionnant simultanément.

Malgré l'importance de l'équipement de pompage qu'ils nécessitent, ces systèmes se révèlent économiquement intéressants chaque fois qu'ils permettent des économies importantes sur le réseau. C'est pourquoi on les trouve associés à des pompes dilacératrices (cf. paragraphe 3-3), permettant l'utilisation de canalisations de petit diamètre.

#### 3 - 2 - Avantages et inconvénients du système

Les avantages sont ceux liés à la technique des refoulements sous pression en général vis-à-vis des contraintes de topographie. Les petits diamètres utilisés, liés à la présence des pompes dilacératrices, permettent de limiter les travaux de terrassement, d'éviter les rabattements de nappe.

Le système nécessite une capacité de pompage de 50 à 100 fois le débit de l'effluent, mais ce surdimensionnement se traduit par des temps de fonctionnement réduits donc un renouvellement du matériel moins fréquent (cf. paragraphe 3.4). La similitude des pompes mises en place facilite l'exploitation.

#### 3 - 3 - Composants du système

##### *Les postes*

Les installateurs proposent des modules préfabriqués en polyester ou en béton. Les éléments en polyester ne sont pas utilisés sous chaussée. Les tampons en plastique sont à réserver au domaine privé.

La norme européenne en préparation [ PR NF EN 1671, 1994], prévoit d'exiger un volume tampon de 60 % du volume journalier de pointe. Les postes préfabriqués, qui présentent

généralement un volume tampon de l'ordre de 800 litres, sont suffisamment dimensionnés pour recevoir les effluents de trois maisons en prenant les hypothèses suivantes : 150 litres d'effluent par habitant et par jour de pointe, 3 habitants par maison. Le volume de travail dans le poste est petit (de l'ordre de 100 litres). La sédimentation doit être limitée en utilisant des profils de fond de cuve adaptés. La régulation est généralement assurée par des contacteurs à flotteur.

L'ouvrage est étanche et conçu pour résister à la poussée d'Archimède en cas de remontée de la nappe.

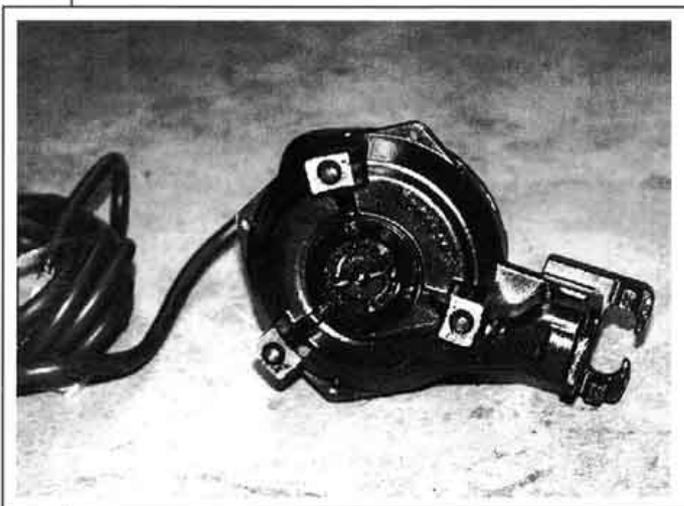
Le passage des canalisations doit être réalisé de telle façon qu'il assure l'étanchéité et la désolidarisation mécanique de l'ouvrage et du tuyau. L'étanchéité est également assurée au niveau des traversées des différents câbles.

Les accessoires hydrauliques situés sur la conduite de refoulement comprennent un clapet anti-retour et une vanne de sectionnement conçus pour les eaux usées. Le clapet anti-retour, par exemple un clapet à boule revêtu d'élastomère, sera placé en position verticale si la pression statique après arrêt des pompes est inférieure à 2 m.

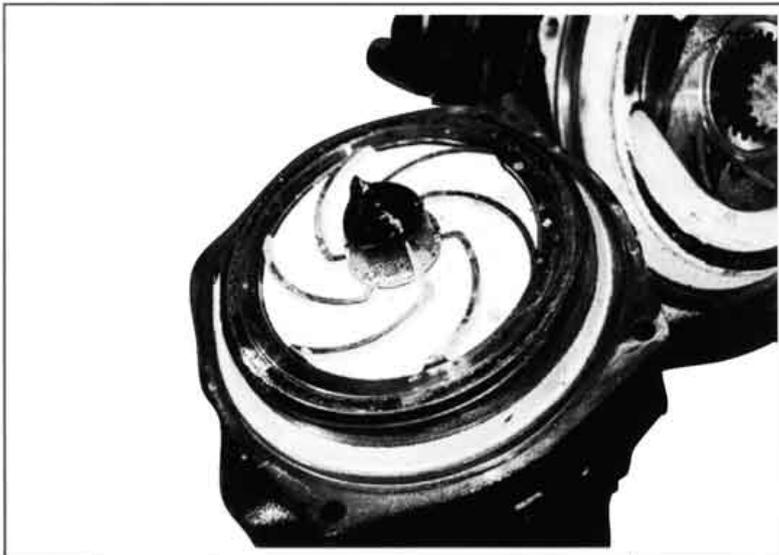
##### *Les pompes*

Les pompes possèdent un dispositif dilacérateur, permettant de broyer finement les corps solides présents dans l'effluent. Les débits pompés varient généralement de 2 à 3 l/s pour des hauteurs de refoulement de 15 à 20 m et les puissances sont voisines de 2 kW. Les courbes caractéristiques sont verticales, ce qui rend le fonctionnement peu sensible aux variations manométriques.

Les pompes sont montées sur pied d'assise ou sur étrier.



*Entrée de pompe dilacératrice*



*Roue et dispositif dilacérateur*

### **Le réseau**

Le réseau est ramifié. Les canalisations ont un diamètre minimum de 56 mm. Pour limiter les risques de colmatage, on évitera les coudes et les raccordements brusques ainsi que la technique du thermocollage au miroir sur le PEHD qui laisse une collerette à l'intérieur de la canalisation ; il faut utiliser des jonctions mécaniques ou thermosoudables.

La vitesse minimum à respecter est de 0,7 m/s.

En terrain plat, le profil fera apparaître des pentes artificielles, les points bas étant équipés de vidanges, les points hauts de ventouses.

### **L'alimentation électrique**

L'alimentation monophasée est à proscrire en raison du couple nécessaire au démarrage d'une pompe dilacératrice. Le concepteur et l'exploitant peuvent s'interroger quant à l'éventuelle mise en place d'un réseau propre de distribution d'énergie électrique basse tension. Le concepteur devra choisir entre :

- une alimentation par le distributeur local en quelques points et la mise en place d'un réseau propre de distribution B.T.,
- une alimentation par le distributeur local de chacune des installations.

Pour réaliser cette opération, il s'agit de rechercher un compromis entre les coûts initiaux d'alimentation des postes, les coûts de fonctionnement annuels (achat d'énergie) et les contraintes locales. Pour ce faire, la consultation au préalable du distributeur est utile. L'annexe I-a présente un exemple de calcul comparatif entre ces deux types de solutions.

Au cas où la mise en place d'un réseau propre d'alimentation électrique est retenue, il convient de

solliciter une permission de voirie pour lignes particulières de distribution d'énergie électrique (loi du 15 Juin 1906, modifiée par la loi du 25 Février 1925).

La demande est à déposer auprès du Service du Contrôle des Distributions d'Énergie Électrique de la Direction Départementale de l'Équipement. Elle comprend :

- une demande (imprimé type disponible auprès de ce service),
- un plan général de l'installation,
- un mémoire descriptif indiquant :
  - . la durée pour laquelle la permission de voirie est demandée (30 ans maximum),
  - . l'origine du courant,
  - . les plans et les caractéristiques techniques du câble souterrain ainsi que la nature du système de protection.

Le service chargé de l'instruction du dossier consultera les services intéressés : Mairie(s), Subdivision (s) D.D.E, France Télécom, E.D.F. (ou le distributeur local si Régies ou S.I.C.A.E.), le gestionnaire des réseaux de gaz, d'eau et d'assainissement. Un délai de 3 à 4 mois est à prévoir avant l'obtention de l'autorisation.

La procédure de permission de voirie est à entreprendre pendant la phase de conception du système et non pas au moment des travaux, bien que l'autorisation soit en général acceptée s'il n'y a pas de risque de confusion avec les lignes existantes de distribution d'électricité.

La mise en place de la ligne s'effectue selon les prescriptions de l'arrêté technique du 2 Avril 1991 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique. En particulier, la pose est réalisée si possible sous fourreau afin de faciliter l'exploitation future. Une distance de 20 cm avec la conduite de refoulement doit être respectée.

La puissance disponible et la section des câbles doivent permettre le fonctionnement simultané de tous les postes, situation qui peut intervenir après une panne générale de courant.

Il est recommandé de prévoir une remontée du câble d'alimentation dans chacune des armoires de commande. Cette disposition facilite la localisation d'une défaillance sur le câble ainsi que le dépannage momentané par la mise en place d'un câble en surface.

### **Les dispositifs de chasses**

Il permettent d'intervenir sur le réseau soit pour déboucher les canalisations ou diminuer les dépôts

qui s'y seraient accumulés, soit pour raccourcir les temps de séjour dans des systèmes où la distribution est très inégale dans le temps : zones de résidences secondaires, de camping... La vitesse minimale résultant d'une chasse doit être de 0,7 m/s.

Ils sont localisés, pour une efficacité maximum, sur chacune des branches du réseau tous les 300 mètres environ. Ils sont constitués par un té équipé d'une vanne et d'un raccord rapide.

On peut également disposer des prises pompier sur les vidanges de façon à pouvoir intervenir sur le réseau avec un hydro-cureur.

### Le regard d'extrémité

Afin de combattre la formation d' $H_2S$ , il peut être prévu, à l'aval du système, un regard étanche en polyéthylène ou en fibre polyester, dans lequel l' $H_2S$  s'oxyde en  $H_2SO_4$ . Le raccordement à l'ouvrage à protéger, poste de relèvement, réseau gravitaire, s'effectue par une liaison gravitaire en PVC d'une longueur de 20 m environ, dans laquelle l'oxygénation est complétée.

### 3 - 4 - Entretien et renouvellement

Les réseaux sous pression à fonctionnement aléatoire sont relativement récents, il est donc difficile d'apprécier les sujétions dans ce domaine. La fréquence de renouvellement des pompes semble pouvoir être rallongée en raison de leur faible sollicitation : moins d'une heure par jour.

E. Loncke [Loncke, 1990] a dressé un bilan après 18 mois d'exploitation d'un réseau de ce type, installé à Clairmarais dans le Pas de Calais (District de St Omer) et dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

- 92 habitations assainies, réparties sur 1250 m,
- 13 postes de refoulement,
- deux raccordements électriques.

Sur une année, le coût par habitation a été de 227 F, sur la base des interventions et des dépenses annuelles suivantes :

- inspection et entretien préventif des postes d'injection et de l'équipement électromécanique 2 fois par an (1,5 h) : ..... 6000 F
- curage des postes d'injection
- 1 fois par an (0,5 h) : ..... 1200 F
- entretien du réseau : non prévu
- énergie : prime fixe : 2 x 758 F plus consommation 4120 kWh à 0,5 F : ..... 3576 F
- provision annuelle pour renouvellement des pompes tous les 15 ans : ..... 10070 F

### 3 - 5 - Consommation d'énergie

On estime entre 150 et 300 Wh/m<sup>3</sup> l'énergie nécessaire à une pompe dilacératrice suivant le modèle et les conditions dans lesquelles elle travaille (hauteurs manométriques comprises entre 10 et 20 m). Sur la base de 100 m<sup>3</sup> d'effluent par habitation (3 habitants) et par an, cela représente entre 5 kWh/an/habitant et 10 kWh/an/habitant.

### 3 - 6 - Calcul et Dimensionnement

#### Définition de la probabilité de fonctionnement

La probabilité de fonctionnement d'un poste est le rapport entre le débit de pointe  $Q_{e_{max}}$  arrivant dans le poste et le débit de pompage de ce poste  $Q_s$  :

$$p = Q_{e_{max}} / Q_s$$

Elle peut s'interpréter comme le rapport, au cours de la période de pointe, entre le temps de fonctionnement et la durée de cette période. Par exemple, une probabilité de 0,1 représente un temps de fonctionnement de une minute pour une période de pointe de dix minutes.

#### Calcul des probabilités de fonctionnement simultané des postes

Considérons un tronçon à l'aval de N postes ayant des probabilités identiques de fonctionnement p. La probabilité pour qu'il y ait n postes en fonctionnement simultané qui refoulent dans ce tronçon est égale à l'expression :

$$P(n) = C_n^N p^n (1-p)^{N-n} \quad (I-1)$$

Cela traduit que n postes, choisis au hasard parmi N, fonctionnent alors que N - n postes sont arrêtés.

En cumulant entre 0 et n les probabilités P(i) obtenues par l'équation (I-1), on obtient la probabilité PP(n) pour qu'il y ait au plus n postes refoulant simultanément :

$$PP(n) = \sum_{i=0}^n P(i) = \sum_{i=0}^n C_i^N p^i (1-p)^{N-i} \quad (I-2)$$

On en déduit la probabilité pour qu'il y ait plus de n postes en fonctionnement simultané, égale à 1 - PP(n).

Nous avons vu au paragraphe 3-1 que n était limité à 2. On détermine la probabilité de fonctionnement p, compte tenu des valeurs  $Q_{e_{max}}$  de projet et de la pompe choisie qui fixe  $Q_s$ , puis on calcule la valeur correspondante de PP(2) qui doit être égale ou supérieure à 0,95. Ce seuil est donné à titre indicatif ; le projeteur pourra éventuellement choisir une valeur différente en

fonction des conditions particulières de son projet. Si PP(2) est inférieure au seuil choisi, il faudra diminuer la probabilité de fonctionnement p, soit en multipliant le nombre de postes c'est-à-dire en diminuant  $Q_{e_{max}}$ , soit en choisissant des pompes plus grosses, ce qui revient à augmenter  $Q_s$ . Cette possibilité a cependant des limites, compte tenu des débits maximums des pompes pourvues d'un système dilacérateur et disponibles sur le marché.

Le lecteur trouvera en annexe I-b quelques courbes représentant P(n) pour un nombre total N de pompes égal à 10 et différentes probabilités p de fonctionnement variant de 0,01 à 0,15.

Des tableaux donnant PP(n) pour différentes valeurs de N et p sont présentés en annexe I-c. Une ligne brisée de couleur bleue identifie les configurations telles que 1 - PP(2) soit inférieur à 5 %. Le nombre maximum de pompes N correspondant à 2 postes au plus fonctionnant simultanément à ce seuil de 5 % est également repéré en bleu.

### Calcul hydraulique

Le calcul tiendra compte des deux situations probables rencontrées sur le réseau : 1 seule pompe en fonctionnement et deux pompes refoulant simultanément.

Il existe un grand nombre de configurations différentes de deux pompes parmi l'ensemble des postes N :

$$\frac{N \times (N - 1)}{2}$$

et il est difficile de les examiner de façon exhaustive. Le projeteur devra imaginer les configurations les plus contraignantes : par exemple, en terrain plat, les deux pompes choisies seront les plus éloignées sur chacune des branches. En terrain accidenté, les configurations les plus défavorables sont difficiles à déterminer. Il faut combiner le facteur éloignement (pertes de charge) et le facteur dénivelée.

Le régime hydraulique consécutif au fonctionnement d'une ou deux pompes pourra être facilement obtenu grâce à une programmatrice de poche permettant de calculer les pertes de charge de proche en proche ou bien à l'aide d'un programme d'analyse de réseau comme le logiciel ZOMAYET du CEMAGREF.

Il faut vérifier a posteriori la validité de la valeur de p. En effet, si le débit des pompes chute de manière importante, la probabilité de fonctionnement augmente dans les mêmes proportions ce qui remet en cause le calcul effectué précédemment.

### 3 - 7 - Limites du système

Elles découlent directement des valeurs des paramètres p, n et 1-PP(n) :

p dépend :

- du débit d'arrivée dans les postes donc des conditions particulières du projet ;
- du débit maximal des pompes donc des possibilités technologiques ;

n et 1-PP(n) sont des paramètres fixés par le projeteur (cf. paragraphe précédent).

Le tableau ci-dessous présente les limites du système dans les conditions suivantes :

- le débit des pompes  $Q_s$  est égal à 2 l/s,
- le nombre maximum autorisé de pompes en fonctionnement simultané avec une probabilité de dépassement de 0,05 est égal à 2 :  
 $n = 2$   
 $1-PP(2) < 0,05$
- le débit de pointe des effluents par maison est de 0,0125 l/s.

| Nombre de maisons par postes  | 2 maisons | 5 maisons | 10 maisons |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|
| Probabilité de fonctionnement | 0,0125    | 0,031     | 0,06       |
| Nombre maximum de maisons     | 130       | 140       | 140        |

### 3 - 8 - Exemple du réseau de St Trojan (Charente Maritime)

MAITRE D'OUVRAGE : Ville de St Trojan

MAITRE D'OEUVRE : DDE de Charente Maritime

CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION

La commune de St Trojan est située dans l'île d'Oléron. La zone à assainir se trouve Avenue des Bouillats, le long du CD 126 entre la forêt domaniale au sud et le marais au nord qui est directement en liaison avec le bassin ostréicole de Marennes-Bourcefranc. Sa longueur est de 1300 mètres environ avec un écart maximal de cote de 1,50 m ; les constructions sont situées unilatéralement.

Le fond des parcelles, où se trouvent les installations des riverains (fosses septiques, fosses étanches, puits filtrants), se situe en contrebas de la voie avec une dénivelée comprise entre 1 et 3,5 m.

La niveau de la nappe phréatique s'établit entre - 1 m et - 2 m en bordure du CD 126 et entre - 0,5 m et - 1 m en fond de parcelles.

Le nombre de propriétés à desservir est d'environ une cinquantaine au moment du projet, une centaine à terme.

#### PROCEDURE DE DEVOLUTION

Appel d'offres avec concours

#### SOLUTIONS ENVISAGEES

Une solution gravitaire sous le CD 126 conduit à des profondeurs variables de - 1,2 m à - 3,5 m et à la mise en place de deux postes de refoulement raccordés à chaque extrémité sur les réseaux gravitaires existants. Le coût de cette solution est très élevé car les travaux sont effectués dans le sable bouillant et la nappe phréatique. Le raccordement des riverains présente pour les mêmes raisons des difficultés importantes.

#### CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA SOLUTION RETENUE

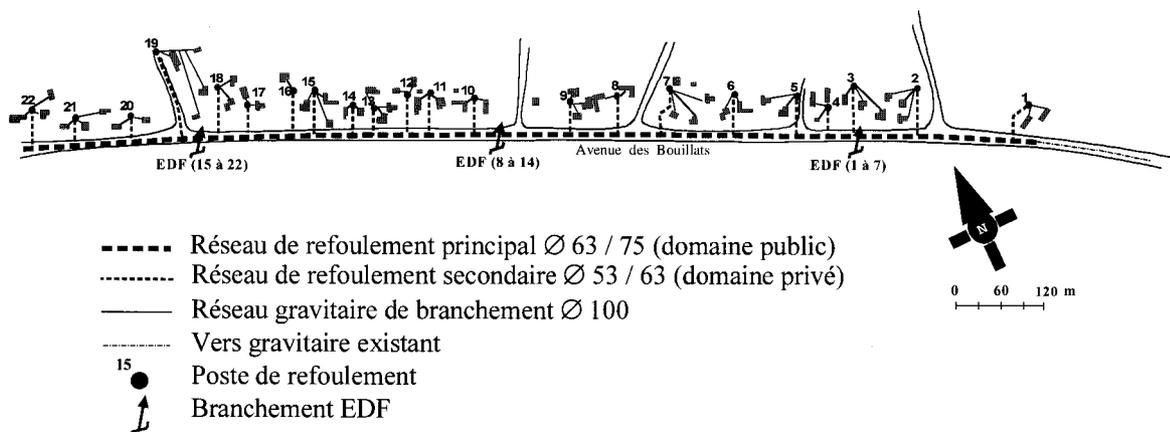
Le projet adopté est un système par pompage aléatoire, chaque poste ayant une faible probabilité de fonctionnement (cf. note de calcul ci-après). Il comprend :

- 1150 m de conduite principale 63/75 PVC 10 bars à joint ;
- 692 m de conduites secondaires 63/75 PVC 10 bars à joint ;
- 22 postes de refoulement équipés de pompes Flygt Grinder M 3085 ;
- 3 raccordements électriques pour respectivement 7, 7 et 8 postes ;
- 1600 m de câble d'alimentation électrique ;
- 2050 m de câble de téléalarme.

Commune de Saint Trojan - 17 -

### RESEAU SOUS PRESSION EQUIPE DE POMPES DILACERATRICES ET A FONCTIONNEMENT ALEATOIRE

*Fonctionnement simultané improbable*



D'après document DDE Chte Maritime

Les postes de relèvement ont été placés dans le domaine privé en contrebas de la route. Cette solution a nécessité la signature de servitudes avec les riverains concernés et la prise en compte par la collectivité de certains raccordements particuliers au-delà des limites de propriétés mais elle a permis de limiter la profondeur des postes et des terrassements tant sur le domaine privé que sur le domaine public.

L'Avenue des Bouillats constitue une situation particulièrement favorable à la mise en place d'un tel système :

- faible densité de population le long d'un linéaire important,
- nombre d'habitations réduit même en phase finale.

Aucune protection particulière anti-bélier n'a été installée.

La détection d'une anomalie est retransmise au personnel d'exploitation sans toutefois différencier la nature de ce défaut ni le poste incriminé.

L'identification de la panne et du poste en cause est retransmise sur l'armoire électrique centrale pour les défauts suivants :

- absence de courant,
- disjonction du moteur,
- contrôle de niveau haut.

COUT : 1 600 000 francs (1990)

NOMS DES ENTREPRISES

Electromécanique : 2EIA 17800 PONS  
Terrassement : SEETP 17200 ROYAN

NOTE DE CALCUL

Les hypothèses de base du calcul sont les suivantes :

150 litres d'effluent par habitant et par jour,  
3 habitants par maison,  
2 maisons raccordées par poste,  
coefficient de pointe : 2,4  
débit probable de la pompe :  $Q_s = 2$  l/s,  
nombre total de postes :  $N = 22$ ,  
seuil toléré sur  $1-PP(2) = 5$  %.

### Calcul de p

Le débit de pointe arrivant dans un poste est égal à :

$$Q_{e_{\max}} = (150 \times 3 \times 2) / (24 \times 3600) \times 2,4 = 0,025 \text{ l/s}$$

La probabilité p de fonctionnement d'une pompe est donc égale à :

$$p = Q_{e_{\max}} / Q_s = 0,025 / 2 = 0,0125$$

Si la période de pointe durait une heure, le temps probable de fonctionnement d'un poste pendant cette période serait de 45 secondes.

### Calcul de la probabilité PP(2) de non dépassement de 2 pompes fonctionnant simultanément

L'équation (I-1) permet de calculer :

1 - la probabilité qu'aucune pompe ne fonctionne :

$$P(0) = (1 - 0,0125)^{22}$$

$$P(0) = 0,76$$

2 - la probabilité qu'une seule pompe fonctionne :

$$P(1) = 22 \times 0,0125 \times (1 - 0,0125)^{21}$$

$$P(1) = 0,21$$

3 - la probabilité que deux pompes fonctionnent simultanément :

$$P(2) = 11 \times 21 \times 0,0125^2 \times (1 - 0,0125)^{20}$$

$$P(2) = 0,028$$

La probabilité cherchée PP(2), pour qu'il y ait au plus 2 pompes en fonctionnement simultané est égale, d'après (I-2), à la somme  $P(0) + P(1) + P(2)$  soit 0,997.

Il y a donc une probabilité très faible que plus de deux postes refoulent en même temps :

$$1 - PP(2) = 0,003$$

En fait sur un tel exemple, la probabilité qu'il y ait plus d'une seule pompe en fonctionnement est égale à 0,03 puisque  $PP(1) = P(0) + P(1) = 0,97$ . Le calcul hydraulique peut donc être effectué pour le débit correspondant à une seule pompe.

Le diamètre choisi est de 63/75 ; la vitesse correspondant à un débit de 2 l/s est de 0,64 m/s.

Un calcul analogue montre que le système peut recevoir deux fois plus d'habitations sans problème particulier.

# ASSAINISSEMENT SOUS PRESSION A FONCTIONNEMENT COORDONNE

## 1 - PRINCIPE GENERAL

Comme dans le cas d'un système d'assainissement sous pression à fonctionnement aléatoire décrit au chapitre 1, les postes de refoulement, situés à l'aval des bassins de collecte, sont branchés sur un réseau ramifié ayant à l'aval une extrémité unique pouvant être une station d'épuration, un poste de refoulement, un regard de réseau gravitaire. Le fonctionnement d'un tel système est coordonné si la mise en route d'un poste (ou d'un groupe de postes) dépend de l'état des autres postes : état de fonctionnement ou non, niveaux, vitesse d'arrivée des effluents, etc.

Un système de télécommande assure la coordination entre les postes de refoulement afin qu'un seul d'entre eux (ou un groupe de postes) puisse être en fonctionnement.

On rencontre des systèmes de ce type équipés soit de pompes classiques, soit de dispositifs dilacérateurs. Les premiers concernent généralement des transferts importants d'effluents. Les seconds permettent de limiter, sur des petits réseaux, le nombre de postes de pompage par rapport à la technique aléatoire.

## 2 - ASSAINISSEMENT COORDONNE AVEC DES POMPES CLASSIQUES

### 2 - 1 - Intérêt du système

D'une façon générale, les avantages sont ceux liés à la technique des refoulements sous pression vis-à-vis des contraintes topographiques.

Par rapport à un fonctionnement en cascade, le système coordonné permet d'éviter de pomper plusieurs fois le même effluent.

Par rapport à un réseau à fonctionnement aléatoire, il n'existe qu'un seul point de fonctionnement par poste (si celui-ci est commandé de façon individuelle), ce qui facilite le choix des pompes et permet d'espérer un bon

rendement. Lorsque la coordination concerne un groupe de postes, c'est-à-dire qu'à l'intérieur du groupe les postes sont autorisés à fonctionner de façon aléatoire, seuls ou simultanément, leur nombre est suffisamment faible, généralement inférieur ou égal à trois, pour que les points de fonctionnement correspondant aux différentes combinaisons possibles puissent être facilement déterminés.

### 2 - 2 - Installation des postes, protection anti-bélier

En tout point identique à un refoulement classique [Roche,1975,1978].

### 2 - 3 - Les différents procédés de coordination

Avant de détailler les trois principaux procédés de coordination il est nécessaire de donner quelques définitions relatives aux différents niveaux de fonctionnement dans les baches :

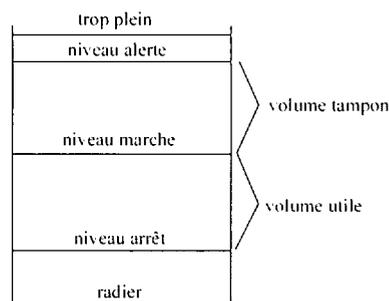


fig. II-1 Schéma d'une bache

Le «niveau arrêt» correspond au niveau de déclenchement des pompes ; le "niveau marche" correspond au niveau d'enclenchement des pompes. Le volume engendré entre ces deux niveaux est le "volume utile" de la bache. La gestion par coordination nécessite l'adjonction d'un "niveau alerte", définissant un "volume tampon" de sécurité. Le niveau alerte précède de peu le niveau trop-plein au-delà duquel l'effluent est déversé (cf. fig. II-1).

### La coordination par blocage

Le démarrage d'un poste interdit le fonctionnement des autres postes tant que le niveau arrêt n'a pas été atteint. La mise en marche des postes s'effectue suivant l'ordre chronologique dans lequel les niveaux alerte ou à défaut les niveaux marche sont atteints. Il est possible d'accorder des priorités selon l'importance de la collecte.

### La coordination par autorisation

Un poste central interroge de façon cyclique les niveaux dans les bâches et, en fonction des renseignements obtenus, accorde des autorisations de fonctionnement. Lorsque plusieurs bâches sont en attente de fonctionner avec le même niveau d'urgence, on les fait démarrer tour à tour selon l'ordre dans lequel le niveau marche a été atteint et ce pendant des temps prédéfinis, propres à chaque poste. Ces temps sont différents en fonction de la situation rencontrée :

- normale, quand aucun poste n'a atteint la cote d'alerte,
- de crise quand plusieurs postes sont au niveau très haut.

### Le système par prise en compte des débits d'arrivée dans les bâches

Le système est identique au précédent mais l'ordre de priorité est déterminé selon un critère dépendant du débit entrant et du temps de remplissage. La mesure du débit entrant est effectuée par dérivation d'une mesure de hauteur dans le puits. La mesure en continu par capteur à ultra-sons, par exemple, est préférable à plusieurs mesures discrètes au moyen de poires de niveau, dont l'interprétation est parfois délicate [LAIGRE, 1988].

## 2 - 4 - Dimensionnement d'un système coordonné

### Position du problème

Il s'agit de déterminer le diamètre des canalisations à mettre en place et les débits d'équipement des postes de refoulement de façon à minimiser le coût total comprenant le prix du réseau, des postes de refoulement (génie civil et électro-mécanique) et celui de l'énergie.

Il n'existe pas sur le marché de programme informatique permettant de faire cette optimisation. Dans un premier temps, il faut déterminer le débit d'équipement des postes puis le diamètre des canalisations. La sensibilité des coûts aux différents paramètres permettra au projecteur de modifier les valeurs d'équipement.

### Définition du coefficient d'équipement

La capacité de pompage de l'équipement mis en place doit être supérieure au débit maximum de projet arrivant dans le poste pour permettre aux autres postes de fonctionner.

On appellera coefficient d'équipement, noté  $k$ , le rapport entre le débit d'équipement d'un poste  $Q_s$  et le débit maximum des effluents  $Q_{e_{max}}$ .

$$k = \frac{Q_s}{Q_{e_{max}}}$$

Le coefficient d'équipement est donc l'inverse de la probabilité de fonctionnement définie au chapitre précédent.

### Exemple de calcul

Considérons le réseau dont le schéma est représenté ci-dessous comprenant quatre postes de refoulement (cf. fig. II-2). Les débits  $Q_{e_{max}}$  d'arrivée dans les postes sont des données, et sont mentionnés sur le schéma.

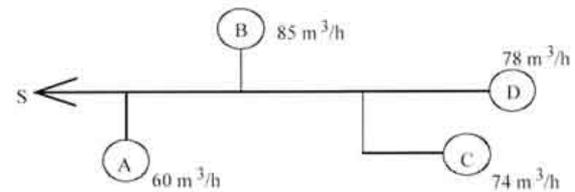


fig. II-2 Schéma du réseau à dimensionner

### Dimensionnement des pompes

On peut imaginer plusieurs façons d'initialiser le calcul des débits.

1) Temps de fonctionnement identique. Chacun des postes fonctionne 900 secondes par heure :  $k = 4$ .

Les débits d'équipement  $Q_s$  des postes sont les suivants :

- A : 240 m<sup>3</sup>/h
- B : 340 m<sup>3</sup>/h
- C : 296 m<sup>3</sup>/h
- D : 312 m<sup>3</sup>/h

2) Débit d'équipement identique. Chacun des postes débite  $Q_s = 300$  m<sup>3</sup>/h (proche du débit d'addition).

Les temps de fonctionnement de chacun des postes sont les suivants :

|            |         |
|------------|---------|
| A : 720 s  | k = 5   |
| B : 1020 s | k = 3,5 |
| C : 888 s  | k = 4,1 |
| D : 936 s  | k = 3,8 |

Ces débits étant obtenus, on peut calculer les diamètres des canalisations compte tenu des pompes existant sur le marché (les hauteurs manométriques totales sont limitées à 50 - 60 m).

Puis on peut faire varier les débits d'équipement en espérant gagner sur les coûts de fonctionnement. On pourra par exemple essayer de réduire le débit de la pompe D (c'est-à-dire accepter un fonctionnement plus long que 900 s ou 936 s) puisque ce débit est véhiculé sur la plus grande longueur. Ce gain sur la section DS devra être supérieur aux pertes sur une ou plusieurs autres liaisons puisque les postes A, B ou C devront pomper à des débits plus importants.

La nouvelle répartition de débit essayée pourrait être la suivante :

Tableau 1 : Dimensionnement des pompes du réseau étudié

| poste | temps de fonctionnement (s) | débit (m <sup>3</sup> /h) | coefficient d'équipement k |
|-------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| A     | 600                         | 360                       | 6                          |
| B     | 850                         | 360                       | 4,2                        |
| C     | 900                         | 296                       | 4                          |
| D     | 1250                        | 225                       | 2,9                        |

On voit donc toute la difficulté de trouver la combinaison optimale tant les paramètres sont nombreux.

#### Dimensionnement des baches en assainissement coordonné

Pour un refoulement classique, Qs est égal au débit de projet Qe<sub>max</sub>. Si Z est le nombre maximal de cycles en 1 heure, le volume V de la bache est donné par la formule

$$V = \frac{Qe_{max}}{4nZ} = \frac{Qs}{4nZ}$$

où  $n = \frac{\text{nombre total de pompes}}{\text{nombre de pompes pour assurer } Qs}$

V est en m<sup>3</sup> si Qs en m<sup>3</sup>/h

Si Qs est très variable en fonction du niveau dans le poste, on prend une valeur moyenne [Roche 1975].

La formule précédente correspond au minimum de la fonction  $1/Z = f(Qe)$ , atteint lorsque le débit Qe entrant dans la bache est égal à  $Qe_{max}/2$ .

En assainissement coordonné, Qs est égal  $k \times Qe_{max}$ .

La fonction  $1/Z = f(Qe)$  est minimum :

lorsque  $Qe = k \frac{Qe_{max}}{2}$  si  $k < 2$

lorsque  $Qe = Qe_{max}$  si  $k \geq 2$

Le volume de bache nécessaire est dans ces conditions :

$V = \frac{1}{4} \frac{k}{nZ} Qe_{max}$  pour  $k < 2$

$V = \frac{1}{nZ} Qe_{max} \left(1 - \frac{1}{k}\right)$  pour  $k \geq 2$

En reprenant l'exemple précédent des quatre postes avec la répartition proposée sur le tableau 1, et en supposant 6 démarrages horaires maximum, les volumes des baches sont les suivants (tableau 2) :

Tableau 2 - Dimensionnement des baches du réseau étudié

| poste | débit maxi d'arrivée (m <sup>3</sup> /h) | k   | volume de la bache (m <sup>3</sup> ) | temps de remplissage (s) | temps de vidange (s) |
|-------|--|-----|--------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| A     | 60                                       | 6   | 8,3                                  | 500                      | 100                  |
| B     | 85                                       | 4,2 | 10,8                                 | 450                      | 142                  |
| C     | 74                                       | 4   | 9,3                                  | 450                      | 150                  |
| D     | 78                                       | 2,9 | 8,5                                  | 392                      | 208                  |

On vérifie aisément que le temps de remplissage d'un poste est égal à la somme des temps de vidange ou de pompage des autres postes. Il faut, pour que le système fonctionne correctement, que le décalage des enclenchements de postes existe au début de la période de pointe. En effet, si les premiers niveaux hauts de la période de pointe sont atteints en même temps, un seul poste peut démarrer. Il est donc nécessaire de prévoir sur chaque poste un volume tampon pour échelonner les démarrages. En première approximation, le volume tampon pourra être dimensionné au volume de la bache précédemment calculé. La réduction de ce volume devra être justifiée, en particulier par simulation.

## **Simulation du fonctionnement d'un système**

L'évaluation du dimensionnement des volumes tampons à mettre en place peut se faire par simulation [BREMOND, NADAL, 1995]. Sur l'exemple présent, un volume tampon égal à la moitié du volume utile s'est avéré sûr vis-à-vis des débordements pour les systèmes de gestion par autorisation et par intégration. Le système par blocage s'est montré défaillant et nécessite un volume tampon plus important. La simulation met en évidence l'importance de ne pas sous-estimer les débits de projet  $Q_{e_{max}}$ , les volumes tampons ne pouvant pas compenser les sous dimensionnements correspondants.

### **2 - 5 - Exemple du réseau de Kourou (Guyane)**

MAITRE D'OEUVRE : DDE de la Guyane

#### CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION

Le développement du Centre Spatial Guyanais s'accompagne d'un fort accroissement de la population : 700 habitants en 1964, 25000 à l'horizon 1995 et 35000 à la fin du siècle. L'extension de la ville ne peut se faire que sur des terrains inondables qui la ceignent et qu'il faut remblayer. Le projet présenté ici concerne l'assainissement de ces nouveaux terrains et la restructuration du réseau existant réalisé entre 1964 et 1980. Il comprend 11 postes de refoulement (notés PR dans ce qui suit) existants et 9 PR à créer. L'ensemble est à réaliser en 5 tranches.

#### PROCEDURE DE DEVOLUTION

Appel d'offres international avec concours

#### CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA SOLUTION RETENUE

Le projet adopté est un système sous pression coordonné, comprenant 9 postes (cf. schéma d'implantation et plan d'un des postes créés) :

- PR 4 (existant), PR 6, PR 8 (à créer) sur la branche ouest ;
- PR 11, PR 15 (existants) PR 17, PR 18, PR 19, PR 20 (à créer) sur la branche est.

Ces postes sont alimentés par :

- PR 1 et PR 3 (existants), fonctionnant en refoulement aléatoire vers PR 4 ;
- PR 2, PR 10, PR 12 (existants), fonctionnant en poste de relevage ou de refoulement classique vers PR 11 ;
- PR 13, PR 14 (existants), vers PR 15 ;

- PR 16 (existant) vers PR 17 ;
- PR 7 et PR 5 (à créer), fonctionnant en refoulement aléatoire vers PR 4 (PR 7 refoule en cascade les effluents de PR 9) ;

La protection anti-bélier est assurée à chaque poste par :

- un anti-bélier type A.R.A.A.,
- une conduite auxiliaire d'aspiration.

L'équipement de pilotage comprend :

- 9 postes satellites équipés de 2 émetteurs 8 entrées et de 2 récepteurs, 1 sortie relais ;
- 1 poste central, équipé de 4 émetteurs 8 entrées et de 4 récepteurs, 1 sortie relais, 2 automates programmables.

Cet équipement est complété par un système de télésignalisation : sur les 9 postes coordonnés par paire indépendante, sur les 11 PR non coordonnés par voie hertzienne. Les informations émises sont les suivantes :

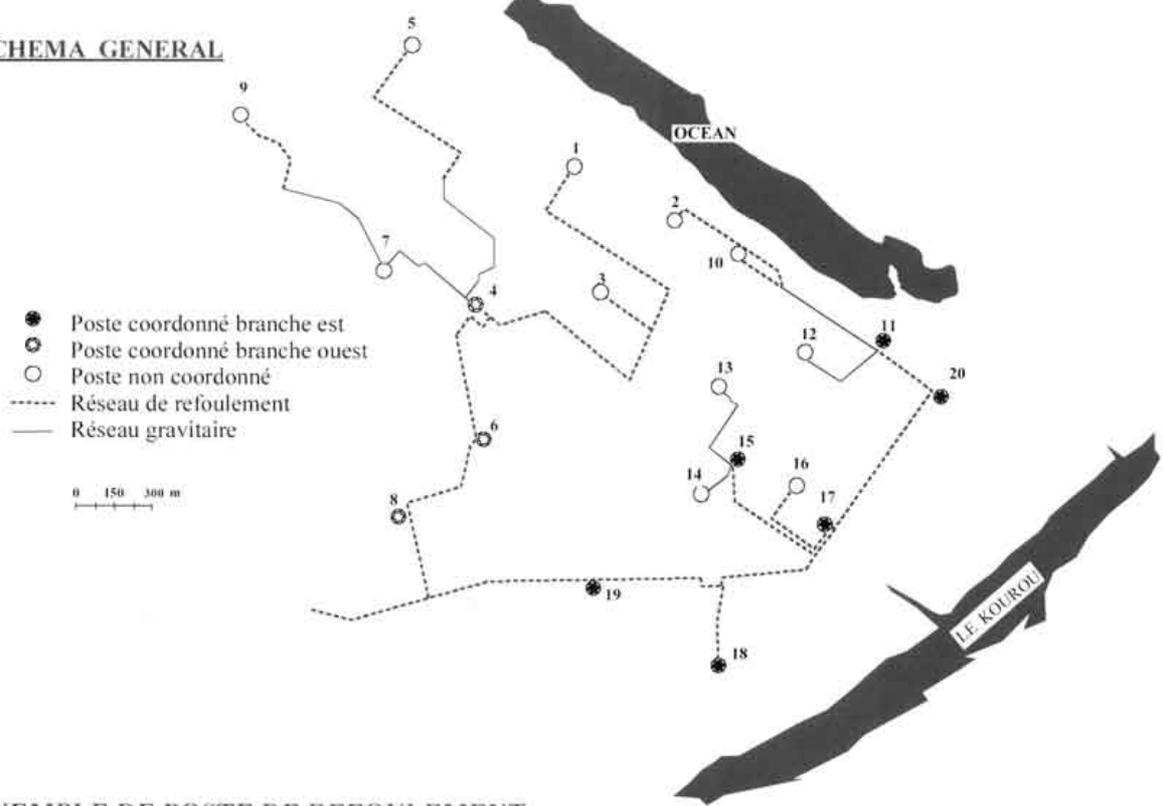
- demande pompage (niveau marche atteint),
- niveau alerte atteint,
- pompe en service,
- présence courant.

NOM DES ENTREPRISES :

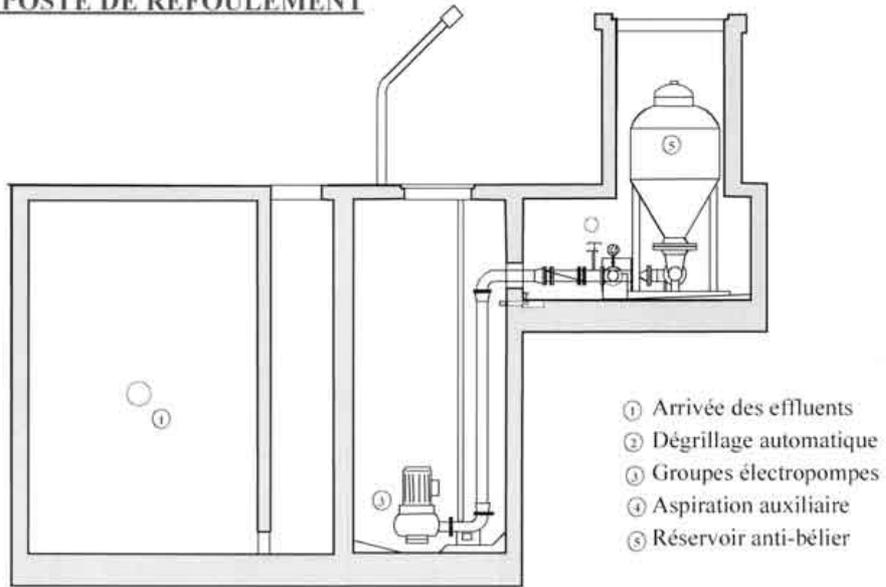
Réalisation : DEVIN LEMARCHAND

Commune de Kourou (Guyane)  
**RESEAU D'ASSAINISSEMENT SOUS PRESSION  
 A FONCTIONNEMENT COORDONNE**

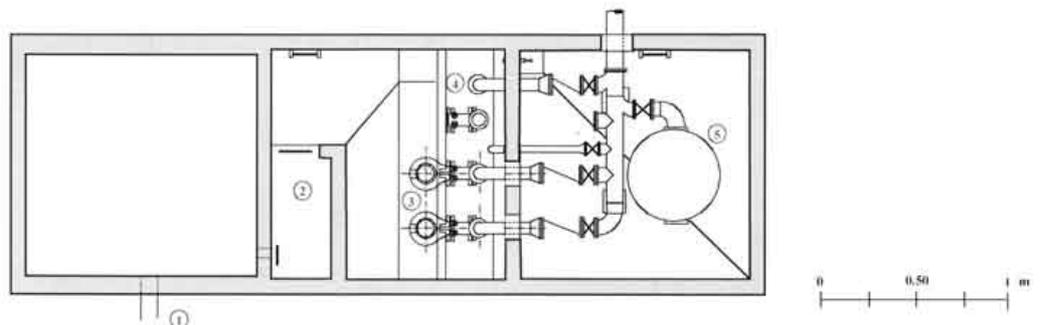
**SCHEMA GENERAL**



**EXEMPLE DE POSTE DE REFOULEMENT**



- ① Arrivée des effluents
- ② Dégrillage automatique
- ③ Groupes électropompes
- ④ Aspiration auxiliaire
- ⑤ Réservoir anti-bélier



d'après document Devin & Lemarchand

## 2 - 6 - Exemple du réseau du syndicat d'assainissement de Miribel-Neyron (Ain)

MAITRE D'OUVRAGE : Syndicat d'assainissement des communes de Miribel et Neyron (SA.MI.NE.)

MAITRE D'OEUVRE : D.D.A.F. de l'Ain

### CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION

L'agglomération de 8600 habitants dispose d'un réseau de collecte unitaire mais il n'existe pas de système de traitement des eaux usées alors que les déversements s'effectuent à l'amont de la zone de captage d'eau potable de la Courly (Communauté urbaine de Lyon) et à proximité d'une zone susceptible d'être utilisée en point d'alimentation de secours. La solution consistant à créer une station d'épuration à l'aval de Neyron est abandonnée car présentant trop d'inconvénients.

Le projet retenu prévoit d'utiliser les installations de traitement existantes de la Courly après transfert des effluents jusqu'au collecteur de Crépieux.

CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA SOLUTION RETENUE (cf. schéma général) :

Elle prévoit la création d'un refoulement par système coordonné avec un poste de refoulement au niveau de l'arrivée de chaque collecteur principal, où une lame déversante dévie l'effluent vers le poste (cf. schéma de détail). Le système est conçu pour qu'une seule pompe fonctionne à la fois afin d'évacuer le débit maximum de 100 l/s fixé par la convention de rejet passée avec la Courly.

Les effluents sont envoyés dans le réseau de la Courly par l'intermédiaire d'une canalisation de refoulement de 350 mm de diamètre en fonte assainissement longue de 4200 mètres et de 4 postes de pompage (3 sur la commune de Miribel, 1 sur la commune de Neyron) équipés chacun d'une pompe de 100 l/s et d'une deuxième en secours (HMT de 20,11 m, 16,00 m, 14,00 m et 11,00 m).

Trois niveaux de commande sont repérés dans chaque poste :

- un niveau bas d'arrêt des groupes,
- un niveau haut de démarrage des groupes,
- un niveau d'alerte situé à 0,10 m sous le seuil de débordement.

Le diamètre des postes est fixé à 2,50 m pour prendre en compte l'encombrement des pompes. Les différentes cotes ont été fixées de la manière suivante :

- cote d'alerte : 0,10 m sous le trop-plein,
- cote de démarrage : 0,10 m sous le niveau d'arrivée du collecteur dans le poste,
- cote d'arrêt : en fonction du volume à stocker dans le poste,

- cote du radier : de 0,40 m à 0,60 m en dessous de la cote d'arrêt en fonction de la marge nécessaire au refroidissement des moteurs.

La protection anti-bélier est assurée par une aspiration auxiliaire sur 2 postes et par les pompes en turbine sur les 2 autres postes ( cf. plan de chacun de ces types de postes).

Le système de télégestion comprend :

- un satellite de télétransmission à chaque poste transmettant les informations suivantes : niveau en continu du poste par mesure ultra-sonique, contact des 3 niveaux du poste, défauts des moteurs et alimentation électrique, niveau du canal de Miribel,
- un central de télétransmission recevant les informations des satellites, les communiquant à l'automate puis renvoyant les commandes,
- un central de télétransmission renvoyant au centre d'astreinte de la société fermière les informations pour la tenue d'un journal de bord et les alarmes de dysfonctionnement pour une intervention rapide,
- un automate ALSPA C 100 gérant l'ensemble du système,
- un enregistreur 4 pistes traçant le niveau en continu de chacun des postes.

Les liaisons sont assurées d'une part par un câble de télécommande, d'autre part par une ligne spécialisée.

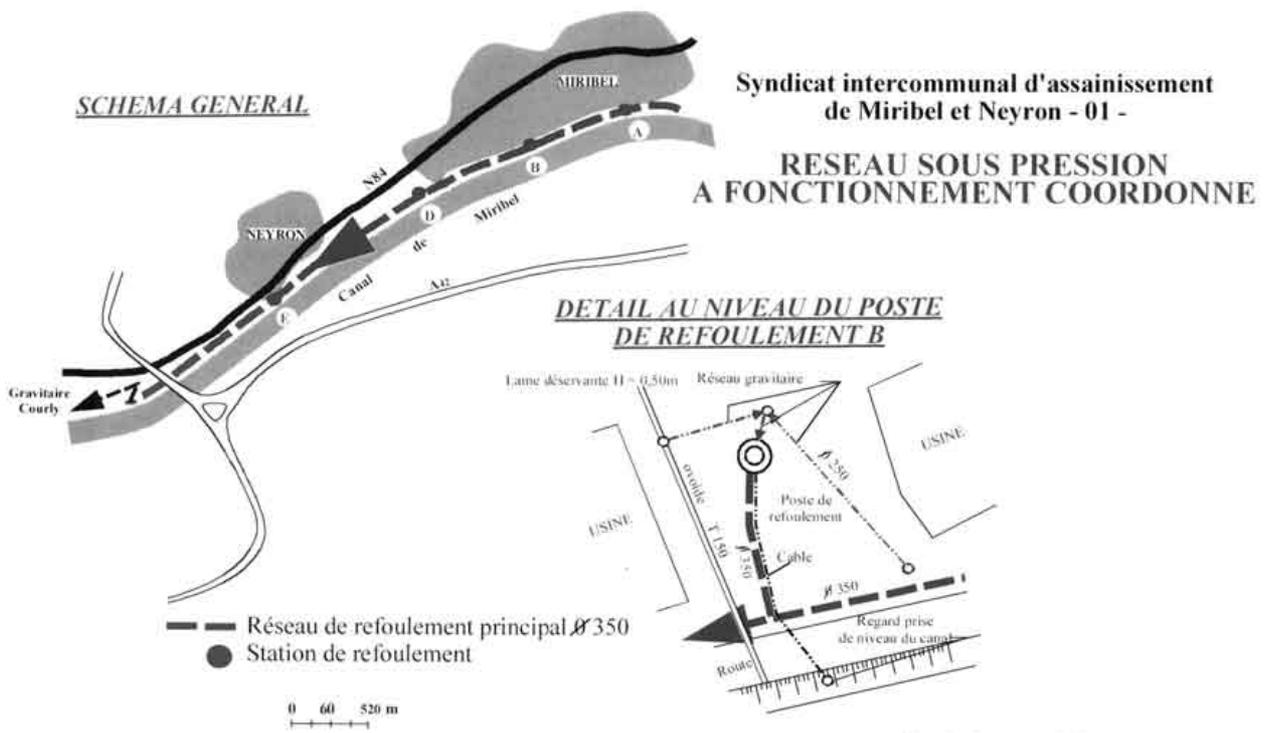
Si un des postes atteint le niveau d'alerte, l'automate arrête le poste en fonctionnement et fait démarrer le poste en alerte.

COUT : 7 380 KF hors taxes (1989) répartis comme suit :

|   |         |
|---|---------|
| - Lot canalisations :                             | 3120 kF |
| - Lot postes de pompage et raccordement :         | 930 kF  |
| - Lot équipement électromécanique et télécommande | 1530 kF |
| - Divers (convention COURLY, EDF, Honoraires) :   | 1800 kF |

NOM DES ENTREPRISES :

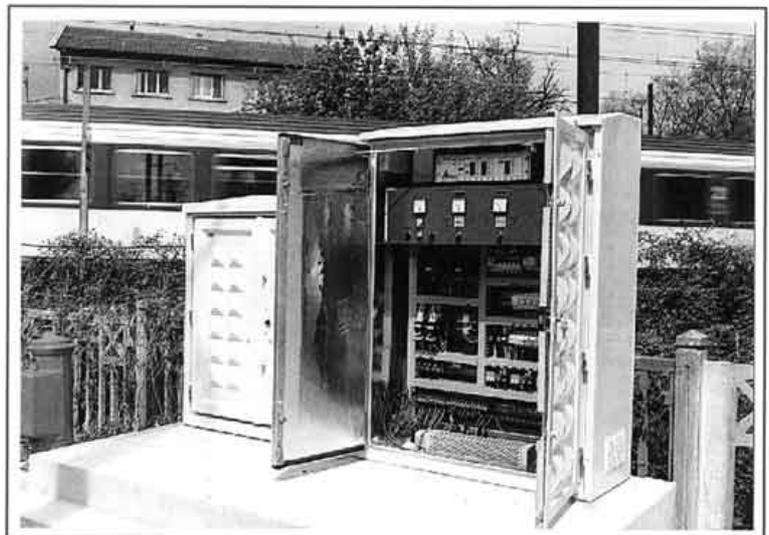
- Lot canalisations :  
BRUNEL à Beynost (01), PETAVIT à Dardilly (69),  
BLONDET à Villeurbanne (69)
- Lot poste de pompage et raccordement :  
BLONDET à Villeurbanne (69), SONDALP à La Tour de Salvigny (69)
- Lot équipement électromécanique et télécommande :  
PETAVIT à Dardilly (69), STEPE à Rillieux (69), PERAX à Toulouse (31)



d'après document D.D.A.F.

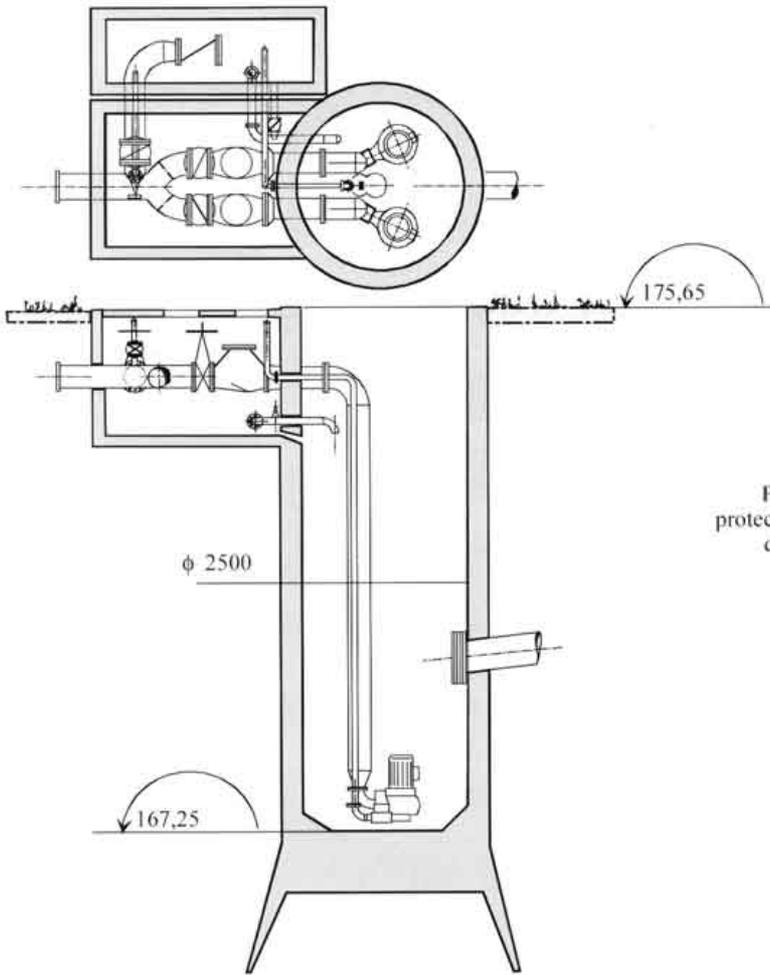


*Miribel et Neyron : vue extérieure d'un poste*

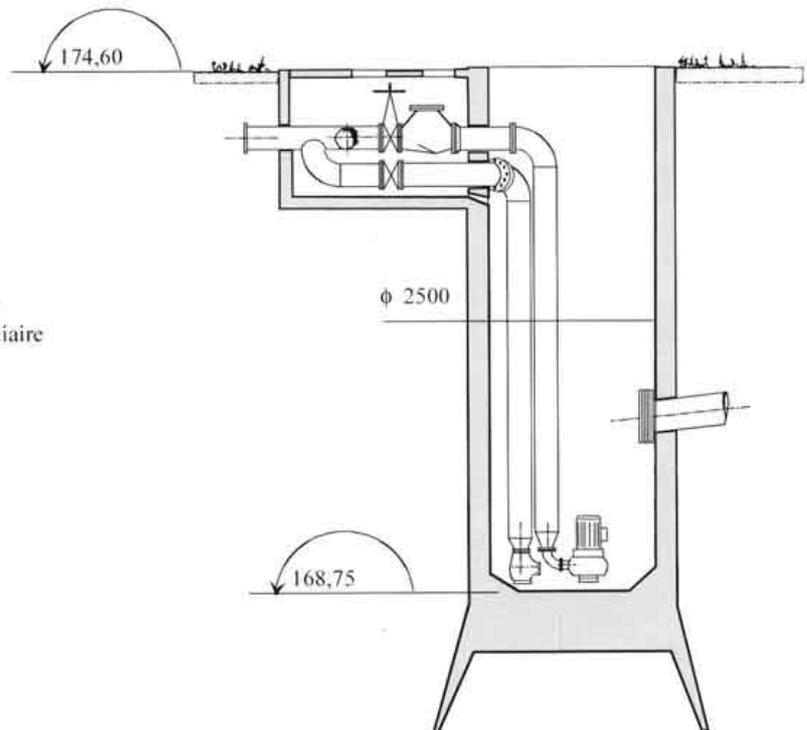


*Miribel et Neyron : armoire de télétransmission*

Syndicat intercommunal d'assainissement  
de MIRIBEL ET NEYRON -01-  
**RESEAU D'ASSAINISSEMENT SOUS PRESSION  
A FONCTIONNEMENT COORDONE**



**Poste de refoulement A**  
protection par aspiration auxiliaire  
dans un cuvelage latéral



**Poste de refoulement B**  
protection par aspiration auxiliaire  
en fond de poste

d'après document D.D.A.F.

### 3 - ASSAINISSEMENT COORDONNE AVEC DES POMPES DILACERATRICES

#### 3 - 1 - Intérêt du système

Ce système est réservé aux petits réseaux sur lesquels la technique de l'assainissement aléatoire peut être envisagée. La mise en place d'une coordination permet de ramener le coefficient d'équipement à des valeurs comprises entre 5 et 10 alors qu'il se situe généralement entre 50 et 100 dans les systèmes aléatoires. Cette technique permet donc de réduire sensiblement le nombre de postes.

#### 3 - 2 - Exemple du réseau de Lamothe (Gironde)

MAITRE D'OUVRAGE : Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon : SIBA

MAITRE D'OEUVRE : SIBA

#### CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION

Le projet concerne l'assainissement d'un écart de la commune du Teich. Les parcelles se situent entre 2 et 2,50 m en dessous de la route, construite sur un remblai très hétérogène. Le réseau créé rejoint le réseau gravitaire du Teich. 31 branchements sont à réaliser, dont un pour une colonie de vacances. Ce chiffre est à multiplier par trois dans le futur.

#### PROCEDURE DE DEVOLUTION

Appel d'offres ouvert avec variantes

#### CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA SOLUTION RETENUE

Le projet adopté est un système sous pression coordonné, comprenant 6 postes équipés de pompes dilacératrices identiques, Flight 3085 (cf. schéma d'implantation). Les postes sont préfabriqués en fibre de verre polyester.

Il y a 4 points de livraison de l'électricité.

Le réseau comprend 1300 m de refoulement, en PVC à joint caoutchouc, d'un diamètre de 53 x 63.

La coordination se fait par autorisation. Un automate gère le démarrage des pompes en donnant la priorité au poste ayant la collecte la plus importante.

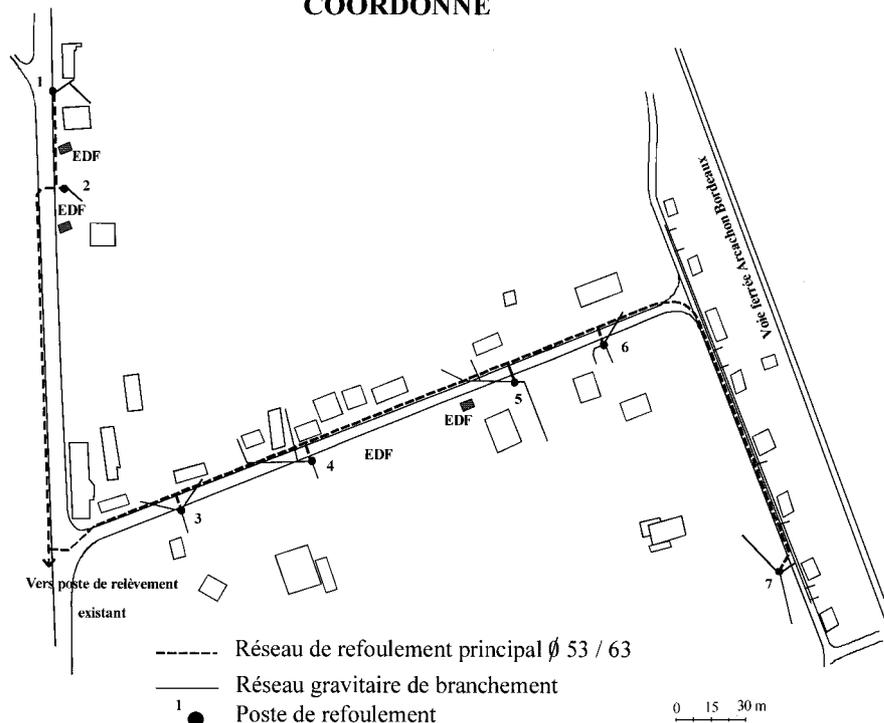
La sécurité est assurée par la télésignalisation au personnel d'astreinte des défauts suivants : niveau anormalement haut, absence secteur, disjonction thermique. L'identification du poste en défaut se fait sur place, au niveau de l'armoire centrale.

NOM DES ENTREPRISES :

SET, FLYGHT, SEIHE

Commune du Teich -33-  
Bourg de Lamothe

#### RESEAU SOUS PRESSION EQUIPE DE POMPES DILACERATRICES ET A FONCTIONNEMENT COORDONNE



d'après document SIBA.



# LES AERO-EJECTEURS

## 1 - PRINCIPE GENERAL ET HISTORIQUE

**U**n aéro-éjecteur est une machine élévatrice assurant le refoulement des eaux usées dans un réseau de transport sous pression en utilisant de l'air comprimé comme source d'énergie.

L'appareil assure l'interface entre le réseau gravitaire dont il collecte les effluents et le réseau sous-pression dans lequel il les refoule.

Ces appareils ont déjà une longue histoire : ils apparaissent à PARIS dès 1890, où ils bénéficiaient de la présence de réseaux publics d'air comprimé. Installés dans les caves des immeubles et dans le métro, ils servent à relever les eaux usées vers les réseaux d'égouts gravitaires. On en compte environ 2500 dans la région parisienne dans une gamme de débit allant de 3 m<sup>3</sup>/h à 250 m<sup>3</sup>/h. Ils ont été introduits sur les réseaux d'assainissement collectifs dans les années 1970, les tous premiers réseaux étant réalisés dans le Tarn et la Seine Maritime.

Dans les paragraphes suivants, nous nous intéresserons aux seuls aéro-éjecteurs placés sur des réseaux collectifs d'assainissement.

## 2 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

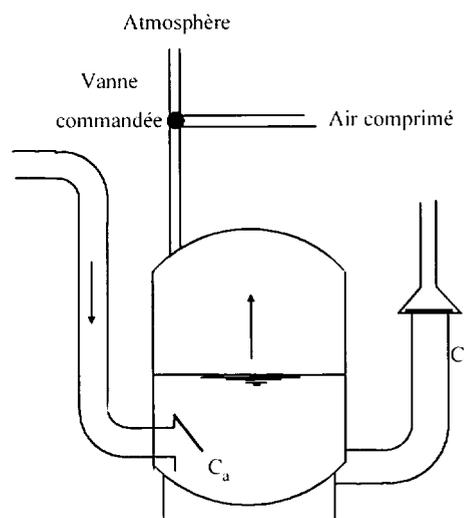
L'aéro-éjecteur est formé d'une cuve comportant :

- dans sa partie inférieure et généralement de part et d'autre :
  - une tubulure munie d'un clapet ne permettant que l'entrée des effluents ;
  - une tubulure munie d'un clapet ne permettant que la sortie des effluents.
- dans sa partie supérieure :
  - un dispositif permettant d'introduire de l'air comprimé ou de rétablir la pression atmosphérique.

Le fonctionnement d'un aéro-éjecteur s'effectue suivant un cycle à trois temps :

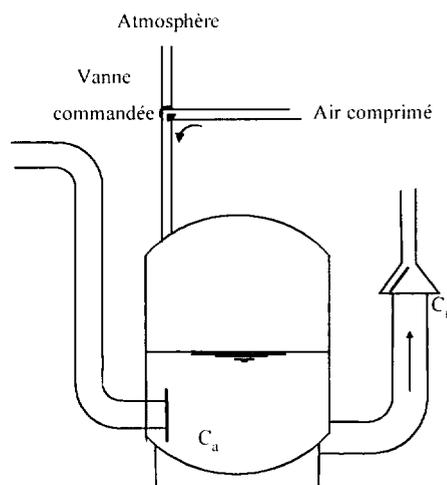
### - Premier temps : arrivée

L'effluent pénètre gravitairement dans la cuve à travers le clapet C<sub>a</sub> et la remplit progressivement, soulevant un flotteur utilisé comme détecteur de niveau.



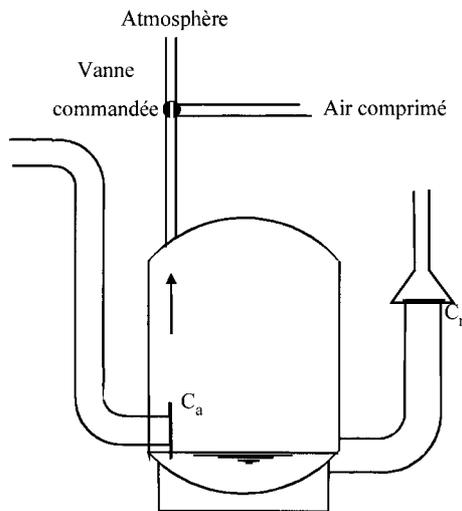
### - Deuxième temps : refoulement

Lorsque le niveau de l'effluent, repéré grâce à la position du flotteur, atteint un seuil donné, de l'air comprimé, dont la pression est supérieure à celle qui règne dans la conduite de refoulement, est admis dans la cuve. Cette mise en pression entraîne la fermeture du clapet d'arrivée C<sub>a</sub> et l'ouverture du clapet de refoulement C<sub>r</sub> ; l'effluent est refoulé dans la conduite d'évacuation.



### - Troisième temps : échappement

A la fin de la période de refoulement, l'admission d'air est fermée et la cuve est mise en communication avec l'atmosphère. L'air comprimé s'échappe. Le clapet de refoulement  $C_r$  se referme sous le poids de l'effluent refoulé. La pression dans l'appareil redevient égale à la pression atmosphérique et le clapet d'arrivée  $C_a$  s'ouvre, rétablissant l'arrivée gravitaire des effluents.



La durée minimale d'un cycle varie entre 18 et 30 secondes selon les appareils. La cadence maximale de fonctionnement est donc comprise entre 2 et 3 chasses par minute. On peut considérer que les deux derniers temps ont une durée comprise entre 8 et 10 secondes, c'est donc l'importance de l'arrivée de l'effluent qui conditionne le temps total du cycle. L'appareil ne dépense de l'énergie qu'au cours de la période de refoulement.

## 3 - AVANTAGES ET LIMITES

### 3 - 1 - Avantages

Là aussi, comme dans les systèmes précédents, on retrouve les avantages liés à la technique des refoulements sous pression vis-à-vis des contraintes de topographie.

Les appareils de relevage sont très robustes et ont une durée de vie de 30 ans minimum. Ils fonctionnent sans dégrillage et nécessitent peu d'entretien.

L'énergie nécessaire au fonctionnement général est produite en un point unique :

- . il n'y a qu'un seul contrat EDF ;
- . en cas d'interruption de la fourniture électrique ou d'une défaillance du compresseur, il y a possibilité d'assurer un secours avec un compresseur de chantier.

Il n'y a pas de stockage d'eaux usées, donc pas d'odeurs.

### 3 - 2 - Limites

Le régime hydraulique dans les conduites est mal connu

en raison de la complexité des écoulements non permanents qui résultent du fonctionnement saccadé et aléatoire des aéro-éjecteurs. Les conséquences sur la tenue et le vieillissement des conduites sont difficiles à évaluer. Cependant, on ne note pas un taux de casse anormal sur les réseaux de ce type.

Le système a un rendement énergétique médiocre.

## 4 - DOMAINE D'APPLICATION

Compte tenu du prix d'une station de compression, l'équipement d'un réseau en aéro-éjecteurs devient plus avantageux quand le nombre d'appareils augmente.

Les limites d'utilisation à respecter sont les suivantes :

- la longueur maximale de refoulement est inférieure à 3000 m ;
- la hauteur manométrique totale est limitée à 30 m ; la présence d'air dans les canalisations conduit à prendre en compte les hauteurs géométriques (cf. paragraphe sur le dimensionnement) ;
- le profil en long de la conduite comportera peu de points hauts.

## 5 - DESCRIPTION DES APPAREILS DE RELEVAGE

Les appareils présents sur le marché français sont relativement identiques. Ils diffèrent par leur mode de commande.

### 5 - 1 - Système à distributeur mécanique d'air comprimé

Un distributeur en bronze assure les fonctions d'admission d'air comprimé et de mise à l'atmosphère en fonction de la position d'un flotteur. Il est relié à ce dernier par l'intermédiaire d'un bras muni d'un contrepoids.

Le flotteur et le contrepoids sont dimensionnés de manière à ce qu'ils soient en équilibre quand l'eau atteint le niveau haut souhaité dans la cuve ; en deçà, la poussée d'Archimède n'est pas suffisante pour soulever le flotteur, au-delà elle le devient et l'élévation de ce dernier agit sur le distributeur en ouvrant brusquement l'admission d'air comprimé et en fermant la mise à l'atmosphère.

Au fur et à mesure que l'eau est chassée de la cuve, le flotteur reprend son poids. Quand il est supérieur à celui du contrepoids, la tige du distributeur descend, coupe l'arrivée d'air comprimé et ouvre la mise à l'atmosphère.

Les différents réglages portent sur les poids du flotteur et du contrepoids ainsi que sur la longueur du bras du levier. Il convient en effet de fermer l'admission d'air comprimé avant que celui-ci ne pénètre dans la conduite de refoulement. Ce réglage dépend de la pression d'air

comprimé dans la cuve.

Une lyre sur l'alimentation d'air comprimé est nécessaire pour protéger le distributeur contre l'introduction d'eau en cas de défaillance. Cette protection ne sera efficace que si le niveau des effluents dans le regard amont reste inférieur à un seuil maximum (présence d'une surverse par exemple) et si le sommet de la lyre se trouve au-dessus de ce niveau.

### 5 - 2 - Système à commande pneumatique

Le détecteur de niveau est un flotteur qui ferme un circuit d'air en position basse et l'ouvre en position haute. La présence de ce signal d'air est détectée et un automate à logique pneumatique commande simultanément mais de façon opposée les vannes d'admission d'air comprimé et de mise à l'atmosphère.

Le temps d'éjection est commandé par une temporisation pneumatique et ne dépend pas de la position du flotteur.

Ce système permet, outre la détection de niveau par flotteur :

- la commande manuelle ;
- la marche forcée commandée par exemple par un niveau haut dans le regard amont ;
- l'arrêt momentané du fonctionnement en cas de chute de pression de l'air comprimé.

L'automate pneumatique est logé dans un coffret de commande. Il est alimenté par une dérivation de la conduite d'arrivée d'air comprimé et est protégé par un filtre. Une petite capacité d'air permet d'effectuer les commandes sur les vannes.

### 5 - 3 Les dispositifs particuliers

#### *Vide fosse*

Placé dans une petite fosse qui constitue un point bas du radier, c'est un petit aéro-éjecteur qui permet de vider les eaux parasites qui se seraient introduites dans le poste de relèvement. Il contribue au confort du service d'entretien.

Il refoule quelques litres dans la canalisation d'arrivée de l'aéro-éjecteur principal ou dans le regard amont. Son fonctionnement peut être manuel ou simultané avec celui de l'aéro-éjecteur principal. Dans ce cas, il est relié en air comprimé à l'entrée d'air de l'appareil principal en cas de faible hauteur de refoulement de celui-ci ou sur son échappement en cas de grande hauteur. Il peut aussi être commandé par détecteur de niveau comme l'appareil principal

#### *Dispositif de surveillance*

Chaque fournisseur propose un dispositif particulier de télésurveillance. On pourra exiger de rapatrier en un point précis et pour chacun des appareils les informations suivantes :

- niveau haut dans le regard amont ;
- absence d'air comprimé ;
- surconsommation d'air comprimé ;
- comptage des cycles de fonctionnement de chacun des appareils.

Le report, vers un personnel d'astreinte, des alarmes concernant le compresseur et les aéro-éjecteurs est conseillé.

### 5 - 4 - Caractéristiques et installations des appareils

Un aéro-éjecteur est caractérisé par son débit maximum. En réalité, il s'agit d'un débit fictif continu maximum puisque le fonctionnement de l'appareil est intermittent. Nous avons vu au paragraphe 2 que le temps de cycle minimal, remplissage et évacuation, variait entre 18 secondes et 30 secondes selon les appareils. La cadence de fonctionnement en pointe est donc comprise entre 2 et 3 chasses à la minute. La durée d'éjection est de l'ordre de 8 secondes; en fait elle varie en fonction de la pression de refoulement.

Les débits des aéro-éjecteurs les plus courants en assainissement collectif varient entre 5 m<sup>3</sup>/h et 50 m<sup>3</sup>/h. Il en existe cependant de plus importants (cf. réseau de St.-Martin-d'Hères, paragraphe 11).

Les appareils s'installent dans une fosse généralement ronde constituée de buses en béton ou préfabriquées en amiante-ciment ou fonte. Le diamètre varie selon les modèles de 1,50 m à 2,20 m. L'étanchéité doit être parfaite. L'expérience montre qu'il n'en est pas toujours ainsi, notamment aux passages des différents câbles.

Le fond de la fosse se situe, suivant les modèles, entre 0,70 m et 1,25 m en dessous de l'arrivée gravitaire.

Un regard classique est placé sur l'arrivée gravitaire à côté de la fosse. L'appareil est raccordé à ce regard par une canalisation en pente, qui ne doit comporter aucune contre-pente. En aucun cas, il ne faut placer une réduction entre le regard amont et l'appareil.

Le clapet d'arrivée peut être situé à l'intérieur de la cuve pour rendre les appareils plus compacts.

Les tubulures d'arrivée et de refoulement des effluents peuvent être disposées du même côté de la cuve pour gagner de la place.

L'appareil est raccordé sur le refoulement généralement par des tubes en PVC PN 10 quelquefois par des tubes en acier.

Une vanne d'arrêt, spécialement conçue pour les eaux usées, est disposée sur l'arrivée à l'amont du clapet et une deuxième sur le refoulement pour isoler l'appareil en cas d'intervention ; les clapets, s'ils sont extérieurs à la cuve, et les vannes d'arrêt sont placés de façon à être facilement accessibles.

## 6 - PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE L'AIR COMPRIMÉ

### 6 - 1 - Centrale de compression

L'air comprimé est produit par un ou plusieurs compresseurs associés à un ou plusieurs réservoirs de stockage d'air comprimé.

#### *Compresseur*

Il existe deux types d'appareils à compression utilisés dans cette application :

- les compresseurs à piston ;
- les compresseurs rotatifs à vis ou à palettes :
  - . les compresseurs à vis comprennent un jeu de rotors hélicoïdaux mâle et femelle ;
  - . les appareils à palettes comprennent un rotor muni de palettes coulissant dans des fentes radiales et un stator excentré. L'air est comprimé entre ces rotors ou entre rotor et stator, l'étanchéité et le refroidissement sont assurés par de l'huile. Ils nécessitent un déshuileur et un refroidisseur. Un séparateur de condensat, muni d'une électrovanne de purge, complète le filtrage de l'air.

Les compresseurs à piston sont protégés par des systèmes coupant automatiquement la sortie d'air du ballon en cas de fonctionnement prolongé, de façon à permettre un temps de repos du compresseur. Les compresseurs rotatifs sont plus silencieux et ils peuvent fonctionner plusieurs heures d'affilée sans inconvénient majeur ; leur emploi doit être préféré.

#### *Local*

Le matériel est installé dans un local bien dimensionné, ventilé et facilement accessible. Il est déconseillé d'enterrer la station. Même si cette solution présente des avantages certains : économie, absence de permis de construire, rapidité de construction, insonorisation, elle peut en effet révéler des dangers redoutables ; toute infiltration importante est susceptible de détruire le groupe de compression. Si une telle solution est cependant retenue, il faut faciliter la maintenance du groupe de compression en prévoyant notamment un dispositif permettant de lever le groupe moteur pour l'amener sous une trappe d'évacuation suffisamment dimensionnée.

Dans ce local est également prévu un point de raccordement rapide d'alimentation d'air comprimé pour un compresseur mobile de secours.

#### *Ballon d'air comprimé*

Le ballon d'air sert de tampon entre la demande variable

d'air comprimé, fonction de l'arrivée des effluents, et le débit relativement constant du compresseur. La pression de régulation varie entre 6,5 et 8 bars. D'autres ballons peuvent être installés sur le réseau pour diminuer les vitesses dans les conduites d'air comprimé (cf. paragraphe 10 sur le dimensionnement).

### 6 - 2 - Transport de l'air comprimé

Il s'effectue par tube polyéthylène PEHD série 16 bars, qualité eau.

La jonction entre les tubes se fait à l'aide de raccords mécaniques soigneusement repérés à la pose. On pourra avantageusement les placer dans des boîtes de branchement.

La canalisation d'air comprimé peut être installée dans la même tranchée que la canalisation de refoulement avec les mêmes précautions.

Dans les regards, la distribution d'air comprimé se fait au moyen de tubes en acier galvanisé ou similaire ; on exclut en particulier l'emploi du PVC, trop fragile lors des opérations de maintenance.

## 7 - MISE EN SERVICE

### 7 - 1 - Réglage et mise en route

Pour les appareils à distributeur mécanique d'air comprimé, le réglage consiste à ajuster les poids du flotteur et du contrepoids.

Pour les appareils à commande pneumatique, il consiste à ajuster la temporisation sur l'automate pneumatique et le réglage de la pression de refoulement.

Pour le compresseur, les opérations de mise en service, préparation pour le démarrage et premier démarrage, sont précisées par le constructeur. Il faut vérifier le bon fonctionnement de l'électrovanne de purge automatique à la sortie du compresseur si elle existe pour éviter l'intrusion d'impuretés dans les conduites d'air comprimé.

### 7 - 2 - Essais

L'étanchéité de la conduite de refoulement est essayée lors d'une épreuve en pression classique.

La conduite d'air comprimé est testée sous une pression de 8 bars pendant 24 heures. La chute de pression constatée est inférieure à 1 bar. Les réparations au niveau des raccords sont facilitées par les dispositions d'implantation prévues au paragraphe 6.2.

## 8 - ENTRETIEN ET RENOUVELLEMENT

### 8 - 1 - Compresseur

Le compresseur est dimensionné de telle façon qu'il assure un bon fonctionnement lors de l'heure de pointe du jour de pointe (cf. paragraphe 10), soit généralement pour un débit compris entre 5,5 et 8 fois le débit moyen annuel. Dans ces conditions la durée annuelle de fonctionnement du compresseur se situe entre 1000 et 1600 heures, mais il arrive fréquemment que les temps de fonctionnement soient inférieurs, parce que le compresseur est dimensionné pour le stade final alors que le réseau est réalisé en plusieurs tranches ou parce qu'il existe plusieurs compresseurs.

Le compresseur est soumis à un entretien périodique qui comprend des opérations impératives après une période de fonctionnement déterminée, par exemple la vidange et le graissage toutes les 1000 heures, le changement de l'élément déshuileur après 4000 heures, etc. Les constructeurs précisent la nature et la fréquence de ces interventions.

Une révision complète doit être effectuée toutes les 15000 heures (entre 9 et 15 ans), ce qui suppose un arrêt complet de la machine pendant un minimum de 3 jours. Le fonctionnement est alors assuré par un groupe mobile.

### 8 - 2 - Aéro-éjecteurs

Des visites mensuelles permettent de graisser les pièces en mouvement dans le cas des appareils à distributeur mécanique, de vérifier le fonctionnement du détecteur de niveau dans le cas des appareils à commande pneumatique et de mettre en marche le vide fosse si nécessaire. Le petit entretien consiste à changer les pièces d'usure (différentes suivant la marque), comme des joints de clapet, tige de suspension... Il est important que l'exploitant dispose de pièces en stock comme le distributeur d'air comprimé ou l'automate pneumatique pour assurer rapidement un dépannage.

Chaque année la cuve doit être ouverte et les graisses collées aux parois et au flotteur enlevées. Cette opération peut être plus fréquente sur certains appareils particulièrement exposés au problème des graisses, comme ceux relevant les eaux usées de restaurants.

Les joints des clapets sont à renouveler tous les 3 ans. Sur les appareils à distributeur mécanique d'air comprimé, le distributeur en laiton a une durée de vie d'environ 8 ans. Pour les appareils à commande pneumatique, les vannes pneumatiques nécessitent un remplacement tous les 5 ans environ. Les flotteurs sont à changer en moyenne tous les 5 ans.

Pour un appareil, le temps de visite de surveillance, de petit entretien, de dépannage peut être estimé à 2,5 jours par an. Le temps consacré au renouvellement à 1 jour. Le nettoyage de la cuve prend 2 heures avec un hydrocureur.

## 9 - CONSOMMATION D'ENERGIE

L'énergie consommée varie en fonction de la hauteur de refoulement et du rendement du compresseur. On admet qu'elle se situe entre 12 et 36 kWh/an/habitant.

Par exemple pour un appareil relevant les eaux usées de 250 habitants, rejetant 40 m<sup>3</sup> par an chacun, le temps de fonctionnement du compresseur de 5,5 kW est de 1100 heures environ pour un relèvement de 30 m de HMT et de 650 heures pour 15 m de HMT, soit :

- 6050 kWh par an ou 24 kWh par an et par habitant pour une HMT de 30 m ;
- 3575 kWh par an ou 14 kWh par an et par habitant pour une HMT de 15 m.

## 10 - CALCUL ET DIMENSIONNEMENT

### 10 - 1 - Réseau de refoulement

#### a - débit dans les tronçons

Le fonctionnement d'un aéro-éjecteur étant intermittent, le calcul des débits à prendre en compte dans le réseau de refoulement résulte d'une analyse statistique de la probabilité de fonctionnement de plusieurs appareils simultanément.

Le débit de projet dans une canalisation j, fonction du nombre et des débits nominaux Q<sub>n</sub> des appareils situés à l'amont est donné par la formule tirée de [BIRON et ALL, 1980] :

- si un seul aéro-éjecteur est placé à l'amont du tronçon j

$$Q_j = 4 Q_n \quad (\text{III-1})$$

- si plusieurs aéro-éjecteurs sont placés à l'amont du tronçon j

$$Q_j = 2 \sum_i Q_{n_i} \quad \text{si } i > 1 \quad (\text{III-2})$$

On trouvera en annexe III-a une tentative de justification de ce type de formule, faisant intervenir la probabilité de fonctionnement d'un appareil, définie par le rapport, au cours de la période de pointe, entre la durée d'une chasse et celle d'un cycle (remplissage plus chasse).

Ces formules sont valables lorsque les appareils sont utilisés à leur capacité maximale. Il est tentant de réduire les débits à prendre en compte lorsque l'appareil mis en place est surdimensionné par rapport au débit d'entrée des effluents ; c'est le cas notamment pour les faibles débits. Par exemple, un appareil de 5 m<sup>3</sup>/h sera installé pour refouler un débit maximum de 2 m<sup>3</sup>/h (entre 15 et 20 branchements).

Dans ces conditions, la probabilité de fonctionnement de cet appareil en période de pointe pourra être légitimement supposée plus faible que s'il fonctionnait à son débit nominal (cf. annexe III-b). La prise en compte de probabilités différentes de fonctionnement pour

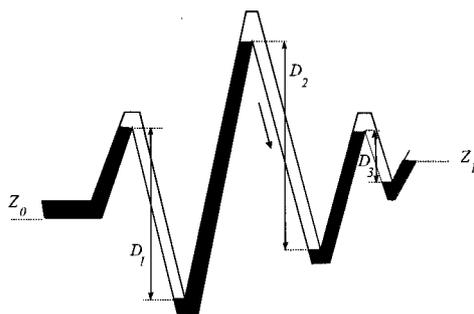
certaines appareils alourdit les calculs et le diamètre minimal de 100 mm à respecter limite l'intérêt de la méthode. Le lecteur trouvera en annexe une note de calcul pour 5 appareils classés en 2 groupes.

Toute limitation des débits par rapport aux formules (III-1) et (III-2) devra être justifiée par des raisonnements de ce type.

**b - choix du diamètre des canalisations**

Les deux critères à respecter sont :

- la vitesse minimale de 0,6 m/s, vitesse d'auto-curage, qui détermine le diamètre maximum. Il faut remarquer que cette condition ne peut être respectée quand le débit est inférieur à 17 m<sup>3</sup>/h car le diamètre minimal doit être de 100 mm pour éviter les obstructions. On peut renforcer cette contrainte et adopter la vitesse de 1 m/s, considérée comme la vitesse d'aéro-curage (débit minimum de 28 m<sup>3</sup>/h dans un diamètre de 100 mm).
- la hauteur manométrique totale ou HMT de chaque appareil qui doit rester inférieure à 30 mCE et donne une condition de diamètre minimum. La HMT est calculée en additionnant la hauteur géométrique Δz et les pertes de charge Δh.



$$\Delta z = z_1 - z_0 + (D_1 + D_2 + D_3)$$

fig. III-1 Prise en compte des éventuelles dénivelées descendantes dans le calcul de Δz

Δz est calculée en considérant la différence entre la cote de l'exutoire z<sub>1</sub> et celle du fond de la cuve de l'aéro-éjecteur z<sub>0</sub>. Compte tenu de la présence possible d'air dans le réseau qui peut conduire à une rupture de la veine hydraulique, il faut tenir compte dans le calcul de Δz des éventuelles dénivelées descendantes dans le cas d'un profil en long en dent de scie (fig. III-1).

**10 - 2 - Air comprimé**

**a - débit du compresseur**

Il s'agit d'évaluer le débit d'air en m<sup>3</sup>/h nécessaire au bon fonctionnement du système en période de pointe.

L'air étant un fluide compressible, il est convenu de considérer le débit d'air du compresseur ramené à la pression atmosphérique, soit en Normaux m<sup>3</sup>/h.

Si Q<sub>e</sub> est le volume d'effluent refoulé par heure,

Q<sub>a</sub> est le débit d'air à la pression atmosphérique.

La loi de Mariotte, correspondant à une détente isotherme entre la pression absolue dans la cuve et la pression atmosphérique s'écrit :

$$Q_a \times 10 = Q_e (10 + H)$$

où H est la hauteur manométrique totale exprimée en mètres, la pression atmosphérique étant voisine de 10 mètres de colonne d'eau. La formule précédente s'écrit :

$$Q_a = (1 + 0,1H) Q_e = K Q_e \tag{III-3}$$

si on majore de 20 % le coefficient K pour tenir compte du rendement de la détente et des espaces morts de l'appareil, K s'écrit :

$$K = 1,2 + 0,12 H$$

On peut également rencontrer une formule du type :

$$K = (1 + 0,1 H)^{1,4}$$

La figure III-2 représente la variation du coefficient K avec H pour ces deux formulations. Les installateurs devront justifier le choix de leur formule.

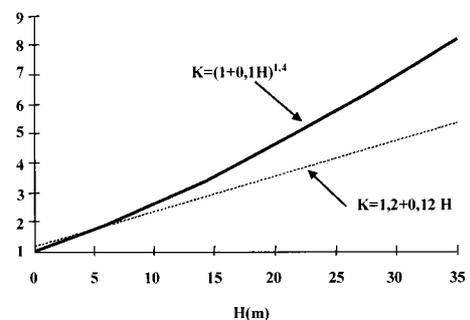


fig. III-2 Rapport entre le débit d'air comprimé à la pression atmosphérique et le débit des effluents

Le volume horaire d'air comprimé que doit fournir le compresseur en période de pointe correspond à la somme des volumes nécessaires à chacun des aéro-éjecteurs. Il suffit donc de prendre en compte le débit de pointe des eaux usées et non pas la somme des débits nominaux des appareils.

**b - pression du compresseur**

La pression minimale relative est de 6 bars.

### c - volume du ballon de régulation

La demande variable en air comprimé impose la présence d'un ballon placé entre le compresseur et les aéro-éjecteurs. Le volume tampon nécessaire dépend de la technologie du compresseur : lorsque la pression maximum est atteinte dans le ballon, le groupe de compression s'arrête et est mis à l'atmosphère ce qui assure un démarrage à vide. Cette opération dure quatre à cinq minutes pendant lesquelles aucun démarrage n'est possible.

La réserve d'air  $V_r$  doit permettre la marche normale de l'ensemble des aéro-éjecteurs pendant cette période  $\Delta t$  sans occasionner une chute de pression supérieure à la fourchette de régulation  $\Delta p$  de l'ordre de 1,5 à 2 bars. Soit  $Q_a$  le débit d'air comprimé en normaux  $m^3/h$  à fournir aux aéro-éjecteurs.

$$V_r \times \Delta p = P_a \times Q_a \times \Delta t \quad \text{et si } \Delta p \text{ est en bar : } P_a = 1$$

$$V_r = Q_a \Delta t \times 1/\Delta p \quad (\text{III-4})$$

Remarque: la réserve d'air  $V_r$  comprend le volume du ballon et celui des conduites.

### d - débits instantanés d'air comprimé

Le débit d'air instantané  $Q_{aj}$  dans une conduite d'air comprimé  $j$  résulte du fonctionnement simultané des appareils  $i$  qu'elle alimente. Le débit d'air en Normaux  $m^3/h$  nécessaire à ces chasses d'une durée  $t$  est d'après la formule (III-2) :

$$Q_{aj} = 2K \sum_i Q_{ni} \quad (\text{III-5})$$

La valeur de  $K$  est la valeur maximum correspondant aux aéro-éjecteurs concernés. Le débit  $Q_{aj}$ , à la pression relative  $P$  (en bars) est donc :

$$Q_{aj}(P) = Q_{aj} / (P + 1)$$

### e - dimensionnement des conduites d'air comprimé

Une fois le débit d'air instantané déterminé dans chaque tronçon, le diamètre sera choisi en fonction du tableau suivant :

| débit $Q_{aj}(l/s)$        | $Q_{aj} < 30$ | $30 \leq Q_{aj} < 50$ | $50 \leq Q_{aj} < 90$ | $90 \leq Q_{aj} < 140$ |
|----------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| $\varnothing$ du PEHD (mm) | 32,6 x 40     | 40,6 x 50             | 51,4 x 63             | 61,2 x 75              |

Le diamètre des conduites d'air comprimé peut être réduit en déportant une partie de la réserve près des aéro-éjecteurs, c'est-à-dire en installant dans le regard un réservoir d'air comprimé.

## 11 - EXEMPLES

### 11 - 1 - Réseau du domaine universitaire de Saint-Martin-d'Hères et Gières (Isère)

MAITRE D'OUVRAGE : Ministère de l' Education Nationale

MAITRE D'OEUVRE : DDE de l'Isère

CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION

Le réseau gravitaire d'eaux usées du domaine universitaire de St-Martin-d'Hères, posé à grande profondeur dans des dépôts alluvionnaires de l'Isère présentait de graves désordres provoqués par des affouillements de terrain, consécutifs à des fissurations des conduites suivies d'entraînement de fines. Sa remise en état aurait coûté trop cher, aussi la construction d'un nouveau réseau a été envisagée. Le débit de projet est de 403  $m^3/h$ .

PROCEDURE DE DEVOLUTION

Appel d'offres restreint avec concours

CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA SOLUTION RETENUE

Le projet adopté est un système sous pression par aéro-éjecteurs. Il comprend :

- 3500 m de réseau gravitaire drainant les eaux vers les aéro-éjecteurs, constitué de tuyau fonte  $\varnothing 200$  mm ;
- 4700 m de réseau sous pression constitué de conduites fonte posées sous 1 m de couverture :
  - . 2690 m de  $\varnothing 150$  mm ;
  - . 120 m de  $\varnothing 200$  mm ;
  - . 750 m de  $\varnothing 250$  mm ;
  - . 900 m de  $\varnothing 350$  mm ;
  - . 4000 m environ de PEHD  $\varnothing 63$  PN 10 pour les conduites d'air comprimé, posées dans la même tranchée que la canalisation de refoulement avec un petit regard de visite à chaque raccord ;
- 4700 m de câble armé donnant les informations sur chaque aéro-éjecteur (nombre de chasse, défauts) ;
- 16 aéro-éjecteurs Defraigne type A3 (3  $m^3/h$ ) à G2 (90  $m^3/h$ ) en passant par les intermédiaires 5, 10, 25, 35, 50  $m^3/h$  ;
- 4 compresseurs de 75 cv, assurant un débit d'air de 1100 normaux  $m^3/h$  ;
- 1 compresseur de secours.