

78643

NS 15456
(3)

THESE

présentée à
L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES

en vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT DE L'ENPC

Spécialité :
Sciences et Techniques de l'Environnement

par

Thierry POUJOL

**LE DEVELOPPEMENT DE
L'ASSAINISSEMENT PAR DEPRESSION :
UN RESEAU URBAIN RETROUVE**

soutenue le 24 septembre 1990 devant le jury composé de :

MM.	J.J. SALOMON	Président et rapporteur
	G. RIBEILL	Rapporteur
	G. DUPUY	Directeur de thèse
	M. CALLON	Examineur
	A. FREROT	Examineur
	B. TISSIER	Examineur

Laboratoire Techniques Territoires Sociétés
Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - Université Paris Val-de-Marne
Unité associée au CNRS - UA 1245

REMERCIEMENTS

Une thèse n'est jamais effectuée dans la solitude. Pendant ses années de recherche, l'auteur sollicite les encouragements, les critiques et le soutien matériel des uns et des autres.

Je tiens à témoigner par ces quelques lignes de ma gratitude envers tous ceux qui m'ont aidé à commencer, à poursuivre sans relâche et à terminer ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur Gabriel Dupuy, Professeur à l'université Paris Val-de-Marne, Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et Directeur du Groupement de Recherche Réseaux du CNRS, pour avoir dirigé ce travail. Ses nombreux conseils ont guidé et soutenu mes démarches.

Je remercie amicalement Georges Ribeill, chercheur au CERTES-LATTS, superviseur de mon travail de DEA sur les réseaux pneumatiques dans la ville. Ses encouragements et son enthousiasme m'ont alors donné envie d'en savoir plus sur les réseaux d'assainissement par dépression. Georges Ribeill est, avec Gabriel Dupuy, l'initiateur de cette thèse.

Je tiens à remercier toutes les personnes au sein d'organismes professionnels, d'administrations, de centres de recherche et d'entreprises privées qui m'ont aidé de leur compétences et de leurs conseils.

Je remercie vivement Isabelle de Conihout, documentaliste du LATTS pour sa disponibilité et son efficacité dans la recherche souvent ardue de pistes bibliographiques.

Très chaleureusement, je remercie pour leur soutien quotidien les membres du LATTS et de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, où ce travail a pu se dérouler dans d'excellentes conditions.

RESUME

Les trois étapes distinctes de la diffusion en France des réseaux d'assainissement par dépression, c'est-à-dire leur émergence à la fin du XIX^{ème} siècle, l'absence totale de nouvelles installations entre 1935 et 1970, enfin leur réapparition dans les années 1970, coïncident avec trois événements clefs dans l'histoire de l'assainissement : la révolution pastorienne qui fait du microbe le premier acteur de l'assainissement ; la normalisation progressive du tout-à-l'égout gravitaire, officialisée avec la mise au point de la circulaire Caquot en 1949 ; et, dans les années 1970, le passage obligé de normes de procédés à des normes de résultats.

L'étude de la diffusion de cette innovation consiste alors à montrer pourquoi une technique bannie a retrouvé aujourd'hui un nouveau droit de cité.

L'analyse historique des facteurs qui ont présidé à la marginalité des premiers procédés pneumatiques révèle que la normalisation du gravitaire a eu une portée plus importante qu'une simple réglementation des tracés et des dimensionnements des conduites. Cependant, le contexte actuel de l'assainissement en France apparaît favorable au développement du réseau sous vide. Le réseau à dépression, comme système de desserte territoriale apparaît d'ailleurs comme un système d'avenir, là même où le gravitaire ne peut être installé facilement. Enfin, le jeu des acteurs industriels promoteurs du pneumatique traduit une succession d'adaptations subies et/ou "initiées" par l'ensemble des acteurs de l'assainissement.

Le développement actuel du réseau par dépression ne remet pas en cause les performances des techniques traditionnelles. Il correspond plutôt à l'apparition de nouveaux besoins et de nouvelles exigences, que les procédés gravitaires et autonomes ne peuvent pas entièrement satisfaire.

MOTS CLEFS : RESEAU D'ASSAINISSEMENT PAR DEPRESSION - MARGINALITE - INNOVATION - SYSTEME DE DESSERTE TERRITORIALE - ACTEURS INDUSTRIELS - PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT - RESEAU GRAVITAIRE.

ABSTRACT

From the end of the 19th century to 1934, a few vacuum sewage collecting systems were tested in the Netherlands and in France. But it took more than 30 years before a new vacuum system was perfected in Sweden. It has taken another 10 years to reach adequate development in France and to gain more acceptance by engineers and organizations concerned with the collection and disposal of sewage.

The purpose of this research is to understand the development process of vacuum sewerage innovation in France, historically rejected and adopted nowadays.

It is beyond question that the gravity sewer standardization process, started last century and achieved in 1949 with the diffusion of Caquot instruction, has doomed to failure the first collection sewer by means of barometric depression.

Meanwhile, in recent years, it appeared that many situations could not be solved by either of the traditional options (septic tank / gravity sewer). The attempts to apply either technology in these situations have been unsatisfactory to all involved. Vacuum collection has thus emerged as a viable solution under economic and environmental constraints.

Moreover, the vacuum sewer firms and adopter categories study show changes in all the sewer system organization.

KEY WORDS : VACUUM SEWERAGE SYSTEM - GRAVITY SEWERAGE SYSTEM - DIFFUSION OF INNOVATION - VACUUM SEWER FIRMS - ENVIRONMENTAL PROTECTION.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
Notes de l'introduction générale	11
 PREMIERE PARTIE : LES CONDITIONS HISTORIQUES DE LA MARGINALITE DES RESEAUX A DEPRESSION	 14
Introduction de la première partie	15
 Chapitre 1 : Le contexte parisien, un passage obligé mais une fausse potentialité	 17
1. Introduction	17
2. Les mauvaises performances des égouts parisiens	18
3. Le vase clos et le gravitaire : l'impensable compromis	23
4. Conclusion	32
 Chapitre 2 : La transformation des excréments en poudrettes : une technique obsolète associée au réseau sous vide	 34
1. Introduction	34
2. Des expériences malheureuses	34
3. Une évolution des exigences d'épuration	37
4. Conclusion	39
 Chapitre 3 : L'usage de l'eau : une impossible restriction	 40
1. Introduction	40
2. Une guerre à l'eau "hygiénique"	40
3. Une guerre à l'eau "économique"	44
4. Conclusion	46

II

Chapitre 4 : Un mode de séparation des effluents inadapté	47
1. Introduction	47
2. Le système Liernur : un mode de séparation peu performant	48
3. Le système Berlier : une infrastructure inadaptée au milieu urbain	51
4. Conclusion	54
Chapitre 5 : La force atmosphérique : un modèle technologique perdu	55
1. Introduction	55
2. Le système Gandillon : pour une autre marginalité	55
3. La force atmosphérique : un début prometteur	59
4. De l'universalité des projets aux réalisations provisoires	63
5. De la normalisation des forces motrices, ou de l'éviction du principe atmosphérique	69
6. Conclusion	73
Conclusion de la première partie : l'assainissement sous vide, une rétro-innovation ?	74
Notes de la première partie	75
DEUXIEME PARTIE : LE RENOUVEAU DES RESEAUX A DEPRESSION : UN CONTEXTE FAVORABLE A L'INNOVATION	83
Introduction de la deuxième partie	84
Chapitre 1 : Description technique des réseaux par dépression : pour une analyse de la différence	86
1. Principe général de fonctionnement	86
2. Les bâches de transfert	89
2.1. Les valves	89
2.2. Les bâches	92

III

3. La centrale de vide	96
3.1. Les pompes à vide	97
3.2. Les pompes de refoulement	97
4. Les canalisations	99
4.1. L'étanchéité des canalisations	99
4.2. Le profil en "dents de scie"	100
4.3. Le diamètre des canalisations	101
4.4. La composition des conduites	102
5. Le réseau d'assainissement par dépression : quelle innovation ?	103
6. Les domaines d'application du réseau d'assainissement par dépression	107
 Chapitre 2 : L'émergence d'un contexte favorable à la diffusion du réseau sous vide	 114
1. Introduction	114
2. Des difficultés croissantes dans la viabilisation des terrains	115
2.1. Une mauvaise qualité des terrains à viabiliser	115
2.2. Une évolution de l'urbanisation	116
2.3. Le développement touristique des sites en bordure d'eau	117
2.4. Autant de champs d'applications possibles pour le sous vide	118
3. Une mauvaise performance du système d'assainissement	119
3.1. Une pollution non collectée : l'insuffisance des réseaux de collecte	120
3.2. Les anomalies des réseaux d'assainissement	123
3.3. Des sites viabilisés difficilement "raccordables" aux stations d'épuration existantes	124
4. L'émergence de la sensibilité aux problèmes d'environnement	125
4.1. L'apparition d'une demande de qualité de l'environnement	125
4.2. L'augmentation de la pollution	126
4.3. La mise en oeuvre des politiques adéquates	126
4.4. Le cas de l'eau	126
4.4.1. La nappe : une source en eau potable	127
4.4.2. Une pollution des eaux de surface voisines	128
5. Une baisse des capacités financières d'investissement	130
5.1. Le mouvement de l'investissement	131
5.1.1. Les subventions de l'Etat	131
5.1.2. La redevance d'assainissement	132
5.1.3. Le recours à l'emprunt	132
5.1.4. Les Agences de l'Eau	133
5.2. La concurrence financière du sous vide	134
6. La maturation des politiques de l'innovation	136
6.1. La politique d'innovation de l'Etat	137
6.2. L'évolution des techniques dans les réseaux urbains	139
6.3. Le cas de l'assainissement	140

IV

7. Le réseau à dépression : un enjeu en génie urbain	146
7.1. Le réseau d'assainissement par dépression, une innovation en génie urbain	148
7.2. Le champ du génie urbain ouvre ses frontières	152
Conclusion de la deuxième partie	156
Notes de la deuxième partie	158
TROISIEME PARTIE : UNE APPROCHE TERRITORIALE DE L'ASSAINISSEMENT PAR DEPRESSION, L'ANALYSE DES RAPPORTS RESEAU-TERRITOIRE.	166
Introduction de la troisième partie	167
Chapitre 1 : La mesure de l'investissement : mythes et réalités	168
1. Pour une remise en cause de la notion d'alternative	168
2. Les limites d'une étude économique comparative	174
2.1. L'étude de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie et du Service Technique de l'Urbanisme : un bilan controversé	174
2.2. Les études de cas	176
2.3. L'approche comparative globale	177
3. Les éléments du réseau par dépression mesurables à l'investissement	178
3.1. Les équipements électromécaniques	178
3.2. Les canalisations	181
4. Conclusion	182
Chapitre 2 : Les coûts d'exploitation : un bilan difficile	186
1. Position méthodologique	186
1.1. Des domaines d'application différents	187
1.1.1. L'importance relative des coûts d'exploitation	188
1.1.2. L'influence de la nature du terrain sur l'exploitation d'un réseau gravitaire	189
1.2. Des modes de gestion différents	192
1.3. Le caractère saisonnier de certaines infrastructures équipées de réseaux à dépression	194
1.4. Des niveaux de développement non homogènes	195
1.5. Les éléments caractéristiques du coût d'exploitation d'un réseau par dépression	196
2. Estimation du coût d'exploitation d'un réseau par dépression	196

V

2.1. Les bâches de transfert	197
2.2. L'usine centrale	197
2.3. La consommation d'énergie	198
2.4. Les dysfonctionnements	200
2.5. Le nombre de raccordements	202
2.6. Les principaux résultats	203
3. Conclusion	208
Chapitre 3 : l'assainissement par dépression : un réseau territorial	216
1. La conception, la réalisation et les différentes évolutions du réseau	216
1.1. La conception	216
1.2. La réalisation	218
1.3. Les évolutions du réseau	218
2. Le système par dépression, un réseau territorial	219
2.1. Une capacité de desserte limitée...	219
2.2. ...mais bien meilleure que celle du gravitaire	222
3. Conclusion	224
Chapitre 4 : La gestion des réseaux par dépression	226
1. La régulation pneumatique définit l'écart entre le réseau virtuel et le réseau réel	226
2. Les dysfonctionnements ou la visibilité des risques	229
2.1. La gestion en temps réel des risques	230
2.2. Quel niveau de sécurité ?	232
3. Conclusion	234
Conclusion de la troisième partie	235
Notes de la troisième partie	236
QUATRIEME PARTIE : LA DIFFUSION DES RESEAUX A DEPRESSION : DES STRATEGIES INDUSTRIELLES	242
Introduction de la quatrième partie	243

VI

Chapitre 1 : Les acteurs et le réseau technique	245
1. Les acteurs de la diffusion	247
1.1. Les usagers : un groupe d'acteurs absents de la diffusion ?	248
1.2. Les industriels : la "cheville ouvrière" du réseau pneumatique	250
2. Position méthodologique : la diffusion, une étape privilégiée dans le processus d'innovation	252
Chapitre 2 : l'âge des alliances	256
1. De Liljendahl à Electrolux : les premiers réseaux par dépression sont installés en France	256
2. Electrolux et SOC : un début d'intéressement, un premier effet vitrine de l'innovation	260
3. Electrolux, SOC et Barriquand : la première alliance industrielle	264
Chapitre 3 : L'âge de la concurrence	269
1. Un divorce à l'amiable	269
1.1. SOC et Barriquand : pour plus d'autonomie	269
1.2. EVAC : avant tout une stratégie nationale	270
2. Les nouveaux mariages de raison	271
3. Vacuflow et Airvac : des enjeux internationaux	275
4. Barriquand, SOC et Transvide : un second souffle	278
5. EVAC, SOGEA et Vacuflow : une alliance à intérêts multiples	280
Chapitre 4 : Les incertitudes de la diffusion	286
1. L'effet vitrine : la fin d'une étape	286
2. La concurrence industrielle : des effets controversés	291
3. Le brevet : un protectionnisme gênant mais non spécifique aux réseaux sous vide	294
Conclusion de la quatrième partie	297
Notes de la quatrième partie	299

VII

CONCLUSION GENERALE	304
BIBLIOGRAPHIE	313
A. Ouvrages généraux en assainissement	315
B. La question de l'assainissement urbain au XIX ^e siècle	318
C. Les réseaux d'assainissement par dépression	320
D. L'application du vide et de la pression à d'autres réseaux urbains	326
E. Réflexions générales sur les réseaux et le génie urbain	330
F. La diffusion de l'innovation	333
G. Bibliographie générale	336
ANNEXE 1 : liste des tableaux figurant dans le texte	339
ANNEXE 2 : liste des figures incluses dans le texte	341
ANNEXE 3 : coût des bâches de transfert et estimation du coût total des réseaux communaux toutes tranches construites	343

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux d'assainissement représentent au moins trois enjeux essentiels pour la gestion et le développement des territoires.

- Enjeu économique : les réseaux d'assainissement sont des infrastructures qui coûtent cher. Elles représentent plus de 80% des dépenses publiques d'investissement allouées à l'assainissement. De plus, le coût du réseau d'assainissement se reporte directement au niveau de la charge foncière, celle-ci étant fixée par le prix du sol nu auquel s'ajoutent les dépenses constituées par les travaux de voirie et de réseaux divers qui peuvent représenter 40 à 50% de cette charge (1).

- Enjeu foncier : les réseaux d'assainissement déterminent donc en partie le choix des zones d'extension d'une agglomération.

Un schéma d'assainissement, quoique succinct, est généralement effectué lors de l'élaboration d'un document d'urbanisme. En revanche, l'absence de réseaux d'assainissement peut être un motif de refus de permis de construire, pour les territoires non dotés d'un plan d'occupation des sol (POS) ou d'un document d'urbanisme en tenant lieu, en vertu de l'article R. 111. 8 du code de l'urbanisme.

- Enjeu écologique : le transport des eaux usées dans des canalisations jusqu'aux centres de traitement (stations d'épuration) limite la détérioration de la qualité des eaux souterraines et de surface.

En outre, le code de l'urbanisme, en l'absence de POS, ne prévoit des dérogations à l'obligation de réaliser des réseaux d'égouts que lorsque l'assainissement individuel ne présente aucun inconvénient pour la nature géologique du sol et le régime hydraulique des eaux superficielles et souterraines (2) (ou bien en raison de la grande superficie des parcelles ou de la faible densité des constructions).

Mais en 1981, un premier bilan national des équipements d'assainissement des collectivités locales a été dressé par le Ministère de l'Environnement (3). La pollution

éliminée par les systèmes d'assainissement fut alors évaluée à moins de 40% de la pollution domestique produite dans l'ensemble de la France par les habitants et les industries "raccordables", et cela après plus de dix années d'investissements techniques et financiers importants.

Une réactualisation de cette étude en 1984 (4) confirma ces résultats et mit aussi en évidence un taux moyen de dépollution plus bas dans les départements du littoral par rapport à l'ensemble de la France. Par ailleurs, une légère amélioration se constatait dans les grandes agglomérations puisque sur 51 villes de plus de 50.000 habitants, 48% d'entre elles ont vu leur taux de dépollution progresser. En outre, une analyse détaillée de ces données montre, non pas un sous-équipement en stations d'épuration, mais un retard pris aussi bien dans les raccordements aux égouts existants que dans la réalisation de nouveaux réseaux de collecte des eaux usées domestiques surtout chez les petites et moyennes collectivités.

La comparaison avec la situation dans d'autres pays permet de prendre la mesure du sous-équipement français : en Allemagne, en Angleterre et en Suède notamment, les taux de collecte s'élèveraient à plus de 80% (5).

Plusieurs phénomènes expliquent le retard de la France en matière de collecte et de transport des eaux usées (6), et la situation critique des petites et moyennes collectivités :

- La tendance historique et technico-administrative à séparer dans l'assainissement la question des réseaux d'égouts et celle de l'épuration, chacune étant devenue un problème en soi, traité de façon ni homogène ni simultanée. Or, avant les années 1980, l'effort s'est davantage porté sur l'équipement en stations d'épuration.
- Le problème des eaux pluviales a certainement favorisé l'équipement des grandes agglomérations et occulté en partie les besoins des petites collectivités beaucoup plus orientées vers la collecte des eaux usées proprement dites.
- Les difficultés financières des collectivités locales : la faiblesse de la progression du niveau d'équipement s'exprime à travers les investissements d'assainissement et d'épuration des communes qui, exprimés en francs 1986, ont régressé de 9 milliards en 1980 à 6,6 milliards en 1986.

Au cours de ces dernières décennies, le choix en matière d'assainissement s'avérait relativement simple pour les petites collectivités. En fonction de leurs critères techniques, urbanistiques, politiques et de leurs moyens financiers, elles pouvaient opter soit pour l'installation d'un égout gravitaire, soit pour la mise en place d'un système individuel d'assainissement.

S'il existait toute une palette de systèmes d'assainissement individuels, le seul représentant du mode collectif restait en revanche l'égout gravitaire dont les quelques variantes (séparatif - unitaire, avec ou sans postes de relèvement) ne remettaient pas en cause son principe technique de fonctionnement ni ses conditions de mise en œuvre.

Petit à petit, la "problématique" de l'assainissement s'est alors confortablement installée dans un dualisme technique "réseau ou non réseau" qui se traduisait de facto, faute de solution nouvelle, par une opposition entre l'égout gravitaire et les solutions individuelles.

Mais aujourd'hui se dessine un phénomène de rupture entre les besoins d'assainissement de certaines collectivités locales et les outils d'assainissement standardisés (égout gravitaire et systèmes autonomes).

Cette rupture est apparue :

- lorsque les administrations ont reconnu officiellement que le gravitaire était de moins en moins approprié à des zones qui paradoxalement suscitaient un intérêt croissant parmi les aménageurs.
- lorsque l'assainissement autonome fut jugé inadapté à certains sites, notamment par les Agences de l'Eau (7) et les DDASS. Les premières, dès 1984, incitaient de plus en plus les maîtres d'ouvrage à installer des réseaux de collecte, même sur des terrains difficiles, afin de rentabiliser les stations d'épuration. DDASS et Agences de l'Eau toléraient moins facilement une contamination des eaux de surface et souterraines dans les zones sensibles par des effluents domestiques non collectés (8). En effet, bien des dispositifs individuels conformes à l'origine deviennent défectueux par absence d'entretien (9). Des élus

demandeurs, des praticiens, des fonctionnaires ont alors fait émerger l'idée d'une alternative afin de réhabiliter l'assainissement autonome : l'installation de systèmes individuels gérés collectivement. Or, différentes enquêtes réalisées auprès des élus, complétées par les premiers résultats de quelques opérations pilotes (10) montrent, d'après M. Chochois (11), que la majorité des communes rurales ne sont pas prêtes à organiser ou imposer un tel service collectif. Les élus appréhendent surtout les réactions de la population lorsqu'il faudra pénétrer sur les parcelles privées et établir un diagnostic par logement pouvant dévoiler ce que certains propriétaires préféreraient cacher (l'inefficacité des systèmes). De plus, la gestion collective de l'assainissement individuel pose d'importants problèmes pratiques et juridiques (12) que les opérations pilotes ne semblent pas avoir résolus. En fait, aujourd'hui, à l'exception de la technique, tout ou presque est à organiser ou créer pour réhabiliter l'assainissement individuel auprès de nombreux acteurs (13).

Faute de solution appropriée, la situation est souvent bloquée. Mais parfois, l'enjeu foncier est tellement important que des applications "aveugles" du gravitaire ou de systèmes individuels sont malgré tout réalisées. Ceci conduit alors à des échecs cuisants tant sur le plan technique, que sanitaire et environnemental.

Or, 47 réseaux d'assainissement par dépression (14) (aspiration des eaux usées domestiques dans des conduites étanches), ont été installés en France entre 1971 et 1989. Par ailleurs, les applications à l'étranger sont beaucoup plus importantes avec notamment 150 réseaux d'assainissement sous vide environ aux Pays-Bas et 60 en Allemagne Fédérale.

Le développement de cette technique, se justifiant à première vue par la viabilisation de terrains difficiles, focalise l'intérêt d'entreprises, d'administrations et de collectivités locales qui découvrent dans l'égout sous vide un nouveau mode d'assainissement.

Cependant, le réseau d'assainissement par dépression n'est pas un procédé nouveau, au contraire, puisque les premières réalisations datent de plus d'un siècle, aussi bien en France qu'à l'étranger. Mais avec seulement une dizaine de réseaux pneumatiques construits, les techniques du sous vide appliquées à l'assainissement restaient des

solutions marginales (15), controversées, sans doute vouées à disparaître au regard des milliers de kilomètres de canalisations gravitaires posées à la même époque dans les zones urbaines. Si certains d'entre eux fonctionnent encore de nos jours, la majorité de ces vieux réseaux pneumatiques a par contre disparu : de 1934 à 1971, il n'y eut en France (16) aucune installation de réseau d'assainissement par dépression

Pourtant, hier et aujourd'hui, des inventeurs, des entreprises et des collectivités ont parié sur les potentialités de développement peu connues et apparemment négligées des réseaux sous vide.

Le regain d'intérêt pour le pneumatique a débouché sur une question prospective, celle sans doute que se posaient déjà les quelques entreprises promotrices de systèmes sous vide : les changements dans les formes spatiales d'urbanisation, dans les modes de vie et dans la gestion des collectivités locales, ne peuvent-ils pas faire émerger une place appropriée à de tels réseaux ?

L'assainissement sous vide est présenté dans la littérature française et étrangère et par certains acteurs comme une innovation dans le domaine de l'assainissement.

En retenant la définition de l'innovation technologique établie par Tornatsky et alii, c'est-à-dire "l'introduction d'une nouvelle technologie dans une organisation donnée" (17), il s'agit alors d'analyser ce qu'il y a de véritablement nouveau dans le réseau sous dépression par rapport aux égouts gravitaires traditionnels.

Si le mode d'organisation, la fonction du réseau pneumatique sont proches de ceux du réseau gravitaire, l'innovation pneumatique n'est pas le terreau d'une nouvelle conception de l'assainissement. Comment, dans ce cas, situer l'égout sous dépression par rapport aux techniques gravitaires ? S'agit-il d'une véritable alternative ou bien d'un simple renfort à la conception en réseau de l'assainissement ?

D'autre part, compte tenu du nombre de réalisations, le réseau sous vide est une technique qui commence véritablement à se diffuser. Existe-t-il alors un processus de diffusion spécifique à l'innovation pneumatique ? Peut-on déterminer un potentiel de diffusion du réseau sous vide ?

Nous pouvons finalement nous demander pourquoi le réseau sous vide ne paraît se développer qu'aujourd'hui, après un siècle de tentatives de développement plus ou moins ratées ?

Cette rupture dans la marginalité est d'autant plus intéressante que le système pneumatique, défini dans ses grandes lignes à la fin du XIX^{ème} siècle, n'a subi jusqu'à présent aucune modification fondamentale qui aurait changé son principe général de fonctionnement (il y a eu bien sûr certaines modifications par ajouts et/ou substitutions d'éléments).

Par conséquent, tout en accordant une juste place à l'évolution des procédés pneumatiques eux-mêmes, l'évaluation des potentialités du réseau sous vide, l'interprétation de son développement à avatars répétés, ne semblent pas pouvoir se réduire à une simple analyse de ses caractéristiques techniques intrinsèques.

Le réseau pneumatique ne serait jugé inférieur ou supérieur à d'autres techniques d'assainissement qu'en fonction des données du problème auquel il doit répondre, données économiques, sanitaires, environnementales, industrielles et sociales.

Dans ces conditions, au lieu d'analyser des délais de diffusion dus à des résistances au changement technique, nous essaierons de repérer quelles sont les différentes alliances qui se constituent autour de la technique pneumatique et leurs évolutions.

Enfin, l'égout pneumatique, quoique de taille réduite, est un réseau à part entière. Or, d'après G. Dupuy, "lorsqu'ils s'inscrivent dans l'espace géographique, les réseaux organisent le territoire" (18).

Comment le réseau sous vide contribue-t-il à organiser l'espace ?

Parmi ses différentes propriétés territoriales, certaines pourraient expliquer le regain d'intérêt du réseau par dépression dans la mesure où cette rupture entre les besoins d'assainissement et les outils standardisés révèle des exigences territoriales nouvelles que les acteurs de l'assainissement ne peuvent désormais plus ignorer.

Par ailleurs, G. Dupuy rappelle que "les contraintes (...) qui ne sont pas d'essence technique mais traduisent des impératifs physiques, économiques, politiques, pèsent lourd dans la conception de certains réseaux" (19). Quels sont alors les compromis qui sous-tendent la diffusion du réseau sous vide ?

Dans cette étude, nous montrerons comment une technique bannie peut acquérir un nouveau droit de cité.

Le diagnostic portera principalement mais non exclusivement sur le cas de la France, où les premières applications pneumatiques ont été les plus nombreuses. A Paris, le procédé sous vide a même été discuté, au siècle dernier, comme une solution générale au

problème de l'assainissement des villes. Enfin, c'est le seul pays à avoir installé des égouts à dépression entre 1913 et 1934. En France plus qu'ailleurs, il y aurait donc bien un véritable retour de l'assainissement par dépression.

L'étude se présente en quatre parties.

- Dans la première partie, il s'agira d'une part de comprendre pourquoi l'égout à dépression, à défaut d'être largement utilisé au siècle dernier, eut néanmoins ses partisans et fut l'objet de multiples évaluations "passionnées", d'autre part de repérer les principaux éléments de la controverse "pneumatique", enfin d'expliquer l'absence de réalisation entre 1934 et 1971. Nous analyserons donc les facteurs qui ont créé les conditions historiques de la marginalité des premiers réseaux sous vide.

Le premier de ces facteurs de marginalité est le cas parisien de l'assainissement au XIX^{ème} siècle, point de passage français obligé, mais qui s'avérait être une fausse potentialité (chapitre 1). Par ailleurs la disparition de la transformation des excréments en poudrettes a certainement été fatale à l'égout par dépression (chapitre 2). La restriction de l'usage de l'eau fut également un argument de poids développé par les ingénieurs, médecins et hygiénistes opposés au réseau pneumatique (chapitre 3). Tout comme la production de poudrettes, le mode de séparation des effluents préconisé par les inventeurs des premiers systèmes sous vide ne répondait plus aux besoins sanitaires des grandes agglomérations européennes (chapitre 4). Enfin, la force atmosphérique a fait figure de modèle technologique perdu, ce qui explique en partie l'échec du système Gandillon devant la normalisation progressive du principe gravitaire (chapitre 5).

- La deuxième partie montrera que les conditions historiques de la marginalité des réseaux sous vide n'existent plus aujourd'hui.

La description technique des nouveaux réseaux à dépression, leurs principales différences avec l'égout gravitaire, permettent de comprendre ce qu'il y a d'innovant dans les récentes techniques pneumatiques. Nous déterminerons alors les domaines d'application des procédés sous vide (chapitre 1).

Dans une seconde étape (chapitre 2), nous analyserons l'émergence d'un contexte

favorable à la diffusion du procédé d'assainissement sous vide en France : la mauvaise qualité des nouveaux terrains à bâtir, les médiocres performances des systèmes d'assainissement français, l'émergence de la sensibilité aux problèmes d'environnement, la baisse des capacités financières d'investissement des collectivités locales, une reconnaissance de la diversification des techniques (la maturation des politiques de l'innovation) et l'élaboration d'un savoir-faire en génie urbain représentent des conditions propices au développement d'un système, différent du gravitaire, assurant un service en réseau.

- La troisième partie consistera en une évaluation globale des performances du réseau sous vide, non plus comme technique, mais comme système territorial.

La nature particulière de la force de transport mise en oeuvre dans un procédé sous vide entraîne un phénomène de régulation qui est déterminé aussi bien par les multiples centres de production de cette force que par leurs différents liens. On pressent alors toute l'importance de cette régulation dans l'installation, le fonctionnement et le développement d'un réseau pneumatique.

De ce point de vue, nous étudierons successivement : la performance économique à l'investissement (chapitre 1) et au fonctionnement (chapitre 2) du réseau par dépression ; sa capacité territoriale de desserte (chapitre 3) ; ses possibilités de régulation diachronique (chapitre 4).

- La quatrième partie sera consacrée à l'étude du processus de diffusion en France des nouveaux réseaux sous vide par l'analyse des stratégies industrielles.

La place des caractéristiques du réseau sous vide dans le processus de diffusion de l'innovation n'est pas aussi claire que l'analyse peut le laisser supposer, notamment du fait des stratégies des industriels. Nous supposons que ces derniers ont un rôle privilégié dans le développement de la technique (chapitre 1).

Nous verrons dans les étapes d'alliance (chapitre 2) et de concurrence (chapitre 3) industrielles, puis dans l'analyse des incertitudes de la diffusion (chapitre 4), que le développement du réseau sous vide traduit une succession d'adaptations subies et/ou "initiées" par l'ensemble des acteurs de l'assainissement. Nous essaierons alors de repérer les différents intérêts en jeu et les alliances multiples qui structurent le potentiel de diffusion des techniques sous dépression.

La situation actuelle de l'assainissement par dépression en France nous conduira, en conclusion, à nous interroger sur la durée de validité du statut d'innovation des réseaux sous vide.

NOTES DE L'INTRODUCTION GENERALE

- (1) Voir la thèse de B. Lancelot : La gestion automatisée des réseaux d'assainissement, l'analyse d'un processus d'innovation technologique, thèse de 3ème cycle, ENPC-CERTES, Université Paris Val-de-Marne, 1985.
- (2) Se reporter à l'article R.111.11 du code de l'urbanisme.
- (3) Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie, L'état de l'équipement des collectivités en matière d'assainissement, activités 1979, mars 1981.
- (4) Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie, L'état des collectivités en matière d'assainissement, activité 1980-1981, janvier 1984.
- (5) Voir B. Godfroy, "L'assainissement, un marché important en France", Colloque réseaux d'assainissement, Agence de L'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 16 mars 1989.
- (6) Aucun spécialiste ne conteste le retard de la France en matière de réseaux d'assainissement. Néanmoins, certains ingénieurs estiment qu'il est nécessaire de nuancer les données françaises et étrangères. Ainsi, il ressort d'un entretien avec D. Balay du Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts (janvier 1990), que les taux de dépollution seraient sous évalués en France et sur-évalués à l'étranger.
 En ce qui concerne la France, la quantité journalière de matières polluantes brutes émises par habitant, calculée forfaitairement sur une base réglementaire fixée par les Agences de l'Eau, serait sur-évaluée. De plus, les études effectuées ne prendraient pas systématiquement en compte les équipements autonomes garantissant pourtant, sous certaines conditions, une épuration satisfaisante des eaux usées.
 Pour les taux de dépollution étrangers, deux hypothèses amènent la prudence à l'égard des résultats officiels. Il semblerait que l'on écarte des statistiques les zones rurales à faible population, non agglomérées aux zones à forte densité. Par ailleurs, à l'exception de la France, les pays européens seraient beaucoup moins exigeants vis-à-vis du rendement des stations d'épuration.
 Ces remarques méritent d'être évoquées. Cependant, l'absence d'étude venant confirmer ou infirmer ces hypothèses nous conduit à ne pas tenir compte de ces dernières. Nous n'illustrerons donc notre réflexion qu'à l'aide des données officielles des Agences de l'Eau et du Secrétariat d'Etat à l'Environnement et aux Risques Majeurs.
- (7) En 1974, année de leur création, cinq des six agences se dénommaient alors "Agence Financière de Bassin". Il s'agissait des agences Seine-Normandie, Loire-Bretagne, Rhône-Méditerranée-Corse, Adour-Garonne et Rhin-Meuse. L'agence Artois-Picardie avait opté dès 1974 pour l'appellation "Agence de l'Eau", afin d'éviter toute confusion avec les bassins miniers, nombreux dans cette partie de la France. Aujourd'hui, dans les documents officiels, l'agence Seine-Normandie conserve son nom d'origine, les cinq autres ayant désormais pris le nom d'"Agence de l'Eau". En fait, cette terminologie différente ne remet pas en cause les fonctions communes à ces six organismes. Aussi, pour la clarté du texte nous n'emploierons que le terme "Agence de l'Eau" pour désigner ces

établissements publics, tout en sachant que certains d'entre-eux ont changé de nom à des époques différentes.

- (8) Pour l'assainissement individuel, l'épandage se fait à faible profondeur entre 40 et 60 cm. Or dans certaines zones où la nappe phréatique affleure régulièrement la surface du sol, un tel système peut présenter des risques de contamination malgré la mise en place d'un terre d'infiltration. Le terre d'infiltration permet de reconstituer au dessus de la surface du sol les conditions d'un épandage souterrain, avec des matériaux rapportés, de perméabilité satisfaisante. Pour plus de détails techniques, voir Contraintes d'assainissement individuel au niveau de la parcelle dans les opérations d'habitat de faible et moyenne densité, Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Services Techniques de l'Urbanisme, janvier 1984.
- (9) Ainsi, dans le canton d'Anfreville, l'inventaire réalisé sur 600 dispositifs, avant le démarrage de l'opération pilote de réhabilitation de l'assainissement individuel, a fait ressortir que moins de 18 % des installations existantes étaient convenables, que 22 % devaient être créées ou remaniées et surtout que 42 % nécessitaient des modifications importantes, cité par M. Chochois, Aménagement des communes rurales, gestion collective de l'assainissement individuel, situation et perspectives, 1984.
- (10) Nous pouvons citer les opérations d'Anfreville, du district rural de l'Est Saint Quentinois, d'Aulnais, d'Echandon et de Toulouse.
- (11) M. Chochois, op.cit.
- (12) Notamment parce que d'une part les dispositifs sont situés chez les particuliers donc dans le domaine privé, d'autre part les obligations de résultats que suppose le service public restent à la charge des usagers.
- (13) Par ailleurs, les opérations pilotes ont généralement bénéficié de financements exceptionnels qui ont permis aux élus de se concentrer essentiellement sur des problèmes techniques ou administratifs. Ainsi l'opération d'Anfreville a été subventionné à 100 % pour les travaux et a obtenu une prise en charge de l'entretien de 100 % pendant 5 ans par l'Agence de Bassin. La question du financement se pose désormais. Or, affirmer une politique de soutien à l'assainissement individuel, cela signifie donner aux structures porteuses les moyens de le financer. Cette politique varie considérablement suivant le département et l'Agence de Bassin concernés.
- (14) Pour désigner le réseau d'assainissement par dépression nous utiliserons dans cette étude la terminologie suivante : réseau (ou égouts) par dépression ; à dépression ; en dépression ; sous vide ; pneumatique(s).
- (15) Pour marginal, le Petit Larousse 1986 propose la définition suivante : "secondaire, qui n'entre pas dans l'essentiel, l'activité principale". Le Petit Robert 1987 suggère le synonyme "accessoire".
- (16) Nous verrons par la suite en quoi cette précision géographique a de l'importance.

- (17) Tornatsky et Alii, The process of technological innovation, reviewing the literature, National Science Foundation, 1983.
- (18) G. Dupuy, "Réseau", projet d'article pour l'Encyclopaedia Universalis, mai 1988.
- (19) G. Dupuy "Les réseaux techniques, sont-ils des réseaux territoriaux ?", L'Espace Géographique, n° 3, 1987.

PREMIERE PARTIE

LES CONDITIONS HISTORIQUES DE LA MARGINALITE DES RESEAUX A DEPRESSION

INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE

L'analyse historique que nous nous proposons d'effectuer dans cette première partie n'a pas pour objectif d'accéder à une connaissance complète des inventions pneumatiques depuis la construction du premier réseau sous vide à Amsterdam en 1871.

Au regard de ce qui c'est passé en France, et dans d'autres pays, cette approche doit nous permettre avant tout de mieux comprendre pourquoi les premiers réseaux d'assainissement par dépression ne furent en général l'objet que de quelques réalisations (certaines provisoires) dont les dernières datent de 1934 (réseaux à chasses atmosphériques Gandillon installés à Nevers et Fort de France).

En fait, nous allons voir que l'apparition des réseaux sous vide, mais aussi leurs déboires coïncident avec deux événements clefs dans l'histoire générale de l'assainissement :

- * Le premier est un défi imprévisible à l'époque : la révolution pastoriennne qui fait du microbe, être multiforme, invisible et omniprésent, le premier acteur de l'assainissement.
- * Le second est un défi déjà prévisible lors des premières expérimentations pneumatiques : la normalisation progressive du tout-à-l'égout gravitaire. Il s'agit alors de standardiser des méthodes de calcul et de construction des égouts. Mais cette normalisation aura une portée plus large qu'une simple réglementation des tracés et des dimensionnements des canalisations. En effet, tout procédé technique, dont les conséquences sur d'autres équipements urbains situés en amont ou en aval du transport des effluents (consommation d'eau domestique, nature de la collecte, mode de traitement des matières recueillies...) pourraient freiner le développement de l'égout gravitaire, sera critiqué, marginalisé, abandonné.

Ainsi, l'existence du réseau à dépression a été lié au XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle d'une part à des principes techniques et hygiéniques d'assainissement déjà condamnés, d'autre part à des systèmes techniques eux-mêmes transitoires :

- Le principe du vase clos, difficilement compatible avec des pratiques haussmanniennes très fortes ;
- la transformation industrielle des excréments en poudrettes ;
- une restriction de l'usage de l'eau ;
- la séparation des excréments du reste des eaux usées pour leur transport ;
- la force atmosphérique, un modèle technologique de "transition", vite oublié, définitivement écarté des normes de construction et de fonctionnement des réseaux.

Nous expliquerons dans cette partie comment une innovation a échoué en raison de décisions, parfois implicites, toujours prises au milieu d'incertitudes contre lesquelles il était pratiquement impossible pour les acteurs concernés de se garantir.

Faire référence explicitement à l'histoire nous paraît inévitable dans la mesure où aujourd'hui comme hier, le réseau par dépression reste le même objet technique, conserve le même principe de transport des effluents.

L'étude historique nous permettra alors de démontrer dans les chapitres suivant, mais aussi dans la deuxième partie, que les conditions de "marginalisation" des premiers réseaux d'assainissement pneumatiques ne jouent plus actuellement.

CHAPITRE 1

LE CONTEXTE PARISIEN : UN PASSAGE OBLIGE MAIS UNE FAUSSE POTENTIALITE

1. Introduction.

La ville de Paris ne constitue pas le premier champ d'expérience des réseaux sous vide. Chronologiquement, le premier réseau à dépression, c'est-à-dire le réseau Liernur, a été installé dans un quartier d'Amsterdam en 1871. Un deuxième procédé connu à cette époque fut testé par son inventeur Berlier à Lyon en 1880.

Les facteurs qui ont présidé à l'installation des deux techniques à Amsterdam et à Lyon sont relativement complexes. Quelle est la part du technique, du social, de l'imaginaire, de l'éducation reçue par ces précurseurs dans la naissance de leur invention ? Ce sont là des facteurs d'une réelle importance en soi, pour comprendre les deux premières étapes de la diffusion d'une innovation, c'est-à-dire la création et la mise au point. Cependant, nous ne les intégrerons pas directement dans cette analyse parce qu'ils nous écarteraient de notre objectif : l'étude de la rupture de la marginalité des réseaux sous vide, point de vue qui se réfère davantage à une troisième étape de la diffusion : les possibilités d'adaptation d'un nouveau produit à des contextes différents de celui de la création et de l'expérimentation.

En revanche, l'état sanitaire de Paris dans les années 1880 pose d'emblée la question des potentialités de développement du sous vide à cette époque. En effet, si la construction des égouts visitables destinés à la propreté de la capitale a été largement louée, leur utilisation dans la perspective de la santé publique n'a pas été adoptée avec facilité. La question de l'évacuation de toutes les eaux usées domestiques dans ces galeries souterraines devint l'occasion de controverses passionnées de la part des hygiénistes et des ingénieurs parisiens.

Les procédés à dépression prennent alors de l'intérêt en France car selon l'avis de certains hygiénistes, ils pourraient améliorer les performances de l'assainissement. Néanmoins, nous allons voir que leur implantation dans le sous-sol de la capitale restera faible en raison même de ce sous-sol, propriété quasi exclusive d'un système en place dominant, le gravitaire, dont les partisans toléraient difficilement un partage territorial et

de fonction avec un autre réseau pourtant conçu comme un renfort et non comme un réel substitut.

2. Les mauvaises performances des égouts parisiens.

Avant 1800, il existait déjà dans Paris 23.530 mètres de galeries d'égouts. Hausmann n'est donc pas à l'origine de l'assainissement dans la capitale (1), mais il a indéniablement transformé le régime des égouts souterrains grâce à un projet global qui lui permit de remanier et d'élargir le réseau existant, d'établir de nouveaux collecteurs parallèles à la Seine, d'assainir la Bièvre et aussi de construire un ouvrage gigantesque : le grand collecteur de Clichy, achevé en 1860. Ce dernier complétait un vaste système de canalisations et affranchissait les quartiers de la rive droite des fréquentes inondations qui les envahissaient lors des périodes d'orages.

En 1857 près de 180.000 mètres de galeries d'égouts traversaient Paris de part en part. 25 ans plus tard, le réseau atteint une longueur totale de 700 kilomètres, ce qui témoigne de l'ampleur des travaux réalisés sous la responsabilité technique de l'Inspecteur Général des Ponts et Chaussées Belgrand, alors Directeur des Eaux et Egouts de la ville de Paris.

Modernité assumée d'abord en terme d'hygiène, mais conçue aussi comme l'émergence de nouvelles structures sociales et économiques, les égouts parisiens furent en général accueillis avec un enthousiasme évident : "Rien de plus grandiose" disait M. Charles Friès à propos du collecteur de Clichy, "que l'aspect de cet immense souterrain, construit dans des conditions de solidité exceptionnelles et qui est aux anciens égouts ce que sont à tant de rues récemment disparues du sol parisien les splendides voies qui y tracent leur majestueux sillons " (2).

La circulation de l'air et de l'eau, la pénétration de la lumière s'opposant à l'entassement et à la concentration de l'air vicié, devinrent alors le signe d'un enrichissement et d'un luxe urbain que l'on imaginait un peu trop vite se "propageant et s'infiltrant dans toutes les classes"(3).

Pourtant, à la même époque, Paris, doté d'un vaste réseau d'égouts visitables renfermant dans ses galeries d'autres réseaux dont celui d'eau potable (4), ne comptait pas curieusement parmi les villes d'Europe où la salubrité semblait la plus satisfaisante. Les ingénieurs, hygiénistes et médecins, collaborateurs d'Hausmann et de Belgrand, ou simples partisans de leurs travaux, sont d'autant plus troublés que le "puissant organe d'assainissement créé dans la capitale" (5) ne donnait pas les résultats escomptés.

En effet, dans la vie quotidienne des années 1880 trois phénomènes révèlent un Paris malsain et inquiétant :

- l'augmentation des cas de fièvre typhoïde. En 1867 sont enregistrés dans les statistiques municipales 995 décès (soit 50 pour 100.000 habitants) ; la maladie a tué 3.403 personnes en 1882 (soit 150 pour 100.000 habitants) (6). Or, la typhoïde est si familière en milieu urbain à cette époque qu'on ne s'en préoccupe guère sauf en cas de signes précurseurs d'une forte contagion : c'est le cas en 1882.
- l'état de la pollution de la Seine. Le fleuve offre à ses riverains le spectacle d'un véritable égout à ciel ouvert, charriant eaux sales et détritiques de toutes sortes déversés par les égouts souterrains en 45 endroits différents dans Paris. Mis à part le problème des nuisances olfactives, la Seine reste encore pour un bon nombre de Parisiens la principale source d'approvisionnement en eau.
- les odeurs de Paris. Pendant l'été 1880, Paris fut envahi par des odeurs pestilentielles d'une telle intensité que l'opinion publique dénonça la négligence administrative. Or si la puanteur n'est plus considérée comme une cause de maladie depuis les récents travaux de Pasteur, elle présage néanmoins de la présence du germe pathogène. Médecins et hygiénistes commencent alors à suspecter les égouts, l'état des fosses d'aisance, la qualité des eaux potables et l'insalubrité des logements (7).

En fait, les égouts de Paris, dont quelques uns avaient été construits à des époques différentes, étaient loin de réaliser, dans leur ensemble, les conditions d'un bon

fonctionnement - c'est-à-dire assurer l'éloignement des eaux usées le plus rapidement possible de tous les lieux d'habitation - à l'exception des grands collecteurs où l'écoulement des matières s'effectuait avec facilité.

L'ensemble souffrait d'un manque général de pente. Ainsi, autour de l'Opéra, les égouts étaient complètement à sec. Dans le collecteur du boulevard de Rochechouart (collecteur dans lequel cinq ouvriers avaient été asphyxiés en septembre 1880 (8)), il n'y avait presque pas de courant d'eau. Une vase malodorante remplissait l'égout de la rue Montmartre. Neuf nuits consécutives avaient été nécessaires pour enlever les boues noirâtres de l'égout de la rue Bonaparte qui était de construction récente...

Depuis 1878, le volume annuel des vases extraites des égouts parisiens s'élevait à environ 200.000 mètres-cubes, et déjà plus de 800 ouvriers travaillaient à la collecte de cette vase en utilisant différents racloirs. Cette opération de curage était nécessaire pour éviter une obstruction complète des égouts et un temps de séjour trop long des matières organiques qui entraient alors en fermentation au grand déplaisir de la population et des égoutiers (9).

Il n'était donc pas étonnant d'entendre Brouardel, fidèle disciple de Pasteur, professeur de médecine très influent dans les années 1880, et membre du Comité Consultatif d'Hygiène, raconter que "le curage n'est pas organisé et probablement pas organisable de façon à ce qu'une matière organique soit prise à son lieu de dépôt et conduite jusqu'à l'embouchure du collecteur par un entraînement non interrompu" (10).

La situation avait d'ailleurs commencé à s'aggraver depuis 1867, époque de l'autorisation de l'écoulement direct des eaux vannes des fosses d'aisances aux égouts de la ville, et elle s'était brutalement détériorée pendant l'hiver 1879-1880.

Les parisiens avaient vu s'accumuler d'énormes masses de neige. Celle-ci, après un séjour prolongé dans les rues, avait été jetée en grande partie dans les égouts avec tous les détritiques organiques qui s'y étaient accumulés pendant plusieurs semaines, notamment les produits de vidange des fosses dont le mauvais temps avait empêché le transport jusqu'aux voiries. C'est cette masse encombrant les égouts qui provoqua, après un printemps et un été secs, les émanations les plus intenses.

La question du mode d'évacuation des vidanges se rattachait donc au problème de l'insalubrité de la ville et laissait présager des difficultés supplémentaires lorsque les 80.000 fosses fixes encore en service en 1882 seraient supprimées.

Malgré l'installation de son réseau d'égout, Paris avait en effet conservé, comme mode général de réception des immondices de ses habitants, la fosse fixe, et comme mode de traitement de ces matières, les voiries, dépotoirs et usines à sulfates d'ammoniaque (11). Le véritable système du tout-à-l'égout n'existait donc pas.

Mais il y avait déjà un point sur lequel les idées de l'administration municipale étaient fortement arrêtées : la suppression des fosses, fixes et mobiles, véritables foyers d'infection et obstacles à l'introduction de l'eau dans les logements, mesure alors jugée progressiste par le corps médical et les ingénieurs au service de la capitale.

Si les causes d'infection signalées à Paris dépendaient largement du mode de collecte, d'évacuation et de traitement des excréments humains, le système des fosses fixes étant presque unanimement condamné en faveur d'une sortie rapide des matières hors de la maison, il restait néanmoins à savoir si ces matières pouvaient être versées directement à l'égout sans conséquences graves pour l'hygiène publique. Or compte tenu de l'état général de fonctionnement du réseau parisien, il ne semblait pas a priori évident pour tout le monde que les larges égouts de Belgrand fussent dans ce cas la solution la plus satisfaisante.

La lutte entre les partisans et les adversaires du "tout-à-l'égout" se propagea au sein des sociétés savantes (dont la Société de Médecine Publique et d'Hygiène Professionnelle qui faisait autorité dans le monde scientifique de cette époque) et s'installait même dans les services techniques et administratifs de la ville de Paris.

Par arrêté en date du 25 octobre 1882, le préfet de la Seine nomma alors une commission technique ayant pour objet :

- de faire le choix du meilleur système d'évacuation des matières fécales ;
- d'indiquer les modifications à apporter, du point de vue de la salubrité, dans les procédés employés pour la construction et le curage des égouts et pour l'écoulement des eaux ménagères.

Cette commission, formée d'Inspecteurs Généraux des Ponts et Chaussées, d'Ingénieurs Civils, d'Ingénieurs en Chef des Ponts et Chaussées et des Mines, d'Hygiénistes, d'Architectes et de membres de la Commission des Logements Insalubres, avait finalement des possibilités limitées dans le choix d'un système d'évacuation des vidanges à promouvoir dans Paris car seules deux stratégies de désinfection, toutes les deux basées sur une organisation en réseau de l'assainissement, étaient alors envisageables :

- l'écoulement à l'égout de toutes les matières de vidange, c'est-à-dire le tout-à-l'égout. Mais aux yeux de certains ingénieurs et d'un bon nombre d'hygiénistes, la simplicité du système cachait de grands dangers dont le plus grave était la communication constante entre l'air des égouts et celui de l'extérieur, favorisant la propagation sur la voie publique des odeurs et des "germes méphitiques" des égouts.
- l'écoulement par une canalisation spéciale et fermée de toutes les matières de vidange, avec en parallèle, un réseau gravitaire pour évacuer les eaux pluviales et "publiques". Deux systèmes conçus sur ce principe sont déjà expérimentés en cette fin de siècle, il s'agit des procédés "Liernur" et "Berlier" qui assurent une vidange par dépression des matières organiques, c'est-à-dire leur évacuation et leur transport dans une canalisation souterraine étanche dont l'air est raréfié par des machines (12).

Le système du Capitaine Liernur était mis en service à Amsterdam et à Leyde dès 1871, puis à Dordrecht en 1873.

J.B. Berlier quant à lui, avait été autorisé par délibération du Conseil Municipal de Paris en date du 2 août 1881 à installer dans quelques égouts de la capitale un procédé pneumatique qui différait de celui inventé par Liernur.

3. Le vase clos et le gravitaire : l'impensable compromis.

Les conditions d'étanchéité, assurant une absence théorique de propagation des germes infectieux, ont été, pour les deux techniques sous vide, le seul critère retenu par les experts de la Commission des Odeurs de Paris (nommée en 1880) pour apprécier l'intérêt de tels procédés et leur éventuelle installation dans Paris.

L'ensemble des hygiénistes et ingénieurs des services techniques de Paris s'accordaient sur la nécessité de rechercher une évacuation totale et immédiate, hors des lieux d'habitation, des excréments dont on savait déjà qu'ils étaient responsables de la fièvre typhoïde. Or, avec les réseaux en dépression, c'est une stratégie de désinfection fondée sur la suprématie du vase clos qui est proposée. Elle vise à interdire tout contact entre les matières susceptibles de produire des germes en abondance et le milieu humain qu'il devient urgent de protéger. Cette stratégie s'appuie sur l'étanchéité, le vide et l'usage de la pompe.

Dans un Paris nauséabond, rendre le déchet inodore et préserver les habitants de son contact devenait en fait possible avec les systèmes de Liernur et Berlier. L'enthousiasme chez les médecins et hygiénistes de la Commission des Odeurs, pour ces égouts sous vide, est d'autant plus vif que depuis les récents travaux de Pasteur et de ses collègues, le microbe matérialise le risque de l'infection. Une bonne hygiène consistera désormais, non seulement à éloigner toute souillure des habitations, mais aussi tout microbe. Reste que cet être multiforme échappe totalement à l'oeil nu et est finalement capable de franchir toutes les barrières, dont celle des égouts visitables de Belgrand. Les conséquences de cette nouvelle prise de conscience parmi les médecins de la commission sont inévitables : assainir une ville, c'est travailler sur de l'invisible ; il faut alors emprisonner le microbe, donc l'effluent, dans une enceinte hermétiquement close. C'était finalement ce que Berlier et Liernur proposaient.

D'ailleurs pour B. Latour (13), la "domestication" des microbes par les pastoriens et les hygiénistes introduit au XIX^{ème} siècle une modification des rapports sociaux. Dans l'univers urbain, et à plus forte raison dans le domaine des égouts, "les hommes ne sont plus entre eux, car partout des microbes inter-viennent et agissent" (14). Mais comme les microbes sont invisibles, c'est aussi aux "montreurs de microbes" qu'il faut faire place. Par conséquent, les pastoriens et les hygiénistes gagnent le pouvoir d'être partout présents puisqu'ils deviennent les "porte-parole de ces nouveaux acteurs innombrables,

invisibles et dangereux" (15). On comprend alors pourquoi Berlier et Liernur s'adresseront autant, si ce n'est plus, aux médecins hygiénistes et pastoriens qu'aux techniciens de l'assainissement.

Berlier avait effectivement mis en place à Lyon une canalisation sous vide de 4 kilomètres qui supprima le transport des matières excrémentielles fait jusqu'alors par bateau, facteur évident de morbidité. Les experts parisiens de la Commission des Odeurs avaient néanmoins un peu trop vite oublié que cet égout pneumatique lyonnais ne correspondait pas tout à fait au système que Berlier voulait et put expérimenter à Paris. En effet, cette canalisation ne possédait pas de raccordement particulier et n'assurait qu'un rôle de transport entre deux points de collecte.

Le réseau Liernur avait réellement permis de limiter le rejet direct des matières fécales dans les canaux de la ville d'Amsterdam et d'enrayer ainsi leur contamination. Là encore les experts de la Commission avaient, semble-t-il, omis le fait que le système sous dépression, avec ses conduites à petite section et posées horizontalement, était alors un moyen général d'assainissement pouvant être facilement appliqué dans cette ville bâtie sur pilotis et pour laquelle la construction d'égouts gravitaires s'avérait difficile. Or la situation topographique de Paris ne pouvait pas se comparer à celle des villes hollandaises.

On mesure déjà l'inadéquation des expériences pneumatiques alors en cours avec le contexte parisien des années 1880. Mais l'impossible émergence du réseau sous vide dans Paris dépassait cette inadéquation et même la simple opposition entre deux stratégies de désinfection, celle du vase clos basée sur l'étanchéité et celle de l'accélération des flux du tout-à-l'égout où l'excrément perd de sa nocivité car "entraîné dans le torrent des égouts" (16).

Si le mode d'écoulement des vidanges dans une canalisation spéciale s'avérait être une solution intéressante du point de vue de la salubrité, son application systématique, ou même partielle, dans la capitale aurait alors signifié la condamnation des égouts de Belgrand dans Paris comme véhicule des matières fécales. Or l'enjeu des égouts à cette époque dépassait largement le cadre parisien puisque Haussmann voulait installer un modèle généralisable à l'ensemble des villes françaises. Le procédé pneumatique ne pouvait donc pas avoir sa place à côté d'un système d'assainissement dominant parce

qu'antérieur et empreint d'un "ostracisme technique" généré par des pratiques haussmanniennes très fortes :

- * Dans les années 1880, Paris compte 700 kms d'égouts. Leur efficacité était certes aléatoire, mais ils formaient déjà depuis le Second Empire un réseau étendu à toute la ville. C'est autant l'importance chaque année croissante de ce réseau que des considérations d'ordre hygiénique qui conduisit à l'idée de la suppression des fosses d'aisance à l'intérieur des immeubles. Aussi, lorsque la commission technique de l'assainissement devait étudier d'une part le meilleur système d'évacuation des matières fécales, et d'autre part les modifications à apporter dans les procédés de construction et de curage des égouts, la réponse au premier problème se trouvait bien dans l'étude du second ; les commissaires en étaient persuadés avant même le début des séances de travail.
- * Haussmann a transformé Paris en utilisant un ensemble solidaire de règles d'aménagement qui devait former un véritable modèle circulatoire reproductible dans toute autre ville. Il s'agissait en effet de mettre en place un système urbain de communication où tout ce qui est flux de déplacement est sain. Ce principe de portée générale, le Préfet de Paris allait l'appliquer dans une même logique aux circulations de surface et souterraines. La force de la conception haussmannienne fut la mise en oeuvre de ce système "bien lié, bien un" (17) dans lequel chaque réseau remodelé portait l'empreinte d'une chirurgie radicale de percement, d'élargissement. Aussi pour les partisans d'Haussmann, les égouts visitables de Belgrand reflétaient l'image rassurante des larges rues récemment tracées. Les petites canalisations pneumatiques ne pouvaient donc pas présenter un réel intérêt auprès de ceux qui géraient les services municipaux parisiens, vitrine politique et technique des travaux du préfet.

Le système Liernur ne fut jamais testé dans Paris. Quant au procédé Berlier, si le 2 août 1881, le Conseil Municipal accepta par délibération le principe de l'expérience, les essais effectués restèrent marginaux. Quelques appareils récepteurs et évacuateurs avaient été installés à la caserne de la Pépinière, au Ministère de la Marine, dans certains immeubles de la rue Royale, du boulevard Malesherbes et de la rue du Rocher, ainsi qu'au restaurant Durand place de la Madeleine (8^{ème} arrondissement) (18).

L'ensemble du réseau ne raccordait que 48 chutes, dont 22 appartenaient à la seule caserne de la Pépinière. Le système ne connut aucune extension et la loi du 10 juillet 1894, rendant obligatoire à Paris l'application du tout-à-l'égout, ne permit pas le renouvellement de l'autorisation temporaire accordée à Berlier. L'inventeur fut réduit à continuer l'exploitation de son petit réseau jusqu'à l'expiration des engagements qu'il avait contractés avec les propriétaires des immeubles desservis.

Pourtant l'autorisation donnée par le conseil municipal de Paris à J.B. Berlier stipulait que l'expérience devait porter sur cent chutes au moins, représentant une population minimale de 3.000 habitants. Outre une mauvaise volonté évidente de la part des ingénieurs du service des eaux et égouts de Paris pour aider Berlier à développer son expérience, celui-ci n'avait pas su inspirer assez de confiance pour que les propriétaires d'immeubles et les hygiénistes lui offrent la possibilité de donner à son réseau l'importance jugée nécessaire par la Commission Technique.

En effet, l'inventeur français avait introduit dans les immeubles deux appareils indispensables au bon fonctionnement de son réseau sous vide : le récepteur et l'évacuateur. Ces deux appareils formaient deux cuves communiquant entre elles dont l'une, le récepteur recevait les déjections des cabinets d'aisance, et l'autre, l'évacuateur, les propulsait dans la canalisation qui était en dépression permanente. Ils étaient en quelque sorte l'interface entre les conduites de chute des immeubles et le réseau en dépression (voir figures I et II pages 27 et 28).

Mais leur localisation et les différentes manipulations qu'ils nécessitaient représentèrent un handicap sérieux à l'extension du réseau, malgré certaines précautions prises par Berlier.

Dans le récepteur, un panier à grille retenait les objets solides et les excréments non dilués. Une fois rempli, ce panier pouvait être retiré de l'appareil par une porte à joint étanche. Berlier cherchait de cette façon à limiter les obstructions dans les canalisations. L'inventeur, certainement informé des nombreuses obstructions dans les réseaux pneumatiques hollandais (voir chapitre 4, partie I), avait mis en place ce panier dégrilleur, pour justement éviter ce type de problèmes dans ses installations. En plus de la crainte d'avoir des frais d'exploitation élevés dûs à la réparation des canalisations, il aurait surtout été difficile de faire admettre aux ingénieurs parisiens que son système était réellement étanche, si par ailleurs, des obstructions nécessitaient l'ouverture des conduites en dépression installées dans les égouts.

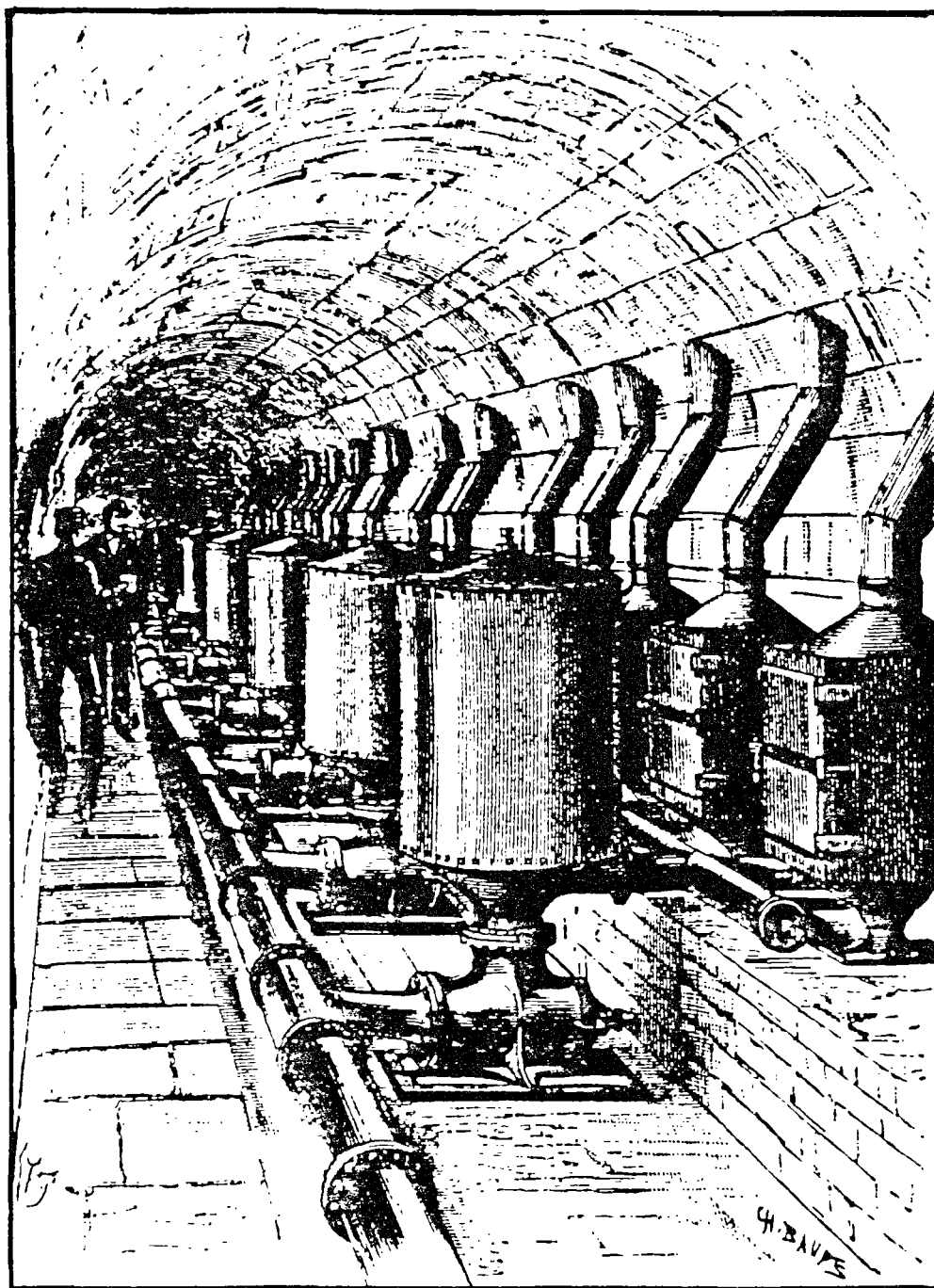


Figure I : les 22 chutes pneumatiques de la caserne de la Pépinière.
Source : Compagnie Générale de Salubrité, L'assainissement des villes par le système pneumatique de
J.B. Berlier, Paris, Grande Imprimerie, 1885.

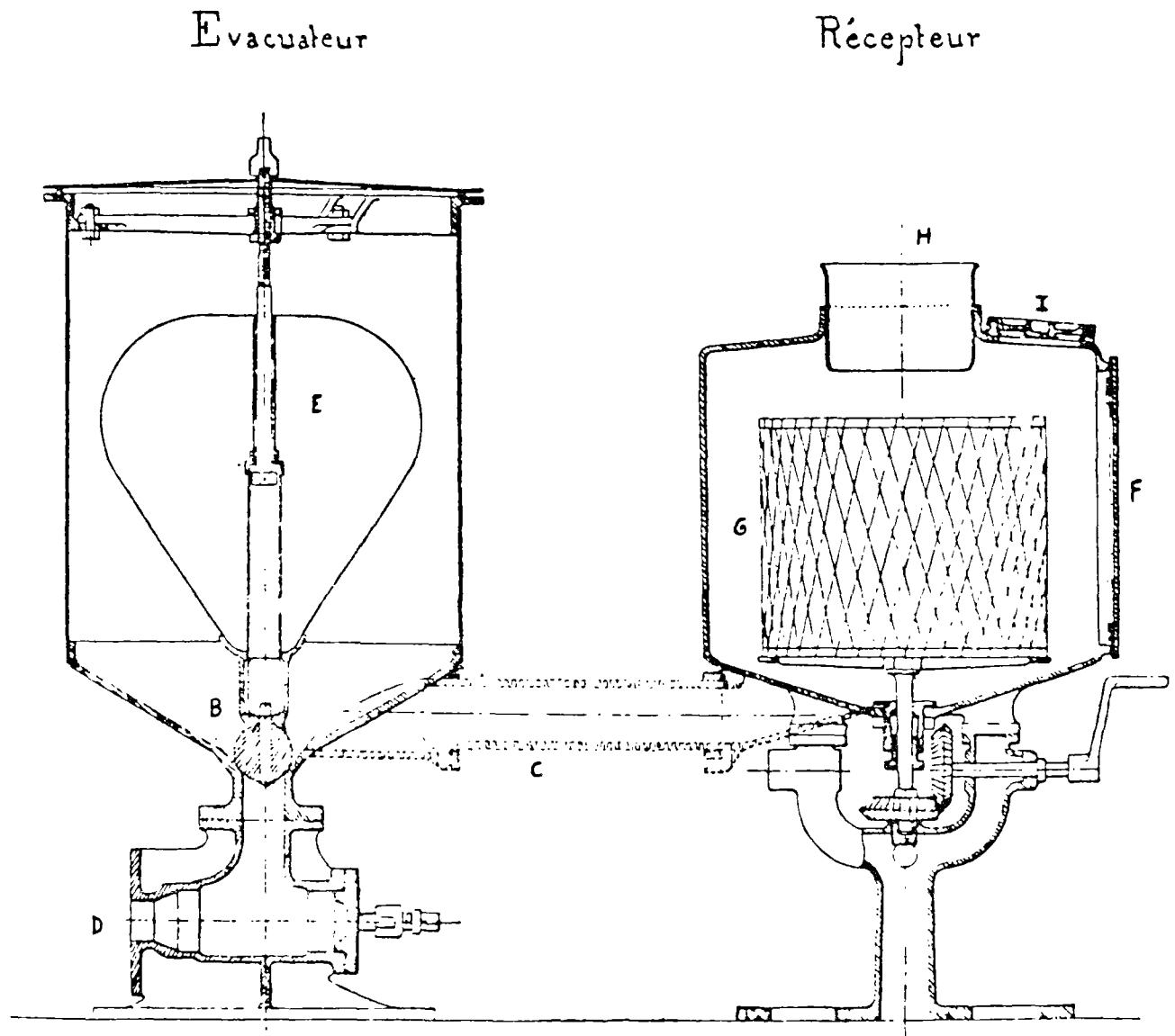


Figure II : appareils récepteur et évacuateur du réseau pneumatique Berlier.

Source : Berlier J.B., Projet de vidange pneumatique pour la ville de Paris, Paris, Grande Imprimerie, 1883

B : clapet en caoutchouc - C : communication entre l'évacuateur et le récepteur - D : Communication avec la canalisation en dépression - E : flotteur métallique - F : porte à joint étanche - G : panier à grille
- H : tuyau de chute - I : regard de visite.

Or, avec l'installation de ces deux appareils dans les caves d'immeubles (voir figure III page 30), les hygiénistes restaient très réservés à l'égard des performances sanitaires du réseau Berlier tout en reconnaissant une étanchéité satisfaisante des canalisations proprement dites. Ils reprochaient au système la nécessité d'enlever périodiquement les paniers des appareils récepteurs. Cette opération, relativement fréquente, entraînait des manipulations et des transports analogues à ceux des tinettes filtrantes. Les expériences de Berlier dans Paris ont montré que les paniers étaient pleins après 4 à 5 jours d'utilisations (19). A titre comparatif, à la même époque, les tonneaux des fosses mobiles devaient être remplacés tous les 8 à 10 jours. Les médecins et les hygiénistes parisiens estimaient que cette fréquence comportait de sérieux risques du point de vue de la salubrité publique. En effet, multiplier les vidanges manuelles revenait à augmenter les possibilités d'infection par des germes pathogènes. De plus, devant l'énormité de la tâche à accomplir dans Paris, et aussi pour réduire les coûts, il arrivait souvent que les vidangeurs réduisissent les fréquences de passage et ne vinssent que lorsque les tonneaux avaient déjà débordé. On comprend alors les craintes de voir se renouveler avec le système Berlier, des opérations de vidange dénoncées par ailleurs.

Une propagation accidentelle de l'infection restait donc redoutée, car c'était aussi à l'articulation du domaine privé (logements, immeubles, fosses d'aisances) et du domaine public (voirie, galeries souterraines) que la présence des microbes paraissait menaçante aux hygiénistes ingénieurs et médecins (20). En outre, d'après G. Knaebel (21), l'enjeu du "tout-à-l'égout" parisien concernait la manière dont l'état pouvait retirer aux propriétaires d'immeubles, le droit de gérer eux-mêmes les accumulations d'excréments dans les sous-sols. Les partisans du tout-à-l'égout ne pouvaient donc pas accepter le principe d'une évacuation pneumatique des matières fécales puisque celui-ci impliquait un stockage partiel de ces matières dans le domaine privé.

Quant aux propriétaires d'immeubles, leur méfiance à l'égard du système Berlier était en fait justifiée car dans la première moitié du XIX^{ème} siècle, des textes réglementaires successifs et contradictoires concernant les modes de collecte des excréments à l'intérieur des habitations, les avaient entraînés dans des dépenses qui se sont généralement avérées inutiles (22). La mise en place de nouveaux appareils dans les caves, à une époque où devait se décider dans les mois à venir une nouvelle politique de "traitement" des matières excrémentielles, ne pouvait alors pas séduire de nombreux propriétaires, d'autant plus que les frais d'établissement restaient à leur charge.

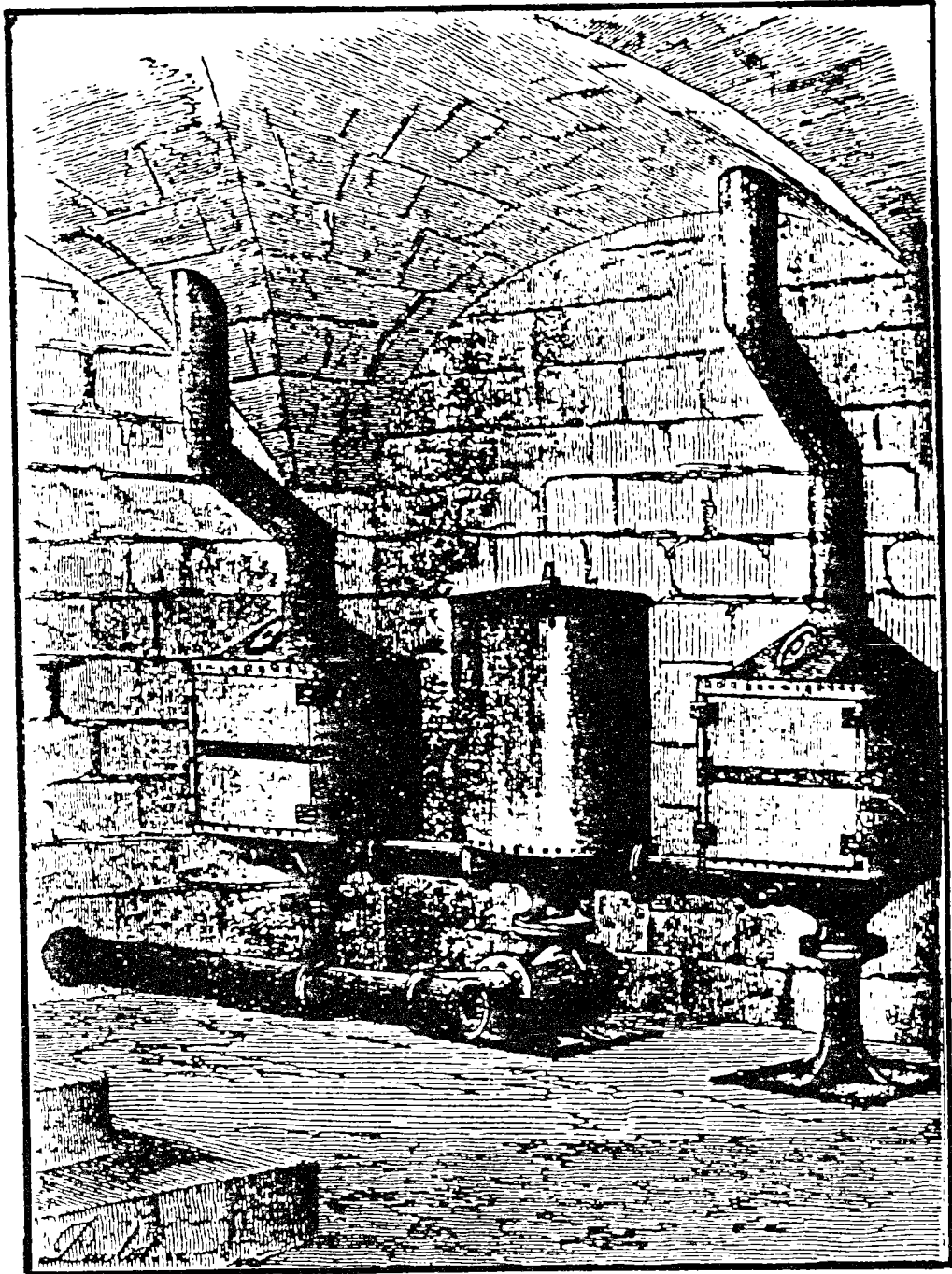


Figure III : deux récepteurs et au centre un évacuateur installés dans une cave au n°4 de la rue de la Bienfaisance (8^{ème} arrondissement).

Source : Compagnie Générale de Salubrité, L'assainissement des villes par le système pneumatique de J.B. Berlier, Paris, Grande Imprimerie, 1885.

Enfin, la mauvaise volonté des ingénieurs parisiens à l'égard du système pneumatique Berlier s'explique également par le fait que Berlier et sa Compagnie Générale de Salubrité, demandaient le droit exclusif, pendant 70 années, de la vidange de Paris. Ce monopole, la Commission le refusa, les ingénieurs et les hygiénistes se souvenant avec quelle peine et quelle dépense la ville mit fin, en 1876, à la Compagnie de Vidange Lesage. Un membre du Conseil Municipal résuma d'ailleurs la situation nouvelle : "Ainsi à propos d'expérience (celle de Berlier), vous donnez à une puissance que vous créez, les armes redoutables avec lesquelles elle pourra vous combattre et vous frapper". La ville de Paris avait déjà été échaudée par certaines sociétés concessionnaires (Compagnie Générale des Omnibus, Compagnie Parisienne du Gaz).

En définitive, si la majorité des ingénieurs municipaux avait refusé d'emblée la mise en place du système sous dépression dans le sous-sol de la capitale, Berlier ne put également avoir le soutien durable que de quelques hygiénistes, médecins et propriétaires. Ceux-ci étaient d'ailleurs trop peu nombreux pour véritablement influencer sur les décisions du conseil municipal de Paris et sur les conclusions des diverses commissions techniques.

L'expérience pneumatique entreprise à Levallois-Perret eut également une durée relativement courte.

La Compagnie de Salubrité de Levallois-Perret, qui avait entre-temps acquis les brevets Berlier, obtint en 1888 l'emploi du système de vidange à dépression comme moyen d'assainir la ville. Les travaux sont entrepris en 1889, et le 20 octobre 1892, la Compagnie put entreprendre l'exploitation de son réseau sous vide. Mais cet essai se termina le 13 juillet 1900, date à laquelle le Conseil Municipal de Paris retira à la Compagnie de Salubrité les tolérances qu'il lui avait accordées 11 ans plus tôt, à savoir :

- l'installation d'une conduite pneumatique dans chacun des deux égouts collecteurs de Paris traversant la commune de Levallois-Perret ;
- l'évacuation dans la cuvette du collecteur, près de son débouché en Seine, des eaux provenant de l'usine d'aspiration de la Compagnie.

Le conseil municipal de Paris avait autorisé la Compagnie de Salubrité à installer une conduite pneumatique dans ses deux collecteurs traversant Levallois-Perret parce que cette commune ne possédait pas son propre réseau d'égout (chaque habitation était

équipée d'une fosse). Berlier obtint également l'autorisation provisoire de déverser ses eaux aspirées dans le collecteur d'Asnières, près de son débouché en Seine, dans la mesure où il ne proposait aucun système particulier de traitement des matières recueillies. Mais cette tolérance devait prendre fin de plein droit dans le cas où le débouché en Seine viendrait à être fermé. Or, à partir de 1894, la ville de Paris décide d'achever son réseau d'égouts et de développer de vastes terrains d'épandage, de manière à éviter l'écoulement en Seine de toutes les eaux collectées. La fermeture du collecteur d'Asnières à son débouché en Seine mit donc fin aux tolérances accordées à la Compagnie de Salubrité. La ville de Paris, forte de sa propre expérience, avait aussi tenu compte des réactions hostiles de nombreux notables locaux à l'égard du réseau pneumatique. Ceux-ci craignaient la généralisation dans Levallois-Perret d'un procédé qu'ils jugeaient peu fiable, et dénonçaient par ailleurs le contrat d'exploitation exclusif signé entre une Compagnie de Salubrité "affairiste" et une équipe municipale trop complaisante (23)

4. Conclusion.

Le contexte parisien s'avérait donc être en soi un élément important de marginalisation des réseaux sous vide.

On peut néanmoins se demander aujourd'hui si le choix de Paris était judicieux pour promouvoir en France l'assainissement sous vide. Or, convaincre ingénieurs et hommes politiques obligeait d'installer dans Paris ou à ses portes, un égout en dépression qui devait fournir la preuve de son efficacité. En effet, carrefour des techniques et des idées, la capitale était aussi la "vitrine de l'invention", et il fallait, pour espérer réussir, y exposer le fruit de sa recherche, grandeur nature, in situ.

Par ailleurs, le poids de l'haussmannisation a été considérable entre 1870 et 1950. Le préfet Haussmann administra le département de la Seine de 1853 à 1870. Mais G. Duby parle de "cycle haussmannien" (24), c'est-à-dire de l'haussmannisation pendant cette période, mais aussi de celle se prolongeant jusqu'aux mutations urbaines des années 1950. Cette idée traduit le fait que les villes ont vécu pendant cent ans dans le cadre haussmannien et surtout qu'aucune autre entreprise urbanistique de cette ampleur n'exista entre l'époque d'activité du préfet et 1950. Aussi, lorsque les lois d'urbanisme de 1919 et 1924 ont obligé les grandes villes à élaborer des plans d'aménagement

accompagnés par des études d'assainissement, il n'était plus question de proposer des projets sous vide Berlier ou Liernur définitivement condamnés par les ingénieurs parisiens.

CHAPITRE 2

LA TRANSFORMATION DES EXCREMENTS EN POUDRETTE : UNE TECHNIQUE OBSOLETE ASSOCIEE AU RESEAU SOUS VIDE

1. Introduction.

Il semble étonnant qu'un système relativement compliqué dans sa structure et son mode de fonctionnement ait été retenu pour assainir certains quartiers de trois grandes villes hollandaises : Amsterdam, Leyde et Dordrecht (25). La multiplicité des réservoirs, des canalisations et des robinets contraste effectivement avec l'apparente simplicité des égouts gravitaires installés un peu partout en Europe (26).

Cependant, Liernur proposait un système d'assainissement complet, c'est-à-dire la collecte, le transport et aussi le traitement des effluents. C'était là son atout majeur. Devant la multiplicité anarchique des petites entreprises de vidange, dont l'efficacité s'avérait la plupart du temps contestable, la proposition d'un schéma global d'assainissement aurait pu favoriser le développement de la technique sous dépression. Pour l'inventeur hollandais, le problème de l'assainissement ne se résumait pas à une simple question d'égout, mais impliquait essentiellement un travail de rationalisation technico-économique de la gestion de l'excrément. L'objectif de Liernur était en définitive de créer une véritable filière assainissement. Aucune des étapes relatives à la collecte, au transport et au traitement ne devait être négligée, celles-ci se concevant et se gérant les unes par rapport aux autres. Au risque de mécontenter les corporations traditionnelles de vidangeurs et autres professionnels de l'excrément, la stratégie de Liernur traduisait bien l'instauration d'un opérateur unique en assainissement, à savoir sa propre entreprise pour Amsterdam, Leyde et Dordrecht...

2. Des expériences malheureuses.

Le principal intérêt du réseau en dépression Liernur, à cette époque, était l'adaptation de sa structure physique aux conditions topographiques de la Hollande. Le réseau s'affranchissait des contraintes du sol auxquelles un égout gravitaire ne pouvait pas

échapper. Aussi, l'application du procédé pneumatique à Amsterdam traduit une situation commune aux trois villes hollandaises concernées par le sous vide.

Tout en laissant la priorité au système des fosses fixes comme mode général de collecte des excréments (27), la municipalité d'Amsterdam décida en juin 1870 d'installer le réseau Liernur dans un quartier neuf où vivaient 16.000 personnes (28).

Liernur proposait, en plus de son système de collecte et de transport des effluents, la transformation des matières excrémentielles en poudrette fertilisante et sa commercialisation pour obtenir ainsi une source de profits substantiels de son installation. C'est d'ailleurs pour cette raison que le réseau pneumatique ne collectait que les matières excrémentielles, certainement les plus nuisibles, mais aussi pour Liernur les plus rentables.

Le système sous vide hollandais possédait, comme les autres réseaux d'assainissement, une fonction de transport. Celle-ci était donc directement liée à une autre fonction du réseau, beaucoup plus spécifique : la transformation des excréments humains en poudrette. Mais les mauvaises performances de la fabrication de l'engrais, et par conséquent l'absence de profit sur l'assainissement des quartiers desservis, puis l'abandon de cette activité, allaient remettre en cause le fonctionnement général et l'intérêt même du réseau sous vide Liernur.

Le processus de transformation des excréments en engrais, situé dans l'usine centrale, constituait en fait la dernière étape de la collecte. Par conséquent, avant 1884, année de la construction de l'usine centrale, le circuit de fabrication de la poudrette était inexistant et le résultat de la collecte devait alors être vendu à l'état brut, c'est-à-dire sous forme liquide (29). Une addition d'eau dans les cabinets d'aisances s'avérait inutile et risquait même de compromettre les propriétés fertilisantes des matières organiques si leur dilution devenait excessive. Liernur n'encourageait donc pas l'emploi des "water closets" et conseillait au contraire la mise en place de "closet à air", n'usant pas ou peu d'eau.

En 1883, lorsque les membres de la Commission Technique de l'Assainissement de Paris se rendent à Amsterdam, ils découvrent ainsi un réseau qui n'est pas définitif, mais plutôt un état transitoire entre les vidanges manuelles des fosses fixes et leur transport par un véritable réseau pneumatique depuis les habitations jusqu'à leur lieu de traitement.

Les ingénieurs des services municipaux d'Amsterdam et même les collaborateurs de Liernur estimaient d'ailleurs à cette époque que les résultats obtenus dans la ville hollandaise n'étaient nullement concluants à l'égard des performances et de la fiabilité du procédé pneumatique (30).

Jusqu'au mois de septembre 1874, les matières fécales étaient vendues sans traitement préalable à un propriétaire agricole de Badhoeve Haarlemmermeer, situé à quelques kilomètres d'Amsterdam. Il payait l'équivalent de 5 francs français par tonne acheminée en barils à sa ferme (le transport coûtant à la ville 3,95 francs par tonne). Pour la première année, le prix d'achat de l'engrais et les frais de distribution sur une partie de la propriété se sont élevés à près de 250 francs par hectare. Mais les terres ainsi fertilisées ne donnaient pas un résultat meilleur que les autres prairies. En fait, le taux d'azote contenu dans les liquides répandus était trop faible (31). Déjà, la dilution des matières excrémentielles ne permettait pas d'obtenir un engrais de très bonne qualité. S'ajoutait à cela la présence dans les barils de toutes sortes d'immondices jetés dans les cabinets d'aisances - chiffons, vieux souliers, déchets de diverses natures - qui diminuaient encore davantage la valeur agricole du produit répandu.

Le contrat devait expirer à la fin de 1875, mais le propriétaire, mécontent de la qualité de son engrais par rapport au prix que la municipalité lui faisait payer, put obtenir sa résiliation quelques mois avant son échéance.

D'autres fermiers ont ensuite essayé cet engrais ; le prix de vente était tombé à 2 francs la tonne en raison de ses médiocres performances.

De plus, les agriculteurs ne pouvaient pas s'en servir régulièrement toute l'année et ne voulaient pas l'emmagasiner chez eux. En dehors des périodes d'épandage, le stockage des matières collectées incombait alors aux services municipaux qui redoutaient les périodes de froid intense en hiver parce que les tonneaux éclataient en magasin. Pour se débarrasser le plus facilement possible de ces matières, la ville d'Amsterdam baissa une nouvelle fois le prix du baril.

Les revenus obtenus par la commercialisation des matières fécales étaient donc faibles ; en 1879, l'ingénieur en chef de la ville d'Amsterdam les évalua à 5.586 francs, pour des frais d'exploitation du réseau pneumatique qui se chiffraient déjà à 67.260 francs (les années suivantes, l'écart restera aussi important) (32).

Malgré l'installation en 1884, dans l'usine centrale, d'appareils perfectionnés tels que trois évaporateurs à vide pouvant évacuer chacun 5.000 litres d'eau par heure et un condensateur, la production de poudrette, de plus en plus coûteuse à la ville d'Amsterdam par rapport aux bénéfices réalisés, fut stoppée en 1886. Cette décision a certainement été fatale pour l'avenir du réseau pneumatique car on venait de lui ôter une de ses plus importantes finalités.

Liernur perdait donc ainsi son pari de vouloir faire de l'assainissement sous vide une opération financièrement rentable pour la commune qui aurait choisi ce système comme mode d'assainissement de son territoire.

3. Une évolution des exigences d'épuration.

Les ingénieurs français et les membres de la commission technique de l'assainissement de Paris vont finalement rejeter le procédé Liernur, non seulement par crainte de voir cette innovation annuler leurs propres efforts inscrits dans des notions techniques plus classiques (le gravitaire), mais aussi parce que la fabrication de poudrettes arrive trop tard dans la mêlée des techniques d'épuration possibles pour Paris qui cherche essentiellement à se débarrasser de ses encombrantes usines à sulfates.

Or refuser l'installation, ou la poursuite de ce type d'activités dans la capitale ou à ses portes, revenait à y exclure l'implantation, voire la simple expérimentation du système Liernur.

Ce système pneumatique, conçu essentiellement pour valoriser les matières de vidange ne pouvait manifestement pas convaincre les membres de la commission française qui, de leur côté, refusaient déjà le développement des voiries et usines à poudrette.

Avec notamment l'expérience de Bondy, les ingénieurs et hygiénistes parisiens ne se faisaient plus d'illusions sur les promesses d'une multitude d'inventeurs de procédés de fabrication d'engrais. Les mauvais résultats obtenus avec l'application à l'agriculture des excréments collectés par les conduites pneumatiques de Liernur assuraient d'ailleurs les services techniques de Paris de l'inadaptation du réseau Liernur au contexte parisien.

Berlier avait quant à lui compris qu'il ne devait plus en 1883 proposer une transformation en engrais solide des effluents transportés dans son réseau sous vide. Si le 26 avril 1882, en exposant son invention devant la Société de Médecine Publique et

d'Hygiène Professionnelle, Berlier parle encore de "canalisations (...) qui porteront aux distances indiquées toutes ces matières qui seront transformées en produits ammoniacaux", par contre, quelques mois plus tard, dans son projet de vidange pneumatique pour la ville de Paris, il ne mentionne comme destination finale des effluents que le système d'épuration déjà prévu pour Paris, c'est-à-dire les irrigations de Genevilliers et d'Achères. Depuis 1867 en effet, les expériences d'épandage réalisées sur les 550 hectares de la presqu'île de Genevilliers étaient de nature à raffermir l'opinion municipale sur les procédés à adopter pour l'épuration des eaux d'égout et l'assainissement définitif de la Seine. Eaux usées et matières de vidanges mélangées y avaient transformé quelques terrains sablonneux en zones cultivables ; des cultures maraîchères avaient également réagi favorablement à cette irrigation "fertilisante" (33). Les appréhensions qu'avaient pu inspirer les eaux d'égout additionnées d'excréments humains, pour les applications en irrigation disparaissaient momentanément. Ainsi, en 1876, un projet d'épandage autrement plus important est à l'étude et concerne, à l'aval de Paris, plusieurs îlots de terrains à proximité du village d'Achères.

Il était alors communément admis par les ingénieurs des services techniques que les eaux d'égout de la ville de Paris, prises dans leur totalité, c'est-à-dire contenant l'ensemble des matières de vidange, pouvaient être soumises aux procédés d'épuration par le sol sans grand danger pour la santé publique (34).

Cette prise de position (35), sans préjuger du mode d'évacuation des vidanges à l'intérieur de la ville, offrait néanmoins à Paris un procédé immédiatement disponible pour la réception et le traitement des vidanges additionnées aux eaux d'égout. Paris échappait de la sorte à l'obligation de la solution unique des usines à sulfates.

Finalement, la fabrication de la poudrette, qui était une des principales fonctions du réseau pneumatique Liernur, s'accordait difficilement avec l'apparition de cette nouvelle forme d'épuration associée aux besoins en assainissement d'un nombre croissant de villes.

Cette volonté de développer les procédés d'épuration chimiques et bactériologiques, et d'abandonner définitivement la filière des usines à sulfates, avait d'ailleurs plusieurs origines.

Des considérations d'ordre hygiénique furent souvent avancées. La plupart des grandes villes connaissait, dans le dernier quart du XIX^{ème} siècle, une croissance importante et

bon nombre de voiries et dépotoirs insalubres, à l'origine situés en périphérie des villes, "s'urbanisaient" de fait au grand déplaisir de la population environnante. Outre que ce type d'activité pouvait représenter un frein à la spéculation foncière, les responsables municipaux toléraient de moins en moins facilement ces véritables cloaques intra-muros. Leur réaction était d'autant plus légitimée que les profits obtenus par la transformation industrielle des excréments diminuaient depuis l'entrée sur le marché d'engrais, de produits de remplacement, moins chers et d'une efficacité identique voire meilleure, notamment le guano du Pérou et les nitrates du Chili.

Enfin, l'irrigation et l'épandage, en absorbant toutes les eaux usées, étaient ainsi les derniers nés du système d'assainissement qui devait fortifier l'hégémonie du tout-à-l'égout gravitaire.

4. Conclusion.

En ce qui concerne le traitement des eaux usées, la situation de Paris, avec le développement des champs d'épandage (puis des premières stations d'épuration), restera pendant plus d'un demi-siècle une brillante exception et un trop efficace "cache misère" de l'épuration en France. Il faut noter le silence remarquable de la presque totalité de l'Europe continentale pendant les années de genèse des principaux procédés de traitement. Tout, ou presque tout, a été inventé, conçu, breveté, réalisé et commercialisé en Grande Bretagne et aux Etats-Unis.

Aussi, Liernur et Berlier (au début), en proposant leur mode de transformation des matières excrémentielles ne se sont pas confrontés à un autre système d'épuration dominant parce qu'antérieur. Ils se conformaient en fait à un principe dominant mais déjà condamné à disparaître car difficilement compatible avec le tout-à-l'égout gravitaire que l'administration française voulait généraliser. Faute d'autres solutions techniques immédiatement disponibles, Berlier et Liernur construisirent leur réseau pneumatique autour de la transformation industrielle des excréments en poudrettes. Ne proposant aucune norme de procédés de dépollution absolument fiable, l'administration française rejetait tout mode de traitement des effluents pouvant freiner le développement de ses égouts, sans pour autant élaborer une véritable politique d'épuration des eaux usées. Avant de porter son choix sur un quelconque système de traitement, au risque de se tromper, elle préférait mobiliser ses ingénieurs sur l'élaboration d'un modèle gravitaire reproductible.

CHAPITRE 3

L'USAGE DE L'EAU :

UNE IMPOSSIBLE RESTRICTION

1. Introduction.

En fait, les mauvais résultats de la transformation des matières fécales en engrais démontraient que la règle de Liernur enjoignant de ne pas jeter trop d'eau dans les cuvettes des cabinets d'aisance n'était pas observée à Amsterdam, ni d'ailleurs à Dordrecht et à Leyde. En 1882, à Amsterdam, la quantité totale de matière enlevées chaque semaine dépassait les 75 tonnes dont 50 tonnes n'étaient que de l'eau.

Dans son projet global, Liernur avait effectivement sous estimé la consommation réelle d'eau par les usagers de son réseau. L'ensemble du système avait été conçu pour collecter, transporter et traiter 0,8 litre de matière par personne et par jour. Dès 1871, première année de fonctionnement du réseau pneumatique, la quantité de liquide recueilli s'élevait déjà à 1,80 litre par personne et par jour - soit plus du double de ce que l'inventeur avait initialement prévu - et ne cessera d'augmenter pour atteindre 2,80 litres en 1883, quelques mois avant la mise en service de l'usine centrale.

Dès 1880, Liernur essaya pourtant de faire limiter l'utilisation de l'eau par les particuliers. Mais en oeuvrant contre une large utilisation de l'eau, alors signe évident de salubrité et de progrès social, Liernur condamnait en quelque sorte lui-même son invention.

2. Une guerre à l'eau "hygiénique".

Partout où le système sous vide avait été installé à Amsterdam, il devait théoriquement être installé dans les rues un second système de conduites, distinct de celui de Liernur, pour l'écoulement des eaux pluviales et des eaux ménagères qui étaient déversées directement par gravité dans les canaux.

Mais dans un certain nombre de maisons raccordées au réseau sous vide, le cabinet d'aisance était situé dans la cuisine et les ingénieurs municipaux avaient constaté que les

locataires, soucieux de la propreté de leur sanitaire, nettoyaient fréquemment leur closet à sec avec l'eau de l'évier, ce qui entraînait en fin de compte une dilution des matières excrémentielles. Le succès du système Liernur, tel qu'il avait été installé, dépendait donc en partie des utilisateurs qui devaient observer rigoureusement des règles strictes de consommation d'eau largement négligées jusqu'alors (36).

Afin de limiter encore davantage l'usage de l'eau dans les cabinets, Liernur mit en place un système de latrines qui en fin de compte "punissait" automatiquement l'usager indiscipliné : la cuvette était dans ce cas munie, à sa partie supérieure, d'une sorte de déversoir qui débouchait le long des jambes de la personne utilisant le cabinet . Si trop d'eau était versée dans le siphon surélevé qui terminait la cuvette à sa partie inférieure, la matière se déversait par l'ouverture sur les pieds de l'opérateur.

Néanmoins, une utilisation restreinte de l'eau dans les cabinets d'aisances ne permettait pas un nettoyage complet de ces derniers, surtout depuis l'installation des cuvettes à siphon surélevé. Il semblait alors impossible de respecter les règles de consommation d'eau tout en accédant à une propreté satisfaisante dans les logements privés.

La sous-utilisation prescrite de l'eau était effectivement le point faible du système Liernur et devint l'argument majeur des ingénieurs et hygiénistes français partisans du tout-à-l'égout qui refusaient l'installation de ce procédé dans Paris ou dans leur propre ville.

L'exemple d'Amsterdam, avec cette perspective d'une véritable "guerre à l'eau" (37), jugée anti-progressiste par les services municipaux parisiens, était alors considéré comme une mauvaise référence en matière d'assainissement. En effet, les installations pneumatiques de Liernur s'inscrivaient difficilement dans un mouvement général de raccordement des habitations au réseau d'eau potable dont la finalité, d'abord d'ordre hygiénique et technique, cachait malgré tout une volonté politique d'éducation et de contrôle de la population ouvrière entassée dans les quartiers pauvres de la capitale. Or, ce contrôle ne pouvait se faire, du moins le pensait-on, qu'en "décroissant le misérable" (38), et sans eau, il était impossible d'intervenir directement dans les maisons d'ouvriers.

Les maisons occupées par les ouvriers, dans les années 1880, étaient effectivement presque toutes privées d'une distribution d'eau, non pas que cela coûtât véritablement cher aux propriétaires, mais parce que ceux-ci voulaient retarder autant que possible le

remplissage de la fosse afin de ne pas renouveler trop souvent sa vidange (39). Les propriétaires étaient néanmoins sensibles au coût de la consommation d'eau et aux éventuels gaspillages. Le problème était surtout l'absence de comptage individualisé ; le propriétaire payait donc la facture d'eau pour plusieurs appartements de son immeuble en location et il lui était difficile de répercuter équitablement ce coût sur les charges (40). Il s'en suivait des conditions d'hygiène déplorables : "par suite de l'absence totale d'eau et de l'introduction des lavages, les matières solides s'accumulent sur le siège ; le sol du cabinet est couvert d'urine en putréfaction qui la plupart du temps s'écoule vers la cour ou la rue. Personne ne peut se faire une idée de ces foyers d'infection s'il ne les a vus de ses propres yeux" (41). De plus, l'opération de la vidange, relativement pénible et délicate, salissait et empestait (42) autant que les usines de traitement dont le fonctionnement soulevait dans la banlieue et à l'intérieur de Paris de vives réclamations de la part des habitants (43).

Mais l'eau était davantage qu'un simple facteur de propreté individuelle. Avec sa libre circulation dans l'ensemble des espaces urbains collectifs, elle devenait aussi l'agent épurateur de la ville en captant et transportant tous ses miasmes. L'eau, en quantité abondante, s'avérait alors indispensable "afin de nettoyer la maison et l'air que nous y respirons pendant la veille et pendant le sommeil ; afin de nettoyer la rue dont l'atmosphère est en relation constante avec la maison ; afin de nettoyer l'égout où sont réunies toutes les ordures de la maison et de la rue, et de fixer toutes ces ordures, avec leurs microbes, par des eaux courantes pouvant les emporter rapidement et avant toute fermentation sur les lieux consacrés à leur épuration" (44).

Vouloir limiter la consommation de l'eau présentait finalement un double handicap :

- * Pour l'ensemble des villes, et notamment celles qui possédaient le système Liemur, un usage restreint de l'eau dans les activités domestiques pouvait nuire d'abord à l'hygiène de chaque individu et à long terme risquait de compromettre la propreté de toute la ville (45).
- * Pour les ingénieurs parisiens et les autres partisans d'Hausmann, il y avait surtout une incompatibilité entre d'une part le développement d'une véritable politique sanitaire urbaine avec la construction de nouveaux logements salubres et d'autre part la limitation de la consommation de l'eau. On ne pouvait pas vouloir assainir en grand et nettoyer petit !

Cette restriction dans l'usage de l'eau, indispensable pour le bon fonctionnement du réseau pneumatique hollandais, était pourtant limitée à l'utilisation des cabinets d'aisances et ne concernait pas l'emploi domestique en général de l'eau potable car chaque maison était équipée d'une double canalisation : l'une en dépression, l'autre gravitaire, collectant les eaux des éviers, et qui pouvait recevoir un volume normal d'effluents en rapport avec une consommation libre d'eau pour le nettoyage corporel et domestique (ces canalisations gravitaires aboutissaient directement aux canaux ; il n'y avait donc pas, stricto sensu, de réseau d'égouts gravitaire pour l'évacuation des eaux ménagères).

La limitation particulière de la consommation d'eau destinée à la chasse en dehors des habitations des matières excrémentielles avait donc suffi à faire présenter le réseau sous vide de Liernur comme un procédé archaïque dont l'absence de modernité ne lui permettait pas de s'adapter au contexte de Paris et risquait d'annuler les efforts réalisés depuis Haussmann pour améliorer l'hygiène publique et la salubrité urbaine. Cette "auto-punition" de l'usager des latrines de Liernur a néanmoins légitimé les réactions françaises à l'égard du réseau pneumatique parce qu'il était invraisemblable de vouloir corriger les habitudes des utilisateurs par un procédé aussi radical, même si cette volonté pouvait se justifier.

La majorité des ingénieurs sanitaires de l'époque adopta d'ailleurs, à propos de l'évacuation des matières excrémentielles, l'attitude scandalisée de Durand-Claye, alors Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées et secrétaire de la Commission Technique de l'Assainissement de Paris qui répétait à qui voulait l'entendre (46) "Est-ce en plein XIX^{ème} siècle qu'on vient nous offrir, comme le nec plus ultra de la salubrité, le système de cabinet d'aisances dans lequel un siphon et un trou béant sont installés de telle sorte, que si l'on ajoute trop d'eau à l'urine et aux matières fécales, celles-ci débordent dans le cabinet même, inondant l'imprudent de leurs désagréables effluves ? (...) Voit-on l'application de ce système généralisé dans une grande ville (47) ?

Or selon l'historien J.P. Goubert, médecins, techniciens et ingénieurs peuplaient déjà la rue et les logements de nouveaux objets qui concouraient "à éloigner l'impureté et à laver la souillure" avec une eau abondante (48).

3. Une guerre à l'eau "économique".

Berlier comptait lui aussi, pour l'exploitation de son réseau pneumatique, sur un usage réduit de l'eau. Il avait d'ailleurs précisé dans son projet adressé au conseil municipal de Paris que "l'eau n'était pas nécessaire, les urines suffisent au fonctionnement du système" (49). Mais l'intérêt que portait J.B. Berlier à une consommation réduite en eau n'obéissait pas aux mêmes exigences que celles de son confrère hollandais.

En fait Berlier voulait étendre son expérience du 8^{ème} arrondissement à l'ensemble de la capitale. Il avait alors un problème économique à résoudre : réduire au maximum les coûts d'exploitation de son système pour ne pas effrayer les responsables des services techniques. Les frais d'investissement, pour un réseau sous vide appliqué dans toutes les rues de Paris avaient été évalués à 62 millions de francs (1883), sans compter l'achat et la mise en place des appareils de maison que Berlier laissait à la charge des propriétaires. Compte tenu de l'ampleur des frais d'installation, l'inventeur voulait proposer des dépenses de fonctionnement nettement moins élevées que celles des réseaux sous vide hollandais. D'après un rapport officiel de la municipalité d'Amsterdam, les frais d'exploitation du système Liernur, non compris les frais d'intérêt et d'amortissement, se sont élevés en 1883 à 4.569.260 francs, et les frais de transport des matières à 17.490 francs, ce qui, pour une population desservie de 26.595 habitants, correspondait à une dépense d'environ 3,25 francs par habitant et par an. Berlier évalua les frais d'exploitation, avec l'intérêt et l'amortissement à 2,85 francs par habitant et par an (Paris comptait en 1883, 2.225.195 habitants). Il obtenait ainsi une estimation relativement raisonnable au regard du coût réel du système Liernur, mais en ayant malgré tout réduit au plus juste un certain nombre d'éléments, dont la consommation de charbon destiné au fonctionnement des pompes à vide. Pour cela il évalua la quantité journalière d'effluents transportés à 5 litres par habitant, ce qui correspondait déjà pour Paris à une valeur relativement basse, voire pour certains quartiers à une valeur nettement en dessous de la moyenne (50).

Même pour son réseau sous vide en expérimentation, la quantité de liquide transportée était plus importante puisque pendant les premiers mois d'exploitation, les pompes avaient aspiré 20 mètres cubes par 24 heures pour 3.250 personnes raccordées au réseau, soit 6,1 litres par habitant et par jour. Pourtant Berlier bénéficiait de circonstances tout à fait favorables dans le 8^{ème} arrondissement. Les cabinets d'aisance

que desservait ses appareils étaient des cabinets secs, c'est-à-dire contenant des réservoirs d'eau que le locataire devait remplir manuellement. Dans ce cas, la quantité d'eau ajoutée aux matières représentait certainement un minimum très vite dépassé dans les installations pourvues de chasse d'eau.

Berlier put néanmoins maintenir dans son projet une estimation de 5 litres par habitant et par jour parce que, à partir du 17 mars 1883, la quantité d'effluent collectée dans son réseau sous vide était passée à 3 litres par habitant et par jour. Un effort sensible paraissait donc avoir été réalisé de la part des raccordés pour diminuer la consommation d'eau. En fait, l'origine de cette diminution dans l'utilisation de l'eau provenait de la caserne de la Pépinière où le règlement militaire n'autorisa, à partir du 17 mars 1883, aux 1.200 hommes en poste une consommation d'eau pour l'usage des closets que de 1.108 litres par 24 heures, soit moins de 1 litre par personne et par jour.

A la même époque, la dépense pour le curage des égouts de Paris se chiffrait à 1.947.600 francs, donnant un coût moyen d'exploitation d'environ 0,90 franc par habitant et par an (51). Le fonctionnement du système pneumatique s'avérait donc plus onéreux, et ce malgré certaines conditions avantageuses d'utilisation dont bénéficiait Berlier avec son expérience du 8^{ème} arrondissement et la faible consommation d'eau qu'il avait retenue dans l'élaboration de son projet d'égout sous vide pour l'assainissement de l'ensemble de la ville.

L'inventeur devait de toutes façons limiter la consommation d'eau pour le transport des matières excrémentielles. Cependant, les hygiénistes avaient sanctionné le brevet Liernur pour cette raison, et les parisiens et autres citadins utilisaient au fil des années de plus en plus d'eau. Il paraissait alors difficile de maintenir une moyenne de 5 litres par habitant et par jour pour l'évacuation des excréments alors que les membres de la commission technique de l'assainissement pensaient déjà atteindre 30 litres par habitant et par jour, avec l'usage des water closets. Cette évaluation rendait finalement l'entreprise de Berlier impossible dans Paris et dans les autres centres urbains. Or la Capitale et les grandes villes françaises continuaient leur programme de développement d'adduction d'eau potable. Les ingénieurs parisiens étaient donc persuadés de ne pas se tromper dans leurs propres estimations.

4. Conclusion.

Si l'eau a été un des facteurs les plus importants du réaménagement urbain au XIX^{ème} siècle, le développement de sa consommation fut en revanche un handicap important pour la diffusion du réseau sous vide. Un fossé s'est ainsi creusé entre le tout-à-l'égout, voie naturelle d'évacuation, dont les capacités d'absorption le font participer directement au nettoyage et à la "respiration" des agglomérations, et le pneumatique, technique de l'artifice, caractérisée par des propriétés d'aspiration limitées et par conséquent jugé incompatible avec le régime de l'utilisation de l'eau dans la ville.

CHAPITRE 4

UN MODE DE SEPARATION DES EAUX INADAPTE

1. Introduction.

Dès les premières installations à Amsterdam et à Leyde en 1871, le capitaine Liernur nomma son invention "système différenciateur" (52) parce qu'elle divisait la collecte des eaux usées entre deux réseaux d'égouts souterrains distincts, dont l'un, gravitaire, devait évacuer les eaux pluviales, ménagères et industrielles, et l'autre, pneumatique, transportait exclusivement les matières fécales des cabinets d'aisance.

Le procédé Liernur était donc doublement innovant : non seulement il renonçait en partie à l'utilisation de la pesanteur au profit d'un dispositif technique basé sur l'usage de la force atmosphérique, mais il se comportait aussi comme un réseau d'égouts dit "séparatif" car constitué de canalisations différentes destinées au transport d'eaux usées de nature différente.

A la même époque, Paris de façon partielle (53), mais aussi d'autres villes européennes comme Londres Manchester et Berlin étaient dotées d'un réseau d'égouts unitaire qui pouvait collecter sans distinction, l'ensemble des eaux usées urbaines.

L'assainissement sous vide de Liernur est en quelque sorte l'un des précurseurs du principe séparatif. Son installation aux Pays-Bas va alors déclencher une longue série de polémiques autour des avantages spécifiques du tout-à-l'égout unitaire et du tout-à-l'égout séparatif qui dépassera par la suite le simple débat construit autour du pneumatique.

Une nouvelle controverse technologique apparaissait ainsi dans le domaine de l'assainissement. En plus du problème de la dilution ou de la non dilution des effluents, et de leur écoulement libre, il fallait également statuer sur le principe de leur séparation. Si l'hégémonie du gravitaire parisien ne suffisait pas à éliminer d'emblée la variante séparative, l'évaluation de cette dernière annonçait en revanche de sérieuses difficultés. En l'absence de test économique, technique ou chimique capable de mesurer efficacement l'impact d'un réseau d'assainissement sur le milieu extérieur, sur un

éventuel procédé d'épuration (54) et sur la salubrité publique, il était effectivement périlleux de vouloir faire un choix définitif entre ces deux types d'égout - séparatif ou unitaire - même si l'expérience hollandaise s'avérait peu convaincante.

En effet, le mode de séparation des eaux usées pratiqué avec le système Liernur ne semblait ni vraiment performant, ni véritablement reproductible.

2. Le système Liernur : un mode de séparation peu performant.

L'exploitation du réseau pneumatique était alors perturbée par un phénomène, certainement moins sujet à discussion que cette redoutable guerre à l'eau, mais qui posait cependant à Liernur de sérieux problèmes dans la maintenance de son système. Depuis le début de sa mise en service, les canalisations du réseau sous vide étaient régulièrement obstruées.

Pour l'année 1876, les services techniques municipaux enregistrèrent 72 obstructions dans les canalisations particulières (les branchements des immeubles sur les conduites de rue) et 5 dans les conduites de rue (à l'époque, canalisations principales du réseau pneumatique). Ces incidents, loin d'être isolés, allaient devenir au fil des années, de plus en plus nombreux. Il ne s'agissait donc pas de simples difficultés de jeunesse dans la mise au point du réseau.

Ainsi, en 1880, les égoutiers chargés de l'exploitation du réseau sous vide ont dû intervenir sur 402 obstructions dans les canalisations privées et sur 36 dans les conduites de rue. En 1888, le nombre d'obstructions dans le réseau passait respectivement à 1.156 pour les canalisations privées et à 243 pour les conduites de rue. Des serviettes, des chiffons, des morceaux de viandes, des corps solides divers étaient effectivement jetés dans les cuvettes qui, de toute évidence, servaient autant d'éviers vidoirs que de cabinets d'aisance (55).

Avec leur installation dans les cuisines, les cabinets avaient donc pris une autre fonction, celle de vide-ordures, à laquelle Liernur n'avait pas songé et dont il se refusait à tenir compte.

Malgré ces obstructions de plus en plus fréquentes, l'inventeur continuait à mettre en place des conduites d'immeuble de petit diamètre, pour éviter des pertes de charges importantes, et des "poches de transport" qui facilitaient l'aspiration en créant des petites retenues d'effluent dans les points bas des conduites de branchement.

Dans certains cas, les ouvriers chargés de l'entretien du réseau pneumatique devaient démonter les conduites de rue pour enlever les matières obstruantes, ce qui nécessitait parfois trois jours de travail consécutifs.

L'équipe d'égoutiers employée au service du réseau était par conséquent importante : d'une part les installations provisoires d'aspiration installées avant la construction de l'usine centrale multipliaient les postes de travail, d'autre part, les incidents techniques nécessitaient également en permanence deux ou trois hommes pour le déblaiement des canalisations.

Ainsi, avant 1884 (date de mise en service de l'usine centrale), 19 ouvriers travaillaient à l'entretien de l'ensemble du réseau sous vide (les trois stations fixes, la locomobile, la péniche, les conduites). Or, à partir de 1884, malgré la centralisation des postes d'aspiration, le nombre de personnes employées ne diminua pas. En effet, la chaîne de transformation des excréments en poudrette, installée dans l'usine, avait créé un nouveau besoin de main-d'oeuvre, et par ailleurs, le nombre croissant d'obstructions dans les canalisations réclamait un personnel de plus en plus nombreux, indispensable si on voulait éviter de trop longues perturbations du service (56).

Même si les frais d'intervention sur les conduites de branchement, donc sur les conduites privées, étaient à la charge des propriétaires (les opérations sur les conduites de rue, c'est-à-dire sur la voie publique, étant payées par la municipalité), le coût global de l'exploitation du réseau pneumatique Liernur s'avérait relativement lourd, ou du moins était jugé comme tel par le service technique de la ville d'Amsterdam (voir chapitre 3).

Par ailleurs, en 1886, la station centrale d'aspiration a fonctionné, en moyenne, 16 heures par jour afin de collecter l'ensemble des effluents qui arrivaient aux réservoirs de rue. Initialement, Liernur ne prévoyait de faire fonctionner les pompes de l'usine centrale que 3 à 4 heures par jour, comme dans le cas des 3 stations fixes provisoires qui avaient été installées au début de l'exploitation. Les pompes vont finalement fonctionner en permanence toute la journée et ne seront stoppée que la nuit, période de sous-utilisation des cabinets.

En fait, le volume d'eau évacuée par le réseau sous vide ne cessait d'augmenter, pour un nombre fixe d'habitants raccordés au réseau (cf. chapitre 3).

Le principe séparatif ("différenciateur") déterminé par Liernur lors de la mise au point de son système pneumatique s'avérait incompatible avec l'utilisation de celui-ci par les usagers puisque la transformation des cabinets d'aisances en éviers-vidoires conduisait à

un mélange des eaux usées domestiques et des matières excrémentielles avant même leur entrée dans le réseau proprement dit. L'efficacité de la séparation des eaux usées dépendait alors largement de l'attitude des personnes raccordées. Liernur ne pouvait donc s'assurer de leur conformité à des normes préalablement établies qu'en proposant l'installation dans le domaine privé (les habitations) de systèmes plus contraignants, mais à son avis plus fiables, que les simples cabinets d'aisances. Or, ses tentatives furent mises en échec par l'hostilité des propriétaires et des ingénieurs envers une telle démarche (voir chapitre 3). L'inventeur se heurtait donc au respect de la propriété privée et ne pouvait faire prévaloir la rationalité technico-économique de son principe séparatif en établissant des obligations d'usage adéquates.

De plus, les réservoirs de rue, considérés comme lieu de stockage des effluents et de la dépression, allait se révéler fort utiles en raison de l'augmentation des pertes de charges dans les canalisations (la plus grande canalisation principale mesurait 4,6 kilomètres, et à son extrémité, le vide était généralement inférieur à 0,75 atmosphère, valeur minimum fixée par l'inventeur). L'exploitation du réseau devenait de plus en plus difficile et coûteuse.

Non seulement le mode de séparation des eaux préconisé par Liernur représentait une cause majeure de dysfonctionnement de son procédé, mais il posait également de sérieux problèmes de salubrité aux villes hollandaises concernées. En effet, seules les matières excrémentielles, transportées par le réseau pneumatique, étaient traitées, le reste des effluents se déversait dans les canaux, au moyen de courtes canalisations gravitaires. Or, la perception de la nuisance provoquée par les eaux ménagères avait évolué, et les services techniques municipaux constatèrent que le rejet systématique des eaux domestiques, riches en matières organiques, polluait de façon importante les canaux. Le mode de séparation des eaux usées appliqué par Liernur n'était donc pas adapté aux besoins de collecte et d'épuration des villes hollandaises.

Envisagé à terme comme le mode d'assainissement général de la ville d'Amsterdam, le réseau pneumatique va en fin de compte devenir marginal par rapport au système des fosses fixes (système de collecte des matières fécales dominant, et qui le restera encore longtemps). Par ailleurs, dans le centre-ville, les services techniques expérimentaient, pour l'évacuation des eaux domestiques et des eaux vannes, un système d'égouts gravitaires, posés dans les canaux, donc situés dans les artères principales de la ville,

qui avait l'avantage de supprimer en partie les problèmes de terrassement sur les terrains plats partiellement inondés (57).

En 1909, la capitale des Pays-Bas mit fin à l'exploitation de son réseau pneumatique. Avec presque 28.000 habitants raccordés, il reste encore aujourd'hui le plus important réseau sous vide à avoir été installé en Europe.

A Leyde et à Dordrecht, les réseaux pneumatiques étaient d'autant plus précaires qu'ils avaient été installés sur une échelle beaucoup plus petite, chacun collectant les matières excrémentielles d'environ 500 maisons. Malgré un terrain favorable à ce type d'égout, l'exploitation des systèmes sous dépression de Liernur fut là aussi relativement difficile, pour des raisons analogues à celles rencontrées dans le cas du réseau d'Amsterdam : la dilution des effluents collectés entraînait une mauvaise valorisation agricole des excréments, des obstructions fréquentes des canalisations et un coût de fonctionnement trop élevé au regard du service rendu. Les deux villes n'ont d'ailleurs jamais entrepris une extension de leur réseau sous vide.

A Dordrecht, le réseau sous vide fut remplacé, en 1887, par des égouts gravitaires posés de la même façon qu'à Amsterdam ; Leyde optera pour une solution identique en 1903.

3. Le système Berlier : une infrastructure inadaptée au milieu urbain.

Le réseau Berlier, obéissant au même principe de séparation des eaux que le système Liernur, était lui aussi confronté à de tels problèmes.

D'un point de vue technique (pouvait-on réellement s'assurer que seules les matières fécales allaient être transportées dans des canalisations sous vide de petit diamètre ?), et d'un point de vue hygiénique (si l'excrément est un des agents les plus nuisibles, les autres eaux usées domestiques présentaient également des risques d'infection), l'expérience pneumatique du 8^{ème} arrondissement annonçait pour les ingénieurs parisiens des contraintes d'exploitation analogue à celles rencontrées à Amsterdam, Leyde et Dordrecht. De plus, la situation particulière des conduites Berlier dans le sous sol de Paris suscitait de nombreuses critiques.

Berlier avait fait poser ses canalisations pneumatiques dans les égouts visitables. Cette pratique lui offrait deux avantages immédiats : des coûts d'installation réduits puisqu'il évitait ainsi des frais de terrassement, et une meilleure maintenance dans la mesure où

l'accès au réseau se trouvait facilité en cas de panne (ce qui n'était pas le cas des réseaux Liernur).

En fait, dans son projet de vidange pneumatique pour la capitale, l'inventeur lyonnais proposait de mettre en place la totalité de son réseau dans les égouts de Belgrand. Cette solution, la plus simple en apparence, présentait cependant des difficultés que l'expérience du 8^{ème} arrondissement avait en partie révélées :

- * Il fallait d'abord trouver un emplacement convenable dans les égouts pour loger les canalisations pneumatiques. Or les services techniques estimaient déjà ne plus pouvoir facilement placer dans les galeries souterraines les conduites d'eau destinées à augmenter l'alimentation de la capitale. En effet, plusieurs réseaux de natures différentes étaient déjà posés dans les égouts : ceux des horloges pneumatiques, de l'air comprimé, du pneumatique des postes, le réseau sous vide pour la transmission de la force, et en quelques endroits le réseau Berlier. Ils limitaient par conséquent la place disponible réservée en priorité au développement du réseau d'eau (58).
- * L'installation du système Berlier entre Levallois-Perret et la place de la Concorde avait abîmé en certains endroits les maçonneries des galeries et réduit l'imperméabilisation des parois que la commission Technique de l'Assainissement trouvait déjà insuffisante. La généralisation de la vidange pneumatique risquait alors de diminuer l'étanchéité de certains égouts, les plus anciens mais aussi les plus fragiles.

Par ailleurs, malgré les imperfections des égouts de Belgrand (voir chapitre 1), leur dimensionnement et leur tracé avaient été réalisés dans l'objectif du tout-à-l'égout unitaire. Pour les ingénieurs municipaux, la résolution du "problème" de l'assainissement dans Paris devait donc nécessairement se trouver dans le perfectionnement des méthodes de calcul et de construction des égouts parisiens, et non dans la mise en place à l'intérieur de ces galeries visitables, ou à côté, de conduites supplémentaires.

De plus, G. Dupuy et G. Knaebel (59) rappellent qu'en 1867, un arrêté autorise officiellement la pratique tolérée depuis 1859 du rejet direct aux égouts, au fur et à mesure de leur production, des liquides filtrés par des appareils diviseurs. Les propriétaires devaient alors satisfaire aux conditions suivantes : installation d'un appareil

diviseur au pied de chaque chute, écoulement des eaux pluviales et ménagères par la même conduite. Par conséquent, bien avant l'expérience de Berlier dans la capitale, plusieurs raccordements effectués sur les égouts instauraient progressivement une pratique unitaire de l'assainissement. Aussi, lorsque l'inventeur lyonnais propose la mise en place de son système pneumatique séparatif, l'administration municipale se montre excessivement réticente d'une part parce que le développement des canalisations sous vide obligerait d'apporter quelques modifications sur la structure physique du réseau existant, d'autre part en raison de la difficulté qu'elle aurait à imposer aux propriétaires des tinettes filtrantes, un nouveau changement, à leur frais, de leur mode de branchement à l'égout.

Cependant, les expériences malheureuses de Berlier et Liernur n'avaient pas pour autant discrédité définitivement le principe même du séparatif.

En effet, dès le premier quart du XX^{ème} siècle, les municipalités désireuses de procéder à l'assainissement de leur territoire, se sont effectivement trouvées embarrassées devant la fermeté des maîtres de l'hygiène qui proscrivaient toute idée de séparation et ne reconnaissait comme officiellement assainies que les villes ayant installé, avec des moyens financiers considérables, le tout-à-l'égout unitaire. Mais l'embarras des édiles provenait aussi des propositions des inventeurs de systèmes peu connus - Berlier, Liernur par exemple- qui pratiquaient une première séparation des eaux usées, mais dont l'exploitation s'avérait difficile et coûteuse.

C'est dans ces circonstances que se dessina une tendance en faveur du tout-à-l'égout gravitaire séparatif, c'est-à-dire en faveur d'un système d'assainissement constitué de deux réseaux d'égouts gravitaires distincts dont l'un servait à l'évacuation des eaux ménagères et l'autre assurait le transport des eaux pluviales et urbaines.

Cette remise en question du tout-à-l'égout unitaire révélait par ailleurs les limites de la généralisation du cas parisien.

Ce sont en outre les eaux pluviales qui ont posé de sérieux problèmes aux services techniques urbains dès le début du XX^{ème} siècle et ont entretenu cette querelle entre le tout-à-l'égout séparatif et le tout-à-l'égout unitaire (60). Avec une imperméabilisation progressive des chaussées, les eaux pluviales devaient en effet être de plus en plus souvent collectées dans leur totalité car leur évacuation naturelle par infiltration dans le sous sol se réduisait et devenait même inexistante dans certaines grandes

agglomérations. De plus, le traitement des eaux pluviales, avant leur rejet dans le milieu extérieur, n'était pas jugé indispensable par les ingénieurs sanitaires de l'époque (61). Il était alors admis que les eaux pluviales diluaient inutilement les eaux usées domestiques et rendaient leur traitement, quand il était effectué, relativement complexe et onéreux (62).

4. Conclusion.

Outre les défauts techniques propres aux procédés Liernur et Berlier, deux considérations vont écarter dans les années 1880 la solution des égouts séparatifs pour l'assainissement de Paris et des autres villes françaises. La première concerne les incertitudes initiales quant à la détermination et à la quantification des phénomènes pluvieux. G. Dupuy et G. Knaebel (63) expliquent que l'absence de règles de calcul claires et documentées à la fin du XIX^{ème} siècle aboutit à des canalisations disproportionnées quant aux débits réels et à des coûts d'établissement élevés. Aussi, dans un premier temps, il ne semble pas évident que l'installation d'égouts séparatifs puisse aboutir à une réelle économie d'investissement, compte tenu des importantes dimensions des conduites d'eau pluviale.

Par ailleurs, le succès des épandages situés en aval de Paris laisse supposer aux ingénieurs municipaux que la collecte non sélective des eaux usées se prête bien à l'épuration. Du point de vue sanitaire, la technique unitaire apparaît donc comme la solution la plus intéressante.

A partir des années 1920, le perfectionnement dans le calcul des débits d'eau pluvial et l'installation des premières stations d'épuration relancent la controverse séparatif / unitaire. Mais quoi qu'il en soit, le réseau d'égouts reste principalement gravitaire. En effet, les premiers essais de formalisation du problème de l'assainissement urbain écartent progressivement la solution pneumatique des débats.

CHAPITRE 5

LA FORCE ATMOSPHERIQUE : UN MODELE TECHNOLOGIQUE PERDU

1. Introduction.

En ne tenant compte que des facteurs expliquant l'insuccès des premières réalisations pneumatiques (voir chapitres précédents), il serait alors impossible d'expliquer pourquoi le système atmosphérique Gandillon n'a pas non plus connu un développement à la hauteur des ambitions de son inventeur. Il a existé en fait un cinquième obstacle à la diffusion de l'assainissement pneumatique : le vide lui même, devenu avec l'air comprimé, un modèle technologique de "transition" et vite oublié.

2. Le système Gandillon : pour une autre marginalité.

Le principe de fonctionnement du réseau Gandillon est légèrement différent de celui des procédés Liernur et Berlier. En temps normal, l'écoulement des liquides est assuré par la simple gravité ; mais à intervalles réguliers, les canalisations sont mises en dépression grâce au vide produit dans une centrale, pour créer des chasses rapides et effectuer ainsi un autocurage du réseau.

Dans chaque immeuble, les eaux ménagères et les matières fécales sont conduites par un tuyau du chute à un appareil appelé poste de collecte, placé sous le trottoir, avec regard de visite. Chaque poste de collecte est raccordé à une conduite de rue, elle-même reliée au collecteur principal par l'intermédiaire d'un poste de curage (ou poste de rue). Le collecteur dirige ensuite les eaux usées vers l'usine centrale. En période gravitaire, les eaux provenant des conduites d'habitation remplissent les postes de collecte et s'écoulent par trop-plein dans les branchements de rue, puis dans le collecteur principal. L'autocurage s'effectue à intervalles réguliers : la fermeture / ouverture des valves situées aux postes de curage permet la mise en dépression des conduites de rue : les matières contenues dans les postes de collecte sont aspirées par la force atmosphérique dans les conduites, puis dans le collecteur principal, activant ainsi leur autocurage, et arrivent enfin dans une bache, à l'usine d'aspiration (voir schéma de principe page suivante).

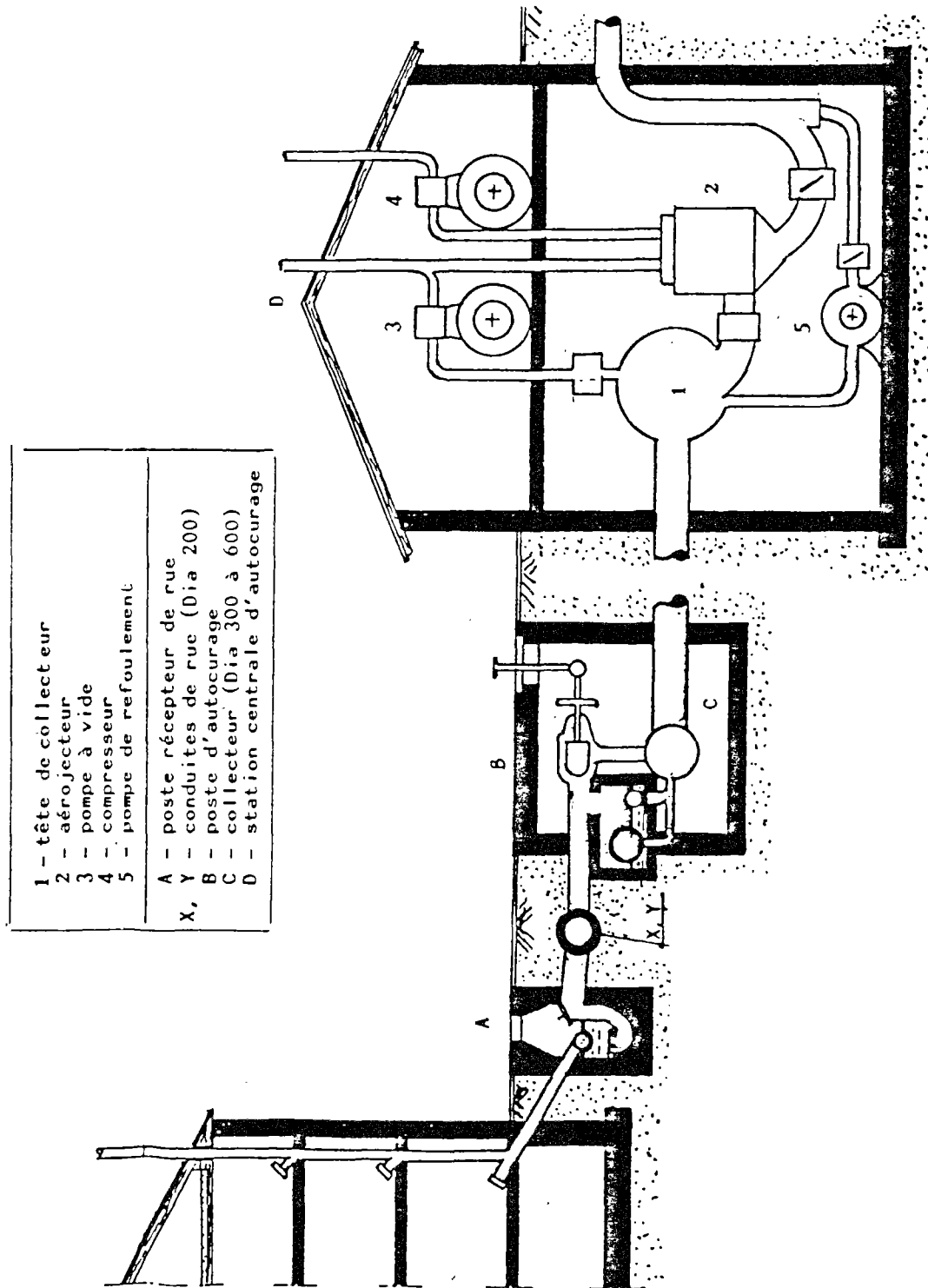


Figure IV : schéma de principe du réseau pneumatique ou "système à chasses atmosphériques" de Gandillon.

Source : SOGEA, document interne, s.d.

En l'absence de vide permanent dans le réseau, les chasses atmosphériques permettent cependant aux égouts Gandillon de s'affranchir de certaines contraintes topographiques.

Le projet d'assainissement présenté par Gandillon fut adopté pour la première fois par la ville de Villeneuve-Saint-Georges en 1913 (9.500 ml de canalisations étanches, 3 postes de rue et 180 postes de collecte). Seulement 30% de ce réseau initial est aujourd'hui en exploitation. Ont également été équipés par ce système, les Sables d'Olonne (1927-1979) ; Dieppe dont le réseau mis en service en 1933, reste la plus importante réalisation de Gandillon avec actuellement 12.000 habitants raccordés sur 9.900 ml de canalisation; Nevers qui installa en 1934 un petit réseau atmosphérique de 2.700 ml (toujours opérationnel en 1988) ; enfin Fort de France, équipé peu après Nevers.

Ces cinq villes, avant la mise en place du système à chasses d'air, ne possédaient pas d'égouts, ou ceux-ci étaient, comme aux Sables d'Olonne, anciens et assez rudimentaires. Elles sont toutes situées dans des zones plates.

Aux difficultés techniques dues à l'absence de pente, s'ajoutaient également celles provenant de la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol, et, pour les Sables d'Olonne, de la présence de sable fin favorisant l'obstruction des canalisations. Il y avait donc impossibilité de donner suffisamment de pente pour installer du gravitaire. Les conduites pneumatiques de Gandillon paraissaient être alors la solution la plus avantageuse. D'autant plus que trois de ces agglomérations (Dieppe, Sables d'Olonne et Fort de France) se composaient de quartiers balnéaires pour lesquels, les Conseils Départementaux d'Hygiène ne toléraient plus un rejet direct en mer des eaux usées non traitées.

C'est d'ailleurs sur la présentation de l'avant-projet Gandillon que la ville de Dieppe obtint le titre de "station climatique", par décret du 21 janvier 1925. Ce décret faisait obligation à la ville de présenter un projet définitif en matière d'assainissement et de le mettre à exécution dans les plus brefs délais.

Chaque réseau à chasses atmosphériques fut raccordé à une station d'épuration construite spécialement à cet effet et située à proximité de l'usine d'aspiration.

La mise en place d'un système complet d'assainissement, réseau et station d'épuration, était un fait peu courant dans la France de l'entre-deux-guerres (64). En général, les villes et les industries se souciaient peu de dépollution. Leur attitude était encouragée par l'indifférence des services publics qui ignoraient presque totalement un sujet

(l'épuration) considéré implicitement comme non prioritaire (65). Il faudra attendre la promulgation de la loi sur l'eau de 1964 pour que l'industrie française de l'épuration, enfin soutenue par un marché national consistant, puisse réellement se développer.

Gandillon fut l'élève du professeur Calmette, directeur de l'Institut Pasteur de Lille et grand précurseur de l'épuration en France. On comprend alors pourquoi son élève souhaita systématiquement installer des stations de traitement destinées aux eaux usées collectées par ses réseaux à chasses atmosphériques. Ce fut certainement un atout majeur pour Gandillon, au moins en ce qui concerne l'assainissement des trois agglomérations balnéaires.

Les stations d'épuration mises en place par Gandillon n'avaient aucune particularité par rapport à celles disponibles sur le marché de l'assainissement à cette époque (relativement rares il est vrai) puisque le réseau à chasses atmosphériques, collectant toutes les eaux usées domestiques, y apportait des effluents de même nature que ceux transportés en égouts séparatifs gravitaires.

Enfin, si les services techniques concernés ont été contraints d'apprendre le fonctionnement de ce nouveau système d'assainissement, les habitants en revanche, ne furent pas sollicités (66) parce qu'il n'y avait ni limitation dans la consommation de l'eau ni obligation d'installer des appareils à l'intérieur des propriétés.

On ne retrouve donc pas, dans ces nouvelles applications pneumatiques, les obstacles majeurs qui vouèrent les premières tentatives d'assainissement sous vide à l'échec (voir les chapitres 1 à 4). Pourtant, aujourd'hui, seuls trois réseaux Gandillon sont encore exploités en métropole: ceux de Villeneuve-Saint-Georges, Nevers et Dieppe.

Les deux premiers sont déjà condamnés à disparaître dans la mesure où les services techniques envisagent de les remplacer à brève échéance par un système gravitaire avec postes de refoulement. Quant à celui de Dieppe, la municipalité attend les résultats d'une étude de diagnostic en cours avant de se prononcer sur son éventuel arrêt d'exploitation.

Le procédé Gandillon, comme d'ailleurs les inventions de Liernur et de Berlier, était, par la technique préconisée, lié au modèle de la force atmosphérique. Il est alors possible d'expliquer l'insuccès du système Gandillon : la technique pneumatique est vite devenue marginale, malgré des débuts prometteurs, pour deux raisons :

- * Si les réseaux pneumatiques ont apporté dans l'univers technique de leur époque un mouvement de modernité incontestable, ils n'ont jamais été en revanche le prolongement logique de structures antérieures. Utilisée comme renfort temporaires des systèmes techniques en cours de formation, la force atmosphérique donna naissance à des générations d'objets dont la vie technique était de fait limitée.
- * Écarté progressivement des grands principes de formation des réseaux urbains, l'emploi de la force atmosphérique fut d'autant plus réduit que se constituèrent explicitement ou implicitement des normes de procédés dont elle fut exclue. Aussi, la carrière pneumatique de Gandillon s'acheva avec la promulgation de la circulaire Caquot, première norme de procédé en assainissement qui faisait de la force gravitaire (parfois associée à la force électrique), le seul principe reconnu et applicable au transport des eaux usées.

3. La force atmosphérique : un début prometteur.

Le principe de l'utilisation de l'air comme agent de transmission de force avait déjà passionné les sociétés savantes et la presse technique sous la Monarchie de Juillet, donc bien avant l'apparition de l'assainissement pneumatique. La gratuité et l'abondance de l'énergie "éolienne" avaient stimulé les imaginations.

En 1848, A. Andraud (67) suggérait d'employer l'air comprimé pour un moteur universel, attendu que sa compressibilité semblait infinie et sa force d'expansion illimitée. On avait fait un peu vite de l'air comprimé en tant qu'agent de transmission de force un principe généreux, universel et impérissable (68).

De nombreux projets furent alors élaborés pour créer au profit de toutes les industries, une force dont le prix de revient devait être aussi minime que son abondance "impérissable". Le nec plus ultra était bien sûr de vouloir comprimer l'air au moyen de forces naturelles gratuites telles que la "marche des eaux" et la "course des vents".

De toute évidence, c'est la ville qui devait être transformée en une véritable cité éolienne : "Il arrivera un temps où les autorités municipales établiront dans les villes de vastes réservoirs d'air comprimé où tout le monde ira, même pour des besoins domestiques, puiser de la force devenue objet d'utilité première, comme on va aujourd'hui puiser de

l'eau à la fontaine" (69). L'emploi de l'air comprimé mais aussi de la dépression devait produire une petite révolution urbaine en bouleversant et en améliorant la vie quotidienne des citadins.

En fin de compte, la transmission atmosphérique de la force était autant une invention technique que le levier d'une utopie sociale à peine dissimulée : "Et bien cette force, destinée à changer la face du monde matériel et par la suite du monde moral, elle réside dans l'expansion de l'air comprimé" (70).

Aussi L. Boudenoot, promoteur de la distribution de force motrice au moyen de l'air raréfié, n'hésite pas à dire que ses installations parisiennes lui permettront de prendre son "modeste rang parmi ceux dont les efforts ont réussi à démocratiser la machine, et à la mettre à portée des travailleurs en chambre". Pour lui, "il ne faut pas que les ouvriers se fâchent contre les machines" (71). Le message est clair, les progrès technologiques ne doivent pas favoriser seulement les grandes sociétés, les entreprises colossales, au détriment des travailleurs isolés; ils viennent aussi en aide à la petite industrie.

Si pour l'administration parisienne, le réseau pneumatique n'était qu'une technique secondaire, pour certains ingénieurs, savants et promoteurs de cette force, c'était avant tout la preuve grande nature, in situ, qu'on pouvait désormais utiliser "pour les besoins de l'industrie un signe représentatif de toutes les forces : l'air atmosphérique, comme on a créé autrefois pour la nécessité du commerce, un signe représentatif de toutes les valeurs, l'argent" (72).

La force atmosphérique pouvait en définitive être utilisée de deux façons : soit au moyen de la compression, soit en créant de la dépression. Parfois en concurrence directe lorsque ces deux modes de production de force concouraient à la même utilisation, ils étaient également complémentaires sur d'autres réalisations. Ceci explique sans doute le caractère captivant de la force atmosphérique et aussi sa magie : avec la multiplicité des usages et des modes de production, il semblait y avoir matière à inventions. Pour certains, tout était à faire ou à modifier.

La première application de la force atmosphérique pour l'exploitation d'un réseau fut celle des deux ingénieurs Clegg et Samuda. Ils équipèrent en 1847 le tronçon de la ligne de chemin de fer entre le Pecq et Saint-Germain d'un rail pneumatique, alimenté en vide, sur lequel une voiture directrice pouvait se déplacer. La montée de Saint-Germain, obstacle insurmontable pour les locomotives à vapeur de l'époque, put ainsi recevoir la

première ligne de chemin de fer de voyageurs (73).

C'est avec l'idée de l'utilisation conjointe du vide et de l'air comprimé que l'ingénieur Rammel construisit en 1865 le chemin de fer pneumatique de Londres à Sydenham. La voiture ressemblait à un long omnibus et portait à l'une de ses extrémités un grand disque épousant la section du tunnel. Au départ, le véhicule entraînait dans le tunnel dont les portes se fermaient automatiquement. L'air comprimé produit par un ventilateur "soufflait" le train jusqu'à la gare d'arrivée. Pour le trajet du retour, on procédait par aspiration. Les 600 mètres étaient parcourus, dans un sens comme dans l'autre, en 50 secondes, soit un peu plus de 40 km / h.

La télégraphie atmosphérique marqua les débuts de "l'aventure" pneumatique dans Paris, avec l'installation des premières canalisations à pression et à dépression pour le transport du pneu en 1869.

Mais la construction ultérieure d'un réseau de production et de transport d'air comprimé (1880) s'avéra être l'épisode le plus spectaculaire de cette épopée. A une époque où d'autres systèmes possibles pour la transmission de la force (vapeur, électricité) présentaient trop d'incertitudes, l'utilisation de l'air comprimé apportait immédiatement les garanties d'un bon fonctionnement industriel et fournissait une force bon marché à toutes les industries parisiennes qui la demandaient. Les premiers grands abonnés à l'air comprimé furent principalement les imprimeurs, les limonadiers, les entreprises de bâtiment et travaux publics et de nombreux petits industriels parisiens (chaudronniers, forgerons, marbriers, coffreurs et un peu plus tard les garagistes...).

La ville de Paris abrita également d'autres réseaux atmosphériques.

En 1879, un ingénieur autrichien, Victor Popp, eu l'idée de réaliser dans la capitale une distribution pneumatique de l'heure. De l'air comprimé, produit sous une pression très faible, était lancé par pulsations régulièrement espacées d'une minute dans un réseau constitué par des tubes en plomb de petits diamètres et posés en égout, sur lequel des horloges réceptrices étaient raccordées. Au 31 décembre 1880, les abonnements correspondaient à 1 475 pendules installées dans les maisons des premier et second arrondissements, à 44 candélabres - horloges et à 33 cadrans d'édifices municipaux. Le principal mérite de Popp (propriétaire également du réseau de distribution de force

motrice par air comprimé) fut de créer dans Paris un service de distribution générale de l'heure, c'est-à-dire un réseau sur lequel pouvait se brancher un grand nombre de cadrans marquant tous l'heure d'une horloge centrale bien réglée. Or, l'unification de l'heure devenait un véritable enjeu politique, social et économique.

Dès 1881, Boudenoot et Petit exploitent le réseau de distribution de force motrice par air raréfié dans quelques quartiers de la capitale où s'exercent une grande variété de petits métiers parisiens (notamment l'orfèvrerie et la confection). Le nombre de ces petites industries semblait assez important pour que la distribution de la force motrice en chambre paraisse aux ingénieurs promoteurs du vide une entreprise avantageuse. En outre, le vide pouvait, selon les deux ingénieurs, faire renaître le petit artisanat et le travail à domicile et briser par la même occasion les concentrations prolétariennes dangereuses nées de la "révolution industrielle".

Enfin, Berlier installa son réseau d'assainissement en dépression dans quelques égouts de la capitale entre 1881 et 1894 (voir chapitres précédents). Il tente alors de démontrer, dans son projet d'assainissement de la ville de Paris, d'une part la facilité avec laquelle la morphologie structurelle de son réseau va pouvoir reproduire le tracé des égouts de Belgrand, d'autre part comment la pente du réseau gravitaire est susceptible d'améliorer la performance fonctionnelle de son système pneumatique. Ainsi, en installant les conduites maîtresses et secondaires dans les collecteurs gravitaires, le réseau Berlier pourra desservir toutes les rues, cours et passages parisiens. Par ailleurs, l'installation du réseau pneumatique dans les égouts gravitaires donnera alors aux canalisations, une pente identique à celle des banquettes et des radiers des égouts. Si Berlier note que l'action du vide induit une vitesse d'écoulement beaucoup plus grande que celle résultant de la seule gravité, il suggère en revanche que l'action combinée de ces deux forces augmente l'efficacité du transport.

Pour Berlier, il s'agissait essentiellement de fournir la preuve que la technique par dépression pouvait s'inscrire dans les mêmes territoires devant être desservis par le système d'assainissement gravitaire.

Ainsi, à partir de 1882, et pendant plusieurs années, pas moins de cinq réseaux pneumatiques, fonctionnant à l'air comprimé et/ou au vide, cohabitèrent dans Paris.

Les possibilités d'application de la force atmosphérique paraissaient manifestement importantes, et il faudra seulement deux à trois décennies pour mettre le pneumatique au

service des transports (matières usées, voyageurs et informations) et de la distribution de force. Il se diffusa ainsi, en un temps record, dans les principales fonctions de la ville.

Pour mieux comprendre cette vision moderne des pneumaticiens, il est utile d'insister sur le caractère spectaculaire de l'invention. Berlier, Liernur, Popp, Boudenoot et leurs collègues apportaient des éléments concrets (au moins le croyait-on au début), au mythe de la force universelle et gratuite au service des besoins sociaux, de l'intérêt collectif. L'événement était d'importance puisque la réalité esquissée semblait enfin dépasser la fiction. Quelques années plus tard, Gandillon lui-même répétait à qui voulait l'entendre que c'est "précisément à cette énergie invisible, universelle et puissante contenue dans l'immense réservoir de chasse atmosphérique" qu'il songeait pour transporter les eaux usées (74) et expérimenter un système hydropneumatique d'évacuation des ordures ménagères (75).

La technique pneumatique a certainement été un stimulant efficace pour le petit nombre de ceux qui l'ont pratiquée à l'origine. Cela s'explique en grande partie par la variété des problèmes posés et le peu de solutions techniques disponibles pour les résoudre. Les intéressés étaient en quelque sorte forcés d'expérimenter eux-mêmes dans toute l'étendue de ce domaine.

4. De l'universalité des projets aux réalisations provisoires.

S'il y a disparité des applications pneumatiques, leur rapprochement et leur confrontation montrent bien qu'il s'agit là d'une même famille technologique aux ramifications diverses. On est alors tenté de construire une filière des systèmes pneumatiques qui regrouperait un ensemble de caractéristiques et de paramètres variés (étanchéité, branchements, pertes de charges, effets d'extrémités etc.).

Pourtant, l'universalité des modes d'application de la force atmosphérique, annoncée par ses inventeurs et promoteurs, ne s'est jamais concrétisée, ni même le développement sur une vaste échelle d'une de ses applications. En effet, deux traits caractérisent les réseaux pneumatiques installés en France à la fin du XIX^{ème} siècle : leur statut provisoire et/ou le caractère unique de certains d'entre eux.

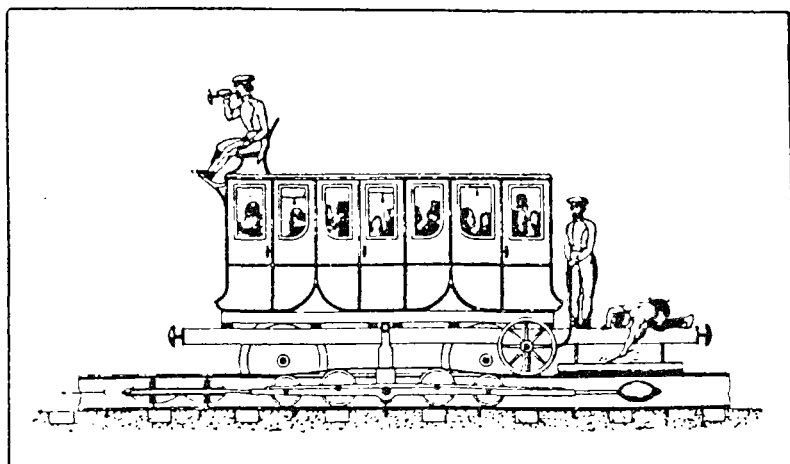
* A partir du 3 juillet 1860, deux locomotives à vapeur furent installées en renfort de queue pour gravir la rampe de Saint-Germain et l'on cessa d'utiliser le tube atmosphérique. La suppression du chemin de fer pneumatique fut alors jugée comme une décision "heureuse" pour l'avenir de la ligne et l'on écarta définitivement la solution atmosphérique de toutes les constructions ferroviaires françaises. La mise en place d'une grande ligne de chemin de fer par le système atmosphérique ne pouvait pas, avec la seule expérience limitée de Saint-Germain et la foi optimiste des inventeurs, concurrencer l'utilisation des machines à vapeur qui devenaient chaque jours plus puissantes.

* Le 28 juin 1927, la Compagnie Parisienne de l'Air Comprimé cessa son exploitation des horloges pneumatiques dans Paris. Le réseau horaire de la CPAC n'avait jamais connu le développement espéré par son inventeur. Au contraire, on assistait depuis 1884 à une régression des abonnements. En fait, avec le développement puis l'unification des secteurs électriques parisiens, un réseau horaire électrique fiable et moins complexe que le système pneumatique put se concevoir pour l'ensemble de la ville.

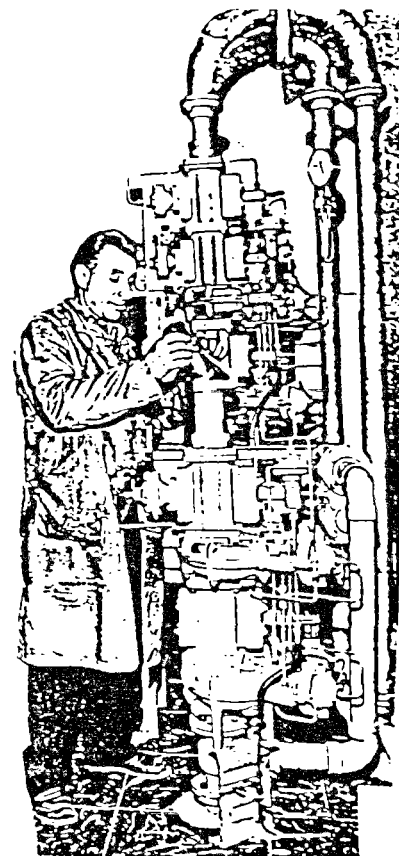
* Quant au réseau d'air comprimé, celui-ci existe encore actuellement tout en étant unique en son genre. Il est géré par la Société Urbaine d'Air Comprimé (SUDAC) qui distribue dans Paris un air sous pression d'environ 6 bars à environs 9 000 abonnés raccordés sur 1 000 kms de canalisations.

Cependant, avec la distribution d'air comprimé, deux applications distinctes avaient été réalisées : une distribution de force motrice et une distribution à domicile d'air comprimé qui pouvait être utilisé directement sans aucune transformation (c'était notamment le cas dans l'industrie chimique pour l'aération et le brassage des matières, sur les chantiers de BTP et plus tard, avec le développement de l'automobile, pour le gonflage des pneumatiques).

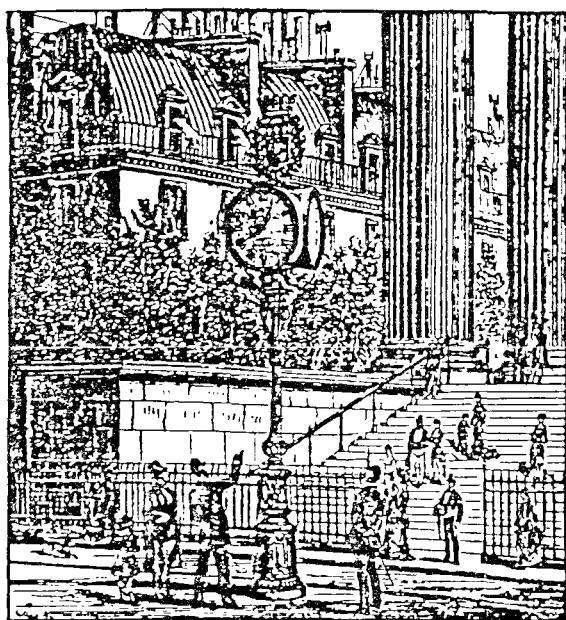
Avant l'unification des secteurs électriques parisiens (janvier 1914), l'air comprimé distribué dans le réseau parisien était déjà à la fois agent vecteur (force motrice) et flux matériel consommé sans transformation, pareillement à l'eau et au gaz. Ceci a certainement été décisif pour la poursuite de l'exploitation du réseau, contrairement au procédé de distribution de force motrice à domicile par air raréfié dont les propriétaires n'ont pas pu, ou su, diversifier les usages. L'entreprise de Boudenoot et Petit cessa son activité le 31 décembre 1911.



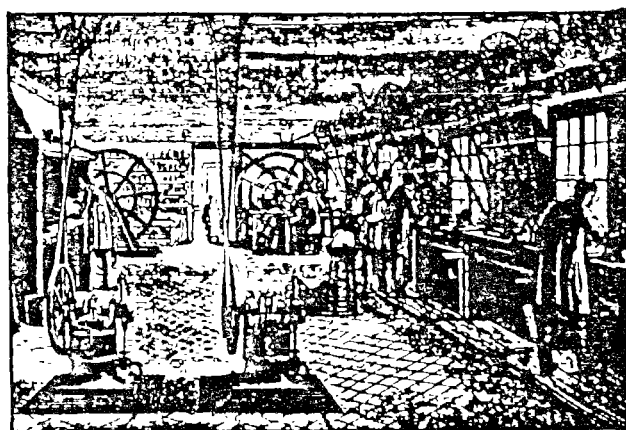
La wagon directeur atmosphérique
sur la ligne Le Pecq Saint-Germain



Le réseau pneumatique des PTT



Horloge pneumatique, place de la madeleine à paris



Atelier d'un orfèvre raccordé au réseau
de distribution de force motrice par
le vide de Boudenoot et Petit

Figure V : des réseaux pneumatiques dans la ville.

Source : Poujol T., Des réseaux pneumatiques dans la ville, un siècle et demi de techniques marginales,
Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val-de-Marne, LATTs, septembre 1986.

Par ailleurs, le réseau d'air comprimé, mais aussi le réseau pneumatique des PTT, bénéficiaient pour leur développement d'une infrastructure unique, les égouts de Belgrand dont ils tirèrent toute leur consistance. Ainsi, ils sont restés des système de transport et de distribution de Paris pour Paris. Avec un champ d'action limité, une dispersion des centres industriels et financiers, l'importance même de ces réseaux ne pouvait que s'affaiblir.

Ce phénomène et d'autres impératifs techniques et économiques, ont conduit le Ministère des PTT à fermer définitivement son réseau pneumatique le 27 mars 1984.

En définitive, ces réseaux pneumatiques n'ont pu occuper qu'une place auxiliaire, subordonnée ou appendice à d'autres réseaux alors déjà dominants ou en phase de le devenir. Le principe de l'utilisation de la force motrice (par la production d'air comprimé ou de vide) arrivait peut être trop tard dans le contexte social et technique déjà en partie modelé par l'emploi d'autres forces motrices.

* Ainsi, en ce qui concerne le chemin de fer par traction atmosphérique, l'expérience menée entre Le Pecq et Saint-Germain révéla de grandes incertitudes sur son exploitation, compromettant sérieusement son éventuel développement. Les aiguillages, les manoeuvres en gare, les croisements de routes ordinaires avec la voie ferrée, sans grande complication, déjà bien connus et à peu près maîtrisés avec les trains à vapeur, présentaient dans le système atmosphérique des difficultés dont les solutions restaient encore à trouver.

* Pour le transport électrique de l'énergie, il y avait une grande inconnue qui favorisa l'installation du réseau d'air comprimé dans Paris : la distribution. On connaissait bien le type de réseau nécessaire pour la transmission pneumatique de la force motrice, mais on ne le savait que vaguement dans le cas de l'électricité en raison de l'état incertain de la technique et des multiples choix possibles.

Cependant, en amont et en aval du délicat problème de la transmission de l'énergie électrique, et bien avant sa résolution, on voit s'établir une suite de réalisations et d'expériences basées sur l'utilisation de l'électricité qui seront par la suite déterminantes. En effet, si à l'époque des premiers essais concluants de transmission de l'électricité par Deprez en 1883 et de l'invention de Gaulard en 1885 du transformateur, il n'existe pas encore une importante demande immédiate de consommation d'électricité, les objets

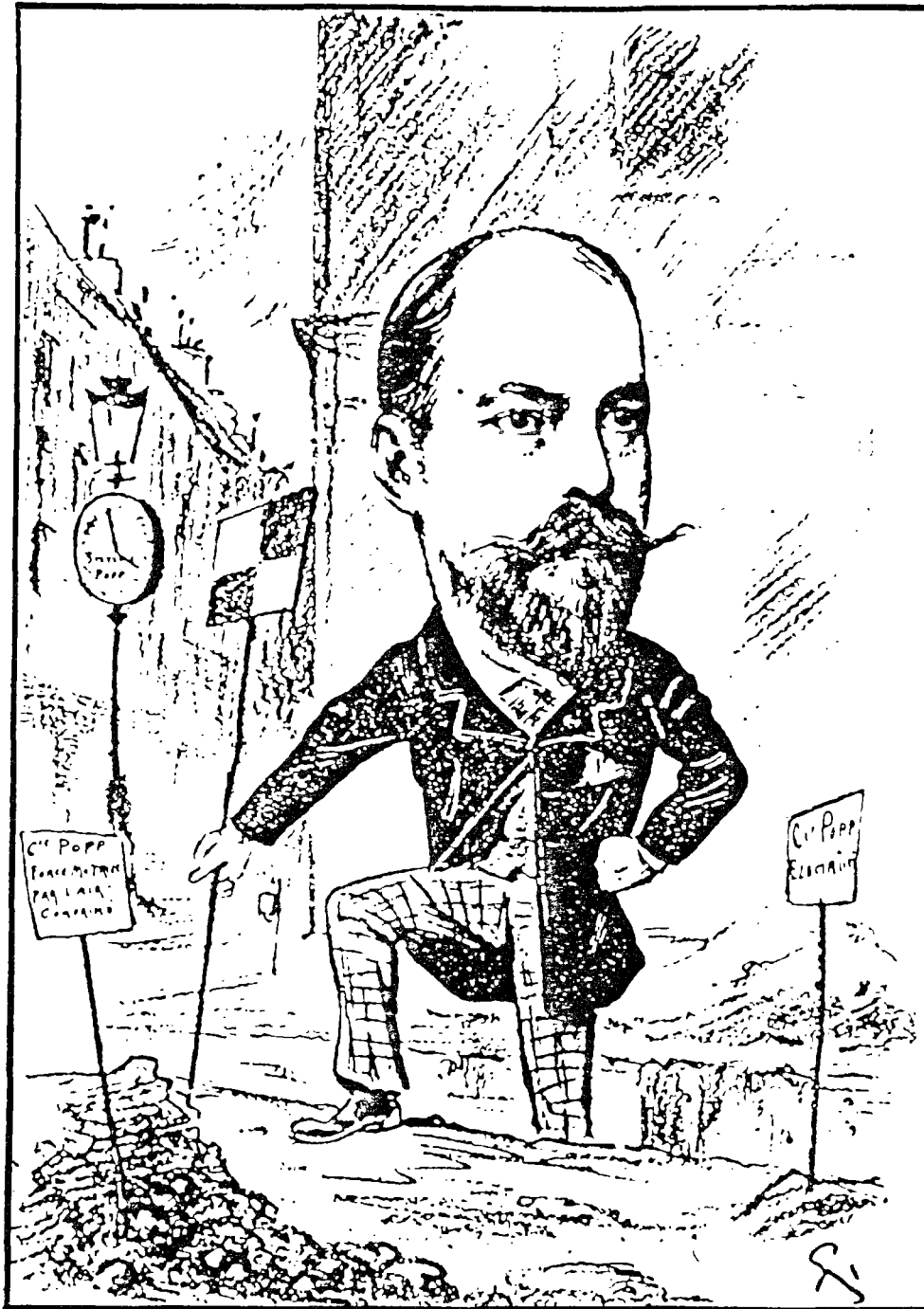


Figure VI : Victor Popp, entrepreneur et exploitant du réseau d'horloges pneumatiques, du réseau de distribution de force motrice par air comprimé et de l'un des 6 réseaux électriques parisiens.

Source : Nos financiers en robe de chambre, revue biographique et critique, n°25, 28 octobre 1891.

techniques et les organisations qui allaient la créer et la satisfaire étaient déjà en train de se mettre en place (76).

Les travaux de laboratoire de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle avaient mis en évidence l'effet joule et l'effet électrolytique. Les tentatives et les réussites dans ces deux applications avaient d'ailleurs précédé la mise au point de la dynamo. Galvanoplastie et lampes à arc étaient déjà des réalités vieilles d'une dizaine d'années lorsque le réseau d'air comprimé fut installé dans Paris.

De plus, dès les années 1880, la théorie de la dynamo devenait assez précise pour que l'encadrement de la technique électrique par la théorie soit effectif, ou plus exactement pour qu'une technologie de l'électricité commence à se développer.

Tel n'était pas le cas du principe atmosphérique qui ne faisait l'objet d'aucune recherche pratique ou théorique en laboratoire.

M. Daumas écrit à juste titre que "contrairement à l'opinion reçue, la science n'a pas toujours été le réservoir de connaissances dont s'est nourrie la technique" (77). Mais avec la transmission et l'utilisation de la force, il semble pour l'électricité que la création d'objets techniques nouveaux à partir de la fin du XIX^{ème} siècle tende de plus en plus à s'appuyer sur la connaissance scientifique. Ceci a certainement amoindri les chances des découvreurs individuels tels que les promoteurs du pneumatique, dont les compétences étaient nécessairement limitées et qui n'avaient d'autres recours que les moyens de l'expérimentation empirique, généralement peu soutenue par des recherches en laboratoire. Aussi, les inventeurs des réseaux pneumatiques associèrent toujours les projets les plus sérieux à des utopies souvent contestables, l'adversité du contexte les condamnant en quelque sorte à extrapoler hâtivement et très largement les potentialités et les bénéfices de leurs techniques (78). Ils n'étaient donc pas obligatoirement les meilleurs promoteurs de leur systèmes car la nature même de leur discours induisait de nombreuses critiques.

Un autre phénomène permet également de comprendre pourquoi le démarrage de la transmission de l'électricité fut relativement rapide, malgré l'antériorité de la transmission atmosphérique de la force.

La première utilisation du courant électrique a été le télégraphe. S'il en fut ainsi, c'est que la transmission de signaux grâce à l'électro-aimant nécessitait un courant de faible intensité que les piles, dérivées de l'invention de Volta, permettaient déjà de produire au cours des années 1830 - 1840. Pour M. Daumas (79) le développement du télégraphe électrique ne fut alors pas sans importance sur le démarrage futur de la transmission à

grande échelle de l'électricité. C'est en effet pour les seuls besoins de la fabrication des appareils du télégraphe et des fils conducteurs, de la pose de ces installations, de leur fonctionnement et de leur entretien que les premiers techniciens de l'électricité purent se former et établir assez rapidement, en une trentaine d'années environ, un corps spécialisé travaillant à peu près dans tous les pays d'Europe et d'Amérique du Nord. Aussi, lorsque les systèmes de transmission de l'électricité furent mis au point, le personnel nécessaire pour diversifier et exploiter ces techniques se trouva partout présent, avec des moyens à sa disposition.

5. De la normalisation des forces motrices, ou de l'éviction du principe atmosphérique.

Le statut provisoire des réseaux pneumatiques, le caractère unique de quelques-uns d'entre eux, mais aussi le développement sur de vastes échelles de modes de transmission de force plus facilement reproductibles a finalement pesé lourd sur certains choix, érigés en références exemplaires, en normes quasi définitives.

Ainsi, lorsque le procédé à dépression fut installé entre Le Pecq et Saint-Germain, le domaine du transport de voyageurs sur voie ferrée n'était pas encore dans un système dominant "vapeur" puisqu'il subsistait quelques incertitudes techniques concernant notamment la puissance de traction. Mais avec le développement du chemin de fer grâce en particulier à la mise au point de locomotives suffisamment puissantes pour s'affranchir de contraintes topographiques, et son appropriation technologique par le puissant corps des Ponts et Chaussées, la place laissée aux techniques alternatives se "marginalisa" de plus en plus pour finalement disparaître. Toutes les innovations qui ne concernaient pas la traction à vapeur, (et plus tard la traction diesel et électrique) étaient alors systématiquement refusées. Ce fut le cas du procédé atmosphérique, mais aussi par exemple des systèmes de traction sur coussins d'air ou d'eau élaborés par Girard sous le Second Empire.

Pour la force industrielle et domestique, des normes de procédés et d'usages relatifs à l'électricité étaient déjà en partie développés lorsque les moyens de transmission à longue distance d'une énergie électrique de grande intensité furent mis au point.

En ce qui concerne l'assainissement, trois phénomènes vont concourir à une normalisation des techniques qui sera officialisée le 22 février 1949 par la circulaire CG

1333 (circulaire Caquot).

* D'abord, le développement des égouts visitables de Paris correspond à une première tentative de rationalisation des pratiques d'assainissement. Ce réseau d'égouts est initialement limité à la Capitale, mais l'objectif d'Hausmann et de Belgrand est d'en faire rapidement un modèle reproductible à l'ensemble des villes françaises.

* Par ailleurs, un argument majeur, jamais formulé explicitement, va pourtant considérablement influencer les types de solutions possibles pour l'équipement des villes françaises. Pour les acteurs de l'assainissement, il paraît alors difficile d'admettre le développement du réseau par dépression, même en apportant quelques améliorations aux procédés Liernur et Berlier, en raison de la nature de la force de transport utilisée. En effet, celle-ci semblait condamnée avec le développement de l'électricité et de la vapeur. Cet "échec" de la force atmosphérique dans d'autres applications urbaines ne pouvait que renforcer la méfiance des ingénieurs et techniciens de l'assainissement à l'égard des réseaux pneumatiques et de leur reproductibilité. Dans les années 1880, il n'existait que cinq applications pneumatiques en assainissement dans toute l'Europe (Amsterdam, Leyde, Dordrecht, Paris et Levallois-Perret) alors que le principe gravitaire commençait à être un peu partout utilisé (notamment en Angleterre où à partir de 1855, le tout-à-l'égout gravitaire est généralisé et doté d'une législation complète). Les expériences et les compétences étrangères vont aider directement ou indirectement les ingénieurs français à mettre au point des méthodes de calcul et de construction gravitaire généralisables, alors que la force atmosphérique reste, quelle que soit son domaine d'application, une force expérimentale, sans aucun support méthodologique ou scientifique. De plus, dès la première décennie du XX^{ème} siècle, des systèmes de pompes électriques commencent à être élaborés, de sorte que l'électricité paraît pouvoir devenir un renfort non négligeable à la force gravitaire, lui assurant en théorie une applicabilité générale.

Avec les importantes réalisations de Belgrand (Les ingénieurs français estiment à la fin du XIX^{ème} siècle que ce qui est fait à l'échelle de la plus grande ville du pays peut être certainement reproduit sans trop de difficultés sur des territoires plus petits) et l'échec de la force atmosphérique, la technique de l'assainissement atteint alors sa forme "canonique" (80) dans le principe gravitaire, faute d'autres solutions immédiatement disponibles et reproductibles. Il est finalement admis que le gravitaire parisien, tout en étant difficilement utilisable dans son intégralité, possède des caractéristiques facilement

"normalisables".

* Enfin, cette normalisation sera très vite accentuée par le corps des ingénieurs des Ponts et Chaussées qui devient, avec l'épisode parisien, le "maître à penser" en assainissement. Avec une formation doctrinale assurée par des Belgrand et des Durand-Claye, les ingénieurs diplômés à la fin du XIX^{ème} siècle et pendant toute la première moitié du XX^{ème} siècle font faire de l'assainissement des villes par réseau gravitaire une tradition dont il y aura de moins en moins lieu de discuter les présupposés.

Aussi, Gandillon va proposer son système à chasses atmosphériques dans les petites et moyennes collectivités. Celles-ci ont été préservées dans les années 1910 - 1920 de la bataille du tout-à-l'égout qui ne concerne alors que les grandes agglomérations (et pour lesquelles les ingénieurs se mobilisent). Elles sont de plus méfiantes des coûts financiers de terrassement et de canalisation inhérents au procédé gravitaire.

L'instruction technique de 1949 va finalement mettre un terme aux activités pneumatiques de Gandillon, et d'une manière générale écarter tout réseau technique différent du réseau gravitaire de l'équipement en assainissement des collectivités locales françaises.

Cette circulaire représente le premier texte réglementaire qui officialise le procédé gravitaire (qu'il soit séparatif ou unitaire) en tant que seul système acceptable pour l'assainissement des agglomérations urbaines. Elle rassemble toutes les formules nécessaires aux phases de conception et de dimensionnement des ouvrages. Diffusée à trente mille exemplaires, elle devient alors l'unique outil indispensable des projeteurs, des constructeurs, des bureaux d'études et des services techniques municipaux.

La circulaire Caquot représente donc l'étape finale d'une normalisation nationale des pratiques locales, commencée dès la fin du XIX^{ème} siècle et largement développée pendant toute la première moitié du XX^{ème} siècle. Seule norme de procédé institutionnalisée, la CG 1333 réglementera pendant près de trente ans l'assainissement urbain en France. G. Dupuy rappelle que les termes de "bible de l'assainissement" alors employés à propos de cette instruction paraissent presque justifiés (81).

Il n'y aura donc jamais d'évaluation ni de discussion au niveau national du système Gandillon, comme ce fut le cas des inventions de Berlier et de Liernur, puisque celui-ci

est définitivement condamné à partir de 1949 et ne fera pas l'objet de réalisations ultérieures.

Néanmoins, Gandillon, certainement au fait de cette politique de normalisation qui commençait déjà à se développer dès la première réalisation de son réseau pneumatique à Villeneuve-Saint-Georges en 1913, présentait son procédé comme une combinaison entre le gravitaire et le "tout pneumatique". En effet, son système à chasses atmosphériques n'était finalement qu'un réseau gravitaire conçu pour un autocurage pneumatique régulier. On ne faisait donc plus appel à une dépression permanente dans les canalisations. Ce type d'égout offrait alors la possibilité d'installer un réseau d'assainissement avec une pente minimale, et d'éviter ainsi sur des sites particuliers des coûts de terrassement qui s'avéraient importants avec la mise en place d'un gravitaire simple.

Cependant, pour les ingénieurs et les techniciens de l'assainissement qui ne voyaient dans le système Gandillon qu'une simple copie améliorée des réseaux Liernur et Berlier, la non conformité du principe des chasses atmosphériques à des techniques standardisées ou en phase de le devenir paraissait évidente.

A ceux, et d'abord Gandillon lui-même, qui estimaient que cette technique était avant tout un perfectionnement des méthodes de conception gravitaire, la rédaction de la circulaire Caquot donna définitivement tort. Il y avait bien transport des effluents par la seule force de pesanteur dans les canalisations Gandillon, mais celles-ci possédaient des caractéristiques de dimensionnement (petits diamètres, faible pente) qui ne se retrouvaient pas dans les annexes techniques de la circulaire élaborées à partir des modèles gravitaires déjà utilisés dans Paris et quelques autres grandes villes.

Dès 1949, la norme du gravitaire devenait donc une définition basée essentiellement sur des méthodes de dimensionnement et de calcul que Gandillon ne pouvait pas prendre comme références.

De plus, l'autocurage de ces réseaux atmosphériques, nécessitant un personnel nombreux, était lui aussi en décalage avec les normes d'entretien que le principe gravitaire allait pendant longtemps presque institutionnaliser. Il était effectivement difficile de faire admettre aux ingénieurs en assainissement des services municipaux et des compagnies privées qu'un entretien coûteux pouvait être véritablement rentable à long terme en préservant la structure initiale du réseau, alors que la règle générale consistait déjà en de trop rares opérations de nettoyage par chasses d'eau, certainement plus avantageuses pour les finances locales, mais dont les conséquences dramatiques de dégradation ne surviendraient que quelques dizaines d'années plus tard...

6. Conclusion.

L'étude des réseaux pneumatiques est l'histoire complexe des techniques dites alternatives, confrontées à des systèmes dominants car antérieurs ou bien érigés en références exemplaires, en normes quasi définitives.

Le développement éphémère et secondaire du procédé Gandillon révèle en fait deux éléments importants de l'innovation : les atouts technologiques de ce procédé mais aussi les blocages induits par la normalisation du principe gravitaire qui a freiné prématurément la diffusion du réseau sous vide.

Or, à partir de 1949, comme le soulignent G. Dupuy et G. Knaebel (82), il faudra attendre longtemps pour que les conséquences néfastes de cette normalisation de procédé, prônant la généralisation du tout-à-l'égout gravitaire dans des modes d'urbanisation différents de celui pour lequel il avait été conçu, soient officiellement reconnues par les ingénieurs de l'assainissement.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE L'ASSAINISSEMENT SOUS VIDE, UNE RETRO-INNOVATION ?

Le retour de la voile dans la propulsion des navires commerciaux, est définie par Alain et Danièle Guillermin comme une rétro-innovation (83). La rétro-innovation implique, selon ses auteurs, une coupure dans le développement de la technique et sa réadaptation au monde actuel à partir des acquis d'autres technologies. En ce sens le réseau d'assainissement sous vide est également une rétro-innovation. Après plusieurs décennies d'absence sur le marché de l'assainissement, le réseau pneumatique a effectivement bénéficié de la commercialisation d'autres techniques (vannes, pompes électriques, PVC) et retrouvé un créneau d'utilisation.

Néanmoins, dans le contexte de la rétro-innovation tel qu'il a été étudié, on pressent une réapparition plutôt marginale de ces techniques, par rapport à ce qu'elles avaient été auparavant. C'est ainsi le cas de la voile dont l'introduction sur les navires commerciaux reste timide, malgré un support informatique puissant. C'est également le cas du tramway avec les nouvelles mises en service à Grenoble et Nantes.

Or, la situation est tout à fait différente pour le réseau d'assainissement sous vide puisque les conditions actuelles de sa réutilisation remettent justement en cause le caractère marginal des premières réalisations. De ce point de vue là, le réseau pneumatique ne serait pas une véritable rétro-innovation mais simplement une innovation qui a subi de nombreux avatars.

Mais au regard de ce qui se passe aujourd'hui, le regain d'intérêt pour le réseau pneumatique ne nous semble pas purement événementiel et sans portée. C'est sans doute autant la disparition des conditions historiques de sa non diffusion, que la formation progressive d'un contexte favorable et stable qui explique la réapparition de la technique en dépression.

NOTES DE LA PREMIERE PARTIE

- (1) On peut effectivement presque dire comme G. Dupuy que les égouts de Paris ont toujours existé même si à l'origine ce n'était que des fossés charriant à ciel ouvert eaux sales et eaux pluviales (cf. G. Dupuy, "L'eau en réseaux, une certaine histoire de l'assainissement parisien", Colloque international Paris-Barcelone sur l'histoire contemporaine des réseaux d'infrastructure urbaine, Barcelone, 18, 19 et 20 février 1987). Néanmoins, c'est à Hugues Aubiot, Prévot des marchands, que l'on doit la construction du premier égout au sens classique du terme, en faisant vouter vers 1374 la rigole découverte qui conduisait les eaux sales du quartier Montmartre vers le ruisseau de Ménilmontant ; ce ruisseau formait alors, avec la Seine et la Bièvre, les grands exutoires de la ville. Continuant lentement au cours des siècles, l'amélioration des égouts reçut aussi l'active impulsion de Turgo qui, en 1740, fit construire le grand collecteur de ceinture.
- (2) Cité par E. de Labédolière, Le nouveau Paris, G. Gaston Barba, 1860, p. 272.
- (3) E. de Labédolière, op.cit., p 272.
- (4) Les égouts visitables parisiens contenaient effectivement le réseau d'eau potable, le réseau téléphonique, le réseau pneumatique des postes, le réseau des horloges pneumatiques et, à partir des années 1880, le réseau d'air comprimé et le réseau sous vide pour la transmission de force.
- (5) Commission Technique de l'Assainissement de Paris, Résumé des travaux et résolutions adoptées, Paris, Chaix, p. 2.
- (6) Cité par le Docteur Worms, emprunté aux données du Docteur Bertillon, Chef de la statistique municipale, Commission Technique de l'Assainissement de Paris, séance du 14 juin 1884, p. 26.
- (7) Bien avant 1880 et jusqu'à la veille de la première guerre mondiale, la capitale est "puante" l'été alors que le tout-à-l'égout a été rendu obligatoire par la loi du juillet 1894 et que le collecteur d'Achères est achevé en 1895.
- (8) Fait rapporté par Von Overbeek de Meijer, Les systèmes d'évacuation des eaux et immondices d'une ville. Revue critique des divers procédés proposés, Paris, Baillière, 1883, p. 5.
- (9) La profession d'égoutier était d'ailleurs considérée comme une profession à risques et à la limite de l'asociabilité : "Heureux les égoutiers, s'écrieront peut-être quelques personnes! Mais non, malgré cette immunité et l'accoutumance aux dégagements méphitiques modérés, ces hommes n'ont en définitive, qu'une santé chétive qui se trahit dans leur aspect, dans leur teint plombé et, si l'on ajoute à l'influence de leur métier, celle des abus alcooliques auxquels ils se livrent, on peut affirmer, même à défaut de bonne statistique sur ce point qu'ils ne mènent pas une longue vie. Je parle bien entendu des égoutiers de profession". Cité par Fauvel Commission Technique de l'Assainissement de Paris, op.cit., séance du 28 juin 1883, p. 9.
- (10) Revue d'Hygiène, 1882, Tome IV, p. 324.

- (11) L'évacuation et le traitement de l'excrément humain était alors un domaine d'activité particulièrement lucrative. Nous citerons pour mémoire deux entrepreneurs enrichis par la vidange : M. Lesage, qui avait un quasi monopole sur la vidange à Paris, et M. Bridel, concessionnaire de la voirie de Montfaucon et qui s'était spécialisé dans la fabrication de la "poudrette".
- (12) Pourtant un troisième procédé était également connu, celui du Colonel Waring, expérimenté à Memphis. Il s'agissait dans ce cas non pas d'utiliser la force atmosphérique mais des chasses d'eau périodiques au moyen de réservoirs constamment alimentés en eau et installés à des intervalles réguliers au niveau de la canalisation. Il semble que le système Waring n'ait jamais fait figure d'une véritable "alternative" au tout-à-l'égout, sans doute parce que la solution proposée était finalement trop proche, dans son principe, de ce qui avait été installé par Belgrand dans Paris (à l'exception peut-être des chasses d'eau, et encore, l'alimentation des logements en eau potable, se poursuivant, commençait déjà à produire un phénomène identique et permanent). D'autre part, les modes de communication de la canalisation avec l'extérieur (la canalisation est reliée à chaque maison par un tuyau d'évent qui s'élève au-dessus du toit) ne semblaient pas répondre aux desiderata de ceux qui souhaitaient une étanchéité poussée des égouts. Enfin, le refus général des propriétaires auxquels s'était adressé la Commission Technique de l'Assainissement pour raccorder leurs immeubles à une canalisation expérimentale du système Waring a certainement contribué à écarter ce procédé des réels choix possibles pour le transport des matières organiques.
- (13) B. Latour, Les microbes guerre et paix, suivis de irréductions, Paris, A. M. Métailié, 1984.
- (14) B. Latour, op. cit., p. 42.
- (15) op. cit., p. 46.
- (16) A. Corbin, Le Miasme et la Jonquille, Aubier Montaigne, 1982, p. 262.
- (17) Propos de l'ingénieur Perreymond, cités dans L'Histoire de la France urbaine, G. Duby (sous la direction de), Seuil, 1983, Tome IV, p. 102.
- (18) Le système ne vidangeait en fait que huit édifices : les 10 et 12 de la rue Royale, le restaurant de la place de la Madeleine, le 40 boulevard Malesherbes, le 4 rue de la bienfaisance, les 31 et 38 de la rue du Roche et la caserne de la Pépinière.
La canalisation sous vide partait du 115 de la rue Gide à Levallois-Perret pour aboutir place de la Concorde. Elle totalisait une longueur de 5.700 mètres, dont 4.700 mètres de conduite principale de 0,18 m de diamètre et 1.000 mètres de conduites secondaires de 0,11 m de diamètre.
- (19) voir les comptes-rendus de la Commission Technique de l'Assainissement, annexe n° 9, 1883.
- (20) Cf. J.P. Mauguen, Innovation et réseaux d'assainissement (1870-1885) : communautés d'ingénieurs et d'hygiénistes pastoriens face à l'émergence de la microbiologie, Mémoire de DEA, Centre Science Technologie et Société, Conservatoire National des Arts et Métiers, décembre 1988.

- (21) Cf. G. Knaebel, L'égout et la propriété, Université Paris Val-de-Marne, Institut d'Urbanisme de Paris, Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Ministère de la Justice, janvier 1985.
- (22) Cité par G. Knaebel dans sa thèse de 3^{ème} cycle, Les problèmes d'assainissement d'une ville du Tiers-Monde : Pointe Noire, Université Paris-Val-de-Marne, 1978, p. 252.
- (23) Cf. A. Tourteaux, Suppression de la vidange pneumatique, Levallois-Perret, imprimerie Brevetée et Mottelet, 1901.
- (24) G. Duby, L'Histoire de la France urbaine, op.cit..
- (25) Pourtant, le choix du pneumatique s'explique en tenant compte des caractéristiques topographiques des Pays-Bas. Ce territoire est plat et coupé de rivières et canaux ; de plus, le niveau des rues affleure très souvent le niveau général des eaux de surface et des eaux souterraines de telle sorte que les administrations municipales avaient d'emblée renoncé à construire des égouts traditionnels gravitaires tandis que le procédé de Liernur permettait l'emploi de conduites à petite section et leur pose, à faible pente, adaptée à la topographie particulière du pays ; conditions finalement sine qua non à l'installation d'un réseau d'évacuation des eaux domestiques.
- (26) Il est certainement nécessaire de nuancer la simplicité de fonctionnement des égouts parisiens car l'opération de curage demandait un investissement en personnel et en matériel relativement important, pour des résultats qui n'étaient pas toujours à la hauteur des moyens mis en oeuvre.
- (27) Les fosses fixes allaient d'ailleurs rester un mode de collecte des matières excrémentielles largement répandu à Amsterdam jusque dans les années 1950.
- (28) Amsterdam comptait alors environ 300 000 habitants en 1870. Le quartier desservi par le réseau pneumatique correspondait à une zone importante de la ville. Si le système était alors presque totalement inconnu, l'inventeur par contre, avait déjà la réputation d'être un bon ingénieur hygiéniste. Liernur fut en effet l'élève de deux hommes dont la notoriété était indiscutable : l'hygiéniste P. Koch qui a notamment été chargé de l'assainissement du lac de Haarlem, et L.P. Zocher, architecte-paysagiste. Par l'intermédiaire de Koch, Liernur devint chef de chantier en 1843 pour la construction de l'écluse de Katwijk ; il travailla ensuite deux ans à l'assèchement du polder d'Anna Pavlovna. La réussite de ces deux importants travaux conféra à Liernur la réputation d'un ingénieur de terrain qui savait mener à bien des projets de grande ampleur. C'est certainement grâce à cette réputation que les conseillers municipaux d'Amsterdam, de Leyde et ensuite de Dordrecht, décidèrent sans trop de crainte et relativement vite, d'installer un réseau pneumatique dans leur ville respective (et c'est sans doute cette réputation qui manquera à Berlier pour convaincre les ingénieurs et hygiénistes parisiens les moins réfractaires, de la supériorité de son système).
- (29) De 1871 à 1884, date à laquelle l'usine centrale est mise en service, le réseau pneumatique n'est que partiellement construit.
Les canalisations s'arrêtaient aux réservoirs de vide et constituaient finalement des petites antennes complètement autonomes les unes par rapport aux autres.
Certains réservoirs (17 sur un total de 23 en 1882) sont néanmoins reliés par une

simple conduite à des petites stations (au nombre de trois) dont chacune est formée d'un hangar en bois où une machine locomobile met en mouvement une pompe à vide. Les autres réservoirs, situés à proximité des canaux, sont vidangés régulièrement par une péniche ou par des voitures à vidange, l'hiver, lorsque les canaux sont gelés.

En 1882, 1.538 maisons (27.908 habitants) étaient reliées au système barométrique de Liernur c'est-à-dire aux 23 réservoirs et aux 68 conduites de rue qui représentaient 9.629 mètres de canalisation en dépression. Avec en moyenne 1.213 habitants raccordés sur chaque réservoir, l'opération de vidange se faisait chaque jour afin d'éviter des débordements. Malgré le caractère inachevé du système, les manoeuvres de vidange s'effectuaient en général sans problème et l'étanchéité des canalisations paraissaient efficace.

- (30) De Bruin Kops, homme d'affaires hollandais et associé de Liernur restait effectivement prudent dans ses conclusions sur le système pneumatique (voir Commission Technique de l'Assainissement de Paris, *Compte-rendu du voyage d'études à Amsterdam*, pp. 36-37 notamment, extraites du discours de De Bruin Kops). Il est certainement d'autant plus prudent qu'en 1882, l'installation de l'usine centrale devait permettre non seulement d'améliorer la commercialisation des excréments grâce à leur transformation en poudrette mais aussi de diminuer le coût de fonctionnement du réseau puisque l'usine centrale allait ainsi remplacer les systèmes provisoires qui avaient été mis en place, notamment la péniche et les locomobiles aspirantes. D'autre part, ces solutions provisoires obligeaient, en raison de la faible puissance de ces diverses machines, à recommencer l'opération de vidange trois fois de suite afin d'évacuer le maximum d'excréments stockés dans les réservoirs.
- (31) M. Amerfoerd, propriétaire fermier à Badhoeve Haarlemmermeer, avait fait analyser des échantillons des matières collectées par le réseau pneumatique et qui lui étaient vendus comme engrais. La proportion d'azote trouvée par les chimistes de l'université d'Amsterdam approchait 0,35 pour 100 alors que la ville garantissait au moins 9 pour cent d'azote.
- (32) Ces données sont extraites d'une lettre de l'Ingénieur de la ville d'Amsterdam, datée du 25 janvier 1880, adressée à A. Durand-Claye, et citée par A. Durand-Claye dans son ouvrage sur le Système Liernur, Paris, Masson, 1880, p. 21.
- (33) Les propriétés d'épuration des sols étaient reconnues depuis longtemps déjà. En 1858, le chimiste et agronome Way rappelle une expérience de Husdalle, faisant percoler du fumier sur une épaisseur de sol ordinaire : "après un passage à travers cette couche filtrante, on avait trouvé l'urine dépourvue de couleur et d'odeur, ce qui était à l'état de purin ressorti à l'état d'eau" (Way, 1880), cité par P. Boutin "Eléments pour une histoire des procédés de traitement des eaux résiduaires", La Tribune du CEBEDEAU, n^{os} 511, 512, 515 et 517, 1986.
- (34) En fait, les protestations à l'égard de l'épandage furent vives, surtout de la part des propriétaires situés au voisinage et qui craignaient une dévalorisation de leur biens fonciers si on établissait à leur proximité de grandes cultures arrosées par les eaux d'égouts dont ils redoutaient légitimement les odeurs. Le déclin de l'épandage arrivera très rapidement à la suite des travaux de Pasteur puis de ceux de Koch et d'Eberth qui mettaient en évidence la responsabilité du germe microbien dans la transmission des maladies. Il va en effet être de plus en plus difficile de tolérer la

consommation d'aliments systématiquement "contaminés" car produits sur un sol d'épandage alors que des efforts considérables sont réalisés pour améliorer la qualité bactériologique des eaux distribuées.

- (35) Position déjà officiellement adoptée le 23 juin 1880, au Conseil Municipal de Paris (cf. Procès verbal du conseil municipal du 23 juin 1880).
- (36) Les closets à sec étaient formés d'une simple cuvette se terminant par un siphon où les matières excrémentielles elles-mêmes constituaient la fermeture hydraulique. On comprend alors que les utilisateurs avaient le souci de nettoyer régulièrement leur cabinet avec de l'eau propre.
- (37) C'est dans ces termes que l'inspecteur en chef des Ponts et Chaussées A. Durand-Claye, fidèle disciple de Belgrand, parlait du système Liernur et de sa limitation de la consommation d'eau : "Je demande s'il se trouve un corps municipal, s'il se trouve un ingénieur hygiéniste qui prenne comme base d'assainissement la guerre à l'eau ; sans eau, est-il possible de rien faire dans les maisons d'ouvriers, dans les casernes ; dans les lieux publics ?", A. Durand-Claye, Le système Liernur, Paris, Masson, 1880.
- (38) L'historien A. Corbin résume ainsi cette stratégie sociale de désinfection : "Un peuple ami de la propreté l'est bientôt de l'ordre et de la discipline", A. Corbin, op.cit..
- (39) La vidange de fosse coûtait en moyenne 8 F/m³ de matière enlevée en 1882.
- (40) Dans le Paris des années 1880, la nouvelle législation sanitaire n'est donc pas respectée, notamment l'article 22 de l'ordonnance (parisienne) du 25 octobre 1883: "Chaque maison louée en garni sera pourvue d'une quantité d'eau suffisante pour assurer la propreté et la salubrité de l'immeuble et pour subvenir aux besoins des locataires", cf. J.P. Goubert, la conquête de l'eau, Paris, R. Laffont, 1988, p. 241.
- (41) Belgrand, cité par A. Durand-Claye à la Société de Médecine Publique et d'Hygiène Professionnelle, séance du 26 avril 1882, Paris, Masson, p. 63.
- (42) En 1881, le volume moyen de vidange transporté par jour s'élevait à 3.140 mètres cube, cf. Commission Technique de l'Assainissement de Paris, 4^{ème} sous-commission, séance du 13 janvier 1883, p. 3.
- (43) Cf. Commission Technique de l'Assainissement de Paris, résumé des travaux et résolutions adoptées, op.cit..
- (44) Cité par Marié-Davy dans De l'évacuation des vidanges dans la ville, Société de Médecine Publique et d'Hygiène Professionnelle, extraits de la revue d'Hygiène, 1880-81-82, Paris, Masson, p. 73.
- (45) "Finalement, l'hygiénisme qui soigne un milieu, puis le pasteurisme qui traite une maladie infectieuse concourent tous deux à valoriser l'eau : objet de la science et de la technique, elle bénéficie d'une aura nouvelle", J.P. Goubert, op.cit., p. 106.

- (46) Manifestement, en tant qu'ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées et que collaborateur de Belgrand, et avec la charge de secrétaire de la Commission Technique de l'Assainissement de Paris, A. Durand-Claye bénéficiait d'une très large audience auprès de l'ensemble des ingénieurs et des hygiénistes français.
- (47) A. Durand-Claye, Le système Liernur, p. 6.
- (48) J.P. Goubert, op.cit..
- (49) Berlier, Projet de vidange pneumatique pour la Ville de Paris, Grande Imprimerie Nationale, 1883, p. 67.
- (50) Comprise alors entre 5 et 9 l/habitant/jour, cf. le compte-rendu des séances de la Commission Technique de l'Assainissement de Paris.
- (51) Pour un total de 1.021.460 mètres de galeries à nettoyer (égouts publics et branchements particuliers).
- (52) C'est d'ailleurs sous ce nom que le présente Von Overbeek de Meijer dans son ouvrage Les systèmes d'évacuation des eaux et des immondices d'une ville. Revue critique des divers procédés proposés, Paris, Baillière, 1883.
- (53) Nous l'avons déjà vu, Paris ne possède pas encore un véritable tout-à-l'égout puisqu'il existait encore à cette époque quelques 80.000 fosses fixes.
- (54) Les premiers essais effectués pour disposer d'un outil d'analyse permettant d'apprécier objectivement les résultats d'un traitement datent du milieu du XIX^{ème} siècle. Mais il faudra attendre 1908 pour que la Grande Bretagne, pays précurseur des méthodes d'analyse chimique telle que la DBO, publie une procédure expérimentale dans les annexes d'un rapport de la Commission Royale sur l'élimination des effluents, lui assurant de la sorte une large diffusion et un caractère presque norminatif. Cf. P. Boutin, op.cit..
- (55) Fait rapporté par le directeur des travaux publics de la ville d'Amsterdam, dans une lettre du 29 septembre 1875, citée par A. Durand-Claye, op.cit., p. 12.
- (56) Aucun document ne mentionne la façon dont les ouvriers procédaient pour repérer l'endroit de l'obstruction dans la canalisation. En fait, la marche à suivre ne devait pas être simple puisque les conduites étaient enterrées, sans possibilité de brancher des manomètres. Par expérience, l'équipe d'entretien arrivait certainement à repérer les endroits particulièrement vulnérables du réseau.
- (57) Aux Pays-Bas en général, et à Amsterdam en particulier, l'installation des premiers réseaux d'assainissement gravitaires va considérablement modifier le tissu urbain avec l'assèchement d'une partie des canaux.
- (58) Outre ce manque de place dans les galeries, les ingénieurs parisiens voulaient en plus conserver leur droit d'entrée quasi exclusif dans les égouts, et limitaient donc sérieusement ses possibilités d'accès à toute personne étrangère aux services techniques municipaux.
- (59) G. Dupuy, G. Knaebel, Assainir la ville hier et aujourd'hui, Paris, Dunod, 1982.

- (60) On retrouve également cette controverse égout unitaire / égouts séparatifs aux Etats-Unis à la fin du XIX^{ème} siècle et pendant les trois premières décennies du XX^{ème} siècle. Entre 1880 et 1920, les grandes villes s'équipent de réseaux surtout unitaires, tandis que les villes les moins importantes construisent des réseaux séparatifs, sans collecteur souterrain pour les eaux pluviales. Pourtant, de nombreux hygiénistes estiment alors que la dilution des matières excrémentielles par les eaux pluviales constitue le plus simple et le plus efficace des modes d'épuration. A partir des années 1930, l'installation massive de stations d'épuration (1 130 dans la décennie) privilégie le développement des réseaux séparatifs.
Voir J. A. Tarr, "The separate vs. combined sewer problem, a case study in urban technology design choice", Journal of urban history, vol. 5, n°3, mai 1979.
- (61) "Dans certaines villes, mêmes importantes, mais à faible circulation, les pluies fournissent des eaux à peine troublées, dans les premiers instants, et qui s'éclaircissent tout à fait dès que la chute se prolonge", E. Chardon, "l'assainissement des villes, La technique sanitaire, février 1908.
- (62) C. Chalumeau, ingénieur en chef de la ville de Lyon écrivait en 1920 que "l'application du système séparatif nécessitera, à la station d'épuration, un bien moins grand nombre de bassins de décantation ; le liquide arrivant sera relativement concentré, d'où économie dans la construction des bassins, économie dans la superficie des terrains nécessaires à la station d'épuration et économie dans les dépenses journalières d'exploitation.". C. Chalumeau, "Etude de l'application du tout-à-l'égout à Lyon", La technique Sanitaire et Municipale, Janvier 1920.
- (63) G. Dupuy, G. Knaebel, op. cit.
- (64) En France, en 1911 et dans les années suivantes, il suffit de trois pages pour énumérer les installations d'épuration en service, la plupart étant de petites tailles (Paris mis à part, brillante exception et trop efficace "cache-misère"). L'Allemagne occupe déjà 9 pages, la Grande Bretagne 44... Cité par P. Boutin, op. cit.
- (65) Voir P. Boutin, op. cit. A noter par ailleurs que le premier laboratoire d'école exclusivement consacré au traitement des eaux résiduaires n'a été créé qu'en 1969, à l'Ecole Nationale de Santé Publique de Rennes.
- (66) En revanche, l'obligation de raccordement fut, pour ces cinq villes comme pour celles ayant installé un réseau gravitaire, l'occasion de rudes confrontations entre les équipes municipales et les particuliers.
- (67) Antoine Andraud, ingénieur et écrivain (1795-1859), fut incontestablement l'un des précurseurs des réseaux pneumatiques, esprit créatif, reconnu mais aussi critiqué par les sociétés savantes de son époque.
- (68) Ce que nous appelons finalement aujourd'hui une énergie renouvelable.
- (69) A. Andraud, L'air comprimé et dilaté comme moteur ou de la force obtenue gratuitement et mise en réserve, Paris, Guillaumin, 1840.
- (70) A. Andraud, op. cit.

- (71) L. Boudenoot, Mémoire sur la distribution de la force motrice à domicile au moyen de l'air raréfié, Paris, Capiomont et Renault, 1885, p. 87.
- (72) A. Andraud, op.cit..
- (73) Pour ce panorama des réseaux pneumatiques, voir notamment :
 - T. Poujol, "Des égouts au musée, splendeur et déclin du transport pneumatique postal", Culture Technique, n° 19, mars 1989.
 - T. Poujol, Des réseaux pneumatiques dans la ville, un siècle et demi de techniques marginales, Université Paris XII, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, LATTS, septembre 1986.
- (74) P. Gandillon, "Des méthodes anciennes et modernes pour le curage des égouts", La Technique Sanitaire et Municipale, novembre 1922. On retrouve d'ailleurs, dans la plupart des écrits de Gandillon, cet enthousiasme à propos de la force atmosphérique.
- (75) P. Gandillon se proposait effectivement d'appliquer le principe de son système d'assainissement pneumatique à l'évacuation des ordures ménagères. Un poste expérimental avait été installé à Villeneuve-Saint-Georges en 1925. Les ordures étaient recueillies dans un appareil spécial, puis envoyées à un poste de collecte où elles étaient diluées. La force atmosphérique (vide + air) fournissait, comme pour les eaux usées, la puissance nécessaire au transport des ordures jusqu'à l'usine centrale. Les résultats n'ont pas été concluants et le projet, jugé hasardeux, fut définitivement écarté. Cf. Archives Municipales de Villeneuve-Saint-Georges.
- (76) Pour une analyse complète de l'évolution des techniques électriques, en référence à une histoire générale des techniques, voir notamment :
 - B. Gille (sous la direction de), Histoire des techniques, Encyclopédie de la Pléiade, Paris, Gallimard, 1978.
 - M. Daumas (sous la direction de), Histoire générale des techniques, tome 4 : les techniques de la civilisation industrielle, Paris, Presses Universitaires de France, 1978.
- (77) M. Daumas (sous la direction de) op. cit., p. XXIV.
- (78) Cf. G. Ribeill, "Inventer au XIX^{ème} siècle, ingénieurs et ouvriers inventeurs au XIX^{ème} siècle", Culture Technique, juin 1982.
- (79) M. Daumas (sous la direction de) op. cit.
- (80) Cité par G. Dupuy et G. Knaebel, op.cit., p. 24.
- (81) Op. cit.
- (82) Op. cit.
- (83) Alain et Danièle Guillerm, Le retour de la voile dans la propulsion des navires commerciaux, étude comparative entre le Japon et la France, CNRS, programme Science-Technologie-Société, octobre 1984.

DEUXIEME PARTIE

LE RENOUVEAU DES RESEAUX A DEPRESSION : UN CONTEXTE FAVORABLE A L'INNOVATION

INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE

On peut définir les nouveaux réseaux d'assainissement par dépression de la façon suivante :

- Ce sont des procédés séparatifs utilisés uniquement pour l'évacuation des eaux vannes et ménagères, parfois industrielles ; ils obéissent donc au principe de séparation des eaux usées tel qu'il est appliqué avec les systèmes gravitaires standardisés.
- Aucune restriction dans la consommation de l'eau n'est exigée des usagers.
- On renonce à la pesanteur au profit de la force atmosphérique (vide + air) pour le transport des effluents.
- L'ouvrage est en grande partie souterrain.
- Son fonctionnement est aujourd'hui entièrement automatique.
- Les techniques pneumatiques sont commercialisées par des entreprises spécialisées dans les travaux d'assainissement, comme la plupart des autres procédés.
- En France, il n'y a aucune installation particulière à l'intérieur des habitations raccordées à un réseau sous vide (à l'exception d'une réalisation en Gironde).
- Les réseaux en dépression sont tous reliés, directement ou indirectement, à un centre de traitement des eaux usées.
- La fonction du réseau sous vide est identique à celle du réseau gravitaire, à savoir : recueillir les effluents et les transporter, le plus rapidement possible, loin des lieux d'habitation jusqu'à la station d'épuration.
- Enfin, le rôle du réseau pneumatique est double : la protection de la santé publique et la protection de l'environnement. Il ne joue aucun rôle dans la lutte contre les inondations puisqu'il ne collecte pas les eaux pluviales.

Les principaux obstacles techniques à la diffusion des premiers égouts en dépression n'existent donc plus aujourd'hui, ou sont de moindre importance. D'une part la technique pneumatique est conforme aux règles d'assainissement en vigueur, d'autre part, les exigences en matière d'assainissement ont également changé.

En effet, la réapparition des réseaux sous vide coïncide là encore avec un événement clef dans l'histoire de l'assainissement : la prise en compte des problèmes d'environnement. Désormais, le rôle assigné au réseau d'assainissement n'est plus la simple protection de

la santé publique, comme ce fut le cas au XIX^{ème} siècle, il doit en plus préserver le milieu naturel de toute pollution par les eaux usées. Or, à partir de la fin des années 1970, cet objectif est partiellement obéré par deux données imprévisibles :

- les mauvaises performances d'un système d'assainissement gravitaire, standardisé, mais finalement limité, qui ne répond pas toujours aux nouvelles exigences d'urbanisation et de protection de l'environnement.
- Une crise économique générale qui affaiblit les capacités financières locales et les différentes aides de l'Etat.

Peu à peu, la politique d'assainissement élaborée dès la fin du XIX^{ème} siècle à partir d'une norme gravitaire cède la place à des programmes de réhabilitation et de mise en place de nouveaux systèmes d'assainissement, en fonction de divers objectifs de résultats (mieux assainir, au moindre coût). Il s'agit alors d'orienter le choix, dans chaque cas, vers la combinaison la plus appropriée.

C'est la conjonction entre les potentialités techniques du réseau à dépression et la formation d'un contexte de définition de normes de résultats qui explique le regain d'intérêt pour le système pneumatique.

Dans un premier temps, nous essaierons de déterminer les spécificités des récents réseaux sous vide.

Dans une seconde étape, nous montrerons que les nouvelles orientations de la politique d'assainissement sont favorables à la diffusion du réseau sous vide, notamment du fait de l'existence des facteurs suivants :

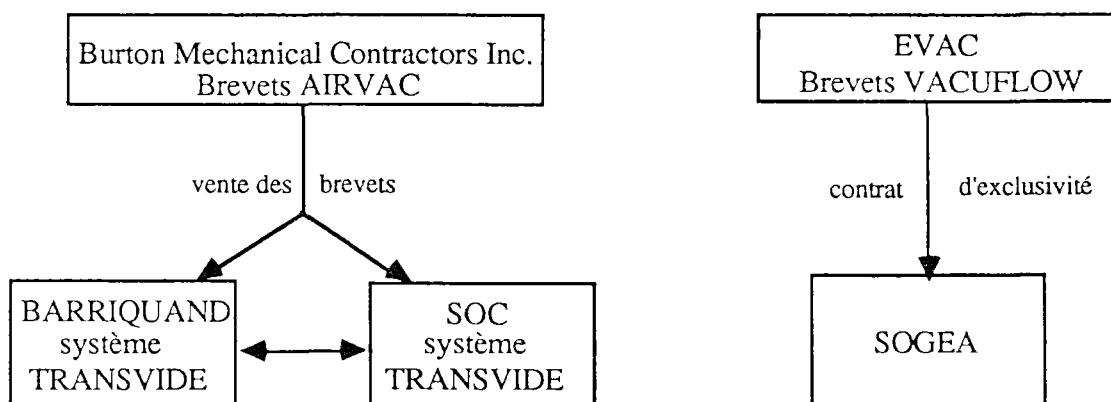
- une viabilisation aujourd'hui plus difficile des terrains ;
- une mauvaise performance des systèmes d'assainissement ;
- l'émergence de la sensibilité aux problèmes d'environnement ;
- une baisse des capacités financières d'investissement ;
- la maturation des politiques de l'innovation, une reconnaissance de la diversification des techniques ;
- le développement d'un nouveau savoir : le génie urbain.

CHAPITRE 1

DESCRIPTION TECHNIQUE DES RESEAUX PAR DEPRESSION, POUR UNE ANALYSE DE LA DIFFERENCE

1. Principe général de fonctionnement.

Il existe actuellement sur le marché de l'assainissement français deux procédés à dépression collectant et transportant l'ensemble des eaux usées domestiques dans un même réseau : le système Transvide (ou AIRVAC), réalisé par l'entreprise américaine Burton Mechanical Contractors Inc., et le système Vacuflow, mis au point en Suède par Electrolux. En France, le brevet Transvide est la propriété de deux petites entreprises Barriquand et SOC. Le système Vacuflow appartient aujourd'hui à une société finlandaise, EVAC, qui a passé un contrat d'exclusivité avec SOGEA pour la commercialisation de son procédé (voir partie IV).



Un certain nombre de différences s'observent entre les deux systèmes, tant au niveau technique que dans les méthodes de calculs utilisées pour le dimensionnement des ouvrages. En revanche, les types d'éléments constitutifs de ces réseaux et les principes de fonctionnement sont identiques, à savoir :

Dans une station centrale, des pompes à vide entretiennent constamment une dépression, comprise entre -0,50 et -0,70 bar (Transvide) ou -0,40 et -0,60 bar (Vacuflow), dans la partie haute d'une cuve de stockage. Cette cuve étant directement reliée aux canalisations, un vide de même intensité est par conséquent maintenu dans l'ensemble du réseau.

Pour chaque maison, les eaux usées domestiques arrivent par gravité dans une petite bêche de collecte appelée bêche de transfert. Celle-ci contient une valve de liaison entre les canalisations sous vide et la petite cuve de réception des effluents. Cette valve est en position fermée au repos. Lorsqu'un volume précis d'eau usée est contenu dans la bêche de transfert, un détecteur de niveau déclenche l'ouverture de la valve pendant un temps déterminé. Une quantité fixée de liquide et d'air est alors aspirée dans la canalisation avant la fermeture de la valve. L'effluent est ainsi transporté jusqu'à la cuve de stockage de la station centrale, grâce à la pression différentielle créée entre le vide situé en aval de l'effluent et l'air aspiré en amont (voir schéma du principe de fonctionnement page suivante). La vitesse de transport des eaux usées est de l'ordre de 4 à 5 m/s.

Une sonde de niveau de vide, installée dans la cuve de stockage permet le fonctionnement automatique des pompes à vide pour maintenir une dépression suffisante dans les conduites. D'autres sondes, de niveau d'eau, font actionner les pompes de refoulement qui évacuent les effluents arrivés à la station centrale vers leur lieu de traitement .

Les principales unités techniques d'un réseau sous vide sont donc (1) :

* Les bêches de transfert.

La bêche est l'organe de liaison entre les tuyaux gravitaires des raccordements particuliers et le réseau sous vide proprement dit.

Elle renferme le dispositif d'aspiration des effluents. L'ouverture de la valve est commandée automatiquement par un détecteur de niveau appelé activateur. Cet appareil permet la mise à vide de la tête de la valve en fonction de l'augmentation de la pression engendrée dans un tuyau sondeur par les variations de niveau des effluents. L'augmentation de la pression est la seule source d'énergie utilisée pour la mise en action de la valve. Il n'y a donc pas recours à une source d'énergie externe (l'électricité par exemple) pour le fonctionnement normal des bêches de transfert.

* L'usine centrale.

Elle représente l'organe moteur du réseau, où est produit le vide, où arrivent les effluents.

Elle se compose toujours de pompes à vide, de pompes de refoulement et de cuves de stockage, dont le nombre varie en fonction de la taille du réseau et des méthodes de calcul des entreprises.

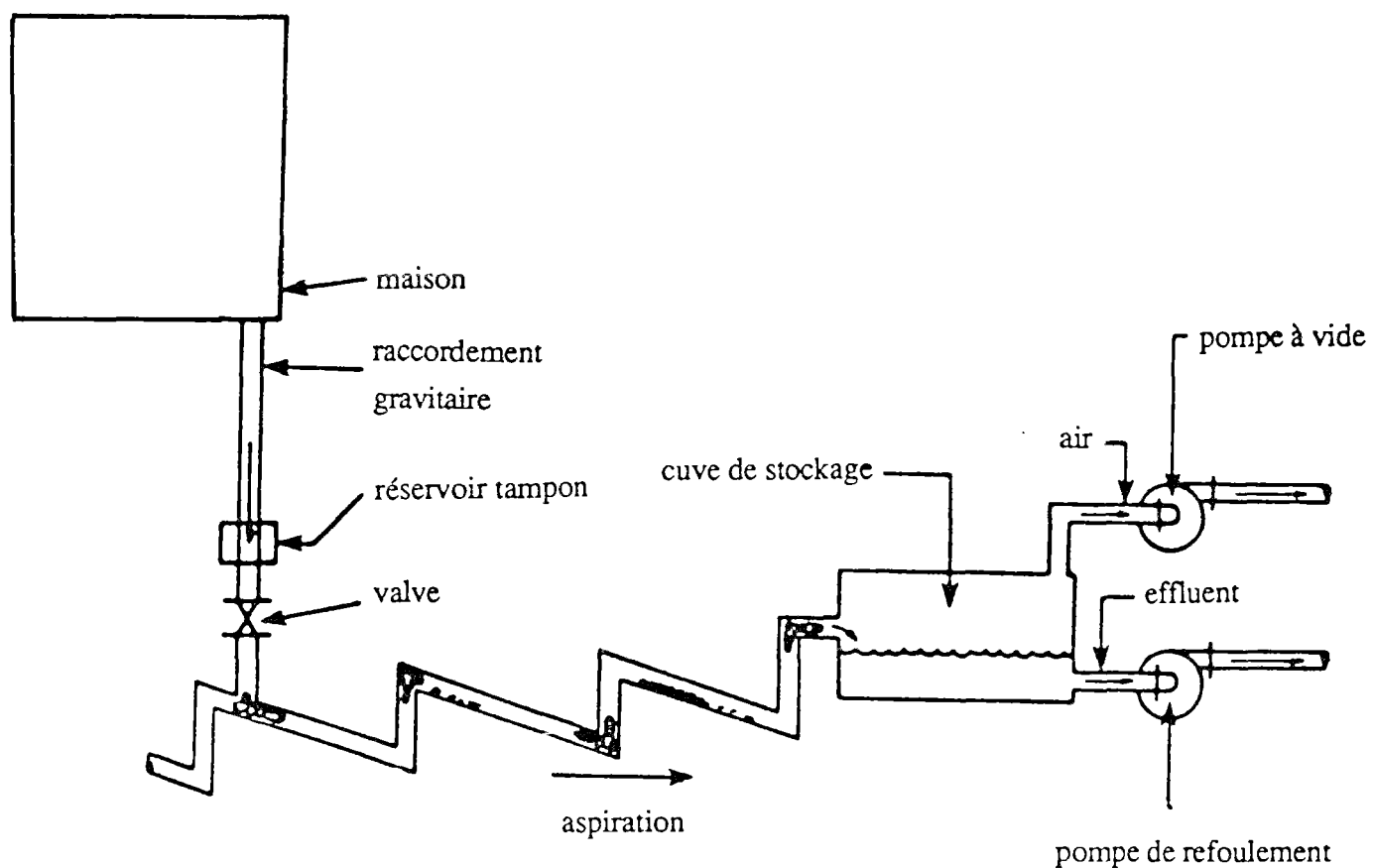


Figure I : principe de fonctionnement des réseaux à dépression
Transvide et Vacuflow.

Source : Roy F. I/A technology assessment post construction evaluation of Westmoreland, Tennessee, vacuum sewer system, Weston Inc., U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1983.

* Les canalisations.

Elles connectent les bâches de transfert à la station centrale.

Leur profil particulier - une succession de pentes douces et de courtes remontées, appelées poches de transport - facilite, par la formation de "bouchons" d'effluent dans les points bas du réseau, le transport des eaux usées jusqu'à la centrale de vide.

L'analyse qui va suivre ne concerne que les principales caractéristiques des systèmes sous vide.

2. Les bâches de transfert.

2.1. Les valves.

AIRVAC commercialise 2 valves pour des applications distinctes: la valve trois pouces (7,62 cm de diamètre) utilisée sur les réseaux d'évacuation des eaux usées domestiques, et la valve deux pouces (5,08 cm de diamètre) destinée au transport des effluents industriels. Dans la valve trois pouces (voir figure III page suivante), un piston constitué d'un axe à l'extrémité duquel est fixé un joint élastomère, se déplace dans le corps de la valve. C'est le changement de pression dans une des chambres de la valve qui provoque la mise en mouvement du piston. L'ouverture de la valve se déclenche automatiquement grâce à l'action de l'activateur à membrane, solidaire de la valve. Le débit d'air à introduire dans la canalisation, après aspiration des effluents, se règle au niveau de l'activateur qui fixe la durée du retour au repos (position fermée) de la valve.

La valve actuellement proposée par EVAC est une valve deux pouces à piston et double membrane (voir figure II page suivante). Le passage de la pression atmosphérique au vide, dans la tête de la valve fait actionner le piston et provoque l'ouverture de la valve. La double membrane possède un rôle de protection (si la membrane extérieure est percée, la seconde assure quand même le fonctionnement de la valve) et un rôle d'amortisseur (en raison de son épaisseur, le mouvement du piston est amorti lors de l'ouverture). Le joint en caoutchouc circulaire fixé à la base du piston permet d'augmenter l'étanchéité de la valve.

Figure II : coupe de la valve 2 pouces EVAC

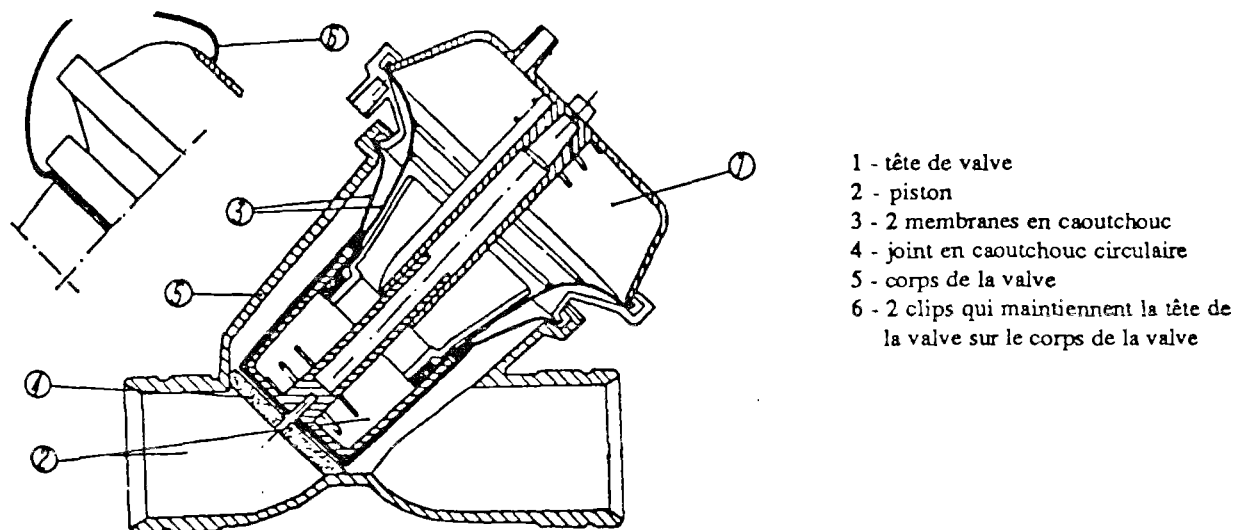
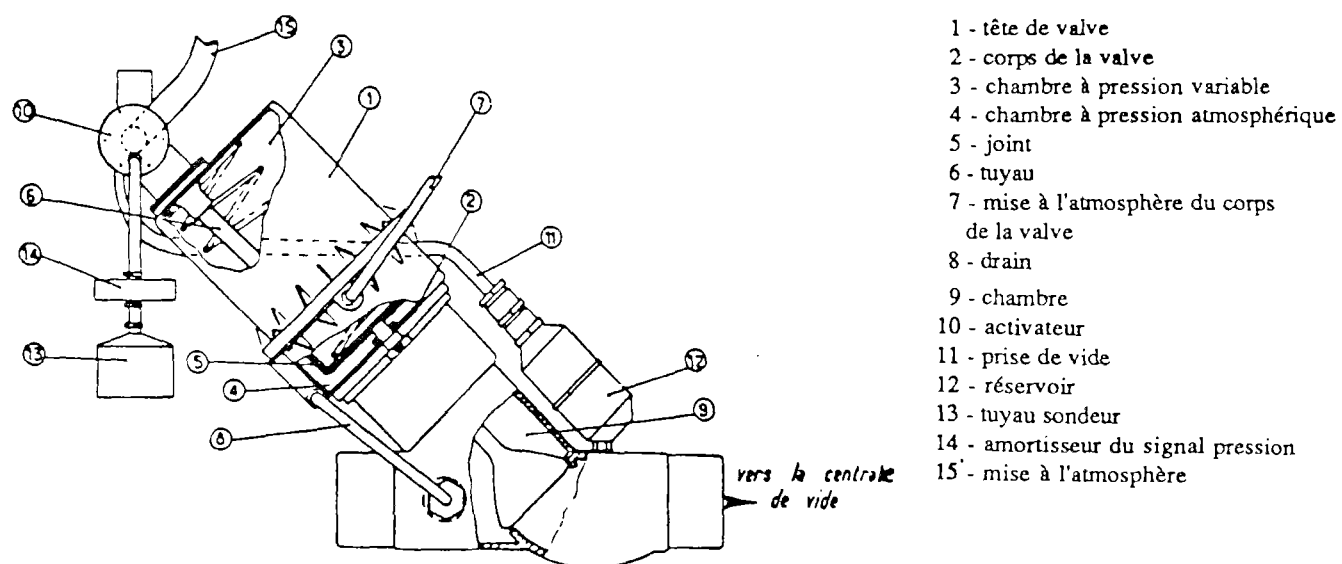


Figure III : coupe de la valve 3 pouces AIRVAC



EVAC met au point une valve trois pouces afin de disposer d'un diamètre d'aspiration plus important et d'éviter ainsi des blocages dûs à la présence de corps solides trop volumineux dans les effluents.

En outre, deux types d'activateurs EVAC peuvent produire l'ouverture et la fermeture de la valve : l'activateur à flotteur et l'activateur à membrane.

L'activateur à flotteur fut le premier mis au point. Le temps d'ouverture de la valve dépend uniquement du niveau des effluents dans la bêche, il n'est donc pas réglé d'avance. L'aspiration de l'air se fait en même temps que celle des effluents, par l'intermédiaire d'une ventilation installée sur la canalisation d'aspiration. Avec ce système, la fermeture de la valve s'effectue sur de l'effluent et non sur de l'air, comme pour les activateurs à membrane EVAC et AIRVAC. Or, un tel procédé augmente les risques de blocage du piston en position ouverte par des corps solides. Ce type d'activateur présente néanmoins l'intérêt d'aspirer des quantités importantes d'effluent, de l'ordre de 150 litres par cycle de fonctionnement de la valve (un cycle de fonctionnement comprend une période d'ouverture et une période de fermeture de la valve).

Le volume d'effluent aspiré par une valve AIRVAC trois pouces est réglé à 40 litres par cycle d'aspiration. Le volume d'effluent aspiré par une valve EVAC deux pouces, munies d'un activateur à membrane, varie de 20 à 50 litres par cycle d'aspiration. Les principes de fonctionnement de l'activateur à membrane EVAC et de l'activateur AIRVAC sont identiques.

Le couple valve-activateur est un composant essentiel du réseau pneumatique. En effet, c'est le réglage de la quantité d'air et d'effluent aspirée qui détermine en partie l'efficacité du transport des liquides. Chaque fabricant possède des courbes d'étalonnage donnant les temps d'ouverture optimum de la valve en fonction du ratio air/eau (en temps de pompage) choisi et du vide dans la canalisation (la quantité d'effluents à aspirer par cycle étant par ailleurs déterminée).

Néanmoins dans la pratique, les constructeurs s'autorisent des plages de temps de fonctionnement et non l'application d'une seule valeur parce qu'il s'avère difficile de réaliser un réglage optimum. D'une part, le vide varie en un point donné des conduites de -0,50 bar à -0,70 bar (Transvide) ou de -0,40 bar à -0,60 bar (Vacuflow) ; cette variation dépendant de la quantité d'air aspiré dans le réseau. D'autre part, si l'intensité du vide varie, pour un temps d'ouverture de la valve fixé, le volume d'air aspiré dans un

cycle sera également fluctuant. De plus, le réglage n'est généralement pas le même en fonction de l'éloignement de la centrale. Les entreprises préfèrent augmenter le temps d'ouverture des valves situées en bout de réseau pour assurer des chasses efficaces des effluents.

Le réglage des valves et des activateurs obéit malgré tout à un compromis à la fois technique et financier puisqu'un allongement du cycle des valves, avec une aspiration importante d'air, entraîne un fonctionnement plus important des pompes à vide, et par conséquent un coût d'exploitation supérieur aux évaluations effectuées. Il s'agit alors d'adopter un rapport air/eau (en temps d'aspiration) compatible avec une qualité de transport voulue et un temps de fonctionnement des pompes à vide pas trop élevé.

La mise au point des valves et des activateurs est alors autant le résultat de l'expérience acquise que d'un étalonnage précis.

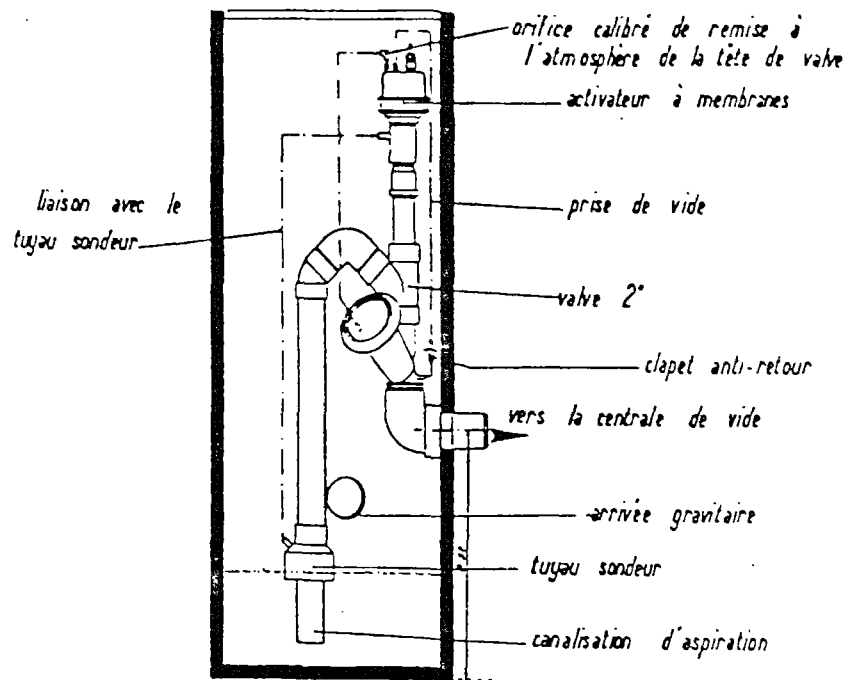
2.2. Les bâches.

Le système Vacuflow possède deux types de bache : la bache "individuelle" et la bache "collective" (voir figure IV page 93 suivante). La bache "individuelle" est une petite bache qui reçoit les effluents de une à quatre maisons. Elle est constituée en général par un regard de diamètre 400, 600 ou 800 mm. Les bâches "individuelles" sont désormais toujours équipées d'activateurs à membrane. La bache collective est implantée lorsqu'il est nécessaire de collecter et d'aspirer à un endroit précis d'importants volumes d'eau usée.

La distinction entre bache "individuelle" et bache "collective" n'existe pas dans le système Transvide. La bache de transfert est constituée d'un regard carré de 800 ou 1.000 mm de côté, d'une hauteur variant de 1.800 mm à 2.000 mm. Comme pour la bache individuelle Vacuflow, ce regard peut recevoir un ou plusieurs écoulements gravitaires (2) (voir figure V page 94).

Signalons cependant qu'une bache du réseau par dépression du camping de Biscarrosse (Landes), rééquipée de trois valves AIRVAC, fonctionne comme un ouvrage de répartition. Ces trois valves peuvent assurer une évacuation simultanée de 40 litres d'effluent par valve.

Bâche individuelle Vacuflow



Bâche collective Vacuflow

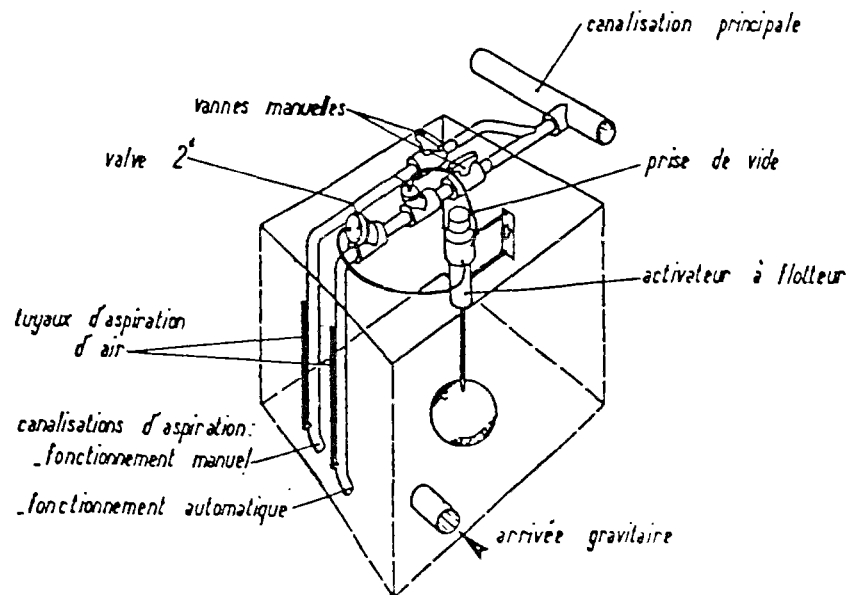


Figure IV : bâches individuelle et collective du système par dépression EVAC
 Source : Garnier C. L'assainissement sous vide : étude technico-économique, CEMAGREF, ENITRIS, Bordeaux, 1986.

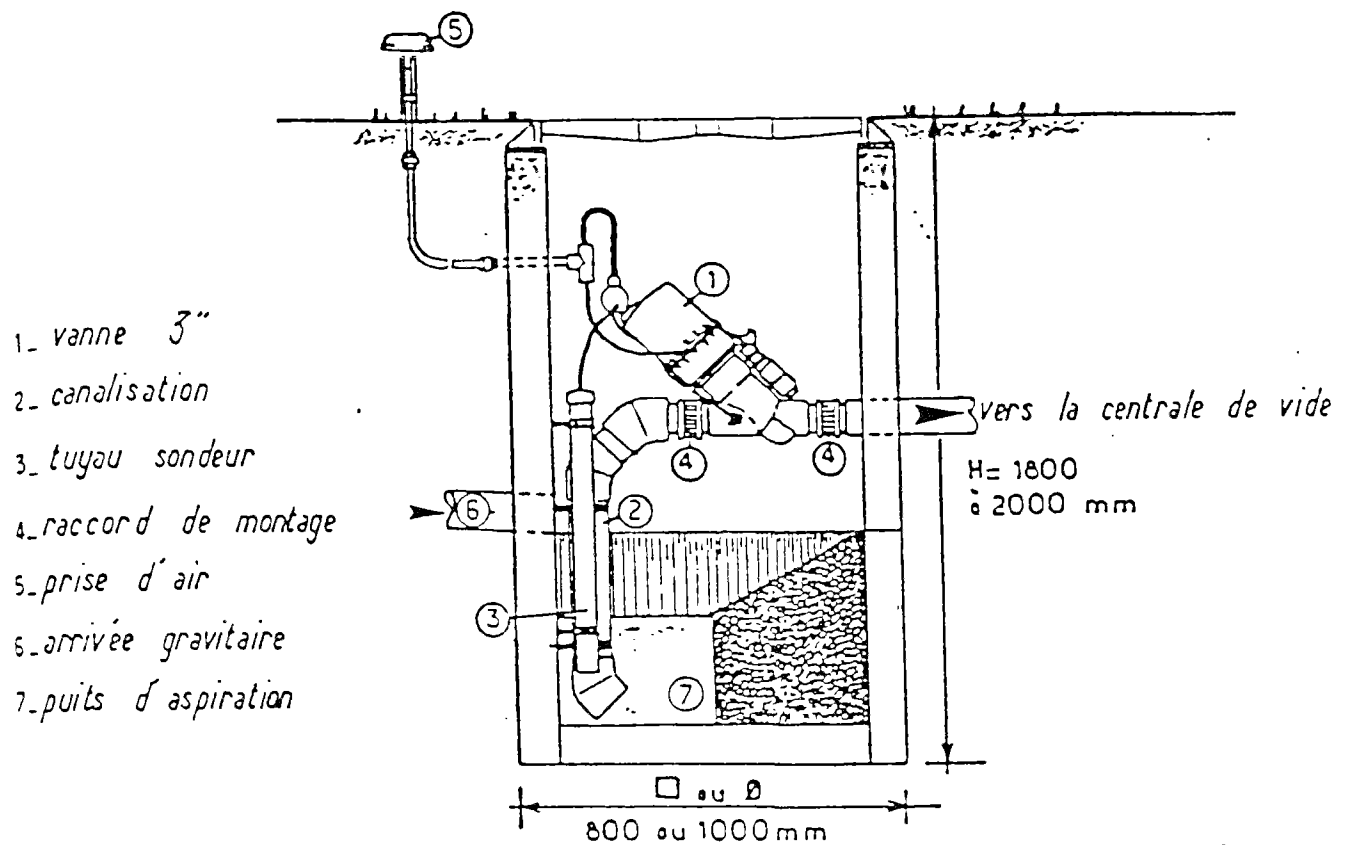


Figure V : bache du système Transvide

Source : Garnier C., L'assainissement sous vide, étude technico-économique, CEMAGREF, ENITRIS, Bordeaux, 1986.

Il existe en outre quelques variantes dans la configuration de ces bâches Vacuflow et Transvide. Elles obéissent soit à des contraintes topographiques particulières, soit à d'autres habitudes en matière de conception de réseau :

- Ainsi lorsque la présence d'une nappe phréatique très haute (pratiquement affleurante) rend difficile le scellement des regards, les entreprises installent le dispositif d'aspiration dans des petites bâches, avec à côté et séparé, un réservoir tampon généralement de faible capacité de stockage. Dans ce cas, les branchements sont individuels stricto sensu (EVAC appelle cette variante "système en réseau").
- Aux Etats-Unis, le système d'aspiration et le réservoir tampon des bâches Airvac sont toujours séparés par une cloison en fibre de verre étanche afin d'éviter tout contact avec les effluents lors des opérations de maintenance.
- Enfin, la valve peut être raccordée directement sur la conduite de collecte des eaux usées, sans réservoir tampon. Dans ce cas, la canalisation gravitaire de raccordement fait office de réservoir tampon. En France, seule la Marina de Talaris (Gironde), regroupant des villas lacustres et semi-lacustres, est équipée de la sorte. Ce système ne laisse que peu de temps d'intervention en cas d'arrêt de fonctionnement des pompes à vide, l'absence de bâche limitant la possibilité de stockage des liquides. En Allemagne Fédérale, une majorité de réseaux pneumatiques a pourtant été installée de cette façon. En fait, les risques réels de débordement dans les maisons sont faibles pour deux raisons. D'une part, les valves se bloquent le plus souvent en position ouverte et non en position fermée. D'autre part, les temps d'arrêt de production de vide ou de refoulement sont rares parce que les pompes à vide et de refoulement sont au moins installées par paire.

La bâche de transfert, avec son système d'aspiration, représente en fin de compte l'élément à la fois le plus sensible et le plus souple de la technique pneumatique :

- C'est avant tout le fonctionnement de la valve et de l'activateur qui permet l'entrée des effluents dans le réseau sous vide.

- Le réglage de ces appareils détermine la quantité de liquide et d'air aspirée par cycle et influence ainsi l'efficacité du transport.
- L'autonomie de fonctionnement de la valve n'oblige pas le constructeur à installer la bache de transfert proche d'une source d'énergie (réseau électrique EDF) (3). Par conséquent, le choix de son emplacement ne dépendra que du tracé des canalisations, de l'encombrement de la chaussée et du degré de connexion choisi pour la bache (le nombre de raccordement par unité de transfert est en général fonction de la distance qui sépare chaque maison concernée au lieu de raccordement).

3. La centrale de vide.

La conception de la centrale de vide et la nature des éléments indispensables à son fonctionnement sont, à quelques détails près, identiques dans les procédés Transvide et Vacuflow, à savoir :

- une ou plusieurs cuves de stockage des effluents ;
- au moins deux pompes à vide raccordées sur la partie haute des cuves de stockage ;
- au moins deux pompes de refoulement en liaison avec la partie basse des cuves de stockage ;
- une armoire de contrôle ;
- un branchement électrique ;
- un branchement d'eau pour les pompes à vide à anneaux liquides à eau ;
- un groupe électrogène, en théorie facultatif puisque la centrale est connectée au réseau électrique, mais toujours installé pour des raisons de sécurité en cas de coupure sur le réseau public (EVAC ne pose pas systématiquement le groupe électrogène dès la première tranche) ;
- un système de chauffage indispensable dans les pays où les températures hivernales très basses risqueraient de transformer en glace l'eau des pompes à vide et les effluents provisoirement stockés dans la cuve ;
- enfin, un filtre anti-odeur évitant la propagation d'odeur nauséabonde au voisinage de la centrale (l'air aspiré par les pompes est évacué à l'extérieur par un tuyau d'évent).

3.1. Les pompes à vide.

Les pompes à vide maintiennent le vide dans la cuve et le réseau.

Dès que le manomètre, branché sur la ou les cuves de stockage, enregistre une dépression de -0,40 bar (Vacuflow) ou -0,50 bar (Transvide), les pompes démarrent automatiquement et rétablissent dans le réseau un vide de -0,60 bar (Vacuflow) ou de -0,70 bar (Transvide). Lorsque cette valeur est atteinte, une sonde de niveau haut de vide fait cesser le fonctionnement des pompes.

Sur chaque réseau sous vide, le temps moyen nécessaire aux pompes pour faire monter la dépression de -0,40 à -0,60 bar ou de -0,50 à -0,70 bar est calculé. C'est le dépassement de ce temps de travail, majoré d'un coefficient de sécurité, qui déclenche la première alarme au niveau de la centrale de vide (4). En effet, un temps de pompage supérieur à la moyenne signifie l'existence d'une anomalie (une entrée d'air parasite) en un point du réseau (5).

L'eau nécessaire aux pompes à vide est stockée dans un réservoir de 0,5 à 1 m³. Il est vidangé et réapprovisionné en eau fraîche automatiquement lorsque la température dépasse 30° C. Ce réservoir est équipé de deux sondes :

- une sonde thermostatique qui commande la vidange et le remplissage ;
- une sonde de niveau qui stoppe le fonctionnement de la centrale si le réservoir n'est plus alimenté en eau (coupure d'eau sur le réseau public ou défaut de fonctionnement du robinet à flotteur contrôlant le niveau d'eau dans le réservoir).

3.2. Les pompes de refoulement.

En France, les pompes de refoulement sont généralement situées en fosse sèche et raccordées au niveau bas des cuves de stockage.

Les réseaux à dépression de Montalivet, Hourtin (Gironde), Tracy-le-Mont (Oise) et Fossoy (Aisne) font exception à la règle puisque les pompes de refoulement sont immergées directement dans la cuve de stockage, elle-même enterrée à l'extérieur de l'usine centrale (6).

Les pompes de refoulement installées sur les réseaux Vacuflow et Transvide peuvent fonctionner en présence d'une dépression maximale dans la cuve de stockage.

Le fonctionnement des pompes de refoulement est automatiquement commandé par trois sondes de niveau d'effluent implantées dans la cuve de stockage : une pour le démarrage de la première pompe, une seconde pour le démarrage de la deuxième pompe et la troisième permettant l'arrêt de celles-ci.

Il existe une quatrième sonde de sécurité, à niveau haut des effluents, qui déclenche une alarme dans la centrale et entraîne l'arrêt des pompes à vide, si le refoulement des eaux ne peut pas être effectué. Ce système a été conçu pour protéger les pompes à vide des dommages causés par une éventuelle aspiration des effluents (les pompes à vide sont directement raccordées sur la partie haute des cuves de stockage).

Finalement, l'usine centrale ne possède pas d'appareils véritablement innovants. En effet, si la valve et l'activateur ont été spécialement conçus pour l'égout pneumatique, les pompes, la cuve de stockage et les matériaux secondaires (filtres, armoire électrique, chauffage, groupe électrogène) ne sont pas en revanche spécifiques à l'assainissement sous vide. Ceci est également valable pour les pompes à vide puisque la vidange des fosses individuelles est généralement effectuée par aspiration. Une partie importante de l'usine n'est d'ailleurs rien d'autre qu'un poste de refoulement. Cependant, la spécificité de l'usine se révèle justement dans l'association et l'interdépendance de ces éléments qui, pris séparément, n'ont aucune originalité.

La centrale de vide est néanmoins le moteur du réseau pour au moins deux raisons :

- elle produit et gère la dépression, qui est une des deux composantes de la force nécessaire au transport des effluents, l'autre composante de la force de transport étant l'air aspiré par les valves (rappelons que c'est la pression différentielle entre l'air aspiré et le vide produit qui permet le mouvement des effluents dans les canalisations).
- elle est également à elle seule une image complète de l'ensemble du réseau. Avec l'enregistrement des temps de travail des pompes à vide et l'installation des différentes alarmes, la centrale de vide s'avère un point de passage obligé pour connaître les événements passés et en cours sur les conduites pneumatiques raccordées. Elle est par conséquent la priorité des visites d'exploitation. Elle est aussi la "mémoire" du réseau.

4. Les canalisations.

L'utilisation du vide pour le transport des eaux usées impose un certain nombre de particularités au niveau des conduites pneumatiques :

- les canalisations sont totalement étanches ;
- leur profil est en "dents de scie" ;
- elles ont de petits diamètres ;
- les matériaux utilisés sont généralement le PVC à joints collés, parfois le polyéthylène à joints thermosoudés.

4.1. L'étanchéité des canalisations.

L'étanchéité des canalisations sous vide est d'abord une nécessité technique avant d'être une préoccupation environnementale.

Un égout gravitaire, surtout nouvellement construit, doit lui aussi présenter des garanties d'étanchéité acceptables. Mais dans ce cas, des phénomènes d'infiltration d'air et d'eau parasite dans les conduites et d'exfiltration d'eau usée vers le milieu extérieur, à condition d'être limités, ne perturberont pas de façon excessive le transport des effluents. A court terme d'ailleurs, ces anomalies n'ont certainement aucune incidence sur la performance du réseau (7). Si le rendement de la station d'épuration ne diminue pas, si le milieu extérieur (eau de surface, eau souterraine) ne présente pas de risque tangible de pollution, il est alors probable que ces infiltrations et exfiltrations ne seront jamais décelées. Le réseau gravitaire, malgré ces dysfonctionnements, sera considéré étanche par son exploitant.

Par contre, une fissure, ou un mauvais raccordement au niveau d'une conduite pneumatique entraîne généralement une absorption d'eau et surtout d'air faisant augmenter le temps de travail des pompes à vide, donc le coût d'exploitation du réseau. Cependant, un défaut d'étanchéité sur un réseau en dépression est toujours décelable car il perturbe de façon systématique le régime des pompes à vide (l'enregistrement des temps de travail des pompes est alors modifié).

Les tests effectués au moment de la pose des canalisations assurent d'emblée l'étanchéité du réseau sous vide installé. Par la suite, une augmentation anormale du temps de

pompage, révélant un manque d'herméticité des conduites, nécessitera une intervention rapide afin de limiter en premier lieu une surconsommation d'électricité.

4.2. Le profil en "dents de scie".

Les principes physiques qui régissent l'écoulement des liquides dans une canalisation sous vide non linéaire font appel à des notions complexes en mécanique des fluides et ne constituent pas actuellement un thème de recherches avancé. Aussi, ils ne sont pas aujourd'hui réellement compris.

Les constructeurs proposent cependant, pour justifier le profil particulier des conduites, deux concepts élaborés davantage à partir de l'observation que basés sur une véritable recherche en hydraulique (8).

* Le concept du bouchon.

Une fois aspiré, l'effluent circule dans la canalisation secondaire puis dans la canalisation principale sous la forme d'un bouchon liquide épousant le périmètre de la conduite. Le mouvement du bouchon est assuré par la pression différentielle créée en amont du bouchon par l'air aspiré et en aval de celui-ci par le vide.

Au cours du transport, les forces de frottement désintègrent progressivement le bouchon et annulent la pression différentielle. Les points bas des poches de transport permettent de reformer un nouveau bouchon de liquide et restaurent ainsi la pression différentielle.

* Le concept du cylindre creux hélicoïdal.

Dans ce cas, le liquide situé au point bas de la poche de transfert ne bouche pas complètement la canalisation. Un courant d'air passe au dessus de l'effluent maintenant ainsi des conditions de dépression maxima sur toute la longueur de la canalisation. Au cours d'une nouvelle aspiration, le flux atmosphérique arrache l'effluent en repos en le transformant en cylindre creux hélicoïdal.

C'est finalement l'intensité du flux atmosphérique dans les canalisations qui provoque le déplacement des effluents. Les points de remontée, installés à intervalles réguliers, permettent donc de réactiver le transport des effluents en minimisant la consommation d'énergie.

Les deux approches sont malgré tout insuffisantes pour comprendre la réelle complexité de l'écoulement diphasé air-liquide à l'intérieur des canalisations à profil non linéaire. Il semblerait que la nature de l'écoulement dans un réseau sous vide soit en fait très variable. Les auteurs de Innovative-alternative technology assesment post construction evaluation du réseau pneumatique de Westmoreland, Tennessee (9), suggèrent que la formation des bouchons d'effluent serait une approximation acceptable du mode d'écoulement au moment de l'entrée du liquide et de l'air dans la canalisation. Ils retiennent également la conception du cylindre creux hélicoïdal pour expliquer la propagation du flux d'eau usée à l'intérieur des conduites hermétiques. Les effluents, périodiquement arrêtés au bas des poches de remontée, atteignent alors la centrale de vide par approches successives (10).

Chaque constructeur possède ses propres méthodes de dimensionnement pour calculer en fonction de la pente des canalisations et de l'éloignement de l'usine centrale (donc du diamètre des canalisations), le nombre, l'espacement et la hauteur des poches de transport. A titre d'exemple, en terrain plat, la pente des canalisations du réseau Vacuflow est de 3% ; les poches de transport sont espacées de 500 x DE (diamètre extérieur de la canalisation) et ont une hauteur de 1,5 x DE. Pour un réseau Transvide en terrain plat, la pente des canalisations est de 2% ; les poches de transport sont espacées de 150 m et ont une hauteur de 30 cm.

Compte tenu de la puissance de pompage installée dans l'usine centrale, c'est par conséquent le calcul des pertes de charge qui déterminera la longueur maximale des conduites pneumatiques.

En prenant un vide moyen à la centrale de -0,6 bar et un vide minimum de -0,25 bar au niveau de la valve la plus défavorisée (11), c'est-à-dire généralement la plus éloignée, C. Garnier (12) estime la longueur maximale d'une conduite sous vide en terrain plat à 4.000 mètres linéaires pour une pente des canalisations entre deux poches de remontée de 2 %, et à 2.700 mètres linéaires pour une pente de 3 % (13).

4.3. Le diamètre des canalisations.

Les canalisations pneumatiques ont en général un diamètre plus petit que celui des conduites gravitaires, pour une longueur totale du réseau équivalente et un nombre de raccords identique.

En effet, le diamètre extérieur d'un égout sous vide varie de 90 mm, pour les lignes secondaires raccordées aux bâches de transfert, à 200 mm pour les lignes principales (14). Un égout gravitaire séparatif collectant les eaux usées domestiques a toujours un DE supérieur à 200 mm, variant en fonction de la pente de la canalisation et du nombre de raccordement.

L'emploi de canalisation à faible diamètre se justifie a priori pour deux raisons :

- d'une part les petites sections favorisent le transport des effluents en "bouchon" et permettent ainsi de conserver un différentiel de pression suffisant entre chaque poche de remontée ;
- d'autre part, les diamètres inférieurs à 200 mm limitent la puissance utile des pompes à vide.

4.4. La composition des conduites.

Le type de conduites utilisées dans un réseau d'assainissement par dépression doit répondre au moins à deux impératifs :

- assurer une étanchéité maximum et rendre possible des raccordements hermétiques entre tronçons de canalisations ;
- présenter une souplesse d'utilisation relativement importante afin de réaliser dans de bonnes conditions (précision et temps de pose) le profil adéquat.

En France, les canalisations sont généralement en PVC 10 bars, raccordées entre elles par des joints collés. Les remontées sont réalisées soit à chaud sur le chantier, pour les poches de transport inférieures à 110 mm de haut, soit avec des coudes à 45° ou 22,5° préfabriqués par l'entreprise de génie civil (15).

Ce matériel semble relativement bien adapté aux exigences de la dépression (16), mais il n'est pas réellement spécifique au réseau sous vide puisque certains maîtres d'oeuvre installent depuis peu des réseaux gravitaires en PVC. L'emploi du PVC, dans des systèmes conventionnels, se justifie alors par sa plus grande résistance à certaines corrosions que les matériaux traditionnels (17).

L'association entre l'emploi des petites sections, la mise en place relativement aisée des points de remontées, proches les uns des autres, et la nature de la force de transport utilisée donne au réseau de conduites en dépression sa spécificité structurelle. En effet, il s'affranchit de la sorte des contraintes classiques dues au relief. Son tracé, contrairement à celui du réseau gravitaire, n'est plus nécessairement "topographique".

5. Le réseau d'assainissement par dépression : quelle innovation ?

L'analyse technique que nous venons d'effectuer permet déjà de conclure sur un point : il n'existe pas de différence fondamentale entre les deux procédés pneumatiques, Transvide (Airvac) et Vacuflow, actuellement disponibles sur le marché de l'assainissement. Les entreprises chargées de leur commercialisation mettent bien sûr en avant un certain nombre de dissemblances pour justifier les performances de leurs procédés respectifs : tel activateur ; telle valve ; tel diamètre de canalisation ; telle valeur de perte de charge maximale, etc. Néanmoins, certaines de ces différences tendent aujourd'hui à s'estomper, notamment la différence de taille entre les valves (EVAC met au point une valve trois pouces). Par conséquent, le réseau d'assainissement sous vide, quelle que soit son origine commerciale, comporte des éléments identifiables (valve, activateur, canalisations en PVC avec poches de remontée, centrale de vide), systématiquement présents dans toutes les applications pneumatiques. Notons également que plusieurs qualités et composants du réseau pneumatique ne sont pas spécifiques au procédé en dépression (le principe de séparation eaux usées domestiques / eaux pluviales, les pièces mécaniques dans la centrale, le PVC des canalisations... ; voir tableau pages 105 et 106).

Pourtant, le système pneumatique est présenté dans la littérature française et étrangère et par les acteurs de l'assainissement, comme une innovation dans le domaine de l'assainissement. En retenant comme définition de l'innovation technologique, celle établie par Tornasky et alii (18), c'est-à-dire l'introduction d'une technologie nouvelle dans une organisation donnée, il s'agit alors d'analyser ce qu'il y a de véritablement nouveau dans le réseau pneumatique par rapport aux autres techniques d'assainissement constituées en réseau.

Trois éléments techniques sont en fait caractéristiques du réseau sous vide. Il s'agit de la valve, du profil des canalisations et de la dépression (voir tableau pages 105 et 106) :

* La valve est certainement le dispositif le plus singulier pour trois raisons. D'une part elle est posée à un endroit précis du réseau où d'habitude, avec le gravitaire, il n'y a aucun objet particulier, excepté éventuellement un regard de raccordement. De plus, physiquement, elle est la limite du réseau. Enfin, son fonctionnement automatique déclenche l'entrée des effluents dans le réseau, mais à la différence du gravitaire, cette entrée est discontinue.

* Le profil des canalisations, dont la succession de points de remontée placés à intervalles rapprochés, permet en général de poser l'ensemble du réseau à une même profondeur, quelle que soit la topographie du terrain.

* L'existence de la valve et du profil en "dents de scie" des canalisations s'explique par l'utilisation du vide. Le vide, associé à l'air, permet le transport des effluents au même titre que la pesanteur dans les systèmes gravitaires. Le réseau pneumatique a pour principale finalité de s'affranchir de la topographie afin d'être installé dans des zones difficiles (voir paragraphe 6 suivant). Il est par conséquent logique de modifier la façon de transporter des effluents puisque la pose horizontale des conduites annule le rôle conducteur de la gravité. La chasse atmosphérique se substitue ainsi à la pesanteur, tout en conservant la même fonction. Mais l'emploi de la dépression induit trois différences importantes par rapport au principe gravitaire. Elles concernent le mode de production de la force de transport, la nature du transport des effluents et les facteurs influant sur le transport :

- Dans un réseau traditionnel, la gravité produit la force de déplacement. Celle-ci existe donc en tous points du réseau. Avec un système pneumatique, deux centres de production - un de vide et un d'air - sont nécessaires et complémentaires. La fabrication du vide est d'ailleurs centralisée dans l'usine d'aspiration tandis que l'entrée d'air s'effectue au niveau de chaque valve, donc au niveau de chaque raccordement.
- Le transport des eaux usées, au même titre que leur entrée, dans le réseau pneumatique est discontinu puisque ce sont les aspirations d'air successives qui provoquent le déplacement des "bouchons" situés dans les points bas des conduites. Dans un égout gravitaire, l'écoulement des eaux usées est théoriquement continu.

COMPARAISON GRAVITAIRE / DEPRESSION

	TECHNIQUE GRAVITAIRE	TECHNIQUE PAR DEPRESSION
PRINCIPE		
Organisation en réseau des canalisations	oui 3 variantes possibles - Unitaire - Séparatif eaux usées eaux pluviales - Pseudo séparatif	oui Séparatif strict Ne concerne que les eaux domestiques
Place du réseau	Souterrain Sous la voie publique	En grande partie souterrain, sauf : - Dans certains cas pour les baches et les canalisations - Une partie de l'usine centrale En France, sous la voie publique
Fonctionnement	Automatique Action de la pesanteur Pompes de refoulement automatiques	Automatique Production de vide et du refoulement automatique
Contraintes chez l'utilisateur	Une seule Obligation de raccordement Pas de restriction dans l'usage de l'eau	Une seule Obligation de raccordement Pas de restriction dans l'usage de l'eau
"Age"	Technique ancienne	Technique ancienne
Fonction	Recueillir les eaux usées, les transporter le plus rapidement jusqu'à un centre de traitement	Recueillir les eaux usées, les transporter le plus rapidement jusqu'à un centre de traitement
Rôle	- Protection de la santé publique - Protection de l'environnement - Lutte contre les inondations (seulement l'égout pluvial)	- Protection de la santé publique - Protection de l'environnement

	TECHNIQUE GRAVITAIRE	TECHNIQUE PAR DEPRESSION
ELEMENTS CONSTITUTIFS		
Le raccordement à l'égout public	Sous la voie publique La conduite est directement raccordée à l'égout	Sous la voie publique Regard de transfert obligatoire pour tout raccordement sur une conduite sous dépression Contient toujours : - Une valve - Un activateur - Une cuve tampon
Force de transport	La pesanteur Le refoulement Le transport est continu	La pression différentielle air/vide Le transport est discontinu
Energie de transport	Si gravitaire strict : aucune Si refoulement : énergie électrique, avec autant de sources que de postes de refoulement	Energie électrique Une seule source à la centrale de vide
Canalisations	Si gravitaire strict : canalisations en pente Si postes de refoulement : canalisations avec points de remontée	Points de remontée indispensables et nombreux Canalisations à profil horizontal Diamètres plus petits que diamètres des canalisations gravitaires

- Le facteur essentiel influant sur l'écoulement des liquides dans une canalisation gravitaire est la pente de celle-ci. Par contre, l'efficacité du transport dans un égout sous vide est fonction de la puissance des pompes à vide, de la quantité d'air aspiré (donc du réglage des valves) et des pertes de charge résultant du diamètre des canalisations, du nombre et de la hauteur des remontées (donc de la longueur totale de l'égout).

Le réseau sous vide est donc bien une technologie innovante (19), différente du système gravitaire. Le pneumatique implique en effet une nouvelle conception et organisation du réseau afin de gérer au mieux la force de transport. C'est le passage d'une gestion passive du transport (la gravité auto-produit la force) à une gestion active (plusieurs centres de production précisément localisés et en synergie, un effet de transmission) qui détermine d'emblée la différence entre un réseau gravitaire et un réseau sous vide (20).

D'autre part, compte tenu du nombre de réalisations récentes (47 réseaux par dépression installés en France depuis 1971, et des applications plus nombreuses à l'étranger, notamment en Allemagne, aux Pays-Bas et aux Etats-Unis), le réseau sous vide est une technique qui commence à véritablement se diffuser. Or, une innovation, telle que nous l'avons définie plus haut, ne peut exister que si un phénomène de diffusion est amorcé, autrement le procédé demeure une invention "mort-née" dont l'existence même s'avère discutable.

6. Les domaines d'application du réseau d'assainissement par dépression.

Le fait de devoir transmettre dans de bonnes conditions (étanchéité, faible diamètre, poches de remontée nombreuses, donc profil général horizontal des égouts sous vide) la force nécessaire au transport des effluents, permet au réseau d'assainissement par dépression d'être particulièrement adapté et financièrement performant lorsque le profil du terrain est contraignant, lorsque les conditions de pose sont délicates.

Les tranchées à réaliser pour la pose d'un réseau sous dépression sont de petites tailles et s'apparentent aux tranchées d'adduction d'eau - 0,50 m de large et 1 m à 1,30 m de profondeur - pour deux raisons :

- le diamètre des canalisations pneumatiques est limité à 200 mm pour sa valeur supérieure ;
- le profil en dents de scie réduit l'enfouissement des conduites, la profondeur variant de 0,30 m à 1,20 m, avec en général une pose à 0,80m pour la France (limite hors gel).

Par suite, les terrassements effectués pour la mise en place d'un réseau sous vide sont beaucoup moins importants que dans le cas d'un égout gravitaire. De plus, la faible profondeur des tranchées supprime l'emploi du blindage dans les terrains peu stables, le rabattement de la nappe en terrain aquifère et l'emploi des explosifs dans les zones rocheuses. Enfin, la dimension relativement petite des tranchées pneumatiques permet d'utiliser des engins pelleteurs peu encombrants et raccourcit la durée du chantier. Une économie de 20 à 50% au niveau de l'investissement s'avère alors possible avec l'installation d'un système sous vide (cf. partie II, chapitre 2 et partie III chapitre 1).

Le réseau sous vide est finalement une technique appropriée :

- lorsque le profil du terrain est particulièrement contraignant : terrain très plat, mais aussi quadrillé par de nombreux obstacles (fossés, ruisseaux, digues, dunes...) ;
- lorsque les conditions de pose sont délicates : endroits rocheux, partiellement inondés par une nappe phréatique élevée, sols instables enclins à des tassement différentiels, encombrement de la chaussée... ;
- si la zone considérée présente, en plus de ces contraintes, une densité faible entraînant une longueur de canalisation par habitant relativement importante ;
- pour raccorder des maisons situées en contre bas du réseau, jusqu'à 4 mètres.

En outre, nous allons voir dans le chapitre suivant qu'un effet indirect de l'emploi de la dépression constitue un atout majeur de la technique pneumatique : l'étanchéité des canalisations. En effet, dans certaines zones sensibles, où la conservation du milieu naturel est prioritaire, l'installation d'un réseau sous dépression permet alors d'assurer

de façon durable une absence de pollution des eaux souterraines et de surface par les effluents.

Ainsi, la majorité des réseaux à dépression installés en France depuis 1971 se situe dans des zones caractérisées par un terrain plat et une nappe phréatique affleurante (voir pages 110, 111 112 et 113 suivantes, la figure VI et le tableau II, détaillant la localisation géographique des égouts en dépression).

Pour certains d'entre eux, s'ajoute à ces conditions particulières, l'obligation dictée par les administrations concernées de protéger le milieu environnant (nappes souterraines, eaux de surface, boisements etc.).

Enfin, la mise en place de 6 réseaux sous vide correspondait en outre à la nécessité de réduire la durée et/ou l'encombrement du chantier (notamment sur des routes étroites et/ou fréquentées).

En ce qui concerne les applications étrangères de la technique par dépression, c'est-à-dire celles situées en Suède, en Allemagne Fédérale, aux Pays-Bas, aux Etats-Unis, aux Bahamas, au Canada et en Grande Bretagne, on retrouve systématiquement les mêmes conditions topographiques ayant présidé à leur installation que celles relevées pour le cas français (21).

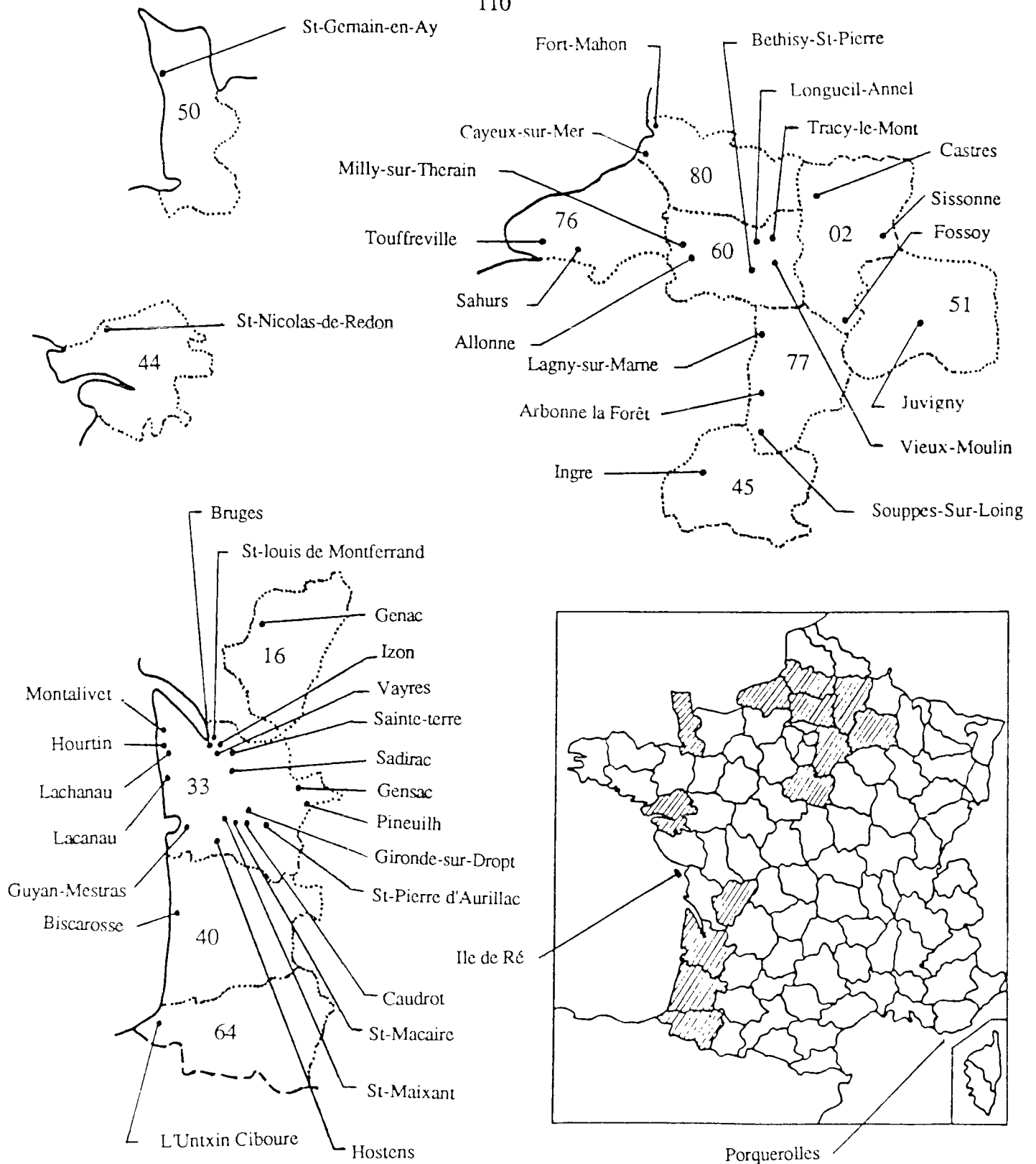


Figure VI : localisation géographique des réseaux à dépression

L'ASSAINISSEMENT PAR DEPRESSION EN FRANCE : CONDITIONS
D'INSTALLATION

Année	Lieu	Dépt.	Maitre d'ouvrage	Maitre d'oeuvre	Matériel installé	Entreprise de génie civil	exploitation	Nature des travaux	conditions de mise en oeuvre*	Centrale de vide Eq. hab.	Linéaire sous vide en m.**	Nombre de valves**
1971	Lacau	33	SCI "Marina de Talaris"	Bureau d'Etudes Techniques ENORSA	Sanovac	SADE	Streichenberger	Marina	A, C	200	?	64
1972	Porquerolles	83	Chambre de Commerce et d'Industrie du Var	?	Vacuflow	?	?	Ponton de bateaux		200	?	?
1974	Juvinoy	51	Promoteur "Résidence du Lac"	?	Vacuflow	CAMES	SADE	Lotissement	A, B	500	3 000	48
1975	Bethisy St Pierre	60	commune	DDE Crépy en Valois	Vacuflow	Barriquand	SAGEA Beauvais	Réseau communal	D	300	560	11
1976	Souppes / Loing	77	commune	DDE	Vacuflow	SAUR	SAUR	Réseau communal	A, B	1 500	?	19
1978	St Germain en Ay	50	personne privée	?	Vacuflow	?	?	Camping	?	?	?	?
1977	Thourrotte - Longueil-Annel	60	commune	DDE de Ribecourt	Vacuflow	Barriquand	Lyonnaise des Eaux Compiègne	Réseau syndical	A, C	600 400	770 900 1 800	35 29 40
1979	Gujan Mestras	33	commune	DDE de la Teste	Vacuflow	THESO	Streichenberger	Camping	B, C	1 200	?	19
1980	Montalivet	33	Promoteur Sochat	EVAC	Vacuflow	? (disparue)	Streichenberger	Camping	A, B, C	8 000	?	44
1981	Cayeux S/Mer	80	commune	commune	Vacuflow	?	Régie communale	Camping	?	1 500	?	?
1982	Hostens	33	Département	DDA Gironde	Vacuflow	SOC	Régie communale	Village vacances	A, B, C	3 500	2 690	37
1983	Le Bois en Ré (île de Ré)	17	Tourisme et Travail	?	Vacuflow	?	?	Village océanique	A, B	?	?	?
1984	Bruges "Le tasta"	33	Communauté Urbaine de Bordeaux	CUB Cabinet SOGERLEG	Vacuflow	SOC	Lyonnaise des Eaux de Bordeaux	Réseau communal	A, B, D	12 000	4 380	54
1984/88	St Pierre d'Aurillac	33	commune	DDA Gironde	Vacuflow	SOC	Régie communale	Réseau communal	F	650	5 300	86
1985	Biscarosse I	40	commune	Cabinet Merlin Bordeaux	Vacuflow	SOC	Régie communale puis SAUR	Réseau communal et campings	A, B, C	12 500	7 900	61

Année	Lieu	Dépt.	Maitre d'ouvrage	Maitre d'œuvre	Matériel installé	Entrepri se de génie civil	exploitation	Nature des travaux	conditions de mise en oeuvre*	Centrale de vide Eq. hab.	Linéaire sous vide en m.**	Nombre de valves**
1985	Fossoy	02	commune	DDE Chateau-Thierry et DDA Aisne	Vacuflow	Barriquant	Régie communale	Liaison intercommunale	B, D	1 600	5 620	10 dont 6 pour entrées d'air
1986	Tracy-le-Mont	60	commune	DDE Ribecourt	Vacuflow	Barriquant	Lyonnaise des Eaux	Réseau communal	A, C	300	1700	15
1986	Gensac	33	commune	DDA Gironde	Vacuflow	SOC	Régie communale	Réseau communal	G	800	3 850	73
1986	Sadillac	33	commune	DDA Gironde	Vacuflow	SOC	Lyonnaise des Eaux	Réseau communal	G	300	2 100	30
1986	Hourtin ZAC Hourtin-Port	33	Syndicat mixte	Cabinet Duchassaing à Mérignac	Transvide	SOC	Lyonnaise des Eaux	Réseau communal base de loisirs	A, B	6 500	4 500	50
1986	Pineuilh	33	Syndicat intercom.	DDA Gironde	Transvide	SOC	Régies d'Electricité de la Gironde	Réseau communal	A, B,	1 200	10 450	177
1986	Caudrot	33	commune	DDA Gironde	Transvide	SOC	SOGEDO	Réseau communal	F	1 500	9 190	108
1986/88 1989	Biscarosse II	33	commune	Cabinet Merlin Bordeaux	Transvide	SOC	SAUR	Réseau communal et campings	A, B, C	5 500	5 900	24
1987	Saint Macaire	33	Syndicat intercom.	Cabinet Socama à Mérignac	Transvide	SOC	SOGEDO	Réseau communal	G	2 600	2 810	46
1987	Arbonne la Forêt	77	commune	DDA Seine et Marne	Transvide	Barriquant	Société des Eaux de Melun	Réseau communal	A, B	1 300	3 150	52
1987	Castres	02	Syndicat intercom.	DDA de l'Aisne	Transvide	Barriquant	Lyonnaise des Eaux	Réseau communal	H	240	1 950	34
1987	Gironde sur Dropt	33	commune	DDA Gironde	Vacuflow	SOGEA Aquitaine	Régie Municipale Canton de la Rôle	Réseau communal	F, G, H	1 300	1 300	60
1987	Sahurs	76	commune	DDA Rouen	Vacuflow	SOGEA Normandie	Lyonnaise des Eaux	Réseau communal	A, H	1 500	1 2600	40
1987/88	Saint Nicolas de Redon	44	commune	commune Services techniques	Transvide	SOC	Général des Eaux	Réseau communal	A, B, D	1 900	3 510	23
1987/88	Hosiens II	33	Département	DDA Gironde	Transvide	SOC	Régie communale	Camping	A, B, C	400	1 850	6
1987/88 1989	Izon	33	Syndicat intercom.	Cabinet Socama à Mérignac	Transvide	SOC	Régies d'électricité de la Gironde	Réseau communal	A, B	4 000	6 465	187
1987/88 1989	Vayres	33	Syndicat intercom.	Cabinet Socama à Mérignac	Transvide	SOC	Régies d'électricité de la Gironde	Réseau communal	A, B,	3 000	4 005	37
1987 1988	Vieux-Moulin	60	Syndicat intercom.	DDA Oise DDE Compiègne	Transvide	Barriquant	SAGEA	Réseau communal	A, H	800	4 140	90

Année	Lieu	Dépt.	Maitre d'ouvrage	Maitre d'oeuvre	Matériel installé	Entreprise de génie civil	exploitation	Nature des travaux	conditions de mise en oeuvre*	Centrale de vide Eq. hab.	Linéaire sous vide en m.**	Nombre de valves**
1987/88	Saint-Maixant	33	Syndicat intercom.	DDA Gironde	Transvide	SOC	SOGEDO	Réseau communal	G	1 250	6 000	59
1988	Lachanau	33	commune Hourin	DDE Gironde	Transvide	SOC	Lyonnaise des Eaux	Réseau communal	A, B	1 500	4 160	45
1988	Ingré	45	commune	Commune Services techniques	Transvide	Barriquand et SOPT	Régie communale	Réseau communal	G	1 000	1 912	21
1988	Touffreville	76	commune	DDA Rouen	Vacuflow	SOGEA Normandie	Cie fermière de Services Publics	Réseau communal	A, H	1 000	1 900	30
1988	Genac	16	commune	DDA Charente	Vacuflow	SOGEA Atlantique	CISE	Réseau communal	A, B,	800	1 500	50
1989	Fort-Mahon	80	commune	DDE Rue	Transvide	Barriquand	Régie communale	Réseau communal et campings	A, D	1 330	2 500	50
1989	Saint-Louis de Montferand	33	Communauté Urbaine Bordeaux	Lyonnaise des Eaux de Bordeaux	Transvide	SOC	Lyonnaise des Eaux	Réseau communautaire	A, D	3 000	2 900	19
1989	L'Untxin Ciboure	64	SIVOM Urrugne	DDE Saint-Jean de Luz	Transvide	SOC	Lyonnaise des Eaux	Réseau de Z.A.C.	D, G	7 500	12 100	14
1989	Allonne	60	commune	DDA Beauvais	Transvide	Barriquand	SEARB	Réseau communal	A, B, F	1 000	2 800	39
1989	Milly sur Therau	60	commune	DDA Beauvais	Transvide	Barriquand	SEARB	Réseau communal	A, B	2 000	1 700	35
1989	Lagny sur marne	77	commune	DDE Melun	Transvide	Barriquand		Réseau communal	A, F	EC***	EC	EC
1989	Sissonne	02	commune	DDE Laon	Transvide	Barriquand	Régie communale	Réseau communal	A, D, F	2 300	2 760	118
1989	Sainte Terre	33	commune	DDA Gironde	Vacuflow	SOGEA Aquitaine	Régies d'électricité de la Gironde	Réseau communal	A, B	2 000	600	20

* Conditions de mise en oeuvre :

- A = Nappe phréatique affleurante
- B = Terrain plat
- C = Volonté de protéger l'existant en surface (arbres) en sous sol (nappe)
- D = terrain peu stable (dans zone marécageuse, sableuse etc.)
- F = Limiter la durée et/ou l'encombrement du chantier (sur route fréquentée ou voie étroite par exemple)
- G = Limiter la profondeur des tranchées dans zone rocheuse
- H = Terrain accidenté avec raccordements en "contre-bas"

** Mètres linéaires sous vide et nombre de valves installés.

*** EC = première tranche en cours d'installation

CHAPITRE 2

L'EMERGENCE D'UN CONTEXTE FAVORABLE A LA DIFFUSION DU RESEAU SOUS VIDE

1. Introduction.

Le réseau gravitaire a été érigé, dès la fin du XIX^{ème} siècle, en règle générale d'assainissement, voire en norme technique quasi universelle. La chance historique du gravitaire s'explique certainement par son adéquation à tout un ensemble de règles d'aménagement empreintes d'une stratégie sociale de désinfection très largement appliquée à partir du Second Empire.

Cependant, le succès du tout-à-l'égout ne se réduit pas à l'existence d'un contexte social et politique fécond. Son application systématique était possible essentiellement parce que la nature des terrains viabilisés s'y prêtait.

Jusqu'aux années 1970, le gravitaire suit ainsi l'urbanisation et reste, grâce à la circulaire Caquot, le seul égout posé en milieu urbain et dans les moyennes collectivités. Les équipements urbains ont en fait été réalisés d'abord sur les sites les plus faciles, du moins les mieux adaptés au système gravitaire, laissant de côté, sans conséquence immédiate, les endroits difficiles, c'est-à-dire les terrains plats, rocheux, avec nappe phréatique affleurante, ou bien les sols instables car constitués de vases et de tourbes.

Pourtant, à la même époque, certains sites contraignants ont aussi été viabilisés. Mais il s'agissait de cas où les collectivités pouvaient encore supporter des coûts d'investissement importants et n'avaient aucune contrainte de protection de l'environnement.

Néanmoins, il faut noter qu'après la seconde guerre mondiale, la reconstruction de certains quartiers des villes partiellement détruites a fait prendre conscience au Groupe technique du ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme des lacunes de la circulaire Caquot. L'emploi de cette dernière, pour les eaux pluviales, n'était pas adapté aux nouvelles formes d'urbanisation et conduisait à surdimensionner les ouvrages. G. Dupuy et G. Knaebel (22) rappellent en outre que certaines dispositions de la circulaire CG 1333 excluaient la possibilité de toute extension importante de l'habitat à l'amont du réseau. A partir du début des années 1970, la réalisation des villes nouvelles, donc l'assainissement de vastes zones imperméabilisées, conduit à abandonner la doctrine

officielle de l'évacuation immédiate des eaux pluviales et à adopter la solution du stockage : " s'appuyant officiellement sur le fait que les réseaux d'assainissement en villes nouvelles sont séparatifs, sur l'intérêt des aménagements paysagers et de loisirs permis par les bassins de retenue, les techniciens des établissements publics parviennent à imposer cette solution (...). Partout le coût colossal des collecteurs à construire en l'absence de bassins de retenue est un facteur déterminant." (23).

La solution du stockage des eaux de pluie a permis alors une grande continuité dans l'application du transport gravitaire des effluents.

Mais aujourd'hui, il se dessine un phénomène de rupture entre les besoins d'urbanisation et l'outil d'assainissement standardisé.

Pour Ta Thu Thuy (24), cette rupture est apparue lorsque l'application du principe gravitaire au transport des eaux usées domestiques devint de moins en moins appropriée à des zones qui, paradoxalement, suscitaient un intérêt croissant parmi les aménageurs.

De plus, le contexte de l'assainissement évolue progressivement avec :

- la prise en compte des mauvaises performances des systèmes d'assainissement mis en place jusqu'à présent ;
- l'émergence de la sensibilité aux problèmes d'environnement ;
- une diminution des capacités financières d'investissement des collectivités locales ;
- la diversification des solutions possibles en assainissement ;
- l'élaboration d'un nouveau savoir : le génie urbain.

2. Des difficultés croissantes dans la viabilisation des terrains.

2.1. Une mauvaise qualité des terrains à viabiliser.

Actuellement, on ne développe plus guère de grands programmes d'urbanisation, cependant, pour un certain nombre de bourgs et de moyennes collectivités, la viabilisation rend commercialement attractif des terrains jusque là délaissés pour la mauvaise nature de leur sol.

De plus les POS (Plans d'Occupation des Sols), réalisés un peu partout, font apparaître, plus nettement qu'auparavant, ce qui est "urbanisable" et à quelles conditions.

Mais la volonté d'urbaniser n'aboutit pas toujours si le gravitaire est le seul mode

d'assainissement disponible pour ces zones contraignantes. En effet, le coût de l'assainissement, alors 3 à 4 fois plus élevé que celui de la voirie fait renoncer les maîtres d'ouvrage à leur projet. Souvent la situation reste bloquée.

Parfois, l'enjeu foncier est si important que des applications "aveugles" du gravitaire sont malgré tout réalisées. Ceci peut alors conduire à des échecs cuisants tant sur le plan technique que sanitaire et environnemental (cf. chapitre 2, paragraphe 3). Ainsi, aux environs du lac de Bordeaux, l'installation coûteuse de conduites gravitaires dans un ancien marécage a engendré des cassures et des enfouissements de tronçons de canalisation dont la récupération fut impossible.

En outre, il faut noter que l'installation de réseaux gravitaires, sur des terrains de mauvaise qualité, se soldait régulièrement par des poses d'égouts relativement médiocres, en raison de la multiplication des contraintes rencontrées sur les chantiers et de l'absence quasi-générale jusqu'à la fin des années 1970 de tests de réception.

Or, C. Triantafillou précise à juste titre (25) que les conditions de construction et de pose des installations influent considérablement sur l'évolution de la structure du réseau, d'autant plus que les défauts concernant cette phase initiale de l'ouvrage (lit de pose inadéquat, mauvaise réalisation des joints, pente insuffisante...) constituent des causes très fréquentes de détérioration (fissure des canalisations, joints fuyards, stagnation des effluents, encrassement...). Ce type d'incident est d'autant plus critique qu'une fois l'opération terminée, les difficultés sont prises en charge uniquement par la commune et se traduisent par des dépenses supplémentaires pour une réhabilitation précoce mais nécessaire de ces réseaux.

L'installation systématique du gravitaire dans des sites particuliers a sans doute permis, en constatant des dégradations anormales, d'en révéler les faiblesses et la relative efficacité.

Dans le milieu professionnel de l'assainissement, l'idée que le système gravitaire n'est pas toujours la solution la plus satisfaisante, semble alors admise ; d'autres procédés, différents même de l'assainissement autonome, seraient plus appropriés à certaines situations.

2.2. Une évolution de l'urbanisation.

En parallèle aux difficultés rencontrées dans la viabilisation des sols de mauvaises qualités, les formes d'urbanisation évoluent.

La faible densité des collectivités rurales ou péri-urbaines ne permet généralement pas l'installation d'un réseau classique d'assainissement.

Jusqu'à une époque récente, l'objectif des ces communes était d'évacuer au moindre coût et sans grand soucis du milieu récepteur les eaux usées des habitations. Avec le développement d'une urbanisation de type pavillonnaire, à habitat peu dense, une partie de ces communes rurales, ou proches des agglomérations ont été atteintes par l'extension urbaine. Mais ces zones, maintenant urbanisées, sont parfois dépourvues d'un système d'assainissement correct lorsqu'elles ne répondent pas aux critères de rentabilité de l'égout gravitaire. Les modes récents d'urbanisation sont généralement différents de celui pour lequel le gravitaire a été conçu et surtout normalisé.

2.3. Le développement touristique des sites en bordure d'eau.

Avec le développement du tourisme, la nécessité de suivre une urbanisation souvent parallèle aux bordures d'eau entraîne la pose linéaire d'égouts de plus en plus longs et entrecoupés de nombreux postes de refoulement.

La pose d'un réseau gravitaire est, dans ce cas, encore plus difficile si une nappe phréatique est proche de la surface du sol. Or, cette situation se rencontre fréquemment au niveau des zones littorales et à proximité des lacs. Le phénomène classique des pointes saisonnières et de fin de semaine conduit en outre à surdimensionner les canalisations.

Le surdimensionnement des canalisations, qui n'est finalement utile qu'en période estivale, non seulement coûte cher mais risque également d'engendrer une dégradation avancée du réseau. En effet, le temps de séjour des effluents dans les égouts augmente et peut favoriser les phénomènes de dépôts, d'obstructions et de dégagement d'H₂S, produit corrosif puissant issu de la fermentation anaérobie des matières organiques.

Les échecs d'assainissement gravitaire dans ces zones peuvent se révéler d'autant plus catastrophiques que le milieu récepteur, alors contaminé par les eaux usées, perd une partie de sa flore et de sa faune. C'est notamment le cas du Bassin d'Arcachon, avec au départ une mauvaise conception du réseau gravitaire mis en place.

2.4. Autant de champs d'applications possibles pour le sous vide.

Ces contraintes de viabilisation n'excluent pas d'emblée la possibilité d'installer de manière satisfaisante un système gravitaire. Moyennant un certain nombre de précautions prises au moment de la pose (scellement des conduites, joints étanches, optimisation des postes de refoulement, etc.), un égout gravitaire peut rester une solution appropriée. De même, le réseau sous vide n'est pas systématiquement mis en place lorsque les conditions d'urbanisation sont identiques à celles présentées ci-dessus. Bien souvent, les difficultés rencontrées ne se révèlent pas aussi importantes ; l'intérêt même du pneumatique est alors d'autant moins évident que généralement les maîtres d'oeuvre connaissent assez mal cette technique.

Ceci dit, le dénominateur commun de la majorité des sites français équipés de réseaux sous vide est effectivement la contrainte imposée par une topographie très plane du terrain. Une nappe phréatique élevée est en outre présente dans la moitié de ces sites.

Notons d'ailleurs que 11 réseaux pneumatiques sont localisés dans des zones touristiques développées en bordure d'eau.

L'association du terrain plat et de la nappe phréatique élevée explique également l'importance des installations sous vide à l'étranger, notamment en Hollande (150 réseaux Vacuflow) et en Allemagne Fédérale (60 réseaux environ).

Enfin, quelques réseaux sous vide français ont été posés dans des terrains rocheux et instables.

La pose d'un procédé en dépression dans ces territoires "hostiles" engendre en fait deux conséquences :

- une possibilité d'urbanisation immédiate puisque l'obstacle foncier disparaît. Parmi les réseaux sous vide français, 9 ont été installés sur des terrains à l'origine considérés comme non "viabilisables".
- une amélioration des performances du système d'assainissement puisque ces réseaux permettent de connecter un nombre d'habitants supplémentaire à des stations d'épurations généralement construites quelques années auparavant mais dimensionnées en prévision de raccordements ultérieurs en fait rarement effectués.

3. Une mauvaise performance du système d'assainissement.

En 1981, un premier bilan national des équipements d'assainissement des collectivités locales a été dressé par le service de l'eau du Ministère de l'Environnement français (26). Les données obtenues au plan départemental, régional et national sont la pollution brute émise, la pollution admise dans les stations d'épuration, la capacité de ces stations et la pollution rejetée par celles-ci.

A partir de ces évaluations, ont pu être calculés les rendements des stations, les taux de collecte et de dépollution, et l'efficacité globale des équipements d'assainissement pour les années 1978 et 1979.

La pollution éliminée par les systèmes d'assainissement fut alors évaluée à moins de 40% de la pollution produite, et cela après plus de dix ans d'investissements technique et financier importants.

Effectivement, pour l'ensemble de la France en 1979, la population agglomérée est de 41.750.000 habitants auxquels s'ajoutent 8.100.000 saisonniers. A cette population correspond donc une pollution de 50 millions d'équivalents-habitants (27), valeur qui englobe les industries raccordées non redevables par les Agences de l'Eau. La pollution due aux industries raccordées, directement redevables par les Agences, représente environ 8,5 millions d'équivalents-habitants.

La pollution brute totale de ces 58,5 millions d'équivalents-habitants n'est raccordée que pour 41% aux 7.374 stations d'épuration en service dont le rendement moyen est de 77% en MES (Matières En Suspension) (28). Il en résulte un taux global de dépollution d'environ 37%.

En outre, le rendement moyen des stations d'épuration utilisé a été calculé uniquement à partir du pourcentage de MES éliminées. Or, la quantité moyenne de MO (Matières Organiques) éliminée est sensiblement inférieure : 69% contre 77% pour les MES. Par conséquent, le rendement réel moyen des stations d'épuration est en dessous de 77%.

De plus, ce sont les stations d'épuration les plus grandes (capacité d'épuration comprise entre 10.000 et 50.000 Eq. Hab.), donc situées dans les villes et les bourgs les plus importants, qui possèdent les rendements les plus élevés. Dans les petites collectivités, les stations d'épuration s'avèrent en général moins efficaces ; les taux de raccordement sont par ailleurs relativement faibles. Il en résulte alors, pour un grand nombre de communes rurales, une dépollution des eaux usées nettement insuffisante, en tout cas inférieure au taux de 38% évalué par le Ministère de l'Environnement.

Une réactualisation de cette étude en 1984, pour l'année 1981 (29), a confirmé ces résultats et mit en évidence un taux moyen de dépollution légèrement plus bas pour les départements du littoral, par rapport à l'ensemble de la France :

Taux de dépollution (%)	Littoral	Ensemble de la France
Matières en suspension	0,32	0,38
Matières organiques	0,27	0,30

La dernière analyse du Ministère de l'Environnement, publiée en février 1987 (30) ne laisse pas apparaître une réelle amélioration de la situation.

Cette mauvaise performance du système d'assainissement s'explique alors par la conjonction de plusieurs phénomènes :

- l'importante quantité d'eaux usées non collectées par les égouts ;
- la présence de nombreuses anomalies sur les réseaux d'assainissement ;
- des nouvelles zones viabilisées difficilement raccordables aux stations d'épuration existantes.

3.1. Une pollution non collectée : l'insuffisance des réseaux de collecte.

Les causes de l'énorme quantité de pollution rejetée directement dans le milieu naturel sans aucun traitement sont au nombre de deux :

- la contamination par les eaux de ruissellement ;
- l'insuffisance des réseaux de collecte d'eaux usées.

La pollution par les eaux de ruissellement reste un problème spécifique aux zones urbaines. Pour ce type de pollution, le réseau sous vide ne constitue pas une réponse appropriée puisqu'il ne collecte et ne transporte que les effluents domestiques.

En revanche, l'emploi de la dépression permet, dans certains cas, de pallier le manque de réseaux de collecte d'eaux usées.

En 1979, les 7.374 stations d'épuration représentaient une capacité de dépollution de 47.582.384 Eq. Hab. Mais seulement 24 millions d'Eq. Hab. y étaient traités (31). Il n'y avait donc pas un surdimensionnement de la capacité totale d'épuration par rapport

aux besoins (voir plus haut), mais un retard pris aussi bien dans les raccordements aux égouts existants que dans la réalisation de nouveaux réseaux de collecte qui s'avéraient pourtant indispensables.

En 1987, la situation restait inchangée et Alain Carignon, Ministre de l'Environnement, déclarait alors : "Un effort reste à faire pour drainer une quantité plus importante de pollution vers les stations d'épuration" (32).

Aussi, au rythme actuel des travaux d'installation de nouveaux égouts, desservir par un réseau collectif la totalité des habitants concernés demandera encore 25 à 30 ans (33).

Dans les années 1970, la construction des stations d'épuration était effectivement prioritaire en matière de lutte contre la pollution des cours d'eau. Les Agences de l'Eau accordaient alors des aides financières aux collectivités locales et aux industriels uniquement pour la réalisation de centres de traitement des effluents.

Bénéficiant de larges subventions, les stations d'épuration furent construites en général assez rapidement. Cette politique financière se justifiait dans la mesure où la France avait accumulé un retard important dans les techniques de dépollution (voir chapitre 5 partie I). Ce n'est d'ailleurs qu'à partir de la promulgation de la loi sur l'eau de 1964 que l'industrie française de l'épuration commence réellement à se développer.

L'effort en matière d'épuration fourni par les administrations et les collectivités locales a progressivement produit un effet pervers : au fur et à mesure que le parc de stations d'épuration se développait, l'écart entre les capacités de traitement des effluents et les infrastructures de collecte et de transport des eaux usées, alors négligées, se creusait. Si les équipements de dépollution commençaient à devenir suffisants, les résultats obtenus demeuraient par contre médiocres en raison des trop faibles quantités d'eaux usées acheminées aux stations.

Au delà des priorités financières mises en application après 1964, cette situation résultait également d'une tendance historique et technico-administrative française à séparer, dans l'assainissement, la question des réseaux d'égout et celle de l'épuration, chacune étant devenue un problème en soi.

Maintenant, pour rétablir un équilibre entre les infrastructures de collecte et de traitement, l'effort financier est davantage porté sur la construction de réseaux.

En effet, depuis 1979, le Fond National pour le Développement des Adductions d'Eau (FNDAE), conçu à l'origine pour aider les collectivités rurales dans les travaux d'adduction d'eau potable, permet de subventionner l'installation de réseaux

d'assainissement en milieu rural. De plus, les Agences de l'Eau ont commencé, en 1984, à distribuer des aides financières aux communes qui souhaitent réaliser des réseaux de collecte permettant de mieux utiliser les capacités d'épuration existantes. L'ensemble des organismes gérant les subventions de l'Etat, (DDA, DDE, Conseils généraux) allait également suivre cette politique d'incitation financière.

La construction d'un certain nombre de réseaux, sur des terrains difficiles, peut alors être aidée en priorité à condition que ces travaux contribuent à augmenter le rendement des stations d'épuration sous utilisées (34).

Les communes de Sainte-Foy-la-Grande et de Pineuilh (Département de la Gironde) avaient ainsi réalisé, entre 1981 et 1984, d'importants travaux d'assainissement dont la station d'épuration syndicale de 15.000 Eq. Hab., le collecteur commun aux deux bourgs, le raccordement des réseaux unitaires existant de Sainte-Foy-la-Grande et l'amorce du collecteur principal de Pineuilh.

3.500 personnes furent alors raccordées au réseau syndical. Mais les possibilités de nouvelles connexions restaient limitées. En effet, la nature particulière du terrain (topographie plane et nappe phréatique élevée) entraînait un coût excédentaire important dans l'installation d'un système gravitaire.

Pour le maître d'ouvrage (le Syndicat d'Adduction d'Eau Potable et d'Assainissement de Sainte-Foy-la-Grande et de Pineuilh), si assainir devait signifier obligatoirement poser du gravitaire, la situation aurait été bloquée par manque d'une capacité d'investissement suffisante.

Par ailleurs, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne souhaitait la réalisation dans les meilleurs délais des travaux d'assainissement sur ces deux communes et sur trois autres voisines afin de rentabiliser la station d'épuration déjà en service.

Le choix du réseau à dépression permit en fin de compte la signature en 1985 d'un engagement contractuel entre le maître d'ouvrage (35) et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Le premier s'engageait à effectuer les travaux le plus rapidement possible, la seconde accorda un montant d'aide financière préférentiel (36). Le réseau sous vide de Pineuilh représente le raccordement à terme de 3.500 personnes supplémentaires, ce qui portera la population raccordée à 5.450 personnes. Le réseau sous vide de Sainte-Foy-la-Grande collectera, une fois construit, les effluents de 2.000 habitants, en plus des 2.500 déjà raccordables.

Pineuilh n'est pas le seul exemple où le sous vide fut choisi et financièrement aidé parce qu'il permettait, sur un site contraignant, d'améliorer les performances d'une station

d'épuration. Saint-Macaire (Gironde) a également bénéficié d'une participation financière renforcée de l'Agence de L'Eau Adour Garonne pour l'installation d'un réseau sous vide, raccordé par une canalisation sous pression à la station d'épuration du syndicat de Fargues, Langon, Toulème. En outre, pour l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, le réseau à dépression présentait aussi l'avantage d'apporter à la station une quantité constante d'effluent sans risque de fuite et d'infiltration le long des canalisations.

3.2. Les anomalies des réseaux d'assainissement.

Une anomalie importante rencontrée sur les réseaux séparatifs est le manque d'étanchéité. Ce défaut entraîne des infiltrations d'eau parasite et des exfiltrations d'eau usée qui concourent au même résultat : une diminution de la performance du réseau.

Les sorties d'effluents vers le sol et la nappe phréatique représentent une sortie brutale de la pollution, tandis que les apports d'eaux parasites (nappe, eaux pluviales) entraînent une dilution des eaux usées collectées et un dysfonctionnement de la station d'épuration.

D'après C. Triantafillou (37), la présence des eaux parasites est aujourd'hui considérée en France comme l'anomalie la plus importante des réseaux d'assainissement. L'ampleur du problème a été mise en évidence depuis quelques années au niveau des stations d'épuration.

La présence d'eau parasite dans les égouts a plusieurs origines :

- les matériaux utilisés peuvent s'avérer de mauvaise qualité et favoriser des défauts d'étanchéité, notamment au droit des joints de raccordement des conduites ;
- les mauvais raccordements des particuliers ;
- enfin, lorsque les conditions topographiques sont peu favorables au système gravitaire (surtout le manque de pente), le temps de séjour des effluents dans les canalisations augmente et provoque, par la formation de H₂S et de dépôts, une usure précoce des canalisations.

De plus, une nappe phréatique élevée accentue les risques d'infiltration d'eau parasite dans les canalisations. Ce phénomène sensibilise aujourd'hui davantage les maîtres

d'oeuvre, les exploitants et les organismes financiers aux problèmes de conception, d'usage et d'exploitation des réseaux.

Dans cet ordre d'idée, les Agences de l'Eau accordent avec de plus en plus de difficultés des aides financières à la construction de réseau, dans des zones partiellement inondables, si un certain nombre de précautions ne sont pas prises pour assurer une étanchéité satisfaisante des canalisations et ainsi limiter l'arrivée d'eaux parasites à la station d'épuration.

Les Agences de l'Eau sont avant tout soucieuses de la résolution du problème des eaux parasites. Elles reconnaissent néanmoins l'importance des exfiltrations d'eaux usées, notamment dans les sites sensibles où des nappes phréatiques affleurantes et des eaux de surfaces peuvent alors être fortement contaminées.

Les Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) portent en revanche une attention toute particulière à cette anomalie des réseaux d'assainissement, en vertu de leur pouvoir sanitaire, qu'elles exercent avec une particulière vigilance dans les zones de baignade.

3.3. Des sites viabilisés difficilement "raccordables" aux stations d'épuration existantes.

La construction des réseaux de collecte et la disparition des anomalies sur les égouts existants sont effectivement indispensables à l'amélioration des rendements d'épuration. En règle générale, une station d'épuration pose en soi peu de problèmes techniques. Son manque d'efficacité provient, dans la plupart des cas, de la nature des effluents qui y sont acheminés. Aussi le surdimensionnement de ces stations ou l'inadéquation de certains procédés physico-chimiques révèlent avant tout l'absence de concertation entre les projeteurs des infrastructures de transport des eaux usées et les projeteurs en épuration.

Mais le raccordement à une station n'est pas toujours possible, surtout pour des collectivités particulières comme les campings, les marinas et autres centres de loisirs situés généralement en dehors des zones pouvant être desservies par des égouts.

Des dispositifs de traitement des eaux, plus appropriés, financièrement et techniquement moins lourds (le lagunage par exemple) doivent être mis en place. Or leur efficacité dépendra de la régularité quantitative et qualitative de l'effluent.

Là encore, le procédé sous vide, grâce à son étanchéité et au transport rapide des eaux usées, favorise l'installation de ces dispositifs. A Hourtin, Biscarosse et Gensac (Gironde), les réseaux pneumatiques construits autorisèrent l'établissement dans de bonnes conditions d'une station de traitement sous forme de lagunage à Gensac et d'une station de prétraitement avec épandage à Hourtin et Biscarosse. Le fait d'avoir un système d'assainissement efficace sur la totalité du cycle de l'effluent (collecte, transport et traitement) est d'autant plus important que les collectivités sont situées dans des zones écologiquement sensibles et soumises à une protection spéciale.

4. L'émergence de la sensibilité aux problèmes d'environnement.

L'émergence des problèmes d'environnement résulte de la conjonction de deux phénomènes : l'apparition d'une demande de qualité de l'environnement et une augmentation importante, à partir des années 1960, de pollutions et de nuisances de toutes sortes.

4.1. L'apparition d'une demande de qualité de l'environnement.

Selon R. Prud'Homme (38), la demande de qualité de l'environnement s'est manifestée de deux façons :

- l'augmentation de la quantité d'informations relatives à l'environnement, diffusées dans les réseaux médiatiques traditionnels, attira l'attention d'un certain nombre de personnes sur les problèmes de dégradation de l'environnement (39).
- la création de nombreuses associations de défense de l'environnement avait favorisé une multiplication des plaintes adressées aux responsables politiques ou administratifs. Souvent mobilisées efficacement contre les pollueurs réels ou potentiels, les associations ont certainement été le véhicule d'une "conscience écologique" présente aujourd'hui tant chez les responsables administratifs et politiques que chez les simples usagers (40).

4.2. L'augmentation de la pollution.

Trois facteurs révélaient alors une dégradation importante des écosystèmes :

- plusieurs d'indicateurs physico-chimiques (teneur en monoxyde de carbone, en dioxyde de soufre, DBO, DCO, Décibels) affichaient une pollution "tranquille" mais quasi générale des milieux naturels.
- des événements accidentels importants (Minamata, l'Amoco Cadiz) et diffus (déversements de substances toxiques dans les petites rivières généralement appréciées des pêcheurs, par exemple) laissaient entrevoir des conséquences catastrophiques pour la faune et la flore.
- la prise de conscience de la vulnérabilité et du caractère non renouvelable de certaines richesses naturelles avait fait augmenter l'importance relative des phénomènes de pollution et de nuisance.

4.3. La mise en oeuvre des politiques adéquates.

La nécessaire réduction des pollutions et des gaspillages des ressources naturelles s'est traduite dans beaucoup de pays, dont la France, par la création de véritables politiques de protection et de gestion de l'environnement. Sur le plan judiciaire, mais surtout d'un point de vue législatif et exécutif, des efforts importants ont été réalisés. Des lois, cadres ou spécifiques, ont été votées à la fin des années 1960 et dans les années 1970 (41). Les gouvernements, en créant leur ministère de l'environnement, ou en élargissant les attributions d'autres ministères, ont alors pris en charge la défense de l'environnement (42).

4.4. Le cas de l'eau.

La création en 1974 des Agences de l'Eau (43), établissements publics dotés d'une autonomie financière et placés sous la tutelle du Ministère de l'Environnement, a été en France une des premières actions concrètes d'une politique de gestion de la qualité des

eaux. La mise en place d'un parc de stations d'épuration important s'avérerait nécessaire pour limiter la pollution des eaux de surface et préserver, dans certaines zones écologiques sensibles (littoral, marais, lacs), la richesse du milieu aquatique.

La volonté des Agences de l'Eau de mieux utiliser les capacités d'épuration existantes, donc d'aider à la construction de réseaux, implique aujourd'hui une meilleure protection des nappes phréatiques. En effet, le manque d'étanchéité des réseaux gravitaires, installés sur des sites où la nappe phréatique est haute, a généralement entraîné une destruction de sa qualité bactériologique.

Cette pollution des eaux souterraines par les effluents a deux conséquences :

- des risques de contamination importants lorsque la nappe est la seule source d'eau potable ;
- une pollution des eaux de surface voisines.

Or, aux objectifs de qualité des cours d'eau, concrétisés maintenant par des cartes départementales dont la publication est pratiquement achevée en 1990, sont venus s'ajouter la protection ou la reconquête des nappes souterraines utilisées pour l'alimentation en eau et l'amélioration de la qualité des plages. Ces types d'objectifs sont en définitive lourds d'exigences en matière de qualité de l'assainissement (44).

4.4.1. La nappe : une source d'eau potable.

Lorsque l'eau potable est directement produite au niveau des eaux souterraines, la fixation des périmètres de pollution (périmètre immédiat, périmètre rapproché, périmètre éloigné) (45) ne suffit pas toujours à la protection de la nappe phréatique, surtout si celle-ci est caractérisée par un niveau haut constant.

La maîtrise des droits du sol, notamment par l'intermédiaire des documents d'urbanismes (en France POS, SDAU, etc.), n'est pas non plus un bon critère de préservation car une fois le réseau d'égouts installé, il est généralement difficile de s'assurer d'une étanchéité satisfaisante et durable des canalisations. La protection de la nappe sera pourtant impérative puisque les pollutions y demeurent beaucoup plus longtemps que dans les rivières. En effet, les vitesses d'écoulement sont 100 à 1.000 fois plus faibles et les teneurs en oxygène trop réduites pour éliminer les matières organiques par auto-épuration.

La contamination de la nappe entraîne alors un coût excédentaire dans la production d'eau potable : le traitement de l'eau prélevée sera effectivement devenu indispensable

ou bien, si la qualité recherchée ne peut être obtenue, il faudra créer des transferts de production, à plus ou moins longue distance. C'est d'ailleurs en voulant améliorer la qualité de la nappe phréatique, sa seule source d'eau potable, que la ville de Westmoreland (Tennessee) obtint en 1974 une aide financière de l'EPA pour construire un réseau d'assainissement par dépression d'environ 25 km desservant l'ensemble de la ville.

Par ailleurs, la commune de Saint-Macaire (Gironde), avant l'installation de son réseau sous vide, était uniquement équipée de systèmes d'assainissement individuels. Or la DDASS refusait systématiquement son accord pour l'installation de nouvelles fosses en raison de la vulnérabilité de la nappe phréatique proche de la surface du sol. La mise en place du réseau sous vide, en supprimant les systèmes d'assainissement autonome existants, permit à la collectivité d'entreprendre des projets immobiliers car en conformité avec les exigences sanitaires de l'administration.

4.4.2. Une pollution des eaux de surface voisines.

L'écoulement des eaux souterraines dans l'aquifère des alluvions peut s'effectuer dans trois directions traduites par la pente de la surface piézométrique :

- écoulement souterrain vers la rivière, avec drainage de l'aquifère par le cours d'eau ;
- écoulement souterrain de la rivière vers la nappe ;
- écoulement souterrain parallèle à la rivière (exceptionnel).

En général, l'écoulement se fait de la nappe vers la rivière, compte tenu des pentes naturelles.

La station d'épuration, en limitant les rejets directs des effluents dans les eaux de surface, peut donc ne pas suffire pour protéger le milieu aquatique. La nappe phréatique polluée risque en fait de contaminer l'eau de surface.

Pour les zones en bordure d'eau, dont certaines possèdent des écosystèmes protégés en raison de la richesse et de la vulnérabilité de leur biotope, l'installation d'une station d'épuration des eaux usées doit en général s'accompagner d'un réseau d'assainissement d'une étanchéité parfaite. Or ces espaces sont très fragiles car ils supportent en plus une importante activité touristique.

Le lac d'Hourtin (Gironde), avec 7.000 ha de superficie, est un milieu naturel d'un intérêt scientifique tant pour la flore que pour la faune qu'il renferme. Ce lac, comme un certain nombre de niches écologiques, est relativement fragile, une détérioration de la qualité de l'eau pouvant conduire à des déséquilibres importants des écosystèmes. C'est d'ailleurs un site protégé qui fait l'objet d'une surveillance particulière de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

En 1985, la commune d'Hourtin décide de créer une zone de loisirs au bord du lac, étant donné l'intérêt touristique, donc financier, de l'endroit. Mais la présence d'une nappe phréatique élevée, s'écoulant directement dans les eaux du lac laissait envisager deux difficultés majeures dans l'installation d'un réseau gravitaire, la solution de l'assainissement autonome ayant été d'emblée refusée par la DDASS et l'Agence de l'Eau :

- la pose des canalisations aurait engendré un coût important en raison du rabattement de la nappe à effectuer ;
- il n'était pas évident de pouvoir réaliser un réseau traditionnel avec une étanchéité satisfaisante et surtout durable.

Néanmoins, la construction de la base de loisirs a été possible parce que le maître d'oeuvre proposa, en accord avec la DDASS et l'Agence de l'Eau, un assainissement par dépression. La commune put mener à bien son projet d'aménagement, l'Agence de l'Eau était quant à elle satisfaite des chances de préservation du milieu aquatique.

D'après B. Barraqué et alii (46), les nouvelles façons d'assainir sont un exemple parmi d'autres de l'émergence des thèmes environnementaux. Mais un phénomène leur paraît significatif dans le domaine de l'eau : la modernisation des politiques de santé publique en politiques d'environnement a consisté à vouloir remplacer des normes de moyens par des normes d'objectifs. Ce passage reste néanmoins difficile parce qu'il implique de nouvelles formes d'articulation entre le technique, le politique et le juridique ; il suppose aussi une motivation forte et durable de la part des acteurs locaux et centraux concernés. Ainsi, la prise de conscience de la dégradation des ressources, malgré les objectifs de reconquête de qualité affichés par la loi sur l'eau de 1964, n'a pas abouti aux mêmes progrès dans le domaine de l'assainissement et de l'épuration, sans doute parce que les risques et inconvénients de pollution sont restés longtemps très diffus. Par ailleurs, la diminution des capacités financières d'investissement des collectivités locales et de l'Etat (voir paragraphe 5 suivant) s'est traduite, en général, par une réduction des objectifs

minimisant les coûts d'investissement. Néanmoins, la volonté d'atteindre les objectifs de protection du milieu a conduit à des changements techniques et réglementaires, voire à des innovations (voir paragraphe 6 de ce chapitre), dont certains correspondent à des initiatives ponctuelles.

Les potentialités de développement du réseau en dépression, dans les régions à environnement sensible et/ou protégé, seront alors dépendantes de deux facteurs : un risque d'augmentation tangible des nuisances ou des pollutions et la capacité des maîtres d'oeuvre et des autres acteurs de l'assainissement à concevoir, construire et gérer des techniques appropriées.

Il reste à savoir malgré tout si les exigences des différentes administrations, en matière de protection de l'environnement, sont réellement en rapport avec les capacités financières d'investissement des collectivités locales. Ainsi à Saint-Macaire (Gironde), il a fallu toute la persuasion de la DASS et de l'Agence de l'Eau pour réorienter le choix de cette collectivité vers un système en réseau, le pneumatique, garantissant une étanchéité satisfaisante et durable.

5. Une baisse des capacités financières d'investissement.

La situation économique des collectivités locales et de l'ensemble des organismes participant au financement des réseaux d'assainissement formerait en fait un quatrième facteur favorable à la diffusion du système pneumatique. Néanmoins, il convient d'être relativement prudent dans la formulation de cette hypothèse. En effet, un coût d'investissement plus faible que le gravitaire ne suffit pas toujours pour que le maître d'oeuvre choisisse le réseau sous vide. D'autres facteurs interviennent dans la prise de décision. La rationalité des choix, dans le domaine de l'assainissement, n'est pas simplement de nature financière.

Aujourd'hui, les capacités d'investissement dans le domaine de l'assainissement ont effectivement tendance à diminuer, pour au moins deux raisons :

- l'amélioration de la performance de la dépollution suppose un effort important, non pas dans la construction de stations d'épuration, mais essentiellement dans la mise en place de réseaux de collecte. Or, il en coûte le plus souvent trois à quatre

fois plus cher pour transporter les effluents que pour les épurer, notamment dans les secteurs difficiles (sols de mauvaise qualité, faible densité de l'urbanisation). L'investissement financier pour la pose des égouts s'avère, par conséquent, relativement lourd pour les collectivités locales sous-équipées.

- Par ailleurs, les sources de financement des investissements en assainissement deviennent actuellement moins importantes aussi bien sur le plan local et national qu'en ce qui concerne les aides octroyées par des organismes d'intérêt public.

5.1. Le mouvement de l'investissement.

5.1.1. Les subventions de l'Etat.

Avant la loi sur la décentralisation de 1982, l'Etat français subventionnait toutes les opérations liées à l'implantation de nouveaux équipements, proposés par le Préfet et approuvés par les ministères concernés (Ministère de l'Agriculture pour les travaux d'assainissement en zone rurale, et Ministère de l'Intérieur pour les communes urbaines). Le montant des subventions couvrait en général 20 à 50% du montant total des investissements TTC (47). Or, à la fin des années 1970, les difficultés économiques ont réduit la participation de l'Etat au financement des investissements de 20 à 13% (48). La loi du 2 mars 1982 a créé une dotation globale d'équipement (DGE) qui se substitue aux subventions spécifiques d'investissement de l'Etat. Dotation libre d'emploi, elle est versée chaque année aux communes et départements. La mise en place de cette dotation a fait disparaître la quasi totalité des aides nationales spécifiques à l'assainissement, de sorte que la part relative des subventions de l'Etat destinées à l'assainissement a diminué (49). La participation de l'Etat au financement des travaux d'assainissement est aujourd'hui évaluée à 2,3% (contre 10% prévus en 1982).

Pour les communes rurales, le Fond National de Développement des Adductions d'Eau (FNDAE), sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture (50) et géré par les Conseils Généraux, constitue, avec les fonds propres des départements, la seule subvention spécifique permettant aux zones rurales de s'équiper en service de distribution d'eau potable et en assainissement (51). Mais le FNDAE n'a jamais disposé de ressources suffisantes puisque sa redevance reste extrêmement faible et n'a jamais suivi le taux d'augmentation du prix de la vie (52).

5.1.2. La redevance d'assainissement.

Tout service d'assainissement, quel que soit son mode d'exploitation, donne lieu à la perception d'une redevance assise sur le volume d'eau prélevé par l'usager.

Le produit de cette redevance est affecté au financement des charges du service, qui comprennent les dépenses de fonctionnement : personnel, entretien, mais aussi les intérêts des dettes contractées pour la construction. Cette redevance participe donc directement à l'autofinancement du service.

Cependant, le taux de la redevance ne peut dépasser certains niveaux imposés soit par les municipalités pour des raisons politiques, soit par l'Etat puisque le taux de la redevance doit être en conformité avec la politique générale du gouvernement en matière de prix. Cette contrainte limite en fait les capacités financières du service assainissement, surtout pour les communes les plus petites où le nombre de contribuables est réduit.

5.1.3. Le recours à l'emprunt.

80% des prêts aux collectivités locales sont consentis par la Caisse des Dépôts et Consignations, le Crédit Agricole, les Caisses d'Epargne et les Caisses d'aide à l'équipement des collectivités locales.

Avant 1980, ces prêts constituaient une incitation à investir aussi importante que les subventions en raison de leurs taux très inférieurs à ceux du marché financier et même certaines années, inférieurs aux taux d'inflation (53).

Depuis quelques années, la réorientation de l'épargne publique vers l'industrie, conformément aux directives du IX^{ème} plan, conduit à ralentir fortement les facilités accordées jusqu'alors à l'équipement collectif et aux collectivités locales. Cette évolution a entraîné une limitation des volumes d'emprunt à taux privilégié pour les collectivités locales. Ainsi, en 1984, sur les 16,3 milliards de francs prêtés par les Caisses d'aide à l'équipement des collectivités locales, seuls 3,5 milliards ont été prêtés à des taux privilégiés (54). Par ailleurs, la différence entre le taux d'intérêt des emprunts "privilégié" et ceux souscrits sur le marché s'est progressivement réduite : de plus de 4 points au début de 1983, elle a été de moins de 0,25 point à partir de juin 1985 (55).

Dans ces conditions, la plupart des Comités régionaux des prêts, créés par l'article 68 de la loi du 2 mars 1985, ont défini des priorités pour l'orientation des prêts vers

certain types d'équipements. Quelques comités ont même défini des non-priorités comme les hôpitaux ou l'assainissement rural (56).

5.1.4. Les Agences de l'Eau.

Depuis 1984, les Agences de l'Eau participent financièrement à la réalisation des réseaux d'assainissement. Pour l'ensemble des 6 Agences, l'aide financière à la construction des réseaux reste néanmoins minime par rapport à la capacité totale d'investissement. De plus, cette aide se traduit souvent par des prêts (57) et non par des subventions car le blocage des prix du service d'assainissement, donc de la redevance qu'elles perçoivent, institué en juillet 1982, a restreint les possibilités financières d'intervention des Agences de l'Eau.

Ce ralentissement des aides financières pour la réalisation des réseaux d'assainissement fait donc augmenter la part du financement direct à la charge de la collectivité maître d'ouvrage.

En outre, cette politique de rigueur, mise en place par le gouvernement (blocage des prix, augmentation des taux d'intérêt des emprunts), en touchant directement et indirectement les ressources des collectivités locales, favorise la décélération de leurs dépenses et la décroissance de leurs investissements (voir tableau page suivante). Aussi, dans des zones particulières (habitat peu dense et terrain difficile), la solution du réseau gravitaire, entraînant un surcoût d'investissement, commence à ne plus être envisagée en tant que solution générale par les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'oeuvre.

Evolution des dépenses des collectivités locales

	Croissance moyenne annuelle (en volume)		
	1970-1976 en %	1977-1984 en %	1985 en %
PIB	4,1	2	1
Dépenses totales (CL)	6,6	3	1,3
Dépenses de fonctionnement	7,6	4	2,5
Dépenses d'équipement	3,6	0,2	- 1

Source : Cotten M., "la menace : les dépenses de fonctionnement vont-elles freiner le financement des équipements publics, l'exemple de la France", colloque international Comment financer les équipements publics de demain ? Université Paris IX - Dauphine, 8, 9, 10 janvier 1986.

5.2. La concurrence financière du sous vide.

Les canalisations sous vide, de faible diamètre et posées horizontalement, peuvent effectivement aboutir à une économie d'investissement relativement importante et par conséquent retenir l'attention des maîtres d'œuvre et des maîtres d'ouvrage. Mise à part leur qualité d'étanchéité appréciée dans des zones écologiquement sensibles, c'est généralement leur performance financière qui fut, pour les réseaux à dépression installés en France, le premier critère de choix influant sur la décision.

Ainsi en Gironde, où est localisée la moitié des applications sous vide, la DDA a évalué le coût des travaux en assainissement sous vide à 400 francs (1987) le mètre linéaire (bâches et centrales de vide comprises), et le coût moyen du gravitaire dans le département entre 600 et 700 francs (1987) le mètre linéaire.

Cette économie moyenne de 40% par rapport au gravitaire est spécifique aux réseaux pneumatiques girondins, compte tenu de la mauvaise qualité générale des terrains. Pour les réseaux en dépression mis en place dans les autres départements, les économies effectuées à l'investissement sont de l'ordre de 30% par rapport au coût des solutions gravitaires proposées.

L'écart de prix le plus intéressant fut par ailleurs celui établi pour le réseau sous vide construit sur la zone du Tasta de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB). Une opération immobilière importante (logements individuels pour 12.000 habitants) avait été différée sine die en raison du prix élevé du réseau gravitaire à poser.

Le terrain situé autour du lac de Bordeaux, constitué de tourbes et de vase, obligeait en effet à sceller l'ensemble des canalisations. La situation du terrain et la nature de l'urbanisation projetée nécessitaient également l'installation en une seule tranche de l'ensemble du réseau gravitaire sur la totalité de la zone du Tasta. Pourtant, il s'agissait de ne desservir que l'îlot de Villabois, premier projet de la CUB situé en extrémité du Tasta. Le coût d'investissement des canalisations gravitaires avait été évalué à 12 millions de francs H.T. environ.

La solution sous vide pouvait alors équiper localement l'îlot de Villabois et permit à la CUB de réaliser son projet d'urbanisation. Pour Villabois, l'installation du réseau par dépression se chiffra à 3,6 millions de francs H.T. (58). Cependant, la mise en place de la centrale de vide, dimensionnée pour 12 000 habitants, réglait en partie le futur assainissement de l'ensemble du Tasta. Le réseau sous vide, localement moins cher que l'option gravitaire, autorisa aussi le décalage dans le temps d'un financement lourd.

En outre, deux contrats d'agglomération, concernant l'installation de réseaux par dépression, ont été signés par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (le premier avec Saint-Macaire, Saint-Maixant, Verdélais et le Pian-sur-Garonne ; le second avec le Syndicat d'AEP et d'Assainissement de Sainte-Foy-la-Grande et de Pineuilh). Or, sous certaines conditions, le contrat d'agglomération est actuellement la seule incitation financière spécifique à la réalisation des travaux d'assainissement.

Il existe donc, dans le secteur de l'assainissement, une certaine compétition entre l'aspect écologique et l'aspect économique des besoins. Le réseau par dépression pourrait finalement représenter un compromis acceptable puisqu'il permet de répondre, dans certains cas, à un souci de protection du milieu naturel tout en assurant une efficacité du service à un coût satisfaisant.

Mais d'une façon générale, au delà du rôle de protection de l'environnement attribué au réseau, il se dessine une rupture entre les capacités de financement des collectivités locales et les exigences de qualité et d'efficacité affectées au système d'assainissement. La saturation et le vieillissement des réseaux traditionnels, leur inadaptabilité, les

handicaps techniques et financiers à l'établissement de réseaux neufs et à la rénovation/réhabilitation des égouts les plus défectueux sont autant de freins aux besoins d'aménagements parfois pressants de nombreuses collectivités.

Pour C. Triantafillou (59), ce phénomène se traduit par l'apparition de nouvelles dynamiques qui affectent le rôle des réseaux et les principes d'assainissement, tout en bouleversant les anciennes organisations du système assainissement.

Deux faits semblent aujourd'hui favoriser l'apparition de ces nouvelles dynamiques :

- + La maturation des politiques d'innovation dans les services urbains et en particulier dans le domaine de l'assainissement.
- + L'émergence d'un nouveau savoir, le "génie urbain".

L'innovation, comme le génie urbain, ne sont pas des notions évidentes. Outre un effet de mode, elles tirent leur consistance de réalités tangibles, mais aussi d'utopies et de mythes plus ou moins définis (60). Elles ne sont d'ailleurs pas nécessairement indépendantes l'une de l'autre. Pour la clarté de l'exposé, nous nous focaliserons sur leurs spécificités respectives, en montrant que les changements qu'elles induisent forment un contexte favorable à la diffusion du réseau d'assainissement par dépression.

6. La maturation des politiques de l'innovation.

L'évolution des techniques et les phénomènes de diffusion d'innovations ne sont pas spécifiques au secteur de l'assainissement.

Il aura fallu attendre une reconnaissance explicite par l'Etat de l'importance d'une politique de l'innovation dans le développement économique pour voir apparaître de nombreuses et importantes transformations dans la constitution et la gestion des équipements d'infrastructures.

Ces évolutions concernent l'ensemble des services constitués de réseaux, de sorte qu'aujourd'hui, les collectivités locales, quelles que soient leur taille et la nature de leurs besoins, mais aussi les administrations compétentes et les entreprises de services, acquièrent progressivement un nouveau savoir-faire et effectuent plus facilement qu'auparavant le choix, l'évaluation, la commercialisation ou la gestion d'un procédé innovant.

Nous allons donc présenter analytiquement l'émergence du concept de politique de l'innovation dans l'administration, l'évolution des techniques dans les réseaux urbains et les principales modifications de la filière assainissement.

6.1. La Politique d'innovation de l'Etat.

Avant les années 1970, les pouvoirs publics s'intéressaient essentiellement à susciter et à développer les capacités scientifiques du pays. Cette politique visait surtout à maîtriser le progrès scientifique. La logique de l'action gouvernementale reposait sur le postulat implicite que le développement économique découlait systématiquement des avancées scientifiques et que les entreprises pouvaient transformer spontanément les progrès de la science en produits et procédés nouveaux prêts à la commercialisation.

Il subsistait alors une grande incertitude puisque les filières aboutissant à la commercialisation de produits à partir des possibilités technologiques ne s'avéraient ni évidents ni systématiques. Or dès le début des années 70, l'administration centrale estime qu'il lui appartient aussi de promouvoir directement l'innovation.

Pour J.J. Salomon (61), c'est seulement à partir de la crise des années 70, que l'Europe commença à comprendre les limites des différentes politiques de promotion de la science stricto sensu. Le système de la recherche a alors été modifié par les conséquences de cette crise (chômage, restructurations industrielles, concurrence des nouveaux pays industrialisés), et aussi par les transformations issues de la "révolution des nouvelles technologies".

L'étude de l'OCDE, sur la politique de l'innovation en France (62) montre que cette reconnaissance explicite de l'Etat du concept d'innovation est révélateur d'une nouvelle orientation importante de la politique du gouvernement en matière de recherche.

Cette nouvelle orientation débute, selon l'OCDE, par la publication d'un livre blanc sur l'innovation en 1971. Deux étapes de l'action gouvernementale ont alors été distinguées.

* Entre 1971 et 1978, l'Etat prend toute une série de mesures démontrant l'intérêt des pouvoirs publics pour le développement de nouveaux procédés. Quelques idées sont alors développées pour encourager l'innovation et la définir comme un processus social qui dépasse la simple acquisition des connaissances et le développement du potentiel technique :

- l'innovation ne se confond pas nécessairement avec la recherche, beaucoup d'innovations n'en résultent pas ;
- les petites entreprises sont une source importante d'innovations ;
- l'un des principaux obstacles à l'innovation est d'ordre institutionnel et/ou statutaire.

* Dans un deuxième temps, à partir de 1978, la politique nationale de l'innovation acquiert une visibilité budgétaire et administrative qui se concrétise notamment par :

- la création au sein du Ministère de l'Industrie, d'une Délégation à l'Innovation et à la Technologie ;
- la création au sein du Ministère de l'Equipement d'une Délégation à la Recherche et à l'Innovation ;
- la réforme de l'ANVAR, qui, d'organisme chargé de la valorisation des résultats de la recherche publique, se voit confier une mission centrale d'aide à l'innovation. Pour la rapprocher des petites entreprises, des délégations régionales de l'ANVAR sont créées en 1982. Cette politique aura permis à l'ANVAR de consacrer, en 1988, 90% de ses aides à l'innovation aux entreprises de moins de 500 salariés et 68% aux entreprises de moins de 100 salariés (63). Ainsi, SOC et Barriquand ont obtenu de l'ANVAR un prêt à taux bonifié pour leur achat des brevets AIRVAC.

Par ailleurs, à partir des années 1980, les lieux d'accueil et d'expérimentation se développent : des laboratoires universitaires s'ouvrent au monde industriel en adaptant leur capacité de réponse aux demandes des grandes entreprises et des PME ; certaines écoles d'ingénieurs, qui n'avaient pas encore d'activité de recherche, vont se lancer dans la création de laboratoires.

Nous assistons alors, sur le plan national, à une maturation du concept de politique de l'innovation. L'innovation devient donc un champ d'études reconnu par les administrations centrales qui, progressivement apportent leur aide au développement

technologique des secteurs traditionnels et à la diffusion en leur sein de nouvelles technologies.

6.2. L'évolution des techniques dans les réseaux urbains.

Le secteur privé, mais aussi les services techniques municipaux connaissent actuellement une phase de transformation sous la poussée de nouvelles Technologies. L'informatique, la télétransmission, les automatismes avancés, avec leurs diverses applications à la conception et à la gestion des réseaux techniques représentent certainement les facteurs clefs de cette évolution.

L'informatisation des réseaux participe tout d'abord à la redéfinition des conditions économiques d'exploitation des réseaux et à la montée en puissance des contraintes de gestion. La construction de réseaux neufs n'est plus à l'ordre du jour, ou seulement de façon sectorielle (l'assainissement), voire marginale. Le problème est celui d'une intensification de l'exploitation des réseaux alors que se posent des problèmes de saturation et des problèmes de vieillissement des réseaux techniques support. Ceci confirme, d'après J. Laterrasse (64), une intégration tendancielle des différentes fonctions, et en particulier l'intégration des fonctions de production, d'exploitation, de maintenance en une fonction unique de régulation des flux.

Dès les années 70, et de façon plus intensive à partir du début des années 80, plusieurs services urbains ont été équipés de nouvelles technologies de l'information. On peut ainsi citer les réseaux RATP et RER, avec le développement des postes de commande et de contrôle centralisés : le projet de métro automatique MAGALY pour la ligne D du métro de Lyon ; l'automatisation des réseaux de production d'eau potable, le programme d'informatisation du réseau de la Compagnie de Chauffage Urbain de la ville de Paris, la gestion automatisée du réseau d'éclairage public de la ville de Paris ; les système de régulation du trafic de surface (système GERTRUDE à Bordeaux par exemple) ; les système d'aide à l'exploitation des réseaux d'autobus (notamment ceux de Strasbourg, Nancy et Grenoble)...

D'autres innovations, ont suivi cette première phase d'informatisation des réseaux urbains et commencent aujourd'hui un processus de diffusion. Ainsi, une étude récente (65) a fait ressortir que la diffusion d'automatismes avancés et de robots étaient en cours dans les services urbains, particulièrement dans le domaine de la maintenance des réseaux. Ces technologies ne se bornent pas à la transmission ou au traitement de

l'information, mais visent à la transformation des matières (nettoisement de la voirie, collecte des déchets, curage et réhabilitation des égouts).

Plus récemment encore, la mise au point et les premières expérimentations d'infrastructures urbaines industrialisables (66) s'inscrivent dans un programme de Recherche-Développement associant différents partenaires européens et débouchant sur un produit de haute technologie (67).

6.3. Le cas de l'assainissement.

En ce qui concerne l'assainissement, G. Dupuy et G. Knaebel ont bien montré dans Assainir la ville, hier et aujourd'hui (68), pourquoi la circulaire Loriferne (circulaire n° 77.284 du 22 juin 1977) avait alors été une innovation importante, et comment elle avait déstabilisé les techniciens dans le domaine des eaux, surtout avec le passage du principe de l'évacuation immédiate à celui du stockage. En effet, la plupart des techniciens, qui exercent dans le domaine de l'assainissement ont été formés dans la perspective "évacuation" et beaucoup d'entre eux ne pouvaient du jour au lendemain effectuer une reconversion dont ils ne comprenaient pas obligatoirement la nécessité.

De plus, l'attitude réservée des techniciens semblait aller dans le sens des intérêts des constructeurs de canalisations. Avec la normalisation déjà ancienne des matériels et la demande alors croissante dans les années 70 de canalisations destinées à l'évacuation immédiate des eaux pluviales en milieu urbain, l'option évacuation pouvait présenter des avantages certains pour les agents économiques du secteur de l'assainissement. Cependant, d'après G. Dupuy et G. Knaebel, la solution du stockage ne signifiait pas la disparition des équipements traditionnels (canalisations, gros collecteurs). Elle faisait simplement appel à des techniques alors nouvelles, dont la rentabilité pour les entreprises d'assainissement s'avérait à priori peu évidente.

Sur le terrain, les premiers essais de bassin de retenue conduisent à des échecs. Puis après une période d'apprentissage de la technique, le rythme des constructions s'est effectivement accéléré. Les modèles de simulation se sont multipliés aussi, visant la simulation du fonctionnement des réseaux, au-delà du simple calcul de dimensionnement.

La circulaire Loriferne représente en fait une étape importante dans l'évolution du secteur de l'assainissement puisqu'elle a en partie contribué à l'ouverture

technico-scientifique du secteur et au développement de nouvelles réflexions autour de l'assainissement.

Ainsi, l'utilisation de la télétransmission et de l'informatique a permis une gestion en temps réel des ouvrages. Située à la fois dans le domaine de l'exploitation et dans celui de la conception des réseaux, la gestion automatisée des écoulements recouvre toute une série de nouveaux moyens (télémesures, télécommandes, automatismes) qui se sont développés très rapidement depuis la fin des années 70.

Le thème de la rénovation/réhabilitation des réseaux est devenu également un fait d'actualité à partir des années 1980. A force d'inspecter les canalisations souterraines à l'occasion des études de diagnostic proposées par les Agences de l'Eau, les responsables locaux ont constaté que ces ouvrages se détérioraient plus vite qu'ils ne l'imaginaient. Face à une situation de dégradation quasi-générale des réseaux les plus anciens, des nouveaux procédés techniques de rénovation et de réhabilitation des canalisations commencent à se développer et à être utilisés par les services techniques des grandes agglomérations et par les entreprises d'exploitation (69).

Les collectivités territoriales ont toujours été maîtres d'ouvrage des équipements d'eau et d'assainissement. Cependant, leur responsabilité réelle a beaucoup varié en fonction principalement de la nature des financements utilisés pour l'investissement. Avec la décentralisation, on est passé d'un extrême à l'autre, c'est à dire d'un financement en grande partie assuré par l'Etat à un financement presque totalement pris en charge par les collectivités locales (voir paragraphe 5 de ce chapitre). Ceci a amené un changement de mentalité des communes vis-à-vis de leurs propres réseaux d'assainissement. Cette évolution a sans doute favorisé la diffusion de nouvelles techniques. En effet, jusqu'en 1982, les travaux qui bénéficiaient des subventions ont été ceux qui étaient proposés par les préfets et approuvés par le Ministère de l'Intérieur. La détermination des programmes communaux par les directives gouvernementales a été considérable, d'autant plus que l'octroi d'une subvention conditionnait jusqu'en 1976 l'accès à des prêts à taux privilégiés.

Après 1982, les moyens de l'Etat pour guider les tendances locales en assainissement diminuent considérablement. Ainsi, l'augmentation du rendement des équipements d'assainissement est devenu le thème fort des Agences de l'Eau, cela dans un double objectif : d'une part améliorer la qualité du milieu naturel, d'autre part pouvoir faire face aux difficultés financières actuelles en assainissant mieux au moindre coût, c'est-à-dire en évitant les investissements inutiles et en réduisant les coûts d'exploitation.

Les responsables locaux ayant aujourd'hui à leur charge la presque totalité des investissements deviennent alors plus conscients de l'importance de la qualité des réseaux dans la performance des équipements d'assainissement et de la nécessité d'une meilleure gestion de ces réseaux, tenant compte de leur structure physique et de leur flux hydraulique.

Une telle prise de conscience a conduit, au moins pour les collectivités les plus grandes, à une tendance à la modernisation du service d'assainissement et à une réceptivité plus importante à tout un ensemble de nouvelles techniques, de nouvelles normes et circulaires. Ainsi, pour C. Triantafillou, ce climat a favorisé une reconnaissance officielle de l'incapacité des équipements de collecte à tenir le nouveau rôle qui leur avait été attribué, c'est-à-dire assurer l'efficacité de la chaîne de dépollution dont ils font partie (70).

Cette exigence de qualité des réseaux a conduit alors à des progrès dans la construction et l'exploitation des égouts.

Dans le domaine de la construction, la mise au point de nouveaux procédés a concerné essentiellement l'étanchéité, ce qui s'est traduit par le perfectionnement des composants et des matériaux d'une part, et par l'élaboration de tests de réception d'autre part.

En ce qui concerne, la qualité des composants et matériaux, une procédure d'agrément des canalisations, instaurée en 1967, a été étendue en 1978 aux ouvrages annexes par la mise au point de joints incorporés en usines.

Quant au choix des matériaux, une diversification s'observe avec l'utilisation de composants plus légers, donc plus facile à mettre en oeuvre (PVC, grès allégés par exemple) et aussi de matériaux plus fiables comme la fonte (l'emploi de ce dernier reste encore limité aujourd'hui).

Par ailleurs, depuis la fin des années 1970, une attention croissante est portée aux tests de réception des réseaux. Les Agences de l'Eau ont joué un rôle important dans l'amélioration de ces tests et dans leur mise en oeuvre (en y subordonnant l'octroi de leur aide). Finalement, les épreuves préalables à la réception tendent à être effectuées systématiquement alors qu'elles étaient encore très rares à la fin des années 1970.

Cependant, l'ensemble de ces mesures ne constitue encore aujourd'hui qu'une tendance à l'amélioration de la performance des réseaux d'assainissement. En effet, ce sont principalement, les collectivités les plus grandes, dotées d'un service technique compétent qui ont pu jusqu'à présent bénéficier des améliorations induites par ces

nouveaux procédés. Aussi, nombre de petits réseaux continuent actuellement à être construits avec des canalisations non agréées.

De plus, il n'existe pratiquement pas en France de programme d'entretien des réseaux, avec action préventive. En général, la situation qui caractérise le service d'assainissement dans les moyennes et petites communes est une intervention sur les réseaux seulement au coup par coup, lorsque les défauts des équipements deviennent visibles. En fin de compte, si des progrès ont été réalisés pour assurer une étanchéité satisfaisante des réseaux au moment de leur construction, ils ne suffisent pas à garantir une étanchéité durable des infrastructures.

Ceci dit, en 1987, après 40 ans de politique de l'eau en France (71), les administrations centrales s'accordaient à reconnaître une tendance à la diversification des techniques. Les tentatives de mise en œuvre d'une solution unique semblent alors céder la place à la mise au point de solutions variées, aussi diversifiées que possible, et à la recherche de méthodes permettant d'orienter le choix, dans chaque cas particulier, vers la combinaison la plus appropriée. D'ailleurs dès 1985, les administrations commençaient à publier des rapports de recherche et des cahiers techniques analysant l'évolution des procédés d'assainissement et présentant des systèmes plus adaptés que le simple gravitaire aux zones littorales, de montagne et aux zones rurales à faible densité (72).

Il existe néanmoins de nombreux obstacles à ce mouvement de diversification des techniques, dont la plupart proviennent des structures organisationnelles et professionnelles existantes. On peut citer à titre d'exemples d'une part les conséquences de la gestion automatisée sur l'organisation des services d'assainissement et sur les conditions de travail des égoutiers, d'autre part, les modernisations des services d'assainissement induites par de nouvelles pratiques d'entretien préventif.

Mais, si les changements dans les pratiques professionnelles s'opèrent généralement sur une longue durée, nous venons de voir qu'une partie d'entre eux, a déjà eu lieu, notamment depuis la mise en application de la circulaire Loriferne de 1977.

De plus, le milieu des techniciens de l'assainissement n'est plus aujourd'hui ce qu'il était hier. on peut penser que le recrutement, la formation, l'attitude des techniciens, ingénieurs et projeteurs a changé du fait d'une élévation de la culture générale et scientifique qui leur est donnée avant leur entrée en profession. En parallèle, des formations spécifiques à l'innovation commencent à être proposées aux techniciens municipaux (notamment en France par le biais du Centre National de la Fonction Publique Territoriale (73)). Enfin, des financements et des animations de recherche sur

les nouvelles techniques d'infrastructures et leur évaluation ont été mis en place par certains ministères (le programme finalisé de recherche sur "l'eau dans la ville", sous la direction du Plan Urbain du Ministère de l'Équipement par exemple (74)).

Ce n'est bien évidemment pas des sessions de 2 jours sur l'innovation qui suffisent à modifier radicalement les comportements, mais le fait que les gens acceptent de les suivre montre les changements qui continuent à se produire actuellement, touchant l'ensemble de la profession.

Pour les administrations et les collectivités locales, des contraintes d'environnement et des difficultés financières endémiques constituent certainement le terreau de l'innovation puisqu'il s'agit maintenant d'assainir mieux au moindre coût. Aussi, l'objectif des entreprises de génie civil et de services est de pouvoir répondre aux exigences des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre, donc de conserver par le biais de techniques nouvelles une part de marché confortable dans leur domaine d'activités (pour le cas de l'assainissement sous dépression, voir partie IV).

Par conséquent, dans le domaine de l'assainissement, l'innovation n'est pas un phénomène isolé puisque l'ensemble de la filière technique (non seulement les réseaux, mais aussi les procédés d'épuration) connaît depuis plus d'une dizaine d'années une évolution importante due principalement à la mise au point et à l'application parfois systématique de procédés nouveaux et de nouvelles méthodes d'organisation en vue de répondre à des normes d'objectifs, à des obligations de résultats en matière d'efficacité, de rentabilité et de protection de l'environnement.

On peut alors penser, que dans ce secteur d'activités, les potentialités de développement d'un matériel innovant seraient aujourd'hui beaucoup plus importantes qu'auparavant en raison essentiellement de la formation progressive, volontaire ou obligée, des acteurs à l'évaluation et à l'utilisation de nouveaux produits.

L'évolution des techniques dans le secteur de l'assainissement est finalement caractérisée par trois phénomènes :

- Une reconnaissance du concept de politique de l'innovation, avec l'expérimentation, l'évaluation et le développement de nouvelles technologies. L'innovation devient, dans les milieux professionnels privés et publics de l'assainissement un moyen de plus en plus utilisé pour s'affranchir de contraintes économiques et autres.

- Une diversification de la filière qui permet aux collectivités de choisir au moindre coût la solution la plus appropriée à leurs besoins tout en répondant aux exigences des différentes administrations concernées.
- Enfin une complexification des procédés et des méthodes de gestion, nécessitant un personnel de plus en plus qualifié aussi bien dans les grandes que dans les petites communes. Or, si les grandes collectivités possèdent en général les moyens d'entreprendre une modernisation de leur service d'assainissement et une qualification de leur personnel, les petites communes en revanche, restent généralement démunies, faute de techniciens compétents, devant le choix de nouvelles techniques et de nouveaux savoir-faire en entretien et gestion des réseaux.

Finalement, au regard des transformations qui s'opèrent depuis plus d'une dizaine d'années dans le secteur de l'assainissement, le caractère innovant et complexe du système sous dépression devient tout à fait relatif puisque non spécifique. Le réseau sous vide n'est pas aujourd'hui la seule innovation à connaître un processus de diffusion dans le domaine de l'assainissement.

Le caractère sophistiqué de cette technique ne semble donc pas détonner avec ceux d'autres procédés récents utilisés soit pour le transport des eaux usées, soit pour leur épuration. On peut ainsi noter que le perfectionnement des pompes de relèvement et leur utilisation fréquente en assainissement font que le "gravitaire pur" devient l'exception. Autrement dit, le développement actuel du réseau en dépression s'inscrit indiscutablement dans un processus d'évolution plus général qui concerne toute la filière technique de l'assainissement.

Néanmoins, cette tendance générale à l'innovation ne suffit pas pour bien comprendre comment le processus de diffusion de l'égout pneumatique s'est progressivement constitué. En effet, au delà du rôle catalyseur des différentes transformations du secteur de l'assainissement dans le regain d'intérêt pour le réseau pneumatique, celles-ci ont surtout contribué à élargir le jeu concurrentiel du milieu industriel, grâce notamment à la diversité des techniques proposées. L'étude des acteurs (partie IV) apparaît donc fondamentale pour analyser la façon dont les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les différentes administrations et entreprises effectuent aujourd'hui leur choix parmi la variété des procédés existants.

Ainsi, on comprendrait mal pourquoi l'évolution du secteur de l'assainissement aurait à elle seule permis la diffusion du réseau sous vide alors qu'elle se traduit également par la mise au point de techniques de construction et de réhabilitation renforçant l'efficacité des réseaux gravitaires et par l'utilisation d'autres procédés pouvant concurrencer les égouts en dépression (notamment les réseaux sous pression).

7. Le réseau à dépression : un enjeu en génie urbain

Retenons comme définition du génie urbain l'approche de G. Dupuy: "actuellement, plutôt qu'un catalogue de techniques déjà mises au point, le génie urbain serait plutôt une volonté de recherche pour trouver des théories, des méthodes, des techniques communes à plusieurs types de réseaux urbains" (75). Cette mise en commun de savoirs faire techniques s'effectuerait au niveau de la conception, de la réalisation et de la gestion de ces réseaux.

C. Martinand (76) propose pour le génie urbain la définition suivante "l'art de concevoir, de réaliser et de gérer les réseaux techniques urbains". Cette définition nous paraît incomplète dans la mesure où si l'enjeu du génie urbain est une mise en commun de savoir-faire, cette notion fondamentale n'est pas retenue explicitement par l'auteur. Il s'en suit alors une ambiguïté dans le concept de génie urbain puisque la seule définition de Martinand semblerait d'une part privilégier les spécificités urbaines de chaque technique, d'autre part masquer une éventuelle diversification inter-réseau.

Quoi qu'il en soit, un certain nombre de facteurs d'évolution légitiment la volonté de donner une base scientifique solide au génie urbain :

- La crise économique oblige à porter une attention plus importante aux coûts de fonctionnement et aux coûts de gestion (voir paragraphes 5 et 6 ci-dessus) des services organisés en réseaux.
- Les évolutions technologiques, notamment celles relatives au fonctionnement et à la gestion des réseaux (voir paragraphe 6) peuvent favoriser des transferts de connaissance d'un secteur à l'autre du fait de la similitude de certains problèmes posés. Même si les cloisonnements professionnels restent très importants, le phénomène d'informatisation, d'automatisation des réseaux peut aider à mettre en

évidence des logiques de rapprochement ou d'intégration dans la conception, la réalisation et la gestion des réseaux.

- Cette crise économique, mais aussi l'évolution des techniques conduisent à des diversifications et à des redéploiements des intervenants. Par ailleurs, les professions et les métiers sont eux-mêmes en mutation.
- Un dernier facteur nous paraît également important. Il s'agit de l'interférence des réseaux dans le même espace. Ce phénomène n'est pas nouveau, mais aujourd'hui, de nombreuses collectivités sont confrontées à tout un enchevêtrement de câbles et de canalisations qui doivent être étendus selon les besoins, renouvelés et maintenus en bon état. Ils occasionnent, par leur grand nombre, de fréquentes interventions avec des travaux de terrassement d'autant plus coûteux aux collectivités qu'en général, chaque réseau est géré par un exploitant différent (77).

Ces facteurs d'évolution nous incitent finalement à souligner que le concept de génie prend une pertinence particulière par rapport aux transformations professionnelles au sens le plus large (qualification, organisation des professions, évolution des techniques, relations entre savoirs et savoir-faire ...)

Ces transformations professionnelles concourent en fait au même objectif : l'optimisation du réseau afin que celui-ci organise les relations entre différents points de l'espace ou différents acteurs, de manière sinon optimale, du moins optimisée, et ce, par rapport à une fonction centrale (production d'un service, d'une communication etc.).

En conséquence, si une approche transversale des différents réseaux est aujourd'hui possible, voire indispensable (la transversalité est la proposition fondamentale sur laquelle repose le concept de génie urbain), celle-ci concerne essentiellement les éléments liés au caractère de "machine circulatoire" des réseaux et les éléments liés au flux d'information qui permettent aux réseaux de fonctionner (et y compris d'après J. Laterrasse d'exister comme réseaux) (78).

Or, l'émergence du concept génie urbain, tel que nous l'avons défini, et les transformations professionnelles et techniques qu'elle traduit, peuvent aider à la reconnaissance du réseau à dépression dans la mesure où certains éléments liés à sa fonctionnalité non seulement ne lui sont pas spécifiques, mais surtout participent à une

évolution générale concernant l'intégration tendancielle des différentes fonctions des réseaux (fonction de production, d'exploitation, de maintenance ...) en une seule fonction de régulation des flux.

7.1. Le réseau d'assainissement par dépression : une innovation en génie urbain.

Nous avons vu (Partie II, chapitre 1) que la nature de la force utilisée pour le transport des effluents entraînait une gestion du réseau sous vide différente de celle du simple réseau gravitaire. A la gestion passive d'un réseau gravitaire, s'oppose une gestion active de la dépression pour laquelle, à certains noeuds du réseau, la force de transport dépend du fonctionnement de quelques opérateurs techniques et humains, et de leur capacité à réagir par rapport à la nature de l'information qu'ils reçoivent.

Ce principe de gestion se retrouve en fait dans les réseaux d'assainissement automatisé et dans la plupart des autres réseaux techniques, comme le réseau d'eau potable, celui d'électricité et bon nombre de réseaux de transport etc. Il repose sur une notion clé : la "régulation" qui connaît depuis peu une utilisation répandue dans le discours des ingénieurs gestionnaires des réseaux.

K. Chatzis (79) analyse son insertion dans le discours des gestionnaires comme le signe d'une évolution portant sur la nature du système géré ainsi que sur le contexte dans lequel les politiques de gestion se développent. On assiste à une double mutation : d'une part les systèmes à gérer deviennent de plus en plus complexes, d'autre part, les objectifs et les contraintes de la gestion des réseaux se multiplient.

La régulation, dans sa conception la plus large, peut être définie comme "l'ensemble des actes coordonnés avec lesquels un système assure dans le temps ses finalités en utilisant des informations concernant son état et celui de son environnement. Le système en relation constante avec son extérieur traduit ses objectifs en normes de bon fonctionnement et tente de les respecter à l'aide d'un comparateur qui l'informe sur les écarts entre son état réel et les normes établies" (80).

Pour qu'un réseau support puisse être "régulé" (contrôlable), trois conditions sont nécessaires :

- il faut qu'on dispose d'organes physiques (régulateurs) avec lesquels on peut agir sur le réseau ;

- le flux "régulé" doit être mesurable, au moins comparable avec des valeurs de référence ;
- Le cycle acquisition-transmission, traitement de l'information et transmission-exécution de l'action déclenchée doit être effectué dans un intervalle de temps le plus court possible.

En ce qui concerne le réseau d'assainissement par dépression, ces trois conditions sont satisfaites. En effet, les valves (qui déterminent non seulement l'entrée des eaux usées dans le réseau mais aussi la quantité d'air aspiré) et les pompes à vide (assurant la production de vide, c'est-à-dire la deuxième source indispensable à la production de la force de transport) constituent les principaux régulateurs du réseau.

Les quantités contrôlées sont mesurables indirectement par le temps de travail des pompes à vide et par la valeur de la dépression dans le réseau lue sur les manomètres. De plus, elles sont comparables à des valeurs de référence grâce notamment aux différentes sondes permettant le déclenchement et l'arrêt des pompes à vide. Enfin, le cycle "transmission de l'information - exécution", quoi que très simple dans un système pneumatique (l'information est physique et "concrète" : le vide; il n'y a pas de conversion en une information numérique "abstraite") est réalisé dans un intervalle de temps très court puisque cette information est le flux transporté sur lequel sont connectées les différentes sondes.

Un phénomène de régulation existe donc bien dans un égout à dépression. Néanmoins, il s'avère relativement simple dans la mesure où le réseau sous vide ne possède aucun système informatisé (aucun système de traitement d'information numérique). Il est alors possible de parler de gestion automatisée du réseau d'assainissement par dépression, comme on présente aujourd'hui la gestion automatisée d'un réseau d'assainissement pluvial ou unitaire.

Cette remarque nous conduit à préciser deux points importants :

* Le principal problème lié à la gestion d'un réseau d'eau pluvial est le caractère aléatoire de l'événement pluvieux (ce phénomène étant exclu avec un réseau en dépression puisqu'il ne collecte que les eaux usées domestiques). L'utilisation de moyens informatiques permet alors de déterminer les consignes de gestion en temps réel, à partir d'une simulation des phénomènes, dans l'objectif d'améliorer les

conditions de fonctionnement du réseau. Cette simulation nécessite un outil informatique aidant à la mesure de l'événement pluvieux, ou mieux encore, à sa prévision afin de pouvoir anticiper sur les conséquences qu'il va engendrer sur le réseau.

* Les systèmes de gestion automatisée existant actuellement dans le domaine de l'assainissement ont été élaborés d'abord pour la collecte et le transport des eaux pluviales pour lesquelles, le réseau support était déjà existant. L'automatisation de ce type de réseau est alors d'autant plus complexe que celui-ci n'a pas été conçu à l'origine pour une telle opération. En outre, ses conditions de fonctionnement sont initialement mal connues. On comprend que l'automatisation d'un réseau pluvial nécessite l'installation en parallèle d'un réseau informationnel performant afin de pallier en partie l'inadaptation de l'infrastructure. Par contre, à partir du moment où la problématique dominante devient celle de la gestion des réseaux par des processus de commande et de contrôle des systèmes faisant appel à des techniques de transmission et de traitement de l'information, le réseau pneumatique, déjà tout équipé de capteurs (les activateurs et les différentes sondes par exemple) et d'actionneurs (les valves etc.), se prête aussi bien et sans doute mieux qu'un réseau gravitaire à l'évolution de l'automatisation, car il est reconnu que les "goulots d'étranglement", les difficultés majeures pour l'automatisation des systèmes gravitaires résident en bonne partie dans la fiabilité des capteurs et des actionneurs (81).

Aussi, la gestion automatisée d'un réseau par dépression est différente de celle d'un réseau pluvial :

- Pour le réseau sous vide, il s'agit d'une automatisation mécanique "intégrée" puisque l'ensemble du système "réseau support - force de transport" a été conçu dans cet objectif. Compte tenu des réseaux pneumatiques actuels (de petite dimension et ne collectant que les eaux usées), l'outil informatique ne représente pas une nécessité.
- Pour un réseau pluvial, le système d'automatisation est ajouté à un réseau support préexistant et est informatisé.

Cette différence ne remet pas en cause le principe général de gestion automatisée dont nous proposons la définition suivante : "il y a gestion automatisée des réseaux chaque fois qu'est exécutée, par un système technologique permettant une transmission de

l'information, une mobilisation des forces, dans le but d'obtenir des conditions de fonctionnement optimisées" (82).

La classification traditionnelle des modes de gestion automatisée reste par ailleurs pertinente :

- La gestion automatisée "hors ligne", pour laquelle les consignes de gestion sont envisagées par des "simulations" effectuées en dehors de l'événement. Ces consignes sont déterminées à l'avance, elles peuvent rester fixes indépendamment de ce qui se passe en temps réel. L'événement en cours est comparé à un ensemble d'événements types construits auparavant. La comparaison donne lieu au déclenchement de la décision correspondant à l'événement type qui présente le plus grand nombre de similarités avec celui en cours. Cette gestion automatisée "statique" concerne notamment les réseaux sous vide.
- La gestion automatisée "en ligne". A chaque événement en cours, est associée une décision unique. Le système tient compte des spécificités de chaque situation. Compte tenu de la nature particulière des événements à contrôler sur un réseau pluvial (pluies orageuses, pollutions accidentelles etc.), les actions entreprises sur ce type de réseau se rapprochent plutôt de la gestion automatisée "en ligne" ou encore "dynamique".

La gestion d'un réseau gravitaire, collectant les eaux usées domestiques et ne possédant pas d'appareils mécaniques et/ou électroniques particuliers, serait alors assez différent des modes de gestion des autres réseaux d'infrastructure. En effet, son exploitation est généralement réduite à une seule fonction minimale de surveillance et de curage des canalisations. Aucune fonction n'est automatisée essentiellement parce que la seule force de pesanteur suffit logiquement à la circulation d'un flux (les effluents domestiques) à peu près régulier.

Par conséquent, si un réseau en dépression a sa place dans le champ d'investigation du génie urbain, le réseau strictement gravitaire en serait en principe exclu. L'utilisation de la seule pesanteur pour une production et une mobilisation des forces est sans doute suffisante pour obtenir dans certains cas des conditions de fonctionnement optimisées, mais elle limite les possibilités du réseau de bénéficier d'une évolution transversale des

savoir-faire, cela d'autant plus que la fonctionnalité de l'égout gravitaire est d'abord dépendante de la topographie du site d'implantation (sauf, évidemment, si l'on y intègre en complément une fonction de stockage).

L'exemple le plus significatif du décalage entre la fonctionnalité d'un système gravitaire simple et les préoccupations actuelles en génie urbain est certainement celui des infrastructures urbaines industrialisables (IUI). Le principe des IUI repose en fait sur l'existence d'une forte transversalité entre les différents réseaux puisqu'il s'agit de rassembler l'ensemble des réseaux enterrés dans une même enveloppe technique. L'objectif de cette innovation est double : la recherche d'une gestion commune et la mise en place d'un méga-réseau technique, "intégrateur".

Or le seul réseau à avoir été très vite écarté de ce projet est le réseau d'assainissement gravitaire parce que ses conditions de mise en place sont trop particulières par rapport à celles des autres réseaux. Cette situation ne remet pas en cause l'intérêt des IUI, ni n'invalide le principe du gravitaire, elle traduit d'abord une transversalité insuffisante peut être au désavantage de ce dernier.

Au delà des mythes et des réalités politiques, techniques et financières, si le génie urbain, dans sa conception présente ou à venir, conduit à la formation d'une véritable discipline, le réseau sous vide fera probablement partie du champ d'investigation. Mais déjà le fait de pouvoir associer l'assainissement par dépression aux analyses en cours sur le génie urbain permet, malgré la faiblesse actuelle des réflexions, non pas d'éliminer d'emblée la spécificité du pneumatique, mais de comprendre sa conformité à des savoirs et des savoir-faire émergeant aussi dans d'autres réseaux urbains.

7.2. Le champ du génie urbain ouvre ses frontières.

Nous venons de voir que l'exploitation du réseau sous vide est associée à une cohérence transversale concernant l'ensemble des réseaux d'infrastructures conçus à l'échelle urbaine, nationale et/ou internationale : les évolutions technologiques, les transferts de connaissance d'un secteur à un autre, la similitude de certains problèmes posés met en évidence des logiques de rapprochement dans la gestion des réseaux et dans leur conception.

Or, contrairement aux réseaux constituant le domaine standard du génie urbain (83), les nouveaux systèmes sous vide ne sont plus systématiquement associés à l'image traditionnelle de la ville :

- la technique par dépression permet parfois de poser un tout-à-l'égout dans des zones situées en périphérie des villes qui étaient avant considérées comme non "viabilisables", donc non urbaines.
- Les réseaux sous vide sont en majorité installés dans des communes qui ne seront jamais urbaines.
- Enfin, si pour les réseaux plus traditionnels (assainissement gravitaire, et autres réseaux), il se dessine des phénomènes d'interconnexion et de multiplication d'échelles, permettant de suivre et/ou de dépasser les frontières de la ville. Les égouts sous vide restent par contre des infrastructures de taille réduites, parfois présentés comme des équipements autonomes, parfois considérés comme un renfort au réseau gravitaire.

La notion d'urbain pose finalement un problème dans la théorie du génie urbain : devant le développement spatial des réseaux, le territoire urbain est devenu "exigu", aussi doit-on se référer à une échelle beaucoup plus vaste pour contourner la difficulté. Mais en tenant compte d'autres équipements (comme le réseau sous vide) ni tout à fait urbains, ni tout à fait ruraux, il s'agit alors de considérer un espace indifférencié. On arrive par conséquent au paradoxe suivant : la notion d'urbain, dans le génie urbain, semble désormais inadéquate alors que le terme génie urbain renvoie à des concepts réticulaires significatifs. Par ailleurs, on pressent que le génie urbain prend ses racines dans le territoire urbain proprement dit.

Il existerait finalement, dans le cas des réseaux, une sorte de définition mutuelle pour laquelle, historiquement, l'urbain normalisa le génie, ce dernier allant déterminer pendant longtemps ce qui est urbain et ce qui ne l'est pas. Le cas de l'assainissement est à ce titre révélateur. L'installation du tout-à-l'égout dans l'ensemble de la capitale a conduit à la normalisation du principe gravitaire. Erigé en norme technique exemplaire, le réseau gravitaire fut généralisé dans l'ensemble des modes d'urbanisation ; les maîtres de l'hygiène de la fin du XIX^{ème} siècle et du début de XX^{ème} siècle ne reconnaissant comme officiellement assainies que les villes ayant installé le tout-à-l'égout.

V. Claude rappelle que le terme génie urbain a été utilisé dès 1905 par l'AGHTM sans que celle-ci lui donne une définition précise (84). A cette époque pourtant, la ville avait un sens tant du point de vue géographique, qu'urbanistique ou social. Mais justement,

la notion de génie faisait alors défaut. S'il existait des réseaux ceux-ci s'avéraient être en cours de normalisation (assainissement, électricité, métro, téléphone etc.), dans un contexte urbain fortement déterminant. Les aménageurs avaient en effet l'intuition que les réseaux étaient avant tout reproductibles dans l'urbain et que leurs conditions de généralisation passaient d'abord par l'élaboration de normes associant éléments techniques et caractéristiques urbaines.

Il apparaît en définitive une relation d'équivalence entre les notions de réseau, d'urbain et de norme : l'urbain fait la norme, la norme est urbaine, la norme urbaine fait le réseau, le réseau est urbain. Aussi, pour l'Equipe Réseaux et Territoires, "l'urbain semble entretenir avec les réseaux des rapports de contenant à contenu : il y a de l'urbain (= le contenant borné par des frontières "physiques" et/ou administratives) où viennent s'inscrire les réseaux (= le contenu), qui de ce fait sont caractérisés comme urbains. Le génie urbain se présente dans cette perspective comme un génie qui porte sur les réseaux se déployant à l'intérieur de l'espace urbain en trois termes, génie, réseaux et urbain" (85)

A défaut d'en parler, les aménageurs mirent progressivement en place, en normalisant la conception des réseaux dans la ville, un génie pour l'urbain. En effet, "c'est à travers ce système de normes technico-économiques que le "génie" définit ce qui est l'"urbain", pour lui, et par là, il délimite son espace d'intervention en sélectionnant les réseaux/équipements qui entrent dans le champ de ses intérêts" (86).

Pour les recherches en génie urbain, la référence à l'urbain fut vite gênante, sans pour autant être jugée insurmontable. Après tout, les réseaux les plus traditionnels sont enracinés dans les villes. De plus les phénomènes de multiplication d'échelles traduisent essentiellement des interconnexions entre villes, et des extensions de lignes dans différents territoires qui ne remettent pas fondamentalement en cause l'applicabilité des normes. Mais aujourd'hui, l'idée est la suivante : certains réseaux techniques de base (eau, assainissement gravitaire, transport, énergie) créent une véritable territorialité en s'appuyant sur des normes technico-économiques de gestion (règles de centralisation, de hiérarchisation, de dimensionnement, de tarification définies à partir des propriétés techniques de ces réseaux et de la densité de l'espace urbain). Par ailleurs, ce système de normes évolue sous les effets du changement technique et de changements de nature sociologique (modification du comportement des usagers par exemple). Le champ du génie urbain se modifie également : ses limites s'ouvrent pour intégrer d'autres

réseaux/équipements ponctuels qui participent à une redéfinition des normes, des réseaux, du territoire.

L'étude du réseau sous vide, à l'origine conçu pour l'assainissement des centre-ville (voir partie I), maintenant installé dans des territoires nouveaux inaccessibles pour le gravitaire, nourrit alors directement le débat théorique sur le génie urbain :

- le réseau par dépression est automatisable. Il s'intègre donc dans l'élaboration d'un modèle technico-économique de référence, transversal par rapport aux différents types de réseaux.
- le réseau pneumatique va dans le sens d'une nouvelle définition des normes technico-économiques et de l'urbain. Il contribue alors à enrichir le champ périphérique du génie urbain.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

Contrairement aux premiers réseaux sous vide, il existe bien aujourd'hui une "rencontre" entre une technique et un besoin d'assainissement déterminé en grande partie par les six facteurs que nous venons de présenter : une viabilisation difficile des terrains, la mauvaise performance des systèmes d'assainissement, l'émergence de la sensibilité aux problèmes d'environnement, la baisse des capacités financières d'investissement, une reconnaissance de la diversification des techniques, enfin, l'élaboration d'un nouveau savoir scientifique.

Ce sont des facteurs généraux qui illustrent le contexte français de l'assainissement. Ils n'ont d'ailleurs pas tous la même valeur explicative. Si l'aspect financier paraît effectivement déterminant dans le choix du système d'assainissement à mettre en place, il est par contre difficile d'évaluer le poids respectif des autres facteurs dans le processus général de diffusion du système sous vide. Ainsi, la volonté de préserver le milieu naturel a certainement été décisif dans l'installation d'un réseau en dépression à Hourtin (Gironde). En revanche au Tasta (département de la Gironde également), la protection de l'environnement n'a pas influencé directement le choix du mode d'assainissement. De même, l'émergence d'un nouveau savoir en génie urbain n'est pas actuellement un élément explicitement reconnu dans les processus de décision. Il correspond plutôt à une évolution encore confuse des méthodes de conception et de gestion de l'ensemble des services constitués en réseau.

L'analyse du contexte actuel de l'assainissement nous incite également à nous interroger sur la nature de l'innovation pneumatique. En effet, alors que l'objet technique est resté fondamentalement le même (le principe de l'utilisation de la force atmosphérique est inchangé malgré les ajouts et substitutions d'éléments), l'innovation pneumatique actuelle diffère de celle du siècle précédant car ses conditions de mise en oeuvre se sont radicalement modifiées. Dans un environnement technique fortement marqué par le gravitaire, où tous les procédés situés en amont et en aval du transport des effluents ont été conçus et normalisés en fonction du réseau gravitaire, le rôle de l'égout sous vide, les enjeux de sa diffusion ne sont plus aujourd'hui ce qu'ils étaient hier.

L'atout des réseaux pneumatiques de Berlier et de Liernur était le principe du vase clos permettant en théorie une éradication totale des infections pathogènes. En ce qui concerne

les récents systèmes par dépression, c'est parce qu'il s'agit d'une technique fournissant un service en réseau qu'ils sont actuellement présents sur le marché de l'assainissement. Il existe maintenant une demande en réseau d'assainissement qui ne peut pas être entièrement satisfaite par les égouts gravitaires. De plus, cette demande est parfois formulée directement par les maîtres d'ouvrage eux-mêmes lorsque les exigences environnementales et sanitaires des administrations compétentes deviennent importantes.

L'étude de l'organisation en réseau du système par dépression apparaît alors indispensable afin de mieux comprendre la nature de cette innovation.

NOTES DE LA DEUXIEME PARTIE

- (1) Pour la rédaction de ce chapitre, le travail de fin d'études de C. Garnier, L'assainissement sous vide, étude technico-économique, CEMAGREF, ENTRES, Bordeaux, mai 1986 a constitué un support précieux.
- (2) La valve Transvide aspire 40 litres d'effluent par cycle d'une durée moyenne de 5 à 6 secondes. Après aspiration, le temps de retour à une dépression normale (comprise entre -0,50 et -0,70 bar) dans la conduite proche de la valve est estimé à environ 10 secondes. La valve peut donc effectuer 4 cycles à la minute, soit aspirer 160 litres par minute. Le débit moyen d'eau usée par habitant est évalué à 170 litres par jour. On comprend alors que la bache de transfert peut recevoir les effluents de plusieurs maisons (ce raisonnement est également valable pour les bâches individuelles EVAC). Cependant, vu les dimensions relativement petites de ces bâches, une valve ne pourra pas rester bloquée en position fermée trop longtemps au risque d'entraîner en quelques heures un débordement des effluents sur la voie publique. Une longue interruption du service sur l'ensemble du réseau (arrêt des pompes à vide ou de refoulement) n'est pas non plus souhaitable pour les mêmes raisons.
- (3) Ce qui est en revanche le cas pour les réseaux entièrement sous pression. Dans ces réseaux, l'organe de raccordement de l'habitation à l'égout est la pompe électrique. Il y a donc nécessité de mettre en place une pompe pour chaque maison en la branchant directement sur le réseau électrique particulier, ou bien de réaliser des raccordements collectifs avec compteur.
- (4) Pour les premiers réseaux d'assainissement sous vide installés en France, le seul système d'alarme utilisé était, au niveau de la centrale, une signalisation par voyant lumineux. Les plus récents sont désormais équipés d'une alarme téléphonique directement reliée chez l'exploitant.
- (5) Dans le système Transvide une seconde alarme existe au niveau des pompes à vide, lorsque la dépression chute en-dessous de -0,35 bar. Cette chute révèle soit une valve entièrement démontée, soit une cassure importante d'un tronçon de canalisation.
- (6) Ces quatre réseaux sont équipés par du matériel Vacuflow. Le fait d'immerger les pompes dans les cuves de stockage et de pouvoir installer celles-ci à l'extérieur de la centrale de vide entraîne des problèmes de maintenance lorsqu'il faut accéder aux appareils de pompage. Mais ce système permet à EVAC de mettre directement en place les centrales préfabriquées en mobilisant ainsi peu de moyens en génie civil sur le site.
- (7) Ces phénomènes d'infiltration et d'exfiltration sont néanmoins les symptômes d'un mauvais état, partiel ou général, du réseau et peuvent conduire à plus long terme à la nécessité de remplacer ou de réhabiliter des tronçons complets.
- (8) Pour EVAC, l'aspiration des effluents se fait en bouchon, pour SOC et Barriquand, la dépression associée à l'air atmosphérique entraîne dans les canalisations la formation de cylindre hélicoïdal creux d'effluent.

- (9) Weston Designers consultants, I/A technology assessment post construction evaluation of Westmoreland, Tennessee vacuum sewer system, EPA contract n° 68.03.3055, august 1983.
- (10) Si le flux d'air aide au transport non seulement du liquide aspiré simultanément mais aussi des effluents situés en aval, aux points bas des poches de transport, une étude réalisée par AIRVAC a néanmoins montré qu'au niveau des branchements de canalisation, seuls 80% des effluents se dirigeaient vers la centrale de vide, les 20% restants s'orientant en amont (pour un branchement à 45°). Cf. AIRVAC Division of Burton Mechanical Contractor Inc, Design manual, Rochester, Indiana 1978.
- (11) EVAC et AIRVAC considèrent qu'il est nécessaire d'avoir un vide minimum de -0,25 bar au niveau de la valve pour une aspiration acceptable puisqu'ils estiment déjà à -0,15 bar la valeur des pertes de charge dues au fonctionnement de la valve et à l'aspiration des effluents stockés dans la cuve tampon.
- (12) C. Garnier, op.cit.
- (13) AIRVAC préconise une pente minimal de 2% en terrain plat et EVAC de 3%.
- (14) Le DE varie de 90 à 160 mm pour la conception Vacuflow et de 90 à 200 mm pour la conception Transvide.
- (15) En ce qui concerne ces nouveaux réseaux pneumatiques, l'entreprise de génie civil est généralement soit SOC, soit Barriquand pour le système Transvide, et toujours SOGEA pour le système Vacuflow, c'est-à-dire les entreprises détenant l'exclusivité d'utilisation des brevets sous vide (cf. partie IV).
- (16) La Communauté Urbaine de Bordeaux et la Lyonnaise des Eaux, respectivement maître d'ouvrage et maître d'oeuvre du réseau pneumatique du Tasta ont par contre demandé à l'entreprise SOC d'installer des canalisations en polyéthylène haute densité à joints thermosoudés. Compte tenu de la nature du terrain - sol constitué de vase et enclin à des tassements différentiels - le polyéthylène, plus robuste et plus souple que le PVC présentait des conditions de résistivité plus importantes que le PVC. Le Tasta est la seule exception française, les entreprises installant systématiquement du PVC. Le polyéthylène entraîne un surcoût d'environ 50% (le prix du matériau est plus cher et nécessite des raccords électrosoudés dont le temps de pose est plus long que le simple joint collé). En Suède cependant, le polyéthylène est systématiquement employé, tandis qu'aux USA et en RFA, le PVC est préférentiellement choisi.
- (17) Ainsi, la Subdivision de l'Equipement de Ribecourt (dépt. de l'Oise), en tant que maître d'oeuvre, est confronté à de sérieux problèmes de dégradation "précoce" des réseaux d'assainissement, essentiellement due à la corrosion par le H₂S. Lors de la réhabilitation de certains tronçons, des conduites en PVC ont été installées afin de limiter l'action du H₂S sur les sections les plus sensibles.
- (18) Tornatzky et Alii, op. cit.
- (19) En soi, le réseau sous vide n'est pas une technique nouvelle puisque la première installation date de 1871 (cf. partie I). Néanmoins ce qualificatif restait dans les années 1970 pertinent dans la mesure où une majorité d'acteurs de l'assainissement

ne connaissaient pas encore ou découvraient à peine le pneumatique, compte tenu de son développement limité.

- (20) Cette différence s'atténue lorsque plusieurs postes de refoulement sont greffés sur les canalisations gravitaires.
- (21) Ce constat a été établi, non pas à partir de plusieurs enquêtes exhaustives, mais en s'appuyant sur un ensemble de documents réalisés par des administrations étrangères et par différents bureaux d'études étrangers spécialisés en assainissement. Voir en bibliographie, la rubrique "réseaux d'assainissement par dépression". Notons également que l'écart à l'investissement entre le gravitaire et le sous vide, en faveur de ce dernier, se retrouve pour l'ensemble des applications étrangères, quels que soient le pays concerné et le type de matériel utilisé.
- (22) G. Dupuy, G. Knaebel, op. cit.
- (23) Op. cit.. Les auteurs précisent, qu'avant 1970, 80% des réseaux sont construits en unitaire ou deviennent à l'usage unitaires. Par ailleurs, ils estiment que le caractère séparatif des réseaux installés dans les villes nouvelles est simplement un argument en faveur des bassins de retenue. Les branchements mal contrôlés font que ces réseaux séparatifs deviennent rapidement des réseaux plus ou moins unitaires.
- (24) Ta Tu Thuy, "L'alternatif en assainissement urbain", Les Annales de la Recherche Urbaine, n° 30, avril 1986.
- (25) C. Triantafillou, La dégradation et la réhabilitation des réseaux d'assainissement : France, Angleterre, Etats-Unis, Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, LATTS, décembre 1987.
- (26) Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie, L'état de l'équipement des collectivités en matière d'assainissement, activités 1979, mars 1983.
- (27) La réglementation française détermine la quantité de pollution journalière à prendre en compte pour chaque habitant. Elle est appelée l'équivalent-habitant (Eq.-Hab.). Elle est de 90 grammes de matières en suspension (MES), de 57 grammes de matières oxydables (MO), de 15 grammes d'azote (organique et ammoniacal) et de 4 grammes de phosphore total.
- (28) Le rendement moyen d'une station d'épuration est calculé à partir du taux de pollution entrante et du taux de pollution éliminée.
- (29) Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie, L'état de l'équipement des collectivités en matière d'assainissement, activités 1980-1981, janvier 1984.
- (30) Ministère de l'Environnement, Etat de l'assainissement de 1981 à 1985, février 1987.
- (31) Les 24 millions d'Eq. Hab. correspondant aux 41% des 58,5 millions d'Eq. Hab.
- (32) Propos recueillis par F. Degert, "La bataille de l'assainissement", Vie Publique, juillet-août 1987.

- (33) B. Godfroy, op. cit.. Ce type d'estimation exclut les travaux de renouvellement des réseaux anciens, difficilement appréciables globalement à l'échelle du pays.
- (34) Le surdimensionnement des stations d'épuration est une notion très relative puisqu'elles ont été construites généralement en fonction de la population raccordable et non en fonction de la population déjà branchée sur un égout.
- (35) L'engagement contractuel établi est un contrat d'agglomération entre l'Agence de l'Eau et une seule collectivité (Pineuilh) comme interlocuteur.
- (36) La durée du contrat d'agglomération est de 3 à 5 ans. Dans le cadre de ce contrat, l'Agence de l'Eau s'engage à verser une avance remboursable sur 10 ans à 0.5% d'intérêt par an sur la base suivante :
- 2.600 F H.T. par habitant x 35% (les 3 à 5 premières années) ;
 - 3.640 F H.T. par habitant x 15% (au delà de 5 ans si non renouvellement du contrat).
- (37) C. Triantafillou, op. cit.
- (38) R. Prud'Homme, Le ménagement de la nature, des politiques contre la pollution, Paris, Dunod, 1980.
- (39) Le succès de certains ouvrages "grand public", comme La socialisation de la nature de P. Saint Marc, Stock, 1971 ; et de quelques émissions de télévision dont "La France défigurée" réalisée par M. Péricard ont largement contribué à l'émergence de cette demande de qualité de l'environnement.
- (40) Au moins dans le domaine de l'assainissement, cette "conscience politique", même si personne ne la conteste, ne rationalise pas pour autant les décisions. D'autres intérêts, économiques et politiques, sont en jeu.
- (41) En France, il s'agit surtout de la loi sur l'eau de 1964, de la loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1975 et de celle relative à l'élimination et à la récupération des déchets du 15 juillet 1975.
- (42) Le Ministère de l'Environnement Français a été créé en 1971.
- (43) Rappelons qu'en 1974 les agences se dénommaient "Agence Financière de Bassin", voir note (7) de l'introduction générale.
- (44) Voir B. Godfroy, op. cit.
- (45) Par rapport au point de forage, le périmètre immédiat a un diamètre de 30 à 60m et est en général clôturé. Le périmètre rapproché (60 à 200m de diamètre) interdit les constructions et autres activités à l'exception des pâturages ou des cultures nécessitant des engrais en quantité limitée. Dans le périmètre éloigné (100 à 500m, selon la géologie du terrain), les rejets sont réglementés.
- (46) B. Barraqué, C. Beyeler, N. Touzé, Normes et choix techniques dans les domaines de l'eau, de l'assainissement et des déchets : collectivités locales, Etats, ingénieurs, CNRS, PIREN, LATTS, Equipe Réseaux et Territoires, juin 1989.
- (47) C. Triantafillou, op. cit.

- (48) op.cit.
- (49) La Dotation Globale d'Equipement pour 1989 s'élève à 1,4 milliards de francs pour les départements et à 2,7 milliards de francs pour les communes. Les communes et groupements de communes dont la population est au moins égale à 2001 habitants ont reçu 1.871,6 millions de francs (soit une augmentation de 6,86% par rapport à la DGE de 1988) ; les communes et groupements de communes dont la population n'excède pas 2000 habitants, ont obtenu 902,2 millions de francs (soit une augmentation de 2,09 %). Par elle-même, la DGE n'a apporté aucune ressource nouvelle puisque son montant initial résulte uniquement du regroupement des crédits correspondant aux subventions spécifiques supprimées.
- (50) Le FNDAE n'accorde que des subventions en capital. Il est alimenté pour 60% par un prélèvement sur les paris sur les courses de chevaux et par 40% par une redevance perçue sur toutes les ventes d'eau potable (6,5 cts par m³ de 1975 à 1985 ; 7,5 cts/m³ en 1986 ; 8,5 cts/m³ en 1987 et 9;5 cts/m³ en 1990).
- (51) Le FNDAE subventionne les travaux d'assainissement seulement depuis 1979.
- (52) Voir note (50) et les actes du colloque "L'eau, enjeu du XXI^{ème} siècle", Journées Nationales de l'Eau, Paris, Palais des Congrès, 10 et 11 mai 1990.
- (53) Voir Loriferne (sous la direction de) 40 ans de politique de l'eau en France, Paris, Economica, 1987.
- (54) J.C. Douence, L'action économique locale, décentralisation ou recentralisation ?, Paris, Economica, 1988.
- (55) Voir M. Cotten, "La menace : les dépenses de fonctionnement vont-elles freiner le financement des équipements publics ?", colloque international Comment financer les équipements publics de demain ?, Université Paris IX - Dauphine, 8, 9, 10 janvier 1986.
- (56) J.C. Douence, op. cit.
- (57) Ces prêts sont néanmoins avantageux, ainsi ceux distribués par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne sont en général à très faible intérêt et remboursables sur 10 ans.
- (58) Les canalisations utilisées au Tasta sont en polyéthylène à joints thermosoudés. Le coût d'investissement de ce réseau sous vide fut alors plus important que celui d'un réseau pneumatique de même taille, mais avec des canalisations PVC à joints collés, voir la note 16 de cette partie.
- (59) C.Triantafillou, op. cit.
- (60) Voir notamment G. Dupuy, "Le génie Urbain : mythe et réalité", Trois conférences à Barcelone, LATTS, 1988 ; M. Callon, B. Latour, "Comment suivre les innovations, clefs pour l'analyse socio-technique", Prospective et santé, octobre 1985.
- (61) J.J. Salomon, "Les politiques d'innovation en Europe", Futuribles, n°123, mai 1989.

- (62) OCDE, la politique d'innovation en France, Paris, Economica, 1986.
- (63) A.Y. Portnoff, "Henri Guillaume : l'innovation redevient l'actualité", Science et Technologie, n°19, octobre 1989.
- (64) J. Laterrasse, "Evolution des réseaux et nouvelles technologies de l'information", Séminaire Génie Urbain, LATTTS, Plan Urbain, ESIEE, Noisy le Grand, 27 et 28 avril 1988.
- (65) J.C Mathio, L'utilisation de robots et d'automatismes avancés en Génie Urbain, IUP, Réseaux et Territoires, 1986.
- (66) Le principe des infrastructures urbaines industrialisables consistent à réunir des réseaux techniques enterrés - eau, gaz, électricité, chaleur, télécommunications - dans la même enveloppe technique. Les composants restent eux-mêmes inchangés mais le produit final innove par l'arrangement des ces éléments, leur regroupement et surtout par la conception des méthodes nouvelles pour la mise en œuvre et la gestion des réseaux techniques concernés.
- (67) Le projet des infrastructures urbaines industrialisables (IUI), fort de son label EUREKA, possède une dimension européenne puisque l'ambition de ce programme est de promouvoir dans les domaines de haute technologie un réseau d'alliance afin de rendre l'industrie de pointe européenne compétitive sur le marché mondial.
- (68) G. Dupuy, G. Knaebel, op. cit.
- (69) En Angleterre, les interventions sur le mode d'utilisation et sur la nature physique des réseaux d'assainissement constituent un mouvement beaucoup plus développé qu'en France parce que la réhabilitation représente la réponse fondamentale anglaise face à la détérioration des réseaux. Un programme d'actions de réhabilitation a été mis au point par le gouvernement central, proposant une grille de résolutions techniques systématiques et économiques des problèmes posés. Cette action a favorisé la création d'un ensemble d'entreprises spécialisées dans l'inspection et la réhabilitation des canalisations. Voir notamment la thèse de C. Triantafillou, op.cit.
- (70) C.Triantafillou, op.cit.
- (71) Loriferne (sous la direction de), op.cit.
- (72) Pour n'en citer que deux :
 . Agence de l'Eau Artois-Picardie, Services Techniques de l'Urbanisme, CETE, Alternatives à l'assainissement gravitaire, novembre 1985.
 . D. Faudry, L'évolution des Techniques de l'eau dans la ville, Université des Sciences Sociales de Grenoble. Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, Plan Urbain, mai 1985.
- (73) Anciennement Centre de Formation du Personnel Communal (CFPC).
- (74) Le programme de recherche "l'eau dans la ville" a initié, depuis son élaboration en 1983, 46 recherches et 32 expérimentations. Les sommes mise en jeu sont importantes : 31,2 MF dont 18,8 MF ayant pour origine les différents partenaires

du programme. Un premier bilan des recherches a été présenté lors d'un colloque organisé par le Plan Urbain : l'eau dans la ville, le déficit de l'innovation, Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, Ministère de l'Environnement, Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur, Paris, Maison de l'Europe, 26 et 27 novembre 1987.

- (75) G. Dupuy, "le génie urbain : mythes et réalités", op. cit.
- (76) C. Martinand, Le Génie Urbain, rapport au Ministre de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, Paris, La Documentation Française, juin 1986.
- (77) Dans ce contexte, le développement des infrastructures urbaines industrialisables (voir paragraphe 6, chapitre 2 de cette partie) est significatif d'une tentative de rationalisation de la gestion de ces différents réseaux, ceci malgré des problèmes techniques et juridiques encore non résolus, et une réelle méfiance des gestionnaires à l'égard de ces systèmes.
- (78) J. Laterrasse, "Axe Fonctionnalité", LATTS, Equipe Réseaux et Territoires, note interne, s.d.
- (79) K. Chatzis, Etude des flux informationnels dans les réseaux, LATTS, rapport interne, 1988.
- (80) K. Chatzis, op. cit..
- (81) Les contraintes des capteurs utilisés pour l'automatisation des réseaux d'assainissement pluviaux sont :
 - l'humidité qui règne dans les égouts. Elle peut provoquer des condensations dans le boîtier du matériel entraînant des courts-circuits au niveau des câbles de jonction ou d'alimentation.
 - La nature de l'eau perturbe également les capteurs immergés notamment avec des dépôts. C'est en particulier le cas de nombreuses sondes dont le nettoyage doit être effectué régulièrement afin d'éviter une "dérive" déplaçant le zéro des mesures. La surveillance des capteurs immergés doit être constante, les dispositifs de nettoyage automatique n'étant pas toujours efficaces.

Quant aux actionneurs, ils doivent être conçus pour résister :

- à l'immersion dans l'eau;
- à l'humidité ambiante;
- aux écarts de température;
- à l'ambiance corrosive;
- aux surtensions d'alimentation;
- à un fonctionnement très intermittent, l'intermittance pouvant durer quelques fois plusieurs semaines.

Cf F. Valiron (sous la direction de), Gestion des eaux, tome III, automatisation, informatisation, télégestion, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1988.

- (82) Notons que cette définition n'est nullement spécifique aux réseaux d'assainissement.

- (83) Le domaine standard du génie urbain semble être constitué par les réseaux suivants :
- l'assainissement (gravitaire) ;
 - l'eau ;
 - la collecte et le traitement des déchets ;
 - la chaleur et l'énergie ;
 - la circulation, les transport urbains et la voirie ;
 - les télécommunications.
- (84) V. Claude, "Le génie urbain en 1905", Séminaire Génie Urbain, LATTS, Plan Urbain, Noisy-le-Grand, ESIEE, 27 et 28 avril 1988.
- (85) Equipe Réseaux et Territoires, Génie Urbain : quelques réflexions pour contribuer à la définition d'un programme de recherche, LATTS, ENPC, Université Paris Val-de-Marne, document interne, s.d..
- (86) Equipe Réseaux et Territoires, op. cit.

TROISIEME PARTIE

UNE APPROCHE TERRITORIALE DE L'ASSAINISSEMENT PAR DEPRESSION : L'ANALYSE DES RAPPORTS RESEAU-TERRITOIRE

INTRODUCTION DE LA TROISIEME PARTIE

Nous avons vu dans la deuxième partie que la nature particulière de la force de transport mise en oeuvre dans un procédé sous vide entraîne une possibilité de régulation qui est déterminée aussi bien par les centres de production de cette force (centrale de vide et bâches de transfert), que par leurs différents liens (conduites sous vide).

Par ailleurs, l'égout en dépression connaît aujourd'hui un regain d'intérêt dû à sa structure en réseau, qui lui permet d'assainir des zones difficiles, voire inaccessibles avec des canalisations gravitaires. L'analyse du contexte favorable à la diffusion du procédé sous vide (partie II) laisse alors supposer des différences entre la desserte d'un territoire par un réseau pneumatique et celle effectuée au moyen d'un réseau gravitaire. En outre, certaines recherches ont montré que la desserte d'un territoire par un réseau comporte de nombreuses variantes : desserte minimum, desserte avec possibilité de circuit, desserte centralisée etc (1).

Nous allons donc réaliser dans cette troisième partie une évaluation globale des performances du réseau sous vide, non plus comme technique, mais comme système territorial, c'est-à-dire comme système fournissant un service à différents "points" participant d'un même territoire.

De ce point de vue, nous allons étudier successivement, avec en filigrane une comparaison avec le système d'assainissement gravitaire :

- la performance économique à l'investissement et au fonctionnement du réseau par dépression ;
- sa capacité territoriale de desserte ;
- les possibilités de régulation diachronique du système pneumatique.

CHAPITRE 1

LA MESURE DE L'INVESTISSEMENT, MYTHES ET REALITES

1. Pour une remise en cause de la notion d'alternative.

En 1985, l'Agence de l'Eau Artois-Picardie et le Service Technique de l'Urbanisme (STU) du Ministère de l'Équipement et du Logement ont publié un cahier technique consacré aux "alternatives" à l'assainissement gravitaire (2). Exceptés les WC spécifiques (chimiques, à incinération, à déshydratation et à compostage) et les systèmes d'assainissement individuels (3), cinq solutions collectives sont proposées. Les quatre premières se réfèrent à l'usage de la pression :

- les réseaux avec pompes dilacératrices, pour lesquels chaque habitation est équipée d'une pompe munie d'un broyeur, refoulant dans les canalisations un effluent pré-traité mécaniquement ;
- le système STEP (Septic Tank Effluent Pump); dans ce cas, les effluents traversent une fosse septique avant leur refoulement dans les canalisations ;
- les réseaux avec aéro-éjecteurs, dispositifs d'injection qui permettent aux eaux usées d'entrer sous pression dans les canalisations ;
- et les égouts avec postes de refoulement secondaires.
(pour une description plus détaillée de ces quatre techniques, voir la note 4).

La cinquième solution présentée est l'assainissement sous vide.

A quelques détails près (5), ces procédés sont effectivement aujourd'hui les seuls modes d'assainissement collectifs commercialisés pouvant remplacer dans certains cas le procédé gravitaire strict (6) et les systèmes individuels. Aussi, il nous paraît important d'analyser les différents aspects que recouvre la notion d'alternative technique.

L'OCDE (Organisation de Coopération pour le Développement Economique) emploie le terme de technologie alternative pour décrire de nouveaux types d'équipements ou de nouvelles formes d'organisation qui représentent une solution de remplacement viable aux technologies conventionnelles existant actuellement (7).

Cette approche générale revêt un intérêt particulier dans la mesure où elle montre bien que l'idée de l'alternative ne se justifie que par rapport à une technique (une organisation) conventionnelle souvent dominante.

En ce qui concerne l'assainissement, nous distinguons deux techniques traditionnelles, largement utilisées, de surcroît concurrentes, avec pour chacune d'entre elles un mode spécifique d'organisation du service d'assainissement : le réseau gravitaire et l'assainissement autonome.

En fait, l'alternative technologique remplace généralement une technique dominante devenue obsolète ou inefficace, elle n'est retenue que si une analyse préliminaire et l'expérience acquise laissent supposer l'inadaptation du ou des procédés conventionnels.

De ce point de vue là, le réseau sous vide serait bien une alternative au système gravitaire et à l'assainissement individuel. En effet :

- dans des zones partiellement construites, le système pneumatique remplace en général des fosses septiques souvent inefficaces lorsque la nappe phréatique est affleurante. A titre d'exemples, nous pouvons citer les réseaux à dépression installés dans la région de Queen Anne (Maryland) (8) et à Easpoint en Floride (9), où la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines, due au mauvais fonctionnement des fosses septiques a conduit les autorités compétentes à transformer les systèmes d'assainissement alors en place. En France, à Longueil Annel (Oise), il a été décidé de construire un réseau sous vide d'une part parce que les riverains avaient de sérieux problèmes avec leur fosses individuelles installées dans un terrain marécageux, d'autre part parce qu'il fallait aussi rentabiliser la station d'épuration construite par le Syndicat Intercommunal de Longueil Annel de de Thourotte (10). Enfin, en Angleterre, dans la ville de Spalding (Lincolnshire) (11) la mise en place d'un réseau à dépression permet, non pas de supprimer des systèmes autonomes défectueux mais de remplacer une collecte des effluents par un égout gravitaire dont l'état structurel

fort médiocre occasionnait de fréquentes inondations d'effluent dans les propriétés. En outre, la maintenance de ce réseau gravitaire s'avérait impossible puisque celui-ci était pratiquement inaccessible (12).

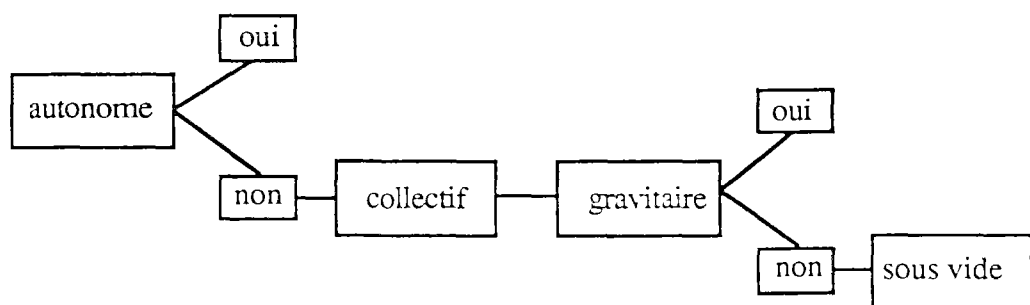
- L'égout sous vide permet de viabiliser des terrains lorsque des contraintes économiques, sanitaires ou environnementales s'opposent à l'installation de techniques traditionnelles. En France, l'exemple du réseau à dépression installé au Tasta, près de Bordeaux (Gironde) est à ce titre significatif (voir partie II, chapitre 2, paragraphe 5.2). De plus, l'égout sous vide est parfois mis en place dans des communes possédant déjà un système d'assainissement. Celui-ci est généralement constitué par des fosses septiques individuelles dont le fonctionnement relativement médiocre est toléré. Mais les administrations compétentes refusent parfois la généralisation de l'assainissement autonome proposée par les maîtres d'oeuvre dans leurs projets immobiliers, si le développement de cette technique dans des conditions topographiques qui lui sont défavorables risque d'entraîner une contamination importante des eaux souterraines et de surface. Ainsi, à Fristingen (Allemagne Fédérale), un projet d'extension de la ville dans un terrain très perméable a constitué un argument de poids pour l'installation d'un réseau sous vide dans le nouveau secteur de la ville (13). On peut également citer l'égout en dépression de Saint-Macaire (Gironde) où la DDASS a refusé à la collectivité l'installation de systèmes autonomes dans la nouvelle zone urbanisée.

Pourtant, le réseau sous vide ne semble pas présenter toutes les caractéristiques d'une véritable alternative.

* D'une part, il n'y a jamais de "confrontation" directe entre l'égout en dépression et les systèmes d'assainissement autonome :

- pour le maître d'ouvrage, lorsqu'un terrain, déjà viabilisé ou non, pose un problème sanitaire, le choix en matière d'assainissement ne se réduit jamais d'emblée au réseau par dépression et aux dispositifs autonomes. Il y a d'abord confrontation entre deux principes généraux. Le premier principe est celui de l'assainissement individuel, dont la pratique est importante dans les zones

péri-urbaines et dans les communes rurales. Il représente d'ailleurs un marché considérable puisque le Ministère de l'Agriculture estime que 30% de la population des communes rurales, soit environ neuf millions d'habitants, relèvent de cette technique d'assainissement (14). Le second principe correspond à la collecte et au transport collectif des effluents pour lesquels, le seul procédé à avoir été normalisé en France fut le réseau gravitaire (voir parties I et II). Le sous vide n'est alors une option possible que si la solution collective est retenue malgré certaines contraintes techniques, financières et environnementales défavorables à l'installation d'un simple réseau gravitaire (nous avons vu dans la partie II que la volonté de rentabiliser les stations d'épuration conduit les Agences de l'Eau à aider les maîtres d'ouvrages pour construire un égout collectif, même sur des sites difficiles). Se substituant au gravitaire, le sous vide devient alors le support de la conception en réseau de l'assainissement.



- Pour le maître d'oeuvre public, le choix ne se fait qu'entre systèmes collectifs, notamment avec la procédure d'appel d'offres. En outre, les évaluations des différentes solutions proposées se font généralement par rapport au réseau gravitaire.
- enfin, pour l'utilisateur, l'autorité municipale lui impose un raccordement à l'égout quelle que soit la nature de celui-ci, ou bien la mise en place d'une fosse et d'un lit filtrant si aucun réseau ne passe à proximité de sa propriété.

* D'autre part, le pneumatique et le gravitaire ne sont pas réellement remplaçables l'un part l'autre :

L'adjudication des marchés dans le domaine de l'assainissement (avec notamment la procédure d'appel d'offres) crée une concurrence financière entre les procédés qui laisse supposer l'existence d'une palette de réseaux relativement interchangeable, donc d'un choix possible entre ces différentes techniques, pour une situation donnée. Or, le sous vide est souvent installé dans des zones non "viabilisables" avec le seul gravitaire (voir notamment partie IV, chapitre 3, l'exemple du réseau d'assainissement de Pineuilh pour lequel il n'y a pas eu de consultation par appel d'offres, mais attribution du marché à SOC pour l'installation d'un réseau d'assainissement par dépression, en vertu de l'article 312, alinéa 7, du code des marchés publics, essentiellement parce que la mauvaise nature du terrain avait fait écarté d'emblée l'option gravitaire). A contrario, dans la majorité des cas où il n'y a aucune contrainte particulière, le réseau gravitaire reste la technique la plus facile à mettre en oeuvre. Les domaines d'application assez distincts de ces deux réseaux relativise alors l'idée d'un choix possible quelle que soit la nature du terrain.

Il ne faut pourtant pas en déduire une totale incompatibilité entre les deux techniques. Dans certains cas quelques canalisations gravitaires sont posées avec le réseau sous vide. A Caudrot et Saint-Pierre-d'Aurillac (Gironde) par exemple, plusieurs habitations sont raccordées à un petit tronçon gravitaire débouchant sur une bache de transfert afin de limiter le nombre de bâches à installer. Cette complémentarité entre la dépression et le gravitaire revêt parfois la forme d'une "interconnexion pneumatique". Ainsi le réseau gravitaire de Fossoy (Aisne) a été relié par un égout pneumatique au réseau gravitaire de Château-Thierry permettant à la station d'épuration de cette commune de traiter l'ensemble des effluents puisque Fossoy ne possède aucun centre de traitement des eaux usées (15).

En définitive, l'utilisation de la notion d'alternative pour caractériser le réseau à dépression par rapport au réseau gravitaire fait surtout référence à un événement clef dans l'histoire de l'assainissement en France : la normalisation du système gravitaire qui est alors devenu le seul principe reconnu et utilisé pour une conception et une gestion collective de l'assainissement. En prônant la généralisation du tout-à-l'égout gravitaire

dans des modes d'urbanisation différents de celui pour lequel il avait été conçu, les différentes politiques d'assainissement ont alors été élaborées en fonction d'une norme de procédé dont la validité paraissait générale. Le postulat explicite était par conséquent celui d'une applicabilité quasi-illimitée du réseau gravitaire.

Dans ces conditions, la mise au point de solutions dites alternatives au réseau gravitaire ne remettait pas en cause sa suprématie. Il s'agissait simplement de proposer, dans des situations exceptionnelles, des techniques hors-normes, mais dont l'utilisation se justifiait par des arguments technico-économiques normalisés puisque relatifs au principe gravitaire.

Le label "alternatif" correspondait finalement à une première étape dans la diversification des techniques. Il permit de légitimer occasionnellement des procédés d'assainissement, donc certains choix parfaitement fondés, que la norme gravitaire excluait d'emblée.

Ceci nous permet de présenter deux propositions qui caractérisent la notion d'alternative technologique :

- Première proposition : dans ce contexte fortement marqué par l'établissement d'une norme de procédé érigée en référence exemplaire, une technique alternative implique nécessairement un statut auxiliaire, subordonné ou appendice au réseau gravitaire. La notion d'alternative légitime au cas par cas d'autres techniques sans remettre en cause l'applicabilité de la norme.
- Deuxième proposition : un nouveau procédé d'assainissement, s'il ne représente pas directement une amélioration du principe gravitaire, est de fait défini comme une "solution alternative", ce qui renvoie finalement à la première proposition.

Aujourd'hui, les politiques d'assainissement sont davantage élaborées à partir de programmes de réhabilitations et de mise en place de nouveaux procédés d'assainissement en fonction de diverses normes de résultats (voir partie II chapitre 2). Par conséquent, ce qui est pris en compte, ce n'est plus simplement le réseau technique, mais l'ensemble du système d'assainissement.

La suprématie du principe gravitaire est remise en cause puisque ce changement dans les politiques d'assainissement suggère l'absence de lien direct entre les objectifs à atteindre et la technique à mettre en oeuvre.

Aussi, la problématique de "l'alternative au réseau gravitaire" est en partie caduque parce que la diversité des techniques d'assainissement commence à être officiellement reconnue au regard des objectifs à atteindre.

En effet, le réseau gravitaire n'est plus systématiquement assimilé à une norme lorsqu'il s'agit d'améliorer les performances du système d'assainissement sous certaines conditions. L'obligation de résultats, souvent dépendants de la nature du site à viabiliser, oblige le planificateur à justifier son choix, quelle que soit la technique retenue.

Le réseau sous vide, ne peut donc plus être considéré comme une alternative au réseau gravitaire, non seulement parce que ses domaines d'applications sont relativement différents, mais aussi en raison d'une modification des politiques d'assainissement qui tendent aujourd'hui à privilégier les normes de résultats par rapport aux normes de procédés. En d'autres termes, il n'existe plus aujourd'hui de procédés "alternatifs" au réseau gravitaire. Les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre ont à leur disposition un certain nombre de techniques qui s'avèrent plus ou moins appropriées aux objectifs visés.

Dans ces conditions, une analyse économique comparative, si elle permet toujours d'apporter des informations importantes sur les différents procédés étudiés, sera désormais insuffisante pour justifier ou comprendre le choix effectué par les différents acteurs de l'assainissement. En outre, nous pouvons nous interroger sur la pertinence des études économiques comparatives déjà réalisées entre l'égout gravitaire et le réseau à dépression dans la mesure où ce dernier y est présenté et analysé comme une solution alternative.

2. Les limites d'une étude économique comparative.

2.1. L'étude de l'Agence de l'Eau Artois Picardie et du Service Technique de l'Urbanisme : un bilan controversé.

L'Agence de l'Eau Artois-Picardie et le Service Technique de l'Urbanisme (STU) du Ministère de l'Équipement et du Logement ont réalisé un bilan comparatif du coût des diverses techniques collectives (16). Cette étude est d'ailleurs la seule à présenter un

panorama économique de l'ensemble des solutions possibles pour l'installation d'un assainissement collectif en réseau (c'est-à-dire le système gravitaire et les cinq variantes citées plus haut).

Quatre zones comptant respectivement 10, 50, 100 et 250 habitations, de densité variable - 5, 10 ou 15 mètres linéaires (ml) de canalisation principale par habitation - ont été retenues. Pour chaque réseau, un coût global par habitation (en Francs hors taxe 1981), actualisé sur 30 ans, est calculé à partir d'un coût d'investissement moyen, d'une estimation des frais annuels d'exploitation (17), d'un taux d'actualisation de 10% et d'une durée de vie des matériels de 7 ans (pour les valves), 10 ans (pour les équipements électromécaniques) et 30 ans (pour les autres équipements).

Quels que soient le nombre d'habitations et la densité de la zone étudiée, l'égout gravitaire apparaît toujours comme la solution la moins chère.

De plus, le système par dépression (18) ne devient plus avantageux que les systèmes avec aéro-éjecteurs et postes de refoulements secondaires (19) que pour seulement 250 habitations raccordées.

Un maître d'oeuvre ne connaissant pas la technique par dépression pourrait alors conclure que celle-ci est, d'un point de vue économique, la moins performante des solutions analysées.

D'ailleurs, il est précisé dans cette étude que le procédé en dépression (à noter que seul le système Vacuflow a été pris en compte) dont le coût est "élevé pour 50 habitations, moyen pour 100 habitations, faible à partir de 200 habitations n'est une solution à retenir que pour des zones de plus de 100 habitations" (20). En ne tenant compte que des coûts d'investissement, cette analyse révèle également un système sous vide de 15 à 80% plus cher que le gravitaire, selon la densité (mètre linéaire / habitation) choisie pour 100 habitations raccordées.

Pourtant, nous avons vu que les réseaux pneumatiques girondins avaient permis une économie à l'investissement d'environ 40% par rapport au gravitaire, le nombre de maisons raccordées à ces réseaux en dépression variant de 64 à 168 avec une moyenne de 100 (21). Pour les autres départements, nous retrouvons également un écart à l'investissement en faveur du sous vide.

A Tracy-le-Mont par exemple (Oise), pour 38 maisons raccordées, le sous vide, avec 565 ml (mètre linéaire) de canalisations a été évalué à 771.560 F HT, soit 20.300 F/habitation. Le même projet étudié en gravitaire avec un poste de refoulement secondaire se chiffrait à 1.113.000 F HT pour 1.660 ml de canalisation gravitaire, soit

29.300 F/habitation. Le pneumatique avait entraîné non seulement une économie de 30% par rapport au gravitaire mais également une réduction de la longueur totale du réseau (22).

Il y a manifestement incompatibilité entre les résultats de cette analyse globale théorique et les données recueillies à partir des différentes installations de réseaux sous vide en France (et aussi à l'étranger voir chapitre suivant).

En fait, une approche comparative fiable des diverses solutions collectives en assainissement n'existe pas et les deux outils actuellement disponibles - études de cas, évaluation générale - révèlent en outre les difficultés d'une telle démarche, voire son caractère non pertinent.

2.2. Les études de cas.

En ce qui concerne les réseaux sous vide français, les informations disponibles sur les coûts d'investissement montrent dans tous les cas une supériorité du sous vide sur les autres solutions proposées. Ceci est valable non seulement pour l'ensemble des réseaux installés mais aussi pour les projets non retenus (avec ces derniers néanmoins, les écarts de prix entre le sous vide et le gravitaire (23) s'avéraient plus faibles, de l'ordre de 5 à 10%).

Les entreprises commercialisant les procédés sous vide ne suggèrent une variante pneumatique aux maîtres d'oeuvre que si une étude préliminaire laisse présager une différence significative à l'investissement (24). C'est selon elles la garantie nécessaire à l'obtention du marché. Elles estiment en effet, compte tenu de la méconnaissance générale de cette technique et par conséquent de la méfiance quasi systématique des décideurs à son égard, qu'une différence de prix d'au moins 15% est un argument indispensable (25).

Un bilan des coûts d'investissement des réseaux existants ne revient finalement à n'analyser peut être que les situations économiquement les plus favorables au réseau à dépression.

2.3. L'approche comparative globale.

Dans le travail effectué par l'Agence de l'Eau et le STU, les deux paramètres retenus sont le nombre d'habitations raccordables et la densité des zones.

Or, ne ressortent pas ainsi les problèmes particuliers de mise en oeuvre (terrain plat, peu stable, nappe phréatique élevée, etc.) pour lesquels les dispositifs non conventionnels étudiés présentent finalement un intérêt économique puisque la nature du sol influe directement sur le coût d'investissement d'un réseau gravitaire (en déterminant notamment le nombre des postes de refoulement et la nature du terrassement).

Les auteurs ont d'ailleurs conscience des limites de leur analyse.

La première difficulté, et sans doute la plus importante, est alors de pouvoir codifier des variables représentant les spécificités de chaque zone. A ce titre, le cadre de référence retenu par l'Agence de Bassin et le STU est celui de l'assainissement gravitaire puisque la densité et le nombre de maisons raccordables sont les deux outils par excellence de la mesure économique des égouts traditionnels pour un site "idéal", c'est-à-dire sans contraintes topographiques particulières.

Faire abstraction des autres variables revient à vouloir évaluer différentes techniques par des instruments inadaptés, ou du moins insuffisants. On obtient de la sorte des résultats prônant la supériorité financière du système gravitaire dans la majorité des situations, y compris celles qui se distinguent dans les études de cas mentionnées plus haut.

Les deux outils sélectionnés par l'Agence de Bassin et le STU sont inutilisables dans certaines conditions. En effet, les solutions non conventionnelles peuvent, pour un même projet, faire diminuer le ratio mètre linéaire par habitation (à Tracy-le-Mont par exemple, 565 ml de canalisation sous vide ont été posés contre 1.660 ml de conduites gravitaires projetées, pour un nombre d'habitations raccordées identique).

Ce constat nous incite par conséquent à être très réservés sur la faisabilité d'une telle comparaison économique entre le gravitaire et le sous vide.

Par ailleurs, on peut évoquer ici le problème général de la comparaison d'une technique nouvelle à des techniques anciennes. En effet, les tuyaux et les autres équipements du gravitaire sont produits en très grande série au moyen de machines et de procédés largement amortis. En revanche, les éléments du réseau par dépression restent du domaine de la petite série et incluent une part des coûts de recherche et de développement. Cela revient à comparer en quelque sorte le coût d'une voiture à essence avec celui d'un véhicule électrique.

Nous pouvons néanmoins retenir que le système gravitaire se révèle moins cher à l'investissement dans la majorité des cas. Nous constatons également qu'il existe un certain nombre de situations spécifiques pour lesquelles le réseau sous dépression est économiquement plus intéressant. De ces situations, nous connaissons déjà quelques exemples illustrant sans doute les contextes les plus favorables au sous vide.

Il nous paraît alors illusoire d'adopter une méthode comparative conventionnelle pour une technique et des situations qui ne le sont pas.

Plutôt que de tenter en vain un rapprochement économique entre le réseau gravitaire et le réseau sous vide, nous essayerons d'évaluer les éléments qui traduisent la performance financière et les différents handicaps du pneumatique dans la phase de réalisation.

3. Les éléments du réseau par dépression mesurables à l'investissement.

Nous distinguons deux catégories d'éléments qui déterminent le coût d'investissement d'un réseau par dépression :

- Les composants techniques qui ne révèlent pas l'intérêt financier du sous vide, quelle que soit la nature du terrain. Ce sont la centrale de vide et les bâches de transfert, c'est-à-dire les équipements électromécaniques permettant la production de la force (vide/air) et les raccordements sur le réseau.
- Les éléments définissant la performance économique du réseau sous vide suivant les contraintes locales. Il s'agit des canalisations, donc des organes de liaison.

3.1. Les équipements électromécaniques.

Il est à peu près possible d'établir le coût élémentaire des différentes bâches de transfert (dispositif d'aspiration compris) : 12.200 F HT (1985) pour la bâche collective Vacuflow, 7.200 F HT (1985) pour la bâche individuelle Vacuflow et 10.500 F HT (1986) pour la bâche Airvac (voir annexe 3 le détail des coûts).

Par contre, ce type d'évaluation est beaucoup plus difficile en ce qui concerne la centrale de vide pour deux raisons (26) :

- il existe plusieurs variantes dans la conception de la centrale, notamment la possibilité d'enterrer les cuves à l'extérieur du bâtiment pour limiter de la sorte les travaux de génie civil (cf. partie II, chapitre 1).
- selon le terrain viabilisé, l'aspect extérieur du bâtiment ne sera pas toujours identique. Il peut même parfois être camouflé comme à Saint-Macaire, site médiéval protégé pour lequel le maître d'oeuvre a demandé de placer la centrale à l'intérieur des murailles afin de préserver l'unité architecturale du village.

Pour mesurer l'importance respective des bâches et de la centrale dans le coût total d'investissement d'un réseau sous vide, il s'est avéré indispensable d'effectuer un certain nombre de calculs préliminaires. En effet, la majorité des réseaux pneumatiques français dont la desserte est communale n'ont que les premières tranches de travaux réalisées, ce qui représente en moyenne un taux de raccordement de 30% par rapport au nombre d'habitants raccordables prévus au moment de la conception, c'est-à-dire lors du dimensionnement (cf. tableau 1). Or, un véritable bilan économique ne peut être établi qu'une fois les dernières canalisations pneumatiques prévues installées. Nous avons donc été obligés d'estimer le coût total des différents réseaux sous vide avec toutes les tranches construites (cf. annexe 3 le détail explicatif de ce calcul).

Cette analyse ne concerne pas les réseaux desservant les campings et les centres de loisirs parce que le caractère saisonnier de la population et la forme particulière d'occupation des sols (sanitaires communs par exemple) influent sur l'organisation spatiale du réseau.

Aussi, certains paramètres choisis comme le nombre d'habitants par bâche, le coût des bâches par rapport au coût total du réseau sont difficilement comparables entre une desserte communale normale et ces zones touristiques.

Les trois tableaux présentés en fin de chapitre permettent néanmoins de faire quelques remarques intéressantes : il faut relativiser l'importance de la centrale de vide dans l'investissement; par contre, les bâches de transfert apparaissent finalement comme des éléments déterminant de façon importante les coûts d'investissement.

Lors des premières tranches de travaux, la centrale induit effectivement un surcoût important : la majorité de ses composants, indispensables au fonctionnement du réseau, doit être mise en place dès le début de l'exploitation, quel que soit le nombre d'habitants raccordés sur les tronçons pneumatiques installés (27). La centrale représente alors en moyenne 38% du coût du réseau construit.

Cependant, le poids économique de la centrale s'avère plus faible pour un réseau entièrement fini puisque les différentes phases d'extension de celui-ci n'entraînent que de faibles modifications (ajout ou substitution d'éléments) (28) dans l'usine d'aspiration. Le coût moyen de la centrale a été estimé à 15% environ du coût total du réseau achevé, ce qui est finalement relativement faible.

Avec les bâches de transfert, le phénomène observé est finalement inverse, la part des bâches dans le coût total du réseau augmente avec son développement. Elle est d'ailleurs estimée à 25% du coût total du réseau achevé (on notera que le coût proportionnel des bâches à l'investissement, pour un réseau fini, est d'autant plus grand que le nombre d'habitations raccordées sur chacune d'entre elles est faible). Tout raccordement au réseau sous vide nécessite un branchement sur une bâche de transfert. Les développements successifs du réseau font par conséquent augmenter la part relative des bâches dans le coût total. Il n'y a pas de règle générale de raccordement, leurs caractéristiques sont fonction de la densité et du type d'habitation (collectif ou individuel), mais dans la mesure du possible, les constructeurs évitent de poser une bâche par maison.

Il reste malgré tout à savoir quel est le niveau d'analyse le plus pertinent.

Raisonné à partir du coût total du réseau permet effectivement de mesurer le poids réel, à l'investissement, des différents éléments pneumatiques.

On s'aperçoit alors que la construction d'une centrale de vide n'est pas un obstacle majeur à l'installation d'un réseau en dépression.

Pourtant, lors de la pose des premières canalisations sous vide, elle induit un surcoût inévitable. Elle ne sera rentabilisée qu'au fur et à mesure des éventuelles extensions du réseau. En attendant, la collectivité devra payer, dès les premiers travaux, pour l'avenir de son assainissement sans avoir toutefois de réelles certitudes sur les futurs raccordements.

Néanmoins, dans certains cas, le réseau sous vide peut être entièrement construit dans des délais assez courts, ce qui relativise l'importance financière de la centrale de vide. Ainsi, les deux contrats d'agglomération signés par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et deux maîtres d'ouvrage installant du pneumatique (cf. partie II, chapitre 2) représentent une incitation financière suffisante pour construire en 5 ans la totalité des égouts sous vide prévus.

3.2. Les canalisations.

La fourniture des canalisations pneumatiques (c'est-à-dire les conduites PVC à joints collés, de série 10 bars, les pièces spéciales) s'avère plus chère que la fourniture des égouts gravitaires traditionnels en amiante ciment.

Mais, compte tenu des faibles diamètres utilisés et de la succession des poches de transport (cf. partie II, chapitre 1) permettant un enfouissement à faible profondeur, ce sont les travaux de terrassement, de réfection de chaussées (et leur durée relativement courte) qui détermineront la performance financière du réseau par dépression (29).

Autrement dit, l'intérêt économique de la technique en dépression ne sera révélé que par la nature du terrain. Nous sommes alors en présence d'une double difficulté :

- pour des zones particulières, c'est la contre-performance du gravitaire qui suscitera l'intérêt économique du sous vide. Or les critères financiers évaluant l'applicabilité du système gravitaire ne sont pas aisés à formaliser parce qu'ils varient énormément d'un maître d'ouvrage à un autre. Ainsi, pour des situations topographiques similaires, le prix d'un égout traditionnel pourra être jugé acceptable ou trop cher selon les enjeux de la viabilisation. L'effort financier consenti sera certainement plus important si la viabilisation d'une zone se traduit par une valorisation foncière importante.
- Aussi, à l'exception des situations extrêmes, terrains très mauvais et terrains sans contrainte particulière (aujourd'hui sans doute les moins intéressants car rares ou déjà largement viabilisés), il est impossible d'établir un seuil financier moyen d'acceptabilité de la technique pneumatique réellement significatif. Ceci, en supposant bien sûr que la technique gravitaire et le procédé par dépression soient équivalents au regard des résultats attendus. Nous

pouvons néanmoins rappeler que le coût des travaux en assainissement sous vide dans le département de la Gironde a été évalué à 400 Francs (1987) le mètre linéaire et le coût moyen du gravitaire à 700 Francs (1987) le mètre linéaire. Par ailleurs, en prenant le cas de Tracy-le-Mont (Oise), dans la solution gravitaire proposée, on obtient des frais de terrassement évalués à 245 francs hors taxes 1986 par mètre linéaire (F/ml) de canalisation, des frais de réfection de chaussées de 220 F/ml et des frais de fourniture et de pose de canalisation de 102 F/ml pour 1.660 ml de canalisation gravitaire amiante ciment de diamètre 150 et 200 mm. Le devis estimatif du sous vide se montait à : 171 F/ml pour les frais de terrassement, 75 F/ml pour les réfections de chaussées et 232 F/ml pour la pose des canalisations, pour 560 ml de conduites PVC et 160 ml de conduites gravitaires de raccordement (30).

4. Conclusion.

Nous venons d'évaluer l'importance relative de chaque constituant du système pneumatique, certains d'entre eux déterminant plus que d'autres les performances ou les contre-performances financières du réseau lors de son installation. Aussi, pour certaines dessertes territoriales, le réseau sous vide s'avère moins cher à l'investissement que l'égout gravitaire. Mais la notion d'alternative étant rejetée (le procédé pneumatique est un renfort à la conception en réseau de l'assainissement et non une alternative au système gravitaire), nous avons évité les pièges d'une analyse comparative globale entre le gravitaire et le pneumatique.

	Dimension en éq. hab.	Habitations raccordées	Habitants effectivement raccordés	Coût total du réseau construit F. HT	Coût total actualisé du réseau construit F. HT 1988	Coût actualisé du réseau construit / éq. hab. raccordés F. HT 1988	Coût actualisé du réseau projeté terminé / éq. hab. F. HT 1988
BRUGES	3.500	168 + 1 école	950	3.620.000 (1983) 550.000 (1986)	6.500.000	6.800	5.400
SAINT-PIERRE D'AURILLAC	1.200	70	190	900.000 (1984)	1.300.000	6.700	4.000
TRACY- LE-MONT	400	38	100	790.000 (1986)	1.000.000	9.800	6.800
GENSAC	1.800	78	210	1.400.000 (1986)	1.700.000	8.000	5.400
SADIRAC	300	47	130	880.000 (1986)	400.000	8.300	6.800
PINEUILH	3.500	187	500	4.790.000 (1986)	1.200.000	11.500	9.500
CAUDROT	1.500	74	200	1.150.000 (1986)	760.000	7.000	3.700
LONGUEIL- ANNEU	1.000	136	370	1.800.000 (1981)	3.500.000	10.000	7.700

Tableau I : Coût des réseaux communaux

	Coût de la centrale de vide	Coût actualisé de la centrale de vide F. HT 1988	% coût actualisé de la centrale de vide / coût actualisé du réseau construit	Coût actualisé de la centrale de vide / éq. hab. raccordés F. HT 1988	% coût actualisé de la centrale de vide / coût actualisé du réseau fini	Coût actualisé de la centrale de vide / éq. hab. dimen. F. HT 1988
BRUGES	1.160.000 (1983)	1.860.000	29	1.900	11	600
SAINT-PIERRE DAVILLAC	440.000 (1984)	640.000	49	3.400	15	600
TRACY-LE-MONT	360.000 (1986)	430.000	42	4.200	18	1.200
GENSAC	550.000 (1986)	660.000	39	3.100	8	400
SAIDHAC	327.000 (1986)	400.000	37	3.100	22	1.500
PINEUILH	970.000 (1986)	1.180.000	20	2.300	4	400
CAUDROT	630.000 (1986)	760.000	54	3.800	15	600
LONGUEIL- ANNEL	300.000 280.000 (1981)	580.000 540.000	32	3.000	16	1.200

Tableau II : Coût de la centrale de vide

	Nombre de bâches	Nombre d'habi- tations / bâche	Coût total actualisé des bâches F. HT 1988	Coût actualisé des bâches / habitation F. HT 1988	% coût actualisé des bâches / coût du réseau construit	Estimation du coût total actualisé des bâches sur un réseau fini F. HT 1988	Estimation % coût total actualisé des bâches / coût total du réseau fini
BRUGES	22 coll. V 16 ind. 10 V 6 T	4,5	530.000	3.100	8	3.600.000	21
SAINT-PIERRE DAURILLAC	9 coll. V 8 ind. V	4	220.000	3.200	17	1.300.000	29
TRACY- LE-MONT	1 coll. V 14 ind. V	2,5	150.000	3.900	14	500.000	22
GENSAC	9 coll. V 23 ind. V	2,5	370.000	4.700	21	2.800.000	12
SADHAC	3 coll. V 21 ind. V	2	270.000	5.300	21	500.000	29
PINEUILH	75 ind. T	2,5	250.000	5.100	16	6.000.000	19
CAUDROT	14 ind. T	5	180.000	2.400	12	1.200.000	24
LONGUEIL- ANNEU	64 ind. T	2	610.000	4.500	17	1.500.000	21

coll. = collective

ind. = individuelle

T = TRANSVIDE

V = VACUFLOW

Tableau III : Coût des bâches

CHAPITRE 2

LES COÛTS D'EXPLOITATION : UN BILAN DIFFICILE

1. Position méthodologique.

A propos des coûts d'investissement, une étude comparative stricto sensu entre le procédé sous vide et le système gravitaire est difficilement réalisable parce que les techniques ne sont pas tout à fait interchangeables. De plus, la remise en cause de la notion d'alternative limite la portée d'une analyse économique comparative traditionnelle.

En ce qui concerne l'exploitation des réseaux (c'est-à-dire le fonctionnement et l'entretien), une approche comparative des coûts entre le réseau gravitaire et le système sous vide pose également un certain nombre de problèmes, même si une telle démarche paraît a priori commode et féconde. Nous présenterons successivement quatre arguments justifiant notre prudence quant à la portée d'une analyse comparative :

1- le réseau sous dépression n'est pas un produit de substitution. Autrement dit, il est impossible d'étudier son coût d'exploitation par rapport à celui d'une autre technique (le gravitaire en l'occurrence) qui ne peut que difficilement être installée dans les mêmes sites. L'analyse comparative entre différentes techniques suppose que celles-ci soient véritablement "substituables". Or, dans le cas de l'assainissement, il n'est pas évident que le gravitaire et l'égout par dépression puissent réellement être changés l'un par l'autre de façon systématique. Par ailleurs, pour la majorité des installations pneumatiques, le coût d'exploitation n'a pas été déterminant dans le choix de cette technique. Enfin, la nature du site peut influencer fortement le coût d'exploitation d'un réseau gravitaire, ce qui rend d'autant plus difficile une approche comparative généralisable.

Il est également difficile d'obtenir un coût moyen d'exploitation des égouts sous vide pour les raisons suivantes :

- 2- les différentes formes de gestion des réseaux ne permettent pas d'obtenir un coût moyen d'exploitation véritablement représentatif de l'assainissement sous dépression.
- 3- le caractère saisonnier de certaines zones desservies entraîne des modifications dans le régime de l'entretien ;
- 4- l'hétérogénéité dans les stades de développement des réseaux s'oppose à un calcul de coûts significatifs.

1.1. Des domaines d'application différents.

Dans le document réalisé par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie et le STU (31), le système pneumatique possède les coûts d'exploitation les plus importants dans toutes les situations envisagées.

En fait, ce résultat n'est pas du tout surprenant compte tenu des critères retenus par ces deux organismes pour effectuer leur analyse. Les deux paramètres utilisés sont le nombre d'habitations raccordables et la densité des zones étudiées. Les auteurs supposent alors explicitement que les dispositifs décrits sont "substituables" les uns aux autres quelle que soit la nature du terrain. Il est donc fait abstraction de certaines contraintes (terrain plat, peu stable, nappe phréatique élevée, zone sensible à protéger) qui révèlent pourtant l'intérêt du système sous dépression (voir partie II).

Le choix des différents scénarios annonce déjà les conclusions de l'étude.

En effet, un terrain sans particularité topographique favorise d'emblée l'option gravitaire pour laquelle l'exploitation se résume à un simple curage des canalisations dont la fréquence est en général laissée à l'appréciation de l'exploitant.

Dans ces conditions, avec peu ou pas de consommation d'énergie et aucune maintenance d'appareil mécanique, les frais de gestion d'un réseau gravitaire simple sont nécessairement moins élevés que ceux d'un réseau sous vide.

Cependant, nous sommes amenés à formuler deux remarques importantes : les coûts d'exploitation ne sont pas nécessairement déterminants dans le choix de la technique à mettre en oeuvre; de plus, en fonction du site, le coût d'exploitation d'un réseau gravitaire peut sensiblement varier.

1.1.1. L'importance relative des coûts d'exploitation.

La plupart des réseaux par dépression ont été installés dans des zones difficiles où l'option gravitaire révélait plusieurs désavantages, notamment un coût d'investissement élevé (voir chapitre précédent) et/ou une protection insuffisante du milieu naturel. Une comparaison des coûts d'exploitation entre le système sous vide et l'égout gravitaire possède alors une valeur peu démonstrative.

L'exemple le plus significatif est certainement celui du réseau à dépression construit à Bruges au Tasta (Gironde) par la Communauté Urbaine de Bordeaux. Cette solution offrait localement une économie à l'investissement rapport à la solution gravitaire projetée et autorisait le décalage dans le temps d'un financement lourd (voir partie II).

Par contre, pour la société ayant à charge l'exploitation du réseau, il semblerait que les coûts d'exploitation soient dans ce cas légèrement supérieurs à celui d'un réseau gravitaire avec postes de refoulement (32).

Néanmoins, pour le maître d'oeuvre, (la CUB), l'option pneumatique permit une importante opération immobilière concernant à terme la construction de logements individuels pour 12.000 habitants.

Le Syndicat Intercommunal d'Assainissement de Longueil-Annel et de Thourotte estime payer autant pour l'exploitation de son réseau sous vide que pour celle de l'ensemble de ses autres réseaux gravitaires (33). Cependant, le choix du maître d'ouvrage et du maître d'oeuvre fut motivé par l'économie d'environ 30% par rapport au gravitaire réalisée au moment de la construction du réseau sous vide au bord du canal de l'Oise, c'est-à-dire dans la zone la plus difficile des deux communes.

En outre, le raccordement à l'égout pneumatique mit fin à de sérieux problèmes d'assainissement induits par le fonctionnement médiocre des fosses individuelles construites dans un terrain inondable, qui compromettaient la viabilisation des parcelles constructibles.

Enfin, nous évoquerons également le réseau par dépression d'Hourtin en Gironde. Deux critères importants présidèrent à son installation : son coût d'investissement et la volonté de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et de la DDASS de réaliser un assainissement en réseau offrant une garantie d'étanchéité permanente et durable dans un site écologique protégé et extrêmement sensible en période touristique.

Ceci nous conduit à présenter le coût d'exploitation d'un réseau sous vide, non pas par rapport à celui d'un réseau gravitaire, mais comme le "prix à payer" pour la viabilisation de terrains contraignants.

1.1.2. L'influence de la nature du terrain sur l'exploitation d'un réseau gravitaire.

La nature de la force de transport mise en oeuvre dans un système sous vide nécessite, quelle que soit la topographie du terrain, à la fois une source d'énergie électrique pour le fonctionnement des pompes à vide et de refoulement, et une surveillance régulière de la centrale de vide et des différentes bâches de transfert.

Avec un égout gravitaire construit dans sa conception la plus simple, la seule force de pesanteur suffit en général au transport des effluents. Dans ce cas, le travail d'exploitation est d'autant plus réduit que le service d'assainissement des communes françaises se caractérise par une intervention au coup par coup lorsque certains défauts deviennent visibles. Il n'existe pratiquement pas de programmes d'entretien préventif.

Par contre, certaines caractéristiques du terrain limitent les possibilités d'enfouissement des canalisations (zones plates et nappe phréatique élevée). La force de pesanteur peut donc s'avérer insuffisante pour réaliser la totalité du transport des eaux usées. Le projeteur est alors obligé d'installer un renfort sous la forme de postes de relèvement et de refoulement. Dans ce cas, la consommation d'énergie électrique et la surveillance de ces postes induisent un surcoût d'exploitation non négligeable.

Aussi, les sites pour lesquels la technique sous vide semble la plus appropriée sont également susceptibles de faire augmenter sensiblement le coût d'exploitation d'un réseau gravitaire. Autrement dit, une analyse économique comparative de l'exploitation peut se révéler en faveur du système sous dépression.

Ainsi, à Tracy-le-Mont (Oise), la société fermière estime à 25.000 francs (1987)/an le coût d'exploitation du réseau pneumatique, renouvellement non compris (34). La même entreprise évalue l'exploitation d'un poste de refoulement à 20.000 francs (1987)/an renouvellement du matériel compris. Lorsque plusieurs poste de cette nature sont installés, ils font augmenter d'autant le coût total de l'exploitation du réseau gravitaire.

A titre d'exemple, nous pouvons citer l'analyse économique effectuée pour l'installation du réseau sous vide dans la région de Queen Anne dans le Maryland (35).

Le terrain est plat, avec une nappe phréatique élevée et une urbanisation en bordure d'eau.

Le réseau par dépression installé comporte 12 stations centrales, 1.000 valves de raccordement et approximativement 61.000 mètres linéaires de canalisation. La solution gravitaire projetée aurait nécessité 12 stations de relèvement et environ 56.000 mètres linéaires de canalisation. Les résultats suivants montrent un net avantage financier en faveur du système sous vide, tant à l'investissement qu'à l'exploitation :

	coût d'investissement en \$ 1981	coût annuel d'exploitation en \$ 1981	coût total annuel en \$ 1981
système gravitaire	15.500.000	330.000	1.737.000
système sous vide	8.100.000	158.000	893.000

(Le coût total annuel est calculé à partir d'un taux d'amortissement de l'investissement de 6,5%, auquel s'ajout le coût annuel d'exploitation)

Quoique de taille plus petite, le réseau par dépression mis en place dans le lotissement de Fulney de la ville de Spalding (Lincolnshire, Angleterre), où le terrain est plat avec une nappe phréatique élevée, induit un coût d'exploitation inférieur à celui estimé pour la solution gravitaire initialement proposée. Le réseau sous vide connecte 61 habitations à 22 valves et comporte une seule station de vide. La solution gravitaire aurait nécessité la mise en place de 4 stations de relèvement (36).

	coût d'investissement (L. Sterling 1982)	coût annuel d'exploitation (L. Sterling 1982)		
		cons. électricité	maintenance	total
Système gravitaire	280.800	331	1.300	1.631
Système sous vide	205.700	438	475	913

Pour cette dernière étude, les "évaluateurs" ont estimé à 80 ans la durée de vie des égouts gravitaires, à 40 ans celle des canalisations pneumatiques et à 20 celles des appareils mécaniques et électriques.

Ces estimations relativisent donc l'avantage financier du réseau à dépression par rapport à la solution gravitaire.

Néanmoins, la durée de vie de 80 ans pour l'égout gravitaire correspond certainement à une valeur maximale.

C. Triantafillou (37) montre en effet que le milieu environnant peut contribuer à la détérioration physique des équipements, en constituant un générateur des contraintes de type mécanique et physico-chimique. Ainsi, des mouvements de terrain dûs à la présence d'une nappe phréatique et une instabilité du sol liée à la nature du sol (meuble, marécageux) peuvent entraîner des fissures et des ruptures de canalisations d'autant plus facilement que celles-ci ont été profondément enfouies.

Les conditions de construction et de pose des installations influent donc considérablement sur l'évolution de la structure du réseau. Or les sites équipés de réseaux sous vide sont généralement caractérisés par des terrains inondables et peu stables.

En outre, dans les zones touristiques caractérisées par de fortes variations de la population, une modification du régime hydraulique peut engendrer à terme une dégradation importante de la structure physique du réseau gravitaire. Les canalisations sont généralement surdimensionnées afin de pallier les augmentations saisonnières des habitants raccordés. Dans ces conditions, le réseau est en sous-charge hydraulique en périodes non estivales. Ce phénomène s'accompagne alors d'une diminution de la vitesse de propagation des effluents favorisant la formation de fortes concentrations de gaz sulfureux qui accélèrent la corrosion des parois internes (38). De telles conditions nécessitent généralement un entretien préventif relativement lourd (le curage fréquent des canalisations et une inspection régulière de l'état physique des canalisations).

Par ailleurs, l'absence de fuite d'effluents dans le milieu naturel ne peut pas être véritablement comptabilisé dans une évaluation économique de l'exploitation.

Or, pour les zones sensibles, voire protégées, une étanchéité durable des canalisations est parfois considéré comme un aspect de la gestion du réseau aussi important, si ce n'est plus, que la durée de vie des différents matériels (voir notamment le cas d'Hourtin en Gironde, cité dans la partie II, chapitre 2, paragraphe 4). A ce titre, nous rappelons que l'addition de plusieurs postes de relèvement induisant un phénomène de surcharge hydraulique, peut entraîner des fissures de canalisations gravitaires favorisant alors des exfiltrations incontrôlées d'effluents vers le milieu naturel.

En définitive, aussi bien pour les coûts d'investissement que les coûts d'exploitation, nous sommes confrontés à une diversité de situations pour lesquelles les conditions topographiques influent fortement sur les conditions d'installation et de gestion des réseaux. D'une façon générale, un réseau gravitaire se révèle moins cher à l'exploitation qu'un réseau par dépression. Mais dans certaines situations, lorsque la force de pesanteur devient insuffisante pour le transport des effluents dans un égout gravitaire, l'exploitation d'un réseau en dépression peut s'avérer financièrement plus avantageuse. En outre, des critères non financiers interviennent dans l'évaluation de la qualité de l'exploitation.

1.2. Des modes de gestion différents.

En France, la gestion des réseaux d'assainissement peut revêtir trois formes différentes (39) :

- la régie, qui est le système adopté par les communes désirant exploiter elles-mêmes leurs services (40). Dans ce cas, la commune conserve la maîtrise totale du service assainissement et en assume toute la responsabilité.
- la concession, lorsque la collectivité délègue toute sa responsabilité du service à un tiers. Le concessionnaire assure le financement des frais de premier établissement du service (construction du réseau), et pendant toute la durée de la concession, il exploite le service à ses risques et périls. La concession est un type de gestion très peu utilisé en France parce que les conditions particulières d'accès aux subventions de l'Etat et aux emprunts à des taux privilégiés ont concerné essentiellement les institutions publiques.
- Enfin, l'affermage, pour lequel les frais d'établissement des égouts sont pris en charge par la collectivité : seule la gestion du service est alors confiée à un exploitant privé.

L'assainissement, contrairement à l'eau potable n'a été intégré à la sphère marchande que depuis l'instauration de la redevance (décret d'octobre 1967). C'est pourquoi la privatisation est moins forte dans ce domaine et lorsqu'elle existe, elle se fait

principalement sous la forme de l'affermage. Aussi, en 1987, les exploitants privés assuraient le gestion de 60% de la distribution de l'eau et d'un tiers seulement des services d'assainissement (41).

Ce sont généralement les communes elles-mêmes qui ont commencé à prendre en charge la réalisation et l'exploitation des réseaux d'assainissement. Mais depuis quelques années, celles-ci semblent se tourner davantage vers des opérateurs et des gestionnaires privés sans que l'on puisse constater aujourd'hui une nette tendance à la privatisation des services d'assainissement.

Ainsi, sur 43 réseaux à dépression français pour lequel nous disposons de l'information nécessaire, 10 ont un entretien communal sous forme de régie directe (voir tableaux pages 111, 112 et 113), l'exploitation des 33 autres s'effectuant par affermage (42). Les réseaux pneumatiques en régie ne peuvent pas être négligés puisque ce mode de gestion reste appliqué.

Or, l'existence de plusieurs types de gestion des réseaux constitue un frein à l'obtention de données homogènes représentatives du coût d'exploitation des procédés pneumatiques.

Selon la thèse de Dominique Lorrain (43) sur les services urbains, les collectivités locales et les sociétés privées se différencient notamment sur l'aspect de leur objet social. Les premières produisent des biens et des services très divers pour satisfaire les besoins de leur territoire ; la gestion des services, surtout pour les petites communes, n'obéit alors pas à une logique économique du même type que celle d'une entreprise privée. Par contre, les secondes se consacrent généralement à quelques "spécialités" qu'elles essayent de vendre au plus grand nombre, en maximisant leurs gains.

A titre d'exemple, la Société Lyonnaise des Eaux, fermière de la CUB a installé dans l'usine centrale du Tasta un poste de télétransmission sélectionnant deux types d'anomalies : les anomalies nécessitant une intervention immédiate, et celles plus légères pouvant attendre la période normale de travail dans la journée ou le jour de visite de la centrale. Ce système a permis à la société de diminuer ses durées d'intervention sur le réseau (44). Le premier souci de la Lyonnaise était d'optimiser le temps de travail de ses agents et de réduire ainsi ses coûts de personnel (s'ajoute dans ce cas précis, pour les coûts d'exploitation, un phénomène d'économie d'échelle puisque l'entreprise gère la totalité des réseaux d'eau et d'assainissement de la CUB).

En revanche, la situation est tout à fait différente pour le réseau de Saint-Pierre-d'Aurillac dont l'exploitation est communale. L'agent, embauché par la collectivité au moment de la construction du réseau et formé par l'entreprise SOC, ne compte pas les heures consacrées à l'entretien sans doute en raison de l'intérêt qu'il porte au système, mais surtout parce qu'il n'est pas soumis aux mêmes contraintes que le personnel de la Lyonnaise.

1.3. Le caractère saisonnier de certaines infrastructures équipées de réseaux à dépression.

Sur un total de 47 réseaux pneumatiques installés en France, 13 (dont un ponton de bateaux) collectent les effluents dans des zones touristiques. Certains ne fonctionnent que pendant la saison estivale (réseaux des campings de Montalivet (Gironde), de Cayeux-sur-Mer (Somme), de Saint-Germain-en-Ay (Manche) par exemple); d'autres ont un régime permanent, réduit l'hiver et maximum l'été (notamment Biscarosse dans les Landes, Hourtin en Gironde et Fort Mahon dans la Somme).

L'entretien de ces réseaux est donc irrégulier : les visites à la centrale sont plus fréquentes en période de pointe lorsque les quantités d'effluents à transporter deviennent importantes, et le nettoyage des éléments (dont les bâches) n'est réalisé qu'en fin de saison touristique.

Pour ce type de réseau, le total horaire annuel consacré à l'entretien n'est donc pas réellement significatif.

De même, la consommation d'énergie pour les pompes à vide et de refoulement est extrêmement variable : faible ou nulle les mois d'hiver, elle atteint généralement des valeurs élevées l'été.

Le coût d'exploitation d'un réseau sous vide situé en zone touristique, caractérisé par un régime saisonnier, ne peut alors pas être assimilé à celui d'un réseau de desserte communale régulière et permanente. Une analyse du fonctionnement et de l'entretien des égouts sous dépression oblige d'emblée à une première distinction selon le type de population raccordée.

En ce qui concerne le système gravitaire, les variations de la quantité d'eaux usées domestiques collectées n'influent directement sur l'exploitation que si des postes de relèvement ou de refoulement ont été mis en place.

1.4. Des niveaux de développement non homogènes.

Certains réseaux pneumatiques communaux français n'ont que les premières tranches de travaux réalisées (voir chapitre précédent). Les maîtres d'ouvrage programment ensuite l'extension de leur réseau en fonction des dispositions financières de la commune, du développement foncier et de la nature des engagements pris avec des organismes subventionnant les travaux d'assainissement.

Or, parmi les différents éléments de l'exploitation d'un réseau sous vide, certains dépendent plus que d'autres de la taille du réseau et du nombre de personnes raccordées. En effet :

- le temps nécessaire à l'entretien de certains appareils (le nettoyage des bâches par exemple) est effectivement proportionnel au nombre de raccordements (le nombre d'habitations par bâche sur les réseaux étant compris entre 2 et 5, cf. partie III, chapitre 1, tableau 3).
- le risque de rencontrer des problèmes d'exploitation, c'est-à-dire essentiellement les pannes au niveau des bâches de transfert et dans la centrale de vide, sont théoriquement plus importants lorsque le réseau collecte et évacue les effluents de nombreuses habitations. Il ne semble toutefois pas y avoir de lien direct entre le nombre d'anomalies de fonctionnement et la taille du réseau. D'autres facteurs interviennent : la conception du réseau, les pratiques de gestion, la nature du terrain, la qualité de pose des canalisations et des différents appareils mécaniques.
- avec un taux de raccordement élevé, donc une grande quantité d'effluent transporté, la consommation d'énergie pour les pompes à vide et de refoulement s'avère alors importante. Cependant là encore, il n'existe pas de relation strictement proportionnelle entre la quantité d'énergie nécessaire au transport des eaux usées et la taille du réseau. La configuration du réseau et la densité des branchements, ainsi que le nombre de remontées (autrement dit les pertes de charge) en partie déterminé par la topographie du terrain, interviennent sur le temps de travail des pompes, donc sur la consommation d'énergie.

Aussi, même pour les égouts à dépression destinés à une desserte communale traditionnelle, l'élaboration d'un coût moyen d'exploitation paraît difficile sans préciser au préalable le niveau de développement des réseaux.

1.5. Les éléments caractéristiques du coût d'exploitation d'un réseau par dépression.

Une analyse comparative globale des coûts d'exploitation du réseau gravitaire et du réseau sous vide s'avère difficile puisque de nombreux facteurs relatifs à la nature du terrain et à la constitution des réseaux influent directement sur les résultats.

Nous possédons néanmoins un certain nombre de cas particuliers pour lesquels la mesure de l'investissement et de l'exploitation donne des informations intéressantes, mais non généralisables, sur les avantages financiers respectifs des deux techniques.

Par ailleurs, la remise en cause de la notion d'alternative limite la portée d'une telle analyse comparative.

Nous allons donc adopter dans ce chapitre la même méthode que celle retenue pour la mesure de l'investissement (voir chapitre précédent). Nous essayerons d'évaluer les différents éléments qui déterminent la spécificité du sous vide, qui révèlent ses atouts et ses handicaps à l'exploitation.

2. Estimation du coût d'exploitation d'un réseau par dépression.

La distinction classique entre le fonctionnement et l'entretien, pour l'exploitation ne nous paraît pas la plus pertinente dans le cas particulier des réseaux par dépression.

Il nous a semblé plus intéressant de réaliser une analyse qui permette de déterminer l'influence respective de divers éléments sur le coût total d'exploitation d'un système sous vide. Pour cela, nous avons établi un cadre théorique pour lequel l'évaluation de certains facteurs repose sur des données moyennes calculées à partir des résultats d'exploitation de réseaux français, hollandais, allemands et américains.

Avant de discuter les conclusions de notre étude, nous allons présenter les éléments caractéristiques de l'exploitation d'un réseau sous vide :

- les bâches de transfert ;
- l'usine centrale ;
- la consommation d'énergie ;
- les dysfonctionnements ;
- le nombre de maisons raccordées.

2.1. Les bâches de transfert.

Le nombre de bâches varie suivant l'importance des raccordements effectués sur le réseau.

Par ailleurs, le nombre d'habitations connectées sur une bache est généralement compris entre 2 et 5, tout en étant identique pour plusieurs réseaux, quelle que soit leur taille (voir chapitre précédent, tableau III).

Une distinction est alors nécessaire, elle se réfère à la densité du site viabilisé. Une moyenne de 2,5 maisons par bache serait représentative des réseaux par dépression installés dans des zones peu denses. A contrario, une moyenne de 4 habitations par bache définirait un habitat groupé.

Par conséquent, si le nombre de bâches dépend de la taille du réseau, le coût annuel d'exploitation de ce type d'élément, calculé par habitation, sera constant d'un réseau à un autre pour des densités équivalentes.

2.2. L'usine centrale.

Les réseaux en dépression construits en France ne possèdent en majorité qu'une centrale de vide. Seules les installations de Longueil-Annel (Oise) et de Biscarosse (Landes) fonctionnent avec deux stations.

Pour la centrale de vide, nous distinguons deux éléments importants : la visite régulière et le renouvellement des pièces mécaniques des pompes de refoulement et des pompes à vide.

Les pompes de refoulement et les pompes à vide sont généralement installées par paire. Toutefois, 6 réseaux français possèdent une pompe supplémentaire (45). La centrale de

vide de Souppes-sur Loing (Seine et Marne) est une exception puisqu'elle renferme 4 pompes de chaque type.

Nous pouvons alors admettre que le coût de renouvellement des appareils mécaniques de la centrale est à peu près identique pour l'ensemble des égouts sous vide compte tenu de la similarité des équipements.

Par ailleurs, les bilans d'exploitation des réseaux hollandais, allemands et américains montrent que le temps nécessaire à la visite de la centrale est compris entre une heure et une heure trente par semaine. En France, la surveillance d'un réseau sous vide est effectuée soit par un passage quotidien de courte durée, soit par une visite plus longue deux à trois fois par semaine. Il faut cependant préciser que cette estimation correspond à des durées minimales généralement prises comme valeurs de référence lors de l'établissement du cahier des charges pour l'exploitation.

Le coût total d'exploitation de la centrale de vide est donc théoriquement constant d'un réseau à un autre, pour des durées de visite hebdomadaire équivalentes. Par contre, exprimé en francs par habitation, il devient une variable fonction du degré de connexité du réseau.

2.3. La consommation d'énergie.

La consommation d'énergie nécessaire au fonctionnement d'un réseau sous vide possède deux caractéristiques :

- elle est variable d'un réseau à un autre;
- elle peut subir sur une même installation des modifications non prévisibles, non régulières.

Les paramètres influant sur la consommation d'énergie sont les suivants :

- Le premier est lié au nombre de raccordements effectués, donc à la quantité d'effluents transporté. Pour des réseaux sous dépression connectant de nombreuses habitations, les consommations totales d'énergie sont élevées. Néanmoins, la consommation annuelle d'électricité, calculée par habitation est également variable suivant les installations, quelle que soit leur taille.

- Le nombre de personnes effectivement raccordées n'est pas toujours constant sur un même réseau, notamment dans les zones touristiques pour lesquelles les fréquentations de certaines fins de semaine s'additionnent aux pointes estivales classiques et régulières.
- Par ailleurs, chaque fabricant possède des courbes d'étalonnage donnant le temps d'ouverture théorique des valves en fonction du ratio air/eau choisi et de l'intensité du vide dans la canalisation. Or, dans la pratique, les constructeurs s'autorisent des plages de fonctionnement et non l'application d'une seule valeur parce qu'il s'avère difficile de réaliser un réglage optimum.
- De plus, le réglage des valves n'est généralement pas le même en fonction de l'éloignement de la centrale de vide. Les entreprises préfèrent augmenter le temps d'ouverture des valves situées en bout de réseau afin d'assurer des aspirations efficaces. Le nombre d'habitations situées aux extrémités des lignes pneumatiques peut donc influencer sur la consommation totale d'énergie.
- Le calcul des pertes de charge dépend directement du diamètre des canalisations et du profil du réseau avec le nombre, l'emplacement et la hauteur des poches de transport. Le diamètre des canalisations varie avec l'éloignement de la centrale de vide. Quant aux poches de transport, elles sont calculées notamment en fonction de la nature du terrain (relief, nature des obstacles rencontrés). Aussi, la nature du terrain et le mode de répartition de l'habitat sont des facteurs influant sur le temps de travail des pompes à vide.
- Enfin, le dernier paramètre significatif est constitué par l'ensemble des dysfonctionnements entraînant des aspirations parasites d'eau et d'air dans le réseau. A priori, aucune panne n'est prévisible, et le rôle principal du personnel chargé de l'exploitation consiste justement à limiter au maximum les risques de dysfonctionnement.

La consommation d'énergie ne peut donc pas se traduire par un coût fixe par habitation et par an, la multiplicité des causes de variation et la non prévisibilité de certaines d'entre elles représentant autant d'obstacles.

Aussi, il semble préférable d'établir un intervalle de valeurs, à peu près significatif des résultats d'exploitation des réseaux sous vide français, qui tienne compte de l'influence des facteurs cités plus haut.

Pour les réseaux pneumatiques français, la consommation d'énergie serait alors comprise entre 35 et 105 kWh (46) par maison et par an. Cette estimation représente les variations possibles d'un réseau à un autre. Avec un facteur multiplicatif de 3 entre les deux données, on comprend alors toute l'importance des paramètres que nous avons présentés.

2.4. Les dysfonctionnements.

Les dysfonctionnements apparaissent généralement soit à la centrale de vide, soit au niveau des bâches de transfert.

Pour les réseaux français, les fuites sur les canalisations elles-mêmes seraient quasi inexistantes et les obstructions définitives très rares (47).

L'incident technique le plus fréquent sur une bâche est le blocage de la valve en position ouverte. Un défaut de fonctionnement d'un élément de la valve, l'obstruction du début de la canalisation d'aspiration par un objet volumineux empêchant le mouvement normal du piston et une défaillance de l'activateur constituent les principales causes de blocage. Pour la centrale de vide, nous avons déjà évoqué les différents points sensibles (cf. partie II, chapitre 1, paragraphe 3).

Les dysfonctionnements dans leur ensemble sont a priori imprévisibles. De plus, leur fréquence d'apparition peut varier de façon importante d'un réseau à un autre.

On considère cependant que la consommation d'énergie supplémentaire induite par les aspirations parasites est comprise dans l'évaluation totale de la consommation établie au paragraphe précédent, sans malgré tout pouvoir en déterminer une valeur spécifique.

Il s'avère également difficile d'estimer un nombre moyen de pannes des dispositifs d'aspiration (valve et activateur) et un temps de réparation correspondant.

En effet, ce type de recensement effectué sur quelques réseaux français montre une disparité des résultats. Ainsi, le nombre de blocages de valve peut être de 0 par an (Hostens, Saint-Pierre d'Aurillac), ou de 1 par semaine (notamment au camping de

Montalivet en période de pointe), ce qui est toutefois exceptionnel.

En outre, le temps de travail nécessaire à la réparation peut dépendre du mode d'exploitation (de la compétence du personnel) et de l'emplacement de la valve (un dysfonctionnement sur une valve proche de la centrale est plus facilement repérable qu'un dysfonctionnement situé en extrémité de réseau) (48).

Enfin, il ne semble pas y avoir de lien direct entre la taille du réseau et le nombre de valves bloquées. L'action du concepteur, le comportement des usagers et le mode d'entretien interviennent parfois directement sur la nature et la fréquence des pannes :

- L'exemple du réseau du Tasta (Gironde), démontre qu'une erreur de conception peut être à l'origine d'importants dysfonctionnements. En effet, un mauvais profil des réservoirs tampons des bâches entraînait la fermeture systématique des valves sur l'effluent. Or le nombre de valves bloquées en position ouverte, au Tasta, s'avérait supérieur à celui des autres réseaux alors en exploitation. La Lyonnaise des Eaux (maître d'oeuvre et société exploitante) a été obligée de modifier les premières bâches posées afin de réduire ce type d'incidents.
- L'utilisateur peut intervenir volontairement ou non. Celui-ci déverse par les différents siphons d'évacuation de son habitation la totalité des eaux usées domestiques auxquelles il lui arrive d'ajouter, par habitude sans doute, quelques déchets solides qui ne sont normalement pas présents dans les eaux usées domestiques. Parfois ces "éléments durs" sont assez volumineux pour que les constructeurs et les exploitants soupçonnent un rejet direct dans la bache de transfert (dont l'ouverture du regard est aisée) de débris de diverses natures, notamment de maçonnerie.
- Le travail quasi quotidien de l'exploitant reste déterminant. C'est surtout à la centrale, point de passage obligé pour connaître les événements passés et en cours (cf. partie II, chapitre 1), que la nature des dysfonctionnements sera révélée, et dans certains cas, qu'une panne sera évitée. Par exemple, lorsque le temps de remise à niveau haut du vide dans les canalisations (donc le temps de travail des pompes) est légèrement supérieur à la moyenne calculée, cela traduit généralement un retour difficile en position fermée du piston d'une valve. La qualité de l'entretien, c'est-à-dire le nettoyage régulier des bâches et le renouvellement aux dates prévues de certaines pièces mécaniques (membranes et

joints des valves notamment) peuvent aussi influencer sur la fréquence et la nature des pannes.

Dans notre évaluation des coûts d'exploitation des réseaux sous vide, nous ne tiendrons finalement pas compte du temps consacré à la réparation des dispositifs d'aspiration défectueux.

En ce qui concerne les travaux de dépannage dans la centrale de vide, C. Garnier (49) et C. Pachot (50) proposent une moyenne horaire annuelle de 6 heures. Cette évaluation est peut être discutable. Cependant, il semble logique de retenir une estimation relativement faible dans la mesure où la visite quotidienne de la station de vide permet justement de contrôler le matériel qui y est installé et d'éviter ou d'anticiper d'éventuels dysfonctionnements.

2.5. Le nombre de raccordements.

Le nombre de maisons raccordées influe de deux façons sur le coût d'exploitation des réseaux sous vide : il modifie les coûts totaux d'exploitation, il induit également des variations au niveau des coûts unitaires, c'est-à-dire les coûts calculés par habitation.

Le nombre de maisons connectées au réseau détermine effectivement la quantité d'eaux usées collectées et transportées ainsi que le nombre de bâches installées. Le coût total d'exploitation est donc d'autant plus élevé que le réseau sous vide dessert une population importante. Par contre, si l'entretien des bâches se traduit par un coût annuel par habitation à peu près constant (à densité équivalente) d'un réseau à un autre, l'entretien de la centrale de vide entraîne quant à lui un coût annuel par habitation qui tend à être inversement proportionnel au nombre de maisons raccordées.

Dans notre étude, l'analyse des coûts d'exploitation, exprimés en francs par habitation et par an, seront calculés pour 8 situations différentes que nous estimons représentatives des installations françaises. Le nombre de maisons raccordées sera en effet compris entre 40 et 800, ce dernier chiffre traduisant non pas la grandeur actuelle de certains réseaux à dépression français, mais un dimensionnement prévu à moyen terme pour une partie d'entre eux. Rappelons toutefois que les dimensionnements prévus pour les réseaux sous vide français varient de 300 habitants raccordés (cas du réseau communal de Béthisy-Saint-Pierre dans l'Oise) à 12 000 habitants (pour le réseaux du Tasta).

2.6. Les principaux résultats.

L'ensemble des données sont présentés dans les tableaux I à VI situés en fin de chapitre.

Nous constatons finalement que le coût annuel d'exploitation d'un réseau sous vide (calculé par habitation) est inversement proportionnel au nombre de raccordements.

Ainsi, un réseau par dépression équipant 600 ou 800 habitations, en supposant des conditions d'exploitation relativement défavorables (voir tableau V) entraîne un coût d'exploitation inférieur à celui d'un réseau équipé pour 200 habitations, ou moins, quelles que soient ses conditions d'exploitation (1h. ou 1h30 de visite hebdomadaire, 35 ou 105 kWh/maison/an).

Ceci nous conduit à formuler deux remarques importantes :

- Au moment de la conception, l'intérêt du maître d'ouvrage est de prévoir une zone de viabilisation importante. Il pourra ainsi demander un dimensionnement conséquent du réseau sous vide, afin de réaliser à terme de nombreux raccordements qui limiteront les coûts d'exploitation.
- De même, une fois les premières lignes pneumatiques installées, le maître d'ouvrage devrait programmer le plus rapidement possible les extensions du réseau prévues lors de la conception, s'il souhaite réduire son coût d'exploitation.

Par ailleurs, le croisement des deux variables - temps hebdomadaire de visite à la centrale (1h ou 1h30) et consommation d'énergie (35 ou 105 kWh/maison/an) - permet deux observations intéressantes (voir figure I page suivante) :

- Pour les réseaux desservant moins de 80 habitations, le temps de visite à la centrale est un élément tout aussi influant que la consommation d'énergie.
- Au delà de 80 maisons raccordées, plus le réseau est important, plus l'écart entre les coûts d'exploitation de réseaux de même taille sera déterminé par la consommation d'énergie et non par la durée de la visite à la station.

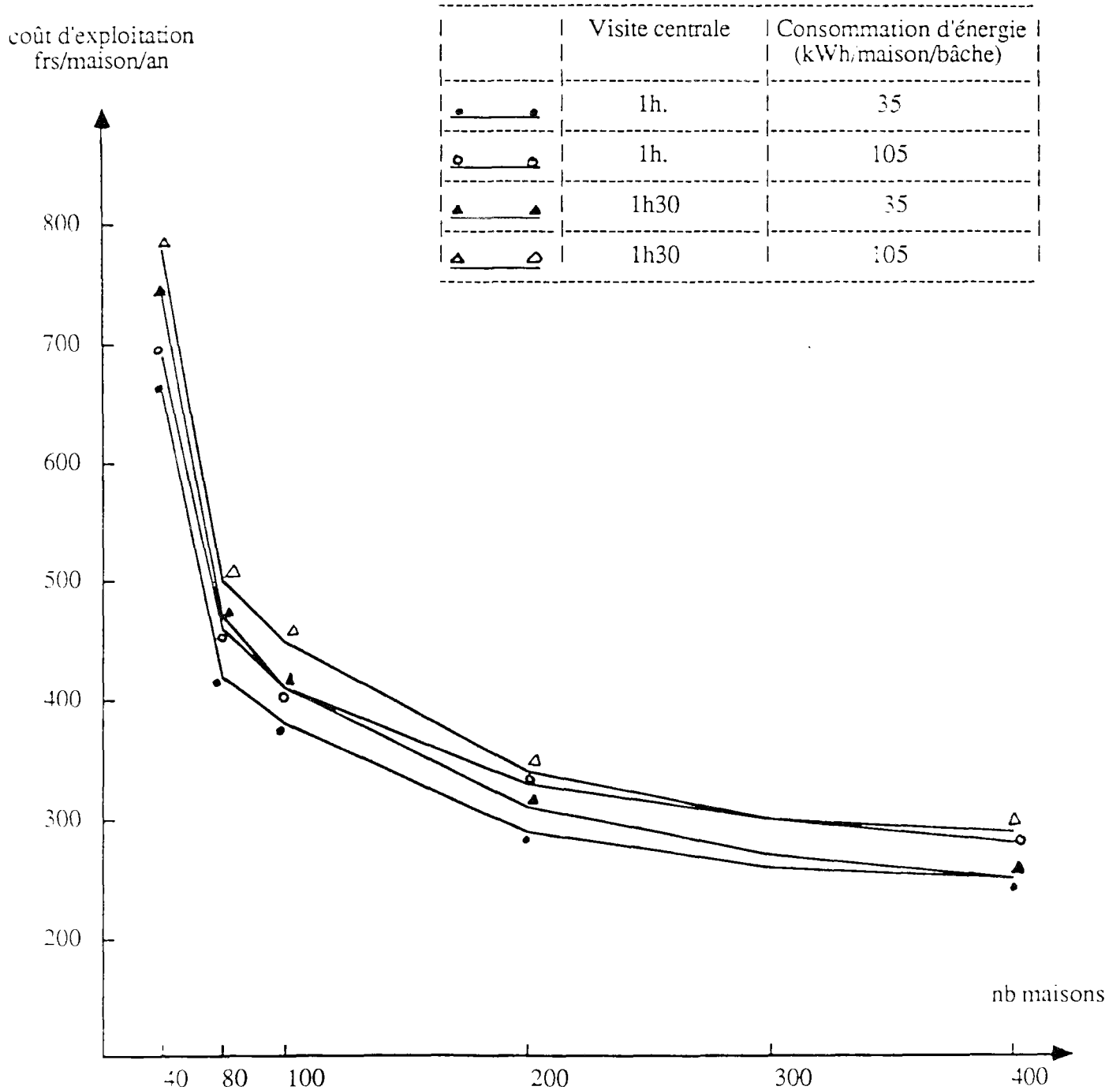


Figure I : Coût d'exploitation des réseaux sous dépression (2,5 maisons par bâche)

L'étude détaillée des tableaux I à IV (présentés en fin de chapitre) nous donne des éléments explicatifs :

Pour les réseaux de petite taille, le coût unitaire (par habitation et par an) de la visite de la centrale est beaucoup plus élevé que le coût unitaire de la consommation d'énergie, quelles que soient les hypothèses retenues. A titre d'exemple, Pour un réseau collectant les effluents de 80 maisons, le coût de la consommation d'énergie (pour 35 kWh/maison/an) représente seulement 12% du coût de la visite d'une heure hebdomadaire à la centrale. De même, Sur un réseau identique, le coût de la consommation d'énergie (pour 105 kWh/maison/an) correspond à 50% du coût de la visite d'une heure et demi hebdomadaire.

Nous constatons également que plus le réseau connecte de maisons, plus l'écart entre les coûts de ces deux éléments diminue. Il s'inverse même à partir de 200 habitations, pour une consommation d'énergie de 105 kWh/maison/an, quelle que soit la durée de la visite hebdomadaire à la centrale.

Nous pouvons alors supposer que le mode d'exploitation d'un réseau à dépression n'obéit pas nécessairement aux mêmes impératifs selon l'importance de la population desservie.

Pour l'ensemble des réseaux à dépression, l'exploitation consiste essentiellement à réaliser un compromis acceptable entre le temps nécessaire à l'entretien et à la réparation des dysfonctionnements, et la consommation d'énergie due aux pompes à vide et de refoulement.

Cependant, pour les installations de petite taille, le temps d'entretien doit être considéré comme une donnée prioritaire. Toutes proportions gardées, il peut s'avérer parfois plus avantageux de respecter des durées d'entretien préalablement définies, plutôt que de tenter une optimisation de la consommation d'énergie demandant obligatoirement un temps minimum d'intervention. Cette remarque est d'autant plus importante que C. Garnier (51) a montré que les réseaux par dépression français sont souvent trop entretenus au cours des premières années d'exploitation en raison de la méfiance du personnel d'entretien vis-à-vis d'un matériel pneumatique jugé sophistiqué. Or, ces années correspondent généralement aux phases initiales de construction ; les raccordements sont alors relativement peu nombreux par rapport aux dimensionnements prévus (voir chapitre précédent).

Avec des réseaux sous vide de grande taille, l'augmentation de quelques heures d'entretien ou de dépannage entraîne un coût excédentaire d'exploitation par habitation qui est d'autant plus marginal que le nombre de raccordements est important. Des interventions plus fréquentes sur le réseau peuvent alors facilement se justifier si elles permettent une optimisation de la consommation d'énergie.

Nous sommes alors amenés à discuter de l'influence des dysfonctionnements sur le coût d'exploitation des réseaux sous vide.

Les informations disponibles concernant les applications françaises et étrangères ne nous permettent pas de supposer un nombre de dysfonctionnements proportionnel à la taille des réseaux. Néanmoins, les risques de panne sont certainement plus importants lorsque le réseau dessert une zone étendue et peuplée. En effet, le temps de travail des pompes augmente avec la quantité d'eau usée collectée. Par ailleurs, multiplier les raccordements revient à installer des bâches de transfert supplémentaires.

Aussi, nous nous sommes livrés à un calcul théorique afin d'évaluer le coût d'exploitation d'un réseau collectant les effluents de 600 ou 800 habitations dans des conditions de fonctionnement très défavorables caractérisées par des incidents réguliers sur le réseau. Les données sont présentées dans le tableau VI. Précisons toutefois que les temps de visite et de dépannage à la centrale, ainsi que la consommation d'énergie ont été sensiblement augmentés. De plus, nous avons intégré dans cette estimation un temps de dépannage spécifique sur le réseau de 8 heures par semaine.

De telles évaluations ne sont pas obligatoirement représentatives des installations actuellement en service. Elles visent seulement à traduire dans l'exploitation un niveau de risque acceptable qui ne remette pas en cause le mode de conception et le mode d'installation du réseau sous vide.

Les résultats du tableau VI, comparés à ceux des tableaux I à IV, montrent que les coûts d'exploitation de réseaux de grande taille, même avec des problèmes d'entretien, sont inférieurs à celui d'un réseau raccordant 100 maisons, ou moins, et fonctionnant de manière optimale, c'est-à-dire sans dysfonctionnement, avec une durée minimale de visite à la centrale (1 heure/semaine) et une consommation d'électricité assez faible (35 kWh/maison/an).

Par conséquent, les pannes ne doivent pas être systématiquement considérées comme un véritable obstacle à l'obtention d'un coût d'exploitation satisfaisant lorsque le réseau

raccorde de nombreuses habitations. Dans la mesure où une panne entraîne une hausse de la consommation d'énergie et un temps de réparation, celle-ci se traduira par un surcoût d'exploitation unitaire (par habitation) d'autant plus marginal que le réseau connecte de maisons.

En définitive, l'optimisation du coût d'exploitation d'un réseau par dépression consistera non seulement à éviter une surconsommation d'énergie, des temps de dépannage et de visite hebdomadaire trop longs, mais aussi et surtout à maximiser le nombre de raccordements.

A propos des bâches de transfert, leur coût d'exploitation (nettoyage et renouvellement) est pratiquement incompressible. Il ne varie qu'en fonction de la densité des zones viabilisées : plus le nombre d'habitations raccordées sur chaque bache est important, plus son coût annuel d'exploitation baisse.

Cependant, pour les réseaux de grande taille (300 à 800 ou plus de maisons connectées), les calculs montrent que le coût d'exploitation de la bache correspond au moins à la moitié du coût total d'exploitation du réseau sous vide exprimé par habitation et par an (voir les tableaux I à V).

Par conséquent, si l'emplacement et le nombre des bâches de transfert représentent une partie non négligeable des coûts d'investissement (voir chapitre I), ils déterminent de façon tout aussi importante les coûts d'exploitation.

Ceci expliquerait la volonté du concepteur à projeter le plus souvent possible une bache pour plusieurs habitations et à connecter au réseau sous vide, lorsque les conditions topographiques s'y prêtent, des petits tronçons gravitaires, limitant ainsi la mise en place des dispositifs d'aspiration.

En conclusion de cette étude, nous pouvons constater que deux facteurs interviennent directement dans les coûts d'exploitation des réseaux d'assainissement par dépression :

- La conception du système pneumatique, qui définit l'emplacement et la quantité des différents matériaux : emplacement et nombre de centrales de vide, nombre de pompes jugées nécessaires, emplacement et nombre de bâches de transfert,

tracé du réseau (longueur des canalisations principales et secondaires, mise en place des poches de remontée). Le tracé du réseau doit donc être considéré comme une première optimisation du coût d'exploitation. La deuxième étape dans l'optimisation de ce coût consistera à effectuer le plus rapidement possible les diverses extensions prévues lors de l'élaboration du projet. Cette étape est certainement tout aussi importante que la première.

- Le mode de gestion du réseau devient alors une troisième phase dans l'optimisation du coût d'exploitation, en influant sur les temps d'entretien, les délais et les durées de réparation, donc en limitant les risques de dysfonctionnement. Ce dernier point résume le rôle essentiel d'un exploitant de réseau à dépression dans la mesure où la majeure partie des éléments constituant le coût d'exploitation sont déterminés dans les deux premières phases.

3. Conclusion.

Le coût de fonctionnement du système par dépression, a priori plus élevé que celui du gravitaire est très sensible au nombre de branchements et peut ainsi devenir faible.

Les chapitres 1 et 2 montrent en définitive que les coûts d'investissement et d'exploitation du réseau sous vide dépendent largement des pratiques d'aménagement et de gestion locale du territoire concerné. La nature particulière de la force de transport mise en oeuvre entraîne, suivant le territoire à desservir, des ajustements qui portent aussi bien sur la définition des centres de production de la force (nombre et localisation des bâches de transferts, localisation de la centrale de vide), sur leur "formatage" (réglage des valves, puissance de la centrale), que sur les liens, les connexions (conduites sous vide) et leurs caractéristiques (profils, tracés).

HYPOTHESES DE CALCUL DES COUTS D'EXPLOITATION

- Consommation d'énergie : 35 à 105 kWh/maison/an.
- Coût du kWh : 0,5 franc.
- Nombre de maisons raccordées par bâche : 2,5 ou 4.
- Consommation d'eau à la centrale : 15 m³/an.
- Coût du m³ d'eau : 10 francs.
- Visite à la centrale de vide : 1h ou 1h30.
- Coût horaire de la main d'œuvre : 125 francs.
- Dépannage à la centrale : 6h/an.
- Entretien du groupe électrogène : 6h/an.
- Entretien du filtre anti-odeur : 1h/an (un nettoyage de 4h tous les 4 ans).
- Nettoyage des bâches : 1/2h/bâche/an.

Renouvellement des appareils :

Nous considérons une durée de vie du réseau sous dépression de 40 ans, une durée de vie des appareils électro-mécaniques de 10 ans et une durée de vie des valves de 20 ans.

+ Dispositif d'aspiration :

- Changer tous les 5 ans les membranes ou joints des valves et activateurs.
- Coût de renouvellement de ces pièces : 850 francs (1989)/5ans/bâche.
- Prix moyen du dispositif d'aspiration (valve + activateur) 10.000 francs (1989).
- Coût de renouvellement du dispositif d'aspiration : 380 francs (1989)/bâche/an.

+ Centrale de vide :

- Changer les garnitures mécaniques, roulements et flecteurs d'accouplement des pompes à vide et de refoulement tous les 5 ans.
- Coût évalué à 8.000 francs (1989)/5ans/pompe.
- Pompe à vide : un renouvellement /10 ans,
soit coût de renouvellement de 30.000 francs (1989)/10 ans/pompe.
- Pompe de refoulement : un renouvellement /10ans,
soit coût de renouvellement de 20.000 francs (1989)/10 ans/pompes.
- On suppose que chaque réseau ne possède qu'une centrale de vide équipée de 2 pompes à vide et de 2 pompes de refoulement.
- Coût total de renouvellement du matériel dans la centrale : 10.000 francs (1989)/an.

COÛT D'EXPLOITATION en Francs (1989) / habitation / an												
Nb maisons raccordées	40		80		100		200		300		400	
Nb maisons/bâche	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4
Visite centrale + dépannage central + entretien filtre anti-odeurs + entretien groupe électrogène + consommation d'eau (8.275 F/an)	207	207	103	103	83	83	41	41	28	28	21	21
Consommation d'énergie	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Nettoyage des bâches (1/2 heure/bâche/an)	30	19	30	19	30	19	30	19	30	19	30	19
Renouvellement des bâches (380 F/bâche/an)	152	95	152	95	152	95	152	95	152	95	152	95
Renouvellement du matériel usine (10.000 F/an)	250	250	125	125	100	100	50	50	33	33	25	25
Coût total d'exploitation	657	589	427	360	383	315	291	223	260	193	246	178

Tableau I : Estimation du coût d'exploitation des réseaux par dépression.

avec : + visite centrale de vide 1 heure/semaine
+ consommation d'énergie 35 kWh/maison/an

COÛT D'EXPLOITATION en Francs (1989) / habitation / an													
Nb maisons raccordées	40		80		100		200		300		400		
Nb maisons/bâche	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	
Visite centrale + dépannage central + entretien filtre anti-odeurs + entretien groupe électrogène + consommation d'eau (8.275 F/an)	207	207	103	103	83	83	41	41	28	28	21	21	
Consommation d'énergie	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
Nettoyage des bâches (1/2 heure/bâche/an)	30	19	30	19	30	19	30	19	30	19	30	19	
Renouvellement des bâches (380 F/bâche/an)	152	95	152	95	152	95	152	95	152	95	152	95	
Renouvellement du matériel usine (10.000 F/an)	250	250	125	125	100	100	50	50	33	33	25	25	
Coût total d'exploitation	692	624	462	385	418	370	326	258	205	228	280	213	

Tableau II : Estimation du coût d'exploitation des réseaux par dépression.

avec : + visite centrale de vide 1 heure/semaine
+ consommation d'énergie 105 kWh/maison/an

COÛT D'EXPLOITATION en Francs (1989) / habitation / an													
Nb maisons raccordées	40		80		100		200		300		400		
Nb maisons/bâche	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	
Visite centrale + dépannage central + entretien filtre anti- odeurs + entretien groupe électrogène + consommation d'eau (11.525 F/an)	288	288	144	144	115	115	58	58	38	38	29	29	
Consommation d'énergie	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Nettoyage des bâches (1/2 heure/bâche/an)	30	19	30	19	30	19	30	19	30	19	30	19	
Renouvellement des bâches (380 F/bâche/an)	152	95	152	95	152	95	152	95	152	95	152	95	
Renouvellement du matériel usine (10.000 F/an)	250	250	125	125	100	100	50	50	33	33	25	25	
Coût total d'exploitation	738	670	468	401	415	347	308	240	270	203	254	186	

Tableau III : Estimation du coût d'exploitation des réseaux par dépression.

avec : + visite centrale de vide 1,5 heure/semaine
+ consommation d'énergie 35 kWh/maison/an

COÛT D'EXPLOITATION en Francs (1989) / habitation / an													
Nb maisons raccordées	40		80		100		200		300		400		
Nb maisons/bâche	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	
Visite centrale + dépannage central + entretien filtre anti-odeurs + entretien groupe électrogène + consommation d'eau (11.525 F/an)	298	298	144	144	115	115	58	58	38	38	20	20	29
Consommation d'énergie	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Nettoyage des bâches (1/2 heure/bâche/an)	30	19	30	19	30	19	30	19	30	19	30	19	19
Renouvellement des bâches (380 F/bâche/an)	152	95	152	95	152	95	152	95	152	95	152	95	95
Renouvellement du matériel usine (10.000 F/an)	250	250	125	125	100	100	50	50	33	33	25	25	25
Coût total d'exploitation	772	704	502	435	450	381	342	275	304	237	288	205	

Tableau IV : Estimation du coût d'exploitation des réseaux par dépression.

avec : + visite centrale de vide 1,5 heure/semaine
+ consommation d'énergie 105 kWh/maison/an

Estimation du coût d'exploitation des réseaux à dépression
collectant les effluents de 600 ou 800 habitations.

Compte tenu de la dimension de ces réseaux, certaines hypothèses ont été modifiées :

- visite à l'usine centrale : 2h/semaine
- dépannage à l'usine centrale : 13h/an
- 4 pompes de chaque type sont installées dans l'usine
- donc coût de renouvellement du matériel en usine : 20.000 francs (1989)/an
- consommation d'eau : 30 m³
- Pour la consommation d'énergie nous ne retenons que la valeur la plus élevée, soit 105 kWh/maison/an.

Coût d'exploitation en francs (1989)/habitation/an				
Nombre maisons raccordées	600		800	
Nombre de maisons/bâche	2,5	4	2,5	4
Visite centrale				
+ dépannage centrale				
+ Entretien filtre	26	26	20	20
+ entretien gr. électrogène				
+ consommation d'eau (15.800 frs/an)				
Consommation d'énergie	52	52	52	52
Nettoyage des bâches	30	19	30	19
Renouvellement des bâches	152	95	152	95
Renouvelлт. matériel centrale	33	33	25	25
Coût total d'exploitation	293	225	279	211

Tableau V

Pour ces réseaux, nous avons effectué une deuxième estimation en déterminant un surcoût théorique du aux dysfonctionnements.

Dans une situation caractérisée par des pannes relativement fréquentes, celles-ci entraînent une augmentation de la consommation d'énergie de 20 kWh/habitation/an et un temps de dépannage hebdomadaire de 8 heures.

Coût d'exploitation en francs (1989)/habitation/an				
Nombre maisons raccordées	600		800	
Nombre de maisons/bâche	2,5	4	2,5	4
Visite centrale + dépannage centrale + Entretien filtre + entretien gr. électrogène + consommation d'eau (15.800 frs/an)	26	26	20	20
Consommation d'énergie	52	52	52	52
Nettoyage des bâches	30	19	30	19
Renouvellement des bâches	152	95	152	95
Renouvellement matériel centrale	33	33	25	25
Consommation d'énergie due aux dysfonctionnements	10	10	10	10
Dépannage sur le réseau (8h/semaine)	86	86	65	65
Coût total d'exploitation	389	291	354	286

Tableau VI

CHAPITRE 3

L'ASSAINISSEMENT PAR DEPRESSION : UN RESEAU TERRITORIAL

1. La conception, la réalisation et les différentes évolutions du réseau.

Trois phases caractérisent un réseau : la conception, la réalisation et les différentes évolutions. Nous allons détailler, pour ces trois phases, les points que nous jugeons être les plus importants, les plus significatifs des réseaux d'assainissement.

1.1. La conception.

Dans le domaine de l'assainissement, l'étape de conception permet généralement de repérer les facteurs qui déterminent le passage d'un réseau imaginaire, virtuel, souvent maximal que tout acteur choisirait s'il n'était soumis à aucune contrainte, au réseau technique réel.

G. Dupuy définit le réseau virtuel comme un Réseau de Projets Transactionnels (RPT). Selon l'auteur "le RPT présente deux caractéristiques essentielles. Tout d'abord, par définition, il relève du désir et de l'imaginaire. Les acteurs souhaitent et imaginent des transactions sans nécessairement se référer à des moyens techniques ni même à une codification de ces transactions (...). Ensuite, le RPT est du domaine de la virtualité et non de la réalité. Ce qui importe aux acteurs concernés est l'ensemble des possibilités transactionnelles offertes par le RPT. Tel point devrait être en relation avec tel autre point pour telle transaction aujourd'hui mais aussi avec d'autres points pour d'autres transactions qui seront peut-être utiles pour demain... ou jamais. Ce n'est pas seulement une relation qui est projetée mais un ensemble de liaisons potentielles parmi lesquelles des choix se feront en fonction du moment ou des circonstances. Ces deux caractéristiques - imaginaire et virtualité - tendent à faire du RPT un réseau maximal" (52).

Or, trois types de contraintes interviennent dans la phase de conception, elles introduisent un décalage entre le réseau virtuel et le réseau réel :

- les contraintes techniques liées à la nature du sol et au système d'assainissement retenu. Ainsi, la topographie du terrain, ses qualités géologiques (présence de roches ou d'une nappe phréatique élevée, instabilité des couches superficielles etc.) peuvent conduire à modifier le tracé du réseau, donc à supprimer des raccordements. Par ailleurs, suivant le procédé choisi, le diamètre des canalisations et la longueur maximale de celles-ci varient sensiblement. C'est notamment le cas entre l'égout gravitaire et l'égout par dépression (voir partie II, chapitre 1). En conséquence, l'échelle de la "viabilisation" dépend en partie du type de réseau installé.
- les contraintes financières : dans les zones à habitat peu dense (c'est-à-dire les zones semi-rurales), l'optimisation du tracé du réseau d'assainissement, en fonction d'un montant financier à ne pas dépasser, ne permet généralement pas d'y raccorder toutes les habitations existantes. A contrario, des subventions spécifiques, notamment celles accordées par les Agences de l'Eau, sont directement proportionnelles au nombre de raccordements effectués et constituent de la sorte une incitation à augmenter les possibilités de desserte (cf. partie II, chapitre 2, paragraphe 5).
- les contraintes politiques : le raccordement obligatoire au tout-à-l'égout est directement à la charge du particulier. Mais il est parfois difficile d'imposer aux propriétaires utilisant depuis peu un système autonome, un branchement à l'égout dans les délais prévus par l'administration municipale (2 ans). Nous pouvons également évoquer la question des limites administratives qui peuvent empêcher l'extension d'un réseau au delà des frontières municipales.

Cependant, le sous-équipement général en matière de collecte des eaux usées entraîne les administrations concernées (DDA, DDE, Agences de l'Eau, DDASS, etc.) à inciter davantage les maîtres d'ouvrage à installer des réseaux d'assainissement ou à prolonger les réseaux existants. Autrement dit, la tendance actuelle est d'inciter les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre à réduire le décalage entre le réseau virtuel et le réseau réel. En fait, si les stations d'épuration installées un peu partout en France s'avèrent aujourd'hui surdimensionnées par rapport à la quantité d'effluent qu'elles reçoivent, c'est essentiellement parce qu'elles ont été conçues en fonction des réseaux virtuels.

1.2. La réalisation.

C'est le processus qui fait passer du réseau virtuel au réseau réel.

Cette étape est importante dans la mesure où la construction du réseau technique va matérialiser l'écart entre celui-ci et le réseau virtuel. Cependant, elle ne constitue pas à elle seule un événement autonome puisque la majeure partie des actions entreprises à ce moment ont été théoriquement prévues lors de la conception. A la fin de l'étape de réalisation, le réseau technique installé solidarise un certain nombre d'acteurs (usagers, gestionnaires, maîtres d'ouvrage). Ce réseau est fini mais il possède en général des terminaisons potentielles qui sont celles du réseau virtuel.

1.3. Les évolutions du réseau.

Deux paramètres importants influent sur les possibilités d'évolution du réseau :

- le premier, sans doute le plus important, est la façon dont il a été conçu. Pour un réseau gravitaire, c'est essentiellement le tracé, le diamètre des canalisations et leur profil qui détermineront les possibilités d'extension. Avec un réseau sous vide, les éléments clefs sont la puissance installée, le diamètre des canalisations et l'emplacement de la centrale (la longueur maximale d'une conduite sous vide, en terrain plat, est comprise entre 2.700 et 4.000m, cf. partie II, chapitre 1, paragraphe 4). Néanmoins, si au moment de la conception, les potentialités de développement sont à peu près décidées, des considérations financières et politiques, non prévues à l'origine, peuvent en revanche modifier momentanément ou durablement l'évolution initialement programmée du réseau (par exemple les retards et changements dans les projets immobiliers). Ce type de situation permet alors d'apprécier le degré d'évolution caractéristique du système technique mis en place.
- un autre facteur intervient dans l'évolution des réseaux, il s'agit de leur entretien. Le mode d'entretien des équipements est une condition importante de l'évolution de la structure du réseau. Défaut d'étanchéité, fissures, manque de sélectivité parmi les effluents transportés, interconnexions "sauvages" entre réseaux d'eau pluviale et réseaux d'eau usée amoindrissent la performance fonctionnelle des

réseaux. Aussi, diverses extensions prévues à l'origine sur certains réseaux aujourd'hui défectueux s'avèrent difficiles, voire irréalisables. Les déficiences des équipements d'assainissement en France sont liées à l'insuffisance, mais aussi à la détérioration des installations.

2. Le système par dépression : un réseau territorial.

2.1. Une capacité de desserte limitée en "périmètre"...

Le système à dépression, en raison du mode particulier de production de la force de transport, est en fait caractérisé par deux phénomènes :

- d'une part, nous observons une centralisation importante dans l'organisation et le fonctionnement des égouts sous vide. En effet, la production active de la force est réalisée dans la centrale (nous avons vu que la force de transport est constituée par le différentiel de pression entre le vide et l'air, l'aspiration d'air ne donnant lieu à aucun travail mécanique particulier puisque c'est le temps de remise en position fermée du piston de la valve qui détermine la quantité d'air aspiré après le volume d'effluent). Le transport s'effectue donc des bâches de connexion vers la station centrale, qui stocke en outre de façon momentanée les effluents. C'est également dans la station de vide que sont traitées la majeure partie des informations traduisant les événements survenus à l'ensemble du réseau (voir partie II, chapitre 2, paragraphe 4). Par conséquent, c'est à partir de la centrale et autour de celle-ci que le réseau se structure, que son organisation se hiérarchise.
- le deuxième phénomène est directement lié à cette centralisation : pour un même tronçon, plus on s'éloigne de la centrale, et plus les possibilités de connexion ultérieure seront réduites. Si le réseau virtuel se développe par accroissement des points, certaines lignes pneumatiques prendront difficilement en charge ces évolutions en raison de diverses contraintes techniques (le diamètre des canalisations, les pertes de charges, limitent la longueur des canalisations, donc l'éloignement à la centrale) et financières (augmenter la puissance des pompes à vide, c'est aussi augmenter les coûts d'exploitation). En parallèle à ce phénomène

de centralisation, il se produit en quelque sorte une "marginalisation" des extrémités du système sous dépression. Cette "marginalisation" ne signifie pas que les raccordements les plus éloignés de la centrale sont nécessairement les moins importants. En effet, le transport des effluents étant réalisé grâce au différentiel de pression entre le vide produit et l'air aspiré, chaque valve, même la plus éloignée participe à la production de la force de transport et assure l'évacuation des eaux collectées. Tous les points de raccordement aux égouts pneumatiques possèdent un rôle équivalent du point de vue du fonctionnement du système sous vide. Cette notion de "marginalisation" traduit essentiellement la diminution des possibilités de connexion aux extrémités du réseau. (En gravitaire, pour les eaux pluviales, on n'a pas le même problème lorsque les collecteurs principaux en aval sont saturés. Il deviendrait théoriquement impossible, sauf à provoquer des inondations, de raccorder une parcelle urbanisée. Mais la pluie étant un phénomène physique irrégulier et aléatoire, la question n'apparaît pas aussi clairement).

On comprend alors toute l'importance de la phase de conception dans la capacité d'évolution d'un réseau sous vide. La mise en oeuvre de la production centralisée de la force de transport influe de façon déterminante sur les capacités d'extension du réseau et sur la constitution du territoire desservi. Ainsi, compte tenu de la longueur maximale d'une conduite en dépression, la puissance des pompes à vide de la centrale et l'emplacement de celle-ci vont déterminer le nombre de conduites principales pouvant être installées et la zone territoriale (périphérique à la centrale) qui sera le plus facilement desservie.

L'évolution du réseau, c'est-à-dire les possibilités de nouveaux raccordements, va dépendre d'une part du dimensionnement de la centrale de vide (nombre de pompes à vide), d'autre part de la situation des sites viabilisés par rapport à la centrale de vide. Pour chaque tronçon principal, il s'agit alors d'estimer ses potentialités de développement soit dans le sens d'une prolongation de conduite, soit dans le sens d'un raccordement d'une nouvelle branche.

Dans la phase de conception d'un réseau gravitaire traditionnel, l'emplacement des canalisations, la détermination de leur profil et le calcul de leur diamètre représentent l'essentiel des études afin d'obtenir une qualité de transport des eaux usées et des capacités de raccordement au réseau souhaitées. Ces éléments sont importants dans la

mesure où ils déterminent directement la nature de l'écoulement des effluents, l'objectif étant d'éviter des phénomènes de mise en charge du réseau. Néanmoins, l'évolution d'un réseau gravitaire serait plus souple que celle d'un réseau sous vide dans la mesure où si le dimensionnement prévu à l'origine est satisfaisant, il n'y a pas de contraintes strictes de longueur de canalisation (éventuellement les postes de refoulement y suppléent), ni de contraintes particulières liées au raccordement de nouveaux tronçons (si ces tronçons ont été pris en compte lors du dimensionnement). Par ailleurs, les possibilités d'installation de lignes parallèles et d'interconnexions permettent éventuellement des extensions qui n'avaient pas été prévues au moment de la conception de l'ouvrage. Pour un réseau gravitaire, tout se passe comme si certains points, différents noeuds du réseau posséderaient des possibilités semblables de liaison avec d'autres points, et ce, quel que soit l'éloignement par rapport aux tronçons initialement construits (53).

La capacité territoriale de desserte du réseau sous vide est donc plus limitée en "périmètre" que celle du réseau gravitaire.

Ainsi, dans de nombreuses situations (Hourtin, Gensac, Saint-Pierre-d'Aurillac en Gironde, Biscarosse dans les Landes), le système pneumatique constitue une structure propre, une entité homogène, mais de taille réduite.

Considérons à présent trois autres réseaux techniques : le réseau d'air comprimé de Paris, exploité par la SUDAC (54), unique en son genre, les réseaux de chauffage urbain (55) et le réseau d'électricité.

La chance historique et encore actuelle du réseau d'électricité aura été l'interconnexion au niveau national, sorte de mise en relation sur une grande échelle de plusieurs réseaux, donc de l'offre et de la demande. C'est l'absence de possibilité d'interconnexion qui jusqu'à présent handicape le réseau d'air comprimé (56) comme elle limite le développement des réseaux de chaleur.

Il serait alors logique de supposer que les réseaux techniques d'aujourd'hui et de demain doivent être composants, antennes de réseaux conçus à des échelles supra-urbaines. On peut ainsi prendre l'exemple du réseau routier, du réseau ferré, du réseau téléphonique, des réseaux câblé, télématique, téléinformatique, et aussi sans doute de l'eau et de l'assainissement pour lesquels on se dirige vers des interconnexions à l'échelle d'agglomération, voire de région (57).

2.2. ... mais bien meilleure que celle du gravitaire.

Dans certains cas, le réseau sous vide est effectivement une antenne d'un réseau gravitaire (les réseaux pneumatiques du Tasta (Gironde) et de Longueil-Annel (Oise) par exemple, sont raccordés à un égout gravitaire). Il permet, en tant que technique de renfort, de prolonger le réseau original, gravitaire, donc de le rapprocher du réseau virtuel. Si le système pneumatique forme une technique homogène du point de vue de sa gestion, il n'est ici qu'une partie de réseau. Cependant, la structure, l'assise territoriale du procédé à dépression sont en fait principalement déterminées par les multiples handicaps du réseau gravitaire.

L'échelle du réseau technique n'est donc pas à elle seule un bon critère pour évaluer la performance territoriale du procédé. Le rapport d'échelles entre le réseau virtuel et le réseau technique paraît plus pertinent. Un égout sous dépression, même de taille réduite (et en général ils ont des dimensions relativement limitées) est presque toujours conçu à une échelle identique à celle de son réseau virtuel.

En effet, le territoire desservi par un égout en dépression se libère d'un certain nombre d'obstacles puisque la nature de la force de transport permet soit de les contourner, soit de les franchir facilement (ponts, pitons rocheux). Le réseau gravitaire au contraire, possède une structure (profil et tracé) qui renforce l'épaisseur territoriale.

De plus, actuellement, le principal problème des réseaux gravitaires est le temps de séjour trop long des effluents dans les canalisations (la fermentation anaérobie constitue une des causes majeures de dégradation des égouts). En fonction du volume d'eau transporté et de la pente des conduites, la vitesse de transport varie d'un bout à l'autre du réseau. Il y a donc des discontinuités, des ruptures possibles (c'est-à-dire des arrêts de transport) depuis les points d'entrée des effluents jusqu'à l'exutoire du réseau. Avec un assainissement sous vide, le transport n'est pas continu mais présente une régularité beaucoup plus nette puisque c'est l'entrée d'eau usée et d'air qui entretient le transport dans les canalisations.

Ceci nous conduit à formuler deux remarques importantes :

- L'atout du réseau sous vide est de posséder des facteurs influant sur l'écoulement des eaux usées relativement différents de ceux rencontrés sur un réseau gravitaire et moins dépendants de la nature du territoire à viabiliser. Le diamètre des canalisations gravitaires et les tracés imposés par la topographie du terrain

peuvent, à plus ou moins long terme, entraîner une diminution des capacités de collecte et/ou de transport des effluents, donc un défaut de raccordement (ceci se réfère aux réseaux gravitaires séparatifs transportant les eaux usées domestiques. Pour les réseaux unitaires, la saturation est toujours un problème d'eau pluviale). L'utilisation de la dépression permet alors d'établir des corrélations spatio-temporelles suffisantes entre les différents points du réseau virtuel pour que l'installation du réseau technique soit possible, et cela, dans des zones où le gravitaire s'oppose à la mise en place d'un réseau territorial. Le système sous vide peut ainsi prendre en charge avec plus de facilités que le gravitaire la diversité spatiale du territoire à desservir.

- Si un réseau technique laisse de côté des points qui devaient être reliés, il s'éloigne du réseau virtuel. Or, dans des zones difficiles la connexité du réseau en dépression (la connexité traduisant le fait que les points sont ou non reliés par le réseau (58)) sera plus forte que la connexité d'un réseau gravitaire puisque l'égout pneumatique va pouvoir raccorder au réseau des habitations qu'un égout traditionnel n'aurait pas pu desservir. Le gravitaire est en quelque sorte condamné à suivre les pentes naturelles, sa logique territoriale n'est donc pas celle du réseau virtuel. En revanche, parce qu'il peut s'affranchir d'un certain nombre de contraintes topographiques, l'égout pneumatique s'inscrit dans la territorialité du réseau virtuel et y évolue de façon symétrique. Il serait alors, en se référant au réseau virtuel, plus territorial que le réseau gravitaire. Dans des sites particuliers, la forte connexité du réseau sous vide révèle une même territorialité pour celui-ci et son réseau virtuel (59).

Par ailleurs, il ne s'agit pas d'exiger, pour un assainissement sous vide, des potentialités de développement quasi illimitées, mais de s'assurer qu'il n'y aura pas au cours du temps un décalage trop grand entre le réseau virtuel et le système sous vide construit. Le système sous vide, quelle que soit sa grandeur peut donc être évolutif, à condition d'intégrer au moment de la conception les changements (les développements) possibles du réseau virtuel.

Nous avons vu dans la deuxième partie que l'intérêt actuel du système pneumatique est d'être un renfort à la conception en réseau de l'assainissement, et ce, dans un contexte où il ne s'agit plus de construire des égouts à l'échelle urbaine, voire supra-urbaine, mais d'améliorer la performance d'un système d'assainissement déjà en place. Dans ces

conditions, l'objectif est d'augmenter le nombre de raccordements, donc de réduire l'écart entre réseaux techniques et réseaux virtuels. L'enjeu n'est plus d'installer des réseaux possédant une capacité d'évolution importante pour une "viabilisation" à grande échelle, mais de connecter aux stations d'épuration des territoires non desservis par le gravitaire. Aussi, le réseau à dépression est installé dans certaines zones parce qu'il possède des propriétés territoriales et des potentialités d'évolution différentes de celles du réseau gravitaire.

3. Conclusion.

La capacité de desserte territoriale du système sous vide, bien qu'a priori plus limitée "en périmètre" que celle du gravitaire s'avère meilleure car le réseau à dépression s'affranchit de toute contrainte topographique pour aller desservir n'importe quel point. Le sous vide peut, contrairement au gravitaire, créer son territoire et se rapprocher du réseau virtuel.

La centralisation de la production de vide, associée à une "marginalisation" des raccordements périphériques, ne constitue donc pas un manque de flexibilité réduisant les performances du réseau à dépression.

Pendant longtemps, on a considéré qu'un "bon" réseau devait obligatoirement être doté d'une capacité d'extension importante. La nature des besoins en assainissement après la seconde guerre mondiale, les modes d'urbanisation adoptés jusque dans les années 1970, ont certainement conforté ce point de vue : il fallait raccorder le plus grand nombre de zones nouvelles au réseau, quitte à négliger certains territoires peu denses, et au risque d'être confronté ponctuellement, ici et là, à des phénomènes de saturation. Dans ces conditions le système gravitaire, en permettant facilement le branchement de nouveaux tronçons, avec des possibilités d'interconnexion, a effectivement répondu aux différentes exigences du moment.

Aujourd'hui par contre, un bon réseau d'assainissement est un système conduisant à la desserte maximale définie par le réseau virtuel, intégrant les zones autrefois délaissées. Pour G. Dupuy, si "un réseau ne peut évoluer (...), le réseau n'est plus un réseau" (60). Dans le secteur de l'assainissement, il ne s'agit pas de n'importe quelle évolution. Elle se réfère principalement à la réduction de l'écart entre le réseau technique et le réseau virtuel, et non à un phénomène de multiplication d'échelle. Sur des terrains difficiles,

cette évolution se traduit par l'utilisation de la dépression à la place de la force gravitaire. Elle correspond, pour les réseaux unitaires ou pluviaux des agglomérations urbaines, à la solution du stockage et à la gestion automatisée.

Dans cette perspective, le réseau virtuel et le réseau réel ne se situent pas dans un rapport chronologique, mais plutôt comme le suggère G. Dupuy "dans un rapport dialectique, ou si l'on préfère dans un rapport de régulation systémique" (61). Le réseau réel met donc en oeuvre des possibilités de régulation qui modifient l'écart par rapport au réseau virtuel.

CHAPITRE 4

LA GESTION DES RESEAUX PAR DEPRESSION

1. La régulation pneumatique définit l'écart entre le réseau virtuel et le réseau réel.

La gestion d'un réseau sous vide obéit à un objectif : assurer dans la durée la performance du système pneumatique, performance qui est en grande partie évaluée par la consommation d'énergie. En effet, l'entretien d'une production régulière et adéquate (optimum) de la force de transport est réalisé en interprétant au mieux les informations transmises à la centrale de vide. La visite quasi-quotidienne et obligatoire de la centrale de vide (62) représente donc un élément clef dans la régulation du système pneumatique pour au moins deux raisons :

- L'absence de surveillance d'un système pneumatique fait augmenter sensiblement et rapidement les risques de dysfonctionnements dont certains peuvent conduire à l'arrêt total des pompes dans la centrale. La fonction de transport des eaux usées est alors annulée.
- La modification des fréquences de visite, donc du mode de gestion, implique en général une modification du système informationnel du réseau. Ainsi, le poste de télétransmission du réseau du Tasta (Gironde), qui sélectionne les anomalies en fonction de leur gravité, a été mis en place afin d'espacer les visites au niveau de la centrale. Sur d'autres réseaux, la visite est quotidienne car aucune information n'est télétransmise.

Nous avons vu (partie II, chapitre 2) que le réseau d'assainissement par dépression est "régulé" pour trois raisons :

- Les valves, les pompes à vide et de refoulement constituent les organes physiques avec lesquels on peut agir sur le réseau.

- Le flux transporté est mesurable et comparable avec des valeurs de référence (grâce notamment aux différentes sondes installées dans la centrale, et à l'enregistrement du temps de travail des pompes à vide).
- Le cycle "transmission de l'information - exécution", quoi que très simple dans un système pneumatique est réalisé dans un intervalle de temps très court puisque cette information est le flux transporté sur lequel sont connectées les différentes sondes.

Les extensions du réseaux nécessitent parfois une adaptation de la régulation car des raccordements supplémentaires peuvent entraîner une modification du réglage des valves. Par ailleurs, l'augmentation de la quantité d'effluent transporté, donc l'augmentation du temps de travail des pompes, peut conduire à un nouveau réglage des sondes. Enfin, le cycle transmission - exécution de l'information est sujet lui aussi à des variations dans la mesure où les modalités de transmission de l'information et d'intervention ne répondent pas aux mêmes impératifs selon la taille du réseau (voir partie III, chapitre 2).

La production de cette force étant automatique et "autorégulée" (voir partie II, chapitre 2), la gestion du système sera d'autant plus délicate que celui-ci est constamment en phase dynamique et doit le rester (ce n'est pas le cas d'un réseau gravitaire séparatif non automatisé).

En temps normal, le réseau possède son propre système de régulation déterminé par ses caractéristiques techniques (nombre de raccordements, taille du réseau, profil des conduites, etc.) et les réglages effectués (temps d'entrée d'air dans les valves et seuils de niveau haut et de niveau bas de vide des sondes pour le déclenchement et l'arrêt automatiques des pompes). Mais, une intervention de l'exploitant, par exemple à l'occasion du renouvellement de certaines pièces, peut modifier momentanément le fonctionnement du réseau. Une anomalie au niveau des pompes ainsi que des entrées d'air parasite ont également des effets perturbants.

Les dysfonctionnements entraînent donc, pour une majorité d'entre eux, une interruption totale ou partielle, définitive ou momentanée, de l'autorégulation. En effet, un dysfonctionnement sur un réseau pneumatique signifie qu'une des trois conditions de la régulation citées plus haut est perturbée. Les variations de la consommation d'énergie révèlent alors la grande sensibilité du mécanisme pneumatique vis-à-vis d'un certain nombre d'événements dont certains possèdent des origines externes au réseau.

La régulation détermine donc en grande partie les propriétés territoriales du réseau, c'est-à-dire sa connexité (définie au chapitre précédant) et la qualité du transport des effluents, donc la qualité des relations spatio-temporelles rendues possibles par le support technique (les canalisations).

En effet, la bache de transfert est l'organe de liaison entre le réseau sous vide et la conduite gravitaire de raccordement du particulier. Elle matérialise la connexité du réseau, mais celle-ci ne se fera réellement que si le vide dans la canalisation est suffisant pour l'aspiration, et si la valve est en état de fonctionner. Ainsi, il y a défaut de connexité lorsque la valve reste en position fermée malgré un niveau d'effluent adéquat dans le réservoir tampon (cela peut être dû à un dysfonctionnement de la valve, ou bien à une panne de l'activateur ou alors à une dépression trop faible).

De plus, la qualité du réglage des valves et la fréquence de l'entretien du matériel vont définir plusieurs types de connexion :

- les bonnes connexions pour lesquelles le temps d'aspiration d'air et des effluents sont corrects.
- Les mauvaises connexions dont le temps d'aspiration d'air est soit trop court soit trop long, avec comme cas extrême la valve bloquée en position ouverte. Il y a alors connexion, mais elle perturbe en permanence la régulation de l'ensemble du réseau (une absence de connexion perturbe l'environnement extérieur du réseau avec les risques de débordement, une mauvaise connexion induit des effets internes au réseau). Une mauvaise connexion agit donc en plus sur les qualités spatio-temporelles des liaisons.

Une variation de l'intensité du vide et un arrêt total des pompes entraînent également des modifications importantes sur le mode d'écoulement des effluents.

Pour un réseau gravitaire, la gestion automatisée et l'installation de postes de refoulement constituent des moyens de régulation qui peuvent réduire l'écart par rapport au réseau virtuel. Mais pour les égouts séparatifs traditionnels simples, l'entrée des effluents dans le réseau est libre, il n'y a pas de stockage préalable ni de valve de raccordement. La liaison matérielle (c'est-à-dire la conduite de raccordement) entre l'usager et l'égout suffit pour caractériser la connexité du réseau gravitaire. En outre, le tracé et le profil des canalisations déterminent d'emblée la nature de la circulation des

eaux usées. Dans ces conditions, si la conception et la réalisation ont été soignées, l'entretien permet simplement d'éviter une perturbation des propriétés du réseau.

La gestion du réseau sous vide ne peut donc pas être assimilée à un simple entretien puisqu'elle "cogénère", avec le support technique, les propriétés territoriales du réseau. Celles-ci en retour influent sur la gestion du réseau. L'objectif est bien sûr de tendre vers un équilibre de la dépression (vide) et de la pression (air) pour un transport efficace et optimal. Cette régulation technique est spécifique au réseau sous dépression.

2. Les dysfonctionnements ou la visibilité des risques.

Le réseau d'assainissement sous vide, sans doute très performant lorsque la régulation est assurée, peut aussi apparaître vulnérable quand il se produit un certain nombre de dysfonctionnements (notamment le blocage des valves en position ouverte) car l'ensemble de la régulation peut être sensiblement affecté de façon visible et quasi immédiate. En effet, une anomalie sera toujours décelée dans la centrale de vide puisqu'elle conduit invariablement soit à une modification du temps de travail des pompes, soit au déclenchement d'une alarme par une des sondes. Néanmoins, le repérage immédiat de l'anomalie n'est pas systématique (voir note 48).

Par contre, sur un égout gravitaire séparatif simple, la plupart des "petites" anomalies sont rarement décelées immédiatement. Les canalisations légèrement colmatées, les petites fissures entraînant soit des infiltrations soit des exfiltrations, n'ont en général aucune incidence visible et immédiate sur l'évacuation de l'ensemble des eaux usées. En fait, les modifications dans le régime de l'écoulement (surcharge hydraulique ou perte d'effluent) ne sont mises en évidence que lors de travaux d'inspection des canalisations.

Le caractère visible ou non des irrégularités nous conduit à formuler une remarque importante. Avec le système par dépression, il est impossible d'accéder à un état de sécurité absolue. En effet, tout incident est dysfonctionnement, donc perturbation de la régulation. La notion de risque évoque alors celle d'événements aléatoires, de pannes. En outre, la gestion de la sécurité est nécessairement en temps réel puisqu'une anomalie déclenche presque toujours une perturbation immédiate.

Pourtant, et c'est là le paradoxe apparent, la mise en place d'un réseau sous vide fait appel à des techniques de pose relativement fines, nécessite une série de tests

d'étanchéité tout aussi stricts, demande une visite d'exploitation régulière, de sorte que les canalisations pneumatiques sont nettement moins sujettes à avaries que les conduites gravitaires.

2.1. La gestion en temps réel des risques.

Nous avons vu que le principal objectif de la gestion d'un système sous vide est de maintenir un équilibre pneumatique dans l'ensemble du réseau afin d'assurer le transport des effluents. La plupart des anomalies entraînant de façon immédiate une perturbation dans la production de la force de transport, le gestionnaire doit par conséquent intervenir rapidement sur le réseau lorsqu'il se produit une avarie pour ne pas interrompre la collecte des effluents.

Sur un égout gravitaire, aucune situation, même une rupture de canalisation n'entraîne immédiatement un arrêt total de la circulation des eaux usées sur l'ensemble du réseau. Il peut se produire une exfiltration, plus ou moins importante des eaux ménagères mais une partie collectée sera toujours transportée jusqu'à l'exutoire. De plus, même cette exfiltration est fonctionnelle en ce sens qu'elle favorise l'évacuation rapide. C'est la différence entre la quantité d'eau collectée et celle amenée à l'exutoire qui représente le premier critère d'évaluation (externe au réseau) de l'état général du réseau gravitaire.

Finalement, si le système gravitaire est un système ouvert : pas de contrôle ni de stockage à l'entrée et à la sortie du réseau avant l'exutoire (sont considérés uniquement les réseaux séparatifs d'eaux usées ménagères), l'égout sous vide, en raison de la technique mise en oeuvre, est par contre un système semi-ouvert : l'entrée de l'effluent dans le réseau n'est pas continue, elle est contrôlée et s'effectue régulièrement par cycles d'aspiration.

Ce système semi-ouvert est "régulé" par une boucle de rétroaction négative. En effet, les entrées d'air dans les canalisations au moment de l'aspiration des effluents font baisser le vide dans le réseau. Les pompes démarrent grâce à une sonde de niveau bas de vide et s'arrêtent automatiquement par l'intermédiaire d'une sonde niveau haut de vide. Il y a rétroaction négative puisque la baisse de la dépression jusqu'à une valeur minimale préalablement fixée entraîne automatiquement le fonctionnement des pompes.

Or ce sont ces deux particularités système semi-ouvert et boucle de rétroaction négative qui demandent une gestion en temps réel : si le système ne s'ouvre plus aux moments

adéquats, l'utilisateur risque alors d'être inondé. A contrario, lorsque le temps d'ouverture du système est trop important, la boucle de rétroaction négative est modifiée, la consommation d'énergie augmente. Enfin, une baisse de travail des pompes à vide ou une dérégulation des sondes peuvent également perturber les cycles d'ouverture et de fermeture du système.

Il existe d'ailleurs quatre types de réponse du système à dépression en fonction de l'anomalie :

- Pour certains événements, l'intervention du gestionnaire n'est pas nécessaire ; l'anomalie est minime et temporaire, le réseau est toujours en phase de régulation. Ainsi, une panne d'électricité déclenche immédiatement la mise en marche du groupe électrogène. Dans ce cas, le réseau a réagi immédiatement et de façon autonome avant qu'il se produise une perturbation.
- Pour le second type de réponse, le gestionnaire n'intervient pas non plus car l'anomalie est également minime et temporaire. Par contre, l'équilibre pneumatique a été momentanément perturbé. Une vanne peut effectivement être bloquée en position ouverte par un déchet solide pendant un temps déterminé. L'entrée permanente d'air au niveau de la valve va donc entraîner un temps de fonctionnement plus important des pompes à vide afin d'assurer une dépression suffisante dans le réseau. L'équilibre pneumatique ne s'est pas rompu, il a simplement été modifié. La régulation du réseau est encore opérationnelle puisque le travail des pompes compense l'entrée d'air parasite. Si la valve est débloquée par le seul effet de la dépression (aspiration du déchet solide), le système retrouve son équilibre initial car il n'y a plus entrée d'air parasite. Dans ce genre de situation, le système pneumatique ne peut pas réellement agir de façon autonome sur les causes de la perturbation, il peut uniquement modifier le régime des pompes pour assurer la production de la force. L'incident, même temporaire, est néanmoins connu par le gestionnaire grâce à l'enregistrement du temps de travail des pompes à vide.
- Le troisième type de situation correspond à une anomalie permanente qui perturbe en continu l'équilibre pneumatique du réseau, (une valve reste par exemple en

position ouverte, bloquée par un déchet solide qui ne peut pas être aspiré par le réseau). En fonction de l'importance de la panne, une augmentation du temps de travail des pompes suffit à rétablir une dépression suffisante, ou bien, malgré le travail supplémentaire des pompes, le vide ne cesse de diminuer car l'aspiration d'air parasite est trop importante (phénomène qui peut se produire lorsqu'il y a une succession d'anomalies du type 2 et/ou du type 3). Dans ce dernier cas, le réseau n'est plus en phase de régulation puisque la production de vide n'arrive pas à compenser la baisse de dépression dans les conduites. Pour ce type de situation, l'intervention du gestionnaire s'avère indispensable mais celui-ci peut, selon la gravité de la perturbation, gérer son temps de travail en différant éventuellement son action lorsque le réseau est équipé d'une téléalarme.

- La quatrième situation correspond à la rupture définitive de la régulation. Il n'y a plus une dépression suffisante dans le réseau pour que la force de transport puisse assurer la collecte et l'acheminement des eaux usées vers la centrale. L'absence d'intervention pour une situation du troisième type conduit parfois à une panne totale sur le réseau. Un problème technique dans la centrale (nous avons vu que deux sondes alarmes peuvent déclencher un arrêt définitif des pompes à vide, cf. partie II, chapitre 1) est également une cause de non production de la force de transport.

2.2. Quel niveau de sécurité ?

Le caractère visible des anomalies et leurs effets immédiats sur la régulation pneumatique conduisent à nous interroger sur le niveau de sécurité d'un réseau d'assainissement : dans la gestion quotidienne, la fiabilité (c'est-à-dire le fait qu'il n'y pas ou peu d'anomalies et qu'elles soient prévisibles), est-elle plus importante sur un réseau gravitaire que sur un réseau sous vide ?

Il s'agit alors de s'entendre sur la signification du terme "niveau de sécurité" ; se réfère-t-on à l'environnement extérieur du réseau, à l'utilisateur ou au gestionnaire ?

- + En ce qui concerne l'environnement extérieur au réseau, les conditions d'étanchéité de la technique pneumatique assurent l'absence de toute

contamination des sols, des nappes phréatiques, voire des eaux de surface par les effluents. A contrario aucun indice directement visible ne permet de vérifier si un réseau gravitaire conserve en permanence son étanchéité. Dans ce cas, "l'invisibilité" de l'étanchéité peut être considérée comme un risque non négligeable dans certaines zones écologiques très sensibles.

- + Pour l'usager, le seul risque existant est celui du débordement des eaux usées stockées dans le réservoir tampon de la bâche de transfert en raison d'un manque d'aspiration. Ce défaut d'aspiration provient soit de la valve bloquée en position fermée ou d'une anomalie de l'activateur, soit d'un problème mécanique dans la centrale (arrêt des pompes à vide). Dans ce dernier cas, c'est l'ensemble des usagers raccordés qui est momentanément déconnecté. Un arrêt total du réseau qui aurait fait déborder toutes les bâches ne s'est jamais produit sur les installations françaises. Par ailleurs, le blocage de la valve en position fermée est extrêmement rare, il se produit surtout une panne en position ouverte. Dans ce cas, l'aspiration continue évite tout débordement. Le risque de déconnexion, partielle ou totale, de l'usager existe bien mais est très limité.
- + Pour le gestionnaire, la notion de sécurité du réseau s'avère relativement floue. En effet, elle est souvent liée au caractère visible des anomalies. Rappelons à ce titre que la situation qui caractérise le service d'assainissement dans la majorité des communes françaises est une intervention sur le réseau au coup par coup, lorsque les défauts d'équipements deviennent visibles (c'est essentiellement le cas pour les réseaux gravitaires séparatifs). Ce n'est que depuis quelques années que les grandes villes adoptent des programmes d'inspection systématique des canalisations par caméra de télévision.

Le niveau de sécurité d'un réseau gravitaire, sur le court terme, apparaît supérieur à celui du système pneumatique en raison de l'invisibilité de la plupart des anomalies. Cependant, pour cette même raison, à moyen terme, voire à long terme, les effets de ces anomalies (manque de pente, mauvais curage, fissures, corrosion) peuvent devenir irréversibles. Il faut alors réhabiliter le réseau ou bien le remplacer. Le niveau de sécurité d'un réseau gravitaire ne se mesure généralement qu'a posteriori. Si une inspection régulière des canalisations gravitaires installées dans des zones sensibles n'est pas

réalisée, le risque est donc important d'obtenir un réseau prématurément défectueux.

Pour C. Triantafillou (63), le caractère dégradé d'un réseau d'assainissement correspond au fait que le réseau ne réussisse pas à remplir son rôle. Ainsi défini, l'état de dégradation d'un ouvrage d'assainissement ne s'identifie pas seulement à l'accumulation d'un certain nombre d'anomalies, il caractérise également l'écart existant entre les finalités associées au réseau et sa performance réelle.

Les avaries techniques sur un réseau pneumatique induisent la plupart du temps un dysfonctionnement immédiat. Par conséquent, à court terme, le procédé sous vide apparaît plus vulnérable que l'égout gravitaire. Mais à moyen terme, les phénomènes de dégradation seront plus atténués puisque les anomalies non visibles et à effets retardés sont plus rares. Il ne peut pas y avoir de dégradation non diagnostiquée rapidement. Aussi, le caractère visible des anomalies sur un réseau à dépression permet au gestionnaire de s'assurer que le réseau, en conservant son niveau de performance, ne s'écarte pas des objectifs préalablement fixés. On peut alors supposer d'une part que les interventions de réhabilitation sur la structure et/ou sur le mode de fonctionnement de l'ouvrage devraient être relativement rares à moyen terme, d'autre part que les équipements pneumatiques conserveraient de façon durable leur capacité à accomplir leurs fonctions de collecte et de transport des effluents, mais aussi de protection du milieu extérieur.

3. Conclusion.

Si la gestion au jour le jour du réseau sous vide peut apparaître plus astreignante que celle du gravitaire, c'est parce que le procédé pneumatique a intégré d'emblée des régulations précises qui permettent un repérage et une intervention sur les différents dysfonctionnements possibles. L'exploitation en temps réel de l'égout pneumatique assure alors en principe le maintien à un niveau satisfaisant des qualités du réseau. Il s'en suit une grande permanence du système dans la durée, évitant l'apparition de "crises" comme celles que connaît ici ou là le gravitaire.

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

Le réseau sous vide, système de desserte territoriale, apparaît comme un procédé d'avenir là même où le gravitaire n'est pas encore installé (et donc ne peut l'être facilement), tant par son coût économique que par ses bonnes performances globales de desserte et de gestion territoriales.

L'analyse présentée dans cette troisième partie repose sur une hypothèse bâtie autour d'une réalité territoriale locale. Il y aurait un acteur (la collectivité locale) qui aurait intérêt à faire de la bonne desserte sur un territoire qu'il maîtriserait et avec une certaine autonomie de gestion. Ce postulat important n'aurait sans doute pas été acceptable il y a une dizaine d'années, compte tenu du rôle de l'Etat dans l'assainissement en France. Aujourd'hui, dans le cadre de la décentralisation, cette hypothèse est très vraisemblable. Ainsi, la crise économique aidant, cette évolution a amené un changement de mentalité et un renforcement des responsabilités des collectivités locales en matière d'assainissement. Par ailleurs, l'enjeu de la desserte dans des zones difficiles devient crucial pour le maire d'une commune garant de la nouvelle urbanité, titulaire du pouvoir d'autoriser l'occupation du sol. En effet, depuis le 1^{er} avril 1984, là où existe un POS, c'est désormais le maire qui décide au nom de la commune de l'octroi du permis de construire. Or, le POS est désormais élaboré à l'initiative des communes et approuvé par délibération du conseil municipal ce qui exclut par là même toute intervention étatique. Mais l'Etat conserve certaines prérogatives en matière d'urbanisme, notamment en imposant la figuration des servitudes d'utilité publique dans les annexes des plans d'occupation des sols (64).

NOTES DE LA TROISIEME PARTIE

- (1) Voir notamment les ouvrages présentés dans la section "Réflexion générale sur les réseaux et le génie urbain", de la bibliographie située en fin de thèse. Pour le lecteur pressé, se reporter à l'article de G. Dupuy : "Réseaux", Encyclopaedia Universalis.
- (2) Agence de l'Eau Artois-Picardie, STU, Alternatives à l'assainissement gravitaire, novembre 1985.
- (3) Toutes les filières d'assainissement individuel obéissent au schéma suivant : prétraitement / traitement / évacuation.
Elles ont en commun le système de prétraitement, la fosse septique toutes eaux, et diffèrent au niveau de la partie traitement / évacuation :
- L'épandage souterrain est réglementairement la solution à envisager en premier. Il assure simultanément les fonctions de traitement et d'évacuation ; l'infiltration se fait sur place, dans le sol.
 - Le terre d'infiltration assure les mêmes fonctions (traitement et évacuation) dans les cas particuliers où la nappe phréatique est proche du niveau du sol.
 - Le filtre à sable vertical, utilisé dans les cas de sols imperméabilisables (ou trop perméables), n'assure que la fonction de traitement. Il nécessite donc un dispositif d'évacuation des eaux (puits d'infiltration ou rejet vers le réseau hydrographique).
- Cf. Contraintes d'assainissement individuel au niveau de la parcelle dans les opérations d'habitat de faible et moyenne densité, Ministère de l'Urbanisme et du Logement - Service Technique de l'Urbanisme, janvier 1984.
- (4) Nous ne présentons que le principe général de fonctionnement des 4 procédés sous pression. Pour plus de détails, se reporter au cahier technique de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie et du STU, op.cit. :
- Le réseau avec pompes dilacératrices : chaque habitation est équipée d'une pompe de faible puissance, munie d'un broyeur. Celle-ci est placée dans une bache de petit volume implantée dans le sous-sol à proximité de l'habitation. Les eaux usées s'y déversent gravitairement. Lorsque le volume recueilli est suffisant, le moteur entre en action, les déchets volumineux sont déchiquetés, l'ensemble est refoulé dans une canalisation de petit diamètre posée à faible profondeur.
- Le système STEP (Septic Tank Effluent Pump) : cette solution est une variante du système précédent. Avant de se déverser dans la bache de pompage, les eaux usées traversent une fosse septique où les graisses et les matériaux volumineux sont arrêtés. Le dispositif de refoulement ne peut être qu'une simple pompe d'épuisement.
- Les réseaux avec aéro-éjecteurs : le dispositif d'injection qui permet aux effluents d'accéder au réseau sous pression est cette fois un aéro-éjecteur implanté à l'aval d'un mini réseau gravitaire qui collecte les eaux usées des maisons avoisinantes.
- Les réseaux avec postes de refoulement secondaires : cette solution est une variante technique de la précédente. Les aéro-éjecteurs sont remplacés par des postes de refoulement secondaires, constitués le plus souvent d'une seule pompe centrifuge placée dans un simple regard de visite.
- En ce qui concerne le fonctionnement de ces quatre variantes, deux systèmes peuvent être retenus. D'une part le système aléatoire avec lequel toute liberté est laissée à chaque poste, dont la pompe démarre et s'arrête uniquement en fonction du niveau d'effluent à évacuer. Toutes les combinaisons de fonctionnement, allant

d'un seul poste aux n postes équipant le réseau, sont alors possibles ; d'autre part le système coordonné où un seul poste fonctionne à la fois.

- (5) Un nouveau procédé, le réseau sous pression FLYGHT, est depuis peu sur le marché de l'assainissement. C'est une autre variante des 4 systèmes précédents. Une pompe est directement raccordée sur la conduite d'évacuation des eaux usées des habitations.
- (6) A noter que les procédés à pompes dilacératrices, STEP et FLYGHT n'ont aucune application en France et connaissent un développement limité à l'étranger.
- (7) N. Jéquier, G. Blanc, La technologie appropriée dans le monde, une analyse quantitative, OCDE, Paris, 1983.
- (8) Voir A. F. Hassett et J.C. Starnes "Vacuum wastewater collection, the alternative selected in Queen Anne's County, Maryland", Journal Water Pollution Control Federation, volume 53, number 1, January 1981.
- (9) Voir "Sewage collection system relieves threat to Florida Oyster Industry", Water and Sewage Works, August 1977.
- (10) Informations recueillies auprès de Monsieur Fernez, Premier Adjoint au Maire de Longueil Annel et Président du Syndicat Intercommunal d'Assainissement de Longueil Annel - Thourotte, lors d'un interview effectué en 1988.
- (11) Voir D. Mills et G.J. Stanley "Vacuum sewerage", International Conference on the Planning, Construction, Maintenance and Operation of Sewerage Systems, University of Reading, England, 12 - 14 September 1984.
- (12) L'intérêt du système à dépression était dans ce cas de pouvoir installer des canalisations sous une chaussée déjà fortement encombrée, voir D. Mills et G.J. Stanley, op. cit.
- (13) Voir W. Dippold et J. Jedlitschka "Vakuumsystem - Druckentwässerung", Wasser und Boden, n°5, 1979.
- (14) Données citées par D. Faudry, L'évolution des techniques de l'eau dans la ville, Université des Sciences Sociales de Grenoble, Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, mai 1985.
- (15) Ce réseau s'étend sur 2,8 km. Actuellement deux bâches collectives Vacuflow recueillent chacune les effluents de 300 habitants. Les distances entre les deux bâches sont importantes, et en attendant le raccordement de deux bâches supplémentaires, des aspirations d'air auxiliaires ont été implantées aux futurs emplacements de celles-ci afin d'assurer un transport efficace des eaux usées. Le réseau sous vide est caractérisé par une double canalisation en PVC de diamètre 110 à 160mm en raison de l'importance du débit transité.
- (16) Agence de l'Eau Artois-Picardie, STU, op.cit.
- (17) On supposera dans un premier temps que l'estimation des frais d'exploitation est fiable.

- (18) Pour le réseau sous vide, le coût global actualisé a été calculé à partir de l'installation Vacuflow à Longueil-Annel (Oise).
- (19) On ne tient pas compte des systèmes avec pompes dilacératrices et STEP car inexistants en France et peu appliqués dans les autres pays.
- (20) Agence de l'Eau Artois-Picardie, STU, op.cit., p. 45.
- (21) Ne sont étudiés ici que les réseaux communaux et non les réseaux installés dans les campings et les centres de loisirs.
- (22) L'étude comparative de l'assainissement gravitaire et pneumatique sur le réseau de Tracy-le-Mont a été réalisée par C. Pachot, L'assainissement sous vide : une alternative au système gravitaire, mémoire de fin d'études, CNAM, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, juillet 1987.
- (23) Le terme **gravitaire** signifiant dans ce cas conduites gravitaires associées à des postes de refoulement.
- (24) SOC, Barriquand et SOGEA ont toutes les trois les moyens de réaliser une première évaluation de l'intérêt économique des projets pneumatiques puisqu'elles installent par ailleurs des réseaux gravitaires.
- (25) De plus l'élaboration d'un projet en sous vide nécessite, même avec une bonne connaissance de la technique, un temps de travail en bureau d'études relativement important. Par conséquent, l'entreprise évaluera d'abord ses chances d'obtenir le marché avant de travailler sur la conception du réseau pneumatique.
- (26) Il existe également plusieurs variantes pour les bâches individuelles (cf. partie II, chapitre 1), mais généralement elles n'entraînent que de faibles modifications des coûts élémentaires.
- (27) Pour les grands réseaux gravitaires, c'est un peu la même chose. Quand on construit le réseau, il faut bien commencer par les collecteurs aval, très coûteux dont les coûts ne se justifieront que lorsque tout le réseau amont aura été terminé.
- (28) Il est parfois prévu, avec l'extension du réseau, de mettre en place une pompe à vide supplémentaire (c'est par exemple le cas du réseau du Tasta). Mais généralement, les puissances initialement installées sont suffisantes.
- (29) Calculs effectués à partir des coûts estimatifs présentés par C. Pachot, op.cit.
- (30) Op. cit.
- (31) Agence de l'Eau Artois-Picardie, STU, op.cit.
- (32) Renseignements obtenus auprès de la Lyonnaise des Eaux de Bordeaux, lors d'un entretien effectué le 11 / 03 / 87.
- (33) Informations recueillies auprès de Monsieur Fernex, Premier Adjoint au Maire de Longueil Annel et Président du Syndicat Intercommunal d'Assainissement de Longueil Annel - Thourotte, lors d'un interview effectué en 1988.

- (34) Voir C. Pachot, op. cit.
- (35) Analyse économique citée par A.F. Hasset et J.C. Starnes, op. cit.
- (36) Etude réalisée par D. Mills et G.J. Stanley, op. cit.
- (37) C. Triantafillou, op. cit.
- (38) Op. cit.
- (39) En général, on retrouve les mêmes principes d'exploitation pour les réseaux d'eau potable et pour les réseaux d'assainissement. Avec le quasi-achèvement de la desserte en eau potable et les efforts d'équipement en assainissement, souvent la commune qui a pris un auxiliaire privé pour l'eau est tentée de l'utiliser pour l'assainissement.
- (40) La régie peut revêtir diverses formes : la régie directe ou régie simple (c'est une régie sans personnalité juridique ni autonomie comptable et financière), la régie dotée de la seule autonomie financière et la régie autonome dotée de la personnalité morale.
- (41) Estimation donnée par Loriferne (sous la direction de), op. cit.
- (42) Signalons que 10 réseaux sous vide sont exploités par la Lyonnaise des Eaux, 2 par la SAUR, 1 par la Compagnie Générale des Eaux et 1 par la SADE. Une entreprise locale en Gironde (les Régies d'Electricité de la Gironde) gère quant à elle 4 réseaux par dépression (voir tableaux pages 111, 112 et 113).
- (43) D. Lorrain, "Le grand fossé ? Le débat public/privé et les services urbains", Politiques et Management Public, vol. 5, n° 3, septembre 1987.
- (44) Propos recueillis auprès de Monsieur Charton de la Lyonnaise des Eaux de Bordeaux, lors d'un entretien effectué à Bordeaux le 11 mars 1987.
- (45) Il s'agit des réseaux installés à Lacanau, Gujan-Mestras, Hostens, Bruges "le Tasta", Hourtin (Gironde) et à Biscarosse (Landes).
- (46) L'estimation de l'énergie consommée par habitant et par an résulte du dépouillement des relevés des temps de fonctionnement des pompes à vide et des pompes de refoulement de Biscarosse (Landes), Saint-Pierre d'Aurillac, Béhisy Saint-Pierre et de Bruges le Tasta (Gironde), réalisé par Granier (C.), op. cit.
- (47) Les quelques obstructions inventoriées ont toutes été temporaires ; l'augmentation du différentiel de pression (air / vide) ayant suffi à les éliminer.
- (48) Pour une valve bloquée en position ouverte, l'aspiration d'air parasite est visualisé sur les disques d'enregistrement du temps de travail des pompes à vide. Par contre, la localisation de la valve défectueuse oblige l'exploitant à inspecter l'ensemble des valves branchées sur le tronçon perturbé. En effet, l'identification de l'antenne concernée est relativement facile au moyen de manomètres placés au début de chaque ligne pneumatique, mais il n'existe pas de méthode automatique de détection des valves hors service (rappelons que le nombre de valves sur les

réseaux français est actuellement compris entre 20 et 80; la majorité de ces installations n'étant que partiellement mises en oeuvre). Il est techniquement possible d'installer sur chaque bache un système de détecteur relié à la centrale de vide. Ce type de montage n'est jamais réalisé car l'investissement qu'il représente est trop important au regard de son utilité réelle. Les blocages des valves ne sont pas en moyenne très nombreux.

Ceci dit, l'enregistrement des temps de travail des pompes à vide permet parfois d'anticiper certaines pannes. Ainsi, des irrégularités au niveau du graphe d'enregistrement traduisent des difficultés de fermeture d'une valve.

En règle générale, une anomalie sur le réseau pneumatique sera toujours décelée dans la centrale de vide puisqu'elle conduit à une modification du temps de travail des pompes à vide et/ou au déclenchement d'une alarme, mais son repérage immédiat n'est pas systématique.

- (49) C. Garnier, op. cit.
- (50) C. Pachot, op. cit.
- (51) C. Garnier, op. cit.
- (52) G. Dupuy, "Les réseaux techniques sont-ils des réseaux territoriaux ?", L'Espace Géographique, n° 3, 1987.
- (53) Bien sûr dans l'idéal. En fait, il y a des frottements dûs à la rugosité des tuyaux.
- (54) Société Urbaine d'Air comprimé.
- (55) Celui de Paris est exploité par la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU). D'autres villes possèdent un réseau similaire.
- (56) Pour plus de détails sur le réseau d'air comprimé, voir T. Poujol, Des réseaux pneumatiques dans la ville, un siècle et demi de techniques marginales.
- (57) En ce qui concerne l'eau, on pourra se référer au mémoire de DEA de D. Leguy : Etude critique du rôle des interconnexions des réseaux d'eau potable en région parisienne ; nécessité, bilan de fonctionnement, perspectives d'avenir, DEA Techniques et Gestion de l'Environnement, ENPC, ENGREF, Université Paris XII, 1987.
- (58) La définition retenue pour la connexité est celle donnée par G. Dupuy dans Systèmes, réseaux et territoires, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1986.
- (59) Pour l'analyse des réseaux territoriaux, G. Dupuy, op. cit., utilise une autre propriété intéressante : la connectivité. La connectivité signifie l'existence de liaisons directes et de liaisons alternatives entre plusieurs points d'un réseau. Cette propriété permet alors d'évaluer la multiplicité des liaisons assurées par le réseau technique. Le réseau sous vide est non connectif puisque chaque point ne peut dépendre que d'une seule ligne. Un réseau gravitaire en zone peu dense ne l'est pas davantage. Un réseau gravitaire maillé, unitaire ou pluvial, en site urbain a par contre une connectivité plus forte (cette supériorité n'est pas systématique, en effet, si la connectivité du gravitaire maillé est plus forte que celle du gravitaire arborescent, le maillage est en revanche toujours limité).

G. Dupuy note que "les réseaux techniques les plus performants à la fois sur le plan fonctionnel et sur le plan de leur acceptation sociale sont, aujourd'hui, des réseaux très connectifs. Ainsi, un réseau d'eau pluviale desservant un territoire urbain sera d'autant plus performant que son degré de connectivité sera élevé. En effet, l'ensemble de ses liaisons directes et indirectes (donc sa structure maillée) permet alors de gérer au mieux les capacités de transport du réseau en cas de fortes pluies.

Peut-on alors conclure que l'absence de connectivité nuit à la performance fonctionnelle du réseau sous vide ? Une forte connectivité permet essentiellement d'assurer le fonctionnement d'un système territorial complexe. Or, les zones desservies par un système à dépression sont généralement caractérisées par une faible densité. Par ailleurs, le sens du transport des effluents s'effectue nécessairement dans un seul sens, du raccordé vers la centrale de vide. La connectivité n'est donc pas une propriété fondamentale au bon fonctionnement et au développement du réseau par dépression. Néanmoins, il semblerait qu'un degré de connectivité important favoriserait une plus grande fiabilité du réseau sous dépression dans la mesure où la multiplicité des liaisons assurerait un transport des effluents même en cas d'avarie sur une des canalisations. Ceci dit, les dysfonctionnements sur les canalisations sont extrêmement rares en pratique. De plus, la visite à la centrale de vide contribue à déceler rapidement d'éventuels dysfonctionnements avant qu'ils puissent entraîner une interruption totale du transport des eaux usées sur l'ensemble du réseau.

- (60) G. Dupuy, "Les réseaux techniques sont-ils des réseaux territoriaux ," op.cit.
- (61) G. Dupuy, "Réseaux", projet d'article pour l'Encyclopaedia Universalis, mai 1988.
- (62) On parle ici de la visite régulière de la centrale de vide en dehors de tout événement perturbateur.
- (63) C. Triantafillou, op. cit.
- (64) Pour l'octroi du permis de construire, l'avis conforme du représentant de l'Etat (la DDE) est néanmoins requis (ce qui équivaut en fait à une codécision) lorsque la construction projetée est située sur une partie du territoire communal non couverte par un POS ou par un plan d'aménagement de zone.

QUATRIEME PARTIE

LA DIFFUSION DES RESEAUX A DEPRESSION : DES STRATEGIES INDUSTRIELLES

INTRODUCTION DE LA QUATRIEME PARTIE

"La technologie est un processus social parmi d'autres : il n'y a pas, d'un côté, le technique et, de l'autre, le social comme deux mondes ou deux processus hétérogènes. La société est modelée par le changement technique, le changement technique est modelé par la société. Tour à tour conditionnée par l'offre et induite par la demande, l'innovation technique vient de l'intérieur du système économique et social et n'est pas simplement un ajustement à des transformations exogènes. Oeuvre de l'homme, elle n'échappe à son contrôle qu'autant que celui-ci le veut bien. En ce sens, une société ne se définit pas moins par les technologies qu'elle est capable de créer que par celles qu'elle choisit d'utiliser et de développer de préférence à d'autres."

Ces remarques de J. J. Salomon, dans son essai sur la résistance au changement technique (1), permettent de situer exactement l'enjeu de la diffusion des nouveaux réseaux à dépression dans la mesure où il n'y a jamais eu initialement un besoin en canalisations sous vide mais une demande d'assainissement.

Nous allons démontrer dans cette dernière partie qu'il n'y a pas de fatalité dans la diffusion du réseau d'assainissement sous vide. Ni son rythme, ni son mode de diffusion ne sont prédéterminés. En effet :

- En 1986, fut réalisé un inventaire historique de tous les usages de l'air comprimé et de la dépression appliqués aux réseaux urbains (2). Ce travail met en évidence le développement multiforme, aux nombreux déboires, de ces réseaux pneumatiques : les uns meurent, plus ou moins vite, mais d'autres, nouveaux et différents apparaissent.

Cependant, dans les années 1960, en France, la majorité d'entre eux avait disparu sans qu'il y ait alors un renouvellement dans le fond de ces applications. Aussi, écrit vingt ans plus tôt ce document n'aurait été en gros que la visite guidée d'un cimetière de réseaux mort-nés ou avortés. Sans la "réapparition" de nouveaux réseaux d'assainissement sous vide et de réseaux pneumatiques de transport d'ordures ménagères, "nul doute que nous aurions alors définitivement retenu la thèse de l'archaïsme, devant la mauvaise santé évidente des réseaux pneumatiques existant à cette époque sur le territoire français" (3).

- Entre 1971 et 1978, une société d'ingénierie, filiale d'une entreprise étrangère, commercialise en France un système d'assainissement sous vide. Ce dernier est mis en place dans certains endroits. Il ne semble alors pas y avoir de zones spécifiques au développement de la technique, ni d'ailleurs de relations privilégiées avec des maîtres d'oeuvres publics ou privés ou avec des entreprises de génie civil. Les quelques applications pneumatiques montreraient simplement une adéquation particulière entre le procédé sous vide et les infrastructures touristiques légères.

Or, nous allons voir qu'aujourd'hui l'environnement technique, industriel et social du réseau sous vide a complètement changé. Le rythme, le mode de diffusion de l'égout en dépression ne sont plus maintenant les mêmes qu'en 1978, sans que l'on eusse pu, cette année-là, prédire la situation actuelle.

L'étude sur la longue durée des rapports entre les acteurs révèle des phases d'alliances et de concurrences industrielles. Elle éclaire les incertitudes de la diffusion d'une innovation au delà des caractéristiques propres à la technique et des besoins sociaux auxquels elle répond.

CHAPITRE 1

LES ACTEURS ET LE RESEAU TECHNIQUE

A ce stade de la recherche, nous avons analysé la plupart des caractéristiques du réseau sous vide. Quatre d'entre elles paraissent aujourd'hui essentielles :

- l'étanchéité du réseau. Caractéristique nécessaire au bon fonctionnement du système par dépression, elle assure notamment l'absence de toute contamination du milieu extérieur par les effluents.
- les coûts d'investissement et d'exploitation d'un certain nombre d'éléments pneumatiques, permettant à l'assainissement sous vide d'être financièrement compétitif pour des sites particuliers.
- la "territorialité" du système par dépression, c'est-à-dire essentiellement sa capacité à couvrir le territoire virtuel, permet l'installation de canalisation dans des zones où le principe gravitaire s'oppose à la mise en place d'un réseau.
- la possibilité d'une véritable gestion du réseau. La qualité du transport des effluents et la nature des éventuels dysfonctionnements sont visibles. Les égouts pneumatiques ne sont pas une "boîte noire" de l'assainissement. L'exploitant a la possibilité de vérifier quotidiennement et facilement la performance du réseau.

L'analyse de ces quatre caractéristiques, dans le contexte de la diffusion des égouts en dépression, nous permet alors d'effectuer les deux remarques suivantes :

* les propriétés du réseau sous dépression ne semblent pas totalement intrinsèques au réseau technique. Depuis l'installation du premier système sous vide, les qualités associées au procédé à dépression et retenues pour justifier son installation n'ont jamais été exactement les mêmes. Il s'agirait alors de propriétés ayant fait l'objet d'interprétations successives par les acteurs de l'assainissement.

Nous pouvons citer brièvement, à titre d'exemple, le caractère étanche du réseau. Pour Berlier et Liernur l'étanchéité répondait essentiellement à un souci de protection de

l'individu contre les germes pathogènes. Aujourd'hui, l'étanchéité est davantage un principe technique (limiter les infiltrations d'eau parasite et leur influence sur les systèmes de traitement des eaux collectées) et un principe environnemental (volonté de protéger le milieu extérieur et éviter toute pollution d'origine organique des eaux souterraines et de surface). De même, l'objectif de Berlier était de montrer aux ingénieurs et techniciens municipaux que le réseau par dépression pouvait suivre la desserte de la technique gravitaire (c'est-à-dire les galeries visitables de Paris). En revanche, les nouveaux procédés pneumatiques sont jugés intéressants parce qu'ils peuvent desservir n'importe quel point en s'affranchissant de toute contrainte topographique. Enfin, nous pouvons aussi rappeler que la gestion du réseau sous vide, hier présentée comme un obstacle au développement de la technique, constitue actuellement un de ses atouts.

* Par ailleurs, ces caractéristiques, qui laissent présager un développement de l'assainissement sous vide, ne sont pas suffisantes pour comprendre la diffusion de l'innovation. Quelle que soit l'importance nouvelle pour les acteurs locaux des qualités du réseau technique rappelées ci-dessus, il est difficile d'expliquer la diffusion de l'assainissement en dépression uniquement par ces qualités. En effet, la place de ces caractéristiques dans le processus de diffusion de l'innovation n'est pas toujours aussi claire que l'analyse peut le laisser supposer, notamment du fait des stratégies des industriels. Nous avons vu que la qualité financière des procédés sous dépression peut également s'interpréter comme une conséquence de leur développement (voir Partie III, chapitre 1). Par ailleurs, le contexte actuel de la viabilisation a certainement influencé la définition des paramètres techniques (notamment les dimensions et la capacité territoriale de desserte) des nouveaux réseaux d'assainissement sous vide.

L'innovation pneumatique actuelle diffère de celle du siècle précédant dans la mesure où les conditions de mise en oeuvre du réseau sous vide se sont radicalement modifiées. Cette différence résulte également d'une modification de l'interprétation par les acteurs des propriétés associées au réseau technique.

Aussi, pour comprendre le processus de diffusion du réseau sous vide, il s'avère nécessaire d'apporter un complément à la partie précédente : il nous faut identifier les acteurs qui interprètent les besoins en assainissement et qui traduisent les propriétés du système sous vide. Nous proposons alors d'analyser la diffusion du réseau en

dépression à partir des acteurs industriels, c'est-à-dire des entreprises commercialisant aujourd'hui en France les procédés pneumatiques (4).

Nous allons préciser et justifier notre choix dans les paragraphes suivants.

1. Les acteurs de la diffusion.

En règle générale, six catégories d'acteurs interviennent dans la filière de l'assainissement :

- les industriels qui élaborent et/ou commercialisent les techniques.
- les maîtres d'ouvrage. Dans le secteur public, ce sont principalement les collectivités locales. Si les communes ont toujours été, selon les textes, les maîtres d'ouvrage de leurs réseaux, ce n'est que depuis la loi de décentralisation du 2 mars 1982 qu'elles jouissent d'une véritable autonomie dans l'établissement des programmes d'assainissement et dans la façon de gérer leurs réseaux.
- les maîtres d'oeuvre, conseillers des maîtres d'ouvrage. Ils possèdent un pouvoir de décision très important dans la phase du choix technique (5). Souvent, le maître d'oeuvre s'adresse lui-même aux entreprises privées pour l'étude et l'exécution des travaux. Lorsque le maître d'oeuvre est le service extérieur d'un ministère (DDE pour les communes urbaines, DDA pour les communes rurales), celui-ci peut également intervenir sous certaines conditions dans le financement du service, au titre de la Dotation Globale d'Equipement versée chaque année aux départements.
- Le gestionnaire du service doit quant à lui assurer deux fonctions, l'entretien et le contrôle, qui visent à maintenir le bon fonctionnement du réseau et ses potentialités d'évolution (le mode d'entretien des équipements est une condition importante de l'évolution de la structure du réseau). Aussi, le rôle du gestionnaire apparaît fondamental dans la mesure où l'efficacité de la technique utilisée dépend en grande partie de son mode d'intervention. En France, les communes exploitent elles-mêmes leurs équipements (le maître d'ouvrage peut donc également avoir un rôle d'exploitant), ou bien, elles confient la gestion des

réseaux à des entreprises privées, spécialisées. Cette dernière orientation tend aujourd'hui à se développer dans le secteur de l'assainissement. Les plus importantes des entreprises concernées possèdent en général une activité de production d'équipements et font parfois office de conseillers techniques auprès des moyennes et petites collectivités.

- Les usagers. Ils justifient l'existence d'un mode d'assainissement. La réalisation des réseaux d'assainissement constitue en France une condition de la "constructibilité" des terrains.
- Enfin, certains acteurs n'interviennent pas nécessairement de façon directe dans le choix, l'entretien ou l'utilisation des équipements. Néanmoins, ils exercent leur influence dans l'élaboration des programmes d'assainissement par l'établissement de normes, d'incitations financières et par leur capacité d'expertise. Leurs prises de position, voire leur pouvoir réglementaire, et les diverses subventions qu'ils accordent peuvent dans certains cas modifier la conduite des autres acteurs. Ce sont en France principalement les départements (activité de conseil pour la définition des programmes d'assainissement des collectivités et parfois aides financières), les Agences de l'Eau (avec leurs incitations financières et leur capacité d'expertise) et les DDASS, antennes départementales du Ministère de la Santé, (essentiellement pour leur pouvoir de police sanitaire dans les zones de baignade et de captage d'eau destinée à la consommation).

En ce qui concerne la diffusion des réseaux à dépression, deux types d'acteurs se distinguent, l'un par son absence dans l'étape décisionnelle : les usagers ; l'autre par son importance dans le développement du réseau pneumatique : les industriels.

1.1. Les usagers : un groupe d'acteurs absents de la diffusion ?

Il ne semble pas y avoir en France un véritable comportement "pro-pneumatique" ou "anti-pneumatique" des usagers pour les raisons suivantes :

- Il n'y a aucune alternative possible pour l'usager : l'autorité municipale lui impose un raccordement à l'égout quelle que soit la nature de celui-ci, ou bien la mise en place d'une fosse et d'un lit filtrant si aucun réseau ne passe à proximité de son lieu d'habitation. Lorsque l'option réseau est retenue par le maître d'ouvrage, l'usager n'intervient pas dans le choix de la technique à mettre en place. En matière d'assainissement, l'usager résident subit plus qu'il ne choisit. C'est donc autour de divers acteurs plus "centraux", plus "concentrés" que se joue la véritable bataille décisionnelle.
- En France, les égouts sont posés sous la voie publique. Il n'existe donc pas, même pour les conduites pneumatiques, d'installations particulières privées. Les travaux de raccordement au réseau, à la charge des propriétaires, sont en outre à peu près de même nature pour un système gravitaire que pour un égout sous vide.
- Ecarté de la phase de conception, l'acteur connecté a la possibilité d'intervenir, mais seulement de façon très ponctuelle, sur la gestion du réseau : le bruit d'une valve bloquée en position ouverte l'incite parfois à avertir l'exploitant ; il peut lui-même détériorer involontairement la bêche de transfert sur laquelle il est raccordé, mais ces deux types d'intervention restent relativement rares.

On peut cependant mentionner l'image positive du procédé par dépression auprès de certains propriétaires situés dans des zones à nappe phréatique élevée. En effet, ils ont vu, avec l'installation de ce type de réseau, la disparition de leur problème d'assainissement quotidien provenant du fonctionnement médiocre de systèmes individuels inadaptés à leur terrain marécageux.

Lorsque des systèmes d'assainissement autonome s'avèrent relativement inefficaces, il arrive parfois que la technique elle-même ne soit pas remise en cause, mais qu'en revanche la "constructibilité" ou la valeur des terrains soient rediscutées.

Aussi l'image positive du réseau sous vide par des usagers qui se débarrassent de problèmes d'infiltration des eaux usées par un raccordement au réseau peut se traduire par une revalorisation foncière de leur propriété.

Ceci dit, l'usager devient un acteur passif de l'assainissement en réseau, une fois son raccordement réalisé. En général, il ne prête guère attention au service, et sa fonction se limite à bénéficier des équipements en payant une redevance assainissement dans sa facture d'eau, mais souvent sans comprendre le coût du service qui lui est rendu (6).

L'expérimentation de techniques alternatives en assainissement pluvial montre toutefois que les usagers ne sont pas exempts de vives réactions si un dysfonctionnement occasionne d'importantes perturbations. Ainsi, une mauvaise conception de ces techniques, associée à une méconnaissance de l'événement pluvieux ont provoqué des inondations sur les parcelles privées. Dans quelques quartiers concernés, les habitants, ont essayé d'obtenir des dédommagements aux troubles qu'ils avaient eu à subir en déposant chacun de leur côté une plainte au promoteur.

Dans d'autres cas, Malet et Ta Thu Thuy (7) ont observé des réactions collectives organisées et très puissantes.

Sur le site expérimental de Yerres par exemple, les associations de quartier se sont réunies pour attaquer le promoteur en justice. Celui-ci reconnaît avoir été surpris par l'ampleur de cette réaction. Sur le terrain, des modifications du système d'assainissement par les habitants eux-mêmes se sont avérées toutes aussi désastreuses. Néanmoins, l'installation et/ou le fonctionnement de réseaux sous dépression n'ont jamais connu de telles situations en France (il n'y a pas eu, par exemple, des inondations d'habitations en raison d'un mauvais fonctionnement du système sous vide).

Sans participer directement à l'élaboration des programmes d'assainissement, l'usager peut donc intervenir dans le développement d'une innovation en assainissement, notamment en diffusant une image positive ou négative de cette innovation, et plus rarement, en agissant directement sur le procédé. Dans ce dernier cas, l'effet "vitrine" escomptée par les entrepreneurs de la technique n'est pas toujours obtenu.

1.2. Les industriels : la "cheville ouvrière" du réseau pneumatique.

Ce sont des industriels qui ont conçu le réseau d'assainissement par dépression. En France, quatre sociétés commercialisent un procédé d'assainissement sous vide. Il s'agit de :

- C. Barriquand et Fils, petite entreprise compiégnnoise de travaux publics ;
- SOC (Sud Ouest Canalisation), une PME de la région de Bordeaux (Saint-Médard-en-Jalles).

Ces deux sociétés commercialisent et installent le système Transvide.

- la société EVAC, petite filiale française d'une entreprise finlandaise, qui commercialise actuellement le procédé Vacuflow (brevet initialement détenu par Electrolux Wascator) ;
- cette dernière a passé un contrat d'exclusivité avec SOGEA pour l'installation de son réseau sur le territoire français.

Nous supposons que les stratégies des entreprises et les opportunités locales modèlent en grande partie le processus de diffusion de l'innovation pneumatique. En effet :

- Ce sont ces entreprises qui font le lien entre les acteurs oeuvrant dans le domaine de l'assainissement et l'objet technique innovant.
- C'est également par leur intermédiaire que l'on pourra comprendre les stratégies internationales des sociétés étrangères détentrices des brevets pneumatiques.
- Les entreprises jouent certainement un rôle non négligeable dans la diffusion spatiale de l'innovation : la localisation géographique des réseaux en dépression (figure VI partie II, chapitre 1) montre une concentration importante de réalisations dans le département de la Gironde, dans celui de l'Oise et de ses départements voisins. Or, nous venons de voir que deux entreprises promotrices du sous vide sont justement situées en Gironde et dans l'Oise.
- Enfin, leurs différentes alliances peuvent nous aider à distinguer des étapes importantes dans le développement des réseaux d'assainissement par dépression.

L'analyse des acteurs industriels conduit théoriquement à négliger le rôle des usagers dans la diffusion de l'innovation puisque ce groupe d'acteurs n'a pratiquement aucun lien direct avec les sociétés concevant et installant les réseaux d'assainissement. Pourtant, nous avons remarqué au paragraphe précédent que l'utilisateur peut intervenir

dans le développement d'une innovation en diffusant une image positive ou négative de cette innovation. Par conséquent, les attitudes des maîtres d'ouvrage et d'oeuvre, des gestionnaires de réseaux, voire des entrepreneurs, peuvent traduire des compromis réalisés avec les usagers. Dans ces conditions, nous formulons l'hypothèse que certaines positions d'acteurs en relation directe avec les entreprises révèlent parfois, ou devancent, l'attitude des usagers.

2. Position méthodologique : la diffusion : une étape privilégiée dans le processus d'innovation.

En ce qui concerne les nouveaux procédés d'assainissement, nous n'étudierons pas l'ensemble du processus d'innovation, c'est-à-dire les "étapes" qui correspondent à la mise au point, à l'expérimentation, et à la diffusion de la technique, ceci pour plusieurs raisons :

- Notre objectif est d'analyser le mode de développement du procédé sous vide sur le territoire français. Or, les deux procédés pneumatiques actuellement installés ont été mis au point à l'étranger par des entreprises (l'une américaine, l'autre suédoise) qui n'interviennent pas ou peu aujourd'hui dans la commercialisation de ces réseaux en France.
- Par ailleurs, le réseau par dépression est une technique qui commence à se développer en France compte tenu du nombre de réalisations (47 systèmes sous vide installés entre 1971 et 1989, voir figure IV et tableau II en fin de chapitre 1 partie II). Or, nous considérons qu'une innovation ne peut exister que si un phénomène de diffusion est amorcé, autrement le procédé demeure une invention "mort-née". En conséquence, nous privilégierons l'étude du jeu des acteurs intervenant dans le processus de diffusion.

Cependant, un certain nombre de recherches semblent remettre en cause les analyses classiques de l'innovation (8) où celle-ci est étudiée au moyen d'un modèle linéaire. Avec ce type de modèle, un enchaînement irréversible d'étapes permet de suivre l'objet technique depuis sa conception jusqu'à son développement. Diverses études portant sur

les processus d'innovation (8) montrent en fait que les étapes s'enchaînent rarement avec netteté et de façon distincte. Il y aurait plutôt un travail "d'adaptation mutuelle" (9) entre la technique et son environnement (social), dans la mesure où ce sont principalement les compromis techniques et les besoins des acteurs concernés qui expliqueraient l'innovation. Aussi les chercheurs du Centre de Sociologie de l'Innovation proposent de substituer à ce modèle linéaire, un modèle "tourbillonnaire" tenant compte des multiples négociations socio-techniques donnant forme à l'innovation (10).

Néanmoins, pour les réseaux pneumatiques, nous considérons que l'étape de la diffusion en France se distingue de façon relativement nette des étapes qui la précèdent (idée générale - études, plans - prototype - expérimentation). Ceci s'explique par le fait que les deux procédés aujourd'hui sur le marché sont protégés par de multiples brevets étrangers. Il est donc difficile pour les entreprises françaises installant ces réseaux d'apporter des modifications importantes aux divers appareils pneumatiques. Nous retrouvons la même situation dans d'autres pays européens comme l'Allemagne, la Grande Bretagne et les Pays-Bas.

Dans ces conditions, les modifications repérées sur certaines installations à dépression ne remettent pas en cause le produit initial. Elles correspondent essentiellement à des adaptations mineures aux contraintes locales souvent liées à la nature des terrains.

Une première méthode pour suivre la diffusion des réseaux sous vide consisterait à analyser successivement l'ensemble des acteurs influant sur le développement de la technique, puis à repérer parmi leurs différents discours ce qui peut être considéré comme des attitudes hostiles ou favorables à l'innovation.

A l'égard de cette approche, nous partageons les mêmes réserves que M. Callon et B. Latour (11). Nous serions en effet amenés à évaluer des délais plus ou moins longs de diffusion des réseaux sous vide à partir du discours et des actions des différents acteurs interrogés, avec le risque finalement de considérer l'objet et les acteurs comme deux systèmes relativement autonomes.

Cette démarche ne nous permettrait donc pas de saisir les particularités de la diffusion de l'innovation pneumatique dans la mesure où la méthode retenue ne donnerait que peu d'indications sur la façon dont se développe la technique. En outre, nous avons noté au début de ce chapitre que les propriétés du réseau sous vide seraient en grande partie

interprétées par les acteurs eux-mêmes, en fonction du contexte dans lequel s'inscrit la diffusion. Il n'y a donc pas, comme le suggère cette méthode, existence de trois systèmes distincts - l'environnement, les acteurs, la technique - mais plutôt une "hybridation" des trois qui donne naissance à l'innovation et qui fait sa diffusion.

Partant de ce constat, M. Callon et B. Latour suggèrent que les acteurs qui vont agir sur l'innovation vont le faire dans leur intérêt. Ils proposent alors de repérer les "alignements d'intérêts", au lieu de suivre les délais dûs à des résistances. Avec cette approche, que les auteurs appellent modèle de la "traduction" (12), l'innovation devient une interprétation provisoire de l'état de la nature, des possibilités techniques et des stratégies concurrentes des acteurs. Pour M. Callon et B. Latour, "suivre les compromis continuels et la succession des réinterprétations, c'est cela suivre une innovation selon le modèle de la traduction" (13).

Cependant, lorsque les acteurs sont nombreux et les décisions multiples, nous obtenons un objet d'étude relativement complexe, reproduisant sans doute fidèlement les différentes observations faites sur le terrain, mais dont la synthèse s'avère par contre difficile à effectuer. Notons à ce propos que l'objectif du modèle de la traduction est d'élaborer des outils d'analyse permettant de suivre l'objet technique quand il est à l'état de projet ou dans une forme encore provisoire. Avec les nouvelles réalisations sous vide en France, il s'agit plutôt de repérer des stratégies d'acteurs relatives à un système dont les composants techniques sont déjà déterminés et difficilement modifiables.

Le jeu des acteurs industriels revêt alors un intérêt particulier. En décidant de la commercialisation en France de l'assainissement par dépression, ils ont effectué une première interprétation de l'état de la nature, des possibilités techniques et des stratégies des autres acteurs. Leur étude nous permettra de suivre à la fois l'environnement, l'ensemble des acteurs et la technique sans devoir effectuer une nette séparation entre ces trois systèmes. Nous pourrons ainsi éviter la typologie de la première méthode et la complexité de la seconde.

Nous allons voir dans les chapitres suivants qu'il est quasiment impossible de définir un portrait type de l'acteur industriel commercialisant l'innovation. Si l'objet technique et le contexte de l'assainissement les solidarisent et les obligent en quelque sorte à tenir des discours similaires sur la scène où jouent les autres acteurs, leurs intérêts ne sont pas homogènes, ce qui se répercute sur les stratégies de diffusion. Nous déterminerons

alors quelles sont les différentes stratégies de ces sociétés ; comment elles ont été en partie modelées par l'intervention de divers acteurs publics ou privés, quelle est l'attitude de ces derniers à l'égard du jeu concurrentiel des entreprises "pneumatiques".

CHAPITRE 2

L'AGE DES ALLIANCES

1. De Liljendahl à Electrolux : les premiers réseaux par dépression sont installés en France.

En 1971, La Marina de Talaris, à Lacanau (département de la Gironde) est équipée par la société Electrolux Wascator AB d'un système original, alors totalement méconnu, permettant la collecte et le transport par dépression des eaux usées jusqu'à la station d'épuration. Le procédé mis en place, appelé "Sanivac", comporte deux réseaux sous vide distincts. Le premier collecte les eaux vannes à partir d'une cuvette sanitaire spéciale ("vacuum toiletts"), équipée d'une vanne d'entrée des matières dans la canalisation et de deux temporisateurs réglant la durée d'ouverture de la vanne et la durée d'arrivée d'eau. Le second réseau aspire les eaux ménagères à partir d'un regard de mise sous vide.

Pour le maître d'ouvrage (la société SCI "Marina de Talaris") et le maître d'oeuvre (bureau d'études privé parisien) les réseaux à dépression "Sanivac" permettaient de résoudre convenablement le délicat problème de l'assainissement de villas groupées par hameaux, les unes situées dans une zone boisée où la nappe phréatique est affleurante, les autres construites sur pilotis en bordure de l'étang de Lacanau (14).

Après 37 années d'absence sur le marché de l'assainissement, l'égout en dépression était de nouveau utilisé en France par l'intermédiaire d'Electrolux, entreprise suédoise qui faisait de La Marina de Talaris sa première réalisation commerciale française.

En fait, 15 ans plus tôt, en 1956, le suédois Joel Liljendahl avait mis au point le "vacuum toilet". Dès 1959, il installa quelques réseaux sous vide utilisant ses vacuum toiletts en Scandinavie, au Mexique, en Israël et aux Bahamas. Ces réseaux ne collectaient que les eaux vannes à partir des W-C spéciaux.

En 1969, la société Electrolux Wascator AB racheta les brevets Liljendahl, y apporta quelques modifications (élaboration d'un réseau sous vide destiné à l'évacuation des eaux usées domestiques, installé conjointement avec le réseau vacuum toiletts), et les commercialisa sous l'appellation Sanivac. Des réseaux Sanivac furent alors construits en Australie, en Allemagne, en Italie, aux Pays-Bas, en Grèce, en Espagne, en Yougoslavie, aux Etats-Unis et au Canada (15).

L'intérêt majeur de ce procédé, notamment aux Bahamas et au Canada, fut de pouvoir installer un réseau d'assainissement sur des sites contraignants, tout en réduisant la consommation d'eau. En effet, aux Bahamas, pendant la saison touristique, la population augmente de façon considérable, surtout dans l'île de la Nouvelle Providence où la production d'eau potable s'avérait alors à la fin des années 60 insuffisante. L'installation des égouts sous vide Sanivac, entre 1965 et 1970, permit de réaliser un réseau d'assainissement fiable dans une zone difficile (terrain plat, nappe phréatique affleurante, urbanisation le long de la côte) sans obligation de chasses d'eau puisque les sanitaires connectés à la conduite pneumatique fonctionnent avec une quantité limitée en eau. Pour les zones arctiques canadiennes, c'est l'absence ou la rareté de l'eau de consommation pendant les mois d'hiver qui a fait du système Sanivac une technologie appropriée à l'assainissement des zones habitables (16). Liljendahl avait d'ailleurs élaboré un système de traitement par voie chimique des effluents spécifique au système de double canalisation pneumatique.

La réduction de la consommation de l'eau, qui avait en quelque sorte "condamné" les réseaux Liernur et Berlier (voir partie I, chapitre 3), est devenue avec la technique pneumatique Sanivac un réel avantage dans des zones particulières et certainement peu nombreuses.

Par ailleurs, Electrolux élaborait une variante au système Sanivac : le réseau Vacuflow qui collecte l'ensemble des effluents domestiques (eau usée, eau-vanne) dans une seule canalisation ne nécessitant pas l'emploi de W-C spéciaux.

De 1971 à 1981, dix réseaux pneumatiques sont vendus par Electrolux en France (le système Sanivac à Talaris et neuf réseaux Vacuflow). Ces procédés ont été installés au coup par coup, un peu partout (Oise, Gironde, Var, Manche, Marne, Seine-et-Marne), l'industriel faisant appel à des poseurs différents, occasionnels, en général des PME locales de travaux publics.

La société Electrolux-France est une entreprise d'ingénierie et n'a aucune activité de génie civil. Dans ces conditions, elle se charge de la promotion commerciale et de la conception des réseaux sous vide, mais délègue la construction à des entreprises de travaux publics. Pour celles-ci, la mise en place d'un système sous vide n'était qu'une opportunité supplémentaire de travail dans leurs propres zones territoriales d'activités. Elles ne cherchaient pas à développer une compétence pneumatique spécifique. Une fois le système sous dépression installé, elles reprenaient leurs travaux traditionnels.

Barriquand avait d'ailleurs posé à la même période dans l'Oise, et à la demande d'Electrolux, deux réseaux sous vide, l'un à Béthisy-Saint-Pierre en 1975, l'autre à Longueil-Annel en 1977. Cependant, ces deux expériences n'avaient pas suscité une "vocation pneumatique" particulière chez l'entrepreneur. Son carnet de commandes de l'époque était suffisant pour lui permettre de rester dans son secteur d'activités traditionnel (assainissement gravitaire, terrassement, adduction d'eau potable, pose de câbles PTT, forage). A l'origine, chez Barriquand, il n'y avait pas de "réel intérêt" pour l'assainissement sous vide, ni d'ailleurs chez les autres entreprises ayant installé ce type de réseau. S'il existait des demandes en matière de collecte et de transport d'eau usée, elles étaient apparemment satisfaites par des techniques conventionnelles.

A la fin des années 1970, le milieu de l'assainissement commence tout juste à changer. Rappelons que la circulaire Loriferne, considérée comme la première innovation réglementaire importante dans l'assainissement n'est officialisée que le 22 juin 1977. Le réseau gravitaire reste encore la norme en matière d'équipement, même si les administrations centrales et extérieures de l'Etat s'accordent déjà à reconnaître que son application systématique est contestable. La tendance à la diversification des techniques est par conséquent à peine amorcée (voir partie II, chapitre 2).

Cependant, les premières réalisations commerciales d'Electrolux en France, nous incitent à formuler deux remarques importantes :

1°) La première concerne l'unique réalisation Sanivac en France.

Seule la Marina de Talaris a été équipée par le procédé Sanivac. Toutes les autres installations conçues par Electrolux emploient le système Vacuflow.

Le réseau Sanivac, à la Marina de Talaris, entraîna de nombreux problèmes d'exploitation dès le début de son fonctionnement en 1971. La nouveauté de la technique en est sans doute la raison puisque Talaris est la première installation en France de cette nouvelle "génération" de réseaux à dépression. L'entreprise de génie civil et la société d'exploitation ont été confrontées à des savoir-faire techniques qui n'étaient pas dans leur domaine de compétences.

Néanmoins, l'unique réalisation Sanivac en France ne s'interprète pas seulement par l'expérience médiocrement réussie à Talaris. C'est avant tout la situation française de l'assainissement qui favorisa le développement du système Vacuflow, puis celui du système Transvide (voir chapitre suivant). A partir des années 1970, un besoin en réseaux de collecte devient important afin de rentabiliser les stations existantes. Il s'agit alors de transporter aux stations d'épuration un effluent de même nature que celui

collecté par les égouts gravitaires, et cela dans un contexte où d'une part le droit de propriété privée constitue, comme le rappelle G. Knaebel, "un principe de l'ordre social codifié par le droit" (17), où d'autre part les politiques publiques d'assainissement de l'habitat peuvent difficilement empiéter sur ce droit. Le développement du procédé Sanivac, avec ses cuvettes sanitaires spéciales, obligatoires et placées à l'intérieur des habitations, aurait vraisemblablement été confronté au droit français de la propriété privée, comme aujourd'hui ce dernier est un handicap majeur au développement de la gestion collective de l'assainissement individuel (18). Par contre, avec les égouts par dépression Vacuflow et Transvide, tout se passe dans le domaine public. Or, parmi les réseaux sous vide Vacuflow vendus par Electrolux entre 1971 et 1981, certains ont été construits dans des zones déjà urbanisées. Il s'avérerait difficile, voire impossible, de demander aux propriétaires de modifier leurs installations sanitaires pour un raccordement au tout-à-l'égout.

2°) Pour les réseaux sous vides installés jusqu'en 1981, Electrolux a dû négocier à chaque fois avec des maîtres d'oeuvre et des entreprises de génie civil différents (à l'exception de l'entreprise Barriquand qui effectua la pose de deux égouts Vacuflow). Certes, la multiplicité des zones géographiques concernées et la variété des travaux effectués (réseaux communaux, lotissement privés, campings privés et communaux) expliquent en partie cette situation. Elle révèle peut être aussi, une stratégie commerciale d'Electrolux privilégiant l'opportunité des appels d'offres, plutôt que le partenariat avec une entreprise de génie civil. Cette attitude se comprend pour plusieurs raisons.

La société doit faire face dans les débuts de la commercialisation du système Vacuflow à deux incertitudes : l'une liée à la collaboration nécessaire avec une entreprise de génie civil, l'autre relative au choix des zones géographiques à privilégier dans sa stratégie de vente.

En ce qui concerne le recours à une entreprise de travaux publics, Electrolux ne pouvait pas, dès les premières réalisations porter son choix sur une entreprise définie, ou finalement sur plusieurs situées dans des régions différentes.

En effet, elle ne décelait pas dans ses partenaires occasionnels un intérêt particulier pour le procédé sous dépression. De plus elle pressentait bien que le choix d'une entreprise allait sans doute orienter la diffusion spatiale de l'innovation.

En théorie certains critères permettent de sélectionner des départements a priori adaptés à la technique sous vide (topographie plane, zones touristiques du littoral etc.). Mais ce n'est qu'en travaillant sur place qu'elle pouvait se rendre compte des réelles

opportunités, en se référant aux différentes attitudes des acteurs locaux vis-à-vis du procédé pneumatique, notamment celles des maîtres d'oeuvre. Aussi dans les années 1970, il ne semblait pas y avoir un partenaire public ou privé suffisamment convaincu par les potentialités de développement de la technique par dépression, pour accepter de jouer le rôle d'un acteur relais. Notons qu'au moins pendant les dix premières années de commercialisation du réseau sous vide en France, aucun maître d'oeuvre public ou privé n'a choisi plus d'une fois la technique sous vide.

De plus il faut attendre 1977, avec l'installation d'un réseau Vacuflow à Longueil-Annel (Oise) pour qu'un département compte deux égouts pneumatiques, installés par la même entreprise de génie civil (Barriquand), pour deux maîtres d'oeuvre différents. Il n'y avait donc pas, 6 ans après l'installation du réseau Sanivac à Talaris, de zone géographique réellement plus "favorable" que d'autres à l'innovation.

Dans ces conditions on comprend que l'objectif de l'entreprise Electrolux était avant tout d'installer un certain nombre de réseaux sous vide avant de faire des choix éventuels en matières de partenariat et de zones commerciales à privilégier.

2. Electrolux et SOC : un début d'intéressement, un premier effet vitrine de l'innovation.

En juin 1982, s'est posé avec acuité le problème jusqu'ici différé d'équiper les 250 hectares aménagés du centre de loisirs d'Hostens (Gironde). Une pollution de la nappe phréatique et des lacs de baignade environnants ne permettait plus de repousser une fois encore des travaux d'assainissement nécessaires. Par ailleurs, un premier projet avec une solution gravitaire démontrait le caractère excessif de l'investissement.

Le département de la Gironde, maître d'ouvrage, hésitait alors à mettre en place un réseau d'assainissement. L'ingénieur DDA (maître d'oeuvre), connaissant la technique pneumatique grâce aux quelques applications françaises et étrangères, proposa l'installation du système Vacuflow. Après de dures négociations au sein de sa direction et avec le Conseil Général hostiles à la mise en place d'une technique méconnue et jugée peu sûre, l'ingénieur obtint gain de cause (c'est en outre la première fois qu'une DDA maître d'oeuvre choisit la solution du réseau sous vide). Il bénéficia d'un allié de taille : l'Agence de l'Eau Adour-Garonne qui, d'une part cherchait à rentabiliser la station d'épuration locale fonctionnant alors en sous capacité, d'autre part était sensible aux risques de pollution croissants du milieu naturel déjà fortement exposé.

Néanmoins, au moment de la réalisation des travaux, la DDA, avertie de la nécessité d'une pose très soignée des canalisations sous vide, se refusait d'attribuer le marché à n'importe quelle entreprise de travaux publics. Elle s'adressa alors à l'entreprise SOC non seulement parce qu'elle avait une bonne connaissance du terrain, ayant déjà installé le réseau communal gravitaire d'Hostens, mais aussi en raison de sa solide réputation auprès de différents maîtres d'œuvre du département avec qui elle avait eu l'occasion de travailler. La SOC a accepté, l'opération s'est déroulée en six mois.

L'équipement pneumatique du centre de loisirs d'Hostens a été réalisé à une période très défavorable pour l'ensemble des PME de génie civil. La diminution des marchés publics, la concurrence locale généralement en faveur des grands groupes qui pouvaient supporter plus facilement des marges bénéficiaires réduites, a entraîné la disparition de nombreuses petites entreprises ou leur absorption par des sociétés plus importantes. Ainsi, pour D. Lorrain, "la liste des entreprises familiales qui disparaissent est longue (...), Par ailleurs, les grands groupes étaient en quête d'une meilleure implantation sur le marché intérieur. Ils étaient donc à la recherche de l'affaire familiale qui viendra compléter leur maillage territorial" (19).

La situation en Gironde traduisait cette conjoncture défavorable à l'ensemble des petites et moyennes firmes françaises. Notons d'ailleurs que les entreprises ayant installé le réseau sous vide de Gujan-Mestras (Gironde, 1979) et de Montalivet (Gironde, 1980) ont aujourd'hui disparu. De même, SOC commençait à perdre des parts de marché dans le domaine de l'assainissement et voyait également son troisième secteur d'activité (pose de canalisations pour le transport et la distribution de gaz et de pétrole) sensiblement régresser. Aussi, l'expérience d'Hostens s'est révélée pour l'entreprise girondine autre chose qu'une simple affaire de génie civil sans lendemain. Si effectivement le contexte général de l'assainissement s'avérait peu favorable, il mettait en relief des opportunités intéressantes pour le procédé pneumatique. Le réseau à dépression installé par SOC était déjà le quatrième système sous vide mis en service dans le département (Marina de Talaris en 1971, Gujan-Mestras en 1979, Montalivet en 1980 et Hostens en 1982, commandés par quatre maîtres d'œuvre différents et installés par quatre entreprises de génie civil différentes). Des conditions topographiques relativement mauvaises et le développement des zones touristiques semblaient constituer un terreau approprié à l'innovation pneumatique. Les performances financières (à l'investissement) des quatre réseaux sous vide construits dans le département, tout en permettant aux entreprises qui les avaient posés une marge bénéficiaire raisonnable, avaient également fait redoubler

l'intérêt de SOC envers cette technique. De plus, l'engagement de la DDA et de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne dans la programmation du réseau d'Hostens, laissait supposer l'existence de deux acteurs relais potentiellement importants pour la diffusion du réseau sous vide :

- La DDA était le maître d'oeuvre public en assainissement le plus important du département. En effet, Dans les années 1980, la DDA assurait déjà la maîtrise d'oeuvre de plus de la moitié des travaux d'assainissement de la Gironde ; la DDE concentrant ses activités dans les centres urbains.

Par ailleurs, à partir des années 1980, un effort important a été entrepris par les services centraux de l'Etat pour la formation et la sensibilisation du personnel des DDE et DDA aux problèmes de l'assainissement (20). Une telle politique a favorisé la reconnaissance par les services extérieurs des ministères, de la diversité des techniques (voir partie II, chapitre 2). Aussi, la décision de la DDA de Gironde d'installer un réseau à dépression à Hostens pouvait traduire un réel intérêt du maître d'oeuvre public pour une technique non conventionnelle, même si l'option pneumatique fut dans le cas d'Hostens retenue après de longues négociations.

- Quant à l'Agence de l'Eau, elle commençait, avec les cinq autres Agences françaises, à réorienter sa politique d'aide à l'assainissement en incitant les collectivités à construire des réseaux d'égout notamment pour améliorer le fonctionnement des stations d'épuration (voir partie II, chapitre 2).

Finalement, trois conditions favorables à la diffusion du réseau sous dépression sont réunies en 1982 :

- Un "effet vitrine" incontestable : Hostens compris, douze réseaux par dépression récents sont déjà mis en service en France. Par ailleurs, quatre sont localisés dans le Bordelais. Ils constituent donc un véritable effet vitrine du pneumatique, représentant un outil de négociation important, voire permettant de convaincre des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'oeuvre réticents. La concrétisation d'un projet technique, historiquement voué à l'échec, peut alors devenir un facteur de diffusion non négligeable.

- Un environnement local propice au développement de la technique : les qualités pour lesquelles les réseaux pneumatiques ont été installés un peu partout s'avèrent particulièrement adéquates à de nombreuses zones difficiles qui commencent à faire l'objet d'une valorisation foncière importante, notamment par le biais de l'étanchéité et du profil des canalisations. Ce dernier caractère permettant en outre un coût d'investissement moins élevé que celui du gravitaire sur des terrains contraignants. Les quatre réseaux sous vide de la Gironde laissaient d'ailleurs présager que les conditions topographiques du département pouvaient faire de celui-ci un des centres de diffusion privilégiés du réseau sous dépression.
- Un début d'intéressement constitué autour d'Electrolux, par SOC qui voit dans le sous vide un moyen de rétablir un équilibre concurrentiel en commercialisant un nouveau produit ; par la DDA, important maître d'oeuvre public en Gironde ; et par l'Antenne bordelaise de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne dont les capacités d'expertise et ses contacts avec le terrain peuvent conférer à la technique par dépression une crédibilité importante auprès des collectivités maîtres d'ouvrage (en effet, comme le rappelle C. Triantafillou (21), la confiance des élus locaux, surtout des plus petites communes, dans le personnel des Agences de l'Eau est considérable).

L'entreprise SOC va prendre des risques à vouloir présenter sur le marché de l'assainissement une technique jusqu'ici négligée et peu connue, en marge des systèmes d'assainissement conventionnels et institutionnalisés. De même, si Electrolux s'engage à privilégier ses relations commerciales avec SOC, cela suppose pour la société suédoise un ensemble d'incertitudes concernant le développement à l'échelle nationale du réseau par dépression. En effet, les compétences de SOC et sa renommée au niveau départemental ne suffisent pas à garantir une diffusion de l'égout sous vide sur l'ensemble du territoire français.

Néanmoins, SOC souhaite poursuivre l'installation de réseaux pneumatiques au moment où le produit est déjà lancé. La première réalisation sous vide par l'entreprise à Hostens est déjà le douzième réseau en dépression construit en France depuis celui de la Marina de Talaris. Les incertitudes initiales sont en parties écartées, il en reste d'autres importantes (notamment le potentiel réel de diffusion de cette technique), mais le terrain de l'innovation est déjà en partie préparé.

Par ailleurs, on peut s'interroger sur la nature de la décision de la PME. En effet, compte tenu de la situation concurrentielle défavorable d'abord aux petites et moyennes entreprises, SOC se voyait contrainte de trouver une autre activité prometteuse et moins partagée. Le procédé sous vide était alors, dans le département de la Gironde, la seule nouveauté qui permettait justement un élargissement rapide de ses services en assainissement sans pour autant bouleverser fondamentalement ses structures organisationnelles et productrices. Il fallait en outre qu'elle se décide rapidement quant au développement de ses compétences en assainissement par dépression, avant que d'autres entreprises ne s'intéressent au système pneumatique et ne deviennent trop vite des concurrentes dans ce domaine. Elle ne voulait sans doute pas manquer une opportunité rare de relance de ses activités. Le choix du sous vide fut ainsi un choix conjoncturel.

On peut alors penser à juste titre, qu'une autre innovation dans le domaine de la collecte et du transport des eaux usées, qui aurait bénéficié du même acquis que le sous vide (effet vitrine, intéressement de certains acteurs), aurait pu retenir l'attention de SOC, si le procédé à dépression avait été absent de la scène de l'assainissement.

Un exemple significatif est certainement celui du réseau sous pression, offrant lui aussi des facilités de pose dans des sites difficiles (22). Mais à cette époque, il était presque totalement inconnu en France :

- il n'y avait aucune application du procédé sous pression en Gironde ;
- depuis 1975, seulement 3 réseaux situés en Normandie ont été équipés d'aéro-éjecteurs pour le refoulement des eaux ;
- ce n'est qu'en 1980 que le premier réseau sous pression avec 12 pompes électriques de refoulement est installé dans la commune de Barbâtre (île de Noirmoutier).

3. Electrolux, SOC et Barriquand : la première alliance industrielle.

L'idée de SOC était d'obtenir un contrat d'exclusivité avec Electrolux afin d'occuper sur le marché de l'assainissement une place moins inconfortable qu'auparavant en évitant toute concurrence dans l'installation de la technique par dépression.

Consciente néanmoins des limites territoriales de son influence (l'entreprise est locale et ne possède ni les infrastructures ni les ressources humaines nécessaires pour couvrir

l'ensemble du territoire français avec ses activités), elle s'adressa alors à Barriquand, qui commençait à subir dans une certaine mesure les effets de la crise, mais avait déjà préparé un autre terrain de la diffusion pneumatique en ayant installé dans son propre département (l'Oise) deux réseaux sous dépression.

En outre, les deux réalisations de Barriquand pouvaient être jugées comme essentielles au développement du réseau sous vide, pour deux raisons :

- Sur les 11 réseaux en dépression installés entre 1971 (Talaris) et 1982 (Hostens), seuls trois sont des dessertes communales dont les deux mis en place par Barriquand, les autres étant destinés à l'assainissement d'aménagements touristiques (campings, marina, pontons de bateaux, centre de loisirs). Si la demande d'équipement en réseaux pour les collectivités devient importante (ce sera d'ailleurs le cas, voir la fin de ce chapitre et l'analyse du contexte général de l'assainissement fait au chapitre 2 de la partie II), les travaux de Barriquand laissent alors suggérer que la technique pneumatique n'est pas seulement adaptée aux "infrastructures" touristiques légères.
- Barriquand a travaillé pour Béthisy-Saint-Pierre (Oise, 1975) et Longueil Annel (Oise, 1977) avec deux maîtres d'oeuvre publics : la Subdivision de l'Equipement de Crépy en Valois pour la première installation et la Subdivision de l'Equipement de Ribecourt pour la seconde. Or dans le département de l'Oise, la moitié des marchés en assainissement étaient traitée par la DDE (23). Celle-ci pouvait donc être considérée comme un acteur important pour la diffusion de l'innovation.

Courant 1982, les deux entreprises de travaux publics signèrent un protocole d'accord avec Electrolux et devenaient concessionnaires exclusifs pendant trois années du système Vacuflow, seul procédé d'assainissement sous vide alors présent sur le marché français de l'assainissement. Dans l'immédiat, SOC et Barriquand, avec Electrolux, barraient la route aux autres entreprises qui ne pouvaient plus s'immiscer dans le secteur de l'assainissement par dépression.

La répartition des zones commerciales respectives était simple : SOC se chargeait d'installer Vacuflow dans tous les départements situés approximativement au sud de la Loire, Barriquand se réservant les régions situées au nord de cette ligne de partage.

Electrolux saisisait ainsi l'occasion de travailler avec deux partenaires privilégiés,

motivés et possédant déjà une certaine compétence dans la technique pneumatique. L'entreprise ne voulait plus de réalisations au coup par coup par des sociétés à chaque fois différentes, généralement peu au fait des contraintes de pose, en raison de leur manque d'expérience. Cette situation, vécue de 1971 à 1982, présentait le risque de mettre en place des réseaux sous vide plus ou moins bien finis. En outre, la plupart de ces réseaux en service étaient peu suivis (assistance technique en cas d'avarie grave) par les entreprises qui les avaient installés. Celles-ci, une fois leurs travaux réalisés, ne s'estimaient pas obligatoirement concernées par le développement du procédé et par la politique commerciale d'Electrolux. Des expériences imparfaites et l'absence d'un partenariat fixe pouvaient donc compromettre à terme le développement de l'égout sous vide.

Nous arrivons finalement en 1982 à une deuxième étape dans la diffusion du réseau sous vide, celle de l'alliance industrielle. L'association de trois sociétés pour la commercialisation d'un produit technique aboutit alors à une véritable stratégie "diffusionnelle" traduisant un compromis entre les ambitions d'Electrolux, c'est-à-dire un développement à l'échelle nationale du procédé, et les influences territoriales des deux PME.

De 1984 à 1986, les trois entreprises vont travailler ensemble et déployer une politique commerciale homogène. Sept réseaux Vacuflow vont être installés, 5 par SOC ("le Tasta", Saint-Pierre-d'Aurillac, Gensac, Sadirac en Gironde et Biscarosse dans les Landes), 2 par Barriquand (Fossoy dans l'Aisne et Tracy-le-Mont dans l'Oise).

Il n'aura donc fallu que trois années pour que les sociétés installent autant de systèmes à dépression qu'Electrolux seule pendant 8 ans (de 1971 à 1978).

Entre temps, en 1985, EVAK, société finlandaise commercialisant un système d'assainissement par dépression spécifique aux bateaux, racheta le département sous vide de l'entreprise Electrolux-Wascator. Ceci donna le jour à la société EVAC. Les différentes filiales de la société finlandaise ont par alors repris les activités d'Electrolux dans les pays où était commercialisé le procédé Vacuflow. Ce changement de société n'a pas annulé le contrat commercial signé auparavant avec les deux PME.

EVAC, SOC et Barriquand installaient des réseaux "clé en main", autrement dit, elles s'occupaient non seulement de la mise en place des organes pneumatiques (bâches, valves, centrales), mais elles travaillaient également à la pose des canalisations. L'intérêt

résidait bien sûr dans le fait d'être présent sur la totalité du cycle de montage du réseau, en possédant le monopole de l'installation. De la sorte le réseau était posé de façon homogène. L'absence d'intervenant industriel peu au fait de la technique pneumatique pouvait effectivement garantir une mise en oeuvre de qualité des réseaux et justifier la politique des trois sociétés en dehors de toutes considérations commerciales. EVAC fournissait la totalité du matériel pneumatique (bâches de transfert, valves, centrales de vide), et conservait l'exclusivité du dimensionnement du projet technique. Les deux PME de travaux publics apportaient leur connaissance de la clientèle à la stratégie commerciale d'EVAC et se chargeaient du travail de génie civil, c'est-à-dire de la réalisation pratique sur le terrain sans pouvoir réellement intervenir sur les calculs de dimensionnement. En échange de l'exclusivité d'exécution accordée par EVAC, celle-ci percevait des royalties calculées sur l'ensemble du devis établi conjointement et demandait un quota minimum annuel de réalisations aux deux sociétés.

Cette deuxième étape dans la diffusion du réseau sous vide nous permet alors de faire trois remarques caractérisant le stade de développement du procédé en 1985 :

- Les réalisations de SOC et Barriquand semblent finalement montrer que la diffusion spatiale de l'innovation est étroitement liée aux secteurs géographiques d'activités propres aux deux entreprises. En effet, sur les 7 marchés d'assainissement obtenus en sous vide entre 1984 et 1985, seulement deux (Biscarosse dans les Landes et Fossoy dans l'Aisne) ne figurent pas dans les départements où sont localisés les deux PME (l'Oise pour Barriquand et la Gironde pour SOC).
- La DDA de la Gironde apparaît comme un acteur public influant directement sur le développement de la technique. Le fait d'avoir assuré la maîtrise d'oeuvre de quatre installations pneumatiques traduirait un réel intérêt de cette administration envers le réseau à dépression.
- Enfin, parmi ces 7 marchés Vacuflow, 5 concernent des dessertes communales, un autre une liaison intercommunale (Fossoy), le dernier devant équiper un camping (Biscarosse). Il semble donc que le secteur des collectivités locales constitue un créneau de vente particulièrement adapté à la technique par

dépression. Les deux installations effectuées par Barriquand en 1975 et 1977 laissaient d'ailleurs présager cette évolution.

Dans ces conditions, le développement du réseau sous vide entre 1984 et 1985 résulterait autant de la stratégie commerciale des trois entreprises que du contexte général de l'assainissement français révélant un besoin (et/ou une obligation) pour les communes de s'équiper en réseau d'assainissement (voir partie II, chapitre 2). Un indice permet en outre de noter l'incidence de l'évolution des politiques d'assainissement sur le processus de diffusion de l'égout sous vide.

Sur les 10 réseaux pneumatiques installés entre 1971 et 1981, 5 appartiennent à des maîtres d'ouvrage privés, notamment les trois premières installations. Or, après 1982 seul le réseau pneumatique de l'île de Ré a été commandé par un maître d'ouvrage privé. SOC et Barriquand ont volontairement orienté leur action commerciale vers les collectivités locales, milieu qu'elles connaissaient particulièrement bien en raison de leurs activités traditionnelles.

Cependant, le fait que le secteur privé ait été initialement le plus "ouvert" à la technique pneumatique illustre sans doute l'attitude routinière des acteurs publics de l'assainissement avant la loi de décentralisation et leur désintérêt pour des techniques nouvelles, méconnues, mais parfois plus adaptées aux contraintes locales que le tout-à-l'égout gravitaire (24). En revanche, libérés d'un certain nombre d'obligations administratives et à l'écart des aides publiques, les maîtres d'ouvrage privés effectuaient leur choix d'abord en fonction d'impératifs financiers, sans devoir se conformer à des directives techniques publiques.

CHAPITRE 3

L'AGE DE LA CONCURRENCE

1. Un divorce à l'amiable.

Une rupture entre les deux PME françaises et la société EVAC survint en 1985. Elle repose en partie sur la nature du contrat signé. Le désaccord portait sur les objectifs commerciaux (quotas de réalisations) et financiers (montant des royalties) établis trois ans auparavant. Ce conflit, interne aux trois sociétés promotrices du système Vacuflow, dépassait en fait de simples préoccupations financières et cachait des stratégies différentes et une modification locale (en Gironde) de la situation concurrentielle dans le domaine de l'assainissement.

1.1. SOC et Barriquand : pour plus d'autonomie.

SOC et Barriquand souhaitaient pouvoir intervenir dans la conception du réseau et avoir la liberté de traiter l'installation mécanique de la centrale avec les entreprises de leur choix. Or, ce n'était pas le cas puisque la totalité des pièces mécaniques et pneumatiques étaient importées de Finlande par EVAC.

Les deux entreprises estimaient leur marge de manoeuvre trop limitée. L'impossibilité de modifier la conception du réseau comme elles l'entendaient leur donnait l'impression, pas totalement justifiée, de ne pas pouvoir installer des réseaux sous vide avec un niveau de qualité suffisamment élevé ; les conditions locales entraînant souvent des modifications spécifiques, non généralisables, qu'elles ne pouvaient pas facilement intégrer dans le projet élaboré.

En plus d'une bonne connaissance de leur territoire spécifique, SOC et Barriquand commençaient à atteindre en 1985, grâce à leur expérience respective, une certaine "maturité" dans l'installation des systèmes pneumatiques, ce qui les incitait à porter un regard plus critique sur les projets de dimensionnement effectués par EVAC, mettant en lumière leurs qualités mais aussi leurs défauts.

Les deux PME s'estimaient en fin de compte "prisonnières" d'un système déterminant en partie leur avenir mais dont elles ne maîtrisaient pas tous les éléments constitutifs.

1.2. EVAC : avant tout une stratégie commerciale nationale.

Quand à EVAC, elle se refusait à céder l'ensemble du procédé de fabrication du réseau pneumatique afin de protéger ses brevets Vacuflow.

Filiale française d'une entreprise finlandaise, elle se devait de privilégier les activités de la société "mère" qui assurait le montage de la centrale de vide (comme d'ailleurs le faisait Electrolux depuis le début de la commercialisation de ses systèmes sous vide en France).

Elle ne voulait pas en outre dévoiler tous les "secrets" de fabrication du réseau sous vide à ses partenaires qui pouvaient à terme l'exclure des marchés potentiels de l'assainissement pneumatique. L'objectif d'EVAC était de trouver des partenaires suffisamment motivés et engagés pour construire une stratégie commerciale efficace, sans toutefois leur laisser des libertés d'action trop grandes afin d'éviter, en cas de désengagement mutuel, une situation de rivalité dans son propre domaine de compétence. En effet, dans une telle perspective, la mise au point par les deux PME de leur propre technique par dépression aurait pu être envisagée.

D'un autre côté, les deux réalisations girondines d'Hostens et du Tasta en 1984, étaient restées relativement anodines et les autres entreprises de l'assainissement n'avaient alors pas prêté attention à ces deux cas.

En 1985, les nouveaux projets en sous vide commencèrent à préoccuper les sociétés concurrentes du département. Les antennes départementales de SADE et SOGEA notamment connaissaient des difficultés pour traiter leurs propres affaires en gravitaire puisque sur certains marchés, l'entreprise SOC créait une concurrence financière importante en proposant la solution pneumatique. En outre, les deux sociétés se rendaient compte que la DDA semblait se diriger de plus en plus vers la solution de l'égout sous vide, ce qui risquait à terme de leur faire perdre une partie du marché des collectivités avec lesquelles elles travaillaient en gravitaire, ne proposant aucune solution technique différente.

SADE et SOGEA redoutaient également le jour où, des marchés prévus exclusivement en sous vide les écarteraient encore davantage de certaines offres publiques. C'est d'ailleurs ce qui se passera un an plus tard, en 1986, pour l'assainissement de Pineuilh en Gironde ; il n'y a pas eu de consultation par appel d'offres, procédure administrative courante, mais attribution de marché "négocié" à SOC en vertu de l'article 312, alinéa 7, du code des marchés publics (25).

Pour un marché annuel d'environ 20 à 25 millions de francs de travaux d'assainissement dans le département de la Gironde, le système d'assainissement par dépression devenait un concurrent sérieux des techniques gravitaires. Cette situation, spécifique à la Gironde, a néanmoins contribué à mettre en route, chez SOGEA et SADE, par l'intermédiaire de leur antenne girondine respective, une recherche d'information concernant les procédés d'assainissement sous vide.

En fait, pour SADE, le réseau à dépression n'était pas une technique totalement méconnue dans la mesure où son agence girondine (la SADE de Pessac) avait effectué les travaux de génie civil pour l'installation du procédé Sanivac à la Marina de Talaris (Gironde, 1971).

De plus, avec des agences implantées dans la presque totalité des départements, des grands groupes comme SADE et SOGEA présentaient un certain intérêt auquel EVAC ne pouvait pas être insensible. L'objectif d'EVAC était de pouvoir placer l'égout pneumatique dans l'ensemble des régions françaises. Les travaux effectués jusqu'en 1985 par Barriquand et SOC démontraient une intervention efficace dans leur zone traditionnelle d'activités (leur propre département) mais quelques difficultés à étendre leurs réseaux commerciaux parce que les structures des deux entreprises avaient été essentiellement organisées au départ pour répondre à des besoins locaux. A cela s'ajoute le poids des traditions chez les maîtres d'oeuvre départementaux qui ont tendance à privilégier les entreprises locales.

En mars 1985, le contrat entre EVAC d'une part, SOC et Barriquand d'autre part, n'est pas renouvelé. EVAC allait bientôt contracter avec SOGEA, tandis que SOC et Barriquand allaient chercher et trouver un nouveau brevet industriel exploitable : Airvac. Cet événement ne traduisait pas un renoncement des deux PME pour le système sous vide, ni d'ailleurs une remise en cause de leurs qualités respectives par EVAC. Mais les intérêts de chacune des trois entreprises pour l'assainissement sous dépression s'accordaient alors difficilement avec la nature des engagements pris en 1982.

2. Les nouveaux mariages de raison.

SOC et Barriquand se sont alors trouvées dans une situation inconfortable car elles venaient de perdre le monopole de l'installation des réseaux sous vide. Elles ne voulaient pourtant pas abandonner ce créneau prometteur, à bien des égards important

pour leur développement économique. Nous avons vu dans le chapitre précédent d'une part que la commercialisation du réseau Vacuflow fut pour ces deux entreprises un choix conjoncturel, d'autre part pourquoi elles n'avaient pas porté leur attention sur d'autres techniques innovantes comme le réseau sous pression.

Cependant, la volonté de SOC et Barriquand de ne pas mettre un terme à leur activité pneumatique, malgré la rupture des engagements commerciaux avec EVAC et sans avoir d'autres opportunités immédiates dans le même domaine, s'explique par les raisons suivantes :

- Avec une compétence reconnue dans la pose de réseaux sous vide et des potentialités de marchés a priori non négligeables dans ce domaine, compte tenu de l'effet vitrine des premières réalisations (voir chapitre précédent), il paraissait alors logique pour SOC et Barriquand de rechercher l'existence éventuelle de systèmes à dépression différents du Vacuflow avant de se prononcer sur l'abandon de cette activité.
- La commercialisation de réseaux sous pression, autre innovation dans le domaine de l'assainissement offrant dans certains cas les mêmes avantages que la technique sous vide (26), s'avérait a priori difficile. En effet, il n'y avait alors que trop peu de réalisations de ce type pour garantir aux deux PME un réel créneau commercial rentable à court terme. Par ailleurs, certains constructeurs de pompes et d'aéro-éjecteurs s'étaient déjà associés avec des entreprises de génie civil pour la fourniture et la pose des canalisations. Enfin, l'option du réseau sous pression aurait nécessité un partenariat avec un constructeur de pompes (ou d'aéro-éjecteurs). Or, leur expérience avec EVAC les incitait à la prudence quant à une nouvelle association.
- Mis à part la technique sous vide et les réseaux sous pression, il n'y avait aucune autre innovation dans le secteur de l'assainissement qui aurait pu, d'une façon ou d'une autre, apporter aux deux entreprises des travaux supplémentaires en génie civil.

Pendant l'été 1985, après avoir interrogé les banques de données de l'Université Technologique de Compiègne, les deux PME découvrent l'existence d'un second procédé pneumatique mis au point par une entreprise américaine : Burton Mechanical Contractors Inc.

Ce brevet, Airvac, jusqu'ici inconnu en France, avait néanmoins fait l'objet de plusieurs applications aux Etats-Unis et aux Pays-Bas. On a vu que de 1959 à 1970, plusieurs réseaux de type Liljendahl avaient été mis en service aux Bahamas. Dans les années 1970, Foreman, qui exploitait ces réseaux pour l'administration anglaise, s'associa avec Burton, un entrepreneur américain. Ils mirent au point une nouvelle valve actionnée par le vide, appelée valve Airvac, et entreprirent de la commercialiser aux USA (27). Entre temps, l'entreprise Burton Mechanical Contractors racheta la compagnie National Homes Corporation of Indiana qui était le représentant exclusif d'A.B. Electrolux aux Etats-Unis pour l'installation des réseaux d'assainissement sous vide (28).

Foreman a certainement bénéficié de son expérience d'exploitant de réseaux sous vide commercialisés par Electrolux pour l'élaboration de la Valve Airvac. De plus, le rachat de la National Homes Corporation of Indiana par Burton a sans doute constitué pour les deux "inventeurs" une aide précieuse à la fois pour la conception de leur réseau à dépression Airvac, et pour la diffusion de cette technique aux Etats-Unis.

L'environnement industriel dans lequel a été construit le système Airvac expliquerait alors en partie la ressemblance entre les deux procédés concurrents Vacuflow et Airvac (voir partie II, chapitre II). Il justifierait également la méfiance d'EVAC envers ses partenaires industriels et sa volonté de protéger ses brevets en n'associant aucune firme à la conception de ses propres réseaux sous vide (cette position a été un des motifs de désaccord entre EVAC et les deux PME françaises). Or, nous verrons dans le chapitre suivant en quoi la similitude des deux techniques et la stratégie des entreprises françaises conduisent certains maîtres d'oeuvre publics à supposer non pas une réelle concurrence mais plutôt une entente tacite entre les sociétés promotrices des deux réseaux sous vide.

Quoiqu'il en soit, après une visite éclair des réseaux pneumatiques Airvac hollandais, SOC et Barriquand signèrent très rapidement (fin septembre 1985) l'achat du brevet américain pour sa commercialisation exclusive en France. Elles avaient ainsi pris de vitesse d'autres sociétés françaises qui commençaient elles aussi à s'intéresser à cette technique américaine.

L'achat du brevet américain permet dorénavant à SOC et Barriquand d'avoir accès aux calculs de dimensionnement, donc de mettre au point elles-mêmes leurs propres réseaux sous vide. Tout en s'engageant à acheter annuellement un nombre minimal de valves à la société américaine, elles peuvent désormais installer des égouts en dépression sans être obligées de s'adresser à un concepteur intermédiaire. Elles ont aussi maintenant la possibilité de s'adresser aux entreprises de leur choix pour l'équipement en pièces mécaniques non pneumatiques.

La même année, SOGEA signa avec EVAC un contrat d'exclusivité pour la vente et l'installation du système Vacuflow.

Il aura donc fallu attendre 15 ans après la première installation d'un réseau sous vide en France (la Marina de Talaris) pour qu'une grande entreprise française s'intéresse et participe directement au développement du réseau à dépression, alors que dans le même temps, illustrant la thèse de E. Deck-Chaumont (29), deux PME (SOC et Barriquand) ont aidé à la diffusion du système Vacuflow et s'apprêtent à introduire une seconde technique pneumatique sur le marché français de l'assainissement.

Fin 1985, les industriels ont reconstruit la scène du pneumatique, mais la pièce qui va s'y jouer est en partie différente de la première. L'arrivée de nouveaux acteurs et d'un nouvel objet technique implique une redistribution des rôles, une modification du jeu concurrentiel :

- Barriquand et SOC, propriétaires du brevet Airvac, pour son développement en France. Les deux entreprises restent dans le secteur pneumatique en proposant un système nouveau et en ayant cette fois-ci une grande autonomie commerciale.
- Burton Mechanical Contractors Inc., acteur indirect de la diffusion en France, mais qui a réussi par l'intermédiaire des deux PME à introduire son système sur le marché français. L'entente entre Burton et les deux PME a été possible dans la mesure où l'objectif de l'entreprise américaine est de vendre son brevet à des sociétés étrangères pour sa commercialisation dans leur propre pays, et non la création de filiales un peu partout en Europe.

- SOGEA, nouvel acteur français de l'assainissement sous dépression, qui offre, avec ses 30 agences, une potentialité de diffusion importante sur l'ensemble du territoire national.
- EVAC, proposant toujours le système Vacuflow, mais dont le partenaire a changé. Cependant, l'entreprise ne possède plus le monopole de la vente des réseaux sous vide puisque ses anciens alliés deviennent maintenant des concurrents qu'elle ne pourra pas ignorer.

Si l'objectif initial commun à tous ces acteurs est le développement de l'égout en dépression, chacun, seul ou en association, va produire ses propres avancées sous l'influence des rapports de forces. On obtient non pas une association homogène pour la diffusion de l'innovation, mais un champ d'intéressements parfois superposables, dans certains cas divergents.

La concurrence entre les deux produits pneumatiques, les stratégies propres aux différentes entreprises, la demande des autres acteurs et leur perception du jeu concurrentiel déterminent alors un espace de compromis dont la première gagnante est l'innovation elle-même. En effet, un désaccord entre deux entreprises ne remettra plus nécessairement en cause le développement du produit car il existe maintenant plusieurs sources de diffusion. Le processus d'innovation est alors arrivé à une nouvelle étape, celle de la diversité dans les sources et modes de diffusion. Cette diversité s'observe d'abord au niveau des structures et des stratégies des entreprises promotrices du réseau sous dépression en France. Mais avant d'en effectuer une analyse détaillée, nous allons voir que les stratégies internationales de la société finlandaise EVAC et de l'entreprise américaine Burton Mechanical Contractors se situent en fait dans les tendances internationales des entreprises de l'eau, et plus généralement des firmes en génie urbain (30).

3. Vacuflow et Airvac : des enjeux internationaux.

Il est remarquable qu'Electrolux-Wascator se soit contenté pendant plus de dix ans d'un rythme assez lent de développement de la technique par dépression (de 1971 à 1982, la moyenne est d'un égout sous vide installé par an). On aurait pu penser que l'entreprise

aurait abandonné au bout de 3 ans puisque seulement deux réseaux pneumatiques ont été réalisés entre 1971 et 1973 : la Marina de Talaris et un ponton de bateaux à Porquerolles. En décidant la commercialisation du procédé Vacuflow en France, il s'agissait en fait pour Electrolux-Wascator d'une option stratégique afin de pénétrer l'ensemble du marché européen.

Depuis le début des années 1970, la technique Vacuflow, d'origine suédoise, est commercialisée dans plusieurs pays industrialisés (Pays-Bas, France, Canada, Etats-Unis, Suède, Australie, Danemark, Grande Bretagne, etc.)

Quant aux inventeurs du système Airvac, après avoir introduit leur réseau à dépression sur le marché américain de l'assainissement, ils se dirigent depuis 1980 vers des pays européens (notamment la France, l'Italie et les Pays-Bas).

Tout en déployant des stratégies de pénétration différentes (EVAC cherche en quelque sorte des concessionnaires tandis que l'entreprise Burton vend ses brevets AIRVAC en imposant un quota annuel d'achat de valves), il faut noter que ces deux sociétés ont décidé d'une "offensive" internationale, peu de temps finalement après la mise au point de leur procédé respectif.

Or, D. Lorrain montre que la crise économique, réduisant partout la croissance du marché national et limitant les marges des entreprises, les force à chercher de nouveaux marchés, soit en développant un processus de diversification des activités, soit en exportant (31).

En ce qui concerne l'exportation, en tant que réponse "anti-crise", les travaux de D. Drouet (32) révèlent une internationalisation croissante des activités des entreprises dans le domaine du génie urbain. Avec un diagnostic porté de façon centrale mais non exclusive sur six pays (France, Royaume Uni, Italie, Japon, RFA et Etats-Unis), l'auteur note que ce phénomène d'internationalisation concerne l'ensemble des pays industrialisés occidentaux. Ce sont généralement les grandes entreprises qui cherchent à occuper le terrain international. Néanmoins les PME (entre autre les sociétés d'ingénierie) commencent également à se placer sur les marchés étrangers.

Par ailleurs, plusieurs phénomènes semblent affecter les secteurs eau-assainissement des principaux pays industrialisés et prennent un caractère général. Il s'agit principalement de l'émergence d'un nouveau contexte qui modifie les finalités des réseaux et les conditions de leur production et de leur gestion. En effet, un des principaux enjeux actuels porte sur la mise au point et la capacité d'installation de matériels et de systèmes

nouveaux rendus nécessaires par l'évolution des besoins. Outre les technologies d'entretien et de réhabilitation, deux domaines tiennent, selon D. Drouet (33) une place prépondérante dans cette perspective : l'ensemble "instrumentation - automatisation - système de gestion" et les "technologies de l'environnement".

Aussi, les stratégies de redéploiement observées dans les pays industrialisés s'articulent sur deux dimensions principales : la réorganisation des secteurs privés autour de nouvelles compétences axées sur la gestion et les stratégies centrées sur l'innovation.

Dans ces conditions, l'analyse de D. Drouet montre que de nombreuses entreprises privées françaises et étrangères, trop focalisées sur la conception et la construction de réseaux techniques traditionnels, ont privilégié des compétences qui répondent mal aujourd'hui aux besoins en émergence. Ces sociétés sont alors conduites à une concurrence acharnée sur des créneaux de plus en plus étroits.

Dans le cas de "l'instrumentation - automatisation - système de gestion" et des "technologies de l'environnement", les positions de la France présentent actuellement, d'après D. Drouet (34), des faiblesses. Malgré le récent succès de filiales auprès de villes étrangères dans la prise en charge de concession de réseaux (notamment l'ouverture de l'exploitation des réseaux d'eau et d'assainissement espagnols et belges aux capitaux et aux savoir-faire de sociétés françaises privées), la filière française eau-assainissement possède des performances inégales en matière d'innovation dans l'instrumentation, mais aussi dans certains procédés de gestion des réseaux et dans les technologies de l'environnement. Pour ces dernières, le retard des pouvoirs publics et des responsables d'entreprises dans une prise en compte suffisamment poussée des problèmes d'environnement et de la nécessité de solutions nouvelles, représente aujourd'hui un handicap pour les prestataires français. C'est par contre une opportunité de marchés pour des sociétés comme EVAC et Burton Mechanical Contractors qui proposent un produit innovant adapté à des contraintes techniques et environnementales locales.

Cette situation pourrait finalement expliquer l'attitude hostile de certains maîtres d'oeuvre publics (DDE et DDA) envers le réseau à dépression, tout en nuanciant la thèse du "blocage de l'innovation". En effet, leur attitude serait alors une stratégie visant à limiter l'apparition de techniques étrangères sur le marché français.

4. Barriquand, SOC et Transvide : un second souffle.

De l'avis même des sociétés Barriquand et SOC, le fait d'avoir racheté un brevet a créé une motivation supplémentaire pour la promotion du sous vide. Elles doivent à présent rentabiliser cet achat par l'installation de réseaux en dépression ; le système de royalties mis au point par EVAC ne concernant que des travaux finis leur semble a posteriori moins incitatif.

Néanmoins, ce "second souffle" peut également s'expliquer par une modification du rapport à l'objet technique. Les deux PME sont aujourd'hui propriétaires d'un procédé sous vide tandis qu'auparavant elles ne faisaient office que de "tuteurs commerciaux". L'investissement financier est certes plus important, mais les engagements techniques, humains et affectifs le sont tout autant. Cette appropriation s'est notamment concrétisée par un changement de nom du procédé. Le procédé Airvac a été rebaptisé Transvide par ses deux possesseurs français (il faut y voir aussi une petite astuce commerciale : proposer aux maîtres d'oeuvre un système dont le nom suppose une origine française peut faire tomber une ultime barrière, celle du chauvinisme technique, qui reste encore parfois une barrière à l'innovation). Un réseau Transvide installé deviendra la vitrine des deux entreprises et d'elles seules. L'égout pneumatique construit sera alors l'image de SOC ou de Barriquand.

Pourtant, l'implication de ces deux entreprises dans le développement du procédé sous vide n'est pas identique parce que les intérêts en place et en jeu sont eux-mêmes différents. Compte tenu de la concurrence locale plus contraignante dans le département de la Gironde, SOC, en 1986, base à terme 50% de son chiffre d'affaires sur la diffusion du réseau sous vide, tandis que Barriquand, installé plus confortablement dans ses activités traditionnelles, estime la même année que la part de ses travaux pneumatiques devrait correspondre à 20% de l'ensemble de ses prestations.

Nous avons là un facteur explicatif de la disparité territoriale caractérisant en 1987 la diffusion du réseau d'assainissement sous vide. En effet, de 1971 à 1987, sur 34 réseaux Vacuflow et Transvide installés, 18, soit plus de la moitié, sont situés dans le département de la Gironde, alors que le département de l'Oise ne compte alors que 4 procédés en dépression. Par ailleurs, depuis le rachat du brevet Airvac, SOC installa de 1986 à 1987 10 réseaux sous vide, donc doubla sur 24 mois, ses réalisations pneumatiques.

Quant à l'entreprise Barriquand, elle installe 3 réseaux Transvide pendant la même période.

Le fait que la Gironde soit le terreau de l'innovation pneumatique révèle néanmoins d'autres facteurs influents. S'il est vrai que le département constitue la zone d'action privilégiée de l'entreprise SOC, il représente également un territoire adéquat à l'installation d'égouts sous vide. De plus, cette zone était un choix de stratégie commerciale pour Electrolux et SOC qui, dès 1982, ont préféré porter leur effort sur des négociations locales plutôt que de répartir les moyens financiers et humains sur trop de départements à la fois (l'attitude du maître d'oeuvre DDA et de l'antenne départementale de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, lors des travaux d'Hostens, laissait notamment supposer une cristallisation locale d'intérêts non négligeable pour le sous vide, interprétée comme une chance supplémentaire de réussite).

L'unique réalisation pneumatique dans les Landes, département voisin de la Gironde, confronté à des problèmes topographiques et touristiques similaires, et l'absence d'égout en dépression dans d'autres zones difficilement "viabilisables" par le gravitaire révèlent cependant des obstacles à la diffusion du procédé sous vide.

Nous avons déjà vu que l'attribution des marchés aux entreprises locales constituait un frein important au développement pneumatique. Il existe néanmoins une seconde source de difficultés pour les deux PME.

Dans la pratique, SOC et Barriquand laissent la gestion du réseau sous vide installé à l'entreprise choisie par le maître d'ouvrage, mais proposent une formation pour l'exploitation du système à dépression et une assistance technique rapide si un problème important surgit (nouveau réglage des valves, panne non identifiée, éventuellement obstruction d'une canalisation). Pour les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'oeuvre, l'intervention possible des deux PME représente l'assurance d'une exploitation à risques limités. Quant aux deux PME, elles estiment en 1987 que cette prestation d'aide à la gestion (de conseiller technique) permet de préserver dans l'immédiat le rôle vitrine du réseau construit et donc de ne pas imputer à la technique des défaillances qui pourraient provenir du mode de gestion. Aussi, elles souhaitent continuer à moyen terme cette aide à l'exploitation pour leurs réalisations.

Néanmoins, ce mode d'action nécessite en général un temps d'intervention rapide. Il ne peut se concevoir que sur un territoire limité, en l'occurrence leur département respectif et les zones frontalières. Réaliser un réseau à une distance importante de leur zone

d'activité correspond de fait à réduire ce type de service. Une fois le réseau mis en place, celui-ci échappe définitivement à leur contrôle et elles ne peuvent pas s'assurer que l'exploitation sera d'une qualité constante. Pour ces deux sociétés, installer un égout en dépression dans des départements éloignés de leur zone d'implantation, présente finalement des contraintes locales mais aussi le risque de ne pas obtenir, faute de moyens d'intervention, les résultats escomptés dans la gestion du système pneumatique. En 1987, l'objectif de SOC et Barriquand, pour développer le marché pneumatique, est de trouver des entreprises locales motivées et compétentes qui accepteraient de jouer un rôle de tuteur (de relais) de l'assainissement par dépression Transvide. Les deux PME arrivent donc à une étape importante dans la diffusion de leur produit, celle de la recherche d'un partenariat local. A côté des acteurs jusqu'à présent rencontrés sur le terrain de la diffusion pneumatique, un nouvel acteur relais, devrait arriver afin de donner à Transvide une potentialité de diffusion aussi importante que celle attendue de Vacuflow par l'action de SOGEA. Un premier pas sera fait en 1988, avec l'installation d'un réseau par dépression à Ingré (Loiret). Barriquand s'est alors associée avec une entreprise locale de génie civil, la SOPT. Cette dernière a pris en charge l'ensemble du projet (conception et réalisation) et s'engage à promouvoir le sous vide dans sa région.

Avec leur expérience acquise depuis plus de 10 ans dans la construction du réseau sous vide, et l'achat du brevet Airvac, SOC et Barriquand ont sans conteste marqué un point dans le domaine de l'assainissement.

5. EVAC, SOGEA et Vacuflow : une alliance à intérêts multiples.

Nous avons déjà présenté les motivations de SOGEA vis-à-vis du sous vide : une concurrence locale en Gironde relativement difficile et le risque de perdre à terme une partie de sa clientèle. Outre les avantages techniques et financiers du procédé par dépression dans des terrains de mauvaise nature, quatre autres considérations ont pesé dans la décision de l'entreprise :

- Il ne s'agit plus d'expérimenter le système sous vide, les quelques réalisations démontrant déjà sa fiabilité, mais de mettre en place une stratégie commerciale reproductible sur l'ensemble du territoire national. La société possède pour cela les structures adéquates.

- SOGEA cherche à préserver son image d'entreprise innovante pour s'approprier de nouveaux marchés ou y conforter sa place, mais également pour séduire d'une manière générale sa clientèle. Négocier avec une société susceptible de proposer toute une panoplie de techniques s'avère en partie rassurant pour les maîtres d'oeuvre. Cela peut effectivement s'interpréter comme un révélateur du dynamisme de l'entreprise qui ne cherche pas uniquement à fonctionner sur ses acquis technologiques. SOGEA montre ainsi sa capacité à gérer les risques de l'innovation. Or convaincre les maîtres d'oeuvre et d'ouvrage d'adopter un procédé nouveau et méconnu c'est d'abord montrer que le risque sera partagé et limité.

Il existe bien toute une série d'améliorations permanentes dans les matériaux traditionnels de construction des égouts et dans les techniques de réhabilitation (35), mais il est rare de rencontrer une technique qui rompt en partie avec les méthodes courantes de construction des réseaux d'assainissement. Ce point a certainement retenu l'attention de l'entreprise, quitte à s'écarter dans ce cas de ses propres centres de production. SOGEA en effet, est en 1985 une filiale de Saint-Gobain Pont-à-Mousson. Or, avec le sous vide, il n'est plus question d'installer de la fonte ou de l'amiante ciment produit par Saint-Gobain, mais du PVC, matériau non commercialisé par l'entreprise mère.

Ce type de situation ne semble pourtant pas spécifique à SOGEA. En effet, E. Deck-Chaumont montre bien que la diversification des activités, en tant que solution face à la crise, est une stratégie commune aux groupes de Bâtiments et de Travaux Publics (36). Deux tendances se confirment aujourd'hui : d'une part le recentrage géographique, bien que récent, de leurs activités principales vers les pays industrialisés ; et d'autre part l'élargissement, quelquefois hors de leur champ traditionnel de production, de l'éventail de leurs activités (37).

- Les règlements d'urbanisme et les normes de rejet des pollutions peuvent à terme, si une politique nationale plus sévère est mise en vigueur, accentuer la nécessité de poser des canalisations assurant de façon durable un maximum d'étanchéité. Par conséquent, toutes les techniques garantissant aujourd'hui une protection efficace du milieu naturel pourront connaître demain un intérêt général. Avec le sous vide, SOGEA estime alors détenir une carte importante si un tel scénario se concrétise.

- La société, avec ses activités d'exploitant de réseaux perçoit une évolution des conditions de travail des agents d'exploitation. Elle considère qu'il sera de plus en plus difficile de proposer des réseaux d'assainissement avec des tâches d'entretien conventionnelles, souvent difficiles. Les agents techniques municipaux commencent à ne plus vouloir travailler dans les conditions classiques d'égoutier. Des municipalités comme Nancy demandent déjà des égouts avec le minimum de nettoyage manuel. Plusieurs systèmes d'autocurage sont dès à présent commercialisés, ils ne s'adressent néanmoins qu'à certains types d'égouts gravitaires dont les structures s'avèrent adéquates.

Ainsi, il ressort des enquêtes réalisées par J.C. Mathio sur l'enjeu des robots et des automatismes avancés en génie urbain (38), que les deux aspects négatifs les plus importants, tels qu'ils sont vécus par les personnes chargées de la propreté des villes (égoutiers, éboueurs etc.) résident d'une part dans le côté pénible, dangereux et antihygiénique de leur profession, d'autre part dans la dévalorisation sociale qui lui est attachée. Ce problème préoccupe les municipalités et les entreprises, car ce préjudice les prive des éléments ayant la meilleure formation technique à l'embauche, et il démotive ceux qui, dans une économie en difficulté, ont été contraints de s'engager dans une carrière qu'ils n'auraient pas souhaitée et qu'ils n'hésitent pas à quitter à la première occasion. L'introduction de techniques automatisées ou robotisées pour la gestion des réseaux d'assainissement met alors une distance entre le travailleur et l'environnement peu hospitalier des égouts. Ces techniques diminuent la fréquence des tâches pénibles et, sur le plan symbolique, elles rehaussent l'image des activités qui lui sont associées. Par conséquent, l'utilisation d'automatismes dans l'assainissement va indéniablement dans le sens d'une revalorisation professionnelle à laquelle paraissent particulièrement sensibles les jeunes embauchés dans un secteur jusque là spécialisé dans les tâches manuelles. Aussi, pour J.C. Mathio, "l'image d'avenir d'un agent de la propreté des villes pourrait être celle d'un travailleur en combinaison blanche" (39).

Le procédé sous vide fait dans ce cas figure de "technologie propre" puisque la force de transport assure simultanément un curage des canalisations. Avec le réseau à dépression, il n'y a plus de nettoyage classique des conduites. Pour SOGEA, c'est un atout supplémentaire, difficilement évaluable aujourd'hui, mais qui peut influencer à plus ou moins longue échéance le choix des maîtres d'oeuvre et d'ouvrage.

Ceci dit, l'assainissement sous vide ne constituera jamais une activité majeure de SOGEA, contrairement à SOC, et n'atteindra même pas 20% de l'ensemble de ses travaux comme l'espère alors Barriquand avec le système Transvide.

Si SOGEA arrête la commercialisation du réseau à dépression, cette décision ne bouleversera pas les structures ni le devenir de cette grande entreprise aux ressources multiples. Le contrat passé entre EVAC et SOGEA, dont les clauses sont similaires à celles qui associaient EVAC et les deux PME, se révèle donc dans la pratique relativement différent.

Le lien EVAC-SOGEA traduit une motivation réciproque mais n'est plus vital pour l'une des deux sociétés. De plus, l'intérêt de SOGEA pour le sous vide concrétise essentiellement des préoccupations locales qui ne peuvent pas être systématiquement et immédiatement généralisées à toutes les agences (c'est l'agence SOGEA de Bordeaux qui catalysa l'intérêt de l'entreprise pour ce procédé d'assainissement).

Par conséquent, en choisissant un tel partenaire, EVAC a pris un risque différent de celui encouru lors de sa première association puisque les enjeux de SOGEA liés à la commercialisation du réseau sous vide s'avèrent distincts de ceux qui avaient motivé SOC et Barriquand à installer le système Vacuflow. L'intéressement de l'entreprise finlandaise est néanmoins calculé :

- Associer SOGEA au système Vacuflow, c'est apporter à la technique une caution de qualité supplémentaire reconnue sur le plan national. C'est aussi rompre avec une certaine "marginalité" industrielle.

Avant l'entrée de SOGEA sur la scène du pneumatique, certains maîtres d'oeuvre informés de l'existence du sous vide se montraient méfiants parce qu'ils ne comprenaient pas pourquoi une telle technique, avec les performances annoncées par Barriquand, EVAC et SOC, ne suscitait pas aussi l'engagement de grandes entreprises d'assainissement en général aux aguets de toute innovation prometteuse. L'appréciation des qualités du réseau sous vide était un peu trop vite rapportée à la taille des sociétés promotrices. L'activité pneumatique de SOGEA limitera sans doute ce type de jugement.

- SOGEA offre bien sûr une potentialité de diffusion non négligeable, avec ses 30 agences réparties sur l'ensemble du territoire national. Cependant, de 1985 à 1987, seulement deux réseaux Vacuflow sont installés par SOGEA : celui de Gironde sur Dropt (SOGEA Aquitaine) et celui de Sahurs (SOGEA Normandie).

Il faudra attendre 1988 pour que SOGEA Atlantique réalise un réseau sous vide à Genac (Seine-Maritime).

En raison même de l'autonomie de fonctionnement des agences, l'entreprise doit réaliser une publicité pneumatique à l'intérieur de ses propres structures. Il ne s'agit pas de convaincre un partenaire étranger, mais compte tenu des contextes différents et des stratégies spécifiques à chaque agence, les intérêts de celles-ci ne convergent pas obligatoirement vers la promotion du réseau sous vide.

- Enfin, l'étiquette d'exploitant de réseau de SOGEA (par l'intermédiaire de sa filiale CISE) pourrait favoriser dans certaines situations l'installation d'un égout à dépression dans le cas de collectivités ayant déjà délégué l'entretien de leur réseau d'assainissement à l'entreprise. L'exploitant, lorsque celui-ci est une société privée, s'avère en général un conseiller influent des maîtres d'ouvrage. Charge alors aux entreprises pneumatiques de le convaincre d'une part de la fiabilité du système sous vide, d'autre part de la possibilité de conserver une marge bénéficiaire identique à celle réalisée avec la gestion d'un réseau gravitaire. A Saint-Médard-de-Guisière (Gironde) par exemple, l'opinion de l'exploitant privé, défavorable à l'assainissement sous vide, pèse lourdement dans la décision du maître d'oeuvre qui opta finalement pour la solution gravitaire pourtant plus chère à l'investissement. Par contre à Genac, c'est la CISE qui exploite le réseau Vacuflow installé par SOGEA Atlantique.

La représentation territoriale forte de SOGEA et son activité d'exploitant de réseau peuvent effectivement constituer en 1987 deux facteurs clefs de la diffusion du procédé pneumatique.

Finalement, les stratégies commerciales et les opportunités locales gouvernent les acteurs industriels du réseau sous vide. Elles charpentent leur unité, mais elles peuvent aussi conduire à leur séparation et à l'apparition de nouveaux acteurs promoteurs du pneumatique. Plusieurs acteurs ont participé indirectement à ces alliances et ruptures d'intérêts. Ainsi, la DDA et l'Agence de l'Eau de Gironde ont certainement initié l'association entre SOC, Barriquand et EVAC. Plus tard, en aidant à une certaine reconnaissance du réseau en dépression, elles ont également incité des grandes entreprises, dont SOGEA, initialement écartées du processus de diffusion, à s'intéresser

au procédé innovant et à intéresser EVAC. Par ailleurs les premiers succès de la technique pneumatique ont déterminé SOC et Barriquand à poursuivre de façon autonome le commerce des réseaux en dépression.

Le développement de l'innovation n'est donc pas simplement le résultat des stratégies industrielles. Si les premières actions communes des trois PME ont influé sur le mode de diffusion du réseau sous vide, celui-ci, en transformant les rapports de force, en modifiant la scène où se joue l'innovation, a aussi induit une évolution stratégique des firmes pneumatiques.

CHAPITRE 4

LES INCERTITUDES DE LA DIFFUSION

Avec les nouvelles alliances industrielles établies en 1985, le mode de développement du réseau à dépression est aujourd'hui caractérisé par deux tendances. D'une part, il semblerait que les premières étapes de la diffusion de la technique pneumatique, ainsi que les premières stratégies des entreprises aient considérablement orienté le processus général de la diffusion du procédé et freineraient en partie ses potentialités de développement. Or d'autre part, certains indices de l'évolution du secteur de l'assainissement montreraient que le développement à moyen terme du réseau sous vide serait avant tout lié à des facteurs indépendants de ses conditions initiales de diffusion mais qui toucheraient l'ensemble de la filière publique / privée de l'assainissement.

Les incertitudes de la diffusion traduisent l'existence de ces deux tendances, en apparence contradictoires.

Nous nous proposons d'analyser ces tendances à partir de trois particularités qui résument assez bien la situation française du réseau sous vide en 1987 : l'effet vitrine du département de la Gironde, la perception de la concurrence industrielle par différents acteurs et les conséquences protectionnistes des brevets pneumatiques.

1. L'effet vitrine : La fin d'une étape.

Afin de promouvoir le système sous vide, les sociétés devaient installer des réseaux à dépression fournissant la preuve indiscutable de leur supériorité sur des techniques gravitaires traditionnelles. Outre le fait que SOC y soit implanté localement, la Gironde présentait alors deux composantes clefs pour produire un effet vitrine escompté par les entreprises promotrices des systèmes pneumatiques :

- une demande d'assainissement importante concernant une multitude de terrains difficiles, pour lesquels l'argument financier, notamment, donnait un avantage sensible au procédé par dépression.
- un maître d'oeuvre, la DDA, d'emblée convaincu des qualités du réseau par dépression et qui réussit à y faire intéresser d'autres acteurs influents (DDASS,

Agence de l'Eau Adour-Garonne). Fin 1987, la DDA de Bordeaux est le seul maître d'oeuvre à avoir autorisé l'installation de 9 réseaux par dépression, dont 7 en 1986 et 1987.

L'effet vitrine a réellement été spectaculaire puisque sur un total de 34 réseaux sous vide en service ou en cours d'installation fin 1987, 18 sont situés dans le département de la Gironde. En outre, 12 d'entre eux ont été mis en place ou projetés entre 1986 et 1987. Ces dernières réalisations tendent à montrer un renforcement de l'effet vitrine alors que la modification de l'environnement industriel du réseau sous vide survenue fin 1985, avec l'arrivée d'une technique concurrente et d'une nouvelle entreprise d'envergure nationale et internationale (voir chapitre précédent), laissait supposer un élargissement des potentialités de développement de la technique pneumatique sur l'ensemble du territoire français. Dans ces conditions, l'enjeu actuel de la diffusion des réseaux sous vide consisterait à pouvoir se détacher d'un contexte girondin dont elle a finalement tiré une grande partie de sa consistance.

Les entreprises commercialisant les réseaux par dépression s'accordent à reconnaître que le département de la Gironde est effectivement un site privilégié pour la mise en place des systèmes sous vide, compte tenu de ses multiples contraintes topographiques et du développement importants de sites touristiques nécessitant des équipements d'assainissement adaptés (variations saisonnières des fréquentations, préservation de la qualité des zones de baignade, viabilisation le long des bordures d'eau, etc.). Elles estiment par ailleurs que la réalisation d'une zone vitrine pour le réseau sous vide, illustrant ses différentes possibilités, était stratégiquement importante pour amorcer un phénomène de diffusion dont elles pouvaient toutes profiter. En revanche, elles considèrent que le marché du réseau sous vide dépasse largement le seul département de la Gironde, d'autres potentialités tout aussi intéressantes se retrouveraient notamment dans l'ensemble des régions littorales. De plus, l'expérience de Barriquand montre l'existence de créneaux commerciaux non négligeables dans des départements situés hors de ces zones touristiques.

Par contre, selon l'avis de certains maîtres d'oeuvre non girondins, la vitrine est jugée trop belle, trop spécifique. En fait, elle est perçue comme non reproductible sur leur propre territoire. Etant donnée la sympathie évidente de la DDA bordelaise pour le

système sous vide, on aurait tendance à croire que la diffusion du réseau sous vide pourrait effectivement se poursuivre dans les autres départements à condition d'y rencontrer un interlocuteur administratif aussi enthousiaste et des conditions topographiques aussi contraignantes qu'en Gironde.

L'intérêt de la DDA pour le système pneumatique s'explique notamment par le fait que ses activités de maître d'oeuvre, donc de conseiller technique, la confrontait à partir de la fin des années 1970 à des situations de plus en plus difficiles et nombreuses pour lesquelles les solutions traditionnelles proposées ne permettaient pas de répondre pleinement aux exigences techniques, financières et sanitaires formulées par les autres administrations compétentes (DDASS, Agence de l'Eau) et par les collectivités. Faute de meilleures solutions disponibles, elle devait finalement se résoudre à proposer des options gravitaires aux communes désirant s'équiper de réseaux d'assainissement, avec le risque de conseiller un système à terme peu performant, voire impraticable.

Si l'option du sous vide présentait un certain nombre d'incertitudes, elle était en revanche pour la DDA un moyen d'exécuter convenablement ses travaux de maîtrise d'oeuvre. En soutenant une technique appropriée à des terrains contraignants, La DDA pouvait satisfaire une clientèle qui a aujourd'hui la possibilité de choisir son maître d'oeuvre dans le secteur privé ou dans le secteur public, indépendamment de la nature et de l'origine des subventions qu'il pourrait recevoir.

En effet, depuis la décentralisation, le maître d'ouvrage public (en général la collectivité) n'est plus (même tacitement) obligé de s'adresser à un maître d'oeuvre public pour bénéficier des différentes aides financières à l'investissement.

Dans les communes rurales, le Fond National de Développement des Adductions d'Eau (FNDAE), sous la tutelle du ministère de l'Agriculture et géré par les Conseils Généraux, constitue aujourd'hui la seule subvention spécifique de l'Etat pour les travaux d'adduction d'eau et d'assainissement (voir partie II, chapitre 2, § 5).

Or, la concurrence entre le secteur public et le secteur privé pour les travaux de maîtrise d'oeuvre dans le département de la Gironde s'est traduite en 1986 et 1987 par l'installation de 4 réseaux à dépression communaux par des maîtres d'oeuvres privés (Vayres, Saint Maixant, Izon et Hourtin).

Mais l'attitude de la DDA de Gironde semble en fait traduire une évolution "obligée" du secteur administratif qui devrait toucher à terme l'ensemble des maîtres d'oeuvre publics. Jusqu'en 1982, les travaux qui bénéficiaient des subventions ont été ceux qui

étaient proposés par les préfets et approuvés par le Ministère de l'Intérieur. Dans ces conditions, le travail des maîtres d'oeuvre publics, à partir des projets soumissionnés par appel d'offre, consistait principalement à effectuer une mise en conformité des réponses retenues afin de faire bénéficier le maître d'ouvrage des subventions auxquelles il pouvait prétendre. Le contrôle technique et financier des administrations centrales limitait alors les capacités d'expertise des services extérieurs, mais confortait en revanche leur place privilégiée, voire fondamentale pour les collectivités locales, dans le secteur de la maîtrise d'oeuvre.

A partir du moment où l'Etat a réduit considérablement ses aides financières aux collectivités, les DDA et DDE ont perdu une grande partie de leur autorité auprès des maîtres d'ouvrage publics et par la même occasion, leur prérogative en matière de maîtrise d'oeuvre. En effet, les services que ces administrations proposent sont désormais équivalents à ceux des maîtres d'oeuvre privés.

Par ailleurs, le mode de rémunération des maîtres d'oeuvre publics, sous la forme d'honoraires proportionnels au montant des travaux, constituait une incitation d'autant plus grande pour les collectivités que celles-ci étaient dans ce cas (et le sont toujours) exonérées des frais de maîtrise d'oeuvre. Or, cette situation conduisait parfois les maîtres d'oeuvre publics à sélectionner, dans la mesure du possible, les projets les plus importants afin de s'assurer en retour d'une rémunération satisfaisante, sans finalement porter de préjudice aux communes tant que l'Etat subventionnait une part importante de leurs assainissement.

Mais aujourd'hui, le financement presque total des équipements par les collectivités, qui sont en outre confrontées à des difficultés économiques importantes, et la modification des besoins en assainissement se traduisant par une multiplication de petits chantiers, amènent progressivement un changement de mentalité des services extérieurs des ministères vis-à-vis des demandes des collectivités. Les maîtres d'oeuvre publics tendent à s'intéresser de plus en plus aux petites opérations en essayant de proposer aux communes des équipements qui répondent aux contraintes techniques locales, aux exigences des autres administrations (DDASS, Agences de l'Eau), et qui soient compatibles avec les ressources financières locales.

Les DDA et DDE réorientent leur politique en offrant aux collectivités un travail d'expertise qui puisse réellement concurrencer celui des maîtres d'oeuvre privés. Cette tendance à la concurrence dans le secteur de la maîtrise d'oeuvre expliquerait alors en partie la formation et la sensibilisation des administrations périphériques à la diversification des techniques. Elle permet aussi de nuancer la position jugée

"marginale" de la DDA de Gironde (voir plus haut), celle-ci ayant simplement modifié sa politique plus tôt que d'autres administrations.

Par ailleurs, un second phénomène peut laisser supposer, en 1987, un développement croissant des réseaux sous vide.

En France, la régie directe est fréquemment utilisée dans les petites collectivités locales et dans les grandes villes, alors que la gestion déléguée est le plus souvent retenue par les communes intermédiaires (40). Or, les réalisations en sous vide effectuées depuis 1971 montreraient que le marché du réseau à dépression concernerait essentiellement les petites et les moyennes collectivités, c'est-à-dire en fait celles dont les besoins en réseau sont encore aujourd'hui importants ; l'équipement des grandes villes portant essentiellement sur la collecte et le transport des eaux pluviales (voir partie II, chapitre 2). Dans ces conditions, la gestion des futurs égouts par dépression serait autant effectuée en régie directe qu'en affermage.

Cependant, paradoxalement, les entreprises privées sont largement présentes dans l'exploitation des réseaux en dépression (voir tableau II, chapitre 1, partie II). Les avantages qu'une société d'exploitation peut retirer de sa taille, qui sont notamment d'ordre matériel et financier lui permettent d'assurer la gestion d'un système sous vide sans devoir changer systématiquement le mode d'organisation de son personnel, ni même lui apporter une formation poussée spécifique à l'entretien des systèmes pneumatiques. L'exemple de la Lyonnaise des Eaux, gérant 10 réseaux sous vide, est à ce titre significatif.

En effet, La Lyonnaise des Eaux de Bordeaux exploite le système par dépression du Tasta dont le dimensionnement fera à terme de ce réseau communal une des plus grandes dessertes françaises en canalisation sous vide.

Par ailleurs la société gère l'ensemble des réseaux d'assainissement de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) et a entrepris l'automatisation du réseau pluvial de la ville. Celui-ci comporte 75 postes de relèvement pour les 80 débouchés en rivières dont le débit cumulé ($65 \text{ m}^3 / \text{jour}$) est supérieur à l'étiage de la Garonne. Pour suppléer à la saturation des collecteurs aval, une dizaine de bassin de stockage de près de 1 million de m^3 ont été réalisés. La gestion de cet ensemble complexe est facilité par le contrôle centralisé, développé progressivement d'abord avec un système de télésurveillance et de télécommande, puis actuellement avec le télépilotage en temps réel des bassins de retenue.

La prise en charge du réseau du Tasta n'a donc pas remis en cause l'organisation ni la compétence de la société dans la mesure où l'automatisation de la gestion des égouts de la ville avait déjà largement contribué à la "requalification" du personnel. Aussi, pour un responsable de la Lyonnaise des Eaux de Bordeaux, "le système (sous vide) est bien sûr nouveau dans sa conception, mais pour nous, cela n'a rien de révolutionnaire. Les pompes à vide, on en avait pas, mais ce sont malgré tout des pompes, c'est-à-dire un matériel que l'on connaît déjà bien. Le réseau est effectivement nouveau mais cela ne nous a pas impressionné" (41). En outre, début mars 1987, la société a équipé le réseau en dépression du Tasta d'un système de télétransmission permettant d'acheminer à son centre de gestion un certain nombre d'informations sélectionnées révélant deux types d'anomalies sur le réseau : celles importantes nécessitant une intervention immédiate, d'autres, secondaires, qui peuvent attendre les heures normales de travail et/ou les périodes de visite à la centrale, sans risquer d'interrompre le transport des effluents. Le réseau sous vide du Tasta est le premier égout pneumatique à assurer une télétransmission des informations recueillies dans la centrale.

La société d'exploitation a donc en quelque sorte "innové" dans la gestion des systèmes sous vide. Elle a apporté au procédé une amélioration technique qu'elle avait développée pour d'autres égouts plus traditionnels. En bénéficiant prioritairement d'une évolution transversale des savoir-faire, les sociétés gestionnaires intégrerait alors plus facilement dans leurs parcs d'exploitation diverses techniques différentes du gravitaire.

Si la tendance à la privatisation des services d'assainissement s'accroît dans les années à venir, les entreprises promotrices du réseau sous vide pourraient peut être davantage compter avec les exploitants privés, dont certains sont des acteurs aux assises territoriales importantes qui s'apparentent parfois à de véritables fiefs.

2. La concurrence industrielle : des effets controversés.

L'introduction du système Transvide (Airvac) sur le marché français a été favorablement accueillie par les maîtres d'oeuvre et d'autres acteurs (Agence de l'Eau DDASS, etc.) connaissant déjà le système sous vide.

Le contrat passé entre EVAC et les deux PME avait instauré, de fait, un monopole du réseau d'assainissement par dépression qui gênait les décideurs et les conseillers techniques parce qu'ils estimaient ne pas posséder des moyens de comparaison nécessaires au choix du procédé. Accepter l'installation d'un système sous vide revenait

de facto à attribuer le marché à Barriquand ou bien à SOC, selon la zone territoriale.

L'achat du brevet américain par les deux petites entreprises, et par conséquent la situation de concurrence qu'elles ont créée, a rassuré les maîtres d'œuvre pour au moins deux raisons :

- la confrontation des deux procédés pourrait se traduire par une bataille des prix au profit des maîtres d'ouvrage ;
- une concurrence signifie également une reconnaissance industrielle de la technique plus importante puisqu'une autre société a reconnu l'intérêt du sous vide en s'engageant à le commercialiser.

Les sociétés promotrices de l'égout en dépression ne s'y sont d'ailleurs pas trompées. Elles jugent cette concurrence bénéfique à leur action commerciale puisqu'elle amenuise la méfiance de leurs interlocuteurs. Pour cette raison, il n'y a pas eu de procès entre les différentes sociétés pneumatiques afin de revendiquer la paternité de l'invention. En effet, nous avons vu que les éléments constitutifs des réseaux Vacuflow et Transvide, ainsi que leur principe de fonctionnement sont à peu près identiques. Un certain nombre de différences s'observent entre les deux procédés, tant sur le plan technique que dans les calculs utilisés pour le dimensionnement des ouvrages, mais elles n'affectent pas ou peu le mode de transport des effluents, ni l'organisation des égouts pneumatiques (rappelons notamment que les valves trois pouces ont été initialement conçues par les promoteurs américains ; qu'il n'existe pas de bâches collectives ni d'activateurs à flotteur dans le réseau Transvide, contrairement au système Vacuflow ; pour ce dernier, les pompes de refoulement peuvent être immergées dans la cuve de stockage alors que les entreprises installant les égouts Transvide les posent systématiquement à l'extérieur des cuves).

Outre l'influence positive sur les différents acteurs, les entreprises comptent aussi sur un effet de synergie propre : SOGEA peut bénéficier des travaux effectués par Barriquand et SOC en s'introduisant dans un cercle d'acteurs départementaux en partie convaincus des qualités du sous vide ; d'autre part, SOC et Barriquand comptent à l'inverse pouvoir bénéficier des nouvelles percées que devrait faire SOGEA par le biais de ses multiples agences.

Cependant, plusieurs maîtres d'oeuvre jugent cette concurrence encore trop faible et souhaiteraient voir sur le marché d'autres procédés par dépression qui, pour le moment sont inexistantes. Ils s'estiment encore "prisonniers" (expression citée par un maître d'oeuvre public) de ces quelques entreprises pneumatiques. Leur possibilité de choix leur semble toujours assez limitée.

Le poids des traditions est là encore très important. Dans le domaine de l'assainissement, en effet, il est courant que plusieurs sociétés proposent des solutions différentes mais dont le principe (gravitaire) reste identique, confortant finalement le maître d'oeuvre dans son rôle d'arbitre technique qu'il assure alors avec facilité. A son avis, la multiplicité des variantes gravitaires optimise alors la qualité de sa décision.

Mais lorsqu'un système d'égout sous vide doit être évalué, outre les difficultés de comparaison avec le principe gravitaire, le choix entre seulement deux procédés lui semble alors plus délicat dans la mesure où la similitude de deux techniques pneumatiques annule en partie les possibilités d'une analyse critique comparative. Ainsi, quand la commune de Longueil-Annel a décidé en 1987 de réaliser une tranche supplémentaire de réseau sous vide, le maître d'oeuvre DDE a malgré tout lancé un concours national avec une seule variante pneumatique afin de vérifier s'il n'existait pas d'autres procédés sous vide différents de Transvide et de Vacuflow.

De plus, aux yeux de certains maîtres d'oeuvre et exploitants qui connaissaient SOC et Barriquand avant leur activité Transvide, cette concurrence paraît biaisée parce que les deux PME avaient aussi installé des systèmes Vacuflow. Ils supposent alors non pas une réelle concurrence entre les procédés mais une entente tacite des industriels pneumatiques qui semble pourtant inexistante (par contre, chaque industriel estime que les stratégies de l'ensemble des sociétés commercialisant des systèmes sous vide devraient offrir de nouvelles opportunités pour eux tous).

Si les maîtres d'oeuvre et d'autres acteurs souhaitent l'arrivée sur le marché de l'assainissement d'un troisième concurrent, les sociétés promotrices du sous vide estiment par contre qu'il ne peut pas y avoir de place pour un procédé sous vide supplémentaire, compte tenu, selon elles, des potentialités de diffusion du système à dépression plus limitée que celle de l'égout gravitaire.

Le problème reste sans solution évidente. Il n'est pas réellement possible d'évaluer l'effet que produirait la commercialisation d'un troisième réseau pneumatique : pourrait-il constituer un frein au développement des deux autres procédés ? Les maîtres d'oeuvre et les autres acteurs seraient-ils rassurés, ne demanderaient-ils pas un quatrième système sous vide afin de justifier des craintes qui puisent leur origine

ailleurs, notamment dans le développement de brevets réduisant leur capacité d'expertise ?

3. Le brevet : un protectionnisme gênant mais non spécifique aux réseaux sous vide.

Pour les entreprises promotrices des réseaux sous vide, le brevet est avant tout un moyen efficace de préserver le monopole de la commercialisation des réseaux à dépression. Elles veilleront d'autant plus à entretenir ce monopole qu'elles doivent rentabiliser l'achat de ces brevets (achat du brevet Airvac par SOC et Barriquand, vente du brevet Vacuflow par Electrolux à EVAC).

C'est un outil commercial important qui pénalise à moyen terme d'autres sociétés qui souhaiteraient entreprendre une activité pneumatique. Il permet aussi à ses détenteurs de pouvoir appliquer leur propre stratégie de diffusion en conservant l'exclusivité des calculs de dimensionnement et de profil des égouts. En effet, les entreprises promotrices du sous vide préfèrent ne pas vendre au coup par coup du matériel pneumatique disparate ni communiquer aux maîtres d'oeuvre et aux autres sociétés de génie civil leur méthode de conception afin d'éviter des réalisations médiocres pouvant nuire à l'image de marque naissante de l'innovation.

Cependant, les maîtres d'oeuvre interrogés s'estiment en général gênés de ne pas avoir accès aux calculs de dimensionnement. Cette gêne s'explique de deux façons ; elle met aussi en relief deux facteurs d'évolution du milieu de l'assainissement qui tendent à montrer que la situation actuelle est sans doute provisoire :

- L'étude de l'assainissement sous vide entraîne une rupture dans les habitudes de travail. L'outil traditionnel et indispensable du projeteur en assainissement (les différentes circulaires et notes techniques pour le calcul du dimensionnement des réseaux), essentiellement mis au point pour le gravitaire, est totalement inadapté à la technique pneumatique. Le maître d'oeuvre doit par conséquent élaborer une autre règle d'évaluation sans avoir toutefois une connaissance complète des méthodes de calcul. Sa propre responsabilité est davantage sollicitée puisqu'il ne pourra plus se retourner vers un alibi technique (les circulaires notamment) largement reconnu et utilisé.

Pourtant, l'évolution du contexte de l'assainissement en France a conduit les administrations centrales à reconnaître une tendance à la diversification des techniques (voir partie II, chapitre 2). Mais il n'est pas toujours facile pour les maîtres d'oeuvre, surtout pour ceux qui exercent depuis longtemps leur profession, de s'affranchir de règles d'usage, voire de principes techniques longtemps érigés en références exemplaires, auxquels les administrations centrales demandaient une sujétion totale.

Or, paradoxalement, les politiques de redéploiement des industries de services se traduisent notamment dans le secteur eau et assainissement (42) par des stratégies centrées sur l'innovation adaptées aux exigences des administrations et aux besoins des collectivités locales. Ce phénomène tend alors à placer sur le marché de l'assainissement des techniques qui seront de plus en plus brevetées, permettant ainsi aux entreprises de limiter la concurrence dans un domaine en proie aux difficultés économiques.

Dans ces conditions, nous pouvons supposer que l'outil de travail des maîtres d'oeuvre publics ne pourrait plus aujourd'hui se limiter à un ensemble de catalogues techniques auxquels ils se reportaient traditionnellement. Il seront nécessairement amenés à évaluer par d'autres moyens des procédés brevetés dont ils ne pourront pas connaître l'ensemble des caractéristiques ni les modes de conception, contrairement au cas du réseau gravitaire.

- La deuxième raison découle de la première. Au moment du choix de la technique à mettre en place, si le maître d'oeuvre évalue pour la première fois un projet d'assainissement par dépression, en envisageant de le retenir, il estime prendre davantage de risques d'une part parce que la technique est "nouvelle" et encore méconnue, d'autre part parce qu'il pourra difficilement intervenir dans la conception. Il est en quelque sorte obligé de faire confiance aux entreprises spécialisées dans le procédé pneumatique.

Notons que cela est bien dans la tradition de l'ingénierie américaine. Dans sa forme la plus aboutie, la privatisation consiste aux Etats-Unis à confier à un même groupe privé la conception, le financement, la construction et l'exploitation d'un équipement. Le phénomène de la privatisation offre au secteur privé américain l'opportunité de réaliser des opérations "clé en main" sur les marchés urbains (43). Les sociétés commercialisant les techniques sous dépression en France tendent effectivement à proposer aux maîtres d'ouvrage et d'oeuvre des

réseaux "clé en main", sans toutefois intervenir dans les modes de financement. A ce titre, un cas significatif est bien celui de l'association EVAC - SOGEA qui peut assurer la conception, la construction et l'exploitation des réseaux sous vide. Par ailleurs, depuis 1987, SOGEA est sous le contrôle majoritaire du Groupe Générale des Eaux

Or, D. Lorrain montre bien dans son étude sur la filière eau-assainissement en France et dans le monde (44) que l'ensemble des entreprises françaises de ce secteur tendent à plus de continuité dans leurs actions en participant non seulement aux phases de gestion, mais aussi en amont aux phases de conception et de fabrication de tuyaux, notamment en élargissant leur rôle au nouveau métier d'ensemblier. Le Groupe Générale des Eaux se présente d'ailleurs comme un ensemble cohérent de 800 entreprises enracinées dans le milieu local, développant des activités d'entreprises offrant d'importantes complémentarités et synergies. EVAC et SOGEA ne font que reproduire avec le procédé Vacuflow une stratégie naissante commune à l'ensemble des entreprises d'eau et d'assainissement.

Les trois facteurs - effet vitrine, concurrence, brevets - ne déterminent donc pas une situation établie définitivement. Les stratégies locales des entreprises et quelques interventions ponctuelles d'acteurs locaux se sont avérées décisives dans les premières réalisations pneumatiques. L'analyse des incertitudes montre que le développement à venir du réseau sous vide ne s'effectuera sans doute pas par approches successives, en cherchant à reproduire dans chaque département ciblé les mêmes conditions et enjeux qu'en Gironde et/ou que dans l'Oise. Un certain nombre de facteurs nationaux et internationaux modifiant l'ensemble de la filière publique / privée de l'assainissement seront certainement aussi déterminants dans l'avenir des systèmes par dépression que les actions propres des sociétés les commercialisant.

CONCLUSION DE LA QUATRIEME PARTIE

Il reste bien sûr de nombreuses incertitudes quant au développement du produit. L'étape d'expansion, à partir des premiers centres d'adoption (Gironde et Oise), semble plus difficile que ne le prévoyaient les promoteurs pneumaticiens.

Par ailleurs, un phénomène de "saturation" du marché peut survenir prématurément si les sources de financement en assainissement des collectivités locales augmentent. Une réorientation vers une diminution des exigences de protection de l'environnement risquerait également d'affecter le développement des réseaux pneumatiques.

Mais sans véritablement connaître le potentiel de diffusion de l'égout en dépression, nous possédons maintenant un certain nombre d'éléments qui nous permettent de supposer que cette technique est entrée en 1987 dans un processus de développement continu. En effet :

- Les installations récentes ne sont pas des expériences menées au coup par coup afin de tester le procédé. Il s'agit de réalisations reproductibles à partir de la commercialisation de procédés standards, par des entreprises spécialisées dans les travaux d'assainissement. Le système est arrivé à une "maturité technique" qui lui confère justement cette reproductibilité, tout en lui laissant des possibilités d'adaptation à des contraintes topographiques particulières.
- La diversité des modes de diffusion, c'est-à-dire la commercialisation de procédés similaires par des entreprises différentes, libère l'assainissement sous vide du "joug industriel".

La concurrence entre les deux produits pneumatiques, les stratégies propres aux sociétés, la demande des autres acteurs et leur perception du jeu concurrentiel déterminent alors un espace de compromis favorable au développement de la technique. En effet, le désengagement d'une des entreprises promotrices du réseau à dépression, le mauvais fonctionnement éventuel d'une des installation, ou bien l'attitude récalcitrante de quelques maîtres d'oeuvre ne devraient pas nécessairement remettre en cause la diffusion du produit qui possède dorénavant plusieurs sources de développement.

- Une demande d'assainissement qui pourrait parfois correspondre à une demande en réseau sous vide, grâce aux stratégies commerciales des entreprises et au contexte particulier de l'assainissement en France. Les politiques de santé publique se sont transformées en politiques d'environnement, remplaçant des normes de moyens par des normes d'objectifs (45), ces dernières se traduisant dans la pratique, par de nouvelles normes de procédés. Les différentes applications sous vide suggéreraient finalement que, quelle que soit la tendance à venir (normes de moyens ou normes d'objectifs), les nouveaux réseaux d'assainissement par dépression n'en seraient pas totalement exclus, contrairement à ce qu'il advint des procédés Berlier, Liernur et Gandillon.
- Enfin, les transformations de la filière eau-assainissement en France et dans le monde indiquent que les stratégies des sociétés commercialisant les procédés à dépression se rapprocheraient de celles de l'ensemble des entreprises oeuvrant dans cette filière. Aussi, l'attitude des maîtres d'oeuvre ayant déjà retenu un projet sous vide révélerait une évolution "obligée" du secteur public de l'assainissement.

Nous supposons alors que le caractère aléatoire inhérent à tout phénomène de diffusion d'innovation n'est plus une source de contraintes insurmontables pour le système sous vide. Les différentes alliances d'intérêts et compromis confèrent à la technique pneumatique une consistance nouvelle dont elle pourrait tirer toute son adaptabilité.

Nous pouvons en définitive suggérer que le développement du réseau sous vide en France ne s'apparente plus à un processus de diffusion d'innovation. Autrement dit, le réseau d'assainissement sous dépression, malgré un nombre encore limité de réalisations, ne relève plus en France du domaine de l'innovation, compte tenu du jeu des acteurs et des besoins en assainissement.

Enfin, avec Liernur (applications de 1871 à 1909), Berlier (applications de 1881 à 1900), Gandillon (1^{ère} application en 1913 ; deux réseaux sont encore en service aujourd'hui), EVAC (depuis 1970), AIRVAC (depuis 1970), mais avec également Liljendahl à partir de 1959, le processus de développement du réseau d'assainissement par dépression n'est pas aussi discontinu que l'analyse française peut le laisser croire.

NOTES DE LA QUATRIEME PARTIE

- (1) J.J. Salomon, Prométhée empêtré, La résistance au changement technique, Paris, éditions anthropos, 1984.
- (2) T. Poujol , Des réseaux pneumatiques dans la ville, un siècle et demi de techniques marginales.
- (3) T. Poujol, op. cit.. La référence au territoire français est ici une précision importante. En effet, nous allons voir dans cette dernière partie qu'en 1959 un suédois expérimentait activement un nouveau procédé d'assainissement par dépression.
- (4) La partie IV est proposée comme un complément et non un approfondissement de la partie III. En effet, les quatres caractéristiques étudiées dans la partie II, et reprises au début du chapitre 1 de la partie IV, ne peuvent être réutilisées dans l'analyse du jeu des acteurs industriels pour la simple raison qu'elles correspondent plutôt au système territorial dont est responsable le maître d'ouvrage, la collectivité.
- (4) Dans le domaine de l'assainissement, les maîtres d'oeuvre ont un rôle de conseiller technique auprès des maîtres d'ouvrage. Les décisions sont en fait prises conjointement en ce qui concerne le choix du système d'assainissement. Du point de vue décisionnel, il ne s'agit donc pas de deux types d'acteurs véritablement distincts mais d'un seul groupe de décideurs, dans lequel, en général, les propositions du maître d'oeuvre sont acceptées par le maître d'ouvrage.
- (6) Voir C. Triantafillou, op. cit.
- (7) M. Malet, Ta Thu Thuy, Techniques alternatives en assainissement pluvial, impact sur le milieu social et sur l'environnement, Beture - Setame, Plan Urbain, décembre 1985.
- (8) Se référer aux travaux de recherche du Centre de Sociologie de l'Innovation (CSI) de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. Voir notamment l'article de synthèse réalisé par M. Akrich, M. Callon, B. Latour, "A quoi tient le succès de l'innovation", Gérer et comprendre, Annales des Mines, n° 11 et 12 , Juin et septembre 1988.
- (9) M. Akrich, M. Callon, B. Latour, op. cit., n°12, septembre 1988.
- (10) Op. cit.
- (11) M. Callon, B. Latour, "Comment suivre les innovations ? Clefs pour l'analyse socio-technique", Prospective et Santé, numéro spécial sur l'innovation, octobre 1985.
- (12) M. Callon, B. Latour, op. cit.
- (13) op. cit.

- (14) Pour l'installation du procédé "Sanivac" à la Marina de Talaris, voir l'article de A. Milard, "Une version moderne de l'évacuation sous vide des effluents", Techniques et Sciences Municipales - l'Eau, mars 1972.
- (15) Voir notamment C. Garnier, op. cit. ; et P. W. Averill, G. W. Heinke, North of 60, vacuum sewer systems, Department of Indian Affairs and Northern Development, Ottawa, september 1974.
- (16) P.G. Averill et G.W. Heinke, op. cit.
- (17) G. Knaebel, L'égout et la propriété.
- (18) Voir M. Chochois, op. cit.
- (19) D. Lorrain, La filière eau-assainissement en France et dans le monde, Centre d'études des systèmes et des technologies avancées, Fondation des villes, 1984.
- (20) C. Triantafillou, Op. cit.
- (21) Op. cit.
- (22) Le principe de l'assainissement sous pression consiste en la propulsion des eaux usées d'un point à un autre au moyen d'une pompe ou d'un aéro-éjecteur ayant respectivement pour énergie motrice, l'électricité ou l'air comprimé. Avant leur refoulement, les eaux usées sont collectées par gravité dans une bache de pompage ou le réservoir d'un aéro-éjecteur. Les eaux sont ensuite refoulées dans un réseau dit de "transfert" qui aboutit à la station d'épuration. La canalisation de transfert est entièrement sous pression et totalement indépendante des réseaux de collecte gravitaire, contrairement au cas de l'assainissement classique par égout sur lequel est installé un poste de refoulement. On peut citer à titre d'exemple le réseau sous pression avec pompes électriques de la commune de Barbatre (île de Noirmoutier) et le réseau sous pression avec aéro-éjecteurs du quartier de Mauvaisville d'Argentan (Orne).
- De plus, des réseaux intégralement sous pression existent à l'étranger (par exemple en République Fédérale d'Allemagne). Ces réseaux reçoivent les effluents injectés par des dispositifs équipant chaque habitation et qui sont soit des aéro-éjecteurs, soit des pompes volumétriques. L'adoption d'un tel système suppose que l'entretien du dispositif est assuré par l'occupant de l'habitation qui est alors responsable de la mise hors service de l'appareil, notamment en cas de rejet de corps volumineux et/ou durs.
- Pour des informations supplémentaires, voir :
- C. Pfennig, Les réseaux d'assainissement sous pression appliqués à l'assainissement des collectivités littorales, Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale Ingénieurs des Travaux Ruraux et des Techniques Sanitaires, septembre 1980.
 - L. Biron et alii, "Dimensionnement des réseaux d'assainissement sous pression équipé d'aéro-éjecteurs", Techniques et Sciences Municipales - l'Eau, novembre 1980.
 - E. Roche, "Les réseaux d'assainissement sous pression", Techniques et Sciences Municipales - l'Eau, mai 1983.
 - W. Dippold, J. Jedlitschka, "Vakuumsystem - Druckentwässerung, Bericht über Abwasserbeseitigung des Donauriedgemeinden Fristingen und Kicklingen,

Landkreis Dillingen/Donau", Wasser und Boden, n°5, mai 1976.

- (23) Informations recueillies auprès de Monsieur Lamy de la Subdivision de l'Équipement de Ribecourt (Oise) lors d'un entretien effectué en 1987.
- (24) C. Triantafillou, op. cit., explique que le personnel des organismes périphériques de l'État (DDE et DDA) était plutôt considéré comme routinier et peu motivé par des technologies "légères", dites "alternatives" au réseau gravitaire. Il conseillait aux maires essentiellement des travaux lourds en investissement, ignorant parfois les problèmes de mise en œuvre et d'exploitation. Le mode de financement des équipements d'assainissement en vigueur avant la loi de décentralisation a certainement conforté cette situation. Rappelons que jusqu'en 1982, les travaux publics d'assainissement qui bénéficiaient des subventions étaient ceux proposés par les préfets et approuvés par le Ministère de l'Intérieur. La détermination des programmes communaux d'assainissement par les directives gouvernementales fut d'autant plus considérable que l'octroi d'une subvention conditionnait jusqu'en 1979 l'accès à des prêts à taux privilégiés.
- (25) L'alinéa 7 de l'article 312 du code des marchés publics stipule qu'il peut être passé des marchés négociés sans limitation de montant "pour les besoins ne pouvant être satisfaits que par une prestation nécessitant l'emploi d'un brevet d'invention, d'une licence ou de droits exclusifs"
 Les marchés sont dits "négociés" lorsque l'autorité compétente de la collectivité ou de l'établissement public engage, sans formalité, les discussions qui lui paraissent utiles et attribue ensuite le marché au candidat qu'elle a retenu. L'autorité compétente est tenue de mettre en compétition, par une consultation écrite au moins sommaire, les candidats susceptibles d'exécuter un tel marché.
 Voir Code des marchés publics, Journal officiel, Paris, Imprimerie des Journaux Officiels, mars 1986.
- (26) L'utilisation de la pression comme force de transport des effluents et l'emploi de canalisations de petit diamètre permettent, d'une part au tracé du réseau entièrement sous pression d'être indépendant de la topographie ainsi que de la voirie, d'autre part de limiter les travaux de terrassement, enfin d'éviter un temps de séjour trop long des effluents dans les canalisations.
- (27) C. Garnier, op. cit.
- (28) P.W. Averill, G. W. Heinke, op. cit.
- (29) Il semblerait effectivement, dans le cas du système sous vide, que les petites entreprises aient été plus "réceptrices" à l'innovation, plus dynamiques dans les premières phases de diffusion que les grandes sociétés d'assainissement.
 Or, les travaux de E. Deck-Chaumont (Culture d'entreprise et stratégie économique, le cas des groupes français du B.T.P. (1945 - 1985), LATTS-CERTES, Ecole nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val-de-Marne, septembre 1987.) tendent à montrer que ce phénomène serait courant dans l'ensemble du secteur BTP, quelle que soit en fait le type d'innovation. Les diverses expériences des groupes de BTP étudiés par l'auteur, ainsi que certaines études empiriques effectuées sur l'innovation indique que cette dernière "n'est pas l'amie des grands groupes mais des petites unités qui constituent un système favorable à la stimulation". E. Deck-Chaumont explique

que malgré les avantages qu'une grande entreprise peut retirer de sa taille pour favoriser l'innovation et qui sont notamment d'ordre matériel et souvent financier, la plus grande dimension peut constituer un obstacle aux activités de recherche et de mise en oeuvre de nouvelles techniques et/ou de nouveaux savoir-faire. Dans les firmes importantes, la prise de décision nécessite souvent l'intervention d'un trop grand nombre de personnes situées aux échelons les plus divers de la hiérarchie. Chacune peut se récuser, ne désirant pas être à l'origine d'un échec éventuel et courir le risque de perdre sa réputation. L'organisation de ces entreprises est trop complexe, les difficultés de coordination des activités sont trop grandes pour que les décisions se prennent facilement et rapidement.

- (30) Rappelons que le domaine standard du génie urbain est constitué par les réseaux suivants : eau et assainissement ; collecte et traitement des déchets ; chaleur et énergie ; la circulation et le transport urbain ; les télécommunications.
- (31) D. Lorrain, op. cit.
- (32) D. Drouet, Eclairage international de la gestion du génie urbain, volume I, diagnostic comparatif sur la situation des principaux pays industrialisés, Plan Urbain - Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, Recherche Développement International, février 1986.
- (33) D. Drouet, L'industrie de l'eau dans le monde, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1987.
- (34) D. Drouet, op. cit.
- (35) C. Triantafillou, op. cit.
- (36) E. Deck-Chaumont, op. cit.
- (37) Pour reprendre l'exemple de SOGEA, à propos de l'absorption de SGE-BTP par SOBEA (qui eut lieu le 2 juillet 1986, la nouvelle dénomination sociale étant SOGEA), le président de la SGE précisait alors dans un article des Echos ("SOGEA : un nouveau groupe du BTP et des services", les Echos, 30 juin 1986, cité par E. Deck-Chaumont, op. cit.) que "la future SOGEA verra ainsi s'élargir ses moyens techniques et commerciaux, tant en France qu'à l'étranger, développant son champ de compétences, tout particulièrement dans le domaine des ouvrages de haute technicité et des services". Interviewé par G. Ribeill (G. Ribeill, Evolution technique et organisationnelle dans le bâtiment, histoire de la SGE, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de l'Aménagement du Territoire, Plan Construction, CERTES - ENPC, novembre 1986), un conseiller technique auprès de la SGE, parlait de coopération positive nouée avec Saint-Gobain Pont-à-Mousson : "les recherches sur les matériaux nouveaux pour le BTP se combinent bien, de manière complémentaire, avec les préoccupations traditionnelles de Saint-Gobain dans les questions de matériaux de construction, de revêtement, d'isolants divers".
- (38) J.C. Mathio, L'enjeu des robots et des automatismes avancés pour le génie urbain, Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés, Université Paris Val-de-Marne, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1988.

- (39) J.C. Mathio, op. cit.
- (40) C. Triantafillou, op. cit.
- (41) Propos recueillis auprès d'un responsable de la Lyonnaise des Eaux de Bordeaux, lors d'un entretien réalisé en mars 1987.
- (42) Voir D. Drouet, L'industrie de l'eau dans le monde.
- (43) Voir D. Drouet, Eclairage international de la gestion du génie urbain, volume I, diagnostic comparatif sur la situation des principaux pays industrialisés.
- (44) D. Lorrain, op. cit.
- (45) B.Barraqué, C. Beyeler, N. Touzé, op. cit.

CONCLUSION GENERALE

Les trois étapes distinctes de la diffusion des réseaux d'assainissement par dépression, c'est-à-dire leur émergence à la fin du XIX^{ème} siècle, l'absence totale de nouvelles installations entre 1935 et 1970, enfin leur réapparition à partir des années 1970, coïncident en France avec trois événements clefs dans l'histoire générale de l'assainissement :

* Le premier est un défi important à la fin du siècle dernier : la révolution pastoriennne fait du microbe, être multiforme, invisible et omniprésent, le premier acteur de l'assainissement. Les réseaux à dépression apparaissent donc à un moment où les politiques d'assainissement se conçoivent dans le cadre général d'une problématique d'hygiène et de santé publique. Avec les égouts Liemur et Berlier, c'est une stratégie de désinfection fondée sur la suprématie du vase clos qui est proposée. Elle vise à interdire tout contact entre les matières produisant des germes en abondance et le milieu humain qu'il devient urgent de protéger. Cette stratégie s'appuie sur l'étanchéité, le vide et l'usage de la pompe. Elle suscite l'intérêt de quelques hygiénistes et médecins méfiants à l'égard des médiocres performances du transport gravitaire. Malgré les travaux de Belgrand dans Paris, il reste en effet à savoir si les matières de vidange peuvent être versées directement dans un égout gravitaire sans conséquence grave pour l'hygiène publique.

* Le second est un défi déjà prévisible lors des premières réalisations pneumatiques : la normalisation progressive du tout-à-l'égout gravitaire, qui sera officialisée avec la mise au point de la circulaire Caquot en 1949.

Dès les années 1890, l'évacuation immédiate des matières de vidange noyées dans un courant d'eau continu est jugée la plus efficace des techniques de désinfection de l'espace public et de l'espace privé. Aussi, le "problème" de l'assainissement est saisi à partir de cette époque comme un problème essentiellement technique : il s'agit avant tout d'élaborer des critères techniques de dimensionnement des canalisations permettant au principe gravitaire d'être reproductible et généralisable à l'ensemble des modes d'urbanisation. Mais cette normalisation aura une portée plus importante qu'une simple

réglementation des tracés et des dimensionnements des conduites. Tout procédé technique, comme celui de Liernur ou de Berlier, dont les conséquences sur d'autres équipements urbains situés en amont (adduction d'eau) ou en aval (mode d'épuration) du transport des effluents pourraient freiner le développement de l'égout gravitaire, sera critiqué, marginalisé, abandonné. Par ailleurs, "l'échec" de la force pneumatique dans d'autres applications urbaines, celle-ci restant finalement une force expérimentale, ne pouvait que renforcer la méfiance des ingénieurs et techniciens de l'assainissement à l'égard des réseaux sous vide et de leur reproductibilité.

L'instruction technique de 1949 va mettre définitivement un terme aux activités pneumatiques de Gandillon, et d'une manière générale écarter tous réseaux différents du réseau gravitaire pour l'équipement en assainissement des grandes et des moyennes collectivités locales françaises. Aussi, ne sont considérées comme officiellement assainies que les villes ayant installé le tout-à-l'égout gravitaire. En outre les territoires situés en périphérie des villes, non "assainissables" par le gravitaire, sont alors jugés non urbains.

* Le troisième événement clef correspond, dans les années 1970, à une évolution des politiques d'assainissement, avec le passage progressif et en partie obligé de normes de procédés à des normes d'objectifs ; ce qui permet au réseau sous dépression, hier condamné, d'être aujourd'hui présent sur la scène de l'assainissement.

La suprématie du principe gravitaire est officiellement remise en cause puisque ce changement dans les politiques d'assainissement suggère l'absence de lien direct entre les objectifs à atteindre et les techniques à mettre en oeuvre. En 1987, les administrations centrales s'accordent à reconnaître une tendance à la diversification des techniques. La prise en compte d'une solution unique semble désormais céder la place à la mise au point de solutions variées, permettant d'orienter le choix, dans chaque cas particulier, vers la combinaison la plus appropriée. Ce type de démarche s'avère alors d'autant plus indispensable qu'aujourd'hui en France, avec la baisse générale des capacités financières d'investissement en assainissement, devant la nécessité d'améliorer la performance du système d'assainissement (notamment en augmentant la quantité de pollutions traitées aux stations d'épuration), il s'agit d'installer des systèmes de collecte et de transport des eaux usées domestiques dans des territoires, dont certains s'avèrent être situés dans des environnements naturels sensibles, jusqu'à présent délaissés par l'égout gravitaire.

L'objectif n'est plus d'opter pour des réseaux avec une capacité d'évolution importante pour une viabilisation à grande échelle, mais de connecter aux stations d'épuration des territoires jusqu'à présent considérés comme non "assainissables".

Aussi l'atout des procédés pneumatiques est de proposer un renfort à la conception en réseau de l'assainissement. Avec des propriétés territoriales et des potentialités d'évolution différentes de celles d'un réseau gravitaire, l'égout en dépression est mis en place dans des zones où les conditions topographiques et environnementales s'opposent au transport gravitaire des effluents.

Mais l'enjeu pour le réseau sous vide est de taille : il consiste à développer un nouveau procédé dans un environnement technique, organisationnel et institutionnel fortement construit autour du principe gravitaire.

Par conséquent, le développement de l'égout en dépression traduit une succession d'adaptations subies et/ou "initiées" par l'ensemble des acteurs de l'assainissement.

L'analyse du contexte actuel de l'assainissement en France, l'évaluation des caractéristiques du réseau à dépression montrent que celui-ci n'est plus une technique secondaire, en marge des préoccupations des acteurs de l'assainissement. L'égout sous vide n'est donc plus un procédé marginal.

Par ailleurs la problématique de "l'alternative au réseau gravitaire" est en partie caduque parce que ce dernier n'est plus systématiquement assimilé à une norme dans une politique d'amélioration des performances du système d'assainissement en place. L'obligation de résultats, souvent dépendants de la nature du site à viabiliser, oblige le planificateur, quelle que soit la technique retenue, à justifier son choix devant des maîtres d'ouvrages publics aujourd'hui beaucoup plus responsabilisés à l'égard de leurs équipements d'assainissement et davantage conscients de l'importance de la qualité de leurs réseaux. Aussi, le système par dépression ne peut plus être considéré comme une simple alternative au réseau gravitaire.

Enfin, malgré un nombre encore limité de travaux pneumatiques en France, le développement du réseau sous vide ne s'apparente plus désormais au processus de diffusion d'une innovation. Les installations récentes ne sont pas des expériences menées au coup par coup, mais des réalisations reproductibles, à partir de la commercialisation de procédés standards par des entreprises concurrentes. De plus, l'effet de vitrine du département de la Gironde, a permis à la technique par dépression de se rendre indiscutable dans un certain nombre de cas. C'est certainement ce dernier

point, plus que le nombre de réalisations, qui conduit à abandonner aujourd'hui le statut d'innovation technique du réseau d'assainissement sous vide.

Au terme de cette recherche, les différents points abordés, les interrogations que nous avons posées nous incitent à formuler trois remarques d'ordre général.

L'émergence des nouveaux réseaux à dépression correspond en fait à des conditions limites, voire à une situation de crise des infrastructures, dans le domaine de l'assainissement. Parallèlement, cette situation de "crise" a connu une évolution des politiques d'assainissement, avec le passage de normes de procédé à des normes de résultats. Mais, au fur et à mesure de son développement, le réseau sous vide est légitimé, approprié par des acteurs et devient même, parfois, indiscutable, de sorte qu'il s'apparente presque à une nouvelle norme de procédé.

Il semblerait alors que la diversification des procédés induise une tendance à associer la performance de nouveaux équipements aux résultats escomptés, ce qui déboucherait in fine à une politique de norme de procédés conformes aux besoins actuels. Les situations de crise ne mettraient pas en cause systématiquement et de façon pertinente l'état des techniques, mais correspondraient plutôt à l'apparition de nouveaux besoins, de nouvelles exigences.

Aussi, la technique ne résout pas le problème mais le déplace simplement. En effet, le développement du réseau sous vide (de la gestion automatisée également) conduit à une complexification des réseaux entraînant des modifications dans l'organisation du système d'assainissement. Il oblige à de nouveaux comportements de la part des responsables et suscite de nouvelles relations entre les maîtres d'œuvre, les maîtres d'ouvrage, les gestionnaires du service et leurs partenaires économiques amont (entrepreneurs, fournisseurs, bureaux d'ingénierie).

Remarquons également que le réseau sous vide serait resté, en France, au musée si un très fort mouvement d'internationalisation ne s'était produit. Sur le plan français, depuis la circulaire Caquot (1949), la cause était entendue : il s'agissait de mettre au point un règlement "hexagonal" destiné aux entreprises françaises, pour des procédés français. Avec l'assainissement pluvial, une première brèche a été creusée par des bureaux

d'études étrangers, anglais, hollandais, qui maîtrisaient les techniques de stockage. Avec l'assainissement par dépression, c'est également de l'étranger que vient l'attaque pour le contexte général de l'environnement (le passage de normes de procédés à des normes d'objectifs) tout comme pour la technique et les changements des rapports entre acteurs de la filière (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, constructeurs, gestionnaires). Aussi, ne faudrait-il pas s'habituer à penser la question de l'assainissement local à l'échelle mondiale ?

Enfin, la dernière remarque concerne l'innovation en tant que processus socio-technique de diffusion d'un nouveau procédé.

Le développement actuel du réseau sous vide montre qu'il n'y a ni des "délais de diffusion", ni le nombre de réalisations ne peuvent caractériser convenablement le phénomène d'innovation. Par ailleurs il est surprenant que de nombreux chercheurs s'accordent à reconnaître l'intérêt de comprendre l'émergence et le développement d'une innovation alors que les conditions permettant à une innovation de ne plus être une innovation semblent finalement écartées de leurs préoccupations. Pourtant, le véritable enjeu d'une innovation est incontestablement de se libérer de ce statut provisoire, quel que soit en fait son mode de diffusion. Ainsi, en 1985, la gestion automatisée des réseaux d'assainissement était encore analysée comme un processus d'innovation technique alors qu'aujourd'hui, le principe n'est plus présenté dans les mêmes termes malgré un nombre encore limité d'applications. Où se situe la rupture ? qui en sont les initiateurs ? L'analyse des innovations a souvent été faite à partir des produits industriels. L'existence en génie urbain d'un système de normalisation très fort peut induire une autre approche.

Nous terminerons en proposant trois voies de recherche directement inspirées par l'étude des réseaux d'assainissement par dépression.

1 – Le plus souvent, les ouvrages générateurs de plus-values foncières sont des équipements publics, notamment les réseaux d'assainissement, financés sur les budgets des collectivités. Les spécialistes estiment que le phénomène de plus-value est un processus diffus et progressif qu'on ne peut mesurer de façon rigoureuse. Pourtant, le

cas du réseau sous vide montre bien les nouvelles opportunités foncières qui se dessinent lorsque des terrains peuvent devenir "urbanisables" au moyen de nouvelles techniques d'assainissement en réseau. Ainsi à Hourtin (Gironde), l'installation d'un réseau sous vide a fait augmenter immédiatement de 25% le prix des terrains à bâtir communaux. Au Tasta (Gironde) la pose de canalisations en dépression permet aujourd'hui de transformer une zone maraîchère en ZAC. Dans ces conditions, certains terrains classés 1 NA/U (zone constructible à condition d'y apporter les équipements VRD) et vendus autrefois 6 à 10 francs le m², sont désormais reclassés en U (zone constructible) et vendus 130 francs le m².

Par ailleurs, des exemples différents tentent de montrer la position dominante que procure à une collectivité la maîtrise d'un système de réseau de distribution d'eau ou d'assainissement dans ses relations avec d'autres collectivités, faisant ainsi émerger de nouveaux rapports de suzeraineté : ici où là, qui tient le réseau, tient le foncier... Il s'agit alors de préciser l'hypothèse suivant laquelle la maîtrise d'un réseau d'eau (évacuation ou alimentation) peut engendrer une position dominante sur les territoires qu'il dessert et/ou qu'il jouxte, par rapport aux territoires mis à l'écart. Cette hypothèse est aujourd'hui très vraisemblable. L'enjeu de la desserte dans des zones difficiles devient crucial pour le maire garant de la nouvelle urbanité.

2 – L'utilisateur est souvent considéré comme un acteur "passif" de l'assainissement en réseau, une fois son raccordement réalisé. Il est vrai par ailleurs que cet acteur ne se révèle pas fondamental pour comprendre le processus de développement des procédés sous dépression.

De façon générale, on considère que celui-ci ne prête guère attention au service, sa fonction se limitant à bénéficier des équipements en payant une redevance assainissement dans sa facture d'eau, sans véritablement comprendre le coût du service qui lui est rendu.

Néanmoins, il semble logique, voire nécessaire, pour d'autres réseaux, notamment ceux des télécommunications, d'analyser des phénomènes d'appropriation sociale des services fournis. Tout porte à croire que seuls les réseaux apportant un flux (matières directement consommables ou services) chez l'abonné induisent des réactions, des usages facilement identifiables.

Or, le cas des ordures ménagères, avec le développement des collectes sélectives montre que le comportement des usagers n'est pas obligatoirement indifférent, passif, à l'égard

des réseaux dont la fonction principale est l'évacuation de flux résiduels et/ou usés.

Qu'en est-il alors avec l'assainissement ?

Le réseau sous vide offrirait finalement la bonne opportunité de vérifier si l'usager a véritablement conscience d'être raccordé à un réseau d'assainissement et si ce dernier induit un comportement spécifique.

Avec un réseau gravitaire, aucune intervention n'est nécessaire pour assurer le transport des effluents. Cette absence d'intervention a légitimé l'apparente passivité et "inconscience" du raccordé vis-à-vis du réseau d'assainissement gravitaire, sans que l'on sache en définitive, en supposant ce comportement fondé, si celui-ci est inhérent au réseau d'assainissement, ou bien à la technique gravitaire.

Une étude effectuée sur des personnes raccordées à un réseau sous vide, comparées à d'autres connectées à un égout gravitaire permettrait sans doute de mieux évaluer le rôle des différentes techniques mises en oeuvre sur les comportements par rapport à ce qui relève de l'organisation en réseau du service d'assainissement et par rapport à ce qui relève du service public.

3 – La dernière voie de recherche est essentiellement un travail exploratoire.

Au regard de l'histoire de la "bataille" du tout-à-l'égout contre le sous vide, force est de constater que la réponse en réseau n'a pas été facile. Une telle réponse suggère en effet une organisation technique, mais aussi sociale et institutionnelle beaucoup plus complexe que des solutions "individuelles" qui ont tendance à se maintenir et à ne jamais disparaître complètement. Nous avons évoqué le dur combat du réseau gravitaire contre les fosses individuelles dans les grandes villes au XIX^{ème}, nous avons vu comment ce dernier a réussi finalement à s'imposer grâce à la normalisation technique, celle-ci limitant aujourd'hui l'extension du gravitaire dans des modes d'urbanisation différents de celui dans lequel il a été normalisé.

Paradoxalement on note aujourd'hui une tendance qui pousserait finalement à une mise en réseau toujours plus importante.

Le gravitaire a été pendant longtemps considéré comme le seul réseau possible en assainissement que les acteurs, pour des raisons techniques, économiques, sociales et politiques, ont tenté d'utiliser à plein en le généralisant. Mais il est devenu dans les années 1970 une limite contre laquelle ingénieurs et techniciens ont "buté", matériellement et techniquement. Tant que cela a été jugé possible et tolérable, il fut encore installé (ou étendu) en dehors de toutes justifications économiques et

environnementales. Lorsque ces conditions se sont avérées difficilement compatibles avec les capacités financières des maîtres d'ouvrage et les politiques de protection du milieu naturel, des acteurs se sont alors retournés vers d'autres techniques, comme le sous vide, qui pouvaient poursuivre un développement en réseau de l'assainissement dans des territoires nouveaux.

N'est-ce pas là un des processus fondamentaux par lequel la ville change ?

Il est généralement admis que la ville évolue avec des techniques urbaines qui restent stables, ou bien, que ces techniques évoluent dans un milieu urbain constant. Le cas du réseau sous vide montre en fait que l'évolution est double : le réseau technique d'assainissement se modifie et peut répondre à de nouvelles formes de territorialités. L'étude des procédés d'assainissement sous vide montre l'importance aujourd'hui de nouveaux réseaux techniques jugés secondaires en raison de leur taille et de leur potentialité de développement par rapport à l'égout gravitaire, mais considérés comme importants au regard des nouvelles finalités associées au système d'assainissement.

L'apparition du bus articulé traduit sans doute un phénomène identique. Cette innovation a permis de modifier les conditions d'exploitation des transports en commun et a largement contribué à leur développement. Parallèlement, le bus articulé a créé de nouvelles solidarités urbaines.

Il serait intéressant de vérifier l'existence de situations similaires dans d'autres services traditionnellement organisés en réseaux.

Le cas de l'assainissement laisse en effet déjà supposer que si de telles situations se retrouvent dans d'autres domaines, il y aurait alors des leçons à tirer sur les rapports réseau - territoire et sur le génie urbain.

BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie est organisée en sept sections thématiques :

A. Ouvrages généraux en assainissement.

B. la question de l'assainissement urbain au XIX^{ème} siècle

C. Les réseaux d'assainissement par dépression

- Histoire de l'assainissement sous vide
- Les nouveaux procédés par dépression

D. L'application du vide et de la pression à d'autres réseaux urbains

- La collecte pneumatique des ordures ménagères
- Transmission de la force motrice
- La poste atmosphérique
- Le chemin de fer atmosphérique

E. Réflexions générales sur les réseaux urbains et le génie urbain

F. La diffusion de l'innovation

G. Bibliographie générale

Dans chaque section, les documents et ouvrages sont classés par ordre alphabétique des noms d'auteurs.

A

OUVRAGES GENERAUX EN ASSAINISSEMENT

- Agence de l'Eau Artois-Picardie, Service Technique de l'Urbanisme. CETE
Alternatives à l'assainissement gravitaire, les Cahiers Techniques de l'Assainissement, novembre 1985.
- Association des Maires de France, Association Nationale des Elus du Littoral
"L'eau, enjeu du XXI^{ème} siècle", Journées Nationales de l'Eau, Paris, Palais des Congrès, 10 et 11 mai 1990.
- BARRAQUE (B.), BEYELER (C.), TOUZE (N.)
Normes et choix techniques dans les domaines de l'eau, de l'assainissement et des déchets : collectivités locales, Etats, ingénieurs, CNRS - PIREN, LATTs - Equipe Réseaux et Territoires, juin 1989.
- BIRON (L.) et alii.
"Dimensionnement des réseaux d'assainissement sous pression équipés d'aéro-ejecteurs", Techniques et Sciences Municipales, novembre 1980.
- CHOCHOIS (M.)
Aménagement des communes rurales, gestion collective de l'assainissement individuel, situation et perspectives, Cycle Supérieur d'Aménagement et d'Urbanisme, I.E.P Paris, DESS d'Urbanisme, 1984.
- CHATZIS (K.)
Réseaux d'assainissement - Automatisation; cas de la Seine-Saint-Denis, LATTs, note interne, avril 1989.
- DEGERT (F.)
"La bataille de l'assainissement", Vie Publique, juillet -août 1987.
- DOURLENS (P.), VIDAL NAQUET (P.)
La gestion des eaux pluviales de la Cadière, l'itinéraire d'une expérimentation, CERPE, juillet 1987.
- DROUET (D.)
"La recomposition du secteur de l'eau en Europe". Réseaux, CNET, n° 35, avril 1985.
- DROUET (D.)
L'industrie de l'eau dans le monde, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1987
- DUPUY (G.)
"La science et la technique dans l'aménagement urbain. La cas de l'assainissement", Les Annales de la Recherche Urbaine, n° 6, janvier 1980.
- DUPUY (G.), KNAEBEL (G.)
Assainir la ville hier et aujourd'hui, Paris, Dunod, 1982.

- FAUDRY (D.)
L'évolution des techniques de l'eau dans la ville, Université des Sciences Sociales de Grenoble, Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, mai 1985.
- FAUDRY (D.)
La prévision des coûts des réseaux d'assainissement, Ministère de l'Environnement et de Cadre de Vie, STU, IREP-CEPS, juillet 1980.
- FAUDRY (D.)
"Les techniques des eaux urbaines", Les Annales de la Recherche Urbaine, n° 30, avril 1986.
- GODFROY (B.)
"L'assainissement, un marché important en France", Colloque réseaux d'assainissement, Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 16 mars 1989.
- KNAEBEL (G.)
L'égout et la propriété, Université Paris Val-de-Marne, Institut d'urbanisme de Paris, Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Ministère de la Justice, janvier 1985.
- LANCELOT (B.)
La gestion automatisée des réseaux d'assainissement : analyse d'un processus d'innovation technique, thèse de 3^{ème} cycle, ENPC -CERTES, Université Paris Val-de-Marne, 1985.
- LANCELOT (B.)
"Les différents systèmes de gestion automatisée des réseaux d'assainissement existants en France; conséquences sur l'efficacité et la fiabilité des réseaux, sur la réorganisation des services et la qualification du personnel", Actes du colloques Eau et Informatique, ENPC, Paris, 28-30 mai 1986, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1986.
- LORIFERNE (H.) (sous la direction de)
40 ans de politique de l'eau en France, Paris, Economica, 1987.
- LORRAIN (D.)
La filière eau - assainissement en France et à l'étranger, Centre d'Etudes des Systèmes et des Technologies Avancées, Fondation des villes, 1984.
- MALET (M.), TA THU THUY
Techniques alternatives en assainissement pluvial, impact sur l'environnement naturel, Beture - Setame, Plan Urbain, 1985.
- Ministère de l'Environnement
L'état de l'assainissement de 1981 à 1985, Février 1987.
- Ministère de l'Equipement, Direction de la Construction, Plan Construction, CERU
Comparaison des modes d'assainissement collectifs et individuels, février 1978.
- Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Services Techniques de l'Urbanisme
Contraintes d'assainissement individuel au niveau de la parcelle dans les opérations d'habitat de faible et moyenne densité, janvier 1984.

- Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Services Techniques de l'urbanisme
Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la Région Provencale
Gestion automatisée des réseaux d'assainissement, avril 1982.
- Plan Urbain
"L'eau dans la ville", Journées de recherche SITE 85, Paris, 22 et 23 octobre 1985.
- ROCHE (E.)
"Refoulement d'eaux usées, réseau sous dépression", Techniques et Sciences Municipales, juin 1974.
- ROCHE (E.)
"Les réseaux d'assainissement sous pression", Techniques et Sciences Municipales, mai 1983.
- ROCHE (E.)
"Conception des réseaux d'assainissement sous pression", TSM l'Eau, mars 1986.
- Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie
Assainissement en zone littorale, Cahiers Techniques de la Direction de la Prévention des Pollutions, n° 11, 1983.
- Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie
L'état de l'équipement des collectivités en matière d'assainissement, activités 1980 - 1981, Janvier 1984.
- TA THU THUY
"L'alternatif en assainissement urbain", Les Annales de la Recherche Urbaine, n° 30, avril 1986.
- TISSIER (M.)
"L'assainissement en France : bilan et critique", Sciences et Techniques, n° 95, juin- juillet 1983.
- TRIANTAFILLOU (C.)
La dégradation et la réhabilitation des réseaux d'assainissement : France - Angleterre - Etats-Unis, thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. LATTS, décembre 1987.
- VALIRON (F.) (sous la direction de)
Gestion des Eaux, tome I : Principes, moyens, structures, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1985.
- VALIRON (F.) (sous la direction de)
Gestion des Eaux, tome II : Alimentation en eau - assainissement, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1985.
- VALIRON (F.) (sous la direction de)
Gestion des Eaux, tome III : Automatisation, informatisation, télégestion, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1988.

B

LA QUESTION DE L'ASSAINISSEMENT URBAIN AU XIX^{ème} SIECLE

- ALPHAND (A.)
Compte-rendu sommaire du discours du Directeur des Travaux de Paris au Conseil Municipal dans la séance du 9 octobre 1880 sur les odeurs et le tout-à-l'égout, Paris, Chaix, 1880.
- BEAUDEMOULIN (L. A.)
Assainissement de Paris, état de la question, Paris, Dalmont, 1855.
- BEAUDEMOULIN (L. A.)
Assainissement de Paris, solutions pour les vidanges, les égouts, etc., Paris, Dalmont et Dunod, 1858.
- BOUTIN (P.)
"Eléments pour une histoire des procédés de traitement des eaux résiduaires", la Tribune du CEBEDEAU, n° 511; 512; 515 et 517, 1986.
- CHALUMEAU (C.)
"Etude de l'application du tout à l'égout à Lyon", La Technique Sanitaire et Municipale, janvier 1920.
- CALMETTE (A.), IMBEAUX (Ed.)
Egouts et vidanges, ordures ménagères et cimetières, Paris, Baillière, 1911.
- CHARDON (E.)
"Assainissement des villes", La Technique Sanitaire, Février 1908.
- DAVERTON (A.)
Assainissement des villes et égouts de Paris, Paris, Dunod, 1922.
- DUPUY (G.)
"L'eau en réseau, une certaine histoire de l'assainissement parisien", Colloqui Internacional, Barcelona - París : Història contemporàna de les xarxes d'infraestructura urbana, Barcelone, ETSECCP, les 18, 19 et 20 février 1987.
- DUPUY (G.), KNAEBEL (G.)
Assainir la ville hier et aujourd'hui, Paris, Dunod, 1982.
- DURAND-CLAY (A.)
"Examen des systèmes Waring et Shone pour l'évacuation des eaux d'égout", Annales des Ponts et Chaussées, Paris, E. Bernard et C^{ie}, 1888.
- GAUTHIER (L.)
Le tout à l'égout, considérations sur les différents systèmes de vidange à Paris, Paris, G. Chamerot, 1888.

- GAUTHIER (L.)
"De quelques remarques sur les projets d'assainissement", La Technique Sanitaire et Municipale, octobre 1921.
- IMBEAUX (Ed.)
Evacuation des immondices liquides, égouts et vidanges, Paris, Baillière, 1911.
- KNAEBEL (G.)
Les problèmes d'assainissement d'une ville du tier-monde : Pointe-Noire, Thèse de 3^{ème} cycle, Université Paris Val-de-Marne, 1978.
- MAUGUEN (P.Y.)
Innovation et réseaux d'assainissement (1870 - 1885). communautés d'ingénieurs et d'hygiénistes pastoriens face à l'émergence de la microbiologie, Mémoire de DEA, Conservatoire National des Arts et Métiers, Centre Science Technologie, Société, décembre 1988.
- MONDON (E.)
Assainissement général des villes et des petites collectivités, tome III ; Déchets liquides, Paris, Dunod, 1934.
- NAVE (F.)
"Etude critique sur la façon dont le tout à l'égout a été réalisé ou projeté jusqu'ici en France", La Technique Sanitaire et Municipale, août-septembre 1920.
- NAVE (F.)
"Nécessité d'une réglementation pour l'établissement des réseaux d'égouts", La Technique Sanitaire et Municipale, janvier 1923.
- NAVE (F.)
"Réflexion au sujet des méthodes anciennes et modernes pour le curage des égouts", La Technique Sanitaire et Municipale, février 1923.
- Préfecture de la Seine
Commission technique de l'assainissement de Paris, rapports, procès-verbaux et résolutions (procès-verbaux des quatre sous-commissions, comptes-rendus des voyages d'études à Bruxelles, Amsterdam et Londres), Paris, Imprimerie Chaix, 1883.
- Société de Médecine Publique et d'Hygiène Professionnelle
De l'évacuation des vidanges dans la ville, extraits de la revue d'Hygiène, 1880 - 1881 - 1882, Paris, Masson, s.d.
- TARR (J.A.)
"The separate vs. combined sewer problem, a case study in urban technology design choice", Journal of urban history, vol. 5, n° 3, mai 1979.
- WERY (P.)
Assainissement des villes et égouts de Paris, Paris, Dunod, 1898.

C

LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT PAR DEPRESSION

HISTOIRE DE L'ASSAINISSEMENT SOUS VIDE

- "L'assainissement des Sables d'Olonne par le système à chasse d'air", La Technique Sanitaire et Municipale, décembre 1928.
- BARRET (J.W.)
"A new method of removing sewage from hospital, being a modification of Captain Liernur's system", Medical Times and Gazette, London, 1884.
- BERLIER (J.B.)
Projet de vidange pneumatique pour la ville de Paris, Paris, Grande Imprimerie, 1883.
- BERLIER (J.B.)
Projet de vidange pneumatique soumis aux membres du conseil municipal de Lyon, Lyon, Bellon, 1883.
- BONNEFOND et alii.
"Lettre de MM BONNEFOND, FLEURY, GALLOT, LAVOCAT et VACHET, conseillers municipaux à Villeneuve-Saint-Georges, à Monsieur le Préfet du Département de Seine et Oise à Versailles", 18 Janvier 1907 (Archives municipales de Villeneuve-Saint-Georges).
- Compagnie de Salubrité de Levallois-Perret
Mémoire adressé à Monsieur le Président du Conseil Municipal de Paris, Levallois-Perret, 1901.
- Compagnie Générale de Salubrité
L'assainissement des villes par le système pneumatique de J.B. BERLIER, Paris, Grande Imprimerie, 1885.
- Conseil Municipal de Paris
Délibérations du Conseil Municipal de la Ville de Paris, (voir notamment les séances du 2 août 1881 et du 16 novembre 1883).
- DELIGNY
Essais de vidange directe par aspiration, système BERLIER, Conseil Municipal de Paris, Catalogue des rapports et tables, n° 63, 1881.
- DURAND - CLAY (A.)
Le système LIERNUR, Paris, Masson, 1880.
- GANDILLON (P.)
"Des méthodes anciennes et modernes pour le curage des égouts", La Technique Sanitaire et Municipale, novembre 1902.

- GANDILLON (P.)
"Etude et expérience en vue de l'assainissement des villes", La Technique Sanitaire, septembre-octobre 1907.
- GANDILLON (P.)
Assainissement de la ville de Fort de France, avant-projet général, mémoire technique et descriptif, Villeneuve-Saint-Georges, Presses de l'Union Typographique, 1933.
- HUDELO
De l'évacuation des vidanges dans la ville de Paris, rapport sur le système de vidange par aspiration de BERLIER, Paris, Masson, 1882.
- LANBRETTE (A.)
Les transports pneumatiques, leur calcul, leur construction, leur fonctionnement, Paris, Dunod, 1935.
- LIERNUR (C.)
"Le système différenciateur d'égout de LIERNUR", Loire Médicale, Saint-Etienne, 1882.
- LIERNUR (C.)
Open letter to the membre of the Glasgow Philosophical Society on the sewage question, Glasgow, 1869.
- LIERNUR (F.)
"Some notes on LIERNUR improved sewage system", Sanitary Reccord, London, 1903.
- Préfecture de la Seine
Commission technique de l'assainissement de Paris, rapports, procès-verbaux et résolutions (provès-verbaux des quatres sous-commissions, comptes-rendus des voyages d'études à Bruxelles, Amsterdam et Londres), Paris, Imprimerie Chaix, 1883.
- ROYER
Projet de traité entre la ville et la Compagnie Générale de Salubrité pour l'application du système pneumatique de vidange BERLIER, Conseil Municipal de Paris, Catalogue des Rapports et Tables, n° 2, 1883.
- ROUSELLE
Rapport sur le système BERLIER pour l'élimination des matières de vidange, Commission de l'Assainissement de Paris, Paris, Imprimerie Nationale, 1883.
- SCOTT (A.)
"The sewage problem, Capitain LIERNUR's improved system of town drainage", Sanitary Reccord, London, 1874.
- Société Civile des Brevets GANDILLON
Assainissement, notice succincte relative aux égouts à chasse d'air, rapport interne, s.d.

- TEMPLEMAN VAN DER HAEVEN (P.)
Vit de Praktijk von het Liernurstelsel in Nerderland, Utrech, L.E. Bosch en Zoom, 1890.
- TOURTEAUX (A.)
La vidange pneumatique de Levallois-Perret, mémoire aux conseillers municipaux de Paris et de Levallois-Perret, Levallois-Perret, Imprimerie Schneider et Mary, 1899.
- TOURTEAUX (A.)
Un moyen d'épurer la Seine : idée soumise au Conseil Municipal de Paris, Asnière, Imprimerie Robert, 1900.
- TOURTEAUX (A.)
Supression de la vidange pneumatique : mémoire adressé aux conseillers municipaux de Levallois-Perret, Levallois-Perret, Mottelet, 1901.
- Ville de Villeneuve-Saint-Georges
 - * Délibération du Conseil Municipal, 21 mai 1909;
 - * Assainissement de la ville de Villeneuve-Saint-Georges : convention entre le ville et la Compagnie des Eaux-Vannes, 16 et 17 décembre 1909;
 - * Arrêté du 7 novembre 1911 portant règlement relatif à l'assainissement du Villeneuve-Saint-Georges;
 - * Assainissement : notice succincte relative aux égouts-vannes de la ville (système à chasse d'air), Villeneuve-Saint-Georges, 1905.
- VON OVERBEEK DE MEIJER
Les systèmes d'évacuation des eaux et des immondices d'une ville, revue critique des divers procédés proposés, Paris, Baillièrre, 1883.

LES NOUVEAUX PROCEDES PAR DEPRESSION

- Agence de l'Eau Artois-Picardie, Services Techniques de l'Urbanisme, CETE
Alternatives à l'assainissement gravitaire, Les Cahiers Techniques de l'Assainissement, 1985.
- Agence de l'Eau Artois-Picardie, Services Techniques de l'Urbanisme
Vallée de la Sensée, assainissement des zones d'habitat de loisir : solutions techniques, 1981.
- AIRVAC (Division of Burton Mechanical Contractor Inc.)
Design Manual, Rochester, Indiana, 1978.
- AVERILL (D.V.); HEINKE (G.W.)
North of 60, vacuum sewer systems, Department of Indian Affairs and Nothern Development, Ottawa, Setpember 1974.
- BAROLO (D.M.); LA ROW (W.C.)
"Vacuum sewerage systems", Technical Information Pamphlet n°25, New York State Department of Envitonmental Conservation, July, 8, 1981.

- BUSCH (W.C.)
Summary of vacuum sewer survey, Illinois Environmental Protection Agency, Springfield, Illinois, 1977.
- CASERO (F.)
"Introduzione e criteri di dimensionamento dei sistemi sottovuoto per il trasporto e la raccolta dei liquami", Inquinamento, n°2, Febbraio 1985.
- CLARK (L.K.); EBLEN (J.E.)
"Demonstrating the feasibility of vacuum and pressure sewers", Public Works, April, 1977.
- DESTEPHEN (Ev.)
Le réseau d'assainissement sous vide, mémoire de D.U.T., 1984.
- DIPPOLD (W.), JEDLISCHKA (J.)
"Vakuumsystem - druckentwässerung", Wasser und Boden, n° 5, 1976.
- "Entwurf eines Arbeitspapers : Untersdruckentwässerung - Planungs, Bau- und Betriebsgrundsätze", ATV Arbeitsberichte, 2, 1985.
- FOREMAN (B.E.)
"Wastewater collection by vacuum", International symposium on urban hydrology, hydraulic infrastructures and water quality control, University of Kentucky, Lexington, july 23 - 24 1985.
- GARNIER (C.)
L'assainissement sous vide, étude technico-économique, mémoire de fin d'études, CEMAGREF, ENITRES, mai 1986.
- HASSET (A.F.); STARNES (J.C.)
"Vacuum wastewater collection : the alternative selected in Quenn Anne's County, Maryland", Journal Water Pollution Control Federation, volume 53, number 1, January 1981.
- JOHNSON (D.E.)
"Selecting sewerage systems to fit site conditions and budget", Civil Engineering ASCE, September 1978.
- KING (F.)
"Vacuum sewers, the future for sewage collection", Civil Engineering ASCE, December 1981.
- KREISSL (J.F.)
"Alternative sewer systems in the United States", International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulic Infrastructures and water Quality Control, Lexington, University of Kentucky, 22 - 25 July, 1985.
- KOSKAS (A.)
"Réseaux en dépression et essais de réception des réseaux" XII^{ème} journée de l'hydraulique, Nantes, les 14, 15 et 16 septembre 1982.

- FULLALOVE (S.)
"Vacuum drainage takes on public waste", New Civil Engineer, 7 October 1982.
- MILARD (A.)
"Une version moderne de l'évacuation sous vide des effluents", Techniques et Sciences Municipales, mars 1982.
- MILLS (D.), STANLEY (G.L.)
"Vacuum sewage", International conference on the planning, construction, maintenance and operation of sewage systems, University of Reading, England, 12 - 14 septembre 1984.
- Ministère de l'Urbanisme et de Logement
Assainissement par dépression, assainissement sous pression, approche comparative à partir de cas réel (camping de Gujan Mestras et commune de Barbatre), 1983.
- PACHOT (C.)
L'assainissement sous vide : une alternative au système gravitaire, mémoire d'ingénieur, Conservatoire National des Arts et Métiers, École Supérieure des Géomètres et Topographes, juillet 1987.
- QUAGLIA (M.)
"L'écoulement des eaux usées sous pression et sous dépression", XIII^{ème} journée de l'hydraulique, Nantes, les 14, 15 et 16 septembre 1982.
- "Sewage collection system relieves threat to Floride oyester industry", Water and Sewage Works, August 1977.
- SKILLMAN (E.P.)
Design criteria for vacuum wastewater transfer systems in advanced base applications, Civil Engineering Laboratory, Naval Construction Battalion Center, Port Hueneme, California, May 1979.
- U.S. Environmental Protection Agency
Alternatives for small wasterwater treatment systems; pressure sewers / vacuum sewers, Washington DC, October 1977.
- U.S. Environmental Protection Agency
Alternatives for small wasterwater treatment systems, Cincinnati, Ohio, October 1977.
- U.S. Environmental Protection Agency; Office of Municipal Pollution Control
Innovative and alternative technology projects 1986. progress report, Washington D.C., September 1986.
- "Vacuum wasterwater collection makes the grade in Charlotte, Tennessee", Water Engineering and Management, november 1984.
- WALTERS (P.H.)
Case study number 2 : Cedar Rocks vacuum collection system, West Virginia University, January 1986.

- WESTON (R.F.)
I/A technologie assesment post construction evaluation of Westmoreland, Tennessee, vacuum sewer system, Cincinnati, Ohio, Municipal Environmental Research Laboratory, U.S.E.P.A., 1983.
- Williams and Works Inc.
Technology assesment of vacuum sewer collection systems, technical information report, Office of Water Programs Municipal Construction Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., August 1984.

D

L'APPLICATION DU VIDE ET DE LA PRESSION A D'AUTRES RESEAUX URBAINS

LA COLLECTE PNEUMATIQUE DES ORDUES MENAGERES

- COLLARDEAU et alii.
"Choix d'un système de pré-collecte des ordures ménagères", Techniques et Sciences Municipales, décembre 1975 et novembre 1976.
- Ministère de la Culture et de l'Environnement
Ministère de l'Equipement et de l'Aménagement du Territoire
Ordures ménagères, systèmes de collecte par canalisations, décembre 1976.
- Ministère de l'Equipement, Plan Construction
Etude de la faisabilité de la collecte et du transport des ordures ménagères par canalisation, décembre 1974.
- ROUGIER (J.)
"La collecte pneumatique des ordures ménagères dans la ville neuve de Grenoble", Techniques et Sciences Municipales, novembre 1972.
- VIBERT (C.)
La collecte pneumatique des ordures ménagères dans la ville neuve de Grenoble, plaquette éditée par SOGEA, s.d.

TRANSMISSION DE LA FORCE MOTRICE AU MOYEN DE L'AIR COMPRIME ET DU VIDE

- ANDRAUD (A.)
L'air comprimé employé comme moteur ou de la force obtenue gratuitement et mise en réserve, Paris, Guillaumin, 1840.
- BOUDENOOT (L.)
Communication relative à un mémoire de M E. DAYRAT sur l'exploitation de la distribution de la force motrice à domicile au moyen de l'air raréfié, Paris, Capiomont et Renault, 1885.
- CHAMPLY (R.)
L'air comprimé ou raréfié, production, emplois, Paris, Dunod, 1929.
- Compagnie Générale des Horloges Pneumatiques
L'unification et la distribution de l'heure à domicile, Paris, Gauthier, 1878.
- DELAHAYE (P.)
"La distribution de la force à domicile par l'air raréfié", La Nature, tome II, 1885.

- DE NANSOUTY (M.)
"Distribution de force motrice au moyen de l'air raréfié", Génie Civil, tome VIII, n° 21, 27 mars 1886.
- DUFREYNE (P.L.)
Etude historique sur l'emploi de l'air comprimé comme agent de transmission du travail à distance, Paris Steinheil, 1889.
- FRANCOIS (J.)
Transport et distribution de la force motrice par l'air comprimé dans la ville de Paris, Paris, Chaix, 1888.
- GOUILLY (A.)
Air comprimé ou raréfié, 2^{ème} édition, Paris, Gauthier-Villars, s.d.
- GOUILLY (A.)
Transmission de la force motrice par air comprimé ou raréfié, Paris, Gauthier-Villars, 1892.
- MAMY (M.)
La distribution urbaine d'air comprimé à Paris, Paris, Société des Ingénieurs Civils de France, 1954.
- OLPHE GAILLIARD (G.)
La force motrice au point de vue économique et social, Paris, Giard et Brière, 1915.
- POPP (V.)
L'air comprimé à Paris, sa production, ses applications et son prix de revient, Paris, Bernard, 1894.
- POPP (V.), RIEDLER (A.)
Transmission de la force par l'air comprimé à Paris, Paris, Chaix, 1889.
- RIEDLER (A.)
Transmission de la force par l'air comprimé à Paris d'après les procédés de M. Victor POPP, Paris, Chaix, 1889.
- ROUZE (P.)
La distribution dans Paris et les principales applications de l'air comprimé, Paris, Société des Ingénieurs Civils de France, 1939.
- Société Urbaine d'Air Comprimé
L'expérience d'un producteur et distributeur d'air comprimé, La Société Urbaine d'Air Comprimé (SUDAC), Paris, janvier 1982.

LA POSTE ATMOSPHERIQUE

- BEAUCHAMPS (J.)
"Les transports par tube pneumatique", Somepost, n° 3, 1967.

- BERLIER (J.B.)
Etude et avant projet d'une transmission pneumatique des dépêches et colis postaux entre Paris et Londres, Paris, Cusset, 1885.
- BOBLIQUE (J.)
"Cent ans de tubes pneumatiques", Echo de la Timbrologie, 1968.
- CRESPIN (A.)
La poste atmosphérique, transport des correspondances entre Paris et Versailles, Paris, Dunod, 1875.
- GAILLARD (L.)
Centenaire de la première ligne pneumatique de Paris : 1866 - 1966, Direction des Télécommunications, document interne, 1966.
- GOBILLOT (P.), RYKNER (G.)
"La poste pneumatique de Paris", Le Monde des Philatélistes, 1975.
- LACH ARLINGHAUS (S.)
Pressured postal networks : 1853 to war 1, University of Michigan, août 1983.
- Ministère des Postes, Télégraphes et Téléphones
Instruction sur le service des correspondances pneumatiques recommandées, Paris, Imprimerie Nationale, 1937.
- POUJOL (T.)
"Des égouts au musée, splendeur et déclin de la poste atmosphérique", Culture Technique, n°19, mars 1989.

LE CHEMIN DE FER ATMOSPHERIQUE

- ANDRAUD (A.)
Chemin à vent ou locomotive par l'air , système ANDRAUD, Paris, Guillaumin, 1847.
- ANDRAUD (A.)
Chemins éoliques, ou locomotion par l'air comprimé, Paris, Guillaumin, 1847.
- BADOIS (E.)
"Rendements comparés de l'électricité et de l'air comprimé pour la traction mécanique des tramways", Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France, 1^{er} Trimestre, 1895.
- BAUDE (L.)
Rapport sur les expériences du chemin de fer atmosphérique entre le Vésinet et Saint-Germain, Paris, 1847.
- CHATARD
"Application de la traction à air comprimé sur les tramways de Paris", Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France, 1^{er} trimestre, 1894.

- COMBES (C.)
Avis de la commission chargée des expériences sur le chemin de fer atmosphérique,
Paris, Imprimerie Royale, 1848.
- DUBERN
De l'application de l'air atmosphérique au chemin de fer, résumé des opinions,
Paris, Librairie Industrielle et Scientifique, Mathias, 1848.
- ETIENNE (C.)
Chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, note descriptive des travaux d'art et
calculs relatifs à l'application du principe atmosphérique, Paris, Librairie
Scientifique Industrielle, Mathias, 1846.
- JULIEN (C.E.), VALERO (O.)
Notice sur un nouveau système de chemin de fer atmosphérique, Paris, Roret, 1845.
- MONMERQUE (A.)
La traction à air comprimé; installation existantes à Paris, Paris, Dunod, 1900.

E

REFLEXIONS GENERALES SUR LES RESEAUX URBAINS ET LE GENIE URBAIN

- BARTHELEMY (J.R.)
"La culture technique locale", Colloque Génie Urbain, LATTS, 27 et 28 avril 1988.
- CHATZIS (K.)
Etude des flux informationnels dans les réseaux urbains, LATTS, rapport interne, septembre 1988.
- CLAUDE (V.)
"Le génie urbain en 1905", Séminaire Génie Urbain, LATTS, Plan Urbain MELATT, ESIEE, Noisy-le-Grand, 27 et 28 avril 1988.
- DROUET (D.)
Eclairage international de la question du génie urbain, volume 1, diagnostic comparatif sur la situation des principaux pays industrialisés, Plan Urbain - Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transport, Recherche Développement International, février 1986.
- DROUET (D.)
Génie urbain et diversification des exploitants de réseaux (électricité, eau, vidéocommunication) dans les pays industrialisés; observations et interrogations, Recherche Développement International, Plan Urbain - MELATT, avril 1987.
- DROUET (D.), MATHIO (J.C.)
Les infrastructures urbaines industrialisables ; suivi, évaluation du projet EUREKA "EU 40", ETEAU, RDI, mars 1989.
- DUCLOS (D.), FINQUELEVICH (S.)
Techniques et territoires, essais de revue critique de recherches en sciences sociales sur le rapport technologie et espace, CNRS, CSU, 1986.
- DUHEM (B.), MAUGENDRE (J.P.), MORVAN (G.)
Quel génie urbain pour les services techniques municipaux ?, Centre de Formation du Personnel Communal, Recherche et Développement, mars 1987.
- DUPUY (G.)
"Frontières nationales et développement des réseaux de communication : le cas de l'Eurovision", Séminaire sur les conséquences d'un réseau mondial sur l'autonomie et la pertinence dans les pays nationaux, Commission des Communautés Européennes, Programme FAST-COM 8, s. d.
- DUPUY (G.)
"Villes, systèmes et réseaux, le rôle historique des techniques urbaines", Séminaire international sur les réseaux techniques urbain, histoire contemporaine, ENPC , CERTES, Paris, 12 - 15 décembre 1983.

- DUPUY (G.)
Systèmes, réseaux et territoires, principes de réseautique territoriale, Paris, Presses de l'Ecole Nationale de Ponts et Chaussées, 1985.
- DUPUY (G.)
"Les réseaux techniques sont-ils des réseaux territoriaux ?", L'Espace Géographique, n° 3, 1987.
- DUPUY (G.)
"Vers une théorie territoriale des réseaux, une application au transport urbain", Annales de Géographie, n°538, 1987.
- DUPUY (G.)
"Réseaux et territoires", Trois conférences à Barcelone, LATTs, janvier 1988.
- DUPUY (G.)
"L'urbanisme et la recherche sur les réseaux", projet d'article pour la revue Sistemi Urbani, LATTs, janvier 1989.
- Equipe Réseaux et Territoires
Génie Urbain : quelques réflexions pour contribuer à la définition d'un programme de recherche, LATTs, Ecole Nationale des ponts et Chaussées, Université Paris Val-de-Marne, note interne, s.d..
- ITIER (C.)
Les enjeux de la robotisation, des automatismes et de la gestion informatisée en génie urbain, rapport de stage de première année de DIUP, Institut d'Urbanisme de Paris, Université Paris Val-de-Marne, 1987.
- LATERRASSE (J.)
"Evolution des réseaux et nouvelles technologies de l'information", Séminaire Génie Urbain, LATTs, Plan Urbain, Noisy-le-Grand, ESIEE, 27 et 28 avril 1988.
- LATTs, Plan Urbain
Génie Urbain, Acteurs, Territoires, Technologies, Ministère de l'Equipeement, du Logement, des Transports et de la Mer, Ministère de la Recherche et de la Technologie, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val-de-Marne, juillet 1988.
- LEGUY (D.)
Etude critique du rôle des interconnexions des réseaux d'eau potable en région parisienne, nécessité, bilan de fonctionnement, perspectives d'avenir, mémoire de DEA Techniques et Gestion de l'Environnement, ENPC, ENGREF, Université Paris Val de Marne, 1987.
- LORRAIN (D.)
"L'industrie des réseaux urbains en France (des origines nationales à une dynamique mondiale)", Revue d'Economie Régionale et Urbaine, n° 1, 1986.
- LORRAIN (D.)
"Le grand fossé ? Le débat public / privé et les services urbains", Politiques et Management Public, vol. 5, n° 3, septembre 1987.

- MARTINAND (C.)
Le Génie Urbain, La Documentation Française, juin 1986.
- MATHIO (J.C.)
La formation des personnels communaux et la diffusion d'automatismes avancés et de robots dans le génie urbain, Réseaux et Territoires, Institut d'Urbanisme de Paris, Université Paris Val-de-Marne, 1986.
- MATHIO (J.C.)
L'enjeu des robots et des automatismes avancés pour le génie urbain, Laboratoire Techniques, Territoires, Sociétés, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val-de-Marne, 1988.
- MATHIO (J.C.), MORVAN (G.)
"Quand la formation et le management s'intéressent aux robots du génie urbain", Les Cahiers du CFPC, n° 22, mai 1982.
- MAYERE (A.)
Contrôle et gestion des réseaux urbains, évolution des techniques et des acteurs, Economie et Humanisme, Plan Urbain, avril 1989.
- MUSTAR (P.)
Pour une problématique du réseau, Mémoire de DEA, Institut d'Urbanisme de Paris, Université Paris Val-de-Marne, 1982.
- POUJOL (T.)
Des réseaux pneumatiques dans la ville, un siècle et demi de techniques marginales, LATTIS, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val-de-Marne, 1986.
- RIBEILL (G.)
"Réseaux techniques, le développement à la française", Métropolis, n° 73 / 74, 2^{ème} trimestre 1986.
- RIBEILL (G.) (présentation de)
"Une machination urbaine, les aérodromes de BORIE", Amphion, n° 1, 1987.

F

LA DIFFUSION DE L'INNOVATION

- AKRICH (M.)
La recherche pour l'innovation ou l'innovation pour la recherche ?, Centre de Sociologie de l'Innovation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, mai 1987.
- AKRICH (M.)
Energie et tier-monde : des théories aux pratiques de la diffusion des techniques, Mémoire de DEA Science Technologie et Société, Conservatoire National des Arts et Métiers, Université Paris I, juin 1985.
- AKRICH (M.), CALLON (M.), LATOUR (B.)
"A quoi tient le succès des innovations ? Premier épisode : l'art de l'intéressement", Gérer et Comprendre, Annales des Mines, n° 11, juin 1988.
- AKRICH (M.), CALLON (M.), LATOUR (B.)
"A quoi tient le succès des innovations ? Deuxième épisode : l'art de choisir les bons porte-paroles", Gérer et Comprendre, Annales des Mines, n° 12, septembre 1988.
- AKRICH (M.), CALLON (M.), LATOUR (B.)
BENGHOZI (P.J.)
"L'innovation dans tous ses états", Gérer et Comprendre, Annales des Mines, n° 13, décembre 1988.
- ANTONELLI (C.)
"Technological districts and regional innovation capacity", Revue d'Economie Régionale et Urbaine, n° 5, 1986.
- BLANC (G.), JEQUIER (N.)
La technologie appropriée dans le monde, une analyse quantitative, OCDE, 1983.
- BRETON (P.)
"Le rôle du contexte dans la genèse d'une innovation, questions à propos de l'invention de l'ordinateur", Réseaux, CNET, n° 4, mai 1987.
- CALLON (M.)
"Éléments pour une sociologie de la traduction, la domestication des coquilles Saint-Jacques et des maris-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieux", L'année sociologique, 1986.
- CALLON (M.), LATOUR (B.)
"Comment suivre les innovations, clef pour l'analyse socio-technique", Prospective et Santé, numéro spécial sur l'innovation, octobre 1985.
- CROZIER (M.)
La Société bloquée, Chapitre II Du Problème de l'innovation, Paris, Seuil, Points Politiques, n° 40, 1970.

- DROUET (D.), MATHIO (J.C.)
Les infrastructures urbaines industrialisables : suivi, évaluation du projet EUREKA "EU 40", ETEAU, RDI, mars 1989.
- GAUDIN (T.)
"Le sens de l'innovation", Le Progrès Technique, n° 19, 1980.
- GAUDIN (T.)
"Les obstacles à l'innovation : vers un nouveau rapport Rueff-Armand", Le Progrès Technique, n° 18, 1980.
- GUILLERM (A.), GUILLERM (D.)
Le retour de la voile dans la propulsion des navires commerciaux, étude comparative entre le Japon et la France, CNRS, programme Science, Technologie, Société, octobre 1984.
- ITIER (C.)
Les enjeux de la robotisation, des automatismes et de la gestion informatisée en génie urbain, rapport de stage de première année de DIUP, Institut d'Urbanisme de Paris, Université Paris Val-de-Marne, 1987.
- KRANSBERG (M.)
"Le processus d'innovation, un modèle écologique", Culture Technique, n° 10, juin 1983.
- LANCELOT (B.)
La gestion automatisée des réseaux d'assainissement : l'analyse d'un processus d'innovation technique, thèse de 3^{ème} cycle, ENPC-CERTES, Université Paris Val-de-Marne, 1985.
- LOINGIER (G.)
Rythmes et processus de diffusion des innovations techniques, CESTA, 1984.
- MATHIO (J.C.)
Politiques fédérale et innovation dans les collectivités locales d'Amérique du Nord de 1960 à 1980, Institut d'Urbanisme de Paris, Equipe Réseaux et Territoires, 1985.
- MAUGENDRE (J.P.)
L'innovation dans les services municipaux vue à travers la presse spécialisée des collectivités territoriales, Mémoire de DEA, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris I, Université Paris Val-de-Marne, Plan Urbain, 1986.
- MAUGUEN (P.Y.)
Innovation et réseaux d'assainissement (1870 - 1885). communautés d'ingénieurs et d'hygiénistes pastoriens face à l'émergence de la microbiologie, Mémoire de DEA, Conservatoire National des Arts et Métiers, Centre Science, Technologie, Société, décembre 1988.
- Ministère de l'Equipement, Direction de la Construction, Plan Construction, CERU
Comparaison des modes d'assainissement collectifs et individuels, février 1978.

- NICOLON (A.)
"Innovation et Environnement", Colloque International les politiques de l'environnement face à la crise, GERMES, Paris, les 10, 11 et 12 janvier 1984.
- OCDE, CPE
Les politiques d'innovation face à la crise, Economica, Paris, 1986.
- OFFNER (J.M.)
"La disparition des tramways en France", Chemins de Fer, janvier - février 1988.
- PATIN (P.)
"Faut-il tuer le Trax ?", PCM Le Pont, n° 2, février 1988.
- PLANQUE (B.), PY (B.)
"La dynamique de l'insertion des PME innovatrices dans leur environnement, problématique et propositions méthodologiques", Revue d'Economie Régionale et Urbaine, n° 5, 1986.
- PORTNOFF (André-Yves)
"Henri Guillaume : l'innovation redevient l'actualité", Science et Technologie, n° 19, octobre 1989.
- POUJOL (T.)
Des réseaux pneumatiques dans la ville, un siècle et demi de techniques marginales, LATTS, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val-de-Marne, 1986.
- RIBEILL (G.)
"Inventer au XIX^{ème} siècle, ingénieurs et ouvriers inventeurs au XIX^{ème} siècle", Culture Technique, n° 8, juin 1982.
- SAINT-JULIEN (T.)
La diffusion spatiale des innovations, GIP Reclus, Montpellier, 1985.
- SALOMON (J.J.)
Prométhée empêtré. La résistance au changement technique, Paris, éditions anthropos, 1984.
- SALOMON (J.J.)
"Le service public et l'innovation", Séminaire services publics et espaces collectifs, modèle de gestion et culture d'entreprise, Université Paris IX Dauphine, IRIS - LAMSADE, séance du 13 février 1987.
- SALOMON (J.J.)
"Les politiques d'innovation en Europe", Futuribles, n° 132, mai 1989.
- TORNATZKY et Alii
The process of technological innovation, reviewing the literature, National Science Foundation, 1983.

G

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

- Code des Marchés Publics, Journal Officiel, Paris, Imprimerie des Journaux Officiels, mars 1986.
- Code de l'Urbanisme, Paris, éditions Litec, 1986.
- CORBIN (A.)
Le miasme et la jonquille, Paris, Aubier-Montaigne, 1982.
- COURMONT (J.) et alii
Précis d'hygiène, Paris, Masson, 1940.
- COTTEN (M.)
"La menace : les dépenses de fonctionnement vont-elles freiner le financement des équipements publics ? l'exemple de la France", colloque international Comment financer les équipements publics de demain ?, Université Paris IX-Dauphine. 8-9-10 janvier 1986.
- DAUMAS (M.)
Histoire générale des techniques, tome 4, les techniques de la civilisation industrielle, Paris, Presses Universitaires de France, 1978.
- DECK-CHAUMONT (E.)
Culture d'entreprise et stratégie économique. Le cas des groupes français de B.T.P. (1945-1985), Laboratoire Techniques, Territoires, Sociétés, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val-de-Marne, septembre 1987.
- DOUENCE (J.C.)
L'action économique locale, décentralisation ou recentralisation ?, Paris, Economica, 1988.
- DOURLENS (C.), VIDAL-NAQUET (P.A.)
De la conquête de la sécurité à la gestion des risques, Centre d'Etude et de Recherche sur les Pratiques de l'Espace, s.d.
- DUBY (G.) (sous la direction de)
Histoire de la France urbaine, tome IV : La ville de l'âge industriel, Paris, Seuil, 1983.
- DUPUY (G.)
"75 ans d'urbanisme en France, technique et urbanisme", 2^{ème} forum Urbanisme et Aménagement, Avignon, les 12, 13 et 14 novembre 1986.
- FREGE (X.)
La décentralisation, Paris Editions La Découverte, 1989.
- GILLE (B.) (sous la direction de)
Histoire des techniques, Paris, Gallimard, Encyclopédie de la Pléiade, 1978.

- GOUBERT (J.P.)
La conquête de l'eau, Paris, Robert Laffont, 1986.
- LABEDOLIERE (E. de)
Le nouveau Paris, Paris, Gaston Barba, 1860.
- LARROQUE (D.)
"Industrialisation et équipements urbains de Paris, 1830 - 1914", Les Annales de la Recherche Urbaine, n° 8, 1980.
- LATOUR (B.)
Les microbes, guerre et paix, suivi de Irréduction, Paris, Métailié, Collection Pandorre, 1984.
- LAVIGNE (J.C.)
"Au fil des risques, les villes, une approche symbolique de la gestion urbaine", Les Annales de la Recherche Urbaine, Dunod, n° 40, novembre - décembre 1988.
- LEMOIGNE (J.L.)
"Régulation", Dictionnaire Encyclopédique de Théorie et de Sociologie du Droit, Paris, Librairie Générale de Droit et de Jurisprudence, 1988.
- LORIFERNE (H.) (sous la direction de)
40 ans de politique de l'eau en France, Paris, Economica, 1987.
- LUCAS (Y.)
L'automation, Paris, PUF, 1982.
- OFFNER (J.M.)
"Théories et terrains, quelques apports épistémologiques", Recherche Transport, Sécurité, n° 21; mars 1989.
- PRUD'HOMME (R.)
Le ménagement de la nature, des politiques contre la pollution, Paris, Dunod, 1980.
- RENARD (V.)
"Principes et modalités d'une récupération des plus-values foncières", Colloque international Comment financer les équipements publics de demain ?, Paris, Université de Paris-Dauphine, 8, 9 et 10 janvier 1986.
- RIBEILL (G.)
Evolution technique et organisationnelle dans le bâtiment, histoire de la SGE, Plan Construction - Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de l'Aménagement du Territoire, Centre d'Enseignement et de Recherche Techniques et Sociétés - Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- "Répartition de la Dotation Globale d'Équipement en 1989", Le Moniteur, n° 4446, 10 février 1989.
- SAINT-MARC (P.)
La socialisation de la nature, Paris, Stock, 1971.

- Ville de Paris
Annuaire statistique de la ville de Paris, depuis 1890.
- WECKERLE (C.)
"Les primitifs de l'électronique", Esprit, octobre 1982.

ANNEXE 1

LISTE DES TABLEAUX FIGURANT DANS LE TEXTE

Deuxième partie : le renouveau des réseaux à dépression, un contexte favorable à l'innovation.

I Comparaison gravitaire / par dépression	p. 105
I L'assainissement par dépression en France : conditions d'installations	p. 111
II Taux de dépollution des eaux usées en France	p. 119
II Evolution des dépenses des collectivités locales	p. 133

Troisième partie : une approche territoriale de l'assainissement par dépression, l'analyse des rapports réseau - territoire.

I Coût des réseaux communaux	p. 183
I Coût de la centrale de vide	p. 184
I Coût des bâches	p. 185
II Comparaison économique entre la solution gravitaire et la solution par dépression dans la région de Queen Anne dans le Maryland	P. 190
II Comparaison économique entre la solution gravitaire et la solution par dépression dans la ville de Spalding (Lincolnshire)	p. 190
II Estimation du coût d'exploitation des réseaux par dépression, tableaux 1 à 6	p. 210 à p. 215

ANNEXE 2

LISTE DES FIGURES INCLUSES DANS LE TEXTE

Première partie : les conditions historiques de la marginalité des réseaux à dépression.

I 3.	Les 22 chutes pneumatiques de la caserne de la Pépinière	p. 27
I 3.	Appareils récepteur et évacuateur du réseau pneumatique Berlier	p. 28
I 3.	Deux récepteurs et un évacuateur installés dans une cave au n°4 de la rue de la Bienfaisance (8 ^{ème} arrondissement).	p. 30
VI 2.	Schéma de principe du réseau pneumatique de Gandillon	p. 56
VI 4.	Des réseaux pneumatiques dans la ville	p. 65
VI 4.	Victor Popp, entrepreneur et exploitant de réseaux pneumatiques	p. 67

Deuxième partie : le renouveau des réseaux à dépression, un contexte favorable à l'innovation.

I 1.	Principe de fonctionnement des réseaux par dépression Transvide et Vacuflow	p. 88
I 2.	Valve EVAC et valve AIRVAC	p. 90
I 2.	Bâches individuelle et collective du système par dépression EVAC	p. 93
I 2.	Bâche du système Transvide	p. 94
I 6.	Localisation géographique des réseaux par dépression	p. 110

Troisième partie : une approche territoriale de l'assainissement par dépression, l'analyse des rapports réseau - territoire.

II 2.	Coût d'exploitation des réseaux par dépression	p. 204
-------	--	--------

ANNEXE 3

COUT ELEMENTAIRE H.T. DES BACHES DE TRANSFERT

	Bâche coll. EVAC 1m x 1,5m F. HT 1985	Bâche ind. EVAC D = 600 mm F. HT 1985	Bâche ind. AIRVAC 1 m x 1m F. HT 1986
Regard	2 580	900	3 000
Tampon	1 785	580	1 300
Dispositif d'aspiration	7 600	5 700	6 200
Total	12 235	7 180	10 500

ESTIMATION DU COUT TOTAL DES RESEAUX COMMUNAUX TOUTES
TRANCHES CONSTRUITES (voir tableau page suivante)

- Taux d'actualisation : 10 % ;
- on suppose que 90 % des raccordements prévus à l'origine lors de la conception seront effectués ;
- nombre de personnes par habitation : 2,7 (taux INSEE 1987) ;
- par hypothèse, on considère que le coût actualisé du réseau (sans la centrale) par habitant à raccorder est le même que le coût actualisé (sans la centrale) par habitant déjà raccordé sur le réseau ; c'est-à-dire on admet que les zones desservies par un même réseau sont homogènes.

	Dimension en éq. hab. = A	Eq. hab. raccordés en phase finale 90% A = B	Coût du réseau construit - coût de la centrale = C *	Eq. hab. effectivement raccordés = D	Coût du réseau / éq. hab. = C / D *	Coût du réseau - coût de la centrale pour B = E *	E + coût de la centrale = F *	Coût total du réseau fini F / B *
BRUGES	3.500	3.150	4.630.000	964	4.800	15.120.000	17.000.000	5.400
SAINT-PIERRE D'AURILLAC	1.200	1.080	656.000	189	3.500	3.800.000	4.400.000	4.000
TRACY- LE-MONT	400	360	577.000	103	5.600	2.000.000	2.400.000	6.800
GENSAC	1.800	1.620	1.037.000	211	5.000	8.100.000	8.800.000	5.400
SADIRAC	300	270	672.000	127	5.300	1.400.000	1.800.000	6.800
PINEUILH	3.500	3.150	4.612.000	505	9.100	28.700.000	29.900.000	9.500
CAUDROT	1.500	1.350	625.000	200	3.100	4.200.000	5.000.000	3.700
LONGUEIL- ANNEIL	1.000	900	2.377.000	367	6.500	5.800.000	7.000.000	7.750

* en F. HT 1988

Tableau II : Estimation du coût total des réseaux communaux toutes tranches construites