

Un programme de recherche sur le transfert des solides en réseaux d'assainissement

Le point en octobre 1988

André Bachoc
François Legrand
Pierre Musquere
Yves Sanchez

CERGRENE : IMF Toulouse
Assainissement Ville de Paris
Lyonnaise des Eaux Bordeaux
S.E.R.A.M. - Marseille

I. Les enjeux et les axes du programme de recherche

1.1. Les enjeux

Ce programme se situe par rapport à deux enjeux : l'encrassement des collecteurs et la pollution des eaux du milieu naturel par les solides des rejets de réseaux, notamment par temps de pluie.

Le second s'insère dans le prolongement des réflexions et des travaux importants menés en France et dans beaucoup d'autres pays sur la connaissance de la pollution des eaux pluviales, dont les solides constituent le principal vecteur. Quant à l'encrassement des collecteurs, il constitue l'une des préoccupations importantes des gestionnaires de réseaux, du fait notamment de son poids économique.

Dans une synthèse, publiée en février 1987, un groupe de travail de l'AGHTM sur les dépôts dans les réseaux d'assainissement a établi une première évaluation de la question. Dans les grandes villes, le volume de « sables » à extraire des réseaux est de l'ordre de 10 l/habitant/an. Si pour les canalisations on dispose aujourd'hui de moyens efficaces de nettoyage, avec les techniques d'hydrocurage, pour les collecteurs de plus grande dimension on utilise encore des méthodes manuelles ou très lourdes. Cela conduit à des coûts qui peuvent varier entre 1 000 F et 6 000 F par m³ extrait, la moyenne se situant à 1 500 F/m³. Pour alléger ce fardeau économique le groupe a fait le

bilan, assez décevant, des techniques envisageables, et décidé d'encourager le développement d'outils nouveaux, de même que l'analyse des phénomènes de transport solide et de sédimentation dans les réseaux d'assainissement. Le groupe de travail a notamment identifié les questions suivantes :

- *quels sont les bilans en flux ?* (quelles proportions et quelles fractions de solides transférés se déposent ?) ;
- *quand se font ces dépôts* (par temps sec ou par temps de pluie forte ou faible) *et les remises en suspension ?*
- *comment évoluent ces dépôts* : y a-t-il une stabilisation des volumes sédimentés, un compactage, une transformation chimique ?
- *comment maîtriser les dépôts*, en les évitant ou en les retirant à moindre coût ?

Pour les traiter, le groupe de travail AGHTM s'est rapproché du CERGRENE et de l'IMF de Toulouse au cours du 1^{er} semestre 1987.

L'appel d'idées du Plan Urbain sur les solides en réseaux d'assainissement a catalysé le montage d'un programme de recherche, dont le thème a été un peu élargi au cadre plus global du transfert des solides dans les réseaux d'assainissement, qui devrait permettre de mieux saisir les phénomènes en jeu et, aussi, de fournir des éléments pour mieux connaître l'impact des rejets directs dans les eaux du milieu naturel.

A research programme about the transfer of solids into sewers

This programme is supported by the AGHTM (General Association of Municipal Technicians and Hygienists), and particularly by the task group about fouling of sewer systems.

Many research laboratories (CERGRENE from the Ecole Nationale des Ponts et Chaussées — Civil Engineering —, Fluid Mechanics Institute in Toulouse, and others) and sewer managing societies or services (SERAM, in Marseille, Lyonnaise des Eaux, in Bordeaux, SIAAP, in Paris area, and others).

The main directions of the programme are : a) characterisation of solids transferred into sewers (quality and mechanistic parameters), b) sediment movement (sediment profile and other developments observation, modelisation, ...) c) typology of sewer sediments and their environment.

The general aims and means, as first results, will be presented.

1.2. Les trois axes de recherche retenus sont

La caractérisation des solides transférés dans les réseaux d'assainissement et rejetés à leur exutoire : sur le plan hydrodynamique (granulométrie, vitesse de chute, densité, ...); et vis-à-vis de leur potentiel polluant du milieu naturel.

La dynamique des dépôts, avec deux voies d'approche : l'observation de dépôts et de leur contexte, assez fine sur un collecteur de Marseille, plus globale sur les collecteurs de la Bièvre aval à Paris, ou d'autres; la modélisation mathématique et physique, qui aidera à identifier, en confrontation avec les observations et mesures, le mode d'influence des paramètres principaux.

Une typologie des dépôts et de leur contexte, avec visite de nombreux sites, en essayant d'évaluer le champ d'application des enseignements tirés des axes 1) et 2) et d'amorcer des solutions pour éviter ou retirer les dépôts.

1.3. Quelques éléments d'organisation

Association du groupe de travail AGHTM* sur l'encrassement des réseaux d'assainissement (comptant notamment des représentants Ville de Marseille — SERAM*, L.E. BORDEAUX*, SIAAP*, ...) avec des laboratoires de recherche (CERGRENE*, IMFT*, IFTS*, LCPC*, CETE Bordeaux, ...).

Obtention de financements par le Plan Urbain, l'AFBSN*, l'AFBRMC*, l'AEAP*, la SERAM*, ainsi que par des prestations d'exploitants de réseaux d'assainissement (L.E. BORDEAUX, SERAM*, SIAAP*, DEA SSD*, ...) et pour des bourses de thèses de (l'ENPC* et l'ENSEEIH*).

Mise en place d'un cadre contractuel (9 conventions et marchés) et de modalités de collaboration.

AEAP	:	Agence de l'Eau Artois-Picardie
AFBRMC	:	Agence Financière de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse
AFBSN	:	Agence Financière de Bassin Seine Normandie
AGHTM	:	Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux
CERGRENE	:	Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement, dépendant de l'ENPC
DEA SSD	:	Direction de l'Eau et de l'Assainissement de Seine Saint-Denis.
ENPC	:	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
ENSEEIH	:	Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, Electronique, Informatique et Hydraulique de Toulouse.
IFTS	:	Institut de la Filtration et des Techniques de Séparation (Agen)
IMFT	:	Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (CNRS + ENSEEIH)
LE	:	Lyonnais des Eaux.
LCPC	:	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Nantes)
SERAM	:	Société d'Exploitation du Réseau d'Assainissement de Marseille
SIAAP	:	Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne.

2. Caractérisation des solides

2.1. Les objectifs

On visera à donner des ordres de grandeur pour les valeurs moyennes et la dispersion des paramètres caractérisant le *potentiel polluant*, le *comportement hydrodynamique*, le

contexte de « production », des solides transportés (en suspension, par charriage, ...) par temps sec et par temps de pluie, *ou déposés* dans les réseaux d'assainissement, afin de mieux connaître :

- la capacité de ces solides à sédimenter et être remis en suspension dans les collecteurs et dans les eaux du milieu naturel ;
- les catégories de solides les plus polluantes ;
- les mécanismes de production des solides transférés par temps sec et par temps de pluie ;
- les paramètres importants, et leurs valeurs, à prendre en compte dans une modélisation mathématique ;
- la façon dont on pourra représenter ces solides pour des essais de laboratoire.

2.2. Les opérations engagées

Choix des données à recueillir : Un rapport synthétise le travail d'inventaire et de sélection des paramètres à mesurer.

Synthèse de données disponibles sur les quantités de pollution des eaux transitées dans les réseaux par temps de pluie : Parallèlement, nous avons entamé une analyse des résultats de mesures obtenus sur les bassins versants expérimentaux de la campagne nationale sur la pollution des eaux de ruissellement. Elle vise à déterminer des ordres de grandeur des quantités de matières en suspension (et des autres paramètres classiques de pollution) rejetées, à diverses échelles, ainsi qu'à évaluer des éléments de conception des moyens d'interception de ces solides.

Méthode d'échantillonnage et de mesure

Deux contraintes pour prélever des solides transférés dans les eaux pluviales :

- nécessité d'obtenir d'assez grandes quantités de solides, notamment pour les tamisages (quelques dizaines de grammes) ;
- représentativité peu fiable des prélèvements d'eau de ruissellement.

Deux voies :

- constitution de plusieurs échantillons de quelques centaines de litres, pour chaque crue, avec une pompe à vortex, un programmeur et des bidons de grand volume. La pompe sera placée initialement à la hauteur du radier, son niveau pouvant être ajusté ultérieurement. Les solides présents dans ces eaux brutes seront extraits avec une centrifugeuse. Les mesures sur les caractéristiques de ces solides seront complétées par des mesures sur des échantillons de l'eau « brute » prélevée dans chaque bidon, sur des échantillons de l'eau rejetée par la centrifugeuse, et sur des prélèvements de « calage », dans le temps, obtenus avec un échantillonneur automatique, et à diverses hauteurs dans l'écoulement ;
- prélèvements de dépôts dans des pièges à sédiments posés au fond d'un bassin où la décantation est très efficace, couplés à des prélèvements sur les eaux de vidange pour compléter.

Un site central pour ces prélèvements a été choisi, le bassin de Béquigneaux à Bordeaux. Les systèmes de prélèvements sont définis, réalisés et en place. Pour les mesures de pollution, les normes et les usages reconnus par les agences de bassin seront respectés. Pour les mesures de granulométrie, vitesse de chute, densité, l'observation des formes, une étude bibliographique et divers contacts ont permis de présélectionner des méthodes, affinées et testées par des essais. La description des procédures de mesures retenues pour les premières évaluations est en cours de rédaction. Les seuils pourront être ajustés suivant les frontières des populations qu'on individualisera éventuellement.

2.3. Premiers résultats

Les mesures pour tester les méthodes ont été réalisées sur des dépôts dans deux bassins de retenue bordelais : Périnot et Béquigneaux. On vérifiera par la suite le degré de représentativité des solides ainsi prélevés, mais on a pu mesurer, pour une crue moyenne, une décantation de plus de 90 % des solides entrant dans le bassin Béquigneaux. Ces premières mesures devraient donc refléter assez fidèlement la réalité.

On constate d'abord que les particules très fines, de diamètre inférieur à 50 μ , représentent une grosse majorité, de l'ordre des 2/3 au moins. Cela recoupe bien les mesures déjà réalisées en Seine-Saint-Denis (50 % inférieures à 50 μ).

On peut, d'autre part, constater qu'il y a apparemment deux populations de particules qui se distinguent : l'une centrée sur une dimension de 20 à 30 microns, qui se répartit entre quelques microns et une centaine de microns, l'autre, supérieure à 160 microns. Cette bimodalité peut résulter en partie d'effets de masque dus à une sédimentation dans les appareils de mesure de granulométrie fine, mais elle ne sera probablement pas remise en cause suite à des mesures de recoupement. Les répartitions granulométriques des solides prélevés dans chacun des deux bassins sont très proches.

Les premières mesures de densité, montrent que celle-ci croît lorsque la taille diminue, de 1,5 pour des solides de diamètre supérieur à 1,6 mm (où l'on trouve des matériaux organiques), à 2,7 pour des particules de diamètre compris entre 160 μ et 250 μ .

Les vitesses de chute en eau calme sont, pour 97 % des particules plus grosses que 1,6 mm et pour 74 % de celles comprises entre 50 μ et 1,6 mm, supérieures à 1 cm/s. Pour 80 % des particules de taille inférieure à 50 μ , cette vitesse de chute est supérieure à 0,5 cm/s, les 20 % restants sédimentant beaucoup plus lentement. Ces vitesses relativement élevées sont cohérentes avec les mesures montrant une très bonne efficacité de la décantation dans des bassins de retenue.

Les premières observations sur microscope électronique à balayage semblent pouvoir confirmer globalement les mesures granulométriques et donner de précieux éléments non seulement sur la forme mais aussi sur la nature des composants et la cohésivité des particules.

3. Dynamique des dépôts

3.1. Suivi de l'évolution des dépôts dans le collecteur 13 à Marseille

Cette opération centrale a pour but de mieux connaître l'évolution de la géométrie (démarrage, érosion, augmentation, déplacement) et de la consistance de ces dépôts par temps sec et par temps de pluie, ainsi que les facteurs qui semblent le plus influencer ces variations.

Présentation du collecteur et de son bassin versant : Les mesures sont réalisées sur le collecteur 13, long de 450 m, unitaire, visitable, peu pentu, avec une banquette latérale, s'encrassant vite, et ayant seulement deux arrivées latérales importantes, de même qu'une faible influence aval de son exutoire.

Le bassin versant couvre une surface de 150 ha, avec un taux d'imperméabilisation de 88 %. Il est dans son ensemble très pentu, alors que le collecteur suit une ligne de niveau. Dans le réseau amont, les dépôts, qui sont suivis aussi, sont peu importants.

Evolution du profil en long des dépôts : Ce profil en long est relevé tous les dix mètres, trois fois par semaine et immédiatement après les pluies, avec une pige mesurant la distance entre la surface du dépôt et un repère sur la voûte de l'ouvrage. Une série de relevés sur un cycle de remplissage du collecteur a démarré le 13 juillet 1988 après un curage à blanc et un relevé topographique très minutieux. Les relevés ont été quotidiens au cours des premières semaines après le curage.

Autres mesures et observations : Le contexte hydrologique et hydraulique sera cerné par une mesure pluviographique sur le bassin, par trois mesures en continu de hauteur d'eau dans le collecteur 13 en amont et en aval de la confluence principale (Canebière), ainsi que sur le collecteur « Canebière », et par l'utilisation du modèle CARE-DAS. Des relevés de profil de vitesse (au moulinet) complètent le dispositif.

L'évolution de la hauteur du dépôt est suivie en continu en 2 points avec une sonde à ultra-son, fixée sur un flotteur et « regardant » vers le bas, associée à une sonde de hauteur d'eau. Des prélèvements d'eau seront effectués en amont et en aval pour cerner les différences de qualité et de caractéristiques des solides transités, par temps sec et par temps de pluie. Un suivi de la consistance du dépôt est globalement assuré par des mesures *in situ* (au scissomètre et au pénétromètre), ainsi que par des observations et des mesures sur des prélèvements de dépôt, pour lesquels on utilisera probablement une méthode de congélation ayant donné des résultats encourageants en laboratoire, alors que divers essais par tubage ont échoué (présence de « grands déchets »).

Point sur l'opération : Une campagne d'essai de relevés profil en long a déjà été menée au cours du 2^e semestre 1987. Elle a permis de mettre au point la méthodologie et d'obtenir une série de premiers résultats. Ceux-ci doivent être manipulés avec beaucoup de précautions — leur préci-

sion sera améliorée — mais ils révèlent quelques surprises :

— par temps sec le dépôt semble se stabiliser ou même diminuer en volume ; cela semble être confirmé par les premiers résultats de la campagne réelle où, au cours des deux premiers mois, pratiquement sans pluie, le dépôt augmente lentement ;

— par temps de pluie le volume semble plutôt augmenter, ce qui est confirmé par les dernières mesures — mais que se passe-t-il en cours d'événement ? — ;

— le profil du dépôt est beaucoup moins stable que le volume ; il semble « resculpté » par certaines pluies, avec des érosions au niveau de certains avaloirs.

Par ailleurs, on a cru constater un durcissement du dépôt entre 9 et 12 mois après le début du premier cycle de remplissage.

3.2. Suivi de l'évolution des dépôts à Paris

Les mesures acquises dans le cadre d'une étude sur le fonctionnement des collecteurs « Bièvre aval » à Paris seront confrontées aux résultats obtenus à Marseille. Ces mesures, grâce à un ensamblemètre, donnent des relevés de profils en long très précis (on peut descendre à un pas d'espace de 1 m) en principe une fois par mois, et ce sur 13 km. Les premiers relevés ont été effectués.

3.3. Modélisation

Parallèlement à cet effort de recouplement des observations, des modélisations mathématiques et physiques seront menées pour progresser dans l'explication et, peut-être, la prévision de l'évolution de ces dépôts.

Pour la modélisation mathématique, une revue bibliographique a été établie et constitue une première base. Une réflexion est en cours pour la sélection des modèles à intégrer dans un programme de simulation des transmissions entre trois états : dépôt, transports par charriage transport en suspension.

La définition des modèles physiques, qui permettront dans un deuxième temps de mettre en évidence qualitativement l'influence de certains paramètres hydrauliques ou de certaines caractéristiques du sédiment, est conditionnée par une attestation des premières conclusions qu'on peut tirer des observations de terrain.

4. L'état du programme aujourd'hui : Acquis et questions

4.1. L'état d'avancement global

Le travail a porté essentiellement, jusqu'ici sur les deux premiers axes du programme (« caractérisation des solides transférés » et « dynamiques des dépôts »).

En ce qui concerne la typologie des dépôts et de leur contexte, il est prévu de mener des enquêtes et des visites de terrain approfondies pour situer les conditions préférentielles des dépôts et les principales difficultés d'exploitation liées à l'encrassement. Nous avons adopté une démarche progressive : après avoir acquis une première connaissance de l'évolution des dépôts sur deux ou trois sites, nous pourrions tirer, dans un deuxième temps, le meilleur parti de visites qui seront tout de même des opérations assez lourdes.

Pour la caractérisation des solides la méthode et les moyens sont définis, et en place pour l'essentiel. Quelques résultats de mesure donnent une première base. Les dispositifs de prélèvement sur le site central, à Bordeaux, sont en place, ceux de Marseille en cours de mise au point.

Pour la dynamique des dépôts, les opérations de terrain sur le site central, à Marseille, sont bien engagées, après une phase de définition, d'essais et de préparation. A Paris les premiers résultats sont acquis.

L'outil d'observation est donc déjà largement déployé.

4.2. Les priorités actuelles

Mettre en forme et compléter ponctuellement les premiers résultats :

- pour mieux situer les convergences ou les différences avec des observations, des déductions ou des spéculations antérieures,
- pour mieux cibler l'acquisition des données suivantes,
- pour mobiliser dans de meilleures conditions un réseau d'experts.

Renforcer le dispositif d'interprétation :

- en approfondissant la bibliographie et les efforts de modélisation ;
- en constituant un réseau d'experts dans des domaines très divers qui pourront apporter des éclairages croisés sur les conclusions envisageables et sur les investigations complémentaires nécessaires ;
- en affûtant les objectifs de l'interprétation, sur la base des premières hypothèses qu'il sera possible d'établir.

Finir la mise au point de l'outil d'observation et le compléter :

- notamment en élargissant les « caractérisations de reconnaissance » sur des solides transférés par temps sec et par temps de pluie, sur divers sites ;
- en confirmant, à Marseille, la fiabilité des mesures en continu de hauteur de dépôt en un point, celle des prélèvements de dépôts en place par congélation, etc... ;
- en définissant les méthodes d'observation sur ces prélèvements ;
- en organisant sur de nombreux réseaux des relevés descriptifs des dépôts et de leur contexte.