

L'hydrologie et l'hydraulique des bassins versants, les réseaux et l'épuration

Georges Raimbault et Bernard Bremond



Qu'est-ce que l'on entend par le terme technologies ? En fait, ce sont surtout les recherches réalisées par les organismes scientifiques et techniques des deux ministères. Ce sont aussi les études relatives aux développements techniques dans ces deux ministères. Le travail que nous vous présentons a été fait à partir de nos connaissances personnelles et du document de préparation qui vous a été distribué. Il peut y avoir des imprécisions ou des choses qui ne soient pas complètes, mais c'est un premier travail et il ne pourra être exhaustif.

Nous avons décomposé notre présentation en trois parties :

- la première partie concerne l'hydrologie et l'hydraulique avant les réseaux, c'est-à-dire les bassins versants, sans prendre en compte les réseaux ;
- la deuxième partie traitera des problèmes posés par les réseaux d'une façon générale ;
- la troisième partie s'intéressera plus à l'épuration.

Le domaine hydrologie et hydraulique

Le premier champ que nous devons identifier est la connaissance et la prévision de la pluie. Les organismes qui interviennent sur ce domaine sont d'une part Météo-France évidemment, le LCPC, le CERGRENE et le GEMCEA, qui est implanté ici même dans les locaux de NANCIE. C'est un domaine qui, traditionnellement, est du ressort de Météo-France mais, en fait, des besoins nouveaux ont amené d'autres équipes à s'y intéresser. Les besoins des hydrologues ont conduit à des demandes spécifiques, en particulier dans le domaine urbain et dans les bassins versants à crues très rapides, parce que, dans ces deux domaines particuliers, on travaille à des échelles de temps et des échelles spatiales très différentes des échelles utilisées classiquement par la météorologie. Le besoin d'une évolution est donc apparu pour que les éléments fournis par Météo-France soient mieux adaptés aux besoins des hydrologues. Un domaine en particulier où les évolutions ont été importantes est celui du radar météorologique.

Ces synthèses ont été préparées afin de présenter les efforts d'étude et de recherche menés par les deux ministères et leurs organismes de recherche. Chaque synthèse a été préparée conjointement par un représentant du secteur Agriculture et un représentant du secteur Équipement.



Georges Raimbault
LCPC de Nantes
Route de Pornic
BP 19
44340 Bouguenais
Cedex
Bernard Bremond
Cemagref
50 avenue de Verdun
BP 3
33611 Gazinet
Cedex

■ *Le radar météorologique*

Actuellement, Météo-France procède à un renforcement de son réseau de radars météorologiques, en particulier dans la région méditerranéenne, de façon à pouvoir mieux prévenir les risques d'inondations dues en particulier à des pluies d'orage intenses. Les hydrologues ont besoin d'images qui soient beaucoup plus fiables que ce dont on dispose actuellement s'ils veulent les utiliser dans leurs modèles.

Des travaux en cours sont réalisés d'une part par le LCPC avec le LTHE, laboratoire de l'université de Grenoble, et leur travail porte principalement sur le développement d'algorithmes pour le traitement des images. De son côté, Météo-France travaille aussi à l'amélioration des images et à la mise en place d'un contrôle qualité.



▲
Radar météo (Météo France).

Qui fait quoi, et jusqu'où ? En fait la question qu'il faut se poser est : quel traitement faut-il apporter aux images ? Je dirais : quel traitement faut-il apporter à toutes les images qui vont être fournies à tous les utilisateurs ? Soit une image d'un radar météorologique pour l'estimation de la pluie. Jusqu'où faut-il aller dans le traitement pour les données qui vont être diffusées à tout le monde ? Des traitements spécifiques ne doivent-ils pas être développés dans certains domaines ? Ce sont les questions qui peuvent se poser, et cela montre qu'il peut y avoir complémentarité entre les organismes.

Fonctionnement hydrologique des bassins

Autre domaine d'intervention des organismes : le fonctionnement hydrologique des bassins. Interviennent le Cemagref et les laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées, le GEMCEA. Ces organismes travaillent à la fois sur des bassins urbains et ruraux, et il faut signaler un certain nombre de complémentarités et de similitudes. Il existe des bassins versants de recherche à la fois ruraux et urbains, et le Cemagref, à travers le Comité scientifique et technique des BVRE, gère l'ensemble de ces bassins.

Il existe des petits bassins de recherche, et je crois qu'il faut signaler que, à la fois du côté Équipement et du côté Agriculture, on s'intéresse à la prise en compte de l'humidité des sols sur la réponse des bassins versants à la pluie.

Au niveau modélisation, il faut signaler qu'un certain nombre de modèles conceptuels ont été mis en œuvre par le Cemagref et, actuellement, les organismes de l'Équipement ont tendance à voir les possibilités d'utilisation de ce type de modèles en milieu urbain. On développe aussi des modèles plus spécifiques.

Les différentes équipes qui s'intéressent à ces bassins versants ne regardent pas uniquement le problème de l'eau, mais aussi les transferts associés à l'eau, en particulier les transferts de polluants.

■ *Techniques alternatives ou solutions compensatoires*

On ne se contente pas de chercher à observer le comportement traditionnel des bassins versants, on cherche aussi à modifier le fonctionnement

des bassins versants, en particulier urbains, à l'aide de ce que nous avons appelé les techniques alternatives.

Nous entendons par là les techniques alternatives à l'utilisation du tuyau. Initialement, le tuyau avait pour but d'évacuer le plus rapidement possible les eaux pluviales vers le milieu naturel. En fait, il y a des techniques qui permettent de retenir les eaux et de réduire les débits et les risques d'inondation. Ces techniques sont aussi appelées parfois solutions compensatoires, parce qu'elles essaient de compenser les effets d'imperméabilisation des sols.

Il y a l'observation du bassin versant sans grande intervention de l'homme, et les bassins très perturbés que sont les milieux urbains.

Les principaux intervenants sont le LCPC et le laboratoire des Ponts et Chaussées, qui s'intéressent à la conception et au fonctionnement de ces techniques, à leur intégration dans les aménagements, mais aussi à la conception de l'aménagement afin d'avoir la possibilité d'utiliser pour l'assainissement des solutions différentes des solutions traditionnelles. On essaie aussi de prendre en compte ces techniques dans les modèles de bassins versants, parce qu'actuellement les modèles utilisés de façon classique ne permettent pas de le faire.

Il faut signaler un certain nombre de partenaires, en particulier les collectivités locales, la communauté urbaine de Bordeaux, la Lyonnaise des Eaux et les agences de l'eau.

■ *L'hydraulique fluviale*

Les organismes intervenants sont le Cemagref et le Service technique central des ports maritimes et des voies navigables (STCPMVN) du ministère de l'Équipement. On peut signaler que tous ces organismes ont développé eux-mêmes, plus principalement au Cemagref, des modèles à surface libre, 2D, 3D, régime permanent. Ces modèles sont peut-être un peu anciens par rapport à des outils développés par de gros bureaux d'études d'autres pays.

Actuellement, il existe des besoins de prévisions en temps réel. Les services d'annonce de crues se contentent souvent de relier la prévision en un point à une station de mesures en amont. Des recherches sont en cours sur les problèmes de transport solide et de dynamique fluviale.

Les réseaux

Les actions de recherche dans le domaine des réseaux se développent selon trois thèmes :

- premier thème : gestion du patrimoine, ce sont les problématiques de diagnostic, de vieillissement, de réhabilitation, de renouvellement ;
- deuxième thème : gestion des équipements, modélisation du fonctionnement des systèmes, manœuvres optimales concernant l'objectif donné ;
- troisième thème : la gestion des services, qui déborde largement le cadre



▲
Vue aérienne d'un village et d'une zone agricole de la région nantaise (photo J.-M. Le Bars).

des réseaux et qui concerne l'analyse des services, les prix tarifaires et l'évolution des coûts.

■ *Gestion du patrimoine, eau potable*

Les récents sujets de recherche menés au Cemagref et à l'ENGEES sont destinés à faire évoluer la notion de qualité de service, qui est un paramètre important dans la prise de décision du renouvellement. Cette qualité de services est lue à travers trois critères :

- l'interruption de service,
- la qualité de l'eau distribuée,
- la pression disponible.

La quantification de ces critères est l'enjeu des recherches actuelles.

Dans le domaine de l'interruption de service, des modèles de prévision de casse de type épidémiologique ont été élaborés. L'objectif est de remplacer une approche curative du renouvellement, qui consiste par exemple à maintenir constant l'âge moyen du réseau, par une approche prédictive qui se fonde sur des risques objectifs de défaillance. Des indices de fiabilité ont été formulés pour quantifier l'incidence des défaillances d'un élément du système de distribution sur la distribution.

En ce qui concerne la pression disponible, des diagnostics dynamiques ont été développés pour permettre une approche globale du vieillissement hydraulique. Ils mettent en jeu un traitement simultané de mesures issues de capteurs de débit et de pression, dont les recherches récentes ont permis d'optimiser le nombre et l'emplacement.

Les recherches en programmation du renouvellement, qui sont menées au laboratoire commun ENGEES-Cemagref Gestion des services publics, consistent à proposer une méthodologie pour optimiser les échéances de renouvellement des infrastructures et la programmation des investissements. La méthodologie s'appuie sur l'analyse de l'évolution des défaillances, des coûts directs et indirects liés à chaque interruption de service. Sur ce thème, deux thèses viennent de se terminer, et une est en cours.

■ *Gestion du patrimoine, réseau d'assainissement*

Le diagnostic est un sujet ancien de recherche dans des équipes relevant du ministère de l'Équipement. Les premières phases du projet national RERAU (Réhabilitation des Réseaux d'Assainissement Urbain) ont permis, pour les réseaux visitables :

- de caractériser les risques géotechniques, hydrauliques, structurels et les risques d'impact,
- de proposer une notation de visite de façon à préciser les zones à risques,
- de définir les travaux de réhabilitation.

D'autres travaux de recherche, toujours dans le cadre du projet RERAU, ont permis de maîtriser les techniques de réhabilitation et de proposer des recommandations techniques pour les mettre en œuvre.

Le projet RERAU permettra de prolonger ces travaux aux réseaux non visitables. Nous pouvons citer quelques travaux effectués par le Cemagref, qui consistent à transposer des recherches effectuées dans le domaine des

réseaux d'eau potable, et qui ont permis d'établir des relations de causalité entre des pathologies relevées et des variables explicatives, sans toutefois faire intervenir le temps comme dans les réseaux d'adduction d'eau potable.

Le concept de diagnostic permanent développé au laboratoire central des Ponts et Chaussées permet de s'assurer que le fonctionnement des ouvrages correspond bien aux objectifs qui leur sont assignés. L'un des aspects de ce diagnostic fonctionnel concerne la localisation et la quantification des eaux claires parasites dans les réseaux séparatifs. Il s'agit de gérer des chroniques de données hétérogènes, critiquer, valider, analyser des résultats de mesures, ce que fait le logiciel LAD, produit issu de ces recherches.

Le diagnostic des branchements est abordé avec le soutien du projet national RERAU, sous forme d'une enquête nationale dont l'objectif est de caractériser le parc existant.

■ *Gestion des équipements*

En adduction d'eau potable, les travaux ont porté :

- sur l'optimisation des renforcements et la restructuration automatique des réseaux ;
- sur l'amélioration des modèles d'analyse de fonctionnement des réseaux, indispensables aux opérations de diagnostic ;
- leur couplage avec les systèmes d'informations géographiques ;
- dans leur prolongement, les modèles de qualité, notamment les modèles de transport de chlore.

Les recherches sur les stratégies optimales de mobilisation des ressources et des stockages ont donné lieu à la mise en œuvre de différentes méthodes de programmations mathématiques, en particulier des méthodes performantes de programmation par les graphes, dont l'expérimentation opérationnelle est en cours, notamment à la Générale des Eaux.

De nouvelles méthodes utilisant des techniques d'apprentissage par renforcement sont actuellement étudiées au Cemagref, et l'extension de la programmation par les graphes à la problématique de la gestion en temps réel des réseaux d'assainissement unitaire est en cours à l'ENGEES. Le critère analysé est la quantité d'effluent déversé dans le milieu naturel.

Dans le cadre de l'étude du fonctionnement des réseaux d'eaux usées par temps de pluie, la modélisation des infiltrations des eaux parasites de drainage permet de quantifier dans les réseaux séparatifs, après filtrage numérique, les contributions des eaux collectées, de mesurer l'impact des réhabilitations, et par conséquent de contribuer aux opérations de diagnostic. Cette opération est faite au laboratoire central des Ponts et Chaussées, et il y a une amorce de coopération avec le Cemagref sur le sujet, qui permettra d'appliquer les modèles utilisés en drainage agricole.

■ *Gestion des services*

Sous ce titre sont rassemblées les recherches qui s'appliquent aux services publics locaux, à caractère industriel et commercial, et qui intègrent les

aspects économiques et d'organisation. Elles sont menées au laboratoire GSP (Gestion des services publics), laboratoire commun Cemagref/ENGEES. L'analyse de service vise à construire des outils de contrôle de gestion à l'intention des gestionnaires des services d'eau potable et des élus. Il comprend l'identification d'indicateurs de mesure de la performance des services publics, par exemple le taux de conformité aux analyses dans le secteur eau potable, mais il y en a bien d'autres. L'objectif de ces indicateurs est le pilotage des régies, le suivi de gestion déléguée et la gestion prévisionnelle.

L'analyse des services s'attache également à développer une méthode d'évaluation et d'analyse des coûts liés aux activités d'un service, avec pour objectif la construction d'un observatoire des coûts. En ce qui concerne les choix tarifaires, les recherches ont pour objectif d'étudier les conséquences des différentes stratégies sur le comportement des abonnés et des entreprises gestionnaires, afin de mesurer les gains qui pourraient être tirés de cette régulation par les prix sur la gestion de la ressource et des équipements, et sur la performance des exploitations.

Des travaux vont être entrepris par ce même laboratoire dans le but de prévoir l'évolution des prix de l'eau en liaison avec les besoins d'investissement induits par les nouvelles réglementations.

Le laboratoire de Gestion des services publics a réalisé des travaux sur l'intervention des collectivités locales dans la gestion de l'assainissement individuel et poursuit, en liaison avec le CSTB, des recherches sur les coûts de l'épuration.

L'épuration

■ *Optimisation du fonctionnement des stations d'épurations (STEP)*

On peut constater que la présence des organismes scientifiques et techniques est limitée si on la compare aux moyens dont disposent en particulier les grands groupes. Cependant, il y a différents domaines dans lesquels les interventions sont plus ou moins marquées.



▲
Chenal annulaire d'une station d'épuration avec son décanteur central (A Héduit, Cemagref)

Le premier domaine que l'on a dégagé est celui de l'optimisation du fonctionnement des stations d'épuration, c'est un domaine dans lequel interviennent le Cemagref, l'IFREMER – pas directement au niveau des stations d'épuration, mais il intervient au niveau de la capacité d'assainissement des milieux, donc participe à des études sur l'utilisation des STEP – et le LCPC.

En dehors des capacités d'assimilation des milieux, les travaux portent sur l'optimisation du fonctionnement des stations à boues activées, en particulier de stations existantes dans lesquelles on cherche à améliorer le fonctionnement de certains dispositifs clés, telles l'aération et l'hydraulique des réacteurs biologiques.

Il faut signaler aussi des travaux faits par le LCPC sur le fonctionnement des décanteurs secondaires soumis à des surcharges hydrauliques, toujours dans l'optique où l'on ne cherche pas à surdimensionner la station d'épuration, mais plutôt à voir si l'on ne peut pas déplacer un peu la limite de fonctionnement prise en compte classiquement. Là aussi, les partenaires sont les grands groupes et les agences de l'eau.

■ *Évaluation des procédés d'épuration*

Concernant l'évaluation de procédés, c'est principalement le Cemagref qui intervient. Le LCPC est un peu intervenu dans ce domaine autrefois, mais il n'intervient plus actuellement.

Les procédés qui font l'objet d'évaluation concernent la biofiltration, dont le but est d'éliminer l'azote et le phosphore. Cela va dans le sens des démarches actuelles à la suite des nouvelles réglementations concernant cette élimination, notamment dans les zones sensibles en priorité.

Les services du LCPC travaillaient en particulier sur les séparateurs tourbillonnaires qui avaient pour but de séparer les eaux pluviales, c'est-à-dire moins chargées, dans les réseaux unitaires.

Notons actuellement l'absence d'organismes du ministère de l'Équipement et des Transports sur cette thématique. Il y en avait autrefois mais, aujourd'hui, il n'y a plus d'organismes du ministère de l'Équipement qui interviennent directement.

■ *Procédés rustiques d'épuration*

Nous arrivons à des domaines concernant des procédés d'épuration moins sophistiqués. On a des procédés rustiques d'épuration, domaine dans lequel interviennent le Cemagref, le CSTB et le GEMCEA.

Il s'agit d'études sur les possibilités d'infiltration et de biofiltration dans des lits d'infiltration plantés de roseaux, études menées principalement par le Cemagref, et des études sur les problèmes de traitement des matières de vidange également menées par le Cemagref. Le CSTB intervient principalement sur les domaines d'assainissement autonome et s'intéresse au fonctionnement des fosses septiques, aux séparateurs d'hydrocarbures et aux problèmes d'épuration par le sol. Il faut signaler que les partenaires, dans ce domaine, sont plutôt des PME.

■ *Procédés spécifiques d'épuration*

On peut parler de procédés spécifiques d'épuration – études menées par le Cemagref –, ce sont des procédés adaptés à de très petites collectivités, ou des procédés adaptés à des problèmes liés à l'élevage (en particulier traitements des lisiers ou traitement des eaux de lavage des stations de traite). Ce sont donc des procédés spécifiques adaptés à ces besoins et à ceux des industries agro-alimentaires, en particulier pour les effluents vinicoles.

■ *Problèmes de pollution par temps de pluie*

Toujours dans le domaine de l'épuration, il faut se poser la question des problèmes généraux de pollution par temps de pluie en milieu urbain. C'est un domaine où travaillent un certain nombre d'organismes, ratta-

chés au ministère de l'Équipement : CERGRENE, LCPC, DRPC, GEMCEA.

Il s'agit de connaître les caractères des rejets urbains en temps de pluie, soit en réseau unitaire, soit en réseau séparatif. Il s'agit de travailler sur la gestion de l'ensemble système d'assainissement-réseaux plus le STEP par temps de pluie. Comment va-t-on le gérer ?

Des études concernent les possibilités de décantation des eaux par temps de pluie dans des ouvrages de stockage qui n'ont pas été prévus pour cela, mais prévus plus particulièrement pour limiter des risques d'inondation. Compte tenu du fait qu'une grande partie de la pollution des eaux pluviales est fixée sur des matières en suspension, une décantation élimine une grande partie de cette pollution.

Il faut citer aussi un domaine dont on a déjà parlé : les techniques alternatives. Ces techniques ont un rôle épurateur vis-à-vis de l'eau, elles sont importantes pour approcher le problème de l'épuration des eaux par temps de pluie. Dans ce domaine, les partenaires sont des collectivités locales, et il faut citer en premier le district de l'agglomération de Nancy puis la communauté urbaine de Bordeaux et le département de la Seine-Saint-Denis.

■ *Métrologie qualitative*

On ne peut pas parler des problèmes d'épuration sans évoquer les travaux faits actuellement concernant la métrologie relative à la qualité des eaux. Ce sont des travaux menés en particulier au LCPC, à la DRPC mais aussi au GEMCEA. Ces travaux ont pour but de fournir des outils pour une meilleure gestion des stations d'épuration, et des outils pour l'auto-surveillance dans le sens de la nouvelle réglementation concernant les stations d'épuration.

Dans ce domaine, les principaux thèmes de travail sont destinés à la création d'outils permettant de qualifier les préleveurs, parce que la plupart des analyses sont faites à partir de prélèvements, mais des travaux sont faits à côté pour développer des mesures en continu, en particulier avec des méthodes optiques. Les partenaires sont, d'une part les industriels et les PME, mais aussi le district de l'agglomération de Nancy.

Pour finir, signalons l'importance des partenariats. Nous représentons des organismes des deux ministères, mais il y a beaucoup de partenaires extérieurs, de trois natures :

- des grands groupes : la Générale des Eaux, la Lyonnaise, la SAUR,
- les universités et organismes de recherche autres que ceux des deux ministères,
- les institutionnels : les agences de l'eau, d'autres ministères, par exemple le ministère de l'Environnement (quand il participe au financement de certaines études) mais aussi les partenaires très importants que sont les collectivités locales et en particulier le district de l'agglomération de Nancy et le Centre international de l'eau avec lequel beaucoup de travaux sont menés.