

Mise en œuvre d'une démarche de comparaison systématique entre mesures et modèle pour le diagnostic permanent des systèmes d'assainissement

Implementing a systematic comparison approach between measurements and hydraulic modelling for permanent diagnosis of sewer network

Christian Roux¹; Anne Guillon¹; Pascal Jouve¹; Marie-Mélie Belin¹; Audrey Allouch²

¹Conseil général des Hauts-de-Seine, Direction de l'eau, 2/16 Bd Soufflot, 92015 Nanterre Cedex. Auteur correspondant : croux2@cg92.fr ;

²PROLOG INGÉNIERIE, 3-5 rue de Metz, 75010 Paris.

RÉSUMÉ

La production régulière de mesures validées d'autosurveillance fait dorénavant partie des activités courantes de la plupart des services d'assainissement. La question posée est aujourd'hui celle de leur interprétation systématique pour le diagnostic permanent des systèmes d'assainissement, à savoir l'identification d'éventuelles insuffisances, la recherche continue de pistes d'amélioration, mais aussi et surtout la capacité d'interpréter en toute circonstance le fonctionnement du système. Ce dernier évolue en effet sous les influences croisées de différents facteurs, eux même soumis à des évolutions saisonnières et interannuelles : facteurs climatiques et hydrologiques, état du système, chômages et incidents divers... dont on cherche à apprécier les impacts respectifs. Cette communication traite d'une démarche systématique de comparaison entre mesures permanentes et modélisation hydraulique pour l'aide au diagnostic du système d'assainissement, qui permet non seulement d'améliorer le diagnostic du système mais également d'améliorer ces deux outils eux-mêmes au bénéfice de cet objectif premier.

ABSTRACT

In France, most sewer system operators regularly produce CSO monitoring data, at least for the Water authorities. The question today is to effectively use these data for enhancing the sewer system through a continuous diagnosis process. That means to identify possible lacks, to assess enhancement possibilities but also to be able to understand the system behaviour in any conditions. This one is submitted to the crossed effects of several factors that are themselves varying season after season, and year after year: hydrological and climatic factors, state of the system, unavailability and various incidents that could affect collectors, pumping stations, gates... For a better understanding, these numerous factors and their impacts on the system have to be identified. This paper relates a systematic comparison approach between monitoring data and modelling results for helping a better continuous diagnosis of the sewer system. This approach also helps to reinforce both tools for the benefit of this main goal.

MOTS CLES

Diagnostic permanent, Maîtrise des rejets, Métrologie, Modélisation, Système de collecte

1 CONTEXTE - OBJECTIFS

Le Conseil Général des Hauts-de-Seine possède une compétence de transport des effluents urbains entre les réseaux de collecte des communes et les grands émissaires du SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne). Il exploite à ce titre un réseau comportant 625 km de canalisations et de collecteurs. Ce réseau de conception majoritairement unitaire est équipé de 127 déversoirs d'orage vers le milieu récepteur, la Seine. Ces équipements statiques (barrages à poutrelles, murets...) ou automatiques (vannes seuil régulées) permettent de délester les réseaux dans différentes situations telles que : les pluies importantes, les chômages de certains collecteurs départementaux ou émissaires du SIAAP ou encore des incidents divers, notamment d'ordre électromécanique (pannes sur des vannes régulées ou des stations de pompage). Ils permettent aussi de délester le réseau lors de certaines configurations de crue du milieu récepteur, soit de manière gravitaire, soit par pompage.

Dans le contexte d'efforts croissants de maîtrise de la qualité des milieux récepteurs et sous l'impulsion de la réglementation, notamment la Directive sur les eaux résiduaires urbaines –DERU- de 1991, la Directive cadre sur l'eau –DCE- de 2000 et leurs déclinaisons en droit français, le Conseil général des Hauts-de-Seine s'est engagé dans un programme ambitieux de réduction de ses rejets d'eaux résiduaires en Seine.

Les actions correspondantes portent sur la maîtrise des eaux pluviales à la source, l'amélioration de la sélectivité des réseaux séparatifs, l'automatisation de déversoirs d'orage et la création d'unités de stockage-restitution sur les réseaux unitaires, mais aussi l'optimisation des consignes de gestion de ces réseaux. Les équipements concernés sont les stations de pompage, les vannes de régulation de débits, les déversoirs d'orage automatisés, mais aussi les équipements statiques tels que les seuils fixes ou les masques de restriction de passage.

Eu égard à la diversité et à la complémentarité de ces actions, au besoin de les définir dans de bonnes conditions techniques et économiques, mais aussi d'en valider a posteriori les effets sur des bases solides, il est apparu nécessaire de renforcer le dispositif de diagnostic permanent mis en place par le Conseil général dès les années 90.

Au-delà de la métrologie et des bilans de flux, les efforts se portent dorénavant sur l'usage systématique conjoint du modèle hydraulique de référence du réseau départemental d'assainissement. Cet article en résume les modalités, les bénéfices déjà perceptibles ainsi que les nombreuses autres perspectives qui en découlent.

2 METROLOGIE ET MODELISATION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT DES HAUTS-DE-SEINE, DES OUTILS JUSQUE LA DISJOINTS

2.1 La métrologie du réseau d'assainissement

Le Conseil général des Hauts-de-Seine s'est depuis près d'une trentaine d'années doté d'équipements de mesure sur son réseau d'assainissement, de même que d'une supervision de ses installations électromécaniques. Les objectifs visés à l'époque portaient essentiellement sur la caractérisation et la réduction des risques de débordement. Avec la DERU-1991 et plus encore avec la DCE-2000, une attention plus particulière a été apportée à la surveillance des rejets vers les milieux aquatiques. Le système de mesure comporte aujourd'hui près de 150 sections de mesure hauteur-vitesse, permettant de calculer les débits transférés vers les stations d'épuration du SIAAP, les débits rejetés vers la Seine, mais aussi de suivre un certain nombre de secteurs sensibles potentiellement soumis à des risques de débordement.

Le dispositif de surveillance des rejets porte sur 72 des 96 exutoires en Seine vers lesquels convergent les 127 déversoirs d'orage du réseau départemental.

Les points de mesure sont entretenus et les données sont validées tout au long de l'année par la SEVES (Société des Eaux de Versailles et de Saint-Cloud), dans le cadre de son contrat de délégation de service public.

2.2 La modélisation du réseau d'assainissement

Le département dispose d'un modèle de ses réseaux d'assainissement constitué de 5 sous-modèles indépendants représentant 5 secteurs géographiques du département.

Cet outil, sans cesse amélioré et de mieux en mieux documenté, est quotidiennement utilisé tant en régie par le Département, que par son délégataire la SEVESC, et par nombre de bureaux d'études externes qui interviennent aussi bien pour le Département, que pour les communes ou encore le SIAAP.

Le modèle est alimenté par de nombreuses données externes (conditions limites amont et aval, pluies, états contraints du réseau...) qui nécessitent un travail de récupération et mise en forme des données important. Les résultats de simulations doivent également faire l'objet d'un traitement spécifique pour pouvoir être comparés aux mesures de la supervision.

3 LE BANC DE MODELISATION, VERS UNE CONVERGENCE OPERATIONNELLE ENTRE METROLOGIE ET MODELISATION

Le « banc de modélisation » consiste en un logiciel implanté sur un ordinateur de bureau, raccordé au superviseur GAIA, à l'outil d'imagerie radar CALAMAR, et sur lequel est également installé le modèle hydraulique du réseau d'assainissement (voir figure 1, l'écran d'accueil). Il a été développé par SIGT, société du groupe PROLOG INGENIERIE, bureau d'étude spécialisé dans le domaine de l'eau et de l'environnement, mais aussi dans la conception d'outils de gestion technique (systèmes de mesure, supervision, modélisation, SIG).

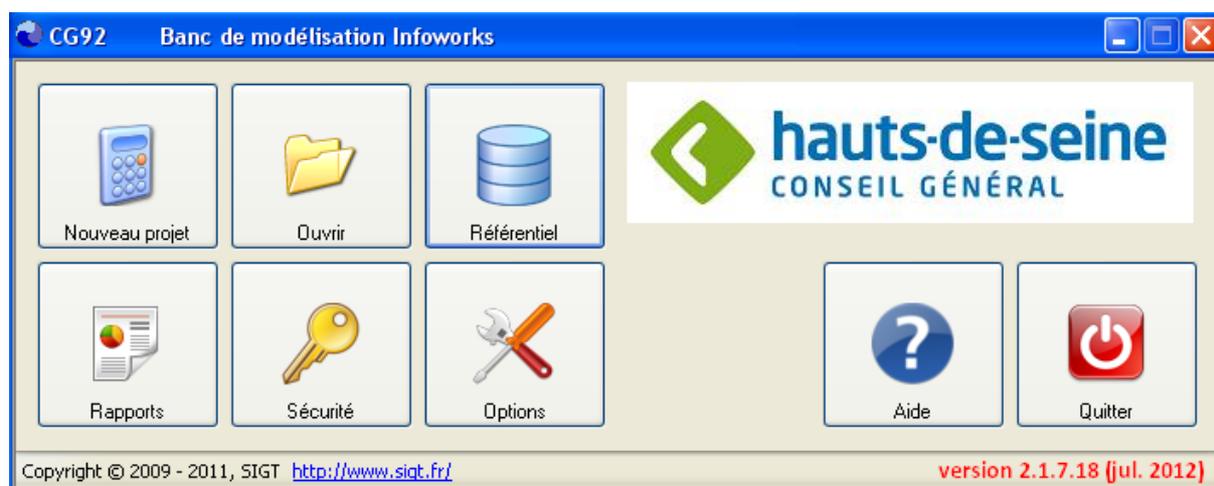


Figure 1 - Ecran d'accueil du banc de modélisation

En partant de quelques instructions saisies par l'opérateur, et en s'appuyant sur les données d'un référentiel (voir plus bas), cet outil permet de construire, par requêtes vers le superviseur, l'ensemble des fichiers dont le modèle hydraulique a besoin pour effectuer les simulations demandées. Ces fichiers sont respectivement :

- les fichiers d'apports au réseau : apports de temps sec, de temps de pluie
- les fichiers de conditions aux limites du réseau : niveau des milieux récepteur aval, débits d'apports extérieurs...
- les fichiers décrivant le comportement des équipements électromécaniques, dans lesquels figurent respectivement les états « régulés » ou « non régulés » de chaque équipement de même que, en fonction de l'état précédent, la consigne de régulation ou la position fixe correspondante.

Les informations à saisir par l'opérateur sont facilitées par une interface appropriée. Elles se limitent aux éléments suivants :

- choix des secteurs à traiter, dates de début et de fin des simulations ;
- saisie d'états particuliers de certains équipements non suivis par la supervision ;
- forçage, à des fins d'analyse, de certains états ou conditions aux limites ;
- inhibition de certains points de mesure, en cas de dysfonctionnement.

Le référentiel dont il est question permet l'association détaillée de tout ce qu'il est nécessaire de relier entre les différents outils, notamment :

- la position des pluviomètres pour le calcul des fichiers de pluie associés à chaque bassin versant ;
- les nœuds du réseau modélisé équipés de points de mesure, que ce soit des mesures d'autosurveillance associées pour simple comparaison ou des mesures de conditionnement du modèle (conditions initiales, conditions aux limites) ;
- les ouvrages régulés du modèle avec les variables d'état associées dans le superviseur.

L'outil restitue des résultats de synthèse sous forme de tableaux et de synoptiques (voir figure 2) offrant une vue d'ensemble de la situation, telle que provenant respectivement des mesures et de la modélisation. Au-delà des éléments synthétiques de comparaison comme les volumes d'eau écoulés totaux mesurés et simulés, les niveaux d'eau et les débits maximums atteints, il est possible d'éditer des courbes de comparaison permettant d'analyser plus finement la nature des écarts entre mesures et modèle, voire leurs causes.

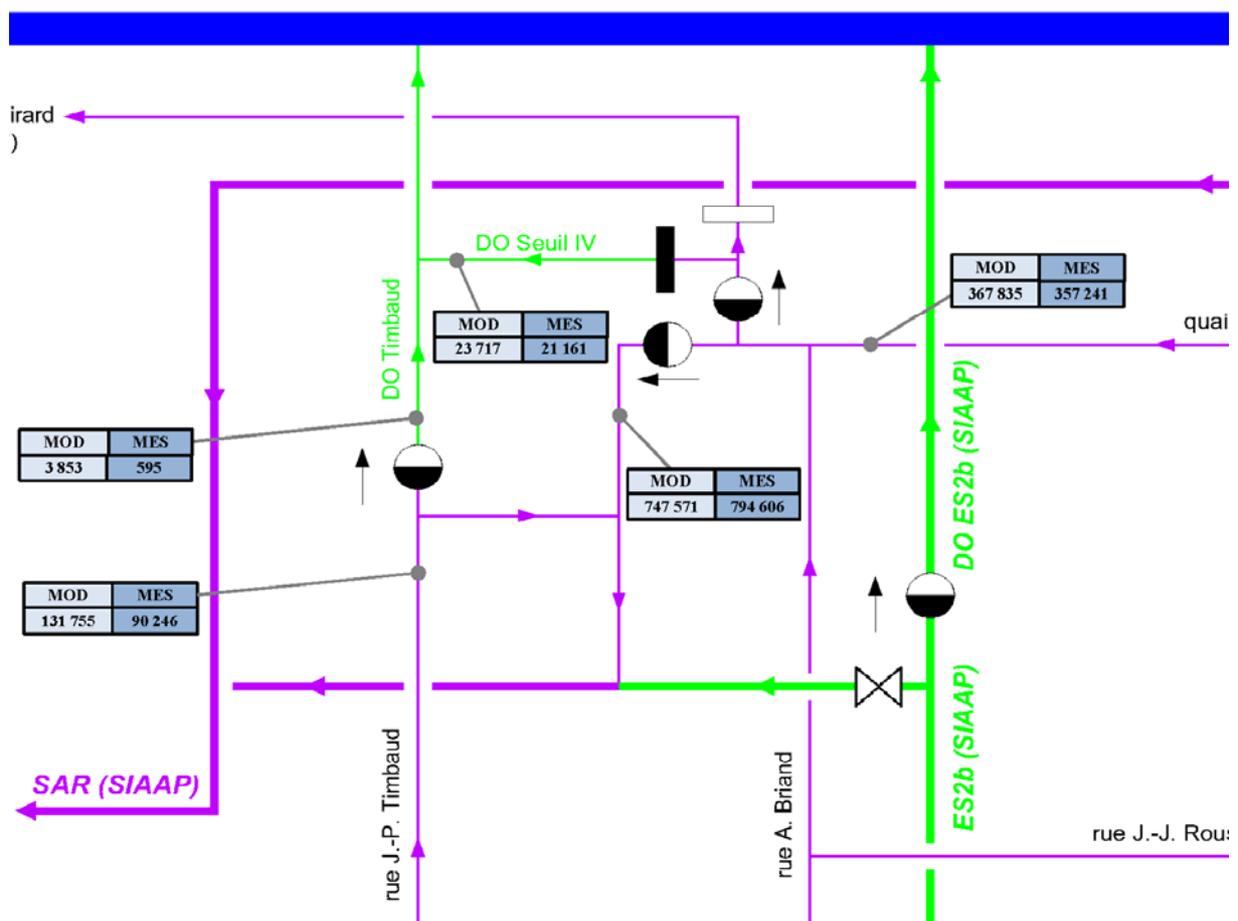


Figure 2 - Extrait d'un synoptique de restitution des bilans globaux de volumes modélisés et mesurés (en m^3), pour une période d'un mois, à l'échelle d'une grande zone de collecte du Département

4 APPLICATIONS ET PREMIERS ENSEIGNEMENTS

Le banc de modélisation est aujourd'hui opérationnel sur l'ensemble des réseaux départementaux. Il est utilisé chaque mois M, après réception des données validées du mois M-2. La première des applications consiste à confronter les bilans modélisés et mesurés à des fins de vérification croisée et d'amélioration réciproque des deux approches. La seconde application consiste pour certains sites, à compléter les mesures manquantes, à des fins de bouclage des bilans hydrologiques globaux. La troisième application est celle d'une vérification globale de cohérence des informations d'état du système. Enfin l'outil donne accès à des capacités d'interprétation et d'analyse pour le diagnostic permanent du système d'assainissement.

4.1 Validation des bilans d'autosurveillance et recherches d'amélioration

Les résultats sont édités pour examen systématique et identification d'éventuelles suites à donner. Le travail consiste à repérer les principaux écarts entre mesure et modèle, dès lors qu'ils excèdent les ordres de grandeurs habituellement admis en matière d'incertitudes de mesure et de modélisation. Ces écarts sont analysés en détail afin d'identifier si possible leurs causes, parmi lesquelles figurent souvent :

- des problèmes structurels (section de mesure fonctionnant mal pour des raisons d'implantation ou de choix de matériel) ou conjoncturels de mesure (encrassement des sondes, dérive...) ; on trouvera ci-dessous (figure 3) le cas d'une section de mesure, dont il apparaît évident, grâce au banc de modélisation, qu'elle sous-compte les flux transités du fait d'une non détection des faibles débits.

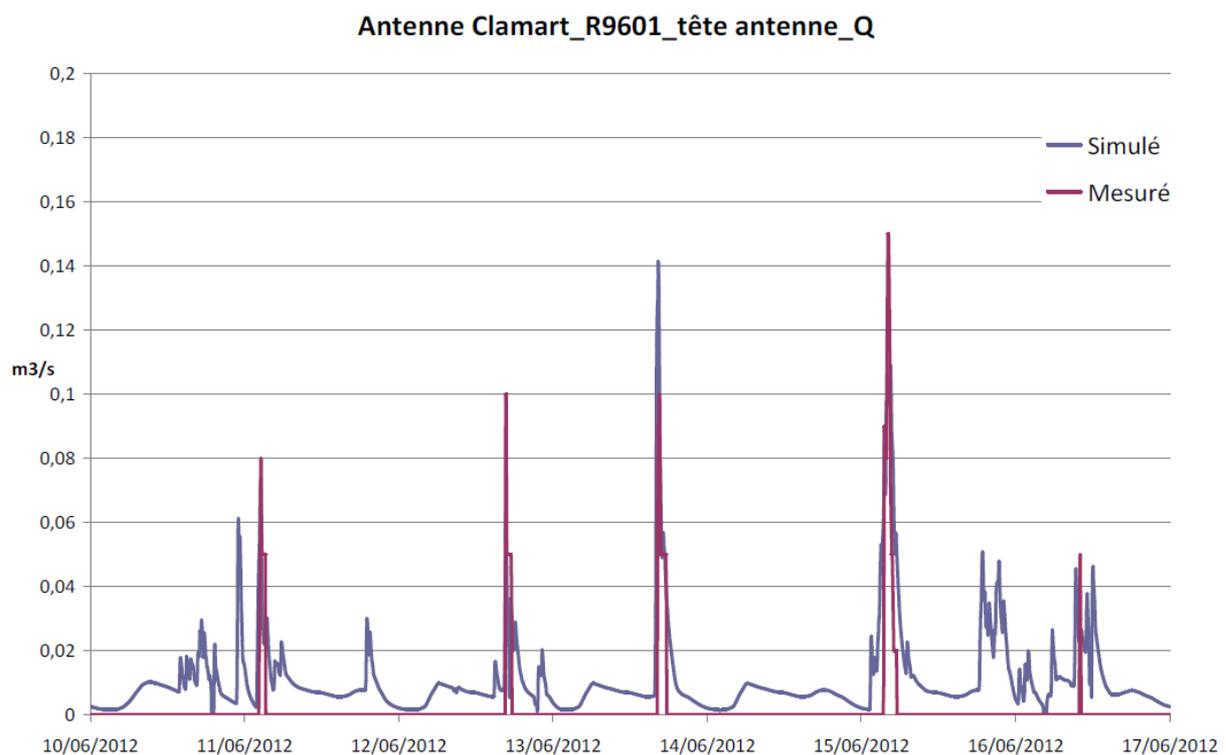


Figure 3 - Exemple d'écart entre mesure et modèle, mettant en évidence un dysfonctionnement de la mesure

- des erreurs de modélisation : paramètres des fonctions déterminant les apports de temps sec et de temps de pluie, paramètres décrivant la géométrie et les propriétés hydrauliques des éléments constitutifs du réseau (conduites, maillages, vannes, déversoirs, pompes...) ; le cas ci-dessous (figure 4) montre que les apports de temps sec du modèle étaient sous-estimés.

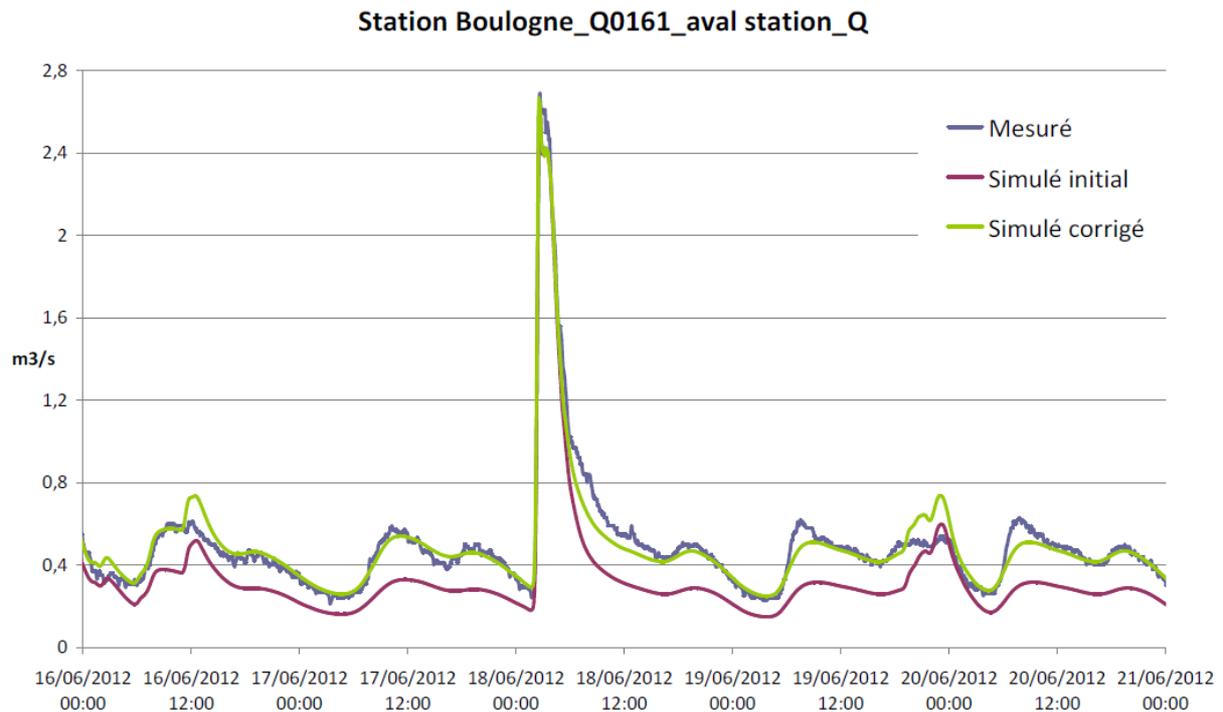


Figure 4 - Exemple de recalage des débits de temps sec d'une grande zone de collecte à l'aide des mesures permanentes de l'autosurveillance

4.2 Fourniture de bilans exhaustifs

Pour les points de mesure au droit desquels la démarche est préalablement validée, le modèle peut être utilisé à des fins de remplacement de données manquantes, ce qui contribue à améliorer l'exhaustivité des bilans. Cela permet ensuite de comparer des bilans les uns par rapports aux autres, indépendamment des évolutions et aléas qui peuvent affecter les taux de couverture météorologique des entrée-sorties du système et le taux de disponibilité des mesures.

Par exemple le volume annuel mesuré des déversements vers le milieu récepteur peut augmenter année après année, du simple fait que l'on augmente le nombre de points de surveillance. Dans ce cas fréquent, l'augmentation apparente des rejets est liée non à la perte de performance du réseau d'assainissement mais à l'amélioration du système de mesure. Il est donc important de pouvoir s'en affranchir.

Un autre exemple est celui de l'indisponibilité momentanée de certaines mesures du fait des incidents divers qui affectent parfois les mesures en réseau d'assainissement. Une baisse apparente des rejets vers le milieu récepteur pourrait en réalité plutôt résulter des indisponibilités de mesure que d'une réelle amélioration du réseau.

Sur l'exemple qui suit (figure 5), les mesures de débit ont été invalidées pour deux périodes, du 19 au 21 juin et autour du 24 juin, pour cause d'encrassement d'une sonde de vitesse.

Sans attendre la résorption structurelle de ce problème bien identifié, la qualité des estimations du modèle sur ce site en rend l'utilisation acceptable pour remplacer des données invalidées.

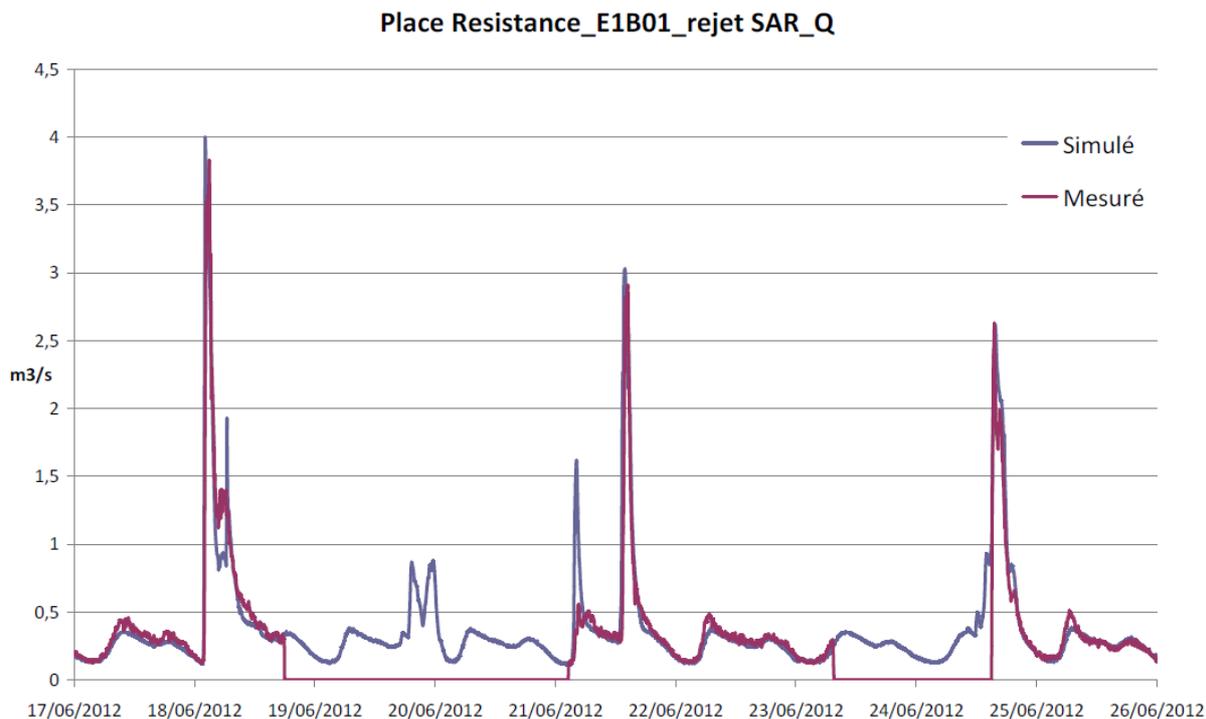


Figure 5 - Exemple de situation pour laquelle les résultats de modélisation sont acceptés en tant qu'estimateur des mesures manquantes pour compléter des bilans de flux

4.3 Aide à la vérification de la cohérence globale des informations d'état du réseau

Que ce soit à titre temporaire pour inspection, curage ou travaux, à la suite de la mise en service d'ouvrages neufs ou de nouvelles consignes de régulation, la configuration de tout réseau normalement exploité et amélioré évolue en permanence. Il est nécessaire d'en tracer l'historique si l'on veut être capable ensuite d'en apprécier l'évolution des performances.

L'exemple ci-dessous (figure 6) montre l'impact d'un écart entre l'état réel du réseau et l'état tel qu'il ressort des fichiers de suivi de configuration du réseau.

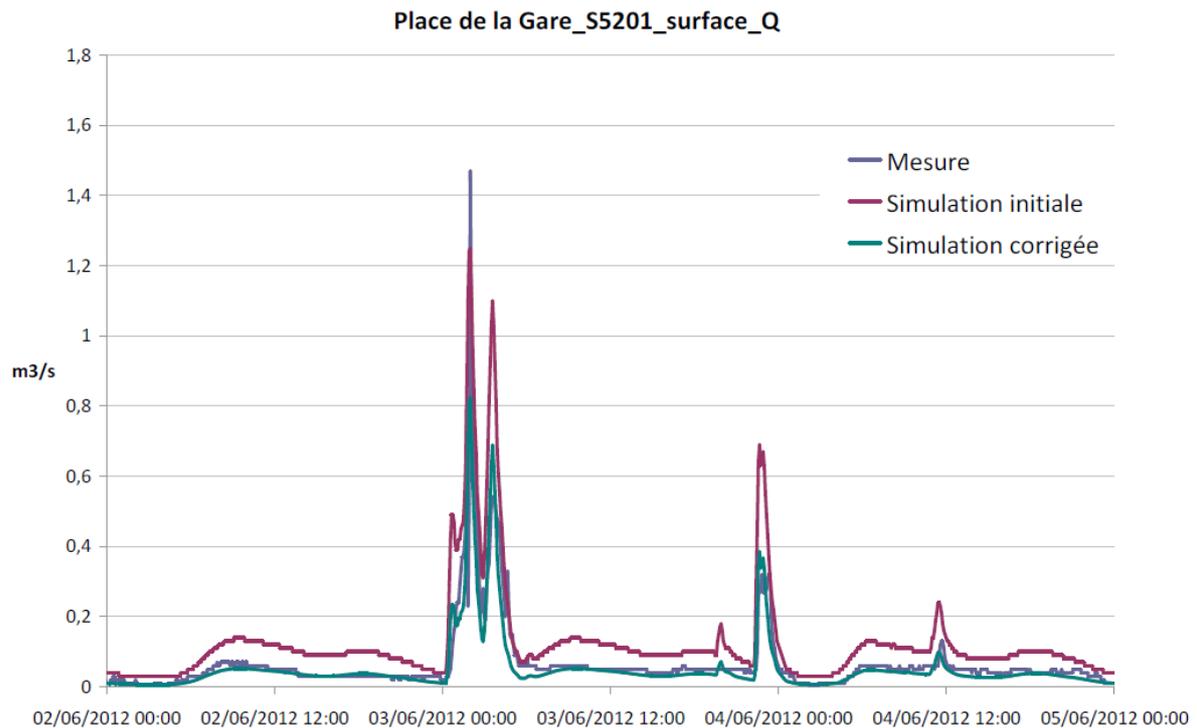


Figure 6 - Exemple d'écart induit, par le non renseignement d'une configuration temporaire particulière du réseau (pour des nécessités de travaux)

Dans ce cas particulier, on saura ainsi que les apports vers ce point de transit auront été artificiellement augmentés de telle date à telle date, du fait d'un changement volontaire de configuration pour travaux et non du fait de problèmes d'incidents divers non répertoriés. Les mesures enregistrées pour cette période pourront être isolées des autres pour éviter qu'elles ne biaisent l'interprétation des bilans d'apports en configuration normale de fonctionnement du réseau.

4.4 Aide au diagnostic permanent du réseau d'assainissement

Les causes de déversement du réseau unitaire vers le milieu récepteur sont multiples et si l'on cherche à les réduire, il est utile de les distinguer.

Ces facteurs sont notamment :

- le régime des précipitations, très variable au fil des saisons et des années ;
- l'évolution du comportement hydrologique des bassins versants, sous les effets combinés du renouvellement urbain, de l'extension de l'urbanisation et des politiques de régulation des eaux pluviales à la source ;
- l'état et la disponibilité du réseau et des équipements, au gré des améliorations apportées, mais aussi des situations particulières de chômages pour inspection, entretien et travaux (voir § 4.3) ;
- les conditions aux limites amont et aval, notamment l'état du milieu récepteur (étiage, hautes eaux, crue) et les configurations de gestions spécifiques qui en découlent.

Ces différentes causes pouvant se superposer, il est parfois difficile de les démêler sans l'aide d'un modèle hydraulique.

La méthodologie envisagée pour cela est la suivante :

- établir un premier bilan théorique de rejets en situation normale de fonctionnement du réseau, pour une année pluviométrique type, représentative du régime des pluies de la région concernée ; la comparaison de l'évolution interannuelle de ce bilan théorique de référence devrait refléter l'impact des améliorations apportées sur le réseau, que ce soit des améliorations structurelles ou des améliorations liées à son exploitation ;
- établir un second bilan théorique de rejets en situation normale de fonctionnement, mais avec des pluies mesurées ; par différence avec le premier bilan, on identifiera ainsi l'impact de la pluviométrie sur les variations interannuelles du bilan. Cette approche permettra ainsi de dissocier l'effet des pluies de l'effet des travaux et autres améliorations sur l'évolution des performances du réseau ;
- établir un bilan réel des rejets, qui par différence avec le précédent fera ressortir l'impact des variations programmées ou non de l'état du réseau. Ce dernier bilan permettra d'identifier les contributions respectives de ces divers cas particuliers de fonctionnement à l'accroissement des rejets ainsi que le sens dans lequel ces modifications ont généralement tendance à jouer. De cette manière, on pourra éviter que les effets d'atténuation apportés par les travaux et autres efforts d'optimisation ne soient masqués par les effets d'amplification induits par des états temporaires et dégradés de fonctionnement du réseau.

L'exemple ci-dessous (figure 7) esquisse cette démarche à l'échelle d'un événement particulier. Dans le cas illustré, qui porte sur un déversoir d'orage, la mesure montre un volume déversé mesuré supérieur au volume simulé. Le déversement résulte d'une pluie, mais il est amplifié du fait d'un chômage pour travaux sur des ouvrages aval. Les simulations « corrigées » confirment que la prise en compte de la condition aval particulière due à l'existence de ces travaux explique l'écart constaté entre le volume déversé mesuré et le volume déversé simulé. La différence entre le volume déversé mesuré et le volume déversé simulé donne une estimation de l'impact du chantier sur le déversement.

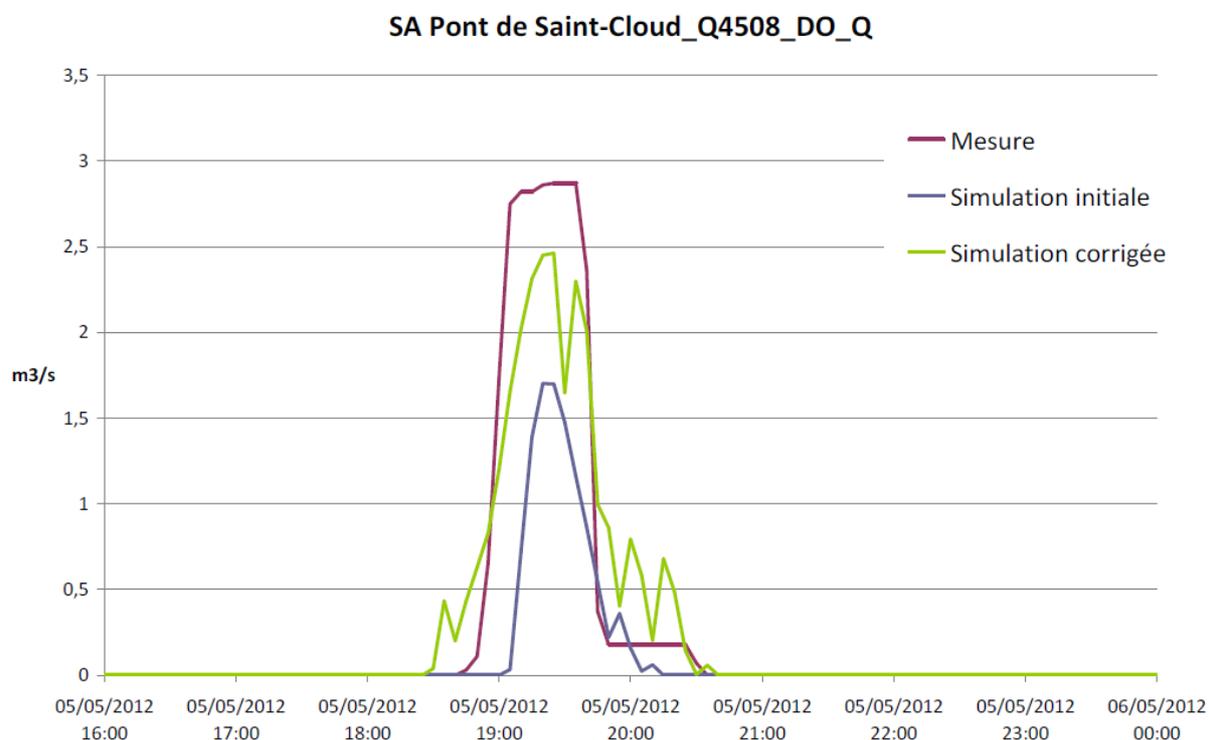


Figure 7 - Illustration pour un événement particulier, de la démarche de dissociation de différentes causes explicatives des rejets aux déversoirs d'orage

La capacité à identifier les contributions respectives de ces différents facteurs dans les bilans de rejets devrait permettre de mieux les hiérarchiser, puis de mieux étudier les conditions propres à les réduire,

ceci sans que les analyses soient perturbées par l'effet des variations climatiques et celui des aléas d'exploitation. En effet, les solutions à envisager ne sont pas nécessairement les mêmes selon que les rejets proviennent d'insuffisances structurelles du réseau ou de ses équipements, ou de situations de travaux mal compensées ou trop longues, ou d'incidents trop fréquents, sur tout ou partie du système.

Pour réduire les rejets, des solutions structurelles lourdes telles que le renforcement de collecteurs, la construction de bassins de rétention ou la création d'ouvrage de régulation (stations de pompage, des vannes automatiques) sont parfois nécessaires. Un modèle hydraulique à jour doit permettre d'en améliorer les conditions d'étude et de définition.

La maîtrise des apports d'eaux claires parasites permanentes –ECP- ou d'eaux pluviales peut également contribuer à la réduction des rejets. Là également, de bons outils de suivi sont nécessaires pour bien quantifier ces apports, leurs potentialités de réduction et les bénéfices que l'on peut en escompter.

Cependant, l'impact des configurations particulières de fonctionnement du réseau est rarement prise en compte, et les solutions à envisager pour y remédier peuvent être assez diverses :

- études plus détaillées des conditions d'exécution des chantiers pour en atténuer les impacts et en réduire la durée,
- création de maillages ou de by-pass permettant de faciliter l'exécution des travaux ou tâches d'exploitation sans aggravation des déversements vers les milieux récepteurs ;
- fiabilisation des équipements existants, mais aussi des pratiques d'exploitation, pour réduire la fréquence et la durée des indisponibilités que celles-ci soient programmées ou non.

Des bilans plus précis d'autosurveillance devraient permettre de mieux caractériser les impacts de ces situations, certes particulières et temporaires, mais néanmoins fréquentes, et le cas échéant de mieux faire ressortir les enjeux qui y sont associés en matière de réduction des rejets d'eaux non traitées vers les milieux récepteurs.

5 CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

La confrontation mois par mois des bilans d'autosurveillance respectivement mesurés et modélisés ouvre des perspectives indéniables d'amélioration de la métrologie et de la modélisation au profit des capacités de diagnostic permanent du système d'assainissement.

La métrologie est entendue ici au sens large. Il ne s'agit pas seulement de quantifier des débits transférés ou déversés mais également, de noter au jour le jour, les modifications d'état du système d'assainissement : disponibilité du réseau, disponibilité, réglages et consignes des équipements électromécaniques, état du milieu récepteur...

Les éventuelles insuffisances du système de mesure, de même que du suivi de configuration du réseau sont rapidement détectées. Les paramètres du modèle hydraulique peuvent être fréquemment et facilement mis à jour.

La disponibilité d'outils crédibles de mesure et de modélisation ouvre la voie d'une analyse plus fine des différentes causes de rejets vers les milieux récepteurs. Par suite, les solutions étudiées pour les réduire peuvent être mieux ciblées, en distinguant clairement celles qui relèvent d'insuffisances structurelles du réseau, celles qui relèvent de défauts de maîtrise des apports, celles qui relèvent des modalités d'exécution des travaux ou encore celles qui relèvent du choix des matériels et des pratiques d'exploitation du système d'assainissement.