

Une méthodologie pour l'analyse des causes de surverse de réseaux séparatifs d'eaux usées

■ O. RAYNAUD¹, C. JOANNIS¹, L. LEBOUÇ¹, F. BILLARD²

Mots-clés : réseau séparatif d'eaux usées, poste de refoulement, surverses, modèle hydrologique, infiltration

1. Contexte

La conception des réseaux séparatifs adopte un principe de collecte sélective. Les débits provoqués par le ruissellement sur les surfaces imperméables par temps de pluie présentent des variations très importantes et transitent par le réseau d'eaux pluviales (EP). Les eaux usées (EU) dont les apports sont réguliers et plus chargés en pollution circulent dans un réseau spécifique, ce qui facilite leur acheminement et leur traitement en station d'épuration.

Une partie des eaux pluviales est cependant collectée dans les réseaux séparatifs d'eaux usées, du fait d'erreurs de raccordement (mauvais branchements). On appelle ces eaux des « eaux parasites de captage » (EPC). Elles apparaissent lors de chaque événement pluvieux. Par ailleurs, les défauts d'étanchéité des réseaux collectent des eaux parasites d'infiltration (EPI) qui présentent des variations importantes de débit lors des périodes pluvieuses hivernales. Ces deux types d'apports excédentaires se cumulent pour constituer les eaux claires parasites (ECP). Les ECP peuvent entraîner un dépassement de la capacité du réseau EU et provoquer, en divers points, des surverses (d'origine hydraulique) d'effluents bruts dans le milieu naturel. Les réseaux séparatifs d'eaux usées ne sont pas équipés d'aménagements pour les sur-

verses, en dehors des stations d'épuration et des postes de refoulement (PR) et nombre de surverses ont lieu au niveau de ces installations. Au niveau des PR, les surverses peuvent avoir une autre cause que les apports d'eaux parasites : certains dysfonctionnements du système de pompage provoquent des surverses d'origine électromécanique.

La *figure 1* présente les mesures au pas de temps journalier des hauteurs précipitées et des durées de pompage et de surverse d'un poste de refoulement. Les durées de pompage peuvent être assimilées aux débits transitant dans le PR sous certaines hypothèses portant sur la capacité des pompes. Les pointes de débits lors d'événements pluvieux représentent les apports d'EPC. Ces événements ponctuels peuvent avoir lieu toute l'année (suivant l'aléa météorologique) et suffisent sur cet exemple à provoquer des surverses (par exemple en juillet-août 2004). L'augmentation du débit moyen observé durant l'hiver provient des apports d'EPI, qui sont en général faibles (voire nuls) l'été. Il est probable que ces apports contribuent significativement aux pics de débit et aux surverses importantes observées lors des épisodes pluvieux hivernaux. Dans cet exemple, il semble que les eaux de captage et les eaux d'infiltration puissent chacune suffire à provoquer des surverses d'origine hydraulique. Mais le plus souvent il est difficile d'évaluer à partir des données brutes quelle composante est déterminante, car c'est le cumul des deux qui est à l'origine des surverses. La *figure 4* présentée plus loin illustrera ce cas.

Nous exposerons dans un premier temps quelques résultats de l'analyse des surverses sur le réseau nan-

¹ Laboratoire central des Ponts et Chaussées, route de Bouaye, BP 4129, 44 341 Bouguenais Cedex.
Mél. : olivier.raynaud@lcpc.fr, claude.joannis@lcpc.fr, laurent.lebouc@lcpc.fr

² Nantes Métropole, Direction de l'assainissement, 2 rue Alfred Rebelliau, 4923 Nantes Cedex 9
Mél. : Florence.BILLARD@nantesmetropole.fr

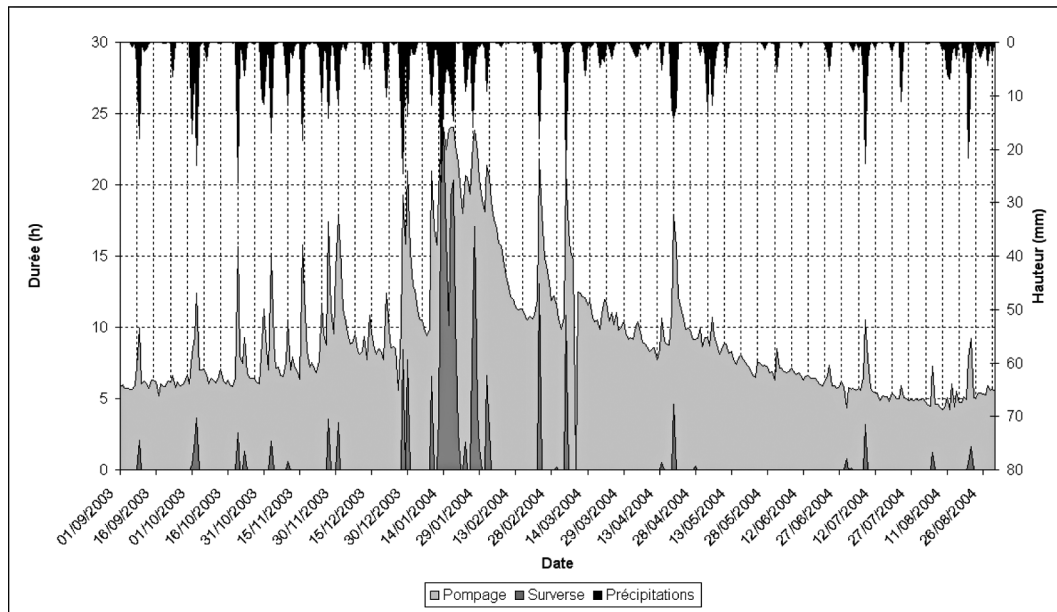


Figure 1. Mesure du poste de l'Aulnay, année hydrologique 2003/2004

tais. Puis nous aborderons la modélisation des eaux claires parasites en précisant ses objectifs, la structure du modèle retenu et la méthodologie d'identification des paramètres. Nous détaillerons enfin les résultats pratiques attendus.

2. Analyse des surverses

Les données sur lesquelles nous appuyons notre étude sont collectées par les exploitants du réseau de la communauté urbaine de Nantes Métropole : il s'agit de durées de pompage et de surverses des postes de refoulement au pas de temps journalier. Ces mesures sont facilement accessibles, nombreuses et riches en information, mais elles nécessitent quelques précautions d'utilisation. Pour cela, nous avons développé un outil qui a un double rôle : valider les mesures en rejetant celles qui sont aberrantes ou non validables (pour lesquelles il manque des données pour pouvoir valider) et séparer les surverses d'origine hydraulique (dues aux eaux parasites) des surverses d'origine électromécanique (dues aux mauvais fonctionnements des pompes). Cet outil est basé sur l'application d'une douzaine de règles simples, permettant de vérifier la vraisemblance intrinsèque des valeurs enregistrées (une durée de surverse journalière ne peut pas être très significativement supé-

rieure à 24 heures) et la cohérence de trois types d'informations : durée de surverse, durée de pompage et précipitations (par exemple, la durée de surverse ne devrait pas excéder la durée de pompage, sauf en cas d'arrêt de pompage).

Sur plus de 280 PR présents sur le réseau séparatif, 120 sont équipés d'une surverse avec un rejet potentiel en milieu naturel sensible, et font l'objet d'un enregistrement des paramètres de fonctionnement. Des surverses significatives (définies par convention comme supérieures à 15 h en 2001) sont observées sur 75 de ces postes de refoulement.

Nous avons effectué une analyse des surverses sur cinq années (2001-2004) de données enregistrées au pas de temps journalier sur 14 postes choisis pour leur position en tête de réseau et la fréquence de leur surverse vers des milieux récepteurs sensibles. Sur les quatre années de mesures, les quatorze postes de refoulement ont totalisé plus de 4 000 heures de surverses réparties sur 550 événements. Les postes sont assez hétérogènes en termes de durées totales et nombres de surverses, mais en moyenne, cela représente 40 surverses de 7 heures chacune par poste et par année. Un quart des surverses sont d'origine électromécanique, mais proviennent essentiellement de deux postes.

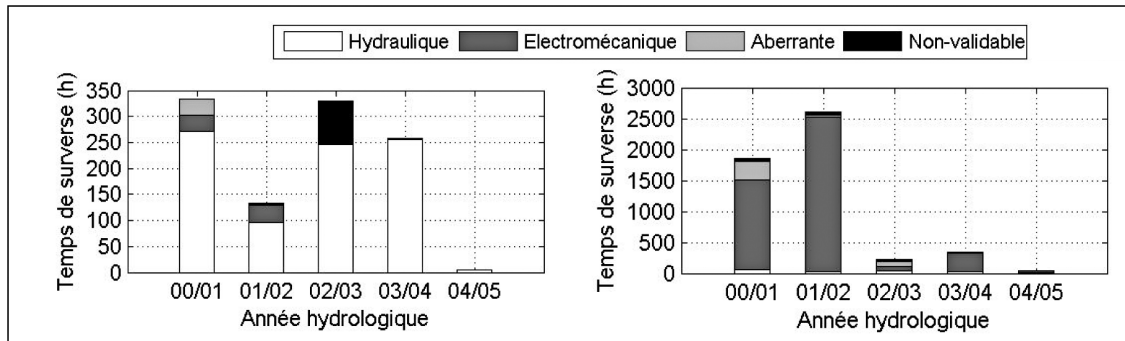


Figure 2. Bilan des temps de surverse, PR de l'Aunay et PR de Picaudière

La figure 2 présente les bilans de deux PR sur les 5 années hydrologiques (dont deux sont incomplètes : 2000-2001 et 2004-2005). Ces postes sont choisis pour l'importance de leurs surverses et pour les profils très différents qu'ils présentent. Ces résultats mettent en avant la variabilité des causes (hydraulique ou électromécanique/arrêt de pompe) de surverses suivant les postes, mais aussi en fonction des

années. Les durées totales de surverses sont elles aussi très variables suivant les années et les postes.

La figure 3 montre sur un exemple que l'on observe généralement plus de surverses d'origine hydraulique l'hiver, en nombre et en durée totale. Ce résultat est banal et correspond avec la fréquence des événements pluvieux : la figure 4 indique le nombre d'évènements pluvieux > 5 mm sur deux années. Mais on observe également que les surverses de longue durée ne sont observées qu'en hiver, ce qui laisse supposer un rôle des EPI, au moins en tant que facteur aggravant.

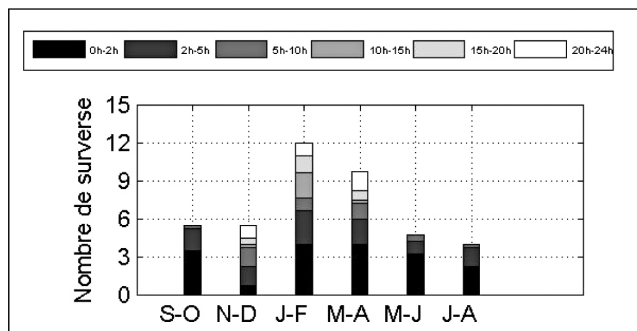


Figure 3. Nombres de surverse par bi-mois sur 5 ans, triés par classes de durée

La figure 4 montre (sur deux années) que les EPC ne sont pas suffisantes pour provoquer des surverses en été pour ce poste, malgré la présence d'évènements pluvieux (> 5 mm). Par contre, les EPI jouent un rôle décisif dans la présence de surverses hivernales, dues au cumul des deux apports d'eaux parasites.

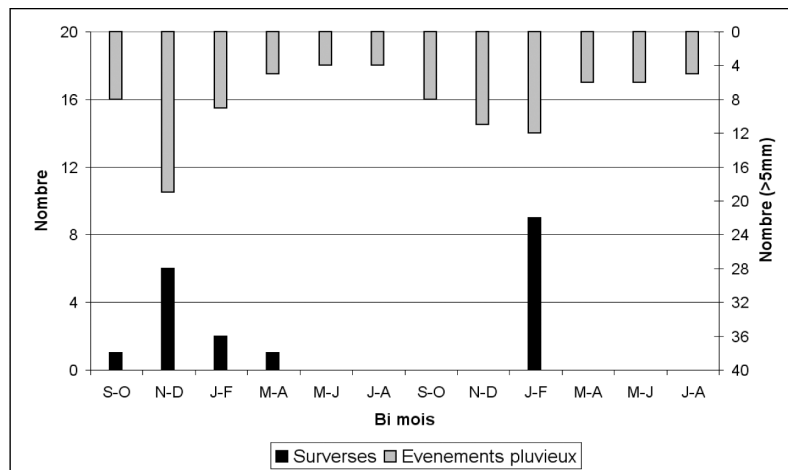


Figure 4. Nombre de surverses et d'évènements pluvieux par bi-mois, PR des Monceaux, années 2002/2003 et 2003/2004

3. Modélisation des eaux claires parasites

3.1. Objectifs

Dans le cadre du contrat d'agglomération Neptune III, un des objectifs de Nantes Métropole est de diminuer les surverses des réseaux séparatifs d'eaux usées au niveau des postes de refoulement, notamment par la réduction des eaux parasites (causes des surverses hydrauliques). Deux types d'interventions sont prévus. Pour diminuer les apports d'eaux parasites de captage, il est nécessaire de localiser les mauvais branchements par contrôle systématique, puis de les faire remettre en conformité par les propriétaires. Ces opérations sont fastidieuses et nécessitent une volonté politique affirmée, mais elles sont très efficaces et en pratique, relativement rapides à mettre en œuvre sur un secteur d'étendue limitée (quelques dizaines d'hectares). Procéder à un étanchement des collecteurs permet de réduire l'apport d'eaux d'infiltration. Ces travaux de rénovation sont à la charge du maître d'ouvrage du réseau et leur efficacité peut être très variable. L'objectif principal de notre étude est d'évaluer l'efficacité à attendre de chacun des deux types d'actions sur le réseau à partir d'observations réalisées sur des bassins-versants pilotes où elles auront été appliquées, avec un suivi précis des résultats obtenus. La mise au point d'une méthode de suivi fiable est donc un objectif préliminaire important. L'efficacité d'une action sera évaluée en termes de réduction des rejets ; elle dépend donc de l'efficacité intrinsèque de cette action pour réduire un type d'apport d'eaux parasites et de l'importance de la contribution de cet apport aux surverses.

3.2. Intérêt d'une modélisation

Les surverses en réseau séparatif d'eaux usées ne sont, en général, pas assez fréquentes pour pouvoir être quantifiées, par mesure directe sur quelques années. En outre, les débits d'eaux claires parasites dépendent des conditions climatiques. Une étude des surverses qui serait basée sur des statistiques fiables nécessiterait donc l'enregistrement de mesures sur une longue durée (5 à 10 ans ?). Pour étudier les effets des actions sur le réseau, il faudrait au moins doubler ce temps d'observation. Durant ce laps de temps, le

réseau est susceptible d'évoluer « naturellement » de manière significative (nouveaux raccordements, détérioration, etc.) et il serait difficile de savoir quelle modification (intervention ou évolution « naturelle ») du réseau on observe. Il n'est donc pas envisageable d'évaluer, par l'observation directe des surverses l'efficacité des actions qui visent à réduire ces surverses, que ce soit la remise en conformité des branchements ou la réhabilitation.

L'observation des débits permet de contourner en partie ce problème, en fournissant une information exploitable en permanence, même en l'absence de surverse. Mais cette information doit être extrapolée pour être traduite en surverses potentielles. Elle reste de plus tributaire du contexte hydrométéorologique dans laquelle elle a été effectuée. Une évaluation de l'efficacité des actions sur la base d'une comparaison « avant-après » nécessite donc une « décontextualisation ». Celle-ci doit permettre de libérer les débits de l'influence du contexte où ils ont été observés. Un modèle reliant les débits au contexte hydrométéorologique permettrait de réaliser cette décontextualisation [JOANNIS et al., 2006]. On peut dans une deuxième phase, dite d'extrapolation, ramener les débits à un même contexte rendant possible leur comparaison en forçant les modèles correspondants à différents états du réseau par les mêmes données d'entrée (séries de référence). De plus, nous verrons plus loin que le processus de paramétrage du modèle peut permettre de séparer le rôle des mauvais branchements de celui des infiltrations et donc, d'évaluer les surverses d'origine hydraulique en fonction de leur cause.

3.3. Principe et paramétrage de la modélisation

La modélisation, telle qu'elle est développée actuellement au LCPC, comporte un modèle pour l'estimation de chacune des trois composantes [JOANNIS et al., 2001]. Le modèle d'eaux usées est constitué par un hydrogramme moyen (journalier ou hebdomadaire). Il se base sur l'observation de la périodicité des débits d'EU suivant le jour et l'heure de la mesure. Ce modèle est un modèle approché, les débits réels d'eaux usées présentant des variations aléatoires autour de cet hydrogramme. Le modèle d'EPC est un simple modèle « rationnel », sans fonction de transfert. Ce modèle stipule qu'une certaine fraction des

précipitations est directement transformée en débit d'EPC par l'intermédiaire d'un coefficient homogène à une surface et appelé surface active. Cette surface, qui correspond à la surface imperméable raccordée au réseau d'eaux usées par les mauvais branchements, est supposée constante au cours l'année. Pour le calcul des eaux d'infiltration, le modèle SEPI2 [DUPASQUIER, 1999] est un modèle conceptuel à l'échelle du bassin-versant urbain qui a été développé au LCPC, sur la base de modèles étudiés par le Cemagref pour les bassins-versants ruraux [EDIJATNO, 1991 ; PERRIN, 2000].

Il relie les débits d'infiltration aux événements pluvieux et fait jouer un rôle important à l'évapotranspiration potentielle (ETP) pour reproduire les variations saisonnières de production.

Le paramétrage des différents modèles pourrait se faire globalement, en optimisant un jeu complet de paramètre pour reproduire une série chronologique continue de débit total mesuré. Nous préférons dans un premier temps conduire le paramétrage indépendamment pour chaque composante. Cela garantit un certain sens physique à la modélisation, en évitant les transferts d'erreur d'une composante sur l'autre, mais il faut disposer d'une méthode d'extraction des différentes composantes contribuant à un débit total mesuré en continu.

Les débits de chacune des trois composantes présentent des dynamiques propres. Pour les EPC (mauvais branchements), la dynamique est une réponse rapide à la pluie, tandis que pour les EPI (défauts structu-

rels d'étanchéité) les apports, pendant et après un événement pluvieux, sont plus étalés dans le temps, notamment en fonction des saisons. Les eaux usées présentent, quant à elles, un profil relativement périodique. La séparation des différentes composantes, à partir du débit total mesuré est néanmoins délicate, car les dynamiques des trois composantes peuvent se superposer ou se compenser. Pour résoudre cette difficulté, nous proposons une méthode basée sur l'exploitation de périodes durant lesquelles l'une ou l'autre des composantes est absente (figure 5).

Dans un premier temps, en sélectionnant les jours non pluvieux, une méthode d'analyse de l'hydrogramme journalier permet de séparer les composantes EU et EPI du débit total mesuré. Le modèle EU (hydrogramme type) est calculé à partir de cette évaluation. Dans un second temps, les EPC sont estimées pour les jours pluvieux d'été en soustrayant au débit total mesuré les EPI et les EU déterminées par le modèle précédent. La surface active est ainsi déterminée : c'est le calage du modèle EPC. Dans un troisième temps, en soustrayant au débit total mesuré, les débits obtenus avec les modèles EU et EPC, on obtient une nouvelle estimation des EPI sur toute l'année, sur laquelle est calé le modèle EPI (SEPI2). L'estimation des composantes du débit mesuré fait donc intervenir à chaque étape un modèle selon le schéma simplifié suivant :

Débit total mesuré → EU mesuré → modèle EU → EPC mesuré → modèle EPC → EPI mesuré → modèle EPI

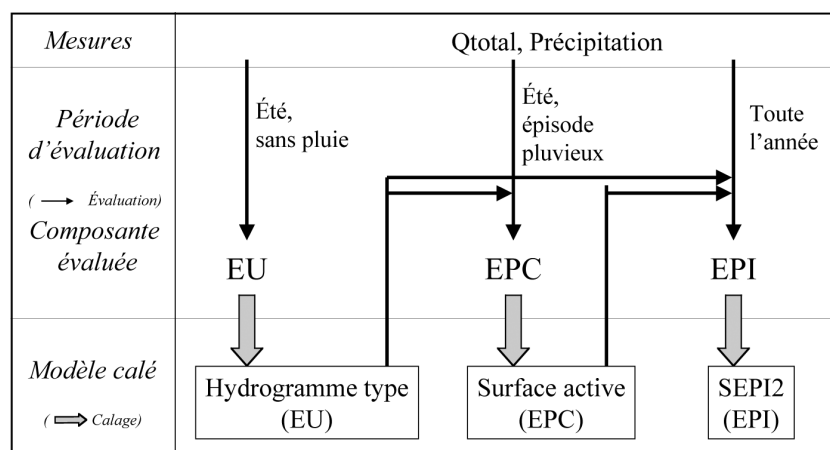


Figure 5. Méthode de calage des modèles

4. Perspectives

L'utilisation de la modélisation est prévue conjointement avec des interventions successives sur le réseau. Sur des bassins pilotes, on réalisera successivement les opérations suivantes :

- ❶ Acquisition de mesures et paramétrage des modèles des 3 composantes du débit,
- ❷ Déconnection des mauvais branchements,
- ❸ Acquisition de mesures et paramétrage des modèles des 3 composantes du débit,
- ❹ Étanchéification du réseau,
- ❺ Acquisition de mesures et paramétrage des modèles des 3 composantes du débit.

On appliquera donc deux fois la démarche décrite dans la *figure 5* pour comparer deux états successifs du réseau. En effectuant un calage des modèles avant intervention et un calage après intervention, on obtient deux paramétrages du modèle correspondants aux deux états successifs du réseau. À partir de chroniques de pluie et d'ETP de référence, le modèle extrapole les débits (trois composantes) et surverses et ce, suivant chaque configuration du réseau. Ce processus, incluant le calcul des volumes surversés, permet de comparer le réseau, avant et après intervention, mais avec les mêmes conditions météorologiques (données d'entrée). On peut ainsi évaluer l'efficacité des deux actions séparément, la mise en conformité des branchements et la rénovation, en s'affranchissant du contexte hydrologique qui influe sur les mesures.

Quinze postes de refoulement (répartis sur trois communes) font l'objet d'un suivi régulier depuis 2006. La sélection des postes s'est faite sur différents cri-

tères, dont leur position en tête de réseau, la fréquence de leurs surverses et la prévision de remises en conformité des mauvais branchements. En collaboration avec les exploitants, un enregistrement des durées de pompage et de surverse à pas de temps horaire a été mis en place. Ces mesures permettront une modélisation plus fine que celles déjà disponibles au pas de temps journalier (même s'il n'est pas exclu de modéliser aux deux pas de temps). Ceci correspond à la phase 1. Ces postes sont situés sur trois communes, dont deux font l'objet d'une remise en conformité (fin prévue : 2007). La remise en conformité des branchements sur ces bassins (phase 2), devrait conduire à un re-paramétrage (phase 3) du modèle d'EPC (avec une surface active vraisemblablement très faible), sans modification des modèles d'EU et d'EPI. Si tel est le cas, l'hypothèse de rendement constant au cours de l'année des surfaces mal raccordées sera validée, sinon, il faudra modifier le modèle d'EPC. Quoiqu'il en soit, le rôle des eaux d'infiltration vis-à-vis des surverses devrait être mis en évidence. On pourra alors sur un ou deux bassins pilotes procéder à une étanchéification des collecteurs (phase 4), et à une évaluation de son efficacité (phase 5).

Une fois validée la méthode d'identification et de quantification des apports parasites, et les premiers résultats obtenus sur l'efficacité des techniques de réhabilitation, on pourra utiliser ces résultats pour affiner la hiérarchisation des postes de relèvement vis-à-vis des interventions visant à réduire les surverses. Actuellement Nantes Métropole s'appuie sur l'utilisation d'une classification de zones prioritaires dites « zones rouges ». Un poste de refoulement dont la durée annuelle de surverse en milieu sensible dépasse les 15 h est classé en zone rouge. Une nouvelle typo-

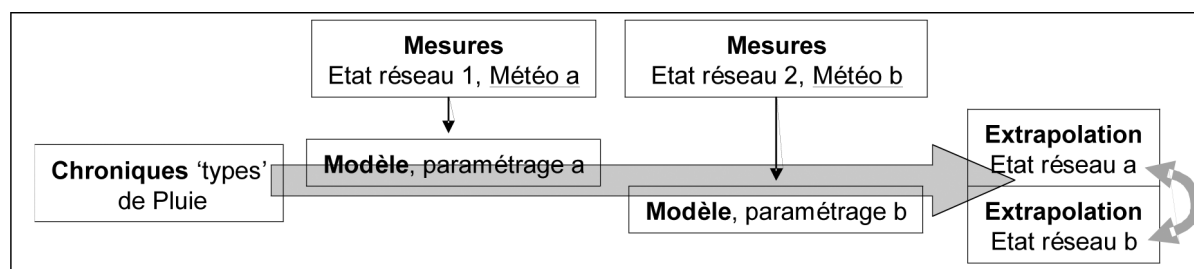


Figure 6. Comparaison de deux états du réseau à partir des sorties de modèles pour une même entrée

logie s'appuyant sur le même principe durée de surverse x sensibilité du milieu sera proposée. Nous utiliserons les résultats obtenus sur l'amélioration de l'identification des causes de surverse en écartant les surverses électromécaniques et celles qui sont aberrantes (à l'aide de l'outil d'analyse des données). En s'appuyant sur la modélisation et la décontextualisation, une analyse des apports d'eaux parasites permettra de détailler quantitativement les causes des surverses. Nous prendrons alors en compte d'autres indicateurs simples et représentatifs : réserve de capacité du poste par rapport aux eaux usées, durée/fréquence des surverses, densité des apports, pour évaluer les actions les plus adéquates. L'objectif est de pouvoir déterminer les bassins versants sur lesquels il est prioritaire d'agir, ainsi que de préconiser les interventions : remise en conformité, réhabilitation, voire augmentation de la capacité du PR.

Bibliographie

DUPASQUIER B. : "Modélisation hydrologique et hydraulique des infiltrations d'eaux parasites dans les réseaux séparatifs d'eaux usées". Thèse de doctorat, ENGREF, 1999, 253 p + annexes.
EDIJATNO : "Mise au point d'un modèle élémentaire pluie-débit au pas de temps journalier". Thèse de doctorat, Cemagref, 1991, 242 p + annexes.
JOANNIS C., COHEN-SOLAL F., RUFFLE S. : "Conception d'un logiciel intégré pour la gestion et

5. Conclusion

Cet article présente la problématique des surverses en réseaux séparatifs d'eaux usées, et le rôle prépondérant des apports parasites. Il présente une première analyse des surverses ayant potentiellement un impact sur les milieux aquatiques de l'agglomération nantaise et fait ressortir les difficultés propres à l'évaluation des eaux claires parasites.

Il propose ensuite une méthodologie pour hiérarchiser les risques de surverse en fonction de l'origine des apports et programmer les actions les plus adaptées. Cette méthode s'appuie sur la modélisation des trois composantes (EU, EPC et EPI) du débit à partir de données facilement accessibles sur le fonctionnement des postes de relèvement, fournies par les exploitants du réseau. La comparaison des mesures après interventions sur les bassins pilotes permettra d'une part de valider les modèles et d'autre part de juger de l'efficacité des réhabilitations.

l'exploitation de résultats de mesures permanentes en réseaux d'assainissement". La Houille Blanche 6/7, 2001, pp 115-119.

JOANNIS C., BILLARD F., ESTEVES J. : "Modéliser les débits dans les réseaux d'eaux usées. Problématique et perspectives sur la communauté urbaine de Nantes". Techniques Sciences Méthodes 6, 2006, pp 49-57.

PERRIN C. : "Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative". Thèse de doctorat, Cemagref, 2000, 287 p + annexes.

Résumé

O. RAYNAUD, C. JOANNIS, L. LÉBOUC, F. BILLARD. Une méthodologie pour l'analyse des causes de surverse de réseaux séparatifs d'eaux usées

Cette étude porte sur les rejets de réseaux séparatifs d'eaux usées par les trop-pleins des postes de refoulement. Elle se base sur des données acquises sur le réseau d'assainissement de Nantes Métropole (500 000 habitants), dont les 2/3 sont séparatifs. Nous présentons d'abord une évaluation quantitative des surverses d'origine électromécanique et hydraulique sur ce réseau. Les surverses

d'origine hydraulique sont dues aux apports d'eaux claires parasites dans les réseaux. Ces apports peuvent être réduits par la remise en conformité des mauvais branchements et l'étanchement des collecteurs. Nous proposons une méthodologie que nous allons expérimenter pour évaluer l'efficacité de ces deux types d'interventions vis à vis de la réduction des eaux parasites. Celle-ci s'appuie sur un modèle pluie/débit qui permet d'estimer les diverses composantes d'eaux présentes dans un réseau d'assainissement quel que soit le contexte hydrométéorologique.