



REBEKA II – Un logiciel pour l'aide à la planification de mesures de protection par temps de pluie

Rolf Fankhauser, Simon Kreikenbaum, Luca Rossi, Wolfgang Rauch

Auteurs

Rolf Fankhauser

IHW ETH Zürich-Hönggerberg
Tél +41-44-633 25 07
Fax +41-44-633 10 61
rolf.fankhauser@eawag.ch

Simon Kreikenbaum

EAWAG, 8600 Dübendorf
Tél. +41-44-342 59 84
s.kreikenbaum@gmx.ch

Luca Rossi

EAWAG, 8600 Dübendorf
Tél. +41-44-823 53 78
Fax +41-44-823 53 89
luca.rossi@eawag.ch

Wolfgang Rauch

Universität Innsbruck
Institut für Umwelttechnik
Technikerstrasse 13
A-6024 Innsbruck
Tel. +43 512 507 69 20
Fax +43 512 507 29 11
wolfgang.rauch@uibk.ac.at

Mots clés

Programme de simulation, stochastique-probabiliste, incertitudes, planification, mesures

Cet article est le neuvième d'une série de onze concernant le projet «STORM – Assainissement par temps de pluie» réalisé par l'EAWAG avec le soutien de l'OFEFP.

Le logiciel REBEKA a été à l'origine développé pour estimer l'impact des déversoirs d'orage et des rejets pluviaux sur les milieux récepteurs et pour tester différentes mesures permettant de réduire cet impact. L'utilisation de ce logiciel est largement répandue dans le cadre du plan général d'évacuation des eaux (PGEE). Dans le cadre du projet «STORM» ce logiciel a été développé en appliquant une routine stochastique. Ceci permet de prendre en compte les incertitudes dans les paramètres du modèle et de quantifier l'impact de celles-ci sur les résultats. La version stochastique développée, REBEKA II, est présentée dans cet article. Elle permet la prise en compte, en plus des incertitudes sur les données, des matières en suspension.

Introduction

L'introduction de REBEKA en tant qu'outil d'évaluation (Screening Tool) pour l'estimation de l'impact de l'assainissement urbain sur les milieux récepteurs permet la transition de la planification des mesures de type émission vers le type immission. Cet outil a ainsi permis d'évaluer les problèmes hydrauliques et polluants aigus dans les eaux [1] [2]. Si l'on compare différentes mesures techniques, il

REBEKA II – Software zur Unterstützung der Massnahmenplanung

REBEKA ermöglicht abzuschätzen, ob Abwasser-einleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter die Fliessgewässer beeinträchtigen und welche Massnahmen diese Beeinträchtigungen reduzieren. Es wird bei der Bearbeitung des Generellen Entwässerungsplans (GEP) eingesetzt. Im Rahmen des Projekts «STORM» wurde das Simulationsprogramm REBEKA mit einer stochastischen Routine zu REBEKA II erweitert, das Unsicherheiten in den Modellparametern berücksichtigen und deren Auswirkung auf die Resultate aufzeigen kann. Die erweiterte, stochastische Version REBEKA II wird hier vorgestellt, die neu auch Belastungen durch GUS (gesamte ungelöste Stoffe) berücksichtigt

REBEKA II – A software to assist the planning of wet-weather control measures

The software REBEKA was originally developed to estimate the impact of combined sewer overflows and stormwater discharges on receiving waters and to test measures with respect to reduce the impairments. It is widely used for the SWISS Master Plan of Urban Drainage (GEP). One aspect of the project «STORM» is to extend this software by implementing a stochastic routine. This enables it to handle uncertainties in model parameters and to quantify their impact on the results. The enhanced stochastic version, REBEKA II, is presented in this paper. This version handles, in addition to parameter uncertainties, impacts by total suspended solids.

n'est pas possible de calculer la probabilité avec laquelle les différentes mesures remplissent les conditions d'immission. REBEKA ne peut que déterminer si les conditions sont remplies, oui ou non. Aussi, le programme a été élargi par l'introduction d'une simulation stochastique. À cet effet, chaque paramètre du modèle est pris en compte comme variable aléatoire avec une valeur moyenne, une variabilité et une fonction de distribution [3]. Les résultats suivants, sous forme de fréquence d'apparition, sont calculés à l'aide d'une simulation de type Monte-Carlo:

► Nombre d'événements avec contamination critique d'ammoniac, stress hydraulique ou turbidité critique par les matières en suspension.

► Durée annuelle d'accumulation critique de matières en suspension sur le fond du cours d'eau.

Ces critères d'immission et leurs valeurs limites pour la Suisse sont discutés en détail dans le troisième article de cette série «Exigences légales en matière d'assainissement par temps de pluie» [4].

Description du modèle

Bassins versants

Le modèle est basé sur une conception classique et éprouvée de l'assainissement, constituée d'un réseau séparatif et d'un réseau unitaire. Le réseau séparatif se déverse directement dans le milieu récepteur. Pour ce type de réseau, un bassin pluvial est également prévu, en considérant un débit de fuite constant dont le rejet aboutit dans le milieu récepteur (figure 1). Ce type de bassin pluvial est utilisé avant tout dans l'évacuation des eaux des voies de communications et des surfaces urbaines. Il permet de limiter les débits de pointe et de retenir les matières solides et les autres substances qui leurs sont associées. Le réseau unitaire d'assainissement comporte un bassin d'eaux pluviales qui se remplit en premier lieu lors d'un dépassement de la capacité de débit vers la station d'épuration. Lorsque que ce bassin est rempli, un déversement se produit dans le milieu récepteur. Les bassins pluviaux du réseau séparatif et du système unitaire d'assainissement peuvent être définis comme bassins de stockage ou de traitement, in-line (présence permanente d'un écoulement dans le

bassin) ou off-line (bassin entièrement vide en dehors des épisodes pluviaux).

Le ruissellement superficiel dans les différents bassins versants est calculé à l'aide d'un réservoir linéaire. Des pertes initiales peuvent être définies pour chaque bassin versant. Les pertes permanentes peuvent être prises en compte par l'intermédiaire de la surface d'écoulement effective. Les rejets par temps sec sont considérés constants. Le système unitaire d'assainissement permet la définition d'un apport externe, provenant soit de manière continue (par ex. les eaux résiduaires industrielles) soit uniquement pendant la durée des précipitations. Cette deuxième option permet, sous une forme simple, de prendre en compte les rejets d'un bassin versant en amont.

Les deux réseaux d'assainissement se déversent dans un milieu récepteur dont l'écoulement total est calculé à partir de la combinaison de l'écoulement de base et de l'écoulement du bassin versant «naturel» défini. Le modèle admet que les déversements se mélangent immédiatement et de manière complète. Le calcul des impacts potentiels s'effectue en fonction des concentrations et du débit du milieu récepteur, directement en aval du point de déversement.

Données pluviométriques

La simulation du comportement du système exige l'introduction de données provenant de mesures de précipitations sur plusieurs années. Cinq séries pluviométriques différentes pour une durée de 10 ans sont proposées pour faciliter l'utilisation du programme. Ces séries pluviométriques sont représentatives des régions météorologiques les plus importantes de la Suisse (Bâle pour le nord-ouest de la Suisse, Zurich pour la Suisse centrale et orientale, Lausanne pour l'ouest de la Suisse, Sion pour le Valais et Locarno pour le Tessin). Des données individuelles peuvent également être saisies en format KMD. La résolution temporelle doit être de 10 minutes et l'intervalle entre deux événements de pluie d'au moins une heure.

Transport de substances et de matières

Le transport de $\text{NH}_4\text{-N}$ est pris en compte de manière très simplifiée dans le modèle actuel, par un simple mélange. Les concentrations en ammonium par temps sec dans la zone urbaine (resp. la charge relative par habitant), considérées constantes, doivent être fournies. Il en va de même pour les concentrations en ammonium dans les eaux pluviales. De même, une concentration en amont du point de rejet de $\text{NH}_4\text{-N}$ dans le milieu récepteur peut être introduite. Cette contamination en amont ne se rapporte toutefois qu'à l'écoulement de base dans le cours d'eau. L'écoulement pluvial provenant du bassin versant naturel est considéré comme non pollué. Pour l'ammonium, le programme REBEKA ne prend aucune autre réaction en compte, à l'exception de la dilution.

L'afflux d'eau pluviale par le réseau séparatif produit, conformément à la définition, une concentration constante

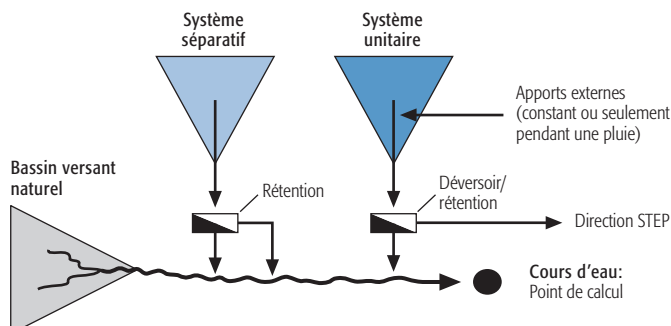


Figure 1: Aperçu schématique du système d'assainissement urbain implémenté dans le programme REBEKA.

de $\text{NH}_4\text{-N}$ dans le bassin pluvial. Dans le modèle, le $\text{NH}_4\text{-N}$ est considéré comme une matière dissoute conservatrice.

La masse, le transport et l'élimination des matières en suspension (MES) sont calculés au moyen d'un procédé stochastique [5]. Les paramètres du modèle (concentration en MES dans les eaux usées et les eaux pluviales, coefficient de premier flot (first-flush), efficacité des bassins pluviaux, sédiments dans le système unitaire d'assainissement) varient pour chaque événement de pluie. Pour chaque itération de la série pluviométrique de 10 ans, le programme calcule les charges moyennes annuelles de MES en direction de la station d'épuration et du milieu récepteur ainsi que la part retenue dans les bassins pluviaux. La fréquence d'apparition de ces charges est présentée à la fin de la simulation de type Monte-Carlo.

Installations de traitement

REBEKA II offre la possibilité, en plus des bassins pluviaux, de modéliser également d'autres installations de traitement comme un séparateur par mouvement tourbillonnaire (hydrocyclone), un séparateur lamellaire et un massif filtrant. Les paramètres du modèle doivent être adaptés en conséquence, en tenant compte des caractéristiques de l'installation de traitement.

Impacts dans le milieu récepteur

Les impacts des eaux évacuées par temps de pluie et les limites maximales admissibles ont été discutés en détail dans un article précédent de cette série [4]. REBEKA II est à même d'évaluer les impacts suivants:

- ▶ Augmentation de la fréquence de stress hydraulique due aux rejets pluviaux.
- ▶ Contamination du milieu récepteur par le NH_3 due au déversement d'ammonium.
- ▶ Contamination par les matières en suspension:
 - Colmatage du lit des cours d'eau.
 - Accumulation de matières particulaires non ou difficilement biodégradables sur le fond des cours d'eau.
 - Turbidité du milieu récepteur.
 - Consommation d'oxygène sur le fond du cours d'eau et dans les espaces interstitiels du lit par suite de la décomposition de substances organiques particulaires facilement biodégradables.

Le stress hydraulique (charriage de fond) et la contamination par le NH_3 sont déjà implémentés dans la première version du logiciel REBEKA. La documentation relative à cette première version décrit la façon de prendre en compte ces problèmes [1]. Aussi ne détaillerons-nous ici que la problématique liée aux matières en suspension, qui est nouvellement implémentée dans REBEKA II.

REBEKA II décrit l'accumulation et l'érosion des matières en suspension (MES) dans un cours d'eau [5]. Les paramètres du modèle pour l'accumulation sont la vitesse de décantation des matières en suspension et une contrainte de cisaillement

limite (érosion). Un coefficient d'érosion et la contrainte de cisaillement limite sont les facteurs déterminants pour l'érosion. La dégradation des matières organiques est décrite par un coefficient de dégradation. Le modèle ne prend pas en compte la sédimentation intervenant en un point précis du cours d'eau, mais on admet que l'accumulation, l'érosion et la dégradation aient lieu en un point fictif dans le milieu récepteur [5]. La quantité de matières en suspension résultante [g/m^2] sur le fond du cours d'eau est calculée en fonction des processus décrits pour chaque pas de temps. Cette quantité est comparée aux valeurs limites définies pour le colmatage (quantité $>625\text{g}/\text{m}^2$) et pour la toxicité (quantité $>25\text{g}/\text{m}^2$). Pour chaque itération, la durée pendant laquelle les valeurs limites ont été dépassées est alors calculée. Si le dépassement des valeurs limites est inférieur à 20% pour le colmatage, resp. 5% pour la toxicité, on admettra que le milieu récepteur ne subit aucun effet [4].

Le turbidité du milieu récepteur est traitée de manière semblable au stress hydraulique et à la contamination critique par le NH_3 : REBEKA II calcule, pour chaque itération, le nombre moyen d'événements annuels pour lesquels la valeur limite de turbidité est dépassée. La valeur de turbidité critique est déterminée en fonction du degré d'impact choisi sur les poissons [4]. Après l'exécution de l'ensemble des itérations de la simulation de type Monte-Carlo, une courbe des fréquences cumulées de ces événements critiques est présentée.

Préparation des données

Simplification du système à simuler

Comme le décrit l'article sur les incertitudes [3], le système à simuler doit être abstrait et simplifié avant la simulation. En raison de la structure simplifiée du modèle REBEKA II, les systèmes complexes de réseaux unitaires et séparatifs doivent être reproduits chacun par un modèle de réservoir linéaire incluant un ouvrage de décharge. L'expérience montre que le traitement de plusieurs ouvrages de décharge exige plus d'attention. Deux approches différentes se présentent à dans ce cas:

1. Faire une analyse séparée avec un programme de simulation déterministe pour établir l'importance des ouvrages de décharge et la façon de les regrouper. L'exemple de Russikon traité dans l'article sur les «Impacts aigus liés à l'ammoniaque et au stress hydraulique», nous a fourni une telle approche (cf. [6], tableau 1). Souvent, les indications relatives aux ouvrages de décharge peuvent être tirées du PGEE.
2. Modéliser le système d'assainissement avec REBEKA II en plusieurs étapes, d'amont en aval, chaque fois jusqu'à un ouvrage de décharge. Le débit en provenance du bassin d'assainissement amont après déversement peut être défini chaque fois comme affluent constant (uniquement par temps de pluie) dans le logiciel de simulation. Cette approche a été choisie dans l'étude du cas Möhlental [7]. Elle est exigeante,

	Système unitaire	Système séparatif	Milieu naturel
stress hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> Surface effective Perte initiale Constante de stockage Nombre habitants Débit de temps sec Débit vers STEP Affluent Volume du bassin de rétention (BR) 	<ul style="list-style-type: none"> Surface effective Perte initiale Constante de stockage Volume du bassin de rétention (BR) Débit de sortie du bassin de rétention 	<ul style="list-style-type: none"> Surface effective Perte initiale Constante de stockage Débit de base Q_{347} Pente du fond Largeur du fond Pente des talus Coefficient de Strickler Diamètre moyen et 90% du fond du lit
NH ₄ ⁺ / NH ₃	<ul style="list-style-type: none"> pH des eaux usées¹ Conc. NH₄-N eaux ruissellement Charge en NH₄-N par hab. Alcalinité des eaux usées Conc. en NH₄-N dans l'affluent 	<ul style="list-style-type: none"> Conc. en NH₄-N dans les eaux de ruissellement 	<ul style="list-style-type: none"> Conc. NH₄-N Valeur de pH Alcalinité Température min. (février) Température max. (août)
MES	<ul style="list-style-type: none"> Conc. MES eaux usées Conc. MES eaux ruissellement Conc. MES affluent Coefficient de premier flot Part de sédiments Efficacité de séparation des MES 	<ul style="list-style-type: none"> Conc. MES eaux de ruissellement Coefficient de premier flot Efficacité de séparation des MES 	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse de sédimentation Coefficient d'érosion Contrainte de cisaillement Vitesse de dégradation des substances organiques

Tableau 1: Paramètre du modèle de REBEKA II: les paramètres imprimés en italique varient aléatoirement pour chaque événement pluvial, les autres pour chaque itération. Pour les paramètres imprimés en caractères gras des valeurs par défaut sont proposées dans les articles [5] et [6].

¹ On admettra que la valeur du pH de la totalité de l'eau déversée dans le milieu récepteur (provenant des systèmes unitaire et séparatif) est égale à cette valeur de pH.

car les charges doivent être également évaluées en terme d'afflux constants.

Détermination des paramètres du modèle et de leurs incertitudes

Après l'abstraction et la simplification du système, les valeurs des paramètres du modèle doivent être déterminées et introduites dans REBEKA II. Le tableau 1 présente tous les

paramètres du modèle REBEKA II. Pour les paramètres imprimés en caractères gras, des valeurs par défaut avec une indication des incertitudes et des fonctions de distribution sont proposées dans les articles [5] et [6] de cette série. Des indications supplémentaires pour la définition des paramètres du modèle peuvent être extraites de la documentation REBEKA [1].

Au cas où les incertitudes seraient inconnues ou difficilement estimables, il serait indiqué de recourir à une analyse de sensibilité. Si celle-ci démontre que certains paramètres choisis parmi les valeurs standard ont une grande influence sur les résultats, un contrôle et éventuellement une meilleure détermination de ces valeurs sont indiqués.

Simulation et représentation des résultats

Simulation déterministe

Après l'entrée des données, une simulation peut être effectuée. Comme premier pas, il est recommandé d'effectuer une simulation déterministe (comme avec REBEKA I) afin de contrôler l'introduction des valeurs moyennes et de tester la plausibilité des résultats. Une impression des résultats de la simulation déterministe fourni également les valeurs introduites dans le modèle. Ces dernières peuvent être ainsi parfaitement contrôlées.

Lors du calcul déterministe, la simulation portant sur une série de pluie de 10 ans se déroule une seule fois. Les valeurs moyennes des paramètres introduites sont utilisées comme valeurs de calcul. Le tableau 2 présente les paramètres caractéristiques calculés.

Analyse de sensibilité

Comme déjà mentionné, une analyse de sensibilité peut, au début du traitement, aider à déterminer les paramètres ayant une grande influence, raison pour laquelle leurs valeurs doivent être saisies de manière la plus précise possible. Pour

Description du projet	Nom du projet, données du projet, données de pluie, début pluies, fin pluies, commentaires
Résultats pour les séries de pluie et le cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> Hauteur de pluie par année Nbre d'événements de pluie par an Débit pour transport solide Niveau d'eau pour Q_{347} Conc. NH₄-N pour Q_{347} et t °C max.
Résultats pour les rejets du système unitaire	<ul style="list-style-type: none"> Hauteur des rejets par an Volume des rejets par an Nombre de rejets par an Durée des rejets par an Masse MES rejetée par an
Résultats pour les rejets du système séparatif	<ul style="list-style-type: none"> Hauteur des rejets par an Volume des rejets par an Nombre de rejets par an Durée des rejets par an Masse MES rejetée par an
Evénements critiques en NH ₃ , MES et stress hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> Evénements critiques pour NH₃ par an Nbre tot. transport solide par an Nbre tranp. sol. dû aux rejets par an Temps avec colmatage critique MES Temps avec accumulation tox. MES Temps avec acc. crit. matières organiques Evénements critiques turbidité par an
Statistique de valeurs extrêmes: Valeur moyenne par événement	<ul style="list-style-type: none"> Q_{max}, NH₃ max et part d'eaux usées au débit total pour une période de retour z = 0,1; 1 et 10 ans

Tableau 2 : Résultats issus de la simulation déterministe. Les résultats en caractères gras sont fournis uniquement dans la nouvelle version REBEKA II.

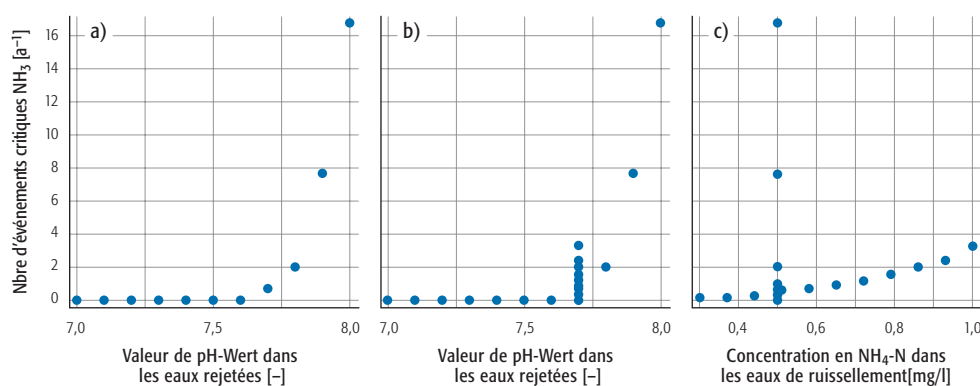


Figure 2: Influence du paramètre «pH de l'eau rejetée» sur le nombre d'événements critiques de NH₃. (a) avec un pH = 7,5, (b) avec un pH = 7,7. Les points se trouvant verticalement l'un au-dessus de l'autre montrent, pour (b), l'influence des paramètres restants. (c) avec un pH = 7,7 la concentration de NH₄-N dans l'eau pluviale a une influence.

effectuer l'analyse de sensibilité, les limites supérieures et inférieures des paramètres doivent être réglées comme lors d'une simulation stochastique normale. Une large plage pourra toutefois être choisie ici, puisque c'est l'influence du paramètre qui nous intéresse. REBEKA II effectue une analyse de sensibilité locale, c.-à-d. que chaque paramètre subit une variation à l'intérieur de la plage choisie alors que tous les autres paramètres sont déterminés par leur valeur moyenne. Le nombre de points de calcul par paramètre peut être réglé par l'utilisateur. Ce nombre est suffisant entre 3 et 11. La valeur par défaut est 5. Si par ex. la valeur de 9.0 est retenue comme limite inférieure et 11.0 comme limite supérieure, les cinq points de calcul suivants sont choisis: 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 et 11.0. Si l'on fait varier p paramètres et si l'on choisi n points de calcul, l'analyse de sensibilité sera effectuée pour p·n simulations.

Il est nécessaire de préciser qu'en présence d'autres valeurs moyennes, l'analyse de sensibilité doit être effectuée une nouvelle fois. Cela signifie qu'elle est spécifique à chaque situation. La figure 2 montre un exemple de modification de sensibilité suite à un changement de valeur moyenne pour l'exemple de Russikon [6]: Pour une valeur de pH de 7,5 de l'eau rejetée, seul ce paramètre influence le nombre des événements critiques de NH₃ (figure 2a). Tous les autres paramètres n'ont aucune influence. L'analyse de sensibilité étant cette fois effectuée à une valeur de pH de 7,7 (figure 2b), d'autres paramètres ont également une influence (par ex. la concentration de NH₄-N dans l'eau pluviale (figure 2c).

L'analyse de sensibilité livre un graphique, comme dans la figure 2b, pour chaque changement de paramètre et chaque résultat. Le graphique montre la dépendance du résultat par rapport au paramètre concerné. De plus, l'influence des autres paramètres apparaît également (les points situés verticalement l'un au-dessus de l'autre avec la valeur moyenne du paramètre concerné). Si la partie verticale des points situés l'un au-dessus de l'autre ne remplit pas entièrement le graphique, le paramètre concerné exerce alors la plus grande influence (figure 2a et b). Dans le cas contraire, le paramètre concerné aura une plus petite influence (figure 2c). La figure 3 dans [6] montre un exemple analogue pour les événements de stress hydraulique. Le diamètre moyen des grains d_m y

exerce la plus grande influence, suivi de la pente et du diamètre d_{90} .

Les graphiques sont disposés sous forme de matrice. Les colonnes comportent les différents paramètres, les lignes comportent les résultats correspondants (nombre d'événements critiques, durée d'accumulation critique des MES, charges de MES, volume, durée et nombre de rejets).

Simulation stochastique

Lors de la simulation stochastique, la simulation déterministe est répétée un grand nombre de fois. A chaque itération ou passage, les paramètres du modèle sont modifiés de manière aléatoire en fonction de la valeur moyenne, des limites inférieure et supérieure et de la fonction de distribution, si bien que chaque simulation prend en compte un autre assortiment de valeurs paramétriques. Les fonctions de distribution peuvent être choisies parmi les distributions uniformes, normales, log normales et triangulaires. Il existe en outre les options «constante» et «extrême». Si l'option «constante» est choisie, le paramètre concerné ne varie pas, mais est maintenu en permanence à sa valeur moyenne. L'option «extrême» ne permet qu'un choix aléatoire entre la valeur moyenne, la limite inférieure et la limite supérieure.

Chaque itération utilise la même série pluviale de 10 ans. Les situations critiques par rapport aux différents impacts sont déterminées pour chaque événement pluvial (env. 2000 en 10 ans). A la fin de chaque itération, un nombre moyen d'événements critiques par année est calculé pour chaque impact. Après l'exécution de toutes les itérations, le nombre d'événements critiques est trié en fonction de la grandeur de l'impact calculée. A chaque nombre est attribué une probabilité de non dépassement $p = 1 - m/n$ où n représente le nombre de simulations respectivement d'itération et m le rang du passage (Le passage comprenant le plus grand nombre d'événements critiques détient le rang 1, le second plus grand le rang 2 etc.). La représentation de cette probabilité de non dépassement p en fonction du nombre d'événements critiques donne la courbe des fréquences cumulées. REBEKA II fournit ce type de résultat sous forme de graphique (cf. figure 3).

Le nombre d'itérations peut être choisi par l'utilisateur. Pour la simulation de la figure 3, 2000 itérations ont été

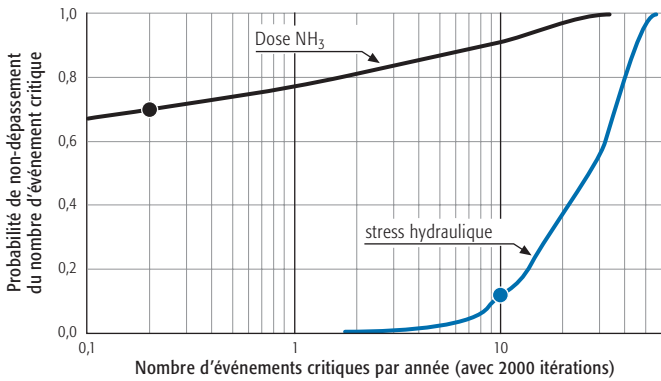


Figure 3: Exemple d'une représentation de résultat dans REBEKA II se rapportant au nombre d'événements critiques pour le stress hydraulique et la contamination critique par le NH_3 . Dans cet exemple, l'exigence d'un maximum de 0,2 événement critique de NH_3 par année est satisfaite avec une probabilité de 0,71, l'exigence d'un maximum de 10 événements de charriage de fond par année avec une probabilité de 0,12 seulement.

effectuées. L'incertitude relative aux valeurs de probabilité est alors inférieure à 0,005. Pour 1000 itérations, elle est inférieure à 0,01, pour 500 inférieure à 0,02 et pour 200 elle se situe entre 0,03 et 0,04. Cette incertitude s'interprète de la manière suivante: les valeurs de probabilité se situent avec 95% de probabilité une nouvelle fois dans cette plage de résultats, lors de la simulation stochastique avec un nombre égal d'itération et les mêmes valeurs de paramètre. Le temps de calcul pour une simulation comportant 200 itérations (200 fois 10 ans) s'élève à environ 2 minutes (Pentium 3, 450 MHz).

Le tableau 3 représente une nouvelle fois le déroulement complet de la simulation de type Monte-Carlo, tel qu'il est réalisé dans REBEKA II.

Conclusions

L'utilisation de REBEKA II contraint les ingénieurs dans la pratique à gérer des incertitudes lors de la planification de mesures techniques de protection des eaux. Les résultats ne sont pas présentés en tant que «nombres fixes» comme pour les programmes de simulation déterministe, mais comme des probabilités reflétant l'influence des incertitudes des paramètres du modèle. L'analyse de sensibilité implémentée se révèle être une aide très pratique pour déterminer les paramètres les plus sensibles dans une configuration particulière. L'utilisation de REBEKA II est certainement plus complexe que celle de la version déterministe précédente de REBEKA. L'utilisateur devra connaître les modèles implémentés, avoir des connaissances de base en statistique et une expérience des incertitudes afin de comprendre et interpréter les résultats. La simulation stochastique avec REBEKA II offre alors à l'utilisateur une meilleure compréhension du système pour la planification de mesures techniques en assainissement urbain. Ceci est démontré clairement au moyen

Etapes de travail		Lieu
Lecture des données du système (Valeur moyenne, minimale et maximale)		
Lecture des données de pluie		
Pour chaque itération:		
Générer les variables aléatoires du modèle (y.c. paramètres MES dans cours d'eau)		
Calculer valeur critique pour transport solide		
Pour chaque événement de pluie:		
Générer les variables aléatoires MES (sans paramètres MES dans cours d'eau)		
Calcul débit pour système unitaire (BVU), système séparatif (BVS) et bassin versant naturel (BVN)	Calcul concentrations $\text{NH}_4\text{-N}$ et MES	bassin versant
Calcul volume rejeté par BVU et BVS	Calcul concentrations $\text{NH}_4\text{-N}$ et MES dans les rejets, idem masses MES	système de rétention
Calcul débit total dans milieu récepteur	Calcul immission NH_3 et accumulation de MES	milieu récepteur
Si débit > débit critique, augmenter de 1 nombre événement critique	Événement critique? Si oui, augmenter de 1 le nombre d'événements critiques Calcul temps si valeur critique d'accumulation MES est dépassée	impacts
	Calcul masse MES annuelle	rejets
Définition nombre d'événements critiques par année	Définition du temps par année pendant lequel le critère d'accumulation en MES est dépassé	impacts
	Créer courbe cumulée masse MES	rejets
Créer courbes cumulées pour le nombre d'événements critiques	Créer courbe cumulée du temps par année, pendant lequel le critère d'accumulation en MES est dépassé	impacts

Tableau 3: Diagramme du déroulement (structure) de la simulation de Monte-Carlo dans REBEKA II.

des exemples présentés dans les articles [6] et [7] de la série STORM.

La transition d'un point de vue de type émission vers celui de type immission et l'implémentation des processus de modélisation pour les impacts dans le cours d'eau sont très importants pour concevoir les mesures les plus profitables aux milieux récepteurs. À l'avenir, des processus supplémentaires se révélant essentiels à une modélisation réaliste de la contamination des eaux viendront s'ajouter à ceux déjà existants.

Le programme REBEKA II peut être commandé par Internet: www.rebeka.ch. Son utilisation pourra se faire en allemand, anglais, français et italien. L'assistance technique sera assurée par un forum d'utilisateur sur Internet. Des cours d'introduction sont en outre proposés.

Littérature

- [1] Rauch W., Krejci V. und Gujer W. (2000): REBEKA – Ein Simulationsprogramm zur Abschätzung der Beeinträchtigung der Fließgewässer durch Abwassereinleitungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter. Schriftenreihe EAWAG Nr. 16. Dübendorf, Zürich.
- [2] Rauch W., Krejci V. and Gujer W. (2002): REBEKA – a software tool for planning urban drainage on the basis of predicted impacts on receiving water. *Urban Water*, 4: 355–361.
- [3] Kreikenbaum S., Rauch W., Krejci V. und Fankhauser R. (2004): Unsicherheiten in der Planung. *GWA* 8:587–594. Traduction française: «Prise en compte des incertitudes lors de la planification de mesures de protection» disponible sur le site <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [4] Rossi L., Krejci V., Kreikenbaum S. (2004): Anforderungen an die Abwassereinleitungen. *GWA* n° 6, 431–438. Titre français: «Exigences légales en matière d'assainissement par temps de pluie», disponible sur le site <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [5] Rossi L., Gujer, W., Kreikenbaum S. und Fankhauser R. (2004): Modélisation des matières en suspension (MES) dans les rejets urbains en temps de pluie. *GWA* 10: 753–761.
- [6] Krejci V., Kreikenbaum S., Fankhauser R. (2004). Akute Ammoniak- und hydraulische Beeinträchtigungen. *GWA* 9: 671–679. Traduction française «Impacts aigus liés à l'ammoniac et au stress hydraulique» disponible sur le site <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [7] Krejci V., Suter K., Schmid H. und Hoehn E. (2004): Fallstudie Möhlintal. *GWA* 11: 833–843. Titre français: «Projet STORM: Etude de cas «Möhlinbach»», disponible sur le site <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.

Impressum

Cette étude a été initiée par l'office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et par l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG). Elle est présentée sous la forme du projet «STORM: Assainissement par temps de pluie».

© EAWAG, BUWAL (2004)

Responsable de projet:

Vladimir Krejci, Dr. sc. tech.

Collaborateurs

Rolf Fankhauser, Dr. phil.

Andreas Frutiger, Dr. sc. nat.

Simon Kreikenbaum, Dipl. Ing. ETH

Luca Rossi, Dr. sc. tech.

Le projet STORM a été suivi par un groupe d'experts:

Erwin Bieri, OFEFP

Prof. Dr. Markus Boller, EAWAG

Patrick Fischer, OFEFP

Prof. Dr. Willi Gujer, ETHZ et EAWAG

Rolf Lüdi, OFEFP

Prof. Dr. Wolfgang Rauch, Universität Innsbruck

Kurt Suter, VSA und Baudepartement des Kantons Aargau

Traduction

Daniel Eschmann, Luca Rossi

Layout

Peter Nadler, Künsnacht

Graphisme

Lydia Zweifel

Commande

EAWAG, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf

http://www.eawag.ch/publications/d_index.html
