



Incertitudes dans la planification de mesures de protection

Simon Kreikenbaum, Vladimir Krejci, Rolf Fankhauser, Wolfgang Rauch

Auteurs

Simon Kreikenbaum

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

Vladimir Krejci

Lindenstrasse 90
8738 Uetliburg
Tél. +41-55-280 33 92
Fax +41-55-280 36 61
hydrokrejci@tiscalinet.ch

Rolf Fankhauser

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

STORM, incertitudes, planification, approche déterministe, approche stochastique-probabiliste, modèle de simulation.

Cet article est le quatrième 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 comportement d'un système d'assainissement par temps pluie est très complexe. Il doit tenir compte d'une dynamique temporelle et de processus aléatoires qualifiés de «stochastiques». En conséquence, la modélisation d'un système, les réactions d'un bassin versant et la planification de mesures de protection sont entachées d'incertitudes. Ces incertitudes ont une grande importance dans le choix de mesures de protections. Les procédures existantes de planification tiennent compte seulement en partie de ces incertitudes. C'est pourquoi une nouvelle méthode est présentée dans cet article pour faire face aux effets des incertitudes sur la procédure de planification.

Principe de dimensionnement des systèmes techniques

Les systèmes techniques (par ex. barrages, mesures de protection des eaux, etc.) sont généralement dimensionnés sur la base d'une estimation de risque. À cet effet, la probabilité de défaillance tolérable du système technique est confrontée à son besoin sécuritaire. Plus le besoin de sécurité est élevé, plus rarement une défaillance du système peut être tolérée. Par principe, la défaillance d'un système peut être définie comme un état dont la charge (extérieure) dépasse la capacité (intérieure) du système.

Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Planung

Das System «Siedlungsentwässerung bei Regenwetter» ist sehr *komplex*. Es verhält sich zeitlich hoch *dynamisch* und zeichnet sich durch «zufällige» so genannte *stochastische* Prozesse aus. Als Folge davon sind die Modellierung, die Prognose des Systemverhaltens und die Planung von Gewässerschutzmassnahmen geprägt durch Unsicherheiten. Unsicherheiten sind hinsichtlich Investitionen in Massnahmen von grosser Relevanz. Da herkömmliche Planungsverfahren nur bedingt geeignet sind, mit Unsicherheiten umzugehen, wird hier eine neue Methode vorgestellt, mit der die Auswirkungen von Unsicherheiten auf den Planungsprozess berücksichtigt werden können.

Consideration of Uncertainties in Planning

During wet weather situations, the urban drainage system behaves highly complex. Furthermore, it is characterised by temporal dynamics and by «random» so called stochastic processes. As a consequence, modelling, forecasting of the system's behaviour, and planning of water protection measures is associated with uncertainties. With regard to investments in measures, uncertainties are of significant impact. Existing planning procedures are only partly qualified to handle uncertainties. That is why a new method will be presented here which is able to cope with the effects of uncertainties on the planning process.

Pour la planification et le dimensionnement des systèmes techniques, le besoin de sécurité que requiert le système, ou formulé d'une autre manière, ses exigences en matière de fiabilité, doivent être connus. D'autre part, la probabilité de défaillance du système doit être déterminée. Les exigences en matière de fiabilité représentent dans notre cas les exigences en matière d'assainissement par temps de pluie [1]. La défaillance du système est donc définie par la suite comme un état ne satisfaisant pas les exigences données.

Lors du dimensionnement d'installations pour le traitement des eaux par temps de pluie selon le type «immission», défini préalablement dans le projet STORM, chaque situation est pratiquement unique. En principe, des cas analogues, pouvant jouer le rôle de référence technique documentée, ne sont pas disponibles. C'est pourquoi la probabilité de défaillance du système doit être déterminée au moyen de calculs et de prévisions à l'aide de modèles.

Modèles et incertitudes

Un pronostic sur les perspectives de comportement d'un système est nécessaire pour la planification de nouvelles mesures de protections et l'évaluation de mesures existantes dans le domaine de l'assainissement par temps de pluie. Un moyen de réaliser ce pronostic est offert par la modélisation et la simulation. À cet effet, la situation réelle sera décomposée en plusieurs étapes (figure 1). Lors de la décomposition de systèmes complexes, comme par ex. des systèmes environnementaux, il est toujours nécessaire de trouver un compromis entre les investissements (en coûts et temps) et le bénéfice tiré de la modélisation. De manière idéale, on recherchera le degré de résolution produisant le plus grand bénéfice net (figure 2).

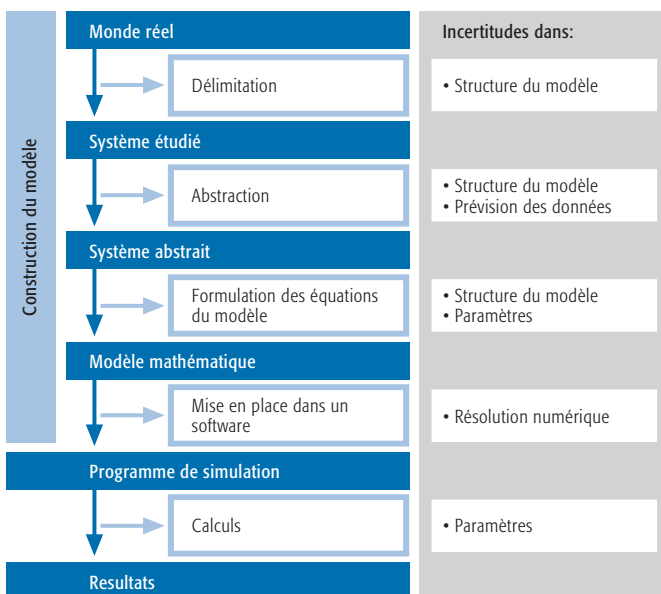


Figure 1: Simplification de la réalité appliquée à la modélisation d'un système et incertitudes qui s'en dégagent.

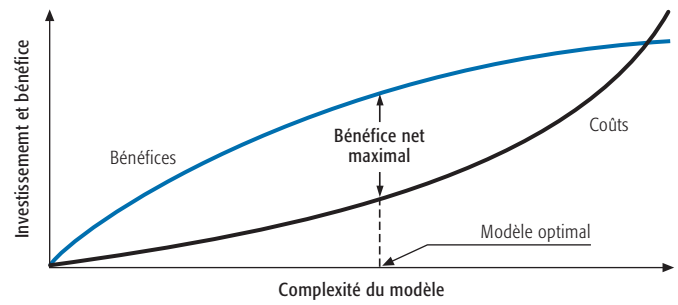


Figure 2: Compromis entre les investissements (temps, coûts) et le bénéfice d'un modèle par rapport à sa complexité.

Dans une première étape, une partie du monde réel est délimitée par le système examiné. Ce système réel examiné est ainsi simplifié et idéalisé. Dans ce système abstrait, les processus importants sont ensuite formulés au moyen d'équations mathématiques. Dans la dernière étape, les équations mathématiques sont implémentées dans un logiciel reproduisant le système examiné grâce aux données d'entrée correspondantes et aux paramètres du modèle.

Chaque étape représente une simplification de la réalité. En raison de ces simplifications, mais également de la connaissance incomplète des processus, la modélisation de systèmes complexes est, dans chaque cas, inéluctablement liée à des incertitudes. Si ces incertitudes n'étaient pas prises explicitement en compte, le pronostic du comportement du système simulerait une précision qui ne s'accorderait pas avec la réalité.

Dans l'assainissement urbain, la planification est réalisée aujourd'hui sur la base de résultats de modèles et des décisions financièrement importantes sont prises sans connaissance des incertitudes. Les incertitudes non prises en compte peuvent conduire à une solution non adéquate ou à des solutions peu optimales par rapport aux coûts et à l'efficacité des mesures. C'est pourquoi il est judicieux et nécessaire de déterminer les effets des incertitudes au moyen de modèles spécifiques pour les systèmes d'assainissement.

Par la suite, nous ferons l'hypothèse, relative aux incertitudes, que tous les outils à disposition sont mis en oeuvre correctement et de manière optimale, conformément à leur affectation et leurs limites d'application.

Différentes catégories d'incertitudes

Les incertitudes peuvent être classées dans les catégories suivantes:

- 1) Les incertitudes dans les paramètres du modèle.
- 2) Les incertitudes dans la structure du modèle.
- 3) Les incertitudes dans la prévisions des données.
- 4) Les incertitudes dans la résolution numérique des équations du modèle.

Les paragraphes suivants reprennent en détail ces différentes catégories d'incertitudes [2].

Méthode	Imperméabilité [-]
Digitalisation de plans	0,32 (pas d'estimation)
Statistique de superficie	0,33 (± 0,11)
Imagerie aérienne	0,44 (± 0,04)
Maximum de vraisemblance*	0,27 (± 0,04)
Hierarchie binaire*	0,36 (± 0,05)
Fonction empirique*	0,43 (± 0,06)

* Imagerie satellitaire

Tableau 1: Incertitudes dans les paramètres d'un modèle. En raison des diverses méthodes de relevé, différentes valeurs peuvent être estimées pour un même paramètre. Dans cet exemple il s'agit du degré d'imperméabilité d'un bassin versant (exemple tiré de [3])

Incertitude dans les paramètres d'un modèle

Les incertitudes dans les paramètres d'un modèle sont liées aux imprécisions et aux erreurs dans la mesure et l'acquisition des paramètres et variables du modèle. Ce type d'incertitudes ne peut pas être évité, puisque des imprécisions se produisent à chaque relevé d'information et à chaque mesure, en particulier lorsque les influences de l'assainissement urbain par temps de pluie sur les milieux récepteurs doivent être déterminées.

L'ordre de grandeur des imprécisions dépend de la méthode de mesure. Le tableau 1 montre un exemple de ce type d'incertitude pour l'estimation du degré d'imperméabilité d'un bassin versant. Les valeurs divergent fortement l'une de l'autre en raison des diverses méthodes de relevé utilisées.

Les incertitudes dans les paramètres d'un modèle sont relativement simples à déterminer. L'incertitude d'un paramètre pour un modèle correspond à l'imprécision ou à l'erreur lors de son relevé ou de sa mesure.

Incertitudes liées à la structure d'un modèle

Les incertitudes dans la structure modélisée comprennent: a) les incertitudes dans la prise en compte des variables les plus importantes et des processus, b) les incertitudes dans les formulations des processus ainsi que c) les incertitudes dans la conformité de la résolution spatiale et temporelle du système d'assainissement examiné.

Des incertitudes dans la structure d'un modèle sont bien plus difficiles à déterminer que, par exemple, les incertitudes liées aux paramètres du modèle. La seule possibilité d'évaluer l'ordre de grandeur des erreurs liées à la structure du modèle consiste à comparer entre eux les modèles et les logiciels.

En assainissement urbain, les incertitudes se rapportant à la structure d'un modèle sont liées avant tout à la simplification et à l'idéalisation du système réel par un système abstrait et à la formulation des processus significatifs dans les équations mathématiques (figures 3, 4 et 5).

Le point a) mentionné ci-dessus indique clairement que les incertitudes dans la structure d'un modèle sont liées aux

incertitudes dans les paramètres du modèle. Selon le modèle retenu, des paramètres différents sont mis en oeuvre. Ainsi, de manière simplifiée, nous considérerons dans ce qui suit que les incertitudes liées à la structure d'un modèle seront prises en compte par le biais des incertitudes liées aux paramètres d'un modèle.

Incertitudes dans la prévision des données

Les données de prévision décrivent l'influence de l'environnement global sur le système décrit au moyen d'un modèle. Les causes de changement des données de prévision ne peuvent pas se trouver dans le système lui-même. Les incertitudes dans la prévision des données englobent par exemple le développement futur d'une région considérée. Il s'agit de l'évolution du nombre d'habitants sur le bassin versant, de la consommation future d'eau potable respectivement de la production d'eaux usées, de la composition des eaux usées, de la conséquence des innovations techniques, etc. Une hypothèse irréaliste pour le développement d'une région donnée peut influencer considérablement le résultat d'un modèle.

L'estimation de l'incidence des incertitudes dans la prévision des données sur le résultat d'un modèle ne peut être déterminée qu'en établissant une comparaison entre différents scénarios.

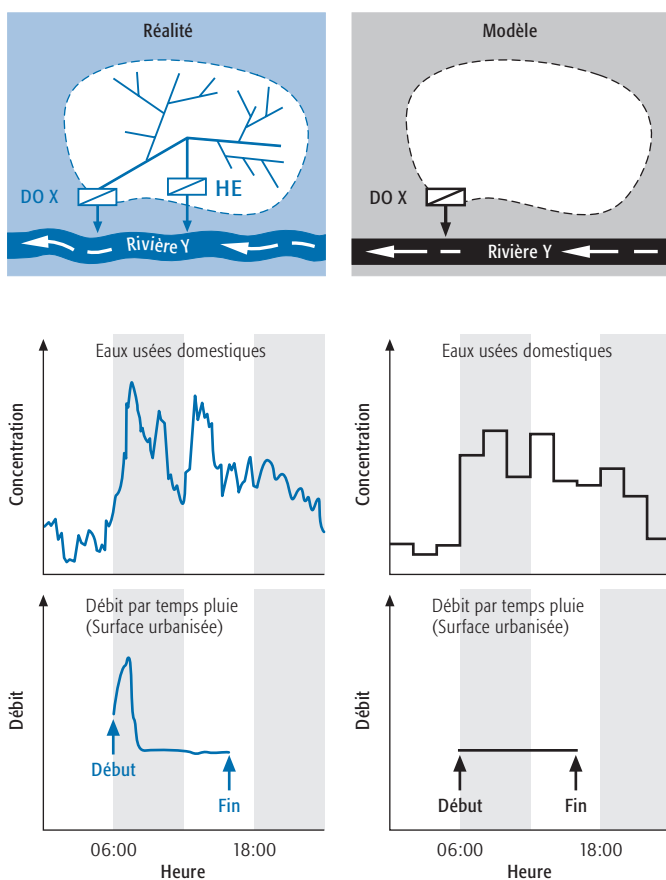


Figure 3: Incertitudes dans la structure d'un modèle à la suite d'une schématisation (en haut) et d'une simplification des processus (en bas) dans la construction des modèles [3].

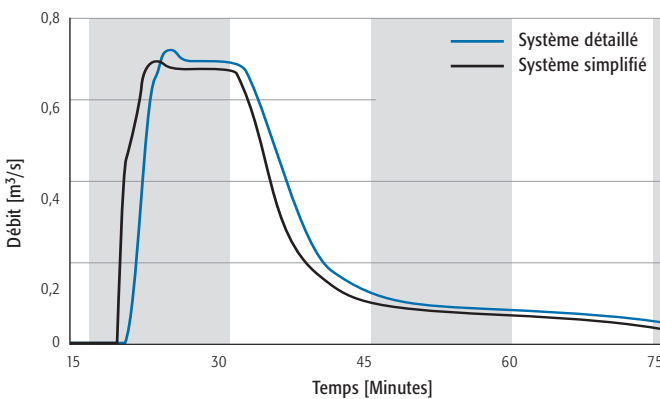
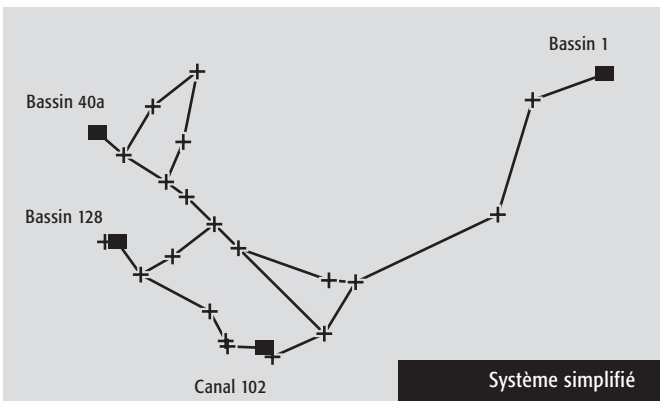
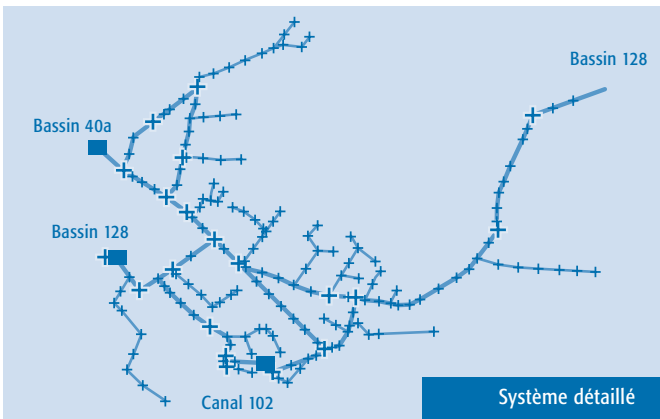


Figure 4: Influence de la résolution spatiale sur les résultats d'un modèle (débit arrivant au bassin de rétention no. 128 [3]).

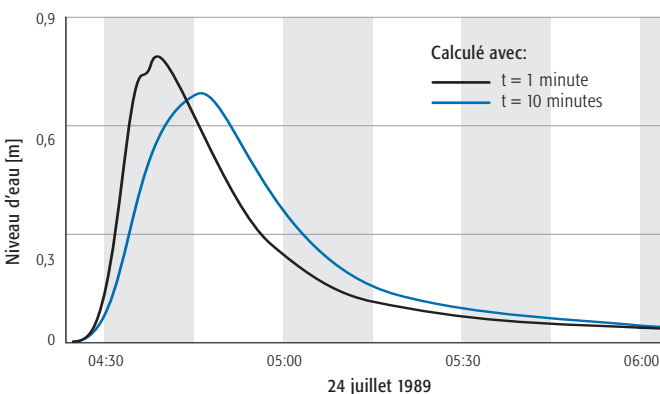


Figure 5: Influence de la résolution temporelle des données pluviales sur le résultat d'un modèle (niveau d'eau dans un canal pluvial à Zurich-Schwamendingen [3]).

Incertitudes dans la résolution numérique des équations d'un modèle

La résolution des équations d'un modèle se fait normalement de manière numérique car une résolution analytique s'avère possible que dans des cas très spéciaux. L'incertitude des résultats d'un modèle, engendrée par résolution numérique, est normalement négligeable par rapport aux autres sources d'incertitude [2]. L'utilisateur d'un modèle n'a généralement aucune influence sur ce type d'incertitudes.

Prise en compte des incertitudes dans différents types de modèles

Les incertitudes dans les paramètres et la variabilité de certaines valeurs influentes, comme par ex. les précipitations, sont prises en compte de manières diverses selon les modèles. Nous distinguons ainsi les modèles «statiques» et dynamiques et précisons ensuite les modèles dynamiques en faisant la différence entre les modèles déterministes et les modèles stochastiques-probabilistes.

«Modèles statiques»

Les «modèles statiques» appliqués en assainissement urbain, comme par exemple dans le dimensionnement hydraulique d'une canalisation au moyen de la méthode rationnelle ou dans le dimensionnement de bassins d'eaux pluviales selon les «Recommandations 1977» [4], ne tiennent compte, de manière explicite, ni de la variabilité des processus, ni des incertitudes. Les variables temporelles comme les précipitations sont utilisées sous forme d'évaluations statistiques. Les incertitudes peuvent être implicitement prises en considération par les paramètres du modèle comme par ex. le coefficient de ruissellement, en les surévaluant légèrement pour disposer d'une certaine sécurité.

À l'époque de leur introduction, les «modèles statiques» se situaient, avec une grande probabilité, à proximité de l'optimum entre les investissements et le profit (profit net maximum, figure 2). Ils ont alors été introduits par commodité, en premier lieu par manque de capacité de calcul, mais aussi par manque de connaissances des processus et par manque de données. Avec l'évolution de l'informatique, le manque de capacité de calcul devient un problème mineur. C'est pourquoi les variabilités peuvent être traitées aujourd'hui et doivent l'être au moyen de modèles dynamiques.

Modèles dynamiques déterministes

Les modèles déterministes attribuent un résultat sans équivoque pour chaque instant et chaque point de calcul [5]. Ceci est valable lorsque les conditions initiales sont connues, de même que les variations temporelles (par ex. les précipitations). Les incertitudes ne sont pas explicitement prises en compte. Une analyse de sensibilité peut fournir une appréciation des effets des incertitudes sur le résultat des modèles déterministes (cf. figure 6).

Les modèles dynamiques déterministes, tels qu'ils sont implémentés dans des programmes de simulation en assainissement urbain comme par ex. SASUM, REBEKA, SWMM, MOUSE, SAMBA, HYSTEM-EXTRAN, KOSIM etc., prennent en compte les variabilités relatives des pluies ou séries de pluies historiques. Si les résultats de ces modèles sont triés par ordre croissant, il en résulte une courbe comparant le résultat du modèle à la fréquence de son apparition (cf. courbe cumulée bleue dans la partie centrale de la figure 7).

Modèles dynamiques stochastique-probabilistes

Une possibilité pour quantifier l'influence des incertitudes (des paramètres) sur le résultat d'un modèle consiste en une extension des modèles déterministes traditionnels en modèles stochastique-probabilistes. Un modèle stochastique est un modèle qui comporte des éléments aléatoires [5]. Probabiliste signifie: prendre en compte la probabilité d'apparition d'un résultat. Cette extension peut par exemple se réaliser au moyen d'une routine de simulation de type «Monte-Carlo».

La simulation de type Monte-Carlo reproduit mathématiquement les incertitudes au moyen de fonctions de probabilité (fonctions de répartition), desquelles on tire un échantillon aléatoire. Ce procédé est répété à maintes reprises et, de même que pour le calcul déterministe, chaque itération permet de construire une courbe (par ex. débit maximal, concentration de NH₃ dans le milieu récepteur, etc.) comparant l'intensité de la sortie du modèle à la fréquence de son apparition. Globalement, il résulte de la simulation de type Monte-Carlo, le même nombre de courbes que d'itérations. Cet éventail de courbes est présenté dans la partie inférieure de la figure 7 par le secteur bleu, représentant la probabilité d'apparition d'un résultat. Dans cet exemple, il s'agit de la probabilité d'avoir au maximum 10 événements de charriage de fond dans une rivière par année. Cette probabilité caractérise la deuxième partie du nom des modèles stochastique-probabilistes.

En rapport avec les exigences en matière d'assainissement par temps de pluie, le modèle stochastique-probabiliste pronostique qu'une certaine partie des résultats satisfont aux

Figure 7: a) Fréquence des événements critiques dans un système soumis à l'influence d'un facteur de stress variable, par ex. la pluie.
 b) Fréquence des événements critiques dans un modèle déterministe. La modélisation étant influencée par les incertitudes, la réponse du modèle (courbe bleue) s'écarte de celui du système réel (courbe noire).
 c) Fréquence des événements critiques dans un modèle stochastique-probabiliste. La prise en compte des incertitudes conduit à un domaine de réponses possibles du système (champ bleu) dans lequel la réponse du système réel (courbe noire) devrait être trouvée. La fréquence des événements critiques peut être représentée comme une fonction de probabilité. Si cette fonction est intégrée, il en résulte une fonction de probabilité cumulée qui permet la lecture de la probabilité de défaillance du système – défini ici comme des exigences non satisfaites en matière d'assainissement par temps de pluie.

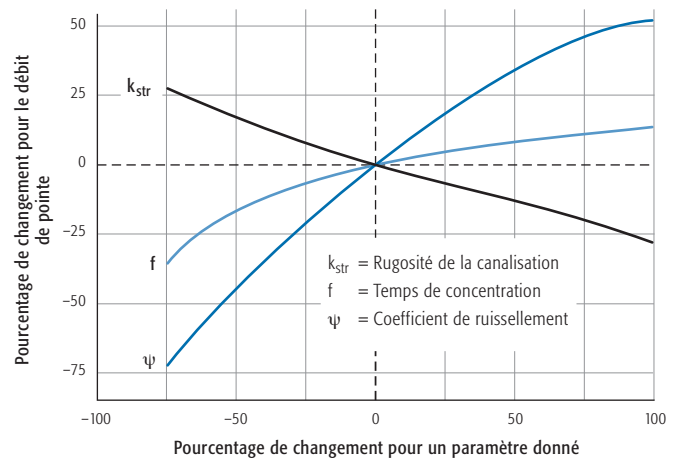
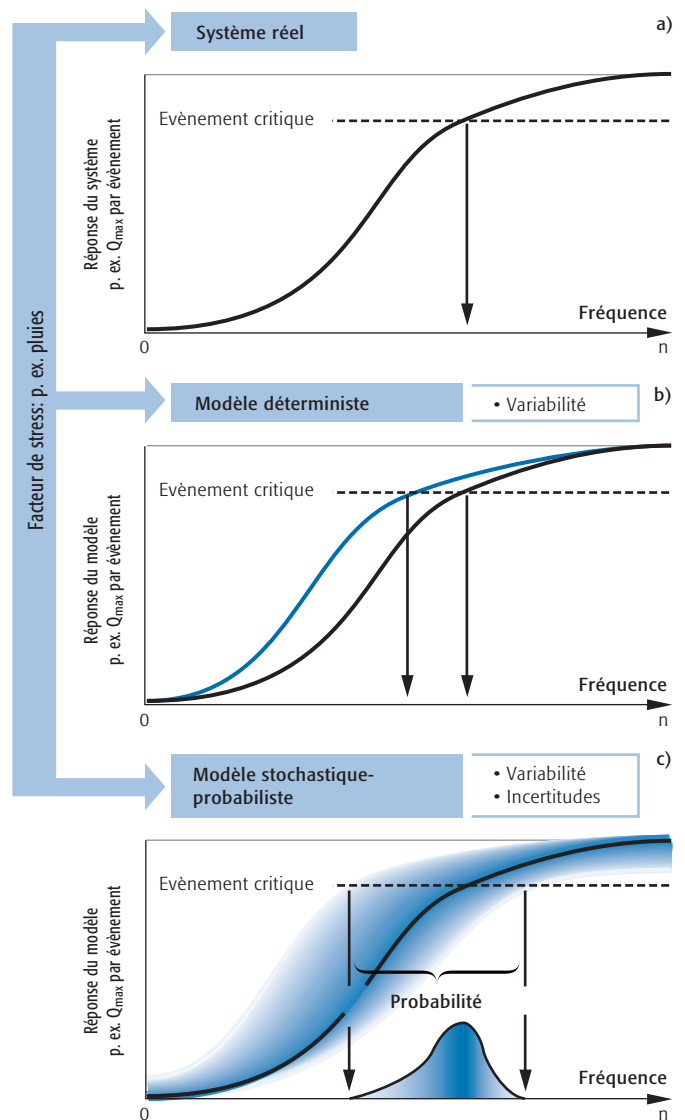


Figure 6: Exemple d'une analyse de sensibilité: le coefficient de ruissellement a une plus grande influence sur le résultat du modèle (débit de pointe, que la rugosité des canaux (selon [6])). Plus le résultat d'un modèle réagit de manière sensible aux modifications d'un paramètre, plus ce dernier devrait être estimé soigneusement.



exigences, alors que ce n'est pas le cas pour le reste des résultats, selon la définition présentée dans le chapitre 1. Ce point peut aussi être exprimé comme une probabilité P qui se trouve dans l'intervalle $0 \leq P \leq 1$ (cf. figure 7). Comme réponse, un modèle stochastique-probabiliste délivre donc une probabilité de satisfaire les exigences fixées. Notons que la méthode de planification stochastique-probabiliste fait actuellement l'objet de travaux de recherche [7].

Planification et évaluation des mesures de protection des eaux au moyen de modèles stochastique-probabilistes

La planification de nouvelles mesures de protection des eaux et l'évaluation de celles existantes au moyen de modèles stochastique-probabilistes se déroule de manière itérative et en plusieurs étapes. Ces étapes sont expliquées par la suite.

Élaboration de modèle

La première étape consiste à abstraire la situation réelle et à reproduire les processus au moyen de modèles adaptés. Lors de l'utilisation de programmes de simulation commerciaux, le choix des modèles est généralement fixé à l'avance. Néanmoins, la question se pose souvent de savoir comment un système d'assainissement complexe donné peut être simplifié et idéalisé de manière optimale.

Exemple: le programme de simulation MOUSE permet de reproduire un système d'assainissement avec toutes ses particularités. Pour le programme REBEKA [8], un bassin versant complexe est largement simplifié.

Acquisition des données

Les modèles à utiliser étant connus, les données nécessaires à la planification et à l'évaluation des eaux doivent être introduites dans le modèle. En plus des données nécessaires, les incertitudes et les erreurs de mesure doivent être quantifiées. Celles-ci servent à la description mathématique des incertitudes dans la planification et l'évaluation stochastique-probabilistes.

Exemple: Lors de la détermination du degré d'imperméabilité d'un bassin versant au moyen de photographies aériennes, non seulement la valeur moyenne du paramètre est d'un grand intérêt, mais également l'estimation des incertitudes ou des erreurs de mesure (par ex. $0,44 \pm 0,04$).

Analyse de sensibilité

Les paramètres du modèle peuvent être pris en compte plus efficacement si ceux-ci sont tout d'abord déterminés de manière grossière et soumis à une analyse de sensibilité. Cette analyse donne des informations relatives à l'influence des différents paramètres du modèle sur le résultat calculé. Les paramètres sensibles doivent être relevés avec un soin particulier, de manière à ce que les incertitudes sur ces paramètres soient fortement diminuées. En se basant sur les résultats de

l'analyse de sensibilité, les données peuvent être détaillées en fonction de leur influence sur le résultat calculé.

Exemple: Le coefficient de ruissellement a une plus grande influence sur le débit de pointe que la rugosité des canalisations (cf. Figure 6). Ainsi, lors de l'acquisition des paramètres, il est judicieux de prêter une plus grande attention au coefficient de ruissellement qu'à la rugosité des canalisations.

Description mathématique des incertitudes

Lorsque les données sont acquises, les incertitudes doivent être formulées mathématiquement pour la modélisation de type stochastique-probabiliste. Cela se fait en choisissant le type et les paramètres d'une fonction de distribution (par ex. distribution normale, uniforme, triangulaire, etc.) de façon à obtenir une description fidèle des incertitudes.

Pour décrire les incertitudes de manière précise, les interdépendances (corrélations) entre les différents paramètres doivent être prises en compte. Les informations relatives à ce sujet ne sont pas encore disponibles dans le domaine de l'assainissement urbain, des recherches sont en cours. Ainsi, les corrélations ne seront pas encore traitées pour l'instant.

Exemple: Une valeur de 0,44 pour le degré d'imperméabilité d'un bassin versant a été déterminée à l'aide de photographies aériennes. L'incertitude de cette mesure s'élève à $\pm 0,04$. Les incertitudes liées à ce paramètre dans le modèle peuvent par ex. être décrites avec une distribution uniforme. C.-à-d. qu'en simulation de type «Monte-Carlo», le degré d'imperméabilité sera choisi au hasard à l'intérieur d'une plage située entre 0,4 et 0,48.

Choix et examen de scénarios

Nous arrivons maintenant au choix de scénarios. Ce choix est nécessaire pour décrire les incertitudes sur les prévisions comme l'évolution du nombre d'habitants d'une agglomération etc. En outre, au moyen de ces scénarios, l'état réel et les variantes de planification peuvent être comparées entre elles. Dans l'examen des variantes, aucune incertitude n'est prise en compte pour des valeurs d'optimisation représentant les mesures techniques que l'ingénieur planifie. Les valeurs d'optimisation sont des paramètres comme le volume d'un bassin de rétention, la surface imperméable pour l'infiltration, les débits à l'aval d'un déversoir, etc.

Exemple: Une variante possible permettant de résoudre un problème de protection des eaux pour une commune consiste à augmenter le volume du bassin de rétention de 120 m^3 à 520 m^3 . Ainsi, par analogie avec les procédés traditionnels, l'état actuel (120 m^3) doit être calculé en premier lieu. La variante d'extension (520 m^3) sera déterminée par un calcul séparé.

Calcul, évaluation et interprétation des résultats

Le calcul à l'aide de la simulation de type «Monte-Carlo», l'exploitation et l'interprétation des résultats débutent après

qu'un nombre approprié d'itérations ait été effectué. L'intérêt est porté en premier lieu sur les probabilités calculées grâce auxquelles il est possible d'estimer si les différentes variantes respectent les exigences en matière d'assainissement par temps de pluie.

Exemple: Le résultat de la simulation de type «Monte-Carlo» correspond à une probabilité. Une variante déterminée satisfait aux exigences par rapport au charriage de fond, par ex. un maximum de 10 événements par année, dans 74 % des itérations de la simulation de type «Monte-Carlo», et ne les satisfait pas dans 36 % des cas. La probabilité avec laquelle la variante satisfait aux exigences correspond ainsi à 74 %.

Prise de décision

Après que l'ingénieur ait préparé toutes les informations pour la prise de décision, une discussion entre les différents acteurs de la protection des eaux a lieu. Ce sont les services publics de la protection des eaux, le maître de l'ouvrage (syndicat des eaux usées, commune) et le planificateur (ingénieur). Dans le procédé de planification stochastique-probabiliste proposé ici, cette discussion s'organise d'une autre manière que dans le procédé déterministe traditionnel.

Dans les procédés traditionnels, les différentes variantes calculées satisfont ou non aux exigences. Selon l'approche stochastique-probabiliste, en revanche, les variantes satisfont ces exigences avec une certaine probabilité. Ainsi, les mesures techniques appropriées seront évaluées, par les acteurs impliqués, sur la base de ce concept de probabilité. À cet effet, il faut considérer qu'une plus grande sécurité est en général liée à des coûts plus importants. La réponse aux questions suivantes peut être utile pour déterminer la probabilité pour laquelle les exigences devront être satisfaites [9]:

- Pouvons-nous prendre le risque de planifier des mesures relativement avantageuses qui ne satisferaient aux exigences qu'avec une probabilité relativement faible? Si l'on remarque ultérieurement que les mesures ne satisfont pas aux exigences, il faudra compléter l'équipement.
- Ou devons-nous, dès le début, implémenter des mesures plus coûteuses qui satisferaient aux exigences avec une plus grande probabilité? L'inconvénient résiderait dans ce cas dans l'éventualité d'un investissement trop élevé.
- Voulons-nous investir des moyens pour une meilleure connaissance du système (mesures et év. échantillonnage), afin de réduire les incertitudes? Cela rendrait la réalisation de mesures plus adéquates possible et des moyens financiers pourraient être économisés.
- Ou voulons-nous plutôt investir dans des mesures de protection des eaux dont nous ne savons pas exactement quel en serait le bénéfice effectif ?

Bilan

La prise en compte des incertitudes représente un concept élargi que nous devons apprendre à gérer. Lors de la planifi-

cation de nouvelles mesures de protection des eaux et durant l'évaluation des mesures existantes, les incertitudes entraînent des modifications tant sur le plan du déroulement du projet que sur celui des tâches des acteurs impliqués. Les procédés de planification tenant compte des incertitudes ont certains avantages par rapport aux approches traditionnelles. Ils offrent un nouveau défi aux acteurs participants à la planification en leur faisant porter une responsabilité plus importante que jusqu'à présent. Certes, ils nécessitent un surcroît de dépenses, et peuvent sembler à première vue moins concrets. Mais les avantages deviennent évidents lorsque les procédés de planification connus actuellement sont comparés avec la méthode stochastique-probabiliste proposée ici.

Procédés de planification déterministes de type émission

Les procédés de planification déterministes, de type «émission» [10], sont décrits fréquemment par une planification prescrivant le type de mesure à prendre et une grandeur caractéristique déterminante comme solution. Par exemple, la construction d'un certain volume de rétention par hectares de surface de ruissellement effective (par ex. 20 m³/ha_{red}) sous forme de bassins pluviaux.

L'avantage de ces procédés réside dans leur application univoque, leur simplicité et dans le fait que toutes les communes soient soumises aux mêmes conditions. Les inconvénients de cette méthode apparaissent dans le fait qu'elle n'est pas spécifique aux problèmes locaux et qu'elle limite fortement la responsabilité et la liberté de décision des acteurs participants à la planification.

Procédés de planification déterministes de type immission

Les procédés de planification de type «immission» [10] définissent un état des eaux devant être respecté au niveau du milieu récepteur. Les mesures de protection à prendre, liées aux exigences en matière d'assainissement par temps de pluie, ne sont pas prescrites a priori.

Un inconvénient souvent mentionné de ce procédé réside dans le fait que parmi toutes les communes qui planifient un certain nombre de mesure de protection, aucune n'est soumise au même traitement. Une grande commune avec un milieu récepteur sensible devra probablement réaliser de plus grands investissements par habitant qu'une petite commune avec un milieu récepteur relativement peu sensible. Un avantage de ce procédé réside dans le fait que les décideurs et planificateurs ont une certaine liberté et latitude d'appréciation lors du choix des mesures. Un autre avantage réside dans le fait que les mesures de protection sont spécifiques aux problèmes locaux, diminuant ainsi le danger de solutions non ou peu optimales.

Procédés de planification stochastique-probabilistes de type immission

Les deux procédés déterministes précédents ne prennent pas en compte, de manière explicite, les incertitudes. Cette situa-

tion peut laisser supposer une exactitude au niveau des résultats qui se trouve en désaccord avec la réalité.

Des décisions se basant sur des résultats provenant de modèles incertains ont une incidence financière importante. La méthode proposée dans le cadre du projet STORM pour la planification de nouvelles mesures et l'évaluation de mesures existantes offre aux acteurs de la protection des eaux la possibilité de quantifier les effets des incertitudes et la liberté de réagir à celles-ci de manière nuancée.

Le décideur peut déterminer lui-même la probabilité avec laquelle les exigences devront être satisfaites. Il peut décider librement s'il aimerait disposer d'une bonne sécurité en investissant plus largement dans l'acquisition de nouvelles données ou voir les incertitudes réduites par des études plus approfondies. À cet effet, il obtiendra le soutien du planificateur (ingénieur) et des services publics par des conseils avisés. Ces procédés offrent la possibilité de trouver des solutions plus flexibles que par les procédés de planification déterministes.

Pour les raisons citées, la prise en compte des incertitudes dans la planification et l'évaluation des mesures de protection des eaux concernant l'assainissement par temps de pluie doit être préférée aux procédés de planification déterministes.

La méthode conceptuelle en rapport avec les incertitudes présentée ici sera appliquée à des exemples concrets évoqués dans plusieurs publications de cette série d'articles. En outre, le développement d'un modèle de calcul stochastique-probabiliste y sera présenté. De même, l'évaluation et la pondération des incertitudes relatives à différents domaines problématiques (matières en suspension, matières ou substances dissoutes, charriage de fond, hygiène, matières grossières) y sont décrites de manière plus détaillée. Dans le dernier article de cette série, le procédé de planification stochastique-probabiliste, de type immission, sera appliqué à un exemple de cas pratique.

Résumé des réflexions les plus importantes

La planification et le dimensionnement de nouvelles installations d'assainissement et l'évaluation des installations d'assainissement existantes exigent un pronostic de comportement du système.

► À cet effet, le monde réel doit être reproduit dans des modèles qui permettront de répondre aux questions relatives à de futurs problèmes.

► L'idéalisation et la simplification de la réalité dans un modèle sont inéluctablement liées à des incertitudes.

► Comme les procédés traditionnels d'évaluation statiques et dynamiques ne traitent pas les incertitudes de manière explicite, ces procédés ne permettent aucune appréciation des effets des incertitudes sur la planification et l'évaluation des mesures dans le système «assainissement urbain».

► Comme les incertitudes ont une influence considérable sur la rentabilité des installations d'assainissement, elles doivent

être traitées explicitement avec les méthodes mentionnées, c.-à-d. au moyen de modèle stochastique-probabiliste de simulation.

► La prise en compte des incertitudes pour la planification des nouvelles mesures et l'évaluation des mesures existantes représente une dépense supplémentaire mais offre en revanche un nouveau degré de liberté pour la prise de décisions. À l'avenir, ceci peut contribuer à trouver des solutions plus adaptées aux réalités locales.

► En outre, cette méthode permet d'acquérir de nouvelles connaissances en gestion de l'assainissement urbain.

► La méthode de planification stochastique-probabiliste fait actuellement l'objet des recherches, par ex. [7].

► La méthode de planification stochastique-probabiliste représente un nouveau défi, que nous devons en premier lieu apprendre à utiliser.

Littérature

- [1] Rossi, L., Krejci, V., Kreikenbaum, S. (2004): Anforderungen an die Abwassereinleitungen bei Regenwetter. GWA Nr. 6/2004 S. 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>.
- [2] Reichert, P. (2001): Umweltsystemanalyse – Identifikation von Umweltsystemen, Schätzung der Unsicherheit von Modellprognosen und Anwendung der Methoden in einem Entscheidungskontext. Skript zur Vorlesung 03-304 ETH Zürich, Sommersemester 2001, ETH Zürich.
- [3] Krejci, V., Fankhauser, R., Gammeter, S., Grottker, M., Harmuth, B., Merz, P. und Schilling, W. (1994). Integrierte Siedlungsentwässerung – Fallstudie Fehraltorf. Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, Dübendorf.
- [4] OFPE (1977): Recommandations pour la conception et les dimensions des déversoirs de crue et bassins de décharge des eaux pluviales. Office fédéral de la protection de l'environnement, 13 pp, Berne.
- [5] Carstensen, J., Vanrolleghem, P., Rauch, W., and Reichert, P. (1997): Terminology and Methodology in Modelling for Water Quality Management – A Discussion Starter. Wat.Sci.Tech. 36:157–168.
- [6] Nix, S.J. (1994): Urban Stormwater Modeling and Simulation. Lewis, cop.
- [7] Neumann, M., Ort, C., and Daebel, H. (2004): Legal Criteria, Variability and Uncertainty in the Design of CSO Detention. Proceedings of the Novatech'2004 Conference, Lyon.
- [8] 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.
- [9] Kreikenbaum, S., Krejci, V., Rauch, W., and Rossi, L. (2002): Probabilistic Modelling as a New Planning Approach to Stormwater Management. Proceedings of the Ninth International Conference On Urban Drainage, 9ICUD, editors E.W. Strecker and W.C. Huber, 8–13th September, Portland OR, USA.
- [10] Krejci, V. und Kreikenbaum, S. (2004): Konzepte des Gewässerschutzes, GWA Nr.6, pp 423-430. Traduction française: «Concepts de protection des eaux en temps de pluie» 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, Küssnacht

Graphisme

Lydia Zweifel

Commande

EAWAG, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf

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