Modélisation hydrologique spatialisée et système d'information géographique

Roger Moussa

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)

U.R. Science du Sol, 2 Place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, FRANCE

Introduction

La modélisation spatialisée vise à définir le processus de transformation de pluie en débit à partir de la répartition spatiale des propriétés physiques d'un bassin versant. Les modèles spatialisés, utilisés en tant qu'outils de simulation, permettent de déterminer les conditions optimales d'aménagement et de gestion de la ressource en eau, et de prévoir les impacts tant des phénomènes naturels que des perturbations apportées par l'homme. Un autre point d'intérêt réside dans la possibilité de transposer des informations d'un bassin à un autre grâce à une paramétrisation des processus liée aux caractéristiques physiques du milieu. Les facteurs déterminants dans les mécanismes hydrologiques sont extrêmement variables dans leurs répartitions spatiale et temporelle ce qui rend la représentation mathématique de ces phénomènes très complexe. La recherche d'une schématisation de cette complexité est indispensable. Dans cet objectif, ce travail a été mené suivant deux axes :

— l'analyse de quelques processus et variables hydrologiques à différentes échelles spatio-temporelles : étude de la

fonction de transfert en rivière en fonction de la forme du réseau hydrographique, analyse de la morphologie du bassin versant à différentes échelles d'observation, évolution des caractéristiques du hyétogramme de la pluie à différents pas de temps. Pour cela, TraPhyC-BV, un Système d'Information Géographique spécialement orienté pour répondre aux exigences de l'hydrologie, a été élaboré :

— le développement d'un nouveau modèle hydrologique spatialisé (ModSpa), à concepts physiques simplifiés, capable d'intégrer le maximum de données cartographiques pour des applications sur micro-ordinateur. On traite séparément différents modules articulés autour du maillon central qu'est le modèle : la discrétisation spatiale, le bilan vertical, la fonction de transfert, le paramétrage et l'étalement.

Le bassin versant du Gardon d'Anduze ($S_o = 546 \text{ km}^2$), situé au Sud de la France, a été retenu pour les applications en raison de la qualité et de la quantité des données disponibles.

Spatially distributed hydrological model and geographical information system

The aim of this study is to develop a simple distributed hydrological model for predicting the effects of spatially variable inputs and outputs. The catchment of the Gardon d'Anduze (South of France, 542 km²) is selected as application case. First, we study the spatially distributed nature of input data. The geometric pattern of river network can be viewed as a « fractal » with a fractionnal dimension. This concept is also used to point out the self similarity in the temporal structure of rain at different time steps. New indexes, independent of the measurement scale, are defined. Then we discuss the structure of the hydrological model divided into modules: spatial discretization, parametrization (physically based: vegetation, topography, soil texture, etc...), vertical water budget (three-layer model), channel routing (geomorphological unit hydrograph), calibration and application.

1. Organigramme du logiciel TraPhyC-BV.

a. Le réseau de drainage.

b. Les isochrones.

c. Délimitation des sous-bassins versants.

d. Le couvert végétal.

2. Applications du logiciel TraPhyC-BV.

1. Analyse des données pour l'hydrologie

1.1. Objectif

L'utilisation de modèles spatialisés exige la connaissance de données géographiques spatialisées (géologie, pédologie, occupation du sol, imagerie satellitaire, télédétection, etc...) et de nombreuses données hydrologiques (précipitations, débit, évapotranspiration, niveau piézométrique, etc...). Il est donc primordial de pouvoir gérer, interpréter et combiner toutes ces données. Plusieurs logiciels de traitement de Modèles Numériques de Terrain [DEPRAETERE, 1989] et de gestion de données cartographiques et hydrologiques [FORTIN ET AL., 1990] ont été développés récemment. Cependant, peu d'outils permettent l'analyse des données spatialisées à différentes échelles d'observations. Comment structurer ces données diverses pour rendre leur utilisation adaptée à l'hydrologie de surface ?

Le cheminement de l'eau à la surface du bassin versant s'effectue en suivant le réseau hydrographique : c'est donc ce réseau qui doit constituer l'élément structurant du bassin versant. On peut distinguer sur chaque tronçon de rivière, une rive gauche et une rive droite. Le sous-bassin versant relatif à chaque rive est choisi comme cellule hydrologique de base. Pour répondre à ces besoins, un Système d'Information Hydrologique : TraPhyC-BV a été spécialement élaboré. La structure obtenue est fonction de l'échelle d'observation. Il s'agit alors de choisir l'échelle adéquate pour discrétiser l'espace (réseau hydrographique et sous-bassins versants) et le temps (choix du pas de temps). Pour cela, on a fait appel à la géométrie fractale pour analyser l'évolution de ces grandeurs avec l'échelle d'observation.

1.2. TraPhyC-BV : Un Système d'Information Hydrologique

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) fournit sur une grille régulière le relief d'une zone géographique. Le logiciel TraPhyC-BV (Traitement Physique et Caractéristiques des Bassins Versants) a été élaboré pour extraire des données du MNT les composantes de l'hydrologie : éléments du réseau de drainage et du réseau hydrographique, sous-bassins versants et caractéristiques hydrogéomorphométriques intervenant dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant (fig. 1).

En chaque maille, on définit les caractéristiques locales (altitude, pente, orientation, convexité, etc...), et on retient deux caractéristiques globales : la distance à l'exutoire et la surface du bassin versant amont. TraPhyC-BV peut aussi être utilisé pour le croisement des informations cartographiées (MNT ou fichiers dérivés, végétation, géologie, pédologie, etc...). La gestion de ces résultats ainsi que des autres données géographiques spatialisées est faite de façon à rendre leur utilisation mieux adaptée aux exigences de l'hydrologie. La figure 2 montre quelques résultats obtenus par TraPhyC-BV sur le bassin versant du Gardon d'Anduze :

- identification du réseau de drainage (fig. 2a) ;
- tracé des isochrones (fig. 2b) ;
- délimitation des sous-bassins versants (fig. 2c) ;
- superposition de la carte du couvert végétal et du réseau hydrographique (fig. 2d).

Le module TraPhyC-BV constitue à la fois un Système d'Information Hydrologique et un gestionnaire de Modèle Numérique de Terrain bien adapté aux exigences de l'hydrologie et peut être utilisé comme logiciel d'aide à l'interprétation. Des travaux fastidieux lorsqu'ils sont effectués manuellement (surface de bassin versant, pente, mesure des distances, etc...) peuvent, en principe, tous être confiés à ce logiciel. Cependant, une bonne connaissance des limites de l'outil est indispensable. Il est évident que le côté informatique du traitement implique des sacrifices aux dépens du temps de calcul. Plusieurs fois, les techniques de traitement du MNT butent sur les anomalies du fichier source du MNT. La précision sur le résultat final est liée aussi bien à la qualité des données qu'aux méthodes de calcul et aux techniques de lissage utilisées lors de la détermination du réseau de drainage.

1.3. Analyse fractale de la variabilité spatio-temporelle

À différentes échelles d'observation, les grandeurs hydrologiques étudiées présentent des structures très variables. MANDELBROT (1982) a introduit la notion de « fractal » pour quantifier l'évolution de la forme d'une grandeur avec l'échelle d'observation. L'utilisation de la géométrie fractale a pour objectif la définition de nouveaux descripteurs de forme indépendants de la jauge de mesure.

a. Dans l'espace : Le réseau hydrographique et les sous-bassins versants

La réflexion va porter sur la complexité du transfert via le réseau de drainage. En hydrologie, les grandeurs essentielles sont : le débit en un point du réseau et le temps mis pour atteindre l'exutoire. La notion de débit (Q) a conduit à choisir un débit caractéristique quelconque dont le premier facteur explicatif est la surface drainée (S) à l'amont d'un point donné, ce qui fournit une représentation paramétrique $Q = Q(S)$. Le réseau hydrographique est défini à partir du réseau de drainage tronqué de façon à ce que tous les points « sources » aient un bassin versant amont d'une surface seuil S (fig. 3). S est l'échelle ou la jauge d'observation. Pour un seuil S donné, le réseau peut être caractérisé par :

- le nombre de points extrémités N qui dépend de S (notation $N(S)$, fig. 4a) ;
- sa longueur totale $L(S)$, (fig. 4b) ;
- la longueur du drain le plus long $\Omega(S)$.

Les techniques fractales permettent d'établir des relations $N = f(L)$, $N = g(\Omega)$ indépendantes de la jauge S et caractérisées par des constantes : coefficient de bifurcation

$S = 0.5 \text{ km}^2$
 $N = 188$; $L = 357 \text{ km}$; $\Omega = 40 \text{ km}$

$S = 1 \text{ km}^2$
 $N = 120$; $L = 271 \text{ km}$; $\Omega = 39 \text{ km}$

$S = 5 \text{ km}^2$
 $N = 22$; $L = 136 \text{ km}$; $\Omega = 37 \text{ km}$

$S = 10 \text{ km}^2$
 $N = 10$; $L = 108 \text{ km}$; $\Omega = 36 \text{ km}$

3. Réseau hydrographique à différents seuils de troncature S .

a. Relation $N(S)$.

b. Relation $L(S)$.

4. Analyse morphologique fractale du bassin versant du Gardon d'Anduze.

(α), coefficients d'allongement (β et β') [MOUSSA et BOCQUILLON, 1993].

b. Dans le temps : Le hyétogramme de pluie

L'analyse d'une série continue d'intensités pluvieuses avec un pas de temps variable allant de la minute à la semaine fait apparaître la structure temporelle fractale du phénomène. Cette étude comporte deux phases, d'une part l'analyse de l'occurrence de la pluie et d'autre part d'étude de la forme du hyétogramme paramétrée par un nouveau descripteur : le périmètre de la pluie. Deux séries chronologiques de précipitations ont été analysées :

— Le Réal Collobrier sur 23 ans au pas de trente minutes à une semaine.

— Le district de Nancy sur 3 ans au pas de cinq minutes à une semaine.

Malgré le biais introduit par la discrétisation, les hyétogrammes, considérés à différents pas de temps, montrent une évolution fractale aussi bien en ce qui concerne les occurrences que le périmètre [MOUSSA et BOCQUILLON, 1991].

c. Conclusion

La géométrie fractale s'avère bien adaptée pour décrire l'évolution d'une grandeur donnée en fonction de l'échelle de mesure. Contrairement aux descripteurs traditionnels de forme — dépendant de la jauge de mesure —, la dimension fractale caractérise la structure indépendamment de l'échelle de l'étude. De nouveaux descripteurs indépendants de l'échelle de mesure ont pu alors être proposés (α , β , β' , ellipse équivalente, formulation des pentes, périmètre et occurrence de la pluie).

Cependant le traitement fractal des grandeurs demeure un traitement global des données. Les nouveaux descripteurs sont utiles pour classer les grandeurs mesurées (arborescence du réseau, sous-bassins versants, séries pluviométriques, etc...). Il sera par exemple intéressant de comparer les dimensions fractales de grandeurs observées à celles générées à partir de modèles statistiques. Mais, un grand effort reste à faire pour déterminer l'incidence sur la réponse hydrologique de la valeur de la dimension fractale.

2. La modélisation hydrologique spatialisée

2.1. Analyse bibliographique

Dans la littérature, les processus hydrologiques particuliers sont traités en détail : évapotranspiration réelle, écoulement en milieu non saturé, écoulement de nappe, ruissellement de surface, propagation d'onde, etc... Mais le plus souvent les interactions entre ces différents processus ne sont pas prises en compte. L'application de modèles, intégrant l'ensemble des processus en interaction, est rare sur des bassins réels, mais on peut cependant analyser quelques

modèles spatialisés qui ont atteint un stade avancé de développement.

Ces modèles, proviennent d'écoles hydrologiques diverses et présentent des structures extrêmement différentes. Ils ont été développés afin d'atteindre un objectif bien identifié (avec un processus décrit finement) : agrohydrologie (modèle de la plante) [ACRU, SCHULZE, 1989], simulation du front d'infiltration dans le sol (milieu non saturé) [SWATCH, MOREL-SEYTOUX et ALHASSOUN, 1987], simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains (modèle conceptuel à maillage différent pour le souterrain et la surface) [Modèle couplé, GIRARD et al., 1981], identification des zones saturées (utilisation d'un indice topographique calculé à partir des MNT) [TOPMODEL, BEVEN et al., 1979]. Le modèle SHE [ABBOTT et al., 1988] traite avec une extrême finesse tous les processus ce qui requiert un grand nombre de données, un outil de calcul performant et un opérateur expert.

Le Modèle Spatialisé (ModSpa) se différencie en proposant une structure où tous les processus hydrologiques sont modélisés aussi simplement que possible, avec le même niveau de finesse, pour des applications sur micro-ordinateur, tout en intégrant le maximum de données hydrologiques spatialisées courantes (Modèles Numériques de Terrain, végétation, sol, télédétection, etc...). Pour cela le modèle est élaboré sur la base de principes déterministes simplifiés ou d'approches conceptuelles, avec une paramétrisation liée aux grandeurs physiques mesurées ou potentiellement mesurables.

2.2. Structure du modèle

Il s'agit d'un modèle hydrologique spatialisé dans lequel chaque processus hydrologique est modélisé selon une approche modulaire indépendamment des autres processus, mais où la complémentarité et la comptabilité entre les modules sont assurées [FORTIN et al., 1990].

La figure 5 montre l'interconnexion entre ModSpa et les autres modules de structuration et d'analyse des données hydrologiques. Chaque versant ou sous-bassin est traité par un module de bilan hydrologique du sol, qui divise l'épaisseur verticale en trois couches (surface, sol, sous-sol) et qui répartit l'eau entre ses différentes destinations (ruissellement, écoulement de subsurface, écoulement de nappe). Un module de transfert de surface achemine vers l'exutoire l'eau produite par chaque versant élémentaire.

a. Le bilan vertical (fig. 6a)

Le mouvement de l'eau dans le sol est caractérisé par la perméabilité et le potentiel matriciel. Ces deux variables sont déterminées en fonction des caractéristiques du sol : teneur en eau du sol, teneur en eau résiduelle, teneur en eau à saturation, conductivité hydraulique à saturation. L'évapotranspiration réelle (ETR) est calculée en tenant compte de l'interaction sol-eau-plante : elle dépend des caractéristiques du couvert végétal (indice foliaire, profondeur de la zone racinaire) et du sol (teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement). Le ruissellement de

5. Interconnexion entre le modèle hydrologique, les données cartographiques, et les données hydrologiques.

6. Structure du modèle spatialisé ModSpa.

Discretisation du bassin versant.

Réponse élémentaire de chaque sous-bassin.

7. L'Hydrogramme Unitaire Géomorphologique.

Etude par événement.

Simulation en continu.

8. Mode de fonctionnement de ModSpa.

surface et l'écoulement de subsurface (calculé à partir du gradient des teneurs en eau du sol sur le versant) s'effectuent parallèlement à la surface du sol. La vidange de la nappe suit une loi exponentielle à un paramètre : le coefficient de tarissement. Le bilan vertical fait usage des données concernant les précipitations et l'évapotranspiration potentielle (ETP). Ce module calcule le bilan hydrologique sur chaque cellule ce qui aboutit aux résultats suivants : La lame d'eau évaporée, l'eau disponible pour le ruissellement, les écoulements de subsurface et de nappe et les teneurs en eau dans les couches du sol.

b. Le transfert (fig. 6b)

Le transfert de l'eau en rivière s'effectue en suivant l'arborescence du réseau hydrographique. Connaissant l'hydrogramme à l'entrée de chaque tronçon de rivière, on se propose de calculer l'hydrogramme de sortie, en intégrant les apports latéraux, calculés sur chaque cellule hydrologique par le module « bilan vertical ».

Le système d'équations régissant ce transfert est le système de Barré de Saint-Venant qui se réduit, dans le cas des écoulements de crue, à l'équation de l'onde diffusante à deux paramètres : la célérité (c) et la diffusion (σ). Plusieurs schémas numériques de résolution de cette équation existent dont la précision et la validité dépendent de la forme de l'hydrogramme d'entrée, des paramètres c et σ , des apports latéraux, de l'algorithme retenu et des pas de calcul numérique choisis (pas d'espace et de temps).

On propose un nouveau schéma numérique (appelé « balayage suivant l'axe t ») mieux adapté à la propagation dans une structure ramifiée, s'accommodant d'un pas de discrétisation spatiale variable et minimisant le temps de calcul. Pour un couple (c , σ) donné, la propagation dans le réseau hydrographique d'une impulsion pluviale (unitaire sur le bassin versant) permet de calculer un hydrogramme unitaire géomorphologique et les sous-hydrogrammes unitaires. On définit ainsi la fonction de transfert de chaque cellule hydrologique (fig. 7).

3. Applications

3.1. Paramétrage

La discrétisation spatiale du domaine d'étude et la distribution spatiale des variables sont totalement liées et dépendent de la quantité et de la qualité des données et de l'objectif de la modélisation. Les caractéristiques du sol (teneurs en eau, conductivité hydraulique, épaisseurs des couches, etc...) sont soit mesurés in situ soit estimés en fonction de la texture du sol. Les variables qui régissent l'ETR sont liées à la végétation et estimées à partir des classes d'occupation du sol (indice foliaire, épaisseur de la zone racinaire, etc...). La morphologie, analysée à partir des MNT, renseigne d'une part pour le versant, sur sa surface, sa pente et sa largeur moyenne et d'autre part, pour la rivière, sur les longueurs et les pentes des tronçons. Les paramètres célérité et atténuation peuvent se calculer à partir de la connaissance précise de la géométrie des tronçons (pente, largeur de la rivière, profondeur, rugosité), dont certains éléments peuvent être calculés à partir des MNT.

3.2. Étalonnage

Le modèle peut fonctionner avec un pas de temps de discrétisation variable que l'on peut éventuellement choisir différent pour le bilan vertical et pour le transfert. L'étalonnage est effectué en deux étapes sur deux séries de données :

— simulation en continu : il s'agit de prendre une série continue de données (une année ou une période) et d'ajuster le bilan hydrologique. Pour cela, on procède à une comparaison entre le volume mesuré à l'exutoire et la somme de l'infiltration et du ruissellement calculée par le modèle. Le réglage s'effectue en modifiant les paramètres régissant l'ETR ;

— étude par événement : ces événements correspondent aux épisodes de crues où des données de pluie et de débit sont disponibles à un pas de temps fin (une ou deux heures). Dans ce cas, l'état initial du sol constitue le facteur principal qui influence la réponse du bassin versant. Il s'agit d'ajuster la répartition entre l'infiltration et le ruissellement. Cet ajustement n'est possible que si l'on est capable de distinguer entre ces deux types d'écoulement. Les paramètres de drainage (conductivité hydraulique, coefficient de tarissement, etc...) permettent le réglage de ces deux composantes.

3.3. Application

Les données disponibles sur le bassin versant du Gardon d'Anduze (546 km²) à Anduze et de la Salindrenque (54 km²) à Malérargues correspondent aux données de

sept pluviomètres et deux limnigraphes sur une période de sept ans (1977-1983) au pas de temps journalier, et sur 25 épisodes de crues (de 72 heures en moyenne) au pas d'une heure. Les données cartographiques disponibles pour estimer les paramètres du modèle : MNT de la région, carte d'occupation du sol (*carte de l'Inventaire Forestier National*), carte de géologie, carte de pédologie (*carte INRA*). Les simulations sont faites avec une subdivision en 80 sous-bassins sur le Gardon d'Anduze et 8 sous-bassins sur la Salindrenque (fig. 2c).

En application, le modèle a été calibré en deux étapes sur deux séries de données : d'abord par événement (*à un pas de temps horaire*) pour ajuster les paramètres de drainage, puis en continu (*à un pas de temps alterné journalier et horaire*) pour ajuster le bilan global. La période de 1977 à 1979 a servi pour l'étalonnage du modèle et celle de 1980 à 1983 pour sa validation (fig. 8).

Conclusions

Un modèle spatialisé tel que ModSpa constitue un outil de simulation essentiel pour la gestion de la ressource en eau pour différents types d'usages de l'eau. En effet, tenir compte de la variabilité spatiale permet d'identifier plusieurs domaines d'application : influence de la variabilité spatiale des variables d'entrée sur les débits à l'exutoire, effets d'une modification de l'occupation du sol par évolution naturelle de la végétation, par déforestation, etc... En résumé, ce travail a permis de concevoir :

- TraPhyC-BV : Un Système d'Information Hydrologique pour structurer toutes les informations spatiales et un gestionnaire de Modèle Numérique de Terrain qui en extrait le réseau hydrographique, les sous-bassins versants et leurs caractéristiques.

- ModSpa : Un modèle hydrologique spatialisé modulaire et adaptable qui a pour particularités :

- de fonctionner à des pas de temps variables que l'on peut choisir différents pour le module du bilan vertical et le module de transfert ;

- de n'utiliser que des grandeurs physiques mesurées ou potentiellement mesurables : caractéristiques du sol, de la végétation et de la morphologie du bassin versant ;

- de proposer un modèle de bilan hydrique des versants

à trois couches de sol qui prend en compte l'influence de la végétation sur l'ETR, traite des échanges entre les différentes couches et des flux latéraux, de surface, de subsurface et de nappe ;

- de proposer une fonction de transfert (Hydrogramme Unitaire Géomorphologique) dont les paramètres célérité et atténuation peuvent se calculer à partir de la connaissance précise de la géométrie des tronçons. Cette fonction de transfert est utilisable non seulement comme un modèle linéaire, mais aussi en faisant varier les paramètres en fonction du débit ;

- de mettre en œuvre une nouvelle méthode numérique : Une solution de l'équation de l'onde diffusante par un schéma numérique aux différences finies bien adapté au transfert dans un réseau ramifié.

D'autre part, l'utilisation de la géométrie fractale a permis de caractériser par de nouveaux descripteurs indépendants de l'échelle de l'observation, aussi bien dans l'espace pour le réseau hydrographique et les sous-bassins versants que dans le temps pour les hyétogrammes de pluie. Cette analyse fractale pourrait contribuer à mieux comprendre l'hétérogénéité et la complexité d'une grandeur à différentes échelles.

Bibliographie

- ABBOTT M. B., BATHURST J. C., CUNGE J. A., O'CONNELL P. E. and RASMUSSEN J., 1988. — An introduction to the European Hydrologic System — Système Hydrologique Européen, SHE. *Journal of Hydrology*, 87, pp. 45-59 and pp. 61-77.
- BEVEN K. J. and KIRKBY M. J., 1979. — A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences — Bulletin — des Sciences Hydrologiques*, 24, 1, pp. 43-69.
- DEPRAETERE C., 1989. — *LAMONT: Logiciel d'Application des Modèles Numériques de Terrain*. Notice OVNIh du laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, n° 4, 128 p.
- FORTIN J. P., VILLENEUVE J. P. and BOCQUILLON C., 1990. — HYDROTEL, PHYSITEL and IMATEL: an integrated application of remote sensing and GIS to hydrological modeling on microcomputer. *International Symposium on Remote Sensing and Water Ressources*, 20-24 August, Enschede, The Netherlands.
- GIRARD G., LEDOUX E. et VILLENEUVE J. P., 1981. — Le modèle couplé, simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un système hydrologique. *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie*, vol. XVIII, n° 4, pp. 195-280.
- MANDELBROT B. B., 1982. — *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman and Co, San Francisco, 460 p.
- MOREL-SEYTOUX H. J. and ALHASSOUN S. A., 1987. — *SWATCH, Swiss watershed model for simulation of surface and subsurface flows in stream-aquifer system*. Department of Civil Engineering, Colorado State University, 297 p.
- MOUSSA R., 1991. — *Variabilité spatio-temporelle et modélisation hydrologique. Application au bassin versant du Gardon d'Anduze*. Thèse de doctorat à l'Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, 314 p.
- MOUSSA R. et BOCQUILLON C., 1993. — Morphologie fractale du réseau hydrographique. *Hydrological Sciences — Journal — des Sciences Hydrologiques*, 17 p. (à paraître).
- MOUSSA R. et BOCQUILLON C., 1991. — Caractérisation fractale d'une série chronologique d'intensité de pluie. École des Mines de Paris, *Actes des Rencontres hydrologiques Franco-Roumaines*, Paris, 7 p.
- SCHULZE R. E., 1989. — *ACRU: Agricultural Catchment Research Unit. Background, concepts and theory*. Report of the Water Research Commission n° 154/1/89, department of Agricultural Engineering, University of Natal.

INP Formation continue, Toulouse

Stages

LA POLLUTION ET LE TRAITEMENT DES EAUX PLUVIALES

Date : 16 au 18 novembre 1993

Prix : 3.000 F

LES SCHEMAS D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX

Date : 16 au 17 novembre 1993

Prix : 1.800 F

LE MONTAGE DES DOSSIERS EN MATIERE D'ASSAINISSEMENT

Date : 1er au 2 décembre 1993

Prix : 2.000 F

OUTILS POUR UNE MEILLEURE MAITRISE DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL

Date : 23 au 25 novembre 1993

Prix : 3.300 F

LES EAUX SOUTERRAINES : CAPTAGES - PRODUCTION - GESTION

Date : 23 au 24 novembre 1993

Prix : 2.800 F

TRAITEMENT ET VALORISATION DES BOUES URBAINES

Date : 3 au 5 novembre 1993

Prix : 2.900 F

LE PRIX DE L'EAU

Date : 3 au 4 novembre 1993

Prix : 2.400 F

MICROPOLLUANTS ET TRAITEMENTS D'AFFINAGE DES EAUX D'ALIMENTATION

Date : 3 au 4 novembre 1993

Prix : 2.800 F

MANAGEMENT DE L'ENVIRONNEMENT EN ENTREPRISE

Date : 30 novembre au 1er Décembre 1993

Prix : 2.400 F

Pour tous renseignements et inscriptions, s'adresser à :

IN.P. FORMATION CONTINUE

6, Allée Emile Monso

B.P. 4038

31029 TOULOUSE CEDEX

Tél. : 62.24.21.00

Fax : 62.24.21.01