

# **Modèles PROSE et SENEQUE : établissement de versions de référence applicables aux études de gestion**

**Stéphanie EVEN, Michel POULIN** (CIG, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau)

**Gilles BILLEN, Josette GARNIER** (UMR Sisyphe)

Les modèles du PIREN Seine, aux objectifs complémentaires, sont en évolution permanente alors qu'il est nécessaire de disposer à un instant donné de versions validées et stabilisées traduisant l'état de l'art de notre compréhension des phénomènes. Les objectifs du groupe transversal modélisation, constitué de modélisateurs participants aux travaux des différents thèmes de recherche, sont donc, de veiller au développement cohérent des différents modèles, de s'assurer que les transitions entre les différentes échelles d'investigation sont convenablement traitées (les conditions aux limites d'un modèle local doivent par exemple pouvoir être fournies par un modèle de plus grande extension géographique), et également d'aboutir à des versions validées opérationnelles des modèles. Pour faciliter le transfert vers les utilisateurs de ces modèles, il a été décidé de mettre au point des versions des modèles du PIREN Seine s'appuyant, au moment de leur diffusion, sur l'état de l'art des connaissances et présentant un degré de mise au point, de validation et de robustesse, suffisant pour permettre leur utilisation dans le cadre d'applications à la gestion. Ces versions, qui seront actualisées à intervalle régulier, seront documentées par une notice descriptive et un manuel utilisateur.

Les notices de présentation des versions actualisées fin 1998, citées en référence (EVEN S. et al., 1998 ; BILLEN G. et al., 1998), figurent *in extenso* dans le CD-ROM qui contient ce rapport et les annexes. Les modèles PROSE 2.0 et SENEQUE 1.3, dans leurs versions actuellement opérationnelles, ont été présentés début décembre 1998 lors d'un atelier modélisation organisé par l'Ecole des Mines de Paris sur le site de Fontainebleau. Des applications du logiciel SENEQUE sont décrites dans le rapport du thème 1. Des applications de PROSE sont décrites dans le présent rapport. Nous décrivons brièvement les caractéristiques et les domaines d'utilisations de ces modèles.

## **1. Version 2.0 du modèle PROSE**

Le logiciel PROSE permet de simuler l'évolution de la qualité de l'eau dans un réseau hydrographique comprenant un nombre quelconque de rivières organisées en arborescence ou en réseau (tressé), chaque tronçon pouvant lui-même être constitué de plusieurs bras (EVEN S., 1995 ; EVEN S. et al., 1998).

PROSE comprend les modules suivants :

- simulation du comportement hydraulique des cours d'eau,
- simulation du transport par convection et dispersion longitudinale,
- transport et diagenèse des particules,
- résolution des équations qui décrivent le fonctionnement écologique d'un écosystème aquatique.

### **1.1. Le module hydraulique**

Le module hydraulique résout les équations mono dimensionnelles complètes de Saint Venant pour un ensemble de cours d'eau. Le domaine d'étude est décrit comme un ensemble de biefs constitués de mailles. Les singularités, ruptures de pente du profil en long, seuils, barrages, ouvrages de répartition, sont des limites de biefs. Chaque bief est découpé en mailles. La maille est un volume élémentaire caractérisé par un profil en travers et une longueur, où la concentration d'un variable dissoute est homogène.

L'ajustement du modèle hydraulique consiste à déterminer pour chaque bief la valeur d'un coefficient de frottement de Strickler, valeur variant avec le débit.

Le modèle permet de simuler des situations hydrauliques permanentes ou transitoires .

### **1.2. Le module transport**

Un constituant, dissous ou particulaire, encore appelé variable d'état, est transporté à la vitesse de l'eau par convection. Il est de plus soumis à des processus de mélange par diffusion moléculaire, diffusion turbulente et convection différentielle. Ces processus sont regroupés sous la forme d'un terme de dispersion unique. Le modèle de transport se fonde sur la résolution d'une équation différentielle comprenant une partie convective et une partie dispersive.

La résolution de la partie convective de cette équation génère dans certaines situations une dispersion numérique parasite susceptible de masquer la dispersion réelle. Les schémas numériques qui génèrent peu de dispersion numérique consomment plus de temps calcul. Plusieurs schémas numériques sont donc proposés qui permettent de simuler les processus de transport en minimisant le temps de calcul tout en garantissant une précision acceptable.

En rivière, le module de transport d'un modèle mono dimensionnel ne peut s'appliquer en toute rigueur qu'en dehors du champ proche d'un rejet, c'est-à-dire lorsque l'homogénéité verticale et transversale est obtenue. Toutefois, si les processus qui lient les variables d'état en interaction peuvent être considérés comme approximativement linéaires, la schématisation mono dimensionnelle peut être considérée comme une approximation suffisante, y compris dans le champ proche. Dans le cas contraire, lorsqu'il est nécessaire de rendre compte de processus fortement non linéaires, il est nécessaire de mettre en œuvre un modèle bi ou tri dimensionnel. Les modèles à tubes de courant peuvent constituer des alternatives intéressantes. A l'aval du rejet d'Achères nous mettons en œuvre le logiciel TELEMAC 2D afin d'interpréter les données de campagnes de terrain et les mesures en continu en cours d'acquisition. Le logiciel aidera à l'identification des processus d'interaction entre phases dissoute et particulaire et permettra de simuler de manière plus réaliste l'action des bactéries sur la matière organique, dissoute et particulaire (MARTIN L. et al., 1998). Cette action est décrite dans le thème 6 « Transport, dépôt et érosion des particules ».

### **1.3. Le module transport et diagenèse des particules**

Le modèle PROSE permet de simuler le transport, la sédimentation, l'érosion et l'évolution diagénétique de plusieurs classes de particules. Chaque classe de particules est caractérisée par une vitesse de sédimentation. L'érosion est liée aux caractéristiques de l'écoulement. Sédimentation et érosion sont continus et simultanés. En période de faible débit, la navigation contribue de manière significative à la resuspension des particules déposées.

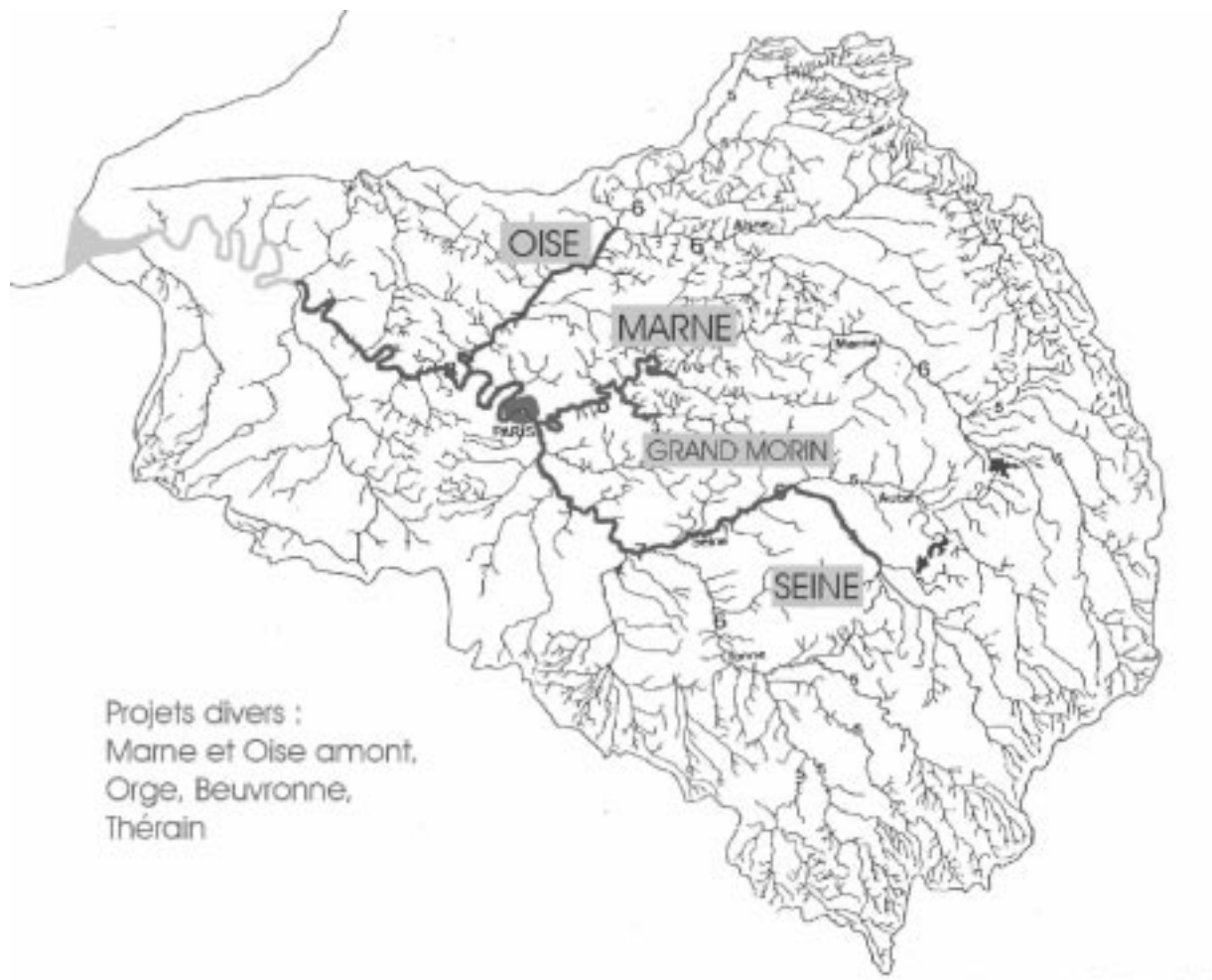
Le modèle PROSE simule le comportement biochimique d'une couche de vase dont la composition en classes de particules, matière organique, bactéries évolue en fonction du temps. Les processus biochimiques dans la vase sont identiques à ceux de la colonne d'eau.

#### 1.4. Le module fonctionnement écologique

Les équations sont celles du schéma conceptuel RIVE (GARNIER J. et al., 1995). Les variables d'état comprennent des compartiments biologiques, phytoplancton (plusieurs espèces ou groupes d'espèces), bactéries (plusieurs types), biochimiques, cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et l'oxygène dissous. A l'intérieur d'une maille élémentaire (quelques dizaines à quelques centaines de mètres de longueur) les concentrations sont homogènes. Ces équations sont résolues en régime transitoire, avec un pas de temps de quelques minutes si nécessaire à quelques heures.

#### 1.5. Applications de PROSE

Le modèle a été appliqué à plus de 900 kilomètres de rivières du bassin de la Seine (Fig. 6). L'acquisition des données se poursuit sur les rivières principales du bassin ainsi que sur des petites rivières dans le but d'étudier une large gamme de contextes écologiques. Il peut simuler le fonctionnement écologique de ces cours d'eau sur des périodes de plusieurs années au pas de temps horaire.



**Figure 6 :** *domaine d'application actuel de PROSE*

PROSE a également été utilisé pour simuler l'impact des rejets des réseaux d'assainissement de l'agglomération parisienne par temps sec et par temps de pluie. Ces simulations ont été effectuées dans le cadre des travaux du PIREN Seine et d'une étude diagnostic portant sur les réseaux d'assainissement

du centre de l'Ile de France. L'agglomération parisienne est découpée en un ensemble de sous-bassins (Fig. 7) dont les effluents parviennent aux rivières Seine et Marne en période de fortes pluies. Plusieurs centaines de points de déversements ont été répertoriés. Un logiciel d'hydraulique urbaine permet de calculer les hydrogrammes, débit en fonction du temps, et les pollutogrammes, concentrations de polluants en fonction du temps, qui sont traités comme des apports ponctuels aux mailles de calcul de PROSE.

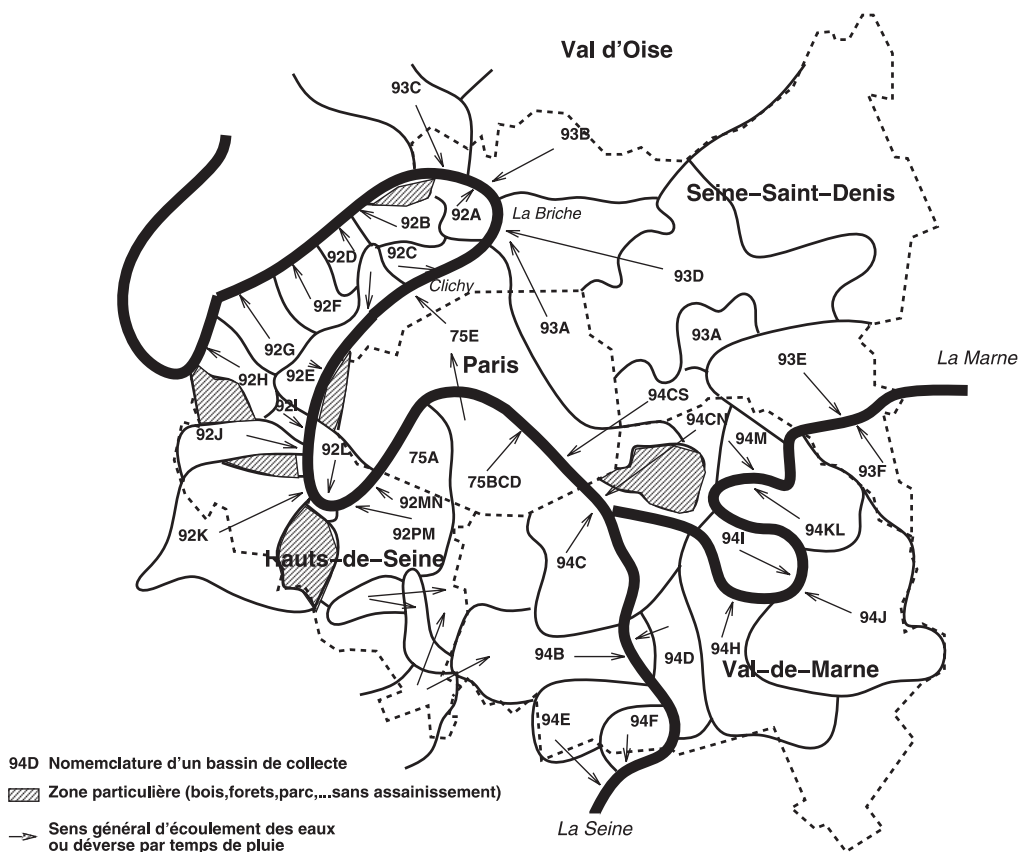


Figure 7 : PROSE, impact des Rejets Urbains de Temps de Pluie

## 2. Version 1.3 du modèle SENEQUE

SENEQUE calcule les évolutions géographiques et saisonnières, avec une résolution temporelle décadaire, du débit, de la qualité de l'eau et du fonctionnement écologique du réseau hydrographique de la Seine, y compris ses annexes hydrauliques. Les informations à fournir au modèle concernent la morphologie du bassin, les usages du sol et pratiques agricoles, les rejets ponctuels d'eaux usées, la pluviométrie, la température de l'eau et l'éclairement.

## 2.1. Champ géographique et description morphologique

SENEQUE couvre l'ensemble du réseau hydrographique de la Seine et de ses annexes. Il distingue 4 types d'objets (Fig. 8) :

- le réseau hydrographique des grands sous-bassins au nombre de 4 pour SENEQUE 1.3 (de 15 pour SENEQUE 2.0 en développement). L'écoulement dans le réseau hydrographique de chacun de ces sous-bassins est schématisé par un transfert d'eau entre des réservoirs en cascade, chacun de ces réservoirs étant constitué de l'ensemble des rivières de même ordre (au sens de Strahler).
- des étangs répartis dans ces réseaux hydrographiques,
- des grands réservoirs en connexion, gérés individuellement
- un axe fluvial principal recevant les exutoires des grands sous-bassins.

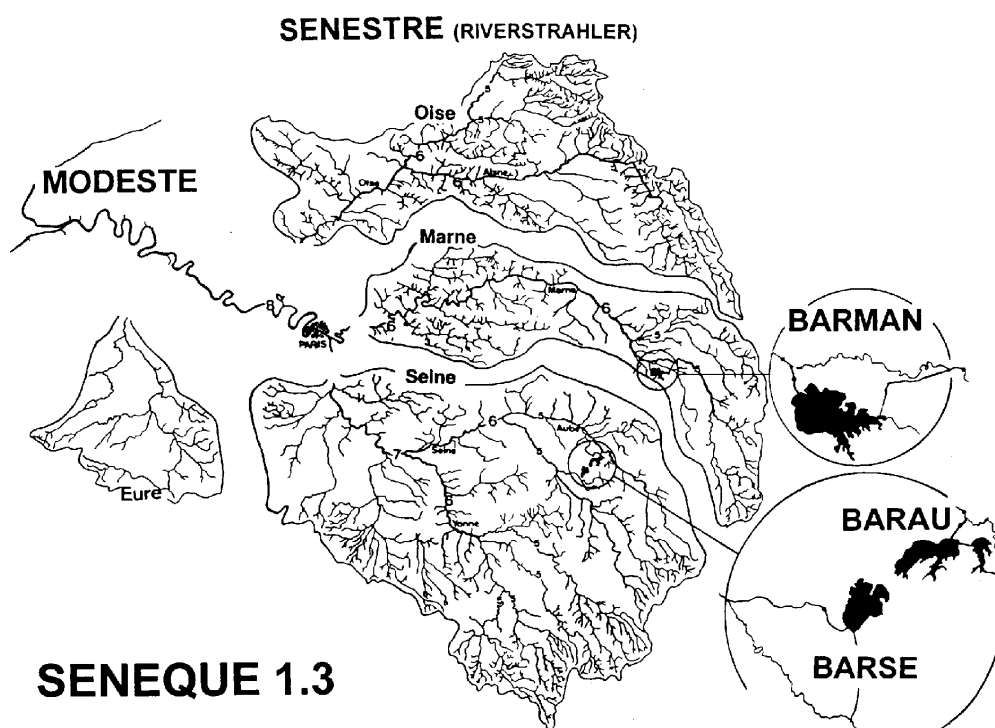


Figure 8 : domaine d'étude de SENEQUE 1.3

## 2.2. Variables d'état et processus pris en compte

Les variables d'état et les processus sont ceux du schéma conceptuel RIVE (GARNIER J. et al., 1995). Les variables d'état comprennent des compartiments biologiques, phytoplancton (plusieurs espèces ou groupes d'espèces), bactéries (plusieurs types), biochimiques, cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et l'oxygène dissous. Les paramètres caractéristiques de la physiologie des organismes vivants et des réactions biogéochimiques sont supposés invariants sur l'ensemble du bassin. Ils sont déterminés expérimentalement en laboratoire ou *in situ*. Les hétérogénéités de répartition observées dans le bassin résultent donc uniquement des contraintes physiques et hydrologiques exercées par le milieu, étangs, lacs, rivières, sur les variables biogéochimiques.

### **2.3. Les modules de SENEQUE**

- SENESTRE calcule la qualité de l'eau dans le réseau hydrographique des sous-bassins.
- BARMAN, BARAU et BARSE calculent la qualité de l'eau dans les barrages réservoirs.
- MODESTE calcule celle de l'axe principal de la Seine d'Orly à Caudebec.

### **2.4. Applications de SENEQUE**

SENEQUE fournit une première vision générale du bilan d'azote dans le réseau hydrographique de la Seine à l'échelle du bassin (BILLEN G. et al., 1998). Les applications du modèles SENEQUE 1.3 et quelques résultats de SENEQUE 2.0 sont rapportées dans le chapitre relatif aux actions de recherche du thème 1 « Apports diffus de nitrates et de pesticides ».

## Références bibliographiques

BILLEN G., GARNIER J., Le GUERN G. (1998). SENEQUE 1.3, notice de présentation, Programme PIREN Seine, UMR Sisyphe.

EVEN S. (1995). Modélisation d'un écosystème fluvial : la Seine. Le modèle PROSE, thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris

EVEN S., POULIN M. (1998). Etablissement de la version 2.0 du modèle PROSE, notice de présentation et notice utilisateur, Contribution du Centre d'Informatique Géologique de l'Ecole des Mines de Paris aux rapports du Programme de recherche Piren Seine, Rapport Ecole des Mines de Paris LHM/RD/98/64.

GARNIER J., BILLEN G., COSTE M. (1995). Seasonal succession of diatoms and chlorophyceae in the drainage network of the river Seine : observations and modeling, *Limnol. Oceanogr.* 40(4), 750-765

MARTIN L., GUESMIA M., EVEN S., POULIN M., PERON S. (1998). Modélisation hydraulique et hydrodispersive bidimensionnelle en Seine, applications du logiciel TELEMAC-2D à l'aval d'Achères, Contribution du Centre d'Informatique Géologique de l'Ecole des Mines de Paris au Programme de recherche PIREN Seine, Rapport Ecole des Mines de Paris LHM/RD/98/65.

POULIN M., EVEN S., BILLEN G., MOUCHEL J.M., GARNIER J., LEVASSOR A., LEVIANDIER T. (1998). Chapitre 16 « Modèles : des processus au bassin versant », pages 679-720, La Seine en son bassin, MEYBECK M. éditeur scientifique, Elsevier, 749 p.

RENAUD J.P. (1998). Modélisation hydrodynamique de petits cours d'eau : le Grand-Morin et la Beuvronne, rapport de stage de l'option Sciences de la Terre et Environnement de l'Ecole des Mines de Paris, Rapport Ecole des Mines de Paris LHM/RD/98/36.

TAJJAR M.H. (1993). Modélisation de l'hydrodynamique des échanges nappe-rivière. Simulation d'une lâchure expérimentale en Seine en période d'étiage, thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris

Sommaire  général

**Groupe de travail B :  
Modélisation,  
gestion des modèles et des bases de données**

**Bases de données spatialisées**

**Modèles PROSE et SENEQUE : établissement de  
versions de référence applicables aux études de gestion**

**Modélisation du comportement hydraulique du Grand Morin et  
de la Seine amont à l'aide du logiciel PROSE**

**Présentation du logiciel ProSe, version 2.0**

**SENEQUE 1.3 : notice d'utilisation**