

Seneque/Riverstrahler: progrès réalisés et perspectives de développement

Gilles Billen^{1*}, Vincent Thieu¹, Marie Silvestre¹, Marie Thouvenot², Josette Garnier¹.

¹ UMR Sisyphe, CNRS-UPMC, Paris, France eMail : billen@ccr.jussieu.fr

² Water Resources Engineering, Helsinki University of Technology, P.O. Box 5200, FIN-0215 HUT, Finland

* personne à contacter

1. Introduction

Au cours de l'année 2007, le nombre des utilisateurs du logiciel Seneque/Riverstrahler s'est grandement accru, tant dans le milieu de la recherche que de la gestion. Plusieurs personnes sont intervenues directement sur le code qui a ainsi bénéficié de nombreuses améliorations et d'un élargissement sensible de ses fonctionnalités, au point que la « résurrection de Sénèque » a inspiré à Jacques Louis David un chef d'œuvre posthume (Fig. 1). En même temps, certaines limites de la version actuelle du logiciel apparaissent clairement.



Figure 1. *La Résurrection de Sénèque*, par Jacques Louis David. Tableau présenté au Concours de l'Académie lors de la Fête des Dix-Huit Ans du PIREN-Seine sur la Baleine Blanche, le 27 avril 2007.

Le moment semble donc venu de s'interroger sur les évolutions possibles du logiciel, sur sa place dans l'ensemble des outils du PIREN-Seine et sur les développements à la fois logiciels (☞) et conceptuels (☞) qui seront nécessaires. L'objet de cette note est d'amorcer cette réflexion collective.

2. La base de données spatialisée sur le bassin versant

Aujourd'hui, Sénèque proprement dit n'est qu'une des pièces d'un ensemble de logiciels et de bases de données qui permettent de décrire le fonctionnement biogéochimique d'un bassin versant (Figure 2).

A la base de cet ensemble figure un jeu de données relatif à l'espace de ce bassin versant. La caractéristique principale de ce jeu de données est sa structuration, en ce qui concerne une part importante de l'information, selon un découpage de l'espace en bassins versant élémentaires, représentant l'aire drainé par chaque tronçon de cours d'eau entre deux confluences (ou le bassin versant de chaque cours d'eau d'ordre 1). Le codage Verdin de ces bassins versants élémentaires (et du drain qu'ils contiennent) permet de délimiter facilement l'espace situé en amont d'un point quelconque du réseau hydrographique.

Le logiciel **AIPréshume**, décrit par ailleurs (Silvestre et Billen, ce rapport), utilise une base de données en partie commune à Sénèque, à laquelle s'ajoutent des données statistiques (population, agriculture) définies le plus souvent par entités administratives. **Hydrocal** est un logiciel de calcul hydrologique permettant de calculer de manière semi-spatialisée les écoulements (superficiels et phréatiques) par sous-bassins à partir des données hydrométéorologiques (pluviométrie, évapotranspiration potentielle). **BarMan** est un logiciel de calcul du fonctionnement biogéochimique des réservoirs.

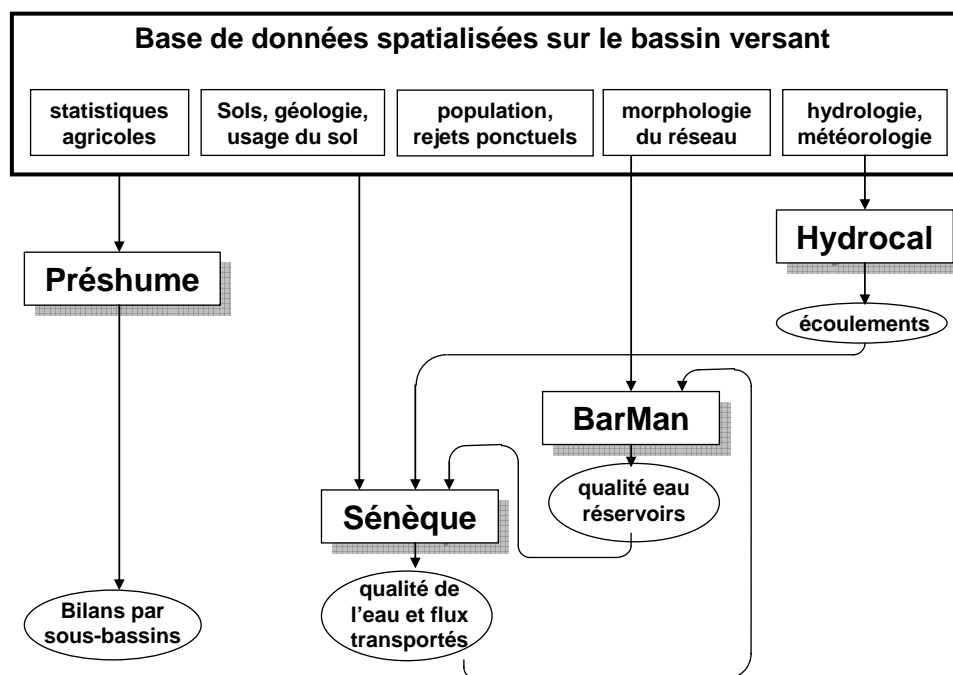


Figure 2. Ensemble des logiciels actuellement développés dépendants de la même base de données spatialisée que Sénèque.

Des jeux de données Sénèque opérationnels ont été établis sur les bassins suivants :

- * Le bassin de la Seine (ainsi que des extraits 'enrichis' en données locales sur l'Orge, l'Orgeval et la Vesle).
- * Les bassins du district Seine-Normandie (avec la particularité que le trait de côte, depuis la Baie du Mont Saint Michel jusqu'à l'embouchure de la Bresle, y est représenté comme un cours d'eau recevant l'ensemble des fleuves côtiers, ce qui permet de traiter l'ensemble du district comme un seul bassin versant)
- * Le Bassin de la Somme
- * Le bassin de l'Escaut (France et Belgique)
- * La Bistrita (Roumanie), affluent du Siret qui constitue lui-même un affluent majeur du Danube.
- * Le bassin du Fleuve Rouge (Vietnam et Chine) ainsi que celui de la rivière Day dans le delta du Fleuve Rouge.

A brève échéance, un jeu de données sera également établi pour

- * L'Aulne et l'Elorn, les fleuves bretons responsables de l'eutrophisation de la Rade de Brest

La création d'un jeu de données Sénèque (et a fortiori Prêshume) sur un nouvel espace régional est une opération longue et difficile. En particulier, la constitution des couches SIG relatives au découpage de l'espace en bassins versants élémentaires nécessite souvent beaucoup d'efforts. Le développement d'outils et de procédures permettant de faciliter et d'automatiser ces opérations serait donc nécessaire (☞).

3. Sénèque comme modèle de réseau hydrographique

Sous sa forme actuelle, Sénèque ne décrit que le fonctionnement biogéochimique du réseau hydrographique ; et non celui du bassin versant (Figure 3).

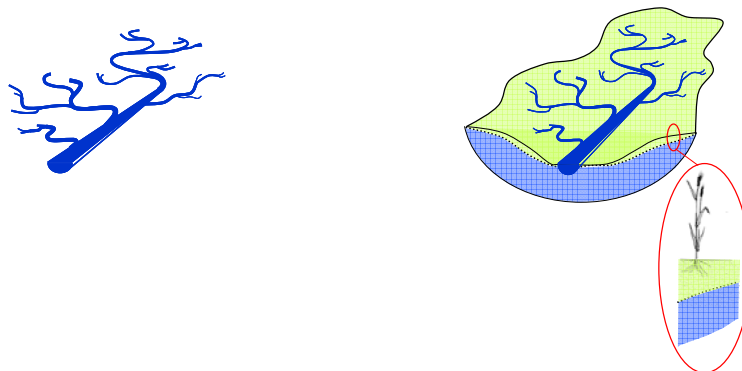


Figure 3. Sénèque ne représente que le fonctionnement du réseau hydrographique (à gauche), et non l'ensemble des processus se déroulant dans l'espace du bassin versant (à droite).

Les entrées au modèle Riverstrahler sont en effet relatives aux apports directs vers les cours d'eau, et non à l'ensemble des apports au bassin versant (Figure 4). Sénèque se distingue ainsi d'un certain nombre d'autres modèles biogéochimique de bassins versants (INCA, SWAT, ...) par le fait qu'il décrit de manière beaucoup plus fine et complète les processus *in-stream*, mais qu'il court-circuite en revanche des processus de bassin versant que d'autres modèles prennent en compte, fut-ce de manière simplifiée.

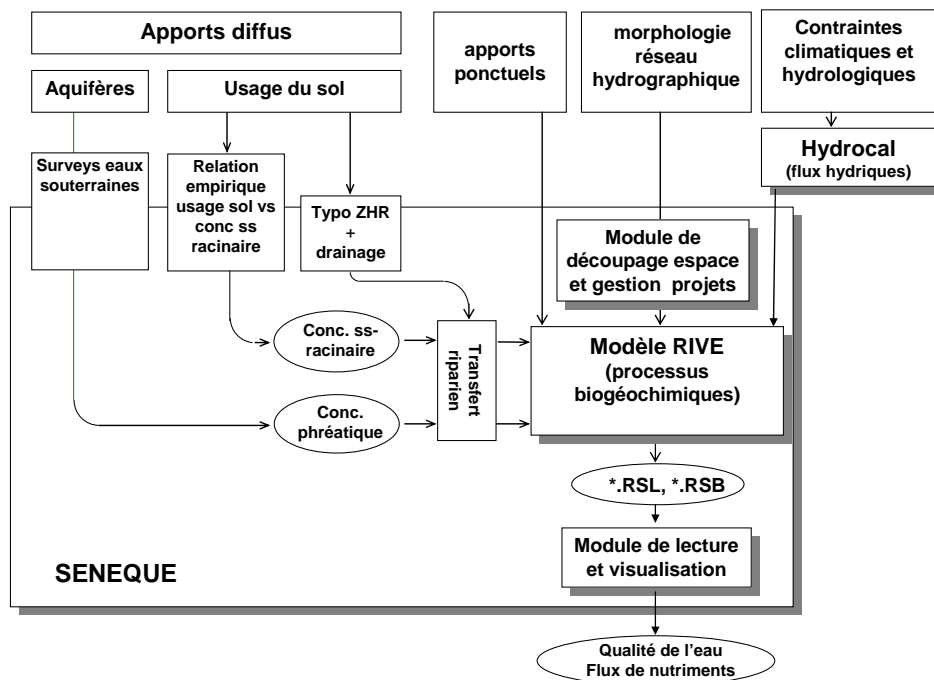


Figure 4. Le fonctionnement de Sénèque : prise en compte des entrées au réseau hydrographique et calcul par Riverstrahler du fonctionnement biogéochimique des cours d'eau.

3.1. Génération des écoulements (Hydrocal)

Le logiciel Hydrocal, utilisé en prétraitement de Sénèque, permet de calculer les écoulements superficiels et phréatiques à partir d'un ajustement sur des séries interannuelles de données de débits en divers points du réseau hydrographique, en tenant compte du champ de pluviométrie et d'évapotranspiration potentielle. Ce prétraitement se substitue à la fonction de calcul hydrologique intégrée à Sénèque, dont les performances n'étaient pas optimales en raison de l'impossibilité d'initialiser correctement le calcul hydrologique et de calibrer de manière satisfaisante les paramètres hydrologiques impliqués. Le code d'Hydrocal a été grandement amélioré en 2007 par V. Thieu, notamment pour permettre de gérer des séries de données hydrologiques non continues. Son fonctionnement actuel est jugé satisfaisant. L'introduction d'une routine d'optimisation plus performante pourrait permettre un gain de temps de calcul considérable (☞).

3.2. Gestion des réservoirs (BarMan)

Le logiciel Barman (Barrage Management) (Thieu, in prep) permet le calcul des processus biogéochimiques se déroulant dans les annexes stagnantes du réseau hydrographique. La procédure utilisée pour intégrer le calcul des réservoirs dans un projet Sénèque consiste dans les étapes suivantes (éventuellement à répéter pour chaque scénario):

1. calcul de la qualité d'eau dans le réseau hydrographique amont du barrage au cours d'un cycle annuel
2. calcul de la qualité d'eau dans le réservoir compte tenu de la qualité de l'eau d'entrée calculée en 1. le logiciel Barman prend directement en compte comme donnée d'entrée les fichiers RSL de qualité calculée par Sénèque, ainsi que les fichiers de débits dérivés vers le réservoir, qui font partie du jeu de données Sénèque.

3. calcul de la qualité du réseau hydrographique en aval du réservoir compte tenu de la qualité de l'eau restituée à partir du barrage, calculée en 2. Les résultats Barman sont directement au format nécessaire et sont rangés dans la base de données Sénèque.

Dans le cas d'une suite de réservoirs en série sur un même axe fluvial (comme cela s'est présenté, par exemple, lors de l'application de Sénèque sur la Bistrita), cette procédure itérative peut se révéler assez fastidieuse. Il serait donc utile (☞) de procéder à la pleine intégration dans Sénèque du modèle de calcul de qualité sous-jacent à BarMan, de manière à automatiser la procédure de prise en compte des réservoirs.

La prise en compte des réservoirs n'est possible dans un projet Sénèque que si les points de prise et de restitution du réservoir sont situés sur une branche (axe) (et non dans une feuille (bassin)). A l'inverse, ce n'est que sur les feuilles qu'il est possible de prendre en compte le rôle statistique de la présence de petites annexes stagnantes comme les étangs. Cette dernière fonctionnalité n'est pas encore effective dans la version actuelle de Sénèque. Elle serait bien utile pour tester par exemple l'impact de l'implantation de petites retenues en paysage rural. La plus grande partie du travail de programmation est déjà effectué, et son achèvement (☞) ne devrait pas poser de gros problèmes.

3.3. Gestion des défluences

La logique de propagation des débits dans Sénèque ne peut rendre compte de l'existence, dans certains réseaux hydrographiques du phénomène de défluence qu'il soit naturel (comme dans le cas du delta du Fleuve Rouge, où le cours de la rivière se divise en plusieurs bras) ou artificiel (comme dans le cas de l'Escaut où une part significative du débit de certains cours d'eau est purement et simplement détournée vers la mer par un chenal artificiel). La prise en compte par Sénèque de ce type de singularités dans le réseau hydrographique peut se faire en partie en les assimilant à des dérivations ou de restitutions similaires à celles qui ont lieu pour la prise en compte des réservoirs. Une prise en compte plus rigoureuse, permettant de suivre l'évolution de la qualité de l'eau dans ces défluences qui peuvent recevoir des apports diffus ou ponctuels et être le siège de processus biogéochimiques, demandera de créer à côté des axes, des bassins et des réservoirs, un 4^{ème} type d'objet Sénèque pour représenter les défluences. C'est donc une profonde modification du code qui sera nécessaire ici (☞🌀).

3.4. Gestion des apports ponctuels

Un travail important a été réalisé en 2006 afin de standardiser les hypothèses faites sur les conversions nécessaires au calcul des apports ponctuels, qui peut maintenant se faire soit directement à partir des informations détaillées de pollution entrante et de coefficients de réduction disponibles dans les fichiers de l'Agence de l'Eau, soit à partir des seules informations de type de traitement et de capacité effective des ouvrages d'épuration, moyennant la lecture d'un fichier '*apponct.cle*' qui renseigne les rejets spécifiques par équivalent habitant pour chaque type de traitement.

Plusieurs utilisateurs souhaiteraient que soit développée dans Sénèque une fonction permettant de créer, en ligne, au moment de la définition d'un scénario, une nouvelle base de données de rejets ponctuels, en ajoutant, retirant ou modifiant un ou plusieurs ouvrages. Ceci représenterait un important travail de codage (☞).

3.5. Gestion des apports diffus

L'applicatif Sénèque permet maintenant de considérer un nombre de classes d'usage du sol variable, aussi étendu que nécessaire pour prendre en compte la diversité des paysages agricoles d'un bassin versant régional. Il reste qu'il est nécessaire de renseigner systématiquement dans un fichier *ussol.clé*, et pour chaque classe, les concentrations en MES, carbone et nutriments, conférées aux eaux de lessivage par l'interaction eau-sol.

La rétention riparienne est prise en compte à partir d'une typologie des zones riveraines de tout le réseau hydrographique, la correspondance étant établie dans un fichier paramètre *zori.clé*. L'incertitude sur cette correspondance, et l'absence d'une typologie des zones riveraines véritablement opérationnelle à cet égard sur d'autres bassins versant que la Seine, rend encore cet aspect du modèle quelque peu problématique. Des travaux (☹) sont encore nécessaires sur cet aspect.

3.6. L'interface de traitement et de visualisation des résultats

L'interface de visualisation des résultats de Sénèque permet d'établir un graphe des variations saisonnières de toutes les variables du modèle en n'importe quel point du réseau hydrographique ; un graphe des variations longitudinales le long de n'importe quel axe de cours d'eau en une date donnée, ou une carte de qualité de l'ensemble du réseau à une date donnée.

Il serait utile (☹) d'enrichir cette interface d'une fonction de calcul de bilan annuel de l'azote, du phosphore et de la silice (apports diffus, apports ponctuels, accumulation phréatique, rétention riparienne, rétention benthique, exportation à l'exutoire) pour n'importe quelle portion du réseau hydrographique en amont d'un point donné.

4. Sénèque comme modèle de bassin

On a vu précédemment que dans sa forme actuelle, Sénèque ne constitue pas un modèle de bassin versant. Le couplage de Sénèque avec d'autres modèles prenant en charge les processus de bassin est cependant déjà possible dans la version actuelle. A terme, l'intégration de nouveaux modules, utilisant les pistes ouvertes par le logiciel AIPréshume, pourrait permettre de faire évoluer Sénèque vers un outil de modélisation du fonctionnement biogéochimique d'ensemble des bassins versants.

4.1. Couplage off-line de Sénèque avec des modèles du bassin versant terrestre

Riverstrahler prend en compte les apports diffus du bassin versant comme une condition limite amont : il a besoin que lui soit spécifiée la concentration à laquelle les deux composantes (superficielle et phréatique) du débit spécifique rejoignent le réseau hydrographique.

Par défaut dans la version actuelle de Sénèque, comme indiqué ci-dessus et dans la Figure 4, ces concentrations sont calculées à partir de la distribution des classes d'usage du sol et de la correspondance renseignée dans le fichier paramètre *usol.clé*. Ce fichier de correspondance peut être établi à partir de données empiriques, par exemple les résultats de mesures de concentrations sous-racinaires obtenues dans des suivis lysimétriques, des périmètres de drainages ou à l'aide de bougies poreuses, pour ce qui

concerne les concentrations de la composante superficielle du débit, ou à partir de surveys de la qualité des eaux souterraines pour ce qui concerne les concentrations phréatiques.

Le fichier *usol-clé* peut aussi synthétiser les résultats de modèles agronomiques ou hydrogéologiques qui calculent explicitement les flux et les concentrations de nutriments dans le sol et les aquifères, compte tenu des conditions pédo-géologiques et météorologiques locales et des pratiques agricoles. Dans la version actuelle de Sénèque, une option permet, pour le cas des nitrates, de substituer à la procédure standard de calcul des apports diffus, une autre procédure qui utilise alors directement les sorties d'un autre modèle, préalablement transcrites sous un format de fichier adéquat. Dans ce cas, les concentrations nitriques sont directement renseignées par sous-bassin élémentaire. En ce qui concerne les eaux superficielles, elles peuvent être renseignées au pas de temps décadaire (ce qui permet de prendre en compte des variations saisonnières de ces concentrations que la procédure standard ne considère pas).

Le modèle STICS-MODCOU développé par l'ENSMP est évidemment le premier candidat pour ce couplage off-line avec Sénèque à l'échelle de tout le bassin de la Seine. Il serait bon de développer une procédure (☐) permettant la constitution des fichiers adéquats (extraction SIG des données relatives aux BVE Sénèque à partir de celles des mailles MODCOU) et de l'appliquer notamment aux dernières simulations long terme de STICS-MODCOU. (Ce travail a déjà été réalisé pour la version FORTRAN de Riverstrahler utilisé dans le cadre du programme GICC par A. Ducharne (Ducharne et al., 2007).

Le modèle DRAINMOD-N (Brevé et al, 1997,1998), qui calcule les flux d'eau et d'azote dans les parcelles agricoles artificiellement drainées, a été appliqué avec succès sur les terres agricoles de plateau du bassin de l'Orgeval. L'utilisation off-line de ses résultats en entrée de Sénèque permettra de dresser un bilan d'azote intégré (sols, réseau hydrographique) sur ce bassin, permettant de définir la part des processus terrestres, ripariens et 'in-stream' dans la rétention observée de l'azote (travail de thèse en cours par C. Billy (☐☉)).

4.2. Intégration dans Sénèque d'un module de modélisation terrestre

Ce n'est pas sans intention que le logiciel AIPréshume a été développé sur la même base de découpage spatial de l'espace que Sénèque. L'objectif poursuivi(☉) est d'arriver à terme à une pleine intégration de ces deux outils pour couvrir l'ensemble du fonctionnement biogéochimique d'un bassin versant, moyennant le développement d'un module 'Sol', utilisant les contraintes renseignées par Préshume et fournissant, entre autre sorties, les informations nécessaires à Sénèque pour une meilleure prise en compte des apports diffus (Figure 5).

- Le module 'Sol' à venir doit donc a minima remplir les fonctionnalités suivantes ;
- * calcul des flux de nutriments écoulés, érodés et infiltrés par bassin versant élémentaire.
 - * calcul des flux d'azote émis vers l'atmosphère sous forme de NH₃, NO/N₂O et N₂.
 - * établissement du bilan d'azote du système sol.

La temporalité de ces fonctionnalités (journalière, décadaire ou mensuelle, annuelle), doit être débattue : Sénèque, parce qu'il s'adresse à un espace de dimension régionale mais vise à décrire les variations saisonnières du fonctionnement biogéochimique, a fait le choix d'une résolution temporelle décadaire, tout en représentant les processus élémentaires avec un pas de temps de l'ordre de 10 min (l'année étant couverte par une succession de 36 états permanents décadaires correspondant au suivi d'une masse d'eau à travers l'ensemble du réseau hydrographique). Quelle stratégie cohérente avec ce choix doit-elle être adoptée pour le module 'sol' ? Quelle finesse de représentation des processus dans le sol est elle nécessaire ? Un modèle agronomique complet par culture doit il être inclus et paramétré ?

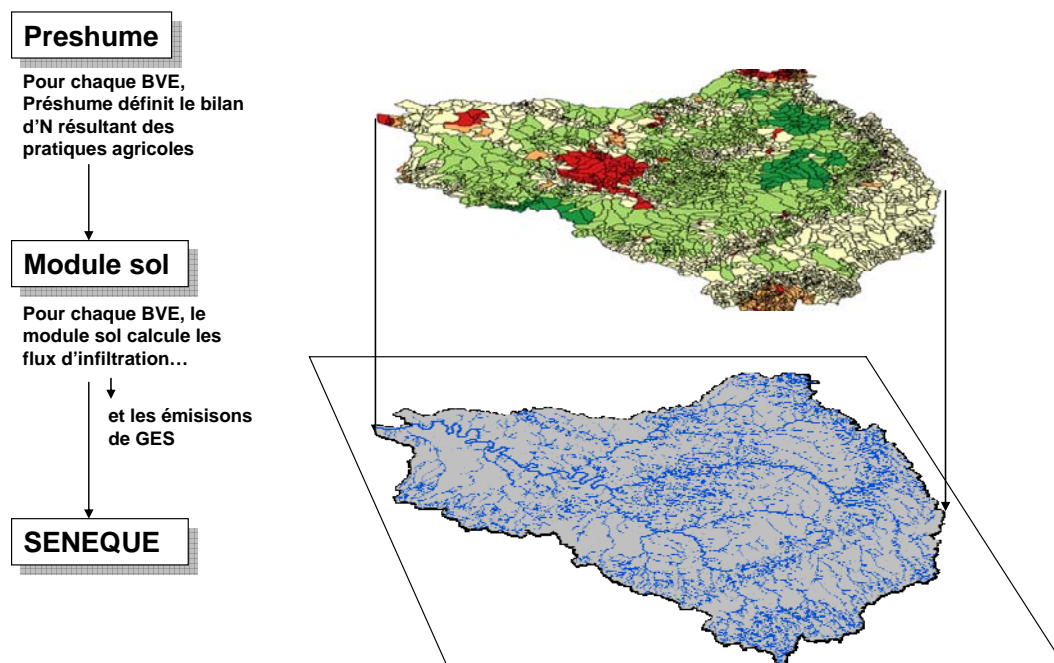


Figure 5. Principe de l'intégration de AI Prêshume et de Sênèque en un modèle complet de bassin versant régional: Prêshume gère l'ensemble des bases de données relatives aux pressions agricoles sur les bassins versants élémentaires. Un module 'Sol', à définir, établit la relation entre ces pressions et les flux de matière générés par le fonctionnement du système terrestre du bassin versant. Sênèque prend le relais pour calculer le fonctionnement du réseau hydrographique.

La réponse à ces questions doit s'appuyer sur une recherche bibliographique détaillée des différents modèles déjà décrits dans la littérature. Il n'est en effet pas question ici de 'ré-inventer la roue', mais plutôt d'extraire le meilleur (par rapport à nos objectifs particuliers) des outils existants pour l'intégrer dans ce nouvel ensemble.

Parmi les modèles les plus couramment utilisés pour décrire le fonctionnement biogéochimique des bassins versants, citons :

1) Les modèles simplement basés sur des facteurs d'émission prédéterminés

Notamment :

GAINS / RAINS (GHG / **R**egional **A**ir **P**ollution **I**nformation and **S**imulation) (Klassens et al., 2004)

Modèle essentiellement économique des émissions de polluants atmosphériques, de GHG et de lessivage des sols en réponse à diverses mesures techniques ou environnementales. Basé essentiellement sur des facteurs d'émissions issus de l'IPCC ou de la littérature. S'applique à l'Europe (au sens large), la maille spatiale étant essentiellement le pays, au pas de temps annuel. Ce modèle est utilisé réglementairement dans le cadre des accords de la Convention de Göteborg sur la pollution atmosphérique transfrontalière.

2) Les modèles de régression spatialisés, qui calculent les flux exportés d'un bassin versant à partir de la calibration d'un petit nombre de paramètres relatifs à la rétention des nutriments par les processus terrestres d'une part, et aquatiques d'autre part, au sein de chaque sous-bassin. Ils fonctionnent au pas

de temps annuel et ne décrivent pas la dynamique des processus terrestres et aquatiques, mais utilisent par contre en données d'entrées des informations extrêmement détaillées et finement spatialisées sur les propriétés et l'usage du sol, les pratiques agricoles, les retombées atmosphériques et les rejets ponctuels.

Notamment :

SPARROW (Spatially Referenced Regression on Watershed Attributes) (Smith et al, 1997; Alexander et al, 2002)

GREEN (Geospatial Regression Equation for European Nutrient losses) (Grizzetti & Bouraoui, 2005, 2006). Version Européenne de SPARROW

3) Les modèles de bassin, semi-distribués, à base physique, décrivant les processus terrestres dans le détail de leurs mécanismes, au pas de temps journalier, mais de manière intégrée sur le profil de sol.

Notamment :

SWAT (Soil & Water Assessment Tool) (Neitsch,2005;. www.bcr.tamus.edu/swat/)

INCA (Integrated Nitrogen in Catchment) (Whitehead, 1998; Wade et al., 2002a), et **INCA-P** (Wade et al., 2002b)

4) Les modèles agronomiques détaillés des processus dans les sols, qui simulent les transferts hydriques, la croissance végétale et les activités microbiennes dans les sols, représentés selon un profil vertical, et au pas de temps journalier. Ces modèles sont conçus à l'échelle de la parcelle, pour une culture particulière.

Notamment :

STICS (Simulateur Multidisciplinaire pour les cultures standards) (Brisson et al., 2003 ; <http://www.avignon.inra.fr/stics/>)

DNDC (DeNitrification-DeComposition) (Li et al, 1992, 1994 ; Li 2000)

De cet inventaire non exhaustif, il ressort clairement que c'est l'approche (3) (SWAT/INCA) qui correspond le mieux aux objectifs que nous nous fixons en matière de développement de Sénèque (Tableau 1). La prise en compte explicite des processus de nitrification, de dénitrification et de minéralisation de la matière organique du sol, en relation avec son contenu hydrique est nécessaire pour envisager de modéliser les flux de GES (ce que ne font toutefois pas actuellement ces deux modèles). La prise en compte du cycle terrestre de la silice pourrait être aussi un objectif de développement original, puisque des travaux récents montrent un important contrôle biologique de l'exportation de silice par les bassins versants.

Tableau 1. Caractéristiques de quelques modèles de fonctionnement biogéochimique de bassin versant couramment utilisés

	GAINS	SPARROW	GREEN	SWAT	INCA	STICS	DNDC
Variables considérées	C,N	N,P	N,P	C,N,P	C,N,P	C ,N	C,N
Représentation explicite de la croissance des plantes	-	-	-	+	+	+	+
Processus sol (Nit, denit, decomp)	-	-	-	+	+	+	+
Emissions de GES	+	-	-	-	-	+	+
Discretisation verticale du profil de sol	-	-	-	+	-	+	+

5. Conclusion

La diversification récente des utilisations (et des utilisateurs) de Sénèque, a permis de toucher du doigt à la fois les potentialités et les limites de la version actuelle du logiciel. Cette note énumère quelques unes des modifications, relevant de ‘simples’ (!?) aménagements de code (☐), et/ou de réorientations conceptuelles plus fondamentales (☉), suggérées par les applications du logiciel relatives à l’étude des transferts de nutriments dans les bassins versants.

Deux points n’ont pas été abordés ici, mais devront être pris en considération dans le débat relatif aux aménagements de Sénèque à prévoir.

Le premier, de nature conceptuelle (☉), concerne l’adjonction à Riverstrahler d’un module de calcul du devenir d’un micropolluant quelconque. J.M. Mouchel a conçu un tel module, totalement générique, qui intègre au calcul Sénèque le devenir dans le réseau hydrographique d’un micropolluant caractérisé par certains apports et une réactivité qui lui est propre.

Le deuxième point (☐) concerne purement et simplement le langage de programmation dans lequel Sénèque et les applications associées, ont été développées jusqu’ici. Le choix a été fait de développer toutes ces applications en Visual Basic 6, avec les fonctionnalités SIG offertes par les composants MapObject d’ESRI). Ce choix a eu l’immense avantage de fournir des applications logicielles extrêmement conviviales et très facilement appropriables par des utilisateurs non spécialistes travaillant sur PC. L’inconvénient de ce choix est que le logiciel est ainsi tributaire de l’évolution du système d’exploitation de Microsoft. Concrètement, le nouvel OS Windows Vista, dont sont maintenant équipés les nouveaux PC, ne supporte pas les applications Sénèque actuelles. La question pourra sans doute être résolue par des additions ponctuelles de certains composants, mais pour s’affranchir complètement de ce genre de problème on peut se demander si un recodage complet de Sénèque dans un autre langage de programmation open-source ne serait pas plus judicieux.

References

- Alexander, R.B.; Smith, R.A.; Schwarz, G.E.; Preston, S.D.; Brakebill, J.W.; Srinivasan, R.; Pacheco, P.A. (2001) Atmospheric nitrogen flux from the watersheds of major estuaries of the United States: An application of the SPARROW watershed model. In: Valigura R, Alexander R, Castro M, Meyers T, Paerl H, Stacey P & Turner RE (Eds) Nitrogen Loading in Coastal Water Bodies: An Atmospheric Perspective, American Geophysical Union Monograph 57, pp 119–170
- Alexander, R.B.; Johnes, P.J.; Boyer, E.W.; Smith, R.A. A comparison of models for estimating the riverine export of nitrogen from large watersheds, *Biogeochemistry* 2002, 57/58, 295–339.
- Brisson N, Gary C, Justes E, Roche R, Mary B, Ripoche D, et al. An overview of the crop model STICS. *Eur J Agron* 2003;18:309–32.
- Brevé M.A. (1997), Drainmod-N, a Nitrogen Model for Artificially Drained Soils, *American Society of Agricultural Engineers*, 40, 1067-1075.
- Brevé M.A. (1998), Using the Drainmod-N model to study effects of drainage system design and management on crop productivity, profitability and NO₃-N losses in drainage water. *Agricultural Water Management*, 35, 227-243.
- Grizzetti B & Bouraoui, F (2006). Assessment of Nitrogen and Phosphorus Environmental Pressure at European Scale. Institute for Environment and Sustainability. EC JRC, Ispra. 66pp. EUR 22526 EN

- Grizzetti, B.; Bouraoui, F.; de Marsily, G.; Bidoglio, G. (2005) A statistical approach to estimate nitrogen sectorial contribution to total load. *Water Science and Technology* 51(3-4), 83-90.
- Grizzetti, B.; Bouraoui, F.; de Marsily, G.; Bidoglio, G. (2005) A statistical method for source apportionment of riverine nitrogen loads. *Journal of Hydrology* 304, 302-315.
- Klaassen G, Amann M; Berglund C, Cofala J, Höglund-Isaksson L, Heyes C, Mechler R, Tohka A, Schöpp W, Winiwarter W. (2004) The Extension of the RAINS Model to Greenhouse Gases IIASA Interim Report IR-04-015
- Li, C.S. (2000). Modelling trace gas emissions from agricultural ecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58: 259-276.
- Li, C; Frolking, S & Frolking, T.A. (1992). A Model of Nitrous Oxide Evolution from soil driven by rainfall events. I. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research*. 97: 9759-9776.
- Li, C., Frolking, S & Harris, R. (1994). Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. *Global Biogeochemical Cycles*. 8: 237-254.
- Neitsch, SL, Arnold, JG, Kiniry, JR, Williams, JR. (2005) SWAT Theoretical Documentation. [www:bcr.tamus.edu/swat/](http://www.bcr.tamus.edu/swat/)
- Smith RA, Schwarz GE, Alexander RB (2007). Regional interpretation of water-quality monitoring data. *Water Resources Research* 33:2781-2798.
- Wade, A.J.; Durand, P.; Beaujouan, V.; Wessel, W.W; Raat, K.J.; Whitehead, P.G.; Butterfield, D.; Rankinen, K.; Lepisto, A. A nitrogen model for European catchments: INCA, new model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences* 2002b, 6(3), 559–682.
- Wade, A.J.; Whitehead, P.G.; Butterfield, D. The Integrated Catchments model of Phosphorus dynamics (INCA-P), a new approach for multiple source assessment in heterogeneous river systems: model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences* 2002c, 6(3), 583–606.
- Whitehead, P.G.; Wilson, E.J.; Butterfield, D. A semi-distributed Nitrogen Model for Multiple Source Assessments in Catchments (INCA): Part 1 - Model Structure and Process Equations. *Sci. Tot. Env.* 1998a, 210/211, 547-558.