

Développements autour des logiciels PROSe, version 5/CAWAQS Création d'une interface intégrée et couplage avec les SIG

Stéphanie EVEN¹, Nicolas FLIPO¹, Sylvain THÉRY²

¹ : Centre d'Informatique Géologique, ENSMP, 35 rue Saint-Honoré, 77 305 FONTAINEBLEAU cedex

² : Université Pierre et Marie Curie/UMR SISYPHE, 4 place de Jussieu, 75 005 PARIS

Février 2004

1. Introduction	2
1.1. Le logiciel ProSe	2
1.2. La plate-forme de modélisation CAWAQS	2
2. L'interface graphique du logiciel ProSe	3
2.1. Présentation générale	3
2.1.1. La console	4
2.1.2. La barre de Menu	4
2.2. Le menu « Inputs »	5
2.2.1. Qu'est ce qu'un apport au sens de ProSe	5
2.2.2. Les rejets de temps sec	6
2.2.3. Les rejets de temps de pluie	10
2.3. Le menu « Run »	12
2.4. Le menu « Plots »	13
2.4.1. Les sorties « standards » de ProSe	13
2.4.2. Créer un nouveau graphe	20
3. Les outils d'aide à la construction d'un modèle de bassin versant	25
3.1. Formatage des données : les choix conceptuels	25
3.2. Construction du modèle souterrain - l'extension Av-Xmaille	26
3.3. Application au Grand Morin	27
4. Conclusion et perspectives	27

1. Introduction

1.1. Le logiciel ProSe

Le logiciel PROSE est développé depuis de nombreuses années au CENTRE D'INFORMATIQUE GÉOLOGIQUE, pour permettre une analyse fine du comportement de systèmes aquatiques en réponse à diverses actions anthropiques. Ce logiciel fait aujourd'hui partie de la boîte à outil du PIREN SEINE.

La version 5 du logiciel ProSe correspond à une version pour laquelle l'intégration dans une interface est en court. Des travaux ont déjà été réalisés dans ce sens :

- l'interface permettant de gérer les entrées utilise aujourd'hui l'outil GABI (outil capable de générer automatiquement des interfaces graphiques pour des logiciels scientifiques) (Bonniez 2001; Even et al. 2002; Even et al. 2003). Une première version est d'ores et déjà utilisable et appliquée au logiciel PROSE (Even et al. 2003);
- des couplages entre les sorties de PROSE et des logiciels graphiques ont été réalisés. Les potentialités du logiciel en terme de sorties ont également été étendues (gestion des aspects bidimensionnels, sorties graphiques permettant de contrôler les entrées, tracés de graphes, ...). Ces couplages comprennent la génération, par le logiciel PROSE, de fichiers de sorties aux formats recommandés par les logiciels de dessins utilisés (GNUPLOT, OPENDX, DOT). Des fichiers de commande sont également générés automatiquement permettant un affichage rapide des résultats. Le couplage reste cependant externe, à savoir que l'appel aux logiciels de dessins passe par des commandes en ligne et la connaissance des logiciels de dessin est nécessaire.

L'objectif pour cette année est de développer une interface intégrée pour le logiciel PROSE pour gérer les appels aux différentes fonctionnalités en entrée (appel à l'interface générée par GABI pour gérer les entrées et les pré-traitements), pour lancer la procédure de calcul et en sortie (appel à des fonctions graphiques). À l'occasion de ce travail, nous avons travaillé sur le traitement automatique des apports industriels et urbains, de temps sec (permanents) et temps de pluies (transitoires).

1.2. La plate-forme de modélisation CAWAQS

Le logiciel CAWAQS est un nouvel outil, développé plus récemment, dans le but de répondre aux nouvelles problématiques abordées dans le cadre du PIREN SEINE (Flipo, Poulin, Even, Ledoux, Viavatten, and Théry 2004; Flipo, Even, Poulin, Combes, and Ledoux 2004; Flipo, Even, Poulin, and Ledoux 2004; Flipo 2005). Il permet le calcul des apports diffus pour le logiciel PROSE. Pour se faire, plusieurs logiciels de calcul préexistants ont été couplés, voire adaptés, au sein d'une même structure de modélisation. Le logiciel CAWAQS est donc basé sur le couplage des logiciels REPSUR/STICS/NEWSAM/PROSE afin de représenter explicitement chaque terme du transfert des masses d'eau et des polluants associés, au sein d'un hydrosystème, depuis les sols jusqu'aux cours d'eau en passant par les aquifères. Or un modèle décrivant le comportement écologique global d'un bassin versant envisagé selon ses différentes composantes (sol, zone non saturée, aquifères, réseau hydrographique) nécessite le traitement de nombreuses informations pour une grande part spatialisées (nature des sols, géologie, météorologie, hydrologie) et d'évolutions temporelles de variables diverses (usage des sols, apports permanents et transitoires). Le couplage avec des bases de données et des Systèmes d'Information Géographique (SIG), dont l'usage se généralise chez les gestionnaires de l'environnement, facilite grandement la mise en œuvre dans ce type de milieu complexe.

Le couplage du logiciel CAWAQS, des bases de données et des SIG qui contribuent à définir l'ensemble des données d'entrée du modèle, a été entrepris cette année. Le travail déjà réalisé dans le cadre du PIREN SEINE relatif à la constitution de bases de données géoréférencées, déjà utilisé par le logiciel SENEQUE, a été largement exploité.

Cependant, des choix particuliers pour le traitement et les formats des données, ont été fait pour la plateforme de modélisation CAWAQS. En premier lieu, nous présenterons l'approche finalement adoptée.

En second lieu, nous présenterons les outils particuliers qui ont été développés pour les besoins spécifiques du logiciel CAWAQS.

2. L'interface graphique du logiciel ProSe

2.1. Présentation générale

Le but de l'interface « intégrée » du logiciel PROSE est de gérer tous les appels aux traitements nécessaires au bon fonctionnement du logiciel. La fenêtre de l'interface « intégrée » se présente comme sur la figure 1. Elle se compose

- d'une barre de menu ;
- d'une fenêtre composée de deux panneaux :
 - le panneau de gauche est un panneau de console où s'affichent tous les messages (figure 2) ;
 - un panneau de droite où s'affichent les interfaces pour les différentes fonctionnalités qui seront présentées ultérieurement.

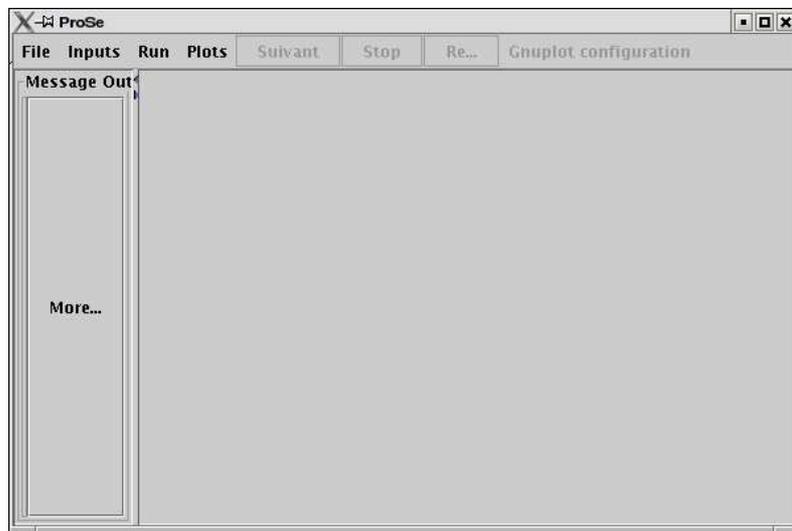


Figure 1: Fenêtre de l'interface générale de ProSe.

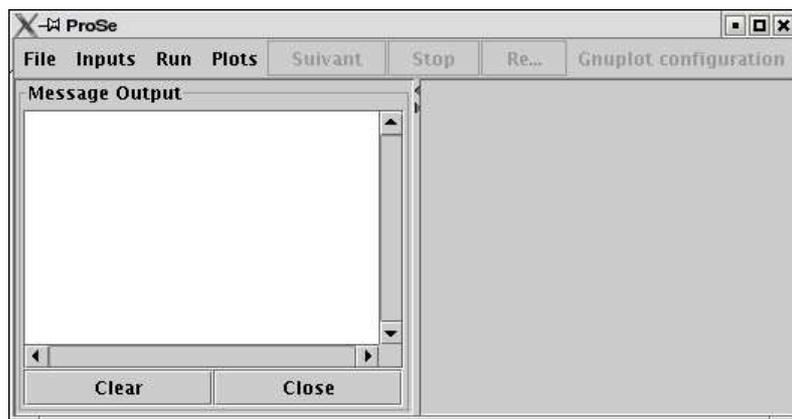


Figure 2: Fenêtre de l'interface générale de ProSe avec affichage de la console.

2.1.1. La console

En cliquant sur le panneau `more`, on ouvre le panneau **Console** (figure 2). Tous les messages s'affichent alors dans cette console et une barre déroulante permet de manipuler l'historique.

Le bouton `close` ferme la console. Elle apparaît alors sous la forme d'un double panneau (figure 3). Dans le panneau de gauche est conservé le dernier message affiché.

Le bouton `more` permet de rouvrir la console (figure 3).

Le bouton `clear` permet d'en effacer le contenu à un moment donné (passage de l'état présenté sur la figure 3(droite) à l'état présenté sur la figure 2).

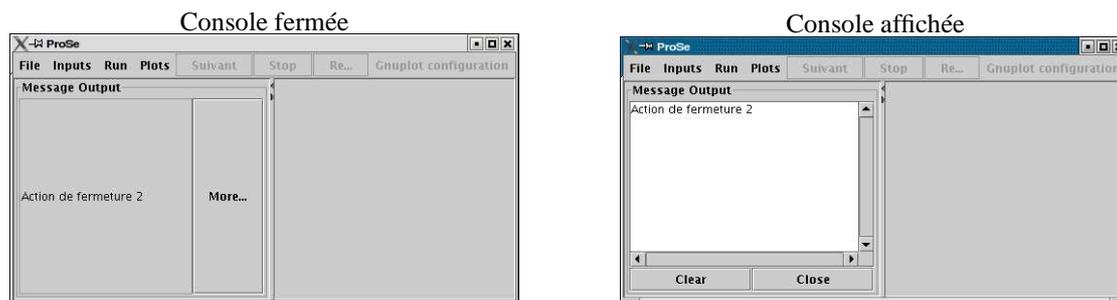


Figure 3: Fermeture/affichage de la console

2.1.2. La barre de Menu

La barre de menu fait apparaître quatre menus principaux, activés dès le départ :

File comprend le sous-menu **Quitter**, permettant de quitter l'interface ;

Inputs comprend deux sous-menus **Gabi** (lancer l'interface de l'outil GABI) et **Effluents** (permet de générer les fichiers d'apports permanents ou transitoires) ;

Run comprend trois sous-menus : **Command File** (sélection d'un fichier de commande), **Run ProSe Simulation** (lancement d'une simulation) et **To Stop** (activé dès qu'une simulation est lancée et permettant d'arrêter une simulation en cours) ;

Plots comprend trois sous-menus : **Standards** (tracés des graphes prévus par défaut en sortie de PROSE), **New** permettant à l'utilisateur de créer ses propres graphes (comparaison de résultats de simulation avec des mesures, mise en forme particulière, ...). Les trois outils graphiques utilisés sont GNUPLOT, OPENDX et DOT ; **Fermer** (effacer les actions en cours).

Bouton Stop Activé quand la sélection GNUPLOT 2D a été choisie (tracés GNUPLOT) : permet de finir l'affichage ;

Bouton Suivant Activé quand la sélection GNUPLOT 2D a été choisie (tracés GNUPLOT) : permet de passer au dessin suivant ;

Bouton Re Activé quand la sélection GNUPLOT 2D a été choisie (tracés GNUPLOT) : permet de relancer les dessins ;

Gnuplot configuration Activé quand la sélection New/GNUPLOT a été choisie ; permet de configurer un certain nombre de paramètres pour le nouveau dessin.

2.2. Le menu « Inputs »

Il est composé de deux sous-menus :

Gabi permettant de lancer l'interface de l'outil GABI. Nous ne détaillerons pas cet outil dans le présent rapport. Pour plus de renseignements, se reporter au rapport (Even et al. 2003) ;

Effluents faisant appel à deux fonctions correspondant à des pré-traitements, déjà utilisés couramment pour PROSE :

Permanent-Dry permet de faire apparaître l'interface (figure 4) pour générer les fichiers d'apports permanents (STEP, rejets industriels) au format de PROSE à partir d'un fichier tabulé classique (format type EXCEL).

Transient-Rain permet de faire apparaître l'interface (figure 4) pour générer les fichiers d'apports de rejets transitoires (rejets urbains de temps de pluie, ...) ;

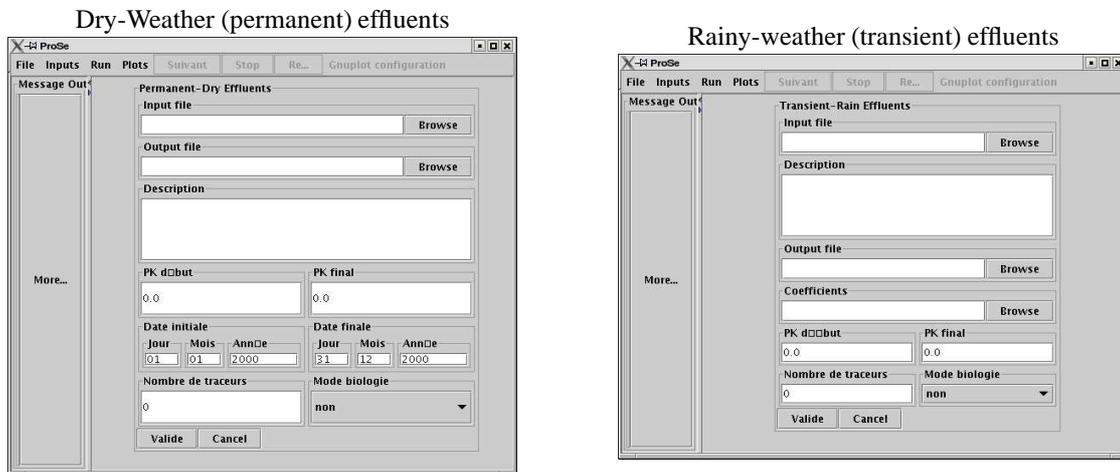


Figure 4: Interface pour générer les rejets de temps sec (gauche) et de temps de pluie (droite).

2.2.1. Qu'est ce qu'un apport au sens de ProSe

Le logiciel ProSe peut prendre en compte des apports, qu'ils soient ponctuels ou diffus. Nous ne parlerons ici que des apports ponctuels. Du point de vue du logiciel, les apports sont caractérisés par un certain nombre d'attributs :

1. un nom, qui lui sert d'identifiant ;
2. les éléments de repérage par rapport à un point de la rivière.
 - les points caractéristiques utilisés pour décrire un cours d'eau sont les singularités (seuils, diffluences, confluence) (figure 5). Les apports sont donc situés dans un bief, entre deux singularités et positionnés par rapport à la singularité amont du bief. On précise également le numéro de branche qui permet de distinguer deux biefs ayant les mêmes caractéristiques amont et aval (cas d'une île, dont les deux bras sont caractérisés par les mêmes diffluence et confluence) ;
 - une distance x par rapport au repère amont du bief ;
 - une position transversale y (0 signifie que l'apport est situé sur la rive de référence, 1 signifie qu'il est situé sur la rive opposée) ;
 - une distance dx correspondant à la longueur d'application pour un apport diffus.

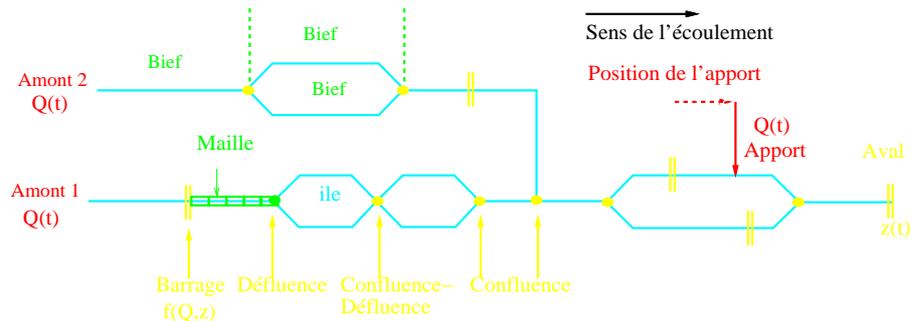


Figure 5: Schématisation d'un cours d'eau selon ProSe.

3. un type de l'apport : REJET , AFFLUENT , DIFFUS. La différence entre un REJET et un AFFLUENT se situe dans la nature des données. Pour un AFFLUENT les informations sont fournies sous la forme de débit/concentrations et le flux est calculé à partir du croisement de ces deux fonctions, qui ne sont pas forcément définies aux mêmes instants ; pour un REJET les informations sont fournies sous la forme de débit/flux. Un REJET peut ne pas être défini en terme de débit (débit considéré comme négligeable ou information manquante) et correspondre à un apport de matière seulement.
4. les informations permettant de décrire l'apport dans le temps : le débit, les concentrations/flux des différentes variables définies pour la simulation (à définir par l'utilisateur).

Les données de débit et concentrations/flux se présentent sous la forme d'une série de couples temps variable.

Des programmes de pré-traitement, et qui ont été interfacés, permettent de générer automatiquement les fichiers des apports, au format de ProSe, à partir de fichiers existants au format tableur (tableau 1). Ces formats sont plus classiques et particulièrement adaptés à la gestion de ce type d'information. Actuellement deux types de fichiers co-existent :

- pour les rejets de temps sec ;
- pour les rejets de temps de pluie.

Chacun des fichiers doit ensuite être stocké dans un format texte (ASCII) pour pouvoir être manipulé par les programmes de pré-traitement.

2.2.2. Les rejets de temps sec

Description générale Sont obligatoirement renseignés les

- nom de l'apport (identifiant) ;
- un type (REJET, AFFLUENT, PRELEVEMENT, DIFFUS, AMONT);
- des repérages soit (POS1, POS2, REPERE, BRAS) (seule option utilisable actuellement) soit (X,Y) ;
- une définition de l'apport. Tous les champs ne sont pas obligatoirement définis et des procédures de calcul dérogoratoires ont été prévues (voir le tableau 2). La valeur de l'équivalent habitant est utilisée quand aucune valeur n'est prédéfinie par l'utilisateur (tableau 3). L'équivalent habitant est
 - soit fixé et lu prioritairement dans un champ spécifique ;
 - soit calculé à partir de la charge totale en azote ;

	1	CODE		Référence du rejet
	2	NATURE	DIV, INDUS, STEP, NRAC	Code de description du type de rejet
	3	NOM		Nom de l'apport
	4	TYPE	REJET, AFFLUENT, PRELEVEMENT	Type du rejet au sens de ProSe
	5	PK		Repérage kilométrique
	6	RIVIERE		Rivière à laquelle est attribué l'apport
Première option	7	POS1		Position de l'apport par rapport au point de repère
	8	POS2		Position transversale de l'apport
	9	Repère		Nom du point repère
	10	Bras		Bras dans lequel est situé l'apport
Deuxième option	11	X		Coordonnées X dans un repère géoréférencé
	12	Y		Coordonnées Y dans un repère géoréférencé
Définition classique	13	Q		Valeur du débit (m ³ /s)
	14	MES		MES (mg/l ou kg/j)
	15	O ₂		Oxygène (mg/l ou kg/j)
	16	DBO ₅		DBO ₅ (mg/l ou kg/j)
	17	NH ₄		NH ₄ (mgNH ₄ /l ou kgNH ₄ /j)
	18	N0 ₃		N0 ₃ (mgNO ₃ /l ou kgNO ₃ /j)
	19	T/NT		Code de traitement
	20	DBO _u		Rapport $\frac{DBO_u}{DBO_5}$
	21	P _{tot}		Phosphore total (mgP/l ou kgP/j)
	22	PO ₄		Orthophosphates (mgPO ₄ /l ou kgPO ₄ /j)
	23	COTB/DBO		Rapport COTB sur DBO
Optionnel	23	EQ_HAB		Equivalent habitant du rejet
	24	CODR		Carbone organique dissous réfractaire (mgC/l)
	25	COD		Carbone organique dissous total (mgC/l)
	26	COPR		Carbone organique dissous particulaire réfractaire (mgC/l)
	27	COP		Carbone organique particulaire total (mgC/l)

Tableaux 1: Fichier tabulé de définition des rejets de temps sec. *Données de positionnement* et *données de définition*. Deux options de positionnement : données géoréférencées (option non implantée dans ProSe à ce jour), données classiques (positionnement par rapport à une singularité, sur le linéaire de rivière).

EQ_HAB_N	12,5 gN/hab/j
EQ_HAB_T_DBO	16,2 g/hab/j
EQ_HAB_NT_DBO	54 g/hab/j
EQ_HAB_T_MES	6 g/hab/j
EQ_HAB_NT_MES	80 g/hab/j
EQ_HAB_MODR	2 g/hab/j
EQ_HAB_T_BN	2,2 mg/hab/j
EQ_HAB_NT_BN	22 mg/hab/j
EQ_HAB_P	2,5 gP/hab/j

Tableaux 3: Définition de l'équivalent habitant utilisé dans les traitements pour ProSe.

La base de données existante Les fichiers des rejets de temps sec ont été créés pour la Seine de Montereau à Poses, la Marne de Meaux à la confluence, pour l'Oise de Compiègne à la confluence et pour le Grand Morin. Les fichiers pour la Seine et la Marne ont été validés par le SNS et sont identiques à ceux utilisés par le SIAAP.

L'interface Le fichier contenant les données au format défini dans le tableau 1 est sauvegardé sous un format texte avec des tabulations ou blancs comme séparateur de champ.

Il constitue le fichier **Input file** demandé par l'interface (figure 4, gauche). Un fichier de sortie doit également être précisé, qui sera ensuite intégré dans les données d'entrée de ProSe (inclusion de fichier).

Lors de la lecture du fichier **Input file**

- la ligne en-tête du fichier, qui doit contenir la description du format (tableau 1), est analysée jusqu'au champ COTB/DBO et permet de vérifier que le fichier est au bon format. Le résultat de l'analyse apparaît dans la fenêtre **Description**. Quand le format est correct, le contenu de l'en-tête qui a été analysé y est affiché (figure 6). Dans le cas contraire, les champs incorrects sont précisés ;
- à la lecture du fichier, les champ « point kilométrique (PK) » sont analysés et les champs PK amont et pK final sont alors automatiquement initialisés aux valeurs minimale et maximale trouvées dans le fichier. Ces deux champs, permettent au final de sélectionner un secteur. Par exemple, dans le fichier des apports pour la Seine, les apports depuis Montereau (PK 555) jusqu'à Poses (PK 850) sont dans un même fichier (figure 6). Si on ne veut simuler que le secteur Paris/Poses, on précisera les PK 640 (aval de Choisy) et PK 850, pour une simulation qui commencerait à Choisy. Ces informations peuvent être facilement consultées en éditant le fichier avec un tableur.

Par défaut, la période simulée est l'année 2000. La période peut être modifiée à loisir. Il faut cependant veiller à rester cohérent avec les autres informations qui seront fournies par ailleurs (météo, débit, etc). Chaque apport dispose d'une date de début et de fin (tableau 1). Si elles ne sont pas définies, l'apport est considéré comme existant à tout moment. Si l'apport a été supprimé avant la date demandé (date de fin d'apport < date initiale) ou bien si l'apport commence après la date de simulation (date de début d'apport > date finale) alors il n'est pas pris en compte dans le fichier des apports.

Le programme de prétraitement calcule, pour chaque apport sélectionné dans le secteur PK amont/PK aval et existant pour une période date initiale/date finale,

- le débit (constant) ;
- un nombre de traceurs dont la concentration est fixée à 1 ;
- la concentration pour chaque variable de qualité de RIVE si le mode **biologie (oui)** a été choisi.

Le bouton **Valide** permet de valider la sélection et de lancer le traitement. Le bouton **Cancel** permet de tout annuler et de restorer la fenêtre.

Un programme de prétraitement est alors lancé qui effectue l'analyse et la série de calculs tels que définis dans le tableau 2 et crée le fichier des apports au format de ProSe. L'information PK (repérage kilométrique permet de sélectionner une partie des rejets en fonction du secteur de rivière modélisé. Suivant les options de traitement, seuls le débit, le débit avec plusieurs traceurs, le débit avec traceurs et variables biologiques ou le débit avec les variables biologiques sont générés.

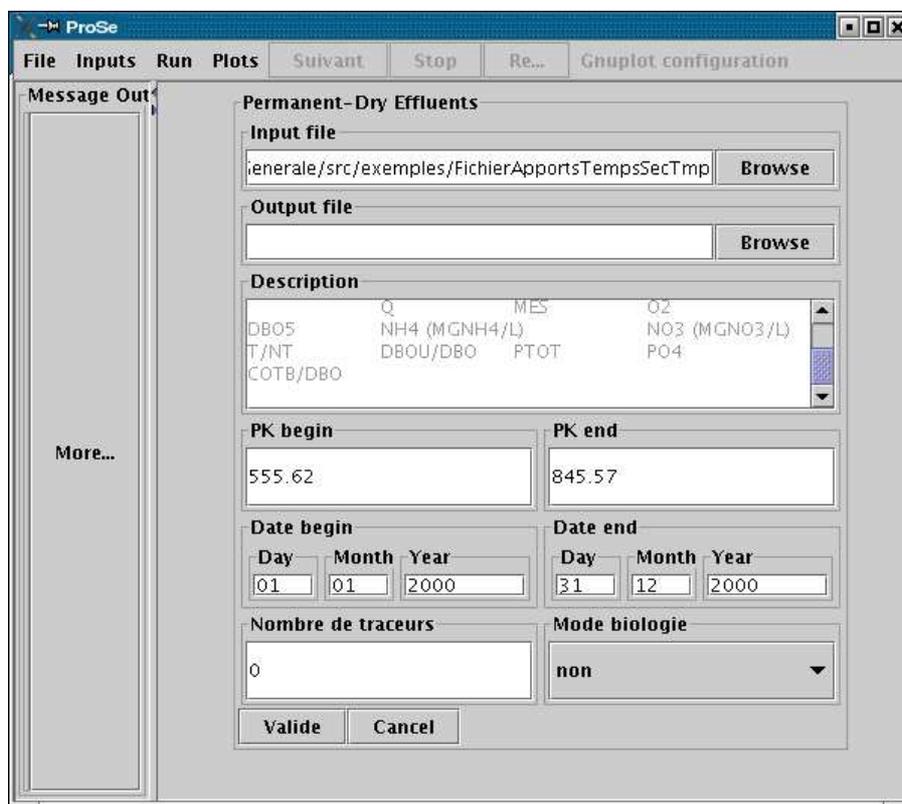


Figure 6: Lecture du fichier tabulé définissant les rejets permanents (Input file).

2.2.3. Les rejets de temps de pluie

Description générale Du point de vue du logiciel ProSe, les données pour n'importe quel déversement peuvent facilement être prises en compte, pour tenir compte de mesures spécifiques (cas des mesures à Clichy, La Briche, la Frette) ou de données (volume, qualité) issues de simulations de pluies de projets. Dans ce cas on utilisera l'utilitaire GABI pour rentrer l'information (définition du rejet aux formats de ProSe et inclusion des fichiers contenant les évolutions temporelles du débit et des concentrations de variables).

L'interface proposée ici (figure 4) correspond à une version simplifiée du problème. Il s'agit de croiser

- **une information temporelle** : connaissance des dates de pluie, des durées de déversement, des volumes totaux déversés ramenés à un coefficient de pluie¹ **en un point** où des informations exis-

¹Deux cas ont, jusqu'à présent, été utilisés :

1. le volume total sur une période, typiquement l'année de simulation, est $V_{tot} = \sum_{pluie=p} V_p$ et le coefficient de chaque évènement est égal à $coef_p = \frac{V_p}{V_{tot}}$ et $\sum_p coef_p = 1$;
2. pour chaque évènement, le rapport entre le volume de la pluie et un volume défini pour un évènement standard de référence (pluie de temps de retour 6 mois, par exemple (BPR, SOGREAH, and HYDRATEC 1997)) : $coef_p = \frac{V_p}{V_{6mois}}$.

1	DATE	Jour (julien) de début de l'évènement transitoire
2	DUREE	Durée (en heures) de l'évènement
3	VOLUME	Volume de l'évènement
4	COEFFICIENT	Coefficient pour l'évènement

Tableaux 4: Fichier permettant de définir une série d'évènements pendant une période donnée.

	1	NATURE	DIV, INDUS, STEP, NRAC	Code de description du type de rejet
	2	NOM		Nom de l'apport
	3	TYPE	REJET, AFFLUENT	Type de traitement au sens de ProSe
	4	PK		Repérage kilométrique
	5	RIVIERE		Rivière à laquelle est attribué l'apport
Première option	6	POS1		Position de l'apport par rapport au point de repère
	7	POS2		Position transversale de l'apport
	8	REPERE		Nom du point repère
	9	BRAS		Bras dans lequel est situé l'apport
Deuxième option	10	X		Coordonnées X dans un repère géoréférencé
	11	Y		Coordonnées Y dans un repère géoréférencé
Définition classique	12	V		Volume total déversé (m ³)
	13	MES		Charge totale en MES (kg)
	14	DBO ₅		Charge totale en DBO ₅ (kg)
	15	DCO		Charge totale en DCO (kg)
	16	NH ₄		Charge totale en NH ₄ (kgNH ₄)
	17	P _{tot}		Charge totale en phosphore total (kgP)

Données de positionnement

Données de définition

Tableaux 5: Fichier de définition des déversements de temps de pluie.

tent réellement (pour la Seine, on choisit généralement le point de Clichy) ou bien crée de manière théorique (voir tableau 4);

- **une information spatiale** : volumes et flux² déversés en tous les exutoires définis (voir tableau 5).

Chacune des deux informations est contenue dans deux fichiers séparés. Ils peuvent facilement être manipulés dans des formats tableurs. .

Le tableau 6 explicite la correspondance avec les variables du modèle RIVE et les règles de calcul adoptées pour déterminer les valeurs des variables du modèle RIVE.

La base de données existante La définition des principaux exutoires existe pour la Marne et la Seine, en amont et à la traversée de l'agglomération parisienne. Il existe un fichier de définition d'une pluie type 6 mois en volume/flux en chaque point (BPR, SOGREAH, and HYDRATEC 1997). Les volumes totaux pour l'année 2001 ont également été collectés (données fournies par AESN/ECODECISION dans le cadre de l'application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau).

Les informations à Clichy ont été collectées pour les années 2001 et 1996 (données SIAAP).

²Si la description temporelle est basée sur un coefficient représentant

1. le rapport entre le volume de l'évènement sur le volume total cumulé sur la période, on doit alors fournir des volumes et flux totaux cumulés en chaque point pour la période ;
2. le rapport avec un évènement standard (pluie de 6 mois), les caractéristiques d'une pluie de 6 mois doivent être précisées en chaque point.

	V	MES	DBO ₅	DCO	NH ₄	P _{tot}
			COTB = 0,35 DBO ₅ COPR = 0,5 COTB			
			$eqhab = \frac{(NH_4+1,25 \frac{COTB}{7})}{EQ_HAB_N}$			
Q	$coef \times \frac{V}{durée}$					
MES		$\frac{MES}{V}$				
MOP1			0,3 COTB			
MOP2			0,3 COTB			
MOP3			0,5 COTB			
MOD1			0,2 COTB			
MOD2			0,2 COTB			
MOD3			$eqhab \times EQ_HAB_MODR$			
BACT < 1 μm			0,01 COTB			
BACT > 1 μm			0,05 COTB			
BACTnit			$eqhab \times EQ_HAB_NT_BN$			
NH ₄					$\frac{NH_4}{V}$	
PO ₄			$eqhab \times EQ_HAB_P - \frac{COTB}{40}$			$P_{tot} - \frac{COTB}{40}$

Tableaux 6: Règles de correspondance entre les variables caractérisant les déversements de temps de pluie et les variable du modèle RIVE. On suppose une composition C/N de 7 et C/P de 40. Le facteur *coef* caractérise le rapport entre les volume déversés réellement et ceux déversés pour une pluie de temps de retour 6 mois : $coef = \frac{\text{Volume réel déversé à Clichy}}{\text{Volume théorique pour une pluie de 6 mois}}$. La durée est égale à la durée du déversement à Clichy pour la pluie considérée. .

L'interface Trois noms de fichiers doivent donc être fournis :

- un fichier correspondant à la description spatiale des rejets (format 5). Dans ce cas, de même que pour les rejets de temps sec, une procédure scanne l'en-tête du fichier pour vérifier que le fichier est au bon format. Si le résultat est bon, l'en-tête contenant la description des données est simplement affiché dans la fenêtre **Description**). Dans le cas contraire, les champs défectueux sont signalés ;

De même que pour les apports permanents, le fichier scanné permet de connaître *a priori* les valeurs minimale et maximale des PK contenus dans le fichier. Les champs PK initial et PK final sont alors automatiquement initialisés.

- un fichier de sortie où seront stockés les données pour chaque point, au format de ProSe. C'est ce fichier qu'il faudra ensuite inclure dans les fichiers d'entrée de ProSe;
- un fichier de description temporelle

Les boutons **Valide** et **Cancel** permettent de lancer le traitement d'une part, restorer la fenêtre, d'autre part.

2.3. Le menu « Run »

Le menu « **Run** » permet trois actions, relatives aux calculs :

Command File permet de sélectionner un fichier de commande pour PROSE (figure 9). Un fichier de commande de ProSe peut être généré par l'interface GABI. Il doit comporter une extension .cmd.

Run ProSe Simulation permet de lancer une simulation de ProSe. Si aucun fichier de commande n'a été sélectionné auparavant, une fenêtre de choix de fichier est lancée automatiquement (figure 9).

Pendant le déroulement de la simulation, un certain nombre de messages (notamment le déroulement du temps) sont affichés dans la Console.

To Stop permet d'arrêter une simulation en cours. Ce sous-menu n'est activé qu'au lancement d'une simulation (sous-menu précédent) ;

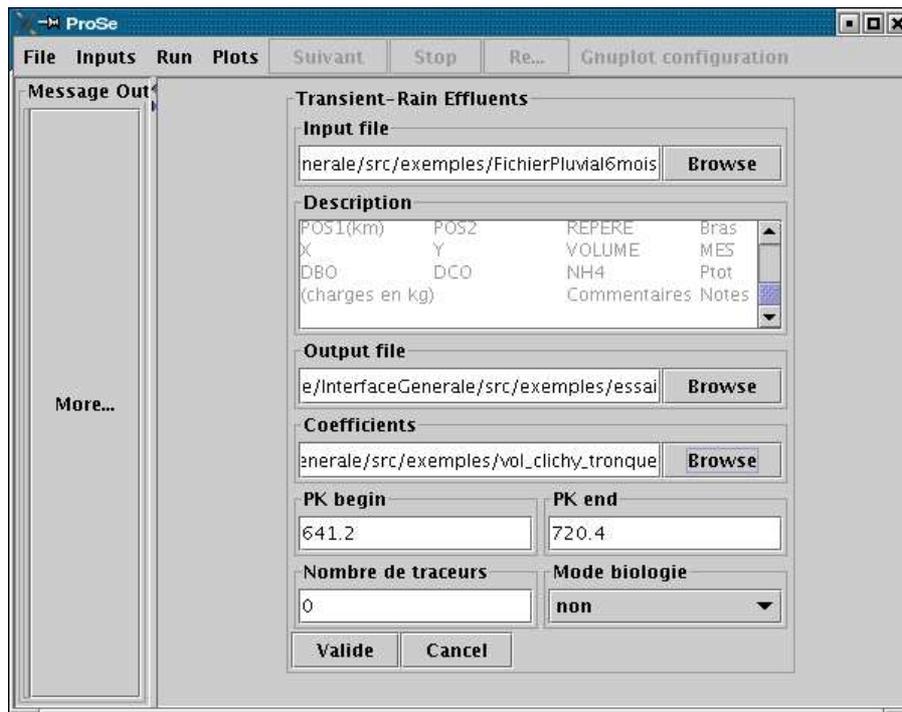


Figure 7: Interface pour les rejets transitoire.

2.4. Le menu « Plots »

Standards permet de tracer les graphes prévus par défaut en sortie de PROSE ;

New permet de créer de nouveaux graphiques à l'aide des logiciels GNUPLOT et OPENDX ;

Fermer Effacer les actions en cours.

Les boutons Stop, Suivant et Re sont activés quand la sélection GNUPLOT 2D a été choisie (tracés GNUPLOT) pour stopper l'affichage, passer au dessin suivant et relancer les dessins respectivement.

Le bouton Gnuplot configuration est activé quand la sélection New/GNUPLOT a été choisie ; il permet de configurer un certain nombre de paramètres pour le nouveau dessin.

2.4.1. Les sorties « standards » de ProSe

ProSe prévoit deux types de sorties standards :

- des graphes permettant de relire et vérifier graphiquement les informations qui ont été rentrées (option dessin o dans le fichier de commande) ;
- des résultats de ProSe, sous forme de profils ponctuels ou longitudinaux.

Description des menus

Stream graph : Tracé du graphe de la rivière simulée ;

Show Visualisation

Save (format .ps) Sauvegarde

Gnuplot 2D :

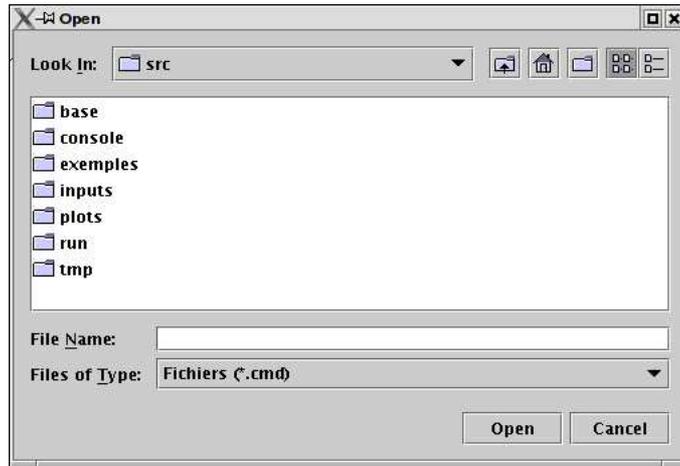


Figure 8: Fenêtre de choix pour un fichier de commande de ProSe.

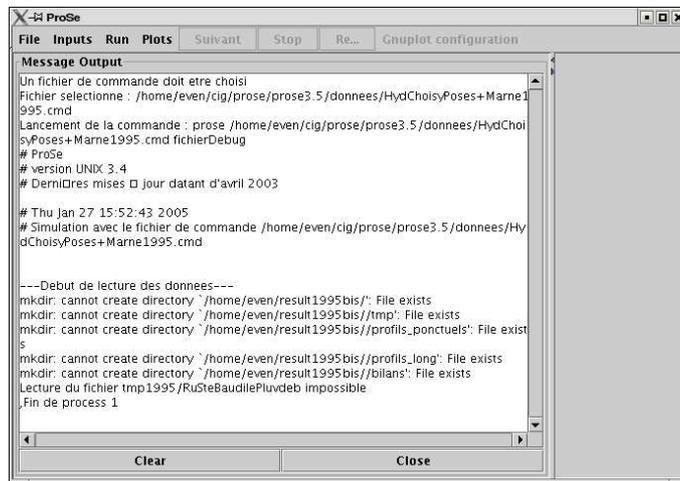


Figure 9: Affichage, dans la console, des messages affichés pendant une simulation de ProSe.

Divers (Dessin o) :

Dam(s) level(s) Niveaux de seuils aux différents barrages ;

Curves Trajectoire moyenne de la rivière et zone de méandres (quand des données géoréférencées existent) ;

Bottom profiles Profil en long des cotes de fond ;

Bathymetry Tracé des profils en travers, avant et après traitement par le logiciel ;

Profils ponctuels Tracé des profils ponctuels aux points demandés : profils ponctuels moyens, par tube ou transversaux ;

Profils longitudinaux pour les secteurs demandés : profils moyens dans l'EAU ou dans la VASE.

Plot pseudo-3D et animation Sélection d'un programme déjà existant et visualisation/animation avec DX ;

Quelques conventions Dans toute la suite,

- un fichier avec une extension `.dot`, désigne un fichier à charger avec le logiciel `dotty` (tracé de graphe) ;
- un fichier avec une extension `.gp`, désigne un fichier de commande pour `gnuplot` ;
- tous les fichiers créés par défaut en sortie ProSe se trouvent dans le répertoire qui a été défini à cet effet dans le fichier de commande de ProSe; il est égal au répertoire de la simulation par défaut.
- en cas de plusieurs graphes successifs, le défilement des graphes est obtenu à l'aide du bouton **Suivant** (figure 11) ;
- l'arrêt est obtenu en cliquant sur le bouton **Stop** (figure 11) ;
- lancé de nouveau la projection des mêmes graphiques s'obtient en cliquant sur le bouton **Re** (figure 11).

Le graphe de la rivière Le tracé de la rivière sous forme de graphe (figure 10) utilise le logiciel `dotty`. Il est émulé à partir du menu `Plots/Standards/Stream graph`). Une version postscript peut être sauvegardée (menu `Plots/Stream graph/Save (format .ps)`)

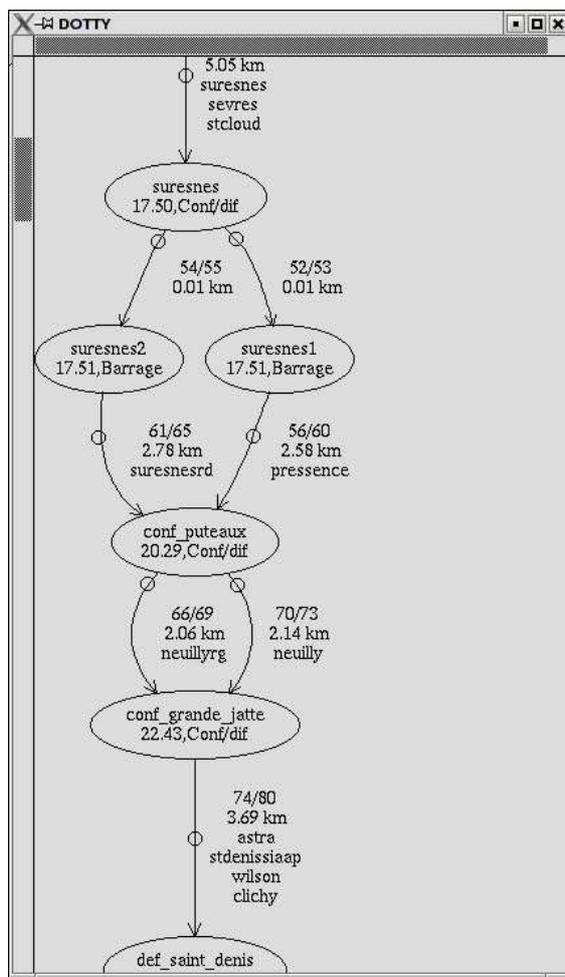


Figure 10: Tracé d'un graphe de rivière à l'aide du logiciel `dotty`, menu `Plots/Stream graph/Show`

Les niveaux de seuils Le tracé des niveaux de seuils aux différents barrages est lancé à l'aide du menu Plots/Standards/Gnuplot 2D/Divers/Dam(s) level(s). Une fenêtre de choix permet une sélection automatique des fichiers de nom **barrages.gp** se trouvant dans les répertoires résultat de la simulation (figure 11).

Les tracés consistent en une succession de graphes, un par barrage. Pour chaque barrage sont tracés sur un graphe unique, les évolutions, en fonction du temps, des niveaux de chaque seuil constituant le barrage, ainsi que les cotes de fond de la rivière en amont et en aval (figure 11) ;

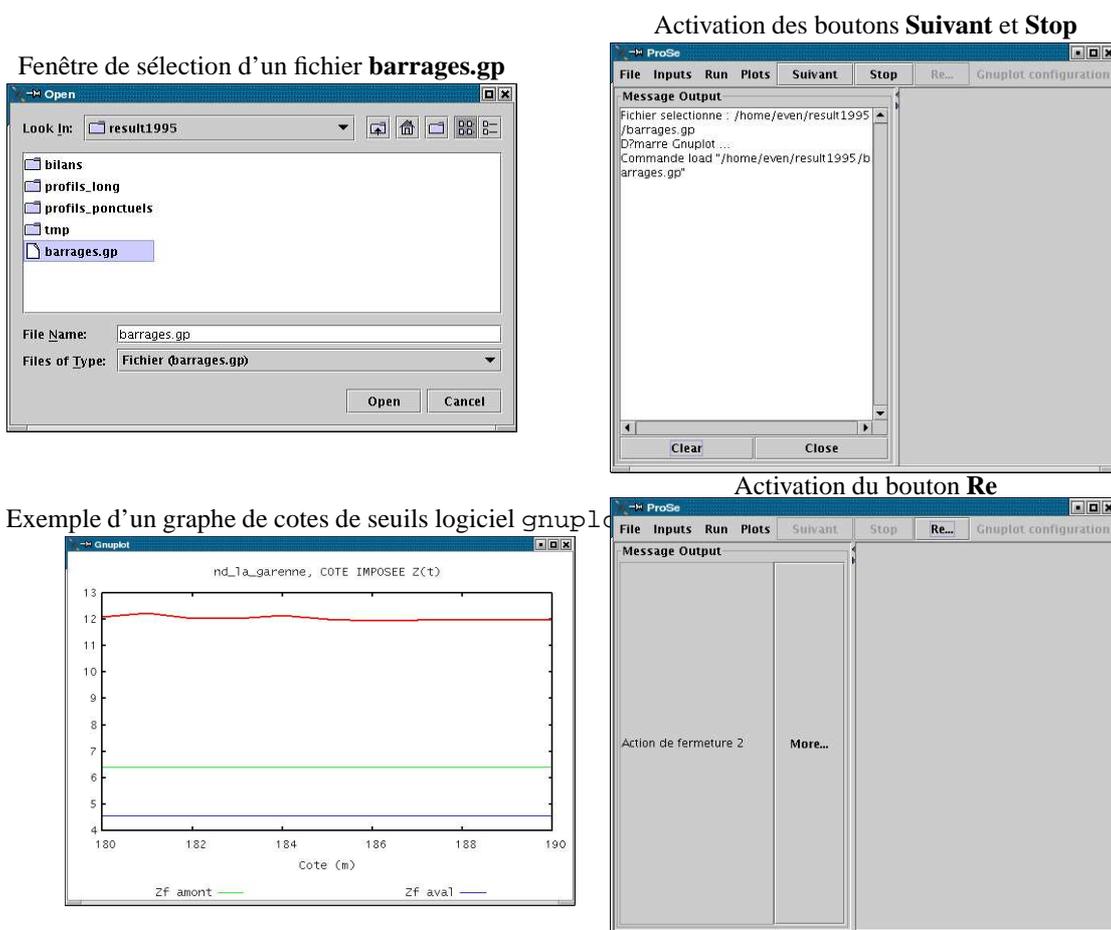


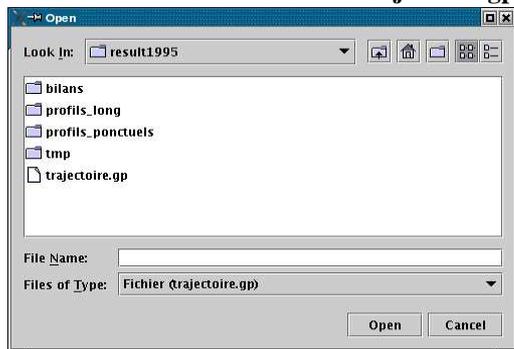
Figure 11: Tracé d'un de niveaux de seuil à l'aide du logiciel **gnuplot**, menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Divers/Dam(s) level(s)**. Exemple d'un graphe de niveau de seuil, sur une série de graphes défilant à l'aide du bouton **Suivant**. Le bouton **Stop** sert à arrêter le processus ; le bouton **Re** sert à le relancer.

Le linéaire des cours d'eau et méandres Le tracé des trajectoires « moyennes » des rivières est possible seulement quand la bathymétrie est géoréférencée. Pour chaque profil transversal on trace alors, dans un graphe en coordonnées (X,Y) la position du point milieu (menu Plots/Standards/Gnuplot 2D/Divers/Curves, figure 12). Les zones de méandres, calculées par le logiciel, sont figurées dans une autre couleur. Le calcul des zones de méandre n'est effectué que lorsqu'un calcul bidimensionnel de la dispersion avec les tubes de courant est demandé.

La sélection d'un fichier trajectoire.gp est effectué automatiquement à l'aide d'une fenêtre de choix (figure 12) ;

Les cotes de fond Le menu Plots/Standards/Gnuplot 2D/Divers/Bottom profiles permet de sélectionner automatiquement les fichiers profils.gp (figure 14) pour tracer des profils longi-

Fenêtre de sélection d'un fichier **trajectoire.gp**



Graph de trajectoire et de méandres

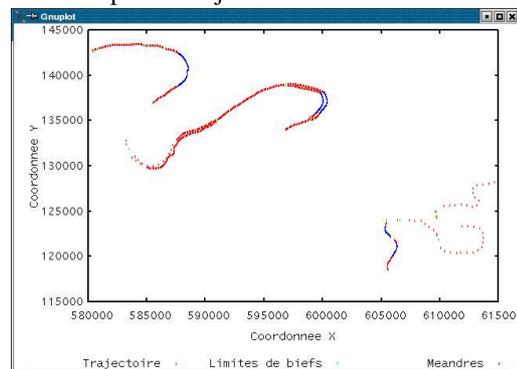
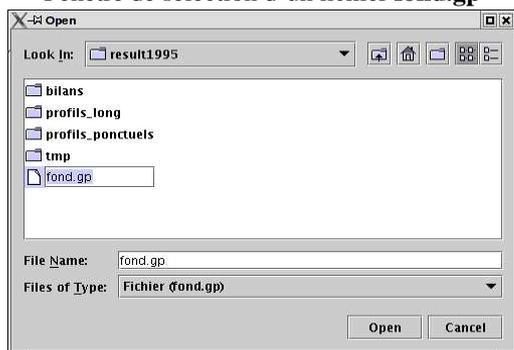


Figure 12: Tracé de trajectoire de la rivière, dans les secteurs géoréférencés, et figuration des zones de méandre, menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Divers/Curves**.

tudinaux des cotes de fond (profil des cotes minimales, profil des cotes de fond moyennes) (figure 13).

Fenêtre de sélection d'un fichier **fond.gp**



Profils des cotes de fond

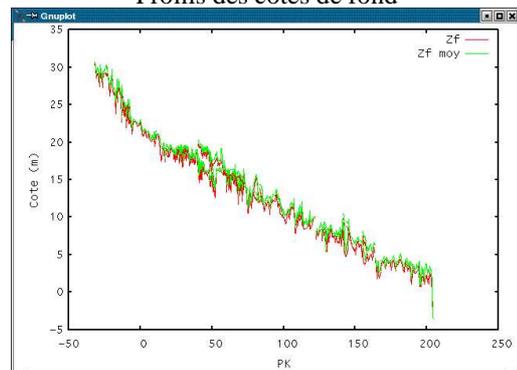


Figure 13: Tracé des profils longitudinaux des cotes de fond (cotes minimales et cotes de fond moyennes), menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Divers/Curves**.

LES PROFILS TRANSVERSAUX ProSe permet de tracer les profils transversaux rentrés par l'utilisateur à l'aide du menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Divers/Bathymetry**. Pour chaque profil, une comparaison entre le profil d'origine et celui après traitement par ProSe est proposée (figure 14). La sélection d'un fichier `profils.gp` à l'aide d'une fenêtre de choix est automatique (figure 14) ;

Les profils ponctuels Il s'agit des évolutions temporelles en points fixes (plusieurs PK peuvent être demandés par l'utilisateur) des différentes variables demandées en sortie.

- **Profils ponctuels moyens** à l'aide du menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Profils ponctuels/profils ponctuels moyens** : série de graphes (un par variable) présentant la comparaison, pour tous les points, des évolutions temporelles des concentrations transversales moyennes. Pour une simulation monodimensionnelle classique, la concentration transversale moyenne est la variable directement simulée ; pour une simulation bi-dimensionnelle à tubes de courant, la concentration transversale moyenne représente la moyenne des concentrations dans chaque tube (figure 15). Sélection des fichiers « `pp_#.moy.gp` » où « # » désigne EAU ou VASE.
- **Profils ponctuels par point** à l'aide du menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Profils ponctuels/profils ponctuels** présentant les évolutions temporelles par variables, valeurs

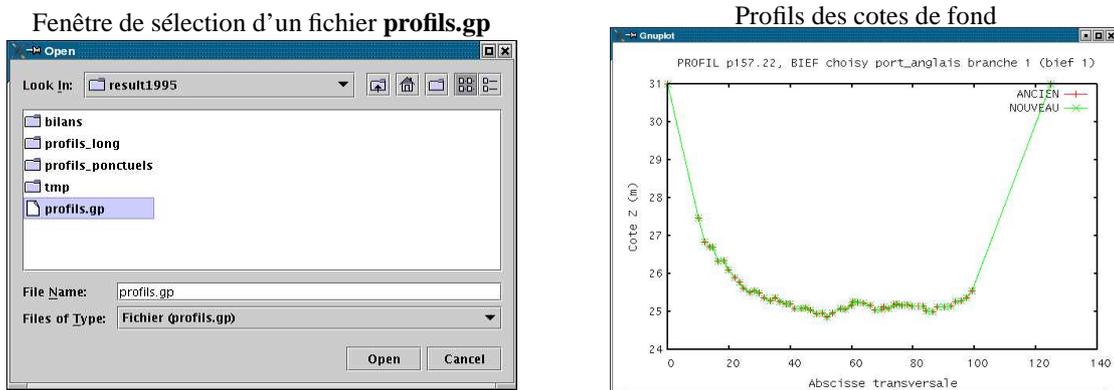


Figure 14: Tracé des profils transversaux rentrés par l'utilisateur, menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Divers/Bathymetry**.

comparées dans chaque tube (une seule courbe pour une simulation monodimensionnelle) (figure 16) ; sélection des fichiers « pp#1_#2.gp » où « #1 » désigne la valeur du PK et « #2 » désigne EAU ou VASE.

- **Profils transversaux en point fixe** à l'aide du menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Profils ponctuels/profils transversaux** : présentation, en point fixe et par variable, des profils transversaux en fonction du temps (figure 17) ; sélection des fichiers « pp#1_#2_#3.transv.gp » où « #1 » désigne la valeur du PK et « #2 » désigne EAU ou VASE et #3 désigne le nom de la variable.

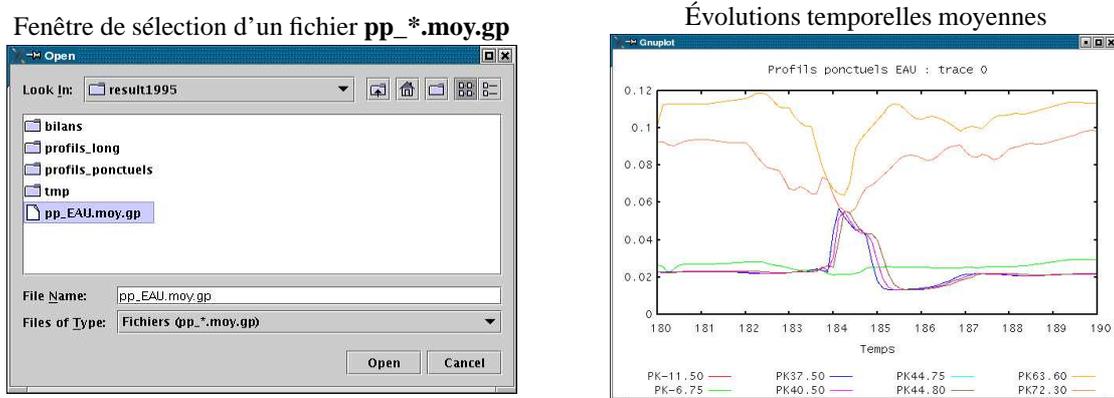


Figure 15: Tracé des évolutions temporelles moyennes (concentrations transversales moyennes) comparées entre chaque point demandé. Un graphe par variable : ici traceur 0.

Les évolutions longitudinales Les évolutions longitudinales des concentrations moyennes (moyenne transversale) entre deux PK sont tracées aux différentes dates demandées (tous les Δt entre t_{init} et t_{fin}). Plusieurs profils longitudinaux peuvent être demandés simultanément (plusieurs valeurs de couples de PK) (figure 18). ProSe permet les tracés dans l'eau et dans la vase, la couche VASE n'existant qu'en cas de simulation complète avec la biologie. Le cas des simulations ne faisant appel qu'à l'hydraulique ou au transport (traçage), ne comportent qu'une seule couche de calcul : l'EAU.

- **dans l'EAU** à l'aide du menu **Plots/Standards/Gnuplot 2D/Profils longitudinaux/EAU** ; fenêtre de choix permettant de sélectionner automatiquement les fichiers `pl_EAU_pk#1_pk#2_#3_#4.gp` ;

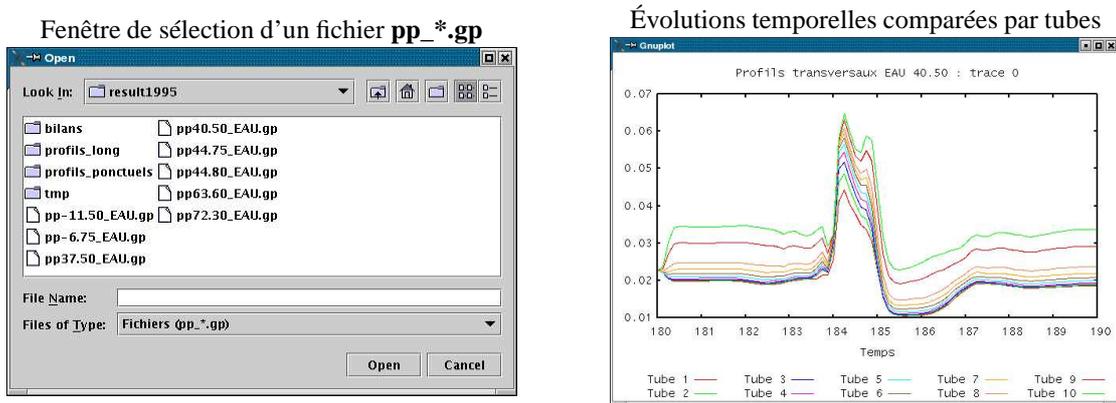


Figure 16: Tracé des évolutions temporelles par tubes. Un fichier par point (PK) contenant les graphes pour toutes les variables demandées en sortie : ici traceur 0 au PK 40.5 (Chatou).

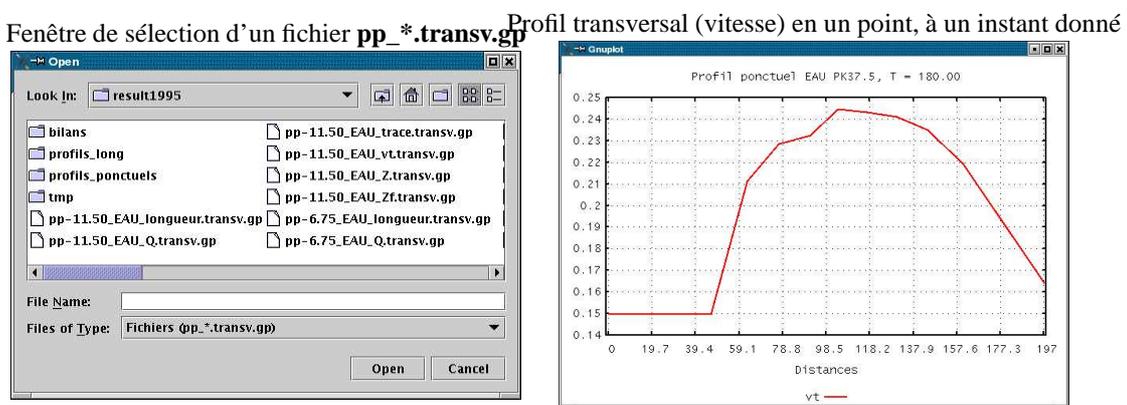


Figure 17: Tracé par variable (ici : vitesse) et par point (PK), des profils transversaux à chaque instant demandé (tous les Δt entre t_{ini} et t_{fin}).

- dans la VASE à l'aide du menu Plots/Standards/Gnuplot 2D/Profils longitudinaux/VASE ; fenêtre de choix permettant de sélectionner automatiquement les fichiers pl_VASE_pk#1_pk#2_#3_#4.gp ;

où #1 désigne la valeur du PK amont du domaine, #2 désigne la valeur du PK aval, #3 désigne le nom de la rivière et #4 la variable.

Les Évolutions pseudo-3D et animation Elles sont réalisées avec le logiciel DX. Seul le tracé des évolutions longitudinales est actuellement géré par l'interface (menu Plots/Standards/Plot pseudo-3D and animation/Longitudinal Profile). Pour que ce type de graphique soit possible, des données géoréférencées doivent exister.

Le menu permet de lancer la sélection d'un répertoire où se trouvent les résultats de la simulation. L'interface lance alors automatiquement DX avec le programme permettant le tracé des évolutions longitudinales pour les résultats contenus dans le répertoire sélectionné (figure 27).

L'utilisateur utilise ensuite l'interface de DX pour obtenir les graphiques et les formats de sauvegarde désirés :

- le menu **Execute/Execute Once** permet d'obtenir les premiers graphiques (figure 20) et permet d'ouvrir la fenêtre de choix ainsi que le séquenceur (figure 21) ;
- le séquenceur permet de faire défiler les graphes en fonction du temps (animation) (figure 21) ;

Profil longitudinal de la variable traceur, à un instant donné

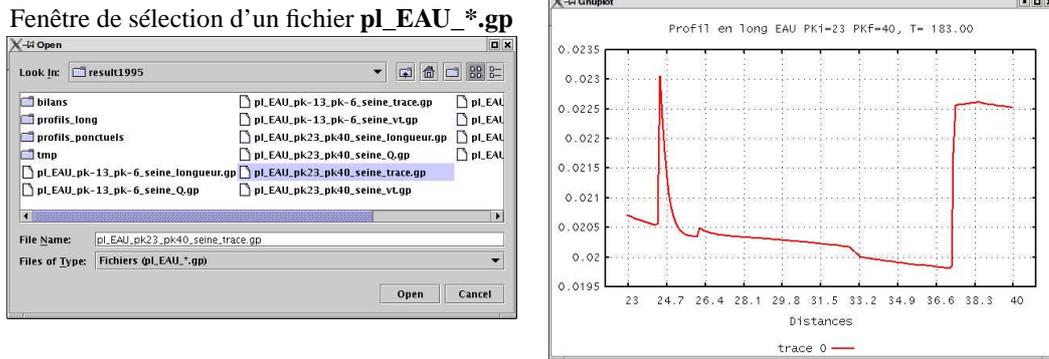


Figure 18: Tracé par variable (ici : traceur,), des profils longitudinaux à chaque instant demandé (tous les Δt entre t_{ini} et t_{fin}) ; exemple : entre les PK 23 et 40 et dans l'EAU).

- la fenêtre de choix permet de sélectionner les variables, de changer de répertoire, de changer de secteur, ... (figure 21) ;
- utiliser les fonctions de « zoom » de DX (menu Option/View Control/Mode) ;
- sauvegarder des figures aux formats désirés ;

2.4.2. Créer un nouveau graphique

Description des menus

With GNUPLOT Création d'un nouveau graphique avec `gnuplot` (interface de GnuPlot) ;

With DX Création d'un nouveau graphique avec `dx` ; appel simple à `opendx` et utilisation de l'interface `dx` pour créer un nouveau programme de visualisation ou charger des nouveaux jeux de données et utiliser la visualisation par défaut.

Nouveau graphique avec `gnuplot` Le logiciel `gnuplot` est un logiciel de tracé de graphe 2D avec de nombreuses fonctionnalités. C'est un logiciel **libre**. Il est utilisé par défaut pour visualiser les résultats du logiciel ProSe (voir ci-dessus). Son utilisation classique nécessite la notion de « commande en ligne » et donc la connaissance *a priori* des commandes devant être utilisées. Ces commandes peuvent par ailleurs être assemblées dans un fichier de commande. Afin de faciliter son utilisation pour des utilisateurs non avertis, nous avons créé, au sein de l'interface générale de ProSe, une interface spécifique pour ce logiciel (figure 22) (menu `Plots/New/With GnuPlot`).

Cette interface permet :

- de sélectionner un fichier quelconque (résultats de ProSe, mesures) organisé en séries de lignes de même format (sélection **Data Filename**). Les formats de fichiers prévus sont de type `*.tubes`, `*.moy.general`, `*.gnu`, pour ce qui est des fichiers résultat de ProSe, `*.mes` pour tout autre fichier).
 - La première ligne du fichier est affichée dans la fenêtre **Descriptif** et peut donc contenir un descriptif du contenu du fichier. C'est le cas des fichiers créés par ProSe. Pour l'exemple de la figure 23 un fichier `$HOME/result1996tmp/profils_ponctuels/pp36.00_branche1_seine_EAU.moy.general` a été sélectionné. Ce fichier est un fichier résultat de ProSe, dont le répertoire résultat demandé est `$HOME/result1996tmp/`. C'est dans le répertoire `$HOME/result1996tmp/` que sont écrits tous les fichiers de commande de `gnuplot` par défaut et appelés dans les fonctions présentées ci-dessus. Le répertoire `$HOME/result1996tmp/profils_ponctuels` est automatiquement créé et contient tous les fichiers résultats des profils en long. Le fichier `pp36.00_branche1_seine_EAU.moy.general`

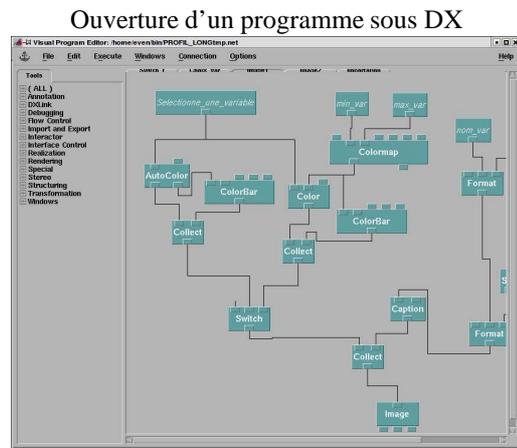


Figure 19: Sélection d'un répertoire de résultat et lancement et ouverture d'un programme de tracé de profils en long avec DX

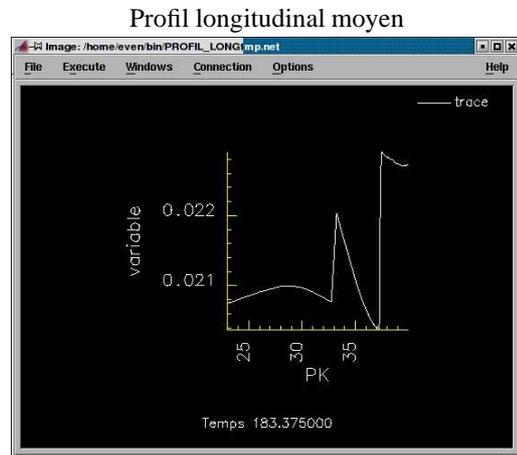
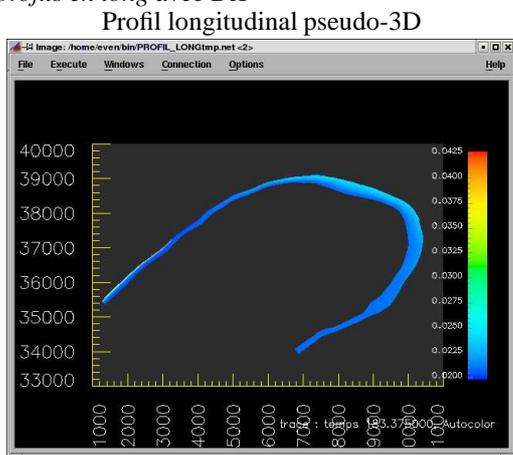


Figure 20: Affichage de deux tracés : profils en long pseudo-3D et profils en long 2D (coccntrations transversales moyennes).

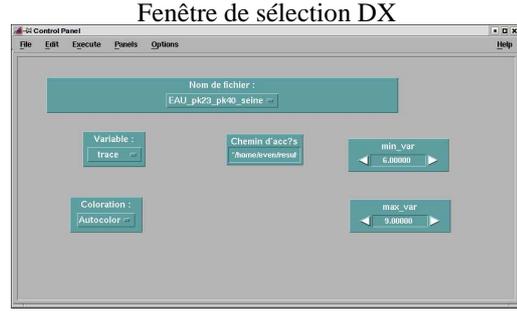
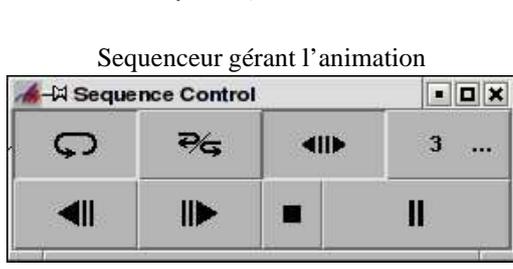


Figure 21: Séquenceur permettant de gérer l'animation et fenêtre de choix permettant de changer de variable, de secteur, de répertoire,

a été sélectionné. Le radical **pp** indique qu'il s'agit bien d'un profil ponctuel, demandé au PK 36 (Colombes), sur l'axe principal (branche 1), sur la Seine et dans la colonne d'eau. C'est ce que reprend le descriptif de la première ligne.

- le fichier doit contenir une ligne de format **field = ...** ou ... est le descriptif du format du fichier (**field = locations , phy0 , phy1 , phytot , NO3 , NH4 , PO4 , bact0 , bact1 , baccot , bactn , O2 , MESTot , MOPT0 , MOPT1 , MOPTtot , MOD0 , MOD1 , MOD2 , MODtot , CHLA0**

, **CHLA1**, **CHLAtot**, **MES**, **MODT0**, **MODT1**, **MODTtot**, **Q**, **vt**, **longueur**, **Z**, **Zf** dans l'exemple de la figure 23. Le contenu du format est automatiquement affiché dans la fenêtre **Choices**. Il est nécessaire, sans quoi, aucune sélection de variable ne pourra être réalisée.

- de sélectionner des variables. La sélection se fait en cliquant, dans la fenêtre **Choices**, sur la variable que l'on a choisit, puis sur les boutons **set X** ou **set Y**. Les exemples de la figure 24 montrent la sélection du champ **location** (temps) pour X et **phytot** pour Y.

Un double clique sur une variable dans la fenêtre **Y** ou bien une simple sélection suivie d'un clique sur le bouton **Delete** permet de supprimer une variable.

Le bouton **Clear** permet quant à lui d'annuler complètement les sélections **X** et **Y**.

En sélectionnant la variable **Y** :

- de choisir le style du tracé (figure 25, **linespoint par défaut**) ;
- de choisir la couleur du tracé (figure 25, couleur **noire** par défaut) ;
- de choisir l'épaisseur du trait (champ **line** dans figure 25, égal à **1** par défaut) ;
- de définir une légende pour la courbe (champ **Caption**) ;

Une fois l'ensemble de ces sélections effectuées, le bouton **Valide** permet de valider la sélection. Le bouton **Show** permet de visualiser le graphe demandé (figure 26). La validation est automatiquement effectuée quand le bouton **Show** est sélectionné.

On peut alors revenir à une nouvelle sélection (ajouter des variables) et demander un nouveau tracé (figure 26, pour le deuxième graphe, les variables phy0 et phy1 ont été ajoutées).

Le bouton **Nouveau** permet de choisir un autre fichier avec lequel on renouvellera les opérations de sélections, en gardant en mémoire les sélections d'un fichier précédent. On peut alors superposer des graphes venant de plusieurs fichiers.

Le bouton **Annuler** permet d'annuler une sélection complète.

Le bouton **Save as ...** permet de sauvegarder la sélection sous forme d'un fichier de commande `gnuplot` d'une part, d'un graphe postscript, d'autre part.

Le bouton **Dismiss** permet de supprimer l'interface.

Quand l'interface `gnuplot` est lancée, le menu **Gnuplot Configuration** est alors activé. Il permet de gérer des fonctions plus générale telles que :

Scaling : options de changement d'échelle :

Autoscale , option par défaut ; les échelles des X et des Y sont arrangées par défaut ;

set xrange pour imposer une valeur minimale et une valeur maximale pour les abscisses ;

set yrange pour imposer une valeur minimale et une valeur maximale pour les ordonnées ;

set key position pour imposer la position des légendes ;

below en bas ;

left à gauche ;

right à droite (option par défaut) ;

top en haut ;

caption permet de changer des légendes

Titre le titre général du graphe ;

x label titre pour l'axe des abscisses ;

y label titre pour l'axe des ordonnées ;

set tics permet de changer les marqueurs ; En plus de l'option par défaut prévue par `gnuplot` (incréméntation automatique entre les valeurs minimale et maximale) :

Mois permet de mettre les marqueurs de mois sur l'axe des abscisses si le temps en abscisses est compté en jour à partir du premier janvier de l'année ;

Aucun pour supprimer les tics ;

Grid permet de choisir la visualisation d'une grille (option **Grid** ou **No grid** ;

File modification permet de récupérer une sélection d'un fichier (cas où la sélection porte sur plusieurs fichiers) et de la modifier, voire de la supprimer ;

Save as ... Commande Sauvegarder sous forme d'un fichier de commande (.gp) ;

PostScript Sauvegarder sous forme d'un fichier postscript (.ps) ;

Print pour lancer l'impression ;

Fermer pour effacer la fenêtre de l'interface.

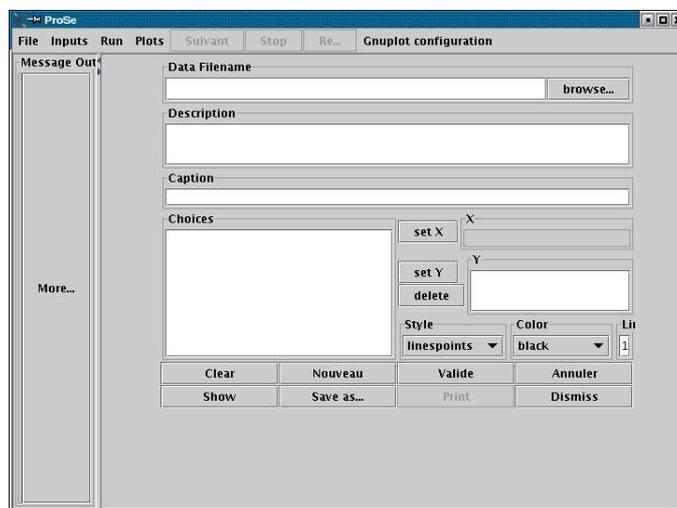


Figure 22: Interface pour le logiciel de dessin gnuplot

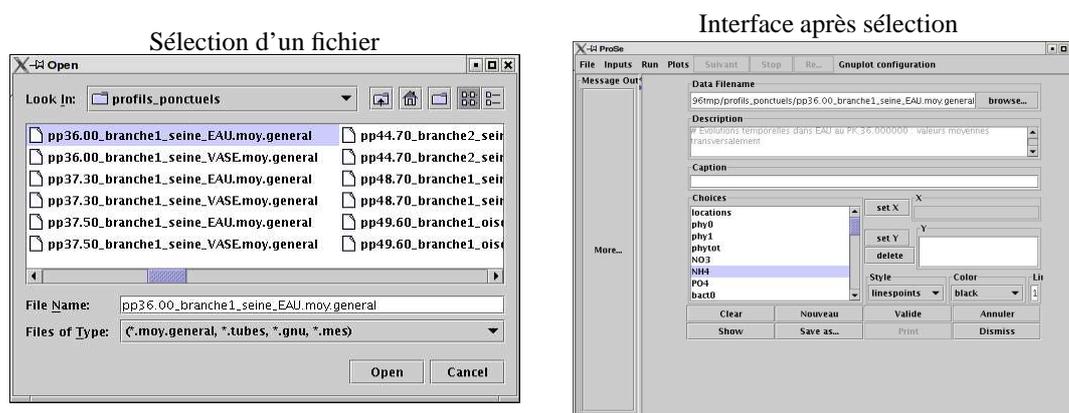
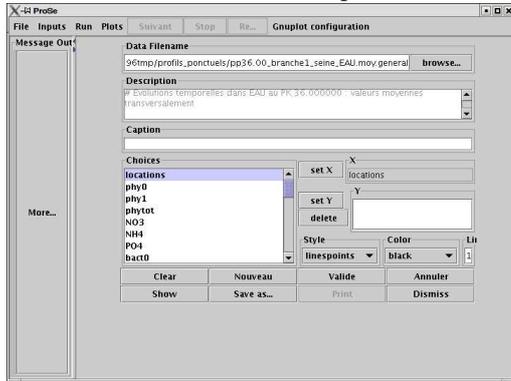


Figure 23: Sélection d'un fichier.

Sélection du champ X



Sélection du champ Y

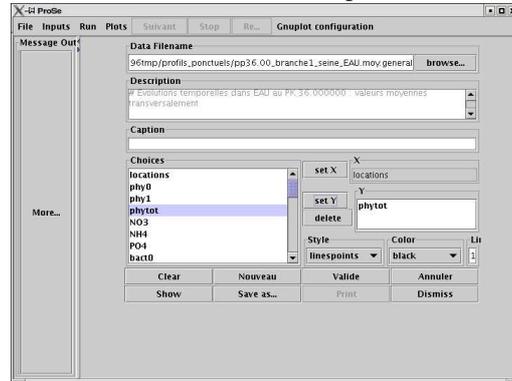
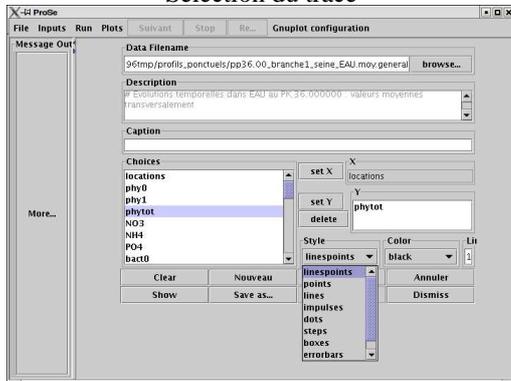


Figure 24: Sélection des variables.

Sélection du tracé



Sélection de la couleur

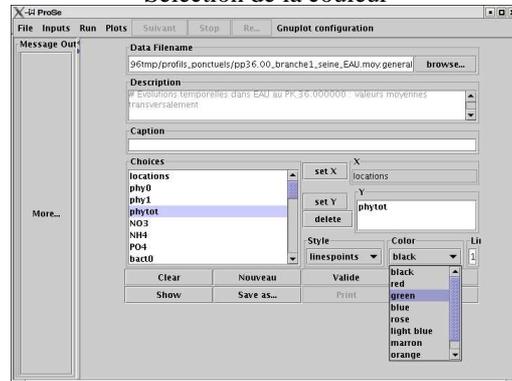
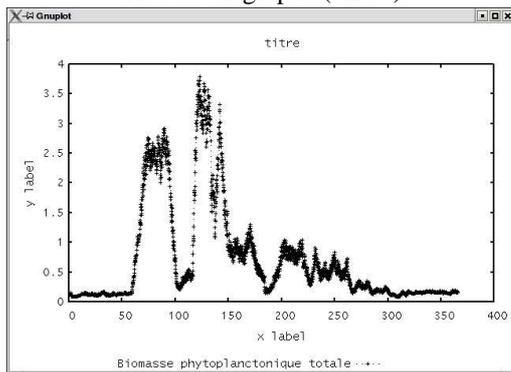


Figure 25: Définition du style du tracé.

Tracé d'un graphe (Show)



Tracé d eplusieurs courbes

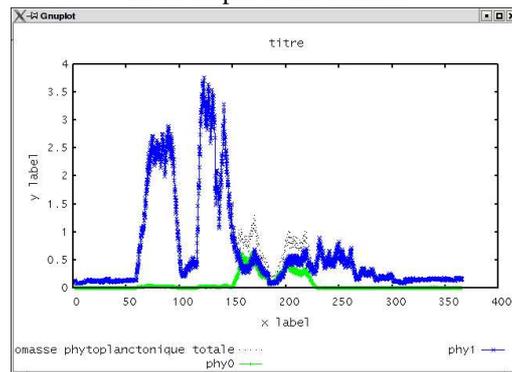


Figure 26: Deux exemples de graphiques obtenus.

Nouveau graphique avec dx La sélection du menu Plots/New/With DX permet de lancer le logiciel dx qui est déjà interfacé (figure 27). Dans ce cas, une fenêtre de choix s'affiche permettant les différentes opérations dont on retiendra l'import et la visualisation par défaut d'un jeu de données. Pour plus de détail, nous renvoyons l'utilisateur à la documentation de ce logiciel.

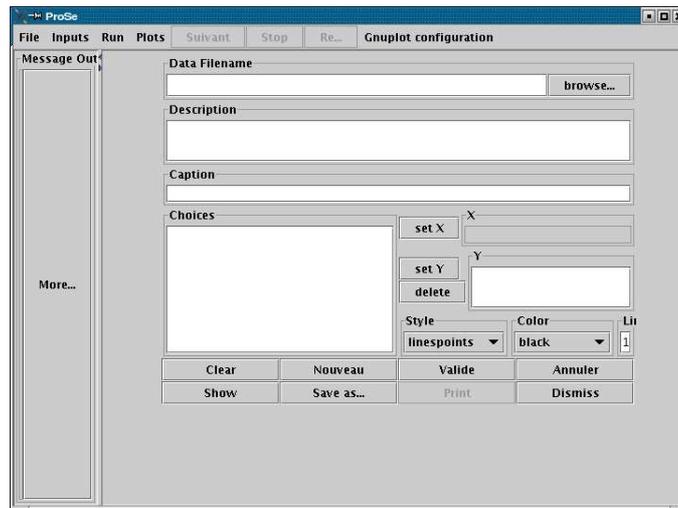


Figure 27: Interface du logiciel de dessin *dx*

3. Les outils d'aide à la construction d'un modèle de bassin versant

3.1. Formatage des données : les choix conceptuels

La manipulation d'un nombre important de données nécessite d'utiliser des outils de traitement de données géoréférencées, les SIG. Certains modèles, comme SENEQUE (Ruelland and Billen 2002) ou PEGASE (Smitz, Everbecq, Delière, Descy, Wollast, Vanderborght, Salleron, and Dumortier 1998), sont couplés de manière serrée avec ce type d'utilitaire. Ces approches ne permettent pas aux utilisateurs de travailler eux-mêmes les données. De plus, bien souvent, des choix de logiciels sont effectués *a priori*.

Dans le cas présent, afin de permettre une certaine souplesse d'utilisation et de conserver la modularité de la structure de modélisation CAWAQS, nous avons fait le choix de découpler les étapes de traitement et de lecture des données, des algorithmes de calcul, d'une part. D'autre part, le traitement même des données se fait en plusieurs étapes :

1. les étapes de traitement sous SIG sont réduites au minimum (visualisation, travail des données spatialisées et sauvegarde/export dans un format tabulaire texte ou ASCII). Le choix qui est donc fait au départ, est d'autoriser la possibilité d'utiliser n'importe quel SIG³. Les échanges d'information sont très bien gérés entre SIG. Par contre, se sont généralement les traitements complexes, faisant appel à des fonctions spécifiques des SIG, qui gênent la portabilité. Par ailleurs, les quelques tests qui ont été réalisés, nous ont permis de nous rendre compte du fait que les fonctions et langages de programmation prévus en interne des SIG n'étaient pas forcément optimisés (temps de traitement parfois très longs) de même que se posait le problème de l'évolution de ces langages.
2. « externalisation » de tous les traitements complexes. Des programmes de traitement ont été écrits dans des langages courants et facilement transposables, tels que le C et utilisent des parsers.

Les données tabulées sont analysées par un programme de prétraitement spécialement développé pour la mise en forme des données de CAWAQS. Ce programme, GIS2WAQS, est basé sur les parsers FLEX et BISON⁴. GIS2WAQS permet de générer les données d'entrée des modèles ProSe, NEWSAM, et des modules de surface REPSUR et NONSAT (modèle de la zone non saturée) au sein de l'interface commune nommée CAWAQS.

³Nous avons utilisé les logiciels Arcview 3.x, et Arcgis 8.0

⁴Nous noterons au passage que l'outil de génération automatique d'interface graphique GABI pourra être appliqué pour interfacer ce programme

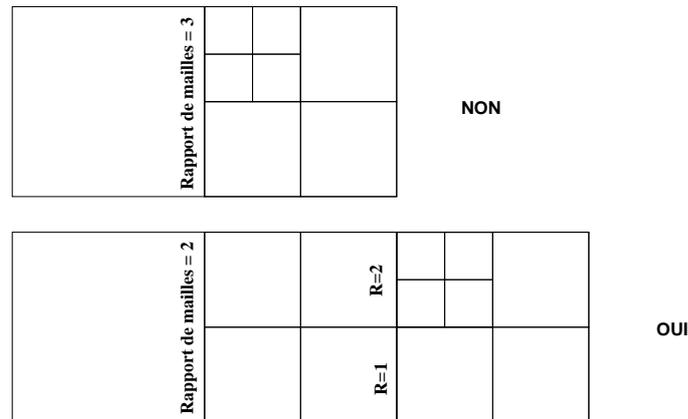


Figure 28: Illustration de la contrainte imposée par NEWSAM pour le redécoupage de mailles. Il faut nécessairement que le rapport du nombre de mailles de part et d'autre d'une frontière soit égal au plus à deux. R = rapport de mailles de part et d'autre d'une frontière.

Tous ces traitements sont intégrés à la chaîne de modélisation et restent transparents pour l'utilisateur.

En ce qui concerne la définition des paramètres du modèle souterrain, le programme GIS2WAQS autorise à la fois de définir des paramètres propres à une couche, et de récupérer, pour chaque maille, les paramètres d'un modèle de plus grande extension spatiale. Cette fonctionnalité est intéressante pour zoomer sur une partie d'un domaine déjà modélisé. Par contre, face à des problématiques de changement d'échelle il s'avère que le jeu de paramètres doit quasiment être révisé. Ce fut notamment le cas lorsque nous avons cherché à adapter le travail réalisé par Éric Gomez à l'échelle du bassin de la Seine (Éric Gomez 2002) au cas du Grand-Morin, sur lequel est actuellement mis en œuvre le modèle CAWAQS.

Les manipulations des données liées au réseau hydrographique (calcul de pentes, positionnement de points singuliers sur le réseau, vérification de la cohérence du réseau, transformation des tables attributaires...) ont été réalisées grâce à l'extension du SIG Arcview3.x, ExPreS (Théry and Bacq 2003) qui a été développée au sein du PIREN Seine.

3.2. Construction du modèle souterrain - l'extension Av-Xmaille

Un mailleur automatique a été développé sous la forme d'une extension du SIG Arcview3.x. Cette extension, Av-Xmaille (Théry and Flipo 2004), téléchargeable sur le site du PIREN Seine (<http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/>), permet de générer un maillage pour NEWSAM, en respectant les contraintes liées aux mailles gigognes. En effet partant d'une taille de maille fixée, le modèle NEWSAM autorise le regroupement (ou le redécoupage) de mailles par quatre pour donner des mailles plus grandes (ou plus petites). On peut ainsi réduire la finesse de description du système dans des zones où cela modifie peu la qualité des résultats, pendant que certaines zones sensibles (abords des cours d'eau, ...) restent bien décrites. L'objectif est de réduire le nombre de mailles de calcul et de gagner en temps de simulation. Cependant la contrainte sur ce type de regroupement (redécoupage) est qu'il ne doit pas exister plus d'un rapport deux entre le nombre de mailles de part et d'autre de chaque frontière. Prenons par exemple le cas de deux mailles de 4 km dont une des deux est redécoupée en quatre mailles de 2 km de côté chacune. Avec la contrainte précédente, on ne peut pas redécouper une des quatre mailles de 2 km de côté en quatre autres mailles de 1 km de côté (figure 28). Il faut nécessairement passer par une maille intermédiaire.

L'extension Av-Xmaille offre les possibilités suivantes :

1. définir les limites du domaine souterrain en se basant sur l'analyse de données géoréférencées, comme les rivières par exemple ;
2. permettre le redécoupage, jusqu'à un seuil de taille donnée, d'un ensemble de mailles sélectionnées. Par exemple, pour définir le maillage du Grand Morin, nous sommes partis d'une grille de mailles

de 4 km de côté. Les mailles parcourues par une rivière ont récursivement été redécoupées jusqu'à des mailles de 250 m de côté ;

3. garantir l'homogénéité d'une couche horizontale en terme d'emboîtement de mailles ;
4. garantir la cohérence verticale de deux couches en terme d'emboîtement de mailles ;
5. et aussi:
 - générer une grille de pas d'espace constant ;
 - relire des coordonnées de mailles en format texte et générer la couche graphique *ad hoc* ;
 - regrouper et scinder les mailles d'un maillage quelconque dans la limite des dix tailles de redécoupage autorisées par NEWSAM ;
 - renuméroter toutes les mailles d'une couche à partir d'un certain identifiant.

3.3. Application au Grand Morin

La définition des mailles souterraines du modèle du Grand-Morin a été réalisée en deux temps. Tout d'abord AV-XMAILLE a servi à définir des mailles emboîtées qui suivent le réseau hydrographique (maille rivière de 250 m de côté). Ensuite les informations spatiales du MNT⁵ et les données altimétriques qui définissent les toits et murs des aquifères tertiaires (source Compagnie Générale de Géophysique) ont été projetées sur les mailles souterraines définies par AV-XMAILLE. La sélection des mailles valides a été réalisée sous ARCVIEW 3.2. Finalement, l'extension des couches résultantes (figure 29) est en accord avec la carte géologique au 1:250 000 (Mégnien 1983).

Au final, le modèle souterrain du Grand-Morin comprend deux couches, soit au total 8527 mailles.

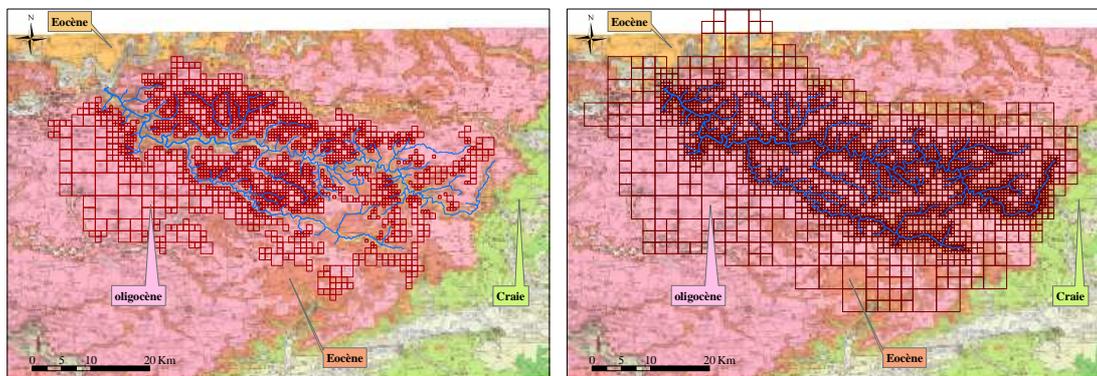


Figure 29: Maillages de a) l'oligocène et b) de l'éocène sur le bassin du Grand Morin à l'aide de l'outil AV-XMAILLE

4. Conclusion et perspectives

Les développements réalisés en 2004, sur les logiciels ProSe et CAWAQS ont permis de mettre en place des fonctionnalités importantes. Concernant le logiciel ProSe, la nouvelle interface permet de gérer les appels à des prétraitements pour générer les entrées. Nous mentionnerons plus particulièrement le travail accompli pour interfacier le prétraitements des rejets, de temps sec et de temps de pluie.

L'interface permet de gérer le lancement des calculs et facilite grandement la visualisation de résultats de ProSe : menus permettant de connaître *a priori* les différents types de résultats, fenêtres de choix sélectionnant les fichiers, ... Une interface graphique pour le logiciel `gnuplot` a également été développée pour permettre à l'utilisateur de réaliser ses propres dessins.

⁵Modèle Numérique de Terrain

Actuellement, la structure générale d'une interface intégrée pour le logiciel ProSe est donc mise en place et fonctionne déjà. D'autres fonctions seront intégrées à l'avenir. Les efforts restant à faire portent essentiellement sur la mise au point de l'interface graphique générée à l'aide de l'outil GABI pour gérer les entrées de ProSe. Un prototype existe et fonctionne déjà. Trois aspects importants restent cependant encore à finaliser avant que l'on puisse considérer que l'interface remplit bien ses fonctions :

- la gestion des commentaires
- la gestion des inclusions de fichiers
- la lecture de fichiers texte en entrée

L'objectif pour la fin 2005 est de disposer d'une version interfacée de ProSe qui soit utilisable par les utilisateurs gestionnaires (SIAAP, ...). Des fonctionnalités seront alors apportées au fur et à mesure des retours et demandes des utilisateurs.

Toutes les commandes et traitements nécessaires à l'utilisation du logiciel ProSe tendent à être gérées par l'interface graphique, y compris les impressions (console de l'interface). Cette intégration permet d'envisager à terme un portage aisé sous tout type d'environnement. Cette question pourra être envisagée à l'échéance de 2006.

En dernier lieu, la plate-forme de modélisation CAWAQS permet d'étendre le champ des problématiques abordées par le logiciel ProSe. Les résultats obtenus sur le Grand-Morin sont tout à fait encourageants et montrent l'utilité d'une telle démarche (Flipo 2005). La structure de CAWAQS est entièrement modulaire et découplée, ce qui permet de conserver l'autonomie de fonctionnement de chaque module, notamment du module « rivière », constitué par ProSe.

Il est envisagé de fusionner les deux logiciels, ProSe et CAWAQS. Le logiciel ProSe pourra alors bénéficier des extensions développées pour CAWAQS (couplage avec les SIG, traitement des apports diffus, problématique des petits cours d'eau amont, ...), tandis que les développements apportés à ProSe en terme d'interface pourront être étendus à l'ensemble de la plate-forme de modélisation CAWAQS. Notamment, l'outil GABI pourra être utilisé pour interfacier certaines fonctions de pré-traitement d'une part, pour automatiquement adapter l'interfaçage graphique des entrées de ProSe aux formats de CAWAQS.

Bibliographie

- Bonniez, S., 2001. Générateur automatique d'interfaces graphiques pour logiciels scientifiques. Rapport de stage 3A - ENSTB.
- BPR, SOGREAH, and HYDRATEC, 1997. Étude de l'assainissement en zone centrale de la région Île de France. Technical report, Agence de l'Eau Seine Normandie - Ministère de l'Environnement - Région Île de France - Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne.
- Even, S., N. Flipo, M. Poulin, S. Bonniez, and R. Keryell, 2002. Développements opérationnels des outils de modélisation de l'eau de la Seine : ProSe à tubes de courant, version 3. Technical report, Piren Seine, rapport d'activité 2002.
- Even, S., R. Keryell, N. Flipo, and M. Poulin, 2003. Développements et interfaçages de PROSE 3.5. Technical report, CIG - LHM/RD/04/04.
- Flipo, N., 2005. Modélisation intégrée des transferts d'azote dans les aquifères et en rivière : application au bassin de Grand Morin. Thèse de doctorat, ENSMP.
- Flipo, N., S. Even, M. Poulin, P. Combes, and E. Ledoux, 2004. Validation de l'hydrologie du modèle couplé CAWAQS sur un petit bassin versant. In Ateliers de modélisation de l'atmosphère. Toulouse, 29-30 novembre 2004.
- Flipo, N., S. Even, M. Poulin, and E. Ledoux, 2004. Hydrological part of CAWAQS (CATCHMENT WATER Quality Simulator) : fitting on a small sedimentary basin. In Verh. Internat. Verein. Limnol.

- Flipo, N., M. Poulin, S. Even, E. Ledoux, C. Viavatten, and S. Théry, 2004. Modélisation intégrée du bassin du Grand Morin. choix conceptuels. description de la plate-forme Stics-Newsam-Prose. contribution du Centre d'Informatique Géologique de l'École des Mines de Paris au Programme de recherche Piren Seine. rapport LHM/RD/04/07. Technical report, École des Mines de Paris.
- Mégnién, F., 1983. Carte géologique de la France à 1/250 000 - Paris. BRGM.
- Ruelland, D. and G. Billen, 2002. Développements méthodologiques en matière de modèles et gestion de données. seneque 3, logiciel SIG de modélisation prospective de la qualité des eaux de surface. rapport d'activité du piren seine. Technical report, PIREN Seine.
- Smitz, J., E. Everbecq, J. Delière, J. Descy, R. Wollast, J. Vanderborght, J. Salleron, and G. Dumortier, 1998. Application du modèle pegase au bassin rhin-meuse (france). In Man and river system, Les systèmes fluviaux anthropisés. Paris, 25-27 mars.
- Théry, S. and N. Bacq, 2003. ExPreS 1.1, EXtension de Prétraitement pour SENEQUE. <http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/>.
- Théry, S. and N. Flipo, 2004. Av-Xmaille2, mailleur pour NEWSAM. <http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/>.
- Éric Gomez, 2002. Modélisation intégrée du transfert de nitrate à l'échelle régionale dans un système hydrologique. Application au bassin de la Seine. Ph. D. thesis, École des Mines de Paris.