

Document public

Logiciel GARDÉNIA version 6.0

Guide d'utilisation

BRGM/RP-52832-FR
décembre 2003

Document public

Logiciel GARDÉNIA version 6.0

Guide d'utilisation

BRGM/RP-52832-FR
décembre 2003

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Recherche du BRGM 2003-EAU-R05

D. Thiéry



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : Logiciel, GARDÉNIA, Guide d'utilisation, Réservoirs, Débits, Niveaux aquifères.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Thiery D. (2003) - Logiciel GARDÉNIA, version 6.0. Guide d'utilisation. BRGM/RP-52832-FR, 102 p., 42 fig., 3 ann.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le code de calcul GARDÉNIA (modèle **G**lobal **A** Réservoirs pour la simulation des **D**Ébits et des **N**iveaux **A**quifères) est un modèle hydrologique global de bassins versants.

À partir de la séquence des données météorologiques (précipitations, évapotranspiration potentielle) sur son bassin d'alimentation, il permet donc de calculer au choix :

- le débit à l'exutoire d'un cours d'eau (ou d'une source) ;
- le niveau en un point de la nappe libre sous-jacente.

Les calculs peuvent être réalisés au choix, au pas de temps journalier, décadaire (dix jours) ou mensuel. Il est possible de prendre en compte la fonte de la neige.

Le logiciel GARDÉNIA est exploité de façon courante pour l'extension de données, tant dans l'espace que dans le temps. Il permet les fonctionnalités suivantes :

- génération de longues séries de débits ou de niveaux piézométriques à partir d'historiques de pluies, après calage préalable sur une période relativement courte ;
- analyse de cohérence entre observations climatiques et observations de débits ou de niveaux piézométriques ;
- analyse des différents termes du cycle hydrologique (infiltration, évapotranspiration, écoulement).

Dans la pratique, il permet d'analyser le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant, d'étendre des données de débit ou de niveau. Il peut ainsi aider au dimensionnement de différents types d'ouvrages (barrages) ou aménagements (parkings, champs de captage en rivière, micro-centrales électriques), etc.

En effet, le modèle, une fois calé, est en mesure :

- de reconstituer, pour un bassin versant donné, les débits d'une rivière ou d'une source, ou le niveau piézométrique d'une nappe, durant une période pendant laquelle on ne possède pas de mesures ;
- de simuler au choix :
 - des débits résultant de périodes de sécheresse (débits d'étiage ou dimensionnement de barrage) ou de séquences de précipitations exceptionnelles (dimensionnement de fondations, de parkings),
 - des niveaux piézométriques ponctuels de nappe à partir de précipitations effectivement observées, prolongées par des scénarios de précipitations prévisionnels (sécheresses, périodes de hautes eaux).

Enfin, le logiciel GARDÉNIA version 6.0 est conçu pour enchaîner le traitement de plusieurs bassins avec des options communes. Il constitue donc un outil tout particulièrement adapté aux synthèses régionales pour lesquelles on désire réaliser, avec une certaine cohérence, l'analyse de plusieurs bassins versants.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Description du modèle GARDÉNIA	11
2.1. Principe de fonctionnement d'un modèle hydrologique global	11
2.2. Domaines d'application.....	12
2.2.1. Application à l'extension de séries de débits d'un bassin jaugé.....	12
2.2.2. Application aux bassins non jaugés	13
2.2.3. Application à la prévision.....	13
2.2.4. Exploitation ultérieure de séries de débits.....	13
2.3. Les données nécessaires à l'utilisation du modèle.....	13
2.3.1. La lame d'eau	14
2.3.2. L'évapotranspiration potentielle ETP	14
2.3.3. La température moyenne de l'air.....	15
2.3.4. Les débits à l'exutoire et les niveaux piézométriques	15
2.4. Analyse et élaboration des données.....	16
2.4.1. Analyse des pluies.....	16
2.4.2. Analyse des évapotranspirations - ETP	17
2.4.3. Analyse des débits ou des niveaux piézométriques	17
2.4.4. Connaissance du bassin. Précision des mesures	18
2.5. Fonctionnement du modèle	19
2.5.1. Introduction.....	19
2.5.2. Le bilan dans le réservoir superficiel	22
2.5.3. Transfert dans les réservoirs intermédiaires et souterrains.....	23
2.5.4. Les séries calculées par le modèle	27
2.5.5. Description des paramètres hydrologiques du modèle	27
2.6. Calage du modèle et analyse des résultats.....	29
2.6.1. Procédure générale	29
2.6.2. Conseils d'utilisation	30
3. Notice d'utilisation du code GARDÉNIA	37
3.1. Installation de GARDÉNIA sous environnement Windows.....	37
3.1.1. Distribution.....	37
3.1.2. Caractéristiques et configuration du matériel nécessaire.....	37
3.1.3. Procédure d'installation	37

3.1.4. Exécution.....	38
3.2. Les fichiers « entrée » de GARDÉNIA.....	38
3.3. Déroulement d'une simulation	39
3.3.1. Réutilisation d'un fichier projet (pour refaire un calcul identique)	39
3.3.2. Création d'un nouveau projet	40
3.3.3. Titre descriptif de la simulation	42
3.3.4. Pré-options	42
3.3.5. Nom des fichiers à lire	44
3.3.6. Options générales	45
3.3.7. Pas de temps.....	47
3.3.8. Paramètres généraux.....	48
3.3.9. Paramètres physiques.....	53
3.3.10. Bornes des paramètres	58
3.3.11. Lecture des données / calcul.....	59
3.3.12. Affichage graphique à l'écran	59
3.3.13. Édition sur fichiers des résultats.....	60
3.4. Les résultats produits par le modèle.....	60
4. Mise en forme des données temporelles. Utilisation du logiciel « SHALIMAR »	63
4.1. Données formatées : logiciel SHALIMAR.....	63
4.1.1. Types de données	63
4.1.2. Description du format des données temporelles formatées	65
4.2. Données en format libre ou « excel_date »	65
4.2.1. Données temporelles en « format libre ».....	65
4.2.2. Données temporelles en format « Excel_Date »	66
5. Exemple d'utilisation de GARDÉNIA. Le bassin des Ondes	69
5.1. Le bassin des Ondes (d'après la thèse de F. Pernel - 1990).	69
6. Calcul des ETP par la formule de TURC. Utilisation du logiciel ETPTURC.....	77
7. Références bibliographiques	81

Liste des figures

Fig. 1 - Schéma de principe du modèle GARDÉNIA.....	20
Fig. 2 - Schéma le plus fréquent : un seul réservoir souterrain.....	21
Fig. 3 - Schéma complexe à deux réservoirs souterrains.	21
Fig. 4 - Schéma complexe avec un réservoir souterrain à deux orifices de vidange.	22
Fig. 5 - Réservoir superficiel.	23
Fig. 6 - Réservoir intermédiaire.....	24
Fig. 7 - Schéma du réservoir G1.	25
Fig. 8 - Schéma du réservoir G2.....	26
Fig. 9 - Schéma d'un réservoir G à deux exutoires.....	26
Fig. 10 - Début d'une simulation avec le code GARDENIA.....	39
Fig. 11 - Menu Fichier (Nouveau, Ouvrir, Fermer, Récents).....	40
Fig. 12 - Nouveau projet.....	40
Fig. 13 - Création d'un fichier de paramètres [.gar] ou bien réutilisation d'un fichier existant.	40
Fig. 14 - Définition du nom du fichier qui sera créé en fin de calcul et contiendra les paramètres résultant (ici : mon_Fichier.gar).....	41
Fig. 15 - Importation d'un fichier de paramètres existant (ici : Amiens.gar).	41
Fig. 16 - Définition du titre descriptif de la simulation.....	42
Fig. 17 - Définition ou modification des pré-options.....	42
Fig. 18 - Nouveau projet : définition du fichier des pluies (et des autres fichiers hydroclimatiques).....	44
Fig. 19 - Définition ou modification des options de calcul.	45
Fig. 20 - Définition des durées des pas de temps et des formats de fichiers associés.	47
Fig. 21 - Début des calculs et contrôle des fichiers lus.	48
Fig. 22 - Définition de la plage des observations à prendre en compte.	49
Fig. 23 - Définition ou modification des paramètres généraux (nombre d'années, nombre d'itérations, nombre de réservoirs, etc.).....	49
Fig. 24 - Définition ou modification des paramètres physiques (capacité ou constantes de demi-tarissement des réservoirs).	53
Fig. 25 - Définition ou modification des bornes des paramètres physiques (uniquement pour le premier bassin).	58
Fig. 26 - Affichage des itérations de calcul et du coefficient d'ajustement final.	59

Fig. 27 - Comparaison graphique de la série observée (rouge) et de la série simulée (vert).	59
Fig. 28 - Fin des calculs : rappel des fichiers de résultats générés.	60
Fig. 29 - Logiciel SHALIMAR : définition du pas de temps d'une série lue.	63
Fig. 30 - Logiciel SHALIMAR : définition du codage des valeurs manquantes.	64
Fig. 31 - Tableur du module SHALIMAR (ici données mensuelles).	64
Fig. 32 - Bassin des Ondes : comparaison des débits observés et simulés (coefficient de corrélation égal à 0,914).	70
Fig. 33 - Fichier des paramètres : fichier onde.gar (début).	71
Fig. 34 - Fichier des paramètres : fichier onde.gar (suite).	72
Fig. 35 - Fichiers de séries hydrologiques.	73
Fig. 36 - Fichiers de contrôle de l'ajustement et du bilan.	74
Fig. 37 - Fichier des paramètres en fin de calcul : crepara.out (extraits).	75
Fig. 38 - Logiciel ETPTURC : écran d'accueil.	78
Fig. 39 - Logiciel ETPTURC : présentation d'un exemple d'application simple.	78
Fig. 40 - Logiciel ETPTURC : définition de la localisation et de la période de calcul.	79
Fig. 41 - Logiciel ETPTURC : définition des fichiers de données (durée d'insolation, température moyenne et humidité relative).	80
Fig. 42 - Logiciel ETPTURC : listage des fichiers d'entrée et du fichier d'ETP calculée.	80

Liste des annexes

Ann. 1 - Prise en compte de la fonte de la neige par GARDÉNIA. Description des paramètres utilisés.	83
Ann. 2 - Schéma de fonctionnement du modèle GARDÉNIA.	91
Ann. 3 - Coefficient d'ajustement et principe du processus itératif.	99

1. Introduction

Le code de calcul GARDÉNIA (modèle **G**lobal **A**Réservoirs pour la simulation des **D**Ébits et des **N**iveaux **A**quifères) est un modèle hydrologique global de bassins versants.

À partir de la séquence des données météorologiques (précipitations, évapotranspiration potentielle) sur son bassin d'alimentation, il permet donc de calculer au choix :

- le débit à l'exutoire d'un cours d'eau (ou d'une source) ;
- le niveau en un point de la nappe libre sous-jacente.

Les calculs peuvent être réalisés au choix, au pas de temps journalier, décadaire (dix jours) ou mensuel. Le pas de temps de chaque série doit être constant, mais chaque série peut avoir un pas de temps différent des autres. Il est possible de prendre en compte la fonte de la neige.

Le logiciel GARDÉNIA est exploité de façon courante pour l'extension de données, tant dans l'espace que dans le temps. Il permet les fonctionnalités suivantes :

- génération de longues séries de débits ou de niveaux piézométriques à partir d'historiques de pluies, après calage préalable sur une période relativement courte ;
- analyse de cohérence entre observations climatiques et observations de débits ou de niveaux piézométriques ;
- analyse des différents termes du cycle hydrologique (infiltration, évapotranspiration, écoulement).

Dans la pratique, il permet d'analyser le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant, d'étendre des données de débit ou de niveau. Il peut ainsi aider au dimensionnement de différents types d'ouvrages (barrages) ou aménagements (parkings, champs de captage en rivière, micro-centrales électriques), etc.

En effet, le modèle, une fois calé, est en mesure :

- de reconstituer, pour un bassin versant donné, les débits d'une rivière ou d'une source, ou le niveau piézométrique d'une nappe, durant une période pendant laquelle on ne possède pas de mesures ;
- de simuler au choix :
 - des débits résultant de périodes de sécheresse (débits d'étiage ou dimensionnement de barrage) ou de séquences de précipitations exceptionnelles (dimensionnement de fondations, de parkings),
 - des niveaux piézométriques ponctuels de nappe à partir de précipitations effectivement observées, prolongées par des scénarios de précipitations prévisionnels (sécheresses, périodes de hautes eaux).

Enfin, le logiciel GARDÉNIA 6.0 est conçu pour enchaîner le traitement de plusieurs bassins avec des options communes. Il constitue donc un outil tout particulièrement

adapté aux synthèses régionales pour lesquelles on désire réaliser, avec une certaine cohérence, l'analyse de plusieurs bassins versants.

Ce rapport est une actualisation du rapport « Simulation globale de bassins hydrologiques. Introduction à la modélisation et description du modèle GARDÉNIA » (Roche et Thiéry, 1984). Il est constitué de deux parties :

- la première décrit le principe global de fonctionnement du code GARDENIA, le domaine d'application, les données nécessaires à son utilisation, l'analyse et élaboration des données, le fonctionnement détaillé du modèle, le calage et des conseils d'utilisation ;
- la deuxième est le manuel d'utilisation détaillé du code.

Ce rapport a été rédigé dans le cadre du projet « Crues de nappe » numéro EAU-R05 de la Direction de la Recherche du BRGM.

2. Description du modèle GARDÉNIA

Les chapitres suivants vont préciser les mécanismes de fonctionnement du modèle GARDÉNIA en examinant successivement :

- le principe de fonctionnement d'un modèle hydrologique global ;
- le domaine d'application de GARDÉNIA ;
- les données nécessaires à son utilisation ;
- l'analyse et l'élaboration de ces données ;
- les schémas de fonctionnement .

L'utilisateur déjà familier avec ces notions peut se reporter directement au chapitre « Notice d'utilisation du code GARDÉNIA ». Il est cependant vivement conseillé de lire avec soin le chapitre « Conseils d'utilisation ».

2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN MODÈLE HYDROLOGIQUE GLOBAL

Un modèle hydrologique global simule par une succession de réservoirs, les principaux mécanismes du cycle de l'eau dans un bassin versant (pluie, évapotranspiration, infiltration, écoulement).

Les transferts d'un réservoir à l'autre sont régis par des lois simples qui sont particulières à chaque réservoir ; ces lois sont contrôlées par les paramètres des modèles (réserve utile, temps de transferts, seuils de débordement, etc.).

En raison du caractère global de cette schématisation et de la complexité du système hydrologique réel, ces paramètres ne peuvent être déduits *a priori* des caractéristiques physiographiques ponctuelles du bassin versant (géologie, couverture végétale, etc.).

Ils doivent donc être évalués :

- soit par ajustement (calage) sur une série d'observations ;
- soit par transposition à partir de la modélisation de bassins versants proches et de caractéristiques similaires.

• Calage

Le calage (ou calibration) consiste à ajuster les paramètres du modèle, de telle sorte qu'ils permettent de calculer des débits ou des niveaux piézométriques aussi proches que possible des débits ou des niveaux observés.

Les données nécessaires au calage sont :

- des séries ininterrompues d'« entrées » du modèle : pluie et évapotranspiration (éventuellement température de l'air, s'il y a prise en compte de la fonte de la neige) ;

- une série d'observations, débits ou niveaux, non nécessairement continue, mais pour une période concomitante aux séries précédentes. Cette série sera comparée avec la « sortie » du modèle.

Le calage se fait par une méthode semi-automatique. L'utilisateur fournit un jeu de paramètres initiaux et indique les paramètres qui seront à optimiser.

À partir de ceux-ci, le modèle fait varier ces paramètres (dans une gamme de valeurs définie par l'utilisateur) et recherche, par un algorithme d'optimisation non-linéaire adapté de la méthode de Rosenbrock (1960), un jeu fournissant les résultats les plus proches possibles de la série d'observations.

Il fournit à l'utilisateur :

- des bilans des différentes composantes de l'écoulement (évapotranspiration réelle, infiltration, écoulement...);
- une représentation graphique permettant de comparer observations et simulations ;
- des critères numériques d'évaluation de la qualité de l'ajustement.

Muni de ces renseignements, l'utilisateur juge de la nécessité d'essayer une nouvelle optimisation à partir d'un jeu de paramètres qu'il est libre de modifier à sa guise.

Lorsqu'à la fois les critères numériques d'ajustement et les graphiques de comparaison visuelle sont satisfaisants, il peut considérer qu'il dispose d'un jeu de paramètres représentatifs du bassin dans la mesure où les valeurs obtenues sont réalistes. Il peut alors, éventuellement, explorer diverses gammes de variations des paramètres autour de cette solution, afin de déterminer la famille des paramètres représentant, de façon acceptable de son point de vue, le cycle de l'eau (étude de sensibilité).

2.2. DOMAINES D'APPLICATION

2.2.1. Application à l'extension de séries de débits d'un bassin jaugé

L'application la plus fréquente du modèle GARDÉNIA est l'extension de données hydrométriques dans le temps. Ayant calé le modèle sur une courte série de débits ou de niveaux (quelques années) et de pluies concomitantes, on utilise une série de pluies plus longue (qui est généralement disponible) pour générer avec le modèle une série correspondante de débits ou de niveaux.

La série de pluies utilisée peut être ou bien une série observée, ou bien une série générée par tirages au hasard, après avoir identifié la structure du processus statistique régissant ces pluies.

Pourquoi ne pas étendre directement les séries de débits à partir de leurs propres caractéristiques statistiques ?

C'est essentiellement parce que le processus des pluies présente une mémoire très courte, contrairement aux débits. Pour un pas de temps mensuel par exemple, il est tout à fait licite, dans la plupart des climats, de générer des pluies par des tirages au

hasard indépendants dans les lois de distribution des pluies de chaque mois. En revanche, une telle procédure serait souvent erronée pour des débits et presque toujours pour des niveaux piézométriques.

2.2.2. Application aux bassins non jaugés

L'utilisation de formules de transposition régionales pour évaluer les paramètres à utiliser pour un bassin non jaugé est une application à envisager avec prudence. Il est en effet nécessaire de disposer d'un large échantillon de calages sur des bassins de la même région.

D'autre part, il est fréquent qu'il existe une corrélation (numérique) entre l'influence de plusieurs paramètres. Le calage consiste en un ensemble de paramètres, cohérents entre eux, qu'il serait dangereux de dissocier. Il vaut mieux utiliser le jeu de paramètres complet d'un bassin voisin ou similaire.

2.2.3. Application à la prévision

En simulant un certain nombre (une cinquantaine) de scénarios d'évolution à partir d'une date donnée, il est possible d'en effectuer des statistiques : cela conduit à une évaluation probabiliste des débits auxquels on peut s'attendre pour une durée de l'ordre de grandeur du temps de mémoire du système hydrologique. À plus longue échéance, le dernier état observé n'a plus d'influence réelle sur ces débits.

2.2.4. Exploitation ultérieure de séries de débits

Les séries de débits générées par un modèle peuvent ensuite être utilisées :

- pour évaluer les ressources en eau disponibles en cas de sécheresse d'occurrence rare (alimentation en eau potable, irrigation, etc.) ;
- pour dimensionner des micro-centrales ou des barrages-réservoirs par la simulation de la gestion de ceux-ci en temps réel sur une série chronologique ;
- pour mettre au point un système de gestion de ces équipements (en utilisant les possibilités de prévision pour améliorer les performances de la gestion).

2.3. LES DONNÉES NÉCESSAIRES À L'UTILISATION DU MODÈLE

Il faut disposer des données suivantes :

- une série continue de précipitations (lames d'eau) ;
- une série continue d'évapotranspirations potentielles (ETP) qui peut être calculée à partir d'une série continue d'insolations et de températures de l'air (et éventuellement d'humidités relatives). Voir chapitre « Utilisation du logiciel ETPTURC » ;
- une série continue de températures de l'air (uniquement si l'on prend en compte la fonte de la neige) ;

- une série, pas forcément continue, de débits à l'exutoire du bassin ou de niveaux en un piézomètre situé dans le bassin.

Ces trois (ou quatre) séries doivent être disponibles sur la même période d'observations, et il est bon de disposer de précipitations et d'évapotranspirations potentielles (ETP) pendant au moins un an avant le début des mesures de débit, ou même pendant plusieurs années auparavant en cas de simulation de niveaux (pour faciliter l'initialisation du modèle).

Par ailleurs, le calage du modèle fait intervenir jusqu'à un maximum de six paramètres « hydrologiques » (capacité de réserve superficielle, temps de tarissement, coefficient de correction de la lame d'eau...) qui seront décrits plus bas.

2.3.1. La lame d'eau

La lame d'eau pendant le pas de temps (en mm/pas de temps) est une moyenne pondérée des précipitations des différents postes pluviométriques relatifs au bassin versant. En cas de précipitations neigeuses, l'équivalent en eau de la neige est ajouté à la pluie. Il est nécessaire d'effectuer au préalable une critique des données, permettant la reconstitution des éventuelles données brutes manquantes, la série devant être ininterrompue.

La lame d'eau peut se calculer par une des méthodes d'interpolation suivantes :

- moyenne arithmétique ;
- polygones de Thiessen ;
- autres pondérations arbitraires (avec ou sans correction des différences d'altitude entre bassin et poste pluviométrique) ;
- analyse en composantes principales ;
- krigeage.

Si plusieurs postes pluviométriques sont disponibles, il est conseillé de tous les utiliser, pour l'analyse et la critique des données.

Ensuite, on choisira un système de pondération qui réduira l'influence des erreurs aléatoires pouvant affecter certains postes.

2.3.2. L'évapotranspiration potentielle ETP

La valeur utilisée est généralement celle qui est calculée par la formule mensuelle de Turc (1961) ou de Penman, à partir des données mensuelles d'insolation, de température et éventuellement d'humidité relative de l'air. Le logiciel ETPTURC, dont l'utilisation est décrite plus loin, permet de calculer facilement l'évapotranspiration potentielle mensuelle d'après la formule de Turc. Toute autre méthode de calcul peut bien entendu être utilisée. L'ETP doit être donnée au modèle en mm/pas de temps, par exemple en mm/mois si le pas de temps choisi est le pas de temps mensuel.

Des mesures sur le terrain, réalisées à l'aide de bacs ou d'évaporomètres, sont parfois disponibles mais rarement détaillées. Elles nécessitent d'être analysées avant exploitation.

Si l'on ne possède aucune donnée susceptible de fournir l'évapotranspiration potentielle pendant la période d'observation, on peut éventuellement utiliser les moyennes inter-annuelles de chaque mois sans commettre d'erreurs trop importantes (comparativement aux incertitudes portant sur l'évaluation des lames d'eau).

2.3.3. La température moyenne de l'air

On utilisera généralement la valeur définie comme la moyenne des températures minimale et maximale (de chaque jour ou de chaque mois) exprimée en °C.

Comme pour les précipitations, on sera parfois amené à pondérer les données de plusieurs postes. Il sera souvent nécessaire de corriger ces températures pour tenir compte des différences d'altitude entre le bassin étudié et les postes de mesure disponibles.

Remarque :

Toutes les données « d'entrée » doivent être continues, c'est-à-dire ne comporter aucune lacune. Ces données peuvent être échantillonnées suivant l'un des pas de temps suivants :

- le jour ;
- la décade : 365/36 jours (soit environ 10 jours) ;
- le mois : 365/12 jours = 3 décades.

Chaque type de donnée peut être choisi à un pas de temps différent, mais les pluies doivent être au pas de temps le plus fin. Par exemple, on peut imaginer le cas suivant :

- pluies journalières ;
- évapotranspirations potentielles mensuelles ;
- débits observés décadaires.

Le pas de temps de calcul sera le pas de temps le plus fin, c'est-à-dire celui de la pluie.

2.3.4. Les débits à l'exutoire et les niveaux piézométriques

Ces données peuvent présenter des lacunes et ne sont pas nécessaires dans le cas de l'utilisation de GARDÉNIA sans calage.

Les débits sont en m³/s. Les niveaux de nappe sont en mètres, généralement en m NGF (Nivellement Général de la France), cependant tout autre repère de niveau est acceptable. On notera cependant qu'il s'agit de niveaux et non de profondeurs : en l'absence de nivellement, on pourrait cependant utiliser l'opposé de la profondeur (c'est-à-dire par exemple -23,7 pour une profondeur de 23,7 m).

Pour un calage sur des niveaux de nappe, il faut s'assurer que le piézomètre pris en compte n'est pas trop près d'un cours d'eau, car l'influence de ce dernier pourrait masquer les variations de niveau de la nappe dans le piézomètre.

2.4. ANALYSE ET ÉLABORATION DES DONNÉES

Les données d'entrée du modèle (lame d'eau, ETP, débits mesurés ou niveaux piézométriques) doivent être analysées et élaborées à partir d'informations fournies par des mesures ponctuelles, souvent incomplètes.

2.4.1. Analyse des pluies

Plusieurs démarches d'analyse des données existantes sont possibles. Nous distinguerons deux cas :

- étude rapide d'un bassin (pas de temps mensuel pour toutes les données) :
 - recueillir plusieurs séries de pluies et de débits,
 - dessiner chaque série,
 - repérer les périodes concomitantes de données,
 - compléter les séries des pluies par régression multiple avec les postes voisins,
 - choisir une pondération et calculer la lame d'eau pour la période la plus longue possible,
 - calculer les ETP en utilisant si nécessaire une série de moyennes mensuelles inter- annuelles ;
- étude très détaillée d'un bassin (pas de temps mensuel pour toutes les données) :
 - recueillir des séries nombreuses de pluies dépassant assez largement les limites du bassin versant,
 - dessiner les séries et repérer les périodes concomitantes,
 - faire une analyse en composantes principales, repérer les données et les stations s'écartant le plus du comportement général, corriger éventuellement le fichier et refaire l'analyse,
 - cartographier différentes variables (pluies moyennes interannuelles, composantes principales),
 - rechercher d'éventuelles liaisons altitude/pluie, mettre au point des méthodes de correction par application d'une relation linéaire,
 - affecter suivant plusieurs règles et plusieurs pondérations, les postes pluviométriques au bassin versant, comparer les lames d'eau ainsi calculées, estimer la précision de l'évaluation.

Remarque :

Une étude régionale ne se distingue pas dans sa démarche de l'étude précédente. Néanmoins, il est commode de disposer de fichiers contenant les coordonnées des stations pluviométriques et les coordonnées des contours des bassins, permettant de localiser et de cartographier les différents bassins versants étudiés. Des procédures automatiques d'attribution des postes pluviométriques aux bassins versants permettent alors d'alléger considérablement les manipulations ultérieures.

2.4.2. Analyse des évapotranspirations - ETP

Il n'est pas question, dans la majeure partie des études, de réaliser une étude fine de l'évapotranspiration. Les données disponibles sont trop peu nombreuses, les fluctuations climatiques sont trop faibles vis-à-vis des incertitudes pesant sur la pluie et sur le schéma hydrologique pour que l'on s'attarde à une discussion exhaustive des différentes mesures et méthodes de calcul.

Il s'agit pour le modèle de disposer d'un indice présentant les variations saisonnières principales du phénomène. La formule mensuelle de Turc (1961) ou de Penman est alors amplement suffisante. Néanmoins, il est important de garder à l'esprit qu'il ne s'agit là que d'un indicateur : des écarts de l'ordre de 20 % en moyenne sont tout à fait possibles. De tels écarts existent entre évaluations réalisées avec des méthodes différentes : formules de Turc, de Penman, de Brochet. Les données d'évaporomètres peuvent également servir d'indicateur (bac Colorado de classe A, etc.). On prendra soin cependant de ne pas mélanger dans une même série des données de différentes provenances : elles ne sont généralement pas comparables.

On pourra éventuellement utiliser après évaluation des ETP par la formule mensuelle de Turc (voir le chapitre relatif à l'utilisation du logiciel ETPTURC), les facteurs cultureux définissant l'évaporation maximale à un stade végétatif donné pour différentes cultures. Néanmoins, la complexité à l'échelle du bassin versant est telle qu'il ne semble pas nécessaire d'utiliser de tels facteurs de correction.

Dans de nombreux cas, on se contente même d'une évaluation d'évapotranspiration moyenne pour chaque mois.

2.4.3. Analyse des débits ou des niveaux piézométriques

Les séries d'entrée doivent être sous forme d'un historique continu de données à pas de temps constant. En revanche, la série d'observations servant au calage du modèle (données de débit ou de niveau de nappe) peut présenter des lacunes. Il serait inutile et même dangereux d'employer une quelconque méthode de reconstitution des données manquantes, pour calculer des valeurs supplémentaires qui serviraient au calage.

Il est bon toutefois de représenter sur un même graphique à différents pas de temps si possible, les pluies et les débits (ou les niveaux) avant d'entreprendre une simulation. Des événements particuliers peuvent alors être identifiés : débits exceptionnels non précédés de pluies, épisodes pluvieux notables n'ayant pas contribué à l'écoulement, baisse ou remontée brusque de niveaux (présence de pompes ou arrêt de ceux-ci). Dans de nombreux cas, des erreurs de report et de saisie des données peuvent ainsi être détectées avant tout calcul. Par ailleurs, des écarts importants observés lors de la comparaison des simulations et des observations pourront également inciter à revoir cette analyse.

Lorsqu'on dispose de plusieurs séries de débit dans des stations relativement proches, il peut être intéressant d'étudier les similarités de comportement de ces séries, par une approche statistique du même type que celle utilisée pour les pluies. Pour les niveaux

piézométriques, il est également important de connaître la position du point de mesure des niveaux par rapport au cours d'eau, afin de pouvoir estimer si les variations de niveaux sont surtout dues à la pluie ou à l'influence du cours d'eau.

2.4.4. Connaissance du bassin. Précision des mesures

- **Les termes du bilan**

Les modèles utilisés sont des modèles de bilan des entrées et des sorties d'eau à l'échelle du bassin versant contrôlé par une station de jaugeage ou par des mesures de niveau piézométrique.

Il faut bien concevoir que ce bilan n'a de sens que si l'on peut négliger les flux non pris en compte ou si on peut les estimer de façon suffisamment précise.

On s'attachera donc à vérifier que :

- la structure hydrogéologique n'est pas susceptible d'entraîner des échanges importants avec l'extérieur du bassin versant en dehors de l'exutoire (échanges latéraux ou « sous » la section de jaugeage) ;
- des interventions humaines (canaux, dérivations, prélèvements restitués hors du bassin, etc.) ne modifient pas significativement les termes de ce bilan.

Le modèle utilisé est adapté à l'étude de bassins dont le bilan est affecté par de tels phénomènes, par un jeu de paramètres descriptifs, qu'on peut laisser libres de s'optimiser tout seuls (surface d'un bassin karstique dont on contrôle quelques exutoires, débit de base d'importation ou d'exportation, etc.).

Ces possibilités ne doivent être utilisées qu'avec prudence. Cependant, il arrive parfois que des échanges qu'on avait évalués intuitivement au début de l'étude, doivent être remis en cause.

- **Précision et fiabilité des données**

Les services gestionnaires des réseaux de mesures connaissent bien la qualité des données qu'ils ont élaborées : il est recommandé de les consulter dès le début de l'étude pour connaître leurs particularités, les dates de détarage dues à des travaux, la présence de pompages (dans le cas de simulation pluie-niveau), etc.

Cependant, beaucoup de ces erreurs ne portent pas atteinte à l'évaluation des flux d'ensemble à l'échelle annuelle : le volume écoulé au cours d'un très fort débit, par une crue mal ou non jaugée, peut rester tout à fait négligeable au pas de temps mensuel.

De la connaissance de la précision des mesures, on retiendra, dans chaque cas, une idée de ce qu'il est raisonnable d'attendre d'une simulation des débits (ou des niveaux) par un modèle.

Il est inutile de s'attendre à (ou de rechercher) un calage quasi-parfait si la qualité des données est douteuse.

2.5. FONCTIONNEMENT DU MODÈLE

2.5.1. Introduction

Le modèle GARDÉNIA représente le cycle de l'eau depuis les précipitations sur un bassin versant jusqu'au débit à l'exutoire ou au niveau aquifère en un point (fig. 1). Ce modèle est global, car il considère une « entrée » globale (une « lame d'eau » sur le bassin et une évapotranspiration potentielle) et une « sortie » unique qui est suivant le cas, le débit à l'exutoire ou le niveau piézométrique en un point de la nappe sous-jacente. Ce modèle simule le cycle de l'eau par un système de trois à quatre réservoirs en cascade qui représentent respectivement :

- les premières dizaines de centimètres du sol dans lesquelles se produit l'évapotranspiration (zone d'influence des racines de la végétation) ;
- une zone intermédiaire qui produit un écoulement rapide ;
- une ou deux zones aquifères qui produisent l'écoulement lent.

L'allure exponentielle du tarissement des débits de rivières et des niveaux des nappes souterraines rappelle celle de la vidange d'un réservoir. Le comportement d'un système aquifère peut donc être représenté par un ensemble de réservoirs se vidant les uns dans les autres. Des fonctions de transferts non linéaires permettent cependant de corriger cette approximation un peu schématique.

• Réservoirs du modèle

Le modèle GARDÉNIA comprend au maximum quatre réservoirs ; cependant, par l'intermédiaire des paramètres (et des options), il est possible d'utiliser un schéma simplifié ne faisant intervenir que deux ou trois réservoirs. Le schéma des réservoirs est précisé sur les figures 2, 3 et 4.

Le modèle réalise un bilan entre les apports (précipitations) et les sorties (écoulements ou évapotranspiration) pour chacun des pas de calcul.

• Fonction « production » et fonction « transfert »

Le calcul comporte deux parties traditionnellement appelées : fonction « production » et fonction « transfert ».

La fonction « production » détermine quelle quantité d'eau sera apportée au modèle et quelle quantité sera évaporée ou s'infiltrera dans les horizons inférieurs pour ressortir « plus tard ».

La fonction « transfert » détermine à quel moment l'eau, qui n'a pas été évapotranspirée, ressortira à l'exutoire du bassin ou arrivera à la nappe. Le transfert s'effectue par passage à travers les deux ou trois réservoirs inférieurs du modèle.

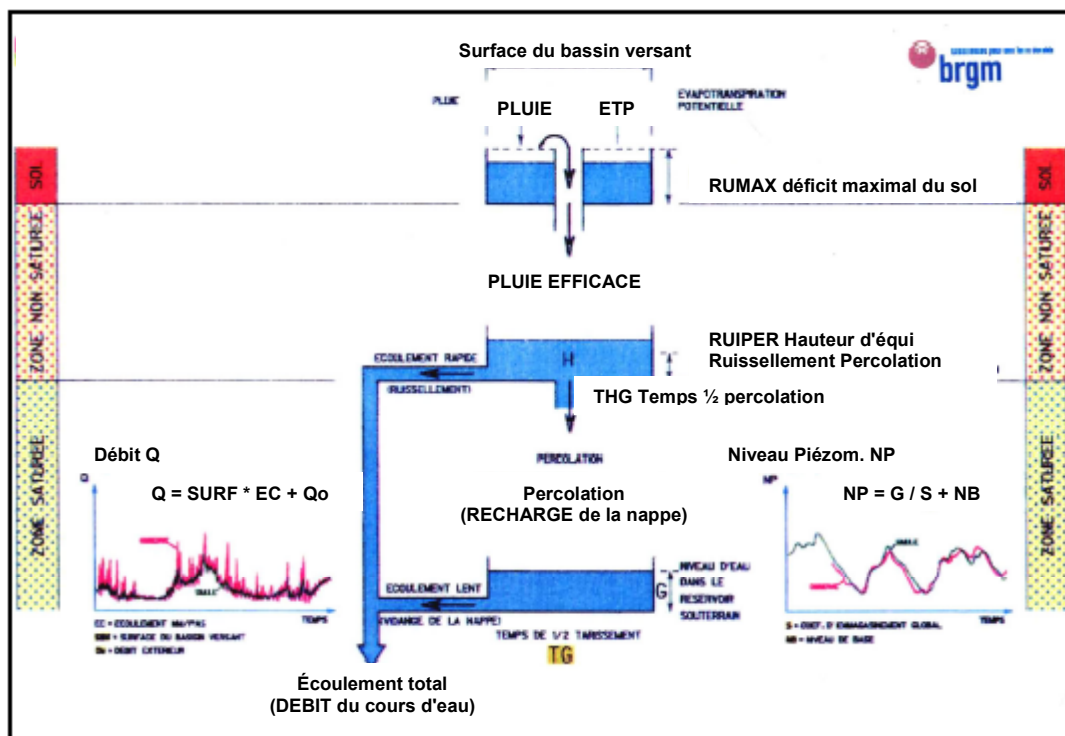
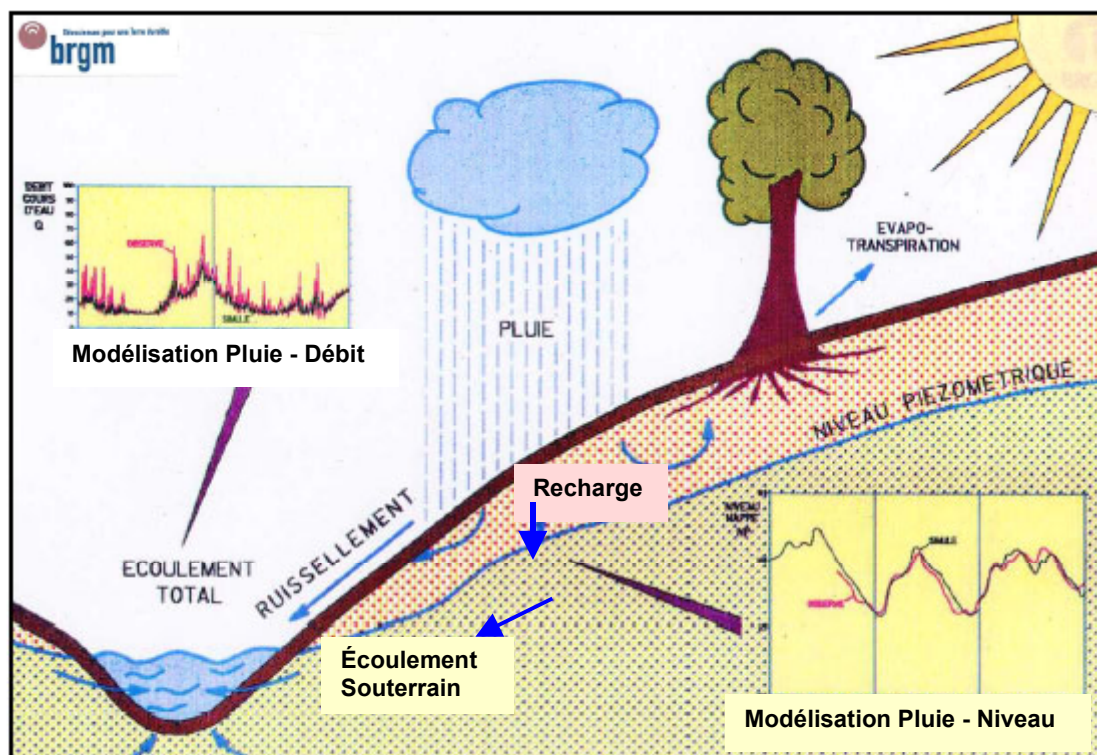


Fig. 1 - Schéma de principe du modèle GARDÉNIA.

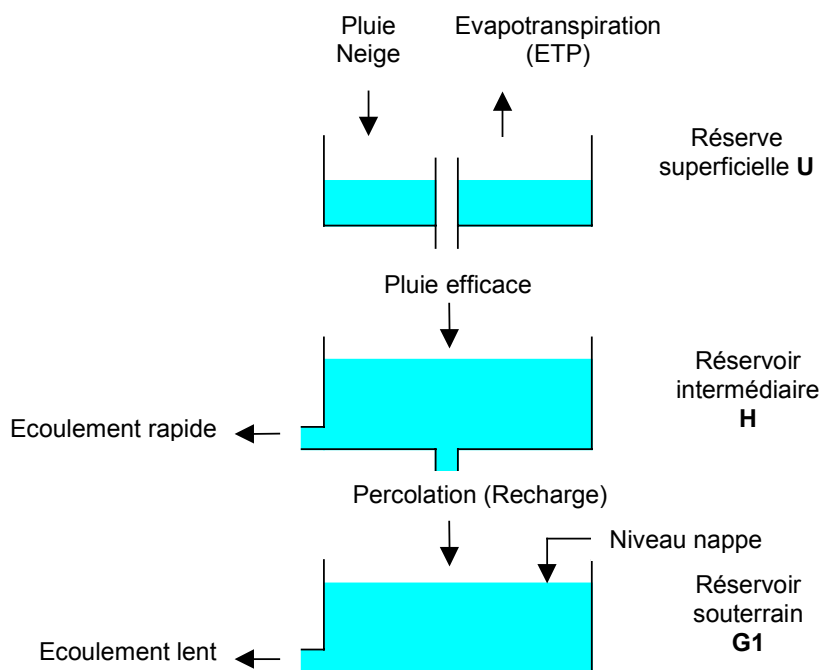


Fig. 2 - Schéma le plus fréquent : un seul réservoir souterrain.

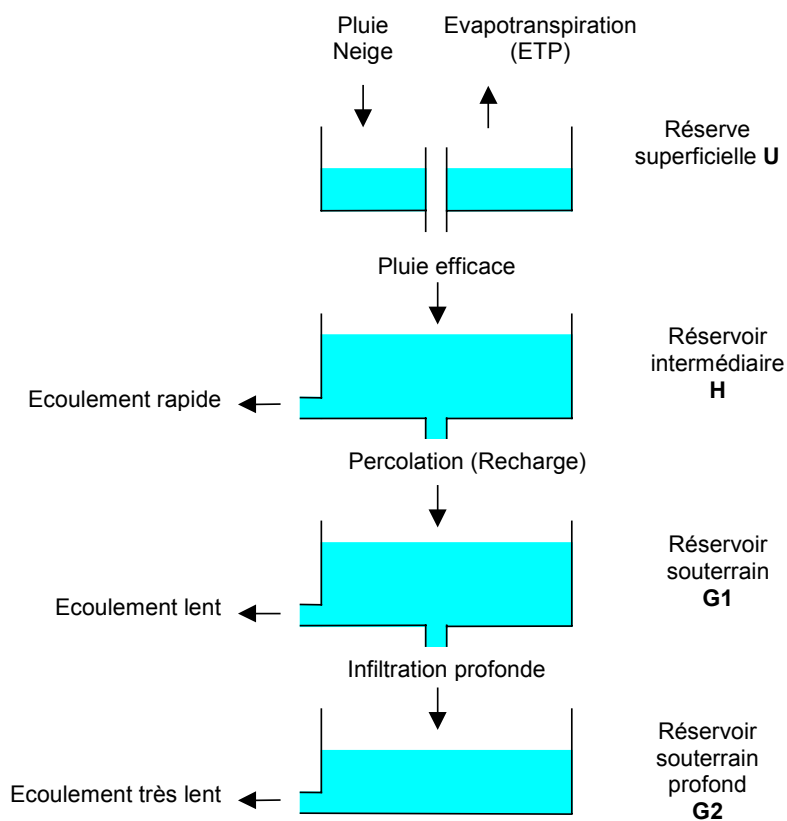


Fig. 3 - Schéma complexe à deux réservoirs souterrains.

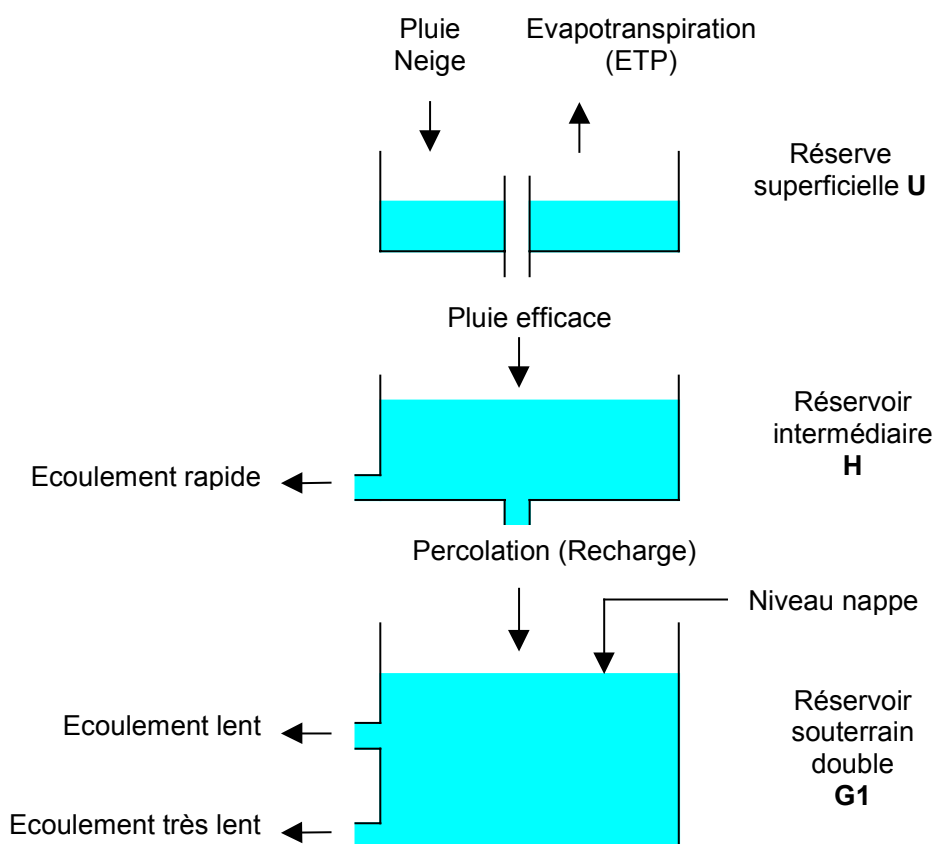


Fig. 4 - Schéma complexe avec un réservoir souterrain à deux orifices de vidange.

- **Initialisation**

Il est évident que l'inertie hydrologique d'un système étant parfois considérable, le calcul des premières valeurs dépend énormément des conditions des années précédentes.

Pour éviter les problèmes qui pourraient en résulter, la possibilité de prendre en compte quelques années de démarrage avant les premières observations hydrologiques a été introduite dans le modèle.

Cependant, la mise en régime étant parfois assez lente, le modèle est placé en équilibre hydrologique en début de calcul, c'est-à-dire que le débit sortant (ou le niveau piézométrique) correspond à la pluie efficace entrante.

2.5.2. Le bilan dans le réservoir superficiel

Le réservoir superficiel représente les premiers centimètres du sol soumis à l'action des racines de la végétation et à l'évaporation (fig. 5).

La fonction « Production » est réalisée uniquement dans le réservoir superficiel (nous n'employons pas -à dessein- le terme « réserve utile » ou « réserve facilement utilisable » qui est celui spécifiquement utilisé par les agronomes pour faire un bilan au niveau des racines des plantes). La capacité du réservoir superficiel est en fait la « réserve disponible pour l'évapotranspiration » ou la « capacité de rétention » en plus de l'eau liée. Elle intègre également la capacité d'interception ainsi que des éventuelles dépressions à la surface du sol (flaques, sillons, etc.).

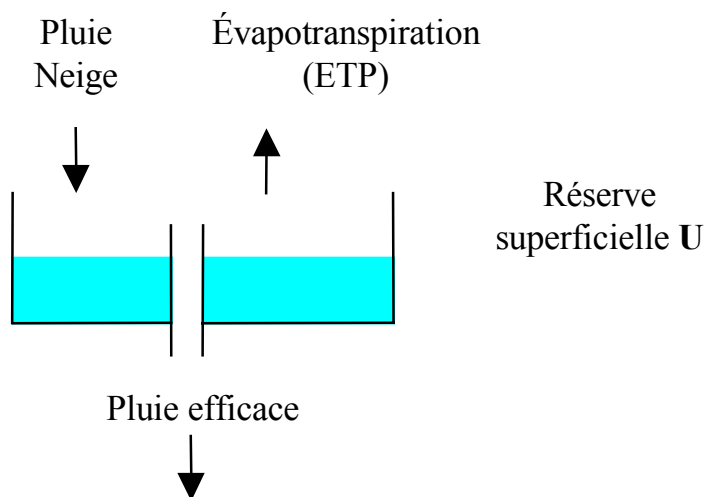


Fig. 5 - Réservoir superficiel.

- **Apports au réservoir superficiel**

Les apports au réservoir superficiel sont constitués par la pluie (et la fonte de la neige, si elle existe, au contact du sol).

- **Vidange du réservoir superficiel**

Elle peut être réalisée :

- par évapotranspiration réelle (ETR) qui est égale à l'évapotranspiration potentielle (ETP) dans la limite de la quantité d'eau disponible ;
- par vidange de l'excédent.

Si la hauteur du réservoir superficiel (RU) dépasse la valeur de rétention RUMAX, l'excédent ALIMH sort de ce réservoir et pénètre dans le réservoir intermédiaire H :

$$\text{ALIMH} = \text{RU} - \text{RUMAX}$$

2.5.3. Transfert dans les réservoirs intermédiaires et souterrains

- **Le réservoir intermédiaire H (fig. 6)**

Il représente la zone non saturée. Il est alimenté en eau par le réservoir superficiel et vidangé par deux exutoires :

- par percolation dans le réservoir souterrain G1 suivant une loi linéaire (vidange exponentielle) de constante de temps THG :

$$ALIMG = H \cdot dt / THG \text{ (dt = durée du pas de temps)}$$

- par écoulement à l'extérieur sous forme de composante rapide du débit QH suivant une loi non-linéaire contrôlée par le paramètre RUIPER qui est en fait la hauteur H pour laquelle la percolation ALIMG et l'écoulement QH sont égaux :

$$QH = H \cdot dt / (THG \cdot RUIPER/H)$$

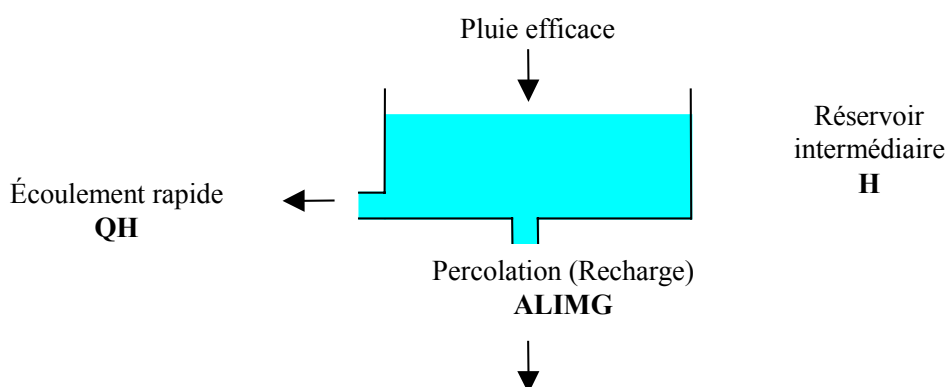


Fig. 6 - Réservoir intermédiaire.

Cet écoulement non linéaire est prépondérant quand l'état de remplissage H est élevé ; la percolation est plus importante quand l'état de remplissage H est plus bas (le rapport QH/ALIMG est égal à H/RUIPER). (Si on donne la valeur code 9 999 mm à RUIPER, il n'y aura pas de débit retardé non linéaire). Le fonctionnement de ce réservoir se rapproche donc de celui d'un seuil de débordement progressif à la hauteur moyenne RUIPER, mais avec une représentation plus réaliste de l'écoulement en deux composantes qui ne s'excluent pas mutuellement.

Sauf en utilisation spéciale, l'évapotranspiration n'agit pas dans ce réservoir, qui ne sert qu'au transfert. Le calcul s'effectue en réalisant le bilan entre :

- l'apport d'eau ALIMH (provenant du réservoir superficiel) ;
- et les vidanges ALIMG et QH.

Il est possible, sur option, de décider que cette composante rapide QH du débit s'écoule par ruissellement superficiel et n'est pas contrôlée par la station de jaugeage à l'exutoire.

• Le réservoir souterrain G1

Le réservoir souterrain G1 produit l'écoulement lent. Il représente généralement l'aquifère (fig. 7).

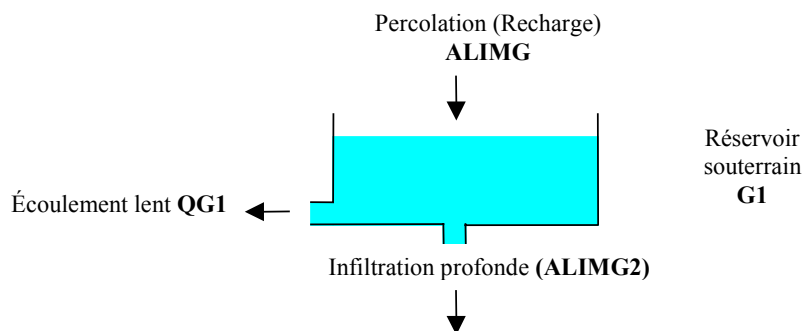


Fig. 7 - Schéma du réservoir G1.

Il est alimenté en eau par le réservoir intermédiaire H. Dans le cas le plus général, il est vidangé par deux exutoires :

- par écoulement vers l'exutoire sous forme de débit lent QG1, suivant une loi de vidange exponentielle de constante de temps TG1 :

$$QG1 = G1 \cdot dt / TG1$$

- par drainance dans le réservoir souterrain lent G2 (aquifère profond), suivant une vidange exponentielle de constante de temps TG12 :

$$ALIMG2 = G1 \cdot dt / TG12$$

Cette drainance peut être supprimée dans la plupart des cas où il n'est pas nécessaire de faire intervenir deux composantes lentes. Elle ne peut être utilisée sous cette forme que dans les simulations de séries de débits.

Comme dans le réservoir intermédiaire H, le calcul s'effectue de la manière suivante :

- apport d'eau ALIMG1 (provenant du réservoir H) ;
- vidange ALIMG2 (éventuellement) et QG1.

- **Le réservoir souterrain lent G2 (facultatif)**

Ce réservoir, quand il existe, représente un aquifère profond ou une partie inférieure de l'aquifère. Il est alimenté en eau par le réservoir souterrain G1 ; il est vidangé uniquement sous forme de débit très lent QG2. Un tel débit QG2 est parfois nécessaire pour représenter une composante très lente dans un écoulement (fig. 8).

Il est possible, sur option, de décider que ce débit très lent QG2 s'infiltrate vers des horizons plus profonds non contrôlés par les mesures à l'exutoire.

Cette option peut être intéressante pour tenir compte d'un débit de perte par infiltration vers un horizon profond qui est donc variable au cours du temps.

Il faut cependant être conscient que ce débit ne peut généralement pas être estimé directement et il faudra vérifier que les valeurs calculées par le modèle sont plausibles.

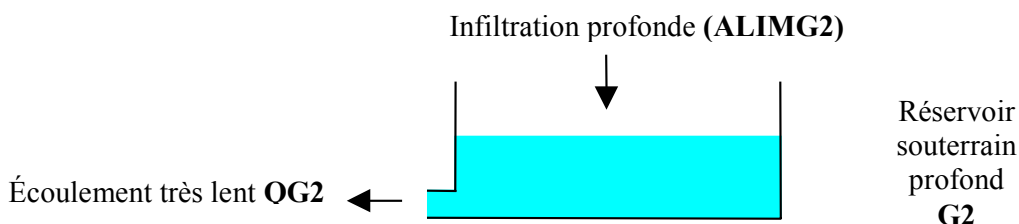


Fig. 8 - Schéma du réservoir G2.

• **Le réservoir souterrain G à deux exutoires**

Il est parfois plus avantageux d'utiliser un seul réservoir G à deux exutoires séparés par un seuil (fig. 9). Un tel réservoir simule par exemple la mise en service d'une deuxième sortie quand le niveau d'eau dépasse un seuil.

Il peut également simuler une cote de débordement ou bien simplement représenter le fait qu'une courbe de tarissement descende plus rapidement au début (quand les deux exutoires débitent simultanément) qu'à la fin quand seul l'exutoire le plus profond est en service.

Cette configuration est particulièrement intéressante pour la simulation des niveaux aquifères dans les piézomètres.

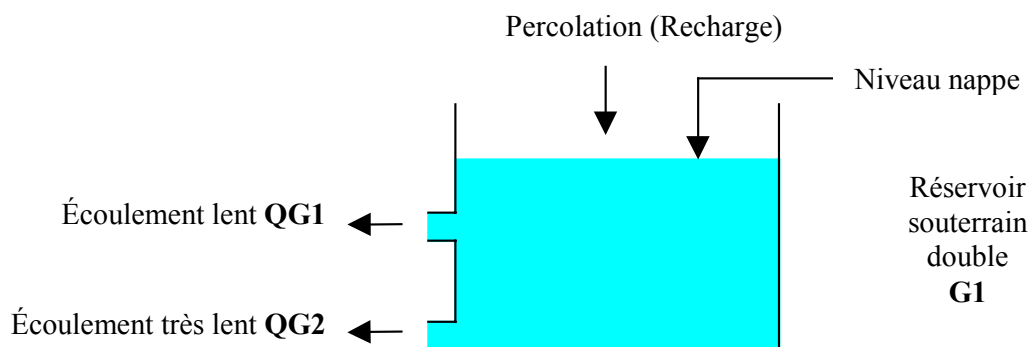


Fig. 9 - Schéma d'un réservoir G à deux exutoires.

Un tel réservoir, qui remplace le réservoir G1 et l'éventuel réservoir G2, produit donc suivant le cas, un ou deux débits par lesquels il se vidange :

- $QG2 = G \cdot dt / TG2$;
- $QG1 = (G - SEUIL) \cdot dt / TG1$ si G est supérieur au SEUIL ;
- $QG1 = 0$ si G est inférieur ou égal au SEUIL.

Comme pour le réservoir G2, il est possible de décider -sur option- que le débit QG2 s'infiltré et n'est pas contrôlé par les mesures à l'exutoire.

2.5.4. Les séries calculées par le modèle

Deux cas sont possibles suivant l'utilisation attendue du modèle :

- si on s'intéresse au débit Q à l'exutoire du bassin versant, le modèle calculera :

$$Q = QH + QG1 + QG2 \quad : \quad \text{cas général ;}$$

ou bien, s'il a été décidé que le débit très lent $QG2$ s'infiltré et n'est pas contrôlé par l'exutoire du bassin (ou bien n'existe pas) :

$$Q = QH + QG1 \quad : \quad \text{composante très lente du débit non contrôlée par les mesures.}$$

On peut également décider que :

$$Q = QH \quad : \quad \text{l'exutoire contrôle uniquement la composante rapide de l'écoulement.}$$

Il est possible également de décider que :

$$Q = QG1 \text{ ou } QG1 + QG2 \quad : \quad \text{l'exutoire contrôle uniquement les composantes lentes.}$$

Dans tous les cas le débit Q , calculé en mm par pas de temps, est transformé en débit en m^3/s par multiplication par la surface du bassin versant et ajout de l'éventuel débit extérieur.

- si on s'intéresse au niveau piézométrique N en un point de l'aquifère, le modèle calculera :

$$N = G1$$

ou bien, dans le cas d'un réservoir unique à deux exutoires :

$$N = G$$

N.B. Il n'est pas possible d'utiliser un schéma avec $G1$ et $G2$ dans le cas d'une modélisation pluie-niveau.

Ce niveau N , calculé en mm, est transformé en mètres NGF par division par le coefficient d'emmagasinement global et ajout du niveau de base local.

2.5.5. Description des paramètres hydrologiques du modèle

Les paramètres hydrologiques sont au nombre maximal de huit (+ deux paramètres optionnels) dans le cas général et de quinze (+ deux paramètres optionnels) dans le cas de la prise en compte de la gestion d'un stock de neige.

Les paramètres se divisent en six paramètres dimensionnels, deux coefficients correctifs facultatifs et éventuellement sept paramètres pour la fonte de la neige :

- les six paramètres dimensionnels sont les caractéristiques des différents réservoirs :
 - RUMAX (mm) capacité du réservoir RU, ou « réserve disponible pour l'évapotranspiration »,
 - THG (mois) temps de demi-montée du réservoir G1,

RUIPER	(mm)	hauteur dans le réservoir H pour laquelle il y a répartition égale entre écoulement rapide et percolation,
TG1	(mois)	temps de demi-tarissement du réservoir G1,
TG12	(mois)	temps de demi-montée du réservoir G2 (temps de demi-transfert de G1 à G2),
TG2	(mois)	temps de demi-tarissement du réservoir G2 (temps de demi-tarissement lent).

N.B. 1 : Dans le cas d'un seul réservoir souterrain G unique avec deux exutoires, TG12 est le seuil de séparation entre les deux exutoires (il est exprimé en mm).

N.B. 2 : Dans un calcul de niveau de nappe, s'il y a deux composantes lentes, le choix d'un réservoir unique G à deux exutoires est imposé.

- les deux coefficients correctifs sont destinés à prendre en compte l'éventuelle non-représentativité des entrées telles qu'elles ont pu être estimées, vis-à-vis des conditions météorologiques qui agissent réellement sur le bassin versant :

CORPL (%) coefficient de correction de la lame d'eau chargé de compenser une mauvaise représentativité des données pluviométriques issues des observations faites sur des stations dispersées,

CETP (%) coefficient de correction d'ETP, dont le but est similaire.

- les sept paramètres caractéristiques des divers phénomènes pouvant affecter le stock de neige résultant de précipitations hivernales :

GRADT (°C) constante de correction de la température destinée à tenir compte d'un éventuel écart entre la température moyenne la plus représentative du bassin versant et la température fournie au modèle à partir d'une pondération effectuée sur différentes observations faites aux stations météorologiques les plus proches : c'est un décalage de température dont le rôle est analogue à CORPL et CETP,

DENSIM (%) pourcentage de rétention maximale d'eau liquide d'un stock neigeux,

EVNEI (%) coefficient caractérisant la sublimation du manteau neigeux dans une atmosphère où l'ETP n'est pas totalement satisfaite par les apports pluviométriques,

Un stock de neige, s'il est suffisamment fourni, perd par sublimation un volume d'eau équivalent à $PN \cdot (1 + EVNEI/100)$ où PN représente l'ETP résiduelle non satisfaite par la pluie,

FONP (%) pourcentage de correction de la fonte d'un stock neigeux, par une pluie PN à la température TEMP. La quantité de neige susceptible de fondre par ce phénomène vaut : $PN \times (1 + FONP/100) \times TEMP/80$ (la chaleur latente de fusion valant 79 calories par gramme arrondie à 80),

TFONT (°C) seuil de température au-dessous duquel la neige ne fond plus (proche de 0 °C). Il s'agit en fait d'un terme correctif entre la température de l'air et la température de la neige,

DJOU (mm/°C/jour) « degré-jour » : c'est la hauteur d'eau équivalente à la quantité de la neige susceptible de fondre quotidiennement (si le stock neigeux est suffisamment fourni) sous l'action d'un excès de température de 1 °C au-dessus de T_{FONT},

FSOL (1/10 mm/jour) hauteur d'eau équivalente à la quantité de neige susceptible de fondre quotidiennement (si le stock neigeux est suffisamment fourni) sous l'action des calories dégagées par le sol.

En outre, deux autres paramètres peuvent, sur option, être optimisés par calage du modèle, à partir de l'équation linéaire qui transforme :

- soit le niveau du réservoir souterrain du modèle en niveau piézométrique observé ;
- soit la somme des vidanges des réservoirs du modèle en débit observé à l'exutoire.

Comme expliqué plus haut, ces deux paramètres sont respectivement :

- le coefficient d'emmagasinement « équivalent » et le niveau de base local, dans le cas de niveaux piézométriques ;
- la surface du bassin versant et un débit extérieur constant (ce débit extérieur constant est le plus souvent imposé égal à zéro), dans le cas de débits.

2.6. CALAGE DU MODÈLE ET ANALYSE DES RÉSULTATS

2.6.1. Procédure générale

Le calage du modèle se fait par une procédure semi-automatique. L'hydrologue juge de la qualité d'une simulation essentiellement sur des appréciations visuelles, et son jugement dépend du but qu'il s'est fixé, de l'appréciation de la fiabilité des données ; il contrôle le bilan des différents flux et juge de la vraisemblance des paramètres.

Le modèle recherche un jeu de paramètres qui lui permet d'améliorer, par rapport à un jeu d'essai fourni par l'utilisateur, un critère numérique de qualité de l'ajustement.

Ce critère est au choix de l'utilisateur ; dans le modèle GARDÉNIA, celui-ci a par exemple la possibilité de donner un poids plus important aux plus faibles valeurs, afin de corriger l'impact prédominant des crues dans les écarts observés.

Néanmoins, ce critère, que le modèle optimise, ne peut prendre en compte l'ensemble des informations dont dispose l'hydrologue : le modèle n'est pas « calé » par une procédure automatique universelle. Il est calé par l'utilisateur, mettant à profit les performances numériques de l'ordinateur.

Ce calage se déroule donc en plusieurs étapes : l'utilisateur fournit un jeu de paramètres réaliste et décide quels paramètres il accepte de faire varier, et dans quelles limites, pour améliorer le critère d'ajustement qu'il a choisi. À l'issue d'un certain nombre d'essais (itérations de la procédure de calage), le modèle fournit une simulation et un jeu de paramètres qui donnent une meilleure valeur du critère d'ajustement choisi.

L'analyse de ces résultats comporte différents aspects :

- examen graphique : qualité de reconstitution à différentes périodes (hautes eaux, basses eaux) ;
- analyse des bilans, année par année ;
- examen des paramètres obtenus et de leur vraisemblance ;
- analyse des essais successifs par le modèle.

À l'issue de cet examen, l'utilisateur peut :

- intervenir sur des séries de données : un modèle est en effet un excellent outil d'analyse conjointe des données de pluies et de débits (ou de niveaux) ; on peut être amené à changer de poste pluviométrique ou à recalculer la lame d'eau ;
- choisir un nouveau jeu de paramètres et modifier les options d'optimisation (paramètres à faire varier, contraintes sur les variations) ;
- changer le schéma de modélisation : les modèles fournissent des simulations représentant le fonctionnement d'un schéma hydrologique donné. Il est tout à fait possible que le schéma choisi ne représente pas le fonctionnement réel de façon satisfaisante. On peut alors, en particulier avec le modèle GARDÉNIA, choisir de nouvelles options de schéma hydrologique (introduction d'un réservoir supplémentaire, d'un seuil, suppression d'une composante d'écoulement, intervention de la gestion d'un stock de neige).

Le choix d'un pas de temps de simulation différent peut également être envisagé, pour éviter des difficultés de calage dues à des temps de réponse très rapides que l'on ne souhaite pas retenir, ou au contraire pour rechercher dans une approche à pas de temps plus fin, une meilleure représentation des mécanismes.

2.6.2. Conseils d'utilisation

Dans cette démarche, un certain nombre d'erreurs peut être évité si l'on garde à l'esprit ce que l'on peut attendre d'un modèle. Les précautions qui suivent sont absolument essentielles.

• Longueur de l'historique disponible et temps de mémoire du système

On ne peut pas identifier sur quelques mois de données des fluctuations inter-annuelles à longue période de retour. Pour identifier le fonctionnement d'un système, il faut en avoir observé plusieurs cycles hydrologiques. Si cinq ou six ans sont amplement suffisants pour un petit bassin à fort ruissellement, il faut souvent dix à quinze années de mesures pour identifier des fluctuations piézométriques pluriannuelles.

Cela ne signifie pas que, lorsqu'on ne dispose que de cinq ans de données, le système hydrologique n'a pas de longs temps de mémoire. C'est simplement qu'il est illusoire de chercher à les identifier à l'aide d'un modèle, aussi élaboré soit-il. Si on est conduit à réaliser des extensions de données sur un tel bassin, il convient donc d'être extrêmement prudent quant aux valeurs obtenues.

Ce temps de mémoire nécessite, par ailleurs, que toute simulation d'années de calage soit précédée d'un nombre suffisant d'années de « démarrage » : il s'agit de monter progressivement en régime un système qui comporte des stocks importants. À la date du début des observations, il faut initialiser ces réservoirs.

Des procédures ont été mises au point pour limiter ces années de démarrage à un nombre raisonnable dans le modèle GARDÉNIA. On part alors généralement d'un état qui correspond au régime permanent stationnaire du système ; néanmoins, quelques années de démarrage réelles restent nécessaires après la mise en régime permanent.

- **Interprétation des paramètres et choix des paramètres initiaux**

Malgré les performances des méthodes de recherche utilisées par le modèle, le choix des paramètres initiaux est essentiel. Pour chaque modèle, nous fournissons un guide des valeurs les plus communément rencontrées.

Une difficulté tout à fait classique est l'association des noms de paramètres des modèles avec d'autres concepts. Lorsqu'on parle de réserve utile d'un modèle global, il ne s'agit en aucune façon de la réserve utile telle qu'elle est définie par les pédologues ou les agronomes sur une parcelle particulière. Il s'agit d'une réserve globale à l'échelle du bassin, d'un volume d'eau maximal disponible pour la reprise par évaporation. Trouver une réserve de 300 mm n'est pas une aberration en soi, même si l'on a de bonnes raisons d'évaluer la réserve agronomique à 80 mm.

En revanche, trouver une surface de bassin versant de 50 km² pour un bassin, dont on estime la surface à 35 km², n'est pas acceptable : si l'on considère que l'on connaît bien la surface du bassin versant (ce qui est très souvent le cas), il n'y a aucune raison de laisser le modèle optimiser ce paramètre, même si l'on obtient alors une simulation plus satisfaisante (sauf dans quelques cas particuliers d'extension de données).

Le nombre de paramètres qu'on laisse optimiser doit être le plus faible possible : en effet, pour des raisons dimensionnelles, il peut parfois arriver que plusieurs jeux de paramètres produisent des simulations quasi-équivalentes (non unicité du calage). Ce risque de compensation des paramètres est diminué quand on n'optimise qu'un faible nombre de paramètres.

En effet, si l'on multiplie les pluies, les ETP, les seuils par un même facteur, on obtiendra une simulation identique pour une surface divisée par ce même facteur (à condition que la composante rapide non linéaire soit peu importante) ; il est donc inutile de modifier ces paramètres simultanément, d'autant plus qu'il est extrêmement rare qu'ils soient tous également incertains.

La procédure de calage est en général la suivante :

- fixer les paramètres les mieux connus (surface, débit extérieur) et optimiser les autres ;
- libérer (sous contraintes) les paramètres fixés précédemment après un calage satisfaisant : cette deuxième étape permet de prendre en compte le fait qu'aucun des paramètres n'est rigoureusement connu.

Dans le cas d'un bassin mal connu :

- estimer approximativement des paramètres relativement secondaires pour les ordres de grandeurs (temps de tarissements, seuils, etc.) ;
- laisser libres seulement un ou deux paramètres fondamentaux (surface pour un système karstique, correction des pluies pour un bassin très montagneux, etc.) qui règlent les principaux ordres de grandeur du bassin et optimiser ;
- libérer progressivement les paramètres initiaux pour affiner le calage.

Remarque :

Le fait d'optimiser des coefficients correcteurs globaux des différentes entrées (pluies, ETP) peut apparaître comme une solution de facilité. Il est certain que l'on ne peut accepter des corrections très importantes sur chaque type de données sans remettre en cause ou bien leur validité en tant qu'indicateurs des phénomènes physiques réels, ou bien la validité des hypothèses de modélisation.

Cependant, l'élaboration des données d'entrée, comme nous l'avons vu, n'est pas une procédure rigoureuse et définitive : la représentativité des postes pluviométriques n'est pas acquise, la méthode d'interpolation peut être choisie de différentes façons, etc. Pour les ETP, la nature même du phénomène physique et les mesures dont on dispose montrent que celles-ci représentent correctement les fluctuations saisonnières du phénomène, mais peuvent s'écarter de la réalité d'un facteur multiplicatif non négligeable (à la limite, on utilise parfois simplement un « indicateur » de l'ETP comme la température).

C'est pourquoi, dans des limites raisonnables, des corrections peuvent être envisagées pour rechercher l'équilibre du bilan. La démarche conseillée est, dans un premier temps, d'optimiser tous les paramètres -ce qui produira le meilleur calage possible (qui ne pourra donc pas être dépassé)- puis, dans un deuxième temps, d'imposer progressivement des valeurs fixes aux paramètres.

• **Confiance à accorder au calage**

Comment décider qu'une simulation est « satisfaisante » ? Comment en déduire qu'il est acceptable d'utiliser les paramètres calés pour des extensions de données ?

Il est difficile de répondre à ces questions de façon générale, d'autant que l'on ne peut jamais assurer la qualité des extrapolations d'une façon strictement déductive (et les exemples de surprise ne manquent pas, pour des raisons qui sont bien souvent explicables « *a posteriori* »). Néanmoins, quelques règles de bon usage sont nécessaires.

• **Durée des observations**

Il faut disposer de plusieurs cycles de fonctionnement du système. Il faut ajouter à cela qu'il est très souhaitable de disposer d'un historique de données correspondant à des situations variées.

Un calage fait sur quelques années abondantes, risque de réserver des surprises en année sèche. Néanmoins, il faut insister sur le fait que la nature physique du bilan qui

est effectué assure une stabilité importante des résultats pour les simulations de débit (cela n'est plus vrai pour les simulations de niveaux piézométriques).

- **Identification du fonctionnement**

Un modèle présentant des seuils peut tout à fait ne faire fonctionner ces seuils qu'une ou deux fois durant l'historique disponible. Ce sont alors les données de ces dates qu'il convient d'examiner avec le plus grand soin. La précocité de la remontée des débits, en début de saison humide ou en automne pour les climats tempérés, est un bon indicateur de la qualité de fonctionnement de la partie superficielle : une capacité de réservoir superficiel trop grande met trop de temps à se saturer et conduit à un retard bien visible.

La réponse aux épisodes pluvieux isolés de l'étiage est également un très bon test de cette partie du modèle. Mais, il est fréquent que l'on ne puisse pas arriver à une description très satisfaisante : dans ce cas, une estimation de l'impact des erreurs que cela peut occasionner est utile. Elle montre souvent que ces périodes charnières ne jouent qu'un rôle marginal dans le bilan d'ensemble : le modèle est alors utilisable pour des évaluations de ressources, l'analyse du potentiel hydroélectrique, etc., mais il faudra noter que les statistiques de débit des mois concernés ne seront pas bien évaluées.

La séparation de l'écoulement entre ces différentes composantes doit être vérifiée graphiquement. Il faut faire attention à l'influence du pas de temps sur ces constantes de temps : des données mensuelles décroîtront en étiage avec des temps caractéristiques de l'ordre de deux à trois mois. Mais au pas de temps journalier, ce tarissement moyen apparaîtra comme la superposition de deux composantes, l'une relativement rapide, l'autre plus lente.

Là encore, de telles remarques ne mettent pas nécessairement en cause la fiabilité du modèle : tout dépend de l'utilisation. On notera en particulier qu'il est illusoire de croire mieux identifier le fonctionnement d'un bassin sur trois ans de données journalières (environ 1 000 valeurs) que sur trois ans de données mensuelles (36 valeurs). Dans le premier cas, on identifie mieux les réactions rapides, mais les variations lentes sont souvent cachées par la variabilité des phénomènes rapides.

L'introduction du mécanisme de la fonte de la neige présente les mêmes écueils le stockage neigeux ne sera correctement identifié que s'il est observé plusieurs fois et conduit à un effet sensible sur les débits des mois concernés.

La règle est donc qu'un modèle peut être considéré comme correctement ajusté quand toutes ses composantes ont fonctionné plusieurs fois en conduisant à des effets notables et corrects sur les simulations.

- **Interprétation du bilan**

Un modèle n'est jamais, au mieux, qu'une représentation acceptable de la relation entre ses entrées et ses sorties. Il est donc toujours périlleux d'aller chercher dans son mécanisme interne un flux ou un stock particulier et de l'identifier à un flux ou un stock physique du système. Le fait qu'il existe 300 mm dans un réservoir souterrain pour un

bassin versant de 100 km², ne doit pas être interprété en disant que les réserves souterraines représentent 30 millions de m³.

De même la séparation entre écoulement rapide et écoulement lent ne doit pas être identifiée sans précautions comme une séparation entre écoulement superficiel et écoulement souterrain. En effet :

- d'une part un écoulement peut toujours être décomposé en deux composantes, mais cette décomposition n'est pas forcément unique et elle dépend de la formulation du modèle. En d'autres termes, un autre modèle, ou un autre jeu de paramètres, pourrait produire des résultats comparables en terme de qualité de reproduction des débits ou des niveaux de nappe, mais une décomposition extrêmement différente ;
- d'autre part, on peut affirmer que l'écoulement lent est ... plus lent que l'écoulement rapide, mais il n'y a pas de certitude qu'il s'agisse d'écoulement souterrain.

En revanche, un modèle peut être un bon moyen d'évaluer les apports efficaces annuels. En effet, lorsque les temps de mémoire du système sont relativement brefs (peu de reports inter annuels), les apports efficaces calculés par le modèle sont des données de débits corrigées des effets de report d'un mois ou d'une saison à l'autre.

Flux unique entre les entrées et la sortie, ces apports efficaces sont correctement identifiés, à condition que le calage soit correct. Le risque en effet est que le modèle, auquel on aurait laissé le choix de la surface du bassin versant, trouve un calage erroné ; évaluant des pluies trop élevées (par exemple pour répondre correctement à des pointes de crues dans une phase de son fonctionnement), il adopte une capacité de réservoir superficiel suffisante et corrige la trop grande abondance des apports par une réduction de la surface du bassin. Ainsi, dans ce cas, si le volume global au niveau du bassin est respecté, l'apport efficace par unité de surface du bassin est erroné.

• Difficultés particulières aux simulations de niveaux piézométriques

Le modèle GARDÉNIA est conçu pour simuler indifféremment des débits ou des niveaux piézométriques : en effet, le schéma hydrologique est le même, le niveau dans le réservoir souterrain pouvant être conçu comme lié au niveau piézométrique par une relation linéaire quel que soit le type du système aquifère.

Le coefficient d'emmagasinement joue alors le rôle de facteur d'amplitude, comme la surface du bassin versant dans le cas d'un calcul de débit.

Néanmoins, les simulations de niveaux posent quelques difficultés particulières :

- le coefficient d'emmagasinement n'est pas connu, même en ordre de grandeur, comme l'est généralement la surface du bassin versant. En effet, il s'agit d'un coefficient d'influence globale des fluctuations de stock sur un niveau piézométrique particulier.

Ce coefficient d'influence ne serait égal au coefficient d'emmagasinement moyen de la nappe que si le point d'observation était situé loin de tout cours d'eau.

Ce coefficient ne peut donc pas être relié aisément à des interprétations de pompages d'essai dont la validité reste locale et qui très souvent sont réalisés sur

de courtes périodes et peuvent donner un coefficient d'emménagement de nappe captive. Le coefficient d'emménagement de GARDÉNIA correspond plus à des variations de niveaux sur des périodes beaucoup plus longues et le type de coefficient d'emménagement à prendre en compte est celui d'une nappe libre. Par ailleurs, le coefficient d'emménagement au sens traditionnel, est le plus souvent défini avec une précision très inférieure à 20 %, alors que des écarts de 20 % dans le bilan sont difficilement acceptables.

Dans le cas des simulations de niveaux, le bilan qui est réalisé ne doit donc être interprété comme une analyse de flux qu'avec d'extrêmes précautions. Bien que ce soit une méthode d'analyse un peu dangereuse des apports efficaces, c'est souvent la seule disponible et il ne convient pas de la rejeter *a priori* ;

- des temps de mémoire très longs sont fréquents. Les difficultés de leur identification sont donc plus importantes que pour les débits. Ces temps influent sur les autres paramètres (niveau de base et coefficient d'emménagement en particulier).

3. Notice d'utilisation du code GARDÉNIA

3.1. INSTALLATION DE GARDÉNIA SOUS ENVIRONNEMENT WINDOWS

3.1.1. Distribution

La distribution de GARDÉNIA sous Windows est constituée :

- d'une documentation papier présentant :
 - les principaux concepts théoriques,
 - le guide d'utilisation ;
- d'un CD d'installation comprenant tous les exécutables et fichiers nécessaires au fonctionnement de GARDÉNIA (logiciel GARDÉNIA et utilitaires : SHALIMAR, ETPTURC).

Remarque :

Ce logiciel bénéficie de la protection légale accordée aux logiciels. L'utilisateur peut faire des copies de sauvegarde du CD, mais le logiciel doit être utilisé uniquement sur une machine à un moment donné.

Si après avoir lu ce manuel et utilisé GARDÉNIA, vous souhaitez contacter le BRGM pour des remarques, des questions ou des suggestions, vous pouvez envoyer un courrier à l'adresse suivante :

Logiciel GARDÉNIA
BRGM – Service EAU/M2H
BP 6009
45060 Orléans Cedex 2
France

3.1.2. Caractéristiques et configuration du matériel nécessaire

Le logiciel GARDÉNIA a été conçu pour fonctionner sur tout micro-ordinateur fonctionnant sous Microsoft Windows NT4 (service pack 6), Windows 2000 ou Windows XP, présentant les caractéristiques suivantes :

- un lecteur de CD ;
- une capacité de mémoire RAM de 128 Mo minimum (256 souhaité pour Windows XP).

L'espace nécessaire sur le disque dur doit être d'au moins 16 Mo pour l'installation complète de GARDÉNIA avec la documentation.

3.1.3. Procédure d'installation

La procédure d'installation de GARDÉNIA se réalise de la manière suivante :

- a) Démarrage automatique (Autorun) ;

- b) Si le démarrage ne s'effectue pas automatiquement : ouvrir le poste de travail, double-cliquer sur l'unité logique du lecteur de CD (par exemple D: ou E:), puis double-cliquer sur le fichier Setup.exe.

3.1.4. Exécution

Une fois l'installation terminée, le lancement du logiciel se fait à partir du menu « Démarrer », Il est également possible de placer sur le « Bureau de Windows » un raccourci de l'exécutable **Gardenia.exe** qui se trouve dans le dossier \Gardenia6_0\Bin (pour la version 6.0). Il suffit alors de double-cliquer sur l'icône de ce raccourci pour lancer l'exécution. Il est également possible de déposer (par « glisser déplacer ») un fichier projet [.rga] sur cette icône pour exécuter ce fichier projet.

3.2. LES FICHIERS « ENTRÉE » DE GARDÉNIA

Les données climatiques et hydrologiques et les paramètres sont sur des fichiers séparés :

- un fichier pour les paramètres de départ du modèle ;
- un fichier pour la pluie ;
- un fichier pour l'évapotranspiration potentielle ;
- un fichier pour les données de température de l'air (s'il y a lieu de modéliser la fonte de la neige) ;
- un fichier pour les débits ou niveaux observés (s'il y en a), c'est-à-dire pour le calage.

Le pas de temps de chaque série doit être constant, mais chaque série peut avoir un pas de temps différent des autres. Classiquement, on utilisera un pas de temps journalier pour chaque série, mais on pourrait également avoir :

- une série de pluie journalière ;
- une série d'évapotranspiration potentielle mensuelle ;
- une série de débits décennaires.

Dans tous les cas où les pas de temps sont différents, le pas de temps le plus fin doit être celui de la pluie car les calculs de bilan sont effectués au pas de temps de la pluie. Les pas de temps possibles sont :

- un pas de temps journalier ;
- un pas de temps décennaire (10 jours) ;
- un pas de temps mensuel.

Remarques :

- 1) Lors de l'utilisation du logiciel sur un nouveau bassin, les options et paramètres sont définis par boîtes de dialogue. Un fichier texte, appelé « fichier des paramètres » est généré en fin de calcul sous le nom générique « **crepara.out** ». Ce fichier pourra être réutilisé, éventuellement après changement de nom et modification éventuelle.

- 2) Il est possible de traiter simultanément plusieurs bassins à la fois. Les données de pluies des différents bassins seront placées les unes après les autres dans un même fichier, de même pour les fichiers d'ETP, de températures et de débits (ou niveaux) observés.
- 3) Dans le cas où plusieurs bassins sont à traiter, il est possible d'utiliser les mêmes séries de pluies et d'ETP pour tous les bassins à condition que les périodes d'observation soient identiques.

3.3. DÉROULEMENT D'UNE SIMULATION

Une simulation se déroule en affichant successivement différentes boîtes de dialogue (fig. 10). La description de celles-ci est indiquée dans les paragraphes suivants pour un exemple de simulation relativement complet.

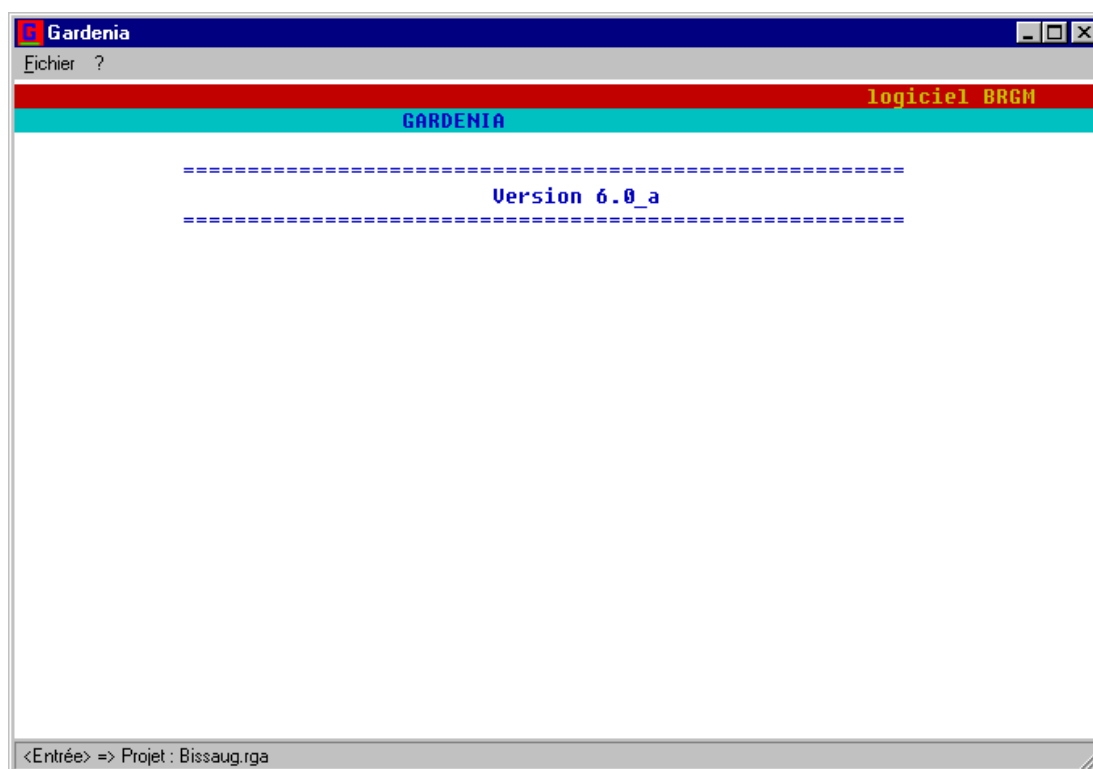


Fig. 10 - Début d'une simulation avec le code GARDÉNIA.

3.3.1. Réutilisation d'un fichier projet (pour refaire un calcul identique)

Si on a déjà fait un calcul, les noms des fichiers à lire ont été enregistrés dans un fichier « projet » de nom par défaut « **garcoman.rga** ». On peut alors réaliser un passage identique avec par exemple d'autres fichiers de données ou bien réaliser un complément de calage. Il suffit pour cela de changer (à l'éditeur de texte) ces noms de fichiers dans le fichier projet [.rga].

On peut réutiliser un fichier projet par le menu « Fichier -> Ouvrir » ou bien en activant un des six « fichiers récents » affichés (fig. 11).

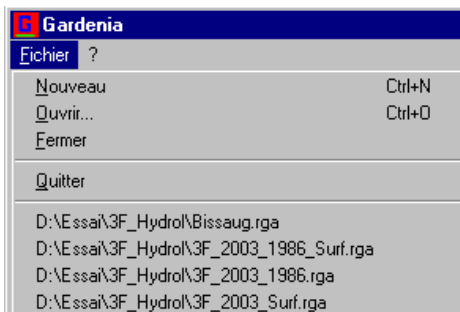


Fig. 11 - Menu Fichier (Nouveau, Ouvrir, Fermer, Récents).

3.3.2. Création d'un nouveau projet

Définition du dossier du nouveau projet (fig. 12 et 13).

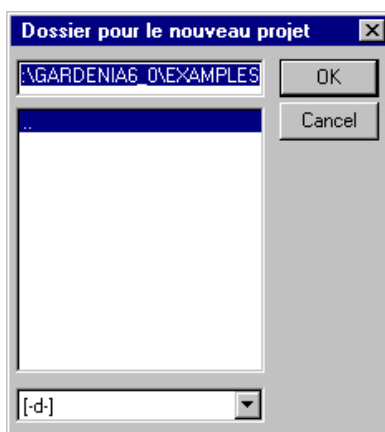


Fig. 12 - Nouveau projet.

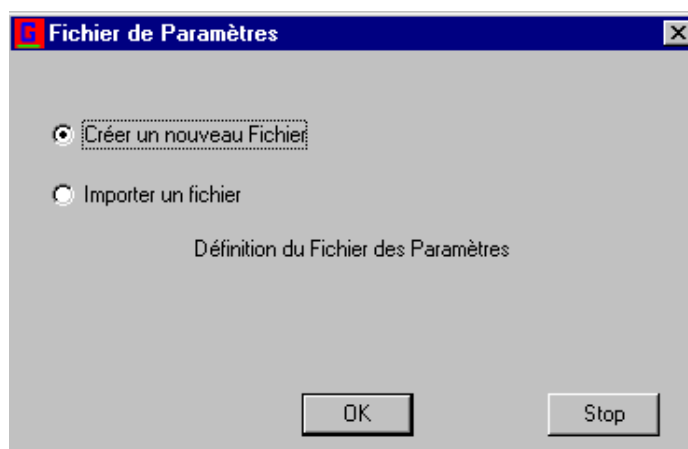


Fig. 13 - Création d'un fichier de paramètres [.gar] ou bien réutilisation d'un fichier existant.

Lors de la création d'un nouveau projet :

- soit l'utilisateur ne dispose pas d'un fichier de paramètres déjà constitué, il devra donner en interactif les valeurs de toutes les options et de tous les paramètres, ce qui peut être assez long, mais est nécessaire pour une première utilisation.

Le logiciel demande alors le nom du fichier dans lequel seront sauvegardés les paramètres en fin de calcul (fig. 14) ;

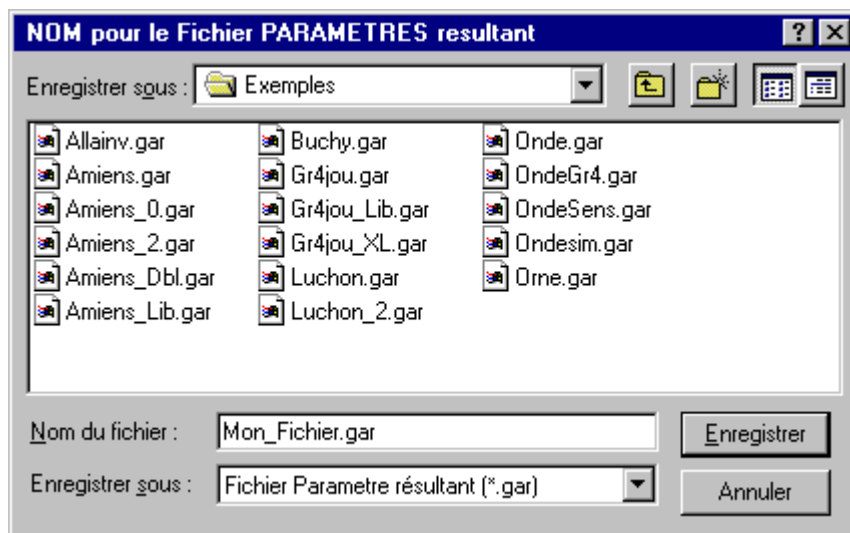


Fig. 14 - Définition du nom du fichier qui sera créé en fin de calcul et contiendra les paramètres résultant (ici : mon_Fichier.gar).

- soit l'utilisateur dispose d'un fichier de paramètre existant dont il devra préciser le nom (fig. 15). Les valeurs des options et des paramètres hydrologiques seront lues dans ce fichier.



Fig. 15 - Importation d'un fichier de paramètres existant (ici : Amiens.gar).

Après chaque passage, et en particulier après une première utilisation où l'on a donné tous les paramètres, un fichier actualisé de paramètres est créé par le logiciel sous le nom de « **crepara.out** ». Il est alors utile de changer le nom de ce fichier (pour le sauvegarder) ; ce fichier pourra être utilisé :

- pour un complément de calage si nécessaire (il n'y aura plus à redonner les valeurs de tous les paramètres et options) ;
- pour calculer des débits ou des niveaux (extension de données), à partir de séries climatiques observées (ou générées) si le calage est reconnu satisfaisant.

Remarque :

Les différents paramètres des boîtes de dialogue sont décrits dans les paragraphes suivants.

3.3.3. Titre descriptif de la simulation

En début de simulation, le code demande de donner un titre pour la simulation (fig. 16). Ce titre est une ligne de commentaires qui figurera dans les fichiers en sortie de GARDÉNIA et sur les éventuels graphiques. C'est un élément de traçabilité important.



Fig. 16 - Définition du titre descriptif de la simulation.

3.3.4. Pré-options (fig. 17)

Les réponses utilisées sont :

- N ou n ou 0 (zéro) ou rien pour non ;
- O ou Y ou 1 pour oui.

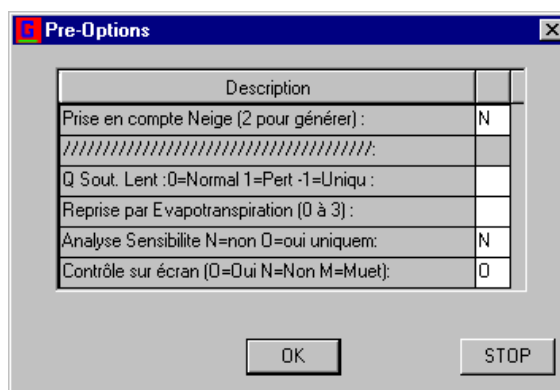


Fig. 17 - Définition ou modification des pré-options.

- **Prise en compte de la neige**

- N ou rien = Non Pas de prise en compte de la neige : **cas général.**
- O ou Y = Oui Le fichier des paramètres contient les paramètres nécessaires à la prise en compte de la fonte de la neige.
- 2 = Oui Le fichier paramètres ne contient pas (encore) les paramètres pour la prise en compte de la fonte de la neige. Les paramètres relatifs à la fonte de la neige seront donnés à l'écran.

- **Perte de la composante très lente du débit**

- 0 = toutes les composantes sont prises en compte : **cas général.**
- 1 = non prise en compte du débit très lent (partie inférieure du réservoir G ou G2).
- 1 = non prise en compte du débit rapide (réservoir H).

- **Reprise par évapotranspiration**

Elle peut se faire :

- 0 ou rien = dans le réservoir superficiel RU : **cas général.**
- 1 = dans RU et H.
- 2 = dans RU, H et G1.
- 3 = dans RU, H, G1 et G2.

N.B. Les schémas avec « reprise » ne permettent généralement pas d'obtenir des résultats très satisfaisants. Ce paramètre a été conservé par compatibilité avec les versions précédentes.

- **Seulement Analyse de Sensibilité**

- N ou rien = Non calcul normal : **cas général.**
- O ou Y = Oui analyse de sensibilité.

Dans ce cas des simulations sont effectuées (sans itérations) en considérant différentes valeurs de deux paramètres choisis par l'utilisateur. Le choix de ces deux paramètres s'effectue au niveau des « paramètres physiques » en indiquant une « optimisation » (= 1) pour les deux paramètres choisis et (valeur d'optimisation = 0 pour les autres paramètres).

L'utilisateur précise normalement la valeur centrale de chacun des deux paramètres sélectionnés dans la boîte de dialogue des « paramètres physiques ».

Lors de l'exécution de GARDÉNIA, il sera demandé à l'utilisateur d'indiquer la demi-amplitude de variation de part et d'autre de la valeur centrale de chacun des paramètres.

Les simulations effectuées correspondront alors aux valeurs choisies des paramètres présentant onze valeurs entre ses bornes de variations (soit $11 \times 11 = 121$ simulations).

Exemple :

	Valeur centrale	Demi-amplitude	Bornes de variations
Paramètre 1	20	10	10 - 30 (11 valeurs)
Paramètre 2	50	20	30 - 70 (11 valeurs)

L'ensemble des 121 coefficients d'ajustement est stocké dans un fichier de nom : **sensibil.out**.

Ce fichier permet l'analyse des relations entre les deux paramètres choisis et le dessin de courbes d'isovaleurs pour le coefficient d'ajustement.

- **Examen des paramètres après lecture**

O / Y ⇔ Oui Les paramètres seront affichés à l'écran lors de l'exécution ; on a alors la possibilité de les modifier avant le début des calculs.

N ⇔ Non Les paramètres ne seront pas affichés à l'écran et les calculs commenceront directement après la lecture des fichiers de données.

M ⇔ Muet Édition en batch. Il n'y aura quasiment aucune question ni validation demandée à l'écran, sauf en cas d'erreur grave.

3.3.5. Nom des fichiers à lire

Dans le cas d'un nouveau projet, les noms des fichiers de pluie, d'ETP, de température (pour les calculs avec neige) et d'observations (débits ou niveaux), sont demandés par des boîtes de dialogue classiques (fig. 18).

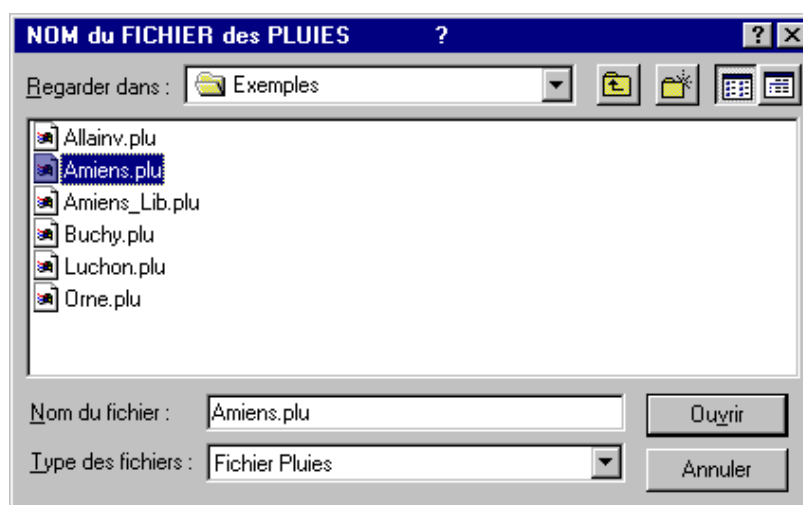


Fig. 18 - Nouveau projet : définition du fichier des pluies (et des autres fichiers hydroclimatiques).

Le format de ces fichiers est décrit plus loin. La constitution de ces fichiers selon ce format est facilitée par l'utilisation du module SHALIMAR dont le fonctionnement est décrit brièvement plus bas.

Le fichier des ETP peut être élaboré à l'aide module ETPTURC décrit plus loin.

3.3.6. Options générales (fig. 19)

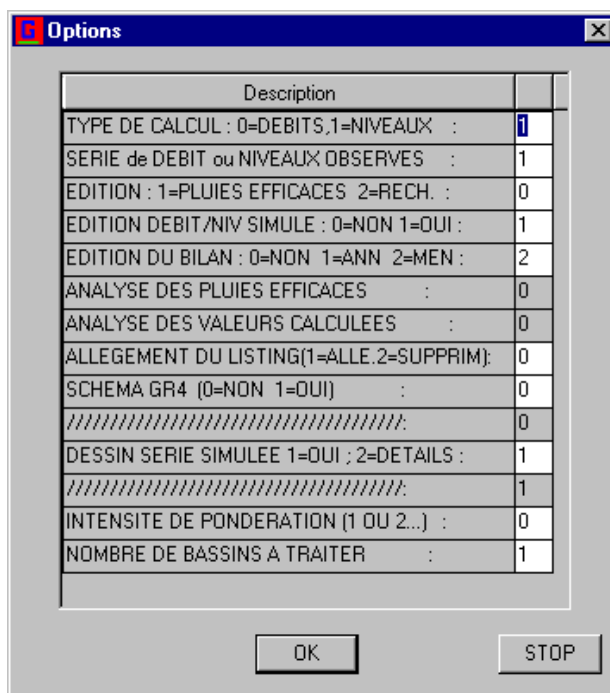


Fig. 19 - Définition ou modification des options de calcul.

- **Type de calcul : 0 = Débits ; 1 = Niveaux**
 0 = simulation pluie -débit ;
 1 = simulation pluie-niveau.
- **Série de Débits ou de Niveaux Observés**
 0 = absence de séquence de valeurs observées (extension de données) ;
 1 = présence de séquence de valeurs observées (calage).
- **Sauvegarde de la Pluie Efficace ou de la Recharge**
 0 = pas de sauvegarde sur fichier ;
 1 = sauvegarde sur fichier de la Pluie Efficace calculée : fichier **creapef.out** ;
 2 = sauvegarde sur fichier de la Recharge : fichier **crearech.out**.
- **Sauvegarde des Débits ou Niveaux simulés**
 0 = pas de sauvegarde sur fichier ;

1 = stockage des valeurs calculées (débits ou niveaux) et mesurées sur fichier : **creasim.out** (fichier texte) et **creasim.prn** (fichier importable sous EXCEL).

- **Impression du bilan**

0 = pas de stockage sur fichier ;

1 = impression du bilan annuel ;

2 = impression du bilan mensuel (fichier **bilmens.out**) : **conseillé**.

- **Allègement du listing**

0 = édition d'un listing complet décrivant l'ensemble du processus de la simulation ;

1 = édition d'un listing allégé (suppression des détails du processus de calage) ;

2 = pas d'édition de listing.

- **Schéma hydrologique**

0 = schéma « Gardénia » (BRGM) ;

1 = schéma « GR4 » (CEMAGREF).

N.B. Les paramètres du schéma GR4 ne sont pas décrits dans cette notice.

- **Représentation graphique des Débits ou Niveaux simulés**

0 = pas de sortie graphique ;

1 = sortie graphique ;

2 = sortie graphique avec détails, c'est-à-dire avec la représentation du débit de base dans le cas d'une simulation pluie/débit.

- **Intensité de la Pondération des écarts (pour le critère d'ajustement)**

0 ou 1 = pas de pondération des écarts de simulation : **cas général** (tous les écarts ont alors le même poids) ;

2 = pondération donnant plus de poids aux faibles valeurs (étiages) ;

-2 = pondération donnant plus de poids aux fortes valeurs (usage exceptionnel).

Valeurs conseillées : 0 pour une simulation de niveaux piézométriques,

2 pour des débits.

- **Nombre de bassins à traiter**

C'est en fait le nombre de simulations à effectuer (on peut considérer plusieurs bassins, ou un même bassin avec différents types de simulation). Si la réponse est supérieure à 1 (cf. l'exemple du bassin des Ondes présenté plus loin), les paramètres concernant les autres simulations seront mis (dans un seul fichier paramètres), à la suite les uns des autres après la fin de la description des paramètres de la première simulation.

3.3.7. Pas de temps (fig. 20)

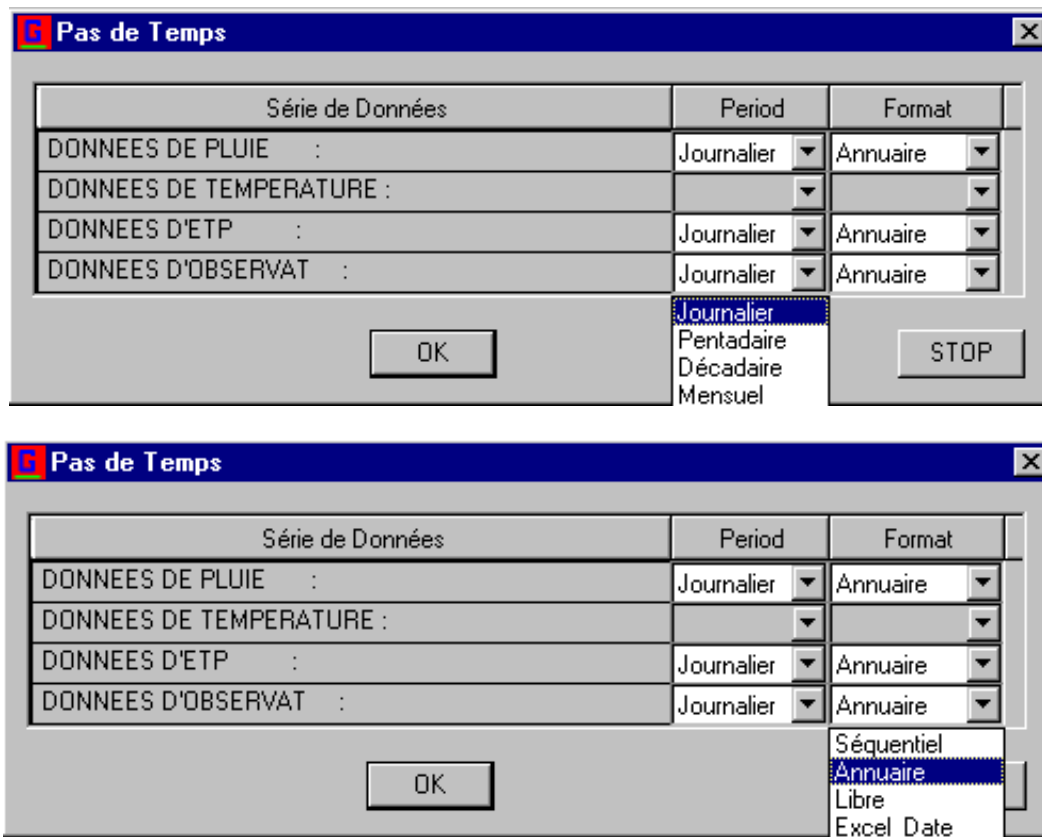


Fig. 20 - Définition des durées des pas de temps et des formats de fichiers associés.

Remarque :

En plus des données de pluies, d'ETP et de débits ou de niveaux (observations), des données de températures doivent être introduites si on a choisi auparavant la prise en compte de la fonte de la neige (cf. premier paramètre de l'écran « pré-options »). Les paramètres intervenant dans la prise en compte de la fonte de la neige seront décrits plus bas.

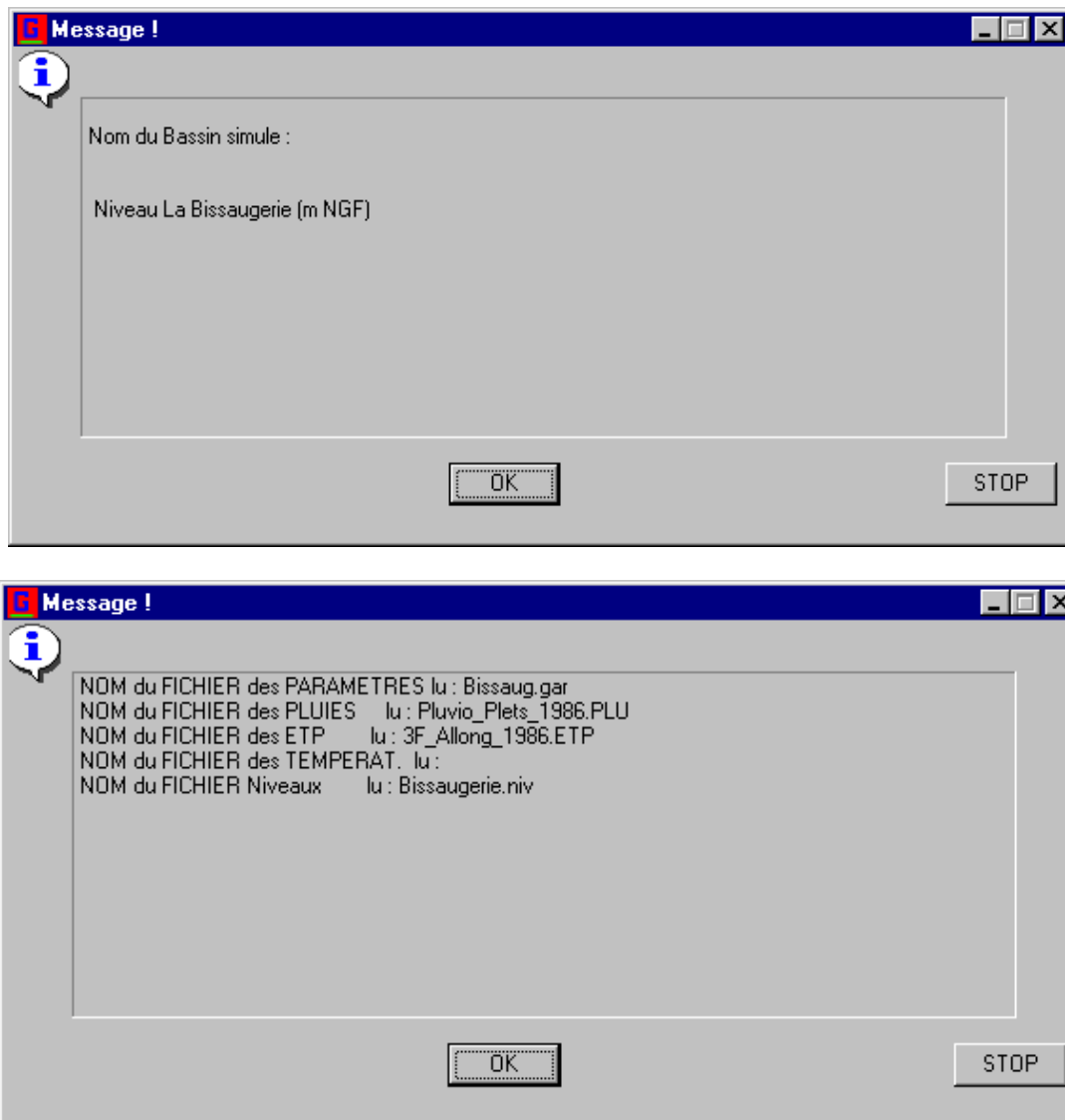


Fig. 21 - Début des calculs et contrôle des fichiers lus.

3.3.8. Paramètres généraux (fig. 22 et 23)

- Valeur maximale des observations
- Valeur minimale des observations

Ce sont les valeurs extrêmes des données d'observations (débits ou niveaux) qui seront prises en compte à la fois pour les calculs. Dans le cas d'un calage automatique, les observations extérieures à cet intervalle seront ignorées.

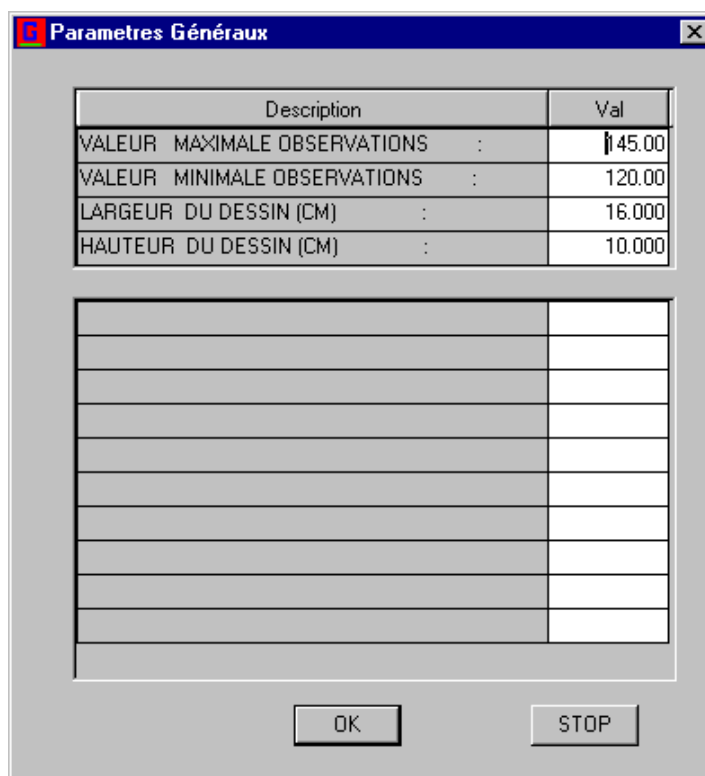


Fig. 22 - Définition de la plage des observations à prendre en compte.

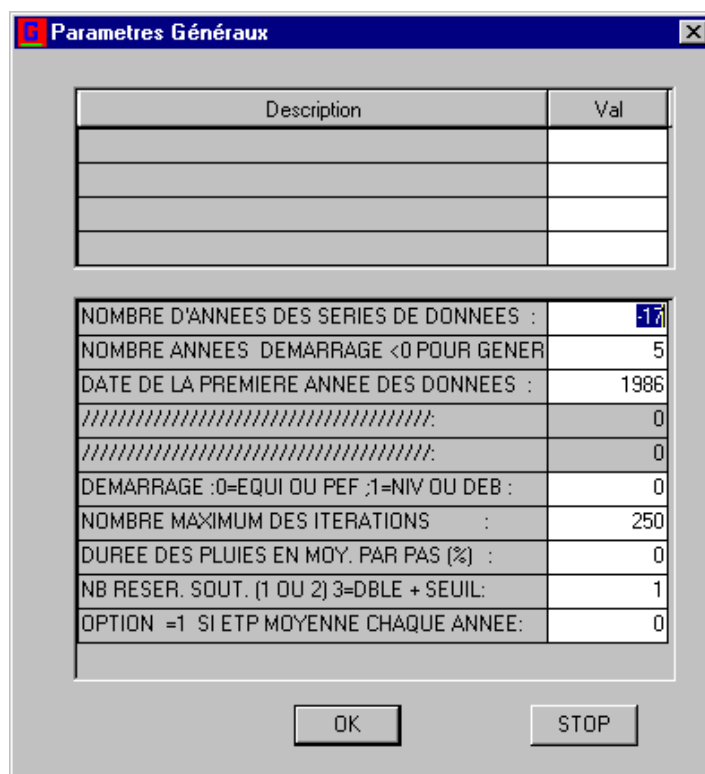


Fig. 23 - Définition ou modification des paramètres généraux (nombre d'années, nombre d'itérations, nombre de réservoirs, etc.).

- **Largeur du dessin**
- **Hauteur du dessin**

Dimensions du dessin en cm sur l'écran. Seul le rapport hauteur/largeur est conservé ; le dessin remplit tout l'écran.

- **Nombre d'années de données pour les séries de données climatiques et les séries de données d'observations**

Ce nombre d'années doit être le même pour toutes les données : pluie, évapotranspiration potentielle (ETP), débit ou niveau observé, température.

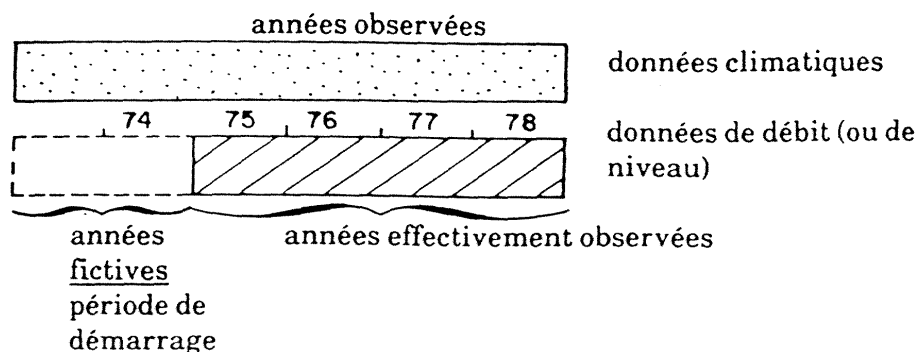
Cas particulier : Si le nombre d'années est négatif et que l'on simule plusieurs bassins, les séries de pluie et d'évapotranspiration potentielle du premier bassin seront utilisées pour tous les bassins (s'il y a cinq ans de données par exemple, on donnera alors -5 comme réponse).

- **Nombre d'années de démarrage**

Le débit ou le niveau du premier mois de la première année dépend bien évidemment des données climatiques, plusieurs mois auparavant. Le premier mois de débits (ou niveaux) ne peut donc pas être simulé correctement à partir du premier mois de pluie, d'ETP et de températures. On considère donc que les débits (ou les niveaux) sont calculés correctement à partir d'un certain nombre d'années dites « années de démarrage ».

Les valeurs calculées pendant ces années de démarrage ne sont pas prises en compte pour la comparaison avec les observations (de débits ou de niveaux). Les séries de données climatiques et de données observées (débit ou niveau) ayant le même nombre d'années, les premières années d'observations sont donc inutilisées.

Pour éviter cet inconvénient, il est conseillé de rassembler les données climatiques (pluies, ETP, températures) pendant une ou plusieurs années avant la première année de débits ou niveaux observés. On créera alors la ou les années correspondantes de débits (ou niveaux) observés au moyen de valeurs fictives qui ne seront pas prises en compte dans les calculs, mais serviront seulement à occuper une place dans les données. Les valeurs fictives sont obligatoirement -2 pour les débits ou 9999 pour les niveaux piézométriques.



Exemple 1

Période d'observation des débits : 1975-1978, soit quatre ans. On rassemble également la pluie et l'ETP de 1974, et on crée une année 1974 fictive de débit (avec des valeurs égales à -2) il y a alors au total cinq années et le nombre d'années de démarrage est de 1.

Quand les données climatiques ne sont pas disponibles avant la première année d'observation de débit (ou de niveau), le modèle peut créer artificiellement de telles années avec pour chacun des pas de l'année, la moyenne inter-annuelle des valeurs observées. Cette procédure est cependant moins précise que la précédente et doit être évitée si possible. Pour l'utiliser, il suffit d'affecter d'un signe négatif le nombre d'années de démarrage donné.

Exemple 2

Avec les données précédentes, observations de débits, de pluies et d'ETP sur les quatre années de la période 1975-1978, on indique -1 année de démarrage. L'année 1974 sera alors créée automatiquement. Il y a quatre années d'observations.

Valeurs standards :

- +1 : pour une simulation des débits,
- +2, 3 ou 4 ou plus : pour une simulation de niveaux suivant l'inertie de la nappe qui sera appréciée par la (ou les) constante(s) de temps de tarissement.

On peut aussi, si on ne dispose pas de suffisamment d'années de démarrage réelles, cumuler les vraies et les fausses années de démarrage.

Exemple 3

Avec les données précédentes, observations de débits (ou de niveaux), de pluies, d'ETP (et de température), sur les quatre années de la période 1975-1978, on rassemble également les données climatiques de l'année 1974, on crée une année fictive de débits (ou de niveaux) (avec des valeurs égales à -2 ou 9999 selon le cas), et on indique par exemple -3 années de démarrage. Les années 1971 à 1973 seront alors créées automatiquement. Il y aura alors au total cinq années d'observations, c'est-à-dire cinq années de données réelles et -3 années de démarrage.

• Numéro de la première année de simulation

C'est le numéro de la première année des fichiers de données d'observations et des fichiers de données climatiques : par exemple 2006 si la première année est l'année 2006.

• Démarrage : 0 = équi ou pef ; 1 = niveau ou débit

Là où les années de démarrage peuvent être construites de telle façon qu'elles correspondent :

- 0 => équilibre avec une pluie efficace donnée ;
- 1 => niveau ou débit de démarrage imposé.

La valeur de la pluie efficace, du niveau ou du débit (selon le cas) sera précisée dans la boîte de dialogue des « paramètres physiques », par le paramètre « Valeur de démarrage pl.effic. annuelle / niveau / débit ».

Avec l'option 0 (pluie efficace) : si on donne une pluie efficace d'équilibre = 0, la pluie efficace utilisée sera celle correspondant à la moyenne de la période de simulation.

- **Nombre maximum d'itérations pour le calage des paramètres**

C'est le nombre maximal d'itérations, c'est-à-dire de simulations qui seront réalisées pour le calage des paramètres.

Plutôt que de réaliser le calage par un seul « passage » comprenant un très grand nombre d'itérations, il est souvent souhaitable de réaliser plusieurs passages avec environ 100 itérations pour chacun, avec un examen approfondi des résultats entre chaque passage.

Valeur standard : 100 (ou bien 150 si calcul avec fonte de la neige).

- **Durée des pluies en moyenne par pas (%)**

Elle représente le rapport de la durée effective de la pluie sur la durée du pas de temps (exemple : pas de temps journalier, pluie de 3 h = 12,5 % ; pas de temps mensuel, 6 jours de pluies par mois = 20 %).

Valeur standard : 0 % (ou 100 %) : le modèle prendra alors la pluie répartie sur la totalité du pas de temps.

- **Nombre de réservoirs souterrains (1 ou 2, ou bien 3 = Double + Seuil)**

Correspond aux différents schémas de réservoirs souterrains :

- 1 = réservoir G1 ;
- 2 = réservoirs G1 + G2 ;
- 3 = réservoir G (réservoir à deux exutoires séparés par un seuil).

Pour un calcul de niveau de nappe, si on sépare deux composantes, il faut utiliser obligatoirement l'option 3 (réservoir à deux exutoires séparés par un seuil).

Valeur standard : 1

- 1 (ou 2 si nécessaire) pour un calcul de débit ;
- 1 (ou 3 si nécessaire) pour un calcul de niveaux.

Il est conseillé de ne conserver qu'une seule composante lente (option 1) chaque fois que possible pour privilégier la stabilité du calage.

- **ETP moyenne chaque année**

Utilisation pour chaque année d'évapotranspiration potentielle d'une valeur moyenne inter-annuelle pour chacun des pas de l'année : 0 = non ; 1 = oui.

Cette option sera utilisée uniquement quand on ne dispose pas de données d'ETP pour toutes les années, ce qui sera parfois le cas en extension ou surtout en génération de données.

Valeurs standards :

- 0 : pour un calage ;
- 0 ou 1 : pour une extension de données.

3.3.9. Paramètres physiques (fig. 24)

Description	Val		
COEF. DE CORRECTION DES PLUIES (%) :	0.0000	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>
CAPACITE DE LA RESERVE SUPERF. (MM):	50.000	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>
COEF. DE CORRECTION DE L'ETP (%) :	0.0000	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>
HAUTEUR DE REPARTITION RUIS-PERCOL (MM):	250.00	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>
TEMPS DE DEMI-MONTEE PERCOL. (MOIS):	2.0000	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 1 (MOIS):	20.000	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>
NIVEAU DE BASE (M):	100.00	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>
COEFFICIENT EMMAGASINEMENT (-):	1.00000E-02	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>
VAL. DEMARRAGE P.EFF ANNUELLE/NIV/DEB :	100.00	Opti	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig. 24 - Définition ou modification des paramètres physiques (capacité ou constantes de demi-tarissement des réservoirs).

- **Coefficient de Correction des Pluies (%)**

C'est un coefficient de correction homothétique des pluies en pourcentage : toutes les pluies de tous les mois sont corrigées globalement d'un même pourcentage.

Exemple

Valeur de départ conseillée : 0 %.

N.B. Une valeur égale à 15 signifie +15 %, c'est-à-dire multiplication de toutes les pluies par 1,15.

Optimisation : non conseillée, sauf si les pluies exactes sont mal connues en région montagneuse par exemple.

N.B. Sur le fichier généré : la notation est la suivante : 0 = non optimisé ; 1 = optimisé.

- **Capacité de la Réserve Superficielle (mm)**

Valeur de départ conseillée : 70 mm.

Optimisation : conseillée.

- **Coefficient de Correction de l'ETP (%)**

C'est un coefficient de correction homothétique de l'ETP en pourcentage (toutes les ETP de tous les mois sont corrigées globalement d'un même pourcentage).

Valeur de départ conseillée : 0 %.

Optimisation : conseillée.

- **Hauteur de Répartition Ruissellement - Percolation (mm)**

C'est la hauteur d'égale répartition entre écoulement rapide (ruissellement) et percolation alimentant l'écoulement lent. Quand le niveau dans le réservoir intermédiaire est égal à n fois cette hauteur, l'écoulement rapide instantané est égal n fois la percolation. Réciproquement, quand le niveau est égal à $1/n$ fois cette hauteur, la percolation est égale à n fois l'écoulement rapide. Ce paramètre est noté RUIPER

Remarque :

Pour un calcul de niveau, il faut être assez prudent pour éviter que la majeure partie des précipitations efficaces ne soit évacuée en écoulement rapide (écoulement superficiel), la faible composante lente (composante souterraine) étant compensée par un fort coefficient d'amplitude (faible « coefficient d'emmagasinement apparent »).

Valeur de départ conseillée : 70 mm (difficile à préciser, peut atteindre 500 mm ou davantage).

Optimisation : conseillée.

- **Temps de demi-montée Percolation (mois)**

C'est le temps caractérisant la vitesse de réponse entre une pluie efficace et un accroissement de la composante lente du débit. Ce temps est exprimé en mois.

Valeurs de départ conseillées :

- 0,5 mois pour un calcul de débit ;
- 1 à 5 mois pour un calcul de niveau de nappe libre.

Optimisation : conseillée.

- **Temps de demi-tarissement souterrain 1 (mois)**

Temps de demi-tarissement de la composante lente (en mois). C'est le temps au bout duquel, en l'absence de recharge, le débit de la composante lente est divisé par deux.

Valeurs de départ conseillées :

- 2 mois pour un calcul de débit ;
- 3 à 8 mois pour un calcul de niveau de nappe libre.

Optimisation : conseillée.

- **Temps de demi-montée souterrain 1 => 2 (mois)**

(non représenté sur la boîte de dialogue de l'exemple considéré)

- Si on a choisi dans les « Paramètres Généraux » un schéma à un seul réservoir G (option = 1, cas général), ce paramètre n'est pas utilisé (c'est le cas de l'exemple présenté).
- Si on a choisi dans les « Paramètres Généraux » un schéma à deux réservoirs G1 et G2 (option = 2), ce paramètre indique le temps de demi-transfert du réservoir souterrain lent vers le réservoir souterrain très lent. Il est exprimé en mois.

Valeur de départ conseillée : 1 mois.

Optimisation : conseillée.

- Si on a choisi dans les « Paramètres Généraux » un schéma avec un réservoir G avec deux exutoires séparés par un seuil (option = 3), ce paramètre indique le seuil au-dessus duquel apparaît le débit lent 1.

Valeur de départ conseillée : 50 mm.

Optimisation : conseillée.

- **Temps de demi-tarissement souterrain 2 (mois)**

(non représenté sur la boîte de dialogue de l'exemple considéré)

- Si on a choisi dans les « Paramètres Généraux » un schéma à un seul réservoir G (option = 1, cas général), ce paramètre n'est pas utilisé (c'est le cas de l'exemple présenté).
- Si on a choisi dans les « Paramètres Généraux » un schéma avec deux composantes lentes (deux réservoirs G1 et G2, ou bien réservoir double), ce paramètre est le temps de demi-tarissement de la composante très lente, c'est-à-dire le temps nécessaire pour qu'en l'absence d'alimentation du réservoir correspondant, le débit de la composante très lente soit divisé par deux. Ce temps de demi-tarissement doit être de préférence au moins égal au temps de tarissement de la composante lente.

Valeurs de départ conseillées :

- 3,5 mois pour un calcul de débit ;
- 4 à 8 mois pour un calcul de niveau de nappe libre.

Optimisation : conseillée.

N.B. Il convient de veiller à ce que ce paramètre n'atteigne pas de valeurs trop élevées (30 ou 50 mois), sinon il faut disposer d'une longue période de calage et d'une longue période de démarrage pour éviter les difficultés dues à une très grande inertie.

- Ce paramètre n'a pas d'action si on a à la fois :
 - une simulation pluie-débits,
 - un schéma avec deux réservoirs souterrains G1 + G2 (option 2),
 - une perte du débit très lent (option 3, valeur 1, de la boîte de dialogue « Pré-options »).

- **Hauteur de réduction de la reprise par ETP (mm)**
(non représenté sur la boîte de dialogue de l'exemple présenté)

Ce paramètre joue un peu le même rôle que le paramètre RUIPER, mais en considérant l'ETP.

N.B. Ce paramètre est d'utilisation délicate ; il est conseillé de ne pas l'utiliser sauf cas exceptionnel.

- **Niveau de base ou Débit extérieur**

Suivant le type de simulation choisi (pluie-niveau ou pluie-débit), ce paramètre a une signification différente.

- Pour un **calcul de niveau de nappe** : niveau de base (niveau absolu en mètre), ce niveau de base correspond au niveau qui serait atteint en l'absence totale d'alimentation au bout d'un temps infini.

Valeur de départ conseillée : niveau de base estimé.

Optimisation : conseillée.

Il convient impérativement de laisser calculer ce niveau de base. Le calcul étant effectué par régression linéaire, la valeur de départ n'a pas d'importance.

- Pour un **calcul de débit** : débit extérieur Q_0 (en m^3/s). Ce débit est un débit non contrôlé par la mesure à l'exutoire. Le débit observé QOBS se déduit du débit calculé QCAL par la relation :

$$QOBS = QCAL + Q_0 + \text{écart.}$$

Valeur standard : $0 m^3/s$.

Ce débit extérieur doit être en principe imposé à 0, sauf cas très particuliers : fuite du bassin, exportation ou importation d'eau par un canal, prélèvement, échanges latéraux de bassin à bassin.

Optimisation : non conseillée.

- **Coefficient d'Emmagasinement ou Surface du bassin versant**

Suivant le type de simulation choisi (pluie-niveau ou pluie-débit), ce paramètre a une signification différente.

- Pour un **calcul de niveau de nappe libre** : c'est le coefficient d'emmagasinement apparent global (sans unité). Dans la plupart des cas, le coefficient d'emmagasinement apparent n'est pas connu, et il devra être calculé par le modèle. Il sera intéressant de comparer ce coefficient à un coefficient d'emmagasinement de nappe libre ou à une valeur de porosité efficace, pour voir si l'ordre de grandeur est à peu près identique.

Il faut cependant garder à l'esprit que si le point d'observation du niveau est proche d'un cours d'eau (ou d'un lac) qui impose un niveau peu variable, le coefficient d'emmagasinement apparent sera considérablement supérieur au coefficient d'emmagasinement en nappe libre réel de l'aquifère.

Il faut également veiller à ce que le coefficient d'emmagasinement apparent calculé ne soit pas extrêmement faible pour compenser artificiellement le fait que le modèle a évacué la majorité de l'écoulement sous forme d'écoulement rapide (superficiel).

Valeur de départ : valeur estimée ... (sans importance).

Optimisation : conseillée.

Il convient dans la grande majorité des cas de laisser le modèle calculer ce coefficient.

- Pour un **calcul de débit** : c'est la superficie du bassin versant SURF (en km²). Cette superficie est généralement la superficie du bassin versant, telle qu'elle est déterminée à partir d'une carte topographique. La valeur de ce paramètre doit alors être imposée à cette valeur mesurée.

Cependant, dans un certain nombre de cas, cette superficie est inconnue ou mal connue, à savoir :

- bassin d'alimentation d'une source ;
- exutoire ne contrôlant qu'une partie du bassin versant (exutoires multiples) ;
- parties endoréiques dans le bassin versant.

Dans ces cas, il peut être utile de laisser le modèle calculer la superficie la plus appropriée.

Il convient de remarquer cependant qu'il est dangereux de laisser calculer au modèle à la fois :

- un coefficient sur les pluies ;
- un coefficient sur l'ETP ;
- la superficie du bassin versant.

En effet, on montre que si on multiplie par un facteur **k** à la fois la pluie, l'ETP, la réserve utile, on obtient une « pluie efficace » multipliée par **k** et (en multipliant le seuil de séparation par **k**), on obtient souvent un débit quasi équivalent en divisant la superficie du bassin versant par le facteur **k**.

Il faut donc imposer les paramètres les mieux connus (par exemple : pas de correction sur les pluies) et optimiser la surface (cas d'une source) ou bien le

contraire (bassin de superficie connue, mais stations pluviométriques peu représentatives ou bien à des altitudes variées).

Valeur standard : superficie mesurée.

Optimisation : non conseillée.

- **Valeur de démarrage pl. effic. annuelle / niveau / débit**

Cette valeur de démarrage dépend du paramètre choisi pour l'(es) année(s) de démarrage définie(s) dans le paragraphe « Paramètres Généraux ».

- Si l'option démarrage du paragraphe « Paramètres généraux » est égale à 0 (Pluie Efficace ou Équilibre) :
 - la valeur de démarrage correspond à la pluie efficace pour laquelle le modèle se met en équilibre (sur toute la période d'observation des pluies),
 - si cette valeur est égale à 0, le modèle se met en équilibre sur toute la période à partir des données de pluies et d'ETP.
- Si l'option démarrage du paragraphe « Paramètres généraux » est égale à 1 (niveau ou débits) :
 - la valeur de démarrage correspond au niveau ou au débit de démarrage.

3.3.10. Bornes des paramètres

Valeurs minimales et maximales admises pour les 9 paramètres hydrologiques (et les 7 paramètres de fonte de la neige) dans le cas où ces paramètres sont à optimiser.

Ces valeurs ne sont définies que pour le bassin n° 1 (fig. 25).

Si on simule plusieurs bassins avec un seul jeu de paramètres, les bornes des paramètres utilisées dans les calculs seront celles du bassin n° 1.

Description	(Val)	Mini	Maxi
CDEF. DE CORRECTION DES PLUIES (%)	0.0000	-15.000	15.000
CAPACITE DE LA RESERVE SUPERF. (MM)	50.000	2.0010	200.00
CDEF. DE CORRECTION DE L'ETP (%)	0.0000	-20.000	20.000
HAUTEUR DE REPARTITION RUIS-PERCOL (MM)	250.00	1.00000E-03	2000.0
TEMPS DE DEMI-MONTEE PERCOL. (MOIS)	2.0000	0.10000	8.0000
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 1 (MOIS)	20.000	2.0000	72.000

Fig. 25 - Définition ou modification des bornes des paramètres physiques (uniquement pour le premier bassin).

3.3.11. Lecture des données / calcul

Le logiciel effectue la lecture des fichiers de données entrées. Le calcul commence alors, avec l'affichage du nombre d'itérations et du coefficient d'ajustement, au fur et à mesure des améliorations (fig. 26).

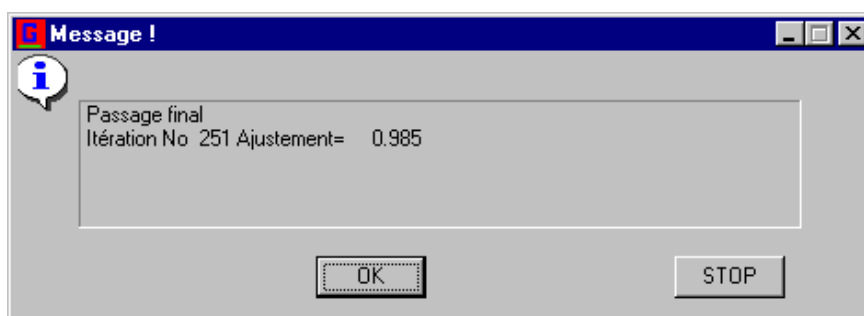


Fig. 26 - Affichage des itérations de calcul et du coefficient d'ajustement final.

3.3.12. Affichage graphique à l'écran

Possibilité de copier le dessin pour l'insérer dans un document (Word ou PowerPoint par exemple), possibilité également de sauvegarder le dessin dans un fichier graphique ([.bmp], [.pcx], etc.) (fig. 27).

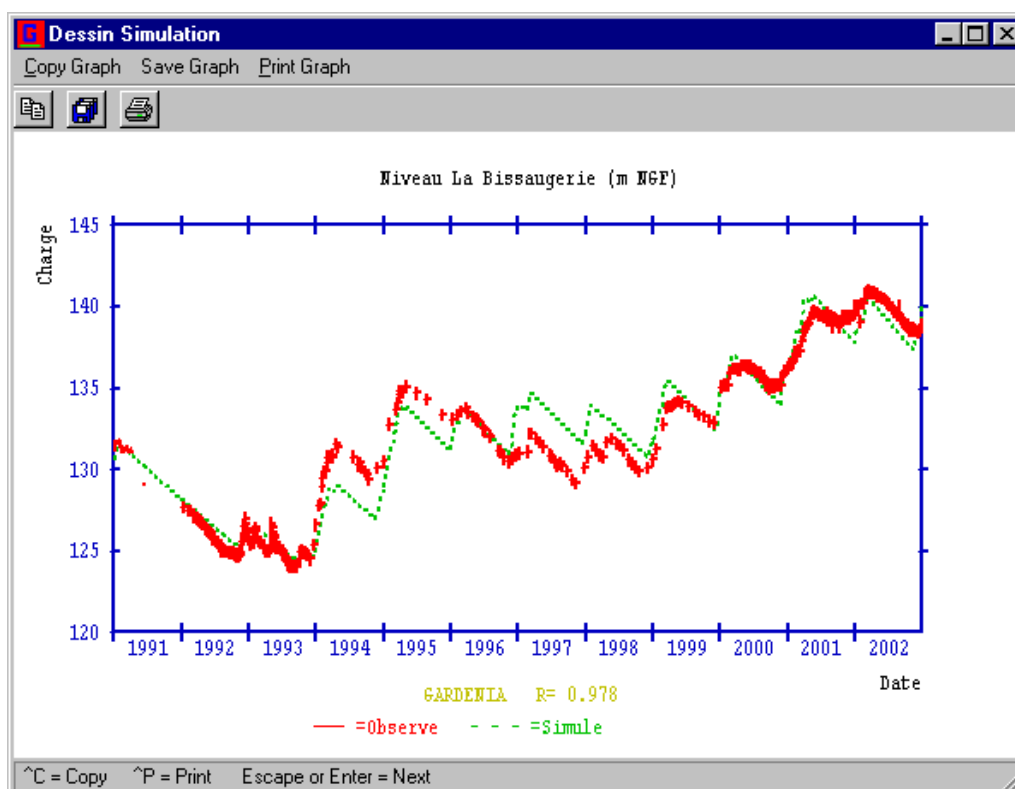


Fig. 27 - Comparaison graphique de la série observée (rouge) et de la série simulée (vert).

3.3.13. Édition sur fichiers des résultats

Les noms des différents fichiers créés lors de l'exécution de GARDÉNIA sont rappelés à l'écran.

Les fichiers créés ont des noms standards, ils sont donc « écrasés » à chaque exécution du logiciel dans le même dossier. Pour conserver ces fichiers, il est nécessaire de les renommer avant de relancer l'exécution de GARDÉNIA (fig. 28).

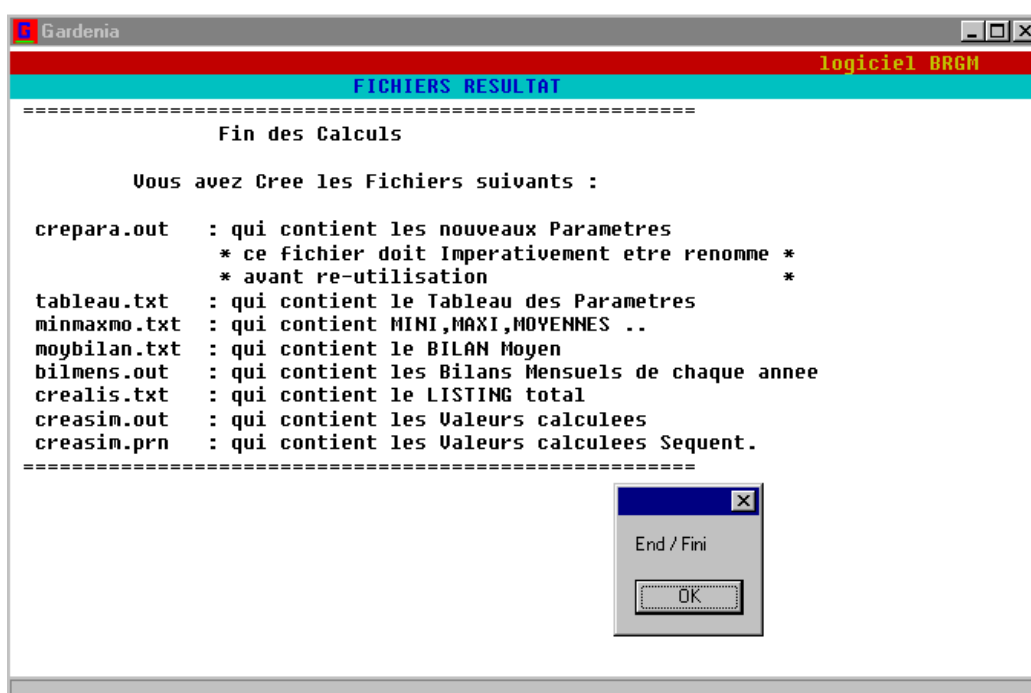


Fig. 28 - Fin des calculs : rappel des fichiers de résultats générés.

3.4. LES RÉSULTATS PRODUITS PAR LE MODÈLE

Le modèle GARDÉNIA calcule une série de débits ou de niveaux, à partir de données climatiques et d'un jeu de paramètres.

Après les calculs, on obtient les résultats suivants dans des fichiers textes :

- coefficient d'ajustement pondéré et non pondéré entre les débits (ou niveaux) calculés et les débits (ou niveaux) observés, s'ils existent, détails des calculs : **crealis.txt** ;
- bilan mensuel ou annuel de toutes les années avec pluie, ETP, ETR, écoulement rapide, écoulements lent et très lent, état des principaux réservoirs, etc. (édition sur option uniquement) ; le bilan est également édité sur le fichier **bilmens.out** qui peut être lu et dessiné par EXCEL ;

- dessin sur écran des séries de débits ou niveaux simulés, avec éventuellement (pour les calculs de débit) décomposition de l'écoulement en composantes rapide et composante lente ;
- édition sur fichier de la « pluie efficace » (**creapef.out**) ou de la « recharge calculée » (**crearech.out**) ; la « pluie efficace » comprend le ruissellement et l'infiltration ; la « recharge » est la composante alimentant le réservoir souterrain. Le fichier « recharge calculée » peut être utilisé comme entrée pour un modèle hydrodynamique par exemple ;
- édition sur fichier des débits (ou niveaux) calculés : **creasim.out** et **creasim.prn** ;
- édition sur fichier des valeurs finales des paramètres du modèle pour un complément de calage ou pour une extension de données : **crepara.out** ;
- édition sur fichier séparé d'un tableau récapitulatif des paramètres hydrologiques de tous les bassins étudiés simultanément ; pour une étude comparative : **tableau.txt** ; (également si prise en compte de la fonte de la neige, **tablneig.txt**) ;
- édition sur fichier séparé des valeurs minimales, maximales et moyennes simulées et calculées : **minmaxmo.txt** ;
- édition sur fichier séparé des bilans annuels moyens : **moybilan.txt**.

4. Mise en forme des données temporelles. Utilisation du logiciel « SHALIMAR »

Toutes les données hydroclimatiques doivent être au pas journalier, décadaire (10 jours) ou mensuel. Les données doivent être formatées selon un format spécifique ; pour faciliter l'introduction de ces données (et pour éviter des erreurs de format), il est recommandé d'utiliser le logiciel SHALIMAR (fig. 29).

À partir de la version 6.0, il est également possible d'utiliser un format libre ou un format exporté d'EXCEL avec dates.

4.1. DONNÉES FORMATÉES : LOGICIEL SHALIMAR

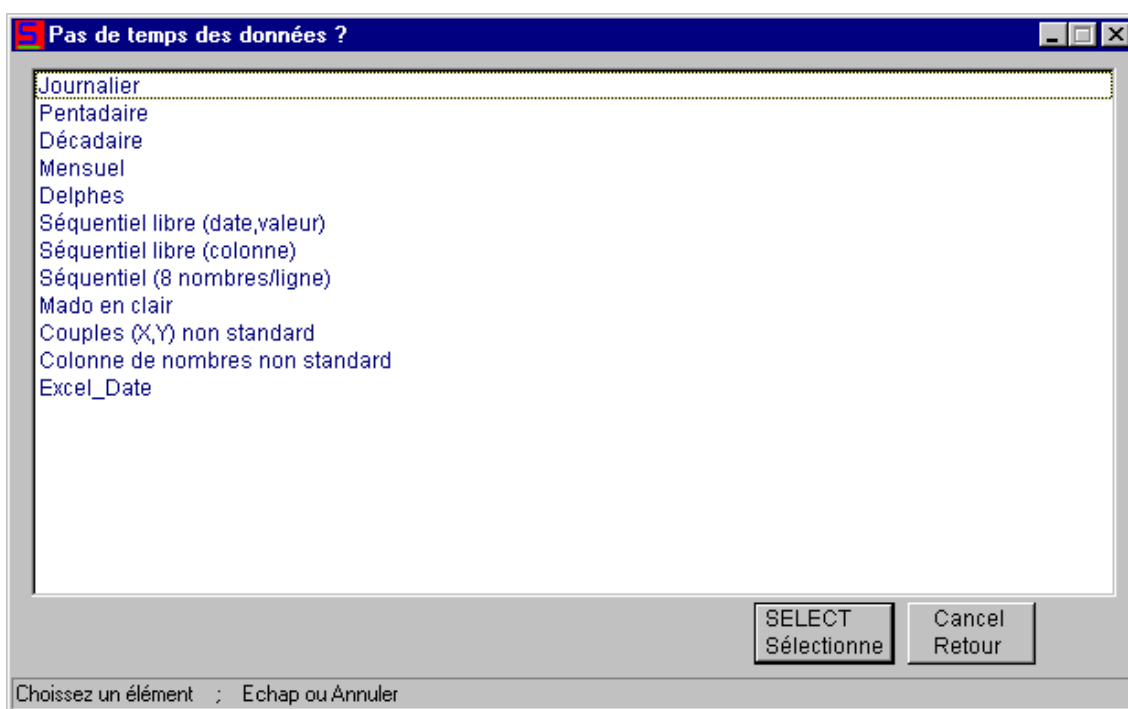


Fig. 29 - Logiciel SHALIMAR : définition du pas de temps d'une série lue.

4.1.1. Types de données

On distingue les valeurs qui sont nulles (valeur = 0) des valeurs correspondant à des observations absentes qui sont signalées par un code (fig. 30) :

- option 1 : -2 pour les débits (car les débits observés ne sont jamais négatifs) ;
- option 2 : 9999 pour les niveaux (c'est-à-dire une valeur très grande hors borne) ;

- option 3 : (0 pour les pluies..., car les séries de données climatiques ne doivent pas contenir de valeurs absentes).

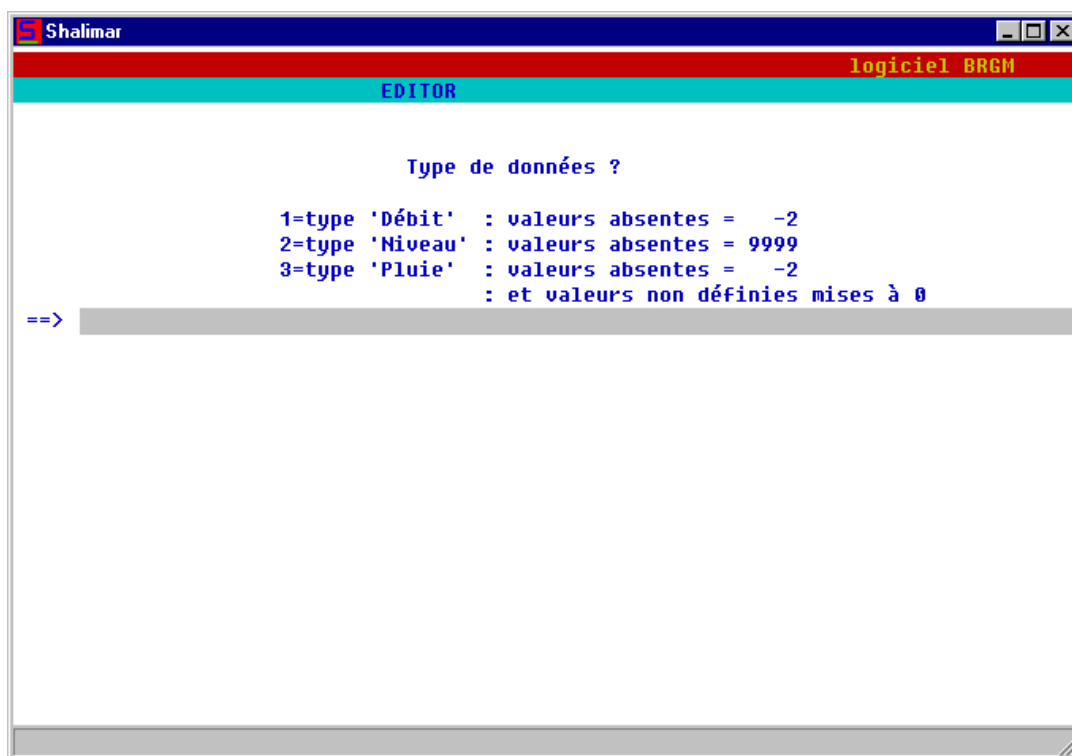


Fig. 30 - Logiciel SHALIMAR : définition du codage des valeurs manquantes.

Comme pour certains types de données, ces valeurs nulles peuvent être très fréquentes (c'est le cas de la pluie), la tâche de l'utilisateur est facilitée par le fait qu'il n'est pas obligé de rentrer la valeur 0 chaque fois que cela s'avèrerait nécessaire (fig. 31).

Pour l'option 3, SHALIMAR mettra automatiquement une valeur égale à 0 pour les pas de temps qui n'ont pas de valeur correspondante définie.

The screenshot shows a window titled 'Editeur de Séries de Données Temporelles' with a table of monthly insolation data. The table has columns for months (janv to dec) and years (1979 to 1984). The data is as follows:

	janv	fevr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	dec	Ann
1979	73	49	84	134	218	211	279	187	181	83	90	48	1979
1980	59	64	92	162	219	185	180	209	204	134	96	71	1980
1981	71	115	89	158	134	187	180	238	154	89	79	45	1981
1982	51	74	164	227	199	254	275	194	187	74	59	29	1982
1983	54	107	118	129	185	246	303	230	187	174	104	68	1983
1984	70	94	161	244	135	280	321	211	120	84	98	60	1984

Fig. 31 - Tableur du module SHALIMAR (ici données mensuelles).

4.1.2. Description du format des données temporelles formatées

Toutes les données temporelles (données hydroclimatiques) ont la même structure de « bloc de données ». Un bloc de données est composé :

a) pour les données décennales et mensuelles :

- d'une ligne titre (80 caractères) précisant le type de données, les unités, le lieu, la période, etc.,

- suivie par année de :

- 3 lignes de 12 valeurs pour 36 décades par an, si les données sont décennales,
- 1 ligne de 12 valeurs pour 12 mois par an, si les données sont mensuelles.

Chaque ligne contient 12 valeurs codées chacune sur 6 colonnes (caractères), soit 72 colonnes par lignes :

Exemples: 8 années décennales = 25 lignes

15 années mensuelles = 16 lignes

b) pour les données journalières :

- d'une ligne titre (80 caractères) par année,

- suivie de 31 lignes contenant chacune les 12 valeurs des 12 mois d'un jour donné,

- chaque valeur est codée sur 6 colonnes.

N.B.

1) Dans tous les cas, chaque année doit être complète, c'est-à-dire comporter 365 ou 366 jours, ou 36 décades, ou 12 mois. Il convient de remarquer que les pas de temps décennales et mensuels introduisent un biais, puisque les décades et les mois ont des durées différentes au cours de l'année.

2) Les données décennales se présentent :

- soit sous forme « séquentielle », c'est-à-dire qu'apparaissent successivement sur la même ligne les 3 décades d'un même mois : la première ligne comprend donc les mois de janvier à avril, la deuxième de mai à août et la troisième de septembre à décembre ;
- soit sous forme « annuaire », la première ligne contient la 1^{re} décade des 12 mois, la deuxième ligne les 2^{es} décades des 12 mois, la troisième ligne les 3^{es} décades.

4.2. DONNÉES EN FORMAT LIBRE OU « EXCEL_DATE »

4.2.1. Données temporelles en « format libre »

Le format libre peut être donné sous deux formes :

- format libre en colonne (conseillé) :

exemple de données mensuelles en format libre en colonne :

```
Pluviométrie Mensuelle à : La Neuwilleroy 2005-2007
53.0000000
39.0000000
64.0000000
9.0000000
54.0000000
etc.
```

- format libre quelconque (déconseillé) :
il peut y avoir plusieurs valeurs par ligne, à condition qu'elles soient séparées par un (ou plusieurs) espaces.

Exemple de données mensuelles en format libre quelconque :

```
Pluviométrie Mensuelle à : La Neuvilleroy 2005-2007
 53 39      64
 9  54     49 79      33  32
120      73 52
84 52 4   59
etc.
```

Les données étant lues année par année, il conviendra, si on utilise ce format libre quelconque, de toujours commencer une année sur une nouvelle ligne.

4.2.2. Données temporelles en format « Excel_Date »

Selon ce format, il y a un couple « date valeur » par ligne.

La date **n'est pas lue**, mais doit avoir à une forme « compatible » Excel, c'est-à-dire avec les jour, mois et année séparés par un « / » et l'heure éventuelle sous la forme hh:mm. Seul ce format « numérique » de date est reconnu, à l'exclusion de types genre « 13 mars 2007 ».

La valeur est séparée de la date par au moins un espace.

Des données sous cette forme peuvent être obtenues par *exportation* d'un fichier Excel [*.xls] en format « texte séparateur espace [*.prn] ». (un fichier binaire *.xls ne peut pas être lu directement).

Il convient de noter également que :

- la première ligne du fichier doit être un titre descriptif ;
- le séparateur décimal des valeurs doit bien évidemment être un « point décimal » et non pas une virgule.

Exemple de données « mensuelles » en format « Excel_Date » :

```
Evapotranspiration Potentielle "mensuelle" 2005/2007
15/01/2005      9.00000
14/02/2005    14:37  13.00000
16/03/2005    18:40  35.00000
15/04/2005      72.00000
14/05/2005    103.00000
etc.
```

Exemple de données journalières en format « Excel_Date » :

```
Pluie journalière : Station 1 2005/2007
01/01/2005      17.10000
02/01/2005       0.00000
03/01/2005       4.70000
04/01/2005       0.30000
05/01/2005     13.30000
etc.
```

Remarques complémentaires pour le « format libre » ou le format « Excel_Date » :

- dans tous les cas, le fichier commence par un titre descriptif ;
- il doit avoir le nombre de données nécessaire et suffisant correspondant au pas de temps (puisque les dates ne sont pas lues). Les éventuelles valeurs manquantes seront remplacées une « valeur manquante » ;
- chaque année, y compris la dernière, doit être complète ;
- en format journalier, il y a bien entendu 365 ou 366 valeurs par an ;
- les années ne sont pas séparées les unes des autres par des titres au autre ;
- dans tous les cas, les données sont séquentielles c'est-à-dire chaque année va du jour 1 au jour 365, ou bien de la décade 1 à la décade 36, etc.

5. Exemple d'utilisation de GARDÉNIA. Le bassin des Ondes

5.1. LE BASSIN DES ONDES (D'APRÈS LA THÈSE DE F. PERNEL - 1990).

La période de calcul commune aux différentes données correspond à la période 1964-1968.

- a) Précipitations : ce sont des relevés décennaux de la Météorologie nationale à la station d'Huparlac, commune située sur la bordure sud du bassin versant. Les données de 1963 ont été recueillies en outre pour initialiser le modèle (fichier onde.plu).
- b) Évapotranspiration : l'ETP est décennale, calculée de 1963 à 1968 par la méthode de Turc (1961), à partir des données climatiques de la station de Millau (fichier onde.etp).
- c) Débits : les débits de 1964 à 1968 sont extraits de l'annuaire de l'Agence de Bassin Adour-Garonne pour constituer des fichiers décennaux (fichier onde.deb).

• Les paramètres imposés du modèle

Afin d'obtenir un calage rapide et convenable de GARDÉNIA, il convient d'une part d'initialiser les paramètres du modèle avec des valeurs plausibles, d'autre part de diminuer le nombre de ceux qui doivent être optimisés automatiquement.

Pour le cas étudié, les paramètres fixés sont la superficie, qui est de 36 km², et les corrections de pluie et d'ETP fixées à 0.

• Critique des bilans calculés

La simulation a été effectuée sans correction de la pluie et de l'ETP (possibilité de modification par un coefficient si les données climatiques sont imprécises).

Le meilleur ajustement (fig. 32 ci-après, coefficient de corrélation = 0,914, coefficient de Nash = « efficiency » = 0,785) a été obtenu avec les paramètres de calculs suivants :

- RUMAX : 88 mm ;
- RUIPER : 37 mm ;
- THG : 1,68 mois ;
- TG1 : 1,56 mois.

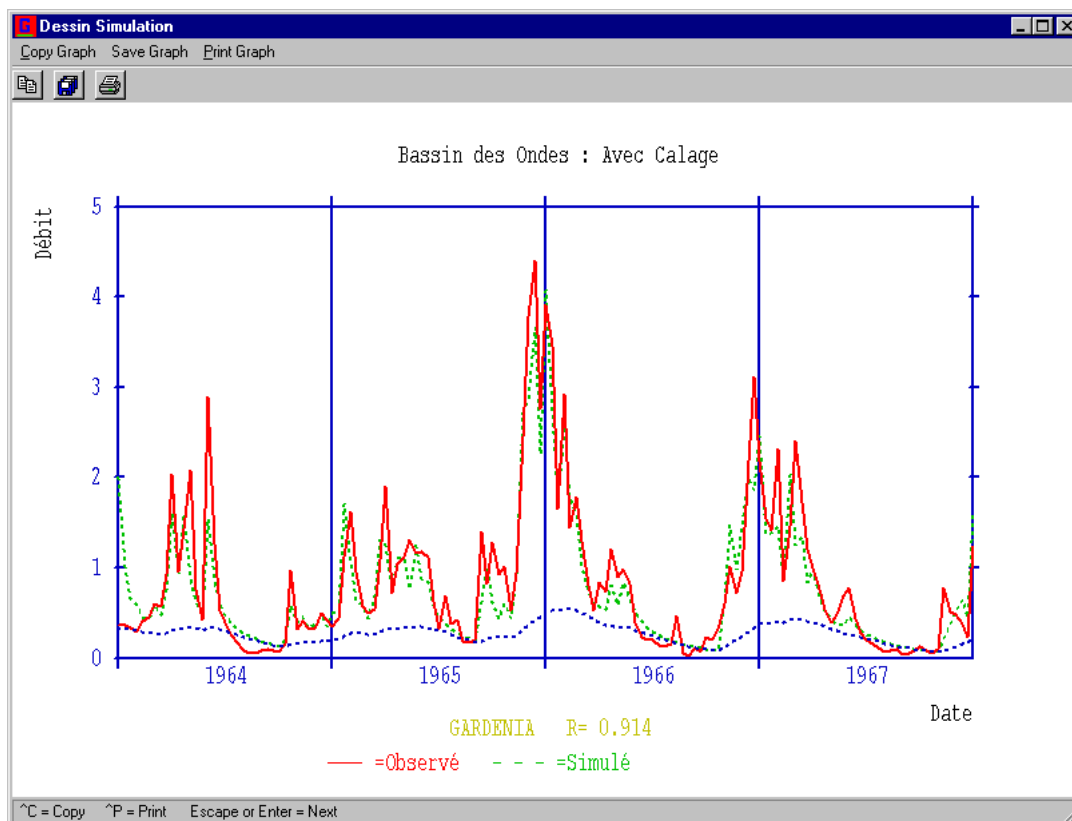


Fig. 32 - Bassin des Ondes : comparaison des débits observés et simulés (coefficient de corrélation égal à 0,914)

En terme global, le temps de demi-tarissement de la composante lente du débit est assez rapide (1,5 mois). La proportion moyenne d'écoulement rapide estimée après calage représente 33 % des précipitations. La lame de recharge moyenne est évaluée à 229 mm, soit 17,5 % des précipitations ce qui est plausible compte tenu des conditions morphologiques du bassin. Il faut cependant, comme on l'a expliqué plus haut, être extrêmement prudent quant à l'interprétation des deux composantes de l'écoulement (écoulement rapide et écoulement lent). L'écoulement lent est ... plus lent que l'écoulement rapide, mais il n'y a pas de certitude qu'il s'agisse d'écoulement souterrain.

Fichiers utilisés :	en entrée :	en sortie :
	• Onde.gar	• crepara.out
	• Onde.plu	• tableau.txt
	• Onde.etp	• minmaxmo.txt
	• Onde.deb	• moybilan.txt

```

Bassin des Ondes          ← Titre du projet
PRISE EN COMPTE NEIGE (2 POUR GENERER) : 0
//////////////////////////////////////: N
Q SOUT. LENT :0=NORMAL 1=PERT -1=UNIQUE : 0 [Pre-Options]
REPRISE PAR EVAPOTRANSPIRATION (0 à 3) : 0
ANALYSE SENSIBILITE N=Non O=Oui unique: 0
EXAMEN DES PARAMETRES APRES LECTURE : Y

NOMBRE DE BASSINS A SIMULER          2 ← 2 bassins simulés
Type de calcul : 0=Débits , 1=Niveaux : 0
Série de Débit ou Niveaux Observés : 1
Edition : 1=Pluies Efficaces 2=Rech. : 0
Edition Débit/Niv simulés : 0=Non 1=Oui: 0
Edition du Bilan : 0=Non 1=Ann 2=Men : 0
Analyse des pluies efficaces : 0 [Options Générales]
Analyse des valeurs calculees : 0
Allègement du Listing(1=Alle.2=Supprim): 0
Schéma GR4 (0=Non 1=Oui) : 0
//////////////////////////////////////: 0
Dessin Série Simulée 1=Oui ; 2=Détails : 2
//////////////////////////////////////: 1
Intensité de Pondération (1 ou 2...) : 2

***** FICHIER PLUIE *****
PAS DE TEMPS DES DONNEES
0=JOURN. 1=PENTA. 2=DECA. 3=MENS. : 2
Type de Format de Lecture
0=GARD_Seq 1=GARD_Annu 2=Libr 3=EXCEL: 0
***** FICHIER TEMPERATURE*****
PAS DE TEMPS DES DONNEES
0=JOURN. 1=PENTA. 2=DECA. 3=MENS. : 0
Type de Format de Lecture
0=GARD_Seq 1=GARD_Annu 2=Libr 3=EXCEL: 1
***** FICHIER ETP ***** [Définition des pas de Temps]
PAS DE TEMPS DES DONNEES
0=JOURN. 1=PENTA. 2=DECA. 3=MENS. : 2
Type de Format de Lecture
0=GARD_Seq 1=GARD_Annu 2=Libr 3=EXCEL: 0
***** FICHIER OBSERVAT. *****
PAS DE TEMPS DES DONNEES
0=JOURN. 1=PENTA. 2=DECA. 3=MENS. : 2
Type de Format de Lecture
0=GARD_Seq 1=GARD_Annu 2=Libr 3=EXCEL: 0

*****
*****
Bassin des Ondes : Avant Calage          ← Nom du bassin
VALEUR MAXIMALE OBSERVATIONS : 5.
VALEUR MINIMALE OBSERVATIONS : 0.
LARGEUR DU DESSIN (CM) : 16.
HAUTEUR DU DESSIN (CM) : 10.
*****
NOMBRE D'ANNEES DES SERIES DE DONNEES : 5
NOMBRE ANNEES DEMARRAGE <0 POUR GENER : 1
DATE DE LA PREMIERE ANNEE DES DONNEES : 1963
//////////////////////////////////////: 0 [Paramètres généraux]
//////////////////////////////////////: 0
DEMARRAGE :0=EQUI OU PEF ;1=NIV OU DEB : 0
NOMBRE MAXIMUM DES ITERATIONS : 0 ← 0 itérations (pas de calage)
DUREE DES PLUIES EN MOY. PAR PAS (%) : 0
NB RESER. SOUT. (1 OU 2) 3=DBLE + SEUIL: 1
OPTION =1 SI ETP MOYENNE CHAQUE ANNEE: 0

COEF. DE CORRECTION DES PLUIES (%) : 0.0 OPTIMISATION DU PARA0
CAPACITE DE LA RESERVE SUPERF. (MM) : 15.0 OPTIMISATION DU PARA1
COEF. DE CORRECTION DE L'ETP (%) : 0.0 OPTIMISATION DU PARA0
HAUTEUR DE REPARTITION RUIS-PERCOL (MM) : 100.0 OPTIMISATION DU PARA1
TEMPS DE DEMI-MONTEE PERCOL. (MOIS) : 0.2 OPTIMISATION DU PARA1 [Paramètres
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 1 (MOIS) : 6.0 OPTIMISATION DU PARA1 physiques]
TEMPS DE DEMI-MONTEE SOUT 1--> 2 (MOIS) : 0.0 OPTIMISATION DU PARA0
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 2 (MOIS) : 0.0 OPTIMISATION DU PARA0
HAUTEUR DE REDUCTION REPRISE ETP (MM) : 9999. OPTIMISATION DU PARA0
DEBIT EXTERIEUR (M3/S) : 0.0 OPTIMISATION DU PARA0
SURFACE DU BASSIN VERSANT (KM2) : 36. OPTIMISATION DU PARA0
VAL. DEMARRAGE P.EFF ANNUELLE/NIV/DEB : 760.0

```

Fig. 33 - Fichier des paramètres : fichier onde.gar (début).


```

COEF. DE CORRECTION DES PLUIES      (%): INF=  -15.    SUP=  15.
CAPACITE DE LA RESERVE SUPERF.      (MM): INF=   0.    SUP= 999.
COEF. DE CORRECTION DE L'ETP        (%): INF= -15.    SUP=  15.
HAUTEUR DE REPARTITION RUIS-PERCOL  (MM): INF=  0.001  SUP= 9999.
TEMPS DE DEMI-MONTEE PERCOL.        (MOIS): INF=  0.1    SUP=  2.5  [Bornes
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 1    (MOIS): INF=  1.5    SUP=  15.  des
TEMPS DE DEMI-MONTEE SOUT 1--> 2    (MOIS): INF=  0.    SUP=  50.  Paramètres]
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 2    (MOIS): INF=  0.    SUP=  50.
HAUTEUR DE REDUCTION REPRIS ETP     (MM): INF=  0.    SUP= 9999.

*****
*****
Bassin des Ondes : Avec Calage                ← 2 ème bassin
VALEUR MAXIMALE OBSERVATIONS              : 5.
VALEUR MINIMALE OBSERVATIONS              : 0.
LARGEUR DU DESSIN (CM)                   : 16.
HAUTEUR DU DESSIN (CM)                   : 10.
*****
NOMBRE D'ANNEES DES SERIES DE DONNEES    : -5 ← Utilisation des mêmes données climat.
NOMBRE ANNEES DEMARRAGE <0 POUR GENER    : 1
DATE DE LA PREMIERE ANNEE DES DONNEES    : 1963
////////////////////////////////////////// : 0
////////////////////////////////////////// : 0
DEMARRAGE :0=EQUI OU PEF ;1=NIV OU DEB    : 0 ← Démarrage en équil. av. Pluie Effic.
NOMBRE MAXIMUM DES ITERATIONS             : 100 ← 100 itérations pour calage des param.
DUREE DES PLUIES EN MOY. PAR PAS (%)     : 0
NB RESER. SOUT. (1 OU 2) 3=DBLE + SEUIL  : 1
OPTION =1 SI ETP MOYENNE CHAQUE ANNEE    : 0
COEF. DE CORRECTION DES PLUIES           (%): 0.0    OPTIMISATION DU PARA0
CAPACITE DE LA RESERVE SUPERF.           (MM): 15.0   OPTIMISATION DU PARA1
COEF. DE CORRECTION DE L'ETP             (%): 0.0    OPTIMISATION DU PARA0
HAUTEUR DE REPARTITION RUIS-PERCOL      (MM): 100.0  OPTIMISATION DU PARA1
TEMPS DE DEMI-MONTEE PERCOL.             (MOIS): 0.2   OPTIMISATION DU PARA1
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 1        (MOIS): 6.0   OPTIMISATION DU PARA1
TEMPS DE DEMI-MONTEE SOUT 1--> 2        (MOIS): 0.0   OPTIMISATION DU PARA0
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 2        (MOIS): 0.0   OPTIMISATION DU PARA0
HAUTEUR DE REDUCTION REPRIS ETP         (MM): 9999.  OPTIMISATION DU PARA0
DEBIT EXTERIEUR                         (M3/S): 0.0   OPTIMISATION DU PARA0
SURFACE DU BASSIN VERSANT                 (KM2): 36.   OPTIMISATION DU PARA0
VAL. DEMARRAGE P.EFF ANNUELLE/NIV/DEB    : 760.0 ← Démarr. Pl. Effic. = 760 mm/an
*****
*****

```

Fig. 34 - Fichier des paramètres : fichier onde.gar (suite).

Fichier des pluies : onde.plu

PLUIE DECADEIRE A HUPARLAC										1963/1967		UNITE= MM	
21.8	37.7	38.9	11.6	42.1	23.8	26.8	37.7	48.5	24.6	46	25.1	1963	1
38.5	50.6	62.6	24.3	17.5	21.3	33.8	20.9	9.3	24.5	22	30.9	1963	2
28	24.9	48.7	47.9	44.5	31.7	65.4	45.5	48	55.1	29.3	75.4	1963	3
0	0.9	19	2.7	23.5	35	17	48	77	14.7	79.4	25.3	1964	1
7.7	3	190.1	32.2	6.2	32.1	4.8	0	2.6	2.8	41.9	20.1	1964	2
51.4	26.3	3.6	124.4	56.5	7.2	29.8	8.2	17.6	21.7	1.2	25.2	1964	3
16.2	87.5	16	0	13.5	2.9	31.9	66.8	58.3	15.2	60.6	42.8	1965	1
35.7	85.1	39.6	42.9	13.7	0.9	76.3	39.8	25.2	10.3	24.3	41	1965	2
154.9	70	14.6	0.4	64.4	5.5	65.6	119.6	82.4	112.1	43.8	135	1965	3
57.1	23.3	87.6	36.6	39.3	12.4	3.5	3.8	45.6	32.7	56.6	14.9	1966	1
63.6	30.3	6.5	2.1	45.2	2.4	38.5	49	3.9	16.4	1.5	72.8	1966	2
7	17.6	40.2	49.5	58.3	74.6	74.2	17	57	68	51	81	1966	3
12	37	46	0	95.4	21.5	46.9	14.6	46.9	18.3	0.9	7.2	1967	1
37.7	65.7	54.8	22.3	3.3	38.6	21.5	4.6	1.8	68.7	14.6	0.4	1967	2
24.5	33.7	33.8	15.5	2.1	47.8	90.9	34.3	30	24.7	2.7	85.8	1967	3

Fichier des ETP : onde.etp

ETP DECADEIRE A MILLAU										1963/1967		UNITE=MM	
5.3	0.3	0	0	5.3	0	15.3	15.1	12.3	12.3	21.6	22.9	1963	1
34.5	30.2	38	30.8	38	40.8	46.1	41.5	50.1	30.3	29.1	37.8	1963	2
21.3	16	27.6	18	21.1	18.9	12.3	6.5	10.6	8.8	0	3.3	1963	3
2.8	5.8	1.3	8.9	8.4	10.8	13.5	14.5	6.5	10.3	18.2	29.1	1964	1
34.5	46.9	32.2	42.4	41	45.3	46.3	54.3	56.2	39.8	37.1	43.2	1964	2
28.1	27.4	25.9	18.3	12	12.7	8.6	9.3	4.2	3.6	3.5	0.2	1964	3
0	2.4	5.2	3.1	0	2.9	0	9.4	26.7	20.2	13.5	15.2	1965	1
30.6	36.3	31.7	23.8	50.4	50.5	42.8	42.7	42.8	45.7	40.6	36.5	1965	2
16.8	27.1	19.1	22.1	13.8	13.3	9.8	5.3	3.3	4	6.1	2.8	1965	3
4.8	0	6.9	9.7	6.3	10.2	12.2	14.6	16	23.1	21.9	17.6	1966	1
27.5	23.9	50.6	39.5	44.3	44.4	47.8	33.9	43.6	39.7	36.4	32.3	1966	2
40.9	32.1	25.4	17.3	13.5	10.6	6	2.8	2.3	2.3	3	4	1966	3
0	1.9	7.5	6.5	2.8	10.9	10.9	16.1	15.8	17.5	29	21.8	1967	1
26.2	26.2	36.1	35	34.9	47.8	47.7	52.8	56.9	34.3	41.5	46.2	1967	2
29.7	19.4	23.3	22.8	19.2	13.5	6.7	10.6	8.1	0	0	2.3	1967	3

Fichier des débits : onde.plu (2 séries)

DEBITS MOYENS DECADEIRES , LES ONDES										1963/1967		UNITE=M3/S	
1.448	0.884	0.464	0.369	1.484	0.75	1.752	2.822	2.504	2.041	2.04	1.477	1963	1
0.72	0.444	0.599	1.671	1.066	0.877	0.517	0.433	0.173	0.256	0.739	0.465	1963	2
0.369	0.803	0.934	0.64	0.47	0.536	1.011	1.415	1.229	0.877	0.561	0.36	1963	3
0.368	0.34	0.283	0.409	0.448	0.594	0.563	0.93	2.035	0.96	1.43	2.072	1964	1
0.76	0.415	2.89	1.267	0.524	0.395	0.246	0.163	0.074	0.053	0.059	0.077	1964	2
0.098	0.083	0.066	0.156	0.974	0.312	0.414	0.322	0.324	0.489	0.422	0.347	1964	3
0.438	1.119	1.614	0.947	0.564	0.5	0.543	1.089	1.894	0.718	1.041	1.114	1965	1
1.312	1.159	1.18	1.116	0.632	0.318	0.688	0.377	0.425	0.181	0.177	0.202	1965	2
1.394	0.816	1.281	0.921	1.02	0.523	0.932	2.448	3.775	4.395	2.752	3.909	1965	3
3.451	1.647	2.918	1.443	1.779	1.301	0.801	0.524	0.841	0.737	1.213	0.9	1966	1
0.98	0.826	0.393	0.228	0.203	0.194	0.14	0.13	0.15	0.461	0.053	0.023	1966	2
0.112	0.066	0.23	0.196	0.313	0.605	1.017	0.714	0.959	2.186	3.118	2.182	1966	3
1.552	1.408	2.32	0.853	1.462	2.409	1.722	1.201	1.004	0.765	0.533	0.392	1967	1
0.477	0.688	0.78	0.431	0.272	0.201	0.155	0.115	0.06	0.082	0.089	0.04	1967	2
0.048	0.082	0.121	0.074	0.053	0.089	0.774	0.511	0.474	0.378	0.223	1.232	1967	3
DEBITS MOYENS DECADEIRES , LES ONDES										1963/1967		UNITE=M3/S	
1.448	0.884	0.464	0.369	1.484	0.75	1.752	2.822	2.504	2.041	2.04	1.477	1963	1
0.72	0.444	0.599	1.671	1.066	0.877	0.517	0.433	0.173	0.256	0.739	0.465	1963	2
0.369	0.803	0.934	0.64	0.47	0.536	1.011	1.415	1.229	0.877	0.561	0.36	1963	3
0.368	0.34	0.283	0.409	0.448	0.594	0.563	0.93	2.035	0.96	1.43	2.072	1964	1
0.76	0.415	2.89	1.267	0.524	0.395	0.246	0.163	0.074	0.053	0.059	0.077	1964	2
0.098	0.083	0.066	0.156	0.974	0.312	0.414	0.322	0.324	0.489	0.422	0.347	1964	3
0.438	1.119	1.614	0.947	0.564	0.5	0.543	1.089	1.894	0.718	1.041	1.114	1965	1
1.312	1.159	1.18	1.116	0.632	0.318	0.688	0.377	0.425	0.181	0.177	0.202	1965	2
1.394	0.816	1.281	0.921	1.02	0.523	0.932	2.448	3.775	4.395	2.752	3.909	1965	3
3.451	1.647	2.918	1.443	1.779	1.301	0.801	0.524	0.841	0.737	1.213	0.9	1966	1
0.98	0.826	0.393	0.228	0.203	0.194	0.14	0.13	0.15	0.461	0.053	0.023	1966	2
0.112	0.066	0.23	0.196	0.313	0.605	1.017	0.714	0.959	2.186	3.118	2.182	1966	3
1.552	1.408	2.32	0.853	1.462	2.409	1.722	1.201	1.004	0.765	0.533	0.392	1967	1
0.477	0.688	0.78	0.431	0.272	0.201	0.155	0.115	0.06	0.082	0.089	0.04	1967	2
0.048	0.082	0.121	0.074	0.053	0.089	0.774	0.511	0.474	0.378	0.223	1.232	1967	3

Fig. 35 - Fichiers de séries hydrologiques.

Fichier récapitulatif de l'ajustement : **tableau.txt** (avant et après calage)

Fichier Projet utilisé : D:\gardenia6_0\Exemples\Onde.rga
 Bassin des Ondes

NO*	SURF	*DEB	EX*R	PON*R	NAT*C	PLU*D	MAX*C	ETP*	RUIP*	TPER*	TAR1*	TPER2*	TAR2
* KM2	* M3/S	*	*	*	%	* MM	* %	* MM	*MOIS	MOIS*	MOIS*	MOIS	MOIS
1	36	0	-.165	0.757	0	15	0	100	0.2	6	0	0	0
2	36	0	0.886	0.914	0	87.72	0	37.45	1.68	1.558	0	0	0

Fichier récapitulatif : **minmaxmo.txt** (avant et après calage)

Fichier Projet utilisé : D:\gardenia6_0\Exemples\Onde.rga
 Bassin des Ondes

NO	MIN	OBS	MIN	SIM	MAX	OBS	MAX	SIM	MOY	OBS	MOY	SIM	SIG	OBS	SIG	SIM	NB	OBS
1	2.3-2	0.4727	4.395	3.1024	0.8401	0.9016	0.8493	0.4729	144									
2	2.3-2	6.08-2	4.395	4.0688	0.8401	0.7585	0.8493	0.7115	144									

Fichier du bilan moyen : **moybilan.txt** (avant et après calage)

Fichier Projet utilisé : D:\gardenia6_0\Exemples\Onde.rga
 Bassin des Ondes

NO	PLUIE	ETR	REPRI	PLF	QRAP	Q	SOUT1	Q	SOUT2	DIF
STO										
1	1305	526.9	0	778.4	207.3	583.1	0	-12.02		
2	1305	645.7	0	659.7	432.6	232.3	0	-5.245		

Fig. 36 - Fichiers de contrôle de l'ajustement et du bilan.

```

Bassin des Ondes
PRISE EN COMPTE NEIGE (2 POUR GENERER) : 0
/////////////////////////////////////: N
Q SOUT. LENT :0=NORMAL 1=PERT -1=UNIQUE : 0
. . . . .
      etc.
. . . . .

*****
*****
Bassin des Ondes : Avec Calage
VALEUR   MAXIMALE OBSERVATIONS      :    5.00000
VALEUR   MINIMALE OBSERVATIONS      :    0.00000
LARGEUR  DU DESSIN (CM)             :   16.00000
HAUTEUR  DU DESSIN (CM)             :   10.00000
*****
NOMBRE D'ANNEES DES SERIES DE DONNEES :   -5
NOMBRE ANNEES DEMARRAGE <0 POUR GENER :    1
DATE DE LA PREMIERE ANNEE DES DONNEES : 1963
/////////////////////////////////////:    0
/////////////////////////////////////:    0
DEMARRAGE :0=EQUI OU PEF ;1=NIV OU DEB :    0
NOMBRE MAXIMUM DES ITERATIONS         :    60
DUREE DES PLUIES EN MOY. PAR PAS (%)  :   100
NB RESER. SOUT. (1 OU 2) 3=DBLE + SEUIL:    1
OPTION  =1 SI ETP MOYENNE CHAQUE ANNEE:    0
COEF. DE CORRECTION DES PLUIES        (%) :    0.00000 OPTIMISATION DU PARA0
CAPACITE DE LA RESERVE SUPERF.        (MM): 87.71903 OPTIMISATION DU PARA1
COEF. DE CORRECTION DE L'ETP          (%) :    0.00000 OPTIMISATION DU PARA0
HAUTEUR DE REPARTITION RUIS-PERCOL (MM): 37.45467 OPTIMISATION DU PARA1
TEMPS DE DEMI-MONTEE PERCOL.          (MOIS): 1.67592 OPTIMISATION DU PARA1
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 1 (MOIS): 1.55795 OPTIMISATION DU PARA1
TEMPS DE DEMI-MONTEE SOUT 1--> 2 (MOIS):    0.00000 OPTIMISATION DU PARA0
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 2 (MOIS):    0.00000 OPTIMISATION DU PARA0
HAUTEUR DE REDUCTION REPRISE ETP      (MM):9999.00000 OPTIMISATION DU PARA0
DEBIT EXTERIEUR                       (M3/S):    0.00000 OPTIMISATION DU PARA0
SURFACE DU BASSIN VERSANT              (KM2): 3.600E+01 OPTIMISATION DU PARA0
VAL. DEMARRAGE P.EFF ANNUELLE/NIV/DEB : 760.00000
*****
*****

```

Les paramètres optimisés sont en caractères gras.

Fig. 37 - Fichier des paramètres en fin de calcul : crepara.out (extraits).

6. Calcul des ETP par la formule de TURC. Utilisation du logiciel ETPTURC

Module **Etpturc.exe** version 3.5.

Ce module de calcul permet le calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle par la forme de Turc (1961) :

$$ETP = 0.40 \frac{t}{t + 15} (Rg + 50). C$$

avec
$$Rg = Iga \cdot \left(0.18 + 0.62 \frac{h}{H} \right)$$

ETP = Évapotranspiration potentielle mensuelle en mm/mois,

t = Température moyenne mensuelle de l'air sous abri en C°,

Rg = Radiation solaire globale,

h = Durée d'insolation en heures par jour (ou par mois),

H = Durée astronomique en heures par jour (ou par mois). H est donné par des tables en fonction du mois et de la latitude,

Iga = Radiation solaire directe moyenne sous abri en cal.cm⁻²j⁻¹ (ou radiation atmosphérique). Iga est donné par des tables en fonction du mois et de la latitude,

C = Coefficient correcteur,

$$C = 1 \quad \text{si } hr > 50 \%$$

$$C = 1 + \frac{50 - hr}{70} \quad \text{si } hr < 50 \%$$

hr = Humidité relative moyenne mensuelle (%).

DÉROULEMENT DES CALCULS (Version 3.5)

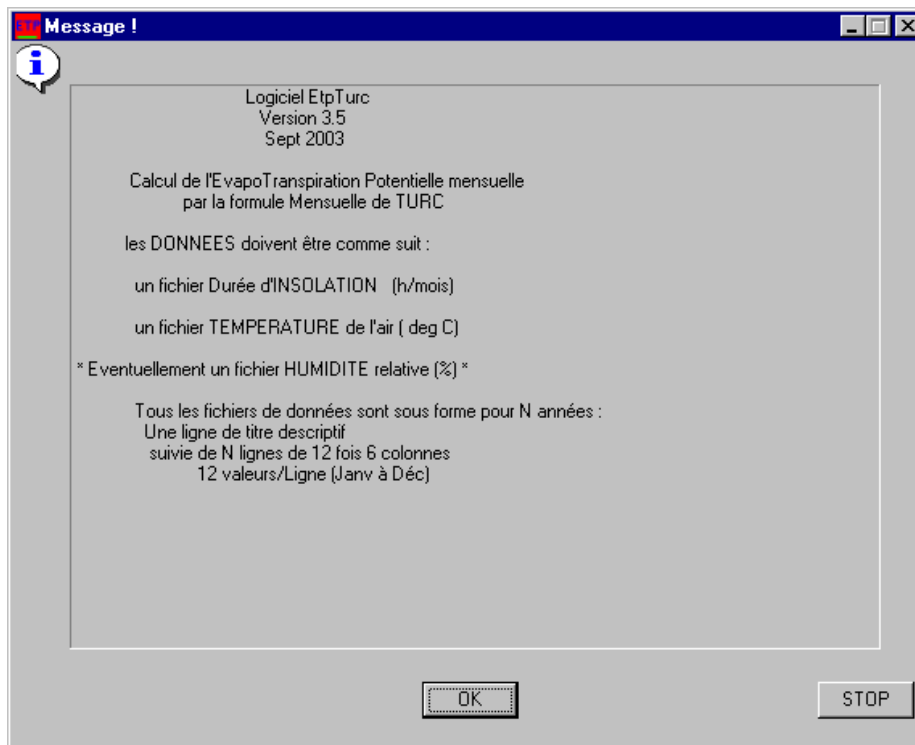


Fig. 38 - Logiciel ETPTURC : écran d'accueil.

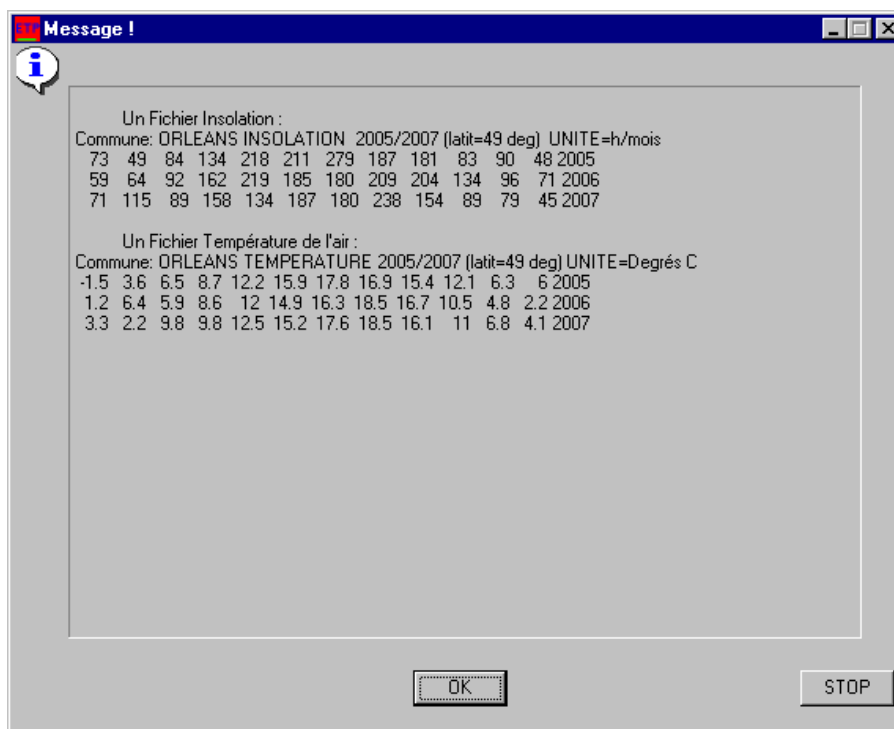


Fig. 39 - Logiciel ETPTURC : présentation d'un exemple d'application simple.

Présentation d'un exemple d'application simple avec :

- un fichier d'insolation (en heures par mois) ;
- un fichier de température moyenne mensuelle (en °C).
La température « moyenne » est généralement prise comme la demi-somme de la température minimale et de la température maximale.

L'utilisateur doit préciser :

- le nom de la station ;
- la latitude et l'hémisphère ;
- la présence de données d'humidité relative (données nécessaires uniquement si l'humidité relative est inférieure à 50 % certains mois) ;
- le nombre d'années de données mensuelles ;
- le numéro de la première année.

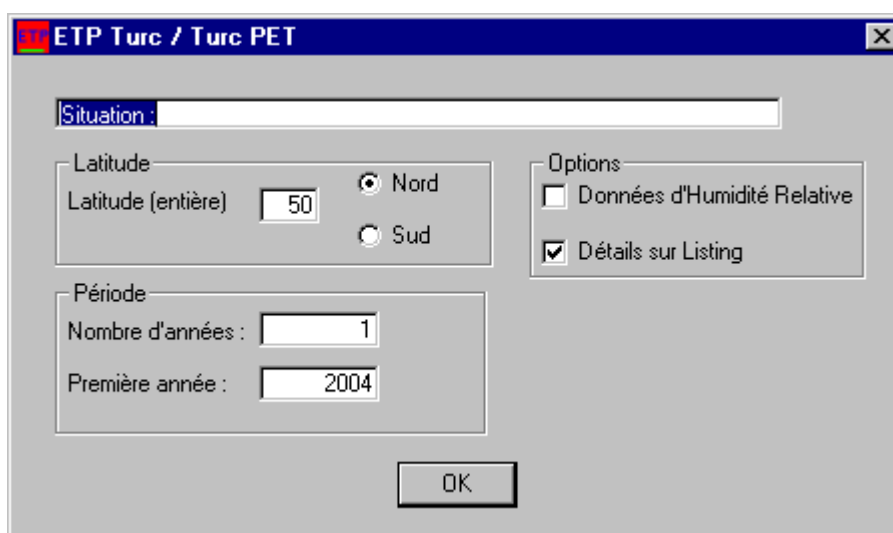


Fig. 40 - Logiciel ETPTURC : définition de la localisation et de la période de calcul.

L'utilisateur donne alors, par des boîtes de dialogues classiques, les noms des fichiers de données de température et d'insolation, éventuellement des données d'humidité relative.

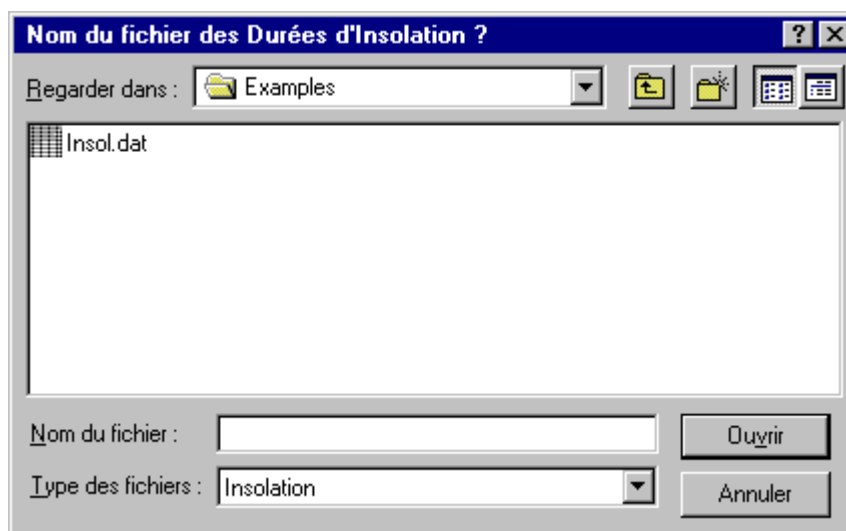


Fig. 41 - Logiciel ETPTURC : définition des fichiers de données (durée d'insolation, température moyenne et humidité relative).

Les ETP mensuelles calculées sont éditées dans le fichier de nom **etp.dat**. Elles sont exprimées en mm / mois. Si des « détails sur listing » ont été demandés, le détail des calculs figure en clair dans le fichier de nom **etpturc.txt**.

Exemple de fichier d'Insolation mensuelle (heures par mois)

Commune:	Localité	INSOLATION 2005/2007 (latit=49 deg)									UNITE=h/mois		
73	49	84	134	218	211	279	187	181	83	90	48	2005	
59	64	92	162	219	185	180	209	204	134	96	71	2006	
71	115	89	158	134	187	180	238	154	89	79	45	2007	

Exemple de fichier de température mensuelle moyennes (°C)

Commune:	Localité	TEMPERATURE 2005/2007 (latit=49 deg)									UNITE=Degrés		
-1.5	3.6	6.5	8.7	12.2	15.9	17.8	16.9	15.4	12.1	6.3	6	2005	
1.2	6.4	5.9	8.6	12	14.9	16.3	18.5	16.7	10.5	4.8	2.2	2006	
3.3	2.2	9.8	9.8	12.5	15.2	17.6	18.5	16.1	11	6.8	4.1	2007	

Fichier etp.dat d'ETP mensuelle calculée

Situation :	Localité	ETP mensuelle Calculée									UNITE=mm/mois		
0	11.2	28.3	50.6	85.8	101.3	119.9	85.6	69.8	33.7	17.7	12.3	2005	
3.7	18.7	27.3	54.9	85.3	91.6	90.4	94.7	77.4	37.6	14.8	6	2006	
9.4	9.9	37.8	58.8	68.6	93	93.8	101.9	65.6	32.8	17.9	9.1	2007	

Fig. 42 - Logiciel ETPTURC : listage des fichiers d'entrée et du fichier d'ETP calculée.

7. Références bibliographiques

- Creutin J.D. (1979) - Méthode d'interpolation optimale de champs hydro-météorologiques. Comparaison et application à une série d'épisodes pluvieux cévenols. Thèse présentée à l'Université Scientifique et Médicale et à l'Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Mero F. (1979) - The MM08 hydrometeorological simulation system. Basic concepts and operator's guide. Tel Aviv, 18 p., April 1978.
- Pernel F. (1990) - « Transferts hydrauliques entre les altérites et les fractures sur socle cristallin : Aveyron, Ille-et-Vilaine, Finistère ». Thèse Paris XI.
- Roche P.A., Thiéry D. (1984) - Simulation globale de bassins hydrologiques. Introduction à la modélisation et description du modèle GARDÉNIA. Rap. BRGM 84 SGN 337 EAU.
- Rosenbrock H.H. (1960) - An automatic method for finding the greatest or the least value of a fonction. Computer journal 3.3., p. 175-184, Oct. 1960.
- Thiéry D., Caous J.Y. (1979) - Application d'un modèle conceptuel de prévision d'étiages à la nappe de la Craie en Picardie. Rap. BRGM 79 SGN 760 PIC.
- Thiéry D (1980) - Simulation de bassins hydrologiques par modèles globaux. Le programme AMANDE. Rap. BRGM 80 SGN 192 HYD.
- Thiéry D. (1983) - Description du modèle BICHE. Note technique BRGM/SGN/EAU n° 83/15.
- Thiéry D. (1988) - Forecast of changes in piezometric levels by a lumped hydrological model. *Journal of Hydrology* 97 (1988), p. 129-148.
- Turc L. (1961) - Évaluation des besoins en eau d'irrigation. Évapotranspiration potentielle. *Ann. Agronom.*, 1961, 12.

ANNEXE 1

Prise en compte de la fonte de la neige par GARDÉNIA. Description des paramètres utilisés.

Le schéma de fonte de la neige est représenté dans la figure ci-dessous.

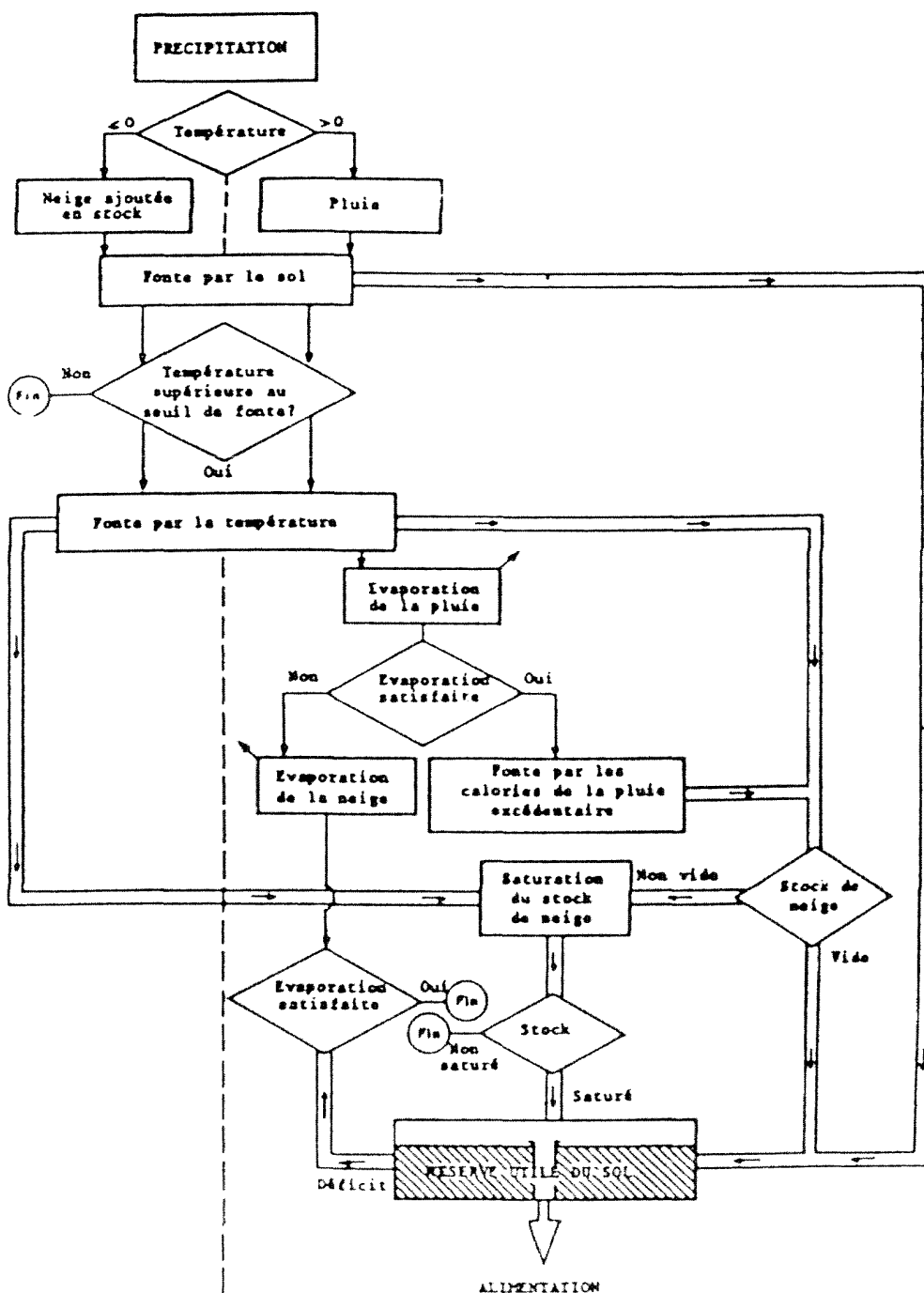


Fig. 1 - Schématisation de la fonte de la neige.

Le choix de la prise en compte de fonte de la neige s'effectue dans l'écran des Pré-Options du logiciel GARDÉNIA.

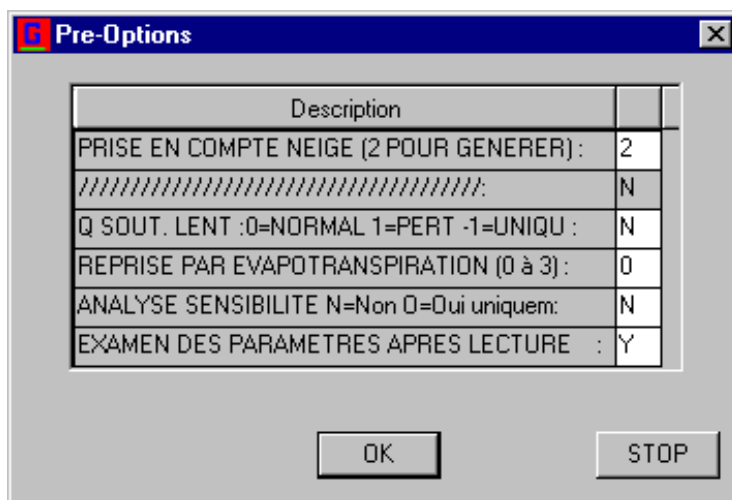


Fig. 2 - Calcul avec génération des paramètres de la fonte de la neige.

- 1 = Prise en compte de la neige
- 2 = Génération des paramètres de neige

L'écran « Paramètres Physiques » s'affiche alors avec des paramètres supplémentaires concernant la prise en compte de la neige.

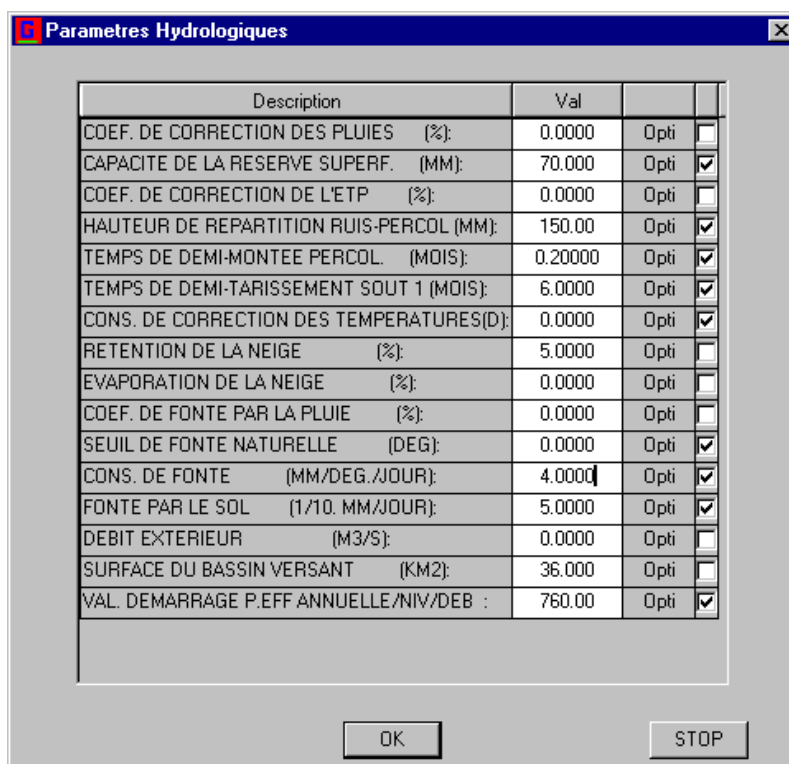


Fig. 3 - Paramètres physiques y compris les paramètres de fonte de la neige.

- **CONST. DE CORRECTION DES TEMPÉRATURES**

Coefficient de correction de température (positive ou négative) (en °C).

La température de l'air n'étant pas toujours connue exactement sur le bassin, on applique une correction constante (un décalage) pour la corriger globalement. Cette correction ne devrait pas dépasser plus ou moins 3 degrés, sauf si la station est vraiment éloignée du bassin.

Valeur de départ conseillée : 0 °C.

Optimisation : oui.

- **RÉTENTION DE LA NEIGE**

Quand la neige fond ou reçoit de la pluie à sa surface supérieure, une partie de cette eau (liquide) est retenue par capillarité. Cette rétention est proportionnelle à la hauteur de neige (si on suppose une densité à peu près constante... ce qui n'est bien entendu qu'une approximation). La rétention dans la neige est donc exprimée en %.

Valeur de départ conseillée : 5 %.

Optimisation : éventuellement.

- **ÉVAPORATION DE LA NEIGE**

Quand l'évapotranspiration potentielle n'est pas satisfaite par les précipitations, le restant peut être prélevé à la neige par sublimation. Cependant, le taux d'évaporation n'est pas le même pour l'eau dans la réserve du sol ou dans la neige. Ce coefficient est donc un coefficient correcteur. Un coefficient correcteur de 20 par exemple, indique que l'évapotranspiration potentielle, quand elle est appliquée à la neige, doit être augmentée de 20 %.

Valeur de départ conseillée : 0 %.

Optimisation : non (pour les premiers passages).

- **COEF. DE FONTE PAR LA PLUIE**

La fonte théorique par les calories de la pluie FONTP est définie par :

$$\text{FONTP} = \text{PN} \cdot \text{TEMP} / 80$$

avec : PN = pluie nette

TEMP = température

80 = chaleur latente pour faire fondre 1 gramme de glace.

La fonte par la pluie est donc corrigée par un facteur global.

Exemple : 20 signifie une augmentation de 20 %.

Il convient de remarquer cependant que la fonte par les calories de la pluie est très faible devant la fonte par la température de l'air, surtout au pas de temps mensuel.

Valeur de départ conseillée : 0 %.

Optimisation : non.

- **SEUIL DE FONTE NATURELLE**

C'est le seuil de température au-dessus duquel commence la fonte de la neige. Cette température est généralement très proche de 0 °C, mais elle peut être un peu différente pour tenir compte de la différence entre la température de l'air mesurée et la température réelle à l'interface air-neige.

Valeur de départ conseillée : 0 °C.

Optimisation : oui.

- **CONSTANTE DE FONTE (degré-jour)**

C'est le coefficient « degré-jour » **DJ**. On considère que la fonte FONTT est proportionnelle au nombre de degrés de température au-dessus du seuil de fonte SF (proche de 0 °C) et à la durée :

$$\text{FONTT} = \text{DJ} \cdot (\text{TEMP} - \text{SF}) \cdot \text{DUREE}.$$

Les valeurs courantes sont de 3 à 5 mm de fonte par degré par jour.

Valeur de départ conseillée : 4 mm/d°/jour.

Optimisation : oui.

- **FONTE PAR LE SOL**

La fusion de la neige par contact avec le sol est exprimée en 1/10 de millimètre par jour.

Valeur de départ conseillée : 5 dixièmes de mm par jour (5 1/10 mm/j).

Optimisation : oui.

- **BORNES DES PARAMÈTRES**

Valeurs minimales et maximales admises pour les 7 paramètres concernant la prise en compte de la neige.

6 Bornes des Parametres Hydrologiques			
Description	[Val]	Mini	Maxi
COEF. DE CORRECTION DES PLUIES (%)	0.0000	0.0000	0.0000
CAPACITE DE LA RESERVE SUPERF. (MM)	70.000	1.00000E-03	150.00
COEF. DE CORRECTION DE L'ETP (%)	0.0000	-25.000	25.000
HAUTEUR DE REPARTITION RUIS-PERCOL (MM)	150.00	1.00000E-03	9999.0
TEMPS DE DEMI-MONTEE PERCOL. (MOIS)	0.20000	0.15000	20.000
TEMPS DE DEMI-TARISSEMENT SOUT 1 (MOIS)	6.0000	0.15000	35.000
CONS. DE CORRECTION DES TEMPERATURES(D)	0.0000	-3.0000	3.0000
RETENTION DE LA NEIGE (%)	5.0000	1.00000E-03	10.000
EVAPORATION DE LA NEIGE (%)	0.0000	0.0000	20.000
COEF. DE FONTE PAR LA PLUIE (%)	0.0000	-20.000	20.000
SEUIL DE FONTE NATURELLE (DEG)	0.0000	-2.0000	2.0000
CONS. DE FONTE (MM/DEG./JOUR)	4.0000	1.0000	7.0000
FONTE PAR LE SOL (1/10. MM/JOUR)	5.0000	1.00000E-03	20.000

Fig. 4 - Bornes des paramètres physiques, y compris les paramètres de fonte de la neige.

ANNEXE 2

Schéma de fonctionnement du modèle GARDÉNIA

ÉQUATIONS DE VIDANGE

Le réservoir H est caractérisé par un temps de demi-vidange THG et par une hauteur caractéristique d'écoulement rapide RUIPER.

Les réservoirs G1 et G2 sont caractérisés chacun par un temps de demi-vidange TG1 et TG2.

Les équations de vidanges sont les suivantes, en notant G1 et G2 les niveaux des réservoirs et tg1 et tg2 les constantes de temps de tarissement :

$$\frac{d G1}{dt} = - G1 / tg1 \quad (1)$$

$$\frac{d G2}{dt} = - G2 / tg2 \quad (2)$$

$$\frac{dH}{dt} = - H / thg - H / (thg.RUIPER/H) \quad (3)$$

en notant : $tg1 = TG1 / \text{Ln}(2)$;
 $tg2 = TG2 / \text{Ln}(2)$;
 (Ln = Logarithme Népérien).

RÉSERVOIRS G1 ET G2

Pour G1 et G2, la solution de l'équation différentielle (1) ou (2) donne le niveau G(t) en fonction du temps :

$$G(t) = G_0 \cdot e^{-t/tg} \quad (4)$$

soit : $G(d) = G_0 \cdot e^{-d/tg}$ à la fin d'un pas de temps de durée d.

D'après l'équation (1) ou (2) le débit instantané qg par unité de surface est donné par :

$$qg = - \frac{dG}{dt} = G / tg \quad \text{soit} \quad qg = \frac{G_0}{tg} e^{-t/tg}$$

d'où on obtient, par intégration entre les temps 0 et d, le volume QG écoulé pendant un pas de temps de durée d :

$$QG = G_0 \cdot [1 - e^{-d/tg}] ; \text{ soit } QG = G_0 / TGM \quad (5)$$

en posant : $TGM = 1 / (1 - e^{-d/tg}) = 1 / [1 - e^{-(d \cdot \text{Ln } 2)/TG}]$ (6)

TGM = constante de temps du modèle exprimée en pas de temps du modèle.

NIVEAU DANS LE RÉSERVOIR H

Deux types de vidanges se font simultanément :

- écoulement rapide (non linéaire) : $qr = H^2 / (thg.RUIPER)$ (7)

- percolation vers G1 : $qi = H / thg$ (8)

On voit que : $qr / qi = H / RUIPER$.

La hauteur RUIPER est donc la hauteur de H pour laquelle les deux vidanges (percolation et écoulement rapide) sont égales :

- quand $H > RUIPER$, l'écoulement rapide qr est prépondérant,
- quand $H < RUIPER$, la percolation qi est prépondérante.

Pour supprimer l'écoulement rapide il suffit donc d'imposer une très forte valeur de RUIPER égale à l'infini (en pratique, on impose la valeur code 9999 mm).

SOLUTION ANALYTIQUE

$$\frac{dH}{dt} = -qr - qi$$

$$\frac{dH}{dt} = - \left(\frac{H^2}{thg \cdot RUIPER} + \frac{H}{thg} \right) \quad (9)$$

d'où on obtient par intégration la solution :

$$H(t) = \frac{C \cdot RUIPER \cdot e^{-t/thg}}{1 - C \cdot e^{-t/thg}} \quad (10)$$

$$C = 1 / (1 + RUIPER / H_0) \quad (11)$$

avec : $H_0 = H(t = 0)$.

ILLUSTRATION DE LA COURBE DE DÉCROISSANCE DES DÉBITS SORTANT DU RÉSERVOIR H (composante rapide)

$$qr(t) = H^2 / (thg \cdot RUIPER) \quad \text{d'après (7)}$$

On obtient d'après (10) :

$$qr(t) = \frac{C_2 \cdot RUIPER}{thg} \cdot \frac{e^{-2t/thg}}{(1 - C \cdot e^{-t/thg})^2} \quad (12)$$

Soit en notant Q_0 le débit au temps initial :

$$\frac{qr(t)}{Q_0} = \frac{(1 - C)^2}{(1 - C \cdot e^{-t/thg})^2} e^{-2t/thg} \quad (13)$$

À titre d'illustration, on a tracé (cf. graphiques ci-contre) les courbes d'évolution de qr / Q_0 en fonction de la valeur initiale $H_0 / RUIPER$ du niveau dans le réservoir H.

Les courbes ont été calculées pour neuf valeurs :

- de $H_0 / RUIPER = 0,1$ (courbe la plus haute ayant la décroissance la plus lente),
- à $H_0 / RUIPER = 10$ (courbe ayant la décroissance la plus rapide).

La non-linéarité est évidente : plus la crue est forte, plus la décroissance est rapide.

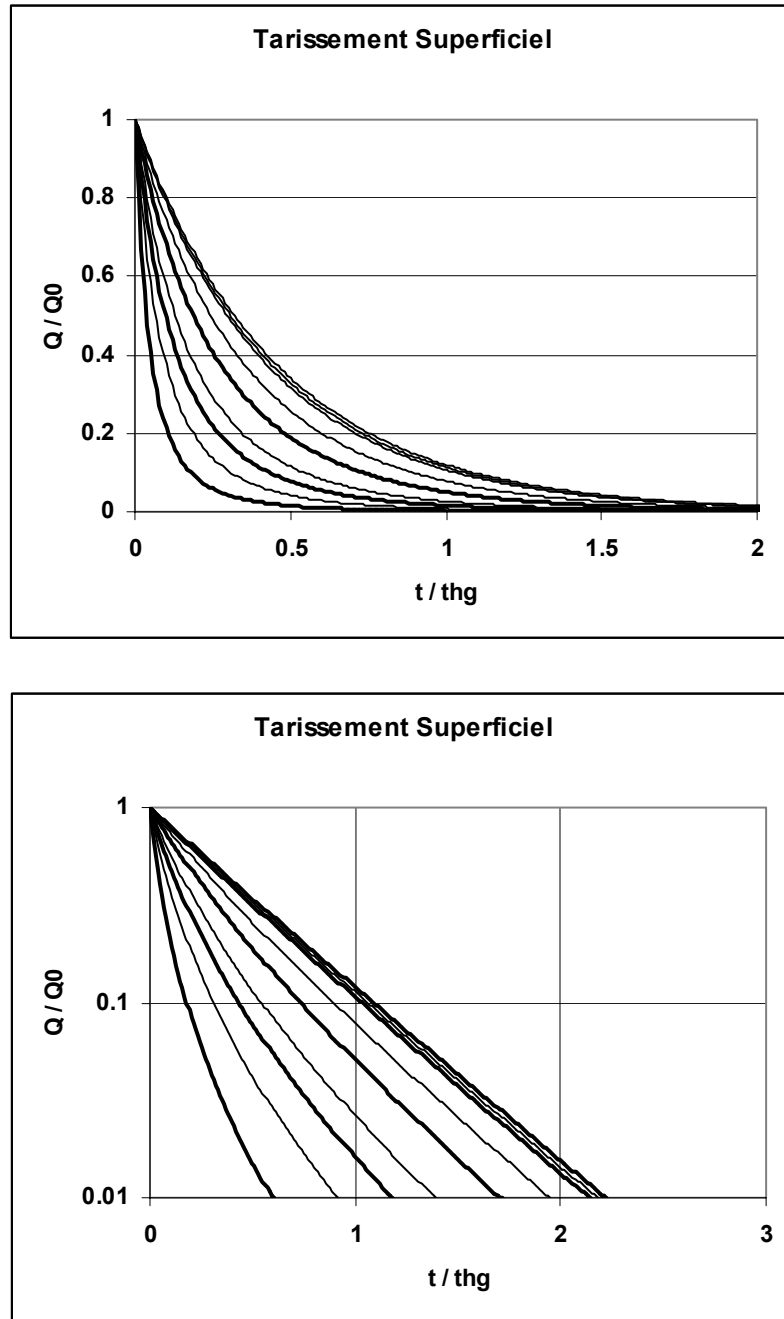


Fig. 1 - Courbes de décroissance (non linéaires) du débit sortant du réservoir H pour différents états de remplissages de : $H_0/RUIPER = 0,1$ (tarissement lent à droite) à $H_0/RUIPER = 10$ (tarissement rapide à gauche).

DÉBIT ÉCOULÉ PENDANT UN PAS DE TEMPS

Débit de percolation

En intégrant q_i donné par l'équation (8) entre les temps 0 et d , on obtient le volume QI écoulé pendant un pas de temps de durée d . En utilisant l'expression (10) de H , on obtient par intégration :

$$QI = RUIPER \cdot \text{Ln} \left(\frac{1 - C \cdot e^{-d/thg}}{1 - C} \right)$$

$$QI = RUIPER \cdot \text{Ln} \left(1 + \frac{H_o}{RUIPER} \cdot (1 - e^{-d/thg}) \right) \quad (14)$$

$$QI = RUIPER \cdot \text{Ln} \left(1 + \frac{H_o}{RUIPER \cdot THGM} \right) \quad \text{avec : } THGM = 1 / (1 - e^{-d/thg}) \quad (15)$$

Écoulement rapide

Par conservation de la masse, on a :

$$QR = (H_o - H(d)) - QI$$

Soit en remplaçant $H(d)$ et QI par leurs valeurs :

$$QR = H_o - H_o \cdot \frac{THGM - 1}{THGM + H_o / RUIPER} - RUIPER \cdot \text{Ln} \left(1 + \frac{H_o}{RUIPER \cdot THGM} \right) \quad (16)$$

MISE EN ÉQUILIBRE DANS LE RÉSERVOIR H

Dans cette implémentation de GARDENIA, on pratique un « apport brutal » sous forme d'un Dirac, c'est-à-dire qu'on apporte instantanément le volume d'alimentation ALIMH en début de pas de temps.

Soit H le niveau à la fin d'un pas de temps, on a $H_o = H + ALIMH$. Comme on est à l'équilibre, on doit avoir à la fin d'un nouveau pas de temps : $H(d) = H$.

On a vu que :

$$H(d) = H_o \cdot \frac{THGM - 1}{THGM + H_o / RUIPER}$$

soit en remplaçant H_o par $H + ALIMH$:

$$H = (H + ALIMH) \cdot \frac{THGM - 1}{THGM + (H + ALIMH) / RUIPER}$$

d'où une équation du 2^e degré de solution :

$$H_{\text{equ}} = 0.5 \cdot (ALIMH + RUIPER) \cdot \left(\sqrt{1 + 4 \cdot \frac{ALIMH \cdot RUIPER \cdot (THGM - 1)}{(ALIMH + RUIPER)^2}} - 1 \right) \quad (17)$$

Il convient de remarquer que dans une implémentation avec un flux constant q_{limh} au lieu d'un apport brutal de volume ALIMH on obtiendrait :

$$H_{\text{equ_Continu}} = 0.5 \cdot \text{RUIPER} \cdot \left(\sqrt{1 + 4 \cdot q_{\text{limh}} \cdot \text{thg} / \text{RUIPER}} - 1 \right)$$

ANNEXE 3

Coefficient d'ajustement et principe du processus itératif.

- **Coefficient d'ajustement**

Dans le logiciel GARDÉNIA, le coefficient d'ajustement **F** est défini de la manière suivante :

On note **F2** la grandeur suivante, appelée parfois « critère de Nash » ou « Efficience » ("Efficiency" en anglais) :

$$F2 = 1 - \frac{se2}{\sigma_o^2}$$

où : $se2$ = moyenne des carrés des écarts = $\frac{1}{n} \sum_1^n [(\text{Écart})^2]$

Écart = valeur observée - valeur calculée

n = nombre d'écarts

σ_o^2 = variance des observations (carré de l'écart type)

(1 - F2) est donc l'erreur quadratique moyenne, normée par la variance des observations.

D'après cette définition, F2 varie de $-\infty$ à +1. F2 = +1 correspond à un ajustement parfait sans aucun écart de simulation.

Dans le cas d'une régression linéaire, F2 serait égal au carré du coefficient de corrélation.

Pour se ramener à un critère de même dimension qu'un coefficient de corrélation, on définit le critère d'ajustement **F** de GARDÉNIA de la manière suivante :

- $F = \sqrt{F2}$ si $F2 \geq 0$ => F positif.

- $F = -\sqrt{-F2}$ si $F2 < 0$ => F négatif.

F varie aussi de $-\infty$ à +1 ; **F** = +1 correspond à un ajustement parfait.

Remarque :

F = 0 si : valeur calculée(i) = moy(valeur observée)

F = 0 si : valeur calculée(i) = valeur observée(i) + σ_o ou valeur observée(i) - σ_o
(simulation décalée de σ_o)

F = -1,732 si : valeur calculée(i) = valeur observée(i) + $2\sigma_o$ ou valeur observée(i) - $2\sigma_o$
(simulation décalée de $2\sigma_o$)

- **Processus itératif**

Le détail du processus itératif apparaît dans le fichier de nom : **crealis.txt**.

Les axes décrits représentent les paramètres à optimiser : l'axe 1 représente le premier paramètre à optimiser (dans l'ordre défini dans le fichier paramètres), etc.

Le logiciel fait varier tout à tour un paramètre (les autres restant fixés aux valeurs définies le tour précédent) et examine si la nouvelle valeur du paramètre provoque un gain ou une perte au niveau de l'ajustement.

Le processus consiste à maximiser le coefficient d'ajustement, c'est-à-dire à minimiser le critère défini par Critère = $-F$.

**Centre scientifique et technique
Service eau**

3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34