

CEQU*eau*

Guide de l'utilisateur

Version 2.0 pour DOS

Guy MORIN
Pierre PAQUET
Wanda SOCHANSKI

INRS-EAU

Restrictions d'utilisation

Le modèle CEQUEAU est fourni avec les restrictions suivantes:

- citer l'origine du modèle dans toutes les publications où le modèle CEQUEAU aura été employé;
- utiliser le modèle CEQUEAU pour usage interne seulement; toute étude au profit d'un tiers devra faire l'objet d'une entente préalable avec l'INRS-Eau;
- ne pas redistribuer les programmes;
- les programmes sont fournis sans engagement ni responsabilité de l'INRS-Eau.

Information et support

M. Guy MORIN
INRS-Eau
2800, rue Einstein C.P 7500
Sainte-Foy, (Québec)
G1V 4C7

Tel.: (418) 654-2547
Fax: (418) 654-2600
e-mail: guy_morin@inrs-eau.quebec.ca

Référence à citer

Morin, G., Paquet, P. et Sochanski, W.(1995). Le modèle de simulation de quantité et de qualité CEQUEAU, Manuel de références. INRS-Eau, rapport de recherche no 434, 44 pp.

Conception de la page couverture: Bref Concept *senc*

ISBN 2-89146-430-3

Dépôt légal 1995

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés

© 1995 - Institut national de la recherche scientifique

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	iv
INTRODUCTION	1
1 INSTALLATION DE CEQUEAU	3
2 ENVIRONNEMENT CEQUEAU	5
2.1 Description des fichiers	5
2.1.1 Les programmes exécutables	5
2.1.2 Les fichiers d'aide à l'édition	6
2.1.3 Les fichiers de l'exemple	7
2.2 La structure de cequeau	9
2.3 Les programmes	10
2.3.1 Le programme d'édition des données EPAR	10
2.3.1.1 L'option Corriger	12
2.3.1.2 L'option Enlever	13
2.3.1.3 L'option Ajouter	13
2.3.1.4 L'option Déplacer	13
2.3.1.5 L'option Vérifier	14
2.3.1.6 L'option Enregistrer	14
2.3.1.7 L'option Terminer	15
2.3.2 Le programme de préparation de données PHYCECP	15
2.3.3 Le programme de préparation de données HYMET1	17
2.3.4 Le programme de préparation de données HYMET2	18
2.3.5 Le programme de préparation des données de qualité QUAL1	19
2.3.6 Le programme de simulation CEQUEAU	20
2.3.7 Le programme de simulation CEQUEAUQ	22
2.3.8 Le programme de graphiques GRACEQ	24
2.3.9 Le programme de graphiques BVCEQ	25
2.3.10 Le programme de graphiques TPFCEQ	26
2.3.11 Le programme CEQUEOPT	26
3 OPTIMISATION	29
3.1 Le programme d'optimisation	29
3.2 Optimisation avec ou sans contrainte	30
3.3 Fonction objective	30
3.3.1 Somme des carrés des différences (NOFOB = 1)	31
3.3.2 Critère NTD (NOFOB = 2)	32
3.3.3 Somme des différences absolues (NOFOB = 3)	33
3.3.4 Critère NS (NOFOB = 4)	34

3.4	Vecteurs de données	35
3.5	Les messages d'avertissement et d'erreur	36
3.6	Les erreurs entraînant un arrêt immédiat du programme	37
3.6.1	Erreur (dans CEQUEOPT) mauvais numéro de paramètre à optimiser	37
3.6.2	Erreur (dans CALCFX) mauvais numéro de paramètre à optimiser	37
3.7	Remarques	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Liste des paramètres que l'on peut optimiser	38
Tableau 3.2	Vecteur obligatoire OPTIMIS1	40
Tableau 3.3	Vecteur obligatoire OPTIMIS2	42
Tableau 3.4	Vecteur induit PAROPTxx	43

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Structure générale de CEQUEAU.	9
Figure 2.1	Structure générale de CEQUEAU	9
Figure 2.2	L'éditeur de données.	12

INTRODUCTION

Le modèle de simulation de quantité et de qualité CEQUEAU¹ fonctionne sous les environnements DOS ou WINDOWS². Ce guide de l'utilisateur décrit l'installation et le fonctionnement des programmes sous l'environnement DOS.

Ce guide est divisé en trois parties. La première décrit la procédure d'installation de CEQUEAU pour DOS. La deuxième section traite des principes de base qui vous permettront d'utiliser efficacement tous les programmes qui constituent le logiciel. Finalement, la dernière section traite du programme d'optimisation des paramètres du modèle.

En plus des programmes CEQUEAU et CEQUEAUQ permettant la simulation de la quantité et de la qualité de l'eau en rivière, le logiciel inclut également les programmes de préparation des banques de données physiographiques du bassin versant et des banques de données météorologiques et hydrométriques et de données de qualité utilisées par le modèle.

Le logiciel comprend également un programme d'optimisation des paramètres hydrologiques du modèle CEQUEAU, utilisable sous l'environnement DOS seulement.

Finalement le logiciel comprend un éditeur de données qui permet de créer ou de modifier tous les fichiers utilisés par les programmes.

1 Morin, G., Paquet, P. et Sochanski, W. (1995). Le modèle de simulation de quantité et de qualité CEQUEAU. Manuel de référence. INRS-Eau, rapport de recherche no 433.

2 Morin, G. et Paquet, P. (1995). Le modèle de simulation de quantité et de qualité CEQUEAU, Guide de l'utilisateur. Version 2.0 pour Windows. INRS-Eau, rapport de recherche no 435.

1

INSTALLATION DE CEQUEAU

CEQUEAU doit être installé sur un disque rigide qui dispose d'au moins 3MO d'espace libre. L'installation doit se faire sur le DOS et non dans une fenêtre DOS de WINDOWS. Il y a deux façons de lancer l'installation. La première copie les fichiers dans un répertoire appelé CEQDOS tandis que la deuxième permet de choisir son propre répertoire pour l'installation.

Pour installer le programme CEQUEAU dans un répertoire appelé CEQDOS:

- 1 sur le DOS, tapez A: et la touche [Entrée] (ou B: et [Entrée]) si la disquette CEQUEAU pour DOS est en A: (ou B:);
- 2 tapez `INSTALLER C:` si votre disque rigide est C: (ou `INSTALLER D:` si votre disque rigide est D:, etc.).

Exemple:

```
A:  
INSTALLER C:
```

Dans cet exemple, la disquette CEQUEAU pour DOS a été mise dans l'unité A: et CEQUEAU s'installera dans C:\CEQDOS.

Pour installer le programme CEQUEAU dans un autre répertoire que \CEQDOS:

- 1 sur le DOS, tapez A: et la touche [Entrée] (ou B: et [Entrée]) si la disquette CEQUEAU pour DOS est en A: (ou B:);
- 2 tapez `INSTALLER C: "répertoire"` où "répertoire" est le nom du répertoire où sera installé CEQUEAU.

Exemple:

A:

INSTALLER D: \SIMULATION\CEQD

Dans cet exemple, CEQUEAU s'installera dans D:\SIMULATION\CEQD.

Remarquez:

- un espace est nécessaire entre "D:" et "\SIMULATION\CEQD";
- \SIMULATION\CEQD commence par la barre oblique (\), qui signifie que ce sous-répertoire se place sous la racine (root);
- le sous-répertoire D:\SIMULATION doit exister (mais pas nécessairement D:\SIMULATION\CEQD).

En résumé, pour installer CEQUEAU sur le disque D:, utilisez une des deux commandes suivantes:

INSTALLER D:

ou

INSTALLER D: "*répertoire*"

Si ce répertoire existe déjà (une installation de CEQUEAU a déjà été faite), la version actuelle de CEQUEAU remplacera toute version qui existe déjà dans le même répertoire.

Une fois CEQUEAU installé sur le disque rigide, vous devez inclure le répertoire où CEQUEAU a été installé dans le paramètre PATH du DOS. Consultez également les recommandations les plus récentes sur CEQUEAU qui sont fournies, s'il y a lieu, dans le fichier LISEZMOI.TXT.

2

ENVIRONNEMENT CEQUEAU

2.1 Description des fichiers

Suite à l'installation, on retrouve une série de fichiers servant à l'exécution des différents programmes de CEQUEAU. Ces fichiers sont les programmes exécutables et les fichiers d'aide à l'édition. Ils sont normalement installés dans un répertoire appelé CEQDOS. Un deuxième répertoire, découlant de ce dernier, contient les fichiers de l'exemple modélisant la rivière EATON. Ce répertoire est nommé EATON.

2.1.1 Les programmes exécutables

Les programmes exécutables (extension EXE) qui se trouvent dans le répertoire principal "\CEQUEAU " sont les suivants:

DOS4GW.EXE

Programme nécessaire pour exécuter les programmes compilés avec FORTRAN WATCOM F77/386. Ce fichier doit être dans un répertoire inclus dans le paramètre PATH du DOS.

PHYCECP.EXE

Programme utilisé pour la préparation des données physiographiques.

HYMET1.EXE

Programme pour préparer les données météorologiques et hydrométriques.

HYMET2.EXE

Programme pour compléter les données météorologiques manquantes et calculer les moyennes mensuelles et annuelles des données météorologiques et hydrométriques.

QUAL1.EXE

Programme pour préparer le fichier des données de qualité utilisé par le programme CEQUEAUQ.

CEQUEAU.EXE

Programme pour la simulation hydrologique.

CEQUEAUQ.EXE

Programme pour la simulation hydrologique et la simulation des paramètres de qualité de l'eau en rivière.

CEQUEOPT.EXE

Programme qui permet de déterminer automatiquement la valeur optimale (minimise la différence entre les débits observés et calculés) des paramètres hydrologiques du modèle CEQUEAU.

GRACEQ.EXE

Programme pour visualiser à l'écran différents graphiques montrant les débits observés et calculés (critère d'ajustement graphique).

BVCEQ.EXE

Programme pour visualiser à l'écran les carreaux entiers sur le bassin versant principal et les sous-bassins versants avec une station hydrométrique. Le programme permet également de montrer la distribution spatiale sur le bassin versant de quelques données météorologiques.

TPFCEQ.EXE

Programme pour tracer à l'écran la température moyenne de l'air, la pluie et la fonte calculées par le modèle sur le bassin versant principal et les sous-bassins versants possédant une station hydrométrique.

EPAR.EXE

Programme qui permet de créer ou de modifier tous les fichiers utilisés par les programmes de traitement des données ou de simulation.

2.1.2 Les fichiers d'aide à l'édition

Les fichiers d'aide à l'édition (extension HLP) servent au programme d'édition des données EPAR.EXE. On doit les retrouver dans le répertoire principal de CEQUEAU:

EPARPHY.HLP

Fichier d'aide pour préparer le fichier de données physiographiques (extension.PHY) utilisé par le programme PHYCECP.

EPARBV.HLP

Fichier d'aide pour préparer le fichier de données du bassin versant (extension.BV) utilisé par le programme PHYCECP.

EPARRIV.HLP

Fichier d'aide pour préparer le fichier de données physiographiques des rivières (extension.RIV) utilisé par le programme PHYCECP.

EPARDHM.HLP

Fichier d'aide pour préparer le fichier de données hydrométéorologiques (extension.DHM) utilisé par le programme HYMET1.

EPARDQ.HLP

Fichier d'aide pour préparer le fichier de données de qualité de l'eau en rivière (extension.DQ) utilisé par le programme QUAL1.

EPARPAO.HLP

Fichier d'aide pour préparer le fichier des paramètres d'optimisation (extension.PAO) utilisé par le programme CEQUEOPT.

EPARPAH.HLP

Fichier d'aide pour préparer le fichier des paramètres de simulation hydrologique (extension.PAH) utilisé par le programme CEQUEAU.

EPARPAQ.HLP

Fichier d'aide pour préparer le fichier des paramètres de simulation de la qualité de l'eau en rivière (extension.PAQ) utilisé par le programme CEQUEAUQ.

2.1.3 Les fichiers de l'exemple

Les fichiers de l'exemple constituent les données préparées pour le bassin versant de la rivière Eaton. Ces fichiers sont utilisés dans la section suivante pour montrer toutes les étapes nécessaires pour la simulation d'un bassin versant. Suite à l'installation, les fichiers suivants se retrouvent dans un répertoire \EATON découlant du répertoire de CEQUEAU:

EATON.PHY

Ce fichier contient toutes les informations des carreaux entiers du bassin versant de la rivière EATON.

EATON.RIV

Ce fichier contient les caractéristiques physiques des tronçons de rivières sur quelques carreaux partiels du bassin versant de la rivière EATON.

EATON.BV

Ce fichier contient toutes les informations relatives au bassin versant de la rivière Eaton que l'on veut préparer.

EATON.DHM

Ce fichier contient les numéros des stations météorologiques et hydrométriques que l'on veut utiliser ainsi que les noms des fichiers correspondants.

EATON.DQ

Ce fichier contient les informations pour créer le fichier des données de qualité. On retrouve le nombre de paramètres de qualité qu'on veut introduire. On retrouve également les numéros des stations que l'on veut utiliser ainsi que les noms des fichiers correspondants.

EATON.PAO

Ce fichier contient un exemple des vecteurs lus par le programme CEQUEOPT pour optimiser quelques paramètres.

EATON.PAH

Ce fichier contient un exemple des vecteurs lus par le programme CEQUEAU pour effectuer une simulation des débits de la rivière Eaton.

EATON.PAQ

Ce fichier contient un exemple des vecteurs lus par le programme CEQUEAUQ pour effectuer une simulation des paramètres de qualité de l'eau de la rivière Eaton.

***.MET**

Tous les fichiers portant l'extension MET contiennent les données météorologiques journalières (température maximale et minimale de l'air, la pluie et la neige) pour toutes les années disponibles et pour toutes les stations météorologiques que l'on veut utiliser pour la simulation des débits de la rivière Eaton.

***.DEB**

Tous les fichiers portant l'extension DEB contiennent les données hydrométriques journalières pour toutes les années disponibles et pour toutes les stations disponibles sur le bassin versant de la rivière Eaton.

99999F.*

Tous les fichiers portant le nom 99999F.* contiennent les données de qualité de l'eau à une station sur le bassin versant de la rivière Eaton. Comme il n'existe pas de station de qualité sur la rivière Eaton, on a introduit une station de qualité sur le carreau partiel numéro 1, nommée 99999F, afin d'illustrer le fonctionnement du programme. Les données de ces fichiers sont des données fictives mais elles sont utiles pour illustrer le format de ces données.

Les fichiers donnant les paramètres de qualité de l'eau observés que l'on retrouve sont:

- 99999F.TEO pour la température de l'eau en rivière
- 99999F.SSO pour les solides en suspensions
- 99999F.ODO pour l'oxygène dissous
- 99999F.DBO pour la demande biochimique en oxygène
- 99999F.SDO pour les solides dissous

2.2 La structure de cequeau

La Figure 2.1 montre la structure d'un traitement de simulation CEQUEAU sous DOS. On y trouve les programmes ainsi que les fichiers de données décrits à la section précédente.

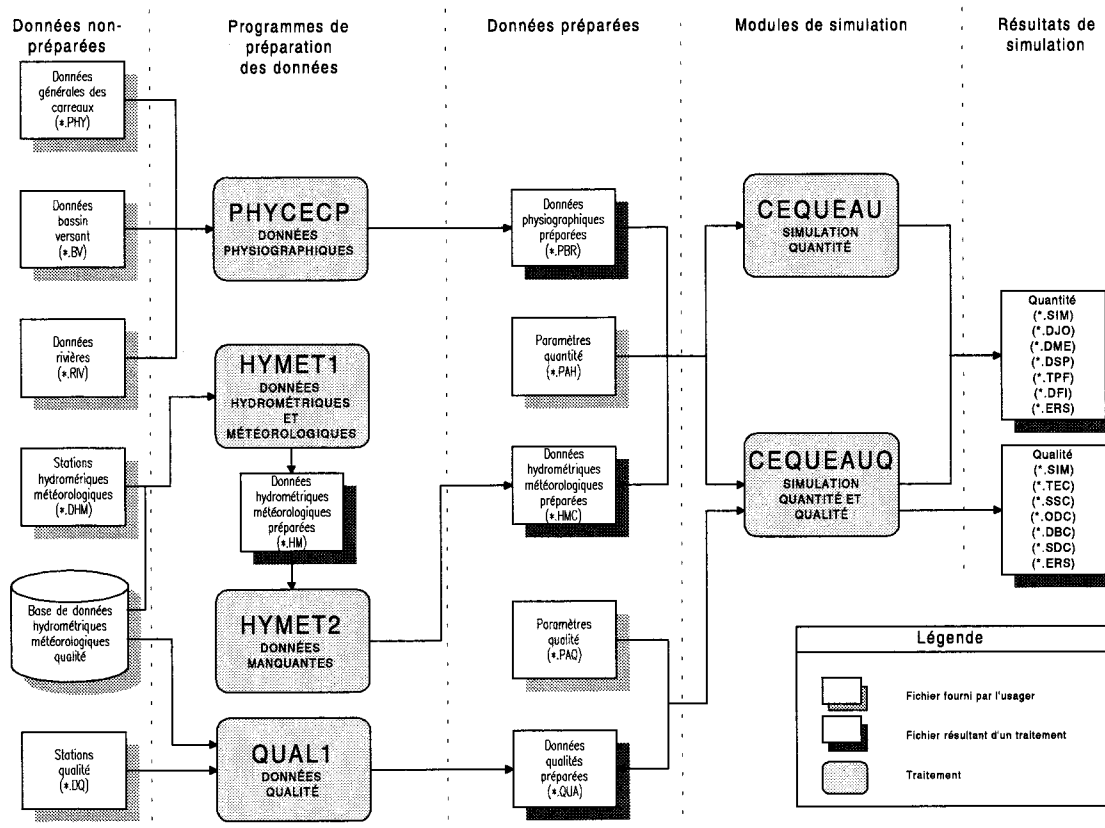


Figure 2.1 Structure générale de CEQUEAU.

Les fichiers sont décrits en détails à la Section 1 du Manuel de référence de CEQUEAU.

2.3 Les programmes

Pour que les programmes relatifs au modèle CEQUEAU puissent être lancés de n'importe quel répertoire, il est nécessaire d'introduire dans le paramètre PATH du DOS le répertoire où les programmes exécutables et les fichiers d'aide à l'édition (extension.HLP) sont installés.

Pour illustrer l'utilisation des programmes, nous utiliserons les données du bassin versant de la rivière Eaton. Avant de faire une simulation, nous préparerons les fichiers nécessaires au modèle. Du répertoire EATON, vous devez faire toutes ces étapes pour être capable de lancer les programmes de simulations.

2.3.1 Le programme d'édition des données EPAR

L'éditeur de données permet de créer ou de modifier facilement les fichiers de données. Il est conçu de façon à assurer la conformité du format des données avec celui requis par les traitements de préparation des données et de simulation. Ainsi, l'éditeur offre la possibilité de vérifier les données quant à leur format, pour chacun des champs, en plus d'offrir en permanence des commentaires sur le champ actif.

L'éditeur permet également de mettre en ordre les vecteurs de données et de vérifier les erreurs dues aux vecteurs manquants ou en trop. L'éditeur prépare les nouveaux fichiers en introduisant les vecteurs de données obligatoires.

Tous les fichiers lus par les programmes peuvent être créés ou édités à l'aide de l'éditeur de données de CEQUEAU. Cet éditeur est accessible à l'aide du programme EPAR en spécifiant le type de fichier que l'on désire éditer.

Par exemple pour éditer le fichier des données physiographiques on lance le programme en tapant:

```
EPAR PHY
```

Dans ce cas l'éditeur utilise le fichier EPARPHY.HLP afin de se conformer au format des données physiographiques. Huit fichiers d'aide différents peuvent être utilisés afin de créer ou d'éditer autant de types de fichiers de données. Voici donc les commandes servant à lancer l'éditeur approprié au fichier à éditer:

```
EPAR PHY    Permet d'éditer ou de créer les fichiers des données générales des  
            carreaux (extension PHY) utilisés par le programme PHYCECP (voir le  
            manuel de référence de CEQUEAU, Chapitre 3).
```

EPAR BV	Permet d'éditer ou de créer les fichiers des données du bassin versant (extension BV) utilisés par le programme PHYCECP (voir le manuel de référence de CEQUEAU, Chapitre 3);
EPAR RIV	Permet d'éditer ou de créer les fichiers des données des rivières (extension RIV) utilisés par le programme PHYCECP (voir le manuel de référence de CEQUEAU, Chapitre 3);
EPAR DHM	Permet d'éditer ou de créer les fichiers des données hydrométéorologiques (extension DHM) utilisés par le programme HYMET1 (voir le manuel de référence de CEQUEAU, Chapitre 4);
EPAR DQ	Permet d'éditer ou de créer les fichiers des données de qualité (extension DQ) utilisés par le programme QUAL1 (voir le manuel de référence de CEQUEAU, Chapitre 5);
EPAR PAH	Permet d'éditer ou de créer les fichiers de paramètres et options du modèle de quantité (extension PAH) utilisés par le programme CEQUEAU (voir le manuel de référence de CEQUEAU, Chapitre 6).
EPAR PAO	Permet d'éditer ou de créer les fichiers de paramètres et options pour l'optimisation (extension PAO) utilisés par le programme CEQUEOPT (voir la section 4.10 ci-dessous);
EPAR PAQ	Permet d'éditer ou de créer les fichiers de paramètres et options du modèle de qualité (extension PAQ) utilisés par le programme CEQUEAUQ (voir le manuel de référence de CEQUEAU, Chapitre 7).

L'éditeur de données (Figure 2.2) est constitué de quatre éléments; la barre de menu, la fenêtre d'édition, la fenêtre de description du vecteur et la fenêtre de commentaires.

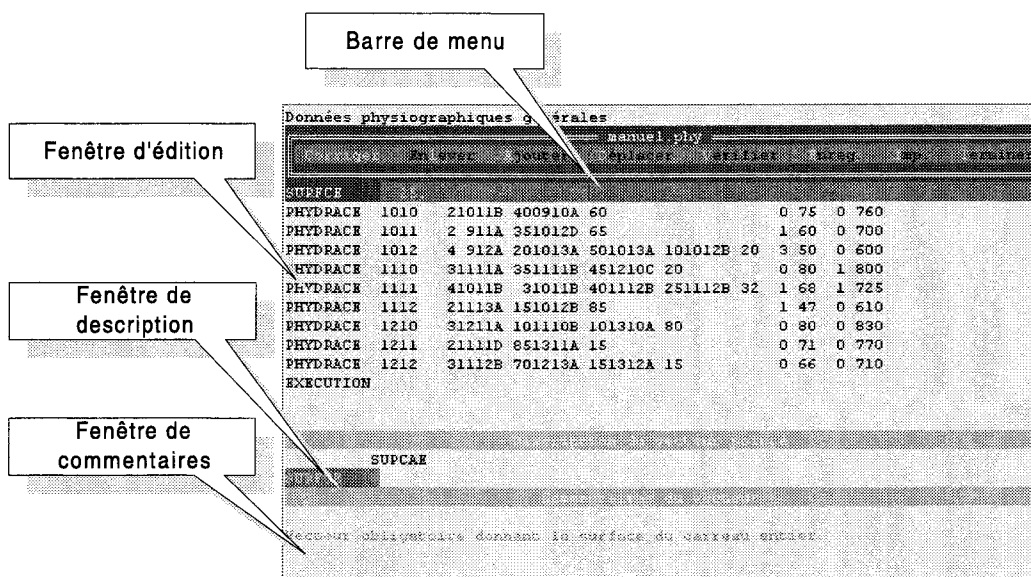


Figure 2.2 L'éditeur de données.

Pour accéder aux items de la barre de menu, vous devez annuler toute fonction en cours, y compris celle d'édition dans laquelle vous vous trouvez au lancement de l'éditeur. Pour annuler une fonction, appuyez sur la touche *ESC*.

Pour sélectionner un item du menu, positionnez le curseur sur l'option désirée à l'aide des touches de déplacement du clavier et appuyez sur la touche *ENTREE*.

Il est également possible d'activer la fonction voulue en appuyant sur la lettre mnémotechnique (en rouge) de l'option désirée.

La souris n'est pas active dans l'éditeur de données. Les déplacements du curseur doivent se faire à l'aide des touches de déplacement du clavier. Ceci est valide tant pour la fenêtre d'édition que pour les menus ou les boîtes de dialogue.

2.3.1.1 L'option Corriger

L'option Corriger donne accès à la fenêtre d'édition. Elle permet de sélectionner un vecteur de données et de le corriger champ par champ. Cette option est active dès que l'éditeur est lancé.

Lorsque le curseur est positionné sur le nom d'un vecteur, la fenêtre de description montre le nom suivi de celui de chacun des champs composant le vecteur. La fenêtre de commentaire offre une description générale du vecteur.

Lorsque le curseur est déplacé sur un champ de données, le nom de ce champ ainsi que le format de la variable concernée sont affichés sur la barre d'entête de la fenêtre de description. La fenêtre de commentaires donne une description du champ.

Les commentaires peuvent excéder les trois lignes qui apparaissent dans cette fenêtre. Dans ce cas vous n'avez qu'à utiliser les touches *PgUp* et *PgDn* pour accéder à la totalité du texte.

Chaque champ de saisi peut adopter trois formats: caractères, entier et réel. Le format de chacun des champs apparaît dans la fenêtre de description du vecteur. Le format caractères est représenté par des 'A' et le format entier par des '9'. Le format réel est composé d'une première série de '9' représentant la partie entière, suivi d'une autre série de '9' représentant la partie décimale, le tout séparé par un point. La quantité de '9' ou de 'A' représente le nombre maximum de caractères que la donnée peut comporter.

Lorsqu'une donnée est entrée, sa conformité avec le format de son champ est vérifiée. S'il y a erreur, un message apparaît sur la barre de titre de la fenêtre de description du vecteur.

2.3.1.2 L'option Enlever

Cette option vous permet d'enlever un vecteur de données. Choisissez l'option Enlever puis placez le curseur sur le vecteur à supprimer et appuyez sur la touche *ENTREE*. Le vecteur sera enlevé si possible, sinon un avertissement sera donné.

2.3.1.3 L'option Ajouter

Cette option vous permet d'ajouter un vecteur de données. L'éditeur offre alors la liste des vecteurs pouvant être ajoutés. Pour certains vecteurs, vous devez ensuite préciser si le vecteur à ajouter fait ou non partie d'une simulation discontinue.

Dans le cas d'une simulation discontinue, vous devez indiquer l'endroit où vous voulez insérer ce vecteur. Cette position doit être suivant le vecteur EXECUTION. Le vecteur sera placé immédiatement sous le vecteur que vous spécifiez à l'aide du curseur.

Dans le cas où la simulation n'est pas discontinue, l'éditeur place automatiquement le vecteur au bon endroit.

2.3.1.4 L'option Déplacer

L'option Déplacer permet de déplacer des vecteurs de données. La nouvelle position doit être valide pour le type de vecteurs que vous déplacez. Dans le cas où un vecteur est déplacé à une position qui n'est pas valide, l'éditeur mettra automatiquement en ordre les vecteurs.

2.3.1.5 L'option Vérifier

L'option Vérifier permet de vérifier la conformité des vecteurs aux règles de format régissant le type de fichier en cours d'édition. L'éditeur affichera selon le cas les avertissements ou erreurs.

Habituellement, un avertissement n'entraîne pas d'erreurs lors de la simulation ou de la préparation des données mais risque de compromettre l'exactitude des résultats de simulation. Les avertissements pouvant découler d'une vérification sont:

Avertissement: vecteur obligatoire *NOMVECTEUR* créé mais non corrigé.

Cet avertissement survient lorsque les valeurs par défaut générées pour les nouveaux vecteurs n'ont pas été corrigées. S'il y a lieu, corrigez les vecteurs mentionnés.

Avertissement: Vérifier l'ordre des vecteurs induits.

Cet avertissement apparaît lorsqu'il y a des vecteurs induits qui peuvent être positionnés à plus d'un endroit.

Les erreurs pouvant découler d'une vérification sont:

Erreur: le vecteur obligatoire *NOMVECTEUR* est manquant.

Ajoutez ce vecteur à votre liste de vecteurs.

Erreur: il y a *n* vecteur(s) *NOMVECTEUR* de trop.

Enlevez les vecteurs mentionnés.

Erreur: il manque au moins un vecteur induit *NOMVECTEUR*.

Ajoutez le vecteur induit mentionné.

Erreur: vecteur *NOMVECTEUR* invalide.

Le vecteur ne trouve pas de correspondance dans les vecteurs valides pour ce type de fichier. Enlevez ce vecteur ou corrigez son nom.

Erreur: il manque un vecteur sentinelle *NOMVECTEUR*.

Ajoutez le vecteur sentinelle. Pour ajouter un vecteur sentinelle, ajoutez un vecteur avec les valeurs par défaut et le vecteur sentinelle sera créé. Enlevez ensuite le vecteur non désiré pour ne conserver que le vecteur sentinelle.

Pour plus de détails sur ces erreurs ou avertissements, consultez le Manuel de référence de CEQUEAU.

2.3.1.6 L'option Enregistrer

L'option Enregistrer vous permet de sauvegarder les modifications que vous avez apportées au fichier de données. Une boîte de dialogue est appelée, offrant la possibilité

de renommer le fichier. Si vous proposez comme nouveau nom celui d'un fichier existant, un message vous prévient que le fichier existant sera écrasé. Il est alors toujours temps d'annuler la fonction ou de choisir un autre nom.

Lorsque vous enregistrez un fichier que vous avez modifié, la version originale sur disque est renommée *nomdefichier.bak*, *nomdefichier* correspondant au nom du fichier. Si vous voulez revenir à la version originale, vous n'avez qu'à récupérer le fichier *nomdefichier.bak* à l'aide de l'éditeur de données et le renommer avec l'extension appropriée à son type de données. Prenez garde au fait que, normalement, tous les fichiers de données d'un même projet portent un nom identique, associé à l'extension correspondante. Ainsi, un seul fichier *nomdefichier.bak* existera sur le disque et correspondra à la version originale du dernier fichier de données que vous avez modifié. Il n'y aura donc qu'un fichier de sauvegarde de l'original par projet et non un par type de fichier de données.

2.3.1.7 L'option Terminer

L'option Terminer vous permet de quitter l'éditeur afin de revenir à l'environnement CEQUEAU. Si des modifications ont été apportées depuis la dernière sauvegarde, il vous sera proposé d'enregistrer le fichier avant de quitter l'éditeur.

2.3.2 Le programme de préparation de données PHYCECP

Pour préparer la banque de données physiographiques et de drainage on utilise le programme PHYCECP. Les opérations suivantes sont nécessaires pour exécuter le programme. Pour cet exemple, on utilise les données de la rivières Eaton fournies sur la disquette d'installation. On suppose qu'elles ont été copiées sur le disque D: dans le répertoire CEQDOS\EATON lors de l'installation et que les programmes sont lancés à partir de ce répertoire:

On lance le programme en tapant:

```
PHYCECP
```

À la première question de PHYCECP:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni
point) des données physiographiques des carreaux (.PHY)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EATON
```

On donne le nom du fichier pour la rivière Eaton. Il n'est pas nécessaire de donner le répertoire car on est déjà dans le répertoire Eaton:

```
EATON
```

À la deuxième question:

Avez vous les données physiographiques des rivières sur
fichier (extension .RIV). Si vous ne les avez pas le programme
les estime) 0 = NON 1 = OUI

on signale qu'on a les données en tapant:

1

À la troisième question:

Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni
point des données physiographiques des rivières (.RIV)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON

EATON

on donne le nom du fichier préparé pour la rivière Eaton:

EATON

À la quatrième question:

Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni
point des données du bassin versant (.BV)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON

EATON

on donne le nom du fichier préparé pour la rivière Eaton:

EATON

À la fin, s'il n'y a pas d'erreur, le programme écrit:

Préparation des données physiographiques réussie.
Consultez le fichier (____.EBV) pour vérifier la précision.

Trois fichiers seront créés par ce programme, soient: EATON.PBR, EATON.ERP et
EATON.EBV.

Si une erreur est détectée par le programme, le message suivant est écrit:

Les données physiographiques sont
incorrectes. Consultez le fichier (_____.ERP).

2.3.3 Le programme de préparation de données HYMET1

Ce programme est utilisé pour créer le fichier des données météorologiques et hydrométriques et pour calculer le nombre de données réelles pour chacune des stations.

Pour exécuter le programme à l'aide des données de la rivière Eaton, les opérations suivantes sont nécessaires:

On lance le programme:

```
HYMET1
```

À la première question de HYMET1:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni
point) des vecteurs DONNEES-HYDRO-METEO (.DHM)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EATON
```

on donne le nom du fichier préparé pour la rivière Eaton:

```
EATON
```

ATTENTION: les deuxième et troisième vecteurs du fichier des données hydrométéorologiques (.DHM) donnent les répertoires où se trouvent les fichiers des données météorologiques (.MET) et des données des données hydrométriques (.DEB). Les répertoires contenus dans ces fichiers peuvent différer de ceux où les fichiers se trouvent réellement.

À la deuxième question:

```
Donnez le nom du fichier des résultats avec le répertoire
(répertoire plus maximum 8 lettres sans extension ni point 3
fichiers seront créés:
Le fichier "REP\NOM".HM : données hydro-méteo non comblées
Le fichier "REP\NOM".HMN : nombre de données disponibles
Le fichier "REP\NOM".ERH : fichier des erreurs.
```

L'utilisateur doit donner le nom qu'il désire. Normalement, on utilise un nom qui identifie la rivière et les années pour lesquelles le fichier est préparé. Dans cet exemple les données de la rivière Eaton sont préparées pour les années 1972 à 1975 on peut donner le nom :

```
EAT7275
```

À la fin, s'il n'y a pas d'erreur, le programme, écrit:

```
Préparation des données
hydrométéorologiques (partie 1) réussie.
```

Les fichiers EAT7275.HM, EAT7275.HMN et EAT7275.ERH seront créés.

Si une erreur est détectée par le programme, le message suivant est écrit:

```
Les données hydrométéorologiques (partie 1)
sont incorrectes. Consultez le fichier (____.ERH).
```

2.3.4 Le programme de préparation de données HYMET2

Le programme HYMET2 est utilisé pour compléter, si nécessaire, les données météorologiques préparées avec le programme HYMET1 et calculer les moyennes mensuelles et annuelles des données météorologiques et hydrométriques. Pour faire exécuter le programme avec les données de la rivière Eaton, les opérations suivantes sont nécessaires:

On lance le programme:

```
HYMET2
```

À la première question de HYMET2:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni
point) des données Hydro-Météo non comblées (____.HM ).
3 fichiers seront créés:
```

```
Le fichier "REP\NOM".HMC : Données Hydro-Météo Comblées
Le fichier "REP\NOM".HMM : Moyennes mensuelles des données
météorologiques et hydrométriques
Le fichier "REP\NOM".ERH : Fichier des erreurs
```

```
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EAT7275
```

On donne le nom du fichier créé avec le programme HYMET1:

```
EAT7275
```

À la fin, s'il n'y a pas d'erreur, le programme écrit:

```
Préparation des données  
hydrométéorologiques (partie 2) réussie
```

Les fichiers EAT7275.HMC, EAT7275.HMM et EAT7275.ERH seront créés.

Si une erreur est détectée par le programme, le message suivant est écrit:

```
Les données hydrométéorologiques (partie 2)  
sont incorrectes. Consultez le fichier (_____.ERH).
```

2.3.5 Le programme de préparation des données de qualité QUAL1

Ce programme est utilisé pour créer le fichier des données de qualité (extension .QUA).

Pour exécuter le programme à l'aide des données de la rivière Eaton, les opérations suivantes sont nécessaires:

On lance le programme:

```
QUAL1
```

À la première question de QUAL1:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni  
point) des vecteurs données de qualité (.DQ)  
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON  
  
EATON
```

on donne le nom du fichier préparé pour la rivière Eaton:

```
EATON
```

ATTENTION: le deuxième vecteur du fichier des stations de qualité (.DQ) donne le répertoire où se trouve les fichiers contenant les données de qualité de l'eau en rivière (.TEO .SSO .ODO .DBO .SDO). Le répertoire contenu dans ce fichier peut différer de celui où les fichiers se trouvent réellement.

Le fichier EATON.QUA sera créé.

À la fin, s'il n'y a pas d'erreur, le programme écrit:

```
Préparation des données de qualité réussie.
```

Si une erreur est détectée par le programme, le message suivant est écrit:

```
Les données de qualité sont incorrectes.  
Consultez le fichier (____.ERQ).
```

2.3.6 Le programme de simulation CEQUEAU

Pour obtenir une simulation des débits de la rivière Eaton les opérations suivantes sont nécessaires:

On lance le programme:

```
CEQUEAU
```

À la première question de CEQUEAU:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni  
point) des vecteurs options et paramètres (__.PAH )  
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EATON
```

on donne le nom du fichier préparé pour la rivière Eaton:

```
EATON
```

À la deuxième question:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni  
point des données physiographiques-bassin-rivière (____.PBR )  
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EATON
```

On donne le nom du fichier préparé avec le programme PHYCECP:

```
EATON
```

À la troisième question:

Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni point des données hydro-météo (____.HMC)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON

EAT7275

On donne le nom du fichier préparé avec le programme HYMET2

EAT7275

À la quatrième question:

Donnez le nom du fichier des résultats avec le répertoire (Répertoire plus maximum 8 lettres sans extension ni point)
Selon les options 5 à 7 fichiers seront créés:
1er "REP\NOM".SIM : Fichier des résultats généraux
2ième "REP\NOM".DJO : Fichier des données journalières
3ième "REP\NOM".DME : Fichier des données mensuelles
4ième "REP\NOM".DSP : Fichier des données spatiales
5ième "REP\NOM".DFI : Fichier des données des stations fictives (option)
6ième "REP\NOM".TPF : Fichier des temp. pluie et fonte sur le B.V. (option)
7ième "REP\NOM".ERS : Fichier des erreurs

L'utilisateur donne le nom qu'il désire. Normalement, on utilise un nom qui identifie la rivière et un code pour identifier la simulation, par exemple 1 ,2 etc....:

EATON1

Les fichiers EATON1.SIM, EATON1.DJO, EATON1.DME, EATON1.DSP et EATON1.ERS ont été créés. Selon les options choisies dans le fichier EATON.PAH les fichiers EATON1.DFI et EATON1.TPF seront créés. Ces fichiers seront utilisés pour analyser les résultats de la simulation ou pour garder des résultats intermédiaires.

À la fin, s'il n'y a pas d'erreur, le programme écrit:

Simulation de quantité réussie

Si une erreur est détectée par le programme, le message suivant est écrit:

Les données de simulation sont incorrectes.
Consultez le fichier (_____.ERS)

2.3.7 Le programme de simulation CEQUEAUQ

Pour obtenir une simulation de la qualité de l'eau de la rivière Eaton les opérations suivantes sont nécessaires:

On lance le programme:

```
CEQUEAUQ
```

À la première question de CEQUEAUQ:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni
point) des vecteurs options et paramètres (__.PAH )
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EATON
```

on donne le nom du fichier préparé pour la rivière Eaton:

```
EATON
```

À la deuxième question:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni
point) des données physiographiques-bassin-rivière (__.PBR )
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EATON
```

On donne le nom du fichier préparé avec le programme PHYCECP:

```
EATON
```

À la troisième question:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni
point) des données hydro-météo (__.HMC )
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EAT7275
```

On donne le nom du fichier préparé avec le programme HYMET2

```
EAT7275
```

À la quatrième question:

Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni point des données de qualité (__.QUA)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON

EATON

On donne le nom du fichier préparé avec le programme QUAL1

EATON

À la cinquième question:

Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni point) des vecteurs options et paramètres de qualité (__.PAQ)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON

EATON

on donne le nom du fichier préparé pour la rivière Eaton:

EATON

À la sixième question:

Donnez le nom du fichier des résultats avec le répertoire (Répertoire plus maximum 8 lettres sans extension ni point)
Selon les options l'un ou l'autre des fichiers suivant seront créés:

- 1er "REP\NOM".SIM : Fichier des résultats généraux
- 2ième "REP\NOM".DJO : Fichier des données journalières
- 3ième "REP\NOM".DME : Fichier des données mensuelles
- 4ième "REP\NOM".DSP : Fichier des données spatiales
- 5ième "REP\NOM".DFI : Fichier des données des stations fictives (option)
- 6ième "REP\NOM".TPF : Fichier des temp. pluie et fonte sur le B.V. (option)
- 7ième "REP\NOM".ERS : Fichier des erreurs
- 8ième "REP\NOM".TEC : Fichier des températures de l'eau
- 9ième "REP\NOM".SSC : Fichier des solides en suspensions
- 10ième "REP\NOM".ODC : Fichier de l'oxygène dissous
- 11ième "REP\NOM".DBC : Fichier de la demande biochimique en oxygène
- 12ième "REP\NOM".SDC : Fichier des solides dissous

L'utilisateur donne le nom qu'il désire. Normalement, on utilise un nom qui identifie la rivière et un code pour identifier la simulation, par exemple 1 ,2 etc...:

```
EATONQ1
```

Les fichiers EATONQ1.SIM et EATONQ1.ERS seront créés. Dépendant des options choisies dans le fichier EATON.PAH et EATON.PAQ les fichiers EATONQ1.DFI, EATONQ1.DME, EATONQ1.DSP, EATONQ1.TPF, EATONQ1.TEC, EATONQ1.SSC, EATONQ1.ODC, EATONQ1.DBC et EATONQ1.SSC seront créés. Ces fichiers sont utilisés pour analyser les résultats de la simulation ou pour garder des résultats intermédiaires.

À la fin, s'il n'y a pas d'erreur, le programme écrit:

```
Simulation de qualité réussie
```

Si une erreur est détectée par le programme, le message suivant est écrit:

```
Les données de simulation sont incorrectes.  
Consultez le fichier (_____.ERS)
```

2.3.8 Le programme de graphiques GRACEQ

Le programme GRACEQ permet de tracer à l'écran différents graphiques montrant les résultats des simulations. Pour imprimer les graphiques, on utilisera la touche *PrintScreen*. Pour ce faire, vous devrez cependant appeler la commande GRAPHICS du DOS avant de lancer GRACEQ. La syntaxe de cette commande permet de spécifier le type d'imprimante en appelant GRAPHICS suivi du nom de l'imprimante. Pour plus de détails sur la commande GRAPHICS ou pour connaître les imprimantes supportées par votre système, consultez le manuel de l'environnement DOS. Le programme GRACEQ est exécuté de la façon suivante:

On lance le programme:

```
GRACEQ
```

On appui sur la touche *Entrée* pour passer l'écran d'introduction.

On répond aux questions pour choisir le nom de l'essai que l'on veut utiliser, soit EATON1.

Pour chacune des stations hydrométriques disponibles sur le bassin versant étudié, le programme permet d'afficher six graphiques différents montrant les débits observés et calculés:

- Hydrogrammes des débits journaliers.
- Dispersion des débits moyens mensuels.
- Histogramme des débits moyens mensuels.
- Dispersion des débits journaliers maximum mensuels.
- Histogramme des débits journaliers maximum mensuels.
- Fréquences des débits journaliers classés.

2.3.9 Le programme de graphiques BVCEQ

Ce programme permet d'afficher à l'écran les données spatiales provenant des simulations. Pour l'exemple de la rivière EATON, le programme est exécuté de la façon suivante:

On lance le programme:

```
BVCEQ
```

On appui sur la touche *Entrée* pour passer l'écran d'introduction.

On répond aux questions pour choisir le nom de l'essai que l'on veut utiliser, soit EATON1.

Le programme permet d'afficher, pour chacun des carreaux entiers du bassin versant principal et des sous-bassins comptant une station hydrométrique:

- les numéros de références des carreaux;
- l'altitude moyenne;
- le pourcentage de lac et marais;
- le pourcentage de forêt.

GRACEQ montre également la position des stations météorologiques utilisées.

Pour chacune des dates demandées vous pouvez également obtenir, pour chacun des carreaux entiers du bassin versant principal et des sous-bassins comptant une station hydrométrique:

- La quantité de neige au sol en équivalent d'eau (mm).
- Le niveau d'eau (mm) dans le réservoir SOL.
- Le niveau d'eau (mm) dans le réservoir NAPPE.
- La précipitation journalière (mm).

- La fonte journalière (mm)
- La température moyenne (°C)
- L'évaporation moyenne (mm)

2.3.10 Le programme de graphiques TPFCEQ

Le programme TPFCEQ permet d'afficher à l'écran la température de l'air, la pluie et la fonte moyenne sur chacun des sous-bassins avec une station hydrométrique. Ce programme utilise le fichier des températures, pluies et fontes (extension TPF) qui est créé lorsqu'on le demande à l'aide des options du modèle. Le programme est exécuté de la façon suivante:

On lance le programme:

```
TPFCEQ
```

On appui sur la touche *Entrée* pour passer l'écran d'introduction

On répond aux questions pour choisir le nom de l'essai que l'on veut utiliser soit, EATON1.

2.3.11 Le programme CEQUEOPT

Le programme CEQUEOPT est utilisé pour déterminer les paramètres d'ajustement du modèle CEQUEAU de façon à minimiser les différences entre les débits observés et calculés. Le fonctionnement du programme est décrit à la section suivante. Pour l'exemple de la rivière EATON, il est exécuté de la façon suivante:

On lance le programme d'optimisation des paramètres:

```
CEQUEOPT
```

À la première question:

```
Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni  
point )  
des vecteurs options et paramètres d'optimisation (__.PAO )  
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON
```

```
EATON
```

On donne le nom du fichier des paramètres d'optimisation pour la rivière Eaton:

EATON

À la deuxième question:

Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni point)
des données physiographiques-bassin-rivière (__.PBR)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON

EATON

On donne le nom du fichier des données physiographiques de la rivière Eaton:

EATON

À la troisième question:

Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni point)
des données hydro-météo (__.HMC)
Fichier disponible dans le répertoire courant: D:\CEQDOS\EATON

EAT7275

On donne le nom du fichier des données hydro-météo de la rivière Eaton :

EAT7275

À la quatrième question:

Donner le répertoire et le nom du fichier (sans extension ni point)
des données météo temporaires (__.MTT)

On donne le nom du fichier de météo temporaires. L'utilisateur donne le nom qu'il désire, ce fichier sera détruit à la fin de l'exécution (si on a un disque virtuel on peut mettre le fichier sur ce disque afin d'accélérer le temps d'exécution):

METEOTT

À la cinquième question:

Donnez le nom du fichier des résultats avec le répertoire
(Répertoire plus maximum 8 lettres sans extension ni point)

Les fichiers suivants seront créés:

1er "REP\NOM".SIO : Fichier des résultats généraux

2ième "REP\NOM".ERS : Fichier des erreurs

L'utilisateur donne le nom qu'il désire. Normalement, on utilise un nom qui identifie la rivière et un code pour identifier la simulation, par exemple 1 ,2 etc...:

EATOPT1

À la fin, s'il n'y a pas d'erreur, le programme écrit:

Optimisation réussie

Si une erreur est détectée par le programme, le message suivant est écrit:

Les calculs de l'optimisation sont incorrects.

Consultez le fichier (_____.ERS)

3

OPTIMISATION

L'application du modèle CEQUEAU sur un bassin versant nécessite l'ajustement des paramètres afin que le modèle reproduise le mieux possible les débits observés. Avec le programme CEQUEAU, l'ajustement se fait par essais et erreurs. On modifie les paramètres pour une simulation et on analyse ensuite les résultats. Si les résultats ne sont pas satisfaisants, on détermine le sens dans lequel l'on doit continuer à modifier les paramètres pour la prochaine simulation.

Le programme CEQUEOPT permet de trouver par optimisation la valeur de quelques paramètres du modèle, en maximisant ou minimisant une fonction objective afin de reproduire les débits observés avec un minimum d'erreur.

3.1 Le programme d'optimisation

L'algorithme d'optimisation (BOTM) est basé sur la méthode de M.J.D. Powell^[1]. Le programme principal et un exposé de la méthode sont donnés dans *Optimization Techniques with Fortran*^[2]. Le programme permet d'optimiser simultanément vingt et un (21) paramètres choisis parmi vingt-huit (28) (voir Tableau 1). L'optimisation est faite avec une fonction objective choisie parmi quatre méthodes de calcul permettant une estimation de la précision des simulations. Le programme lit d'abord les paramètres pour l'optimisation suivis des paramètres du modèle CEQUEAU (extension PAO). Les données météorologiques et hydrométriques sont lues une première fois sur un fichier du même type que celui préparé pour le modèle CEQUEAU (extension HMC). Ces données sont ensuite écrites sur un fichier temporaire. Il est recommandé d'utiliser un disque virtuel pour l'écriture du fichier temporaire, afin d'accélérer le traitement d'optimisation.

3.2 Optimisation avec ou sans contrainte

L'algorithme d'optimisation BOTM permet une optimisation sans contrainte. Ainsi, les paramètres peuvent prendre n'importe quelles valeurs en autant qu'elles contribuent à minimiser la fonction objective. Deux cas peuvent se produire.

Dans le premier cas, les paramètres optimisés prennent des valeurs débordant de leur domaine. Par exemple, le coefficient de vidange du réservoir sol intermédiaire (CVSI) doit avoir une valeur entre 0.0 et 1.0. Si le programme d'optimisation fait un essai en utilisant une valeur en dehors de ces limites, la fonction objective est modifiée afin que le programme rejette cet essai.

Le deuxième cas se produit lorsque les paramètres prennent des valeurs qui n'ont pas de sens physique. Prenons par exemple le seuil de température de fonte de la neige en clairière (TSD). En optimisant, le programme cherche la valeur de TSD qui minimise la fonction objective, même si la valeur de TSD n'a aucun sens physique. Le résultat obtenu permet de simuler les débits avec un minimum d'erreur sur la période de calibration. Cependant, sur d'autres périodes, les résultats peuvent être très différents. C'est pourquoi, lorsque les paramètres optimisés ont des valeurs qui n'ont pas de sens physique, il est nécessaire d'intervenir dans l'optimisation pour leur imposer des limites.

L'algorithme BOTM ne permettant pas une optimisation avec contrainte, on peut quand même limiter la variation des paramètres hydrométéorologiques en modifiant la fonction objective. On peut également procéder à l'optimisation de façon normale pour ensuite, si nécessaire, imposer une valeur aux paramètres qui ne sont pas dans les limites que l'on s'est fixées. On reprend alors l'optimisation avec les paramètres qui sont demeurés dans les limites.

Si l'on désire optimiser avec contrainte, on doit modifier la fonction objective si un ou plusieurs paramètres prennent des valeurs hors limites. Dans ce cas, on donne une valeur plus grande que zéro à la variable COFOOB sur le vecteur OPTIMIS1, et on donne sur les vecteurs PAROPTxx, les valeurs minimum et maximum que l'on désire imposer aux paramètres à optimiser. La section suivante montre de quelle façon la fonction objective est modifiée. Cette méthode peut cependant entraîner des problèmes de convergence.

3.3 Fonction objective

Le programme cherche à établir la valeur des paramètres en minimisant les erreurs de simulation à l'aide d'une fonction objective. On peut choisir la fonction objective que l'on désire utiliser à l'aide de la variable NOFOB lue sur le vecteur OPTIMIS1.

3.3.1 Somme des carrées des différences (NOFOB = 1)

La fonction à minimiser est obtenue en calculant la somme des carrées des différences entre les débits journaliers observés et calculés pour toute la période de simulation, soit:

$$F = \sum_{n=1}^{NNE} \sum_{i=1}^{365} (QO_{ni} - QC_{ni})^2 \quad (1)$$

où:

QO_{ni} : débits observés de l'année n et du jour i;

QC_{ni} : débits calculés de l'année n et du jour i;

NNE : nombre d'années simulées.

Si la variable COFOOB lue sur le vecteur OPTIMIS1 est supérieure à zéro, la fonction objective est modifiée si la valeur des paramètres optimisés dépasse les limites que l'on a fixées sur les vecteurs PAROPTxx. La modification est faite de la façon suivante:

$$F^* = F + \sum_{k=1}^{NBP\text{AR}} \text{MAX} [(COFOOB (XMIN_k - X_k), 0.0] \\ + \sum_{k=1}^{NBP\text{AR}} \text{MAX} [(COFOOB (X_k - XMAX_k), 0.0] \quad (2)$$

où:

F^* : fonction objective modifiée;

$COFOOB$: paramètre de correction de la fonction objective. Ce paramètre est lu sur le vecteur OPTIMIS1;

$XMIN_k$: valeur minimum du paramètre lue sur le vecteur PAROPTxx;

X_k : valeur actuelle du paramètre optimisé;

$XMAX_k$: valeur maximum du paramètre lue sur le vecteur PAROPTxx.

Note: La valeur à donner au paramètre COFOOB dépend de la grandeur de la fonction F. Si COFOOB n'est pas assez grand, la valeur finale du paramètre peut quand même être en dehors des limites imposées.

L'utilisation de COFOOB peut entraîner des problèmes de convergence. On peut alors diminuer la valeur de COFOOB ou ne pas optimiser le paramètre qui nuit à la convergence.

3.3.2 Critère NTD (NOFOB = 2)

La fonction à maximiser est obtenue en calculant le critère NTD à partir des débits observés et calculés pour toute la période de simulation. Le critère NTD a été proposé par Nash et Sutcliffe^[3] et retenu par l'Organisation Météorologique Mondiale pour l'intercomparaison des modèles hydrologique^[4].

$$F = 1 - \frac{\sum_{n=1}^{NNE} \sum_{i=1}^{365} (QO_{ni} - QC_{ni})^2}{\sum_{n=1}^{NNE} \sum_{i=1}^{365} (QO_{ni} - \overline{QO})^2} \quad (3)$$

où:

\overline{QO} : moyenne des débits observés

Le critère NTD varie de $-\infty$ à +1. La simulation est considéré parfaite pour NTD = 1. Un NTD négatif indique qu'il est préférable d'utiliser la moyenne à long terme \overline{QO} . Le programme BOTM minimisant la fonction objective, on doit utiliser -F pour trouver la valeur optimale des paramètres.

Si le paramètre COFOOB lu sur le vecteur OPTIMIS1 est supérieur à zéro et que la valeur des paramètres optimisés dépasse les limites que l'on a fixées sur les vecteurs PAROPTxx, la fonction objective est modifiée. La modification est faite de la façon suivante:

$$F^* = F + \sum_{k=1}^{NBPAP} \text{MAX} [(COFOOB (XMIN_k - X_k), 0.0] \\ + \sum_{k=1}^{NBPAP} \text{MAX} [(COFOOB (X_k - XMAX_k), 0.0] \quad (4)$$

où:

- F^* : fonction objective modifiée;
- $COFOOB$: paramètre de correction de la fonction objective. Ce paramètre est lu sur le vecteur OPTIMIS1;
- $XMIN_k$: valeur minimum du paramètre lue sur le vecteur PAROPTxx;
- X_k : valeur actuelle du paramètre optimisé;
- $XMAX_k$: valeur maximum du paramètre lue sur le vecteur PAROPTxx.

Note: La valeur de la fonction F étant généralement entre 0.0 et 1. La valeur à donner à COFOOB est d'environ 10.

L'utilisation de COFOOB peut entraîner des problème de convergence. On peut alors, soit diminuer la valeur de COFOOB, où ne pas optimiser le paramètre qui nuit à la convergence.

3.3.3 Somme des différences absolues (NOFOB = 3)

La fonction à minimiser est obtenue en calculant la somme des différences absolues entre les débits observés et calculés pour toute la période de simulation soit:

$$F = \sum_{n=1}^{NNE} \sum_{i=1}^{365} | (QO_{ni} - QC_{ni}) | \quad (5)$$

Si le paramètre COFOOB lu sur le vecteur OPTIMIS1 est supérieur à zéro et que la valeur des paramètres optimisés dépasse les limites que l'on a fixées sur les vecteurs PAROPTxx, la fonction objective est modifiée. La modification est faite de la façon suivante:

$$F^* = F + \sum_{k=1}^{NBP\text{AR}} \text{MAX} [(COFOOB (XMIN_k - X_k), 0.0] \\ + \sum_{k=1}^{NBP\text{AR}} \text{MAX} [(COFOOB (X_k - XMAX_k), 0.0] \quad (6)$$

où:

- F^* : fonction objective modifiée;
- $COFOOB$: paramètre de correction de la fonction objective. Ce paramètre est lu sur le vecteur OPTIMIS1;
- $XMIN_k$: valeur minimum du paramètre lue sur le vecteur PAROPTxx;
- X_k : valeur actuelle du paramètre optimisé;
- $XMAX_k$: valeur maximum du paramètre lue sur le vecteur PAROPTxx.

Note: La valeur à donner à la variable COFOOB dépend de la grandeur de la fonction F. Si COFOOB n'est pas assez grand, la valeur finale du paramètre peut être en dehors des limites imposées.

L'utilisation de COFOOB peut entraîner des problèmes de convergence. On peut alors, soit diminuer la valeur de COFOOB, soit ne pas optimiser le paramètre qui nuit à la convergence.

3.3.4 Critère NS (NOFOB = 4)

La fonction à maximiser est obtenue en calculant le critère NS à partir des débits observés et calculés pour toute la période de simulation. Le critère NS a été retenu par l'Organisation Météorologique Mondiale pour l'intercomparaison des modèles hydrologique^[4]. **Ce critère peut être utilisé que si on simule plus d'un an.**

$$F = 1 - \frac{\sum_{n=1}^{NNE} \sum_{i=1}^{365} (QO_{ni} - QC_{ni})^2}{\sum_{n=1}^{NNE} \sum_{i=1}^{365} (QO_{ni} - \overline{QO}_i)^2} \quad (7)$$

où:

\overline{QO}_i : moyenne du jour i des débits observés

Le critère NS varie de $-\infty$ à +1. Nous avons une simulation parfaite pour NS = 1. Un NS négatif indique qu'il est préférable d'utiliser la moyenne journalière \overline{QO}_i . Le programme BOTM minimisant la fonction objective on doit utiliser -F pour trouver la valeur optimale des paramètres.

Si le paramètre COFOOB lu sur le vecteur OPTIMIS1 est supérieur à zéro et que la valeur des paramètres optimisés dépasse les limites que l'on a fixées sur les vecteurs PAROPTxx, la fonction objective est modifiée. La modification est faite de la façon suivante:

$$F^* = F + \sum_{k=1}^{NBP\text{AR}} \text{MAX} [(\text{COFOOB} (X\text{MIN}_k - X_k), 0.0] \\ + \sum_{k=1}^{NBP\text{AR}} \text{MAX} [(\text{COFOOB} (X_k - X\text{MAX}_k), 0.0] \quad (8)$$

où:

- F^* : Fonction objective modifiée;
- COFOOB : paramètre de correction de la fonction objective. Ce paramètre est lu sur le vecteur OPTIMIS1;
- $X\text{MIN}_k$: valeur minimum du paramètre lue sur le vecteur PAROPTxx;
- X_k : valeur actuelle du paramètre optimisé;
- $X\text{MAX}_k$: valeur maximum du paramètre lue sur le vecteur PAROPTxx.

Note: La valeur de la fonction F étant généralement entre 0.0 et 1. La valeur à donner à COFOOB est d'environ 10.

L'utilisation de COFOOB peut entraîner des problèmes de convergence. On peut alors, soit diminuer la valeur de COFOOB, soit ne pas optimiser le paramètre qui nuit à la convergence.

3.4 Vecteurs de données

La mise en opération du programme CEQUEOPT nécessite la lecture de deux vecteurs obligatoires, suivis d'un certain nombre de vecteurs induits et finalement des vecteurs des paramètres du modèle CEQUEAU.

Tous les vecteurs comportent un mot-clé de dix caractères au maximum, introduit sur les dix premières colonnes et justifié à gauche. Seuls les huit premiers caractères sont vérifiés par le programme. Les 70 colonnes restantes sont utilisées pour introduire les données nécessaires à l'optimisation.

Le premier vecteur lu par le programme d'optimisation a pour mot-clé OPTIMIS1. Ce vecteur est obligatoire et donne les informations générales relatives à l'optimisation que l'on veut effectuer. Le Tableau 2 donne le format de lecture et la description des variables lues.

Le vecteur OPTIMIS2, deuxième vecteur obligatoire, donne le numéro des paramètres à optimiser tel que donnés au Tableau 1. Ce deuxième vecteur est suivi de NBPARG vecteurs induits, où NBPARG est le nombre de paramètres que l'on désire optimiser. Ces vecteurs induits ont pour mot-clé PAROPTxx, où xx est le numéro du paramètre. Les vecteurs induits donnent les informations pour chaque paramètre que l'on veut optimiser. Le tableau 3 donne le format de lecture et la description des variables lues sur le vecteur OPTIMIS2. Le format et la description des données lues sur les vecteurs induits sont donnés au Tableau 4.

Les vecteurs induits PAROPTxx sont suivis des vecteurs du modèle CEQUEAU. L'ordre de ces vecteurs et la description des variables lues sont donnés au Chapitre 5 et à l'annexe I du manuel de référence du modèle CEQUEAU.

Tous les vecteurs du modèle CEQUEAU peuvent être lus mais ils ne sont pas toujours pris en considération. Par exemple, on peut faire lire le vecteur CARTEPLUIE par le programme CEQUEOPT mais aucune donnée relative à la pluie ne sera imprimée ni conservée.

Le programme EPARG permet de préparer les vecteurs nécessaires pour faire fonctionner le programme d'optimisation. On exécute le programme, en faisant EPARG PAO.

3.5 Les messages d'avertissement et d'erreur

Le programme vérifie les vecteurs et les options utilisés par l'utilisateur et s'il y a erreur ou incompatibilité, un message est produit. Selon le cas, trois types de messages peuvent être produits:

- a) certaines options sont soit inconsistantes, soit d'usage très particulier. Le programme imprime un message d'avertissement "... ATTENTION etc ...", puis s'exécute normalement;
- b) certains vecteurs sont erronés. Le programme imprime un message et va tenter de poursuivre ses lectures, pour s'arrêter avant la phase de simulation proprement dite. Nous appellerons ce cas "erreur fatale en différé";
- c) les erreurs rencontrées sont trop graves ou se produisent lors de la simulation proprement dite. Le programme imprime un message et s'arrête aussitôt.

Dans chaque cas, le message imprimé indique la cause de l'erreur et donne, entre parenthèses, le nom du programme ou du sous-programme qui a détecté l'erreur et la section du manuel où l'on peut trouver des informations supplémentaires sur les causes de l'erreur.

Tous les messages proviennent du modèle CEQUEAU et sont expliqués à la Section 5.5 du Manuel de référence, sauf pour ce qui est des deux messages donnés ci-dessous.

3.6 Les erreurs entraînant un arrêt immédiat du programme

3.6.1 Erreur (dans CEQUEOPT) mauvais numéro de paramètre à optimiser

Ce message détecté dans le programme CEQUEOPT signifie qu'un mauvais numéro de paramètres à optimiser a été lu. Les numéros de paramètre qui peuvent être utilisés sont donnés au Tableau 1.

3.6.2 Erreur (dans CALCFX) mauvais numéro de paramètre à optimiser

Ce message détecté dans la sous-routine CALCFX signifie qu'un mauvais numéro de paramètre à optimiser a été lu. Les numéros de paramètre qui peuvent être utilisés sont donnés au Tableau 1.

3.7 Remarques

L'utilisation du programme CEQUEOPT est simple et permet d'obtenir rapidement les valeurs des paramètres qui minimisent les différences entre les débits observés et les débits calculés pour la période d'optimisation. Cependant, pour s'assurer que les valeurs des paramètres permettent aussi d'obtenir des résultats satisfaisants sur d'autres périodes, il est important de conserver une période qui sera utilisée pour la vérification.

Le programme modifie la valeur des paramètres pour minimiser les erreurs, même si la valeur des paramètres n'a pas de sens physique. Par exemple, prenons le cas hypothétique où l'on optimise le taux de fonte en forêt (TFC). On s'attend à trouver une valeur positive alors que le programme peut converger vers une valeur négative si les erreurs de simulation diminuent. Dans ce cas, il est évident que les résultats n'ont pas de sens et que le programme "corrige" des erreurs sur les données d'entrée ou des erreurs

sur les valeurs utilisées pour les autres paramètres. On doit, dans ce cas, soit trouver la cause de l'erreur et reprendre l'optimisation, soit assigner une valeur qui a un sens physique au paramètre. Même si tous les paramètres n'ont pas une limite physique aussi facile à déterminer, il est important de s'interroger sur la valeur obtenue pour chaque paramètre optimisé.

Tableau 3.1 Liste des paramètres que l'on peut optimiser

No.	Nom	Description
1	STRNE	Seuil de transformation pluie-neige (°C).
2	TFC	Taux potentiel de fonte en forêt (mm/°C/jour).
3	TFD	Taux potentiel de fonte en clairière (mm/°C/jour).
4	TSC	Seuil de température de fonte en forêt (°C).
5	TSD	Seuil de température de fonte en clairière (°C).
6	TTD	Coefficient de déficit calorifique. L'optimisation de ce paramètre provoque l'arrêt du programme parce qu'il ne modifie pas suffisamment la fonction objective.
7	TTS	Température du mûrissement du stock de neige (°C).
8	CIN	Coefficient d'infiltration dans le réservoir NAPPE. Le coefficient doit être le même pour tous les carreaux entiers.
9	CVMAR	Coefficient de vidange du réservoir LACS et MARAIS.
10	CVNB	Coefficient de vidange basse du réservoir NAPPE.
11	CVNH	Coefficient de vidange haute du réservoir NAPPE.
12	CVSB	Coefficient de vidange basse du réservoir SOL.
13	CVSI	Coefficient de vidange intermédiaire du réservoir SOL.
14	XINFMA	Infiltration maximale (mm/jour).
15	HINF	Seuil d'infiltration du réservoir SOL vers le réservoir NAPPE (mm).
16	HINT	Seuil de vidange intermédiaire du réservoir SOL (mm).
17	HMAR	Seuil de vidange du réservoir LACS et MARAIS (mm).
18	HNAP	Seuil de vidange supérieure du réservoir NAPPE (mm).
19	HPOT	Seuil de prélèvement de l'eau à taux potentiel, par évapotranspiration (mm).
20	HSOL	Hauteur du réservoir SOL (mm).

21	HRIMP	Lame d'eau nécessaire pour que débute le ruissellement sur les surfaces imperméables (mm).
22	COEP	Coefficient de correction des précipitations annuelles en fonction de l'altitude (mm/mètre/an). Pour optimiser ce paramètre les vecteurs CORPREC (voir manuel de référence du modèle CEQUEAU section 5.4.3 et Annexe I.3.8) ne doivent pas être utilisées.
23	EVNAP	Fraction de l'évapotranspiration prise dans le réservoir NAPPE (de 0.0 à 1.0).
24	TRI	Fraction de surface imperméable des carreaux entiers (de 0.0 à 1.0). La fraction doit être la même pour tous les carreaux.
25	XAA	Exposant de la formule de Thornthwaite.
26	XIT	Valeur de l'index thermique de Thornthwaite.
27	COET	Correction des températures en fonction de l'altitude (°C/1 000 m).
28	EXXKT	Paramètre d'ajustement des coefficients de transfert d'un carreau partiel à l'autre, pour le pas de temps d'une journée.

Tableau 3.2 Vecteur obligatoire OPTIMIS1.

1	10	15	20	25	30	35	40	45	55	65	80
OPTIMIS1	NOFOB	NOSTOP	NOSTO2	IPRINT	IPTOT	NBSIM	MAXIT	ESCALE	COFOOB		
A10	I5	I5	I5	I5	I5	I5	I5	F10.2	F10.2		

<u>Variable</u>	<u>Colonnes</u>	<u>Signification</u>
NOFOB	11-15	Code pour le choix de la fonction objective: 1 = somme des carrées des différences; 2 = critère NTD; 3 = somme des différences absolues; 4 = critère NS;
NOSTOP	16-20	Numéro de station à optimiser. NOSTOP doit être compris entre 1 et NBSH (nombre de stations hydrométriques réelles. Voir NBSTAT(3) de l'annexe F.1 du manuel de références du modèle CEQUEAU);
NOSTO2	21-25	Numéro de la deuxième station hydrométrique à optimiser. NOSTOP2 doit être compris entre 0 et NBSH (nombre de stations hydrométriques réelles). Si NOSTOP2 > 0 le programme tient compte des données des stations NOSTOP et NOSTOP2 pour l'optimisation. Si NOSTOP2 = 0 le programme utilise les données de la station NOSTOP seulement.
IPRINT	26-30	Code d'impression des valeurs des paramètres et de la fonction objective après chaque recherche individuelle sur un paramètre ou après chaque itération seulement; 1 = impression après chaque paramètre; 2 = impression après chaque itération;
IPTOT	31-35	Code pour impression, après chaque simulation, de la fonction objective et des valeurs des paramètres; 0 = pas d'impression; 1 = impression;
NBSIM	36-40	Nombre maximum de simulations que l'on désire faire. Si le nombre maximum de simulations est atteint avant que l'optimisation soit terminée le programme est arrêté;
MAXIT	41-45	Nombre maximum d'itérations que l'on désire faire. Une itération est une séquence complète de recherche individuelle sur les NBPARG paramètres;

ESCALE	46-55	<p>Facteur pour augmenter le pas de la recherche de l'optimum individuel des paramètres. Pour une simulation la valeur d'un paramètre sera augmentée au maximum de DELTA où:</p> $\text{DELTA} = \text{ESCALE} * E(I)$ <p>$E(I)$ = limite de convergence imposée au paramètre tel que fixé sur le vecteur PAROPTxx.</p>
COFOOB	56-65	<p>Coefficient permettant la modification de la fonction objective pour introduire une contrainte aux paramètres à optimiser. Ce coefficient permet d'augmenter la fonction objective si la valeur d'un paramètre dépasse sa limite inférieure (XMIN) ou sa limite supérieure (XMAX) telles que fixées sur les vecteurs PAROPTxx.</p>

Tableau 3.3 Vecteur obligatoire OPTIMIS2.

1	10	13	16	19	22	25	
OPTIMIS2	NOOPT(I)						
A10	I3	I3	I3	I3	I3	I3	

VariablesColonnesSignification

NOOPT(I)

11-13

Numéro du paramètre que l'on désire optimiser.

Voir tableau 1 pour la liste des paramètres que l'on peut optimiser.

I = 1 à 21

14-16

etc.

Tableau 3.4 Vecteur induit PAROPTxx

1	10	15	25	35	45	55	65	80
PAROPTxx	NUMOP	PNOM	XMIN	X	XMAX	E		
A10	I5	A10	F10.4	F10.4	F10.4	F10.4		

Ces vecteurs contiennent les informations relatives aux paramètres à optimiser, xx est le numéro du paramètre il est compris entre 1 et 28. Il doit y avoir NBPARG vecteurs et ils doivent être introduits immédiatement après le vecteur OPTIMIS2 et avant le vecteur SIMULATION. L'ordre des vecteurs impose l'ordre d'optimisation des paramètres.

<u>Variable</u>	<u>Colonnes</u>	<u>Signification</u>
NUMOP	11-15	Numéro du paramètre à optimiser NUMOP doit être compris entre 1 et 28. Les paramètres que l'on peut optimiser sont listés au tableau 1; -
PNMO	16-25	Nom du paramètre que l'on désire optimiser. Le nom et le numéro du paramètre doivent correspondre tel qu'indiqué au tableau 1, sinon un message d'erreur est imprimé et le programme s'arrête.
XMIN	26-35	Limite inférieure que l'on désire imposer au paramètre. Le programme d'optimisation trouve normalement la valeur optimale du paramètre. Si la valeur trouvée est inférieure à XMIN et que le coefficient COFOOB de le vecteur OPTIMIS1 est supérieur à zéro la fonction objective est augmentée pour forcer le programme à revenir à une valeur supérieure à XMIN. Si le coefficient COFOOB est égal à zéro XMIN est ignoré.
X	36-45	Valeur de départ du paramètre à optimiser. L'essai de plusieurs valeurs de départ peut être nécessaire pour trouver l'optimum réel.
XMAX	46-55	Limite supérieure que l'on désire imposer au paramètre. Voir XMIN ci-dessus.
E	56-65	Limite de convergence du paramètre. La convergence utilisée est E. Le pas maximum pour la recherche individuelle de la valeur optimal d'un paramètre sera de ESCALE * E. La valeur de ESCALE est lue sur le vecteur OPTIMIS1 et est la même pour tous les paramètres.

RÉFÉRENCES

- [1] POWELL, M.J.D. (1964). An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. *Computer j.*, 7, 155-162.
- [2] KUESTER, J.L., MIZE, J.H. (1973). *Optimisation Techniques with Fortran*. McGRAW-HILL BOOK COMPANY.
- [3] NASH, J.E. and SUTCLIFFE, J.V. (1970). Riverflow forecasting through conceptual model. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
- [4] WMO (1986). Intercomparison of models of snowmelt runoff, Operational Hydrology Report No 23 WMO-No 646. Secretariat of World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.