

**ADAPTATION ET AMELIORATION DU LOGICIEL
D'AIDE A LA PRISE DE DECISION DANS LA GESTION
DURABLE DES RETENUES D'EAU : GESTRET**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER SPECIALISE EN GESTION INTEGREE DES
RESSOURCES EN EAU**

Présenté et soutenu publiquement le 29 septembre 2010 par

Hamado OUEDRAOGO

Travaux dirigés par : Dr. Eric Seydou TRAORE
Enseignant, Chercheur
UTER Mathématiques et informatiques

Jury d'évaluation du stage :

Président : CORENTIN SOME, 2iE, Dr

Membres et correcteurs : SINA THIAM
Eric Seydou TRAORE, 2iE, Dr

Promotion 2009/2010

REMERCIEMENTS

Au nom d'Allah, Le Tout Miséricordieux, Le Très Miséricordieux.

Toute la louange est à Dieu (exalté soit-il) qui par son immense miséricorde nous a permis d'être à ce niveau.

Je remercie ma mère et mon défunt père (Puisse Allah lui accorder son paradis) qui n'ont jamais manqué à leur devoir de parents.

Je tiens à remercier les premiers responsables du 2iE dont Le Directeur Général, Monsieur Paul GINES, qui ont su nous offrir de bonnes conditions de travail.

Je remercie Monsieur Eric Seydou TRAORE qui m'a accordé ce thème et a suivi et dirigé mon mémoire.

Je remercie Monsieur Amadou KEITA pour ces conseils dans l'orientation de ce travail

Je remercie Monsieur Adama BORO, étudiant en HSI, pour son aide dans la réalisation de ce travail

Mes remerciements vont également à l'endroit des enseignants qui n'ont fourni aucun effort pour transmettre les connaissances nécessaires à notre formation.

Je remercie également tous ceux qui de loin ou de près nous ont accompagné pendant cette formation, je pense à la DESA et particulièrement à ces différents responsables.

Je ne saurais terminer sans remercier mes frères et sœurs, particulièrement notre aîné pour le soutien dont ils ont fait preuve.

.

RESUME

Dans l'objectif d'apporter un outil en mesure d'accompagner les gestionnaires des ressources en eau dans la gestion de ces dernières le logiciel GESTRET a été développé au sein du 2iE entre 1998 et 2000. GESTRET un est logiciel qui d'une part offre une base de données sur les retenues d'eau et d'autre part permet de situer sur la disponibilité de la ressource.

Cependant, vu les difficultés rencontrées dans l'utilisation de ce dernier, le présent travail dont l'objectif principal est de fournir un outil d'aide à la gestion des retenues, a eu pour objectifs spécifiques d'apporter des réponses aux différentes insuffisances.

Il s'est effectué en plusieurs phases dont la première consiste en l'examen des éléments ayant conduit à la réalisation de cet outil. Ce sont essentiellement les données nécessaires à la gestion des retenues et l'utilisation qui est en faite dans le programme.

La seconde phase a conduit à l'examen de la structure de la base de données et des différentes procédures du programme. Cette étape a permis d'identifier les différents problèmes. Enfin la dernière phase a conduit au transfert de la base de données vers Microsoft Access et l'écriture de certaines procédures.

Ce travail a permis d'obtenir un logiciel permettant de mettre à jour les informations sur les retenues notamment grâce aux nouvelles fonctionnalités d'importation et d'exportation de données, et d'effectuer des simulations et des bilans. Il a également permis d'identifier des fonctionnalités qui pourraient être ajoutées telles que l'intégration des informations à référence à spatiale dans la base données, un module d'optimisation de l'utilisation de l'eau et la prise en compte des aspects sur la pollution. Ces fonctionnalités si toute fois elles sont ajoutées, rendront cet outil plus complet.

Mots Clés :

1 - Eau

2 - GESTRET

3 - Simulation

4 - Bilan

5 - Optimisation

ABSTRACT

In the objective to bring a measuring instrument to accompany the water resources managers, the software GESTRET was developed by the 2iE between 1998 and 2000. GESTRET is a software which on one hand offers a database on water reserves and on the other hand makes it possible to know about the availability of the resource.

However, considering the difficulties encountered in the use of this software, the present work whose main aim is to provide a tool of assistance to the management of reserves, had as specific objectives to bring answers to the various insufficiencies.

It was carried out in several phases of which the first consisting with the examination of the elements having permitted the realization of this software. They are primarily the data necessary to the management of reserves and their use that are made in the program.

The second phase led to the examination of the structure of the database and the various procedures of the program. This stage made it possible to identify the various problems. Finally the last phase led to the transfer of the database towards Microsoft Access and the writing of certain procedures.

This work has made it possible to obtain a software allowing the update of information on reserves and to carry out simulations and assessments. It also made it possible to identify some functionalities which could be added such as the integration of information with spacial reference into the database given, a module of optimization of the use of water and the taking into account of the aspects on pollution. These functionalities if added, they will make this software more complete.

Key words:

1 - Water

2 - GESTRET

3 - Simulation

4 - Assessment

5 - Optimization

LISTE DES ABREVIATIONS

GESTRET : GESTion des RETenues

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS	4
I. INTRODUCTION	7
II. OBJECTIF DU TRAVAIL	9
III. MATÉRIELS ET MÉTHODES	10
3.1 Matériels.....	10
3.2 Méthodes	10
3.2.1 Caractéristiques physiques de la retenue.....	11
3.2.1.1 Les courbes de capacités	11
3.2.1.2 Le déversoir.....	12
3.2.1.2 La prise d'eau	12
3.2.2 Les paramètres d'évolution de la retenue.....	12
3.2.2.1 Les besoins en eau.....	13
3.2.2.2 Les pertes.....	13
3.2.2.3 Les apports d'eau	16
3.2.3 La simulation.....	17
3.2.4 Le bilan hydrologique de la retenue	18
IV. RESULTATS	20
4.1 Le modèle conceptuel de données.....	20
4.2 La fenêtre principale.....	22
4.3 La fenêtre d'édition des caractéristiques de la retenue	23
4.4 La fenêtre d'édition des valeurs prévisionnelles.....	23
4.5 La fenêtre d'édition des valeurs mesurées	24
4.6 La fenêtre de calcul de simulation.....	25
4.7 Calcul du bilan hydrologique	31
4.8 Importation/Exportation des données.....	34
4.8.1 Importation	34

4.8.2 Exportation	34
V. DISCUSSION ET ANALYSE.....	35
VI. CONCLUSION.....	36
VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	37
VIII. ANNEXES	38

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Tableau 1 : rapport global de la simulation.....	28
Tableau 2 : Rapport détaillé de la simulation.....	29
Tableau 3 : Résultat du bilan hydrologique	33

Listes de figures

Figure 1 :Le modèle conceptuel de données	21
Figure 2 : La fenêtre principale	22
Figure 3 : la fenêtre d'édition des caractéristiques de la retenue	23
Figure 4 : La fenêtre d'édition des valeurs prévisionnelles	24
Figure 5 : La fenêtre d'édition des valeurs mesurées	25
Figure 6 : Fenêtre de simulation avec les résultats masqués.....	26
Figure 7 : Fenêtre de simulation avec affichage des résultats.....	26
Figure 8: Courbe d'utilisation de la retenue.....	30
Figure 9 : Courbe d'évolution du volume dans le temps	31
Figure 10 : Fenêtre d'édition du bilan hydrologique sans les détails.....	31
Figure 11 : Fenêtre d'édition du bilan hydrologique sans les détails.....	32
Figure 12 : Fenêtre d'importation des données	34
Figure 13 : Fenêtre d'exportation des données	34

I. INTRODUCTION

L'eau constitue une ressource rare et indispensable à tous les êtres. Cette ressource dont le renouvellement est tributaire des conditions climatiques de plus en plus imprévisibles, fait l'objet de nombreux usages concurrents. Elle connaît donc des situations de pénurie qui surviennent un peu partout et particulièrement dans les régions du sahel.

Ainsi, de nombreuses retenues d'eau d'importance et de destinations très variées ont été créées afin de collecter la ressource en eau de surface disponible dans les bassins versants. L'ensemble des pays a adopté une politique de construction de retenues comme c'est le cas du Burkina qui a l'apanage du plus grand nombre de retenues avec plus de 1450 retenues.

Cette multitude de retenues fait l'objet de divers usages concurrents tels : l'abreuvement des animaux, l'irrigation à petites et grandes échelles, les travaux de construction, l'alimentation en eau potable de villages, villes moyennes et grandes villes, la production de l'électricité.

Pour satisfaire ces différents usages, l'ensemble de cette ressource doit être gérée et répartie convenablement entre tous les usagers de l'espace géographique couvert par le bassin. En outre il est nécessaire de détecter et prévenir les situations de pénurie grave qui pourraient compromettre des activités d'importance majeure.

Une telle gestion implique la connaissance dans le temps et dans l'espace de la quantité d'eau disponible et des différents besoins. Comment arriver à une telle gestion qui se veut rationnelle et durable? De 1998 à 2000 Le logiciel GESTRET a été développé au 2iE afin de doter les gestionnaires de ressources en eau d'un outil qui puisse les accompagner dans leur gestion. Cependant suite à divers problèmes rencontrés ce logiciel est resté inutilisé.

Le présent travail consistera donc à apporter une contribution dans la gestion des ressources en eau à travers la maintenance de ce logiciel, d'où le thème : « **Adaptation et amélioration du logiciel d'aide à la décision dans la gestion durable des retenues d'eau : GESTRET** »

Il s'agit en d'autre terme de donner une seconde vie à ce logiciel qui, s'il bénéficie d'une maintenance, peut constituer un apport inestimable pour la gestion des retenues d'eau.

Il est important de relever que des travaux semblables ont été menés et ont conduit à la

réalisation de certains logiciels dont certains sont :

- Le logiciel HYDRAM, logiciel de simulation des Hydro-aménagements ou systèmes d'eau a été développé par IRD (ex ORSTOM). Ce logiciel fait des simulations d'utilisation de la ressource à l'échelle du bassin versant. La période de la simulation peut s'étaler sur des dizaines d'années à des pas de temps mensuels et décennaux. Dans les simulations les réservoirs sont considérés sans apports artificiels et la satisfaction des besoins est faite par ordre de priorité croissant de la demande en eau potable. HYDRAM, prend à l'entrée les données hydro-météorologiques d'une part et d'autre part les ressources et demandes en eau, puis met en place des scénarii d'utilisation. Les résultats des scénarii renseigneront sur l'état du système d'eau selon les différentes situations.
- Le logiciel d'hydrologie urbaine CANOE qui a été réalisé par le Laboratoire Méthodes de l'INSA de LYON et le Laboratoire d'Hydraulique de France de Grenoble, en collaboration avec le Ministère de l'Agriculture et cinq grandes collectivités territoriales françaises. Cet outil qui permet d'une part de faire la conception et l'évaluation de réseaux d'assainissement et d'autre part de faire la simulation des pluies, et des écoulements d'eaux
- WEAP est un logiciel pour la planification intégrée des ressources en eau qui peut être appliqué à une simple source d'eau ou à un système complexe de bassin versant transfrontalier. Ce logiciel constitue d'abord une base de données de l'équilibre de l'eau car il fournit un système de mise à jour de l'information sur l'offre et la demande. Il est aussi un outil de production de scénario en ce sens qu'il simule la demande, l'offre, le ruissèlement, les écoulements, le stockage, la production de pollution, le traitement, la décharge et la qualité de l'eau circulant. Enfin du fait de sa capacité à évaluer une gamme complète d'options de développement et de gestion de l'eau et prend en compte les multiples et compétitives utilisations des systèmes d'eau, il constitue un outil d'analyse des politiques.

GESTRET à la différence de ces derniers s'intéresse uniquement et particulièrement à la gestion des retenues. Les simulations faites par GESTRET sont à l'échelle de la retenue. En prenant en compte les apports, prélèvements et pertes, il renseigne sur l'état de la ressource de la retenue sur une période d'utilisation donnée.

Par ailleurs le fait que cet outil a été développé aux 2iE offre la possibilité d'intégrer d'autres

fonctionnalités.

Le projet de développement de l'outil GESTRET a commencé en 1998 et a été interrompu en 2000. Il a été développé par d'anciens étudiants du 2iE du DESS en Informatique appliquée aux sciences de l'eau sous la supervision de M. Seydou Eric TRAORE, Enseignant au 2iE.

Le logiciel devait à la fin permettre de faire des simulations de fonctionnement de la retenue afin d'établir un programme d'utilisation satisfaisant, d'établir des bilans de fonctionnement du système et produire les documents d'information nécessaires et d'optimiser la répartition de l'eau entre les catégories d'utilisateurs.

Nous sommes partis de la version disponible qui est une version inférieure à la dernière version de GESTRET. Cependant dans cette version en plus de quelques problèmes de fonctionnement, certaines fonctionnalités font défaut :

- Impossibilité d'exécuter le logiciel sous l'environnement Windows 98 et les versions ultérieures telles que XP, Vista, 7.
- Des problèmes d'index dans la base de données
- Absence de certaines fonctionnalités qui faciliteraient l'utilisation du logiciel telles que l'importation et l'exportation des données afin d'éviter les saisies fastidieuses

Dans le présent travail il sera question dans un premier temps de faire l'inventaire et l'étude des informations ou données relatives à la gestion des retenues. Ensuite de vérifier l'usage qui en est fait dans la mise place du programme afin de situer les insuffisances. Et enfin d'apporter des réponses aux différents problèmes, toutes choses qui permettront de disposer d'un outil en mesure d'accompagner dans la gestion des retenues.

Ce travail n'est pas propre à une zone donnée car le logiciel qui sera produit à la fin de ce travail pourra à partir des informations d'une retenue de n'importe quelle zone effectuer le travail demandé.

II. OBJECTIF DU TRAVAIL

L'objectif général de ce travail est de produire un outil d'aide à la gestion des ressources en eau de manière générale et à celle des retenues d'eau en particulier.

De façon spécifique, il sera question:

- ✓ Faire le point des données nécessaires à la gestion des retenues et la façon dont elles sont gérées
- ✓ Mettre en place une base de données fiable des retenues d'eau

Cette base données devra d'une part permettre de stocker les informations telles que les caractéristiques physiques des retenues et d'autre part en extraire.

- ✓ De concevoir des modules d'introduction et d'extraction rapides des informations de la base. Ces modules permettront aux utilisateurs d'effectuer des importations et exportation de données.
- ✓ De corriger le module de simulation de l'utilisation des retenues
- ✓ De corriger le module de bilan hydrologique des retenues

III. MATERIELS ET METHODES

3.1 Matériels

Pour la réalisation de ce travail, les matériels utilisés sont essentiellement composés de :

- Un ordinateur portable pour le stockage des données et le développement de l'application ;
- Le logiciel Microsoft Access 2010 servant de système de gestion de base de données
- L'environnement de développement intégré (EDI) de Borland Delphi 6 qui constitue la plateforme pour le développement de l'application. Le choix de Delphi s'explique par le fait que GESRET a été développé sous cet environnement ;

3.2 Méthodes

Une retenue étant un ouvrage hydraulique destiné au stockage de l'eau, elle fait d'une part l'objet de prélèvements pour satisfaire des besoins divers (domestiques, agricoles, pastoraux, industriels,...) et d'autre part elle reçoit des apports venants de la pluie, du bassin versant par ruissellements ou des transferts venant d'autres retenues.

Elle est également soumise à des pertes d'eau par évaporation, infiltration, les pertes de capacité de la cuvette à la suite des dépôts solides et l'évacuation par un déversoir ou des vannes.

La gestion d'une telle retenue implique les deux phases suivantes:

- la simulation sur une période à venir de l'évolution de la retenue compte tenu de l'estimation des besoins, apports et pertes sur cette période.
- le bilan hydrologique sur une période passée des apports, prélèvements et pertes effectifs.

L'atteinte de ces objectifs a nécessité la démarche suivante :

- Une recherche bibliographique sur l'étude des retenues et les travaux effectués dans le même registre ;
- L'examen des données ou paramètres nécessaires à la gestion de la retenue
- L'examen de la structure de la base de données et des différents modules du programme.

3.2.1 Caractéristiques physiques de la retenue

3.2.1.1 Les courbes de capacités

L'ensemble des stades de remplissage d'un barrage peut être décrit par l'une des deux courbes : hauteur - volume ou hauteur - surface.

L'une ou l'autre de ces courbes peut être donnée soit :

- ❶ sous forme tabulée
- ❷ sous forme de fonctions : $H=f(V)$ et $H=f(S)$

Le tableau d'une des courbes étant donné, on peut en déduire le tableau de l'autre :

- tableau hauteur - surface donné, les valeurs du volume se déduiront comme suit :

$$V_{n,n+1} = \frac{S_n + S_{n+1}}{2} \cdot h$$

h est la hauteur ou la tranche d'eau, $h=h_{n+1}-h_n$

$V_{n, n+1}$ volume partiel d'eau

$(S_n+S_{n+1})/2$ surface moyenne du plan d'eau

- tableau hauteur - volume donné, les valeurs de la surface se déduiront comme suit :

$$S_{n,n+1} = \frac{V_{n+1} - V_n}{2h}$$

h est la hauteur ou la tranche d'eau, $h=(h_{n+1}-h_n)/2$

$V_{n+1}-V_n$ est le volume correspondant à la tranche d'eau

$S_{n, n+1}$ est la surface du plan d'eau.

Les formules de calcul des volumes et des surfaces sont tirées du document de cours « Petits barrages en terre (Harouna KARAMBIRI et Ismaïla GUEYE) » pour la formation Master Spécialisé HGSI, Année scolaire 2006-2007.

Pour approximer la fonction $H=f(V)$, à partir de la courbe hauteur - volume on utilisera une fonction **Spline d'ordre deux** qui se définit de la manière suivante :

Etant donné X et Y de \mathbb{R}^{n+1} dont les composantes sont x_i et y_i ($i=0,1,\dots,n$)

avec $x_i < x_{i+1}$, la fonction spline d'interpolation d'ordre deux S telle que $S(x_i) = y_i$ s'écrit :

$$S(x) = S'''(x_{i-1}) \frac{(x-x_{i-1})^3}{6(x_i-x_{i-1})} + S'''(x_i) \frac{(x-x_i)^3}{6(x_i-x_{i-1})} + \left[\frac{S(x_i)}{x_i-x_{i-1}} - S'''(x_i) \frac{(x_i-x_{i-1})}{6} \right] (x-x_{i-1}) + \left[\frac{S(x_{i-1})}{(x_i-x_{i-1})} - S'''(x_{i-1}) \frac{(x_i-x_{i-1})}{6} \right] (x-x_i)$$

Avec S'' dérivée seconde, $x \in [x_{i-1}, x_i]$ $i=0,1,\dots,n$

Cette dérivée seconde est approchée en utilisant les méthodes classiques de dérivation numérique.

Le choix de la fonction Spline d'interpolation d'ordre deux se justifie par le fait qu'elle permet de faire une interpolation par des polynômes de degré 3 par intervalle et assure la continuité, non seulement des dérivées premières mais aussi des dérivées secondes, ce qui du point de vue graphique permet un lissage.

Soit une hauteur H_0 ; pour déterminer $V_0 = f^{-1}(H_0)$ on résoudra en V l'équation :

$$H_0 - \mathbf{Spline}(V) = 0$$

par la méthode dichotomique dans l'intervalle $[x_i, x_{i+1}]$ tel que $y_i = \mathbf{Spline}(x_i)$, $y_{i+1} = \mathbf{Spline}(x_{i+1})$ et $H_0 \in [y_i, y_{i+1}]$.

Les mêmes méthodes seront utilisés pour approximer la courbe hauteur-surface ($H = g(S)$) et la résolution de $H_0 - \mathbf{Spline}(S) = 0$ en S .

Lorsqu'une courbe est donnée sous forme analytique, elle sera tabulée et conservée sous forme de tableau.

3.2.1.2 Le déversoir

Le déversoir est un ouvrage destiné à évacuer un trop plein d'eau ; on en retiendra trois types :

- les déversoirs linéaires à seuil épais,
- les déversoirs à seuil déversant,
- les déversoirs circulaires.

Il sera caractérisé par son type, sa cote, sa largeur déversante ou son rayon.

3.2.1.2 La prise d'eau

Sa caractéristique utile (pour ce qui nous concerne) est sa cote qui est supérieure à celle du fond de la retenue.

3.2.2 Les paramètres d'évolution de la retenue

Ces paramètres ont deux séries de valeurs : les valeurs estimées ou prévisionnelles qui sont prises en compte pour les simulations, et les valeurs effectives mesurées (ou considérées comme telles) prises en compte pour les bilans. Le problème de l'évaluation de ces paramètres à partir de données primaires n'est pas à l'ordre du jour, sauf pour les débits au

déversoir et à la vanne qui dépendent du niveau de l'eau dans la retenue.

Ces valeurs qui sont liées à la notion de temps sont donc données, soit en unités par pas de temps pendant une période donnée, soit en valeur globale pour une période.

☒ Pas de temps

Trois pas de temps sont possibles : la journée, la décade, le mois.

☒ Période

Une période est définie par ses dates de début et de fin.

3.2.2.1 Les besoins en eau

Ces besoins sont essentiellement les suivants :

- ❶ domestiques ;
- ❷ pastoraux ;
- ❸ agricoles ;
- ❹ industriels ;
- ❺ autres besoins ;

Chaque type de besoin pourra être donné en volume au pas de temps où il est disponible et pendant une période déterminée.

3.2.2.2 Les pertes

✓ Pertes par évaporation

Ces pertes sont sensiblement proportionnelles à la surface du plan d'eau. On les exprime en hauteur d'eau évaporée. Elles peuvent être données sous l'une des deux formes:

- ❶ une évaporation moyenne par pas de temps pendant une période.
- ❷ l'évaporation totale d'une période

Le volume d'eau évaporée V_{ev} correspondant est alors :

$$V_{ev} = E \cdot S_m$$

Avec

V_{ev} - Volume évaporé pendant le pas de temps ou la période (m^3);

E - La hauteur d'eau évaporée (m);

S_m - La surface du plan d'eau (m^2);

✓ Pertes par infiltration

Elles sont données en hauteur d'eau moyenne infiltrée par pas de temps. Le volume d'eau

infiltrée correspondant est alors: $V_{id} = I_{moy} \cdot S_m$

Avec

Vid - Volume d'eau infiltré;

I_{moy} - Infiltration moyenne en hauteur d'eau par pas de temps

S_m - La surface du plan d'eau

✓ Déversement par trop-plein à travers le déversoir

La donnée à prendre en considération pour le calcul du volume d'eau correspondant est le débit de déversement qui se détermine selon le type de déversoir. L'essentiel des formules de calculs du débit du déversement est tiré du document « Crues et apports, FAO 1995 »

Les déversoirs linéaires à seuil épais :

Les formules de calcul du débit déversé correspondent généralement à des ouvrages fonctionnant en écoulement dénoyé, c'est à dire que le niveau d'eau amont h₁ n'est pas influencé par le niveau aval h₂. On considère qu'il en est ainsi tant que h₂ < 0.82h₁.

Alors $Q = C \cdot (2 \cdot g)^{1/2} \cdot b \cdot h_1^{3/2}$ (FAO 1995, Crues et apports)

Où : Q est le débit en m³/s

b est la largeur déversante en mètre

g est l'accélérateur de la pesanteur, égale à 9.81m/s²

h₁ est la charge sur le déversoir

C est le coefficient de débit , égale à 0.36 pour un seuil très épais et 0.46 pour un seuil à parois mince.

Dans le cas où le déversoir fonctionne en écoulement noyé (h₂/ h₁ > 0.82), la formule de calcul du débit reste identique à celle utilisée pour un déversoir non noyé mais le coefficient du débit doit être multiplié par un facteur de correction (cf. tableau annexe)

Les déversoirs à seuil déversant :

Pour un déversoir fonctionnant en écoulement dénoyé, le débit est donné par la formule suivante : (FAO 1995, Crues et apports) $Q = C \cdot (2 \cdot g)^{1/2} \cdot b \cdot h_1^{3/2}$

- Où :
- Q est le débit en m³/s
 - b est la largeur déversante en mètres
 - g est l'accélérateur de la pesanteur, égale à 9.81m/s²
 - h₁ est la charge sur le déversoir
 - C est le coefficient de débit , égale à environ 0.49 (ou 0.495)

Si le seuil est noyé , c'est à dire lorsque la hauteur d'eau h₂ (niveau aval au-dessus du déversoir) dépasse 0.8h₁, le coefficient du débit doit être multiplié par un coefficient K de réduction fonction du rapport (h₁- h₂)/ h₁ (cf tableau annexe

Les déversoirs circulaires :

Le débit d'eau est donné par la relation :

(FAO 1995, Crues et apports)
$$Q = C.(2.g)^{1/2} .(2.\pi.R).h^{3/2}$$

- Lorsque (h/R)<0.25, C prend les mêmes valeurs que pour un déversoir linéaire ;
- Pour 0.25 < (h/R)< 0.50 la valeur C décroît (en fonction de h/R) progressivement d'un certain pourcentage qui atteint 25% au maximum lorsque h/R =0.50 ;
- Si (h/R)>0.50 la valeur de C décroît très rapidement et l'écoulement est noyé.

Déversements volontaires (Pertes par Vannes)

Le fonctionnement hydraulique sera différente si l'orifice de la vanne est noyé ou non, c'est à dire si, sur sa face aval, la côte du niveau de la surface libre de l'écoulement est supérieure ou non à sa hauteur.

Vannes non noyées

En vannes non noyées le débit peut être calculé par la formule empirique **Poncelet** ci-dessous:

(FAO 1995, Crues et apports)
$$Q = C.b.e.\sqrt{g.h}$$

Avec

Q le débit en m³/s;

C le coefficient de débit égal à 0,70 pour une vanne verticale, 0,74 pour une vanne inclinée à 1 de base 2 de hauteur et 0,80 pour une vanne inclinée à 1/1;

b la largeur de l'ouverture de la vanne, en m;

e est la levée de la vanne, en m;

g est l'accélération de la pesanteur, égale à 9,81 m/s²;

h est la charge de l'orifice en m.

La charge h qui correspond à la hauteur d'eau au dessus du centre de gravité de l'orifice est égale à $h_1 - e/2$ (section rectangulaire), h_1 étant la hauteur d'eau à l'amont de la vanne.

Vannes noyées

Le débit est alors fonction de la différence de niveau $Y = h_1 - h_2$ entre les surface libres amont et aval. Il peut être calculé à l'aide de la formule de **Poncelet** telle qu'elle a été définie précédemment, en conservant les même valeur de C suivant le type de vanne et en remplaçant la charge h par la charge Y.

✓ **Les Dépôts solides**

Il s'agit des pertes de capacité de la cuvette à la suite des dépôts solides. Ces pertes sont déterminées à partir du volume annuel de dépôts solides ou volume annuel du charriage (m³/an) de la date de conception et des volumes des curages.

3.2.2.3 Les apports d'eau

On considérera :

❶ Les apports dus aux précipitations

Ils sont donnés en hauteur de pluie, et le volume d'eau correspondant est

$$V_p = P \cdot S_m$$

Avec, durant le pas de temps ou la période considérée

V_p - Volume de pluie tombé sur la retenue;

S_m - Surface du plan d'eau;

P - Hauteur moyenne de pluie tombée sur la retenue

❷ Les apports dus au bassin versant

Ils résultent du ruissellement des eaux de pluie ou de l'écoulement de cours d'eau ; ils sont donnés en volume d'eau par pas de temps ou pour une période.

❸ Les autres apports

Ce sont essentiellement des transferts d'eau provenant d'autres points de stockage (retenues, rivières). Ils sont également donnés en volume d'eau par pas de temps ou pour une période.

La gestion des données décrites précédemment doit être assurée en dehors des divers traitements dont elles peuvent faire l'objet. Elle comporte les phases de saisie, de stockage, de consultation, de modification, de suppression. En ce qui concerne les paramètres liés au temps, les notions de pas de temps et de période sont très importantes pour la

saisie/modification et la consultation. Pour saisir les valeurs d'un paramètre, on indique la période de temps concernée ; la valeur du paramètre est alors saisie soit globalement pour la période, soit selon un pas de temps (journée, décade, mois) à l'intérieur de cette période.

3.2.3 La simulation

Une simulation est définie par la donnée des éléments suivants :

- la retenue concernée
- la période de simulation (date de début, date de fin)
- la cote ou le volume d'eau en début de période
- le pas de temps suivant lequel les résultats doivent être fournis
- les valeurs prévisionnelles ou estimées des paramètres d'évolution de la retenue pour la période en cause.

Le but étant de déterminer à la fin de chaque unité du pas de temps, la cote de l'eau et la variation de volume intervenue pendant cette unité du pas de temps.

La simulation permet donc de faire le calage du plan d'eau pour un périmètre irrigué à l'aval de la retenue. Elle permet également d'orienter dans l'extension d'un périmètre irrigué.

✓ La procédure

❶ On se donne la retenue, la période de simulation, le pas de temps et la cote (ou le volume) de l'eau en début de période.

❷ On affiche les valeurs prévisionnelles ou estimées existantes des paramètres d'évolution pour cette période au pas de temps de simulation, pour modification éventuelle et validation.

Toutes les additions ou soustraction de volume d'eau qui vont suivre sont discrétisées au pas de temps choisi. Donc après chaque unité de pas de temps :

❸ On soustrait le volume d'eau évaporé ;

- ④ On ajoute les éventuels apports d'eau ;
- ⑤ On soustrait le volume d'eau infiltré ;
- ⑥ On soustrait les différents prélèvements (Superficie à irriguer, Besoins en eau des populations et des animaux etc.) et les déversements volontaires (déversement par vannes) ;
- ⑦ On soustrait le volume d'eau déversé éventuellement par trop-plein à travers le déversoir (on prendra un débit journalier constant égal à la moyenne du débit en début de journée et après le point ⑥) ; le débit est calculé en écoulement dénoyé, sauf précision contraire.
- ⑧ On fait une comparaison entre la cote en fin de journée et la cote de la prise d'eau pour arrêter éventuellement les prélèvements.

Les résultats de la simulation sont présentés sous quatre formes complémentaires :

- un tableau récapitulatif;
- un tableau détaillé
- un graphique de l'évolution de la retenue ;
- La courbe d'utilisation de la retenue.

Ces résultats sont conservés afin de pouvoir être réédités sans reprendre les mêmes calculs de simulation.

3.2.4 Le bilan hydrologique de la retenue

✓ Principe

Sur un intervalle de temps donné dt , l'équation du bilan hydrique d'un barrage (retenue artificielle) découle du principe de l'application de la conservation des volumes d'eau.

Elle s'écrit, sous sa forme la plus complète :

$$dV = (V_{ec} + V_p + V_a) - (V_{ev} + V_{id} + V_{if} + V_d + V_u)$$

avec, durant l'intervalle de temps dt :

dV - la variation du stock d'eau dans la retenue ;

V_{ec} - les apports en provenance des tributaires (y compris les apports souterrains) ;

V_p - les apports dus aux précipitations tombant directement sur la retenue ;

V_a - autres apports ;

V_{ev} - le volume d'eau évaporé ;

Vid - les pertes par infiltration à hauteur du barrage ;

Vif - les pertes par infiltration dans le fond de la retenue ;

Vd - le volume d'eau sortant de la retenue par déversement ;

Vu - le volume d'eau prélevé pour les divers usages (irrigation, alimentation des populations et du bétail, etc.).

✓ **Formulation pratique**

Un bilan est défini par la donnée de la retenue, une période passée, le relevé des valeurs de différents paramètres au cours de cette période.

Les paramètres suivants sont pris en considération :

- ① Pluie: elle est prise en compte en début de période
- ② Hauteur d'eau dans le barrage
- ③ Evaporation
- ④ Infiltration
- ⑤ Prélèvements
- ⑥ Apport du bassin versant
- ⑦ Volume d'eau sortant de la retenue par déversement

Etant donné que les pertes par infiltration dans le fond de la retenue sont généralement insignifiantes, nous allons considérer que ces pertes sont nulles.

D'où l'équation ci-dessus devient :

$$dV = (V_{ec} + V_p + V_a) - (V_{ev} + V_{id} + V_d + V_u)$$

$$dV = \text{« Entrées - Sorties »}$$

Rappelons que les données concernant le bilan sont gérées indépendamment de celles concernant la simulation.

✓ **Procédure**

- ❶ On donne le début et la fin de la période du bilan, ainsi que le pas de temps pour le calcul et la présentation des résultats
- ❷ On affiche les valeurs de données existantes correspondant aux dates de début et de fin de la période, ainsi qu'aux fins d'unités du pas de temps, pour modification éventuelle et validation.
- ❸ On évalue pour chaque unité du pas de temps la variations $dV = \text{« Entrées - Sorties »}$ et l'écart par rapport à la variation réelle constatée. Comme pour la simulation les calculs sont discrétisés au pas de temps choisi.
- ❹ On en déduit éventuellement la valeur d'un des paramètres.

Un tableau présentera l'évolution du stock d'eau en faisant apparaître suivant le pas de temps les entrées et sorties constatées, les variations de stock calculées, les variations réelles et les écarts.

Les écarts peuvent être imputés à une mauvaise estimation d'un paramètre, dont il convient alors d'ajuster la valeur.

Dans le cas où la valeur d'un paramètre est totalement indéterminée, il faut pour l'estimer de manière fiable, que l'on dispose des valeurs réelles globales de tous les autres paramètres pour la période concernée.

En guise de vérification on reprendra l'établissement du bilan avec cette nouvelle estimation.

IV.RESULTATS

L'icône de GESTRET se présente sous cette forme : 

GESTRET est un outil convivial constitué d'un certain nombre de fenêtres dont nous n'allons présenter que les plus importantes.

Ces résultats ont été obtenus à partir des tests effectués avec des séries de données sur la retenue d'eau de Bonam. Bonam est une localité située dans la région du nord avec pour chef lieu la localité de Boulsa. Les tableaux de ces données sont en annexes

Les données ont été intégrées dans la base de données grâce aux modules d'importation

4.1 Le modèle conceptuel de données

L'examen de la structure de base de données nous a permis d'apporter des modifications et d'obtenir le modèle conceptuel ci-dessous :

Adaptation et amélioration du logiciel d'aide à la prise de décision dans la gestion durable des retenues d'eau : GESTRET

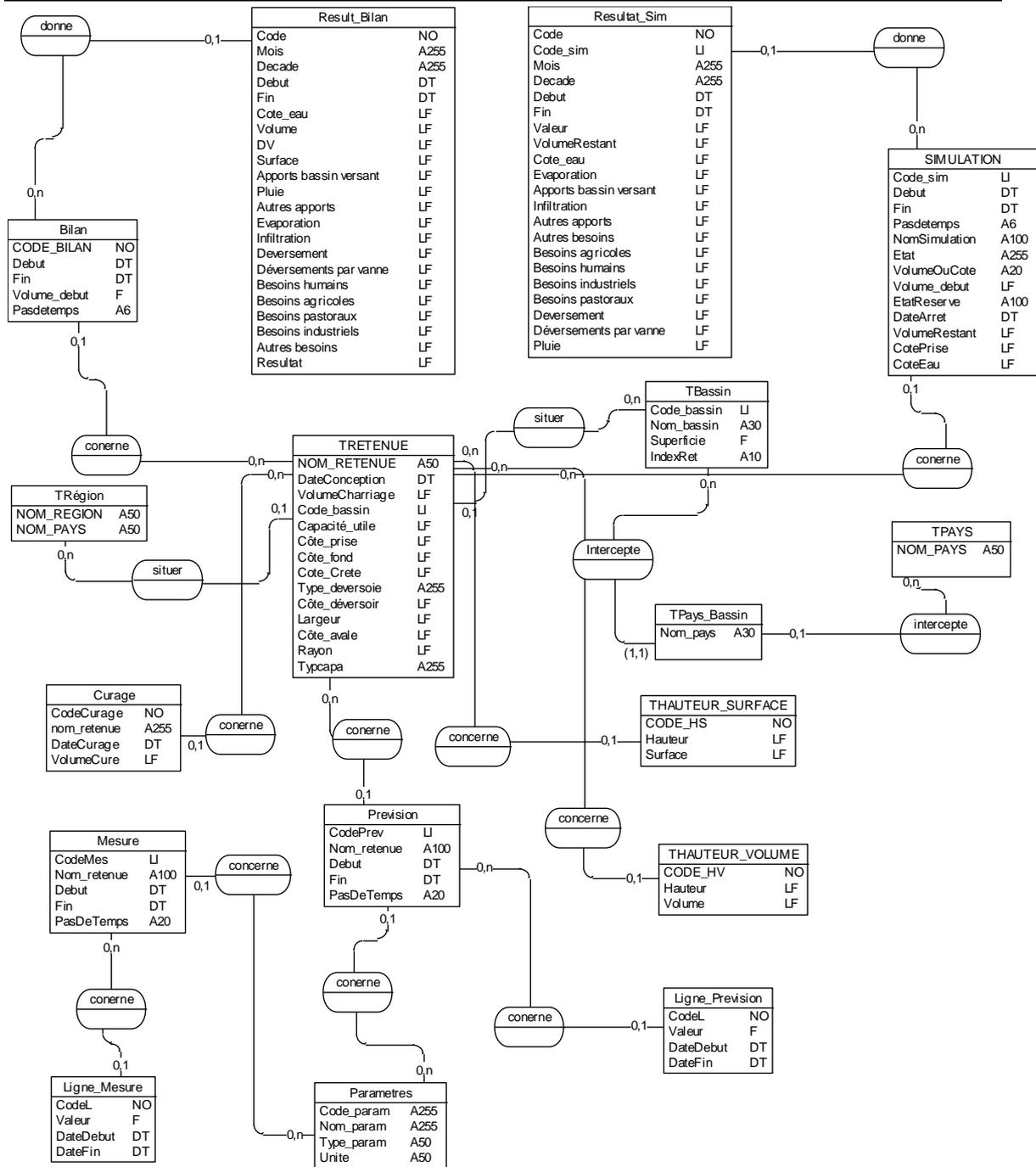


Figure 1 :Le modèle conceptuel de données

4.2 La fenêtre principale

Cette fenêtre est constituée d'un menu principal et d'une barre d'outils. Elle permet d'accéder aux autres fenêtres à travers le menu principal ou la barre d'outils.

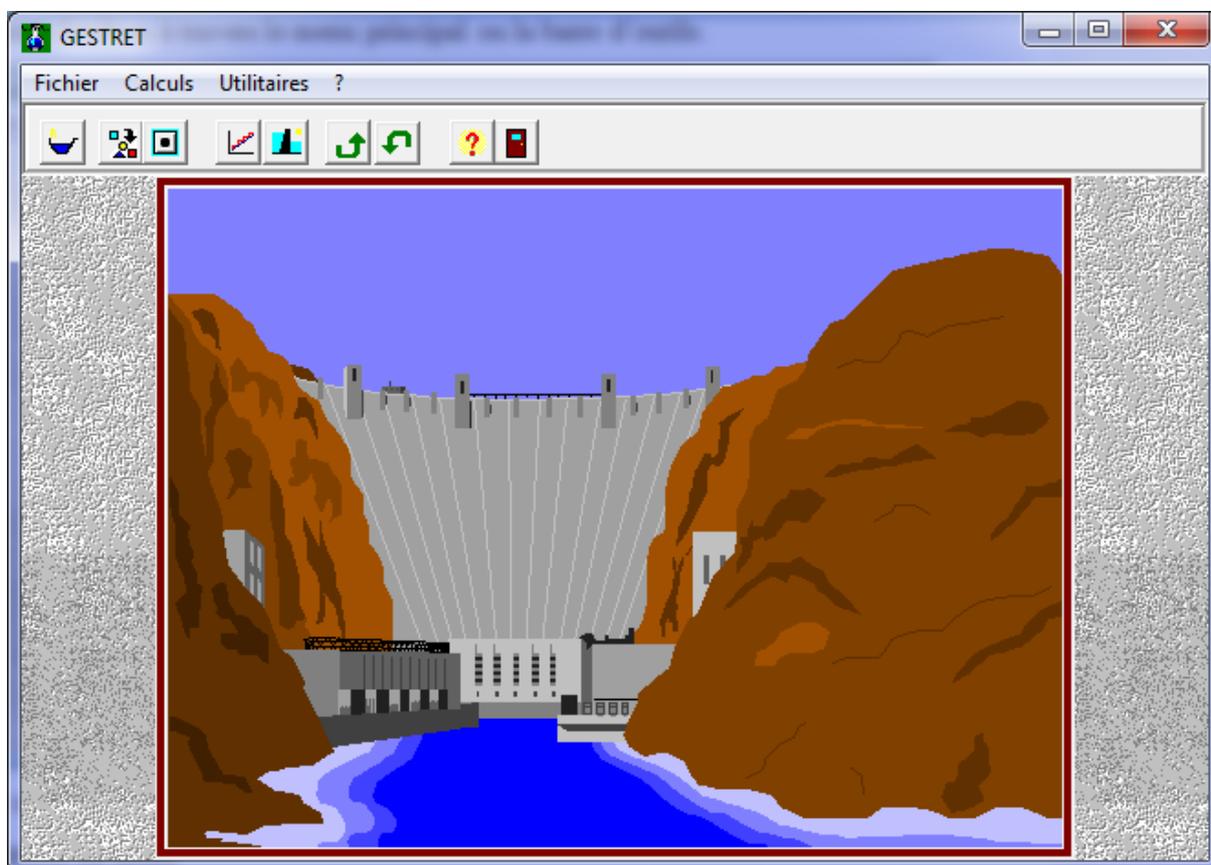


Figure 2 : La fenêtre principale

Description du menu

Eléments de menu	Raccourci	Fonction
Fichier/Retenue		Accès à la fenêtre d'édition des caractéristiques de la retenue
Fichier/Valeurs prévisionnelles		Accès à la fenêtre d'édition des valeurs prévisionnelles des paramètres d'évolution de la retenue
Fichier/Valeurs mesurées		Accès à la fenêtre d'édition des valeurs mesurées des paramètres d'évolution de la retenue
Fichier/Quitter		Quitter le logiciel
Calculs/Simulation		Accès à la fenêtre de lancement d'un calcul de simulation

Calculs/Bilan



Accès à la fenêtre de lancement d'un calcul de bilan

Rubrique d'aide



Accès à l'aide en ligne de Gestret

4.3 La fenêtre d'édition des caractéristiques de la retenue

On accède à cette fenêtre en cliquant sur la commande retenue du menu fichier.

Hauteur(m)	Volume(x1000 m3)
231,75	4888314
231,5	4098189
231	2823189
230,5	1841689

Figure 3 : la fenêtre d'édition des caractéristiques de la retenue

4.4 La fenêtre d'édition des valeurs prévisionnelles

Accessible à travers le menu Fichier/Valeurs prévisionnelles, elle structurée en trois parties :

- Une partie pour le choix de la retenue et du paramètre
- Une partie pour le choix de la période et du pas de temps
- Une partie pour l'édition des valeurs du paramètre

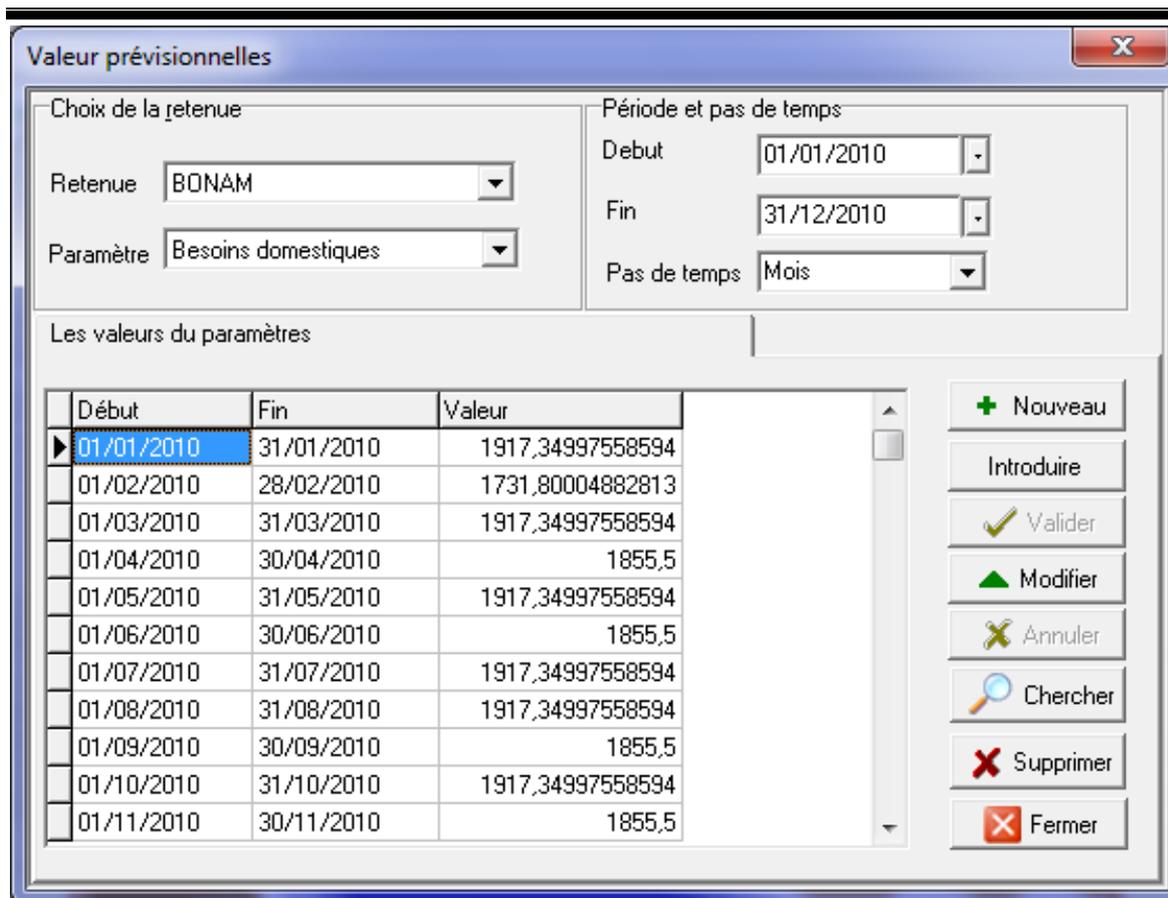


Figure 4 : La fenêtre d'édition des valeurs prévisionnelles

4.5 La fenêtre d'édition des valeurs mesurées

Elle a la même structuration que la fenêtre d'édition des valeurs prévisionnelles et est accessible à travers le menu Fichier/Valeurs mesurées

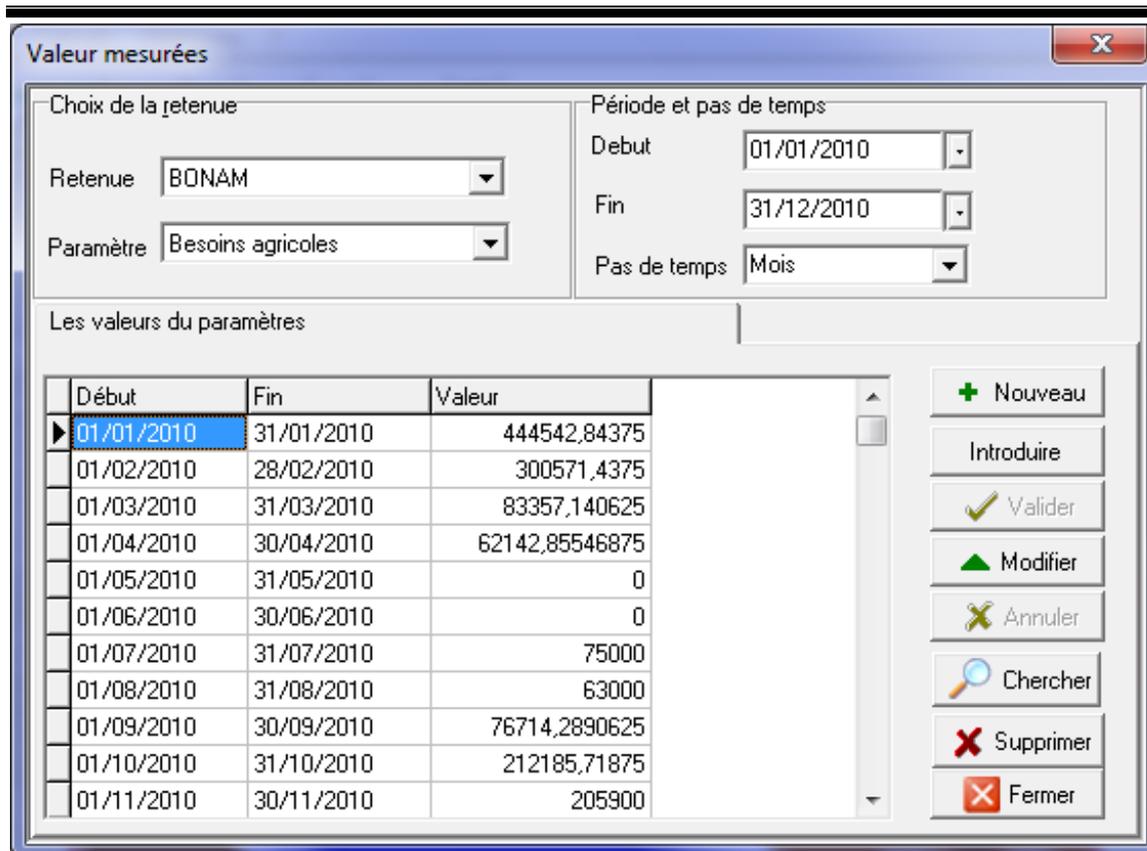


Figure 5 : La fenêtre d'édition des valeurs mesurées

4.6 La fenêtre de calcul de simulation

Pour accéder à cette fenêtre on clique sur la commande Simulation du menu Calculs.

Elle est constituée de trois parties :

- Une partie pour le choix de la retenue
- Une partie pour le choix de la période et du pas de temps
- Une partie pour le choix du volume ou de la côte de début.
- Et partie pour l'affichage des résultats. Cette partie n'est pas visible à l'ouverture de la fenêtre mais en cliquant sur le bouton suivant : on peut déplier la fenêtre la fenêtre afin de voir les résultats de la simulation. Pour masquer les résultats on clique sur le même qui se présente sous cette forme :

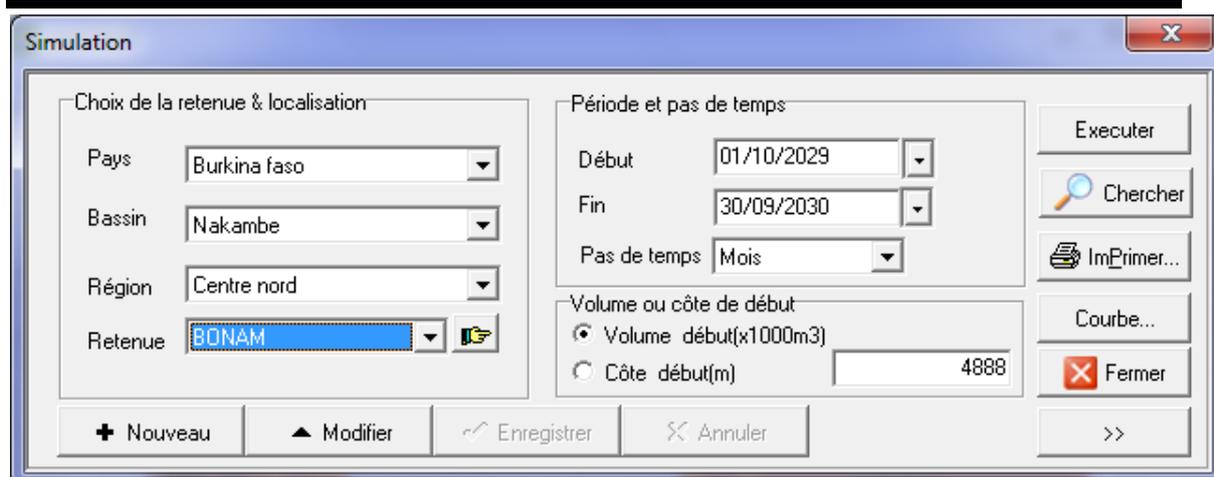


Figure 6 : Fenêtre de simulation avec les résultats masqués

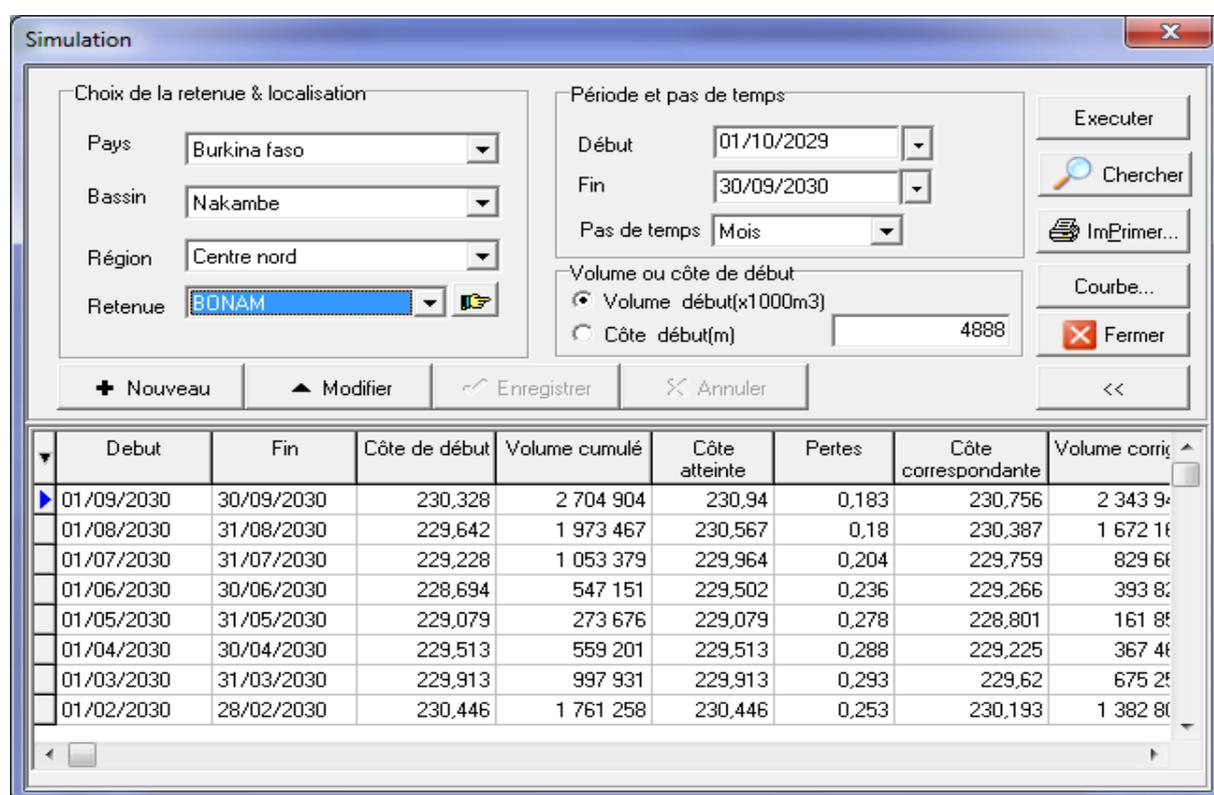


Figure 7 : Fenêtre de simulation avec affichage des résultats

Pour effectuer une simulation :

1. on clique sur bouton nouveau
2. on saisie les différentes informations

On clique sur le bouton exécuter pour lancer la simulation

Si le volume d'eau est insuffisant la simulation s'arrête avant la fin de la période de simulation avec rapport qui indiquant l'insuffisant de d'eau.

Après l'exécution de la simulation il peut possible de l'annuler ou de l'enregistrer.

Lorsqu'elle est enregistrée il est possible d'imprimer des rapports ou de tracer des courbes.

Il existe deux types de rapports, à savoir le rapport global et le rapport détaillé.

Pour afficher les rapports il faut cliquer sur le bouton ci-contre . Choisir le type de présentation des résultats dans la boîte de dialogue qui s'ouvre puis cliquer sur OK dans le tableau ci-dessous :



Resultat global : simulation mensuelle

Nom de la retenue: **BONAM**

Volume de début (m3) : 4 888 000

Côte de prise (m) : 229

Volume charrié (m3) : 95 072

Debut	Fin	Code début	Vol. cumulé	Surface	Côte atteinte	Perte	Côte corresp.	Vol. corrigé	Prélèvement	vol. résiduel	Côte fin
01/10/2029	31/10/2029	231,75	4 792 928	2 896 485	231,721	0,161	231,56	4 110 535	82 300	4 028 235	231,476
01/11/2029	30/11/2029	231,476	4 028 235	2 836 375	231,476	0,224	231,252	3 465 670	186 945	3 278 725	231,188
01/12/2029	31/12/2029	231,188	3 278 725	2 471 000	231,188	0,226	230,962	2 750 343	217 588	2 532 755	230,852
01/01/2030	31/01/2030	230,852	2 532 755	2 073 094	230,852	0,239	230,613	2 064 060	302 803	1 761 258	230,446
01/02/2030	28/02/2030	230,446	1 761 258	1 649 234	230,446	0,253	230,193	1 382 801	384 870	997 931	229,913
01/03/2030	31/03/2030	229,913	997 931	1 229 633	229,913	0,293	229,62	675 255	116 055	559 201	229,513
01/04/2030	30/04/2030	229,513	559 201	906 102	229,513	0,288	229,225	367 466	93 790	273 676	229,079
01/05/2030	31/05/2030	229,079	273 676	469 117	229,079	0,278	228,801	161 851	32 700	129 151	228,694
01/06/2030	30/06/2030	228,694	547 151	896 586	229,502	0,236	229,266	393 824	24 445	369 379	229,228
01/07/2030	31/07/2030	229,228	1 053 379	1 270 867	229,964	0,204	229,759	829 662	129 195	700 467	229,642
01/08/2030	31/08/2030	229,642	1 973 467	1 763 984	230,567	0,18	230,387	1 672 164	88 260	1 583 904	230,328
01/09/2030	30/09/2030	230,328	2 704 904	2 168 367	230,94	0,183	230,756	2 343 941	101 380	2 242 561	230,704

Tableau 1 : rapport global de la simulation



Resultat détaillé: simulation mensuelle

Nom de la retenue: **BONAM**

Volume de début (m3) : **4 888 000**

Côte de prise (m) : **229**

Volume charrié (m3) : **95 072**

Debut	Fin	Côte début	Apports BV	Pluies	Autres apports	Volume cumulé	Hauteur évaporée	Hauteur infiltrée	Volume déversé	Besoins agricoles	Besoins domestiq.	Besoins industr.	Besoins pastoraux	Autres besoins	Volume résiduel	Côte fin
01/10/2029	31/10/2029	231,75	23 494	0	0	4 792 928	0	0	0	1 765	0	0	0	57 041	4 028 235	231,48
01/11/2029	30/11/2029	231,48	22 736	0	0	4 028 235	0	0	0	1 708	0	0	0	162 500	3 278 725	231,19
01/12/2029	31/12/2029	231,19	23 494	0	0	3 278 725	0	0	0	1 765	0	0	0	192 329	2 532 755	230,85
01/01/2030	31/01/2030	230,85	23 494	0	0	2 532 755	0	0	0	1 765	0	0	0	277 543	1 761 258	230,45
01/02/2030	28/02/2030	230,45	27 941	0	0	1 761 258	0	0	0	1 595	0	0	0	355 335	997 931	229,91
01/03/2030	31/03/2030	229,91	30 934	0	0	997 931	0	0	0	1 765	0	0	0	83 355	559 201	229,51
01/04/2030	30/04/2030	229,51	29 936	0	0	559 201	0	0	0	1 708	0	0	0	62 145	273 676	229,08
01/05/2030	31/05/2030	229,08	30 934	0	0	273 676	0	0	0	1 765	0	0	0	0	129 151	228,69
01/06/2030	30/06/2030	228,69	22 736	418 000	0	547 151	0	0	0	1 708	0	0	0	0	369 379	229,23
01/07/2030	31/07/2030	229,23	23 494	684 000	0	1 053 379	0	0	0	1 765	0	0	0	103 935	700 467	229,64
01/08/2030	31/08/2030	229,64	23 494	1 273 000	0	1 973 467	0	0	0	1 765	0	0	0	63 000	1 583 904	230,33
01/09/2030	30/09/2030	230,33	22 736	1 121 000	0	2 704 904	0	0	0	1 708	0	0	0	76 935	2 242 561	230,7

Tableau 2 : Rapport détaillé de la simulation

Le bouton ci-contre : permet de visualiser les courbes

Deux courbes sont produites. La courbe d'évolution du volume dans le temps et La courbe d'utilisation de la retenue.

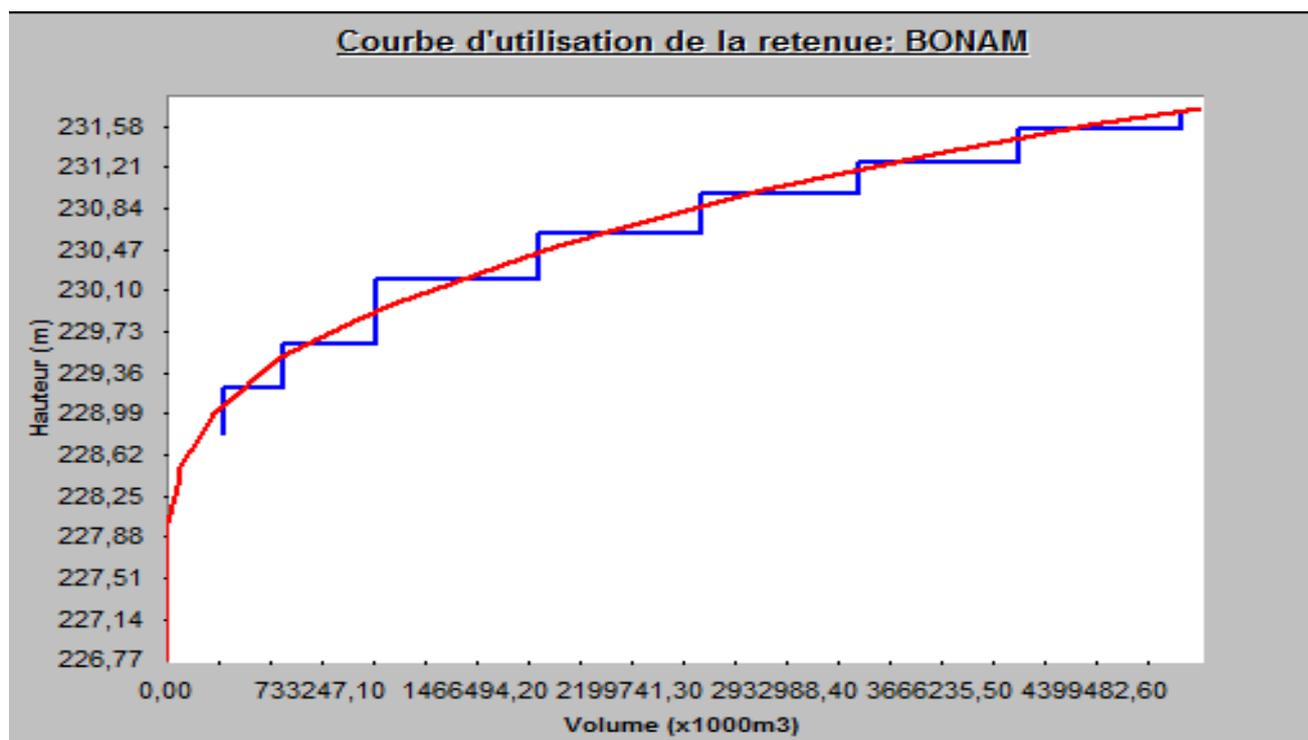
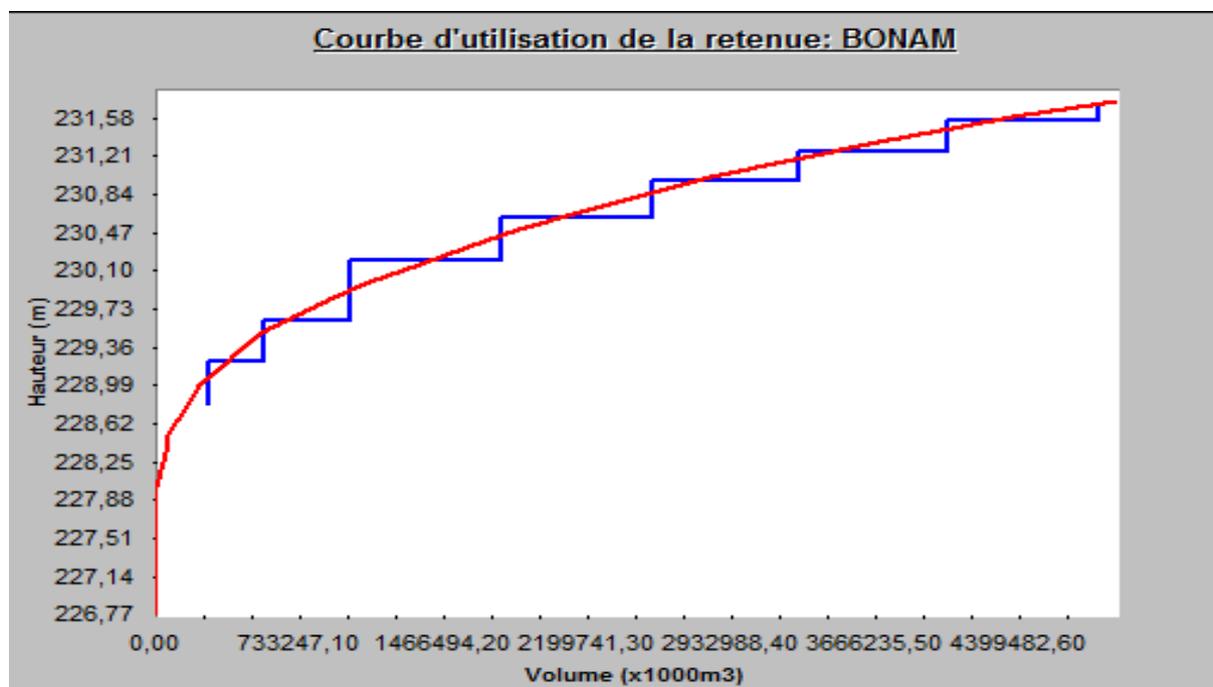


Figure 8: Courbe d'utilisation de la retenue



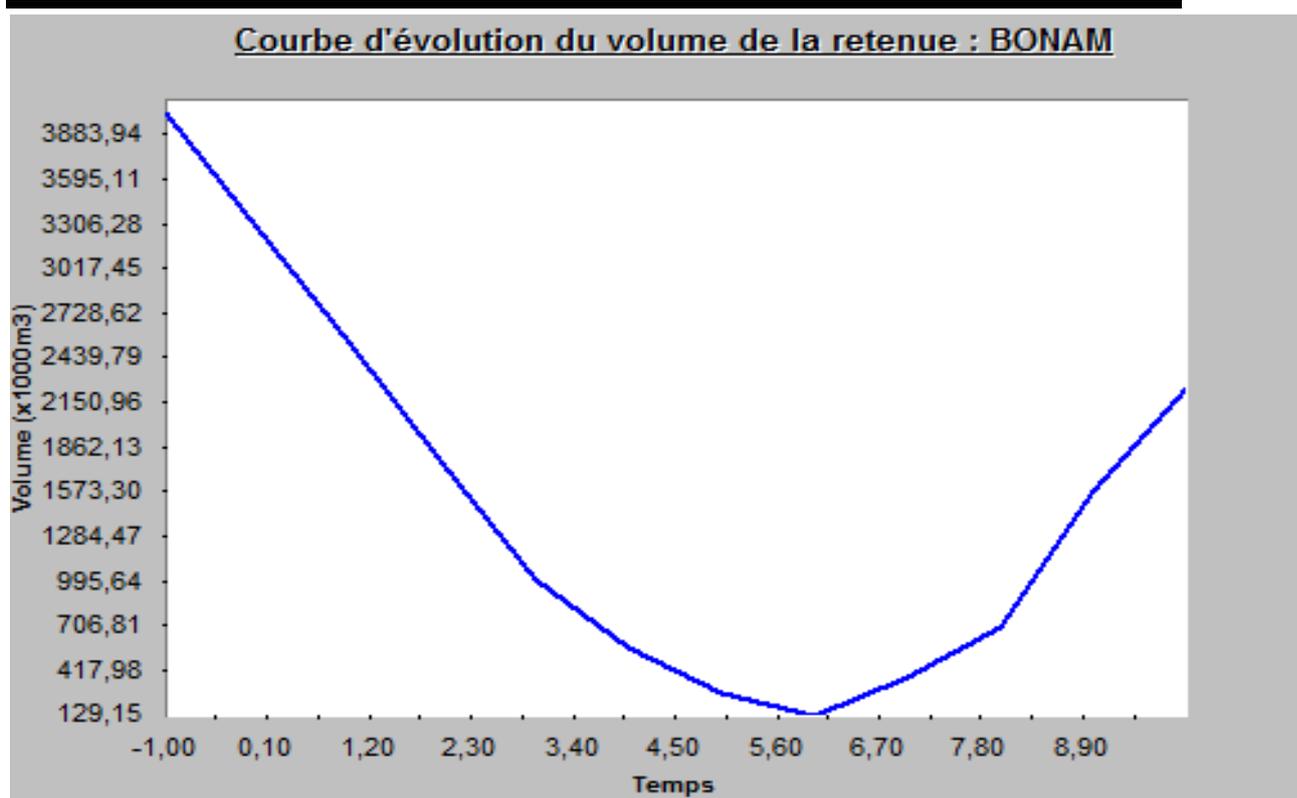


Figure 9 : Courbe d'évolution du volume dans le temps

4.7 Calcul du bilan hydrologique

La fenêtre de calcul du bilan se présente de la même manière que celle du calcul de la simulation :

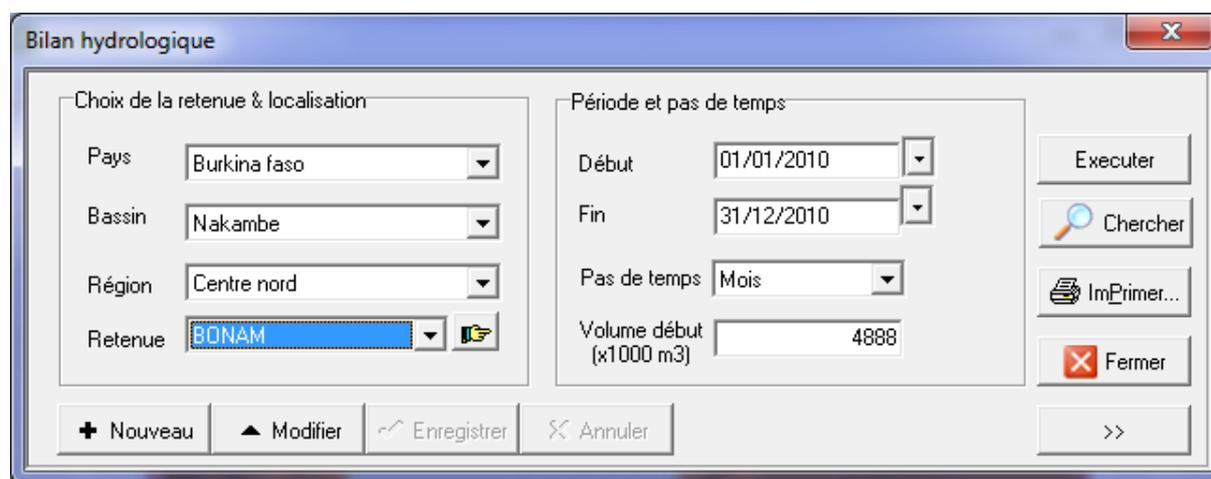


Figure 10 : Fenêtre d'édition du bilan hydrologique sans les détails

Bilan hydrologique

Choix de la retenue & localisation

Pays: Burkina faso

Bassin: Bagré

Région: Centre

Retenue: BAGRE

Période et pas de temps

Début: 01/01/1998

Fin: 31/12/1998

Pas de temps: Mois

Volume début (x1000 m3): 3500

Executer

Chercher

Imprimer...

Fermer

+ Nouveau ▲ Modifier Enregistrer Annuler Chercher <<

▼	Debut	Fin	DV	Volume	Surface	Apports bassin versant	Pluie	Autres apports ▲
▶	01/12/1998	31/12/1998	3446511,25	3450011,25	1128,109375		0	0
	01/02/1998	28/02/1998	3485042,75	3488542,75	2220,765625		0	4787597656
	01/03/1998	31/03/1998	3477730,25	3481230,25	2002,234375		0	0
	01/04/1998	30/04/1998	3473577,75	3477077,75	51892,96875		584	9152832031
	01/05/1998	31/05/1998	3467162,5	3470662,5	01,75390625	627,547973632813		2917480469
	01/06/1998	30/06/1998	3461949	3465449	1565,171875	919,533325195313		7607421875
	01/07/1998	31/07/1998	3456902,5	3460402,5	401,2734375	1493,87097167969		1396484375
	01/08/1998	31/08/1998	3450909,75	3454409,75	61237,375	660,322570800781		8720703125

Figure 11 : Fenêtre d'édition du bilan hydrologique sans les détails

Tout comme la simulation pour faire un bilan hydrologique il faut cliquer sur le bouton Nouveau, saisir les informations puis cliquer sur le bouton Exécuter pour lancer le bilan.

Il est également possible de tirer un rapport.

En cliquant sur le bouton Imprimer il s'affiche le tableau ci-dessous :



Resultat du bilan hydrologique mensuel

Nom de la retenue: **BONAM** Volume de débit (1000 m3) : **4888**

Debut	Fin	Côte début	Apports BV	Pluies	Autres apports	Volume cumulé	Hauteur évaporée	Hauteur infiltrée	Volume déversé	Besoins agricoles	Besoins domestiq.	Besoins industr.	Besoins pastoraux	Autres besoins	Volume résiduel	Côte fin
01/01/2010	31/01/2010	231,75	0	0	0	4 888 000	0,205	0,09	0	444 543	1 917	0	6 758	0	3 530 420	231,29
01/02/2010	28/02/2010	231,29	0	0	0	3 530 420	0,221	0,081	0	300 571	1 732	0	12 824	0	2 481 224	230,83
01/03/2010	31/03/2010	230,83	0	0	0	2 481 224	0,266	0,09	0	83 357	1 917	0	14 198	0	1 695 451	230,4
01/04/2010	30/04/2010	230,4	0	0	0	1 695 451	0,261	0,087	0	62 143	1 856	0	13 740	0	1 097 541	230
01/05/2010	31/05/2010	230	0	0	0	1 097 541	0,249	0,09	0	0	1 917	0	14 198	0	708 464	229,65
01/06/2010	30/06/2010	229,65	418 000	0	0	1 126 464	0,202	0,087	0	0	1 856	0	6 540	0	793 387	229,73
01/07/2010	31/07/2010	229,73	684 000	0	0	1 477 387	0,165	0,09	0	75 000	1 917	0	6 758	0	1 012 687	229,93
01/08/2010	31/08/2010	229,93	1 273 000	0	0	2 285 687	0,137	0,09	0	63 000	1 917	0	6 758	0	1 767 091	230,45
01/09/2010	30/09/2010	230,45	1 121 000	0	0	2 888 091	0,141	0,087	0	76 714	1 856	0	6 540	0	2 343 179	230,76
01/10/2010	31/10/2010	230,76	0	0	0	2 343 179	0,176	0,09	0	212 186	1 917	0	6 758	0	1 606 214	230,34
01/11/2010	30/11/2010	230,34	0	0	0	1 606 214	0,187	0,087	0	205 900	1 856	0	6 540	0	981 443	229,9
01/12/2010	31/12/2010	229,9	0	0	0	981 443	0,19	0,09	0	308 543	1 917	0	6 758	0	358 037	229,21

Tableau 3 : Résultat du bilan hydrologique

4.8 Importation/Exportation des données

4.8.1 Importation

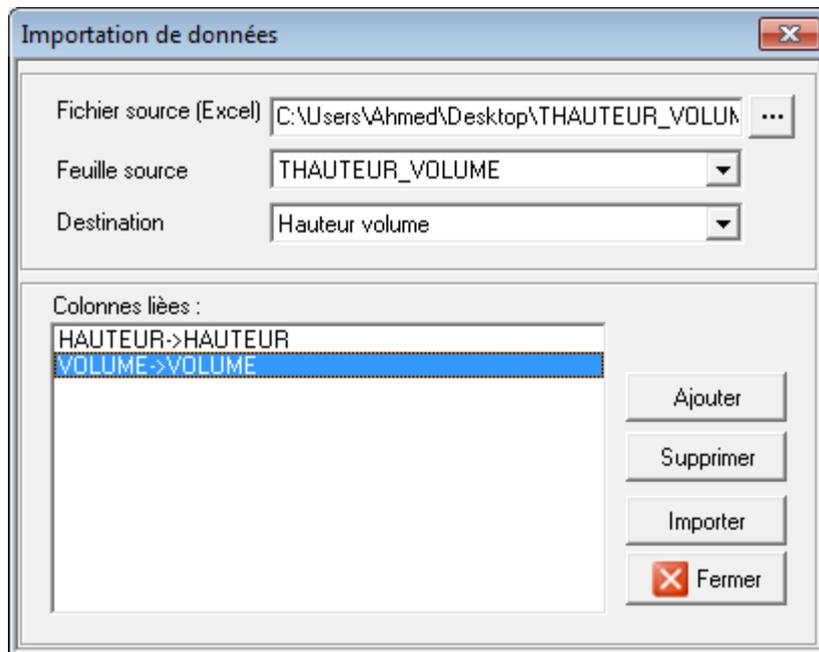


Figure 12 : Fenêtre d'importation des données

4.8.2 Exportation

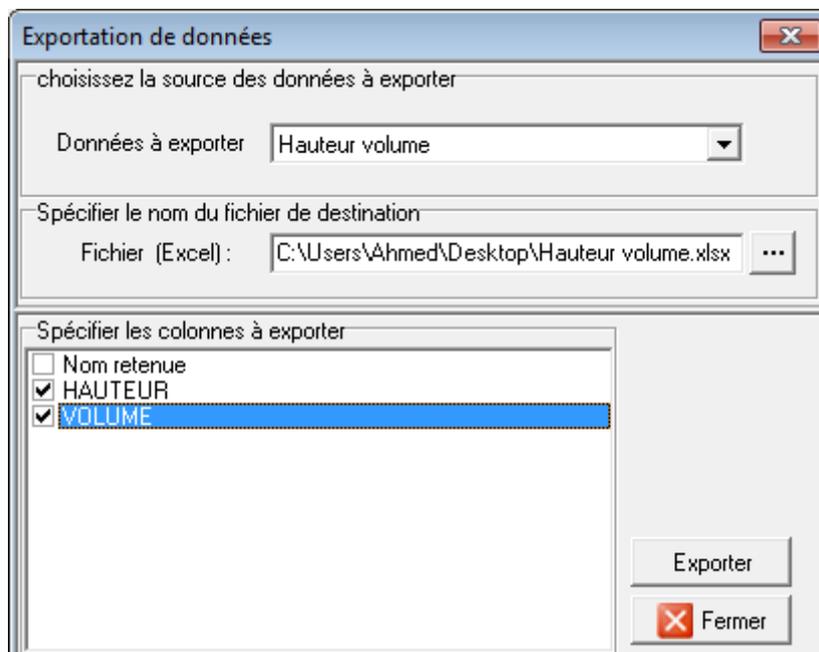


Figure 13 : Fenêtre d'exportation des données

V. DISCUSSION ET ANALYSE

En tant que logiciel d'aide à la gestion des retenues GESTRET présente plusieurs fonctions. Cet outil constitue d'abord un réservoir d'informations sur les retenues car il offre des possibilités de stockage des informations sur les retenues grâce à la base de données dont il dispose en arrière plan. Ces informations concernent à la fois la localisation des retenues, les caractéristiques physiques et les paramètres d'évolution de la réserve d'eau tels que les apports, les prélèvements et pertes d'eau.

GESTRET constitue donc avant tout une base de données des retenues.

Cette fonctionnalité est rendue plus intéressante car le logiciel offre des possibilités d'enregistrement et d'extraction rapide des informations grâce aux modules d'importation et d'exportation.

La simulation de l'utilisation des retenues est faite sur une période. Elle permet à partir des valeurs prévisionnelles des paramètres de déterminer à la fin de chaque unité de pas de temps la cote et le volume d'eau disponible. Elle informe donc sur l'état de la réserve, c'est à dire savoir si la ressource peut satisfaire les différents besoins avant la fin de la période ou à partir de quel moment l'eau ne sera plus disponible. Elle oriente également, d'une part dans le calage du plan d'eau pour un périmètre irrigué à l'aval et d'autre pour l'extension d'un périmètre irrigué car elle permet de savoir la superficie maximale irrigable par la retenue. La simulation constitue un outil de prévention de pénurie d'eau et aussi un outil d'aide à la prise de décision dans la mise place de toute activité nécessitant des prélèvements d'eau.

Le bilan contrairement à la simulation est fait à partir des données mesurées ou supposées l'être. Tout comme la simulation elle fait la somme algébrique des apports, pertes et prélèvements puis déduit le volume et la cote d'eau à la fin de chaque pas de temps.

L'intérêt du bilan se situe à deux niveaux :

- déterminer l'écart entre la variation de volume mesurée et celle calculée à partir des éléments constatés ou estimés, de manière à ajuster soit des estimations, soit des méthodes de calcul ;
- déterminer la valeur d'un paramètre d'évolution en supposant celles des autres connues.

Le bilan en plus d'être un outil d'ajustement des estimations est aussi un moyen de détermination de la part de prélèvement d'un groupe d'utilisateurs connaissant déjà celle des autres utilisateurs.

GESTRET permet à partir de la date de réalisation d'une retenue, du volume charrié par an et des volumes curés de déterminer le volume perdu à cause de l'envasement.

S'il est vrai que grâce aux différentes fonctionnalités dont elle dispose GESTRET un outil important dans la gestion des retenues, il est loin d'être un outil complet car bien d'autres éléments restent inexplorés et dont l'intégration pourrait constituer une avancée notable. Il s'agit de essentiellement :

- Des optimisations de l'utilisation de la retenue, fonctionnalité qui pourrait proposer une répartition au mieux de l'eau aux différents usages selon les besoins.
- De la prise en compte des références spatiales dans la base données, c'est-à-dire la localisation géographique des ressources.
- De la prise en compte de la pollution, c'est-à-dire l'intégration des informations relatives à pollution de la ressource eau.

VI. CONCLUSION

Le présent travail a permis de situer sur les différentes insuffisances et d'apporter des réponses. Ainsi le transfert de la base de données vers Microsoft Access a permis de disposer d'une base de données plus stable. De même l'examen des données relatives à la gestion des retenues, ainsi que celui des différentes procédures du programme ont permis de réécrire certains modules tels que le module de la simulation et celui du bilan et d'en ajouter d'autres qui sont essentiellement les modules d'importation et d'exportation de données. Par ailleurs l'application de GESTRET à la retenue de BONAM a permis de tester les différentes fonctionnalités. Les résultats ont permis de s'assurer du bon fonctionnement de l'outil. Cependant, GESTRET qui peut être perçu comme l'ébauche d'un outil plus complet n'offre par la possibilité de faire des optimisations sur l'utilisation de l'eau ou encore ne permet pas à cette étape l'intégration des données à références spatiales et celle des informations sur la pollution. Toute fois l'examen de ces différents aspects puis leur intégration peuvent faire l'objet d'une nouvelle étude. Et nous restons convaincus que l'intégration de nouvelles fonctionnalités nécessaires à la bonne gestion des retenues fera de GESTRET un important outil d'accompagnement dans la gestion intégrée des ressources en eau.

VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Harouna KARAMBIRI, Ismaïla GUEYE, Petits barrages en terre, document de cours pour la formation Master Spécialisé HGSI année scolaire 2006-2007
- [2] J.-M.DURAND, Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique, version provisoire-janvier 1996
- [3] : Crues et apports, FAO 1995
- [1] L'Académie de l'Eau, La Charte Sociale de l'Eau, document diffusé sous forme d'appel à contributions pour l'établissement d'une Charte Sociale de l'eau, 1998.
- [2] Dezetter, A., Un outil d'aide à la planification et à la gestion intégrée des ressources en eau. Le modèle de simulation HYDRAM, Sud Sciences et Technologies, N°2, Juillet 1998.
- [3] Tamiz, M., Multi-Objective and Goal Programming: Theories and Applications, Springer-Verlag, Vol 432, 1996.
- [4] Eric S. TRAORE, Arnold F. PAKO-GAKOSSO, Un modèle de répartition de l'eau d'un réservoir par programmation à buts multiples, International Conference "Water&Health – Ouaga 2000", Session 4, pp. 67-71, November 21-24 2000 Ouagadougou, Burkina Faso,.
- [5] Eric S. Traoré, Allocating Water from a Reservoir between competitive users through Multiple Goal Programming and Dynamic Programming Techniques, Proceedings 4th Inter-regional Conference on Environment-Water, Envirowater 2001, Portaleza, Brasil
- [6] Eric S. TRAORE, Akry COULIBALY, Application des ensembles flous dans la prise de décision en gestion durable d'un réservoir d'eau, Proceedings 5th Inter-regional Conference on Environment-Water, Envirowater 2002, Octobre 2002, pp. 219-224, Ouagadougou, Burkina Faso

VIII. ANNEXES

Annexe 1 : Manuel d'utilisation

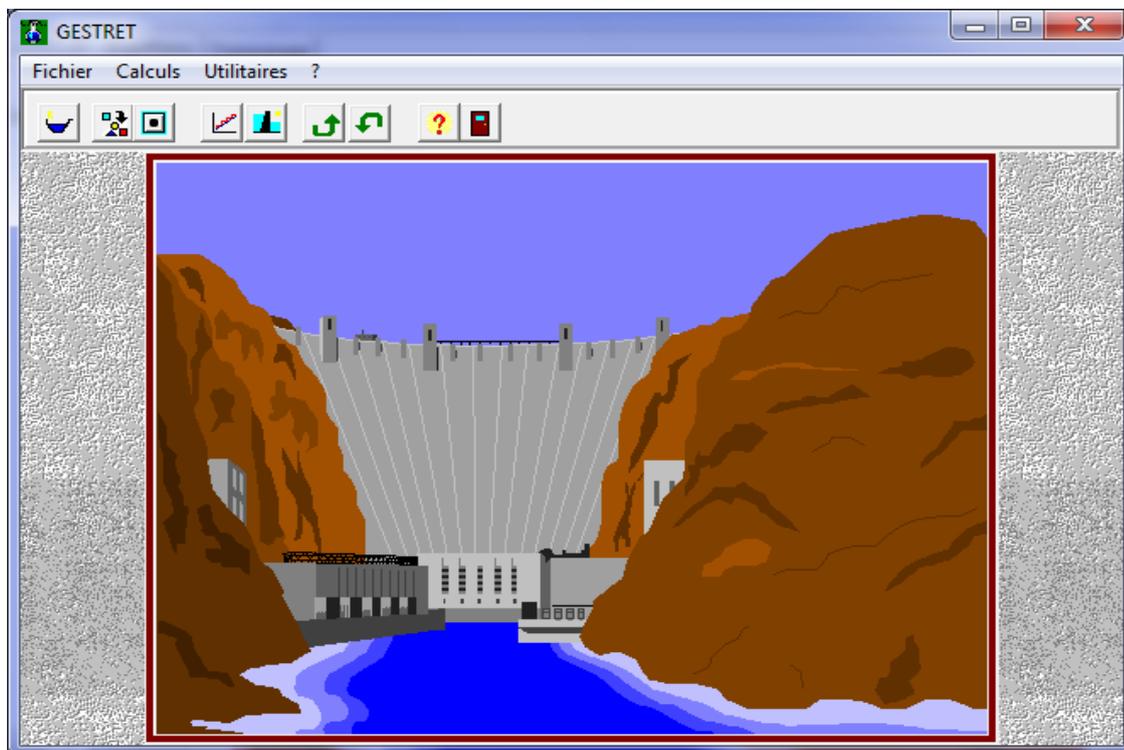
L'icône de GESTRET se présente sous cette forme : 

Comme tous les programmes installés sur Windows pour lancer GESTRET il faut aller dans le menu puis tous les programmes et cliquer sur l'icône.

Au lancement de s'ouvre la fenêtre de démarrage de GESTRET :



Après cette s'ouvre la fenêtre principale de l'application :



Cette fenêtre est munie d'une barre de menu permettant d'accéder aux autres fenêtres et d'une

barre d'outils qui offre des raccourcis vers les éléments du menu.

Description du menu

Eléments de menu	Raccourci	Fonction
Fichier/Retenue		Accès à la fenêtre d'édition des caractéristiques de la retenue
Fichier/Valeurs prévisionnelles		Accès à la fenêtre d'édition des valeurs prévisionnelles des paramètres d'évolution de la retenue
Fichier/Valeurs mesurées		Accès à la fenêtre d'édition des valeurs mesurées des paramètres d'évolution de la retenue
Fichier/Quitter		Quitter le logiciel
Calculs/Simulation		Accès à la fenêtre de lancement d'un calcul de simulation
Utilitaires/Importer		Accès à la fenêtre d'importation de données
Utilitaires/Importer		Accès à la fenêtre d'exportation de données
Calculs/Bilan		Accès à la fenêtre de lancement d'un calcul de bilan
Rubrique d'aide		Accès à l'aide en ligne de Gestret

La mise à jour des retenues

Pour effectuer une mise à jour des retenues on clique sur l'élément du menu fichier puis s'ouvre la fenêtre ci-dessous :

Ouvre la liste des retenues pour effectuer une recherche

Ouvre la fenêtre de mise à jour des pays

Ouvre la liste des régions

Hauteur(m)	Volume(x1 000 m3)
240	3500000
221,5	100000
223,75	200000
9993896484	300000

Pour calculer les volumes si les surfaces sont saisies

Pour tracer la courbe hauteur- volume ou la courbe hauteur-surface

Ouvre la fenêtre de mise à jour des bassins

Pour ouvrir la liste des bassins ou la fenêtre de mise à jour des régions ou enfin la fenêtre de mise à jour des pays il faut être en insertion ou édition c'est avoir d'abord cliqué sur le bouton « Nouveau » ou le Bouton « Modifier ».

L'édition des valeurs prévisionnelles

L'élément « Valeurs prévisionnelles » du menu fichier permet d'accéder à la fenêtre d'édition des valeurs prévisionnelles ci-dessous :

Cliquer ici pour ouvrir le calendrier

Début	Fin	Valeur
01/01/2010	31/01/2010	1917,34997558594
01/02/2010	28/02/2010	1731,80004882813
01/03/2010	31/03/2010	1917,34997558594
01/04/2010	30/04/2010	1855,5
01/05/2010	31/05/2010	1917,34997558594
01/06/2010	30/06/2010	1855,5
01/07/2010	31/07/2010	1917,34997558594
01/08/2010	31/08/2010	1917,34997558594
01/09/2010	30/09/2010	1855,5
01/10/2010	31/10/2010	1917,34997558594
01/11/2010	30/11/2010	1855,5

La légende des différents boutons indique quelles actions permettent-ils d'exécuter.

Lors de l'édition des nouvelles valeurs prévisionnelles, après le choix de la retenue, du paramètre de la période et du pas de temps on clique sur le bouton « Introduire » pour décomposer en des unités de pas de temps. En cliquant sur ce bouton il s'ouvre la boîte de dialogue ci-dessous :

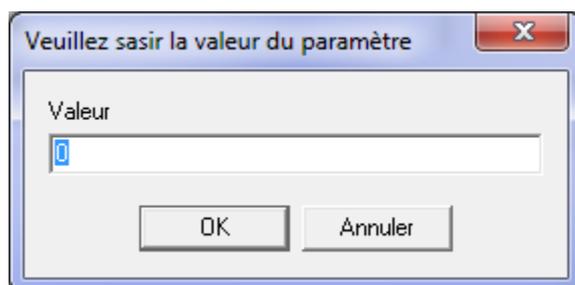
Confirmation

La valeur du paramètre est-t-elle la même pour tous les pas de temps?

Oui Non

Lorsque la valeur est identique pour tous les pas de temps on clique sur le bouton « Oui » et la

fenêtre ci-dessous s'ouvre pour permettre de saisir la valeur unique :

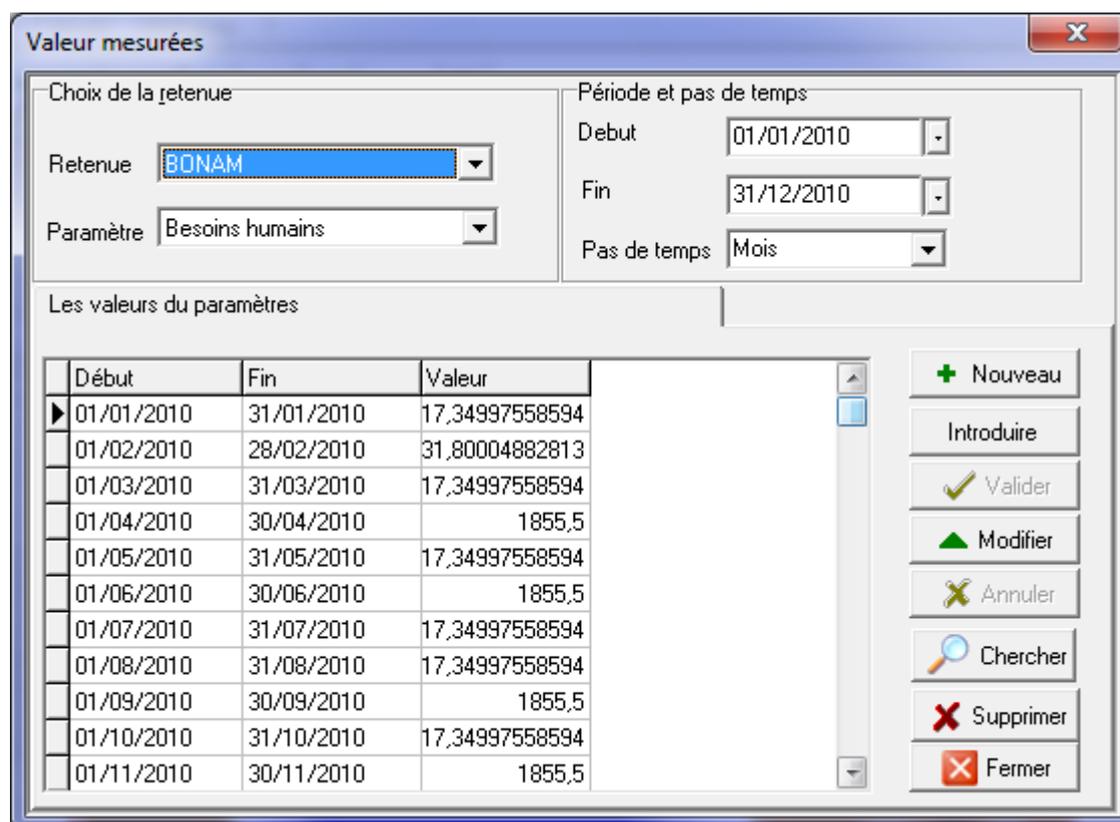


Sinon cliquer sur le bouton « Non » de la boîte de dialogue puis les valeurs du paramètre dans les cellules de la colonne Valeur.

L'édition des valeurs mesurées

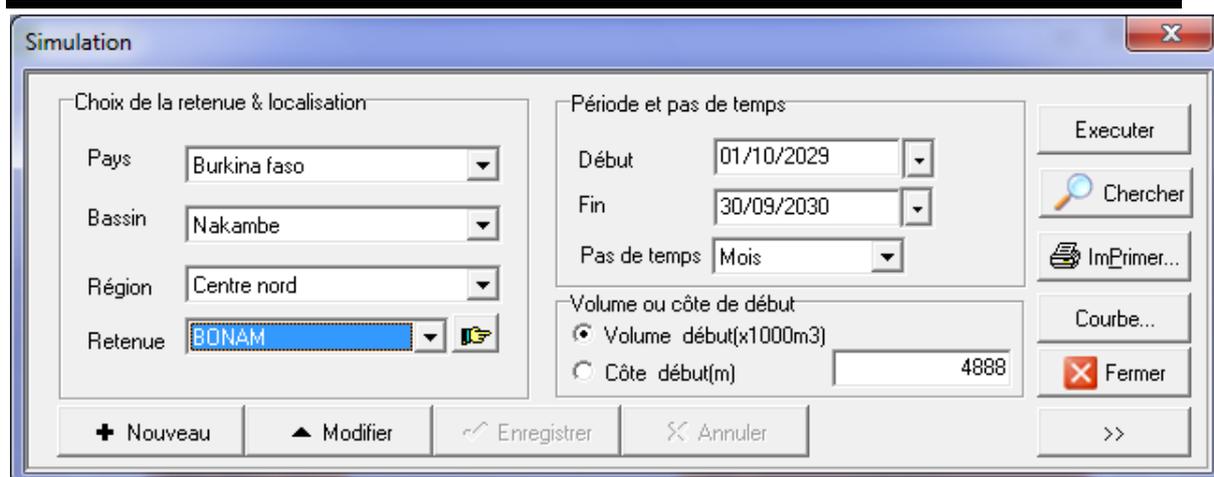
La fenêtre d'édition des valeurs mesurées se présente de la même manière que celles des valeurs prévisionnelles et la procédure d'édition est identique à celles des valeurs prévisionnelles.

On y accède via l'élément «valeurs mesurées » du menu fichier.



La simulation

Cliquer sur « Simulation » dans le menu « calcul » pour ouvrir la fenêtre de simulation.



Le bouton  permet d'agrandir la fenêtre :

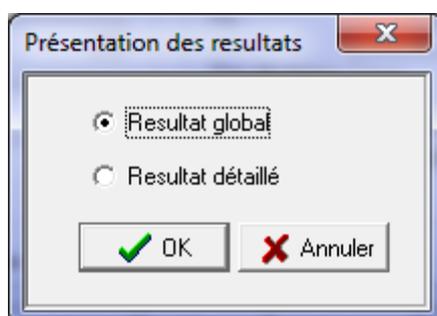
Le bouton  permet de la réduire

La légende des boutons indique quelle action ils permettent d'effectuer.

Le bouton « Exécuter » permet de lancer la simulation.

Le bouton « Imprimer » permet de visualiser et d'imprimer les résultats de la simulation.

En cliquant sur ce bouton il s'affiche la boîte de dialogue ci-dessous :



Cette permet de choisir la manière dont on veut présenter les résultats.

En cliquant par exemple sur Résultat global puis sur le bouton « OK » il s'affiche la fenêtre ci-dessous :

Adaptation et amélioration du logiciel d'aide a la prise de décision dans la gestion durable des retenues d'eau : GESTRET

Prévisualisation d'impression

Resultat global : simulation mensuelle

Nom de la retenue: **BONAM** Volume de débit (m3) : **4 888 000** Côte de prise (m) : **229** Volume charrié (m3) : **95 072**

Debut	Fin	Code début	Vol. cumulé	Surface	Côte atteinte	Perte	Côte corresp.	Vol. corrigé	Prélèvement	vol. résiduel	Côte fin
01/10/2029	31/10/202	231,75	4 792 928	2 896 485	231,721	0,161	231,56	4 110 535	82 300	4 028 235	231,476
01/11/2029	30/11/2029	231,476	4 028 235	2 836 375	231,476	0,161	231,314	3 625 045	82 300	3 542 744	231,294
01/12/2029	31/12/2029	231,294	3 542 744	2 604 313	231,294	0,161	231,132	3 161 861	82 300	3 079 561	231,106
01/01/2030	31/01/2030	231,106	3 079 561	2 367 313	231,106	0,161	230,945	2 715 838	82 300	2 633 537	230,903
01/02/2030	28/02/2030	230,903	2 633 537	2 130 258	230,903	0,161	230,742	2 317 103	82 300	2 234 803	230,7
01/03/2030	31/03/2030	230,7	2 234 803	1 910 070	230,7	0,161	230,539	1 918 369	82 300	1 836 069	230,496
01/04/2030	30/04/2030	230,496	1 836 069	1 688 945	230,496	0,161	230,335	1 593 247	82 300	1 510 946	230,279
01/05/2030	31/05/2030	230,279	1 510 946	1 519 410	230,279	0,161	230,118	1 268 810	82 300	1 186 510	230,062
01/06/2030	30/06/2030	230,062	1 186 510	1 349 875	230,062	0,161	229,901	984 068	82 300	901 768	229,825
01/07/2030	31/07/2030	229,825	901 768	1 159 852	229,825	0,161	229,664	724 580	82 300	642 279	229,589
01/08/2030	31/08/2030	229,589	642 279	967 953	229,589	0,161	229,428	497 999	82 300	415 699	229,3
01/09/2030	30/09/2030	229,3	415 699	691 917	229,3	0,161	229,138	312 240	82 300	229 940	229,011

Page 1 sur 1

La fenêtre barre d'outils de la fenêtre est composée des outils suivants :



 : Zoom ajusté

 : Zoom 100%

 : Zoom sur largeur

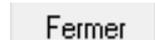
 : Les boutons défilent entre les pages

 : Pour configurer l'impression

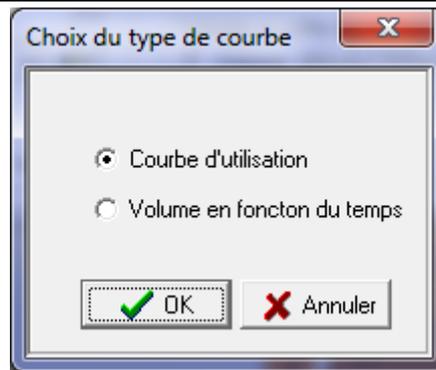
 : Pour lancer l'impression

 : Pour enregistrer l'état avec l'extension .QRP

 : Pour ouvrir les états enregistrés avec l'extension.QRP

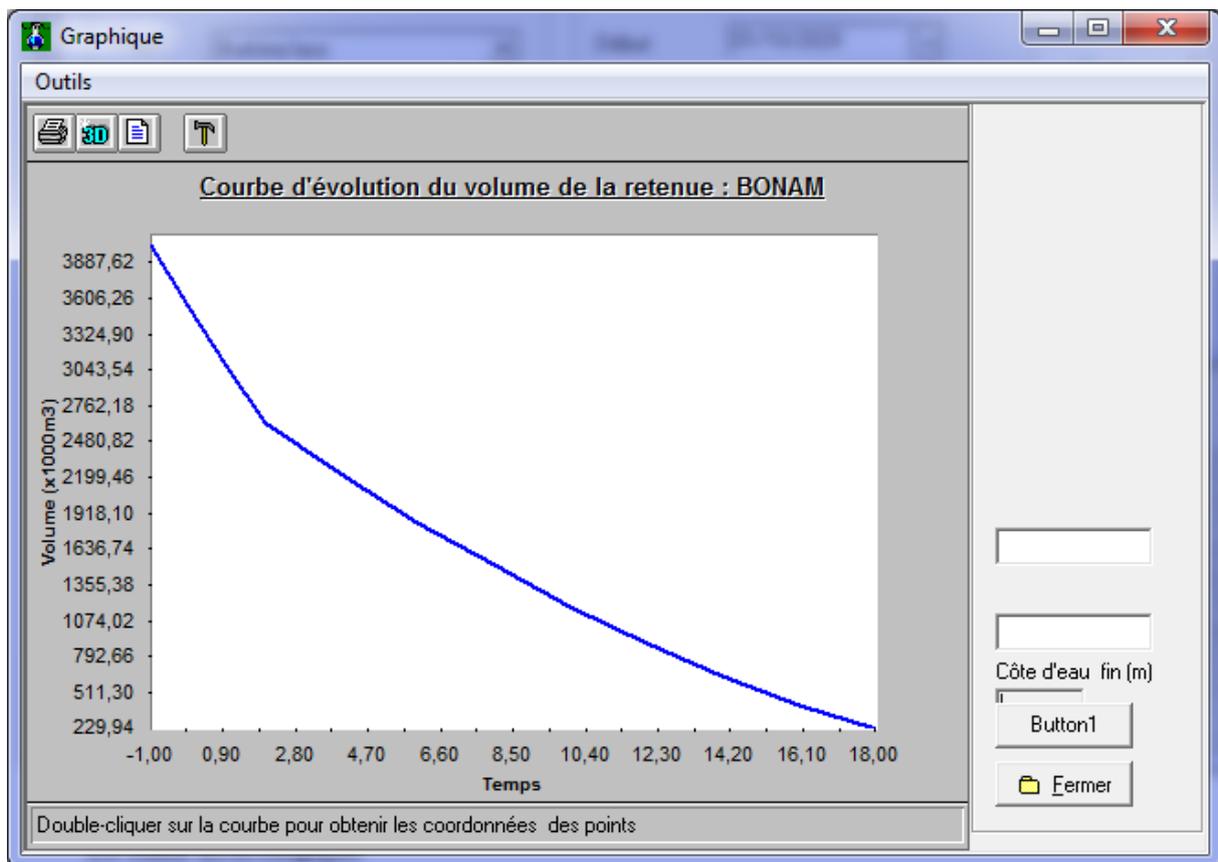
 : Pour fermer la fenêtre

Le bouton « Courbe » permet de visualiser les différentes courbes de la simulation.



Une fois le type courbe choisi cliquer sur le bouton « OK »

Le choix du « Volume en fonction du temps » donne par exemple la courbe ci-dessous :



Le bilan hydrologique

La fenêtre du bilan hydrologique se présente sous la même forme que celle de la simulation.

Cliquer sur « Bilan » dans le menu « calcul » pour ouvrir la fenêtre du Bilan.

Bilan hydrologique

Choix de la retenue & localisation

Pays : Burkina faso

Bassin : Nakambe

Région : Centre nord

Retenue : BONAM

Période et pas de temps

Début : 01/01/2010

Fin : 31/12/2010

Pas de temps : Mois

Volume débit (x1000 m3) : 4888

Executer

Chercher

ImPrimer...

Fermer

+ Nouveau ▲ Modifier Enregistrer Annuler

Bilan hydrologique

Choix de la retenue & localisation

Pays : Burkina faso

Bassin : Nakambe

Région : Centre nord

Retenue : BONAM

Période et pas de temps

Début : 01/01/2010

Fin : 31/12/2010

Pas de temps : Mois

Volume débit (x1000 m3) : 4888

Executer

Chercher

ImPrimer...

Fermer

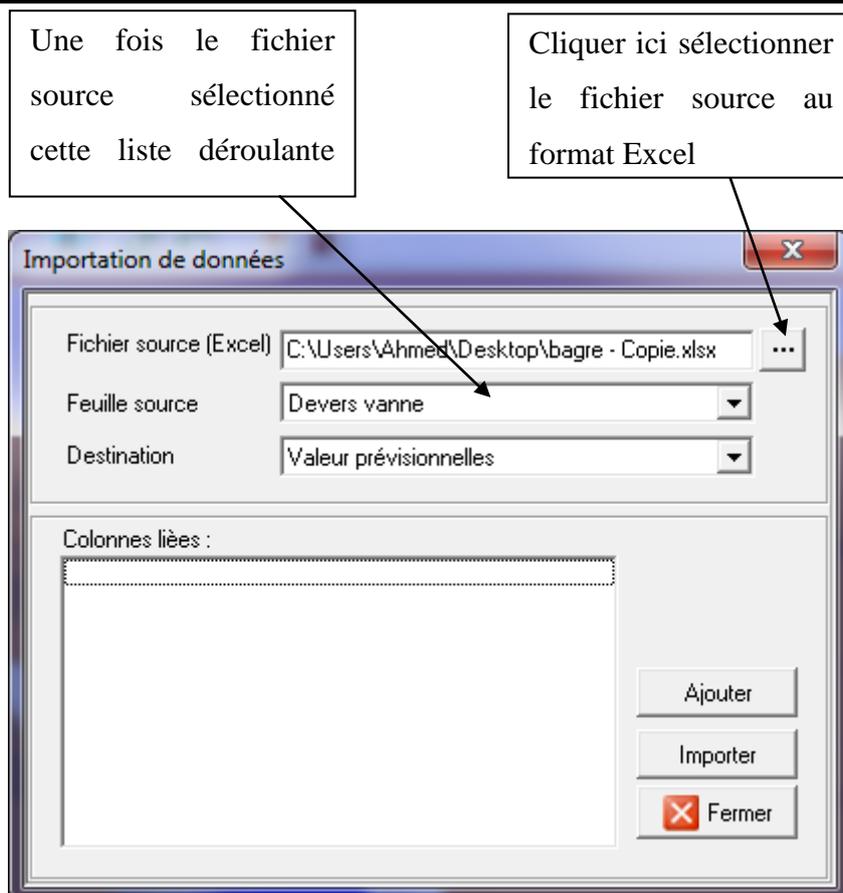
+ Nouveau ▲ Modifier Enregistrer Annuler

Debut	Fin	Apports bassin versant	Pluie	Autres apports	Evaporation	Infiltration	Deve
01/12/2010	31/12/2010	0	0	0	9995179176	0035762787	
01/11/2010	30/11/2010	0	0	0	0001153946	9974966049	
01/10/2010	31/10/2010	0	0	0	9996609688	0035762787	
01/09/2010	30/09/2010	1121000	0	0	8000357151	9974966049	
01/08/2010	31/08/2010	1273000	0	0	9996004105	0035762787	
01/07/2010	31/07/2010	684000	0	0	9996938705	0035762787	
01/06/2010	30/06/2010	418000	0	0	9995927811	9974966049	
01/05/2010	31/05/2010	0	0	0	9992690086	0035762787	

La procédure de création d'un bilan est similaire à celle d'une simulation

Importation des Données

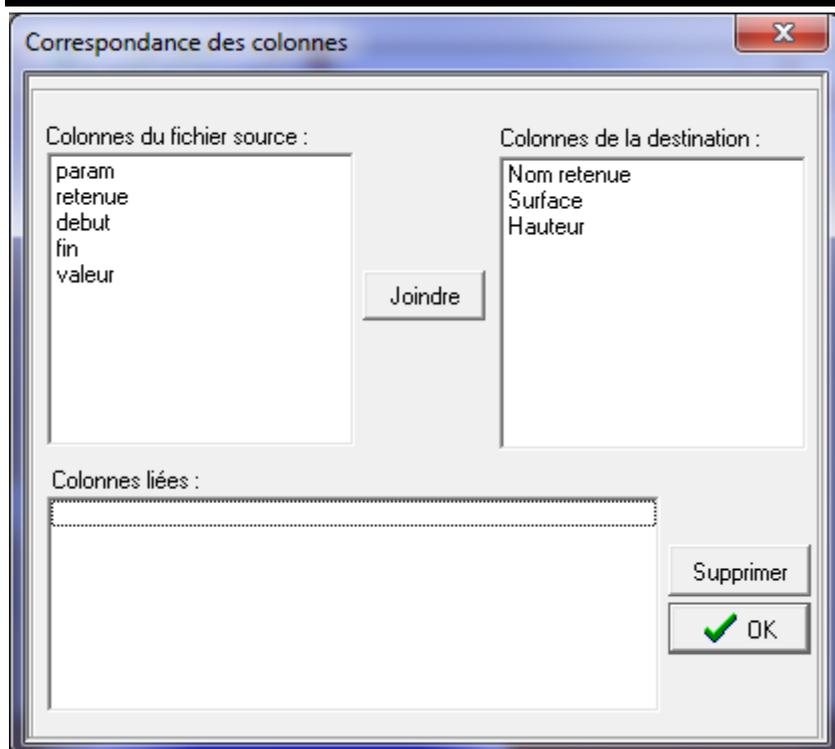
Cliquer sur « Importer » dans le menu « Utilitaires » pour ouvrir la fenêtre d'importation des données :



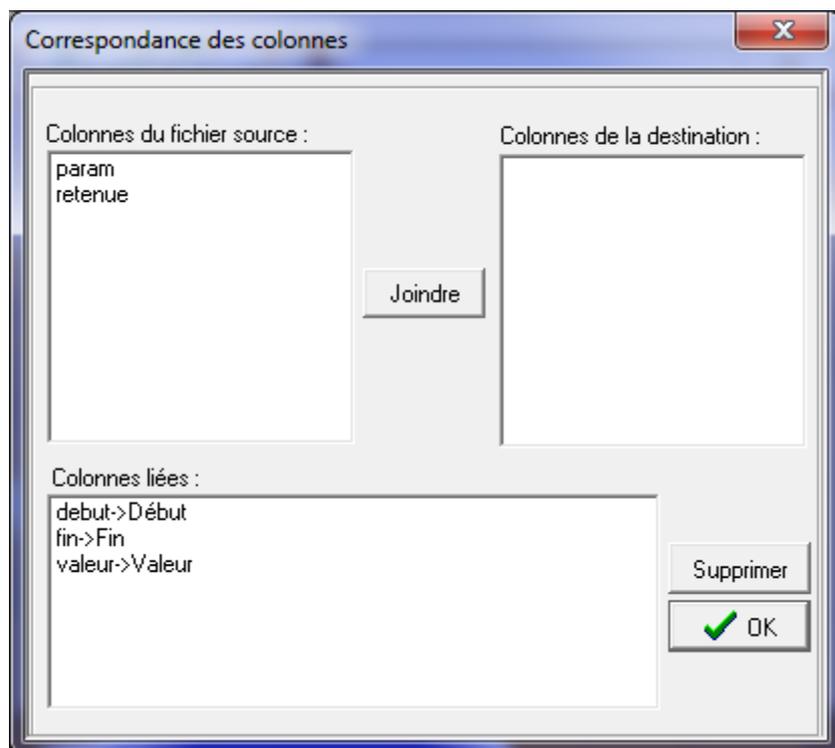
Cliquer sur la petite flèche  pour ouvrir une liste déroulante et sélectionner un élément.

Le bouton « Ajouter » permet de permettre en correspondance des colonnes de la feuille sélectionnée et des colonnes de la destination

En cliquant sur « Ajouter » il s'ouvre la fenêtre ci-dessous :

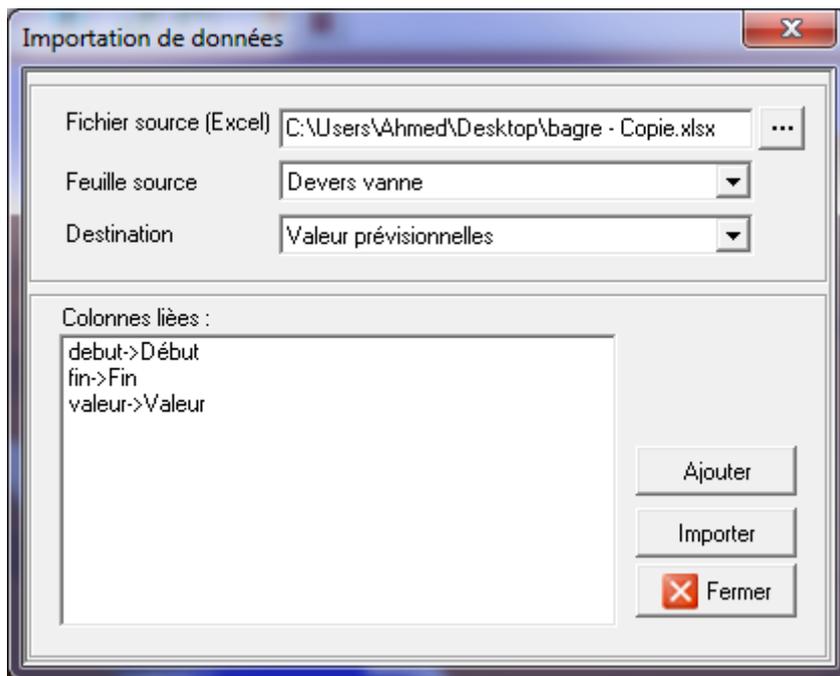


Pour mettre en correspondance deux colonnes sélectionner les noms des colonnes de part et d'autre cliquer sur joindre.



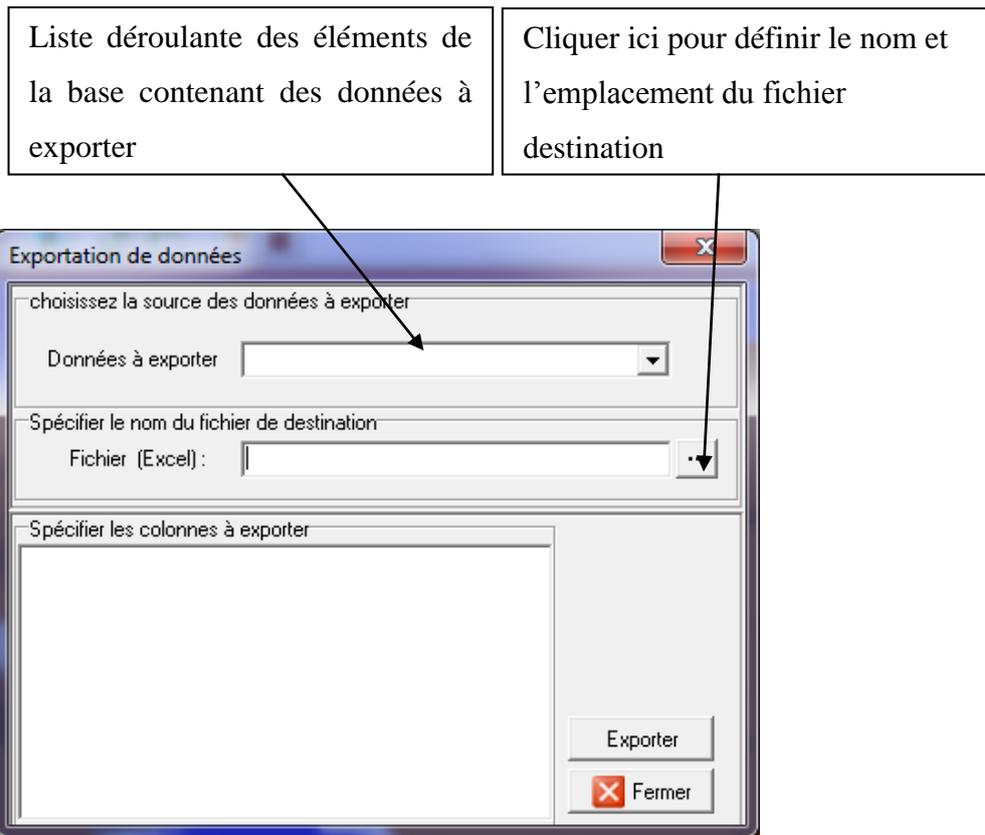
Selectionner dans la liste « Colonnes liées » une correspondance que vous voulez rompre puis cliquer sur « Supprimer »

Une fois les colonnes mises en correspondance cliquer sur « OK » puis sur « importer » et laisser vous guider par la procédure d'importation.



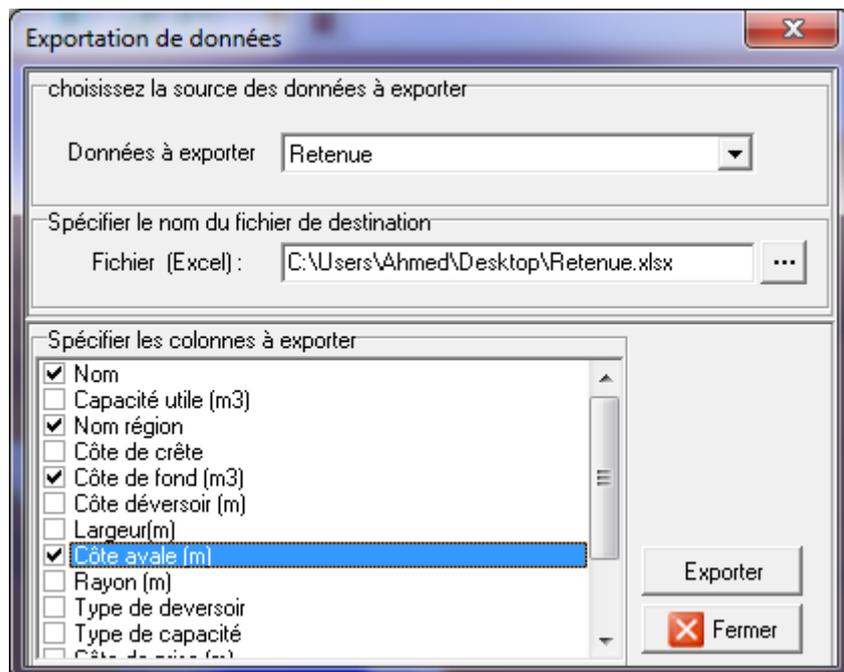
Exportation des données

Cliquer sur « Exporter » dans le menu « Utilitaires » pour ouvrir la fenêtre d'exportation des données :



Une fois un élément sélectionné dans la liste déroulante « données à exporter » ses colonnes sont affichées dans la zone « Spécifier les colonnes à exporter »

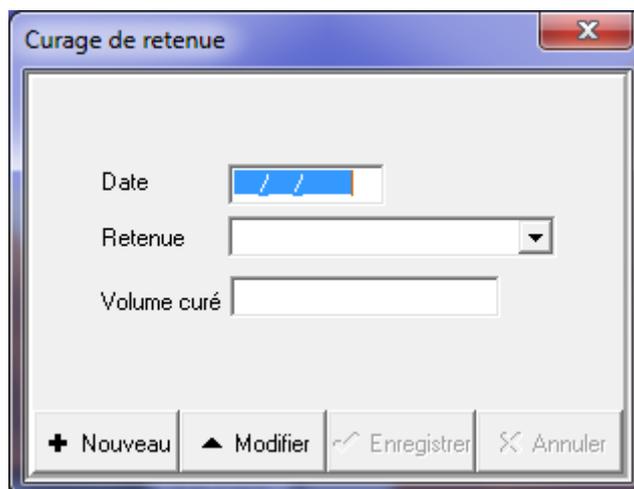
Cocher les cases à cocher des colonnes à exporter puis cliquer sur « Exporter »



Edition des curage

Le curage permet de renseigner le volume de dépôts extraits lors du curage d'une retenue.

Cliquer sur « Curage de retenue » dans le menu « Fichier » pour ouvrir la fenêtre d'édition des curages:



The image shows a software dialog box titled "Curage de retenue". It features a standard Windows-style title bar with a close button (X) in the top right corner. The main area of the dialog contains three input fields: "Date" with a date picker showing slashes, "Retenue" with a dropdown menu, and "Volume curé" with a text box. At the bottom of the dialog, there are four buttons: "+ Nouveau", "▲ Modifier", "✓ Enregistrer", and "✗ Annuler".

Annexe 3 : Les données de la retenue de BONAM

Les besoins domestiques et pastoraux

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Domestiques	1917	1732	1917	1856	1917	1856	1917	1917	1856	1917	1856	1917
Total domestique	1917	1732	1917	1856	1917	1856	1917	1917	1856	1917	1856	1917
Petits ruminants	2418	2184	2418	2340	2418	2340	2418	2418	2340	2418	2340	2418
Bovins domestiques	4340	3920	4340	4200	4340	4200	4340	4340	4200	4340	4200	4340
Animaux transhumants	0	6720	7440	7200	7440	0	0	0	0	0	0	0
Total abreuvement	6758	12824	14198	13740	14198	6540	6758	6758	6540	6758	6540	6758

Les besoins agricoles

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
Riz	4630	490	3890	2900	0	0	3500	2940	3580	2390	0	3410
Besoin/ha	6614	700	5557	4143	0	0	5000	4200	5114	3414	0	4871
Superficie	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Besoins totaux	99214	10500	83357	62143	0	0	75000	63000	76714	51214	0	73071
Oignon	1680	1550	0	0	0	0	0	0	0	780	980	1080
Besoin/ha	2400	2214	0	0	0	0	0	0	0	1114	1400	1543
Superficie	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131
Besoins totaux	314400	290071	0	0	0	0	0	0	0	145971	183400	202114
Tomate	1330	0	0	0	0	0	0	0	0	700	1050	1650
Besoin/ha	1900	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	1500	2357
Superficie	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Besoins totaux	9500	0	0	0	0	0	0	0	0	5000	7500	11786

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Chou	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	700	1050	1510
Besoin/ha	2143	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	1500	2157
Superficie	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Besoins totaux	21429	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	15000	21571
Besoins totaux irrigation	444543	300571	83357	62143	0	0	75000	63000	76714	212186	205900	308543

Les apports

Fréquence	Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre	
Quinzaine	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Année décennale sèche	0	0	0	0	57000	0	1273000	209000	171000	342000	0	133000
Année quinquennale sèche	0	0	0	0	418000	0	399000	285000	1007000	266000	228000	893000
Année moyenne	0	1083000	190000	0	0	0	152000	8550000	950000	76000	627000	0

L'infiltration et l'évaporation

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Infiltration	0,06	0,054	0,06	0,058	0,06	0,058	0,06	0,06	0,058	0,06	0,058	0,06
Evaporation	0,205	0,221	0,266	0,261	0,249	0,202	0,165	0,137	0,141	0,176	0,187	0,190