

CODE DE CALCUL EN  
ENVIRONNEMENT

*Dépôt sédimentaire dans la retenue  
de Luzzone*



Retenue de Luzzone – Canton du Tessin (Suisse)

**Lilian BERTERRECHE**

**Renaud CHAMPREDONDE**

**Année 2007 –2008**

---

## **SOMMAIRE**

1.	TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	3
2.	INTRODUCTION.....	4
3.	NOTIONS PHYSIQUES .....	5
3.1.	La turbidité .....	5
3.2.	Conditions et approximations physiques .....	5
4.	GEOMETRIE ET CONDITIONS AUX LIMITES.....	7
4.1.	Géométrie du bassin versant .....	7
4.2.	Conditions aux limites et maillage .....	8
5.	PREPARATION TELEMAR2D / SISYPHE.....	9
5.1.	Fichier cas.....	9
5.2.	Fichier cas_sys.....	11
6.	RESULTATS .....	13
6.1.	La bathymétrie .....	13
6.2.	Evolution de la hauteur d'eau .....	14
6.3.	Evolution du débit.....	15
6.4.	Evolution du fond.....	16
7.	CONCLUSIONS .....	19
8.	BIBLIOGRAPHIE.....	20

# 1. TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

Figure 1 : Schéma turbidité.....	5
Figure 2 : Géométrie du problème.....	7
Figure 3 : Visualisation des conditions aux limites.....	8
Figure 4 : Bathymétrie du domaine au temps $t=0$ seconde et débit au temps $t=100$ secondes .....	13
Figure 5 : Hauteur d'eau comprise entre $-0,002$ m et $146$ m au temps $t=0$ seconde.	14
Figure 6 : Hauteur d'eau comprise entre $-0,002$ m et $146$ m au temps $t=50000$ secondes. ....	14
Figure 7 : Hauteur d'eau comprise entre $-0,002$ m et $146$ m au temps $t=100000$ secondes. ....	14
Figure 8 : Débit au temps $t=100$ secondes.....	15
Figure 9 : Débit au temps $t=50000$ secondes. ....	15
Figure 10 : Débit au temps $t=100000$ secondes. ....	16
Figure 11 : Evolution du fond à l'instant $t=0$ seconde. ....	16
Figure 12 : Evolution du fond à l'instant $t = 50000$ s. ....	17
Figure 13 : Evolution du fond au temps $t = 100000$ secondes.....	17

## 2. INTRODUCTION

---

Dans le cadre du module « Code de calcul et environnement », nous voulons illustrer les cours de Mécanique des Fluides appliquée à l'environnement. Nous choisissons d'illustrer le phénomène de dépôt sédimentaire en amont d'un barrage. Pour cela, nous devons utiliser Sisyphé et Télémac pour modéliser le transport sédimentaire 2D par charriage.

Les conditions d'écoulement d'une rivière ou d'un torrent sont profondément bouleversées dans la retenue et en aval par la présence d'un barrage. Nous nous intéressons plus particulièrement à la retenue de Luzzone. Lors des crues, la présence de matière en suspension dans l'écoulement entrant change la densité de l'eau. Il arrive donc un écoulement de plus grande densité que l'eau dans la retenue d'eau standard. Puis cette charge solide finit par décanter. Il y a sédimentation, c'est le phénomène d'alluvionnement. En même temps, la crue amène des matériaux solides de plus grandes envergures qui se déplacent par charriage. L'entrée d'un mélange eau-sédiments-solide et son parcours dans le réservoir ont été étudiés expérimentalement. Les dépôts de sédiments dans un réservoir sont ainsi composés de :

- la matière solide transportée par charriage le plus souvent à l'entrée du réservoir.
- la matière en suspension transportée par des courants de turbidité qui se dépose dans le reste du réservoir.

Nous nous intéressons plus particulièrement à la retenue de Luzzone en Suisse dont nous avons pu obtenir la géométrie de la retenue et du barrage. Nous allons plus spécifiquement étudier le charriage.

### 3. NOTIONS PHYSIQUES

#### 3.1. La turbidité

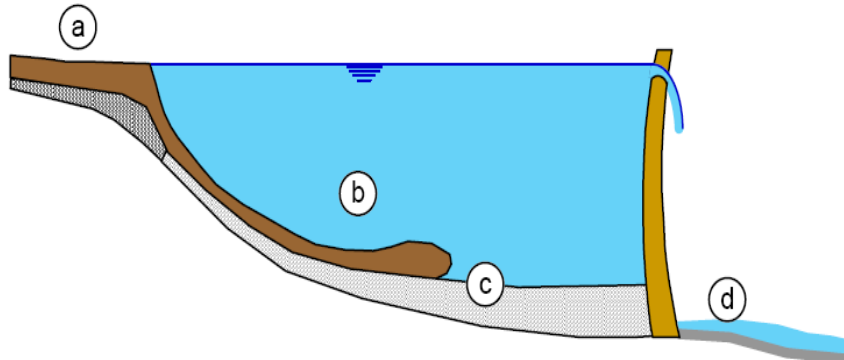


Figure 1 : Schéma turbidité

La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Elle est causée par des particules en suspension. La turbidité est un facteur écologique important, qui peut traduire: une teneur importante (normale ou non) en matières fines ou colorantes en suspension (suite par exemple à l'érosion, au lessivage de sols fragiles, dégradés ou agricoles labourés). Les organismes filtrants et les phénomènes de sédimentation contrôlent de manière importante la turbidité de l'eau. La turbidité a donc pour conséquence un changement des caractéristiques de l'eau telles que sa densité ou son opacité.

#### 3.2. Conditions et approximations physiques

Dans Télémac, nous travaillons dans un cas 2D, instationnaire et turbulent. On utilise le modèle des équations de Saint Venant dans l'approximation d'une pente faible. Cette approximation peut être critiquable dans le cadre de notre étude.

Le modèle de turbulence que nous utilisons est le modèle  $k-\epsilon$  qui fait intervenir la turbulence à travers une viscosité turbulente  $\nu_t$ . Ce choix est guidé par les travaux précédents que nous avons faits sur Télémac. Mais rappelons qu'à une échelle plus petite, ce choix ne serait pas judicieux.

On choisit de modéliser le frottement sur le sol et les parois par la loi de Strickler car c'est celle la plus couramment utilisée. Néanmoins Télémac propose d'autres possibilités.

Nous préciserons les codes spécifiques à ces choix dans la présentation du fichier cas.

Sous Sisyphe, ce sont les équations de transport sédimentaire qui sont mises en jeu. Les phénomènes de transport sédimentaire peuvent faire évoluer la géométrie du fond au court du temps et faire apparaître des zone émergées. De plus nous choisissons pour modéliser le taux de transport sédimentaire, nous faisons intervenir la formule de Meyer-Petter (ce qui correspond à des sédiments de diamètres moyens). Tout ceci est spécifié dans le code pour Sisyphe, c'est à dire dans le fichier cas\_sys.

## 4. GEOMETRIE ET CONDITIONS AUX LIMITES

### 4.1. Géométrie du bassin versant

Le barrage que nous allons étudier se trouve à 1500 mètres d'altitude dans une vallée très encaissée (cf. image de présentation) dans le Tessin dans les Alpes Suisse.

Pour la Géométrie du bassin versant du barrage de Luzzone, nous utilisons sous Télémac 2D un fichier .XYZ fourni par Giovanni de Cesare qui a longuement travaillé sur ce barrage. Il s'agit du fichier MNT le plus complet utilisé dans sa thèse (cf. Bibliographie).

On effectue les changements nécessaires pour que les données soient lisibles pour Matisse.

On exporte le fichier .geo correspondant.

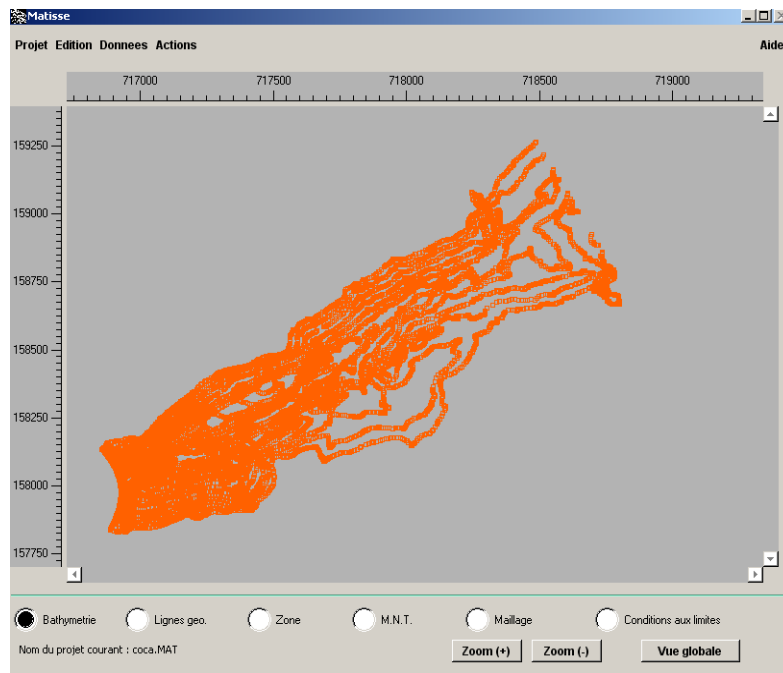


Figure 2 : Géométrie du problème

## 4.2. Conditions aux limites et maillage

On définit trois groupes : le barrage, les berges et l'entrée auxquels on associe comme entités, c'est à dire comme conditions aux limites, respectivement : débit imposé en entrée (code 4 5 5 5, bleu clair) tandis que les berges et le barrage sont assimilés à des parois (2 0 0 0 orange). On va donc remplir le barrage.

On crée ensuite un maillage avec un critère constant de 20 mètres. Puis on effectue une vérification du maillage. On exporte enfin les conditions aux limites.

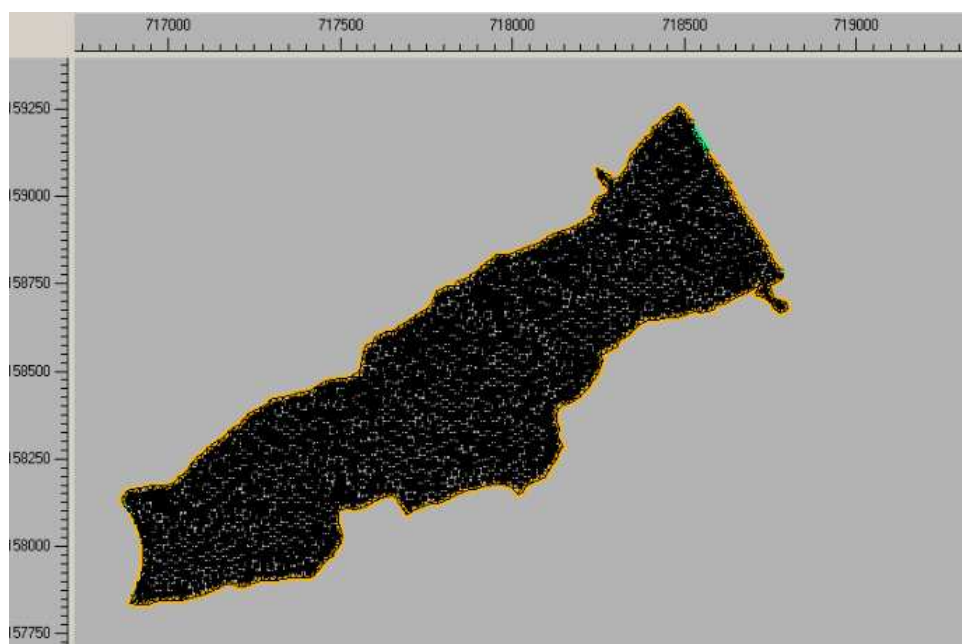


Figure 3 : Visualisation des conditions aux limites

## 5. PREPARATION TELEMACH2D / SISYPHE

---

### 5.1. *Fichier cas*

Nous imposons le couplage avec Sisyphé, la géométrie, les conditions initiales, la possibilité d'existence de zone de fond qui peuvent devenir des îles (ce sont les bancs découvrants), le coefficient de frottement sur le fond (on prend 30 comme sur un précédent exercice dans une rivière de montagne), la loi de frottement est Strickler (numéro 3), le modèle de turbulence est  $\varepsilon$ -k (numéro 1) comme conseillé dans la thèse. Pour le reste, on garde les commandes conseillées par le tutoriel et l'aide de Télémac.

```
/
/
/          COUPLAGE SISYPHE-TELEMAC2D
/          FICHIER DE DECLARATION DES MOTS CLES DU CODE
/
/          TELEMAC 2D
/
/ FICHIERS
/ -----
FICHIER DES PARAMETRES DE SISYPHE           : './CAS_SIS'
FICHIER DES CONDITIONS AUX LIMITES         : './fichier_conlim'
FICHIER DE GEOMETRIE                       : './GEO_BARRAGE'
FICHIER DES RESULTATS                      : './RESULTATS_TEL'
/SUITE DE CALCUL                           : OUI
/FICHIER DU CALCUL PRECEDENT               : './resu'
/
/  CALCULS
/ -----
TITRE : 'Couplage Telemac2d-Sisyphe'
/VALIDATION : OUI
COUPLAGE AVEC : 'INTER-SISYPHE'
PERIODE DE COUPLAGE = 1
/SUITE DE CALCUL : OUI
/
/ ENTREE - SORTIES
/ -----
PAS DE TEMPS = 1
NOMBRE DE PAS DE TEMPS = 50000
PERIODE POUR LES SORTIES GRAPHIQUES = 100
PERIODE DE SORTIE LISTING = 100
VARIABLES POUR LES SORTIES GRAPHIQUES = U,V,H,S,B,K,E,D
BILAN DE MASSE = VRAI
/
/ PARAMETRES NUMERIQUES
/ -----
BANCS DECOUVRANTS = OUI
OPTION DE TRAITEMENT DES BANCS DECOUVRANTS = 1
MASS-LUMPING SUR H : 1.
FORME DE LA CONVECTION = 1;5
OPTION DE SUPG           = 1;2
SOLVEUR : 7
OPTION DU SOLVEUR : 3
PRECISION DU SOLVEUR = 1.E-6
```

## 5.2. *Fichier cas\_sys*

Nous imposons la formule de la formule de Meyer-Petter pour le calcul du taux de transport sédimentaire (code 1 dans formule de transport solide) ainsi que de nouveau la présence de bancs couvrants. On laisse les valeurs données par défaut dans l'exemple de l'aide de Sisyphe pour les paramètres des grains (Bêta, Téta, rapport d'évolution critique, coefficient fonction de la porosité). On change juste le diamètre des grains, à l'origine de 0,0013m qui correspond à un sable moyen. On divise par 10 car on sait que les sédiments de la Luzzone sont des argiles fines.

```

DECLARATION DES MOTS CLES DU CODE

/
/
/          SISYPHE
/
/ ++++++
/ validation CV le 9/12/2004
/ Temps calcul HP C 3700 750 MHz : 23 s
// ++++++
//
/NOMS FICHIERS
/ ++++++
FICHIER DE GEOMETRIE          : './GEO_BARRAGE'
FICHIER DES CONDITIONS AUX LIMITES : './fichier_conlim'
VALIDATION =                  NON
FICHIER DES RESULTATS        = './RESULTATS_SIS'
/ SUITE DE CALCUL :          OUI
/ FICHIER DU CALCUL PRECEDENT : './resultat'
/
/ CALCUL
/ ++++++
TITRE                        = 'Sedimentation barrage'
/CAS PERMANENT                = VRAI
/
/ENTREES-SORTIE
/ ++++++
VARIABLES POUR LES SORTIES GRAPHIQUES = U,V,S,E,H,B,N,P,I,J,TOB
BILAN DE MASSE = VRAI
PERIODE DE SORTIE GRAPHIQUE = 50
PERIODE DE SORTIE LISTING = 50
MASS-LUMPING = OUI
PAS DE TEMPS VARIABLE = NON
BANCS DECOUVRANTS = OUI
OPTION DE TRAITEMENT DES BANCS DECOUVRANTS = 1
PRECISION DU SOLVEUR =1.E-4
/
/ PARAMETRES NUMERIQUES
/ ++++++
VALEUR MINIMUM DE H = 0.001
ZEBD = 1e-12

```

## 6. RESULTATS

Nous avons simulé sur le logiciel pendant 100000 pas de temps, c'est à dire 1 jours et 3 heures environs. On a imposé en entrée un débit de 200 m<sup>3</sup>par seconde ce qui est de l'échelle d'un crue décennale. Nous allons maintenant présenter les résultats:

### 6.1. La bathymétrie

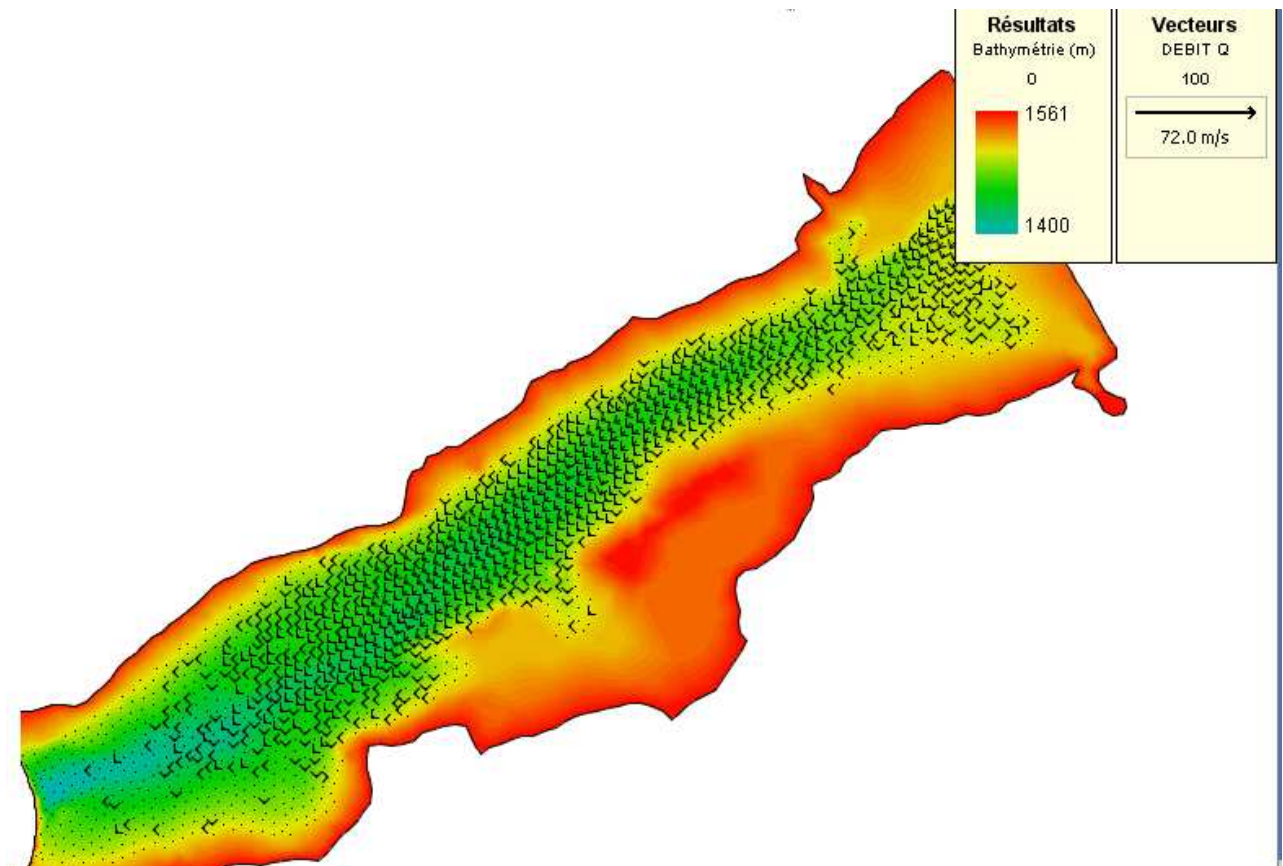


Figure 4 : Bathymétrie du domaine au temps t=0 seconde et débit au temps t=100 secondes

Cette image représente la bathymétrie au temps initial, c'est à dire celle obtenue par les données réelles. Cette bathymétrie va évoluer au fil du temps à cause de la sédimentation et de l'érosion. Ce sont ces phénomènes que nous voulons mettre en évidence.

## 6.2. Evolution de la hauteur d'eau

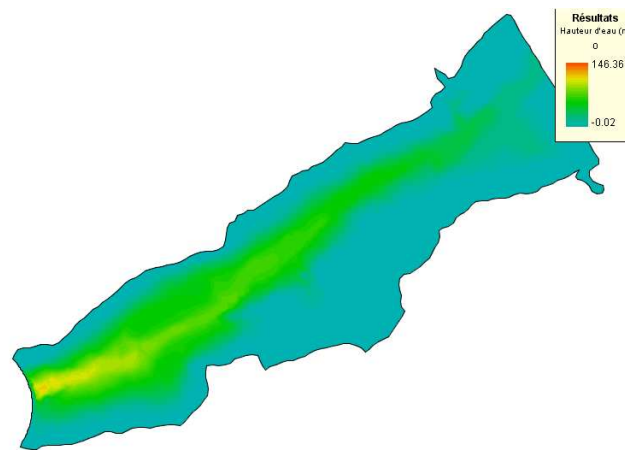


Figure 5 : Hauteur d'eau comprise entre -0,002 m et 146 m au temps t=0 seconde.

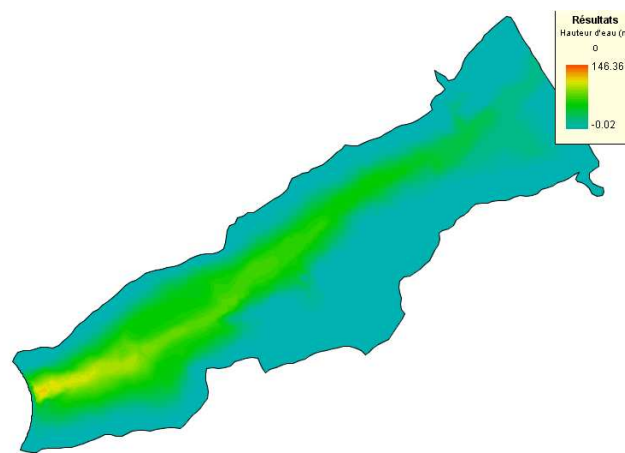


Figure 6 : Hauteur d'eau comprise entre -0,002 m et 146 m au temps t=50000 secondes.

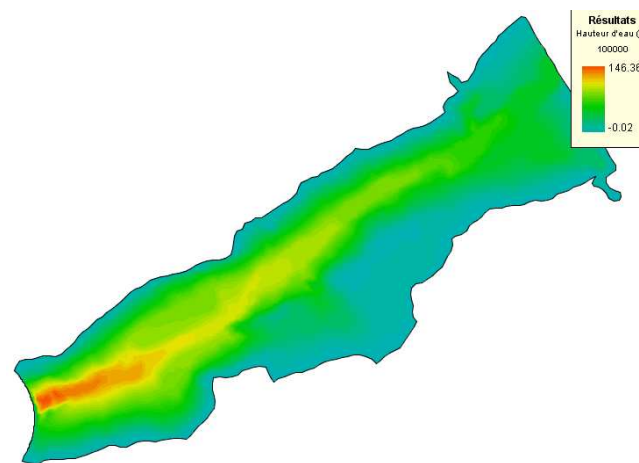


Figure 7 : Hauteur d'eau comprise entre -0,002 m et 146 m au temps t=100000 secondes.

Les graphiques ci-contre montrent l'augmentation de la hauteur d'eau dans la retenue du barrage. Au cours du temps, nous injectons un débit sans prévoir de sortie d'eau. Nous sommes donc en train de remplir peu à peu la retenue. C'est cohérent avec nos conditions aux limites.

### 6.3. Evolution du débit

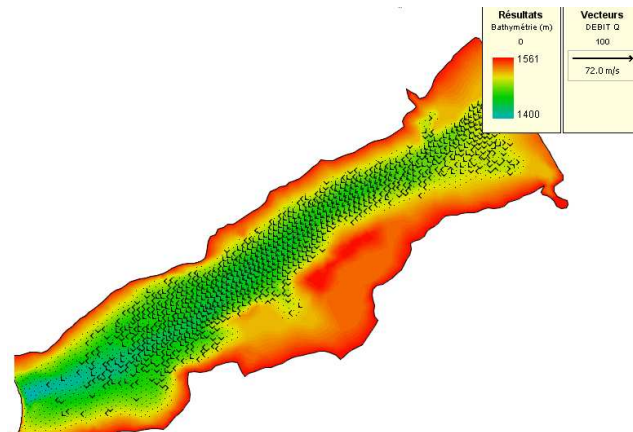


Figure 8 : Débit au temps t=100 secondes.

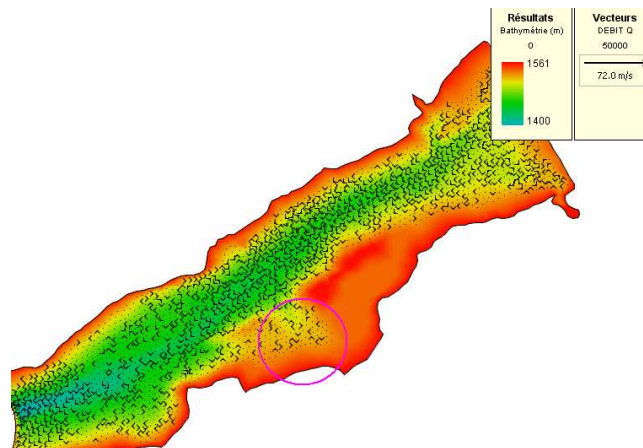


Figure 9 : Débit au temps t=50000 secondes.

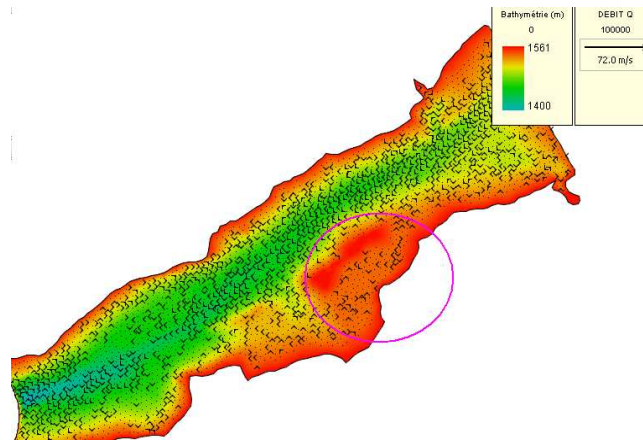


Figure 10 : Débit au temps t=100000 secondes.

Au cours du temps, à cause de l'augmentation de la hauteur d'eau et du débit en entrée, se créent des zones autrefois émergées, de faibles profondeurs où le débit est intense. On voit même apparaître des îles (zones entourées de roses). Ces zones, on va le voir, sont des zones privilégiées de sédimentation.

#### 6.4. Evolution du fond

Afin de mieux visualiser le changement de bathymétrie, nous allons faire apparaître uniquement l'évolution du fond par rapport à l'instant initial.

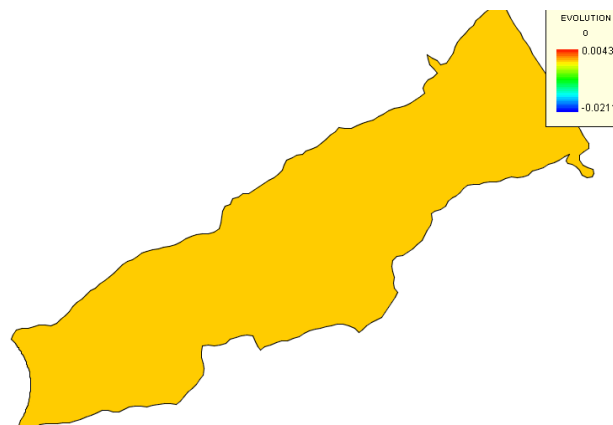


Figure 11 : Evolution du fond à l'instant t=0 seconde.

L'évolution du fond à l'instant initial est évidemment nul.

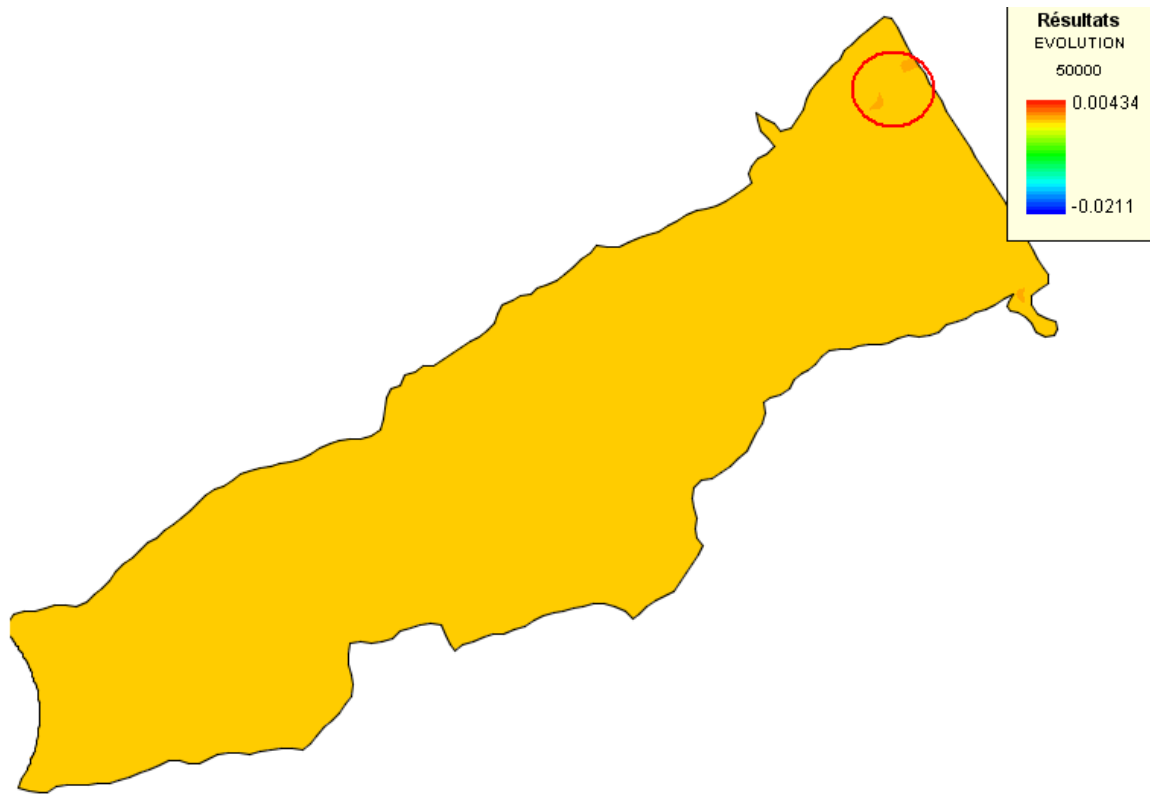


Figure 12 : Evolution du fond à l'instant  $t = 50000s$ .

Au bout d'une demi-journée on constate l'apparition d'une légère sédimentation à l'entrée du domaine.

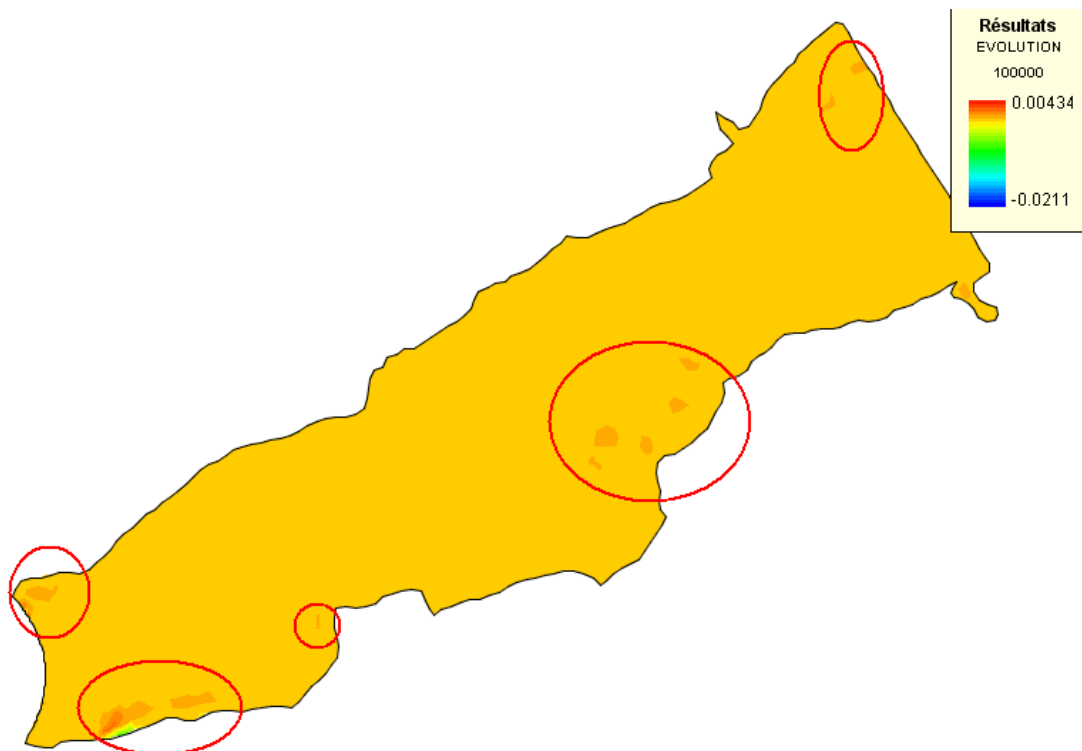


Figure 13 : Evolution du fond au temps  $t = 100000$  secondes.

Au bout d'une journée les zones de sédimentation se sont multipliées. Il faut le temps au sédiment d'arriver et de se déposer. On remarque que les zones de faible hauteur d'eau sont favorisées ainsi que les berges du barrage. On note aussi la présence d'une évolution négative, c'est à dire, la présence d'érosion dans notre domaine. Le temps de calcul est court mais les effets sont déjà perceptibles. La sédimentation et l'érosion sont donc à prendre en compte dans le cas d'étude de barrage.

## 7. CONCLUSIONS

---

Nous constatons à travers cette étude que les phénomènes de sédimentation et d'érosion sont des phénomènes lents. Mais même à l'échelle d'une journée, en forçant sur le débit, on constate un changement sur le fond de la retenue d'eau. Il serait intéressant d'étudier cette simulation sur une durée plus longue, avec un débit moins fort en entrée et un débit de sortie au niveau du barrage ( pour que la retenue ne déborde pas).

Le problème de la sédimentation est important à traiter. Il est très fréquent et ses conséquences sont importantes: Il peut réduire l'accumulation d'eau de façon significative et changer la répartition des forces sur les aménagements. Aujourd'hui, on utilise fréquemment la purge par vidange de fond pour en limiter les effets. Mais ce n'est pas sans conséquence écologique. Les barrages et les cours d'eau de montagne ne sont pas les seuls concernés, on peut retrouver ce phénomène aux embouchures des fleuves ou dans certaines lagunes soumises aux marées. Les enjeux sont vastes et variés c'est pourquoi on étudie encore aujourd'hui le phénomène d'alluvionnement et de transport sédimentaire dans l'espoir de mieux le maîtriser et de le traiter plus efficacement.

## 8. BIBLIOGRAPHIE

---

- « Alluvionnement des Retenues par Courants de Turbidité », Thèse n° 1820 (1998), par Giovanni de Cesare.
- « Simulation numérique des évolutions sédimentaires, importance d'une approche intégrée », Jean-Michel Hervouet, Catherine Villaret, Septembre 2004.
- « Sédimentation dans un réservoir du Mekong », K.D. Fu, D.M. He, X.X. Lu, 2007
- « The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain », Joris de Vente\*, Jean Poesen, Gert Verstraeten, Août 2004.
- Aide Télémac et Sisyphe
- Tutoriel de 3Hy BES Télémac
- Projet BES « Passe à poisson » de Renaud Champredonde et Céline Monteil
- Projet BES « Crues de la Lèze » de Lilian Berterreche et Sandrine Giraud