

Etude d'une passe à poissons à fentes verticales

Utilisation du code TELEMAC-2D



Encadrant :

Marie-Madeleine MAUBOURGUET
Jacques CHORDA

Sommaire

Introduction	3
I. Situation du problème	3
II. Maillage	4
1) Géométrie de la passe	4
2) Critères à prendre en compte	4
III. Etude pour le cas horizontal	6
1) Données en entrée	6
2) Critère de convergence	6
3) Résultats	6
4) Modifications à apporter	7
IV. Introduction d'une pente	8
1) Données en entrée, utilisation de CORFON	8
2) Résultats	8
3) Observation du champ de vitesse pour une pente 10%	9
4) Modifications à apporter	10
V. Modèle k- ϵ	11
1) Objectif	11
2) Résultats	11
3) Conclusion	12
VI. Modification de géométrie	13
1) Objectif	13
2) Nouveau maillage	13
3) Résultats	13
4) Conclusion	14
VII. Traceur	15
1) Objectif	15
2) Injection en un point source	15
3) Evacuation d'un traceur uniforme	16
Conclusions	18
Annexes	19
Fichier Cas	19
Suboutine CORFON	20

Introduction

Au cours du 19ème et du 20ème siècle, les cours d'eau ont été aménagés pour faciliter la navigation, protéger les riverains contre les inondations et produire de l'énergie hydraulique. Ces aménagements barrent le chemin à de nombreux poissons migrateurs, tels que le saumon ou la truite par exemple. Le but d'une passe à poissons est donc d'aider le poisson à remonter le cours d'eau grâce à un aménagement dédié. Nous allons étudier une passe à poissons à fentes verticales à l'aide du code TELEMAC-2D, développé par EDF-LNHE, qui résout le champ des vitesses et hauteur d'eau par la méthode des éléments finis à partir des équations de Barré de Saint Venant intégrées sur la verticale.

I. Situation du problème

Plusieurs types de passes à poissons peuvent être implantés en lien avec les capacités physiques des espèces migratrices. Ainsi, la passe à poissons à bassins successifs est constituée d'une succession de bassins reliés par des sous chutes d'eau d'une hauteur de 25-30cm : ce dispositif divise donc la hauteur totale à franchir.

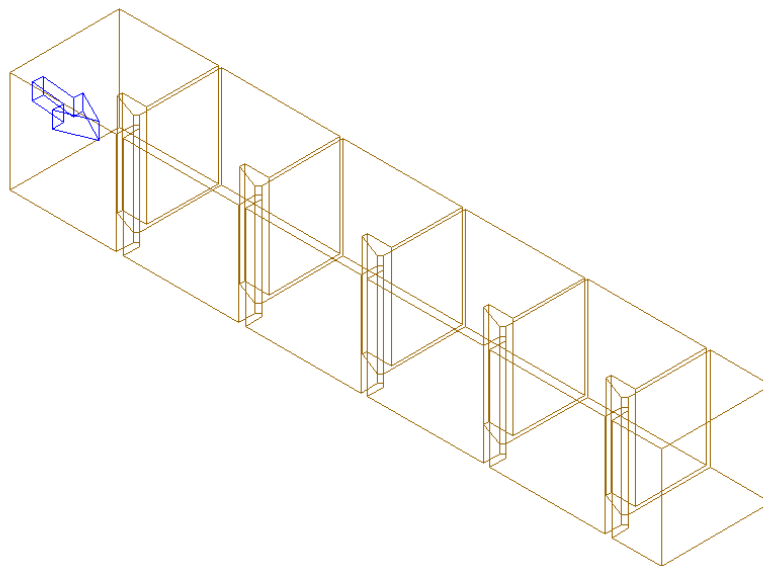
Le principe d'une passe à poisson à bassins successifs est de fractionner la chute d'eau totale en sous chutes de 25 cm-30 cm (limitation des vitesses locales) par une succession de bassins de dissipation communiquant par des fentes verticales. Les jets à travers les fentes doivent être correctement orientés les dimensions et les volumes des bassins adaptés à une dissipation d'énergie acceptable pour le poisson (250 W/m³ maximum)

II. Maillage

1) Géométrie de la passe

La géométrie de la passe à poissons a été importée sous un projet MATISSE. C'est à l'aide de cet outil que nous travaillerons la géométrie.

La figure ci-dessous représente la géométrie de la passe à poissons:

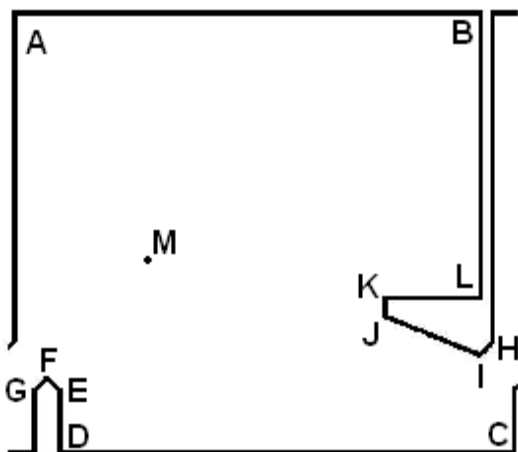


2) Critères à prendre en compte

La discrétisation du domaine en élément élémentaire pour constituer un maillage a été effectuée en fonction de critères différents exposés ci-dessous :

- Le premier critère consiste à prendre en compte la taille du maillage que l'on souhaite obtenir dans le but de ne pas saturer le calcul.
- Ensuite, nous devons choisir les zones pour lesquelles un calcul fin est nécessaire. Nous allons porter notre attention au niveau des gradients de vitesse supposés importants. C'est ainsi que les fentes de chaque sous bassin sera discrétisé de façon précise.
- L'ajout d'un point M à l'intérieur du second bassin, permet de calculer un critère de maillage différent au sortir de la fente, situé dans la zone d'expansion du jet.
- Le reste de la géométrie sera calculé sur un critère de maillage plus large.

Nous obtenons alors les critères suivant en fonction du domaine :

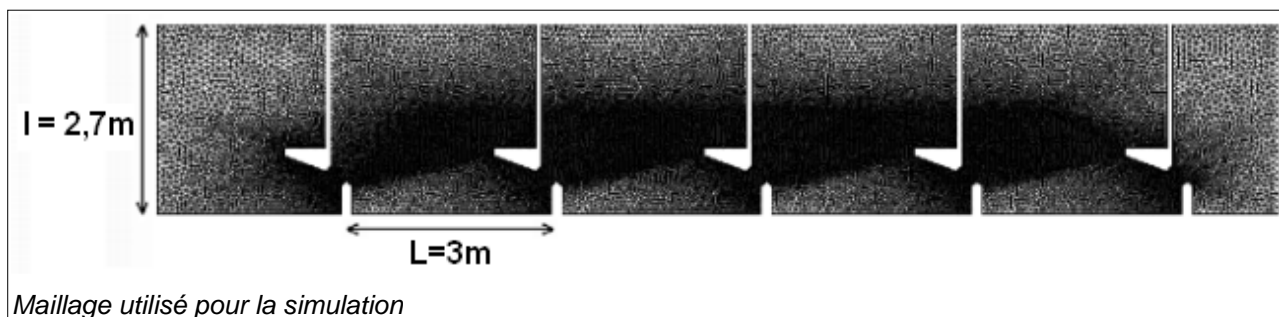


- Critères pour le maillage :
- maille 10 cm : points A et B
 - maille 5 cm : points D, K, L et M
 - maille 3 cm : points C, E, F, G, H, I et J

Avec ces critères, nous obtenons un maillage de 21267 points, ce qui nous semble un bon compromis entre la précision souhaitée et le temps de calcul.

3) Maillage retenu

Le calcul du maillage nous conduit à la représentation suivante :



III. Etude pour le cas horizontal

1) Données en entrée

L'étude d'une passe à poisson horizontale, non réaliste, nous permet une première prise en main du logiciel. L'ajout d'une pente s'effectuera au chapitre suivant.

Les conditions initiales et aux limites, présentes dans le fichier CAS, sont insérés comme suit :

- Condition de côte constante
- Débit en entrée : 1 m/s
- Calcul de la hauteur d'eau :
Nous utilisons l'expression suivante :

$$Q = m B H \sqrt{2 g \Delta H}$$

avec :

- $Q = 1$ m/s
- $m = 0,75$
- $B = 0,30$ m
- $\Delta H = 0,30$ m

Nous obtenons la hauteur d'eau initiale : $H = 1.8$ m

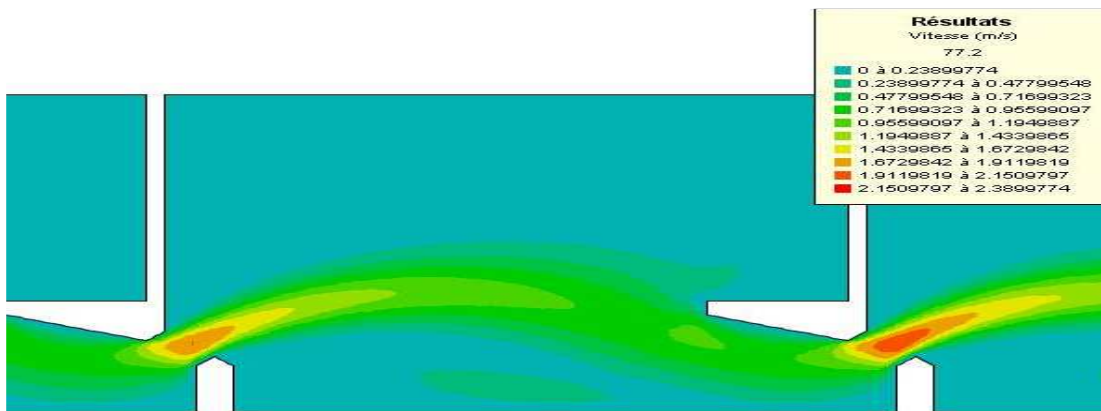
2) Critère de convergence

Nous imposons le critère de convergence à flux libre, c'est à dire quand le régime permanent est atteint.

Le calcul est effectué avec un pas de temps de 0,01s.

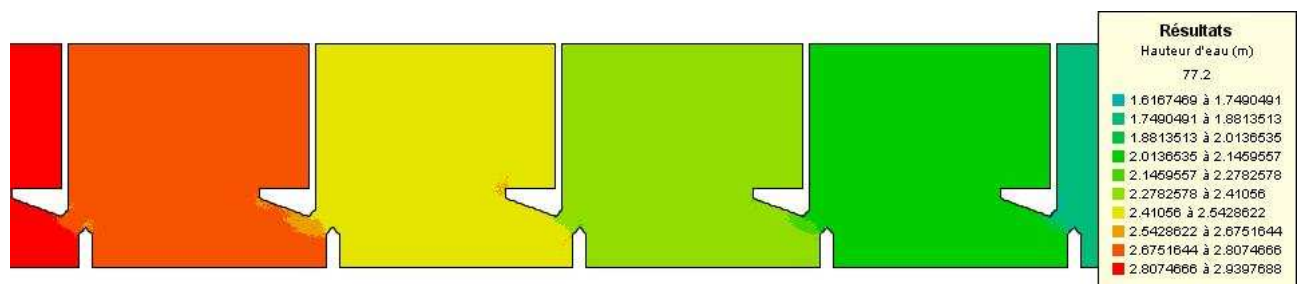
3) Résultats

Les résultats du calcul sous TELEMAC 2D sont visualisés avec le logiciel FUDAA. La figure suivante présente le champ des vitesses dans le troisième bassin



Champ de vitesse dans le cas d'une passe horizontale

La hauteur d'eau dans notre domaine est évaluée à l'aide de la représentation suivante.



Nous observons une accumulation de l'eau à l'entrée. Cette remarque s'explique par l'inclinaison nulle de la passe à poissons.

4) Modifications à apporter

Ce chapitre avait pour objectif d'introduire les notions élémentaires sur le logiciel ainsi que de créer/importer notre géométrie. Les premiers résultats ne représentent pas la réalité ceci étant du à la pente nulle de la passe à poissons.

Pour observer une modélisation plus réaliste, nous allons nous intéresser à l'inclinaison de la pente dans le prochain chapitre.

IV. Introduction d'une pente

1) Données en entrée, utilisation de CORFON

L'inclinaison de la passe à poissons s'effectue à l'aide d'une subroutine FORTRAN inséré en Annexe.

Les conditions initiales et aux limites sont alors :

- Condition de hauteur constante
- Débit en entrée : 1 m/s
- Hauteur d'eau initiale : 1.8m

La subroutine qui gère la modification du fond est effectuée ainsi :

- fichier CORFON.f pour la modification du fond (cf annexe)

Grâce à ce programme annexe, nous allons tester deux pentes différentes :

- Pente de 5%
- Pente de 10%

2) Résultats

Les graphiques suivants permettent de visualiser la hauteur d'eau pour les deux cas d'inclinaison de pentes différentes testées :

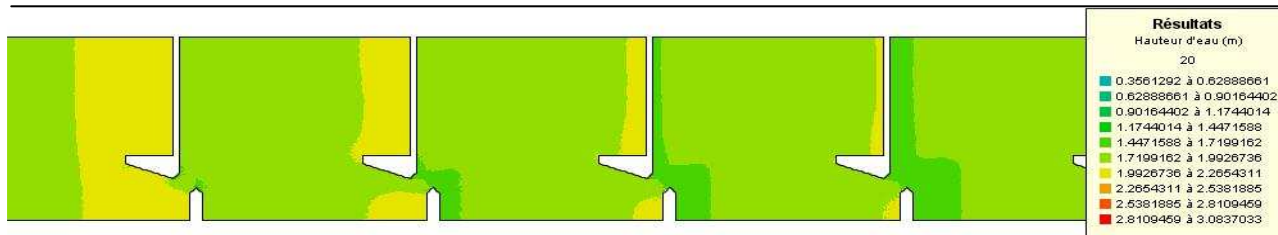


Champ de hauteur d'eau pour une pente de 5%

La première remarque s'intéresse à la comparaison de ces résultats avec la réalité. Les hauteurs d'eau maximales impliquées sont plus importantes pour la pente 10%.

Nous remarquons que la hauteur d'eau moyenne à l'entre de la passe à poissons est beaucoup trop élevée par rapport aux valeurs à l'intérieur des autres bassins. Ceci s'explique par la pente relativement faible de la passe. Cette remarque ne s'observe pas sur le second graphique, du fait de l'inclinaison suffisante.

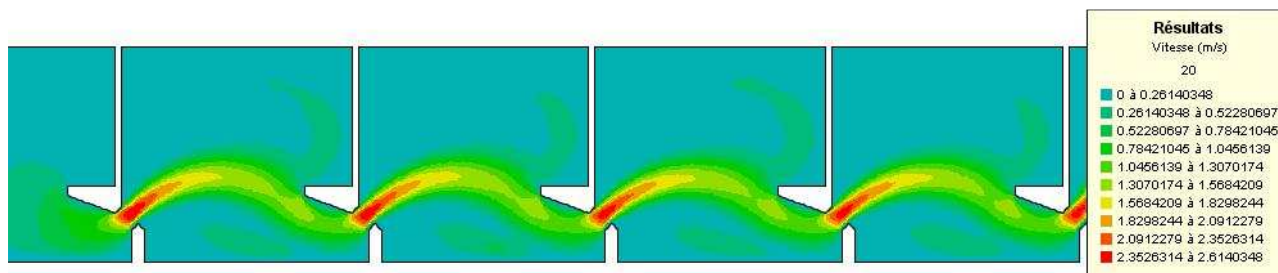
De plus, les hauteurs d'eau à l'intérieur droit de chaque bassin, pour la modélisation avec une pente de 5%, présentent une remontée par rapport au centre de bassin trop importante.



Champ de hauteur d'eau pour une pente de 10%

L'ensemble de ces observations nous conduisent à préférer l'utilisation d'une passe à poissons inclinée à 10%.

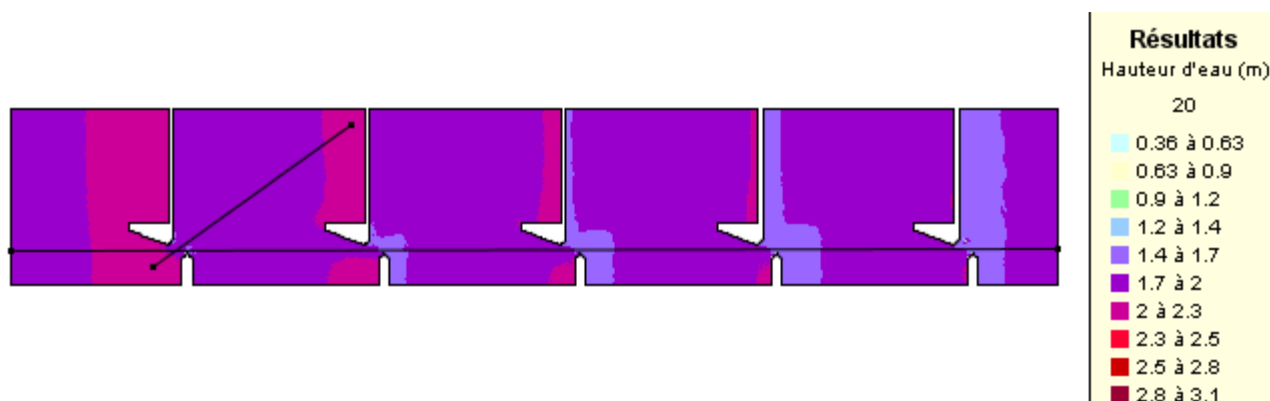
Le graphique suivant présente le champ de vitesse uniquement pour la simulation avec une pente de 10%



Champ de vitesse pour une pente de 10%

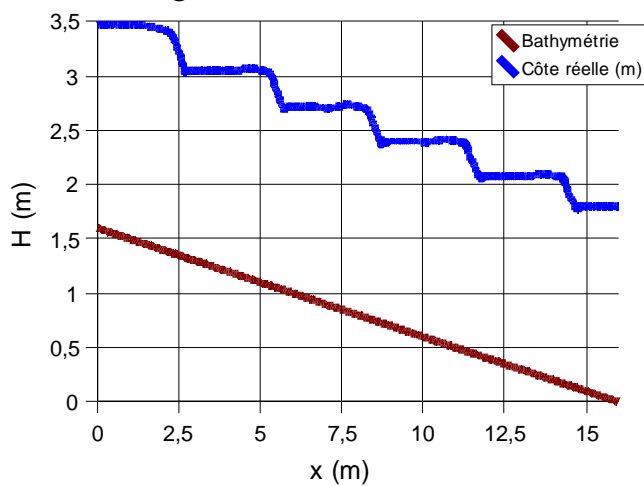
Sur ce graphique nous observons des vitesses élevées aux entrées de chaque bassin. L'écoulement n'est pas contrarié par une recirculation forte, ce qui est un critère de bon dimensionnement pour le poisson. En effet celui-ci remonte la passe à poissons de la même manière que son style de nage, c'est à dire face au courant. C'est pour cela qu'une zone de recirculation trop présente à l'extérieur de l'écoulement principal serait susceptible de fatiguer le poisson dans sa remontée.

3) Observation du champ de vitesse pour une pente 10%

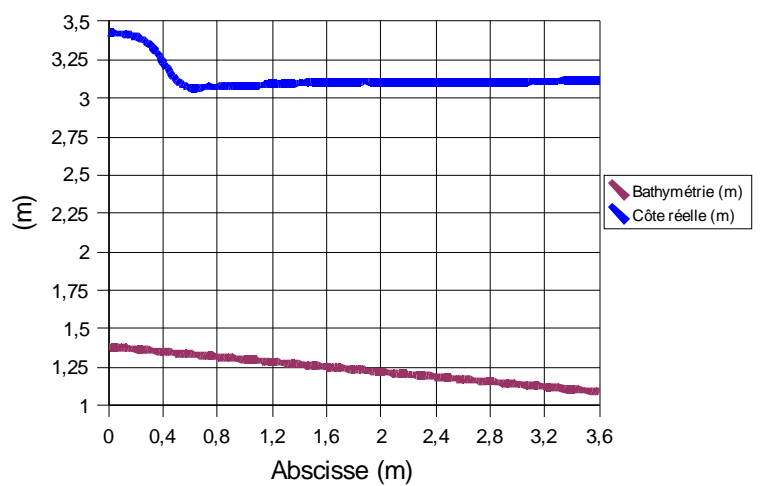


Profils considérés

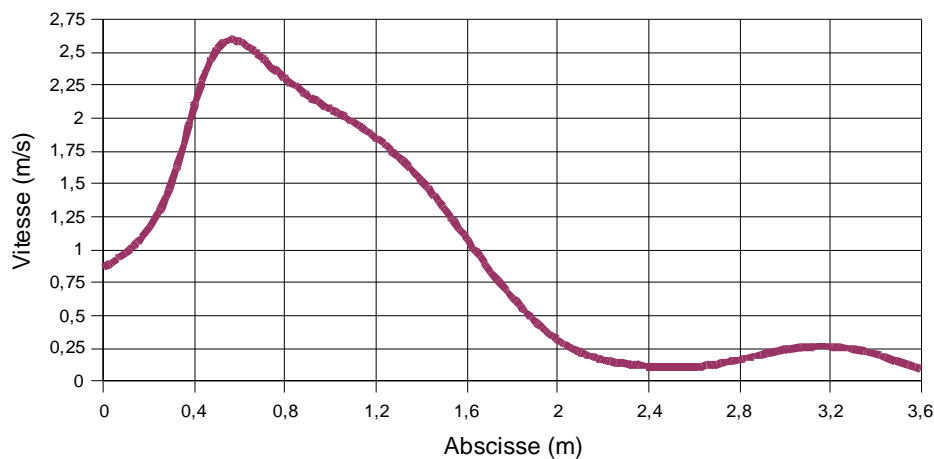
Profil longitudinal de hauteur d'eau



Profil le long de l'axe du jet



Profil de vitesse le long de l'axe du jet



(Vérification de la vitesse maximale)

4) Modifications à apporter

Compte tenu des résultats à ce stade différents changements peuvent être apportés :

- possibilité de traceur
- modification de la géométrie
- modification du modèle de turbulence ($k-\epsilon$) : précédemment la viscosité turbulente est constante sur l'ensemble du domaine. Le coefficient de viscosité global (moléculaire + turbulente) est fourni par l'utilisateur par l'intermédiaire du mot clé COEFFICIENT DE DIFFUSION DES VITESSES fixé par défaut à 10^{-4} (la valeur minimale à utiliser étant 10^{-6} , valeur de la viscosité moléculaire de l'eau).

V. Modèle k-ε

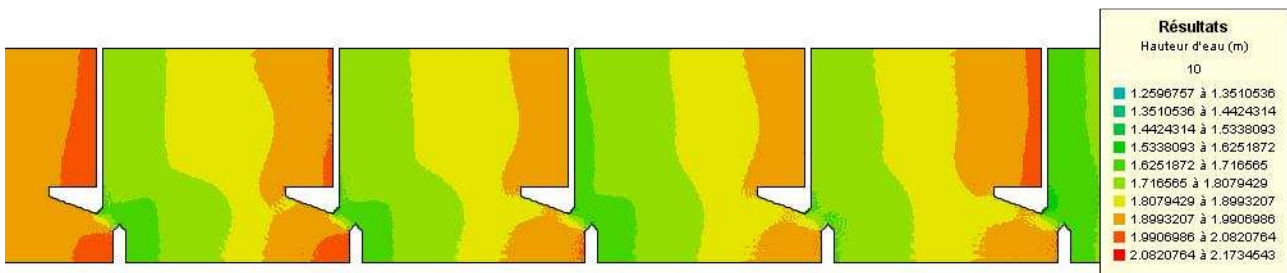
1) Objectif

La modélisation de la turbulence est un aspect complexe d'une simulation numérique. Jusqu'à présent les simulations étaient effectuées en prenant le coefficient de viscosité constant. Dans le but d'améliorer la modélisation, le modèle k-ε a été utilisé. Ce modèle résout les équations de transport de k (énergie turbulente) et de ε (dissipation turbulente). Pour le spécifier ce modèle de résolution dans le fichier CAS, le mot clé MODELE DE TURBULENCE prend alors la valeur 3.

2) Résultats

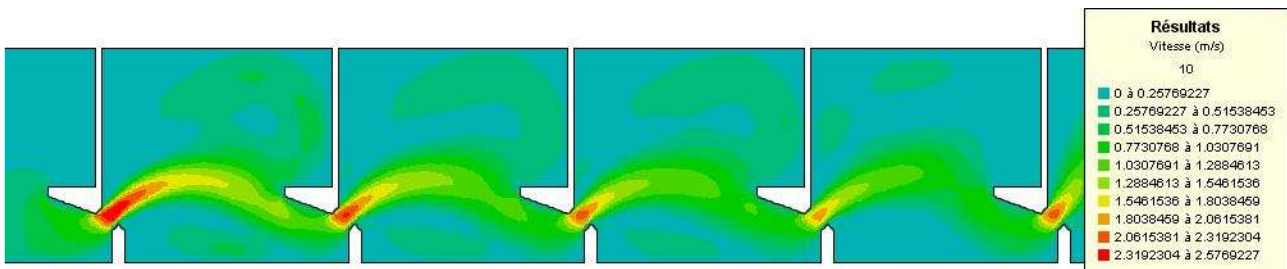
Les résultats de ce chapitre correspondent à ceux modélisés à l'aide du modèle k-ε et sont visualisés pour la hauteur d'eau ainsi que la vitesse du traceur. Ils ont été pris à des instants où l'on considère le régime permanent après visualisation des valeurs de flux sur la commande MS-DOS.

Visualisation de la hauteur d'eau :



Champ de hauteur d'eau pour le modèle de viscosité k-epsilon

Représentation du champ de vitesse à l'intérieur de la passe à poissons



Champ de vitesse pour le modèle de viscosité k-epsilon

3) Conclusion

Les hauteurs d'eau observées ont un intervalle plus réduit avec l'utilisation du modèle $k - \varepsilon$. En effet les hauteurs minimale et maximale sont comprises entre $1,25 \text{ m} < H < 2,08 \text{ m}$ avec les derniers modèles utilisés alors que nous observons un intervalle $0,89 \text{ m} < H < 2,81 \text{ m}$.

Des changements à l'intérieur des bassins sont également perceptibles. Il existe trois à quatre tranches de vitesse pour les dernières simulations alors que les précédents résultats n'en n'indiquaient qu'une ou deux. La modification du coefficient de viscosité pour chaque pas de temps dans le modèle $k - \varepsilon$, permet donc de mieux répartir les vitesses dans chaque bassin.

Les résultats sur les vitesses permettent de mettre en évidence une dispersion plus marqué avec $k - \varepsilon$, à l'intérieur de chaque bassin. La recirculation est plus présente et l'advection principale est positionnée un peu plus dans la zone de recirculation.

VI. Modification de géométrie

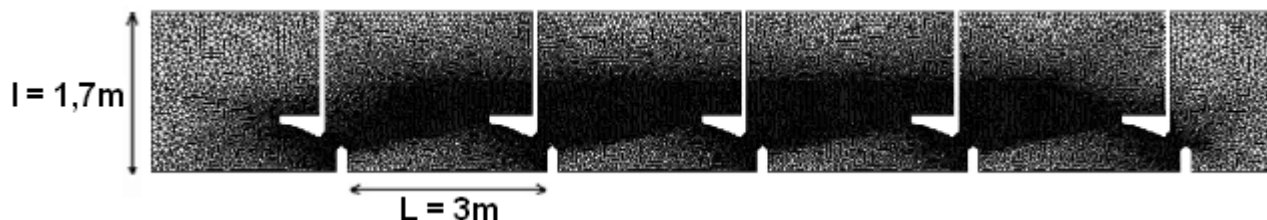
1) Objectif

- meilleure utilisation de la surface des bassins (on réduit la taille, donc ouvrage plus petit et moins de béton)

Les résultats précédents ont montré une largeur de la passe à poissons non optimisé par rapport à l'hydrodynamique simulé. Nous avons donc orienté cette partie dans la simulation des écoulements dans une passe à poissons dont la largeur à été réduite.

2) Nouveau maillage

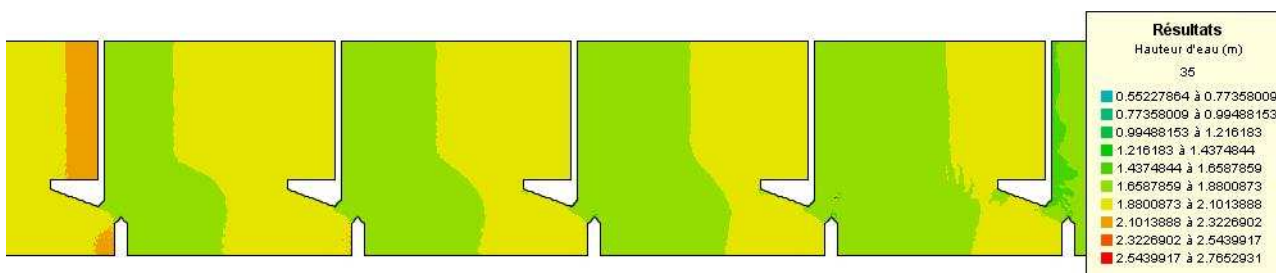
La géométrie précédente a été rapportée à une largeur de 1,7 mètre. Cette modification correspond à une diminution de 1 mètre de la largeur de chaque bassin. La représentation ci-dessous met en évidence cette modification de géométrie.



Nouveau maillage

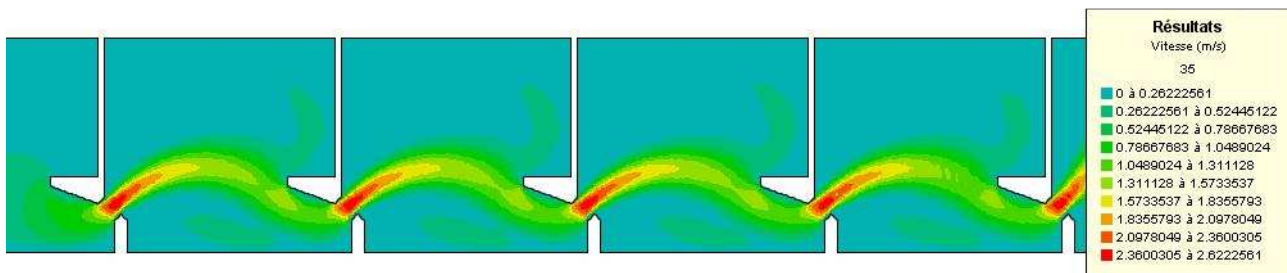
3) Résultats

Les résultats sur la hauteur d'eau sont présentés ci-dessous :



Champ de hauteur d'eau pour un changement de géométrie

Les résultats de la représentation du champ de vitesse sont insérés ci-dessous.



Champ de vitesse pour un changement de géométrie

Le champ de vitesse à l'entrée de chaque bassin est identique à la géométrie utilisé dans les chapitres précédents. Les spécificités de cette modélisation réside dans l'écoulement de la zone de retour. En effet celle-ci présente une recirculation dont la proportion n'est plus comparable à l'écoulement principal, contrairement à la géométrie précédente.

4) Conclusion

Le précédent chapitre avait montré une recirculation marqué dans le cas la géométrie initiale. L'intérêt de cette manipulation réside dans la réduction du coût de construction et d'entretien d'un tel ouvrage.

La modification de géométrie a mis en évidence le changement d'hydrodynamique à l'intérieur de la passe à poissons. La réduction de la largeur de la géométrie a permis d'établir un écoulement à l'intérieur de chaque bassin dont la recirculation est moins prononcée. Outre les conséquences pécuniaires, cette remarque porte également l'intérêt sur la fonction première de cet ouvrage, à savoir la remontée des poissons. La réduction de la recirculation permet au poisson de parcourir la passe en un minimum de temps. C'est ainsi qu'avec cette géométrie, les migrateurs auront un temps de séjour moins important sans avoir des courants annexes qui perdraient le poisson dans sa remontée.

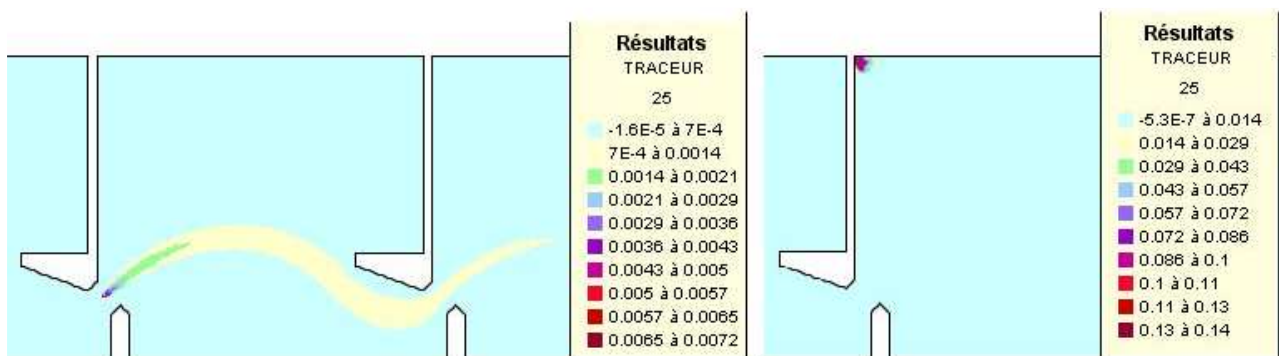
VII. Traceur

1) Objectif

Dans ce chapitre l'intérêt sera porté sur l'activation d'un traceur à l'intérieur de la passe à poissons. L'observation du transport de celui-ci permettra de mettre en évidence les temps de diffusion et de parcours de la passe à poissons ainsi que le temps de résidence.

2) Injection en un point source

L'injection du traceur a été effectuée en une source ponctuelle d'une part à l'entrée du troisième bassin, à égale distance des deux parois, et d'autre part dans un coin de ce même troisième bassin. Les résultats sont présentés ci-après.



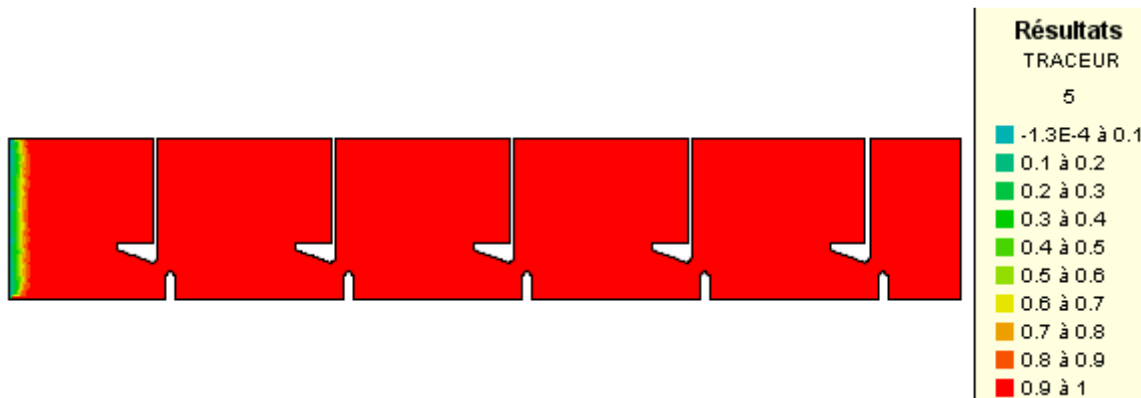
Injection d'un traceur dans le jet et dans un angle, comparaison des champ de concentration au temps $t=25s$

Les paramètres principaux de la simulation s'organisent ainsi :

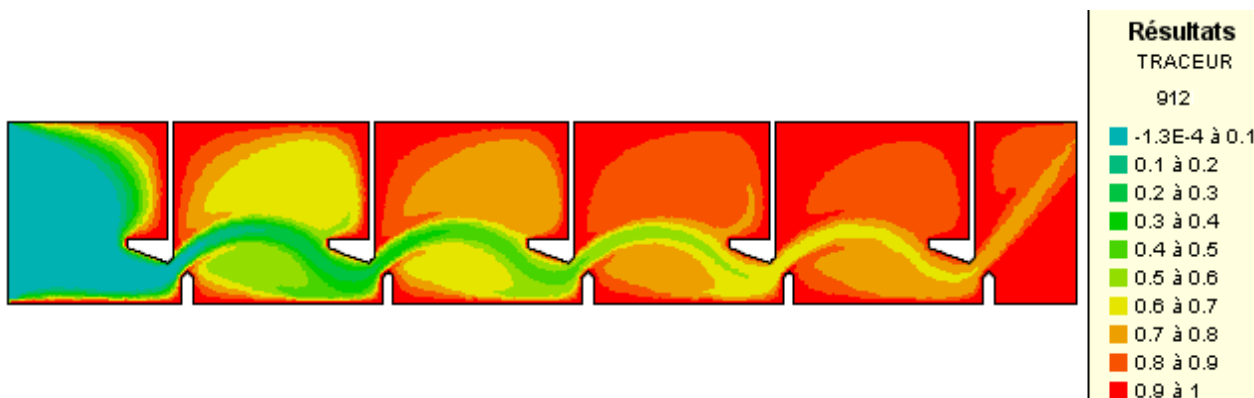
- Temps d'affichage des résultats 25s
- Pas de temps : 0,01 s

Le temps de parcours de la passe à poissons est relativement élevé pour la géométrie utilisée.

3) Evacuation d'un traceur uniforme



Champs initial pour $t=5s$, le traceur est réparti uniformément dans la passe



Champ de concentration à $t=600s$

Géométrie 2.7 mètres.

<pre> ===== ITERATION 7620 TEMPS : 15 MN 12.0000 S (912.3000 S) PROBLEME MAL POSE, VITESSE LIBRE ENTRANTE PAR EXEMPLE AU POINT DE BORD NUMERO 407 ===== ETAPE DE CONVECTION ===== ETAPE DE DIFFUSION-PROPAGATION GMRES (BIEF) : 3 ITERATIONS, PRECISION RELATIVE: 0.8885360E-04 ===== ETAPE DE DIFFUSION DU TRACEUR GRACJG (BIEF) : 4 ITERATIONS, PRECISION RELATIVE: 0.7168736E-06 ===== BILAN DE QUANTITE DE TRACEUR QUANTITE DE TRACEUR : 55.55440 UNITE M3 FLUX IMPOSE DE TRACEUR : 0.3573754 (>0 : ENTRANT <0 : SORTANT) FLUX LIBRE DE TRACEUR : -1.134732 (>0 : ENTRANT <0 : SORTANT) ERREUR RELATIVE SUR LE TRACEUR : -0.1455813E-03 ===== </pre>
--

BILAN DE VOLUME D'EAU	
VOLUME DANS LE DOMAINE :	80.16465 M3
FLUX IMPOSE :	1.000000 M3/S (>0 : ENTRANT <0 : SORTANT)
FLUX LIBRE :	-0.9557518 M3/S (>0 : ENTRANT <0 : SORTANT)
ERREUR RELATIVE EN VOLUME A T =	912.3 S : 0.1383915E-05

4) Conclusions

La simulation a été menée jusqu'à $t=912s$. Cela a représenté un temps de calcul d'environ 24 heures. A ce pas de temps, la quantité de traceur restant dans la passe est de $55.5 m^3$ pour une quantité initiale de $75 m^3$. Donc 26% de l'eau a été renouvelée en 15 minutes. Cette proportion met en évidence un faible renouvellement de l'eau à l'intérieur de la passe à poissons. Cet effet a pour conséquence d'avoir une zone privilégiée pour la remontée. Cependant la ré-oxygénation de l'eau dans la passe peut poser des problèmes due à un renouvellement lent. Dans ces conditions le poisson perd considérablement plus d'énergie dans sa remontée.

Le champ de concentration montre un chemin privilégié pour le renouvellement de l'eau et signale également des zones d'eaux mortes. En ce qui concerne le premier critère, il valide la nouvelle géométrie adoptée en considérant que la direction privilégiée favorise la remontée des poissons. Le second critère permet d'obtenir des zones de repos pendant la remontée et ainsi éviter la perte d'énergie tout en ayant un fil conducteur durant la traversée.

Conclusions

La passe à poissons horizontale a constitué le premier cas effectué. Les résultats sur les hauteurs d'eau ont permis de valider le premier modèle construit. Ensuite, l'implémentation de la subroutine CORFON a incliné la géométrie établis précédemment de 5% et 10%.

Le coefficient de viscosité considéré comme constant dans les simulations précédentes a été remplacé par un modèle de turbulence en $k-\varepsilon$ pour résoudre les équations de transport de k (énergie turbulente) et de ε (dissipation turbulente). L'instauration de ce modèle dans nos simulations a décalé l'advection principale vers la zone de recirculation due à une dissipation plus présente que précédemment.

Les différents résultats obtenus ont mis en évidence une largeur de bassin non optimisée. L'étape ultérieure a donc consisté à modifier la géométrie de la passe à poissons dans un objectif de réduction des coûts. Les résultats présentés montrent une meilleure gestion des dimensions de la passe à poissons.

Enfin la dernière étape a consisté à injecter un traceur uniforme passif dans la passe à poissons pour déterminer le temps de renouvellement ainsi que le chemin privilégié de l'eau. Les résultats indiquent un faible renouvellement de l'eau néfaste pour la ré-oxygénation de l'eau de chaque bassin. La conséquence sur le poisson se manifeste dans ce cas par un métabolisme réduit ; l'effort produit est alors plus préjudiciable pour sa remonté. Le chemin privilégié montre cependant un bon fil conducteur tout au long de l'ouvrage permettant une réduction de la perte d'énergie dans les recirculations.

Annexes

Fichier Cas

```

/-----
/
/           Etude d'une passe a poissons (cas fond incline)
/           Debit de 500 m3/sec
/-----
/
/           ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE
/-----
/
FICHIER FORTRAN                : './corfon.f'
FICHIER DES PARAMETRES         : './cas'
FICHIER DES CONDITIONS AUX LIMITES : './conlim'
FICHIER DE GEOMETRIE          : './ppoissonplat'
FICHIER DES RESULTATS         : './resul'
SUITE DE CALCUL                : OUI
FICHIER DU CALCUL PRECEDENT    : './T2DRES'
/NUMERO DE VERSION             : V4P0;V4P0;V4P0;V4P0;V4P0
/
/-----
/
/           OPTIONS GENERALES
/-----
/
TITRE : 'Cas Test - Calcul numero 1'
/
VARIABLES POUR LES SORTIES GRAPHIQUES : 'U,V,S,B,H'
VARIABLES A IMPRIMER                : ''
PAS DE TEMPS                          : 0.01
DUREE DU CALCUL                       : 60
PERIODE POUR LES SORTIES GRAPHIQUES   : 1000
PERIODE DE SORTIE LISTING             : 10
/
/-----
/
/           CONDITIONS INITIALES
/-----
/
CONDITIONS INITIALES                : 'HAUTEUR CONSTANTE'
HAUTEUR INITIALE                     : 1.8
/
/-----
/
/           CONDITIONS AUX LIMITES
/-----
/
LOI DE FROTTEMENT SUR LE FOND        : 3
COEFFICIENT DE FROTTEMENT            : 55.
COTES IMPOSEES                       : 1.8;0
DEBITS IMPOSES                       : 0;1.
/
/-----
/
/           OPTIONS NUMERIQUES
/-----
/
BANCS DECOUVRANTS                   : NON
MODELE DE TURBULENCE                 : 1
BILAN DE MASSE                       : OUI
NOMBRE DE SOUS-ITERATIONS POUR LES NON-LINEARITES : 1
PRECISION DU SOLVEUR                 : 1.E-4
FORME DE LA CONVECTION               : 1;5
COEFFICIENT DE DIFFUSION DES VITESSES : 1.E-2
SOLVEUR                              : 7
OPTION DU SOLVEUR                    : 3
MASS-LUMPING SUR H                   : 1
MASS-LUMPING SUR LA VITESSE          : 1
/
&FIN

```

Subroutine CORFON

Ce programme fortran permet de donner une pente à la passe à poissons.

```

C          *****
C          SUBROUTINE CORFON
C          *****
C*****
C TELEMAC 2D VERSION 5.2          01/03/90      J-M HERVOUET
C*****
C
C  USER SUBROUTINE CORFON
C
C  FUNCTION   : MODIFICATION OF THE BOTTOM TOPOGRAPHY
C
C
C-----
C  ARGUMENTS USED IN THE EXAMPLE
C
C  |-----|-----|-----|
C  | NOM      | MODE  | ROLE                                |
C  |-----|-----|-----|
C  | ZF       | <--> | FOND A MODIFIER.                   |
C  | X,Y,(Z)  | -->  | COORDONNEES DU MAILLAGE (Z N'EST PAS EMPLOYE). |
C  | A        | <--  | MATRICE                             |
C  | T1,2     | -->  | TABLEAUX DE TRAVAIL (DIMENSION NPOIN) |
C  | W1       | -->  | TABLEAU DE TRAVAIL (DIMENSION 3 * NELEM) |
C  | NPOIN    | -->  | NOMBRE DE POINTS DU MAILLAGE.         |
C  | PRIVE    | -->  | TABLEAU PRIVE POUR L'UTILISATEUR.     |
C  | LISFON   | -->  | NOMBRE DE LISSAGES DU FOND.           |
C  |-----|-----|-----|
C  MODE : -->(DONNEE NON MODIFIEE), <--(RESULTAT), <-->(DONNEE MODIFIEE)
C-----
C
C  PROGRAMME APPELANT :
C  PROGRAMMES APPELES : RIEN EN STANDARD
C
C*****
C
C      USE BIEF
C      USE DECLARATIONS_TELEMAC2D
C
C      IMPLICIT NONE
C      INTEGER LNG,LU,N
C      COMMON/INFO/LNG,LU
C
C+-----+
C
C      LOGICAL MAS
C
C+-----+
C  Inclinaison du fond, pente 5%
C      DO N=1,NPOIN
C          ZF%R(N)=-0.05*(X(N)-16.)
C      ENDDO
C-----
C
C  LISSAGES EVENTUELS DU FOND
C
C      IF(LISFON.GT.0) THEN
C
C          MAS=.TRUE.
C          CALL FILTER(ZF,MAS,T1,T2,AM1,'MATMAS',
C*              1.D0,T1,T1,T1,T1,T1,T1,MESH,MSK,MASKEL,LISFON)
C

```

```
      ENDIF
C
C-----
C
      IF(LNG.EQ.1) THEN
        IF(LISFON.EQ.0) THEN
          WRITE(LU,*)
          WRITE(LU,*) 'CORFON (TELEMAC2D) : PAS DE MODIFICATION DU FOND'
          WRITE(LU,*)
        ELSE
          WRITE(LU,*)
          WRITE(LU,*) 'CORFON (TELEMAC2D) : ',LISFON,' LISSAGES DU FOND'
          WRITE(LU,*)
        ENDIF
      ENDIF
      IF(LNG.EQ.2) THEN
        IF(LISFON.EQ.0) THEN
          WRITE(LU,*)
          WRITE(LU,*) 'CORFON (TELEMAC2D): NO MODIFICATION OF BOTTOM'
          WRITE(LU,*)
        ELSE
          WRITE(LU,*)
          WRITE(LU,*) 'CORFON (TELEMAC2D): ',LISFON,' BOTTOM SMOOTHINGS'
          WRITE(LU,*)
        ENDIF
      ENDIF
C
C-----
C
      RETURN
      END
```