

*SYSTÈME DE MODÉLISATION HYDROÉCOLOGIQUE
À L'ÉCHELLE DE TRONÇONS DE RIVIÈRE
POUR LA GESTION INTÉGRÉE DE LA QUALITÉ DE L'EAU,
DES USAGES ET DE L'ÉCOSYSTÈME AQUATIQUE*

Projet MÉTRIQUE

Guide d'utilisation de Modeleur/Hydrosim
Document Hydrosim 1.0a06

Rapport INRS-Eau No R482-G2

Janvier 1999

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Institut National de la Recherche Scientifique - Eau

Mourad Heniche	Numéricien, PhD
Yves Secretan	Professeur, PhD
Michel Leclerc	Professeur, PhD

Pour les fins de citation :

Heniche M., Secretan Y. & Leclerc M. (1999).

Projet MÉTRIQUE. Guide d'utilisation de Modeleur/Hydrosim. Document Hydrosim 1.0a06. Rapport INRS-Eau R482-G2.

HYDROSIM

Guide d'utilisation

Document Hydrosim 1.0a06
Janvier 1999

Table des matières

Chapitre 1 Aperçu général du logiciel	1-1
Utilité du logiciel	1-1
Matériel requis	1-1
Licence d'utilisation	1-2
Démarrage du logiciel	1-2
Langue d'usage	1-3
Unités des grandeurs physiques	1-3
Arrêt du logiciel	1-3
Chapitre 2 Processus de travail	2-1
Description schématique	2-1
Structure du fichier de commandes	2-1
Définition	2-1
Blocs	2-3
COND	2-4
COOR	2-4
ELEM	2-4
ERR	2-5
FCRT	2-5
FIN	2-5
FORM	2-6
INIT(réel,réel,....,réel)	2-6
PRCO	2-6
PREL	2-7
PRGL(réel,réel,....,réel)	2-7
PRNO	2-7
POST	2-8
RESI	2-8
SOLC	2-8
SOLR	2-9
SOLV(réel,réel,réel)	2-9
STOP	2-9
Variables	2-10
Type chaîne de caractères	2-10
ELTYP	2-11
FFFIN	2-11
FFINI	2-11
MCND	2-11
MCOR	2-11
MELE	2-11
MERR	2-11
MEXE	2-11
MFCR	2-12
MFIL	2-12
MFIN	2-12
MINI	2-12
MPRE	2-12
MPRN	2-12
MPST	2-12
MRES	2-12
MSLC	2-12
MSLR	2-13

STEMP	2-13
Type entier	2-13
ILU	2-13
IMPR	2-13
NITER	2-14
NPAS	2-14
NPREC	2-14
NRDEM	2-14
Type réel	2-14
ALFA	2-15
DELPRT	2-15
DPAS	2-15
EPSDL	2-15
OMEGA	2-15
TASCND	2-15
TASINI	2-15
TASPRE	2-15
TASPRN	2-15
TASSLC	2-16
TASSLR	2-16
TINI	2-16
Structure du nom des fichiers	2-16
Progression de la simulation	2-16
Définition	2-17
Volume de l'exécution	2-17
Message à l'arrêt	2-17
Chapitre 3 Comment gérer une simulation?	3-1
Créer une nouvelle simulation	3-1
Définir la discrétisation du problème	3-1
Lire les données	3-2
Lire les coordonnées	3-2
Lire les connectivités	3-3
Lire les propriétés globales	3-3
Lire les propriétés nodales	3-3
Lire les propriétés élémentaires	3-4
Lire la solution initiale	3-4
Lire les conditions aux limites	3-5
Lire les sollicitations concentrées	3-6
Lire les sollicitations réparties	3-7
Résoudre le problème	3-7
Imprimer les résultats	3-8
Imprimer les degrés de liberté	3-9
Imprimer l'estimation des erreurs numériques	3-9
Imprimer le post-traitement	3-10
Imprimer les résidus	3-10
Imprimer la fonction courant	3-11
Chapitre 4 Comment obtenir une solution hydrodynamique?	4-1
Comment valider les données d'entrée (phase préliminaire)?	4-1
Comment mettre en eau le modèle?	4-2
Scénarios de conditions aux limites	4-2
Frontière fermée	4-2
Frontière ouverte	4-3
Scénarios de conditions initiales	4-4
Solution statique (plan d'eau statique)	4-4

Solution quasi linéaire	4-4
Solution quasi-linéaire enrichie	4-5
Solution de référence	4-6
Comment converger la solution?	4-6
Méthode de résolution	4-6
Algorithme de résolution par GMRES	4-7
Matrices de préconditionnement	4-8
Espace mémoire	4-9
Précision	4-9
Mise à jour de la solution	4-10
Relaxer la mise à jour de la solution	4-10
Limiter la mise à jour de la solution	4-10
Comportement du solveur	4-11
La convergence est atteinte?	4-12
Stratégies de résolution avancées	4-13
Piloter par le niveau d'eau aval	4-13
Piloter par l'accélération convective (inertie)	4-15
Piloter par la borne supérieure de viscosité	4-17
Piloter par le pas de temps	4-19
Conseil pratique	4-20
Comment valider le modèle?	4-21
Contrôle du bilan de masse	4-22
Contrôle du couvrant-découvrant	4-22
Comment ajuster le modèle (calibration)?	4-24
Calibrer par le débit	4-24
Calibrer par le niveau d'eau	4-25
Calibrer par les vitesses	4-25
Questions fréquentes	4-26
Comment évaluer la viscosité turbulente?	4-26
Comment minimiser le niveau d'erreur?	4-26
La résolution a-t-elle divergé?	4-27
Qu'est ce que la viscosité numérique?	4-27
Quel est le rôle de la borne supérieure de viscosité?	4-28
Quels sont les effets d'une dissipation excessive?	4-28
Comment estimer le débit qui transit dans le domaine?	4-28
Chapitre 5 Annexe	5-1
Dictionnaire de langue	5-1
Anglais	5-1
Espagnol	5-1
Français	5-2
Librairie d'éléments finis	5-2
SVC	5-2
Comment l'atteindre?	5-2
Fonction	5-2
Propriétés	5-3
Géométrique	5-3
Globales	5-3
Élémentaires	5-3
Nodales	5-3
Conditions aux limites	5-4
Frontière fermée	5-4
Frontière ouverte	5-4
Convention	5-4
Sollicitations	5-4

Concentrées	5-5
Réparties	5-5
Solution initiale	5-5
SVCRNM	5-6
Comment l'atteindre?	5-6
Fonction	5-6
Propriétés	5-6
Géométrique	5-7
Globales	5-7
Élémentaire	5-7
Nodales	5-7
Conditions aux limites	5-7
Frontière fermée	5-8
Frontière ouverte	5-8
Convention	5-8
Sollicitations	5-8
Concentrées	5-8
Réparties	5-9
Solution initiale	5-9
Bibliothèque de schémas temporels	5-9
EULER	5-10
STATIQ	5-10
Traitement des données transitoires	5-10
Dépendances des blocs	5-11
Dépendances entre les blocs	5-11
Dépendances blocs-variables	5-12
Dépendances blocs-chaînes de caractères	5-12
Dépendances blocs-variables entières	5-13
Dépendances blocs-variables réelles	5-13
Exemple de fichier de commandes	5-14
Cas stationnaire	5-14
Cas non-stationnaire ou transitoire	5-16
Formats des fichiers d'entrée	5-19
Fichier des conditions aux limites	5-19
Fichier des connectivités	5-20
Fichier des coordonnées	5-21
Fichier des propriétés élémentaires	5-22
Fichier des propriétés nodales	5-22
Fichier des sollicitations	5-23
Fichier de solution initiale	5-24
Formats des fichiers de résultats	5-26
Fichier des degrés de liberté	5-26
Fichier des erreurs numériques	5-27
Fichier de post-traitement	5-28
Fichier des résidus	5-28
Fichier de la fonction courant	5-29

Hydrosim - Guide d'utilisation

Le guide d'utilisation d'Hydrosim vous présente toute l'information relative à son utilisation. Il est important de noter que Hydrosim est un moteur numérique qui ne dispose pas d'interface graphique. En outre, il fonctionne uniquement en mode texte. Les principales sections à partir desquelles vous pourrez obtenir de l'information sont:

- Aperçu général du logiciel
- Processus de travail
- Comment gérer une simulation?
- Comment obtenir une solution hydrodynamique?
- Annexe

Chapitre 1 Aperçu général du logiciel

- Utilité du logiciel ;
- Matériel requis ;
- Licence d'utilisation ;
- Démarrage du logiciel ;
- Langue d'usage ;
- Unités des grandeurs physiques ;
- Arrêt du logiciel.

Utilité du logiciel

Le logiciel HYDROSIM est un code éléments finis conçu et développé par l'INRS-Eau, un centre de recherche de l'Université du Québec, dans le but de servir d'outil destiné à la simulation bidimensionnelle horizontale de l'hydrodynamique des estuaires, des fleuves et des rivières. Il s'adresse à des usagers d'horizons diverses disposant toutefois de notions d'hydraulique fluvial.

La base du programme repose sur la résolution par éléments finis des équations de Saint-Venant, en régime permanent ou non-permanent, gouvernant l'hydrodynamique des cours d'eau. De plus, HYDROSIM autorise la simulation du couvrement et découvrement des berges et plages en faisant appel à une nouvelle méthode proposée et développée par les chercheurs de l'INRS-Eau.

Matériel requis

HYDROSIM tourne sur ordinateur personnel (P.C.) sur les plateformes Win32 (Windows 95/98, Windows NT3.51/4.0 etc...) et gère dynamiquement la mémoire dont il a besoin. Pour de bonnes performances de rapidité d'exécution il est conseillé de le faire tourner en mémoire virtuelle (RAM) car l'accès à la mémoire sur disque détériore dramatiquement la vitesse de l'exécution.

La mémoire requise dépend directement de la taille de l'application à simuler. L'indice permettant de quantifier la taille en mégabytes d'une simulation est le nombre de degrés de liberté (NDLT). Pour les paramètres de résolution préconisés, la mémoire allouée par HYDROSIM est estimée à environ 6.5×10^{-4} fois NDLT en mégabytes. À titre indicatif, au Tableau 1 nous

avons l'espace en mémoire requis pour des valeurs de NDLT variant entre 10 000 et 100 000.

NDLT (x1000)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Espace(Meg)	6,5	13	19,5	26	32,5	39	45,5	52	58,5	65

Licence d'utilisation

HYDROSIM est un logiciel protégé. Pour en faire usage il est nécessaire après l'avoir installé d'effectuer l'enregistrement dont la procédure à suivre est décrite dans le fichier `hydrosim_enregistrement.txt` disponible dans le même répertoire que `hydrosim.exe`.

Après enregistrement, un type de licence d'utilisation parmi deux (02) est attribué :

- 1 - DEMO : attribuée pour des exercices de démonstration. L'accès à certaines fonctionnalités du logiciel n'est pas autorisé. En outre, aucun calcul ni impression de résultats n'est possible.
- 2 - COMPLÈTE : permet d'avoir accès à toutes les fonctionnalités du logiciel. La durée dans le temps peut être limitée ou illimitée.

Démarrage du logiciel

Sur les plateformes Win32 (Windows 95/98, Windows NT3.51/4.0 etc...) le démarrage du logiciel est activée, sur une fenêtre en mode texte MS-DOS(command prompt), en tapant :

```
hydrosim
```

Juste après le lancement HYDROSIM affiche systématiquement au démarrage le nom du logiciel. Ensuite, il affiche la date, l'heure et l'espace mémoire occupé. Puis, il affiche les informations relatives à la licence du logiciel : nom du logiciel, code d'accès et type de licence.

Ces informations peuvent être affichées soit au prompt soit dans un fichier de sortie. En effet, le logiciel lit les instructions de l'unité fortran numéro 5 et imprime les informations relatives au déroulement de la simulation dans l'unité fortran numéro 6. Les unités fortran d'entrée/sortie 5 et 6 peuvent être redirigées sur les

fichiers fichier.inp de commandes et fichier.out de sortie respectivement comme suit :

```
hydrosim < fichier.inp > fichier.out
```

Si aucun fichier d'entrée/sortie n'est spécifié on parlera d'exécution au prompt. Dans ce cas, tous les messages de sortie d'HYDROSIM sont alors affichés directement à l'écran. De plus, immédiatement après le démarrage, le logiciel est en mode balayage qui est désactivé en tapant la commande STOP.

Dans le cas où l'exécution est gérée par un fichier de commandes le mode balayage est désactivé automatiquement.

Les messages de sortie d'HYDROSIM sont affichés sur fichier de sortie s'il a été défini au préalable.

Langue d'usage

HYDROSIM dispose d'un module de traduction de langue qui permet de traduire les messages internes au logiciel. La langue d'usage est définie dans le fichier de configuration hydrosim.ini au moyen de la variable LANGUE la syntaxe se présente comme suit :

```
_LANGUE=' .xxx'
```

Les caractères xxx définissent la langue d'usage (voir **Dictionnaire de langue**). Par défaut le français a préséance.

Unités des grandeurs physiques

Dans HYDROSIM, les unités des grandeurs physiques sont exprimées dans le Système International (SI).

Arrêt du logiciel

Pour une exécution sans fichier d'entrée, on procède en deux temps pour arrêter le logiciel. Dans un premier temps il faut sortir du mode balayage en tapant au clavier la commande STOP suivi d'un *Entrée*. Ensuite on reprend la même opération une seconde fois pour arrêter le logiciel.

Chapitre 2 Processus de travail

HYDROSIM est un logiciel modulaire, où chaque module est dédié à une tâche spécifique. L'objectif du processus de travail est de présenter tous les modules existant dans HYDROSIM, leur fonction ainsi que les prérequis et dépendances pour les exécuter. Les développements de ce chapitre sont relatifs à :

- Description schématique
- Structure du fichier de commandes
- Structure du nom des fichiers
- Progression de la simulation

Description schématique

Après le démarrage du logiciel HYDROSIM, la simulation consiste à faire travailler les différents modules pour atteindre l'objectif ciblé. C'est au moyen de commandes qu'il est possible d'accomplir les différentes tâches.

Schématiquement, on peut classer les commandes en trois groupes :

- de lecture des données d'entrée
- de résolution
- d'impression des résultats en sortie

Structure du fichier de commandes

- Définition
- Blocs
- Variables

Définition

Le fichier de commandes est composé d'instructions et de commentaires optionnels qui permettent de personnaliser chaque

simulation. Les commentaires peuvent être précédés par l'un ou l'autre des deux symboles # ou !.

Tous les commentaires précédés par un # sont automatiquement imprimés en sortie. Ce qui n'est pas le cas pour ceux précédés par un !.

Les instructions sont constituées d'un jeu de commandes formé de Blocs et de Variables. Les instructions que nous retrouvons systématiquement dans le fichier de commandes sont les choix du type d'élément fini et du schéma temporel, les définitions de la formulation, des fichiers de données et de résultats et l'appel à des blocs pour exécuter des tâches spécifiques. Toute simulation doit être ponctuée par l'appel au bloc STOP qui met un terme à l'exécution d'HYDROSIM. Le fichier de commandes se présente donc comme suit (voir **Exemple de fichier de commandes**) :

```
# Spécimen de fichier de commandes pour HYDROSIM
# Informations ou identifications relatives à la
# simulation

! Choisir le type d'élément fini (voir ELTYP).
Instruction
! Choisir le type de schéma temporel (voir
! STEMP).
Instruction
! Définir la formulation (voir FORM)
Instruction
! Définition des fichiers de données et de
! résultats.
Instruction
! Liste des instructions pour l'acquisition des
! données, la simulation et le post-traitement.
Instruction
.
.
.
! Fin de la simulation.
STOP
```

Remarque : Chaque instruction doit être écrite sur une seule ligne de 1024 caractères de long au maximum.

Blocs

Chaque commande est identifiée par un bloc d'exécution. Chaque bloc est muni d'une unité d'impression optionnelle qui retourne en sortie, en partie ou en intégralité, les données d'entrée et/ou les informations spécifiques à chaque bloc. Le niveau d'impression des informations est piloté par l'entier positif M, qui par défaut est égal à 0. La syntaxe des blocs est :

BLOC

ou bien

BLOC [M]

Certains blocs sont accompagnés d'une table de valeurs réelles :

BLOC (réel, réel, ..., réel)

ou bien

BLOC [M] (réel, réel, ... réel)

Le nom de chaque bloc est un mot réservé qui ne doit pas excéder 4 caractères au maximum. Dans HYDROSIM on dénombre 18 blocs :

- COND
- COOR
- ELEM
- ERR
- FCRT
- FIN
- FORM
- INIT(réel,réel,....,réel)
- PRCO
- PREL

- PRGL(réel,réel,...,réel)
- PRNO
- POST
- RESI
- SOLC
- SOLR
- SOLV(réel,réel,réel)
- STOP

COND

- Fonction

Bloc de lecture des CONDitions aux limites.

- Variable associée

MCND et TASCND

- Prérequis

Définir obligatoirement la variable MCND l'appel à COND.

Définir la variable TASCND (=0 par défaut) si les conditions aux limites évoluent dans le temps avant l'appel à COND.

Appeler les blocs COOR, ELEM, PRGL, PRNO, PREL et INIT(réel,réel,...,réel) avant l'appel à COND.

COOR

- Fonction

Bloc de lecture des COORdonnées du maillage.

- Variable associée

MCOR

- Prérequis

Définir obligatoirement le variable MCOR avant l'appel à COOR.

Appeler le bloc FORM avant l'appel à COOR.

ELEM

- Fonction

Bloc de lecture des ÉLÉMENTS du maillage.

- Variable associée

MELE

- Prérequis

Définir obligatoirement la variable MELE avant l'appel à ELEM.
Appeler les blocs FORM et COOR avant l'appel à ELEM.

ERR

- Fonction

Bloc de calcul des ERReurs numériques.

- Variable associée

MERR

- Prérequis

Définir la variable MERR si l'impression des erreurs numériques dans un fichier est souhaitée avant l'appel à ERR.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO et PREL et INIT(réel,réel,...,réel) avant l'appel à ERR.

FCRT

- Fonction

Bloc de calcul et d'impression de la fonction courant.

- Variable associée

MFCR pour la lecture/écritue de la fonction courant, MEXE pour l'état d'avancement de la simulation et ILU, NRDEM, NITER, OMEGA et EPSDL pour la résolution.

- Prérequis

Définir la variable MFCR si l'impression de la fonction courant sur fichier est souhaitée ainsi que ILU, NRDEM, NITER, OMEGA et EPSDL avant l'appel à FCRT.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO, PREL et INIT(réel,réel,...,réel) avant l'appel à FCRT.

FIN

- Fonction

Bloc d'impression FINale de la solution en format binaire.

- Variable associée

MFIN et FFFIN.

- Prérequis

Définir les variables MFIN, si l'impression de la solution dans un fichier est souhaitée (voir fort recommandée), et FFFIN avant l'appel à FIN.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO et PREL et INIT(réel,réel,...,réel) avant l'appel à FIN.

FORM

- Fonction

Bloc de définition de la formulation du problème. Doit être impérativement appelé au début de chaque simulation.

- Variable associée

ELTYP et STEMP.

- Prérequis

Définir absolument les variables ELTYP et STEMP avant l'appel à FORM.

Mise en garde : Après l'appel à FORM, toutes les données en mémoire virtuelle sont initialisées.

INIT(réel,réel,...,réel)

- Fonction

Bloc de mise à jour de la solution INITiale du problème. La syntaxe du bloc est accompagnée d'une table de réels optionnelle contenant les paramètres d'initialisation associés au type d'élément fini (voir **Librairie d'éléments finis**).

- Variable associée

MINI, FFINI et TASINI

- Prérequis

Définir la variable MINI si la solution initiale est stockée sur fichier avant l'appel à INIT.

Dans le cas où la solution initiale doit être lue sur fichier : définir les variables FFINI et TASINI, si la solution initiale évolue dans le temps, avant l'appel à INIT.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO et PREL avant l'appel à INIT.

PRCO

- Fonction

Bloc de calcul des pointeurs pour un PRÉCOnditionnement de type matrice ILU.

- Variable associée
ILU et DELPRT.
 - Prérequis
Appeler les blocs FORM, COOR et ELEM avant l'appel à PRCO.
-

PREL

- Fonction
Bloc de lecture des PRopriétés ÉLémentaires.
 - Variable associée
MPRE et TASPRES
 - Prérequis
Définir, dépendamment du type d'élément fini (voir **Librairie d'éléments finis**), la variable MPRE avant l'appel de PREL.
Définir la variable TASPRES avant l'appel de PREL si les propriétés élémentaires évoluent dans le temps.
Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL et PRNO avant l'appel à PREL.
-

PRGL(réel,réel,....,réel)

- Fonction
Bloc de lecture des PRopriétés GLobales.
 - Variable associée
Aucune
 - Prérequis
Appeler le bloc FORM avant l'appel à PRGL.
-

PRNO

- Fonction
Bloc de lecture des PRopriétés NOdales.
- Variable associée
MPRN et TASPARN
- Prérequis
Définir, dépendamment du type d'élément fini (voir **Librairie d'éléments finis**), la variable MPRN avant l'appel à PRNO.
Définir la variable TASPARN si les propriétés nodales évoluent dans le temps avant l'appel à PRNO.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM et PRGL avant l'appel à PRNO.

POST

- Fonction

Bloc de POST-traitement des résultats.

- Variable associée

MPST

- Prérequis

Définir la variable MPST avant l'appel de POST si l'impression du post-traitement dans un fichier est souhaitée.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO, PREL et INIT(réel,réel,...,réel) avant l'appel à POST.

RESI

- Fonction

Bloc de calcul des RÉSIIdus.

- Variable associée

MRES

- Prérequis

La définition de la variable MRES avant l'appel de RESI est obligatoire si l'impression des résidus dans un fichier est souhaitée.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO, PREL, INIT(réel,réel,...,réel) et COND avant l'appel à RESI.

SOLC

- Fonction

Bloc de lecture des SOLlicitations Concentrées.

- Variable associée

MSLC et TASSLC

- Prérequis

Définir obligatoirement la variable MSLC si les sollicitations concentrées sont stockées sur fichier avant l'appel à SOLC.

Dans le cas où les sollicitations concentrées sont lues sur fichier : définir la variable TASSLC si les sollicitations concentrées évoluent dans le temps avant l'appel à SOLC.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO, PREL et INIT(réel,réel,...,réel) avant l'appel à SOLC.

SOLR

- Fonction

Bloc de lecture des SOLlicitations Réparties.

- Variable associée

MSLR et TASSLR

- Prérequis

Définir obligatoirement la variable MSLR si les sollicitations réparties sont stockées sur fichier avant l'appel à SOLR.

Dans le cas où les sollicitations réparties sont lues sur fichier : définir la variable TASSLR si les sollicitations concentrées évoluent dans le temps avant l'appel à SOLR.

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO, PREL et INIT(réel,réel,...,réel) avant l'appel à SOLR.

SOLV(réel,réel,réel)

- Fonction

Bloc faisant appel au SOLVeur. La syntaxe du bloc est accompagnée d'une table de réels optionnelle contenant les limiteurs de solution associés à chaque type de degré de liberté.

- Variable associée

MEXE pour l'état d'avancement de la simulation. Pour les autres, elles dépendent du schéma de résolution défini par la variable STEMP.

- Prérequis

Appeler les blocs FORM, COOR, ELEM, PRGL, PRNO, PREL, INIT(réel,réel,...,réel), COND, SOLC (optionnel), SOLR (optionnel) et PRCO (dépendamment de IMPR) avant l'appel à SOLV.

STOP

- Fonction

Bloc d'arrêt du logiciel.

- Variable associée

Aucune

- Prérequis

Aucun.

Variables

Les variables sont toujours suivies d'un champ dynamique qui les définit. La syntaxe des variables est :

`_VARIABLE=valeur`

Le champ dynamique `valeur` se présente sous trois formes :

- Type chaîne de caractères entre guillemets simples (' ').
- Type entier.
- Type réel.

Type chaîne de caractères

Les variables du type chaîne de caractères servent en général à définir les noms des fichiers de données et de résultats. Leur utilisation peut être optionnelle ou obligatoire. Dans HYDROSIM on dénombre 19 variables du type chaîne de caractères :

- ELTYP
- FFFIN
- FFINI
- MCND
- MCOR
- MELE
- MERR
- MEXE
- MFCR
- MFIL
- MFIN
- MINI
- MPRE
- MPRN

- MPST
 - MRES
 - MSLC
 - MSLR
 - STEMP
-

ELTYP

Variable fondamentale pour toute simulation. Elle définit le TYPE d'Élément fini devant être utilisé (voir **Librairie d'éléments finis**).

FFFIN

Variable définissant le format (ASCII ou binaire) du fichier des degrés de liberté. Elle peut prendre pour valeur ASCII (par défaut) ou BIN.

FFINI

Variable définissant le format (ASCII ou binaire) du fichier de solution initiale. Elle peut prendre pour valeur ASCII (par défaut) ou BIN.

MCND

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des CoNDitions aux limites.

MCOR

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des COoRdonnées des noeuds du maillage.

MELE

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des connectivités des ÉLÉments du maillage.

MERR

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des résultats des ERReurs numériques.

MEXE

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier de suivi de la progression de l'ÉXEcution de la simulation.

MFCR

Variable définissant le nom ou l'extension du fichier de lecture/écriture de la Fonction CouRant.

MFIL

Variable définissant le nom générique ou le répertoire de tous les Fichiers d'entrée et de sortie.

MFIN

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier d'impression de la solution FINale.

MINI

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier de solution INITiale.

MPRE

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des PRopriétés Élémentaires.

MPRN

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des PRopriétés Nodales.

MPST

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des résultats de PoSt-Traitement.

MRES

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des résultats de RÉSidus.

MSLC

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des SoLlicitations Concentrées.

MSLR

Variable définissant le nom ou l'extension du nom du fichier des SoLlicitations Réparties.

STEMP

Variable fondamentale pour toute simulation. Elle définit le Schéma TEMPorel devant être utilisé (voir **Librairie de schémas temporels**).

Type entier

Les variables du type entier servent en règle général à définir les paramètres de la résolution. Leur utilisation peut être optionnelle ou obligatoire. Dans HYDROSIM on dénombre 5 variables du type entier :

- ILU
 - IMPR
 - NITER
 - NPAS
 - NPREC
 - NRDEM
-

ILU

Variable définissant le niveau de remplissage pour un préconditionnement de type matrice ILU. Par défaut elle est égale à 0.

IMPR

Variable définissant le type de Matrice de PRéconditionnement :

- _IMPR=0 pour matrice identité
- _IMPR=1 pour matrice masse diagonale
- _IMPR=2 pour matrice tangente diagonale
- _IMPR=3 pour matrice ILU

Par défaut elle est égale à 1.

NITER

Variable définissant le Nombre d'ITÉRations. Par défaut elle est égale à 25.

NPAS

Variable définissant le Nombre de PAS pour la division du temps t en incrément Δt dans le cas d'une simulation transitoire ou non stationnaire. Par défaut elle est égale à 1.

NPREC

Variable définissant le Nombre de PREConditionnements. Par défaut elle est égale à 1.

NRDEM

Variable définissant le Nombre de ReDÉMarrages. Par défaut elle est égale à 25.

Type réel

Les variables du type réel servent à définir les paramètres de la méthode de résolution ainsi que les données dans un contexte non stationnaire. Leur utilisation peut être optionnelle ou obligatoire. Dans HYDROSIM on dénombre 12 variables du type réel :

- ALFA
- DELPRT
- DPAS
- EPSDL
- OMEGA
- TASCND
- TASINI
- TASPRES
- TASPRES
- TASPRES
- TASSLC
- TASSLR
- TINI

ALFA

Variable définissant le coefficient α (ALFA) du schéma temporel d'**EULER**. Elle peut prendre des valeurs comprises entre 0 et 1 inclus. Par défaut elle est égale à 1.

DELPRT

Variable définissant le coefficient Δ (DELta) de PeRTurbation de la matrice de préconditionnement du type ILU. Par défaut elle est égale à 10^{-8} .

DPAS

Variable définissant le PAS de temps Δt (Delta t) pour la discrétisation du temps. Par défaut elle est égale à 10^{+12} .

EPSDL

Variable définissant la précision ε (EPSilon) des Degrés de Liberté. Par défaut elle est égale à 10^{-06} .

OMEGA

Variable définissant le facteur ω (OMÉGA) de relaxation des degrés de liberté. Par défaut elle est égale à 1.

TASCND

Variable définissant le Temps ASSocié à la lecture initiale des CoNDitions aux limites non stationnaires (voir **Traitement des données transitoires**).

TASINI

Variable définissant le Temps ASSocié à la lecture initiale de la solution INItiale non stationnaire (voir **Traitement des données transitoires**).

TASPRE

Variable définissant le Temps ASSocié à la lecture initiale des PRopriétés Élémentaires non stationnaires (voir **Traitement des données transitoires**).

TASPRN

Variable définissant le Temps ASSocié à la lecture initiale des PROPriétés Nodales non stationnaires (voir **Traitement des données transitoires**).

TASSLC

Variable définissant le Temps ASSocié à la lecture initiale des SOLlicitations Concentrées non stationnaires (voir **Traitement des données transitoires**).

TASSLR

Variable définissant le Temps ASSocié à la lecture initiale des SOLlicitations Réparties non stationnaires (voir **Traitement des données transitoires**).

TINI

Variable définissant le Temps INItial de la simulation.

Structure du nom des fichiers

Les noms des fichiers de données et de résultats d'HYDROSIM sont systématiquement définis au moyen de la concaténation des valeurs de deux Variables du Type chaîne de caractères. Dans l'ordre, la première commune à tous est MFIL et la seconde est associée au bloc pertinent (voir Blocs).

Exemple :

Le nom du fichier associé au bloc XXX admettant MXXX pour variable du type chaîne de caractères est déterminé par l'une ou l'autre des deux procédures ci-dessous :

```
_MFIL=' nom1 '
```

```
_MXXX=' nom2 '
```

ou bien

```
_MFIL=' '
```

```
_MXXX=' nom1nom2 '
```

Dans les deux cas de figure, le nom du fichier résultant de l'association, dans l'ordre, de MFIL et MXXX est nom1nom2.

Remarque : La longueur max des noms des fichiers ne peut dépasser 217 caractères.

Progression de la simulation

- Définition

- Volume de l'exécution
 - Message à l'arrêt
-

Définition

La progression de la simulation est accessible sur le fichier de suivi de simulation défini au moyen de la variable MEXE (voir Structure du nom des fichiers).

Typiquement durant une exécution nous avons dans le fichier de suivi de la simulation une seule ligne de message contenant un entier compris entre 1 et 100. Elle exprime, en pourcentage (%) du Volume de l'exécution, l'état d'avancement de la procédure de résolution du problème.

Volume de l'exécution

Le volume de l'exécution est un entier égal au nombre d'itérations maximum possible. Il est calculé automatiquement pendant le mode balayage. Il est affiché ensuite au prompt ou dans le fichier de sortie (voir Démarrage du logiciel) à la sortie du mode balayage.

Message à l'arrêt

Après arrêt de l'exécution d'HYDROSIM nous avons alors systématiquement le message suivant dans le fichier de suivi de la simulation :

100

END

Dans le fichier de sortie ou au prompt, la date et l'heure de fin de la simulation sont affichées ainsi que sa durée. Enfin, l'espace mémoire est également indiqué.

Remarque : La durée d'une même simulation peut varier si les conditions de l'exécution changent.

Chapitre 3 Comment gérer une simulation?

L'objectif de ce chapitre est de présenter la procédure à suivre pour construire un fichier de commandes (voir Structure du fichier de commandes), à partir des Variables et des Blocs, pour gérer une simulation. A chaque étape sont indiqués la variable à définir et le bloc à appeler. Pour s'assurer de respecter les règles de dépendances entre les blocs et les variables (voir **Dépendances des blocs**), il est conseillé de suivre la démarche ci-dessous :

- Créer une nouvelle simulation
- Définir la discrétisation du problème
- Lire les données
- Résoudre le problème
- Imprimer les résultats

Créer une nouvelle simulation

Lorsqu'on crée une nouvelle simulation, bien que facultatif, il est toutefois conseillé d'insérer dans le fichier de commandes du texte, à raison de 1024 caractères par ligne au maximum, qui puisse identifier le processus physique à simuler. Cela consiste en particulier à indiquer la provenance des données de terrain, le choix des conditions aux limites, des sollicitations et des conditions initiales. De plus, on peut également indiquer à quel stade correspond la simulation : initialisation, calibration, prédiction...

En règle générale, plus il y a d'information mieux c'est. Cela peut être particulièrement utile en phase d'analyse. Pour que l'information apparaisse dans le fichier de sortie il faut s'assurer que chaque ligne de message soit précédée par un #.

Définir la discrétisation du problème

Définir les variables ELTYP (voir **Librairie d'éléments finis**) et STEMP (voir **Librairie de schémas temporels**). Appeler le bloc FORM.

Exemple :

Pour discrétiser un problème d'hydraulique fluviale 2D horizontal avec prédiction des bancs couvrants-découvrants, dans un contexte stationnaire la commande associée est :

```
_ELTYP= ' SVCRNM '
```

```
_STEMP= ' STATIQ '
```

```
FORM[ 0 ]
```

ou bien dans un contexte transitoire :

```
_ELTYP= ' SVCRNM '
```

```
_STEMP= ' EULER '
```

```
FORM[ 0 ]
```

Lire les données

En règle générale, les données sont stockées dans des fichiers ASCII. L'opération de lecture de chaque type de donnée consiste à définir le nom du fichier de données au moyen des variables appropriées (voir Structure du nom des fichiers), de définir le temps associé et le pas de temps s'il y a lieu dans le cas d'une simulation dans le temps ; d'activer ensuite le bloc pertinent pour procéder à la lecture. Pour intégrer les données dans HYDROSIM voici dans l'ordre la procédure à suivre :

- Lire les coordonnées
- Lire les connectivités
- Lire les propriétés globales
- Lire les propriétés nodales
- Lire les propriétés élémentaires
- Lire la solution initiale
- Lire les conditions aux limites
- Lire les sollicitations concentrées
- Lire les sollicitations réparties

Lire les coordonnées

Les coordonnées sont stockées dans un fichier ASCII (voir **Fichier des coordonnées**). Définir les variables MFIL et MCOOR. Appeler le bloc COOR.

Exemple :

Le fichier des coordonnées des éléments est test.cor , la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MCOR='.cor'  
COOR[0]
```

Lire les connectivités

Les connectivités sont stockées dans un fichier ASCII (voir **Fichier des connectivités**). Définir les variables MFIL et MELE. Appeler le bloc ELEM.

Exemple :

Le fichier des connectivités des éléments est test.ele, la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MELE='.ele'  
ELEM[0]
```

Lire les propriétés globales

Les propriétés globales sont intégrées à partir du fichier de commandes. Appeler le bloc PRGL et remplir la table des propriétés globales qui suit.

Exemple :

Pour intégrer les propriétés globales, au nombre de 5 pour fixer les idées, la commande associée est :

```
PRGL[0] (9.81,47,1.e-06,1.,1.e+03)
```

Lire les propriétés nodales

Les propriétés nodales sont stockées dans un fichier ASCII (voir **Fichier des propriétés nodales**). Définir seulement les variables MFIL et MPRN pour assigner le nom du fichier dans le cas stationnaire. Ajouter au besoin TASP RN dans le cas transitoire. Appeler le bloc PRNO.

Exemple :

Le fichier des propriétés nodales stationnaires est test.prn, la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MPRN='.prn'  
PRNO[0]
```

Dans le cas transitoire nous avons à spécifier le temps si les propriétés nodales varient dans le temps, par exemple charger celles associées à t=24h00 :

```
_MFIL='test'  
_MPRN='.prn'  
_TASPRN=86400.  
PRNO[0]
```

Lire les propriétés élémentaires

Les propriétés élémentaires sont stockées dans un fichier ASCII (voir **Fichier des propriétés élémentaires**). Définir seulement les variables MFIL et MPRE pour assigner le nom du fichier dans le cas stationnaire. Ajouter au besoin TASPRES dans le cas transitoire. Appeler le bloc PREL.

Exemple :

Le fichier des propriétés élémentaires stationnaires est test.pre, la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MPRE='.pre'  
PREL[0]
```

Dans le cas transitoire nous avons à spécifier le temps si les propriétés élémentaires varient dans le temps, par exemple charger celles associées à t=12h00 :

```
_MFIL='test'  
_MPRE='.pre'  
_TASPRES=43200.  
PREL[0]
```

Lire la solution initiale

Deux cas peuvent se présenter :

- 1 - Les paramètres de la solution initiale sont introduits au prompt ou par le fichier de commandes. Appeler le bloc INIT(réel,réel,...,réel) et remplir s'il y a lieu la table des paramètres (nombres réels) d'initialisation qui suit.
- 2 - La solution initiale est stockée dans un fichier (voir **Fichier des degrés de liberté**). Définir les variables MFIL, MINI, FFINI et TASINI. Appeler le bloc INIT(réel,réel,...,réel).

Exemple 1:

L'initialisation est effectuée sans fichier de données et tous les degrés de libertés sont mis à zéro, la commande associée est :

```
INIT{0}
```

Si par contre des paramètres, au nombre de 3 pour fixer les idées, doivent être spécifiés nous avons :

```
INIT{0} (1.0,-2,100)
```

Exemple 2:

La solution initiale stationnaire est stockée dans le fichier ASCII test.deb, la commande associée est :

```
_MFIL='test'
```

```
_MINI='.deb'
```

```
INIT{0}
```

Si par contre le fichier est en format binaire nous avons :

```
_MFIL='test'
```

```
_MINI='.deb'
```

```
_FFINI='BIN'
```

```
INIT{0}
```

Dans le cas transitoire nous avons à spécifier le temps si la solution initiale stockée au format binaire varie dans le temps, par exemple charger celle associée à t=3h00 :

```
_MFIL='test'
```

```
_MINI='.deb'
```

```
_FFINI='BIN'
```

```
_TASINI=10800.
```

```
INIT{0}
```

Remarque : Le format du fichier lu par le bloc INIT est identique à celui généré par le bloc FIN.

Lire les conditions aux limites

Les conditions aux limites sont stockées dans un fichier ASCII (voir **Fichier des conditions aux limites**). Définir seulement les

variables MFIL et MCND pour assigner le nom du fichier dans le cas stationnaire. Ajouter au besoin TASCND pour le cas transitoire. Appeler le bloc COND.

Exemple :

Le fichier des conditions aux limites stationnaires est test.prn, la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MCND='.cnd'  
COND[0]
```

Dans le cas transitoire nous avons à spécifier le temps si les conditions aux limites varient dans le temps, par exemple charger celles associées à t=1h00 :

```
_MFIL='test'  
_MCND='.cnd'  
_TASCND=3600.  
COND[0]
```

Lire les sollicitations concentrées

Les sollicitations concentrées sont stockées dans un fichier ASCII (voir **Fichier des sollicitations**). Définir seulement les variables MFIL et MSLC pour assigner le nom du fichier dans le cas stationnaire. Ajouter au besoin TASSLC dans le cas transitoire. Appeler le bloc SOLC.

Exemple :

Le fichier des sollicitations concentrées stationnaires est test.slc, la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MSLC='.slc'  
SOLC[0]
```

Dans le cas transitoire nous avons à spécifier le temps si les sollicitations concentrées varient dans le temps, par exemple charger celles associées à t=-0h30 :

```
_MFIL='test'  
_MSLC='.slc'  
_TASSLC=-1800.  
SOLC[0]
```

Lire les sollicitations réparties

Les sollicitations réparties sont stockées sur fichier ASCII (voir **Fichier des sollicitations**). Définir seulement les variables MFIL et MSLR pour assigner le nom du fichier dans le cas stationnaire. Ajouter au besoin TASSLR dans le cas transitoire. Appeler le bloc SOLR.

Exemple :

Le fichier des sollicitations réparties stationnaires est `test.slr`, la commande associée est :

```
_MFIL='test'
_MSLR='.slr'
SOLR[0]
```

Dans le cas transitoire nous avons à spécifier le temps si les sollicitations réparties varient dans le temps, par exemple charger celles associées à `t=0h00` :

```
_MFIL='test'
_MSLR='.slr'
_TASSLR=0.
SOLC[0]
```

Résoudre le problème

La procédure d'activation de la résolution se fait en deux étapes :

- 1 - Étape obligatoire si `IMPR=3`. Assigner une valeur à `ILU` et à `DELPRT`. Activer le bloc `PRCO`.
- 2 - Assigner une valeur à `TINI`, `NPAS`, `IMPR`, `NPREC`, `NRDEM`, `NITER`, `OMEGA` et `EPSDL`. Appeler le bloc `SOLV(réel,réel,réel)` et remplir si souhaité la table des limiteurs qui suit.

Exemple 1:

On souhaite effectuer une résolution stationnaire avec une matrice `ILU` au niveau de remplissage 0, 1 préconditionnement, 10 redémarrages, 25 itérations, une précision de 10^{-6} et des limiteurs sur la variation des vitesses en `x` et `y` de 0.25m/s et de 0.1m sur le niveau d'eau, la commande associée est :

```
_ILU=0
_DELPRT=1.e-08
PRCO
_IMPR=3
_NPREC=1
_NRDEM=10
```

```
_NITER=25
_OMEGA=1.0
_EPSDL=1.e-06
SOLV[0] (0.25,0.25,0.1)
```

Exemple 2:

On souhaite effectuer une résolution transitoire par un schéma d'Euler implicite (ALFA=1) pour simuler un processus d'une heure avec un pas de temps d'une minute et en fixant à zéro le temps de départ de la simulation. On emploie une matrice ILU au niveau de remplissage 0, 1 préconditionnement, 10 redémarrages, 25 itérations, une précision de 10-6 et des limiteurs sur la variation des vitesses en x et y de 0.25m/s et de 0.1m sur le niveau d'eau, la commande associée est :

```
_ILU=0
_DELPRT=1.e-08
PRCO
_ALFA=1
_TINI=0
_DPAS=60
_NPAS=60
_IMPR=3
_NPREC=1
_NRDEM=10
_NITER=25
_OMEGA=1.0
_EPSDL=1.e-06
SOLV[0] (0.25,0.25,0.1)
```

Remarque : Les solutions intermédiaires ne sont pas accessibles en post-résolution, seule la solution finale peut être exploitée ultérieurement.

Imprimer les résultats

L'opération d'impression de chaque type de résultat consiste à définir le nom du fichier de résultats (voir Structure du nom des fichiers) au moyen des variables appropriées et d'activer le bloc pertinent pour procéder à l'impression. Voici les différents types de résultats pouvant être imprimés par HYDROSIM :

- Imprimer les degrés de liberté
- Imprimer l'estimation des erreurs numériques
- Imprimer le post-traitement
- Imprimer les résidus

- Imprimer la fonction courant

Imprimer les degrés de liberté

Les degrés de liberté sont stockés dans un fichier binaire (voir **Fichier des degrés de liberté**). Définir les variables MFIL et MFIN pour assigner le nom du fichier. Appeler le bloc FCRT.

Exemple :

Les degrés de liberté doivent être stockés dans le fichier ASCII `test.fin`, la commande associée est :

```
_MFIL='test'
```

```
_MFIN='.fin'
```

```
FIN[0]
```

ou bien dans un fichier binaire

```
_MFIL='test'
```

```
_MFIN='.fin'
```

```
_FFFIN='BIN'
```

```
FIN[0]
```

Remarque : Le format du fichier généré par le bloc FIN est identique à celui lu par le bloc INIT(réel,réel,...,réel).

Imprimer l'estimation des erreurs numériques

Les erreurs numériques sont stockées dans fichier ASCII (voir **Fichier des erreurs numériques**). Définir les variables MFIL et MERR pour assigner le nom du fichier. Appeler le bloc ERR.

Exemple :

Les erreurs numériques doivent être stockés dans le fichier `test.err`, la commande associée est :

```
_MFIL='test'
```

```
_MERR='.err'
```

```
ERR[0]
```

Imprimer le post-traitement

Le post-traitement est stocké dans fichier ASCII (voir **Fichier de post-traitement**). Définir les variables MFIL et MPST pour assigner le nom du fichier. Appeler le bloc POST.

Exemple :

Les erreurs numériques doivent être stockés dans le fichier test.pst, la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MPST='.pst'  
POST[0]
```

Imprimer les résidus

Les résidus sont stockés dans un fichier ASCII (voir **Fichier des résidus**). Définir seulement les variables MFIL et MRES pour assigner le nom du fichier dans le cas stationnaire. Ajouter DPAS et ALFA dans le cas transitoire. Appeler le bloc RESI.

Exemple 1:

Les résidus associés à une solution stationnaire doivent être stockés dans le fichier test.res, la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MRES='.res'  
RESI[0]
```

Exemple 2:

Les résidus associés à une solution transitoire calculée avec un schéma d'**EULER** implicite (ALFA=1) et un pas de temps d'une minute, doivent être stockés dans le fichier test.res, la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MRES='.res'  
_ALFA=1.0  
_DPAS=60.'  
RESI[0]
```

Imprimer la fonction courant

La fonction courant est stockée dans un fichier lecture/écriture ASCII (voir **Fichier de la fonction courant**). Définir les variables MFIL et MFCR pour assigner le nom du fichier ainsi que les variables de résolution ILU, NRDEM, NITER, EPSDL et OMEGA. Appeler le bloc FCRT.

Exemple 1 :

La fonction courant, après avoir été calculée par une méthode directe, doit être stockée dans le fichier `test.fcr` ; la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MFCR='.fcr'  
_ILU=-1  
_NRDEM=1  
_NITER=1  
_OMEGA=1  
_EPSDL=1.E-06  
FCRT[0]
```

Exemple 2 :

La fonction courant, après avoir été calculée par une méthode itérative économique en espace mémoire, doit être stockée dans le fichier `test.fcr` ; la commande associée est :

```
_MFIL='test'  
_MFCR='.fcr'  
_ILU=0  
_NRDEM=25  
_NITER=100  
_OMEGA=1  
_EPSDL=1.E-06  
FCRT[0]
```

! appeler plusieurs FCRT si le problème n'a pas
! convergé

Remarque : Le fichier de résultats associé à FCRT est du type lecture/écriture. Si le fichier existe déjà avant l'appel à FCRT il faut alors s'assurer que l'information qu'il contient est conforme (voir **Fichier de la fonction courant**). En outre, il est sensé contenir la solution initiale de la fonction courant.

Chapitre 4 Comment obtenir une solution hydrodynamique?

Ce chapitre vise à prodiguer quelques précautions à observer pour obtenir une solution hydrodynamique dans les meilleurs délais.

L'expérience nous enseigne qu'un projet de modélisation hydrodynamique par éléments finis n'est pas une procédure linéaire mais plutôt itérative qu'on souhaite convergente. Cela à raison, car un exercice de simulation est une activité complexe qui sous entend la préparation d'un modèle numérique de terrain, d'un maillage hydrodynamique et des conditions aux limites. Ensuite, il faut mettre en eau le modèle, post-traiter et analyser la solution et enfin, valider le modèle. L'étape suivante et la plus délicate consiste à calibrer le modèle. Lorsque ces étapes sont franchies, on peut penser à des exercices de prédiction.

Ici, nous nous concentrons sur certaines dispositions qui méritent d'être consultées pour réaliser efficacement une simulation hydrodynamique proprement dite:

- Comment valider les données d'entrée (phase préliminaire)?
- Comment mettre en eau le modèle?
- Comment converger la solution?
- Comment valider le modèle?
- Comment ajuster le modèle (calibration)?
- Questions fréquentes

Comment valider les données d'entrée (phase préliminaire)?

Nous entendons par "données d'entrée" celles transmises directement au simulateur dans le fichier de commande. Il ne s'agit pas des données de base de terrain ayant servi à construire le modèle de terrain. Ces données doivent être contrôlées directement sur le ou les logiciels utilisés pour la préparation des données d'entrée d'HYDROSIM. En pratique il s'agit de s'assurer que/de :

- 1 - l'élément fini utilisé pour mailler est bien disponible dans la librairie d'éléments d'HYDROSIM ;
- 2 - la limite (peau) du maillage hydrodynamique représente exactement le contour du domaine de simulation ;

- 3 - le maillage hydrodynamique recouvre bien l'ensemble du lit de l'écoulement ;
 - 4 - la projection du modèle numérique de terrain sur le maillage hydrodynamique n'engendre pas de valeurs corrompues ;
 - 5 - lancer une simulation avec HYDROSIM avec pour instructions de lire les données et d'imprimer le post-traitement ;
 - 6 - analyser la solution et vérifier si elle respecte bien les conditions aux limites et initiales.
-

Comment mettre en eau le modèle?

La mise en eau du modèle vise à calculer la toute première solution sur le domaine de simulation. C'est une étape importante car dans certaines situations cette première solution peut servir de solution initiale pour chercher d'autres états. Cela est particulièrement le cas lorsqu'on cherche à modéliser de longs tronçons de rivière avec une forte dénivellation (plusieurs mètres) du niveau d'eau entre l'amont et l'aval.

C'est donc par un choix judicieux des conditions aux limites et initiales qu'on procède à la délicate mise en eau du modèle. Voici comment les choisir :

- Scénarios de conditions aux limites
 - Scénarios de conditions initiales
-

Scénarios de conditions aux limites

Les conditions aux limites sont introduites sur le contour du domaine de simulation, en d'autres termes sur la peau du maillage. Physiquement, le contour du domaine est formé d'un ensemble de frontières ouvertes et fermées. Chaque type de frontière nécessite un traitement particulier :

- Frontière fermée
 - Frontière ouverte
-

Frontière fermée

Sur une frontière fermée (berge), le niveau d'eau n'est jamais imposé. Par contre, on introduit l'une ou l'autre des deux conditions suivantes:

- $q_n = 0$ (flux normal nul à la frontière ou condition d'imperméabilité)

- $q_n = q_t = 0$ (les composantes normales et tangentielles du flux sont nulles ou condition d'adhérence)

En pratique dans les études de rivières une condition d'imperméabilité est la plus appropriée puisqu'elle permet d'ignorer la couche limite qui se développe aux frontières fermées. Rappelons qu'une couche limite est le siège de forts gradients et son épaisseur est très mince comparativement aux dimensions du domaine à l'étude. Par ailleurs, il arrive très souvent que cette zone ne présente pas un grand intérêt pour le modélisateur.

Cependant, dans le cas où l'écoulement est confiné dans une cavité, un épi ou autour d'un point d'arrêt une condition d'adhérence est à ce moment requise.

Nous attirons l'attention sur le fait qu'une couche limite mal capturée (emploi d'une condition d'adhérence sur un maillage grossier) aura pour effet de freiner artificiellement l'écoulement et de surélever le plan d'eau. Dans le cas où l'exercice de modélisation vise à reproduire la couche limite il faut veiller à raffiner le maillage dans la direction normale à l'écoulement.

Remarque : La condition de flux nul sur une frontière fermée est implicite dans HYDROSIM et n'a donc pas besoin d'être spécifiée explicitement.

Frontière ouverte

Sur une frontière ouverte aval, on impose toujours le niveau d'eau. La direction de l'écoulement peut être imposée via le flux tangent ou laissée libre :

- $h = h_{\text{aval}}$
- $q_t = 0$ (composante tangentielle du flux nulle) ou libre

En régime fluvial (Nombre de Froude < 1), sur une frontière ouverte amont on impose toujours soit, le niveau d'eau soit, une sollicitation en débit et éventuellement, la direction de l'écoulement :

- $h = h_{\text{amont}}$ soit une sollicitation en flux normal q_n .
- $q_t = 0$ (composante tangentielle du flux nulle)

alors qu'en régime torrentiel (Nombre de Froude > 1), il faut imposer le niveau d'eau ainsi que le flux normal :

- $h = h_{\text{amont}}$
- $q_n = q_n \text{ amont}$ (composante normale du flux imposée)

Les conditions sur le flux ont été exprimées dans le repère normal-tangent car le plus approprié dans le sens où il permet de traduire le plus simplement les conditions d'écoulement. C'est quasiment dans des cas académiques seulement qu'on peut poser des conditions sur le flux dans un repère cartésien confondu (à une rotation de 90 degrés près) avec le repère normal-tangent.

On parle de sollicitation lorsque le degré de liberté n'est pas imposé explicitement. Cela peut être dans certaines situations avantageux notamment le système d'équations éléments finis qui en résulte est moins contraint et donc plus sympathique pour la procédure de résolution

Remarque : Le niveau d'eau imposé a préséance sur la sollicitation en débit s'ils sont imposés en même temps sur une même frontière.

Scénarios de conditions initiales

Un choix judicieux des conditions initiales est très important pour assurer la délicate convergence du processus de résolution. Dans HYDROSIM, on propose quatre (4) stratégies d'initialisation :

- Solution statique (plan d'eau statique)
 - Solution quasi linéaire
 - Solution quasi-linéaire enrichie
 - Solution de référence
-

Solution statique (plan d'eau statique)

Il s'agit d'une situation où le fluide est au repos et qu'on exprime comme suit sur tout le domaine:

- $q_{x0}=q_{y0}=0$
- $h_0=\text{constante}$

Exemple :

Dans le fichier de commande d'HYDROSIM, cela se traduit comme suit :

```
! pas de fichier d'initialisation à lire
!_MINI=' '
INIT(0.0 ,0.0 , constante, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0)
```

Cette forme peut être suffisante dans le cas où la dénivellation du plan d'eau dans le domaine modélisé est faible (quelques centimètres tout au plus). Le choix de la valeur à donner à h est en général consistant avec le niveau d'eau imposé aux limites ouvertes.

Solution quasi linéaire

Il s'agit d'une situation où le niveau d'eau et l'inclinaison du plan d'eau sont connus grossièrement a priori. En tout point du

domaine de simulation, le niveau d'eau est donné par l'équation d'une surface plane:

- $h(x)=h_0+S_x(x-x_0)+S_y(y-y_0)$

où h_0 est le niveau d'eau au point de coordonnées (x_0,y_0) . S_x et S_y sont les pentes en x et y respectivement du plan d'eau.

Les flux sont alors approximés par le programme à l'aide de la loi de Chézy-Manning :

- $q_{xi}=(S_{xi}/(S_x^2+S_y^2)^{0,25}).(H^{5/3}).(1/n)$, $i=1,2$

où H représente la profondeur et n le coefficient de Manning.

Exemple :

Dans le fichier de commande cela se traduit comme suit :

```
! pas de fichier d'initialisation à lire
!_MINI=' '
INIT(0.0 ,0.0 , h0, Sx, Sy, x0, y0)
```

Cette forme peut être très intéressante dans les canaux droits puisqu'elle permet d'accélérer le processus de convergence si la solution initiale se rapproche de la solution du problème.

Mise en garde : dans les rivières, cette approche n'est pas souhaitable puisqu'elle ne tient pas compte de la complexité du profil du cours d'eau et de son talweg. Le manque de pertinence de la solution initiale prédite peut compromettre le processus de convergence.

Solution quasi-linéaire enrichie

C'est une généralisation de l'approche Solution quasi linéaire en ce sens que le niveau et les pentes du plan d'eau sont connus à priori. L'approximation des flux se réalise de la même façon que la solution quasi-linéaire

Cependant, la différence est que les pentes du plan d'eau sont variables dans le domaine de simulation. Dans ce cas, l'initialisation doit se faire à partir d'un fichier d'initialisation. L'information devra contenir les valeurs du niveau d'eau et les flux fixés à zéro (voir format de fichiers).

Exemple :

Dans le fichier de commande, cela se traduit comme suit :

```
! solution initiale stockée dans le fichier
'sol-initiale.deb' en format ASCII
_FFINI='ASCII'
_MINI='sol-initiale.deb'
INIT
```

L'expérience nous enseigne que cette forme d'initialisation est très intéressante en offrant une économie de temps de calcul appréciable dans les projets de modélisation d'envergure.

Solution de référence

La solution provient d'une simulation déjà réalisée. C'est le cas quand on poursuit une étude de sensibilité (au débit ou aux conditions aménagées) et qu'on veut passer d'un état à un autre.

Exemple :

Dans le fichier de commande cela se traduit comme suit :

```
! solution initiale stockée dans le
!fichier sol-reference.deb en format ASCII
_FFINI='ASCII'
_MINI='sol-reference.deb'
INIT
```

Cette forme d'initialisation est pratique lorsqu'on cherche à faire converger la solution en plusieurs étapes. Elle peut être également utile lorsqu'on cherche à passer d'un événement à un autre en modifiant légèrement les données hydrauliques.

Comment converger la solution?

- Méthode de résolution
- Mise à jour de la solution
- Comportement du solveur
- La convergence est atteinte?
- Stratégies de résolution avancées
- Conseil pratique

Méthode de résolution

Dans HYDROSIM, la méthode de résolution du système d'équations algébrique est faite par la méthode itérative GMRES non-linéaire, selon un schéma de "Newton-Inexact", avec préconditionnement. Les différents aspects de la méthode sont relatives à :

- Algorithme de résolution par GMRES
- Matrices de préconditionnement
- Espace mémoire
- Précision

Algorithme de résolution par GMRES

Le fonctionnement de l'algorithme de résolution par GMRES est présenté sur la Figure 1. On constate qu'il y a trois boucles. La première est pilotée par la variable NPREC, la seconde par la variable NRDEM et la troisième par NITER laquelle ne peut excéder la valeur de NDLT, le nombre de degrés de libertés (variables) total. La variable NITER joue un double rôle puisqu'elle permet non seulement de fixer le nombre d'itérations mais également de gouverner la dimension du sous-espace solution égale au produit de NITER par NDLT.

Formellement, la première boucle est destinée au calcul de la Matrices de préconditionnement, la seconde à la Mise à jour de la solution et la troisième au calcul du sous-espace solution de type Krylov par la méthode GMRES proprement dite.

Les paramètres de fonctionnement sont :

- 1 - le nombre de préconditionnements NPREC
- 2 - le nombre de redémarrages NRDEM
- 3 - le nombre d'itérations NITER

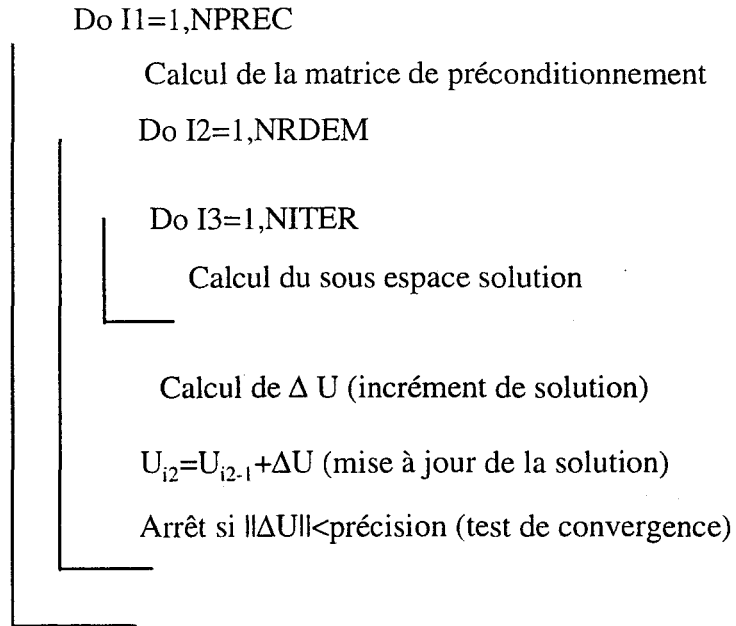
La théorie stipule que pour un problème linéaire, l'algorithme GMRES converge au plus en NDLT itérations, ce qui serait tout à fait irréalisable en pratique étant donné l'Espace mémoire exorbitant que cela pourrait supposer pour un problème normal. Dans le cas non linéaire par contre, il n'existe pas de méthode pour déterminer les valeurs optimales des paramètres de fonctionnement. Toutefois, l'expérience sur une large gamme de problèmes suggère les valeurs par défaut suivantes :

```
_NPREC=1  
_NRDEM=25  
_NITER=25
```

On pourra accroître le nombre de préconditionnements (NPREC) pour des simulations importantes.

Le critère d'arrêt de l'algorithme de résolution est basé sur la norme de l'incrément, c'est-à-dire, le progrès de la solution, qui doit être inférieure à la Précision fixée via la variable EPSDL.

Figure 1 : Algorithme de résolution par GMRES non-linéaire.



Matrices de préconditionnement

La matrice de préconditionnement joue un rôle très important dans l'algorithme de résolution par GMRES. Un bon préconditionneur améliore grandement les performances du solveur. Pour fixer les idées, deux matrices de préconditionnement données peuvent faire converger ou diverger le problème. On parle de divergence de l'algorithme de résolution si la norme de l'incrément tend à augmenter (explose).

Dans le cas des équations de Saint-Venant, l'expérience montre que le préconditionnement matrice ILU, à niveau de remplissage minimum (ILU=0), est efficace. Pour en faire usage, les instructions sont :

```
_ELTYP='SVC'RN'
```

```
:
```

```
_ILU=0
```

```
PRCO
```

```
_IMPR=3
```

```
:
```

Si l'Espace mémoire l'autorise, de meilleurs résultats sont obtenus en choisissant le remplissage maximum (ILU=-1). Dans ce cas, pour minimiser les calculs et les besoins de mémoire (reliés à la largeur de bande de la matrice), les instructions sont :

```
ELTYP='SVC'
```

```
:
```

```
_ILU=-1
```

```
PRCO
```

_IMPR=3

:

Dans le cas contraire, si même une matrice matrice ILU à niveau de remplissage minimum (ILU=0) ne peut être exploitée pour des raisons de capacité mémoire, le compromis à faire est d'avoir recours à un préconditionnement dit diagonal (voir IMPR).

Remarque : La performance du préconditionnement ILU est fortement influencée par la numérotation des noeuds du maillage. Pour obtenir les meilleurs résultats, il est conseillé d'utiliser un algorithme de numérotation qui minimise la largeur de bande.

Espace mémoire

Dans l'algorithme de résolution, ce sont la matrice de préconditionnement ILU et la dimension du sous-espace solution via NITER qui conditionnent l'espace mémoire requis pour la procédure de résolution.

L'espace mémoire à prévoir pour stocker la matrice ILU avec un niveau de remplissage n (ILU=n) est d'environ :

$$\sigma \cdot ((3/2) \cdot NKG + (3 \cdot n + 1) \cdot NDLT + 1/2) \text{ en mégabytes ;}$$

tandis que celui associé au sous espace solution est donné par

$$\sigma \cdot NITER \cdot NDLT$$

où $\sigma = 8/2^{20}$ est le coefficient de conversion de mots réels à mégabytes et NKG le nombre de termes non nuls dans la matrice ILU. On peut obtenir cette information dans le fichier de sortie associé à la commande :

_ILU=0

PRCO[0]

Précision

La précision applicable sur le processus itératif de Mise à jour de la solution est définie au moyen de la variable EPSDL. Plus la précision est grande, plus le volume de calcul augmente.

Pour la simulation de problèmes académiques, on fixe EPSDL à une valeur de l'ordre de :

_EPSDL=1.E-10

Pour la simulation efficace de cas réels, on pose temporairement une valeur de l'ordre de :

_EPSDL=1.E-03

et en approchant de la solution, on réduit progressivement la valeur de EPSDL jusqu'à la précision souhaitée qui peut typiquement se situer au voisinage de :

_EPSDL=1.E-06

Mise à jour de la solution

Dans l'algorithme de résolution (voir Figure 1), la mise à jour de la solution se fait après chaque redémarrage comme suit :

$$U_{i2}=U_{i2-1}+\Delta U$$

Où U_{i2} désigne le vecteur solution au (i2) ième redémarrage et ΔU l'incrément de solution

Cependant, HYDROSIM propose de moduler la mise à jour de la solution ce qui peut s'avérer fort utile dans le cas où la solution varie beaucoup et/ou les non-linéarités sont importantes. Le calcul de l'incrément ΔU de la solution est alors fait comme suit :

$$\Delta U = \text{signe}(\Delta U) \max(\Delta U_{\max}, |\omega \Delta U|)$$

où ΔU_{\max} est le limiteur. Un limiteur est associé à chaque type de variable (degré de liberté).

Ainsi deux possibilités sont offertes pour intervenir lors de la mise à jour de la solution :

- Relaxer la mise à jour de la solution
- Limiter la mise à jour de la solution

Relaxer la mise à jour de la solution

Relaxer la solution signifie "atténuer" l'amplitude de l'incrément ΔU . La procédure de mise à jour de la solution est faite comme suit :

$$U_{i2}=U_{i2-1}+\omega \Delta U$$

où ω est le facteur de relaxation.

Exemple :

On veut sous-relaxer la solution avec facteur de 0.8 :

`_OMEGA=0.8`

En pratique, la sous-relaxation ($\omega < 1$) permet au solveur de mieux converger dans le cas où le problème est difficile. En contrepartie, elle ralentit le processus de résolution même au voisinage de la solution.

Limiter la mise à jour de la solution

La technique consiste à imposer une limite absolue sur la valeur de l'incrément ΔU .

Exemple :

On veut limiter la mise à jour ΔU de la solution avec des valeurs de ΔU_{\max} de 0.25 et de 0.1 sur le flux (q_x, q_y) et le niveau d'eau (h) respectivement :

SOLV[0] (0.25, 0.25, 0.1)

En pratique, le limiteur n'intervient dans le processus de mise à jour de la solution que lorsque l'incrément ΔU devient supérieur au limiteur ΔU_{\max} . En outre, au voisinage de la solution le processus de résolution n'est pas ralenti.

La limitation de la mise à jour de la solution peut se faire de concert avec la relaxation.

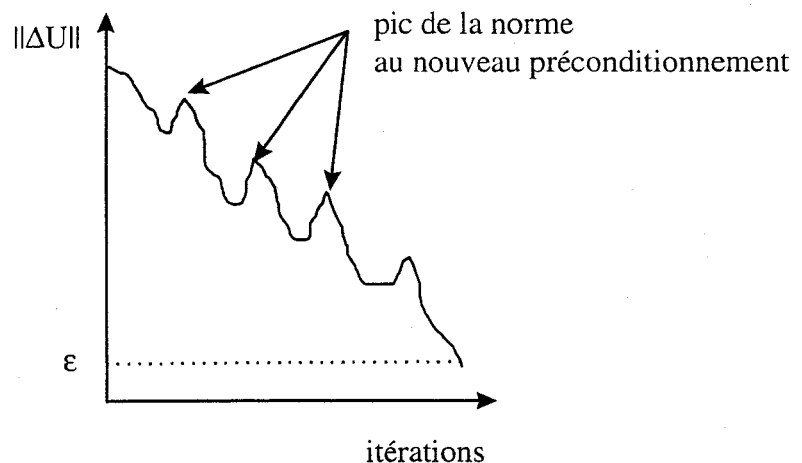
Comportement du solveur

Sur la Figure 2 est représentée la courbe de convergence typique de GMRES associé à un préconditionnement de type ILU.

En règle générale, on observe un pic de la norme de ΔU à chaque mise à jour de la matrice ILU, autrement dit à chaque nouveau préconditionnement.

La convergence du problème est atteinte selon la précision ε retenue si au préconditionnement suivant le pic de la norme reste inférieur à ε (voir La convergence est atteinte?).

Figure 2 : Comportement caractéristique de la norme de l'incrément de solution ΔU en fonction des itérations dans le cas de GMRES avec la matrice ILU comme préconditionneur.

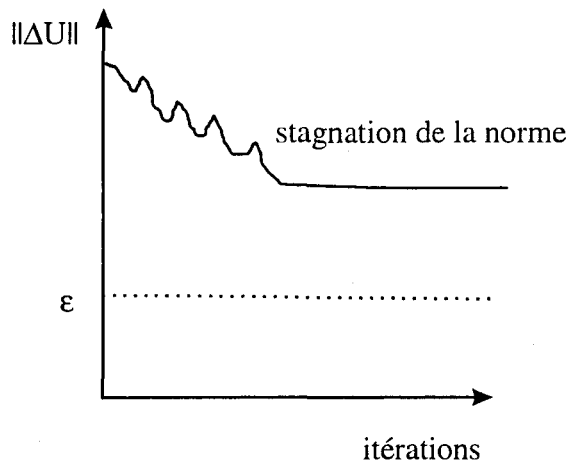


Dans certaines situations il peut arriver que GMRES stagne ou oscille (Figure 3). Le premier remède possible est d'augmenter le nombre d'itérations NITER. En effet, ce paramètre n'a pas seulement pour effet de prolonger la boucle de calcul, il permet aussi d'enrichir l'espace de recherche (la dimension du sous-espace solution).

Si le résultat reste inchangé faire une tentative en modifiant la borne supérieure de viscosité vers le haut d'abord puis vers le bas si nécessaire.

Si le problème persiste, il est probable que la solution ne peut être trouvée à cause d'une carence de discrétisation quelque part dans le domaine de simulation. Il faut alors identifier visuellement la zone qui pose problème (zone à résidu élevé). Ensuite, il faut raffiner localement le maillage à cet endroit et reprendre l'exercice de simulation.

Figure 3 : Stagnation du processus de convergence de la norme.



La convergence est atteinte?

Pour déclarer que la convergence de la solution calculée est atteinte, au sens numérique, il faut s'assurer que :

- 1 - GMRES a convergé ;
- 2 - La norme du résidu associé à chaque degré de liberté (q_x , q_y et h) est au plus du même ordre que ε .

Si convergence il y a, la simulation est terminée.

Dans le cas d'une convergence locale seulement, il faut reprendre la simulation en partant de la dernière solution et en augmentant le nombre d'itérations NITER. Répéter cette procédure au besoin.

Si le problème persiste analyser visuellement les résultats et deux scénarios sont possibles :

- 1 - Les résultats sont valides dans l'ensemble. Dans ce cas isoler les zones à résidus élevés. Densifier le maillage dans ces zones. Reprendre les simulations sur le nouveau maillage. Répéter cette procédure au besoin.

2 - Localement, les résultats sont mauvais (vecteurs vitesse partant dans tous les sens, oscillations parasites du niveau d'eau). Dans ce cas, il faut reprendre la simulation avec une initialisation à froid:

- a) en augmentant la borne supérieure de viscosité si la zone problématique est localisée dans le lit de l'écoulement.
- b) en diminuant la borne supérieure de viscosité si la zone problématique est localisée près d'une rive.

Stratégies de résolution avancées

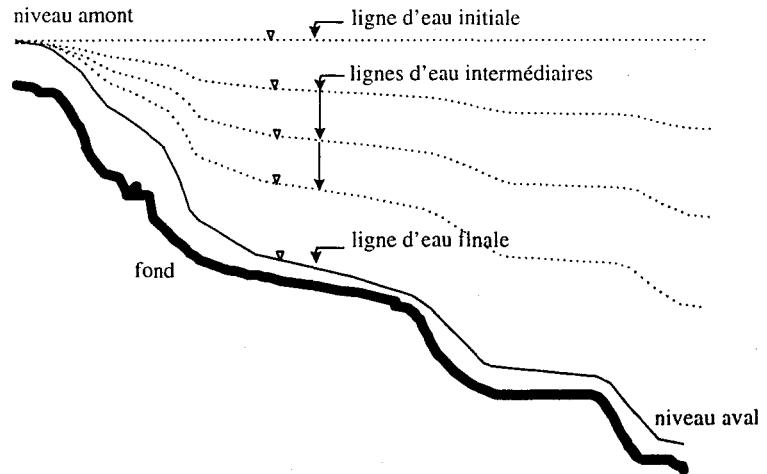
Il peut arriver dans certaines situations que la résolution du problème ne soit pas automatique. Il faut adopter une stratégie de résolution pour y arriver en passant par des solutions intermédiaires. Le choix de la stratégie doit être effectué au cas par cas. Quatre stratégies de résolution ont été identifiées :

- Piloter par le niveau d'eau aval
- Piloter par l'accélération convective (inertie)
- Piloter par la borne supérieure de viscosité
- Piloter par le pas de temps

Piloter par le niveau d'eau aval

Cette stratégie est généralement utilisée dans la phase de mise en eau du modèle lors de la modélisation de petits cours d'eau ou des tronçons de rivière de longue distance (plusieurs km) où la dénivellation du niveau d'eau entre l'amont et l'aval se chiffre en mètres comme indiqué sur la Figure 4.

Figure 4 : Lignes d'eau successives sur un profil en long.



Pour y arriver, la condition limite sur le niveau d'eau aval demeure le paramètre à faire varier.

Exemple :

Le niveau d'eau amont est à la cote 155 m et le niveau d'eau aval ciblé à la cote 150 m. On démarre avec un niveau aval de 155 m. Pour calculer la solution en régime permanent, on prévoit de faire varier le niveau aval par incrément de -0.50 m. Dans le fichier de commande, cela se traduit comme suit :

Début du fichier de commande de la première simulation avec un pilotage par le niveau d'eau aval

```

:
_ELTYTYP=' SVCRNM'
_STEMP=' STATIQ'
FORM
:
! Condition initiale :Mise en eau du modèle
INIT[0](0.0, 0.0, 155.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0)
! Condition aval h=154,5m
_MCND=' haval_154p5.cnd'
COND[0]
:
! Impression des degrés de liberté
_MFIN=' haval_154p5.deb'
FIN
STOP
! Fin du fichier de commande de la première
simulation

```

Début du fichier de commande de la seconde simulation avec pilotage par niveau d'eau aval

:

```
_ELTYP='SVCRNM'  
_STEMP='STATIQ'  
FORM  
:  
! Condition initiale :Solution de la première  
simulation  
_MINI='haval_154p5.deb'  
INIT[0]  
! Condition aval h=154,0m  
_MCND='haval_154p0.cnd'  
COND[0]  
:  
! Impression des degrés de liberté  
_MFIN='haval_154p0.deb'  
FIN  
STOP  
! Fin du fichier de commande de la seconde  
simulation
```

On procède ainsi jusqu'à ce que le niveau d'eau à l'aval atteigne la cote 150 m.

Remarque : Une autre possibilité serait d'automatiser toutes les opérations décrites plus haut en les insérant dans un seul fichier de commande.

Si la solution ne converge pas, réduire l'incrément du niveau d'eau.

Piloter par l'accélération convective (inertie)

L'accélération convective (inertie) est la composante de l'équation de mouvement associée aux changements de section d'écoulement (seuils, mouilles, sections de pont, etc...). L'influence de l'accélération convective sur les difficultés de convergence est majeure, particulièrement lorsque le régime de l'écoulement est proche des conditions critiques ou torrentielles. Pour contourner la difficulté, la solution est calculée par étapes successives en augmentant graduellement les effets de l'accélération convective sur la solution intermédiaire. Cette procédure est appelée pilotage par accélération convective où le facteur d'activation de la convection varie dans l'intervalle [0,1]. L'inertie est inactive lorsque le facteur vaut 0 (problème de Stokes) et complètement activée à 1.

Exemple :

Le niveau d'eau amont est à la cote 155 m et le niveau d'eau aval à la cote 150 m. Pour calculer la solution en régime permanent, on a choisi de Piloter par le niveau d'eau aval et le niveau d'activation de la convection dans la phase de descente du

niveau d'eau aval est demeuré à zéro. La solution ainsi obtenue est emmagasinée dans le fichier des degrés de liberté haval_150p0.deb. À présent, on ajoute les effets de convection par incrément de 0.25, ce qui se traduit comme suit :

Début du fichier de commande de la première simulation avec pilotage par activation de l'accélération convective

```
:
_ELTYP=' SVCRNM'
_STEMP=' STATIQ'
FORM
:
! Facteur de convection égal à 0,25
PRGL[0](9.8, 0., 0., 1., 0.,1.e-6 ,100, 10.,1.,
0.25,0.5,1e-05,1e-3)
:
! Condition initiale :Solution avec haval=150,0m
et convection
! nulle.
_MINI='haval_150p0.deb'
INIT[0]
:
! Impression des degrés de liberté
_MFIN='haval_150p0_conv_0p25.deb'
FIN
STOP
! Fin du fichier de commande de la première
simulation
```

Début du fichier de commande de la seconde simulation avec pilotage par l'accélération convective

```
:
! Facteur de convection égal à 0,50
PRGL[0](9.8, 0., 0., 1., 0.,1.e-6 ,100, 10.,1.,
0.50,0.5,1e-05,1e-3)
:
! Condition initiale :Solution de la première
simulation
_MINI='haval_150p0_conv_0p25.deb'
INIT[0]
:
! Impression des degrés de liberté
_MFIN='haval_150p0_conv_0p50.deb'
FIN
```

STOP

! Fin du fichier de commande de la seconde simulation

On procède ainsi jusqu'à ce que le niveau de convection atteigne la valeur de 1,0.

Remarque : Une autre possibilité serait d'automatiser toutes les opérations décrites plus haut en les insérant dans un seul fichier de commande.

Si la solution ne converge pas, réduire l'incrément de l'accélération convective.

Piloter par la borne supérieure de viscosité

Le terme de diffusion turbulente des équations de mouvement permet de tenir compte des contraintes de cisaillement et de compression reliés aux gradients de vitesse dans l'écoulement (voisinage d'un courant rapide et d'une zone morte par exemple). La viscosité turbulente est le paramètre clé de ce terme d'équilibre et elle se calcule d'elle-même dans HYDROSIM.. Cependant, il peut être utile d'en influencer la valeur pour améliorer la convergence de la solution.

Le calcul d'une solution stable en régime permanent se fait en attribuant une grande valeur à la borne supérieure de viscosité. L'effet d'une viscosité excessive sera de gonfler artificiellement le niveau d'eau et de lisser l'écoulement masquant sa complexité. L'enjeu est de diminuer la valeur de la borne supérieure progressivement jusqu'à une valeur acceptable. En libérant les complexités de l'écoulement (ex: recirculations), on rend cependant la convergence plus difficile. En effet, la taille des mailles ne permet peut-être pas d'atteindre la complexité des structures qu'on tente de résoudre. On admet que la valeur minimum de la borne supérieure de viscosité correspond à la limite de convergence.

La valeur à attribuer au démarrage pour la toute première simulation est déterminée de façon empirique.

Exemple :

Le niveau d'eau amont est à la cote 155 m et le niveau d'eau aval à la cote 150 m. Pour calculer la solution en régime permanent, on a choisi de Piloter par le niveau d'eau aval en maintenant la borne supérieure de viscosité à une valeur de 100 m²/s pendant la phase de descente de la ligne d'eau. La solution obtenue est stockée dans le fichier des degrés de liberté haval_150p0_nusup_100p0.deb. À présent, on réduit la valeur de la borne supérieure de viscosité par incrément de 10 m²/s ce qui se traduit comme suit :

Début du fichier de commande de la première simulation avec pilotage par la borne supérieure de viscosité

:

_ELTYP=' SVCRNM'


```

__STEMP=' STATIQ'
FORM
:
! Borne supérieure de la viscosité égale à 90
PRGL[0](9.8, 0., 0., 1., 0.,1.e-6 ,90, 10.,1.,
1.0,0.5,1e-05,1e-3)
:
! Condition initiale :Solution calculée avec une
borne supérieure
! de viscosité à une valeur de 100
__MINI='haval_150p0_nusup_100p0.deb'
INIT[0]
:
! Impression des degrés de liberté
__MFIN='haval_150p0_nusup_90p0.deb'
FIN
STOP
! Fin du fichier de commande de la première
simulation
Début du fichier de commande de la seconde simulation avec
pilotage par la borne supérieure de viscosité
:
! Borne supérieure de la viscosité égale à 80
PRGL[0](9.8, 0., 0., 1., 0.,1.e-6 ,80,
10.,1.,1.0,0.5,1e-05,1e-3)
:
! Condition initiale :Solution de la première
simulation
__MINI='haval_150p0_nusup_90p0.deb'
INIT[0]
:
! Impression des degrés de liberté
__MFIN='haval_150p0_nusup_80p0.deb'
FIN
STOP
! Fin du fichier de commande de la seconde
simulation

```

On procède ainsi jusqu'à ce que la convergence devienne difficile ou que le degré d'adéquation avec les mesures disponibles (validation) soit satisfaisant.

Remarque : Une autre possibilité serait d'automatiser toutes les opérations décrites plus haut en les insérant dans un seul fichier de commande.

Si la solution ne converge pas réduire l'incrément de la borne supérieure de viscosité.

Une conséquence possible de la descente de la borne supérieure de viscosité est la dégradation de la conservation de la masse.

Piloter par le pas de temps

Un écoulement permanent peut être résolu dans le temps si la phase transitoire ne présente pas d'intérêt. C'est donc la solution stationnaire qui est recherchée par ce moyen.

Exemple :

Le niveau d'eau amont est à la cote 155 m et le niveau d'eau aval cible à la cote 150 m. On part d'une condition initiale hydrostatique avec un plan d'eau à la cote 155 m. Pour calculer la solution en régime permanent, on prévoit de faire varier le niveau aval à la vitesse de 0.50 m par heure. En outre, il faudrait 10 heures pour que le niveau d'eau aval atteigne la cote de 150 m et environ 5 heures de plus pour que l'écoulement atteigne un régime permanent. Avec un pas de temps de 900 s il faudrait au minimum 60 pas de temps de simulation. Dans le fichier de commande cela se traduit comme suit :

Début du fichier de commande de simulation avec pilotage par le pas de temps

```
:
_ELTYP='SVCRNM'
_STEMP='EULER'
FORM
:
! Condition initiale :Mise en eau du modèle
INIT[0](0.0, 0.0, 155.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0)
! Condition aval h=155,0m à t=0h00 et 150.0m à
t=10h00.
! Niveau d'eau aval au départ à 155,0m
_TASCND=0
_MCND='hav_155p0_t00h00-150p0_t10h00.cnd'
COND[0]
:
! Paramètres de résolution dans le temps
_TINI=0
_DPAS=900
_NPAS=100
:
STOP
! Fin du fichier de commande
```

Remarque : Si la solution ne converge pas, réduire le pas de temps. Si le problème persiste, réduire la vitesse de descente du niveau d'eau aval.

Conseil pratique

Ce conseil vise les simulations de longue durée, pendant toute une nuit, par exemple. Pour se mettre à l'abri des imprévus et pour ne pas perdre le bénéfice de plusieurs heures de calculs il est fortement conseillé d'imprimer périodiquement les degrés de liberté et mieux encore, dans des fichiers différents si l'espace disque est disponible. Ainsi, après une panne de courant, par exemple, il sera possible de repartir la simulation à partir de la plus récente solution obtenue ou acceptable.

Exemple :

Pour un même volume de calcul, au lieu de la commande 1 :

```
!---- commande 1 : impression unique des ddl  
dans test.fin
```

```
_NPREC=3  
SOLV[0] (0.25,0.25,0.1)  
_MFIL='test'  
_MFIN='.fin'  
FIN[0]
```

utilisez plutôt :

```
!---- commande 2 : impression périodique des ddl  
dans test.fin#i.
```

```
_MFIL='test'  
_NPREC=1  
SOLV[0] (0.25,0.25,0.1)  
_MFIN='.fin#1'  
FIN[0]  
SOLV[0] (0.25,0.25,0.1)  
_MFIN='.fin#2'  
FIN[0]  
SOLV[0] (0.25,0.25,0.1)  
_MFIN='.fin#3'  
FIN[0]
```

Comment valider le modèle?

Une solution convergée n'est pas nécessairement valide; autrement dit, la solution calculée peut manquer d'objectivité. L'exercice de validation vise à vérifier le degré de similitude entre les observations sur le terrain et les résultats de simulation dans les mêmes conditions hydrodynamiques.

Par exemple, dans un lac où la pente du plan d'eau est très faible (de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-5} m/m) une différence de 10 cm des niveaux simulés par rapport aux valeurs observées ne serait peut-être pas acceptable. Dans le même temps, ce serait un écart raisonnable dans un cours d'eau de montagne où la dénivellation de la ligne d'eau est beaucoup plus prononcée (de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-2} m/m).

Si la solution d'initialisation ainsi calculée est jugée acceptable en première approximation, on peut passer à l'étape de calibration laquelle permettra par divers ajustements apportés soit au modèle de terrain ou à la valeur des paramètres du modèle de peaufiner la solution en vue de la rapprocher des mesures disponibles.

Dans le cas où la solution d'initialisation ne semble pas acceptable pour diverses raisons, faciès d'écoulement irréaliste, niveau d'eau exagérément haut ou bas, oscillations parasites ou valeurs extrêmes des variables hydrodynamique par exemple, il faut poursuivre l'exercice d'initialisation jusqu'à satisfaction.

Mis à part les problèmes d'incohérence des directions d'écoulement (les flèches partent dans toutes les directions sans logique), il faut s'assurer :

- 1 - de la bonne représentation de la topographie du terrain sur le maillage hydrodynamique;
- 2 - de la prise en compte de la force de Coriolis, dans le cas de cours d'eau très larges, qui s'exerce perpendiculairement au mouvement à droite dans l'hémisphère nord et le contraire dans l'hémisphère sud ;
- 3 - de la prise en compte de la force du vent qui accélère, ralentit ou dévie l'écoulement;
- 4 - de la prise en compte de la présence de plantes aquatiques qui ralentissent l'écoulement ;
- 5 - de la prise en compte du couvert de glace en surface qui réduit la profondeur et augmente la vitesse de l'écoulement ;
- 6 - de la bonne valeur du débit transité en conditions limites niveau-niveau (voir Contrôle du bilan de masse) ;
- 7 - du positionnement correct des frontières naturelles de l'écoulement délimitées par l'isoligne $H=0$;
- 8 - de l'absence d'écoulement dans les zones découvertes (Contrôle du couvrant-déouvrant).

Si après avoir apporté les corrections nécessaires, le biais systématique et inacceptable persiste il faut à ce moment questionner les données de terrain.

Contrôle du bilan de masse

Le bilan de masse permet d'avoir une bonne idée sur la qualité, au sens physique, d'une solution. Dans le fichier de sortie `result.out` au niveau du bloc **POST**, HYDROSIM retourne l'erreur sur le débit dans tout le domaine de simulation et indique les débits entrant et sortant.

On peut avoir un très bon niveau de convergence tout en ayant une qualité médiocre de la solution. Pour corriger le problème on identifie en premier lieu les zones problématiques. Pour cela on visualise les bilans de masse local et global. En second lieu, on analyse ensuite la distribution spatiale des erreurs de conservation de la masse. Puis, on raffine les zones jugées en carence. On reprend ensuite la même stratégie de résolution que sur le maillage précédent.

Le bloc d'estimation des erreurs quant à lui indique si potentiellement en raffinant le maillage la solution peut changer. Les unités des erreurs sont identiques à celles des variables auxquelles elles sont associées : m^2/s pour les flux et m pour le niveau d'eau.

Contrôle du couvrant-découvrant

Le modèle couvrant-découvrant est gouverné par la pénalisation (forte augmentation) du coefficient de Manning dans les zones sèches. Quoique non-significative, une forme d'écoulement persiste cependant dans celles-ci. La pénalisation doit être suffisamment élevée pour atteindre cet objectif dans les zones découvertes.

Si après examen d'une solution, on constate que le débit en zone découverte est trop élevé, alors il faut augmenter la valeur de la pénalisation jusqu'à atteindre le critère de qualité souhaité.

Exemple :

Considérons une solution impliquant des zones tant couvertes que découvertes. L'analyse de la solution obtenue avec un coefficient de pénalisation de 10 révèle un écoulement significatif en zone découverte. À présent, on améliore la solution stockée dans le fichier `sol_ref_penman_10p0.deb` en augmentant la valeur de la pénalisation du coefficient de Manning par incrément de 5 ce qui se traduit comme suit :

Début du fichier de commande de la première simulation avec ajustement du couvrant-découvrant :

```
:
_ELTYP='SVCRNM'
_STEMP='STATIQ'
FORM
:
! Valeur du coefficient de pénalisation du
Manning égale à 15
PRGL[0](9.8, 0., 0., 1., 0.,1.e-6 ,100, 15.,1.,
1.0,0.5,1e-05,1e-3)
:
! Condition initiale :Solution calculée avec un
coefficient de
! pénalisation du Manning à une valeur de 10
_MINI='sol_ref_penman_10p0.deb'
INIT[0]
:
! Impression des degrés de liberté
_MFIN='sol_ref_penman_15p0.deb'
FIN
STOP
! Fin du fichier de commande de la première
simulation
```

Début du fichier de commande de la seconde simulation avec ajustement du couvrant-découvrant

```
:
! Valeur du coefficient de pénalisation du
Manning égale à 20.
PRGL[0](9.8, 0., 0., 1., 0.,1.e-6 ,100, 20.,1.,
1.0,0.5,1e-05,1e-3)
:
! Condition initiale :Solution de la première
simulation
_MINI='sol_ref_penman_15p0.deb'
INIT[0]
:
! Impression des degrés de liberté
_MFIN='sol_ref_penman_20p0.deb'
FIN
STOP
```

! Fin du fichier de commande de la seconde simulation

On procède ainsi jusqu'à ce que la réduction de l'écoulement en zone découverte soit satisfaisante.

Remarque : Une autre possibilité serait d'automatiser toutes les opérations décrites plus haut en les insérant dans un seul fichier de commande.

Si la solution ne converge pas réduire l'incrément de pénalisation du coefficient de Manning.

Comment ajuster le modèle (calibration)?

Cette étape vise à ajuster finement les paramètres physiques et numériques pour amener la solution numérique à s'accorder avec les données de terrain dans les mêmes conditions hydrodynamiques. L'opération s'effectue toujours en deux étapes: ajuster les paramètres cibles, et contrôler la solution obtenue par rapport aux mesures.

Dépendant des objectifs de la modélisation, l'emphase peut être mise sur une variable particulière du problème, : le niveau d'eau pour les études d'inondation, par exemple, ou toutes les variables, soit le niveau et les vitesses pour les études d'habitat aquatique ou de transport de contaminants.

Quatre procédures de calibration sont recensées :

- Calibrer par le débit
 - Calibrer par le niveau d'eau
 - Calibrer par les vitesses
-

Calibrer par le débit

Dans le cas où les conditions aux limites utilisées sont de type niveau-niveau, on s'attend à ce que les résultats du modèle correspondent relativement bien à priori aux mesures de niveau d'eau. Il reste cependant à s'assurer que la solution calculée fasse transiter un débit (voir Comment estimer le débit qui transite dans le domaine?) identique à celui mesuré sur le terrain.

Si l'on a de bonnes raisons de croire que les coefficients de frottement sont acceptables dans l'état considéré, et que les débits observés et calculés ne correspondent pas suffisamment (au minimum, la précision de la mesure), il faut alors ajuster la viscosité en portant la borne supérieure de vers le haut si le débit calculé est surestimé ou vers le bas dans le cas contraire.

Calibrer par le niveau d'eau

Pour calibrer le niveau d'eau il est nécessaire de s'assurer d'avoir calibré par le débit (voir Calibrer par le débit) ;

Le calage du niveau d'eau est effectué au moyen d'un ajustement dans un registre acceptable du coefficient de Manning.

Le niveau d'eau aura bien sûr tendance à augmenter si on augmente le coefficient de Manning et inversement si on le diminue.

La variation du niveau d'eau sera d'autant plus sensible que la vitesse de l'écoulement est grande.

Calibrer par les vitesses

Pour calibrer les vitesses, il est nécessaire de s'assurer d'avoir déjà calibré par le débit et le niveau d'eau (voir Calibrer par le débit et Calibrer par le niveau d'eau).

S'il y a un écart entre les vitesses mesurées vs calculée il faut alors ajuster le coefficient de Manning. Ce dernier aura tendance à freiner l'écoulement, donc à diminuer la vitesse de l'écoulement, s'il est augmenté. Par contre, il va l'accélérer, donc augmenter la vitesse, s'il est diminué.

Remarque: Par contre, le débit et le niveau d'eau pourraient être influencés par cette intervention. Les modifications du coefficient de frottement doivent être réalisées de manière à maintenir globalement le comportement du modèle à l'égard de ces deux variables. Une augmentation du coefficient de frottement dans une région de l'écoulement devrait donc s'accompagner d'une diminution équivalente ailleurs.

En somme, ajustez vers le haut ou vers le bas le coefficient de Manning si la vitesse calculée est surestimée ou sous estimée respectivement.

Si le problème persiste, assurez-vous que :

- 1 - le maillage hydrodynamique est suffisamment fin pour capturer correctement la topographie du terrain ainsi que ses propriétés de résistance à l'écoulement ;
- 2 - au point de contrôle la cote du fond projetée sur le maillage hydrodynamique est identique à celle mesurée sur le terrain ;
- 3 - la vitesse moyenne mesurée sur le terrain est représentative de l'écoulement moyen dans le plan horizontal et non pas, le résultat d'une singularité ;
- 4 - la valeur de la vitesse moyenne mesurée sur le terrain a été obtenue à partir de trois points au moins sur la colonne d'eau

pour des fonds à granulométrie non uniforme (la vitesse mesurée à 0.4H à partir du fond n'est pas toujours égale à la vitesse moyenne).

Questions fréquentes

- Comment évaluer la viscosité turbulente?
 - Comment minimiser le niveau d'erreur?
 - La résolution a-t-elle divergé?
 - Qu'est ce que la viscosité numérique?
 - Quel est le rôle de la borne supérieure de viscosité?
 - Quels sont les effets d'une dissipation excessive?
 - Comment estimer le débit qui transit dans le domaine?
-

Comment évaluer la viscosité turbulente?

L'évaluation de la viscosité turbulente est toujours un exercice délicat puisque la théorie sur la turbulence est encore un domaine de recherche ouvert et très actif.

Il reste que le logiciel HYDROSIM propose deux approches classiques pour quantifier l'effet de la turbulence :

- 1 - le modèle à viscosité constante ;
- 2 - le modèle du type longueur de mélange.

Le modèle du type longueur de mélange semble plus se rapprocher de la réalité que le modèle à viscosité turbulente constante puisqu'il tient compte de la variabilité locale de l'écoulement, cependant la difficulté est transférée vers l'évaluation de la longueur de mélange.

En pratique, l'ajustement de la viscosité turbulente s'inscrit dans l'étape de calibration du modèle. Quand le problème est centré sur l'utilisation du niveau d'eau, il n'est pas nécessaire de recourir à la longueur de mélange. Par contre, si l'on désire améliorer la représentation des vitesses, cette solution est recommandée.

Comment minimiser le niveau d'erreur?

En supposant le modèle bien paramétrisé, les erreurs entachant la solution sont directement liées à la variabilité des données de

terrain et de la géométrie du domaine modélisé. La procédure de raffinement du maillage vise donc à minimiser le niveau d'erreur à une juste proportion dans la mesure où des données de terrain existent en quantité suffisante pour le supporter.

Pour éviter de raffiner le maillage inutilement, ce qui occasionnerait des temps de calculs prohibitifs, il est recommandé d'intervenir localement là où le niveau d'erreur est jugé trop important. Les zones problématiques peuvent être identifiées à l'analyse des cartes des résidus, des erreurs d'approximations numériques et des bilans de masse.

La résolution a-t-elle divergé?

Le processus de résolution a divergé si on observe l'un ou tous les phénomènes suivants :

- 1 - la norme de l'incrément de solution tend à augmenter et même, explose ;
- 2 - la norme du résidu explose ;
- 3 - le bilan de masse n'est pas réaliste ;
- 4 - dans tous le domaine ou localement, les vecteurs vitesse partent dans tous les sens ;
- 5 - dans tous le domaine ou localement, on note de fortes oscillations parasites du niveau d'eau.

Qu'est ce que la viscosité numérique?

La viscosité numérique est un coefficient d'ajustement d'origine purement numérique qui a la dimension d'une viscosité. Son rôle est de conditionner le système d'équations éléments finis pour assurer l'existence d'une solution lorsque l'écoulement est dominé par la convection.

La valeur à attribuer à la viscosité numérique dépend du maillage et des conditions d'écoulement. Dans HYDROSIM, la viscosité numérique est gérée par le nombre de Peclet fixé à 0.5. La variation de la viscosité numérique est inversement proportionnelle à celle du nombre de Peclet.

Quel est le rôle de la borne supérieure de viscosité?

La borne supérieure de viscosité a pour rôle de contrôler les viscosités numérique et turbulente calculées au cours du processus de résolution. En effet, une surestimation des viscosités peut compromettre le processus de convergence. À l'opposé, une borne supérieure de viscosité trop basse pourrait également sous-estimer le niveau de dissipation et faire diverger rapidement le problème.

En pratique, il est toujours difficile de fixer au départ de la toute première simulation la valeur à attribuer à la borne supérieure de viscosité. C'est seulement par une procédure d'essai-erreur qu'on parvient à la caler.

Quels sont les effets d'une dissipation excessive?

Le phénomène de dissipation excessive est occasionné par une surévaluation des viscosités. Une dissipation excessive va gonfler le niveau d'eau et lisser l'écoulement artificiellement. Pour améliorer les résultats, on peut modifier la borne supérieure de viscosité en la diminuant jusqu'à la limite de convergence. Cela aura pour effet de faire chuter le plan d'eau et de développer les structures complexes de l'écoulement telles qu'observées.

Comment estimer le débit qui transit dans le domaine?

C'est au moyen de l'analyse des résultats de la fonction courant qu'on peut estimer le débit qui transit dans le domaine de simulation. Pour fixer les idées sur la Figure 5 on représente un tracé en isolignes, appelées également ligne de courant, de la fonction courant. Il faut savoir que le long d'une ligne de courant l'écoulement normal est nul. Dans le même esprit, on peut considérer alors qu'une frontière fermée représente une ligne de courant en raison de la condition d'imperméabilité qui y est posée. Par ailleurs, entre deux lignes de courant de valeurs ψ_{i+1} et ψ_{i+2} s'écoule une portion ΔQ constante du débit total qui transit dans le domaine, qu'on détermine simplement par :

$$\Delta Q = |\psi_{i+2} - \psi_{i+1}|$$

Exemple

Considérons sur la Figure 5 un domaine de simulation où le contour du domaine est constitué par deux frontières fermées et deux frontières ouvertes. Les deux frontières fermées sont

délimitées par les courbes AD et BC. Les frontières ouvertes sont délimitées par la courbe AB en entrée et par la courbe CD en sortie. Le débit Q simulé en régime permanent qui transite dans le domaine est à priori inconnu. Pour le déterminer il suffit de calculer :

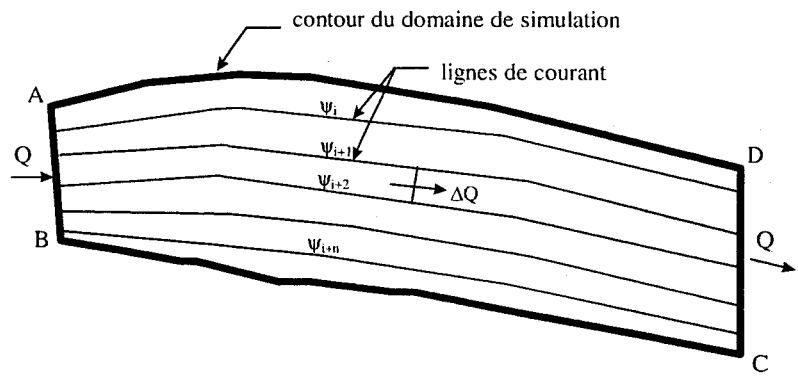
$$Q_{AB} = |\psi_A - \psi_B|$$

où ψ_A et ψ_B sont les valeurs de la fonction courant aux points A et B respectivement. De la même manière on peut vérifier la valeur du débit sortant par :

$$Q_{CD} = |\psi_C - \psi_D|$$

En théorie on devrait avoir $Q_{AB} = Q_{CD}$.

Figure 5 : Représentation graphique de la fonction courant.



Chapitre 5 Annexe

- Dictionnaire de langue
- Librairie d'éléments finis
- Librairie de schémas temporels
- Traitement des données transitoires
- Dépendances
- Exemple de fichier de commandes
- Formats des fichiers d'entrée
- Formats des fichiers de résultats

Dictionnaire de langue

Le dictionnaire de langue d'HYDROSIM propose trois langues de travail :

- Anglais
- Espagnol
- Français

Anglais

Pour l'usage de l'anglais (ENGLISH) définir la variable LANGUE à :

```
_LANGUE=' .eng '
```

Espagnol

Pour l'usage de l'ESPagnol définir la variable LANGUE à :

```
_LANGUE=' .esp '
```

Français

Pour l'usage du FRançais définir la variable LANGUE à :

```
_LANGUE=' .frc'
```

Librairie d'éléments finis

La librairie d'éléments finis d'HYDROSIM propose deux types d'éléments finis :

- SVC
 - SVCRNM
-

SVC

Baptisé SVC en référence aux équations de Saint-Venant sous forme Conservative.

- Comment l'atteindre?
 - Fonction
 - Propriétés
 - Conditions aux limites
 - Sollicitations
 - Solution initiale
-

Comment l'atteindre?

Pour l'atteindre, dans le fichier de commandes la variable ELTYP doit être défini comme suit :

```
_ELTYP=' SVC'
```

Fonction

SVC est un élément fini triangulaire à six noeuds répartis selon le schéma un sur chaque sommet et un au milieu de chaque arête. Il est utilisé pour la discrétisation des équations bidimensionnelles de Saint-Venant sous forme conservative. Il est dédié à l'étude de l'hydrodynamique en milieu fluvial et estuarien. De plus, il autorise la prise en compte du couvrement et découvrement des berges et rives. Il admet trois degrés de liberté par noeud, à savoir le scalaire niveau d'eau et le vecteur débit spécifique.

Propriétés

- Géométrique
 - Globales
 - Élémentaires
 - Nodales
-

Géométrique

Nombre de dimensions NDIM=2 ;
nombre de noeuds par élément NNEL=6.

Globales

Nombre de propriétés globales à lire NPRGL=13 :

- 1 - gravité ($9.75258282 \text{ m/s}^2 \leq g \leq 9.6605398 \text{ m/s}^2$)
- 2 - latitude
- 3 - viscosité turbulente constante
- 4 - coefficient de longueur de mélange
- 5 - coefficient de longueur de mélange relié au maillage
- 6 - borne inférieure de la viscosité
- 7 - borne supérieure de la viscosité
- 8 - pénalisation du Manning pour le découvrement (=10)
- 9 - porosité pour le découvrement (=1)
- 10 - coefficient de convection (=1)
- 11 - nombre de Peclet (=0.5)
- 12 - coefficient de lissage de la surface libre ($=10^{-05}$)
- 13 - profondeur minimum admissible ($=10^{-03} \text{ m}$)

Élémentaires

Aucune propriété élémentaire à lire NPREL=0.

Nodales

Nombre de propriétés par noeud à lire NPRNL=3 :

- 1 - topographie du terrain
- 2 - coefficient de Manning
- 3 - épaisseur de glace

Conditions aux limites

Les conditions aux limites (C.L.) sont appliquées sur les degrés de liberté au contour du domaine. Le nombre de degré de liberté par noeud $NDLN=3$; dans l'ordre, le débit spécifique suivant x (q_x), le débit spécifique suivant y (q_y) et le niveau de la surface libre (h). Le niveau d'eau aux noeuds milieux est systématiquement imposé à l'interne (C.L. implicite). Il est évalué après la résolution en lui affectant la valeur moyenne aux noeuds sommets sur l'arête correspondante.

Dans une situation de simulation d'écoulement dans un domaine à géométrie complexe les C.L. sur le débit spécifique $\mathbf{q}(q_x, q_y)$ doivent être exprimées dans le repère normal-tangent. Dans ce cas, \mathbf{q} admet q_n et q_t pour composantes.

- Frontière fermée
- Frontière ouverte
- Convention

Frontière fermée

Sur une frontière fermée on impose toujours une condition d'imperméabilité $q_n=0$. On peut laisser q_t libre ou bien exploiter une condition adhérence $q_t=q_n=0$ dans le cas d'un écoulement confiné.

Remarque : l'imperméabilité est considérée par défaut.

Frontière ouverte

Sur une frontière ouverte on impose toujours le niveau d'eau. Si la direction de l'écoulement est connue, poser $q_t=0$

Remarque : sur une frontière d'entrée on peut imposer le débit en sollicitation concentrée (voir Sollicitations) à défaut du niveau d'eau si l'écoulement est fluvial. Dans le cas où l'écoulement est critique ou torrentiel, il faut imposer h et q_n .

Convention

La convention de code permettant d'introduire les C.L. est (voir Fichier des conditions aux limites) :

- 1 - 1000000000 pour q_x ou bien 5000000000 pour q_n
- 2 - 0100000000 pour q_y ou bien 0500000000 pour q_t
- 3 - 0010000000 pour h

Sollicitations

- Concentrées

- Réparties

Concentrées

Les sollicitations concentrées servent à introduire le débit $Q(m^3/s)$ à une frontière ouverte du domaine modélisé. La convention de signe suppose positif (+) un débit entrant et négatif (-) un débit sortant. Les sollicitations concentrées sont appliquées uniquement sur les noeuds sommets.

Dans le fichier des sollicitations concentrées, elles sont associées au troisième degré de liberté nodale (voir Fichier des sollicitations).

Réparties

Les sollicitations réparties visent à introduire les composantes de vitesse w_x et w_y , suivant x et y respectivement, du vent qui agit sur l'ensemble du domaine modélisé ainsi que le flux normal q_n entrant(signe +)/ sortant(signe -) par les frontières ouvertes. C'est HYDROSIM qui se charge de convertir les vitesses du vent en sollicitations réparties équivalentes sur l'ensemble du domaine conformément à la loi discontinue de Wu. Tandis que le flux normal est converti en sollicitation répartie équivalente sur le contour du domaine.

Dans le fichier des sollicitations réparties les composantes x et y du vent sont associées respectivement au premier et deuxième degré de liberté nodal. Le flux normal est associé au troisième degré de liberté (voir Fichier des sollicitations).

Solution initiale

Nombre de termes d'initialisation NTINI=7 :

- 1 - débit spécifique initial q_x^0
- 2 - débit spécifique initial q_y^0
- 3 - niveau d'eau h^0 au point de référence
- 4 - pente S_x^0 du plan d'eau
- 5 - pente S_y^0 du plan d'eau
- 6 - coordonnée x^0 du point de référence
- 7 - coordonnée y^0 du point de référence

Les variables d'initialisation permettent de construire au choix deux types de solution initiale :

- a) solution hydrostatique : h^0 =constante et tous les autres termes fixés à zéro.
- b) solution hydrodynamique quasi linéaire : consiste à définir un plan d'eau répondant à la relation $h(x,y)=h^0+S_x^0(x-x^0)+S_y^0(y-y^0)$ et poser $q_x^0=q_y^0=0$. À l'interne le code

détermine le débit spécifique résultant $q(x,y)$ par une loi de Chézy-Manning.

SVCRNM

Baptisé SVCRNM en référence aux équations de Saint-Venant sous forme Conservative ReNuMérotes.

- Comment l'atteindre?
 - Fonction
 - Propriétés
 - Conditions aux limites
 - Sollicitations
 - Solution initiale
-

Comment l'atteindre?

Pour l'atteindre, dans le fichier de commandes la variable ELTYP doit être défini comme suit :

```
_ ELTYP= ' SVCRNM '
```

Fonction

Élément fini triangulaire à six noeuds répartis selon le schéma un sur chaque sommet et un au milieu de chaque arête. Il est utilisé pour la discrétisation des équations bidimensionnelles de Saint-Venant sous forme conservative. Il est dédié à l'étude de l'hydrodynamique en milieu fluvial et estuarien. De plus, il autorise la prise en compte du couvrement et découvrement des berges et rives. Il admet trois degrés de liberté par noeud, à savoir le scalaire niveau d'eau et le vecteur débit spécifique.

SVCRNM est identique à SVC cependant il est plus performant lors de la résolution par la méthode itérative GMRES. En revanche, il est fortement conseillé d'utiliser SVC beaucoup moins gourmand en espace mémoire que SVCRNM, lorsque GMRES est couplé à un préconditionnement ILU avec remplissage maximum (ILU=-1).

Propriétés

- Géométrique
 - Globales
 - Élémentaire
 - Nodales
-

Géométrie

Nombre de dimensions NDIM=2 ;
nombre de noeuds par élément NNEL=6.

Globales

Nombre de propriétés globales à lire NPRGL=13 :

- 1 - gravité ($9.75258282 \text{ m/s}^2 \leq g \leq 9.6605398 \text{ m/s}^2$)
- 2 - latitude
- 3 - viscosité turbulente constante
- 4 - coefficient de longueur de mélange
- 5 - coefficient de longueur de mélange relié au maillage
- 6 - borne inférieure de la viscosité
- 7 - borne supérieure de la viscosité
- 8 - pénalisation du Manning pour le découvrement (=10)
- 9 - porosité pour le découvrement (=1)
- 10 - coefficient de convection (=1)
- 11 - nombre de Peclet (=0.5)
- 12 - coefficient de lissage de la surface libre ($=10^{-05}$)
- 13 - profondeur minimum admissible ($=10^{-03} \text{ m}$)

Élémentaire

Aucune propriété par élément à lire NPREL=0.

Nodales

Nombre de propriétés par noeud à lire NPRNL=3 :

- 1 - topographie du terrain
- 2 - coefficient de Manning
- 3 - épaisseur de glace

Conditions aux limites

Les conditions aux limites (C.L.) sont appliquées sur les degrés de liberté au contour du domaine. Le nombre de degré de liberté par noeud NDLN=3 ; dans l'ordre, le débit spécifique suivant x (q_x), le débit spécifique suivant y (q_y) et le niveau de la surface libre (h). Le niveau d'eau aux noeuds milieux est systématiquement imposé à l'interne (C.L. implicite). Il est évalué après la résolution en lui affectant la valeur moyenne aux noeuds sommets sur l'arête correspondante.

Dans une situation de simulation d'écoulement dans un domaine à géométrie complexe les C.L. sur le débit spécifique $q(q_x, q_y)$ doivent être exprimées dans le repère normal-tangent. Dans ce cas, q admet q_n et q_t pour composantes.

- Frontière fermée
- Frontière ouverte
- Convention

Frontière fermée

Sur une frontière fermée on impose toujours une condition d'imperméabilité $q_n=0$. On peut laisser q_t libre ou bien exploiter une condition adhérence $q_t=q_n=0$ dans le cas d'un écoulement confiné.

Remarque : l'imperméabilité est considérée par défaut.

Frontière ouverte

Sur une frontière ouverte on impose toujours le niveau d'eau. Si la direction de l'écoulement est connue, poser $q_t=0$

Remarque : sur une frontière d'entrée on peut imposer le débit en sollicitation concentrée (voir Fichier des sollicitations) à défaut du niveau d'eau si l'écoulement est fluvial. Dans le cas où l'écoulement est critique ou torrentiel, il faut imposer h et q_n .

Convention

La convention de code permettant d'introduire les C.L. est (voir Fichier des conditions aux limites) :

- 1 - 1000000000 pour q_x ou bien 5000000000 pour q_n
- 2 - 0100000000 pour q_y ou bien 0500000000 pour q_t
- 3 - 0010000000 pour h

Sollicitations

- Concentrées
- Réparties

Concentrées

Les sollicitations concentrées servent à introduire le débit $Q(m^3/s)$ à une frontière ouverte du domaine modélisé. La convention de signe suppose positif (+) un débit entrant et négatif (-) un débit sortant. Les sollicitations concentrées sont appliquées uniquement sur les noeuds sommets.

Dans le fichier des sollicitations concentrées, elles sont associées au troisième degré de liberté nodale (voir Fichier des sollicitations).

Réparties

Les sollicitations réparties visent à introduire les composantes de vitesse w_x et w_y , suivant x et y respectivement, du vent qui agit sur l'ensemble du domaine modélisé ainsi que le flux normal q_n entrant(signe +)/ sortant(signe -) par les frontières ouvertes. C'est HYDROSIM qui se charge de convertir les vitesses du vent en sollicitations réparties équivalentes sur l'ensemble du domaine conformément à la loi discontinue de Wu. Tandis que le flux normal est converti en sollicitation répartie équivalente sur le contour du domaine.

Dans le fichier des sollicitations réparties les composantes x et y du vent sont associées respectivement au premier et deuxième degré de liberté nodal. Le flux normal est associé au troisième degré de liberté (voir Fichier des sollicitations).

Solution initiale

Nombre de termes d'initialisation NTINI=7 :

- 1 - débit spécifique initial q_x^0
- 2 - débit spécifique initial q_y^0
- 3 - niveau d'eau h^0 au point de référence
- 4 - pente S_x^0 du plan d'eau
- 5 - pente S_y^0 du plan d'eau
- 6 - coordonnée x^0 du point de référence
- 7 - coordonnée y^0 du point de référence

Les variables d'initialisation permettent de construire au choix deux types de solution initiale :

- a) solution hydrostatique : h^0 =constante et tous les autres termes fixés à zéro.
- b) solution hydrodynamique quasi linéaire : consiste à définir un plan d'eau répondant à la relation $h(x,y)=h^0+S_x^0(x-x^0)+S_y^0(y-y^0)$ et poser $q_x^0=q_y^0=0$. À l'interne le code détermine le débit spécifique résultant $q(x,y)$ par une loi de Chézy-Manning.

Librairie de schémas temporels

La librairie de schémas temporels d'HYDROSIM propose deux méthodes pour la discrétisation du temps :

- EULER

- STATIQ

EULER

Il s'agit d'un schéma de résolution dépendant du temps dont l'approximation est du type EULER (approximation du premier ordre). Son utilisation est requise pour simuler des processus physiques non permanents ou transitoires. Pour atteindre le schéma d'EULER la syntaxe est :

`_STEMP= ' EULER '`

STATIQ

Il s'agit d'un schéma de résolution indépendant du temps ou STATIQUE. Son utilisation est requise pour simuler des processus physiques permanents dans le temps. Pour atteindre le schéma STATIQUE la syntaxe est :

`_STEMP= ' STATIQ '`

Traitement des données transitoires

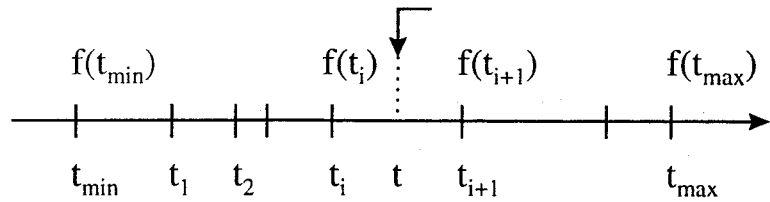
Les données d'un fichier d'entrée sont dites transitoires dès lors que nous avons deux ou plusieurs séquences de valeurs auxquelles est systématiquement associée une valeur du temps (voir Formats des fichiers d'entrée). Le logiciel HYDROSIM a la capacité de traiter les données d'entrées transitoires dans le cadre d'une simulation évoluant dans le temps. Plus précisément, il est possible de prédire les données d'entrée à un temps donné au moyen d'une procédure d'interpolation. Le principe de détermination des valeurs des données transitoires, valable pour n'importe quelle donnée d'entrée, est le suivant :

sur la Figure 6 on représente l'intervalle de variation d'une fonction f . L'intervalle est compris entre les temps t_{\min} et t_{\max} . Aux différents temps $t_1, t_2, t_i, \dots, t_{i+1}, \dots$ est associée une valeur de f . Ainsi, au temps t , la valeur de f est égale à :

- si $t < t_{\min}$, $f(t) = f(t_{\min})$
- si $t_i < t < t_{i+1}$, $f(t) = at + b$ avec $a = [f(t_{i+1}) - f(t_i)] / (t_{i+1} - t_i)$ et $b = 1/2[f(t_i) + f(t_{i+1}) - a(t_i + t_{i+1})]$
- si $t > t_{\max}$, $f(t) = f(t_{\max})$

Figure 6 : Intervalle temporel de variation d'une donnée f.

estimation de la donnée f à l'instant t



Remarque : Les séquences de données transitoires doivent être rangées séquentiellement de manière à avoir une croissance monotone du temps.

Dépendances des blocs

Les blocs sont non seulement dépendant entre eux mais dépendent également des variables. Des tableaux sont employés pour identifier les dépendances au moyen de la convention de notation suivante :

- 1 - dépendance obligatoire : X ;
- 2 - dépendance optionnelle : O ;

Les différents types de dépendances recensés sont :

- Dépendances entre les blocs
- Dépendances blocs-variables

Dépendances entre les blocs

Dans le Tableau 2 ci-dessous, les blocs appelés sont listés dans les colonnes 2 à 16 et les blocs de dépendance sont listés dans la première colonne. Seul le bloc STOP n'a pas été listé puisqu'il ne dépend d'aucun bloc et réciproquement.

Tableau 2 : Dépendances entre les blocs																	
	COND	COOR	ELEM	ERR	FCRT	FIN	FORM	INIT	POST	PRCO	PREL	PRGL	PRNO	RESI	SOLC	SOLR	SOLV
COND														X	X	X	X
COOR	X		X	X	X			X	X	X	X		X	X	X	X	X
ELEM	X			X	X			X	X	X	X		X	X	X	X	X
FORM		X										X					
INIT	X			X	X	X			X					X	X	X	X
PRCO																	O
PREL	X			X	X			X	X					X	X	X	X

PRGL	X			X	X			X	X		X		X	X	X	X	X
PRNO	X			X	X			X	X					X	X	X	X
SOLC														O			O
SOLR														O			O

Dépendances blocs-variables

- Dépendances blocs-chaînes de caractères
- Dépendances blocs-variables entières
- Dépendances blocs-variables réelles

Dépendances blocs-chaînes de caractères

Dans le Tableau 3 ci-dessous, les blocs appelés sont listés dans les colonnes 2 à 15. Les blocs PRCO, PRGL et STOP n'ont pas été listé puisqu'ils ne dépendent d'aucune variable. Les variables de dépendance du type chaîne de caractère sont listées dans la première colonne.

Tableau 3 : Dépendances des blocs par rapport aux chaînes de caractères.															
	COND	COOR	ELEM	ERR	FCRT	FIN	FORM	INIT	POST	PREL	PRNO	RESI	SOLC	SOLR	SOLV
ELTP							X								
MCND	X														
MCOR		X													
MELE			X												
MERR				X											
MEXE															O
MFCR					X										
MFIL	O	O	O	O	O	O		O	O	O	O	O	O	O	O
MFIN						X									
MINI								O							
MPRE										O					
MPRN											O				
MPST									X						
MRES												X			
MSLC													O		

Exemple de fichier de commandes

- Cas stationnaire
- Cas non-stationnaire ou transitoire

Cas stationnaire

```
#-----  
#  
#      EXEMPLE DE FICHIER DE COMMANDES POUR HYDROSIM  
#  Répertoire de simulation :  
c : \hydrosim\simul\  
#  Nom générique des fichiers de données et de  
résultats : test  
#  Simulation stationnaire  
#  Niveau d'impression minimum :M=0  
#-----  
!--- DÉFINITION DE LA FORMULATION  
!--- TYPE D'ÉLÉMENT  
_ELTYP='SVCRRM'  
!--- SCHÉMA TEMPOREL  
_STEMP='STATIQ'  
FORM[0]  
!--- DÉFINITION DES FICHIERS  
_MFIL=' c : \hydrosim\simul\test'  
!--- FICHIER DE PROGRESSION DE LA SIMULATION  
MEXE='.dat'  
!--- LECTURE DES COORDONNÉES  
_MCOR='.cor'  
COOR[0]  
!--- LECTURE DES CONNECTIVITÉS  
_MELE='.ele'  
ELEM[0]  
!--- LECTURE DES PROPRIÉTÉS GLOBALES  
PRGL[0] (9.8,0,1e-6,1.0,0.0,1e-  
6,100,10.,1.0,1.0,0.5,1e-5,1e-3)
```

```
!--- LECTURE DES PROPRIÉTÉS NODALES
_MPRN=' .prn'
PRNO[0]
!--- APPEL DU BLOC DES PROPRIÉTÉS ÉLÉMENTAIRES
PREL[0]
!--- INITIALISATION DE LA SOLUTION SUR FICHER
_MINI=' .deb'
INIT[0]
!--- LECTURE DES CONDITIONS AUX LIMITES
_MCND=' .cnd'
COND[0]
!--- LECTURE DES SOLLICITATIONS CONCENTRÉES
_MSLC=' .slc'
SOLC[0]
!--- LECTURE DES SOLLICITATIONS RÉPARTIES
_MSLR=' .slr'
SOLR[0]
!--- PRÉCONDITIONNEMENT
_ILU=0
_DELPRT=1.0E-08
PRCO[0]
!--- RÉOLUTION STATIONNAIRE PAR GMRES
! NONLINÉAIRE ET PRECONDITONNEMENT ILU AVEC
! 2 PRECONDITIONNEMENTS, 10 REDÉMARRAGES,
! 25 ITÉRATIONS, PRÉCISION 10-6, LIMITEURS DE
! SOLUTION ACTIFS :  $\Delta U = \Delta V = 0.25\text{m/s}$ ,  $\Delta h = 0.1\text{m}$ 
_IMPR=3
_NPREC=2
_NRDEM=10
_NITER=25
_EPSDL=1.0E-06
_OMEGA=1
SOLV[0](0.25,0.25,0.1)
!--- RÉSULTATS : IMPRESSION DE LA SOLUTION
FINALE
_MFIN=' .fin'
FIN[0]
!--- RÉSULTATS : RÉSIDUS
_MRES=' .res'
```

```

RESI[0]
!--- RÉSULTATS : POST-TRAITEMENT
_MPST='.pst'
POST[0]
!--- RÉSULTATS : ERREURS NUMÉRIQUES
_MERR='.err'
ERR[0]
!--- RÉSULTATS : FONCTION COURANT
_MFCR='.fcr'
_ILU=-1
_NRDEM=1
_NITER=1
_OMEGA=1
_EPSDL=1.E-06
FCRT[0]
!--- ARRÊT DE LA SIMULATION
STOP

```

Cas non-stationnaire ou transitoire

```

#-----
#
#      EXEMPLE DE FICHER DE COMMANDES POUR HYDROSIM
#
# Répertoire de simulation :
# c :\hydrosim\simul\
#
# Nom générique des fichiers de données et de
# résultats : test
#
# Simulation non-stationnaire (les conditions
# aux limites et la
# solution initiale varient dans le temps)
# Niveau d'impression minimum :M=0
#-----
!--- DÉFINITION DE LA FORMULATION
!--- TYPE D'ÉLÉMENT
_ELTYP='SVCRNM'
!--- SCHÉMA TEMPOREL
_STEMP='EULER'
FORM[0]'

```

```

!--- DÉFINITION DES FICHIERS
_MFIL=' c :\hydrosim\simul\test'
!--- FICHER DE PROGRESSION DE LA SIMULATION
MEXE='.dat'
!--- LECTURE DES COORDONNÉES
_MCOR='.cor'
COOR[0]
!--- LECTURE DES CONNECTIVITÉS
_MELE='.ele'
ELEM[0]
!--- LECTURE DES PROPRIÉTÉS GLOBALES
PRGL[0](9.8,0,1e-6,1.0,0.0,1e-
6,100,10.,1.0,1.0,0.5,1e-5,1e-3)
!--- LECTURE DES PROPRIÉTÉS NODALES
_MPRN='.prn'
PRNO[0]
!--- APPEL DU BLOC DES PROPRIÉTÉS ÉLÉMENTAIRES
PREL[0]
!--- INITIALISATION DE LA SOLUTION SUR FICHER
_MINI='.deb'
_TASINI=0.
INIT[0]
!--- LECTURE DES CONDITIONS AUX LIMITES
_MCND='.cnd'
_TASCND=0.'
COND[0]
!--- LECTURE DES SOLLICITATIONS CONCENTRÉES
_MSLC='.slc'
SOLC[0]
!--- LECTURE DES SOLLICITATIONS RÉPARTIES
_MSLR='.slr'
SOLR[0]
!--- PRÉCONDITIONNEMENT
_ILU=0
_DELPRT=1.0E-08
PRCO[0]
!--- RÉOLUTION NON-STATIONNAIRE PAR EULER-
! IMPLICITE ET GMRES NONLINÉAIRE
! PRECONDITONNÉ PAR ILU AVEC 10 PAS DE TEMPS

```

```
! DE 60 SECONDES
! 2 PRECONDITIONNEMENTS, 10 REDÉMARRAGES,
! 25 ITÉRATIONS, PRÉCISION 10-6, LIMITEURS DE
! SOLUTION ACTIFS :  $\Delta U = \Delta V = 0.25\text{m/s}$ ,  $\Delta h = 0.1\text{m}$ 
_TINI=0.00
_DPAS=60.00
_ALFA=1.0
_IMPR=3
_NPAS=10
_NPREC=2
_NRDEM=10
_NITER=25
_EPSDL=1.0E-06
_OMEGA=1
SOLV[0](0.25,0.25,0.1)
!--- RÉSULTATS : IMPRESSION DE LA SOLUTION
FINALE
_MFIN='.fin'
FIN[0]
!--- RÉSULTATS : RÉSIDUS
_MRES='.res'
RESI[0]
!--- RÉSULTATS : POST-TRAITEMENT
_MPST='.pst'
POST[0]
!--- RÉSULTATS : ERREURS NUMÉRIQUES
_MERR='.err'
ERR[0]
!--- RÉSULTATS : FONCTION COURANT
_MFCR='.fcr'
_ILU=-1
_NRDEM=1
_NITER=1
_OMEGA=1
_EPSDL=1.E-06
FCRT[0]
!--- ARRÊT DE LA SIMULATION
STOP
```

Formats des fichiers d'entrée

Cette section est consacrée à la présentation des formats des différents fichiers de données nécessaires à HYDROSIM pour effectuer une simulation.

On distingue deux catégories de données à savoir celles qui sont statiques et celles qui sont variables dans le temps. Les données dynamiques sont introduites par séquences, correspondant chacune à un temps précis qui doit être systématiquement défini en premier (voir Traitement des données transitoires). En toute logique un fichier de données statiques ce comporte qu'une seule séquence indépendante du temps. Pour certains fichiers d'entrée un exemple simple est proposé. Les fichiers d'entrées lus par HYDROSIM sont :

- Fichier des conditions aux limites
- Fichier des conditions aux limites
- Fichier des coordonnées
- Fichier des propriétés élémentaires
- Fichier des propriétés nodales
- Fichier des sollicitations
- Fichier de solution initiale
- Fichier de la fonction courant

Fichier des conditions aux limites

Les conditions aux limites constituent une information du type dynamique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre	Tmp-cl	ASCII
	2	10I1,3F24.0	pour chaque groupe de noeuds icod,(vcl(i),i=1,NDLN)	
	3 à m	13I6	(kdimp(i),i=1,NBN)	
	m+1	I6	0 (fin de séquence 1)	
2	1	libre	Tmp-cl	
	2	10I1,3F24.0	pour chaque groupe de noeuds icod,(vcl(i),i=1,NDLN)	
	3 à m	13I6	(kdimp(i),i=1,NBN)	

	m+1	I6	0 (fin de séquence 2)
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
n	1	libre	Tmp-cl
	2	10I1,3F24.0	pour chaque groupe de noeuds icod,(vcl(i),i=1,NDLN)
	3 à m	13I6	(kdimp(i),i=1,NBN)
	m+1	I6	0 (fin de séquence n)

Tmp-cl : TeMPs associé à chaque séquence des Conditions aux Limites.

NBN : Nombre de Noeuds partageant les mêmes Conditions aux limites.

NDLN : Nombre de Degrés de Liberté par Noeud.

ICOD : entier indiquant le CODE affecté à chaque degré de liberté.

vcl : table des VaLeurs des Conditions aux Limites associées à chaque degré de liberté.

kdimp : table des numéros de noeuds à Degré de liberté IMPosé.

Exemple :

Aux noeuds 1, 92 et 3567 les valeurs des conditions aux limites sont -12.351 et 116 associés aux d.d.l. 1 et 3 respectivement. Aux noeuds 44 et 5225 les valeurs imposées sont 10.009 et 115 associés aux d.d.l. 2 et 3 respectivement. Ce qui donne

```

0.0
1010000000-12.351      0.0      116.
      1      92  3567
0110000000 0.0      10.009      115.
      44  5255
0
    
```

Fichier des connectivités

Les connectivités des éléments du maillage constituent une information du type statique. Le format associé se présente comme suit :

Lignes	Format	Variabiles	Type
--------	--------	------------	------

1	libre	NELT, NNEL	ASCII
2 à NELT+1	libre	Noeud1,Noeud2,..,NoeudNNEL	

NELT : Nombre d'ÉLéments Total.

NNEL : Nombre de Noeuds par Élément.

Exemple :

Considérons un maillage à 2 éléments et 6 noeuds par élément. Ce qui donne

```

2  6
1  5  9  6  3  2
1  4  7  8  9  5
    
```

Fichier des coordonnées

Les coordonnées des noeuds du maillage constituent une information du type statique. Le format associé se présente comme suit :

Lignes	Format	Variables	Type
1	libre	NNT, NDIM	ASCII
2 à NNT+1	libre	coord. X,Y,Z	

NNT : Nombre de Noeuds Total.

NDIM : Nombre de DIMensions.

Exemple :

Considérons un maillage à 5 noeuds et 2 dimensions. Ce qui donne

```

5  2
0.000 0.000
0.000 1.000
0.000 2.000
1.000 0.000
1.000 1.000
    
```

Fichier des propriétés élémentaires

Les propriétés élémentaires constituent une information du type dynamique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre	NELT,NPREL,Tmp-pre	ASCII
	2 à (NNT+1)	libre	in,(vpre(i),i= 1,...,NPREL)	
2	1	libre	NELT,NPREL,Tmp-pre	
	2 à (NNT+1)	libre	in,(vpre(i),i= 1,...,NPREL)	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
n	1	libre	NELT,NPREL,Tmp-pre	
	2 à (NNT+1)	libre	in,(vpre(i),i= 1,...,NPREL)	

Tmp-pre : TeMPs associé à chaque séquence des Propriétés Élémentaires.

NELT : Nombre d'Éléments Total.

NPREL : Nombre de Propriétés par Élément à Lire.

vpre : Table des Valeurs des Propriétés Élémentaires.

Fichier des propriétés nodales

Les propriétés nodales constituent une information du type dynamique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre	NNT,NPRNL,Tmp-prn	
	2 à (NNT+1)	libre	in,(vprn(i),i=1, ,NPRNL)	
2	1	libre	NNT, NPRNL,Tmp-prn	
	2 à	libre	in,(vprn(i),i=1, ,NPRNL)	

	(NNT+1)			ASCII
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
n	1	libre	NNT, NPRNL, Tmp-prn	
	2 à (NNT+1)	libre	in,(vprn(i),i=1, ,NPRNL)	

Tmp-prn : TeMPs associé à chaque séquence des Propriétés Nodales.

NNT : Nombre de Noeuds Total.

NPRNL : Nombre de Propriétés par Noeuds à Lire.

vprn : Table des Valeurs des Propriétés Nodales.

Exemple :

Considérons un maillage à 5 noeuds et 3 propriétés nodales par noeuds. Les trois valeurs nodales sont 115, 0.02 et 0 pour chaque noeud. Ce qui donne :

```

5   3   0.0
115.00  0.020  0.0
115.00  0.020  0.0
115.00  0.020  0.0
115.00  0.020  0.0
115.00  0.020  0.0
    
```

Fichier des sollicitations

Les sollicitations concentrées et réparties constituent une information du type dynamique. Bien que les sollicitations concentrées et réparties sont stockées dans deux fichiers différents, le format quant à lui est identique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre	Tmp-sl	
	2	10I1,3F24.0	pour chaque groupe de noeuds icod,(vsldl(i),i=1,...,NDLN)	
	3 à m	13I6	(ksimp(i),i=1,...,NBN)	
	m+1	I6	0 (fin de séquence 1)	

2	1	libre	Tmp-sl	ASCII
	2	10I1,3F24.0	pour chaque groupe de noeuds icod,(vsldl(i),i=1,...,NDLN)	
	3 à m	13I6	(ksimp(i),i=1,...,NBN)	
	m+1	I6	0 (fin de séquence 2)	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
n	1	libre	Tmp-sl	
	2	10I1,3F24.0	pour chaque groupe de noeuds icod,(vsldl(i),i=1,...,NDLN)	
	3 à m	13I6	(ksimp(i),i=1,...,NBN)	
	m+1	I6	0 (fin de séquence n)	

Tmp-sl : TeMPs associé à chaque séquence des Sollicitations.

NBN : Nombre de Noeuds partageant les mêmes sollicitations.

NDLN : Nombre de Degrés de Liberté par Noeud.

icod : Entier indiquant le CODE affecté à chaque degré de liberté.

vsldl : Table des VaLeurs des SoLlicitations associées à chaque Degré de Liberté.

ksimp : Table des numéros de noeuds à Sollicitation IMPosé.

Exemple :

Aux noeuds 1, 92 et 3567 les valeurs des sollicitations imposées sont -12.351 et 116 associés aux d.d.l. 1 et 3 respectivement. Aux noeuds 44 et 5225 les valeurs imposées sont 10.009 et 115 associés aux d.d.l. 2 et 3 respectivement. Ce qui donne

```

0.0
1010000000-12.351          0.0          116.
      1    92  3567
0110000000 0.0          10.009        115.
      44  5255
0
    
```

Fichier de solution initiale

La solution initiale constitue une information du type dynamique.
Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre ou non formaté	NNT,NDLN,Tmp-ini	ASCII (par défaut) ou binaire
	2 à (NNT+1)*NTTEMP	libre ou non formaté	(vddl(i),i=1,..,NDLN)	
2	1	libre ou non formaté	NNT,NDLN,Tmp-ini	
	2 à (NNT+1)*NTTEMP	libre ou non formaté	(vddl(i),i=1,..,NDLN)	
	.	.	.	
n	1	libre ou non formaté	NNT,NDLN,Tmp-ini	
	2 à (NNT+1)*NTTEMP	libre ou non formaté	(vddl(i),i=1,..,NDLN)	

Tmp-ini : TeMPs associé à chaque séquence de la solution INItiale.

NNT : Nombre de Noeuds Total.

NDLN : Nombre de Degrés de Liberté par Noeud.

NTTEMP : Nombre de Termes TEMPorels (=1 pour STEMP='STATIQ',=2 pour STEMP='EULER').

vddl : Table des Valeurs de chaque Degré De Liberté.

Exemple :

Considérons un maillage à 5 noeuds et 3 degrés de liberté par noeud. Les trois valeurs des degrés de liberté sont 0.0, 0.0 et 116.30 pour chaque noeud. Ce qui donne :

5 3 0.0

0.0 0.0 116.30
 0.0 0.0 116.30
 0.0 0.0 116.30
 0.0 0.0 116.30
 0.0 0.0 116.30

Formats des fichiers de résultats

Cette section est consacrée à la présentation des formats des différents fichiers de résultats générés par HYDROSIM à la suite d'une simulation.

On distingue deux catégories de résultats à savoir celles qui sont statiques et celles qui sont variables dans le temps. Les résultats dynamiques sont générés par séquences, correspondant chacune à un temps précis qui est systématiquement défini en premier. En toute logique un fichier de résultats statique ne comporte qu'une seule séquence indépendante du temps. Les fichiers de résultats générés par HYDROSIM sont :

- Fichier des degrés de liberté
- Fichier des erreurs numériques
- Fichier de post-traitement
- Fichier des résidus
- Fichier de la fonction courant

Fichier des degrés de liberté

Les degrés de liberté constituent une information du type dynamique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre ou non formaté	NNT,NDLN,Tmp-fin	ASCII (par défaut)
	2 à (NNT+1)*NTTEMP	13(1X,1PE24.17) ou non formaté	(vddl(i),i=1,...,NDLN)	
2	1	libre ou non formaté	NNT,NDLN,Tmp-fin	
	2 à (NNT+1)*NTTEMP	13(1X,1PE24.17) ou non formaté	(vddl(i),i=1,...,NDLN)	

				ou binaire
.	
	1	non formaté	NNT,NDLN,Tmp-fin	
n	2 à (NNT+1)*NTTEMP	13(1X,1PE24. 17) ou non formaté	(vddl(i),i=1,...,NDLN)	

Tmp-fin : TeMPs associé à chaque séquence de la solution INItiale.

NNT : Nombre de Noeuds Total.

NDLN : Nombre de Degrés de Liberté par Noeud.

NTTEMP : Nombre de Termes TEMPorels (=1 pour STEMP='STATIQ',=2 pour STEMP='EULER').

vddl : Table des Valeurs de chaque Degré De Liberté.

Fichier des erreurs numériques

Les degrés de liberté constituent une information du type dynamique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre	NNT,NDLN,Tmp-err	ASCII
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(verdl(i),i= 1,...,NDLN)	
2	1	libre	NNT,NDLN,Tmp-err	
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(verdl(i),i= 1,...,NDLN)	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
n	1	libre	NNT,NDLN,Tmp-err	
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(verdl(i),i= 1,...,NDLN)	

Tmp-err : TeMPs associé à chaque séquence des ERReurs numériques.

NNT : Nombre de Noeuds Total.

NDLN : Nombre de Degrés de Liberté par Noeud.

verdl : Table des Valeurs de l'ERreur sur les Degrés de Liberté.

Fichier de post-traitement

Le post-traitement constitue une information du type dynamique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre	NNT,NPOST,Tmp-pst	ASCII
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(vpst(i),i= 1,...,NPOST)	
2	1	libre	NNT,NPOST,Tmp-pst	
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(vpst(i),i= 1,...,NPOST)	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
n	1	libre	NNT,NPOST,Tmp-pst	
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(vpst(i),i= 1,...,NPOST)	

Tmp-pst : TeMPs associé à chaque séquence de PoST-traitement.

NNT : Nombre de Noeuds Total.

NPOST : Nombre de valeurs de POST-traitement.

vpst : Table des Valeurs du PoST-traitement.

Fichier des résidus

Les résidus constituent une information du type dynamique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre	NNT,NDLN,Tmp-res	ASCII
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(vredl(i),i= 1,...,NDLN)	
2	1	libre	NNT,NDLN,Tmp-res	
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(vredl(i),i= 1,...,NDLN)	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
n	1	libre	NNT,NDLN,Tmp-res	
	2 à (NNT+1)	13(1X,1PE24.17)	(vredl(i),i= 1,...,NDLN)	

Tmp-res TeMPs associé à chaque séquence des RÉSidus.

NNT : Nombre de Noeuds Total.

NDLN : Nombre de Degrés de Liberté par Noeud.

vredl : Table des Valeurs du Résidu associées aux Degrés de Liberté.

Fichier de la fonction courant

La fonction courant constitue une information du type statique. Le format associé se présente comme suit :

Séquence	Lignes	Format	Variables	Type
1	1	libre	NNT	ASCII
	2 à (NNT+1)	libre	vfcr	

NNT : Nombre de Noeuds Total.

vfcr : Valeur nodale de la Fonction CouRanT.

Chapitre 6 Glossaire

Accélération convective

En représentation eulérienne, l'accélération convective est indépendante du temps. Elle traduit la non uniformité spatiale de l'écoulement. Elle est à l'origine de la formation de structures complexes dans l'écoulement tels que les tourbillons par exemple.

Approximation par éléments finis

Méthode de calcul par sous-domaines pour approcher les valeurs d'une fonction.

Bornes de viscosité

L'introduction des bornes inférieure et supérieure de viscosité vise à contrôler le calcul des viscosités turbulente et numérique durant la résolution pour éviter un défaut ou un excès de dissipation dans le système. Car dans l'une ou l'autre des deux situations le processus de convergence de la solution peut être sérieusement compromis. Les valeurs des bornes sont cependant déterminées par l'expérimentation. Elles dépendent tant du maillage que des conditions d'écoulement.

Coefficient de Chézy

Réel strictement positif noté C qui traduit la résistance des structures (le fond, la glace et les macrophytes) à l'écoulement. Sa valeur est généralement comprise entre 30 pour une structure fortement résistante et 60 pour une structure lisse.

Coefficient de Manning

Réel strictement positif noté n qui traduit la résistance des structures (le fond, la glace et les macrophytes) à l'écoulement. Sa valeur est généralement comprise entre 0.02 pour une structure lisse et 0.05 pour une structure fortement résistante.

Conditions aux limites

Conditions devant être satisfaites par les degrés de liberté sur la frontière du domaine simulation.

Conditions initiales

Pour résoudre un problème non linéaire et/ou dépendant du temps il est impératif de préciser l'état initial du système. En pratique la question est transférée au choix d'une solution initiale qui satisfait en tout ou partie le système d'équations.

Convergence d'un problème non linéaire

Un solveur non linéaire permet, à partir de conditions initiales données, de calculer par étapes successives la solution au problème posé. La solution est formée de proche en proche, à chaque étape un incrément ou une correction est déterminée pour mettre à jour la solution. Le processus de calcul atteint la convergence dès lors que la solution n'évolue plus, autrement dit l'incrément est tellement petit qu'il n'a plus aucune influence.

Convergence locale

On parle de convergence locale ou de fausse convergence lorsque GMRES a convergé alors que la norme des résidus reste élevée.

Convection

Voir accélération convective.

Connectivités

Liste des numéros de noeuds géométrique associée à chaque élément fini du maillage.

Couvrant-découvrant

Appellation pour exprimer la capacité du modèle hydrodynamique à prédire les zones couvertes et découvertes par les eaux. Dans HYDROSIM le niveau de l'eau peut librement plonger sous le terrain. Les profondeurs peuvent ainsi être aussi bien positives que négatives. La convention de signe adoptée admet une région couverte à profondeur positive et une région découverte à profondeur négative. La ligne de démarcation entre les deux zones forme la ligne de rive.

Débit spécifique

Le débit volumique par unité de largeur.

Degré de liberté

Paramètre qui permet de définir l'état d'un système physique.

Discrétisation

Opération qui assure la transformation d'un système temporel ou spatial continu en un système temporel ou spatial discret

Élément fini

Entité géométrique pleine à une, deux ou trois dimensions constitué d'un nombre fini de noeuds disposés à l'intérieur ou sur le contour du domaine.

Équations de Saint-Venant

Traduisent les principes de conservation de la masse et de la dynamique de l'écoulement en milieu fluvial et estuarien. Elles résultent de l'intégration suivant la verticale des équations tridimensionnelles de Navier-Stokes en présence de surface libre. Parmi les hypothèses notons des dimensions horizontales largement supérieures à la profondeur (théorie des eaux peu profondes), une distribution hydrostatique de la pression et un profil constant de la vitesse suivant l'axe vertical.

Frontière fermée

Frontière imperméable à écoulement normal nul. En l'absence d'adhérence, les vitesses sont tangentes à une frontière fermée.

Frontière ouverte

Frontière perméable à écoulement normal non nul.

Hydrodynamique

Condition d'équilibre de l'eau en mouvement.

Hydrostatique

Condition d'équilibre de l'eau au repos.

Largeur de bande

Entier positif obtenu par la différence entre les connectivités maximum et minimum.

Ligne-de-ciel

Méthode de stockage à largeur de bande variable des matrices éléments finis. Le coût mémoire du stockage en ligne-de-ciel est directement lié à la largeur de bande autrement dit à la numérotation du maillage. Il est minimum si la numérotation du maillage est optimisée.

Ligne de rive

Ligne qui observe la condition de profondeur nulle.

Maillage

Ensemble homogène d'éléments finis identiques ou complémentaires pour discrétiser le domaine de calcul.

Matrice de préconditionnement

Matrice particulière exploitée uniquement lorsqu'on fait appel à une méthode itérative pour effectuer la résolution.

Matrice ILU

Matrice de préconditionnement obtenue par la factorisation incomplète de la matrice éléments finis du système d'équations.

Matrice de rigidité

Matrice résultant de la discrétisation par éléments finis du modèle mathématique.

Matrice tangente

Résulte de la dérivation du vecteur résidu par rapport au vecteur solution.

Méthode de résolution directe

La procédure de résolution du système d'équations est effectuée en une seule étape.

Méthode de résolution itérative

La procédure de résolution du système d'équations est effectuée en plusieurs étapes successives appelées itérations.

Modèle mathématique

Ensemble d'équations, de lois constitutives et de conditions qui permet de reproduire le comportement d'un processus physique donné.

Niveau d'eau

Altitude h de la surface du plan d'eau par rapport à une référence.

Niveau du fond

Altitude z_f du fond du cours d'eau par rapport à une référence.

NDIM

Nombre de DIMensions.

NDLN

Nombre de Degrés de Liberté par Noeud.

NDLT

Nombre de Degrés de Liberté Total.

NELT

Nombre d'Éléments Total.

NNEL

Nombre de Noeuds par Élément.

NNT

Nombre de Noeuds Total.

NPRNL

Nombre de Propriétés Nodales à Lire.

NTINI

Nombre de Termes d'Initialisation.

NTTEMP

Nombre de Termes TEMPorels.

Nombre de Froude

Nombre adimensionnel égal au rapport des forces d'inertie et de gravité. Il est communément employé en hydraulique des écoulements à surface libre pour identifier les régimes d'écoulements. On distingue trois catégories de régimes d'écoulement en fonction de la valeur du nombre de Froude : fluvial si inférieur à un (<1), critique si égale à un ($=1$) et torrentiel si supérieur à un (>1). Son expression est $Fr=V/(gH)^{1/2}$ où V est la vitesse moyenne, g l'accélération gravitationnelle et H la profondeur.

Nombre de Peclet

Nombre adimensionnel appelé également nombre de Reynolds local. Son expression est $Pe=VD/\nu$ où V est la vitesse moyenne, D une dimension caractéristique de l'élément fini et ν la viscosité cinématique de l'écoulement.

Peau du maillage

Maillage éléments finis formant la frontière du maillage du domaine de calcul.

Pilotage de la résolution

Procédure qui vise à assister le solveur en faisant varier progressivement un ou plusieurs paramètres.

Préconditionnement

Opération algébrique visant à transformer, au moyen d'une matrice de preconditionnement, le système d'équations de départ en un système d'équations équivalent mieux adapté pour la procédure de résolution par une méthode itérative.

Problème de Stokes

Expression utilisée pour indiquer que l'accélération convective est négligée dans les équations du mouvement du fluide.

Profondeur

Notée H , elle résulte de la différence entre le niveau de la surface libre h et celui du fond z_f .

Propriétés élémentaires

L'ensemble des paramètres propres à l'élément.

Propriétés globales

L'ensemble des paramètres propres au maillage.

Propriétés nodales

L'ensemble des paramètres propres aux noeuds.

Relaxation

Scalaire strictement positif qui pondère l'incrément de solution pour assurer la stabilité de la convergence d'un problème non linéaire. On parle de sur-relaxation s'il est supérieur à 1 et de sous-relaxation dans le cas contraire. Il est en règle générale inférieur à 1 pour les situations de convergence difficile.

Repère normal-tangent

Repère local orthonormé employé à la frontière du domaine de simulation. Ses composantes sont la direction normale sortante, par rapport au domaine de calcul, et la direction tangentielle à la frontière. En règle générale on fait appel à la notion de repère normal-tangent pour introduire les conditions aux limites.

Résidu

C'est une mesure qui permet de rendre compte à quel point une solution satisfait le modèle mathématique. Le résidu est nul si une solution satisfait exactement le modèle mathématique. Dans le contexte éléments finis, la notion de résidu est très importante. C'est un vecteur dont chaque composante est associé à chaque degré de liberté. L'opération de validation d'une solution consistera entre autre chose à s'assurer qu'elle minimise bien chaque composante du résidu. En pratique le contrôle de la norme L2 discrète du résidu devrait suffire à nous affranchir de vérifier ses composantes une à une.

Résolution

Dans le contexte éléments finis, il s'agit d'une opération algébrique visant à déterminer la solution qui satisfait le système d'équations découlant de la discrétisation du modèle mathématique. Elle peut être effectuée de deux façons, soit par une méthode directe soit par une méthode itérative.

Schéma d'Euler

Méthode de discrétisation du premier ordre de la dérivée d'une fonction f par rapport au temps t . Formellement le problème s'énonce comme suit : $\partial f/\partial t = (f^{t+\Delta t} - f^t)/\Delta t$, où Δt est l'incrément de temps.

Solveur

Algorithme qui permet de calculer la solution du système d'équations linéaire ou non linéaire.

Système continu

Un système est continu s'il possède un nombre infini de degrés de liberté.

Système discret

Un système est discret s'il possède un nombre fini de degrés de liberté. Sous forme matricielle on peut l'écrire comme suit : $[K]\{U\} = \{F\}$ où $[K]$ est la matrice de rigidité caractérisant le système, $\{F\}$ est le vecteur des sollicitations connues et $\{U\}$ est le vecteur solution inconnue.

Système linéaire

La matrice du système d'équations est indépendante de la solution.

Système non linéaire

Contrairement à un système linéaire, la matrice dépend de la solution.

Viscosité numérique

Réel positif noté ν_n ayant les dimensions d'une viscosité cinématique. Elle permet d'assister le solveur lorsque l'écoulement est fortement influencé par l'accélération convective. Sa valeur est pilotée par le nombre de Peclet qui est généralement fixé à une valeur de 0.5.

Viscosité turbulente

Réel positif noté ν_t ayant les dimensions d'une viscosité cinématique. Il permet de quantifier l'intensité de la turbulence de l'écoulement.