



# Une approche unifiée pour la modélisation d'écoulements à surface libre, de leur effet érosif sur une structure et de leur interaction avec divers constituants



Jury de thèse de doctorat composé de :

A. Lejeune, Professeur à l'Université de Liège, Président  
M. Pirotton, Professeur à l'Université de Liège, Promoteur  
A. Schleiss, Professeur à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)  
J. Köngeter, Professeur à l'Université d'Aix-la-Chapelle (RWTH Aachen, Allemagne)  
P. Beckers, Professeur à l'Université de Liège  
J.-A. Essers, Professeur à l'Université de Liège

**Benjamin J. DEWALS**  
Ingénieur Civil, D.E.A. en Sciences Appliquées  
Aspirant F.N.R.S.

## Légende de couverture

Bandeau supérieur (de gauche à droite) :

- Carte de risque de temps d'arrivée du front dans la vallée aval en cas de rupture du barrage d'Eupen (PPNC de fond de carte : Région wallonne).
- Rupture par surverse d'un barrage en terre de 9 m de haut dans la région de Dresden (Allemagne, 2002), suite à l'obstruction du pertuis de fond et à un sous-dimensionnement du déversoir (source : A. Bornschein et R. Pohl, 2003).
- Ecoulement observé sur le barrage de l'Ourthe à Nisramont (Belgique) lors de la crue du 3 janvier 2003 (source : MET).
- Ecluses Mühlendamm à Berlin (photo de l'auteur)
- Ecoulement aéré à proximité de la centrale hydroélectrique de Heimbach en Allemagne (photo de l'auteur).
- Déversoir en marches d'escalier sur le parement aval du barrage de Urft en Allemagne (photo de l'auteur).

Bandeau inférieur (de gauche à droite) :

- Barrage voûte (hauteur : 86 m) du lac des Toules dans le Valais suisse (photo de l'auteur).
- Impact sur le couvert végétal suite à l'écoulement induit par la rupture de digues près de Grosmagny (Territoire de Belfort, France), le 30 décembre 2001 (source : B. Goguel).
- Rupture par surverse et érosion externe d'un barrage de 6 m de haut en enrochement, provoquée artificiellement dans le cadre du projet européen IMPACT.
- Crue de la Meuse mitoyenne à la frontière belgo-néerlandaise (photo : E. Dewals).
- Carte de risque indiquant les hauteurs maximales atteintes à proximité du stade de Cerfontaine (Belgique) en cas de rupture de conduites forcées au barrage de la Plate Taille (fond de carte : Région wallonne).
- Vue depuis l'aval du barrage belge de la Plate Taille, dont la hauteur sur fondations s'élève à 70 m et la longueur du couronnement vaut 800 m (photo : HACH).





# TABLE DES MATIÈRES

---

<b>I</b>	<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	<b>11</b>
<b>I.1</b>	<b>Contexte .....</b>	<b>11</b>
<b>I.2</b>	<b>Principaux axes de recherche.....</b>	<b>13</b>
<b>I.3</b>	<b>Canevas de la thèse.....</b>	<b>15</b>
<b>II</b>	<b>MODÈLE GÉNÉRAL D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT SUR FOND MOBILE.....</b>	<b>19</b>
<b>II.1</b>	<b>Equations de base de l'hydrodynamique.....</b>	<b>20</b>
II.1.1	Axes de référence.....	20
II.1.2	Conservation de la masse .....	21
II.1.3	Conservation de la quantité de mouvement.....	23
II.1.4	Conservation d'une grandeur scalaire.....	24
II.1.5	Synthèse .....	26
<b>II.2</b>	<b>Turbulence .....</b>	<b>26</b>
II.2.1	Régime laminaire et régime turbulent.....	26
II.2.2	Modélisation de la turbulence .....	27
<b>II.3</b>	<b>Cas particuliers.....</b>	<b>32</b>
II.3.1	Masse volumique constante .....	32
II.3.2	Écoulements aérés .....	33
II.3.3	Écoulement chargé en sédiments .....	34
<b>II.4</b>	<b>Conditions limites à la surface et au fond .....</b>	<b>35</b>
II.4.1	Formulation générale.....	35
II.4.2	Condition limite cinématique à la surface libre.....	37
II.4.3	Condition limite cinématique au fond.....	37
II.4.4	Condition limite dynamique à la surface libre .....	38
II.4.5	Condition limite dynamique au fond .....	38
II.4.6	Condition limite pour le transport de constituant .....	39
<b>II.5</b>	<b>Intégration sur l'épaisseur de la lame fluide.....</b>	<b>40</b>
II.5.1	Motivation .....	40
II.5.2	Niveaux de modélisation.....	41
II.5.3	Principe de base et généralisation .....	42

II.5.4	Théorème de Leibniz .....	42
<b>II.6</b>	<b>Bilans moyens généraux .....</b>	<b>43</b>
II.6.1	Conservation de la masse .....	43
II.6.2	Conservation de la quantité de mouvement.....	43
II.6.3	Conservation d'un constituant.....	45
<b>II.7</b>	<b>Equations de moment générales .....</b>	<b>45</b>
II.7.1	Moment de la conservation de la masse .....	46
II.7.2	Moment de la conservation de la quantité de mouvement.....	46
II.7.3	Moment de la conservation d'un constituant .....	48
<b>II.8</b>	<b>Propriétés mathématiques du modèle .....</b>	<b>48</b>
II.8.1	Simplification de l'analyse.....	49
II.8.2	Formulation quasi linéaire et matrice jacobienne.....	49
II.8.3	Méthode des caractéristiques.....	49
II.8.4	Systèmes hyperboliques, paraboliques ou elliptiques.....	50
<b>II.9</b>	<b>Expression de la pression en fonction des inconnues primitives.....</b>	<b>51</b>
II.9.1	Mise sous forme adimensionnelle .....	51
II.9.2	Hypothèse fondamentale.....	53
II.9.3	Notion d'écoulement en fine lame .....	54
<b>II.10</b>	<b>Hydrodynamique sur fond mobile.....</b>	<b>54</b>
<b>II.11</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>56</b>
<b>III</b>	<b>ANALYSE DES ÉQUATIONS MOYENNES RÉGISSANT L'ÉCOULEMENT ET LE TRANSPORT DE CONSTITUANT .....</b>	<b>61</b>
<b>III.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>61</b>
III.1.1	Démarche générale .....	61
III.1.2	Canevas du chapitre.....	62
<b>III.2</b>	<b>Forme particularisée des équations moyennes .....</b>	<b>63</b>
III.2.1	Profil de pression .....	63
III.2.2	Profils de vitesse .....	63
III.2.3	Profil de concentration en constituant .....	64
III.2.4	Synthèse et enseignements .....	65
<b>III.3</b>	<b>Propriétés mathématiques et numériques du système .....</b>	<b>66</b>
III.3.1	Vitesses caractéristiques.....	66
III.3.2	Conditions limites.....	69
III.3.3	Discontinuités et formulation conservative .....	70
<b>III.4</b>	<b>Schéma numérique .....</b>	<b>79</b>
III.4.1	Décentrement original des flux.....	80
III.4.2	Discretisation de l'équation de transport d'un constituant .....	84
III.4.3	Compatibilité du terme de pente de fond .....	84
III.4.4	Evaluation du pas de temps.....	86
<b>III.5</b>	<b>Quelques éléments de validation .....</b>	<b>88</b>
III.5.1	Écoulement 1D transcritique et permanent.....	88
III.5.2	Propagation bidimensionnelle d'ondes induites par la rupture idéalisée d'un barrage circulaire.....	93

<b>III.6</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>101</b>
<b>IV</b>	<b>MODÉLISATION DES EFFETS DE FROTTEMENT ET DE MÉLANGE.....</b>	<b>105</b>
<b>IV.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>105</b>
<b>IV.2</b>	<b>Friction interne : influence de la turbulence .....</b>	<b>106</b>
IV.2.1	Hypothèse de Boussinesq.....	106
IV.2.2	Modélisation mathématique .....	107
<b>IV.3</b>	<b>Friction externe.....</b>	<b>110</b>
IV.3.1	Friction imputable à la rugosité du fond.....	110
IV.3.2	Friction imputable à la rugosité des bords.....	112
IV.3.3	Surface frottante réelle .....	119
IV.3.4	Evaluation semi-implicite du terme de frottement.....	122
IV.3.5	Résistance à l'avancement due aux ondulations.....	131
<b>IV.4</b>	<b>Pertes dues à la macro-rugosité.....</b>	<b>135</b>
IV.4.1	Bâtiments .....	136
IV.4.2	Végétation forestière .....	148
IV.4.3	Application : modélisation de l'écoulement consécutif à la rupture du barrage de la Vesdre .....	152
<b>IV.5</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>160</b>
<b>V</b>	<b>CRUES GÉNÉRÉES PAR LA RUPTURE BRUSQUE OU GRADUELLE DE BARRAGES.....</b>	<b>163</b>
<b>V.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>163</b>
<b>V.2</b>	<b>Importance de l'étude des crues consécutives aux ruptures de barrages ....</b>	<b>164</b>
V.2.1	Pertes humaines consécutives aux ruptures de barrages.....	164
V.2.2	Impacts économiques et sociaux des ruptures de barrages.....	165
V.2.3	Causes des ruptures des barrages .....	166
V.2.4	Importance spécifique des effets érosifs et des barrages en remblai.....	167
V.2.5	Exploitation des résultats .....	168
<b>V.3</b>	<b>Méthodologie d'étude d'impact hydraulique .....</b>	<b>170</b>
<b>V.4</b>	<b>Mode de rupture de l'ouvrage.....</b>	<b>172</b>
V.4.1	Barrages en béton .....	173
V.4.2	Mode de rupture d'un barrage en remblai .....	174
<b>V.5</b>	<b>Techniques de prédiction de la dynamique de ruptures graduelles.....</b>	<b>179</b>
V.5.1	Simulations numériques 2D couplées.....	180
V.5.2	Autres méthodes physiquement basées (ou méthodes comportementales) .....	180
V.5.3	Méthodes paramétriques.....	181
V.5.4	Méthodes empiriques (ou règles de prédiction) .....	181
V.5.5	Modélisation physique .....	187
V.5.6	Normes internationales.....	189
V.5.7	Etude de la sensibilité de l'hydrogramme de rupture aux paramètres de brèche....	190
<b>V.6</b>	<b>Barrages en cascade et complexes de barrages.....</b>	<b>196</b>



V.6.1	Méthodologie pour l'étude d'impact hydraulique.....	196
V.6.2	Modèle simplifié : bilans temporels .....	197
<b>V.7</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>200</b>
<b>VI</b>	<b>CRUES ACCIDENTELLES INDUITES PAR DES DYSFONCTIONNEMENTS SUR LE COMPLEXE DE L'EAU D'HEURE.....</b>	<b>203</b>
<b>VI.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>203</b>
<b>VI.2</b>	<b>Le complexe de l'Eau d'Heure et la vallée aval .....</b>	<b>204</b>
VI.2.1	Présentation du site de l'Eau d'Heure .....	204
VI.2.2	Données topographiques et d'occupation du sol .....	204
<b>VI.3</b>	<b>Dysfonctionnements possibles .....</b>	<b>208</b>
VI.3.1	Rupture de conduites forcées.....	208
VI.3.2	Rupture de l'ouvrage principal.....	210
<b>VI.4</b>	<b>Impact sur le complexe de la rupture de conduites forcées .....</b>	<b>213</b>
VI.4.1	Introduction.....	213
VI.4.2	Bilan temporel .....	214
VI.4.3	Validation.....	219
VI.4.4	Application du modèle 0D .....	219
VI.4.5	Influence du nombre de conduites forcées rompues .....	225
VI.4.6	Influence de la manœuvre des vannes.....	226
VI.4.7	Influence des apports hydrologiques.....	228
VI.4.8	Incidence sur les autres ouvrages du complexe .....	230
<b>VI.5</b>	<b>Impact sur le complexe de la ruine du barrage principal.....</b>	<b>231</b>
VI.5.1	Ecoulements induits .....	231
VI.5.2	Impact sur les pré-barrages .....	236
VI.5.3	Impact sur le barrage de l'Eau d'Heure.....	236
VI.5.4	Discussion sur l'équivalence entre bilan temporel et modèle complet : application numérique.....	256
VI.5.5	Synthèse .....	257
<b>VI.6</b>	<b>Simulation couplée ou découplée pour la propagation de l'onde en aval ?</b>	<b>257</b>
<b>VI.7</b>	<b>Impact dans la vallée aval de la rupture de conduites forcées .....</b>	<b>259</b>
VI.7.1	Résultats de modélisation.....	259
VI.7.2	Comparaison avec la simulation totalement instationnaire.....	262
<b>VI.8</b>	<b>Impact dans la vallée aval de la rupture du barrage de la Plate Taille.....</b>	<b>264</b>
VI.8.1	Caractéristiques de la modélisation .....	264
VI.8.2	Evolution dans les retenues.....	265
VI.8.3	Effets de stockage temporaire au cours de la propagation dans la vallée .....	266
VI.8.4	Hydrogrammes et limnigrammes décrivant l'écoulement dans la vallée .....	270
VI.8.5	Vitesse de propagation du front d'onde de rupture .....	273
VI.8.6	Synthèse des résultats principaux .....	273
VI.8.7	Etude de sensibilité.....	279
VI.8.8	Poursuite de l'analyse .....	291
<b>VI.9</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>291</b>
VI.9.1	Etude du site et dysfonctionnements potentiels.....	291
VI.9.2	Impacts sur le complexe.....	292



VI.9.3	Impacts dans la vallée aval.....	294
VI.9.4	Méthodologie unifiée d'analyse globale de la sécurité hydraulique d'un complexe de barrages.....	296
<b>VI.10</b>	<b>Remerciements .....</b>	<b>299</b>
<b>VII</b>	<b>APPLICATION DES ÉQUATIONS MOYENNES À LA SIMULATION D'ÉCOULEMENTS AÉRÉS .....</b>	<b>301</b>
<b>VII.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>301</b>
<b>VII.2</b>	<b>Modèle d'écoulement et de transport d'air.....</b>	<b>302</b>
VII.2.1	Formulation générale.....	303
VII.2.2	Formulation particularisée.....	304
VII.2.3	Taux d'entraînement et de libération d'air .....	305
<b>VII.3</b>	<b>Propriétés mathématiques et numériques .....</b>	<b>308</b>
VII.3.1	Célérités du modèle.....	308
VII.3.2	Conditions limites .....	311
VII.3.3	Schéma numérique.....	311
VII.3.4	Evaluation du pas de temps.....	314
<b>VII.4</b>	<b>Écoulements sur des coursiers en marches d'escalier.....</b>	<b>315</b>
VII.4.1	Utilité des coursiers en marches d'escalier .....	315
VII.4.2	Quelques caractéristiques des écoulements sur coursiers en marches d'escalier.....	317
VII.4.3	Dispositifs expérimentaux.....	319
VII.4.4	Modélisation numérique et comparaisons.....	322
<b>VII.5</b>	<b>Synthèse et conclusion.....</b>	<b>341</b>
<b>VII.6</b>	<b>Remerciements .....</b>	<b>343</b>
<b>VIII</b>	<b>EXPLOITATION DES ÉQUATIONS HYDRODYNAMIQUES MOYENNES EN PRÉSENCE DE TRANSPORT SOLIDE.....</b>	<b>345</b>
<b>VIII.1</b>	<b>Etablissement du modèle d'écoulement et de transport .....</b>	<b>346</b>
VIII.1.1	Profils des inconnues .....	347
VIII.1.2	Particularisation des équations de conservation.....	348
VIII.1.3	Expression générique du taux d'érosion et de déposition dans les équations de conservation .....	350
VIII.1.4	Formulation finale du modèle .....	352
<b>VIII.2</b>	<b>Modes de transport solide et familles de modèles.....</b>	<b>354</b>
VIII.2.1	Modes de transport .....	354
VIII.2.2	Familles de modèles .....	355
VIII.2.3	Transition continue entre modèles classiques de transport par charriage et par suspension .....	358
VIII.2.4	Justification du type de modèle retenu.....	360
<b>VIII.3</b>	<b>Analyse mathématique et numérique du modèle .....</b>	<b>361</b>
VIII.3.1	Célérités du modèle.....	361
VIII.3.2	Conditions limites .....	364
VIII.3.3	Discretisation numérique .....	364

<b>VIII.4 Taux d'érosion et de déposition .....</b>	<b>367</b>
VIII.4.1 Formulation classique des taux d'érosion et de déposition.....	367
VIII.4.2 Formulation globale du terme d'échange.....	369
<b>VIII.5 Caractéristiques complémentaires du modèle .....</b>	<b>371</b>
VIII.5.1 Transport induit par la gravité.....	371
VIII.5.2 Zones de topographie non érodable .....	372
<b>VIII.6 Application du modèle en présence d'écoulements modérément instationnaires .....</b>	<b>374</b>
VIII.6.1 Migration et envasement d'une tranchée .....	374
VIII.6.2 Transport solide en amont d'un grand barrage.....	377
<b>VIII.7 Application du modèle en présence d'écoulements hautement instationnaires .....</b>	<b>379</b>
VIII.7.1 Rupture de barrage idéalisée sur fond érodable .....	379
VIII.7.2 Rupture de barrage en amont d'un obstacle isolé sur un fond érodable .....	384
<b>VIII.8 Conclusion.....</b>	<b>386</b>
<b>IX EXPLOITATION DES ÉQUATIONS DE MOMENT .....</b>	<b>389</b>
<b>IX.1 Introduction.....</b>	<b>389</b>
IX.1.1 Démarche générale .....	389
IX.1.2 Plan du chapitre .....	390
<b>IX.2 Revue de la littérature .....</b>	<b>391</b>
<b>IX.3 Profil des inconnues sur l'épaisseur de lame .....</b>	<b>392</b>
IX.3.1 Masse volumique du fluide.....	393
IX.3.2 Profils de vitesse .....	393
IX.3.3 Profil de pression .....	397
IX.3.4 Concentration en constituant .....	397
<b>IX.4 Equations particularisées.....</b>	<b>399</b>
IX.4.1 Equations moyennes .....	399
IX.4.2 Equations de moment .....	402
IX.4.3 Modélisation des effets de frottement et de mélange .....	407
IX.4.4 Synthèse : le modèle « DAM-10+2 » .....	410
IX.4.5 Comparaison des différents profils de vitesse .....	411
<b>IX.5 Cas particulier : le modèle DAM-5+2 .....</b>	<b>412</b>
IX.5.1 Différentes richesses de modélisation.....	412
IX.5.2 Formulation du modèle DAM-5+2 .....	414
IX.5.3 Propriétés mathématiques du modèle DAM-5+2.....	416
<b>IX.6 Propagation d'ondes de faible amplitude .....</b>	<b>423</b>
IX.6.1 Récapitulatif des modèles disponibles.....	423
IX.6.2 Célérité des ondes selon les différents modèles .....	424
<b>IX.7 Elaboration d'un schéma numérique pour le modèle DAM-5+2.....</b>	<b>427</b>
IX.7.1 Principe général .....	427
IX.7.2 Discrétisation de la formulation 1D du modèle DAM-5, sans transport de constituant .....	429

IX.7.3	Discretisation de la formulation 1D du modèle DAM-5+2, avec transport d'un constituant .....	432
IX.7.4	Discretisation de la formulation 2D du modèle DAM-5, sans transport de constituant .....	435
IX.7.5	Discretisation de la formulation 2D du modèle DAM-5+2, avec transport d'un constituant .....	438
IX.7.6	Discretisation des termes non conservatifs .....	440
IX.7.7	Imposition des conditions limites .....	440
IX.7.8	Evaluation du pas de temps .....	441
<b>IX.8</b>	<b>Validation et application du modèle .....</b>	<b>444</b>
IX.8.1	Exemple d'application : fosse d'extraction de sable .....	444
IX.8.2	Ecoulement dans un canal courbe .....	448
<b>IX.9</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>456</b>
<b>X</b>	<b>MODÉLISATION DE LA COURBURE DU LIT DANS LE PLAN VERTICAL..</b>	<b>459</b>
<b>X.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>459</b>
X.1.1	Exemple : écoulement sur un déversoir standard .....	459
X.1.2	Repère curviligne dans le plan vertical .....	466
X.1.3	Revue de la littérature .....	467
<b>X.2</b>	<b>Dérivation des équations de conservation.....</b>	<b>468</b>
X.2.1	Changement de variables général .....	468
X.2.2	Repère adapté aux lits courbes dans le plan vertical .....	469
X.2.3	Vitesse des particules .....	472
X.2.4	Conditions limites .....	472
X.2.5	Equations locales .....	474
X.2.6	Equations intégrées générales.....	477
<b>X.3</b>	<b>Etude de profils particuliers de vitesse et de pression.....</b>	<b>478</b>
X.3.1	Passage en adimensionnel.....	479
X.3.2	Profils de vitesse et de pression.....	481
X.3.3	Equations de conservation particularisées.....	488
X.3.4	Nature hyperbolique des équations.....	492
<b>X.4</b>	<b>Modélisation du frottement sur le fond.....</b>	<b>496</b>
X.4.1	Ecoulement irrotationnel et frottement au fond.....	496
X.4.2	Force de volume équivalente .....	496
X.4.3	Considération pratique .....	497
<b>X.5</b>	<b>Composante de vitesse normale au fond .....</b>	<b>497</b>
X.5.1	Etablissement du profil de vitesse.....	497
X.5.2	Intégration sur la hauteur.....	501
X.5.3	Variante : profil linéaire .....	502
<b>X.6</b>	<b>Discretisation numérique du système .....</b>	<b>503</b>
X.6.1	Nature physique des flux du système .....	503
X.6.2	Stabilité du fractionnement des flux .....	505
X.6.3	Synthèse .....	509
<b>X.7</b>	<b>Validation (partim. 1) : écoulement sur un profil symétrique .....</b>	<b>510</b>
X.7.1	Dispositif expérimental.....	510
X.7.2	Description de la géométrie .....	510

X.7.3	Résultats .....	512
X.7.4	Enseignements .....	520
<b>X.8</b>	<b>Validation (partim. 2) : écoulement sur une transition de pente .....</b>	<b>520</b>
X.8.1	Dispositif expérimental .....	520
X.8.2	Description de la géométrie.....	520
X.8.3	Résultats .....	521
X.8.4	Enseignements .....	527
<b>X.9</b>	<b>Validation (partim. 3) : écoulement sur un déversoir avec cuillère.....</b>	<b>527</b>
X.9.1	Dispositif expérimental et géométrie .....	527
X.9.2	Résultats et enseignements.....	528
<b>X.10</b>	<b>Application au dimensionnement d'ouvrages .....</b>	<b>529</b>
X.10.1	Caractéristiques de l'ouvrage et contexte .....	529
X.10.2	Simulations numériques réalisées .....	530
X.10.3	Éléments de validation et résultats.....	530
<b>X.11</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>532</b>
<b>XI</b>	<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>535</b>
<b>XI.1</b>	<b>Synthèse des travaux effectués .....</b>	<b>535</b>
<b>XI.2</b>	<b>Originalités et enseignements principaux .....</b>	<b>538</b>
<b>XI.3</b>	<b>Perspectives de recherches .....</b>	<b>541</b>
<b>XI.4</b>	<b>Remarques finales.....</b>	<b>543</b>
<b>A.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE.....</b>	<b>545</b>
<b>B.</b>	<b>NOTATIONS PRINCIPALES .....</b>	<b>561</b>
<b>B.1</b>	<b>Symboles latins.....</b>	<b>561</b>
<b>B.2</b>	<b>Symboles grecs .....</b>	<b>563</b>
<b>C.</b>	<b>MÉTHODES D'ANALYSE ADAPTÉES AUX ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES PARTIELLES .....</b>	<b>565</b>
<b>C.1</b>	<b>La méthode des exposants de Cauchy .....</b>	<b>565</b>
C.1.1	Hypothèses .....	565
C.1.2	Solution stationnaire et perturbation .....	566
C.1.3	Séparation des variables .....	566
C.1.4	Principe de superposition.....	566
C.1.5	Application pratique de la méthode des exposants de Cauchy .....	567
C.1.6	Généralisation à un système d'équations .....	567
C.1.7	La méthode des exposants de Cauchy restreinte .....	568
<b>C.2</b>	<b>Analyse de stabilité de Von Neumann .....</b>	<b>568</b>
C.2.1	Hypothèses .....	569

C.2.2	Critère de stabilité .....	569
C.2.3	Expression du critère pour une « discrétisation temporelle exacte » .....	569
<b>D.</b>	<b>OUTILS NUMÉRIQUES POUR LA RÉOLUTION DE MODÈLES HYDROSÉDIMENTAIRES .....</b>	<b>571</b>
<b>D.1</b>	<b>Méthodes numériques pour la résolution des modèles intégrés sur l'épaisseur de lame .....</b>	<b>572</b>
D.1.1	Différences finies .....	572
D.1.2	Éléments finis .....	572
D.1.3	Volumes finis.....	572
D.1.4	Développements récents.....	572
<b>D.2</b>	<b>La méthode des volumes finis.....</b>	<b>573</b>
D.2.1	Equation générique .....	573
D.2.2	Type de maillage.....	574
D.2.3	Familles de méthodes des volumes finis .....	574
D.2.4	Principe de la méthode des volumes finis.....	575
D.2.5	Choix des inconnues et précision de la méthode .....	576
D.2.6	Précision de l'évaluation des flux.....	578
D.2.7	Extrapolation des inconnues aux arêtes .....	581
D.2.8	Evaluation des flux.....	584
D.2.9	Calcul des flux diffusifs .....	588
D.2.10	Traitement des conditions limites .....	589
<b>D.3</b>	<b>Discrétisation temporelle .....</b>	<b>590</b>
D.3.1	Explicite vs implicite .....	590
D.3.2	Schémas explicites de Runge-Kutta .....	590
<b>D.4</b>	<b>Synthèse et conclusion.....</b>	<b>595</b>
<b>E.</b>	<b>COMPLÉMENT AU CHAPITRE IV .....</b>	<b>597</b>
<b>E.1</b>	<b>Exemple théorique de l'influence de la surface frottante réelle : section transversale simple.....</b>	<b>597</b>
<b>F.</b>	<b>COMPLÉMENTS AU CHAPITRE VI.....</b>	<b>603</b>
<b>F.1</b>	<b>Caractéristiques des ouvrages et du complexe.....</b>	<b>603</b>
<b>F.2</b>	<b>Données topographiques et occupation du sol.....</b>	<b>604</b>
F.2.1	Construction du modèle numérique de terrain.....	604
F.2.2	Modélisation de la macro-rugosité.....	605
<b>F.3</b>	<b>Rupture de l'ouvrage principal .....</b>	<b>608</b>
F.3.1	Influence de l'étendue de la brèche.....	608
F.3.2	Influence du niveau bas de la brèche.....	611
F.3.3	Influence des apports hydrologiques .....	613
<b>F.4</b>	<b>Exploitation du modèle simplifié.....</b>	<b>614</b>

F.4.1	Relations hauteur-volume des réservoirs.....	614
F.4.2	Estimation des pertes à l'entrée des conduites.....	615
<b>F.5</b>	<b>Validation du modèle simplifié.....</b>	<b>616</b>
F.5.1	Vidange du réservoir de la Plate Taille.....	616
F.5.2	Écoulement dans le réservoir de l'Eau d'Heure.....	619
<b>F.6</b>	<b>Influence d'apports hydrologiques lors de la ruine de conduites forcées..</b>	<b>627</b>
<b>F.7</b>	<b>Caractéristiques des pré-barrages et analyse de l'impact de la ruine de l'ouvrage principal.....</b>	<b>627</b>
F.7.1	Pré-barrage de Falemprise.....	627
F.7.2	Pré-barrage du Ry Jaune.....	629
F.7.3	Caractéristiques du pré-barrage de Féronval.....	630
<b>F.8</b>	<b>Poursuite de l'analyse.....</b>	<b>630</b>
F.8.1	Défi informatique.....	631
F.8.2	Barrages au fil de l'eau.....	631
<b>G.</b>	<b>COMPLÉMENTS AU CHAPITRE IX.....</b>	<b>633</b>
<b>G.1</b>	<b>Écoulement potentiel 3D.....</b>	<b>633</b>
G.1.1	Equations hydrodynamiques.....	633
G.1.2	Forme linéarisée des équations.....	635
G.1.3	Ondes à profondeur constante.....	635
<b>G.2</b>	<b>Formulation volumes finis pour les termes non conservatifs dans les équations de moment.....</b>	<b>636</b>

# I INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

## I.1 Contexte

Les ressources en eau ont toujours représenté un enjeu essentiel dans l'évolution et l'organisation des sociétés humaines. En témoigne notamment la grande variété de constructions hydrauliques édifiées par l'homme depuis l'Antiquité, ou encore le lien étroit entre l'essor économique de certaines régions et leur alimentation en eau de qualité.

Le domaine des constructions civiles a bien entendu joué un rôle primordial à cet égard. Les interventions de l'ingénieur concernent tant la défense contre les crues et les inondations que la constitution de réserves d'eau pour assurer l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable ou industrielle et la génération d'hydroélectricité.

Toutes ces structures constituent des éléments en interaction avec un système nettement plus vaste, comprenant le bassin versant en amont ainsi que l'ensemble de la vallée et des plaines inondables en aval. La complexité des défis à relever pour gérer ce système intégré a rapidement justifié le recours à la modélisation, initialement par le biais de modèles physiques exclusivement, puis en leur adjoignant des outils de simulation numérique sans cesse plus sophistiqués.

En outre, plusieurs évolutions récentes ont encore accru la multiplicité et la complexité des questions auxquelles l'ingénieur hydraulicien se voit confronté. Qu'il s'agisse du changement climatique global, de l'urbanisation croissante, de la moindre acceptation sociétale des risques associés à un ouvrage, ou encore de la conscientisation par rapport aux questions ayant trait au développement durable, le contexte rend les questions liées à l'eau plus délicates et plus multidisciplinaires. Il en résulte de nouvelles nécessités, résidant notamment dans une meilleure compréhension des liens ténus entre l'hydrodynamique, la géomorphologie et la science de la gestion des risques. En effet, les interactions entre les constructions hydrauliques et le système global dans lequel elles s'insèrent se situent tant sur le plan purement hydrodynamique (inondations, approvisionnement en eau, irrigation, risques pour la vallée, ...) que sédimentaire (alluvionnements en amont des barrages, incisions en aval et en périodes de crues, ...). A cela, il convient d'encore ajouter aujourd'hui la composante environnementale (dynamique de pollutions, ...).

Pour relever ces défis qui prennent des dimensions nouvelles, les techniques de simulation se doivent de progresser en conséquence. Force est donc de constater que tant le domaine des constructions hydrauliques que celui de l'hydrodynamique environnementale requièrent la conception d'outils puissants d'analyse des écoulements et des processus de transport concomitants (polluants, sédiments, air, ...), tirant pleinement parti des progrès fulgurants de l'informatique en matière de potentialités de calcul intensif.



C'est dans ce contexte que s'intègrent les recherches poursuivies dans le cadre du présent doctorat. Elles visent à contribuer à la mise au point de techniques de modélisation et d'analyse capables d'appréhender à la fois une large gamme d'écoulements de surface, les principaux phénomènes de transport qui y sont étroitement couplés dans la réalité, ainsi que les risques associés.

Précisons d'emblée que les apports personnels et originaux de cette thèse s'insèrent tous dans la continuité du développement de la suite logicielle WOLF, entièrement élaborée par l'unité de recherche H.A.C.H. (Hydrodynamique Appliquée et Constructions Hydrauliques, ULg) depuis une dizaine d'années. Il s'agit d'un ensemble de modules de simulation d'écoulements de surface (Figure I-1), qui offre plusieurs niveaux de modélisation, allant de l'hydrologie physiquement basée (WOLF HYDRO) à l'hydrodynamique bidimensionnelle (WOLF 2D), en passant par les écoulements filaires en réseaux de cours d'eau (WOLF 1D). En outre, l'algorithme génétique WOLF AG permet d'optimiser la valeur de n'importe quel paramètre physique intervenant dans les modules WOLF HYDRO, WOLF 1D et WOLF 2D. Il peut également servir à l'optimisation de scénarios de gestion paramétrés pour des ouvrages hydrauliques. Tous les modules de simulation sont pilotés à partir d'une interface propriétaire unique, s'apparentant aujourd'hui à un véritable Système d'Information Géographique d'une efficacité remarquable en termes de traitement de grands ensembles de données.

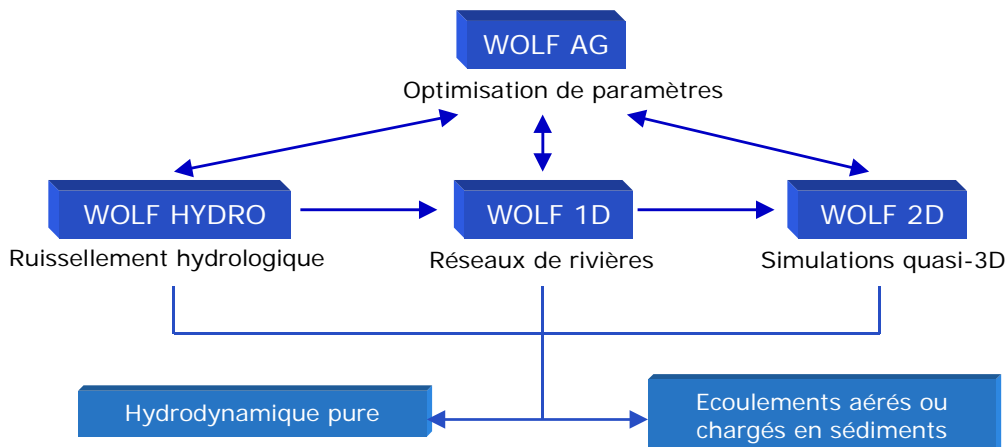


Figure I-1 : Organisation générale des modules de calcul de la suite WOLF.

On ne peut passer sous silence que l'intégralité des codes de calcul a été écrite par l'équipe du H.A.C.H., celle-ci se détournant systématiquement du recours à des modules de simulation commerciaux disponibles sur le marché sous forme compilée uniquement. Il résulte de ce choix une capacité permanente pour le modélisateur d'opérer un contrôle total sur chaque étape du calcul.

Il importe également de ne pas perdre de vue que les modèles développés ou améliorés au cours de cette thèse se doivent tous de rester opérationnels pour des applications pratiques à grande échelle, tant en termes de temps de calcul que de données requises, ce qui justifiera l'approche *bidimensionnelle* privilégiée à chaque stade de la recherche. Nos développements se baseront donc sur le module de calcul WOLF 2D (Figure I-1).

## I.2 Principaux axes de recherche

Au cours des travaux effectués, quatre grandes directions ont été étudiées en parallèle : elles contribuent toutes les quatre à la mise au point d'outils performants de modélisation et d'analyse d'écoulements à surface libre avec potentiellement des phénomènes de transport additionnels.

### Formulation théorique unifiée

Sur base d'un formalisme mathématique rigoureux, une démarche théorique minutieuse a permis d'élaborer un modèle d'écoulement et de transport très général, capable de décrire la majorité des phénomènes étudiés au cours de la recherche doctorale (**chapitre II**). Autrement dit, il s'agit d'un formalisme unifié, admettant comme cas particuliers chacun des modèles plus spécifiques considérés par la suite : modèle hydrodynamique pur, modèle couplé avec le transport d'un constituant, modèle d'écoulement d'un fluide aéré, modèle hydrosédimentaire couplé, ... La procédure suivie pour établir ce modèle général repose sur les lois fondamentales de la mécanique des fluides et elle conduit à l'expression d'équations moyennes sur l'épaisseur de lame ainsi que d'*équations de moment* correspondantes, exprimées pour des profils d'inconnues (masse volumique, pression, composantes de vitesse, concentration en constituant) suivant une répartition quelconque selon la hauteur de fluide.

### Modèles de transport

Ensuite, deux types de processus de transport ont été étudiés en détail. Il s'agit d'une part de l'entraînement d'air et, d'autre part, du transport sédimentaire.

- Un modèle prenant en considération les effets d'entraînement d'air, de transport de celui-ci, ainsi que les rétroactions correspondantes sur l'écoulement, a été formulé et implémenté au sein de WOLF 2D (**chapitre VII**). Il a permis une étude originale quasi bidimensionnelle de l'écoulement biphasique aéré sur des coursiers munis de macro-rugosités. Une campagne de validation a suivi sur base de mesures expérimentales acquises à l'EPFL sur pente modérée, ainsi qu'à l'ULg sur pente forte. Les comparaisons ont conduit à des résultats présentant un accord satisfaisant avec les observations. Le modèle mis au point constitue naturellement un outil privilégié pour de nombreuses applications dans le domaine de la conception et de l'optimisation d'organes de dissipation d'énergie.
- Par ailleurs, un modèle d'écoulement sur topographie érodable a été formulé de manière très générale, puisqu'il inclut à la fois le transport sédimentaire hors équilibre et à l'équilibre, les effets advectifs et diffusifs, et qu'il intègre un couplage numérique et physique complet entre écoulement et matériaux transportés (**chapitre VIII**). Le modèle est validé et appliqué à une série de cas-tests, tant graduels (par ex. alluvionnement) que hautement transitoires (par ex. écoulement consécutif à une rupture d'ouvrage sur fond érodable), dont certains permettent une comparaison avec des données expérimentales de référence.

### Modélisation hydrodynamique

Parmi les axes prioritaires conférés aux recherches entreprises, on compte également plusieurs améliorations apportées au modèle purement hydrodynamique WOLF 2D. En effet, l'expérience acquise nous a rappelé à maintes reprises à quel point la précision de la

prédiction de tout type de transport induit par le mouvement fluide est avant tout tributaire de la qualité du calcul hydrodynamique proprement dit (**chapitre III**). Outre certains raffinements des techniques d'évaluation des pertes enregistrées par l'écoulement (frottement de bord, surfaces frottantes inclinées, voir le **chapitre IV**), les améliorations apportées à la modélisation hydrodynamique s'articulent autour de deux thèmes principaux.

- Le premier concerne l'aptitude du modèle à décrire différents types de courants secondaires (**chapitre IX**). Ceux-ci s'observent, entre autres, dans les méandres serrés et au voisinage de variations brusques de bathymétrie. Ils induisent des érosions et dépôts parfois spectaculaires et totalement inexplicables sur base d'un simple modèle moyenné sur la hauteur. Une réponse théorique et rigoureuse a été formulée, basée sur une prise en compte explicite de la non-uniformité du profil de vitesse sur l'épaisseur de la lame fluide. Les nouvelles inconnues introduites sont résolues à l'aide d'*équations de moment*. Une information quasi tridimensionnelle sur les champs de vitesse est donc rendue disponible. Des comparaisons avec plusieurs ensembles de mesures expérimentales ont permis de conclure à une amélioration significative par rapport au modèle classique.
- Une seconde évolution du modèle hydrodynamique permet une prise en compte rigoureuse de la courbure verticale du lit par le biais d'un système de coordonnées curvilignes dans le plan vertical (**chapitre X**). Cette extension du modèle hydrodynamique classique ouvre la voie au traitement plus rigoureux et plus fiable d'un large panel d'applications, parmi lesquelles la conception d'organes de dissipation en aval de déversoirs, le dimensionnement des bajoyers du coursier de déversoirs, voire la prédiction de fosses d'affouillement en aval de structures d'évacuation de barrages. La pertinence des solutions proposées a ici aussi été validée par confrontation des résultats simulés avec de nombreuses données expérimentales.

## Sécurité hydraulique d'un complexe de barrages : analyse de risque et interactions fluide-structure avec effet érosif

En parallèle avec ces deux premiers axes de développements, une place importante a aussi été réservée au cours de nos travaux à l'application des connaissances engrangées et des outils développés à une analyse de risque de grande ampleur, portant sur la sécurité hydraulique du complexe de l'Eau d'Heure, principal complexe de barrages en Belgique (**chapitre V** et **chapitre VI**).

Parmi les scénarios de dysfonctionnements analysés, la simulation de l'écoulement consécutif à la rupture du barrage principal (Plate taille) a été effectuée dans toute la vallée aval jusqu'à Charleroi. Ce barrage étant localisé quelques kilomètres en amont de quatre autres barrages, dont celui en enrochement de l'Eau d'Heure, la rupture en cascade potentielle de ces ouvrages subissant une surverse a été prise en compte, en fonction de l'importance des fronts d'onde qui les atteignent et des effets érosifs induits.

Une telle simulation implique de déterminer le mode de rupture de chaque ouvrage touché, en fonction du type de structure, et de reconstituer tout l'historique de la rupture (évolution temporelle de la ruine). Pour chacun de ces ouvrages, un temps de rupture adéquat a donc été identifié, et le processus de ruine a été incorporé dans la modélisation, sous la forme d'une topographie évolutive, de façon étroitement couplée au résultat hydrodynamique, et selon un mode très réaliste d'érosion régressive de l'ouvrage à partir du parement aval.

Les éléments de macro-rugosité sont pris en compte car ils affectent fortement la dynamique de l'inondation. Les bâtiments sont directement reproduits dans le MNT laser de base servant à la construction de la matrice de topographie de simulation. De plus, à l'aide de

mesures par laser aéroporté et de cartes d'occupation du sol, les zones de forêts ont été automatiquement localisées et des propriétés de frottement adéquates y ont été imposées.

Une procédure d'analyse de sensibilité a été mise à profit pour nuancer les résultats, de façon à tenir compte des diverses hypothèses, inévitables en raison du caractère intrinsèquement incertain et extrême des situations envisagées.

Les résultats produits incluent les hydrogrammes et les limnigrammes décrivant la propagation de la crue dans toute la vallée, ainsi que des cartes de risque utiles à l'élaboration de Plans d'Action Urgente (PAU) visant à protéger les populations et les biens. De même, des enseignements présentant un intérêt pratique de premier plan pour le gestionnaire des ouvrages ont été tirés, sous la forme de consignes de réactions en cas d'incident et d'orientations à donner en vue d'investissements destinés à améliorer la protection de certaines structures.

## I.3 Canevas de la thèse

Cette thèse de doctorat constitue certes un ouvrage relativement volumineux, mais sa structure a été conçue de manière à ne pas imposer une lecture séquentielle des chapitres. Afin d'orienter le lecteur vers une organisation individuelle efficace de la lecture du document, nous nous proposons donc de mettre en évidence la structure qui sous-tend l'agencement des chapitres. A cette fin, l'organigramme fourni à la Figure I-2 constituera une aide précieuse pour permettre à chacun de parcourir plus commodément la thèse en fonction de ses propres priorités.

De manière générale, les cases colorées en bleu se rapportent à des chapitres exposant la mise au point et l'exploitation d'un modèle de calcul particulier. La case jaune renvoie à un chapitre théorique complétant l'ensemble de ceux focalisés sur un des modèles particuliers. Les deux cases roses correspondent à la partie de la thèse consacrée à l'analyse de risque liée aux écoulements consécutifs à une rupture de barrage. Enfin, les annexes sont représentées par les cases vertes.

La thèse débute par un chapitre exposant l'établissement de la formulation théorique très générale unifiant la quasi-totalité des modèles d'écoulement et de transport étudiés par la suite (**chapitre II**). La fin de ce chapitre aborde également la notion essentielle d'écoulement « en fine lame », ainsi que le couplage de ce modèle général avec l'équation d'Exner afin de traiter une topographie érodable.

De ce chapitre important, véritable clé de voûte pour la suite des développements, quatre modèles particuliers vont être déduits. Pour chacun de ces quatre modèles, le chapitre qui y est consacré présente les hypothèses à introduire dans le modèle général, une analyse mathématique et numérique fouillée du système obtenu et une succession d'applications et d'exercices de validation. Par ordre d'apparition dans la thèse, citons les modèles suivants :

- le modèle basé sur les équations moyennes et particularisé au cas d'un fluide de densité constante est présenté au **chapitre III** ;
- le modèle reposant sur les équations moyennes pour la description d'écoulements aérés est étudié et appliqué au **chapitre VII** ;
- le modèle formulé et exploité au **chapitre VIII** décrit des écoulements chargés en sédiments, à l'aide des équations moyennes et selon une approche totalement couplée et potentiellement hors équilibre ;

- enfin, le modèle hydrodynamique gérant automatiquement des profils de vitesse non uniformes grâce à l'utilisation conjointe des équations moyennes et de celles de moment est détaillé au [chapitre IX](#).

Il va de soi que la lecture du chapitre II s'impose préalablement à celle de ces quatre chapitres relatifs aux modèles particuliers. En revanche, il est envisageable d'aborder chacun de ces chapitres indépendamment des trois autres.

Le cinquième modèle hydrodynamique élaboré au cours de cette thèse ([chapitre X](#)) fait exception à la logique présentée pour les quatre modèles précédents car son établissement s'effectue de façon spécifique dès le début et il n'apparaît pas comme un cas particulier du modèle général établi au chapitre II. Cette différence provient de l'utilisation d'un formalisme analytique en coordonnées curvilignes dans le plan vertical dès l'intégration des bilans fondamentaux sur l'épaisseur de lame. Bien entendu, ce chapitre est accessible indépendamment des autres.

Dans le prolongement du chapitre III, nous discutons au [chapitre IV](#) un ensemble de techniques d'évaluation des pertes subies par l'écoulement. Bien que ce chapitre intervienne à ce stade dans le cadre de l'exploitation des équations moyennes pour un fluide de masse volumique constante, toutes les techniques décrites restent également applicables mutatis mutandis aux autres modèles développés par la suite. Au cours des chapitres ultérieurs (chapitres VII, VIII, IX et X), les amendements ou extensions à apporter aux méthodes de modélisation du frottement seront précisés spécifiquement pour chaque modèle.

Les travaux de recherche axés sur l'analyse de risque relative aux écoulements consécutifs à la rupture d'ouvrages de retenue sont exposés au [chapitre V](#). Le chapitre souligne notamment l'importance des ruptures de barrages dans le monde, met en exergue l'influence décisive des barrages en terre et en enrochement et insiste sur le rôle prépondérant des remaniements topographiques dans la vallée aval. Une revue critique des méthodes de prédiction des paramètres de brèche est exposée, tout comme un outil de simulation hydrodynamique simplifié remarquablement bien adapté à l'analyse des écoulements induits sur un complexe de barrages. Ensuite, le [chapitre VI](#) détaille l'application des nombreux concepts et modèles disponibles au cas particulier du complexe de l'Eau d'Heure. Ces deux chapitres V et VI constituent donc un ensemble, dont la lecture s'inscrit naturellement à la suite des chapitres III et IV. La lecture de ces chapitres V et VI peut aussi être envisagée indépendamment du reste de la thèse.

Mentionnons finalement que l'[annexe C](#) synthétise certaines méthodes d'analyse mathématique utilisées au cours des recherches, tandis que l'[annexe D](#) décrit très succinctement les outils numériques appliqués pour la résolution des modèles mis au point. Quant aux autres annexes, elles constituent des compléments à un certain nombre d'autres chapitres. Chaque fois qu'il y a lieu, des renvois y font référence dans le corps de la thèse, avec mention précise des paragraphes concernés.

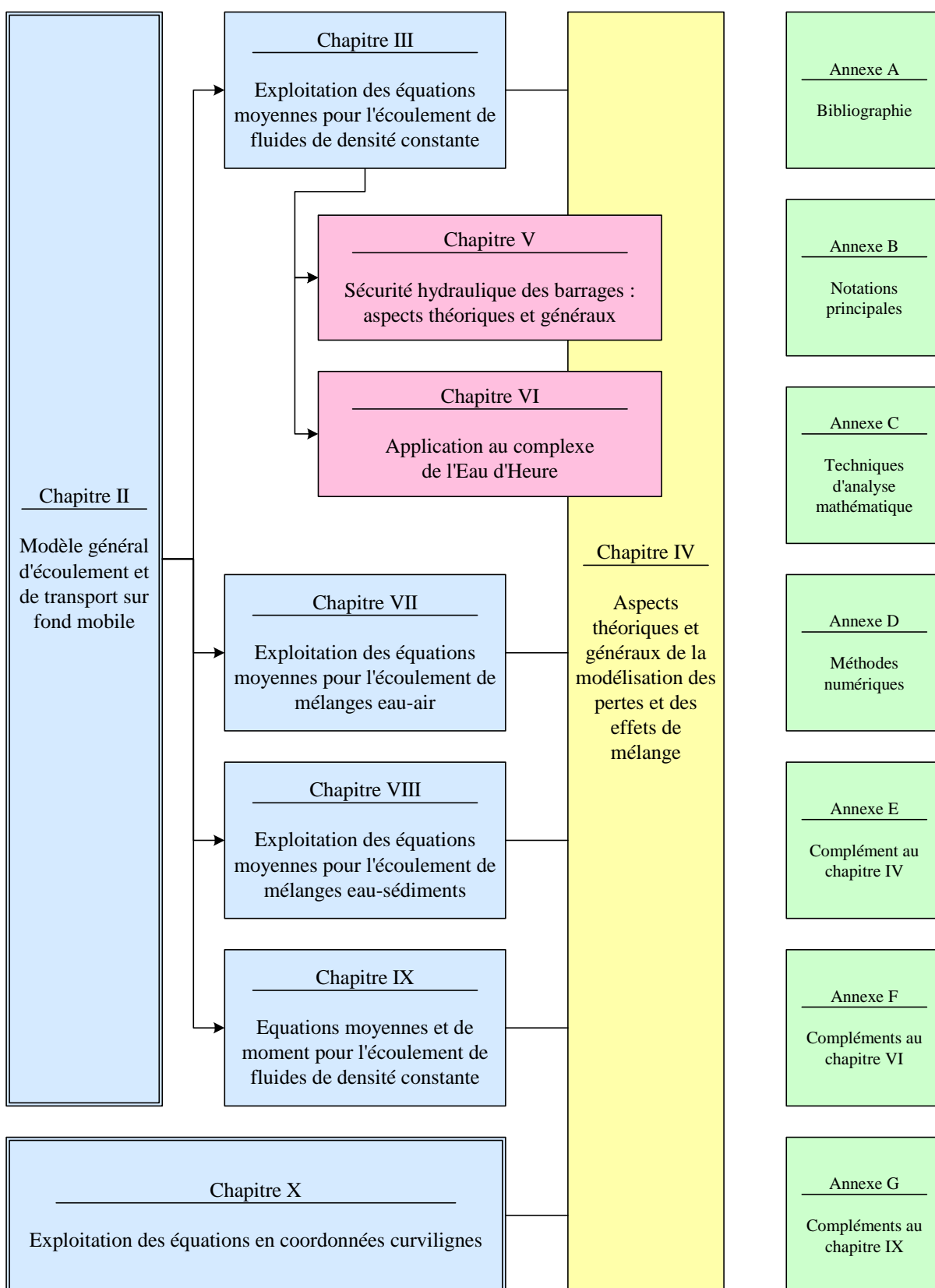


Figure I-2 : Organisation générale de la thèse.





# XI CONCLUSION GÉNÉRALE

---

L'objectif principal de cette thèse résidait dans l'élaboration et l'analyse de modèles capables de décrire une vaste gamme d'écoulements à surface libre et de phénomènes de transport associés. Pour ce faire, deux axes principaux sous-tendent les recherches entreprises.

- Il s'agit, d'une part, d'une contribution à l'étude de modèles visant à reproduire adéquatement les interactions du fluide avec divers constituants transportés, tels que de l'air entraîné ou des sédiments. Cette phase du travail inclut également la caractérisation et la prédiction du comportement de l'écoulement en présence d'une topographie mobile ou érodable, y compris dans le cas d'un barrage en remblai subissant une surverse.
- D'autre part, nous avons déjà montré antérieurement (voir notre mémoire de DEA) qu'une modélisation fidèle des processus de transport, notamment hydrosédimentaires, passe également par un raffinement du calcul hydrodynamique proprement dit. C'est pourquoi, une partie des travaux effectués est spécifiquement orientée vers un enrichissement de la connaissance des champs hydrodynamiques au sein du modèle.

Nous commençons par exposer brièvement les grandes étapes abordées au cours de cette thèse, contribuant toutes à la rencontre des objectifs précités. Ensuite, nous insisterons sur les originalités qui jalonnent ce travail ainsi que sur les principaux enseignements tirés, avant de dégager des pistes de recherches porteuses pour le futur.

## XI.1 Synthèse des travaux effectués

### *Modèle général d'écoulement et de transport*

Le **chapitre II** présente l'établissement particulièrement général d'un modèle d'écoulement à surface libre, intégré sur l'épaisseur de la lame fluide. Aucune hypothèse restrictive n'est introduite en ce qui concerne la répartition des champs inconnus selon la hauteur de fluide. En particulier, toutes les équations de conservation sont formulées préalablement à l'utilisation de l'hypothèse d'écoulement en fine lame. De plus, le modèle inclut également tout type de processus de transport dans la phase liquide et permet un couplage aisé avec l'équation d'Exner, afin de décrire un fond érodable.

Sur base de ces fondements théoriques unifiés, quatre modèles distincts sont mis au point par simple substitution, au sein du modèle général développé au chapitre II, de profils particuliers de masse volumique, composantes de vitesse et pression. Ces quatre modèles particuliers, découlant directement du modèle général du chapitre II, sont exposés aux chapitres III, VII, VIII et IX. Par ailleurs, un cinquième modèle, se distinguant des autres dès le départ, est également mis au point. Il est exposé séparément au chapitre X.

Avant de passer en revue les principales caractéristiques de ces modèles, mentionnons que chaque chapitre correspondant à la description d'un modèle particulier s'articule selon un canevas similaire et contient systématiquement les éléments suivants :

- établissement des équations particularisées, par le choix ad hoc des profils des inconnues ;
- examen des propriétés mathématiques du modèle obtenu, dont la détermination des vitesses caractéristiques ;
- analyse numérique des équations en vue de leur discrétisation (conditions limites, schéma de décentrement, analyse de stabilité, évaluation du pas de temps) ;
- exemples de validations et d'applications.

### *Écoulement d'un fluide de densité constante*

Le premier modèle permet la description de l'écoulement d'un fluide de densité constante, avec transport éventuel d'un constituant (**chapitre III**). Il repose sur l'utilisation des équations moyennes de conservation. La répartition des vitesses selon l'épaisseur de lame doit donc être précisée a priori. Deux cas test de validation sont détaillés.

Le **chapitre IV** détaille les principales techniques de modélisation des effets de dissipation et de frottement. Outre une brève description de l'évaluation des effets turbulents, plusieurs extensions sont présentées en ce qui concerne le calcul de la friction externe. De plus, l'estimation des pertes dues aux éléments de macro-rugosité (bâtiments, forêts, etc.) est discutée et une approche est préconisée pour modéliser ces effets en tirant parti des données topographiques contemporaines les plus pointues (MNT laser). Toutes ces techniques sont présentées dans la foulée du modèle basé sur les équations moyennes (chapitre III), mais elles sont bien entendu également applicables aux quatre autres modèles développés.

### *Analyse de risque : onde de rupture de barrages*

En vue de l'application du modèle des équations moyennes au cas pratique de l'étude de l'écoulement provoqué par la rupture en cascade de plusieurs barrages sur un complexe, un chapitre préalable décrit certaines spécificités liées à l'analyse de la sécurité hydraulique des ouvrages de retenue. En effet, le **chapitre V** commence par souligner l'importance des ruptures de barrages dans le monde. L'accent est mis en particulier sur le rôle majeur joué par les barrages en remblai ainsi que sur l'ampleur des remaniements topographiques dans les vallées situées en aval d'un ouvrage rompu. Nous développons ensuite une discussion détaillée et critique des principales méthodes pour la prédiction des paramètres de brèche dans le cas de la ruine de barrages en remblai et nous la complétons par quelques éléments destinés à jauger la sensibilité des débits libérés par rapport aux caractéristiques de la brèche. Enfin, un outil de modélisation hydrodynamique simplifié est présenté et discuté, en vue de l'analyse des spécificités des barrages aménagés en complexe ou en cascade.

L'ensemble des techniques de modélisation disponible à ce stade est ensuite mis en oeuvre dans le cadre d'une application réelle. Il s'agit de l'analyse de risque liée aux écoulements induits en cas de dysfonctionnement sur le complexe de barrages de l'Eau d'Heure (**chapitre VI**).

Pour chaque scénario de dysfonctionnement possible, l'impact hydraulique est tout d'abord évalué sur le complexe en termes de sollicitations des barrages situés en aval. Pour ce faire, le modèle 2D du chapitre III ainsi que le modèle simplifié du chapitre V sont exploités conjointement. Le recours combiné à plusieurs outils de modélisation numérique et physique permet de dégager des éléments de prédiction du comportement des ouvrages subissant une

surverse. L'impact dans toute la vallée aval est calculé ensuite sur base d'une simulation unifiée sur un domaine couvrant près de 900000 mailles de calcul potentielles. Compte tenu des incertitudes inévitables qui subsistent dans le cadre de ce type de modélisation, une analyse de sensibilité très complète parachève l'analyse de la sécurité hydraulique du site.

### *Modèle d'écoulement et de transport d'air*

Repartant du modèle général du chapitre II, nous exposons au **chapitre VII** un modèle basé sur les équations moyennes pour décrire des écoulements aérés. Une attention particulière est consacrée à la répartition non uniforme de vitesse introduite par le biais d'un coefficient de Boussinesq. Le modèle est validé avec succès dans le cas d'écoulements rapides sur des déversoirs en marches d'escalier de pente modérée (30°) à forte (52°). La validation est effectuée par comparaison avec deux jeux récents de mesures expérimentales.

### *Modèle hydrosédimentaire couplé*

Le **chapitre VIII** porte sur l'étude d'un modèle d'écoulement et de transport solide, dérivé lui aussi du modèle général par simple introduction de profils adéquats de concentration en sédiments et de composantes de vitesse.

Plusieurs exemples de validation et d'application du modèle sont traités, aussi bien à 1D qu'à 2D, et ce tant sur des phénomènes graduels (par ex. alluvionnement) que hautement transitoires (écoulement de rupture de barrage sur un fond érodable). Certains exemples simulés précédemment sur une topographie fixe sont repris ici et analysés en intégrant les évolutions topographiques.

### *Exploitation des équations de moment*

Le quatrième modèle particulier déduit du modèle général du chapitre II permet la description d'écoulements et de processus de transport à l'aide non seulement d'équations moyennes mais aussi d'*équations de moment* (**chapitre IX**). Il s'agit d'un concept très élégant revenant à introduire un "élément fini" analytique dans la direction normale au plan principal d'écoulement. Cette approche procure l'avantage déterminant de fournir une distribution non triviale de la vitesse selon l'épaisseur de lame, tout en conservant un traitement analytique de la position de la surface libre. La question cruciale de l'adaptation locale de la lame fluide ne s'avère donc pas problématique.

Le modèle complet (DAM-10) est établi en détail et ses propriétés sont scrupuleusement étudiées. Une formulation simplifiée (DAM-5), offrant un excellent compromis entre réalisme des résultats et complexité de résolution, est également examinée puis implémentée numériquement. Des premiers éléments de validation et des exemples d'application sont présentés.

### *Prise en compte de la courbure dans le plan vertical*

Le modèle standard développé au chapitre III s'applique certes à des lits d'inclinaison quelconque mais il néglige tout effet de courbure dans le plan vertical, telle que celle présente entre autres au niveau de la crête des déversoirs. C'est pourquoi, le **chapitre X** est consacré à une ultime évolution du modèle hydrodynamique, consistant à étendre le champ d'application du modèle à une prise en compte rigoureuse des effets géométriques, dynamiques et de pression liés à la courbure verticale du lit. Pour ce faire, un repère en coordonnées curvilignes dans le plan vertical est adopté dès la phase d'intégration des équations locales sur l'épaisseur de la lame fluide. Le modèle obtenu tient compte d'un profil de vitesse non uniforme, bien qu'irrotationnel dans le plan vertical, d'une distribution de pression non hydrostatique calculée en fonction de la courbure locale et des champs hydrodynamiques locaux, ainsi que

d'une composante de vitesse normale au fond, évaluée sur base de l'équation de continuité locale. Le modèle est présenté en détail, y compris le calcul des célérités, et une validation complète est effectuée.

### *Outils d'analyse mathématique et numérique*

Ajoutons encore que l'**annexe C** expose les rudiments de certaines méthodes d'analyse mathématique utiles à l'investigation des propriétés de systèmes d'équations aux dérivées partielles. Par ailleurs, les techniques de discrétisation numérique adéquates pour la résolution des modèles mis au point sont exposées brièvement à l'**annexe D**. Ces deux annexes, loin de se vouloir exhaustives, sont strictement limitées à un aperçu succinct de méthodes adaptées à l'étude des modèles développés, dans le but de rendre le présent ouvrage plus « autonome ».

## **XI.2 Originalités et enseignements principaux**

Les diverses orientations données aux recherches entreprises se distinguent par plusieurs éléments qui lui confèrent un caractère original et novateur. Nous les épinglons ici et nous synthétisons également les principaux enseignements qui ont pu être déduits des travaux réalisés.

### *Modèle général d'écoulement et de transport*

Le très haut niveau de généralité obtenu au chapitre II est particulièrement remarquable. Il découle notamment du souci systématique de postposer au maximum la particularisation des profils sur l'épaisseur de la lame fluide, tant dans la procédure d'établissement des équations moyennes que lors de la dérivation des équations de moment. De plus, la méthodologie suivie ne postule aucune restriction concernant l'inclinaison des axes de référence, le caractère mobile de la topographie, ou la présence de puits et de sources de fluide. Ces deux derniers effets sont modélisés en tenant compte de leur influence sur les bilans de quantité de mouvement et de moment de quantité de mouvement.

Cette démarche très générale pour l'établissement des modèles permet notamment à toute amélioration apportée dans la description de base du modèle de transport de se transmettre directement à l'ensemble des modèles spécifiques. De plus, de par les similitudes entre tous ces modèles, rendues ici plus évidentes encore, un parallélisme parfait se retrouve également aux stades ultérieurs d'analyse des propriétés mathématiques (vitesses caractéristiques) et numériques (conditions limites, sens de décentrement, stabilité du schéma de discrétisation, optimisation du pas de temps, ...) des systèmes obtenus.

### *Écoulement d'un fluide de densité constante*

L'établissement particulièrement rigoureux du modèle basé sur les équations moyennes a permis, au chapitre III, de déduire une formulation très générale des célérités du système, des relations de choc ainsi que de l'équation de Bernoulli, tenant compte à la fois de l'inclinaison des axes de référence et, le cas échéant, des coefficients d'inégale répartition de vitesse. Ces potentialités du modèle ont également été prises en considération lors de l'analyse de stabilité du schéma de décentrement utilisé.

Lors de l'étude du frottement externe au chapitre IV, une approche originale a été suggérée et amplement justifiée pour la prise en compte de la rugosité des bords. De plus, nous avons montré que l'influence des surfaces frottantes inclinées apparaît naturellement

dans les équations de conservation de la quantité de mouvement, en raison de la rigueur du formalisme adopté dès le chapitre II. Toutefois, l'effet relativement limité en pratique de cet aspect de la modélisation a été mis en exergue et s'est avéré en accord avec l'hypothèse d'écoulement en fine lame. Finalement, plusieurs techniques d'évaluation temporelle semi-implicite du terme de frottement ont été comparées, ce qui a permis d'aboutir à l'identification d'un compromis adéquat entre rigueur, généralité et efficacité du calcul.

En ce qui concerne les pertes dues à divers éléments de macro-rugosité, les travaux effectués tirent parti au maximum des données les plus modernes disponibles, tant pour la représentation de la végétation forestière que pour celle des bâtiments. A cet égard, une analyse comparative fouillée de différentes approches possibles a été effectuée dans le cas de la simulation de l'écoulement induit par la rupture hypothétique du barrage d'Eupen. Cette analyse a mis en exergue le bien-fondé et l'applicabilité plus aisée de l'approche contemporaine consistant à exploiter les données topographiques laser sans modifications locales du coefficient de frottement pour la reproduction des bâtiments.

### *Analyse de risque : onde de rupture de barrages*

Deux raisonnements analytiques originaux sont présentés au chapitre V. Le premier porte sur l'analyse théorique des conditions d'écoulement qui rendent pertinent le recours au modèle hydrodynamique simplifié, reposant sur des bilans temporels uniquement. Quant au second, il permet de quantifier a priori l'influence des paramètres de brèche sur les débits libérés lors de la ruine d'un barrage en remblai, en fonction notamment de la capacité du réservoir. Les conclusions de ces deux développements théoriques originaux sont élégamment exprimées en termes de grandeurs adimensionnelles.

Au chapitre VI, l'application de grande envergure traitée, portant sur le complexe de l'Eau d'Heure, implique plusieurs ruptures hypothétiques en cascade, dont la ruine graduelle d'un barrage en enrochement. La modélisation de ces interactions entre l'écoulement et divers ouvrages de l'aménagement a été l'occasion de mettre en œuvre un couplage original entre connaissances empiriques et simulations numériques 2D pointues pour l'hydrodynamique, par le biais de la topographie évolutive. Plus globalement, une véritable méthodologie originale et complète a été définie pour l'analyse de la sécurité de complexes de barrages dans leur ensemble. Elle se fonde sur l'usage de plusieurs outils de modélisation judicieusement combinés.

La simulation complète de la propagation de l'onde dans la vallée aval débouche entre autres sur la production de cartes de risque et d'hydrogrammes, permettant de dégager des ordres de grandeur essentiels, tant en termes de vitesse de propagation du front, de temps de préavis, de hauteurs et de débits escomptés dans les localités touchées. Ceux-ci font état de conditions d'écoulement présentant un danger très élevé pour les personnes et se révèlent de toute première importance pour l'élaboration d'un plan d'action visant à protéger les populations et les biens en cas d'accident.

L'analyse de sensibilité détaillée qui a été entreprise a permis de mettre en lumière à quel point la modélisation des pertes par frottement demeure un élément prépondérant dans la dynamique de l'onde : le choix du coefficient de frottement s'avère en l'occurrence d'une importance comparable à celle de la détermination des paramètres de brèche !

Rappelons aussi que les outils mis au point ici et les connaissances engrangées sont applicables à d'autres types d'inondations. Ils possèdent, en effet, un champ d'application extrêmement vaste, d'autant plus qu'ils peuvent également être réinvestis en tant qu'outils d'aide à la décision pour orienter la gestion et la maintenance des ouvrages. Par exemple, dans le cas de nombreuses digues du sud de la France partiellement négligées à ce jour, une étude

hydraulique de rupture pourrait aboutir à des décisions pragmatiques tenant compte du coût de réfection et de celui associé aux dommages en cas de rupture.

### *Modèle d'écoulement et de transport d'air*

A la base du modèle mis en œuvre pour l'étude d'écoulements aérés sur des coursiers munis de macro-rugosités, et validé dans ce cadre, se situe l'association originale des différentes techniques suivantes :

- axes de référence fortement inclinés ;
- exploitation de profils de vitesse non uniformes au sein des équations moyennes, grâce à un coefficient de Boussinesq distribué et calculé automatiquement en fonction de la géométrie et du résultat hydrodynamique ;
- évaluation des pertes en tenant compte des surfaces réelles inclinées et des bords frottants.

Cette approche débouche sur des résultats dotés d'un intérêt pratique incontestable, et ce, à un coût de calcul extraordinairement bas.

### *Modèle hydrosédimentaire couplé*

Le modèle couplant l'écoulement et le transport solide se distingue par sa grande généralité, puisqu'il permet d'appréhender aussi bien un transport à l'équilibre que hors équilibre, avec contributions advective et diffusive, et ce tant selon une vision couplée physiquement que découplée de ce point de vue. L'intégration temporelle est effectuée selon une philosophie totalement couplée numériquement, tandis qu'un découplage numérique avait été mis en œuvre au cours de notre DEA. Les débits solides induits par la gravité (instabilités de talus) sont explicitement pris en compte. Ce modèle complet a été appliqué à plusieurs exemples 1D et 2D, aussi bien académiques que réels.

Un développement analytique original démontre la transition continue existant entre les modèles classiques de transport par charriage et ceux usuellement mis à profit pour le transport par suspension.

### *Exploitation des équations de moment*

Le modèle combinant équations de conservation moyennes et équations de moment (DAM-10) généralise les formulations théoriques disponibles jusqu'à présent dans la littérature. En effet, il inclut non seulement l'effet de l'inclinaison des axes de référence, mais aussi des termes généraux d'injection ou d'infiltration, avec correction correspondante des bilans de quantité de mouvement et des équations de moment. Nous exposons en outre l'établissement, inédit à notre connaissance, de l'équation 2D de moment de continuité pour la concentration en constituant, avec termes d'injection et de retrait, généralisant de ce fait la formulation unidimensionnelle disponible dans la littérature.

Les vitesses caractéristiques du modèle DAM-5 sont calculées tant selon une vision unidimensionnelle que bidimensionnelle, et ce y compris en tenant compte du couplage avec le modèle de transport de constituant. De la même manière, l'analyse de stabilité du schéma numérique original proposé est effectuée en toute généralité. Ces deux aspects sont à notre connaissance totalement inédits dans la littérature spécialisée, tout comme la résolution du modèle par une méthode de volumes finis.



### *Prise en compte de la courbure dans le plan vertical*

Finalement, en ce qui concerne les équations basées sur un formalisme en coordonnées curvilignes, nous proposons une procédure d'établissement du modèle distincte de celles publiées antérieurement, car elle se base directement sur l'intégration des équations locales selon l'épaisseur de lame. Ce pan de nos travaux a d'ailleurs débouché sur une publication majeure, acceptée dans le « Journal of Hydraulic Research » de l'IAHR (« International Association of Hydraulic Research and Engineering »).

Nos apports originaux se situent également au niveau de la résolution numérique par volumes finis, et donc de l'élaboration d'un schéma de discrétisation inédit, dépendant exclusivement du signe de la courbure locale et non du régime d'écoulement.

Le modèle mis au point est doté de l'avantage considérable de permettre la simulation, au sein d'un domaine de calcul unique, des écoulements en amont d'une structure déversante, sur la structure (crête et coursier) et en son aval (restitution). Le modèle s'érige de ce fait en outil privilégié d'aide à la conception de ce type d'ouvrages.

## **XI.3 Perspectives de recherches**

A l'issue des recherches effectuées, de nombreuses perspectives d'approfondissements et d'orientations nouvelles apparaissent comme prometteuses. Certaines d'entre-elles sont particulièrement favorisées par l'accroissement permanent des capacités informatiques, ainsi que par la disponibilité de données distribuées sans cesse plus précises.

Tout d'abord, force est de constater que le modèle d'écoulement et de transport développé voit s'ouvrir un vaste champ d'applications dans le domaine de l'étude de la propagation de polluants dans les eaux de surface. La modélisation très fiable des effets advectifs et une analyse affinée de la diffusion feront de ce modèle un outil particulièrement adapté à une large gamme d'études d'impact et d'analyses de risque impliquant des pollutions hydriques.

En ce qui concerne l'évaluation des risques liés aux ruptures de barrages en terre ou en enrochement, les outils de prédictions actuels demeurent entachés d'incertitudes, dues non seulement à la nature des aléas mais aussi à certaines insuffisances dans les connaissances scientifiques. Ces incertitudes devront être quantifiées avec la plus grande rigueur en vue de les réduire au maximum. Dans cette optique, des collaborations internationales établies dans le cadre de projets de recherche européens nous permettront d'accéder à des données de référence d'une qualité et d'une précision jamais égalées antérieurement, aussi bien sur modèles réduits que sur prototypes (par ex. digues hautes de 6 m, instrumentées, et dont la rupture par surverse ou effet renard est provoquée artificiellement). Nous exploiterons ces données pour améliorer encore davantage les capacités prédictives du modèle.

Par ailleurs, les essais de rupture graduelle de digue, menés sur modèles réduits à l'Université de Liège, ont rappelé le rôle significatif joué par l'écoulement interne dans le mécanisme de ruine progressive de la structure. L'étude de la sécurité de tels barrages requiert donc idéalement un modèle couplant à la fois l'écoulement à surface libre externe et l'écoulement au sein du milieu poreux. Les défis restant à relever résident bien entendu dans la caractérisation des échanges entre les deux modes d'écoulement, dans l'évaluation des pertes subies par l'écoulement interne transitoire et dans la modélisation du transport solide induit (y compris les instabilités de pentes).



Il importera également d'intégrer ce type d'études hydrauliques au sein d'un processus nettement plus large d'appréciation et de gestion du risque de rupture, tel que schématisé à la Figure XI-1. Il sera dès lors possible de mettre au point un véritable outil d'aide à la décision en matière de minimisation du risque dans le contexte d'une gestion à la fois efficace et sécuritaire des ouvrages.

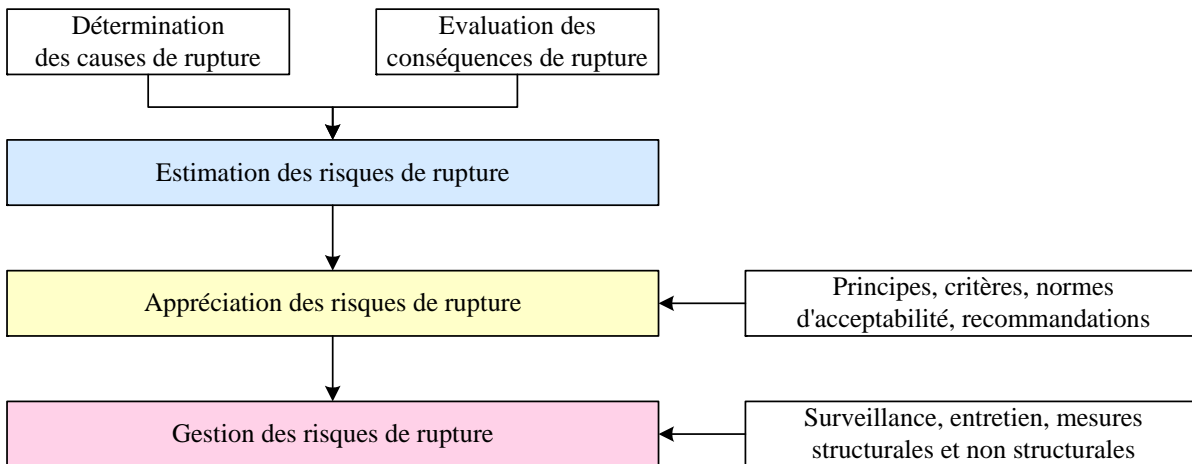


Figure XI-1 : La gestion du risque de rupture de barrage (d'après C. Marche, 2004).

L'analyse fine des mesures expérimentales effectuées à l'EPFL sur les coursiers en marches d'escalier remet en question l'hypothèse de pression hydrostatique dans la direction normale au fond moyen, telle qu'admise lors des simulations numériques. Cette caractéristique de l'écoulement devrait donc être transposée au sein du modèle de calcul, ce qui est toutefois susceptible de complexifier sensiblement la procédure de résolution des équations. De même, des recherches plus approfondies restent nécessaires en ce qui concerne l'évaluation du taux de dissipation d'énergie et il est envisageable de généraliser le modèle de simulation de façon à tenir compte d'une distribution non uniforme sur la hauteur de la concentration en air.

Les travaux déjà exécutés ont abouti à l'identification d'une formulation mathématique idoine pour le modèle couplant totalement l'hydrodynamique et le transport solide. Des recherches devront néanmoins encore être poursuivies en vue de perfectionner plusieurs aspects de la modélisation (instabilités de berges, rhéologie des écoulements de débris, granulométrie étendue, ...) et de parfaire la validation. Il conviendra notamment de quantifier par une analyse plus systématique l'incidence du couplage physique entre phases liquide et solide et, de la sorte, les transferts de quantité de mouvement entre l'écoulement et les sédiments transportés pourront être validés.

Le modèle incorporant les équations de moment doit cependant encore bénéficier de développements complémentaires. Ceux-ci porteront, dans un premier temps, sur la discrétisation des termes non conservatifs, entre autres dans le but de permettre la gestion de frontières évolutives (mailles immergées ou émergées). Dans un deuxième temps, le modèle actuel devra se voir adjoindre une représentation complète et adaptée de la turbulence. En troisième lieu, le modèle hydrodynamique enrichi sera exploité conjointement avec divers modèles de transport solide, de sorte que la connaissance améliorée des champs hydrodynamiques puisse se répercuter en termes de prévision plus précise des évolutions topographiques. Il sera particulièrement porteur d'exploiter un modèle de transport de matériaux en suspension tenant compte d'une répartition non uniforme de la concentration en

sédiments selon la hauteur, répartition régie elle aussi par une équation de moment spécifique. Enfin, la validation du modèle dans des canaux courbes sera encore poursuivie, notamment à l'aide de données très précises obtenues tant sur base d'une topographie fixe que sur base d'une topographie érodable.

Plus globalement, des améliorations seront encore à apporter à l'ensemble de la filière de modélisation, dans le but d'atteindre un réalisme accru lors de l'évaluation des pertes, notamment en présence de végétation de taille importante.

## XI.4 Remarques finales

En définitive, nous tenons à souligner deux caractéristiques essentielles de la recherche doctorale entreprise.

Une démarche *systématique* a été privilégiée lors de chaque étape, abordant successivement la description phénoménologique, mathématique puis numérique du processus étudié pour parvenir enfin à l'implémentation algorithmique et à la validation sur base de mesures expérimentales. Les résultats exposés au cours de cette thèse sont donc le fruit d'une véritable recherche *fondamentale* (formulation des modèles, propriétés mathématiques, analyses de stabilité de schémas, ...), qui, toutefois, s'inscrit pleinement dans le domaine des sciences *appliquées*, du fait qu'elle débouche sur un niveau de modélisation d'un intérêt pratique avéré pour des concepteurs d'ouvrages, et pour des gestionnaires tant publics que privés (par ex. cartes de risque, ...).

Rappelons aussi que ce doctorat a permis d'unifier la description d'une vaste gamme d'écoulements et de phénomènes de transport. Il ouvre de la sorte la voie à un large éventail d'applications environnementales, impliquant à la fois des écoulements complexes et diverses formes de transport de polluants ou de sédiments. A cela s'ajoute la composante « analyse de risque », qui dote l'outil de modélisation d'une fonctionnalité pratique accrue en l'élevant au rang de véritable outil d'aide à la décision tant en matière de gestion de l'environnement que de sécurité des ouvrages hydrauliques.

Ces travaux de recherches, s'inscrivant dans le cadre de la modélisation des ressources hydriques et de l'évaluation des risques concomitants, trouvent ainsi tout leur sens dans le contexte contemporain de multiplication et d'intensification des enjeux liés à l'eau. Ceci place, de surcroît, la gestion efficace, durable et démocratique de l'eau, ainsi que des bassins versants, au rang des défis majeurs du XXI<sup>ème</sup> siècle.



## A. BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

---

- [1] Abbott, M.B., *Computational Hydraulics, Elements of the Theory of Free Surface Flows*. 1992, Brookfield: Ashgate, 326 p.
- [2] Alcrudo, F. et P. Garcia-Navarro, *A high resolution Godunov-type scheme in finite volumes for the 2D shallow-water equations*. *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 1993. **16**: p. 489-505.
- [3] Anastasiou, K. et C.T. Chan, *Solution of the 2D shallow water equations using finite volume method on unstructured triangular meshes*. *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 1997. **24**: p. 1225-1245.
- [4] André, S., *High velocity aerated flows over stepped chutes with macro-roughness elements*. *Communications du Laboratoire de Constructions Hydrauliques*, ed. A. Schleiss. Vol. 20. 2004, Lausanne: EPFL, 272 p.
- [5] André, S., J.-L. Boillat et A. Schleiss. *High velocity two-phase turbulent flow over macro-roughness stepped chutes: Focus on dynamic pressures*. in *Int. Symposium on Environmental Hydraulics*. 2001. Tempe, Arizona, USA.
- [6] André, S., J.-L. Boillat et A. Schleiss. *Efficient surface protection by macro-roughness linings for overtopped embankment dams*. in *Int. congress on conservation and rehabilitation of dams*. 2002: Balkema.
- [7] André, S., B.J. Dewals, M. Pirotton et A. Schleiss, *Quasi 2D-numerical model of aerated flow over stepped chutes*, in *Proc. 30th IAHR Congress*, J. Ganoulis and P. Prinos (eds). Vol. D. 2003, IAHR: Thessaloniki, Grèce. p. 671-678.
- [8] Andrews, D.P., S.E. Coleman, M.G. Webby, B.W. Melville et S. Coleman, *Noncohesive embankment failure due to overtopping flow*, in *Proc. XXVIII IAHR Congress*. 1999, IAHR: Graz.
- [9] Archambeau, P., *Contributions à la modélisation de la genèse et de la propagation des crues et inondations : de la précipitation aux plaines inondables*. 2006, Thèse de doctorat (en préparation), Université de Liège.
- [10] Archambeau, P., T. Mouzelard, S. Erpicum et M. Pirotton, *Wolf-1D, an effective free-surface flow solver for the computation of compound channels*.
- [11] Archambeau, P., B. Dewals, S. Erpicum, T. Mouzelard et M. Pirotton, *Wolf software: a fully integrated device applied to modelling gradual dam failures and assessing subsequent risks*, in *Advances in Fluid Mechanics IV*, M. Rahman, R. Verhoeven, and C.A. Brebbia (eds). 2002, WIT Press.
- [12] Archambeau, P., B. Dewals, S. Detrembleur, S. Erpicum et M. Pirotton, *A set of efficient numerical tools for floodplain modeling*, in *Shallow Flows*, G.H. Jirka and W.S.J. Uijtewaal (eds). 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 549-557.
- [13] Archambeau, P., B. Dewals, S. Erpicum, S. Detrembleur et M. Pirotton, *New trends in flood risk analysis: working with 2D flow models, laser DEM and a GIS environment*, in

- Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 2. 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 1395-1401.
- [14] Armanini, A. et G.D. Silvio, *A one-dimensional model for the transport of a sediment mixture in non-equilibrium conditions*. J. Hydraul. Res., 1988. **26**(3): p. 275-292.
- [15] Aureli, F., A. Maranzoni et P. Mignosa, *Two dimensional modeling of rapidly varying flows by finite volume schemes*, in *Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 2. 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 837-847.
- [16] Balayn, P., *Contribution à la modélisation numérique de l'évolution morphologique des cours d'eau aménagés lors de crues*. 2001, Thèse de doctorat, Université Claude-Bernard, Lyon 1: 139 p.
- [17] Bayram, A., M. Larson, H.C. Miller et N.C. Kraus, *Cross-shore distribution of longshore sediment transport: comparison between predictive formulas and field measurement*. Coastal Engineering, 2001. **44**: p. 79-99.
- [18] Beckers, J.-M., *La méditerranée occidentale : de la modélisation mathématique à la simulation numérique*. 1995, Thèse de doctorat, Université de Liège: 341 p.
- [19] Beffa, C.J., *Praktische Lösung der tiefengemittelten Flachwassergleichungen*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie un Glaziologie, ed. D. Vischer. Vol. 133. 1994, Zürich: ETHZ, 128 p.
- [20] Bellahcene, T., *Analyse de l'écoulement sur un évacuateur en marches d'escalier*. 1996, Mémoire de maîtrise (promoteur : Prof. A.G.H. Lejeune), Université de Liège: 145 p.
- [21] Ben Slama, E., P. Gosse et P. Tarral, *Site de Nam Theun. Etude du seuil labyrinthe sur modèle physique*. Février 2002, EDF R&D (LNHE): 30 p.
- [22] Benmamar, S., A. Kettab et C. Thirriot, *Numerical simulation of turbulent flow upstream of the inception point in a stepped channel*, in *Proc. XXX IAHR Congress*. Vol. D. 2003: Thessaloniki. p. 679-686.
- [23] Benmamar, S., N. Smakghi et A. Kettab, *Approche numérique du calcul du point d'inception dans les canaux en marches d'escaliers*. Houille Blanche-Rev. Int., 2004(1): p. 83-87.
- [24] Berger, R.C. et G.F. Carey, *Free-surface flow over curved surfaces - Part I: perturbation analysis*. Int. J. Numer. Meth. Fluids, 1998. **28**(2): p. 191-200.
- [25] Berger, R.C. et G.F. Carey, *Free-surface flow over curved surfaces - Part II: computational model*. Int. J. Numer. Meth. Fluids, 1998. **28**(2): p. 201-213.
- [26] Bernoulli, D., *Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*. 1738, Strasbourg.
- [27] Bieberstein, A., J. Queißer et H. Wörshing. *Open stone asphalt - A revetment for dams and embankments designed for overtopping*. in *Proc. Int. Workshop "Stability and Breaching of Embankment Dams"*. 2004. Oslo, Norvège.
- [28] Bister, D., B. Keignart, P.L. Delliou et A. Petitjean. *Sécurité des barrages : nouvelle approche de la réglementation française*. in *19ème Congrès des Grands Barrages*. 1997. Florence: ICOLD.
- [29] Boes, R.M., ed. *Zweiphasenströmung und Energieumsetzung an Grosskaskaden*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie un Glaziologie, ed. H.-E. Minor. Vol. 166. 2000, ETHZ: Zurich.
- [30] Bonsignori, M., *Analyse sur modèle physique des modes de rupture d'un barrage en enrochements*. 2005, Travail de fin d'études, Université de Liège et Università di Pisa (Italie): 97 p.

- [31] Bornschein, A. et R. Pohl, *Dam break during the flood in Saxony/Germany in August 2002*, in *Proc. 30rd IAHR Congress*, J. Ganoulis and P. Prinos (eds). Vol. C. 2003, IAHR: Thessaloniki, Grèce. p. 229-236.
- [32] Bouchard, J.P., F. Maurel et A. Petitjean. *Sedimental Impact of Reservoir Emptying: Prediction tools and site investigation*. in *International Water Research Symposium*. 1997. Aachen, Germany.
- [33] Bouchard, J.-P. *La gestion des sédiments par chasse : outils d'optimisation et de prévision d'impact*. in *Gestion des Sédiments : de la source à la mer*. 2001. Lyon: Société Hydrotechnique de France.
- [34] Brebbia, C.A., W.L. Wendland et G. Kuhn, eds. *Fluid flow and potential applications*. Boundary elements IX. Vol. 3. 1987, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg. 642 p.
- [35] Bretar, F., M. Chesnier, M. Roux et M. Pierrot-Deseilligny, *Analyse quantitative de données laser 3D : classification et modélisation du terrain*. *Revue Française de Photogramétrie et Télédétection*, 2004. **176**(4): p. 21-29.
- [36] Broich, K., *Computergestützte Analyse des Dammerosionsbruchs*. Institut für Wasserwesen - Mitteilungen. Vol. 61. 1997: Universität der Bundeswehr München, 174 p.
- [37] Broich, K. *Sediment transport in breach formation process*. in *3rd IMPACT Project Workshop*. 2003. Louvain-la-Neuve.
- [38] Broich, K. *Breach location and breach analysis for levees*. in *4th IMPACT Project Workshop*. 2004. Zaragoza, Espagne.
- [39] Broich, K., *Breach location - Work Package 2.4: Identification of possible breach locations*, Rapport technique du projet européen IMPACT: 9 p.
- [40] Broich, K., *Identifying potential breach location*, Rapport technique du projet européen IMPACT (Deliverable D2.4.1): 41 p.
- [41] Bronstert, A., A. Ghazi, J. Hladny, Z.W. Kundzewicz et L. Menzel, eds. *Proc. European expert meeting on the Oder Flood 1997 - RIBAMOD concerted action*. 1999, European Commission. 163 p.
- [42] Bruch, E.K., *The boundary element method for groundwater flow*. Lecture notes in engineering, ed. C.A. Brebbia and S.A. Orszag. Vol. 70. 1991, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 119 p.
- [43] Brufau, P. et P. Garcia-Navarro, *Two-dimensional dam break flow simulation*. *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 2000. **33**: p. 35-37.
- [44] Brufau, P., P. Garcia-Navarro, P. Ghilardi, L. Natale et F. Savi, *1D mathematical modelling of debris flow*. *J. Hydraul. Res.*, 2000. **38**(6): p. 435-446.
- [45] Caleffi, V. et A. Valiani. *A mathematical model for dam-break over movable bed*. in *Proc. 1st Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2002, Louvain-la-Neuve, Belgium, 4-6 september 2002*. 2002. Rotterdam: Balkema.
- [46] Caleffi, V., A. Valiani et A. Zanni, *Finite volume method for simulating extreme flood events in natural channels*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 2003. **41**(2): p. 167-177.
- [47] Canovaro, F., E. Paris et L. Solari, *Analysis of resistance of flow over macro-scale roughness: first results*, in *Proc. XXX IAHR Congress*, J. Ganoulis and P. Prinos (eds). Vol. C-II. 2003, IAHR: Thessaloniki, Grèce. p. 1-8.
- [48] Canovaro, F., E. Paris et L. Solari, *Influence of macro-roughness arrangement on flow resistance*, in *Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 1. 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 287-293.

- [49] Capart, H., *Dam-break induced geomorphic flows and the transitions from solid- to fluid-like behaviour across evolving interfaces*. 2000, Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain: 208 p.
- [50] Capart, H. et D.L. Young, *Formation of a jump by the dam-break wave over a granular bed*. *J. Fluid Mech.*, 1998. **372**: p. 165-187.
- [51] Chang, H.H., *Fluvial Processes in River Engineering*. 1988, New York: Wiley, 432 p.
- [52] Chanson, H., *Hydraulic design of stepped cascades, channels, weirs and spillways*. 1994: Pergamon, 261 p.
- [53] Chanson, H., *Air bubble entrainment in free-surface turbulent shear flows*. 1996: Academic Press, 348 p.
- [54] Chanson, H., *Air bubble entrainment in open channels: flow structure and bubble size distribution*. *Int. J. Multiph. Flow*, 1997. **23**(1): p. 193-203.
- [55] Chanson, H., *The Hydraulics of open Channel Flow*. 1999, Oxford: Butterworth-Heinemann, 495 p.
- [56] Chanson, H., *Two-phase flow characteristics of an unsteady dam break wave flow*, in *Proc. XXX IAHR Congress*, J. Ganoulis and P. Prinos (eds). Vol. C-II. 2003, IAHR: Thessaloniki, Grèce. p. 237-244.
- [57] Chanson, H., *Application of the Saint-Venant equations and method of characteristics to the dam break wave problem*. May 2005, Dept. of Civil Engineering, The University of Queensland: Brisbane, Australia: 135 p.
- [58] Chanson, H., Y. Yasuda et I. Ohtsu, *Flow resistance in skimming flows in stepped spillways and its modelling*. *Can. J. Civ. Eng.*, 2002. **29**: p. 809-819.
- [59] Chassaing, P., *Turbulence en mécanique des fluides, Analyse du phénomène en vue de sa modélisation par l'ingénieur*. 2000, Toulouse: Cépaduès, 625 p.
- [60] Chaudhry, M.H., *Open-Channel Flow*. 1993, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 483 p.
- [61] Chen, Q., G. Dai et H. Liu, *The Turbulence Numerical Simulation for the Stepped Spillway Overflow*, in *21st century : the new era for hydraulic research and its applications : XXIX IAHR Congress*. 2001, Tsinghua University Press: Beijing, China.
- [62] Chen, Q., G. Dai et H. Liu, *Volume of Fluid Model for Turbulence Numerical Simulation of Stepped Spillway Overflow*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 2002. **128**(7): p. 683-688.
- [63] Christodoulou, G.C., *Design of stepped spillways for optimal energy dissipation*. *Hydropower & Dams*, 1999. **5**: p. 90-93.
- [64] Ciaravino, L., *Observations concerning erosion in model of a mobile river bed*, in *Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 1. 2004, A.A. Balkema: Leiden, etc. p. 647-654.
- [65] Coleman, S.E. et D.P. Andrews, *Overtopping breaching of noncohesive homogeneous embankments*. July 2000, The University of Auckland: Auckland.
- [66] Coleman, S.E., D.P. Andrews et M.G. Webby, *Overtopping breaching of noncohesive homogeneous embankments*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 2002. **128**(9): p. 829-838.
- [67] Collard, M., *Etude expérimentale et théorique des écoulements biphasiques sur les évacuateurs en marches d'escalier*. 2003, Travail de fin d'études, University of Liege: 114 p.
- [68] Courivaud, J.-R., F. Lempérière et J.-J. Fry. *Modelling of breach formation and progression*. in *Proc. Int. Workshop "Stability and Breaching of Embankment Dams"*. 2004. Oslo, Norvège.

- [69] Crescendeau, *Projet de cartographie des zones d'inondation - Estimation des débits extrêmes*. 2005.
- [70] Cummings, P.D. et H. Chanson, *An experimental study of individual air bubble entrainment at a planar plunging jet*. Trans IChem E, 1999. **77**(Part A): p. 159-164.
- [71] Dam Safety Office, *Dam safety guidelines: Dam break inundation analysis and downstream hazard classification*, Washington State - Department of Ecology.
- [72] Delanaye, M., *Polynomial Reconstruction Finite Volume Schemes for the Compressible Euler and Navier-Stokes Equations on Unstructured Adaptive Grids*. 1998, Thèse de doctorat, Université de Liège: 187 p.
- [73] Dewals, B., *Modélisation numérique de processus de transport sédimentaire en rivière*. Tribune de l'eau, 2001. **54**(611): p. 45-56.
- [74] Dewals, B., *Modélisation numérique du transport sédimentaire*. 2001, Travail de fin d'études, Université de Liège: 180 p.
- [75] Dewals, B., *Développement de modèles hydrosédimentaires pour la gestion de grands ouvrages hydrauliques*. 2002, Mémoire de DEA, Université de Liège: 133 p.
- [76] Dewals, B., *Modélisation numérique du transport solide en constructions hydrauliques*. 2002, Rapport interne: Université de Liège.
- [77] Dewals, B., P. Archambeau, S. Erpicum, T. Mouzelard et M. Pirotton, *Dam-break hazard mitigation with geomorphic flow computation, using WOLF 2D hydrodynamic software*, in *Risk Analysis III*, C.A. Brebbia (ed). 2002, WIT Press. p. 59-68.
- [78] Dewals, B., P. Archambeau, S. Erpicum, T. Mouzelard et M. Pirotton. *An integrated approach for modelling gradual dam failures and downstream wave propagation*. in *Proc. 1st IMPACT Project Workshop*. 2002. Wallingford.
- [79] Dewals, B., P. Archambeau, S. Erpicum, T. Mouzelard et M. Pirotton. *Coupled computations of highly erosive flows with WOLF software*. in *Proc. 5th Int. Conf. on Hydro-Science & -Engineering*. 2002. Warsaw.
- [80] Dewals, B.J., S. André, A. Schleiss et M. Pirotton. *Validation of a quasi-2D model for aerated flows over stepped spillways for mild and steep slopes*. in *Proc. 6th Int. Conf. of Hydroinformatics*. 2004. Singapore.
- [81] Dewals, B.J., P. Archambeau, S. Erpicum, S. Detrembleur et M. Pirotton. *Comparative analysis of the predictive capacity of breaching models for an overtopped rockfill dam*. in *Proc. Int. Workshop "Stability and Breaching of Embankment Dams"*. 2004. Oslo, Norvège.
- [82] Dewals, B.J., S. Erpicum, P. Archambeau, S. Detrembleur, C. Fraikin et M. Pirotton. *Large scale 2D numerical modelling of reservoirs sedimentation and flushing operations*. in *Proc. 9th Int. Symposium on River Sedimentation*. 2004. Yichang, Chine.
- [83] Dressler, R.F., *New Nonlinear Shallow Flow Equations with Curvature*. J. Hydraul. Res., 1978. **16**(3): p. 205-222.
- [84] Dressler, R.F. et V. Yevjevich, *Hydraulic-resistance terms modified for the Dressler curved-flow equations*. J. Hydraul. Res., 1984. **22**(3): p. 145-156.
- [85] Dubois, J., *Comportement hydraulique et modélisation des écoulements de surface*. Communication 8, Laboratoire de constructions hydrauliques, ed. A. Schleiss. 1998, Lausanne.
- [86] Dupont, E., *Etude de rupture d'un barrage hétérogène en enrochement*. 2005, Travail de fin d'études, Université de Liège: 160 p.



- [87] Elgamal, M.H. et P.M. Steffler. *A bed stress model non-uniform open channel flow*. in *Proc. 29th annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*. 2001. Victoria, British Columbia.
- [88] Erduran, K.S. et V. Kutija, *Numerical model for flow through flexible vegetation*, in *Proc. XXX IAHR Congress*, J. Ganoulis and P. Prinos (eds). Vol. C-II. 2003, IAHR: Thessaloniki, Grèce. p. 31-38.
- [89] Erpicum, S., *Contribution à la modélisation de la turbulence en écoulements quasi-tridimensionnels à surface libre. Maillage adaptatif multibloc et calage objectif des paramètres*. 2006, Thèse de doctorat (en préparation), Université de Liège.
- [90] Erpicum, S., P. Archambeau, B. Dewals, T. Mouzelard et M. Piroton, *Optimising a cascade of hydroelectric power stations with the WOLF package*, in *Water Resources Management*, C.A. Brebbia (ed). Vol. 2. 2003, WIT Press. p. 65-74.
- [91] Erpicum, S., P. Archambeau, B. Dewals, S. Detrembleur et M. Piroton. *Computation of the Malpasset dam break with a 2D conservative flow solver on a multiblock structured grid*. in *Proc. 6th Int. Conf. of Hydroinformatics*. 2004. Singapore.
- [92] Erpicum, S., B.J. Dewals, P. Archambeau, S. Detrembleur, C. Fraikin et M. Piroton. *Global design of hydraulic structures optimised with physically based flow solvers on multiblock structured grids*. in *Proc. 9th Int. Symposium on River Sedimentation*. 2004. Yichang, Chine.
- [93] Essers, J.-A., *Compléments d'analyse numérique - Notes de cours*, Université de Liège.
- [94] Essers, J.-A., *Méthodes numériques appliquées à la mécanique des fluides - Notes de cours*, Université de Liège.
- [95] Fäh, R., *Numerische Simulation der Strömung in offenen Gerinnen mit beweglicher Sohle*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ed. D. Vischer. Vol. 153. 1997, Zürich: ETHZ, 161 p.
- [96] Falvey, H.T., *Air-water flow in hydraulic structures*. Engineering Monograph. Vol. 41. 1990, Denver, Colorado, USA: Bureau of Reclamation.
- [97] Ferziger, J.H. et M. Peric, *Computational methods for fluid dynamics*. 3<sup>e</sup> ed. 2002, Berlin: Springer, 423 p.
- [98] Fischer, *Mixing in inland and coastal waters*. 1979, New York: Academic Press, 483 p.
- [99] Flaherty, J., L. Krivodonova, J.-F. Remacle et M. Shephard, *Aspects of discontinuous Galerkin methods for hyperbolic conservation laws*. Finite Elements in Analysis and Design, 2002. **38**: p. 889-908.
- [100] Fraccarollo, L. et A. Armanini. *A semi-analytical solution for the dam-break problem over a movable bed*. in *Proc. XXVIII IAHR Congress*. 1999. Graz, Autriche.
- [101] Fraccarollo, L. et H. Capart, *Riemann wave description of erosional dam-break flows*. J. Fluid Mech., 2002. **461**: p. 183-228.
- [102] Fraccarollo, L., H. Capart et Y. Zech, *A Godunov method for the computation of erosional shallow water transients*. Int. J. Numer. Meth. Fluids, 2003. **41**: p. 951-976.
- [103] Froehlich, D.C., *Peak outflow from breached embankment dam*. J. Water Resour. Plan. Manage.-ASCE, 1995. **121**(1): p. 90-97.
- [104] Froehlich, D.C. *IMPACT Project field tests 1 and 2: "blind" simulation by DaveF*. in *2nd IMPACT Project Workshop*. 2002. Mo-i-Rana.
- [105] Fujihara, M. et A.G.L. Borthwick, *Godunov-type solution of curvilinear shallow-water equations*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 2000. **126**(11): p. 827-835.

- [106] Galappatti, G. et C.B. Vreugdenhil, *A depth-integrated model for suspended sediment transport*. J. Hydraul. Res., 1985. **23**(4): p. 359-375.
- [107] Gallati, M. et D. Sturla, *Sph simulation of dam-break flow in shallow water approximation*, in *Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 2. 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 919-928.
- [108] Ghamry, H.K. et P.M. Steffler, *Effect of applying different distribution shapes for velocities and pressure on simulation of curved open channels*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 2002. **128**(11): p. 969-982.
- [109] Ghamry, H.K. et P.M. Steffler, *Two dimensional vertically averaged and moment equations for rapidly varied flows*. J. Hydraul. Res., 2002. **40**(5): p. 579-587.
- [110] Godard, B., *Etude de modèles de turbulence à équations supplémentaires intégrées sur la hauteur*. 2004, Travail de fin d'études, Université de Liège.
- [111] Goguel, B., *Digues rompues de Grosagny (30.12.01)*. 2005: Visite BGL CND 03.07.02.
- [112] Goguel, B., *Barrage de Djorf-Torba sur l'Oued Guir*. 2005: Colloque technique, Alger, 22 mars 2005.
- [113] Goguel, B., *Gros défauts sur petit barrage*. 2005.
- [114] Graf, W.H. et M.S. Altinakar, *Hydraulique fluviale*. 1ère ed. Traité de Génie civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, ed. R. Walther. Vol. 16. Tome 1: Ecoulement permanent uniforme et non uniforme. 1993, Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 259 p.
- [115] Graf, W.H. et M.S. Altinakar, *Hydraulique fluviale*. 1ère ed. Traité de Génie civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, ed. R. Walther. Vol. 16. Tome 2: Ecoulement non permanent et phénomènes de transport. 1996, Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 378 p.
- [116] Guinot, V., *Riemann solvers and boundary conditions for two-dimensional shallow water simulations*. Int. J. Numer. Methods Fluids, 2003. **41**(11): p. 1191-1219.
- [117] Guo, Q.-C. et Y.-C. Jin, *Modeling Sediment Transport Using Depth-Averaged and Moment Equations*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 1999. **125**(12): p. 1262-1269.
- [118] Haider, S., A. Paquier, R. Morel et J.Y. Champagne, *Urban flood modelling using computational fluid dynamics*. Water and Maritime Engineering, 2003. **155**(WM2): p. 129-135.
- [119] Hanson, G. *Soil parameter development for a breach headcut migration model based on experience from dam incidents and results from model tests*. in *Proc. Int. Workshop "Stability and Breaching of Embankment Dams"*. 2004. Oslo, Norvège.
- [120] Hanson, G., K. Cook et D. Temple. *Soil parameter development for a breach headcut migration model based on experience from dam incidents and results from model tests*. in *Proc. Annual Conf. Association of State Dam Safety Officials*. 2002. Tampa, Floride, USA.
- [121] Harms, M., S. Briechle et J. Köngeter, *Dike-break induced flow: validation of numerical simulations and case study*, in *Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 2. 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 937-944.
- [122] Hersberger, D.S., *Wall roughness effects on flow and scouring in curved channels with gravel bed*. Laboratoire de Constructions Hydrauliques, ed. A. Schleiss. Vol. 14. 2003, Lausanne: EPFL, 390 p.

- [123] Hervouet, J.-M., *Hydrodynamique des écoulements à surface libre - Modélisation numérique avec la méthode des éléments finis*. 2003, Paris: Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 311 p.
- [124] Hervouet, J.-M. et C. Villaret, *Integrated approaches for modeling sediment transport*, in *Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 1. 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 495-500.
- [125] Heymans, L. *Le fond de plan cartographique à grande échelle de la région wallonne*. in *Actes du Salon Milieu*. 2002. Bruxelles, Belgique.
- [126] Hidroven, *Falla de la represa "El Guapo"*. 2005.
- [127] Hirsch, C., *Numerical Computation of Internal and External Flows - Fundamentals of Numerical Discretization*. Vol. 1. 1988, Chichester: Wiley, 515 p.
- [128] Hirsch, C., *Numerical Computation of Internal and External Flows - Computational Methods for Inviscid and Viscous Flows*. Vol. 2. 1990, Chichester: Wiley, 691 p.
- [129] Hughes, W.F. et E.W. Gaylord, *Basic equations of engineering science*. Schaum's outline series. 1964: McGraw-Hill.
- [130] ICOLD, *Etude d'onde de rupture de barrage, Synthèse et recommandations*. 1998, Paris: Commission Internationale des Grands Barrages, Bulletin 111, 301 p.
- [131] ICOLD - CIGB, *World register of dams - Registre mondial des barrages*. 2003.
- [132] Ilhan, M.H., *Computation of flow over vertically curved channels*, in *Gradual School of Natural and Applied Sciences*. 1994, Master thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- [133] Jin, Y.-C. et P.M. Steffler, *Predicting flow in curved open channels by depth-averaged method*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 1993. **119**(1): p. 109-124.
- [134] Jin, Y.-c. et Q. Guo. *Modeling erosion and deposition by 1D depth-averaged moment equations*. in *Proc. Ninth International Symposium on River Sedimentation*. 2004. Yichang, Chine: Tsinghua University Press.
- [135] Jirka, G.H. et W.S.J. Uijttewaal, *Shallow flows: a definition*, in *Shallow Flows*, G.H. Jirka and W.S.J. Uijttewaal (eds). 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 3-11.
- [136] Joinville, O.d., S. Saur et F. Bretar, *Le levé laser aéroporté : techniques, applications et recherche*. Bulletin d'Information de l'IGN, 2003. **74**(3): p. 37-52.
- [137] Jovanovic, M., R. Kapor, D. Komatina, D. Dordevic, N. Stefanovic et V. Jancic, *Numericka simulacija hidraulickih posledica havarija brana na pepelistima*. *Vodoprivreda (en serbo-croate)*, 2003. **35**(205-206): p. 307-312.
- [138] Julien, P.Y., *Erosion and Sedimentation*. 1995, Cambridge: Cambridge University Press, 280 p.
- [139] Khan, A.A. et P.M. Steffler, *Vertically averaged and moment equations model for flow over curved beds*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 1996. **122**(1): p. 3-9.
- [140] Khan, A.A. et P.M. Steffler, *Modelling overfalls using vertically averaged and moment equations*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 1996. **122**(7): p. 397-402.
- [141] Khuat Duy, B., *Modélisation numérique du transport par suspension et application à l'étude de l'envasement de l'accès à l'écluse de Hun*. 2004, Travail de fin d'études, Université de Liège.
- [142] Khuat Duy, B., B.J. Dewals, P. Archambeau, S. Epicum, S. Detrembleur et M. Piroton. *Modelling suspended load with moment equations and linear concentration profiles*. in *8th Int. Conf. on Fluvial Sedimentology*. 2005. Delft, Pays-Bas.

- [143] Klaassen, G.J. *FRIMAR: Flooding risks in mountain areas*. in *1st MITCH Workshop*. 2001. Delft.
- [144] Kobus, H. et H.-P. Koschitzky, *Local surface aeration at hydraulic structures*, in *Air entrainment in free-surface flows*, I.R. Wood (ed). 1991, A.A. Balkema: Rotterdam.
- [145] Köngeter, J. et C. Forkel, *Vorlesungsumdruck Hydromechanik III*. 2000: Aachen University of Technology, 128 p.
- [146] Kramer, K., ed. *Development of aerated chute flow*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie un Glaziologie, ed. H.-E. Minor. Vol. 183. 2004, ETHZ: Zurich.
- [147] Krüger, S., *Computational Contribution to Highly Supercritical Flows*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie un Glaziologie, ed. H.-E. Minor. Vol. 167. 2001, Zürich: ETHZ, 171 p.
- [148] Lacor, C., *Solution of Time Dependent Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations with the Finite Volume Method*. 1998, Vrije Universiteit Brussel: 81 p.
- [149] Lai, C., R.A. Baltzer et R.W. Schaffranek, *Conservation-form equations of unsteady open-channel flow*. *J. Hydraul. Res.*, 2002. **40**(5): p. 567-578.
- [150] Leal, J., R. Ferreira, A. Cardoso et A. Almeida. *Overview of IST Group Results on the Sediment Benchmark*. in *Proc. 3rd IMPACT Project Workshop*. 2003. Louvain-la-Neuve (Belgique).
- [151] Leal, J.G.A.B., R.M.L. Ferreira et A.H. Cardoso, *Dam-break wave propagation over a cohesionless erodible bed*, in *Proc. 30rd IAHR Congress*, J. Ganoulis and P. Prinos (eds). Vol. C. 2003, IAHR: Thessaloniki, Grèce. p. 261-268.
- [152] Lejeune, A., *Principes de la Mécanique des Fluides (Hydraulique - Aérodynamique)*. 1995, Université de Liège.
- [153] Lejeune, A., *Hydraulique maritime : notes du cours de houle*. 1996: Université de Liège.
- [154] Lejeune, A. et E. Bruch, *Application of boundary element method to groundwater*. 1988: 36 p.
- [155] Lejeune, M. et A. Lejeune. *About the energy dissipation of skimming flows over stepped spillways*. in *Hydroinformatics '94*. 1994.
- [156] Lepot, I., F. Meers et J.-A. Essers. *Multilevel prallel high order schemes for inviscid flow computations on 3D unstructured meshes*. in *ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference*. 2001. Swansea, Royaume-Uni.
- [157] Liem, R. et J. Köngeter. *The Influence of Initial Flow Conditions on the Propagation of Dam Break Waves*. in *Hydraulic Engineering for Sustainable Water Resources Management at the Turn of the Millenium: Proceedings of the XXVIII IAHR Biennial Congress*. 2000. Graz, Austria: Graz: TU.
- [158] Liem, R., S. Wick, R. Räder, K. Rettemeier et J. Köngeter. *Experiments and Reflections on the Risk of Mobile Flood Protection Walls in Urban Regions*. in *ASCE's 1999 International Water Resource Engineering Conference. Water Resources into the New Millennium: Past Accomplishments, New Challenges*. 1999. Seattle, Washington: ASCE.
- [159] Lien, H.C., T.Y. Hsieh, J.C. Yang et K.C. Yeh, *Bend-flow simulation using 2D depth-averaged model*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 1999. **125**(10): p. 1097-1108.
- [160] Liggett, *Critical depth, velocity profiles and averaging*. *J. Irrig. Drainage Eng.-ASCE*, 1993. **119**(2): p. 416-422.
- [161] Liou, M.-S. et C.J. Steffen, *A new flux splitting scheme*. *J. Comput. Phys.*, 1993. **107**: p. 23-39.

- [162] Liou, M.-S. et J.R. Edwards. *AUSM Schemes and extensions for low mach and multiphase flows*. in *30th Computational Fluid Dynamics*. 1999: von Karman Institute for Fluid Dynamics.
- [163] Louaked, M. et L. Hanich, *TVD scheme for the shallow water equations*. *J. Hydraul. Res.*, 1998. **36**(3): p. 363-378.
- [164] Lövoll, A. *Breach formation in embankment dams. Results from Norwegian field tests*. in *Proc. Int. Workshop "Stability and Breaching of Embankment Dams"*. 2004. Oslo, Norvège.
- [165] MacDonald, T.C. et J. Langridge-Monopolis, *Breaching characteristics of dam failures*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 1984. **110**(5): p. 567-586.
- [166] Marche, C., *Barrages : crues de rupture et protection civile*. 2004: Presses Internationales Polytechniques, 388 p.
- [167] Marche, C., T.T. Quach et R. Kahawita. *Dam break modelling practice at Hydro Québec*. in *CADAM Proceedings of the Zaragoza meeting*. 1999: European Commission.
- [168] Marche, C., J. Gagnon, T.-T. Quach, R. Kahawita et P. Beauchemin, *Simulation of dam failures in multidike reservoirs arranged in cascade*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 1997. **123**(11): p. 950-961.
- [169] Martinelli, R., *La folie des hommes (Vajont)*. 2002, film franco-italien tiré du livre "Sulle pelle viva" de Tina Merlin.
- [170] Mason, P.J., *Practical guidelines for the design of flip buckets and plunge pools*. *Water Power & Dam Construction*, 1993.
- [171] Matos, J., *Hydraulic design of stepped spillways over RCC dams*, in *Proc. Int. Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways*, Minor and Hager (eds). 2000, Balkema: Rotterdam. p. 187-194.
- [172] Mazaira, J.P. *Dam hazard classification in Spain*. in *CADAM Proceedings of the Zaragoza meeting*. 1999: European Commission.
- [173] Mercier, C., *Modélisation tridimensionnelle du transport sédimentaire au large de la côte belge*. 2004, Travail de fin d'études, Université de Liège: 75 p.
- [174] MET, *Quand les barrages prennent ... l'Eau d'Heure*, ed. Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports - Direction Générale des Voies Hydrauliques (D.G. 2). 1997.
- [175] Mingham, C.G. et D.M. Causon, *High-resolution finite volume method for shallow water flows*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 1998. **124**(6): p. 605-614.
- [176] Ministère des Travaux publics, *Les Barrages belges*, ed. Administration des Voies hydrauliques - Service des Barrages. 1986.
- [177] Minor, H.-E. et W.H. Hager, eds. *Hydraulics of stepped spillways*. 2000, Balkema: Rotterdam. 201 p.
- [178] Montes, J.S., *Potential-flow solution to 2D transition from mild to steep slope*. *J. Hydraul. Eng.*, 1994. **1**(5): p. 601-621.
- [179] Moreau, M., *Analyse de la stabilité du barrage de l'Eau d'Heure sous une surverse exceptionnelle*. 2004, Projet de fin d'études, Université de Liège et Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique (ENSMA, France): 54 p.
- [180] Morris, M. et J. Galland, *CADAM, Dambreak Modelling Guidelines & Best Practice*, European Commission: 43 p.
- [181] Morris, M. et M. Hassan. *Breach Formation through Embankment Dams and Flood Defence Embankments: A State of the Art Review*. in *1st IMPACT Project Workshop*. 2002. Wallingford.

- [182] Morvan, H., G. Pender, N.G. Wright et D.A. Ervine, *Three-dimensional hydrodynamics of meandering compound channels*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 2002. **128**(7): p. 674-682.
- [183] Mossa, M., Y. Yasuda et H. Chanson, eds. *Fluvial, environmental and coastal developments in hydraulic engineering*. 2004, Balkema: Leiden, etc. 235 p.
- [184] Mouzelard, T., *Contribution à la modélisation des écoulements quasi tridimensionnels instationnaires à surface libre*. 2002, Thèse de doctorat, Université de Liège: 253 p.
- [185] Mulet, J. et F. Alcrudo, *Tous case study – analysis of modelling results*. 2005, Rapport technique du projet européen IMPACT: 88 p.
- [186] Näf, D.R., *Numerische Simulation von Stosswellen in Freispiegelströmungen*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie un Glaziologie, ed. D. Vischer. Vol. 148. 1997, Zürich: ETHZ, 175 p.
- [187] Nagy, L., *Investigation of extreme floods in Hungary concerning IMPACT project*. 2002, Présentation au 1st IMPACT Project Workshop: Wallingford.
- [188] Nagy, L. *Investigate the final length of historical dam breaches*. in *Proc. Int. Workshop "Stability and Breaching of Embankment Dams"*. 2004. Oslo, Norvège.
- [189] Nujic, M., *Efficient implementation of non-oscillatory schemes for the computation of free-surface flows*. J. Hydraul. Res., 1995. **33**(1): p. 101-111.
- [190] Ødemark, E. *Accidental Flow through Embankments - Stability of downstream Slope and Toe*. in *Proc. Int. Workshop "Stability and Breaching of Embankment Dams"*. 2004. Oslo, Norvège.
- [191] Ohmoto, T., K. Nagaya, N. Nariai et K. Yakita. *Flow Characteristics of Skimming Flow In Stepped Steep Open-Channel*. in *Proc. 5th Int. Conf. on Hydro-Science & -Engineering*. 2002. Warsaw, Pologne.
- [192] Paquier, A. *Sediment transport models used by Cemagref during Impact project*. in *Proc. 1st IMPACT Project Workshop*. 2002. Wallingford.
- [193] Paquier, A., *Écoulements de surface lors des fortes inondations en ville*. Houille Blanche-Rev. Int., 2003(6).
- [194] Paquier, A. et E. Mignot. *Potentialités et limites de la modélisation hydrodynamique bidimensionnelle pour la détermination des zones inondables*. in *Actes du Colloque Inondations*. 2002. Agropolis, Montpellier, France.
- [195] Paquier, A. et M. E., *Use of 2D models to calculate flood water levels: calibration and sensitivity analysis*, in *Proc. 30rd IAHR Congress*, J. Ganoulis and P. Prinos (eds). Vol. C-II. 2003, IAHR: Thessaloniki, Grèce. p. 95-102.
- [196] Paquier, A. et A. Recking, *Advances on breach models by Cemargef during Impact project*, Rapport technique du projet européen IMPACT: 12 p.
- [197] Paquier, A., J.M. Tanguy, S. Haider et B. Zhang, *Estimation des niveaux d'inondation our une crue éclair en milieu urbain : comparaison de deux modèles hydrodynamiques sur la crue de Nîmes d'octobre 1988*. Revue des Sciences de l'Eau, 2003. **16**(1): p. 79-102.
- [198] Pegram, G.G.S., A.K. Officer et S.R. Mottram, *Hydraulics of skimming flow on modeled stepped spillways*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 1999. **125**(5): p. 500-510.
- [199] Piroton, M., *Modélisation des discontinuités en écoulement instationnaire à surface libre. Du ruissellement hydrologique en fine lame à la propagation d'ondes consécutives aux ruptures de barrages*. 1994, Thèse de doctorat, Université de Liège.
- [200] Piroton, M., *Une Approche Globale pour Modéliser la Genèse et la Propagation des Crues Naturelles ou Accidentelles*. Classe des Sciences. 1997: Académie Royale de Belgique.

- [201] Pirotton, M. et B. Dewals, *Numerical study of the silting process in the reservoir of Kol on the River Satluj (India), Study requested by Electricité de France (EDF) - Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH)*. Juin 2002, Université de Liège: 74 p.
- [202] Pirotton, M. et B. Dewals, *Simulation numérique d'opérations de chasses dans la retenue du barrage de Kol sur la rivière Satluj (Inde)*. Mai 2003, Université de Liège: 80 p.
- [203] Pirotton, M. et B.J. Dewals, *Etude de l'impact hydraulique des modes de rupture potentiels du barrage de la Plate Taille - Rapport intermédiaire n°1*. Avril 2004, Université de Liège: 48 p.
- [204] Pirotton, M. et B.J. Dewals, *Etude de l'impact hydraulique des modes de rupture potentiels du barrage de la Plate Taille - Rapport intermédiaire n°2*. Juillet 2004, Université de Liège: 66 p.
- [205] Pirotton, M. et B.J. Dewals, *Etude de l'impact hydraulique des modes de rupture potentiels du barrage de la Plate Taille - Rapport intermédiaire n°3*. Décembre 2004, Université de Liège: 57 p.
- [206] Pirotton, M. et S. Erpicum, *Etude des dispositifs de vidange de fond au barrage de l'Ourthe à Nisramont*. 7 juin 1994, Université de Liège: 101 p.
- [207] Pirotton, M. et B.J. Dewals, *Etude de l'impact hydraulique des modes de rupture potentiels du barrage de la Plate Taille - Rapport final*. Mars 2005, Université de Liège: 95 p.
- [208] Pirotton, M. et B.J. Dewals, *Etude de la ligne d'eau sur la Sambre entre Charleroi et Namur, générée par le débit correspondant à la rupture du barrage de la Plate Taille*. Mai 2005, Université de Liège: 19 p.
- [209] Pirotton, M., T. Mouzelard et S. Detrembleur, *Etude de l'impact sur l'aval de circonstances exceptionnelles d'exploitation ou de la rupture du barrage de l'Eau d'Heure*, Université de Liège.
- [210] Pirotton, M., P. Archambeau, B. Dewals, S. Erpicum et T. Mouzelard, *Cours d'Hydraulique Appliquée*. Vol. 1. 2002: Université de Liège, 988 p.
- [211] Pirotton, M., A. Lejeune, P. Archambeau, S. Erpicum et B. Dewals, *Numerical - experimental interaction in hydrodynamics: an integrated approach for the optimal management of hydraulic structures and hydrographic basins*, in *EPMESC IX - Computational Methods in Engineering and Science*. 2003, Balkema. p. 747-755.
- [212] Pirotton, M., S. Erpicum, P. Archambeau, S. Detrembleur, C. Fraikin et B. Dewals, *Le modèle WOLF : outil de modélisation d'écoulement de crue, de dimensionnement et de gestion des ouvrages hydrauliques*. La Tribune de l'Eau, 2004. **56**(624-4): p. 13-24.
- [213] Pope, S., *Turbulent flows*. 2000, Cambridge: Cambridge University Press, 771 p.
- [214] Pugh, C.A., *Hydraulic Model Studies of Fuse Plug Embankments*. December 1985, USBR: Denver: 42 p.
- [215] Rastogi, A.K. et W. Rodi, *Prediction of heat and mass transfer in open channels*. J. Hydraul. Div.-ASCE, 1978. **104**(3): p. 397-420.
- [216] Raudkivi, A.J., *Loose boundary hydraulics*. 3ème ed. 1990, Oxford: Pergamon Press, 537 p.
- [217] Reiter, P. *Considerations on urban areas and floating debris in dam-break flood modelling*. in *Séminaire du projet européen RESCDAM*. 2000. Seinäjoki, Finlande.
- [218] Remacle, J.-F., J.E. Flaherty et M.S. Shephard, *An adaptive discontinuous Galerkin technique with an orthogonal basis applied to compressible flow problems*. SIAM Review, 2003. **45**(1): p. 53-72.
- [219] RESCDAM, *The use of physical models in dam-break flood analysis - Final report*, Helsinki University of Technology.

- [220] Rodi, W., *Turbulence models and their application in hydraulics - A state-of-the-art (second revised edition)*. 1984: Balkema.
- [221] Rodi, W. *An integrated approach for modelling gradual dam failures and downstream wave propagation*. in *Proc. 2nd QNET CFD Workshop*. 2002. Lucerne, Suisse.
- [222] Rogala, R. et W. Redowicz. *Rehabilitation of the dam cascade in Pilchowice*. in *Proc. 5th Int. Conf. on Hydro-Science & -Engineering*. 2002. Warsaw, Pologne.
- [223] Rozovskii, I.L., *Flow of water in bends of open channels*. 1957, Kiev: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR.
- [224] Rubbert, S., A.v. Linn, K. Rettemeier et J. Köngeter, *Comparison of ADCP Measurements and 3D-Large-Eddy-Based Simulations of Flow in Small, Shallow Quitzdorf Reservoir*, in *Proc. XXX IAHR Congress*. Vol. C-I. 2003, IAHR: Thessaloniki, Greece. p. 461-468.
- [225] Salmon, G.M. *Notes for presentation on emankment dams - design for accidental overtopping and through-flow*. in *Proc. Int. Workshop "Stability and Breaching of Embankment Dams"*. 2004. Oslo, Norvège.
- [226] Schwanenberg, D. et M. Harms, *Discontinuous Galerkin method for dam-break flows*, in *Proc. 1st Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2002, Louvain-la-Neuve, Belgium, 4-6 september 2002*, D. Bousmar and Y. Zech (eds). 2002, Balkema: Rotterdam. p. 443-448.
- [227] Schwanenberg, D. et M. Harms, *Discontinuous Galerkin finite-element method for transcritical two-dimensional shallow water flows*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 2004. **130**(5): p. 412-421.
- [228] Schwanenberg, D., R. Liem et J. Köngeter. *Discontinuous Galerkin method for the shallow water equations*. in *Proc. 4th. Int. Conf. on Hydroinformatics*. 2000. Iowa, USA.
- [229] Sethian, J.A., *Level set methods and fast marching methods : evolving interfaces in computational geometry, fluid mechanics, computer vision, and materials science*. Cambridge monographs on applied and computational mathematics. Vol. 3. 1999, Cambridge: Cambridge University Press, 378 p.
- [230] Shen, J., *Energy dissipation of skimming flow over stepped spillways*. 2002, Thèse de maîtrise, IHE, Delft: 109 p.
- [231] Singh, K.P. et A. Snorrason, *Sensitivity of outflow peaks and flood stage to the selection of dam breach parameters and simulation models*. *J. Hydrol.*, 1984. **68**: p. 295-310.
- [232] Singh, V., *Dam breach modeling technology*. Water Science and Technology Library. 1996, Dordrecht, Bos, London: Kluwer Academic Publishers, 242 p.
- [233] Singh, V.P. *Flow routing in open channels: some recent advances*. in *2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*. 2004. Naples, Italie.
- [234] Sinha, S.K., F. Sotiropoulos et A.J. Odgaard, *Three-dimensional model for flow through natural rivers*. *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 1998. **124**(1): p. 13-24.
- [235] Sivakumaran, N.S., R.J. Hosking et T. Tingsanchali, *Steady shallow flow over a spillway*. *J. Fluid Mech.*, 1981. **111**: p. 411-420.
- [236] Sivakumaran, N.S., T. Tingsanchali et R.J. Hosking, *Steady shallow flow over curved beds*. *J. Fluid Mech.*, 1983. **128**: p. 469-487.
- [237] Smart, G., *An improved flow resistance formula*, in *Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 1. 2004, Balkema: Leiden, etc. p. 259-263.



- [238] Soares Frazão, S., *Dam-break induced flows in complex topographies - Theoretical, numerical and experimental approaches*. 2000, Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain: 240 p.
- [239] Soares Frazão, S. et Y. Zech, *Undular bores and secondary waves - Experiments and hybrid finite-volume modelling*. J. Hydraul. Res., 2002. **40**(1): p. 33-43.
- [240] Soares Frazão, S. et Y. Zech, *Dam-break flow experiment : The isolated building test case*, Rapport technique du projet européen IMPACT: 4 p.
- [241] Spinewine, B. et Y. Zech. *Dam-break waves over movable beds: a "flat bed" test case*. in *Proc. 2nd IMPACT Project Workshop*. 2002. Mo-I-Rana (Norvège).
- [242] Steffler, P.M. et Y.-C. Jin, *Depth averaged and moment equations for moderately shallow free surface flow*. J. Hydraul. Res., 1993. **31**(1): p. 5-17.
- [243] Takahashi, T., *Debris flows and their modeling*, in *Proc. 2nd Int. Conf. on Fluvial Hydraulics: River Flow 2004*, M. Greco, A. Carravetta, and R. Della Morte (eds). Vol. 1. 2004, A.A. Balkema: Leiden, etc. p. 29-40.
- [244] Takahashi, T. et H. Nakagawa, *Flood/debris flow hydrograph due to collapse of a natural dam by overtopping*. Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, Japan Society of Civil Engineers, JSCE, 1994. **12**(2): p. 41-49.
- [245] Toro, E.F., *Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics*. 1997, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 592 p.
- [246] Toro, E.F., *Shock-Capturing Methods for Free-Surface Shallow Flows*. 2001, Chichester, etc.: Wiley, 309 p.
- [247] Tritthart, M. et P. Milbradt, *A first analysis of the floods events of August 2002 in lower Austria by using a hydrodynamic model*, in *Proc. 30rd IAHR Congress*, J. Ganoulis and P. Prinos (eds). Vol. C-II. 2003, IAHR: Thessaloniki, Grèce. p. 111-118.
- [248] Tseng, M.H. et C.R. Chu, *Two dimensional shallow water flows simulation using TVD-MacCormack scheme*. J. Hydraul. Res., 2000. **38**(2): p. 123-131.
- [249] US Geological Survey, *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*. Water Supply paper 2339. 1989.
- [250] Vaassen, J.-M., P. Wautelet et J.-A. Essers. *A quadratic reconstruction scheme for hypersonic reacting flows on unstructured meshes*. in *ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference*. 2001. Swansea, Royaume-Uni.
- [251] Vaassen, J.-M., P. Wautelet et J.-A. Essers. *Application of a third-order reconstruction scheme to hypersonic reacting flows using unstructured meshes and multigrid techniques*. in *ACOMEN Conference*. 2002. Liège, Belgique.
- [252] Valiani, A. et V. Caleffi. *Dam break modelling for sediment laden flows*. in *Int. Symp. on Environmental Hydraulics*. 2001. Arizona State University, USA.
- [253] van Rijn, L.C., *Sediment pick-up functions*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 1984. **110**(10): p. 1494-1502.
- [254] van Rijn, L.C., *Sediment transport, Part II: suspended load Transport*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 1984. **110**(11): p. 1613-1641.
- [255] van Rijn, L.C., *Mathematical modelling of morphological processes in the case of suspended sediment transport*. 1987, Delft Technological University.
- [256] Vasiliev, O.F. *Vertical Two-Dimensional Hydrodynamic Models of Water Bodies: the State of the Art and Current Issues*. in *5th International Conference on Hydro-Science and -Engineering*. 2002. Warsaw.
- [257] Vaskinn, K.A. *Large-scale Field Test*. in *1st IMPACT Project Workshop*. 2002. Wallingford.

- [258] Vigneron, D., J.-M. Vaassen et J.-A. Essers. *A finite volume method with conservative and consistent viscous terms discretization for three-dimensional flows*. in *35th AIAA Fluid Dynamics conf. and exhibit*. 2005. Toronto, Canada.
- [259] Visser, P. *Breach growth in sand-dikes*. in *1st IMPACT Project Workshop*. 2002. Wallingford.
- [260] Wahl, T.L., *Prediction of embankment dam breach parameters, a literature review and needs assessment*, Dam Safety Office, Water Resources Research Laboratory, US Bureau of Reclamation: Denver.
- [261] Wahl, T.L. *The Uncertainty of Embankment Dam Breach Parameter Predictions Based on Dam Failure Case Studies*. in *Workshop on Issues, Resolutions, and Research Needs Related to Dam Failure Analysis*. 2001. Oklahoma City, OK: USDA - FEMA.
- [262] Wang, S.S.Y. et W. Wu. *River sedimentation and morphology modeling - The state of the art and future development*. in *Proc. 9th Int. Symposium on River Sedimentation*. 2004. Yichang, Chine.
- [263] Wasserverband Eifel-Rur, *Die Urftalsperre*, Fiche technique: 2 p.
- [264] Wendt, J.F., ed. *Computational Fluid Dynamics, an Introduction*. 2nd ed. 1996, Springer-Verlag: Berlin, etc. 301 p.
- [265] Whitham, G.B., *Linear and Nonlinear Waves*. 1974, New York: John Wiley & Sons, 636 p.
- [266] Woo, H.S., P.Y. Julien et E.V. Richardson, *Suspension of large Concentrations of Sands*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 1988. **114**(8): p. 888-898.
- [267] Wood, I.R., ed. *Air entrainment in free-surface flows*. 1991, Balkema: Rotterdam. 142 p.
- [268] Wurbs, R.A., *Dam-Breach Flood Wave Models*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 1987. **113**(1): p. 29-46.
- [269] Yalin, M.S., *Mechanics of Sediment Transport*. Second ed. 1977, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt: Pergamon Press.
- [270] Yeh, K.-C. et J.F. Kennedy, *Moment model of nonuniform channel-bend flow. II: Erodible beds*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 1993. **119**(7): p. 796-815.
- [271] Yeh, K.-C. et J.F. Kennedy, *Moment model of nonuniform channel-bend flow. I: fixed beds*. J. Hydraul. Eng.-ASCE, 1993. **119**(7): p. 776-795.
- [272] Yuanzhi, L., *Hydrodynamic and morphological analysis of a deep pit in Pearl River estuary in China*. 2004, Thèse de maîtrise, IHE, Delft: 141 p.
- [273] Zaleski, S., *Multiphase-flow CFD with volume of fluid (VOF) methods*, Short course - Modelling and computation of multiphase flows. 2000, ETHZ: Zürich, Suisse.

