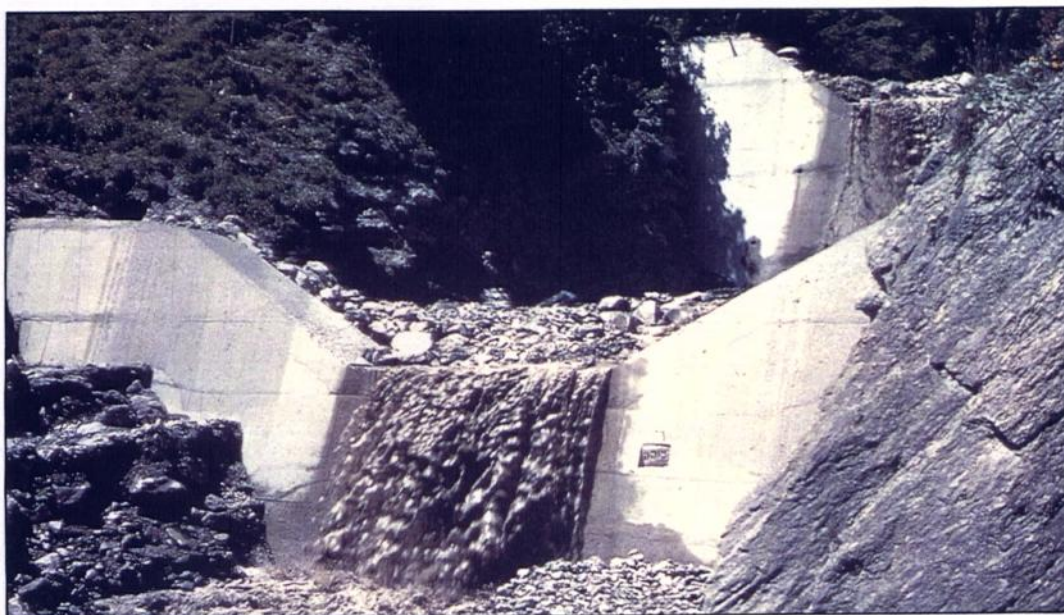


ETUDES

Montagne

n° 1



Éléments d'hydraulique torrentielle

Maurice MEUNIER



CEMAGREF

ERRATA

- * Page 34, fin de page : formule (2.17), lire :

$$cx = 0.4 \quad W = \sqrt{\frac{10g \ d50}{3} \cdot \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \quad (2.17)$$

↙ 3 au lieu de ν

- * Page 110, § 7.6.1, 1ère ligne, lire :

"La notion de concentration linéaire, notée $\underline{\lambda}$, joue un grand rôle ..."

- * Page 115, 2ème §, dernière ligne : supprimer la parenthèse après "écoulement".

- * Page 207, § 12.7.2, 2ème ligne : "équilibre" au lieu de "équilibre".

- * Page 211 : 2ème cas :

. 2ème ligne, lire : "La relation (12.12) est donc non vérifiée ..." au lieu de :
"La relation (12.10) est donc non vérifiée ..."

. 5ème ligne, lire : $[C^* a (\rho_s - \rho) + (a + h_0) \underline{\rho}] g \cdot \sin \Theta$

. 12ème ligne, lire : "... et on a donné à $\underline{1/k}$ des valeurs supérieures à 1 ..."

. 14ème ligne : formule (12.15), lire :

$$\text{tg } \theta > \frac{C^* (\rho_s - \rho)}{C^* (\rho_s - \rho) + (1 + \underline{1/k}) \rho} \text{tg } \varphi \quad (12.15)$$

- * Page 242, 1^{er} §, dernière ligne, dernier mot : lire croît au lieu de décroît :

... lisse (le transport solide décroît quand la concentration d'argile croît).

- * Page 246 :

. ajouter à la formule (13.31) la barre de fraction : $\frac{hm}{he}$

. ajouter à la formule (13.32) la barre de fraction : $\frac{hs}{he}$



ÉLÉMENTS D'HYDRAULIQUE TORRENTIELLE

M. Meunier



CEMAGREF

**CENTRE NATIONAL
DU MACHINISME AGRICOLE
DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS**

GROUPEMENT DE GRENOBLE
2, rue de la Papeterie BP 76
38402 St-Martin-d'Hères Cedex
Tél.: 76 76 27 27 - Téléc.: 980 679 F
Télécopie: 76 51 38 03

Les *ÉTUDES* du CEMAGREF

Série : Ressources en eau

N° 1 - Potentiel d'électrode de platine en épuration biologique - 1990, 164 pages - 200 F

N° 2 - Le phosphore et l'azote dans les sédiments du fleuve Charente : variations saisonnières et mobilité potentielle - 1990, 228 pages - 250 F

N° 3 - Typologie aquacole des marais salants de la côte atlantique - 1991, 232 pages - 200 F

N° 4 - Pêche, biologie, écologie des aloses dans le système Gironde-Garonne-Dordogne - 1991, 392 pages - 350 F

Série : Hydraulique agricole

N° 1 - Etude de la qualité des eaux de drainage. Diagnostic de risque de lessivage d'azote en fin de campagne culturale. La tranchée de drainage. Une nouvelle expression de la hauteur équivalente. A propos des coefficients de forme de la nappe libre drainée - 1986, 21 x 29,7 - 182 pages - 200 F

N° 2 - Hydraulique au voisinage du drain. Méthodologie et premiers résultats. Application au diagnostic du colmatage minéral des drains - 1987, 21 x 29,7 - 220 pages - 200 F

N° 3 - Secteurs de références drainage. Recueil des expérimentations - 1988, classeur 20 x 26 - 92 fiches - 150 F

N° 4 - Fonctionnement hydrologique et hydraulique du drainage souterrain des sols temporairement engorgés : débits de pointe et modèle SIDRA - 1989, 334 pages - 250 F

N° 5 - Transferts hydriques en sols drainés par tuyaux enterrés. Compréhension des débits de pointe et essai de typologie des schémas d'écoulement - 1989, 322 pages - 250 F

N° 6 - Réseaux collectifs d'irrigation ramifiés sous pression. Calcul et fonctionnement - 1989, 140 pages - 150 F

N° 7 - Géologie des barrages et des retenues de petites dimensions - 1990, 144 pages - 200 F

N° 8 - Estimation de l'évapotranspiration par télédétection. Application au contrôle de l'irrigation - 1990, 248 pages - 250 F

N° 9 - Hydraulique à l'interface sol/drain - 1991, 336 pages - 250 F

N° 10 - Le fonctionnement du drainage : approche pédo-hydraulique - 1991, 248 pages - 200 F

N° 11 - Mise en valeur des sols difficiles. Drainage et après-drainage des argiles vertes - 1991, 140 pages - 150 F

N° 12 - Colmatage des drains et enrobages
1991, 152 pages - 200 F

Série : Equipement des IAA

N° 1 - Carbonisateur à pailles et herbes pour les pays en développement - 1990, 56 pages - 100 F

Série : Forêt

N° 1 - Annales 1988. 1989, 126 pages - 150 F

N° 2 - Le Massif Central Cristallin. Analyse du milieu - Choix des essences - 1989, 104 pages - 150 F

N° 3 - Les stations forestières du pays d'Othe - 1990, 174 pages - 150 F

N° 4 - Culture d'arbres à bois précieux en prairies pâturées en moyenne montagne humide - 1990, 120 pages - 150 F

N° 5 - Annales 1989 - 1991, 196 pages - 150 F

N° 6 - Annales 1990 - 1991, 268 pages - 200 F

N° 7 - Les stations forestières du plateau nivernais - 1991 - 150 F

N° 8 - Les types de stations forestières de Lannemezan, Ger et Moyen Adour - 1991 - 250 F

Série : Production et économie agricoles

N° 1 - GEDE Logiciel d'aide à la décision stratégique pour l'exploitation agricole - 1991, 244 pages - 200 F

Série : Gestion des services publics

N° 1 - Économie et organisation à l'échelle départementale du financement du renouvellement des réseaux d'eau potable - 1991, 76 pages - 150 F

Série : Montagne

N° 1 - Éléments d'hydraulique torrentielle - 1991, 280 pages - 300 F

A commander au CEMAGREF - DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX - Tél. : (1) 40.96.61.32
joindre votre paiement à la commande

Le CEMAGREF est un organisme de recherches dans les domaines de l'eau, de l'équipement pour l'agriculture et l'agro-alimentaire, de l'aménagement et de la mise en valeur du milieu rural et des ressources naturelles.

En contact permanent avec les agents économiques et les collectivités, il cherche à constituer des outils mieux adaptés dans différents secteurs d'activités :

- eau, hydrologie, hydraulique agricole, qualité des eaux
- risques naturels et technologiques
- montagne et zones défavorisées
- forêts
- machinisme et équipement agricoles
- équipement des industries agro-alimentaires
- production et économie agricoles.

Le CEMAGREF est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique sous la tutelle des ministères de la Recherche et de la Technologie, de l'Agriculture et de la Forêt.

Il emploie 970 agents dont 420 scientifiques répartis en 10 groupements : Aix-en-Provence, Antony, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, La Martinique, Montpellier, Nogent-sur-Vernisson, Rennes.

AVERTISSEMENT

Cette note a été écrite dans un but d'éclaircissement des concepts de base en hydraulique torrentielle et de rassemblement des travaux faits autour de ces concepts ; l'hydraulique torrentielle se trouve à un stade de développement relativement balbutiant et ne possède pas encore de "corpus" théorique autorisant des développements compliqués, pour décrire ou pour quantifier les phénomènes torrentiels.

Elle ne part pas tout à fait de rien malgré tout et utilise, au moins en partie, des concepts usuels en hydraulique fluviale, parfois d'ailleurs pour s'en éloigner.

En conséquence, tout lecteur ayant reçu une formation scientifique raisonnable en hydraulique classique doit pouvoir lire ce document.

En conséquence également, de nombreux lecteurs, plus spécialisés, pourront le trouver sommaire et le critiquer ; qu'ils veuillent bien me faire bénéficier de leurs remarques et de leurs réflexions.

M. MEUNIER

Octobre 1991

SOMMAIRE GENERAL

<u>1^{ère} PARTIE</u> : <u>GENERALITES ET RAPPELS</u>	11
CHAPITRE 1 : SPECIFICITES DU FONCTIONNEMENT DES TORRENTS PAR RAPPORT AUX RIVIERES ET AUX FLEUVES	15
CHAPITRE 2 : QUELQUES CONCEPTS DE BASE DE L'HYDRAULIQUE FLUVIALE	23
<u>2^{ème} PARTIE</u> : <u>INTRODUCTION AUX SPECIFICITES DE L'HYDRAULIQUE TORRENTIELLE</u>	39
CHAPITRE 3 : QUELQUES DIFFERENCES A PRIORI ENTRE L'HYDRAU- LIQUE FLUVIALE ET L'HYDRAULIQUE TORRENTIELLE ..	45
CHAPITRE 4 : CLARIFICATION DU DOMAINE D'ETUDES DE L'HYDRAULIQUE TORRENTIELLE	55
CHAPITRE 5 : UN EXEMPLE DE TORRENT A LAVES : LE POUSSET	69
<u>3^{ème} PARTIE</u> : <u>DES CONCEPTS TRES UTILISES EN HYDRAULIQUE TORRENTIELLE ... ET SUSPECTS</u>	83
CHAPITRE 6 : QUELQUES ELEMENTS EN RHEOLOGIE ET LEUR UTILISATION EN HYDRAULIQUE TORRENTIELLE	87
CHAPITRE 7 : NOTIONS DE CONCENTRATION	103

<u>4^{ème} PARTIE</u> :	<u>DES RECHERCHES SUR LES LOIS DE COMPORTEMENT</u>	
	<u>ET LES LOIS D'ÉCOULEMENT QUI EN RESULTENT</u>	115
CHAPITRE 8 :	MODIFICATIONS DU COMPORTEMENT D'UN FLUIDE	
	PAR ADJONCTION DE MATERIAU SOLIDE	121
CHAPITRE 9 :	HYDRAULIQUE A SURFACE LIBRE DES ÉCOULEMENTS	
	DE BINGHAM EN RÉGIME LAMINAIRE	137
CHAPITRE 10 :	HYDRAULIQUE A SURFACE LIBRE DES FLUIDES	
	DILATANTS	153
CHAPITRE 11 :	HYDRAULIQUE TORRENTIELLE : AUTRES APPROCHES -	
	AUTRES RECHERCHES	161
<u>5^{ème} PARTIE</u> :	<u>QU'Y A T-IL D'UTILISABLE POUR L'INGENIEUR ?</u>	189
CHAPITRE 12 :	LES LAVES TORRENTIELLES POUR L'INGENIEUR	195
CHAPITRE 13 :	LES ÉCOULEMENTS HYPERCONCENTRES	225
CHAPITRE 14 :	L'HYDRAULIQUE TORRENTIELLE ET LES ETUDES	
	DE BASSIN VERSANT TORRENTIEL	251

SIGNIFICATION DES SYMBOLES

Q1 (ou Q)	M3/S	Débit liquide (Q s'il n'y a pas d'ambiguïté).
Qs	M3/s	Débit solide (souvent exprimé aussi en kg/s).
Φ		Débit solide adimensionnel.
S	m ²	Surface occupée par l'écoulement.
hl	m	Hauteur fictive d'écoulement due au débit liquide.
hs	m	Hauteur fictive d'écoulement due au débit solide.
h	m	Tirant d'eau ou de mélange (hauteur totale de l'écoulement hm = hs + hl).
P	m	Périmètre mouillé.
R	m	Rayon hydraulique ($R = \frac{S}{P}$)
y	m	Ordonnée d'un point de l'écoulement perpendiculairement au profil en long.
\bar{U}	m/s	Vitesse moyenne de l'écoulement ($\bar{U} = \frac{Q}{S}$)
Usa	m/s	Vitesse à la surface de l'écoulement
Us		Vitesse du sédiment solide.
u(y)	m/s	Vitesse de l'écoulement à la hauteur y
u*	m/s	Vitesse de frottement ($u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$)
I	m/m	Pente du profil en long.
Ks	mm	Hauteur de la rugosité du lit (rugosité de peau).
g	m/s ²	Accélération de la pesanteur.
ρ1 (ou ρ)	kg/m ³	Masse volumique de l'eau (ρ quand il n'y a pas d'ambiguïté).
ρs	kg/m ³	Masse volumique du matériau solide.
ρm	kg/m ³	Masse volumique du mélange eau + solide
p	Pa	Pression du fluide.
τ(y)	Pa(N/m ²)	Contrainte de cisaillement à la hauteur y.
τ*		Contrainte de cisaillement adimensionnelle.
τ0	Pa	Contrainte de cisaillement au fond.
τc	Pa	1/ Seuil critique de la contrainte de cisaillement autorisant l'arrachement d'un grain. 2/ Rigidité initiale de la loi de Bingham ou de Casson.

l(y)	m	Longueur de mélange (théorie de la turbulence).
k	-	Dépend du contexte : 1/ Constante de Von Karman $l(y) = k.y$ 2/ Consistance de la loi d'Ostwald.
n	-	Indice d'écoulement de la loi d'Ostwald.
μ	poiseuille (N.S/m ²)	Viscosité dynamique.
ν	m ² /s	Viscosité cinématique.
$\frac{\mu_B}{\mu_a}$	poiseuille	Viscosité de Bingham ou viscosité plastique.
\mathcal{R}	poiseuille	Viscosité apparente.
\mathcal{R}_e	-	Nombre de Reynolds ($\mathcal{R} = \frac{\rho \bar{U} h}{\mu}$ pour un fluide newtonien).
\mathcal{R}_e^*	*	Nombre de Reynolds universel.
\mathcal{R}_w^*	*	Nombre de Reynolds de la rugosité.
X, Y, Z, W	-	Nombre de Reynolds de chute en eau calme.
d	m	Nombres adimensionnels utilisés en transport solide fluvial (voir § 2.5).
d30, d50, d90	m	Diamètre représentatif du matériau solide. Diamètre du matériau solide tel que 30 %, 50 % ou 90 % en poids du matériau solide soit de taille inférieure.
Cx	-	Coefficient de traînée.
C*	-	Compacité.
C	-	Concentration (Rapport $\frac{Q_s}{Q_l}$)
Cv	-	Concentration volumique de flux ($\frac{Q_s}{Q_s + Q_l}$)
Cp	-	Concentration massique.
i	-	Indice des vides.
λ	-	Concentration linéaire.
θ	-	Teneur en eau.
C_{MES}	kg/m ³	Concentration des matières en suspension.
N et G ²	-	Nombres adimensionnels de Bagnold.
ai	-	Paramètre de calage de la loi de Bagnold.
φ	-	Angle de frottement interne statique.
α	-	Angle de frottement interne dynamique ou
		Rapport $\frac{\tau_c}{\tau_0}$ dans l'utilisation de la loi de Bingham.

PREMIERE PARTIE

GENERALITES ET RAPPELS

Pour se constituer en discipline scientifique spécifique, l'hydraulique torrentielle doit s'opposer à sa soeur aînée, c'est-à-dire à l'hydraulique fluviale. Le but de cette première partie est donc double :

- d'une part, indiquer dans le premier chapitre les raisons simples, au premier degré, pour lesquelles n'importe quel ingénieur hydraulicien a des réticences à appliquer les outils de l'hydraulique fluviale à un écoulement torrentiel ;
- d'autre part, rappeler dans le deuxième chapitre quels sont les concepts et les hypothèses de bases usuels de l'hydraulique fluviale, car c'est à partir d'eux que les chapitres ultérieurs seront développés.

Il va de soi que ces deux chapitres, qui plantent le décor, sont de peu d'intérêt pour l'hydraulicien praticien et qu'ils peuvent être sautés sans difficultés.

SOMMAIRE DE LA 1^{ère} PARTIE

CHAPITRE 1 :

1 - SPECIFICITES DU FONCTIONNEMENT DES TORRENTS PAR RAPPORT AUX RIVIERES ET FLEUVES	15
1.1 - Morphologie et régime hydrologique	17
1.2 - Fourniture de matériaux solides	18
1.3 - Les écoulements torrentiels	19
Bibliographie	21

CHAPITRE 2 :

2 - QUELQUES CONCEPTS DE BASE DE L'HYDRAULIQUE FLUVIALE	23
2.1 - Le concept de contrainte de cisaillement	25
2.2 - Le concept de loi de comportement	26
2.3 - Les concepts de régime permanent et de régime uniforme	29
2.4 - Le type d'écoulement et le profil des vitesses	29
2.5 - Dynamique du transport solide de charriage	32
2.6 - La suspension en hydraulique fluviale	34
2.7 - Utilisation de l'hydraulique fluviale en ingénierie .	35
Bibliographie	37

CHAPITRE 1

SPECIFICITES DU FONCTIONNEMENT DES TORRENTS PAR RAPPORT AUX RIVIERES ET FLEUVES

