

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REpubLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة

التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلكايد – تلمسان
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade** de **DOCTEUR EN SCIENCES**

En : HYDRAULIQUE

Spécialité : HYDRAULIQUE

Par : MADANI CHERIF Hayet

Sujet

**HYDROLOGIE ET TRANSPORT SOLIDE DE QUELQUES SOUS BASSIN VERSANTS
DE LA MACTA, ALGERIE**

Soutenue publiquement, le 11 / 04 / 2026 , devant le jury composé de :

Mme/ GACEMI IMENE	MCA	Univ. Tlemcen	Président
M/ HABI MOHAMMED	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
M/ BENAMARA LAKHDAR	Professeur	Univ. USTO- MB ORAN	Examineur 1
M/ HAMLAT ABDELKADER	Professeur	Univ. Laghouat	Examineur 2

Remerciement

Tout d'abord, j'exprime ma profonde reconnaissance envers le Tout-Puissant « ELLAH », qui m'a accordé la force, la persévérance et la détermination pour accomplir ce travail.

Il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse, en particulier : Mohamed, Tami, et Laeredj dont leur soutien et leur contribution ont été vivement appréciés.

Je tiens tout particulièrement à exprimer ma gratitude et mes vifs remerciements à Monsieur HABI Mohammed, mon directeur de thèse, qui a assuré la direction de cette thèse, qui m'a fait bénéficier de son expérience en me prodiguant sans compter des conseils et des encouragements, notamment au cours de longues discussions qui ont contribué à mûrir ma perception des problèmes.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer mon travail, et pour la qualité de leurs observations, qui ont contribué à valoriser cette thèse.

Je remercie aussi le personnel de l'ANRH d'Oran et d'Alger, de l'ANBT d'Alger en particulier l'ex PDG monsieur BENZERGA. Une douce pensée à la mémoire de monsieur BENZEGUIR ex directeur régional de l'ABHCC d'Oran.

Je pense également à monsieur Bouanani Abderezzak et monsieur Terfous Abdelali qui m'a accueilli durant mon détachement dans son laboratoire de recherche à l'INSA de Strasbourg, sans oublier monsieur Gil Mahé de l'IRD de Montpellier.

Je ne saurai terminer ces remerciements sans exprimer toute ma gratitude à ma mère, mes sœurs et frères, mon neveu et mes nièces, dont le soutien indéfectible a été une véritable source de motivation et de réconfort.

Hayet

Dédicace

A la mémoire de mon très cher père, qui est toujours présent dans mon cœur et mes pensées.

Hayet Jacqueline

Résumé

L'érosion hydrique et le transport solide constituent des problèmes majeurs en Algérie, menaçant les capacités de stockage des barrages par l'envasement. Cette étude porte sur le bassin versant de la Macta (14 389 km²), situé au Nord-Ouest algérien. L'objectif est de quantifier le transport solide en suspension et d'analyser la dynamique érosive à travers cinq sous-bassins : Sidi Bel Abbès, Saïda, Taria, Ghriss et El Hammam. L'approche méthodologique combine l'analyse morphométrique, l'étude climatique et le traitement statistique des données hydrométriques (débits liquides et concentrations) sur une longue période. Des relations de puissance entre débit liquide et débit solide ont été établies, révélant de fortes corrélations ($R^2 \geq 80\%$). L'étude des boucles d'hystérésis lors des crues a permis d'identifier les mécanismes de transport, montrant une prédominance des boucles dans le sens des aiguilles d'une montre. Les résultats montrent des taux de dégradation spécifique variant de 38 à 235 t/km²/an selon les sous bassins, avec une érosion plus marquée dans le bassin de l'Oued Taria.

Ces résultats confirment la nécessité urgente d'aménagements antiérosifs pour protéger les infrastructures hydrauliques régionales.

Mots clés : Érosion, Transport solide, Bassin de la Macta, Envasement, Hystérésis,

Dégradation spécifique, Hydrologie, Algérie.

Abstract

Water erosion and sediment transport are major issues in Algeria, threatening dam storage capacities through siltation. This study focuses on the Macta watershed (14,389 km²), located in North-West Algeria. The main objective is to quantify suspended sediment transport and analyze erosive dynamics across five sub-basins: Sidi Bel Abbès, Saida, Taria, Ghriss, and El Hammam. The methodological approach combines morphometric analysis, climatic study, and statistical processing of hydrometric data (water discharge and sediment concentration) over a long period. Power relations between liquid flow and sediment discharge were established, revealing strong correlations ($R^2 \geq 80\%$). The analysis of hysteresis loops during floods helped identify transport mechanisms, showing a predominance of clockwise loops. The results indicate specific degradation rates varying from 38 to 235 t/km²/year depending on the sub-basins, with more severe erosion in the Oued Taria basin.

These findings confirm the urgent need for anti-erosive measures to protect regional hydraulic infrastructures.

Keywords : Erosion, Sediment transport, Macta watershed, Siltation, Hysteresis, Specific degradation, Hydrology, Algeria.

ملخص

تُعدّ التعرية المائية ونقل الرواسب من القضايا الرئيسية في الجزائر، إذ تُهدد سعة تخزين السدود من خلال ترسب الطمي. تُركز هذه الدراسة على حوض المقطع (14389 كيلومترًا مربعًا)، الواقع شمال غرب الجزائر.

الهدف الرئيسي هو تحديد كمية نقل الرواسب العالقة وتحليل ديناميكيات التعرية عبر خمسة أحواض فرعية: سيدي بلعباس، واد سعيدة، واد التاغية، واد فكان غريس، و واد الحمام.

يجمع النهج المنهجي بين التحليل المورفومتري، والدراسة المناخية، والمعالجة الإحصائية للبيانات الهيدرومترية (تدفق المياه وتركيز المواد الصلبة العالقة) على مدى فترة طويلة. وُجدت علاقات بين تدفق السوائل و التدفق الصلب، كاشفةً عن ارتباطات قوية ($R^2 \geq 80\%$).

ساعد تحليل حلقات الهستيرييس أثناء الفيضانات في تحديد آليات نقل المواد الصلبة، مُظهرًا غلبة الحلقات التي تدور باتجاه عقارب الساعة.

تشير النتائج إلى معدلات التآكل النوعي تتراوح بين 38 و235 طنًا/كم²/سنة، وذلك حسب الأحواض الفرعية، مع تآكل أكثر حدة في حوض وادي التاغية. تؤكد هذه النتائج الحاجة الملحة إلى تدابير مضادة للتآكل لحماية البنى التحتية المائية الإقليمية.

الكلمات المفتاحية: التعرية، نقل المواد الصلبة العالقة، حوض المقطع، الطمي، الهستيرييس، التآكل النوعي، الهيدرولوجيا، الجزائر.

TABLE DES MATIÈRES DÉTAILLÉE

Dédicaces

Remerciements

Résumés (Français, Anglais, Arabe)

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Liste des Annexes

PRÉAMBULE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

CHAPITRE I : MÉCANISMES DE L'ÉROSION

I-1. Introduction	05
I-2. Définition et processus de l'érosion.....	05
I-2-1. Mécanismes fondamentaux.....	06
I-2-1-1. L'Érosion chimique.....	06
I-2-1-2. L'Érosion causée par les êtres vivants	07
I-2-1-3. L'Érosion causée par des Phénomènes exceptionnels et brutaux	07
I-2-1-4. L'Érosion mécanique	08
I-2-2. Facteurs influençant l'érosion hydrique	12
I-2-2-1. Facteurs climatiques (Pluie et Ruissellement)	12
I-2-2-2. Érodabilité des sols	13
I-2-2-3. Facteurs topographiques	14
I-2-2-4. Couvert végétal	15
I-2-3. Conséquences de l'érosion « les nuisances »	15
I-2-4. Estimation de l'érosion	16
I-2-4-1. Formule universelle des pertes des sols (formule de Wischmeier)	16
I-2-4-2. Formule de Gavriloviç	17
I-2-4-3. Formule de Tixeront	17
I-2-4-4. Formule de Fournier	18
I-2-4-5. Formule de l'A.N.R.H.	18
I-2-5. Lutter contre l'érosion	19
I-2-5-1. Mesure agronomique (préventive)	19
I-2-5-2. Mesure hydraulique (curative)	20
I-3. Transport des sédiments	21
I-3-1. Description	21
I-3-2. Modes de transport solide	23
I-3-2-1. Suspension	24
I-3-2-2. Charriage	24

I-3-2-3. Saltation	24
I-3-3. Début d'entraînement des sédiments par un courant	25
I-4. L'envasement des réservoirs	27
I-4-1. Définition de l'envasement	27
I-4-1-1. Méthode Préventive	28
I-4-1-2. Méthode curative	28
I-5. Conclusion	29

CHAPITRE II : MÉTHODES DE CALCUL DU TRANSPORT SOLIDE

II-1. Transport solide par suspension	31
II-1-1. Introduction	31
II-1-2. Théorie d'échange sous les conditions d'équilibre	31
II-1-3. La formule de LANE et KALINSKE (1941)	31
II-1-4. La formule d'EINSTEIN (1950)	32
II-1-5. La formule de BROOK (1963)	34
II-1-6. La formule de CHANG, SIMON et RICHARDSON (1965)	35
II-1-7. La formule de VAN RIJN (1984)	37
II-1-8. La formule de JUKE GUO et WILLIAM L – WOOD (1995)	38
II-1-9. La formule de VELIKANOV	38
II-1-10. La formule de CELIK et RODI	38
II-1-11. Conclusion	40

CHAPITRE III : TRAITEMENT STATISTIQUE, CRITIQUE ET VALIDATION DES DONNÉES

III-1. Introduction	76
III-2. Acquisition des données	76
III-3. Traitement primaire des données	78
III-4. Contrôle des données	78
III-5. Organisation des données	79
III-6. Lacunes et reconstitution des données	79
III-7. Procédure de reconstitution	80
III-8. Procédure de corrélation	80
III-9. Hypothèses de l'analyse statistique	82
III-10. Les grandes catégories de tests	83
III-11. Contrôle des données	85
III-12. La validation	90
III-13. Échelles de gestion et d'échange de données	91
III-14. Principaux paramètres statistiques utilisés	92

CHAPITRE IV : PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA MACTA

IV-1. Introduction	94
IV-2. Étude morphologique du bassin versant	94
IV-2-1. Espace géographique	94
IV-2-2. Lithologie	95
IV-2-2-1. La plaine de Ghriss	96
IV-2-2-2. Plaine de Saida	99

CHAPITRE V : ASPECTS MORPHOMÉTRIQUES ET CLIMATIQUES

V-1. Étude morphométrique	124
V-1-2. Indices de forme (Compacité, Rectangle équivalent)	124
V-1-3. Analyse du relief (Hypsométrie, Altitudes caractéristiques, Indices de pente)	127
V-1-4. Paramètres du réseau hydrographique et Temps de concentration	130
V-2. Étude climatologique	130
V-2-2. Régime pluviométrique (Variabilité annuelle, mensuelle et saisonnière)	134
V-2-3. Évaporation	137
V-2-4. Températures	140
V-3. Conclusion	144

CHAPITRE VI : HYDROLOGIE DES SOUS-BASSINS VERSANTS ÉTUDIÉS

VI-1. Introduction	145
VI-2. Outils et méthodes de travail	145
VI-2-1. Pour les débits liquides	145
VI-2-2. Pour les concentrations des sédiments solides	146
VI-3. Traitement des données hydrométriques	147
VI-3-1. Variation des débits liquides à l'échelle annuelle	149
VI-3-2. Variation des débits liquides à l'échelle des crues	150
VI-4. Classification et analyse des crues	151
VI-4-1. Traitement statistique	151
VI-4-2. Analyse de la variabilité des crues	153
VI-4-3. Puissance des crues sélectionnées	154
VI-4-3-1. Les crues méditerranéennes	154
VI-4-3-2. Les fortes crues généralisées	155
VI-4-3-3. Les crues intermédiaires	155
VI-5. Estimation des apports en eau	156
VI-6. Conclusion	159

CHAPITRE VII : QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION ET L'ÉROSION

VII-1. Introduction	160
VII-2. Méthodologie de quantification du transport solide en suspension	160
VII-3. Modélisation du transport des sédiments en suspension	163
VII-3-1. Établissement de régressions entre débits solides – débits liquides	163
VII-3-1-1. Interprétation des résultats	168
VII-4. Estimation des apports solides	172
VII-4-1. Apports solides et dégradations spécifiques à l'échelle annuelle	173
VII-4-2. Apports solides et dégradations spécifiques à l'échelle saisonnière	176
VII-5. Modélisation des apports solides et liquides	179
VII-6. Conclusion	181

CHAPITRE VIII : EFFET D'HYSTÉRÉSIS ET DYNAMIQUE DE L'ÉROSION DURANT LES ÉVÉNEMENTS SINGULIERS

VIII-1. Introduction	184
VIII-2. Utilisation des effets d'hystérésis	184
VIII-2-1. Procédure de la méthode d'Hystérésis	185
VIII-2-2. Les classes de relations C-Q	186
VIII-3. Résultats des effets d'hystérésis dans les sous-bassins étudiés	196
VIII-4. Interprétation des résultats	201
VIII-5. Conclusion	204

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Le classement granulométrique des sédiments utilisé en géologie.....	21
Tableau II-1 : Domaine de validation des formules du Transport solide par suspension.....	40
Tableau II-2 : Domaine de validation des formules du transport solide par charriage du fond.....	55
Tableau II-3 : Domaine de validation des formules du transport solide total.....	70
Tableau IV-1 : LOG. Stratigraphique de la plaine de Ghriss.....	99
Tableau IV-2 : LOG. Stratigraphique du plateau de Saïda.....	102
Tableau IV-3 : LOG. Stratigraphique de la plaine de Sidi Bel Abbès.....	106
Tableau IV-4 : Identification des Unités Hydrogéologiques.....	109
Tableau IV-5 : Caractéristiques des cinq barrages.....	119
Tableau IV-6 : Pluviométries moyennes interannuelles des principaux postes.....	122
Tableau V-1 : Caractéristiques des Altitudes (Hypsométrie) des cinq sous bassins versants étudiés.....	125
Tableau V-2 : Caractéristiques morphométriques des cinq sous bassins versants étudiés...	132
Tableau V-3 : Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.....	133
Tableau V-4 : Caractéristiques des stations pluviométriques qui contrôlent les cinq S/bassins versants étudiés.....	134
Tableau V-5 : Caractéristiques statistiques des stations pluviométriques sélectionnées...	135
Tableau V-6 : Variabilité des précipitations moyennes mensuelles des stations pluviométriques étudiées.....	137
Tableau V-7 : Variabilité saisonnière des précipitations des stations pluviométriques étudiées.....	140

Tableau VI-1 : Caractéristiques des cinq stations hydrométriques étudiées.....	147
Tableau VI-2 : Valeurs extrêmes des écoulements et des précipitations à l'échelle annuelle.....	150
Tableau VI-3 : Les paramètres de l'écoulement.....	151
Tableau VI-4 à VI-8 : Paramètres statistiques des crues (en Annexe I).	
Tableau VI-9 : Nombre de crues en pourcentage réparties selon les classes des débits liquides spécifiques maximums pour les cinq stations de jaugeage.....	154
Tableau VI-10 : Classifications en pourcentage des crues sélectionnées par saison.....	155
Tableau VI-11 : Les Apports en eau moyens annuels des stations étudiées.....	157
Tableau VI-12 : Les Apports en eau (Millions m³) par saison des cinq sous bassins étudiés selon les années de référence de chaque station.....	158
Tableau VII-1 : Valeurs a et b des équations obtenues, et les coefficients de corrélation de toutes les courbes de transport solide.....	171
Tableau VII-2 : Résultats des Apports solides Annuels et la Dégradation Spécifique dans les cinq sous bassins étudiés.....	175
Tableau VII-3 : Relations $A_S - A_L$ des sous bassins versants étudiés.....	180
Tableau VIII-1 : Les Classes de relations C-Q.....	187
Tableau VIII-2 : Répartition en pourcentage des crues par classes d'Hystérésis.....	201

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Altération actuelle, par dissolution, d'une formation évaporitique éocène, Cardona, Espagne.....	06
Figure I-2a : Une avalanche sur le mont MC KINLEY en ALASKA.....	07
Figure I-2b : Érosion des cendres émises par le volcan Papelinhos en 1957-1958, île de Faial, Açores.....	07
Figure I-3 : Arbre sculpté par l'érosion éolienne (Chili).....	08
Figure I-4a : Érosion due à la fonte des neiges sur un site du Plateau bernois (Suisse).....	09
Figure I-4b : Érosion à l'origine des éboulements (massif de la Pedraforca, Espagne).....	09
Figure I-5 : Érosion en nappes.....	10
Figure I-6 : Érosion en rigoles.....	11
Figure I-7 : Érosion en ravines.....	11
Figure I-8 : Réseaux de griffes et ravines.....	12
Figure I-9 : Diagramme classique de Hjulstrom.....	23
Figure I-10 : Modes de transport des particules dans un chenal.....	24
Figure I-11a : Aspect macroscopique (schéma de frottement).....	25
Figure I-11b : Aspect microscopique (forces sur une particule).....	25
Figure I-12 : Diagramme de Shields au début de mouvement.....	26
Figure II-1 : La relation entre Pl et ω/U^* (d'après Lane et Kalinske, 1941).....	31
Figure II-2a : Le facteur de correction dans la distribution logarithmique des vitesses (Einstein, 1950).....	32
Figure II-2b : Les fonctions I_1 et I_2 en termes de A pour différentes valeurs de Z (Einstein, 1950).....	32

Figure II-3 : La fonction de Brook du transport solide par suspension (Brook, 1963).....	33
Figure II-4 : Les fonctions I1 et I2 en termes du contact relatif de l'épaisseur des couches des matériaux du lit.....	35
Figure II-5 : Illustration des limites des zones d'écoulement pour le charriage et la suspension.....	36
Figure II-6 : Schématisation de l'écoulement selon Vélikanov.....	37
Figure II-7 : L'équation du charriage du fond de Kalinske.....	43
Figure II-8 : Coefficient Kt du transport solide total pour différents sables.....	44
Figure II-9 : Fonctions du transport de Meyer-Peter (1934) et Meyer-Peter et Muller.....	45
Figure II-10 : Paramètres des sédiments et la force de cisaillement critique pour l'équation de Duboy.....	48
Figure II-11 : Dessin similaire de Wi^* avec l'indication des classes des diamètres.....	51
Figure II-12 : Schéma explicatif de Yalin.....	53
Figure II-13 : Les relations de Toffaleti entre la vitesse, la concentration et le débit solide...	57
Figure II-14 : Coefficients dans la fonction d'Ackers et White.....	61
Figure II-15 : Fonction $F(U^*/\omega_i)$ dans la formule de Laursen.....	64
Figure II-16 : La relation du débit du sable en fonction de la vitesse moyenne (Colby).....	65
Figure II-17 : L'effet approximatif de la température de l'eau et la concentration des sédiments fins.....	66
Figure II-18 : Turbidisonde montée sur saumon.....	72
Figure II-19 : Hydromètre.....	73
Figure III-1 : Organigramme de la collecte des données à la diffusion de l'information hydrologique.....	91

Figure IV-1 : Situation Géographique du Bassin de la Macta.....	94
Figure IV-2 : Répartition des sous bassins versants de la Macta.....	95
Figure IV-3 : Les unités hydrogéologiques du bassin versant de la Macta.....	110
Figure IV-4 : Les ressources souterraines dans le bassin versant de la Macta.....	110
Figure IV-5 : Les Ressources en sol dans le bassin de la Macta.....	113
Figure IV-6 : Carte des pentes du bassin versant de la Macta.....	114
Figure IV-7 : Carte topographique du bassin versant de la Macta.....	115
Figure IV-8 : Les différents Barrages du bassin versant de la Macta (Fergoug, Bouhanifia, Ouizert, Chorfa II, Sarno).....	116
Figure IV-9 : Réseau hydrographique et barrages du bassin versant de la Macta.....	120
Figure IV-10 : Répartition spatiale des stations de contrôle du bassin versant de la Macta.....	121
Figure V-1 : La morphométrie des sous bassins et les courbes hypsométriques.....	127
Figure V-2 : Variation annuelle des précipitations aux différentes stations pluviométriques.....	136
Figure V-3 : Variation mensuelle des précipitations moyennes aux différentes stations pluviométriques.....	138
Figure V-4 : Répartition saisonnière des pluies des cinq stations étudiées.....	139
Figure V-5 : Moyenne des totaux inter-mensuels de l'évaporation dans les cinq stations hydroclimatiques.....	141
Figure V-6 : Variation Inter-mensuelles de la température (Sarno et Ouizert).....	142
Figure VI-1 : Chronologies des débits liquides instantanés de toutes les séries prélevés aux cinq stations.....	148
Figure VI-2 : Variation annuelle de l'écoulement et précipitations dans les S/ bassins.....	149

Figure VII-1 : Graphes combinés des C_{ss} en fonction des débits liquides instantanés.....	162
Figure VII-2 : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique Sidi Bel Abbès.....	164
Figure VII-3 : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique PK50.....	165
Figure VII-4 : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique Oued Taria.....	166
Figure VII-5 : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique Khalouia.....	167
Figure VII-6 : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique Trois Rivières.....	168
Figure VII-7 : Variation annuelle des apports liquides et la dégradation spécifique dans les cinq sous bassins.....	174
Figure VII-8 : Résultats des cinq stations : la dégradation spécifique et l'apport liquide par saison.....	177
Figure VII-9 : Relation Apport Solide – Apport Liquide des cinq stations étudiées.....	180
Figure VIII-1 : Relation C-Q de type ligne droite (Classe IA).....	190
Figure VIII-2 : Relation C-Q de type courbe univoque illustrant l'effet de la propagation temporelle.....	190
Figure VIII-3 : Relation C-Q de type Boucle dans le sens des aiguilles d'une montre.....	192
Figure VIII-4 : Boucles C-Q asymétriques illustrant l'effet de l'étalement temporel.....	192
Figure VIII-5 : Boucles dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (Classe III).....	194
Figure VIII-6 : Relation C-Q, Classe IV : Ligne simple avec Boucle.....	194
Figure VIII-7 : Relation C-Q, Classe V : Figure en Huit.....	195
Figure VIII-8 : Quelques Hystérésis de la Station Sidi Bel Abbès.....	197
Figure VIII-9 : Quelques Hystérésis de la Station Trois Rivières.....	198
Figure VIII-10 : Quelques Hystérésis de la Station Khalouia.....	199
Figure VIII-11 : Quelques Hystérésis de la Station Oued Taria.....	200

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : TRAITEMENT STATISTIQUE

**ANNEXE II : HYDROGRAMMES ET TURBIDIGRAMMES DES CRUES
SÉLECTIONNÉES.**

ANNEXE III : HYSTÉRÉSIS DANS LES SOUS BASSINS ÉTUDIÉS.

PRÉAMBULE

L'érosion hydrique est un phénomène complexe très répandu en Algérie dont il menace les potentialités en eau et en sol. La protection insuffisante des sols dus à une déforestation galopante et des systèmes de culture inadaptés fait que chaque année plus de 100 000 m³ de terres sont entraînées sous l'effet de l'érosion. Selon des études faites entre 1966 et 1984, l'érosion provoque une perte du sol superficiel estimée entre 10 à 16 m³/ha et par an (soit 30 à 50 fois plus qu'en Europe).

Les bassins versants de l'Ouest algérien ont fait l'objet de l'essentiel de l'étude de l'érosion. Ils ont suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs qui ont tenté d'expliquer les mécanismes complexes du transport solide et de quantifier les volumes des sédiments transportés. On notera les anciens travaux de :

- Medinger (1960) : il a procédé au traitement et à la mise en forme des premières séries de mesures recueillies en Algérie sur une trentaine de bassins durant la période 1946 – 1957 ;
- Tixeront (1960) : ses travaux sont basés sur les données de 32 bassins d'Algérie et 9 bassins de Tunisie.
- Capolini (1965, 1969) : il a entrepris une étude géomorphologique régionale sur les principaux affluents du CHELIF (physiographie, hypsométrie, pente, formations lithologiques superficielles, couvert végétal).
- Sogreah (1969) : (Etude des aires d'irrigation) : l'étude est basée sur les données d'observation recueillies au niveau de 9 barrages et 18 stations hydrométriques totalisant 282 années.

On notera aussi, les travaux de Demmak (1982), Ghachi (1982), la publication de Bourouba (1997, 1998), Meddi (1999, 2004), Ghenim (2001), Terfous (2001, 2003), Benkhaled et Remini (2003) et Bouanani (2004), Achit (2006), Khanchoul (2006), Cherif et al (2017), Elahcene (2021) qui ont tenté de quantifier le transport solide et d'expliquer l'érosion hydrique dans les sous bassins de la TAFNA, CHELIF, MACTA, SEYBOUSE, et le bassin Côtier. Ces travaux ont montré les caractères les plus frappants, mais non les plus enviables du paysage de ces régions qu'impriment les multiples manifestations de l'érosion.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Contexte et Problématique :

L'eau, ressource vitale et moteur essentiel de tout développement socio-économique, constitue un enjeu stratégique majeur à l'échelle planétaire. Cette problématique revêt une acuité particulière dans les régions méditerranéennes et nord-africaines, caractérisées par un climat semi-aride où la rareté et l'irrégularité des précipitations imposent une gestion rigoureuse des ressources hydriques.

L'Algérie, située au cœur de cette zone climatique, est confrontée à un double défi : mobiliser des ressources en eau souvent limitées et aléatoires pour satisfaire des besoins croissants (agriculture, industrie, eau potable), et préserver les infrastructures hydrauliques existantes face aux phénomènes naturels dégradants.

Parmi ces phénomènes, l'érosion hydrique des sols se distingue par son ampleur et ses conséquences désastreuses. Elle résulte de l'interaction complexe entre l'agressivité climatique marquée par des averses orageuses violentes et concentrées dans le temps et la vulnérabilité des sols, souvent accentuée par un couvert végétal dégradé et des pratiques anthropiques inappropriées. Ce processus de détachement et de transport des particules de sol ne se limite pas à une perte de fertilité des terres agricoles « l'érosion sur le terrain » ; il engendre également des nuisances considérables à l'aval « hors du champ », notamment par le transport solide dans les cours d'eau.

La conséquence la plus critique de ce transport sédimentaire est l'envasement des retenues de barrages. En Algérie, ce phénomène hypothèque gravement les capacités de stockage des ouvrages hydrauliques, réduisant leur durée de vie utile et compromettant la sécurité de l'approvisionnement en eau. Le dépôt de millions de mètres cubes de sédiments chaque année dans les barrages algériens représente une perte économique et environnementale majeure, nécessitant des interventions coûteuses (dragage, surélévation de digues) et complexes.

Cadre de l'Étude : Le Bassin Versant de la Macta

Cette étude se focalise sur le bassin versant de la Macta, une entité hydrographique de première importance située au Nord-Ouest de l'Algérie. S'étendant sur une superficie de 14 389 km², ce bassin couvre plusieurs wilayas (Sidi Bel Abbès, Mascara, Saïda) et joue un rôle clé dans l'économie régionale, notamment agricole. Il est drainé par deux artères principales, l'Oued Mekerra à l'ouest et l'Oued El Hammam à l'est, qui convergent pour former la Macta avant de se jeter dans la Méditerranée.

Le choix de cette zone d'étude est motivé par plusieurs facteurs :

- Premièrement, le bassin de la Macta abrite un parc important de barrages (Fergoug, Bouhanifia, Ouizert, Sarno, Chorfa II) dont la pérennité est directement menacée par l'érosion. Le barrage de Fergoug, par exemple, est historiquement connu pour son ensablement rapide et spectaculaire.
- Deuxièmement, la diversité lithologique, morphologique et climatique de ses sous-bassins offre un laboratoire naturel pertinent pour étudier les variations spatiales et temporelles de l'érosion. Enfin, la région a connu une augmentation de la fréquence des événements hydrologiques extrêmes (crues éclair), exacerbant la dynamique sédimentaire et rendant nécessaire une réévaluation des apports solides.

Objectifs de la Recherche :

L'objectif principal de cette thèse est de quantifier le transport solide en suspension et d'évaluer la dégradation spécifique des sols au niveau des principaux sous-bassins de la Macta : la Plaine de Sidi Bel Abbès, l'Oued Saïda, l'Oued Taria, la Plaine de Ghriss et l'Oued El Hammam. Cette quantification vise à fournir une estimation fiable des volumes de sédiments transitant vers les barrages, donnée indispensable pour l'élaboration de plans de gestion durable.

Plus spécifiquement, les objectifs secondaires sont les suivants :

1. Analyser les caractéristiques morphométriques et climatiques des sous-bassins pour comprendre leur prédisposition à l'érosion.

2. Étudier le régime hydrologique des cours d'eau, en mettant l'accent sur la variabilité des crues, vecteurs principaux du transport solide.
3. Établir des modèles mathématiques de régression liant le débit liquide au débit solide et les apports liquides aux apports solides, afin de combler les lacunes de données et de prédire les flux sédimentaires futurs.
4. Comprendre la dynamique du transport sédimentaire à l'échelle de l'événement (crue) à travers l'analyse des boucles d'hystérésis, permettant d'identifier l'origine et la chronologie de la mobilisation des sédiments.

Méthodologie et Structure du Mémoire :

Pour atteindre ces objectifs, une approche méthodologique rigoureuse a été adoptée, basée sur l'exploitation et le traitement statistique d'une longue série de données hydrométriques et pluviométriques recueillies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Le travail est structuré en huit chapitres :

- ❖ **Le Chapitre I** dresse un état de l'art sur les mécanismes de l'érosion hydrique, ses facteurs (climat, sol, topographie, couvert végétal) et ses différentes formes (nappe, rigole, ravine). Il aborde également les conséquences de ce phénomène, notamment l'envasement des barrages.
- ❖ **Le Chapitre II** expose les différentes approches théoriques et empiriques pour la mesure et le calcul du transport solide (suspension et charriage), passant en revue les formules classiques (Meyer-Peter, Einstein, Bagnold, etc.) et les techniques de mesure in situ.
- ❖ **Le Chapitre III** est consacré à la critique et au traitement des données. Il détaille les méthodes statistiques utilisées pour vérifier l'homogénéité, la stationnarité et la fiabilité des séries chronologiques, ainsi que les techniques de comblement des lacunes, étape cruciale avant toute modélisation.
- ❖ **Le Chapitre IV** présente de manière exhaustive la zone d'étude. Il décrit les caractéristiques géographiques, géologiques, hydrogéologiques et l'occupation des sols du bassin de la Macta, ainsi que les aménagements hydrauliques existants.
- ❖ **Le Chapitre V** analyse les aspects morphométriques (forme, relief, réseau hydrographique) et climatiques (pluviométrie, températures, évaporation) des cinq sous-bassins étudiés, mettant en évidence les facteurs prédisposant au ruissellement.

- ❖ **Le Chapitre VI** étudie l'hydrologie du bassin. Il examine les régimes d'écoulement annuels et saisonniers, analyse les crues et détermine les coefficients d'écoulement, fournissant la base hydrique nécessaire à l'étude du transport solide.
- ❖ **Le Chapitre VII** constitue le cœur de l'étude quantitative. Il présente les résultats de l'estimation du transport solide en suspension par l'établissement de modèles de régression (puissance) entre débits liquides et solides. Il calcule ensuite les apports solides annuels et saisonniers et en déduit la dégradation spécifique pour chaque sous bassin.
- ❖ **Le Chapitre VIII** approfondit l'analyse de la dynamique sédimentaire par l'étude des effets d'hystérésis (relations concentration-débit en boucle) lors des épisodes de crue, permettant d'interpréter le comportement des sources de sédiments au cours des événements hydrologiques.

Cette structure progressive permet de passer de la compréhension théorique des phénomènes à leur quantification précise sur le terrain, aboutissant à une vision intégrée de la dynamique érosive dans le bassin versant de la Macta.

CHAPITRE I : MÉCANISMES DE L'ÉROSION

I-1- INTRODUCTION :

L'érosion de surface réunit tous les processus qui affectent, sur une faible profondeur, les sols, les formations superficielles et le substratum géologique. Elle est ainsi essentiellement due à l'action des eaux courantes, appelée aussi « érosion hydrique », qui comprend des formes de ruissellement et de petites coulées boueuses de quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur, mais elle exclut tous les grands mouvements de terrain qui peuvent avoir des profondeurs de plusieurs mètres. Elle comprend deux phases qui se succèdent : la première phase correspond à l'ablation du substrat ; la deuxième correspond au transport et au dépôt de sédiments érodés. (Rey. F, et al, 2004)

I-2- DÉFINITION DE L'ÉROSION :

L'érosion des sols est le détachement et le transport des particules de sol par l'eau ou le vent, entraînant des conséquences écologiques et économiques importantes, et constitue une menace majeure pour la production alimentaire mondiale. Elle réduit la fertilité des sols et la productivité agricole et contribue à la dégradation de l'environnement et représente un défi crucial pour la durabilité agricole et la sécurité alimentaire (Sodoke. S, et al., 2025).

Érosion : vient de «Éroder» ; verbe latin qui signifie « ronger », d'où l'interprétation pessimiste de certains auteurs qui décrivent l'érosion comme une lèpre qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi. (Riser. J, 1995)

En géomorphologie, l'**érosion** est le processus de dégradation et de transformation du relief, et donc des roches, qui est causé par tout agent externe (donc autre que la tectonique). Un relief dont le modelé s'explique principalement par l'érosion est dit : « relief d'érosion ». Les facteurs d'érosion sont (Auzet. A.V, 1990) :

- ✓ le climat ;
- ✓ le relief ;
- ✓ la physique (dureté) et la chimie (solubilité par ex.) de la roche ;
- ✓ l'absence ou non de couverture végétale et, la nature des végétaux ;
- ✓ l'histoire tectonique (fracturation par exemple) ;
- ✓ l'action de l'homme (pratiques agricoles, urbanification).

I-2-1- MÉCANISMES DE L'ÉROSION :

Dans les processus d'érosion, on distingue généralement trois phases distinctes (Bagnold. R.A, 1966) :

- destruction du matériau rocheux (ablation du matériau) ;
- transport ;
- accumulation des débris (dépôt du sédiment).

L'érosion implique une désagrégation superficielle de la roche ou du sol appelée météorisation. Elle se produit sur place, et produit des débris.

Le degré d'érosion dépend des caractéristiques de la roche:

- ✓ de la dureté et de la cohésion de ces minéraux ;
- ✓ de sa dilatation thermique ;
- ✓ des réactions chimiques possibles entre ces minéraux et le milieu.

I-2-1-1- L'Érosion chimique :

La décomposition chimique des roches donne naissance à des modelés de désagrégation. La dissolution est une forme de météorisation qui affecte essentiellement les massifs calcaires. Elle donne lieu à des paysages de karst. L'eau, chargée en acides organiques et en dioxyde de carbone, s'infiltre par les fissures et modèle les roches carbonatées ; elle constitue un « complexe d'altération ». Elle libère les éléments chimiques de la roche sous forme d'ions dissous dans l'eau. En effet, contrairement au grès siliceux, les calcaires sont particulièrement vulnérables à la dissolution (Bagnold. R.A, 1966) (Figure I-1).



Figure (I-1): Altération actuelle, par dissolution, d'une formation évaporitique éocène, Cardona, Espagne (Négrel. P, et al., 2011).

I-2-1-2- L'Érosion causée par les êtres vivants :

- ✓ les microorganismes
- ✓ les pholades sont des mollusques perforateurs
- ✓ les végétaux peuvent concourir à l'érosion par leurs racines par exemple.
- ✓ L'érosion par l'homme : les activités humaines modèlent la surface de la Terre. En creusant des carrières, l'Homme modifie le relief. Les aménagements humains tels que les barrages provoquent l'érosion des rives fluviales. La déforestation accélère l'érosion des sols (Bogardi, J.L, 1974).

I-2-1-3- L'Érosion causée par des Phénomènes exceptionnels et brutaux :

- L'érosion par la neige : avalanches (Figure I-2a);
- Les glissements de terrain cyclopéen ;
- Les séismes sont à l'origine de la compression des roches et des éboulements ;
- Les phénomènes volcaniques provoquent d'importantes modifications du relief (Figure I-2b) (Bogardi, J.L, 1974).



Figure (I-2a): Une avalanche sur le mont MC KINLEY en ALASKA (Oberholtz. C, 2025).

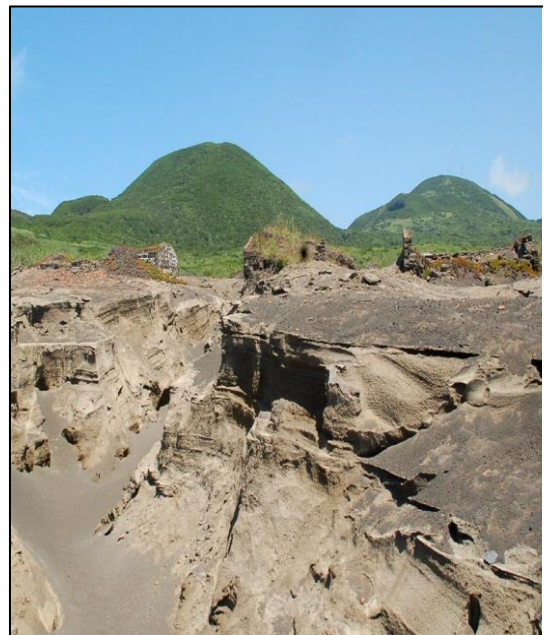


Figure (I-2b) : Érosion des cendres émises par le volcan Papelinhos en 1957-1958, île de Faial, Açores (Thomas. P, 2007).

I-2-1-4- L'Érosion mécanique :

La désagrégation mécanique se produit sous l'action d'une force physique qui arrache des morceaux de roche plus ou moins volumineux :

- éclatement dû au gel ou à la chaleur ;
- usure par frottement : glacier, écoulement d'eau ou vent ; ce sont les débris charriés par ces facteurs (rochers, graviers, quartz ou sable) qui sont efficaces dans le processus d'érosion. L'érosion mécanique est particulièrement active dans les milieux froids (gels et dégels) et arides (Einstein, H.A, 1950).

➤ *Érosion par le vent :*

L'érosion éolienne attaque les roches en enlevant des particules (déflation, abrasion) ou en polissant la surface. Elle est d'autant plus efficace que les obstacles sont inexistantes et que le vent est puissant, régulier et chargé de poussières (Figure I-3). Elle conduit à une dégradation environnementale sévère par l'appauvrissement des sols et le déplacement de volumes élevés de particules par le vent. L'érosion éolienne est le principal facteur physique d'épuisement des terres agricoles et, par l'ensablement, constitue une des gênes majeures dans les aires urbaines et oasiennes des écosystèmes secs (Rey. F, et al, 2004).



Figure (I-3) : Arbre sculptée par l'érosion éolienne (Chili) (Leblay. J, 2021).

➤ *Érosion liée aux différences de température:*

Dans les régions de fortes amplitudes thermiques (climat continental, polaire, désert, haute montagne, etc.), les chocs thermiques répétés par la succession des cycles jour/nuit, fend puis

fait éclater certaines roches, à différentes échelles micro et/ou macroscopique ; c'est la thermoclastie. L'érosion liée à la température fait également intervenir l'eau comme agent d'érosion en présence de roches poreuses et/ou de fissures qui éclatent en cas de gel Figure (I-4a).

En montagne, la cryoclastie produit des phénomènes d'ébouilisation, qui s'accumulent en bas de pente pour former des tabliers éboulis ainsi que des éboulements, processus gravitaire collectif d'effondrement Figure (I-4b) (Rey. F, et al, 2004).



Figure (I-4a) : Érosion due à la fonte des neiges sur un site du Plateau bernois (Suisse) (Langston.G, 2021).

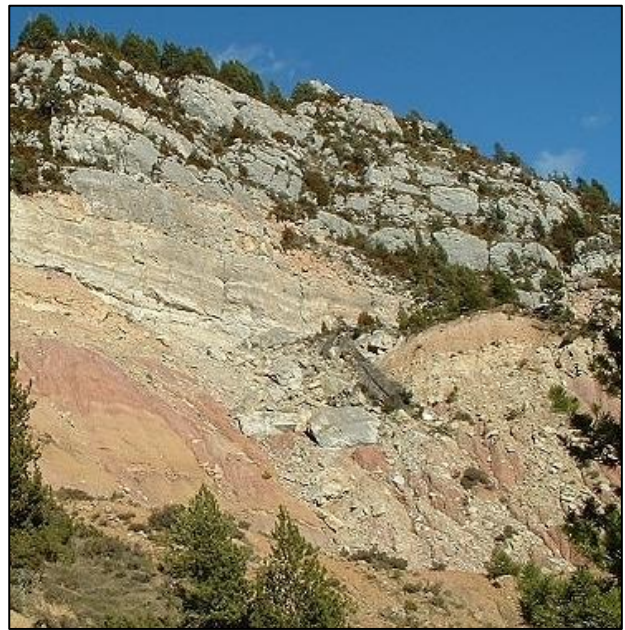


Figure (I-4b) : Érosion à l'origine des éboulements. (massif de la Pedraforca : situé dans la comarca de Berguedà, Espagne) (I.G.G.C, 2018).

➤ *Érosion par l'eau « Érosion hydrique »:*

L'érosion de surface est essentiellement due à l'action des eaux courantes, appelée aussi « érosion hydrique », qui comprend des formes de ruissellement et de petites coulées boueuses de quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur, mais elle exclut tous les grands mouvements de terrain qui peuvent avoir des profondeurs de plusieurs mètres. Elle comprend deux phases qui se succèdent : la première phase correspond à l'ablation du substrat ; la deuxième correspond au transport et au dépôt de sédiments érodés. L'érosion hydrique de surface constitue un phénomène naturel, aux conséquences préoccupantes dans beaucoup de régions du monde. La maîtrise de l'érosion hydrique de surface représente alors un défi majeur sur les espaces où se localisent des enjeux socio-économiques. (Rey. F, et al, 2004).

Les différents types d'érosion des sols sont habituellement répartis en deux catégories: l'érosion en nappes et l'érosion linéaire.

Érosion en nappes

L'érosion en nappes survient lorsque la surface du sol est battante ou tassée et que les eaux de pluie ne s'infiltrent pas, mais s'écoulent en surface (Figure I-5). Ainsi, des particules du sol sont arrachées et emportées pour se redéposer en partie. Les traces d'écoulement sont peu visibles. On parle aussi d'érosion en nappes lorsque la profondeur et la largeur des griffes d'érosion sont inférieures à 2 cm. L'érosion en nappes peut être locale ou s'étendre sur de larges surfaces (Rey. F, et al, 2004).



Figure (I-5) : Érosion en nappes (Evrard. O, 2024).

Érosion en rigoles

L'érosion en rigoles est un type d'érosion linéaire caractérisé par des traces d'écoulement dont la largeur et la profondeur sont de 2 cm au moins et la profondeur centrale inférieure à 10 cm. Les rigoles se forment lorsque les eaux de surface s'écoulent de manière concentrée. Une à plusieurs rigoles peut se former et leur largeur peut atteindre plusieurs mètres Figure (I-6) (Rey. F, et al, 2004).



Figure (I-6) : Érosion en rigoles (www.shutterstock.com).

Érosion en ravines :

Les ravines sont plus profondes que les rigoles (profondeur moyenne >10 cm) et causent souvent des dommages plus importants. Elles se forment lors de précipitations abondantes (fortes et ponctuelles ou persistantes), lorsque l'eau de ruissellement s'écoule de manière concentrée sur de longues distances Figure (I-7) (Rey. F, et al, 2004).



Figure (I-7) : Érosion en ravines (www.shutterstock.com).

Combinaison d'érosion linéaire et d'érosion en nappes: réseaux de griffes et ravines :

En cas d'érosion importante, des réseaux de griffes et de ravines se forment fréquemment. Un versant entier peut ainsi être sillonné soit de griffes plus ou moins parallèles ou formant des méandres, soit de griffes et de ravines formant des ramifications.

Ces réseaux sont la plupart du temps combinés avec de l'érosion en nappes ou se produisent lors de l'écoulement diffus d'eau de ruissellement provenant de parcelles situées en amont Figure (I-8) (Rey. F, et al, 2004).



Figure (I-8) : Réseaux de griffes et ravines (Portillo. G, 2025).

I-2-2- Facteurs de l'érosion hydrique :

I-2-2-1- Facteurs climatiques (Pluie et Ruissellement):

Les précipitations constituent l'agent essentiel de l'érosion hydrique. Il s'agit d'une part de l'intensité, du volume, de la fréquence de ces précipitations et leur répartition au cours de l'année, et d'autre part des caractéristiques des gouttes de pluie comme la taille, la vitesse, la forme et l'angle d'impact. Le détachement des particules par les gouttes de pluie est souvent exprimé en fonction de leur énergie cinétique, d'où la mise en mouvement des sédiments a lieu sur une surface de sol libre ou sur une surface de sol recouverte par une fine lame d'eau. (Erpul et al, 2002).

Plus grandes sont l'intensité et la durée d'un épisode de pluie, plus grand est le risque d'érosion. L'impact des gouttes de pluie sur la surface du sol peut briser les agrégats et disperser les particules de sol. Les particules les plus légères, dont les particules très fines de sable, de limon, d'argile et de matière organique, sont facilement emportées par les éclaboussures d'eau de pluie et les eaux de ruissellement. Il faut davantage d'énergie transmise par les gouttes de pluie et un écoulement plus important pour emporter les particules plus grossières de sable et de gravier.

Les déplacements de sol causés par la pluie (les éclaboussures d'eau) sont habituellement plus grands et plus facilement observables au cours d'orages brefs et violents. Même si l'érosion causée par des averses de longue durée et de moindre intensité n'est habituellement pas aussi spectaculaire ni manifeste que celle qui est produite par les gros orages, elle peut néanmoins à la longue entraîner des pertes de sol significatives.

Sur les terrains en pente, l'eau commence à ruisseler à la surface du sol lorsque l'excédent d'eau ne peut plus être absorbé par le sol ou que l'eau est piégée à la surface. Le ruissellement s'intensifie lorsque le taux d'infiltration diminue sous l'effet du gel, de l'encroûtement ou du compactage du sol. Sur les terres agricoles, le ruissellement le plus considérable est observé au printemps, lorsque, normalement, les sols sont saturés, la neige fond et le couvert végétal est minimal. (M.A.A.R, 2012).

I-2-2-2- Érodabilité des sols :

L'érodabilité d'un sol est une estimation, fondée sur les caractéristiques physiques du sol, de la vulnérabilité de ce sol à l'érosion. L'érodabilité est surtout influencée par la texture du sol, mais elle l'est également par sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité. En général, les sols qui affichent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltre plus rapidement, ceux qui sont riches en matière organique et ceux dont la structure est améliorée. Les sables, les loams sableux et les sols loameux ont tendance à être moins vulnérables à l'érosion que les limons, les sables très fins et certains sols argileux (Morgan, R.P.C, 2005).

Les pratiques aratoires et culturales qui appauvrissent le sol en matière organique, nuisent à la structure du sol ou provoquent le compactage du sol contribuent à accroître l'érodabilité. Par exemple, les couches de sol compactées sous la surface peuvent faire obstacle à l'infiltration de l'eau et contribuer au ruissellement. La formation d'une croûte de sol, qui a tendance à « sceller » la surface, nuit aussi à l'infiltration de l'eau. Si, à certains endroits, l'encroûtement peut réduire les pertes de sol causées par l'impact des gouttes de pluie et des éclaboussures d'eau, il entraîne quand même une augmentation correspondante du volume des eaux de ruissellement qui risque de provoquer des problèmes d'érosion plus graves encore (Morgan, R.P.C, 2005).

L'érosion passée influence aussi l'érodabilité du sol, car, bien souvent, les couches de sol sous-jacentes à la couche arable qui se trouvent exposées ont tendance à être plus

vulnérables à l'érosion que les couches de sol originales en raison de leur moins bonne structure et de leur faible teneur en matière organique. Elles sont aussi moins fertiles, ce qui se répercute sur le rendement des cultures. Les peuplements étant alors généralement plus clairsemés, la protection du sol offerte par les cultures se trouve compromise (M.A.A.A.R, 2012).

I-2-2-3- Facteurs topographiques :

Plus la pente d'un champ est raide et plus cette pente est longue, plus les risques d'érosion sont grands. L'érosion hydrique augmente aussi avec la longueur de la pente à cause de l'augmentation du ruissellement. La fusion de petits champs pour en faire de plus grands a souvent pour conséquence d'allonger les pentes. Le débit de l'eau étant alors plus rapide, le transport des sédiments augmente, ce qui donne lieu à des risques accrus d'érosion et d'affouillement (M.A.A.A.R, 2012).

Lorsque le sol n'est pas totalement couvert, l'influence de la pente se fait sentir vigoureusement sur l'érosion et moins nettement sur le ruissellement. Elle intervient dans le paysage sur les transports solides sous trois aspects :

- **La forme** : les transports solides sont plus importants sur des pentes convexes que sur des pentes concaves (colluvionnement) (M.A.A.A.R, 2012),
- **La longueur du versant** a une influence très variable selon l'état de la surface du sol. Théoriquement, le refus à l'infiltration s'accumule tout au long du versant : la vitesse du ruissellement s'accroît ainsi que son énergie. Voilà la justification des méthodes de terrassement de diversion qui évacuent lentement le ruissellement plusieurs niveaux du versant vers des exutoires aménagés pour éviter qu'à l'érosion en nappe (énergie des gouttes sur la surface cultivée) s'ajoute une érosion en ravine (énergie du ruissellement cumulée).

En pratique, les rares expérimentations qui eurent lieu au champ montrent que, le ruissellement et l'érosion en nappe ne croissent pas forcément en raison des forces de frottement à la surface du sol, des variations de pente et des propriétés du sol tout au long des versants. Par contre, si le ruissellement s'organise en rigoles et ravines, l'énergie du ruissellement croît rapidement avec la pente : tout va dépendre de l'état de la surface du sol. Par prudence, il convient donc de cloisonner le paysage et de limiter la longueur et la largeur des champs, mais il faut remettre en cause l'efficacité des méthodes de terrassement, trop chères à la construction et l'entretien, et mal adaptées aux conditions climatiques et socio-économiques des régions tropicales (O.R.S.T.O.M, 1985).

- **L'inclinaison du versant** entraîne une augmentation exponentielle des pertes en terre, mais cependant, les phénomènes d'érosion commencent sur les pentes très faibles : ainsi sur des champs de moins de 1% de pente, pauvres en matières organiques et structure instable. (O.R.S.T.O.M, 1985).

I-2-2-4- Couvert végétal :

Le risque d'érosion augmente si le sol n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal et/ou une couche de résidus de culture. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et des éclaboussures d'eau. Ils ont aussi tendance à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et à favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol.

Le travail du sol n'a pas que des effets positifs, il crée des discontinuités hydrauliques au niveau de la semelle de labour, il dégrade lentement la microstructure, dilue les matières organiques, diminue la cohésion du matériau et du même coup sa résistance à l'agressivité des pluies. L'action positive du travail du sol sur l'infiltration est d'autant plus temporaire que l'affinement est poussé et que la stabilité structurale est faible. Il existe toute une série de travaux qui présentent les avantages du "minimum tillage", permettant d'éviter la pulvérisation du sol lors de la préparation du lit de semences et de limiter le nombre d'interventions et de passages des engins lourds. D'où l'idée de n'émietter que la ligne de semis et de laisser les interlignes en grosses mottes recouvertes ou non des déchets de culture (Mannering J.V, et al, 1968).

I-2-3- Les conséquences de l'érosion « les nuisances » :

➤ Sur le terrain :

Les répercussions de l'érosion des sols vont au-delà de la perte de sol arable. La levée, la croissance et le rendement des cultures sont directement affectés par l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs et en engrais. L'érosion peut déplacer ou carrément emporter les semences et les plants. Du fait de leur légèreté, la matière organique présente dans le sol, les résidus à la surface et le fumier épandu peuvent facilement être emportés hors du champ, particulièrement à la fonte des neiges, et entraîner avec eux des pesticides.

Les pertes de sol peuvent nuire à la qualité, à la structure, à la stabilité et à la texture du sol. Le morcellement des agrégats et l'enlèvement des particules plus fines ou de couches entières de sol ou de matière organique peuvent détériorer la structure et même modifier la texture du sol. Toute modification de la texture du sol peut à son tour nuire à la capacité de

rétenion d'eau du sol et exposer davantage celui-ci à des conditions extrêmes telles que la sécheresse (O.R.S.T.O.M, 1985).

➤ **Hors du champ :**

Les répercussions de l'érosion hydrique ne sont pas toujours aussi apparentes hors du champ que sur les lieux mêmes où elle se produit. Le sol érodé, déposé au bas des pentes, empêche ou retarde la germination, enterre les jeunes pousses et oblige à ressemer les zones dégarnies. De plus, des sédiments peuvent s'accumuler au bas des pentes et contribuer à la détérioration des routes.

Les sédiments qui atteignent des cours d'eau peuvent accélérer l'érosion des berges, ensabler les fossés de drainage et les cours d'eau, envaser les réservoirs, endommager l'habitat des poissons et dégrader la qualité de l'eau en aval. Les pesticides et engrais, souvent emportés avec les particules de sol, contaminent ou polluent les sources d'eau, les terres humides et les lacs en aval. Du fait de la gravité de certaines des répercussions de l'érosion hors du champ, la pollution diffuse de source agricole est un point important à considérer. (M.A.A.A.R, 2012)

I-2-4- Estimation de l'érosion :

L'importance de l'érosion hydrique et ses préjudices pour l'activité humaine ont poussé l'homme à chercher et à proposer des méthodes pour remédier à ce phénomène crucial. Pour ce faire, il y a eu lieu d'abord de quantifier cette érosion par des formules empiriques.

Plusieurs formules et méthodes qui impliquent tous les paramètres physiques sont utilisées pour la quantification de l'érosion hydrique.

I-2-4-1- Formule universelle des pertes des sols (formule de Wischmeier) (1930) :

L'érosion hydrique est estimée par l'équation universelle des pertes de sols (U.S.L.E) ou l'équation de Wischmeier et al. (1978) qui est comme suit :

$$E = R \cdot K \cdot SL \cdot C \cdot P \quad (\text{I-1})$$

Avec :

E = Érosion mesurée ou prévisible en (t/ha/an).

R : facteur d'érosivité (agressivité, climatique, et pluie).

K : indice d'agressivité climatique.

SL = inclinaison et longueur de pente (indice topographique).

C : indice d'érodibilité du sol nu travaillé.

P : pratiques antiérosives (facteur aménagement anti-érosif).

I-2-4-2- Formule de Gavrilovič (1962) :

L'érosion spécifique est définie comme étant proportionnelle à la température, la pluie et un coefficient d'érosion. L'équation est donnée par l'expression suivante :

$$E_S = 3,14.T.P_0.\sqrt{Z^3} \quad (I-2)$$

Avec :

E_S : érosion spécifique dans le bassin versant (t/km²/an)

T : coefficient de température : $T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0,1$

t_0 : température moyenne annuelle en °C.

P_0 : pluie annuelle (mm).

Z : coefficient d'érosion : $Z = y.[x.a][\delta + \sqrt{I_{moy}}]$

y : valeur réciproque du coefficient de la résistance du sol dû à l'érosion, il dépend de la roche mère, du climat et de type de sol.

[x.a] : coefficient de régularisation du bassin versant ou de la région érodable, se rapportant à la protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosions liées aux conditions naturelles.

δ : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant.

I_{moy} : indice de pente moyenne du bassin versant.

I-2-4-3- Formule de Tixeront (1960) :

$$E_S = [S_1.Ta_1 + S_2.Ta_2 + ...S_n.Ta_n] \quad (I-3)$$

E_S : érosion spécifique (t/Km²/an).

Ta_1, Ta_2, Ta_n : taux d'abrasion fonction de la perméabilité du pole dans le sous bassin (t/Km²).

S_1, S_2, S_n : surfaces des sous bassins versants (Km²).

Si on considère que la totalité des sous-bassins versants ont la même perméabilité, la formule de Tixeront prend la forme :

$$E_S = K.L_e^{0,15}$$

Avec :

L_e : la lame d'eau ruisselée moyenne interannuelle (mm).

K : coefficient déterminé en fonction de la perméabilité des terrains. Il est égal :

K = 8,5 pour les terrains d'une perméabilité élevée ;

K = 75 pour les terrains d'une perméabilité moyenne élevée ;

K = 350 pour les terrains d'une perméabilité faible à moyenne ;

K = 1400 pour les terrains d'une perméabilité faible ;

K = 3200 pour les terrains imperméables.

I-2-4-4- Formule de Fournier (1960) :

$$A_s = \frac{1}{36} \left(\frac{P^2}{P_a} \right)^{2,65} \left(\frac{H^2_{moy}}{S} \right)^{0,46} \quad (I-4)$$

Avec :

A_s : l'apport solide moyen interannuel (t/Km²/an).

P : la pluviométrie moyenne du mois le plus arrosé (mm).

P_a : la pluviométrie moyenne interannuelle (mm).

H_{moy} : l'altitude moyenne (m).

S : la superficie du bassin versant (Km²).

I-2-4-5- Formule de l'A.N.R.H (1982) :

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes :

$I_e > 10\%$,

$P_0 > 300$.

$$T_{SS} = 26,62I_e + 5,07I_p + 9,77C_t - 593,59 \quad (I-5)$$

T_{ss} : Transport solide spécifique moyen annuel (t/Km²/an).

I_e : indice lithologique (%).

I_p : indice des précipitations (%).

$C_t = D_d.F_1$: coefficient de torrentialité,

D_d : densité de drainage : $D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A}$

L_i : longueur de tous les cours d'eau d'ordre « 1 » (Km).

F_1 : fréquence des thalwegs élémentaires : $F_1 = \text{Nombre de Thalwegs} / \text{Surface}$.

I-2-5- Lutter contre l'érosion :

Les stratégies optimales de lutte contre l'érosion doivent se situer dans deux zones bien distinctes :

- ✓ une zone émettrice de ruissellement,
- ✓ une zone sensible accumulant les précipitations.

Ces deux zones correspondent donc à deux limites différentes auxquelles doivent s'adapter deux mesures distinctes :

I-2-5-1- Mesure agronomique (préventive) :

Elle englobe les techniques culturales à savoir la couverture du sol et sa structure.

Le génie écologique est défini comme l'ensemble des techniques et interventions visant à favoriser l'installation ou le maintien d'une couverture végétale à rôle de protection contre l'érosion. Visant à retenir efficacement et durablement une partie des sédiments dans les bassins versants, pouvant permettre de diminuer les apports de sédiments dans les retenues de barrages (Rey, F, 2002).

L'échelle d'action de la végétation contre l'érosion est celle de la ravine de moins d'un hectare. Mais la réussite de l'installation d'une couverture végétale à cette échelle dépend en premier lieu de facteurs abiotiques s'exprimant à l'échelle plus vaste du bassin versant de plusieurs km².

A l'échelle régionale, il est possible de déterminer les bassins versants à réhabiliter en priorité. A cette échelle, c'est surtout la présence d'enjeux socio-économiques qui va déterminer le choix.

A l'échelle des bassins versants prioritaires, on peut alors déterminer les ravines prioritaires à réhabiliter. L'influence de la végétation ayant lieu principalement à l'échelle de la ravine, cette dernière constitue l'échelle élémentaire d'intervention en réhabilitation par génie biologique. Pour cela, on peut utiliser deux critères : l'érodabilité des terrains et la présence d'une végétation naturelle qui peut indiquer que l'activité érosive est moins importante qu'ailleurs, et donc qu'une végétalisation peut plus facilement s'envisager. L'érodabilité des terrains dépend directement de paramètres physiques tels que la lithologie ou la topographie (Rey, F, 2002).

C'est la présence de la couverture végétale à l'aval de la ravine qu'il faut assurer pour envisager de manière optimale une inactivité à l'exutoire de la ravine.

Les opérations de végétalisation doivent s'effectuer dans les lits des ravines, puis sur les berges et éventuellement sur les bas de versant. Il n'est pas nécessaire de végétaliser une

ravine en entier pour stopper la production sédimentaire à son exutoire. La végétalisation des hauts et milieux des versants n'est pas indispensable. Un suivi et un entretien des ouvrages de génie biologique sont indispensables pour veiller à ce que la végétation occupe bien les zones clé du lit de la ravine. A noter aussi que la végétation ne peut se développer que sur des terrains temporairement stabilisés. En effet, toute opération de réhabilitation doit débiter par une stabilisation des sols et une lutte contre l'érosion concentrée (Rey. F, 2002).

I-2-5-2- Mesure hydraulique (curative) :

L'objectif des mesures hydrauliques est de contenir le ruissellement à l'échelle d'un paysage restauré dans ses fonctions hydrauliques régulatrices. Sur l'étendue d'un bassin versant affecté par du ruissellement et du ravinement, il s'agit de s'assurer de la maîtrise du réseau hydraulique de surface. Les remèdes relèvent des techniques classiques du génie rural, les principes sont les suivants : (Auzet A.V, 1990)

I-2-5-2-1- Limiter la concentration du ruissellement :

Différents ouvrages existent pour retenir l'eau, au moins temporairement, dès l'amont du bassin versant, de manière à limiter les débits de pointe, éviter l'incision des zones de concentration et le cas échéant, provoquer la sédimentation des matières solides :

- ✓ Les plis ;
- ✓ Les diguettes ;
- ✓ Les mares ;
- ✓ Les retenues collinaires ;
- ✓ Les talus ;

Les chemins ou les routes en travers de la pente ou d'un axe de concentration (Auzet .A.V, 1990).

I-2-5-2-2- Organiser l'écoulement des eaux :

Pour organiser l'écoulement des eaux on peut avoir recours à trois types d'ouvrages:

- ✓ les bandes enherbées ;
- ✓ les fossés ;
- ✓ les drains.

Le choix entre les différentes méthodes peut être effectué en fonction des pluies annuelles, de la superficie du bassin versant et de la pente du talweg (Auzet. A.V., 1990).

I-2-5-2-3- Protection rapprochée des zones sensibles contre les dégâts :

Les bassins d'orage (ou bassins de retenue), auxquels on associe parfois des bassins décanteurs, sont les principaux ouvrages de protection rapprochée. (Auzet A.V., 1990)

I-3- TRANSPORT DES SÉDIMENTS SOLIDES :

Le transport des sédiments ou graviers est appelé transport solide ou transit sédimentaire. Il désigne le phénomène de transport, par un cours d'eau, d'éléments solides plus ou moins grossiers.

Le transport solide est un phénomène complexe, dépendant d'une multitude de facteurs géologiques, géomorphologiques, météorologiques, hydrologiques... Mais également humains (Yang, C.T, 1996).

I-3-1- Description :

Le sédiment est un matériau issu de l'érosion, transportée et déposé par le cours d'eau, et n'ayant pas encore subi de transformation diagénétique (passage à une roche sédimentaire par compression des sédiments, accompagnée d'une évacuation de l'eau et de la pression).

Un sédiment se caractérise essentiellement par :

- sa granulométrie ;
- sa composition minérale ;
- sa teneur en matière organique (Yang, C.T, 1996).

La granulométrie :

La répartition de fréquence de taille des grains explique la répartition des sédiments dans un milieu aquatique. En effet, les grosses particules restent en amont tandis que les plus fines se retrouvent en aval. La vitesse du courant est également un facteur qui conditionne la sédimentation : plus le courant sera faible, plus la sédimentation sera importante. Le tableau (I-1) détaille le classement granulométrique des sédiments utilisé en géologie (Yang, C.T, 1996).

Tableau (I-1) : Le classement granulométrique des sédiments utilisé en géologie (Vanoni, V.A, 1975)

Taille	Dénomination
> 20 cm	Blocs
2 cm à 20 cm	Galets et cailloux
20 mm à 2 cm	Graviers
20 µm à 2 mm	Sables (grossiers et fins)
2 µm à 20 µm	Limons (ou silt)
< 2 µm	Vases, boues argileuses

La composition minérale :

La composition minérale des sédiments est différente selon leur provenance :

- les blocs, les cailloux, les graviers et les sables sont des sédiments terrigènes (c'est-à-dire, issus de l'érosion des sols) ; leur nature chimique dépend essentiellement des terrains érodés;
- les sables sont essentiellement quartzeux (silice SiO_2) ou silicatés (mica, feldspath), souvent accompagnés de minéraux lourds (amphiboles, grenats, disthène...) qui dépendent de la nature des sols érodés. On trouve aussi des sables calcaires (ex. : les sables de la Seine);
- les particules les plus fines, limons, boues et vases, sont composées de minéraux argileux d'origine terrigène, et aussi des squelettes d'organismes d'origine endogène (Vanoni, V.A, 1975).

La teneur en matière organique :

La proportion de matière organique dans la matière sèche des sédiments varie entre 90%, dans le cas de la tourbe, et 2% pour les sables de rivière. La composition de cette matière organique est généralement identique d'un type de sédiment à un autre.

En général, la proportion de matière organique est de l'ordre de 2 à 10% pour les sédiments des cours d' "eaux vives" et elle est constituée à 60% de composés humiques (Vanoni, V.A, 1975).

I-3-2- L'origine des sédiments :

Les sédiments ont principalement deux origines : endogène, ou exogène.

- ***l'origine endogène*** de la sédimentation provient de la production autochtone du milieu. Cette production primaire engendre des débris de macrophytes (plantes aquatiques, cadavres de microphytes et d'animaux) (Vanoni, V.A, 1975);
- ***l'origine exogène*** vient d'un apport de matières allochtones. Celles-ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère. Cet apport peut être d'origine naturelle (érosion des sols, décomposition de la matière végétale), ou anthropique (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques) (Vanoni, V.A, 1975).

Un des principaux objectifs de la recherche dans le domaine du transport des sédiments dans les canaux à fond mobile est la définition des formules susceptibles de fournir le transport solide en fonction des caractéristiques de l'écoulement du fluide et des sédiments. Deux voies principales d'analyses ont été suivies : l'une basée sur l'analyse dimensionnelle,

on considère deux formes de transport solide : le transport solide par charriage et le transport solide en suspension Figure (I-9). Les deux formes diffèrent en deux aspects essentiels (Vanoni, V.A, 1975).

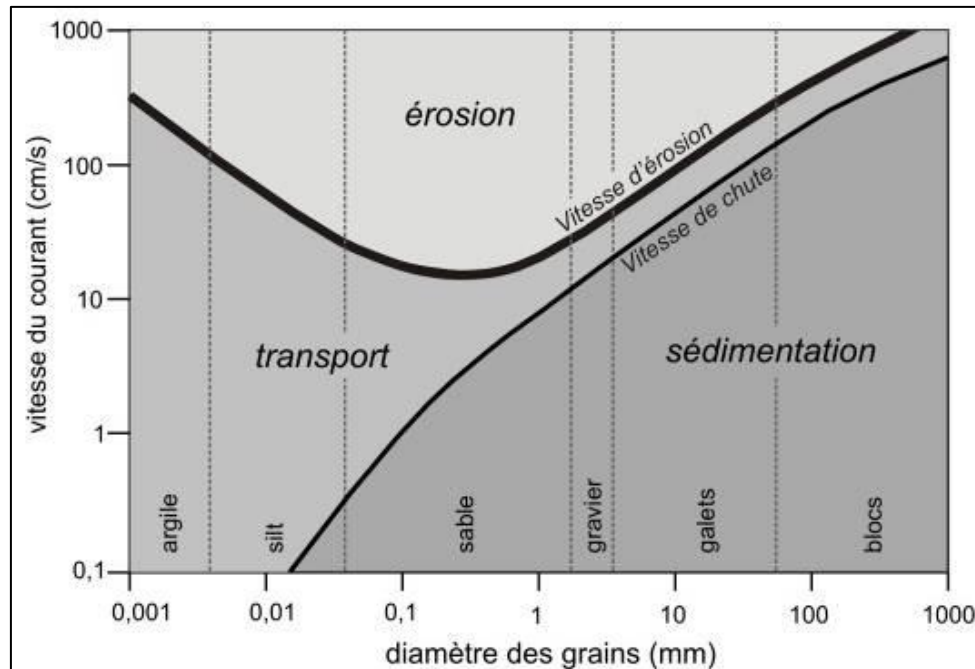


Figure (I-9) : Diagramme classique de Hjulstrom.

I-3-2- Modes de transport solide :

Le transport solide peut commencer au gré des hautes eaux et des crues, les matériaux issus de l'érosion; sédiments, graviers, galets... Vont être mis en mouvement par la rivière, soit par charriage (transport des sédiments les plus gros sur le fond du lit par roulement), soit par suspension (transport des sédiments plus fins dans la masse des flots). Ce phénomène va être étroitement lié à la force des crues (plus une crue est importante et plus elle aura de capacité à transporter les sédiments) et au faciès du lit du cours d'eau. En effet, plus la pente sera importante et le lit étroit, plus la capacité de charriage du cours d'eau sera importante et plus la rivière aura tendance à dissiper sa capacité de charriage en érodant son fond et ses berges. À l'inverse, plus la pente sera faible et le lit large, plus la rivière perdra sa capacité de charriage et aura tendance à déposer les matériaux qu'elle transporte, créant soit des zones d'atterrissements soit un exhaussement plus global du lit (Yang, C.T, 1996).

Ce phénomène naturel peut être, et est souvent, largement modifié par l'action de l'homme sur la rivière. Par exemple, les extractions de matériaux réalisés dans le lit mineur des cours d'eau, en puisant les matériaux faisant partie du bilan sédimentaire, vont accentuer

le déficit en un point et accroître le phénomène d'incision en amont de ce point. À l'inverse, la construction de seuils ou de barrage va retenir les matériaux, stopper le transport solide en un point précis, créant une accumulation de matériaux en amont de ce point et un exhaussement du lit, mais également un déficit à l'aval de l'ouvrage entraînant une incision du cours d'eau (Yang. C.T, 1996).

I-3-2-1- Le transport en Suspension :

Le transport en suspension dominé par la turbulence est caractérisé par une grande dispersion des particules solides de diamètre plus faible, qui sont soumises généralement à la turbulence de l'écoulement et soutenues par le fluide porteur, les particules se déplacent au sein de l'écoulement avec une vitesse du même ordre de grandeur que celle du fluide (Yang. C.T, 1996).

I-3-2-2- Le transport par Charriage :

Ce mode de transport s'effectue dans la zone proche du fond mettant en jeu des chocs et des frottements entre particules, le poids de ces particules n'est pas supporté par le fluide, les particules se déplacent dans le sens du courant, en glissant et roulant ou en sautant légèrement avec des vitesses inférieures à celle de l'écoulement (Yang. C.T, 1996).

I-3-2-3- Le transport par Saltation :

C'est une forme caractéristique intermédiaire où les particules se déplacent essentiellement par des bonds, tout en alterne le charriage et la suspension. La saltation c'est les sauts effectués par les grains qui décollent légèrement du lit pour y retomber un peu plus loin Figure (I-10) (Yang. C.T, 1996).

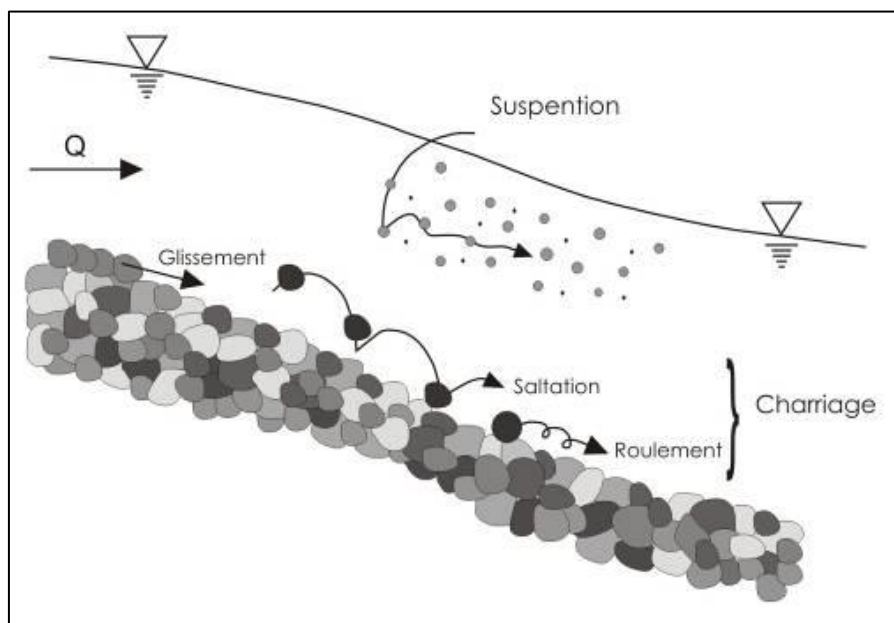


Figure (I-10) : Modes de transport des particules dans un chenal. (Hadj Rabia. N, 1994)

I-3-3- Début d'entraînement des sédiments par un courant :

Les particules commencent à s'éroder lorsque leur contrainte de cisaillement (τ_0) exercée par l'écoulement sur le fond dépasse une certaine contrainte critique (τ_{cr}) (Couvert. B, 1999)

$$\tau_{cr} < \tau_0$$

-Aspect macroscopique : Figure (I-11a)

- perte de charge = dissipation turbulente + frottement sur le fond et les parois.

- Force de frottement :

$$\text{Frottement} = \rho g [H. b . \Delta x] I$$

- contrainte

$$\tau = \frac{F_{\text{frott}}}{b \Delta x} = \rho_e \cdot g \cdot H \cdot I \quad (\text{I- 6})$$

τ : contrainte de cisaillement (Kg/m²).

b : la largeur du cours d'eau (m).

ρ_e : la masse volumique de l'eau (Kg/m³).

H : la profondeur de l'eau dans le cours d'eau (m).

I : la pente d'énergie.

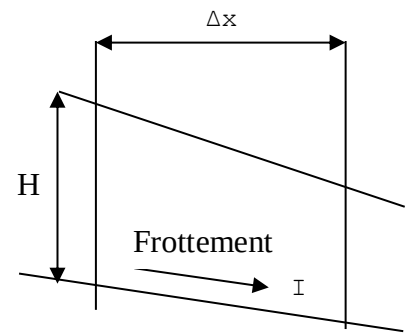


Figure (I-11a)

- Aspect microscopique : Fig (I-11b)

Force exercée sur un « grain ».

$$F = \tau \cdot \alpha_1 \cdot d_m^2 = \rho_e \cdot g \cdot H \cdot I \cdot \alpha_1 \cdot d_m^2 \quad (\text{I- 7})$$

Résistance au frottement.

$$F^* = (P - A) C_f = (\rho_s - \rho_e) \alpha_2 d_m^3 C_f \quad (\text{I- 8})$$

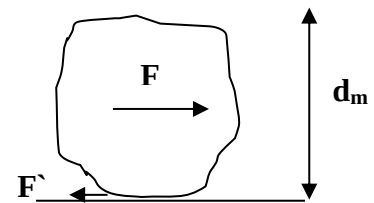


Figure (I-11b)

Condition d'entraînement :

- Si la force exercée est supérieure à la résistance :

$$F = \rho_e \cdot g \cdot H \cdot I \cdot \alpha_1 \cdot d_m^2 > F^* = (\rho_s - \rho_e) \alpha_2 \cdot d_m^3 \cdot C_f \cdot g \quad (\text{I- 9})$$

τ : contrainte de cisaillement (Kg/m²).

α_1 et α_2 : des coefficients dépendant des caractéristiques des particules solides.

ρ_e : la masse volumique de l'eau (Kg/m³).

ρ_s : la masse volumique des sédiments (Kg/m³).

d_m : diamètre moyen des particules solides (mm).

C_f : coefficient de frottement.

H : la profondeur de l'eau dans le cours d'eau (m).

I : la pente d'énergie.

g : l'accélération gravitaire (m/s^2).

On définit le frottement sous dimensionné

$$\theta = \frac{H.I}{\frac{(\rho_s - \rho_e)d_m}{\rho_e}} > \theta_c = \frac{\alpha_2 \cdot C_f}{\alpha_1} \quad (I-10)$$

$$U^* = \sqrt{g.H.I} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho_e}} \quad (I-11)$$

U^* : vitesse de frottement (m/s).

- Diagramme de Shields (1936, expérimental) Figure (I-12).

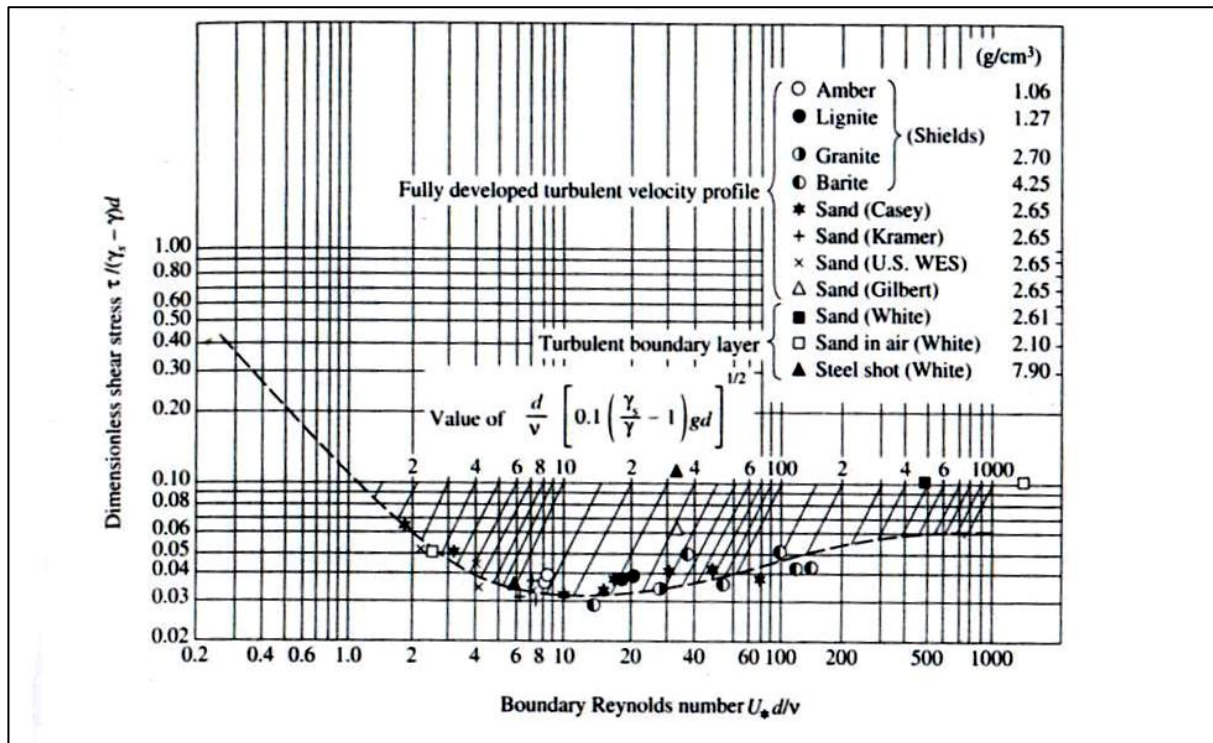


Figure (I-12) : Diagramme de Shields au début de mouvement (Vanoni, 1975)

En abscisse : Nombre de Reynolds de grain (frottement / Viscosité)

$$Re = \frac{U^* \cdot d_m}{\nu} \quad (I-12)$$

Re : le nombre de Reynolds.

d_m : diamètre moyen des particules solides (mm).

U^* : vitesse de frottement (m/s).

ν : la viscosité cinématique de l'eau (m^2/s).

En ordonnée : Contrainte critique adimensionnelle θ_c (seuil). (Yang, C.T, 1996)

I-4- L'ENVASEMENT DES RESERVOIRS :

La conséquence la plus dramatique de l'érosion des bassins versants et le transport solide est sans aucun doute l'envasement des barrages.

Actuellement, il y a un cumul de dépôt de vase de plus de 20 à 30 millions m^3 /an dans plus de 110 barrages Algériens (Remini, B., 2001). Plusieurs techniques de lutte contre ce phénomène ont été expérimentées dans de nombreux sites, mais sans avoir de bons résultats. Cet échec est dû surtout à la non-maîtrise du mécanisme de l'envasement et la quantité du matériau solide transportée dans les cours d'eau et plus particulièrement la fraction solide entrante dans les retenues.

Devant l'importance de ce problème et le manque de données, la quantification du transport solide s'avère indispensable (Remini, B., 2001).

I-4-1- Définition de l'envasement :

L'envasement des barrages est l'un des grands problèmes hydrauliques qui menacent l'existence de l'infrastructure hydrotechnique.

En référence à la forte érosion hydrique des bassins versants, des quantités considérables des sédiments sont drainées directement dans les retenues de barrage. Ces dépôts posent des problèmes aux barrages, tels que la déstabilisation de la digue, la diminution du volume utile d'eau, l'obturation des pertuis de vidange et le colmatage des canaux d'irrigation.

Un volume de 800 millions de m^3 de vase sur 6,5 milliards de m^3 se dépose annuellement dans les barrages en Algérie (Remini, B., 2001). Cette valeur pouvait être grande si ce n'est les moyens de lutte déployés par les services hydrauliques qui ont beaucoup réduit le taux d'envasement. Les deux méthodes de lutte contre ce phénomène (préventif et curative) ont été pratiquées à savoir :

I-4-1-1- Méthode Préventive :

Elle consiste à reboiser les bassins versants pour empêcher la sédimentation des barrages ; la restauration et la défense des sols, la formation des banquettes et les corrections torrentielles, la création de plages d'épandage, la plantation des cultures suivant les courbes de niveau, ainsi que la plantation de végétations à longues tiges dans les oueds. (ANBT, 2009)

I-4-1-2- Méthode curative :

Elle se base sur les chasses de dévasement par les vidanges de fond à barrage plein et au moment de l'entrée d'un excédent d'eau dans la retenue. Cette méthode est utilisée sur la plupart des barrages Algériens. Son efficacité se limite à la création d'un culot d'entonnement nécessaire autour de la vidange de fond pour éviter le blocage des vannes.

Il y a lieu aussi de faire recours au :

- ✓ soutirage par « courant de densité » ou « underflow » grâce aux vannettes de dévasement ;
- ✓ la surélévation en hausses fusibles de certains ouvrages ;
- ✓ le dévasement.

Le volume de vase extrait permettra l'augmentation de la capacité de mobilisation des barrages, de dégager leurs organes de vidange et de prise pour mettre en sûreté les ouvrages et améliorer la qualité de l'eau, en atténuant les poussées de vase et, par la même occasion, dépolluer les retenues des rejets des eaux usées urbaines et industrielles. (ANBT, 2009)

I-5- CONCLUSION :

Le changement climatique a intensifié le problème de l'érosion par le biais de précipitations extrêmes et de la perte de végétation. L'érosion hydrique, une forme majeure d'érosion des sols, est influencée par des facteurs tels que l'intensité des précipitations, le couvert végétal, la rugosité de la surface et le type de sol. Le ruissellement de surface est un facteur clé de l'érosion hydrique, influençant considérablement l'érosion des sols et le transport des sédiments.

L'urbanisation rapide constitue l'une des modifications les plus radicales de l'hydrologie naturelle d'un territoire. Elle entraîne le remplacement de surfaces imperméables et perméables par des zones bâties, ce qui accroît le ruissellement de surface, l'érosion des sols et le dépôt de sédiments dans les canalisations. La déstabilisation des pentes, associée au déboisement et à des aménagements non planifiés, contribue également à ces changements (Nayak. A, et al., 2026).

Ce chapitre a été consacré particulièrement aux mécanismes de l'érosion ainsi que ses différentes formes. Comme conclusion, on peut répartir les formes de ce phénomène complexe comme suit :

- Régions montagneuses méditerranéennes : L'érosion linéaire est plus efficace que l'érosion en nappe : Les zones à forte pente et avec des sols fragiles sont particulièrement vulnérables.

- Régions soudano-sahéliennes : L'érosion en nappe est moins prononcée, mais le ravinement est très actif, même sur de faibles pentes, car les versants sont longs et le ruissellement élevé.
- Variations spatiales : Des différences notables existent entre les bassins-versants, en fonction de leur géologie, de leur hydrologie et de leur utilisation du sol.

En Algérie, l'érosion hydrique a dégradé 45% des zones telliennes, soit 12 millions d'hectares (Chebbani et al., 1999). La région Ouest est la plus érodée avec 47% de l'ensemble des terres érodées, viennent ensuite les régions du centre 27%, et de l'Est 26% des terres érodées (Mate et GTZ, 2000).

Toutefois, l'érosion en nappe reste modeste en Algérie tandis que le ravinement et les mouvements de masse mobilisent des volumes importants de terre. (Zekri, N., et al, 2021)

CHAPITRE II : MÉTHODES DE CALCUL DU TRANSPORT SOLIDE

II-1- TRANSPORT SOLIDE PAR SUSPENSION

II-1-1 Introduction :

On désigne par la suspension, un sédiment supporté par une composante d'un courant turbulent qui se dirige vers le haut et qui reste en suspension pendant une durée de temps considérable. Dans la plus part des cours d'eau naturels, les sédiments sont transportés par suspension (Yang, C.T, 1996).

II-1-2 Théorie d'échange sous les conditions d'équilibre :

Sous l'accumulation des conditions d'équilibre, le mouvement descendant des sédiments est dû à la vitesse de chute qui doit être équilibrée par le mouvement ascendant dû à la fluctuation de la turbulence, l'équation de Rouse (Yang, C.T, 1996) :

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{H-y}{y} \cdot \frac{a}{H-a} \right)^Z \quad (\text{II-1})$$

où C et C_a : sont respectivement, la concentration du sédiment par poids à une distance y et a au dessus du lit ; H : la profondeur de l'eau (m); a : l'épaisseur du transport par charriage (m) ;

Z : le nombre de Rouse d'où : $Z = \frac{\omega}{K \cdot U^*}$;

ω : la vitesse de chute des particules (m/s) ;

K : une constante universelle de Prandtl – Von Karman ($K = 0.4$ pour une eau claire) ;

U^* : la vitesse de cisaillement (m/s).

II-1-3- La formule de LANE et KALINSKE (1941) :

Lane et Kalinske (1941) ont démontré que :

$$q_{ss} = q \cdot C_a \cdot P_L \cdot \exp\left(\frac{1.5 \cdot \omega \cdot a}{U^* \cdot H}\right) \quad (\text{II-2})$$

D'où :

q_{ss} : débit solide par suspension par unité de temps et de largeur ((lb/s)/ft).

q : débit de l'eau par unité de largeur ((Ft³/s)/Ft).

C_a : la concentration du sédiment en suspension à une distance a au-dessus du lit (ppm).

ω : la vitesse de chute qui correspond à d_{50} (In/s).

U^* : la vitesse de cisaillement (In/s).

H : la profondeur d'eau (Ft).

$P_L = \frac{\bar{C}}{C_a}$ d'où : $\bar{C}$: la concentration moyenne du sédiment (ppm).

La relation entre P_L et la vitesse de chute relative ω/U^* est démontrée selon les normes Anglaises sur la Figure (II-1).

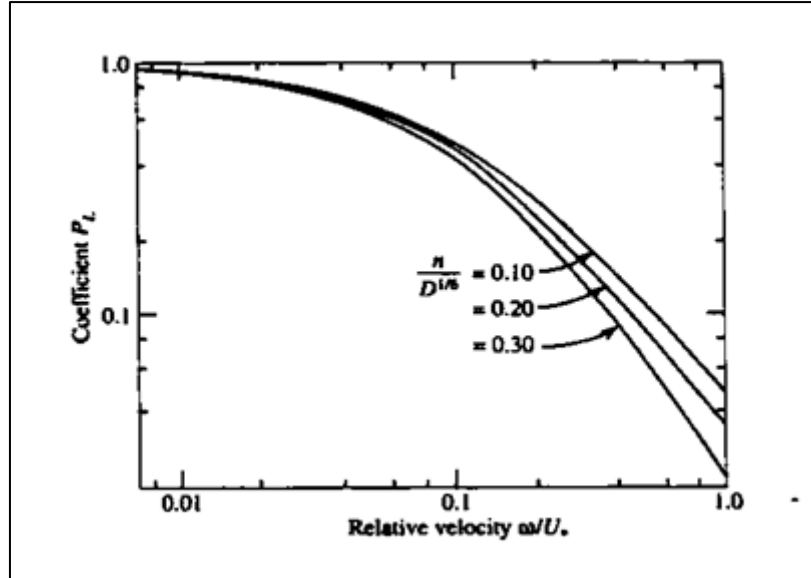


Figure (II-1) : La relation entre P_L et ω/U^* (d'après Lane et Kalinske, 1941)

II-1-4- La formule d'EINSTEIN (1950) :

En 1950, Einstein a démontré la formule suivante :

$$q_{ss} = 11.6 \cdot U_*' \cdot C_a \cdot a \cdot \left[\left(2.303 \log \frac{30.2 \cdot H}{\Delta} \right) \cdot I_1 + I_2 \right] \quad (\text{II-3})$$

Avec :

q_{ss} : Débit solide par suspension par unité de temps et de largeur ((lb/s)/Ft).

U_*' : la vitesse de cisaillement due à la rugosité du grain (Ft/s).

C_a : la concentration par poids sec à une distance : $y = a$.

a : la distance au dessus du lit tel que : $a = 2 \cdot d$ (Ft).

où : d : est le diamètre représentatif du grain du matériau du lit (Ft) ; H : la profondeur d'eau (Ft).

Δ : exprimé par : $\Delta = d_{65}/x$; $x = a$: facteur de correction donné dans la Figure (II-2a).

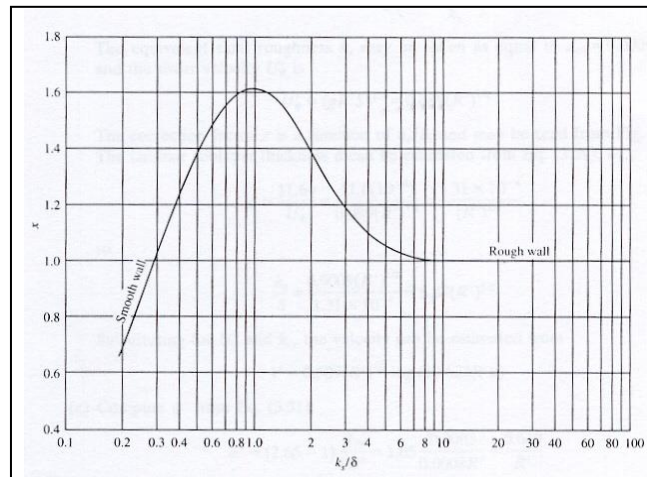


Figure (II-2a) : Le facteur de correction dans la distribution logarithmique des vitesses (Einstein, 1950)

Les fonctions I_1 et I_2 en termes de A pour différentes valeurs de Z sont donnés par la Figure (II-2b).

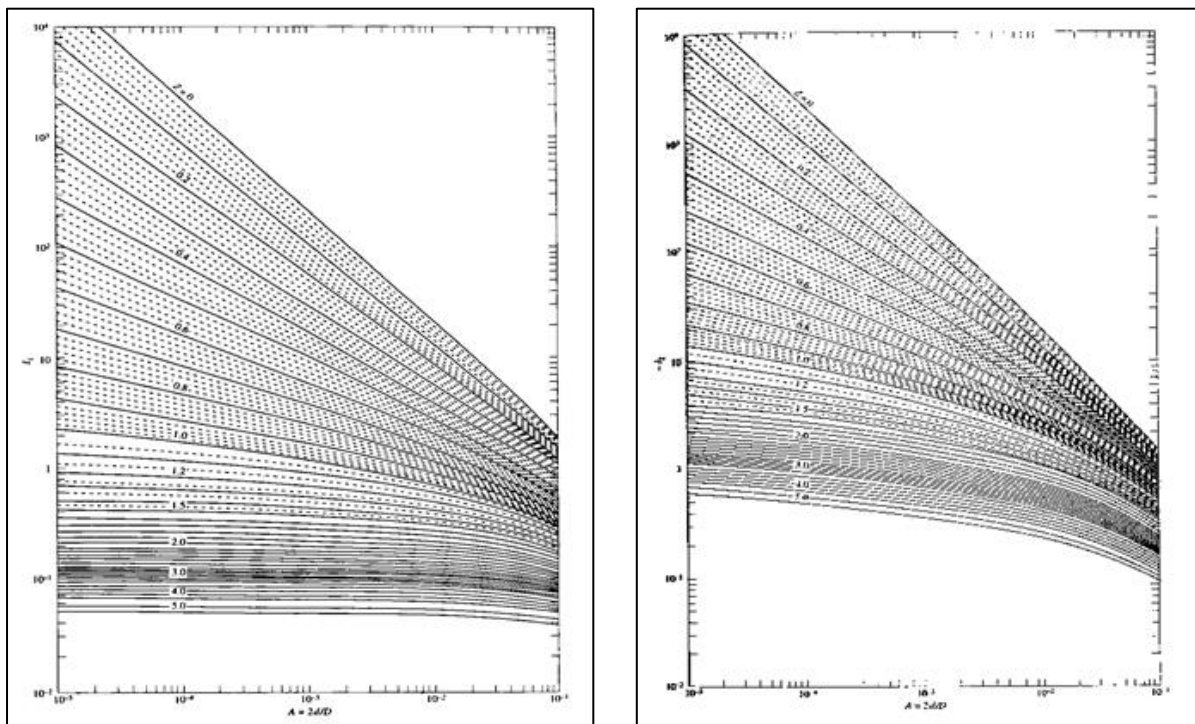


Figure (II-2b) : Les fonctions I_1 et I_2 en termes de A pour différentes valeurs de Z (Einstein, 1950)

II-1-5- La formule de BROOK (1963) :

En 1963, Brook a supposé que la distribution logarithmique des vitesses est applicable, donnant une relation similaire à celle d'Einstein (1950) :

$$\frac{q_{ss}}{q \cdot C_{md}} = T_B \left(K \cdot \frac{V}{U_*}, Z_1 \right) \quad (\text{II-4})$$

Où :

q_{ss} : le débit solide par suspension par unité de temps et de largeur.

q : le débit de l'eau par unité de largeur.

C_{md} : la concentration du sédiment référentielle à $y = \frac{1}{2} H$.

V : la vitesse de l'écoulement.

U^* : la vitesse de cisaillement.

K : une constante universelle de Prandtl – Von Karman ($K = 0.4$ pour une eau claire).

Z_1 : un facteur donné par la fonction de BROOK, Figure (II-3).

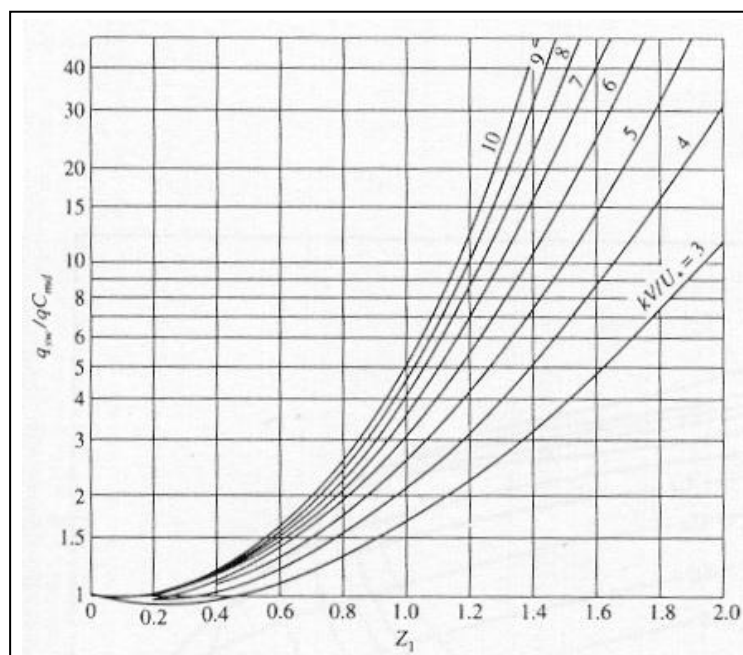


Figure (II-3) : La fonction de Brook du transport solide par suspension (Brook, 1963)

II-1-6- La formule de CHANG, SIMON et RICHARDSON (1965) :

Chang, Simon et Richardson ont supposé en (1965) que :

$$q_{ss} = \gamma_e \cdot H \cdot C_a \left(V \cdot I_1 - \frac{2U^*}{K} \cdot I_2 \right) \quad (\text{II-5})$$

$$\xi_a = \frac{a}{H} \quad , \quad Z_2 = \frac{2 \cdot \omega}{\beta \cdot U^* \cdot K} \quad (\text{II-6})$$

D'où :

q_{ss} : le débit solide par suspension par unité de temps et de largeur ((Ton/s)/m).

H : la profondeur de l'eau (m).

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (m/s).

I_1 et I_2 : des intégrales qui peuvent être obtenus respectivement à partir de la Figure (II-4).

U^* : la vitesse de cisaillement (m/s).

K : une constante universelle de Prandtl-Von Karman ($K = 0.4$ pour une eau claire).

a : l'épaisseur de la couche du lit est basée sur la supposition de Duboy (1879).

$$a = j \cdot \frac{\tau - \tau_c}{(1 - \tau)(\gamma_s - \gamma_e) \tan \phi} \quad (\text{II-7})$$

τ et τ_c : sont respectivement : la contrainte de cisaillement et la contrainte de cisaillement critique du lit (Kg/m^2).

γ_s, γ_e : sont respectivement : le poids spécifique des sédiments et de l'eau (Ton/m^3).

j : une constante expérimentale ($j=10$).

λ : la porosité du matériau du lit.

ϕ : l'angle de repos du matériau submergé du lit.

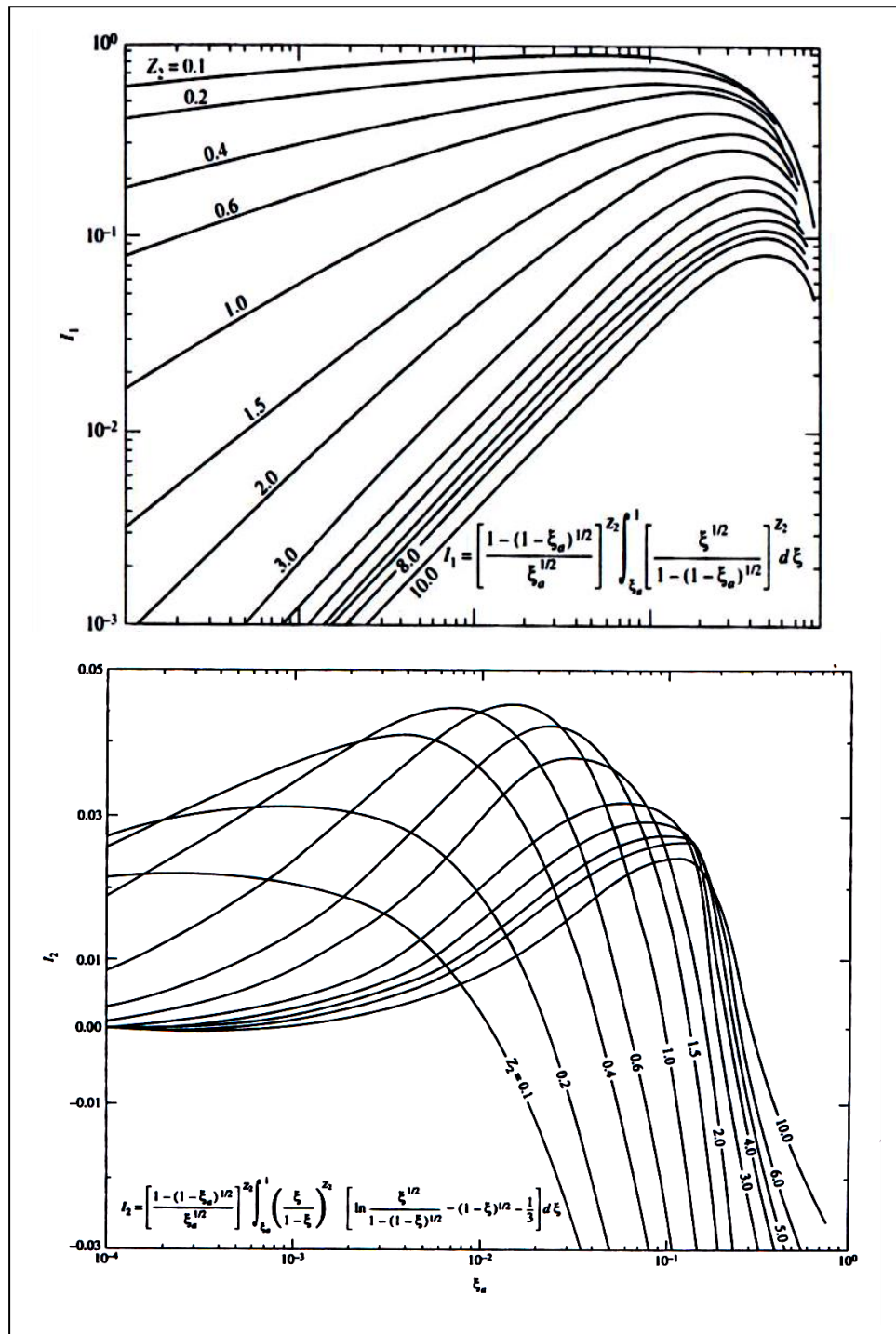


Figure (II-4) : Les fonctions I_1 et I_2 en termes du contact relatif de l'épaisseur des couches du matériaux du lit ξ_a pour différentes valeurs de l'exposant Z_2 (Yang, C.T, 1996)

II-1-7- La formule de VAN RIJN (1984) :

La relation de Van Rijn s'écrit sous la forme suivante (Lebreton. J.C, 1974)

$$q_{ss} = \frac{\left[\frac{a}{H}\right]^Z - \left[\frac{a}{H}\right]^{1.2}}{\left[1 - \frac{a}{H}\right]^Z \cdot [1.2 - Z]} \cdot U \cdot H \cdot C_a \quad (\text{II-8})$$

Où :

q_{ss} : le débit solide en suspension par unité de temps et par unité de largeur (Ton/s).

H : la profondeur de l'eau (m).

Z : un paramètre de transport donné par :

$$Z = \frac{\omega}{\left[1 + 2 \cdot \left(\frac{\omega}{U_*}\right)^2\right] \cdot K \cdot U_*} + 2.5 \cdot \left(\frac{\omega}{U_*}\right)^{0.8} \cdot \left(\frac{C_a}{0.65}\right)^{0.4} \quad \text{pour : } 0.01 \leq \left(\frac{\omega}{U_*}\right) \leq 1.$$

Avec :

K : une constante universelle de Prandtl-Von Karman ($K = 0.4$ pour une eau claire).

ω : la vitesse de chute des particules sédimentaires (m/s).

C_a : la concentration des sédiments par poids et à une distance « a » au-dessus du lit. .

U_* : la vitesse de cisaillement (m/s).

a : le niveau de référence, comme il est indiqué sur la Figure (II-5).

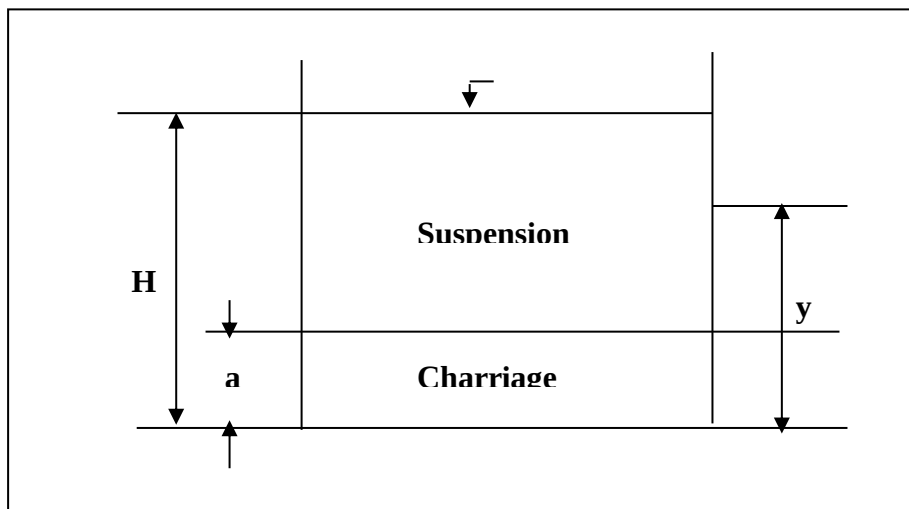


Figure (II-5) : Illustration des limites des zones d'écoulement pour le charriage et la suspension.

II-1-8- La formule de JUKE GUO et WILLIAM L – WOOD (1995) :

Ils ont proposé que (Correia. L.P, 1992).

$$q_{ss} = H \cdot U_* \cdot C \cdot \left[\frac{\bar{U}}{U} + \frac{1-f(Z)}{K} \right] \quad (\text{II-9})$$

Avec :

q_{ss} : le débit solide par suspension et par unité de temps et de largeur ((Ton/s)/m).

$\bar{U}$: la vitesse moyenne de l'écoulement (m/s).

C : la concentration moyenne (mg/l).

U_* : la vitesse de cisaillement (m/s).

K : constante de Von Karman ($K = 0.4$).

$U = u(y)$: la vitesse à n'importe quelle position verticale.

H : la profondeur de l'eau (m).

$$f(Z) = (1-\gamma)\ln(2-Z) + \frac{1}{1-Z} + \frac{1}{2 \cdot (2-Z)} + \frac{1}{24(2-Z)^2} \quad (\text{II-10})$$

D'où :

γ : la constante d'Euler : $\gamma = 0.5772156649$.

Z : l'exposant : $Z = \left(\frac{\omega}{K \cdot U_*} \right)$ sachant que : ω : la vitesse de chute de la particule (m/s).

II-1-9- la formule de VELIKANOV :

C'est le modèle qui traite le transport solide en suspension d'une manière globale, il ne donne accès au profil des concentrations, c'est un modèle souvent qualifié énergétique Figure (II-6).

Il est très utilisé pour déterminer la capacité du transport d'un écoulement (Correia. L.P, 1992).

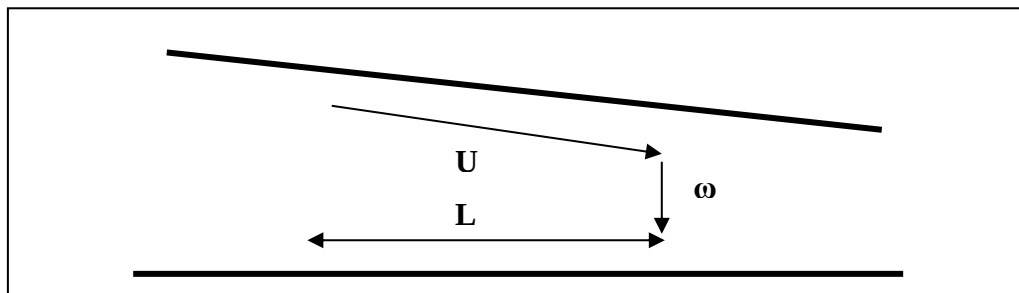


Figure (II-6) : Schématisation de l'écoulement selon Vélikanov (Chang et al, 1965)

Le travail nécessaire pour maintenir les particules en suspension dans le secteur observé s'écrit comme suit :

$$T_s = q_s (\rho_s - \rho_e) dt \cdot L \cdot \omega \cdot \frac{\omega}{U} \quad (\text{II-11})$$

Avec :

q_{ss} : le débit solide par suspension par unité de temps et de largeur ((Tons/s)/m).

ρ_e et ρ_s : sont respectivement, la masse volumique de l'eau et des sédiments (Kg/m³).

dt : l'intervalle de temps (s).

ω : la vitesse de chute des particules (m/s).

U : la vitesse de l'écoulement (m/s).

Et : $C_{vt} = \frac{Q_s}{Q}$

tel que :

$$C_{vt} = \eta \cdot \left(\frac{\rho_e}{\rho_s - \rho_e} \right) \cdot \frac{U_*^2}{g \cdot H \cdot \omega} \quad (\text{II-12})$$

C_{vt} : étant la concentration volumique transportée (mg/l).

Il déduit la relation suivante :

U_* : la vitesse de cisaillement (m/s).

g : l'accélération gravitaire (9.81 m/s²).

η : le nombre de Vélikanov, généralement compris entre : $0.00036 < \eta < 0.007$.

II-1-10- La formule de CELIK et RODI :

Après l'analyse expérimentale des données, Celik et Rodi ont proposé une relation empirique qui détermine la contrainte tractrice pour la suspension (Correia. L.P, 1992)

$$U_{*cr} = \sqrt{\frac{\rho_e}{g \cdot d_{50}} \cdot \frac{0.15}{R_{h*}}} \text{ pour : } R_{h*} \leq 0.6$$

$$U_{*cr} = \sqrt{\frac{\rho_e}{g \cdot d_{50}} \cdot 0.25} \text{ pour : } R_{h*} > 0.6$$

d'où :

U_{*cr} : la vitesse de cisaillement critique (m/s).

ρ_e et ρ_s : sont respectivement, la masse volumique de l'eau et des sédiments (Kg/m³).

g : l'accélération gravitaire (9.81 m/s²).

d_{50} : le diamètre moyen des sédiments (mm).

R_h : le rayon hydraulique (m).

Ils ont dérivé la capacité de la concentration du transport pour les écoulements dans un canal ouvert sous les conditions d'équilibre comme suit :

$$C_{av} = 1.130034 \left[1 - \left(\frac{K_s}{y} \right)^{0.06} \right] \cdot \frac{\tau \cdot U}{(\rho_s - \rho_e) \cdot g \cdot y \cdot \omega} \quad (\text{II-13})$$

Dont :

$\tau = \rho_e \cdot g \cdot y$: est la contrainte tractrice au fond (Kg/m²).

K_s est donné par la formule suivante :

$$K_s = 30 \exp \left[-1 - K \cdot \frac{U}{U_*} \right] \quad (\text{II-14})$$

Cette expression est valable pour : $0.005 \text{ mm} < d_{50} < 0.6 \text{ mm}$ (c'est à dire : du Silt moyen au sable gros) ; pour une concentration moyenne du transport par suspension des sédiments dans la gamme $10^{-4} \% < C_{av} < 10 \%$ dans le volume.

II-1-11- CONCLUSION :

Après avoir défini toutes les formules existantes concernant le mode de transport en suspension, on peut les récapitulées selon leur domaine de validation dans le tableau (II-1) suivant :

Tableau (II-1) : Domaine de validation des formules du « Transport solide par suspension »

N°	Nom de l'auteur	Paramètres utilisés		Limitation
		Caractéristiques des sédiments	Caractéristiques de l'écoulement	
1	Rousse (1937)	ω, C, C_a, ρ_s	y, U^*	-
2	Lane & Kalinske (1950)	ω, C, C_a, q_{ss}	q, H, U^*	-
3	Einstein	C_a, q_{ss}, d_{65}	U^*, H, ω, I_1, I_2	-
4	Brook (1963)	q_{ss}, C_{md}	q, U^*, K, V	-
5	Chang-Simon & Richardson (1965)	$q_{ss}, C_a, \phi, \gamma_s$	$H, V, I_1, I_2, U^*, \tau_c, \tau, \varepsilon_s$	-
6	Van Rijn (1984)	$q_{ss}, C_a, s, d_{50}, d^*, \omega, d_s, \theta_{cr}$	H, g, U_{*c}	$0.2 < d_{50} < 2 \text{ mm}$
7	Juke Guo & William.L.Wood (1995)	$\omega, q_{ss}, \rho_s, C_{vt}$	H, g, U, ρ_e, U^*, K	-
8	Celik & Rodi	$C_{av}, s, d_{50}, K_s, \rho_s$	$H, g, R_h, U_{*cr}, \rho_e, U, \tau$	$0.005 \text{ mm} < d_{50} < 0.6 \text{ mm}$ $10^{-4} \% < C_{av} < 10 \%$
9	Velikanov	$\rho_s, \omega, q_{ss}, C_{vt}$	$\rho_e, U^*, U, g, H, dt, \eta$	-

II-2- TRANSPORT SOLIDE PAR CHARRIAGE

II-2-1- Introduction :

Lorsque les conditions de l'écoulement dépassent le critère du début de mouvement, les particules sédimentaires le long d'un lit alluvial commencent à se déplacer. Si le mouvement de la particule sédimentaire est en roulement, en glissant ou parfois en saltation le long du lit, on l'appelle transport solide par charriage du fond.

Généralement, le débit du transport solide par charriage du fond de la rivière est environ de 5 à 25 % à celui en suspension. Cependant, pour les matériaux grossiers, ces derniers peuvent être transportés par charriage du fond (Yang, C.T, 1996).

II-2-2- L'approche des contraintes de cisaillement :

II-2-2-1- La formule de DUBOY (1879) :

Duboy (1879) a supposé que les particules sédimentaires se déplacent dans des couches le long du lit. La contrainte de cisaillement appliquée sur le lit doit dépasser la contrainte de cisaillement critique pour initier le mouvement.

Le débit solide par unité de largeur et par rapport au temps est calculé à partir de la formule suivante :

$$q_{sch} = \frac{0.173}{d^{3/4}} \cdot \tau \cdot (\tau - \tau_c) \quad (\text{II-15})$$

q_{sch} : le débit solide par charriage par unité de temps et de largeur ((Ib/s)/Ft).

d : le diamètre des particules solides (Ft) ; τ et τ_c : sont respectivement : la contrainte de cisaillement et la contrainte critique de cisaillement (Ib/Ft²).

II-2-2-2- La formule de SHIELD (1936) :

Shield (1936) a mesuré les conditions d'un écoulement avec un transport solide supérieur à zéro et puis, il a amélioré la relation pour obtenir la condition de l'écoulement qui correspond au début de mouvement. Ainsi, l'équation semi- empirique pour le transport solide par charriage du fond est la suivante :

$$\frac{q_{sch} \cdot \gamma_s}{q \cdot \gamma_e \cdot I} = 10 \cdot \frac{\tau - \tau_c}{(\gamma_s - \gamma_e) d} \quad (\text{II-16})$$

d'où :

q_{sch} et q : sont respectivement : le débit solide par charriage du fond, et le débit de l'eau par unité de largeur ((Ib/s)/Ft) ;

$\tau = \gamma \cdot H \cdot I$: la contrainte de cisaillement (Ib/Ft²);

τ_c : la contrainte critique de cisaillement (Ib/Ft²), elle est obtenue à partir du diagramme de Shield Figure (I-3) ;

d : le diamètre des particules sédimentaires (Ft) ;

γ et γ_s : sont respectivement : le poids spécifique de l'eau et du sédiment (Ib/Ft³) ;

H : la profondeur de l'eau (Ft) ;

I : la pente d'énergie.

II-2-2-3- La formule de KALINSKE (1947) :

Kalinske (1947) a supposé que :

$$U_s = b \cdot (U - V_s) \quad (\text{II-17})$$

où : U_s et U : sont respectivement : la vitesse instantanée du sédiment, et de l'écoulement (Ft/s);

V_s : la vitesse critique au début de mouvement (Ft/s) ; b : une constante adimensionnelle.

Pour les écoulements turbulents :

$$\frac{\overline{U_s}}{U_*} = f\left(\frac{\tau_c}{\tau}\right) \quad (\text{II-18})$$

où : $\overline{U_s}$: la valeur moyenne du temps pour U_s ; U_* : la vitesse de cisaillement (Ft/s).

Par la définition du mouvement de charriage de fond :

$$q_{sch} = \alpha \cdot P \cdot d \overline{U_s} \quad (\text{II-19})$$

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur ((Ib/s)/Ft) ;

P : fraction du lit couverte par les particules sédimentaires.

d : le diamètre moyen de la particule sédimentaire (Ft) ; α : coefficient de forme ($\alpha = 2/3$ pour une sphère uniforme).

Ainsi :

$$\frac{q_{sch}}{U_* \cdot d} = f\left(\frac{\tau_c}{\tau}\right) \quad (\text{II-20})$$

la relation du charriage du fond de Kalinske est mentionnée sur la Figure (II-7) :

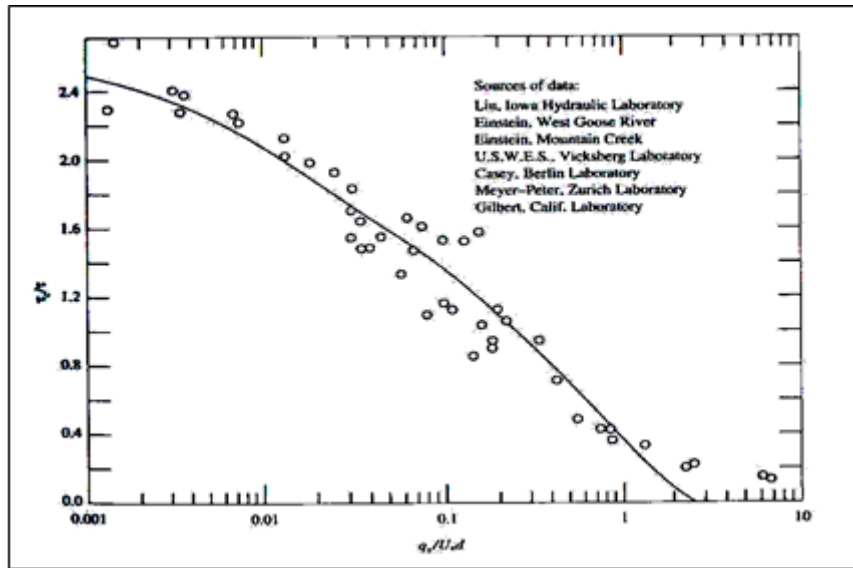


Figure (II-7) : L'équation du charriage du fond de Kalinske (Yang, C.T, 1996).

II-2-2-4- La formule de CHANG, SIMON & RICHARDSON (1967) :

Chang, Simon et Richardson (1967) ont suggéré que le débit solide par charriage du fond peut être déterminé par :

$$q_{sch} = \frac{K_b \cdot \gamma_s \cdot V \cdot (\tau - \tau_c)}{(\gamma_s - \gamma_e) \tan \phi} = K_t \cdot V \cdot (\tau - \tau_c) \quad (\text{II-21})$$

où :

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur ((Ib/s)/Ft) ;

γ et γ_s : sont respectivement : le poids spécifique de l'eau et du sédiment (Ib/Ft³) ;

τ et τ_c : sont respectivement la contrainte de cisaillement et la contrainte critique de cisaillement (Ib/Ft²) ; V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ; K_b : une constante ; Φ : l'angle de repos, pour les matériaux submergés du fond ; les valeurs de K_t sont données dans la Figure (II-8).

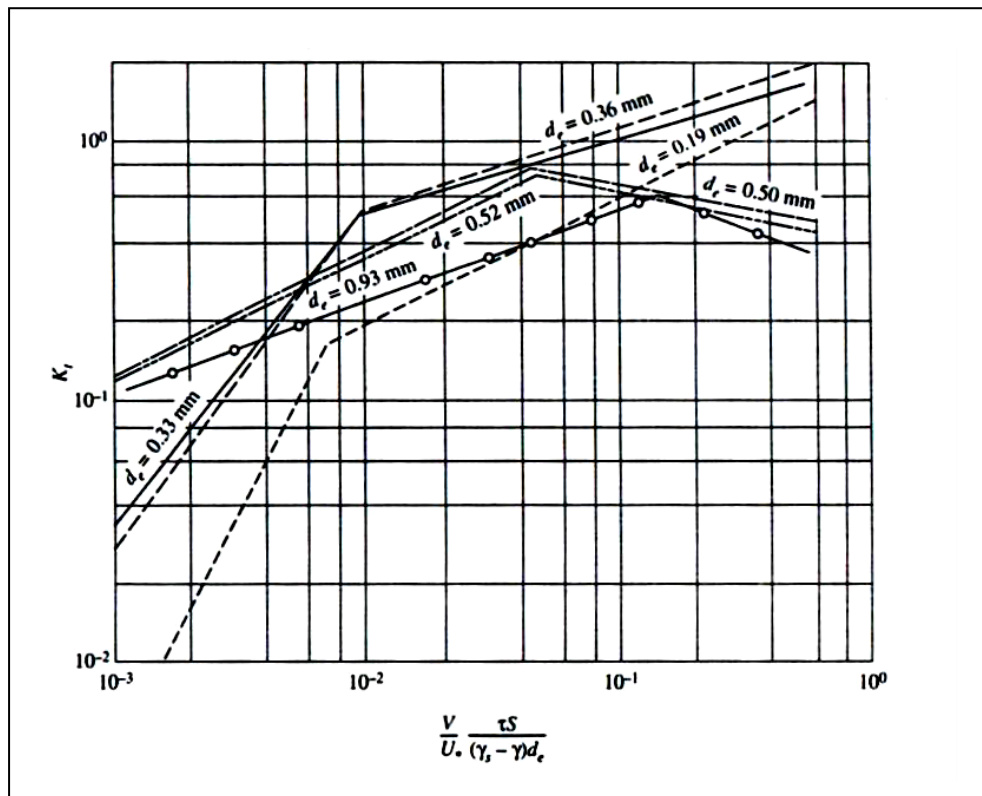


Figure (II-8) : Coefficient K_t du transport solide total pour différents sables à partir des données des canaux (Yang, C.T, 1996).

II-2-3- L'approche de la pente d'énergie :

II-2-3-1- La formule de MEYER – PETER (1934) :

Meyer Peter et al (1934) ont dirigé largement les études de laboratoire sur le transport solide. La formule de Meyer Peter pour estimer le débit solide par charriage de fond est exprimée comme suit :

$$\frac{0.4 \cdot q_{sch}^{2/3} \cdot q^{2/3} \cdot I}{d} = 17 \quad (II-22)$$

où : q_{sch} et q : sont respectivement : le débit solide par charriage de fond et le débit de l'eau par unité de temps et de largeur ((tonne/s)/m) ; I : la pente d'énergie ; d : le diamètre de la particule sédimentaire (mm).

Les constantes 17 et 0.4 sont valables uniquement pour le sable d'une gravité spécifique $G = 2.65$.

La formule de Meyer Peter peut être appliquée uniquement pour les matériaux grossiers avec un diamètre de particule plus grand que 3 mm. Pour les mélanges des

matériaux non uniformes, d : doit être remplacé par d_{35} dont 35 % du mélange présente les particules les plus fines que d_{35} Figure (II-9).

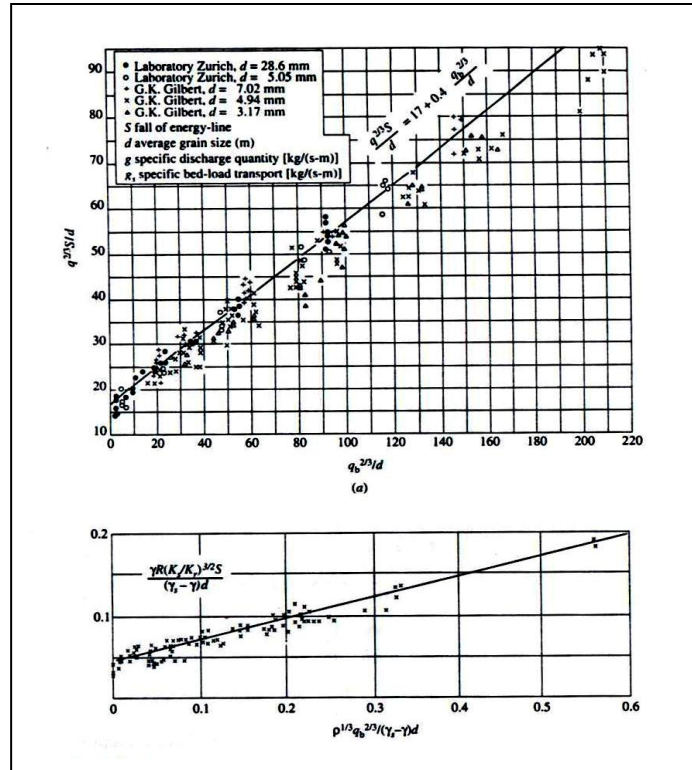


Figure (II-9) : Fonctions du transport de Meyer-Peter (1934) et Meyer-Peter et Muller : (a) Meyer-Peter et al (1934); (b) Meyer-Peter et Muller (1948) (Yang, C.T, 1996)

II-2-3-2- La formule de Meyer Peter et Muller (1948) :

Après 14 ans de recherche et d'analyse, Meyer Peter et Muller (1948) Figure (II-9), ont transformé la formule de Meyer Peter et *al.* (1934) d'où :

$$\gamma_e \left(\frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} \cdot R_h \cdot I = 0.047 (\gamma_s - \gamma_e) d + 0.25 \cdot \rho^{1/3} \cdot q_{sch}^{2/3} \quad (\text{II-23})$$

q_{sch} : le débit solide de charriage du fond par unité de temps et de largeur (tonne/s/m).

γ et γ_s : sont respectivement : le poids spécifique de l'eau et du sédiment (tonne/m³) ;

I : la pente d'énergie ;

R_h : le rayon hydraulique (m) ;

d : le diamètre moyen des particules sédimentaires.

Avec :

$$K_s = \frac{V}{R_h \cdot I^{1/2}}, \quad K_s = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \quad (\text{II-24})$$

K_s : coefficient de Strickler qui représente la rugosité efficace ;

K_r : coefficient de Strickler qui représente la rugosité des grains ;

τ : la contrainte de cisaillement (Kg/m^2) ;

τ_c : la contrainte critique de cisaillement (Kg/m^2), $\tau_c = 0.047$;

R_h : le rayon hydraulique ; I : la pente d'énergie ;

d_{50} : le diamètre des particules (mm) ;

d_{90} : diamètre des sédiments dont 90 % du mélange représente le tamisats (mm).

II-2-4– L'approche du débit :

II-2-4-1- La formule de SCHOKLITSCH (1934) :

Shocklitsch était le premier utilisateur de la notion de débit de l'eau pour la détermination du débit solide par charriage du fond. Il y a deux formules de Shocklitsch, celle de (1934) et celle de (1943) :

$$q_{sch} = 7000 \cdot \frac{I^{3/2}}{d^{1/2}} (q - q_c) \quad (\text{II-25})$$

où :

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur (tonne/s/m);

d : le diamètre de la particule (mm) ;

q et q_c : sont respectivement : le débit de l'eau et le débit critique au début de mouvement ($(\text{m}^3/\text{s})/\text{m}$).

Le débit critique de l'eau pour les sédiments est donné par :

$$q_c = \frac{0.00001944 \cdot d}{I^{4/3}} \quad (\text{II-26})$$

d : le diamètre des particules (mm) ;

I : la pente d'énergie.

II-2-4-2- La formule de SCHOKLITSCH (1943) :

$$q_{sch} = 2500 \cdot I^{3/2} \cdot (q - q_c) \quad (\text{II-27})$$

pour les sédiments qui ont un poids spécifique de 2.65, le débit critique sera :

$$q_c = \frac{0.6 \cdot d^{2/3}}{I^{7/6}} \quad (\text{II-28})$$

où :

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur (tonne/s/m);

q et q_c : sont respectivement : le débit de l'eau et le débit critique au début de mouvement ((m³/s)/m).

d : le diamètre des particules (mm) ;

I : la pente d'énergie.

II-2-5- L'approche des vitesses (la formule de DUBOY) :

Duboy a démontré la formule suivante :

$$q_{sch} = K \cdot (\gamma_e \cdot I \cdot H) \cdot (\gamma_e \cdot I \cdot H - \gamma_e \cdot I \cdot H_c) = K \cdot (\gamma_e \cdot I)^2 \cdot H \cdot (H - H_c) \quad (\text{II-29})$$

où :

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur (tonne/s/m) ;

H et H_c : sont respectivement la profondeur de l'eau normale et critique au début de mouvement (m) ;

I : la pente d'énergie ;

γ_e : le poids spécifique de l'eau (tonne/m³) ;

Donate (1929) a supposé que l'équation de Chezy peut être utilisée et que la valeur de C de Chezy reste la même pour H et H_c donc on aura :

$$q_{sch} = \frac{K}{C^4} \cdot \gamma_e^2 \cdot V^2 \cdot (V^2 - V_c^2) \quad (\text{II-30})$$

où : c : coefficient de la rugosité de Chezy. ;

γ_e : le poids spécifique de l'eau ;

V et V_c : sont respectivement : la vitesse moyenne et critique au début de mouvement (m/s) ;

K : est obtenue à partir de la Figure (II-10).

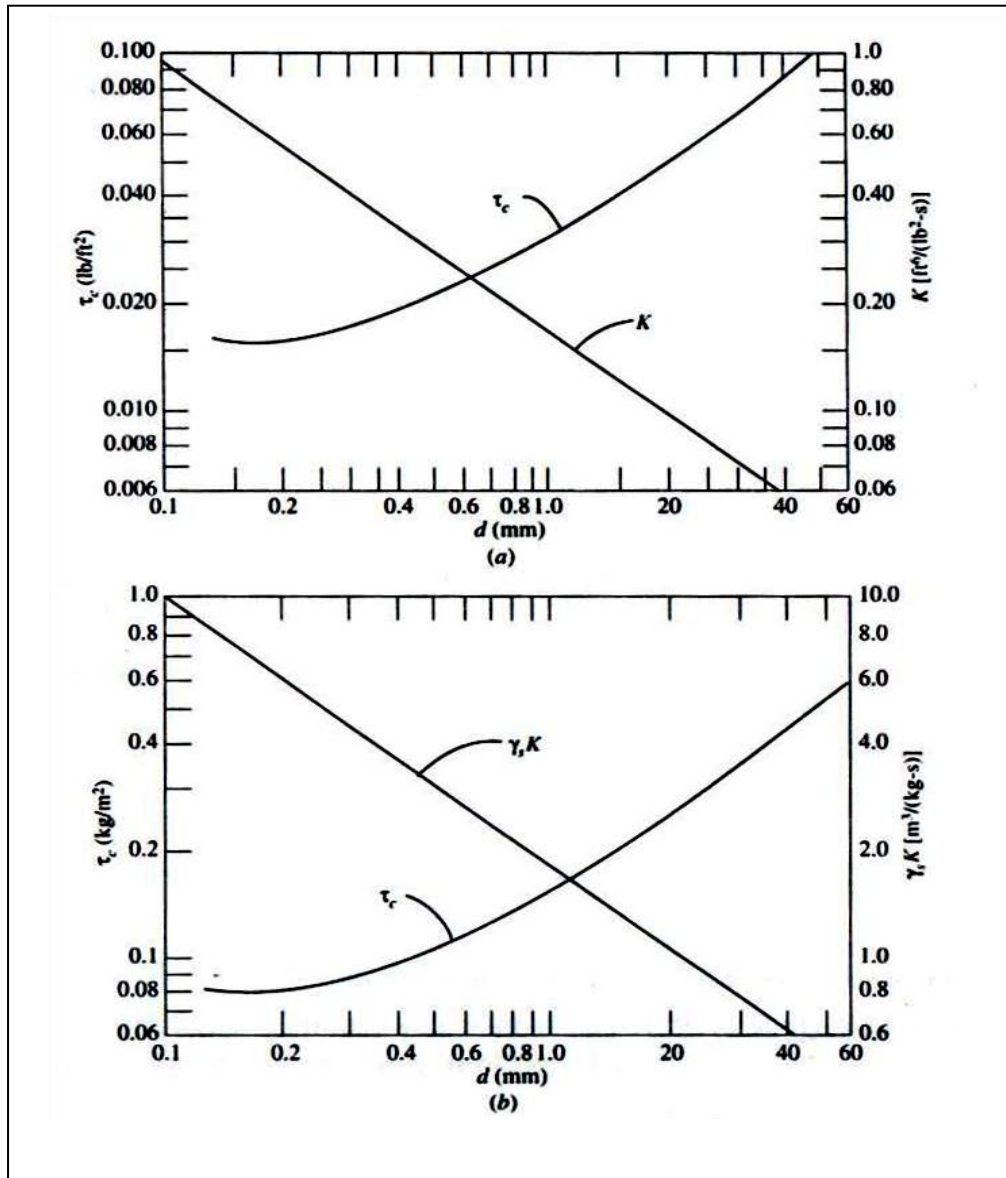


Figure (II-10) : Paramètres des sédiments et la force de cisaillement critique pour l'équation du Duboy charriage du fond : (a) unités Britanniques ; (b) unités métriques (Yang, C.T, 1996).

II-2-6- L'approche de la forme du lit :

Le débit de charriage du fond peut être calculé directement à partir du mouvement de la forme du lit comme suit :

$$q_{sch} = (1-P) \cdot V_s \cdot y_v = (1-P) \cdot V_s \cdot \frac{A}{2} \quad (\text{II-31})$$

où :

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur ((Tons/s)/m) ;

P : la porosité du lit de sable;

V_s : la vitesse d'ondulation du sable (m/s) ;

y_v : le volume des sédiments en mouvement par unité de largeur = $A/2$;

A : la largeur moyenne triangulaire d'ondulation du sable.

Cette équation peut être utilisée pour déterminer le mouvement du charriage de fond lorsque la grandeur de la forme du lit est mesurée.

II-2-7- L'approche probabiliste :

II-2-7-1- La formule d'EINSTEIN :

Einstein (1942 – 1950) a défini la fonction du transport solide comme :

$$\Phi = \frac{q_{sch}}{\gamma_s} \cdot \left[\frac{\gamma_e}{g \cdot (\gamma_s - \gamma_e) d^3} \right]^{1/2} \quad (\text{II-32})$$

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur ((Tons/s)/m) ;

γ_e et γ_s : sont respectivement : le poids spécifique de l'eau et des sédiments (Tons/m³);

d : le diamètre des particules sédimentaires (mm) ;

g : l'accélération gravitaire (m/s²).

II-2-7-2- La formule d'EINSTEIN – BROWN (1950) :

Brown (1950) a développé la fonction du transport par charriage du fond en basant sur la formule d'Einstein (1942) :

$$\Phi = \frac{q_{sch}}{K \cdot [g \cdot (\gamma_s - \gamma_e) d^3]^{1/2}} \quad (\text{II-33})$$

où :

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur ((Tons/s)/m) ;

γ_e et γ_s : sont respectivement : le poids spécifique de l'eau et des sédiments (Tons/m³);

g : l'accélération gravitaire (m/s²) ;

d_{50} : la valeur qui doit être utilisée pour d dans la formule d'Einstein Brown.

II-2-8- L'approche par régression :

Il y a plusieurs formules empiriques ou semi empiriques du charriage du fond qui sont basées sur les analyses par régression des données expérimentales. Parmi ces formules, la plus connue c'est la formule de Rottner.

II-2-8-1- La formule de ROTTNER (1959) :

Rottner a dérivé une équation pour accélérer le débit du charriage du fond en termes des paramètres d'écoulement basés sur des données établies par Johnson (1943), Rottner a appliqué les analyses par régression pour déterminer l'effet du paramètre de la rugosité relative d_{50} / H . la formule de Rottner est la suivante :

$$q_{sch} = \gamma_s \left[(\zeta_s - 1) g H^3 \right]^{1/2} \quad (\text{II-34})$$

$$X \left\{ \frac{V}{\left[(\zeta_s - 1) g H \right]^{1/2}} \left[0.667 \left(\frac{d_{50}}{H} \right)^{2/3} + 0.14 \right] - 0.778 \left(\frac{d_{50}}{H} \right)^{2/3} \right\}^3 \quad (\text{II-35})$$

où :

q_{sch} : débit solide par charriage du fond par unité de temps et de largeur ((Ib/s)/Ft) ;

γ_s : le poids spécifique du sédiment (Ib/Ft³) ;

ζ_s : la gravité spécifique du sédiment, $\zeta_s = 2.65$;

g : l'accélération gravitaire (Ft/s²) ;

H : la profondeur moyenne de l'eau (Ft) ;

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ;

d_{50} : le diamètre de la particule lorsque 50% des matériaux du lit sont fins.

II-2-9- L'approche d'égales mobilités :**II-2-9-1- La formule de PARKER & al (1950,1982) :**

Les hypothèses de mobilité égale ont été proposées par Parker (1950) et Parker et al (1982) pour le développement du charriage du fond ou de la formule du transport de gravillons. Ils ont supposé que le transport par charriage du fond dans les lits des rivières en gravillons est accompli par des moyennes de la mobilisation des grains exposés à la surface du lit. Cette mobilisation est un résultat de l'action des forces de fluide sur les grains exposés. La conséquence des hypothèses de mobilité égale c'est que la distribution des dimensions du charriage du fond est approximative par rapport à celle déduite pour tous les écoulements capables de déplacer les gravillons les plus disponibles. Cette approximation a permis à Parker et al (1982) de développer une relation empirique du transport de gravillons

entièrement basée sur des données réelles. En choisissant des paramètres appropriés. La relation entre les paramètres des contraintes tondues Φ_i est illustrée dans la Figure (II-11).

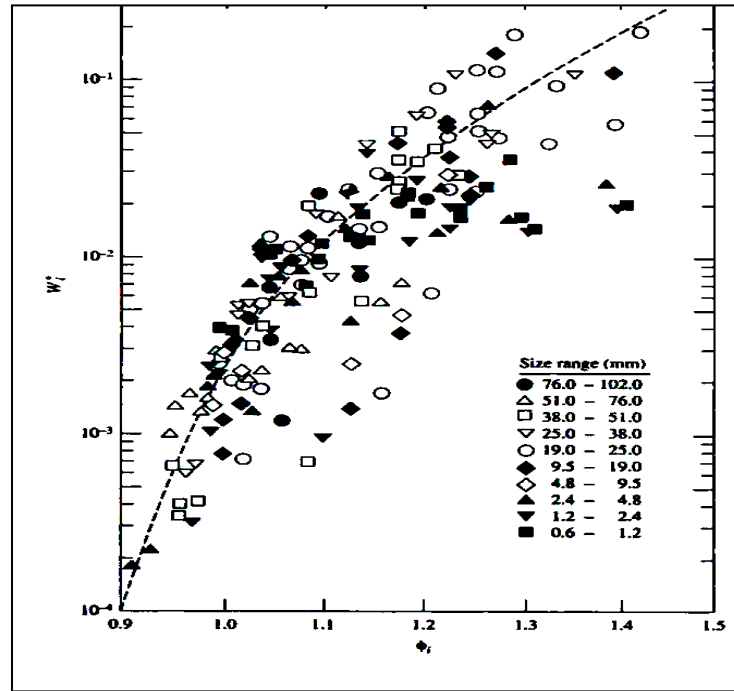


Figure (II-11) : Dessin similaire de W_i^* avec l'indication des classes des diamètres (Yang, C.T, 1996).

$$\omega_i^* = \frac{\left(\frac{\gamma_s - \gamma_e}{\gamma_e} \right) \cdot q_{schi}}{R \cdot (g \cdot H \cdot I)^{1/2} \cdot H \cdot I} \quad (II-36)$$

$$\phi_i = \frac{H \cdot I}{\left(\frac{\gamma_s - \gamma_e}{\gamma_e} \right) \cdot d_i \cdot \tau_{ri}^*} \quad (II-37)$$

où :

q_{schi} : le débit solide par charriage du fond par unité de largeur dans la fraction du diamètre d_i ((Tons/s)/m) ;

g : l'accélération gravitaire (m/s^2) ;

H : la profondeur moyenne de l'eau (m) ;

γ_e et γ_s : sont respectivement : le poids spécifique de l'eau et des sédiments ($Tons/m^3$) ;

P_i : la fraction du poids en diamètre d_i ; $\tau_{ri}^* = 0.0875 \cdot d_{50} / d_i$.

A cause de la mobilité égale de tous les diamètres; uniquement un diamètre de grain, à savoir le diamètre d_{50} de la surface supérieur, est utilisé pour caractériser le débit du charriage du fond comme une fonction de la contrainte de cisaillement :

$$\omega^* = 0.0025 \cdot \exp \left[142 \cdot (\phi_{50} - 1) - 9.28 \cdot (\phi_{50} - 1)^2 \right] \quad ; \quad 0.95 < \phi_{50} < 1.6$$

$$\text{où:} \quad \omega^* = 11.2 \cdot \left(1 - \frac{0.822}{\phi_{50}} \right)^{4.5} \quad ; \quad \phi_{50} > 1.65$$

dans ce système d'équation : ϕ_{50} : est basée sur le diamètre d_{50} de la surface supérieur.

II-2-10- La formule de YALIN (1963 & 1970) :

La formule de Yalin correspond à un modèle de saltation du grain (Lebreton. J.C, 1974), Yalin suppose que la force de portance F_y décroît exponentiellement avec la distance du fond Figure (II-12).

Il arrive à l'expression :

$$q_{sch} = 0.635 \cdot U^* \cdot H \cdot r \cdot \left[1 - \frac{\log(1+a \cdot r)}{a \cdot r} \right] \quad \text{(II-38)}$$

d'où :

q_{sch} : le débit solide en volume et par unité de largeur ((Tons/s)/m) ;

g : l'accélération gravitaire (m/s^2) ;

H : la profondeur moyenne de l'eau (m) ;

γ_e et γ_s : sont respectivement : le poids spécifique de l'eau et des sédiments (Tons/ m^3);

τ et τ_c : sont respectivement la contrainte de cisaillement et la contrainte critique de cisaillement (Tons/ m^2) ;

$$U^* : \text{la vitesse de cisaillement (m/s); } r = \frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \quad ; \quad a = 2.45 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_e} \right)^{0.4} \cdot \sqrt{\frac{\tau_c}{g \cdot \gamma_s \cdot H}}$$

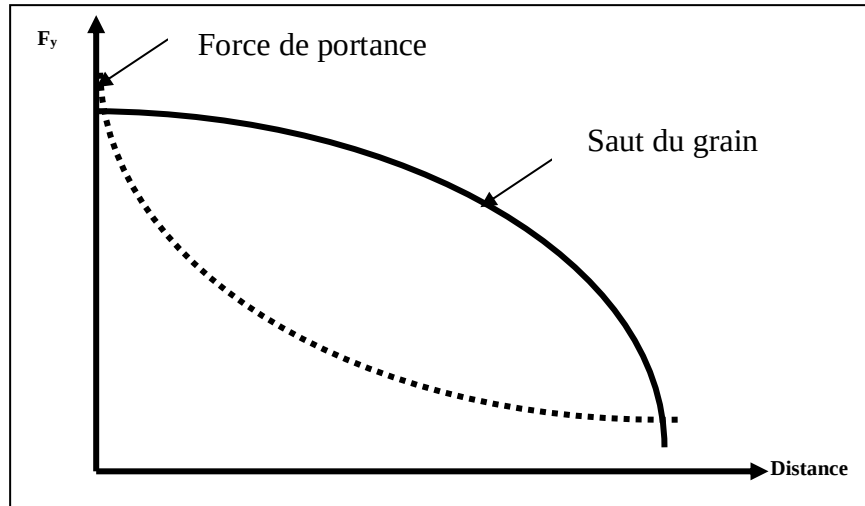


Figure (II-12) : Schéma explicatif de Yalin (Yang, C.T, 1996).

La formule de Yalin semble donner d'excellents résultats pour des granulats de diamètre compris entre 1.72 mm et 28.6 mm (Yang, C.T, 1996).

II-2-11- La formule de VAN RIJN :

La formule de Van Rijn concernant le transport solide par charriage est comme suit (Correia, L.P, 1992).

$$q_{sch} = 0.053 \cdot \sqrt{g \cdot (s-1)} \cdot d_{50}^{1.5} \frac{T^{2.1}}{d_*^{0.3}} \quad (\text{II-39})$$

où : q_{sch} : le débit solide par charriage de fond par unité de temps et de largeur ((Tons/s)/m);
 g : l'accélération gravitaire (m/s^2) ; s : la densité ($s = \rho_s / \rho_e$) ; d_{50} : le diamètre médian (mm);

d_* : le diamètre adimensionnel des particules, selon Acker et White :

$$d_* = d_{50} \cdot \left[\frac{g \cdot (s-1)}{\nu^2} \right]^{1/2} \quad (\text{II-40})$$

T : paramètre de transport, donné par :

$$T = \frac{(U_*)^2 - (U_{*cr})^2}{(U_{*cr})^2} \quad (\text{II-41})$$

d'où : U_{*cr} : la vitesse critique de cisaillement et $U_* = U \cdot (g^{0.5} / c')$; c' : coefficient de Chezy qui est en relation avec les grains , dont :

$$c' = 18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot R_h}{3 \cdot d_{90}} \right] \quad (\text{II-42})$$

II-2-12- La formule de SMART & JAEGGI (VAW) :

Cette formule est une extension de la formule de Meyer -Peter et Muller, elle est applicable pour les pentes régulières. Elle peut être utilisée pour le transport total parce qu'elle concerne les diamètres des grains grossiers avec une charge de suspension généralement négligeable.

La formule de Smart et Jaeggi est comme suit ([Lebreton. J.C, 1974](#))

$$q_{sch}=4\cdot\left[\left(\frac{d_{90}}{d_{30}}\right)^{0.2}\cdot I_f^{0.6}\cdot\frac{U}{U_*}\cdot\tau_m^{0.5}\cdot(\tau^*-\tau_{*c}^*)\right] \quad (\text{II-43})$$

où :

d_{90} / d_{30} : facteur de correction qui tient compte le classement des grains ;

I : la pente d'énergie.

II-2-13- CONCLUSION :

Après avoir défini toutes les formules existantes concernant le mode de transport par charriage du fond, on peut les récapituler selon leur domaine de validation dans le tableau (II-2) suivant :

Tableau (II-2) : Domaine de validation des formules du transport solide par charriage du fond

N°	Nom de l'auteur	Paramètres utilisés		Limitation
		Caractéristiques des sédiments	Caractéristiques de l'écoulement	
1	Duboy (1879)	q_{sch}, d, c, K	$\tau_c, \tau, I, \gamma_e, H, H_c, V, V_c$	$0.1 \text{ mm} < d_{50} < 60 \text{ mm}$
2	Meyer – Peter (1934)	q_c, q_{sch}, d, d_{35}	q, I	$d_{50} < 3 \text{ mm}, G = 2.65$
3	Shoklitsch (1934 – 1943)	q_{sch}, d	I	$0.4 < I < 10\%$ $0.67 \text{ mm} < d_{50} < 30 \text{ mm}$
4	Kalinske (1947)	q_{sch}, P, α, d	$\overline{U_s}, U^*, \tau_c, \tau$	$0 < \tau_c / \tau < 2.4$
5	Einstein (1942 – 1950)	$q_{sch}, d, \phi, \gamma_s$	γ_s, g	-
6	Einstein - Brown (1950)	$q_{ss}, C_a, s, d_{50}, d^*, \omega, d_s, \theta_{cr}$	H, g, U_{*c}	-
7	Rottner	$q_{sch}, d_{50}, \gamma_s, \zeta_s$	H, g, V	-
8	Chang – Simon & Richardson (1967)	$q_{sch}, d_{50}, \phi, \gamma_s, K$	γ_s, g	$0.06 < \tau < 0.60$
9	Yalin (1963 – 1970)	$q_{sch}, \gamma_s, \rho_s$	$\rho_e, U^*, g, H, \tau_c, \tau$	$17.2 \text{ mm} < d < 28.6 \text{ mm}$
10	Parker & al (1950 – 1982)	$q_{schi}, \phi_i, \gamma_s, \omega_i^*, P_i, \phi_{50}, d_{50}$	$I, g, H, \gamma_s, \tau_{ci}$	$0.95 < \phi_{50} < 1.65$ $18 \text{ mm} < d_{50} < 28 \text{ mm}$
11	Van Rijn	$q_{sch}, d_{50}, s, c', d^*, \rho_s$	$U^*, g, U_{*cr}, v, \rho_e$	$0.2 \text{ mm} < d_{50} < 2 \text{ mm}$
12	Smart & Jaeggi (VAW)	q_{sch}, d_{30}, d_{90}	$I, U, U^*, \tau_c, \tau,$	$0.4\% < I < 20\%$ $0.4 \text{ mm} < d_{50} < 29 \text{ mm}$
13	Meyer – Peter & Muller (1948)	$q_{sch}, K_s, K_r, d_{90}, \rho_s, d_{50}$	$\rho_e, \tau_c, \tau, R_h, I,$	$0.4 \text{ mm} < d_{50} < 29 \text{ mm}$ $\theta_c < \theta < 2.5 \theta_c$ $0.25\% < I < 2\%$
14	Shield	q_{sch}, γ_s, d	$q, \gamma_e, I, \tau_c, \tau$	-

II-3- TRANSPORT SOLIDE TOTAL

II-3-1- INTRODUCTION :

En se basant sur le mode de transport, le débit solide total est la somme du débit solide par charriage de fond et celui en suspension basé sur la source de matériaux transportés. Le débit total peut être également défini par la somme du débit de matériaux du lit et du débit de lessivage. Le débit de lessivage se compose des matériaux fins qui sont plus fins que ceux trouvés dans le lit. Le total du débit de lessivage dépend principalement de l'approvisionnement de la ligne de partage et non de l'hydraulique du cours d'eau. Par conséquent, il est difficile de prévoir le débit de lessivage basé sur les caractéristiques hydrauliques du cours d'eau.

La plus part des équations du débit total expriment réellement le débit solide total du matériau du lit. Dans la comparaison entre le débit total calculé et mesuré du matériau du lit, le matériau de lessivage devrait être soustrait de la mesure avant la comparaison dans la plus part des cas (Yang, C.T, 1996).

II-3-2- APPROCHE GENERALE :

Il y a deux approches générales pour la détermination du débit solide total; la première est de calculer le débit solide par charriage de fond et celui par la suspension séparément, ensuite les ajouter ensemble afin d'obtenir le débit solide total.

La deuxième est de déterminer la fonction totale du débit solide directement sans l'introduire dans le charriage de fond et de la suspension (Yang, C.T, 1996).

II-3-3- LES FORMULES DU DEBIT SOLIDE TOTAL :

II-3-3-1- La formule basée sur la fonction du charriage du fond d'EINSTEIN :

Le débit du transport solide total de matériaux du lit pour un diamètre de fraction, est donné par :

$$i_T q_T = i_{sch} \cdot q_{sch} + i_{ssu} q_{ssu} = i_{sch} \cdot q_{sch} \cdot (1 + P_E \cdot I_1 + I_2)$$

D'où :

$$P_E = 2.303 \cdot \log \frac{30.2 \cdot H}{\Delta} \quad \text{(II-44)}$$

I_1 et I_2 : sont donnés par la Figure (II-2b).

II-3-3-2- La formule d'EINSTEIN modifiée :

$$Q_{Ti} = i_{sch} \cdot Q_{sch} \cdot (P_m \cdot I_1 \cdot I_2 + 1) \quad (II-45)$$

Cette formule est utilisée pour évaluer le transport des grosses particules.

$$P_m = 2.30 \cdot \log \frac{3.2 \cdot x \cdot H}{d_{65}} \quad (II-46)$$

II-3-3-3- La formule de TOFFALETTI (1969) :

Toffaletti (1969) a présenté une procédure pour calculer le débit basé sur le concept d'Einstein (1950) et d'Einstein et Chien (1953) Figure (II-13). Dans son approche, Toffaletti a fait plusieurs simplifications pour démontrer les formules suivantes :

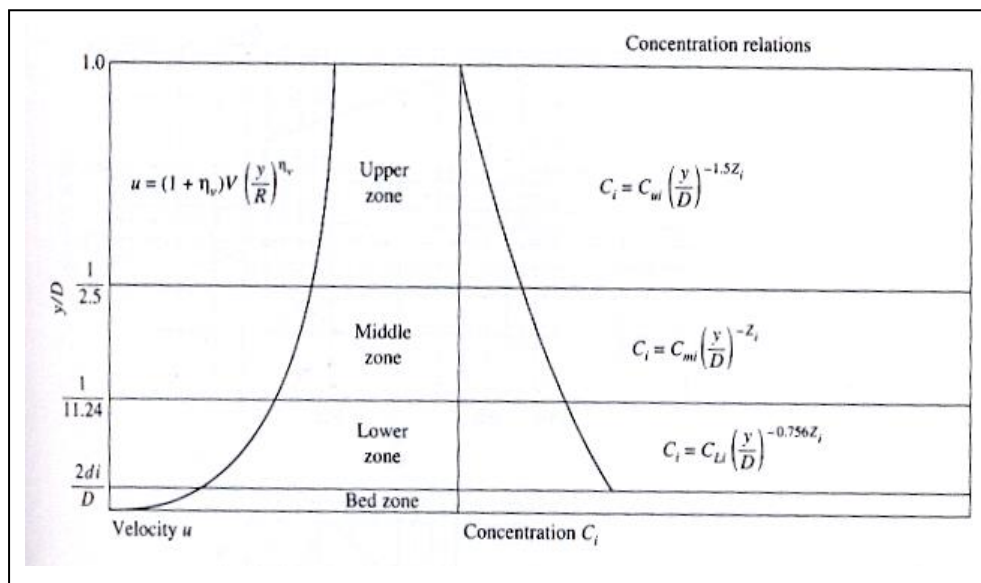


Figure (II-13) : Les relations de Toffaletti entre la vitesse, la concentration et le débit solide (Yang. C.T, 1996).

$$q_{sch1} = M_i \cdot \frac{\left(\frac{H}{11.24}\right)^{0.244 \cdot Z_i} \cdot \left(\frac{H}{2.5}\right)^{0.5 \cdot Z_i} \cdot \left[H^{\eta_1} - \left(\frac{H}{2.5}\right)^{\eta_1} \right]}{\eta_1} \quad (III - 46)$$

$$q_{sch2} = M_i \cdot \frac{\left(\frac{H}{11.24}\right)^{0.244 \cdot Z_i} \cdot \left(\frac{H}{2.5}\right)^{0.5 \cdot \eta_2 i} \cdot \left[H^{\eta_2} - \left(\frac{H}{11.24}\right)^{\eta_2} \right]}{\eta_2} \quad (III - 47)$$

$$q_{sch3} = M_i \cdot \frac{\left(\frac{H}{11.24}\right)^{\eta_3} - (2 \cdot d_i)^{\eta_3}}{\eta_3} \quad (III - 48)$$

$$q_{sch4} = M_i \cdot (2 \cdot d_i)^{\eta_3} \quad (III - 49)$$

Où :

$$M_i = 43.2 \cdot P_i \cdot C_{li} \cdot (1 + \eta_v) V \cdot H^{0.756 \cdot Z - \eta_v}$$

$$\eta_1 = 1 + \eta_v - 1.5 \cdot Z_1$$

$$\eta_2 = 1 + \eta_v - Z_2$$

$$\eta_3 = 1 + \eta_v - 0.756 \cdot Z_3$$

P_i : fraction du matériau du fond par poids avec un diamètre moyen d_i .

$$Z_i = \frac{\omega_i \cdot V}{C_z \cdot H \cdot I}$$

$$C_z = 260.67 - 0.667 \cdot T$$

T : la température de l'eau en $^{\circ}\text{F}$;

C_{li} : le pourcentage des sédiments par poids dans une fraction de diamètre avec un diamètre moyen d_i ;

η_v : est donné par la relation empirique suivante :

$$\eta_v = 0.1198 + 0.00048 \cdot T$$

H : la profondeur de l'eau (Ft).

$$q_{sT} = B \cdot (q_{sch1} + q_{sch2} + q_{sch3} + q_{sch4}) \quad (II-50)$$

d'où : q_{sT} : le débit solide total par unité de largeur (Tons/Jour)

B : la largeur du jet (Ft).

II-3-4- LES FORMULES BASEES SUR LE CONCEPT DE PUISSANCE :

II-3-4-1- La formule de BAGNOLD (1966) :

Bagnold (1966) a développé sa fonction de transport de dépôts à partir du concept de la puissance. Il a considéré le rapport entre le taux d'énergie à un système alluvial et le taux de travail fait par le système par rapport au transport des dépôts. Cette relation peut être exprimée comme :

$$q_{sT} = q_{sch} + q_s = \frac{\gamma_e}{\gamma_s - \gamma_e} \cdot \tau \cdot V \cdot \left(\frac{e_b}{tg \alpha} + 0.01 \cdot \frac{V}{\omega} \right) \quad (\text{II-51})$$

où : q_{st} : le débit solide total par unité de temps et de largeur ((Tons/s)/Ft) ;

γ_s et γ_e : sont respectivement : le poids spécifique du sédiment et de l'eau (Ib/Ft³) ;

q_{sch} : le débit solide par charriage de fond et par unité de largeur ((Tons/s)/Ft) ;

$tg \alpha$: le rapport de tangentiel à la force normale de cisaillement ; τ : la contrainte de cisaillement agissant le long du lit (Ib/Ft²) ; e_b : coefficient d'efficacité (coefficient de rendement) ;

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ; ω : la vitesse de chute des particules (Ft/s).

II-3-4-2- La formule d'ENGELUND & HANSEN (1972) :

Engelund et Hansen en (1972) ont appliqué le concept de puissance d'écoulement de Bagnold et le principe de similitude pour obtenir une fonction de transport des dépôts.

$$q_{sT} = 0.05 \cdot \gamma_s \cdot V^2 \cdot \left[\frac{d_{50}}{g \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_e - 1} \right)} \right]^{1/2} \cdot \left[\frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma_e) \cdot d_{50}} \right]^{3/2} \quad (\text{II-52})$$

Cette formule est applicable dans le cas de :

$$\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_e) d_{50}} > 0.15 \quad \text{et} \quad d_{50} > 2mm$$

q_{st} : le débit solide total par unité de largeur ((Ib/s)/Ft) ;

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ;

γ_s et γ_e : sont respectivement : le poids spécifique du sédiment et de l'eau (Ib/Ft³) ;

d_{50} : le diamètre médian de la particule (Ft).

τ : la contrainte de cisaillement le long du lit (Ib/Ft²).

II-3-4-3- La formule d'ACKER & WHITE (1973) :

Acker et White (1973) ont appliqué une analyse dimensionnelle pour exprimer la mobilité et le taux de transport du dépôt en termes de quelques paramètres. Ils ont postulé que seulement une partie des contraintes tractrices sur le lit est effective pour causer le mouvement des gros sédiments, tandis que dans le cas des fins sédiments, le mouvement en suspension est prédominant, et la contrainte totale de cisaillement est effective pour causer un mouvement des sédiments figure (II-14).

$$q_{sT} = C \cdot \left(\frac{U_*^n}{a \cdot \sqrt{g \cdot d_{35}} \cdot (s-1)} \cdot \left[\frac{U}{\sqrt{32 \cdot \log \left(\frac{10 \cdot y}{d_{35}} \right)}} - 1 \right]^{1-n} \right)^m \quad (\text{II-53})$$

où : U_* : la vitesse de cisaillement (Ft/s) $U_* = g \cdot \sqrt{R_h \cdot I}$; n : l'exposant de transition, il dépend de la taille des sédiments ; g : l'accélération gravitaire (Ft/s²) ; s : la densité ; d_{35} : diamètre des particules dont 35% sont fins :

$$d_{35} = \frac{U_*^{n+1}}{U_*^n} \quad , \quad d_{gr} = d_{35} \cdot \left(\frac{g \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_e} - 1 \right)}{v^2} \right)^{1/3}$$

où : v : la viscosité cinématique ; Pour une zone de transition avec : $1 < d_{gr} \leq 60$

$$n = 1 - 0.5 \cdot \log d_{gr} \quad , \quad a = 0.23 \cdot d_{gr}^{-1/2} + 0.14 \quad , \quad m = \frac{9.66}{d_{gr}} + 1.34$$

$$\log C = 2.86 \cdot \log d_{gr} - (\log d_{gr})^2 - 3.53 \quad (\text{III-54})$$

Pour les gros sédiments : $d_{gr} > 60$ $n = 0$; $a = 0.17$; $m = 1.50$; $c = 0.025$

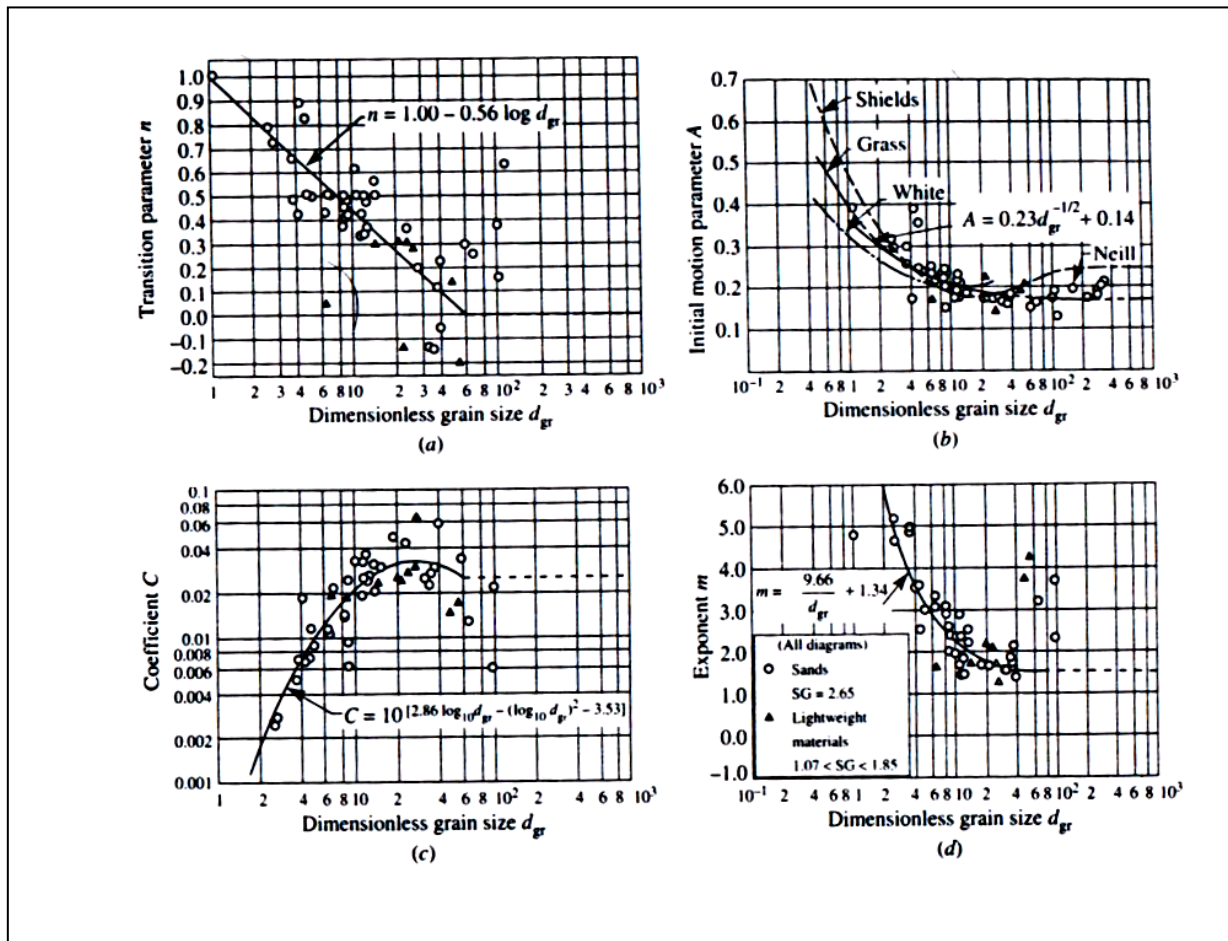


Figure (II-14) : Coefficients dans la fonction d'Ackers et White (Yang, C.T, 1996).

II-3-4-4- La formule de YANG (1973) :

En (1973), Yang a supposé que la concentration totale des sédiments est liée à la dissipation d'énergie potentielle et il a donné les relations de régression pour la concentration totale des sédiments C_t comme suit (P.Y. Julien, 1995)

1- Pour le sable :

$$\log C_{ts} = 5.435 - 0.286 \log \frac{\omega d}{\nu} - 0.457 \log \frac{U_*}{\omega} + \left(1.799 - 0.409 \log \frac{\omega d}{\nu} - 0.314 \log \frac{U_*}{\omega} \right) \cdot \log \left(\frac{V \cdot I}{\omega} - \frac{V_{cr} \cdot I}{\omega} \right) \quad (\text{II-55})$$

2- Pour le gravier :

$$\log C_{tg} = 6.681 - 0.633 \log \frac{\omega d}{\nu} - 4.816 \log \frac{U_*}{\omega} + \left(2.784 - 0.305 \log \frac{\omega d}{\nu} - 0.282 \log \frac{U_*}{\omega} \right) \cdot \log \left(\frac{V \cdot I}{\omega} - \frac{V_{cr} \cdot I}{\omega} \right) \quad (\text{II-56})$$

dont : la vitesse critique V_{cr} / ω au début de mouvement peut être exprimée :

$$\frac{V_{cr}}{\omega} = \frac{2.5}{\log\left(U_* \cdot \frac{d}{\nu}\right) - 0.66} + 0.66 \quad \text{pour : } 1.2 < \left(U_* \cdot \frac{d}{\nu}\right) < 70$$

$$\frac{V_{cr}}{\omega} = 2.05 \quad \text{pour : } 70 \leq \left(U_* \cdot \frac{d}{\nu}\right)$$

où :

C_t : la concentration totale des sédiments, sans tenir compte le matériau de lessivage (en PPM par poids).

$V.I$: l'unité de la force du fleuve ;

U_* : la vitesse de cisaillement (Ft/s) ;

ν : la viscosité cinématique (Ft²/s) ; ω : la vitesse de chute des sédiments (Ft/s) ;

d : le diamètre médian de la particule (Ft) ;

C_{ts} : la concentration totale du sable (PPM par poids) ;

C_{tg} : la concentration totale du gravier (PPM par poids).

II-3-4-5- La formule de VELIKANOV (1954) :

Vélikanov (1954) a dérivé sa fonction de transport de la théorie de la force gravitationnelle. Il a divisé le taux de dissipation d'énergie pour le transport solide en deux parties, qui sont la force exigée pour surmonter la résistance d'écoulement et celle pour garder des particules solides en suspension contre la force de la gravité (Yang, C.T, 1996). L'équation de Vélikanov peut être exprimée dans la forme générale suivante :

$$C_v = K_3 \left(\frac{V^3}{g \cdot R_h \cdot \omega} \right)^m \quad \text{(II-57)}$$

Où : C_v : la concentration instantanée (ppm) ;

K_3 et m : des paramètres à déterminer en fonction de la concentration des sédiments ;

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ;

g : l'accélération gravitaire (Ft/s²) ;

d : le diamètre des particules sédimentaires (Ft) ;

ω : la vitesse de chute des particules sédimentaires (Ft/s).

II-3-5- AUTRES FONCTIONS DE TRANSPORT SOLIDE :**II-3-5-1- La formule de CHANG, SIMON & RICHARDSON (1965) :**

Chang, Simon et Richardson (1965) ont calculé toute la charge comme une somme entre le débit solide par charriage du fond et celui par suspension comme :

$$q_{sT} = q_{sch} + q_{sus} = K_t \cdot V \cdot (\tau - \tau_c) (1 + R_s) \quad (\text{II-58})$$

où :

q_t : le débit solide total par unité de temps et de largeur ((Ib/s)/Ft) ;

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ;

R_s : à déterminer en fonction de I_1 et I_2 (Figure II-4) ;

τ et τ_c : sont respectivement : la contrainte de cisaillement et la contrainte critique (Ib/Ft²) ;

K_t : coefficient du débit par charriage de fond qui était déterminé expérimentalement et donné par la Figure (II-8).

II-3-5-2- La formule de LAURSEN (1958) :

En (1958) Laursen a développé un rapport fonctionnel entre l'état d'écoulement et le débit solide résultant. La formule de Laursen a été exprimée par le Comité d'ASCETASK :

$$C_t = 0.01 \cdot \gamma_e \cdot \sum_i P_i \cdot \left(\frac{d_i}{H} \right)^{7/6} \cdot \left(\frac{\tau'}{\tau_{ci}} - 1 \right) \cdot F \left(\frac{U_*}{\omega_i} \right) \quad (\text{II-59})$$

où :

C_t : la concentration totale des sédiments moyens (ppm) ;

U_* : la vitesse de cisaillement (Ft/s) ;

P_i : le pourcentage des matériaux disponibles dans la fraction des sédiments ;

ω : la vitesse de chute des particules sédimentaires dont leur diamètre moyen est d_i (Ft/s) ;

τ_c : la contrainte critique de cisaillement pour les sédiments de diamètre d_i (Ib/Ft²) ;

τ' : la contrainte de cisaillement qui est dû à la résistance du grain (Ib/Ft²), donnée par :

$$\tau' = \frac{\rho_e \cdot V^2}{58} \cdot \left(\frac{d_{50}}{H} \right)^{1/3} \quad (\text{II-60})$$

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ;

H : la profondeur moyenne de l'eau (Ft) ;

La fonction $F (U_* / \omega_i)$ est donnée par la Figure (II-15).

$$q_s = C_t \cdot q \quad (\text{II-61})$$

q : le débit unitaire de l'écoulement (Ft²/s) ;

q_{sT} : le débit solide unitaire ((Ib/s)/Ft).

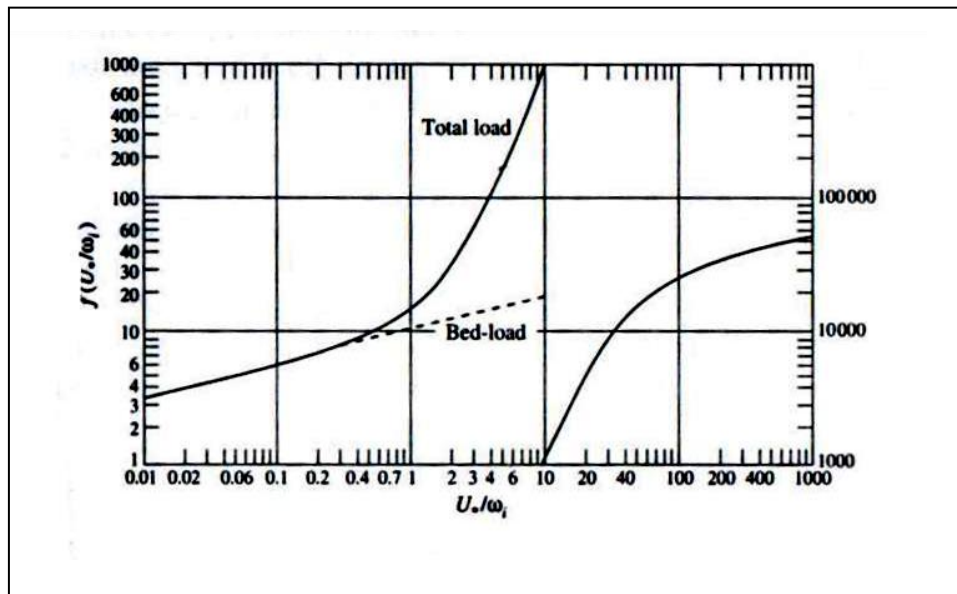


Figure (II-15) : Fonction $F (U^*/\omega_i)$ dans la formule de Laursen (Yang, C.T, 1996).

II-3-5-3- La formule de COLBY (1964) :

Colby (1964) a développé les solutions graphiques pour le débit solide total, basées principalement sur des données de laboratoire et du terrain en utilisant les fonctions de charriage du fond d'Einstein (1950) comme guide. Ses solutions graphiques sont illustrées sur La Figure (II-16).

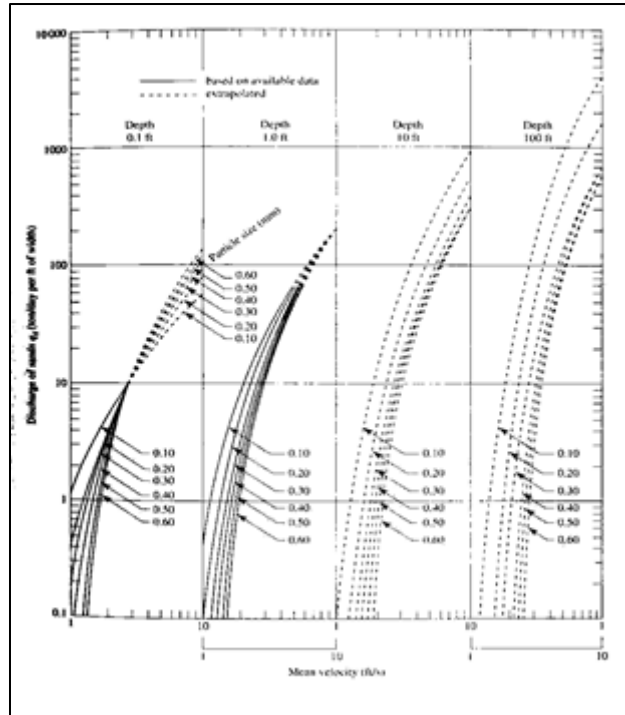


Figure (II-16) : la relation du débit du sable en fonction de la vitesse moyenne pour six diamètres moyens du lit sableux, pour une profondeur de l'écoulement, et la température de l'eau à 60° F (Colby, 1964)

$$q_{sT} = [1 + (K_1 \cdot K_2 - 1) 0.01 K_3] q_i \quad (\text{II-62})$$

A partir de la Figure (II-17), on a :

$K_1 = 1$ pour $T = 60^\circ \text{ F}$, $K_2 = 1$ où : l'effet du sédiment fin peut être négligé, et $K_3 = 100$ quand le diamètre moyen de la particule est dans la gamme de 0.2 à 0.3 mm.

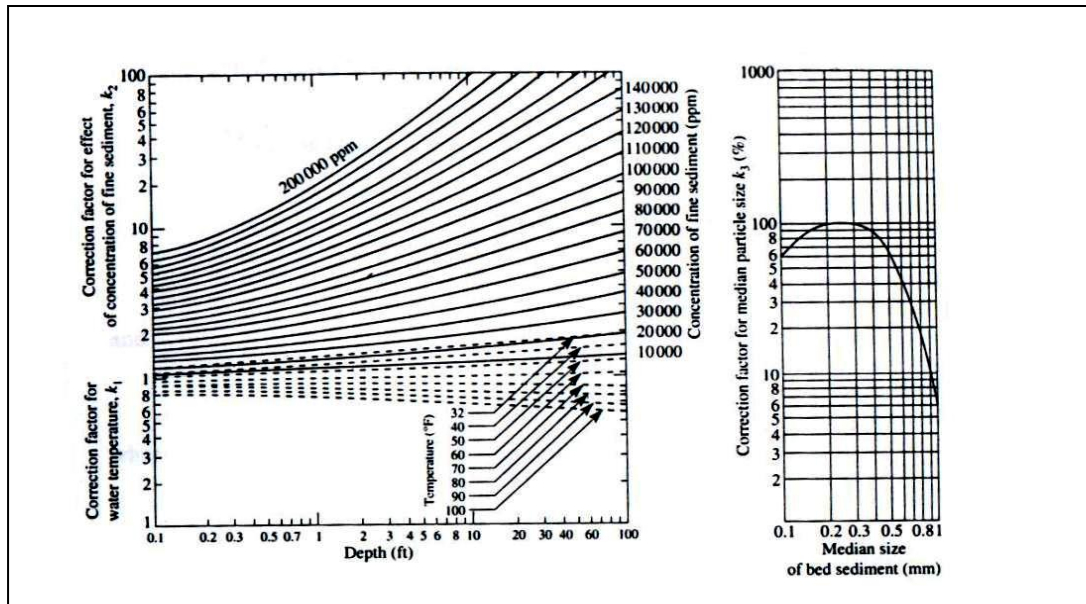


Figure (II-17) : L'effet approximatif de la température de l'eau et la concentration des sédiments fins sur la relation de débit du sable en fonction de la vitesse moyenne (Yang, C.T, 1996).

II-3-5-4- La formule de SHEN & HUNG (1972) :

Shen et Hung (1972) ont supposé que le transport solide est un phénomène si complexe qu'aucun nombre du nombre de Reynolds, de Froude ou une combinaison entre les deux, peut être trouvé pour décrire le débit solide sous toutes les conditions.

Dans cet optique, ils ont recommandé une régression d'équation basée sur 587 ensembles de données de laboratoire et ils ont obtenu le résultat suivant :

$$\log C_t = -107404.45938164 + 324214.74734085 \cdot Y - 326309.58908739 Y^2 + 109503.87232539 Y^3 \quad (\text{II-63})$$

$$\text{où : } Y = \left(\frac{V \cdot I^{0.57}}{\omega^{0.32}} \right)^{0.00750189}$$

et :

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ;

I : la pente d'énergie ;

ω : la vitesse de chute des particules sédimentaires (Ft/s).

II-3-5-5- La formule de KARIM & KENNEDY (1990) :

Des analyses non linéaires de régressions multiples ont été employées par Karim et Kennedy (1990) pour dériver les relations entre la vitesse d'écoulement, le débit solide, la géométrie de la forme de lit et le facteur de frottement des fleuves alluviaux. Un total de 339 ensembles de données de fleuves et de 608 ensembles de données de canaux était utilisé, pour trouver une forme de relation générale suivante :

$$\log \frac{q_{sT}}{(1.65 \cdot g \cdot d_{50}^3)^{1/2}} = -2.279 + 2.972 \cdot \log \frac{V}{(1.65 \cdot g \cdot d_{50})^{1/2}} + 1.060 \cdot \log \frac{V}{(1.65 \cdot g \cdot d_{50})^{1/2}} \cdot \log \frac{U_* - U_{*cr}}{(1.65 \cdot g \cdot d_{50})^{1/2}} + 0.299 \cdot \log \frac{H}{d_{50}} \cdot \log \frac{U_* - U_{*cr}}{(1.65 \cdot g \cdot d_{50})^{1/2}} \quad (\text{II-64})$$

d'où : q_{sT} : le débit solide total par unité de temps et de largeur ((Ib/s)/Ft) ; g : l'accélération gravitaire (Ft/s²) ; d_{50} : le diamètre moyen de la particule sédimentaire (Ft) ; V : la vitesse moyenne de l'écoulement (Ft/s) ; U_* : la vitesse critique de cisaillement (Ft/s) ; U_{*cr} : la vitesse critique de cisaillement (Ft/s) ; H : la profondeur moyenne de l'eau (Ft).

II-3-5-6- La formule de BROWNLIE (1981) :

C'est la formule qui traite le transport solide total (Correia. L.P, 1992)

$$q_{sT} = q \cdot \frac{7.115}{265} \cdot C_F \cdot (F_g - F_{g0})^{1.978} \cdot I^{0.6601} \cdot \frac{R_h^{-0.3301}}{d_{50}} \quad (\text{II-65})$$

Où : q_{sT} : le débit solide par unité de temps et de largeur ((Ib/s)/Ft) ;

q : le débit unitaire de l'écoulement (Ft²/s) ;

$C_F = 1.0$ pour un canal de laboratoire, et $C_F = 1.826$ pour un canal naturel ;

F_g : est donné par : $F_g = \frac{U}{\sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d_{50}}}$

Le paramètre F_{g0} est évalué comme suit :

$$F_{g0} = 4.596 \cdot (0.22 \cdot y + 0.06 \cdot 10^{-7.7 \cdot y})^{0.5293} \cdot I^{-0.1405} \cdot \sigma_s^{-0.1606} \quad (\text{II-66})$$

$$\text{Avec :} \quad y = [(s-1) \cdot g \cdot d_{50}^3 / \nu]^{-0.3} \quad (\text{II-67})$$

R_h : le rayon hydraulique (Ft) ;

d_{50} : le diamètre moyen de la particule sédimentaire (Ft) ;

I : la pente d'énergie ;

s : la densité ;

ν : la viscosité cinématique (Ft²/s) ;

g : l'accélération gravitaire (Ft/s²) ;

U : la vitesse de cisaillement (Ft/s) ;

σ_s : l'écart type des diamètres des grains.

II-3-5-7- La formule de GRAF modifiée :

Il a utilisé une approche qui est similaire à celle d'Einstein (Correia. L.P, 1992). Graf et Suzka ont dérivé une formule de transport solide total très simple :

$$q_{sT} = \left[q \cdot C \cdot \frac{10.4 \cdot \psi^{-1.5}}{U \cdot R_h} \right] \quad (\text{II-68})$$

où : q_{sT} : le débit solide total par unité de temps et de largeur ((lb/s)/Ft);

q : le débit unitaire de l'écoulement (Ft²/s) ;

Ψ : un paramètre qui donne l'intensité tractrice.

$$\psi = \frac{(s-1)d_m}{I \cdot R_h} \quad (\text{II-69})$$

d_m : le diamètre médian des particules sédimentaires (Ft) ;

c : une constante qui prend les valeurs :

$c = \Psi^{-1}$ pour : $\Psi \leq 14.6$.

$c = (1 - 0.045 \cdot \Psi)^{2.5}$ pour : $14.6 \leq \Psi < 22.2$

$c = 0$ pour : $\Psi \geq 22$.

II-3-5-8- La formule de VAN RIJN (1984) :

Cette formule considère une division du transport total en charriage et suspension. Elle est comme suit (Correia. L.P, 1992)

$$q_{sT} = q_{sch} + q_{ssus} \quad (\text{II-70})$$

$$q_{sT} = 0.053 \cdot \sqrt{g \cdot (s-1)} \cdot d_{50}^{1.5} \cdot \frac{T^{2.1}}{d_*^{0.3}} + \frac{\left[\frac{a}{H} \right]^Z - \left[\frac{a}{H} \right]^{1.2}}{\left[1 - \frac{a}{H} \right]^Z \cdot [1.2 - Z]} \cdot U \cdot H \cdot C_a \quad (\text{II-71})$$

q_{st} : le débit solide total par unité de temps et de largeur (lb/s)/Ft) ;

g : l'accélération gravitaire (Ft/s²) ;

s : la densité,

d_{50} : le diamètre moyen de la particule sédimentaire (Ft);

T : paramètre du transport solide ;

d_* : le diamètre adimensionnel des particules (Ft) ;

a : le niveau de référence ;
 H : la profondeur moyenne de l'eau (Ft) ;
 Z : un paramètre de transport solide ;
 U : la vitesse de cisaillement (Ft/s);
 C_a : la concentration de référence (ppm).

II-3-5-9- La formule de SOGREAH (1990) :

SOGREAH a défini la formule suivante (Couvert. B, et al., 1999) :

$$q_{sT} = (1-P) \cdot 4.45 \cdot q \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} \cdot \frac{I^{3/2}}{(s-1) \left[1 - \left(\frac{q_0}{q} \right)^{0.375} \right]} \quad (\text{II-72})$$

$$q_0 = \sqrt{g \cdot d_{50}^5} \cdot 0.0776 (s-1)^{8/3} \cdot I^{-13/16} \cdot (1-1.21)^{8/3} \quad (\text{II-73})$$

q_{sT} : le débit solide total (Tons/Jours);
 q : le débit liquide total (m³/s) ;
 q₀ : le débit du début d'entraînement ;
 g : l'accélération gravitaire (m/s²) ;
 d₅₀ et d₉₀ : le diamètre moyen des particules sédimentaires (mm) ;
 s : la densité.

Le domaine d'application de cette formule est le même que celui de Meyer – Peter et Muller pour un d₅₀ et le régime d'écoulement, la formule est équivalente à celle de Meyer – Peter et Muller si la section triangulaire : L / H = 18 ; m = 0.766 proche de la valeur courante : m = 0.8.

II-3-6- CONCLUSION :

Après avoir défini toutes les formules existantes concernant le débit solide total, on peut les récapitulées selon leur domaine de validation dans le tableau (II-3) suivant :

Tableau (II-3) : Domaine de validation des formules du transport solide total

N°	Nom de l'auteur	Paramètres utilisés		Limitation
		Caractéristiques des sédiments	Caractéristiques de l'écoulement	
1	Vélikanov (1954)	C_v, K, d, ω	V, g, τ_c	-
2	Laursen (1958)	$q_{sT}, C_t, d_{50}, \omega, P$	$\rho_e, V, H, U^*, \tau_c, \tau$	$0.088\text{mm} < d_{50} < 4.08\text{mm}$ $G=2.65$
3	Colby (1964)	q_{sT}, d_{50}, K_1, K_2	H, U, I	$d_{50} < 0.6\text{mm}, H < 3\text{m}$
4	Bagnold (1966)	$q_{sT}, \omega, \gamma_s, \alpha, e_b$	γ_e, V, τ	$0.25 < d_{50} < 2\text{mm}$
5	Toffaletti (1969)	C_i, d_i, ω	I, H, V, T, B	-
6	Engelund & Hansen (1972)	q_{sT}, γ_s, d_{50}	γ_e, V, g, τ	$d_{50} > 2\text{mm}$ - Pour des lits avec des rides.
7	Shen & Hung (1972)	d, C_i, ω	I, V	$0.13 < d_{50} < 1.3\text{mm}$ - Valable pour les petites rivières dont les particules sont dans la gamme du sable.
8	Acker & White (1973)	$d_{35}, \rho_s, d_{gr}, C$	$\rho_e, U, U^*, g, y, R_h, I$	$0.04 < d < 4\text{mm}$ $Fr < 0.8$
9	Yang (1973)	$d, \gamma_s, C_t, \omega, C_{ts}, C_{tg}$	I, V, U^*, v	-
10	Brownlie (1981)	q_{sT}, d_{50}, s, C_f	q, I, R_h, U, g, v	$0.0003 < I < 3.7$ $0.088\text{mm} < d_{50} < 2.8\text{mm}$
11	Karim & Kennedy (1990)	q_{sT}, d_{50}, γ_s	g, H, V, U^*, U_{*c}	-
12	Sogréah (1990)	d_{90}, d_{50}, ρ_s	ρ_e, I, H, L	$0.4\text{mm} < d_{50} < 30\text{mm}$ $\theta_c < \theta < 2.5 \theta_c$
13	Einstein	q_{sT}, P_E, i	H, Δ, I_1, I_2	-
14	Einstein modifiée	q_{sT}, d_{65}	I_1, I_2, H, x	-
15	Graf modifiée	$q_{sT}, C, \psi, \rho_s, d_m$	R_h, U, ρ_e	$0.3\text{mm} < d_{50} < 24\text{mm}$
16	Van Rijn	$q_{sT}, T, Z, d_{50}, \rho_s$	H, I, ρ_e, g, U	$0.2\text{mm} < d_{50} < 2\text{mm}$
17	Chang, Simon & Richardson	q_{sT}, K_t, K_s	τ_c, τ, V	-

II-4- MESURES DES DEBITS SOLIDES

II-4-1- DEFINITION :

La plus grande partie des débits solides qui transitent dans les cours d'eau est le fait des crues, ce qui nécessite des mesures nombreuses et souvent difficiles. Il convient de distinguer :

- les matériaux qui sont maintenus en suspension dans l'eau par la turbulence et qui peuvent être transportés sur de très grandes distances sans entrer en contact avec le fond ; il s'agit de particules de petites dimensions et à faible vitesse de chute ;
- des matériaux charriés dont les dimensions sont plus importantes (quelques millimètres ou dixième de millimètres à plusieurs centimètres), et dont le mouvement sur le fond est fonction de la capacité de transport de l'oued à l'endroit et au moment considéré.

La mesure des débits solides en suspension et la mesure du charriage se font donc séparément et avec des techniques distinctes (Guillot. P, et al., 1993).

II-4-2- Mesure des débits solides en suspension :

Dans un cours d'eau, les sédiments qui sont maintenus en suspension se déplacent pratiquement à la même vitesse que l'eau ; le débit solide correspondant peut donc être déterminé par une mesure conjointe des vitesses et des concentrations dans la section.

Pour la mesure des concentrations, deux catégories de matériels sont disponibles :

- les matériels permettant d'effectuer des prélèvements ponctuels ou continus dans la section ;
- les appareils de mesure directe des concentrations in situ.

II-4-2-1- Mesure des concentrations par prélèvements :

La méthode consiste à prélever ponctuellement des échantillons d'eau de l'oued de manière à pouvoir mesurer la concentration de matières en suspensions en différents points de la section. On opère sur plusieurs verticales pour lesquelles on établit conjointement des profils de concentration et des profils de vitesse et l'on calcule ensuite le débit solide par une double intégration, d'abord sur chaque verticale puis le long de la section, par analogie avec la méthode de dépouillement des jaugeages au moulinet.

Il est également possible avec certains appareils de faire la mesure par intégration en un aller-retour surface, ce qui permet d'obtenir directement le débit solide par unité de largeur de la section.

a -Matériel de prélèvement :

Il doit être adapté à la concentration de matières en suspension, qui peut varier de moins de 1 g/l à plus de 500 g/l, ainsi qu'à la vitesse du courant (ANRH, 2010).

Pour les faibles concentrations (de 0 à 5 g/l) il est préférable de pouvoir disposer d'un volume de prélèvement important (5 à 10 l ou plus) ; pour cela on peut se contenter d'effectuer les prélèvements avec un seau ou utiliser une pompe d'échantillonnage en prenant soin, dans ce cas, de bien diriger l'ajutage de prise face au courant (ANRH, 2010).

Au-delà de 5 g/l, un volume moins important (0.4 à 2 l selon les appareils) est suffisant. Si le courant est faible et inférieur à 0.5 m/s, une simple bouteille lestée suffit. La sonde Collet, constituée d'un cylindre lesté orienté dans le sens du courant par empennage, et qui comprend aux deux extrémités des clapets se fermant par commande mécanique à la profondeur désirée, est également bien adaptée pour les courants faibles et inférieurs à 1 m/s. Pour des vitesses supérieures à 1 m/s, on utilise des Turbidisondes montées sur des saumons creux de poids variable Figure (II-18) (Hydro Banque, Septembre 1998).

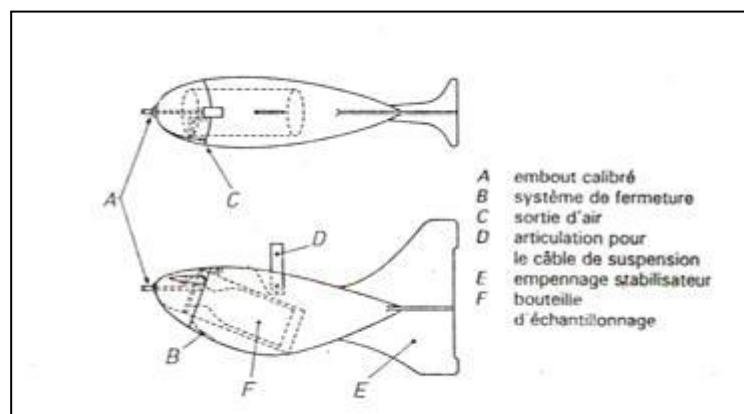


Figure (II-18) : Turbidisonde montée sur saumon (Hydro Banque, Septembre 1998)

Pour effectuer des prélèvements continus à poste fixe et sur de longues périodes, la bouteille de Delft convient très bien. Il s'agit d'un appareil simple à l'intérieur duquel l'eau circule à travers une chambre à section croissante, ce qui lui permet d'abandonner une partie de sa charge (essentiellement les éléments supérieurs à 100 μm). L'étalonnage de cet appareil en fonction de la vitesse doit avoir été réalisé au préalable.

Des systèmes plus perfectionnés enfin permettent de contrôler et d'enregistrer en continu l'évolution des concentrations et/ou du débit solide. Il s'agit de petits automates de prélèvements qui sont pilotés par microprocesseur, la prise d'échantillon se faisant automatiquement à des pas de temps prédéterminés et le volume prélevé pouvant être pondéré par le débit mesuré à la station.

b- Détermination des concentrations :

La concentration des sédiments en suspension dans un échantillon de prélèvement est déterminée :

- soit par une méthode de sédimentation-évaporation, qui consiste à laisser reposer l'échantillon pour décanter l'eau exempte de sédiments, puis à le faire sécher dans une étuve pour pouvoir peser le résidu sec obtenu ;
- Soit par une méthode de filtration, en utilisant un filtre en papier ou en plastique et en accélérant éventuellement le processus à l'aide d'un système d'aspiration sous vide.
- Soit, enfin, en utilisant un hydromètre Figure (II-19) que l'on immerge dans l'échantillon et qui fournit, par lecture directe, la densité du mélange de sédiments.

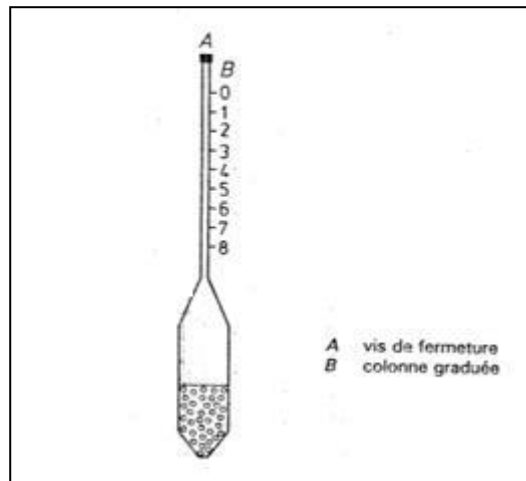


Figure (II-19) : Hydromètre (Hydro Banque, Septembre 1998)

La décantation naturelle étant généralement longue et insuffisante, on peut l'améliorer au moyen d'agents flocculants.

II-4-2-2- Mesure directe des concentrations :

La mesure directe des concentrations est possible en utilisant l'absorption et/ou la diffusion de rayonnements par les matières en suspension et se fait alors in situ, sans prélèvement. Elle nécessite toutefois un étalonnage préalable des appareils en laboratoire et des corrections sur le site en fonction de la température de l'eau, de la granulométrie et éventuellement de la composition chimique des sédiments et des sels dissous ([Hydro Banque, Septembre 1998](#)).

Les méthodes fondées sur la mesure de l'absorption ou de la diffusion d'un rayonnement radioactif sont de plus en plus utilisées. On distingue principalement les méthodes suivantes ([Hydro Banque, Septembre 1998](#)):

- Les jauges à absorption gamma : mesurent l'atténuation d'un rayonnement à travers une tranche d'eau contenant des éléments en suspension ; cette atténuation est fonction de la densité du milieu liquide dans lequel évolue la sonde et par la même de la turbidité.
- Les jauges à diffusion utilisent le phénomène de diffusion des photons γ dans le milieu qui entoure l'ensemble source-détecteur. Ces jauges sont plus compactes que les précédentes puisque la source et le détecteur peuvent être logés dans un même cylindre suspendu à un câble électro-porteur ; elles sont surtout conçues pour des turbidités élevées, de quelques centaines de grammes par litre.
- Des appareils permettent de mesurer la radioactivité naturelle des matières en suspension. En effet, lorsque les particules en suspension ont un faible diamètre (cas des vases), la radioactivité ambiante n'est plus négligeable ; elle est fonction de la turbidité et peut être mesurée par un détecteur que l'on plonge dans l'eau.

II-4-3- Mesure du charriage de fond :

La mesure du charriage est très difficile car la plus grande partie des matériaux, notamment les plus gros, sont transportés pendant les crues. Il s'agit d'un phénomène très discontinu et il n'est pas rare que le volume transporté par charriage au cours d'une crue soit aussi important que le charriage total d'une ou de plusieurs autres années.

Il n'existe pas de méthode directe pleinement satisfaisante pour mesurer le charriage de fond.

En dehors des fosses ou des vannes à gravier qui sont des installations fixes, permettant sur de très petits bassins versants (quelques hectares) de piéger localement la totalité des matériaux charriés, on mesure le charriage soit par prélèvement, soit par des méthodes de traçage ([Hydro Banque, Septembre 1998](#)).

Pour effectuer les prélèvements, on utilise des nasses à gravier, que l'on dépose sur le fond de la rivière en différents points d'une section : les plus rudimentaires sont de simples paniers grillagés aux dimensions adaptées à la taille des éléments transportés ; d'autres sont plus perfectionnées et comportent des adaptations pour assurer un meilleur contact sur le fond et perturber le moins possible les conditions d'arrachement et de transport du matériau à l'entrée de la nasse ([Hydro Banque, Septembre 1998](#)).

Les mesures par traceur (peintures fluorescentes, résines, traceurs radioactifs) paraissent mieux adaptées et donnent en général de meilleurs résultats : on injecte dans le cours d'eau une masse connue M de matériau et l'on étudie ensuite le déplacement de ce matériau entre deux dates, on obtient ainsi le débit solide moyen sur la période considérée. Pour cela, on détermine le centre de gravité du nuage de traceur soit directement par des carottages qui donnent la concentration de traceur en chaque point sondé, soit par comptage de l'activité lorsqu'il s'agit d'un traceur radioactif. La vitesse de déplacement du centre de gravité est reliée à la vitesse de charriage. Pour déterminer le débit solide de charriage il reste à connaître l'épaisseur de la couche de sédiments en mouvement ([Guillot. P, et al., 1993](#)).

CHAPITRE III : TRAITEMENT STATISTIQUE, CRITIQUE ET VALIDATION DES DONNÉES

III-1- INTRODUCTION :

Les données hydrologiques (données hydrométriques, piézométriques et de qualité de l'eau) constituent une base de connaissances essentielle à l'évaluation des ressources en eau et pour les décisions qui en découlent. Les politiques doivent comprendre l'importance de données fiables et représentatives, et allouer les ressources humaines et financières suivant les besoins locaux ([HYCOS, 2007](#)).

Les données hydrologiques sont essentielles pour :

- Evaluer la ressource en eau dans un cadre de référence : qualité et quantité ;
 - Evaluer la dynamique de ressources en eau en relation avec les impacts humains (ex : augmentation de la demande, pollution, changement d'occupation des sols) et/ou avec les impacts climatiques ;
 - Planifier la ressource en eau :
- Estimer la disponibilité actuelle de l'eau en relation avec la demande ;
 - Concevoir des aménagements d'exploitation de la ressource en eau (barrages, périmètres irrigués, ...) ;
 - Elaborer des scénarios de développement liés à l'eau : la disponibilité de la ressource à long terme.
 - Définir des objectifs de quantité et de qualité de l'eau, et d'allocation de la ressource en eau.
 - Prévoir des événements extrêmes : Analyse de la probabilité d'événements extrêmes, tels que sécheresse ou inondation.

III-2- ACQUISITION DES DONNÉES

La chaîne d'acquisition des données, qui comprend un capteur, un dispositif de codage et un enregistreur ne sont pas à l'abri d'erreurs de mesure et d'interprétation. Elle génère une information qu'il faut analyser, critiquer et corriger. Ces différentes étapes ne sont pas chronologiques, mais interviennent tout au long du traitement, de l'enregistrement de terrain jusqu'à l'insertion des informations dans la banque de données hydrologiques ([SANDRE, 2007](#)). L'acquisition de données consiste à procéder, par le biais d'un instrument de mesure, à acquérir de l'information (par exemple : hauteur d'eau d'une station limnimétrique, comptage des basculements d'un pluviographe à augets, vitesse du vent, etc.). Le procédé peut être automatisé ou non. Ceci aura une influence sur le type d'erreurs que l'on peut commettre :

Les erreurs aléatoires (ou accidentelles) : Elles affectent la précision des données et sont non corrélées. Ce type d'erreur est dû à des raisons nombreuses et variées, généralement inconnues, affectant différemment chaque mesure individuelle. Généralement, on considère que ces erreurs sont les réalisations d'une variable aléatoire normale. Ces erreurs étant inévitables, il faut en estimer l'importance afin de pouvoir en tenir compte lors de l'évaluation de l'incertitude finale.

Dans la mesure du possible, la technique de mesure induisant les erreurs aléatoires les plus faibles devrait être préférée ([Musy. A, 2005](#)).

Les erreurs systématiques : Elles affectent la fiabilité des données et sont totalement corrélées. On parle aussi d'inconsistance. Supposons qu'aucune erreur aléatoire n'affecte les mesures. La différence entre la vraie valeur et la valeur mesurée, si elle existe, est alors due à une erreur systématique ([Musy. A, 2005](#)). L'origine des erreurs systématiques est le plus souvent liée à :

- La lecture à l'échelle (ou invention de valeur) ;
- L'enregistrement sur limnigraphe (mauvais calage, mauvais fonctionnement du système câble-flotteur-poulie...) ;
- La dérive des capteurs électroniques (ex : capteur de pression) ;
- Aux opérations de jaugeage : matériel de jaugeage défectueux, nombre de verticales insuffisant.
- Erreurs lors du traitement primaire des données :
 - dépouillement des limnigrammes ;
 - saisie des données sur l'ordinateur ;
 - dépouillement de jaugeage : utilisation d'une mauvaise formule pour le moulinet ;
 - traduction cote-débit avec une courbe de tarage non actualisée, ou une courbe de tarage mal extrapolée ([HYCOS, 2007](#)).

III-3- TRAITEMENT PRIMAIRE DES DONNÉES:

La donnée acquise précédemment nécessite souvent un traitement préalable (ou traitement primaire) afin de la rendre pertinente et exploitable. Il s'agit pour l'essentiel de la conversion de la mesure effectuée en une grandeur qui soit hydrologiquement significative (par exemple : transformation d'impulsions électriques en intensités de précipitations, de hauteurs d'eau en débits, génération de donnée à pas de temps constant à partir de mesures effectuées à pas de temps variable etc.

Le traitement des données inclut aussi le contrôle primaire des données qui comprend les contrôles de cohérence à l'exclusion de tous traitements statistiques. Il s'agit par exemple, dans le cas d'une acquisition manuelle des données, de les convertir en fichiers informatiques. Dans ce cas, on procède généralement à une double saisie des données puis les fichiers sont comparés afin de déceler d'éventuelles erreurs de saisie (Musy. A, 2005).

III-4- CONTRÔLE DES DONNÉES :

Avant de pouvoir exploiter les données et biens qu'elles soient dans un format adéquat, il importe de contrôler la fiabilité et la précision de ces dernières. Le contrôle permet de valider les données avant leur organisation au sein d'une banque de données pour leur mise à disposition à des fins opérationnelles. Cette étape nécessite une bonne connaissance du terrain et de la station, et de disposer de toutes les informations concernant d'éventuelles modifications sur le site (dossier de stations) afin d'effectuer une visualisation graphique des données :

- Contrôle des hauteurs instantanées : Superposition des limnigrammes de la station pour un même mois sur différentes années, superposition et comparaison des limnigrammes à 2 stations proches ;
- Contrôle et critique des jaugeages : visualiser le jaugeage sur la courbe d'étalonnage, Écart du point de jaugeage peut provenir d'un jaugeage erroné ou signifier qu'il y a eu détarage de la station ;
- Comparaison de l'hydrogramme de la crue et du pluviogramme au niveau du bassin (caractéristiques de l'hydrogramme unitaire (Morell. M, et al, 1999).

III-5- ORGANISATION DES DONNÉES :

Vu de l'importance quantitative et qualitative des données, il importe de les organiser avec soin. Ceci se fait à partir d'un corpus de documents originaux (formulaires de terrain, diagrammes, unité de stockage électronique) constituant les archives qui sont en règle générale accessibles uniquement à un personnel spécifique (responsable du centre de collecte, archiviste...). La traduction des archives sous la forme de fichiers de base génère les « fichiers en l'état » et fournit une indication sur la provenance de la donnée (mesure, calcul, copie, etc.) ainsi que sur sa qualité (fiable, complète ou non) et sa précision. Enfin, on constitue un fichier de travail provisoire permettant une visualisation des données et permettant de procéder aux différents tests de qualité et de précision des données. L'élément ultime de cette chaîne opératoire est la constitution des fichiers opérationnels avec indices de qualité pouvant être publiés et distribués auprès des utilisateurs ([Musy, A, 2005](#)).

III-6- LACUNES ET PRINCIPES DE RECONSTITUTION DES DONNÉES HYDROLOGIQUES :

La reconstitution des valeurs manquantes ou très douteuses dépend généralement des Sources de lacunes ([Hydro Banque, Septembre 1998](#)) :

- Arrêt momentané des tournées de collecte
- Dispositif inondé lors de fortes crues
- Puits de mesure du limnigraphe colmaté
- Panne de batterie pour les stations électroniques
- Vandalisme (vols de panneaux solaires...)

L'action de combler l'absence d'information est appelée «reconstitution », la modalité et la difficulté des reconstitutions sont très variables selon la durée et la période de l'absence d'information ; il est cependant possible de donner une tendance générale ([Hydro Banque, 1998](#)).

III-6-1- les cas les plus faciles :

Reconstitution des débits instantanés, journaliers, mensuels ou annuels : dans de tels cas, il suffit bien souvent de retracer la courbe de variation des hauteurs en fonction du temps à partir des données existantes, puis de transformer ces hauteurs estimées en débits. Ces

situations doivent être considérées comme des exceptions, les reconstitutions ne devant généralement porter que sur des débits (Hydro Banque, Septembre 1998).

III-6-2- les cas les plus difficiles :

La reconstitution est plus difficile dès qu'il y a influence, apports liés à la pluviométrie...les moyens mis en œuvre pour la reconstitution seront plus importants. De même, une période de longue durée sans information, plusieurs semaines par exemple, requiert du doigté. S'il a plu, complexe quand le régime du cours d'eau réagit aux précipitations et est moins régularisé par des nappes (Hydro Banque, 1998).

III-7- LA PROCÉDURE DE RECONSTITUTION :

En l'absence d'indications sur la gamme des hauteurs atteintes durant une absence d'information, ce qui devient la règle avec les enregistreurs électroniques (d'où l'intérêt de la télétransmission pour rapatrier souvent les données d'une ou de plusieurs stations de jaugeage « comparables », en tenant naturellement compte des pluies tombées sur le bassin.

Les stations hydrométriques considérées comme comparables sont :

- Des stations peu distantes les unes des autres avec un historique pluviométrique similaire ;
- Des stations dont le régime hydrologique est semblable (régime initial, pondéré...caractère perméable ou non du bassin versant) ;
- Des stations dont la taille du bassin versant n'est pas trop différente, avec des temps de réponse aux pluies équivalents.

Si la période d'absence d'information n'est ni trop « chahutée » ni trop longue, il est alors possible d'envisager des reconstitutions basées sur des corrélations entre les débits à la station considérée et ceux connus à la ou aux stations de « référence » (Morell. M, et al, 1999)

III-8- LA PROCÉDURE DE CORRÉLATION :

Pour qu'une corrélation soit significative, il faut que la gamme des débits pris en compte soit suffisamment étendue et encadre de manière satisfaisante celle observée à la ou aux stations de référence durant la période à reconstituer. La saisonnalité éventuelle de la corrélation sera vérifiée.

La formule obtenue doit impérativement avoir un sens physique (Hydro Banque, Septembre 1998) :

Si : $Q \text{ connu} = a Q \text{ connu} + b$

a : doit être cohérent avec le rapport des bassins versants.

b : doit être faible au regard de la gamme de débits à reconstituer. Là encore, la géologie peut nuancer ce principe. Un bassin affluent sur formations perméables s'ajoutant à un bassin sur formations imperméables peut justifier un b important.

Quand la superficie des bassins versants est trop différente, le calcul de la corrélation à partir des logarithmes des débits est souvent nécessaire.

Il convient d'examiner l'évolution des points représentatifs de la corrélation avant et après la période à reconstituer. Si elles existent, des différences significatives entre ces points peuvent être dues à des variations entre les pluies tombées sur les deux bassins, à une différence de réaction aux pluies entre ces bassins, à une qualité insuffisante de la formule employée. Dans de tels cas, l'application en sera faite avec prudence ([Hydro Banque, 1998](#)).

III-8-1- les débits de pointe :

À défaut de pouvoir les reconstituer, il peut être intéressant de chercher à évaluer les débits de pointe des crues survenues durant une période d'absence d'information afin d'avoir une série continue de débits maximaux annuels (par année calendaire ou hydrologique). Ceci est d'autant plus délicat que le bassin versant est petit ([Musy.A, 2005](#)).

On cherchera d'abord, sur le terrain, s'il existe des laisses de crue sur des obstacles fixes ; il convient d'être prudent, en effet, vis-à-vis des laisses de crue que l'on trouverait sur des arbres ou des branches dont la position (au repos) aurait pu être modifiée par la vitesse du courant.

En l'absence de laisses de crues, on aura recours à des corrélations entre les débits de pointe des crues connues entre la station intéressée et la station de référence, en n'omettant pas toutefois d'examiner les pluies tombées sur chacun des deux bassins versants ([Musy.A, 2005](#)).

Lorsque ces stations ne sont pas situées sur les mêmes rivières, ou si leurs bassins versants diffèrent fortement en surface bien qu'elles soient situées sur le même cours d'eau, on a de fortes chances d'observer des corrélations assez lâches et, par voie de conséquence, de ne pouvoir obtenir qu'une large « fourchette » d'estimation du débit de pointe de crue recherchée ([Musy.A, 2005](#)).

III-8-2- les modèles pluie – débit :

Dans certains cas, qui paraissent surtout concerner des bassins étendus où l'on dispose de modèles hydrologiques, il est possible d'envisager l'application de relations pluie-débit pour effectuer une reconstitution (ce qui est vraisemblablement d'autant plus facile que les bassins sont moins « perméables »), ou l'application de corrélation débit-débit entre la station

concernée et des stations amont, en tenant compte, si nécessaire, des effets de la propagation entre stations.

L'emploi de modèles hydrologiques ayant un pas de temps journalier permet de réaliser des reconstitutions à partir des pluies. La difficulté vient de la mise en œuvre préalable du modèle, qui demande un certain temps de travail et l'utilisation de données pluviométriques ([Hydro Banque, 1998](#)).

III-9- HYPOTHÈSES DE L'ANALYSE STATISTIQUE :

Les calculs statistiques sont basés sur un certain nombre d'hypothèses qui doivent en principe être vérifiées. Parmi celles-ci, citons :

- **Les mesures reflètent les vraies valeurs** : cette hypothèse n'est malheureusement jamais réalisée en pratique, du fait des erreurs systématiques ou aléatoires.
- **Les données sont consistantes** : aucune modification dans les conditions internes du système n'intervient durant la période d'observation (position du pluviomètre, procédures d'observation, observateur unique).
- **La série de données est stationnaire** : les propriétés de la loi statistique qui régit le phénomène (moyenne, variance ou moments d'ordre supérieur) sont invariantes au cours du temps ([Laborde, J.P. 2009](#)).
- **Les données sont homogènes** : Une série de données est réputée non homogène lorsque:
 - elle provient de la mesure d'un phénomène dont les caractéristiques évoluent durant la période de mesure; le phénomène est alors dit non-stationnaire (par exemple: variations climatiques, variations du régime des débits dues à une déforestation ou un reboisement). Il est également possible d'observer des signes d'une non-stationnarité apparente lorsque l'électronique intégrée à l'équipement de mesure présente une dérive temporaire ou lors du changement de l'observateur.
 - Elle reflète deux ou plusieurs phénomènes différents. Le régime d'une rivière à l'aval de la confluence de deux sous bassins dont le comportement hydrologique est très contrasté constitue un bon exemple de ce défaut d'homogénéité ([Laborde, J.P. 2009](#)).
- **La série de données est aléatoire et simple** : le caractère aléatoire et simple d'une série d'observations est une hypothèse fondamentale pour l'analyse statistique. Un échantillon aléatoire signifie que tous les individus de la population ont la même probabilité d'être prélevés. Un échantillon simple signifie que le prélèvement d'un

individu n'influe pas la probabilité d'apparition des individus suivants. Autrement dit, si toutes les observations de la série sont issues de la même population et qu'elles sont indépendantes entre elles, la série est alors aléatoire et simple (Laborde, J.P. 2009).

- **La série doit être suffisamment longue :** La longueur de la série influe sur les erreurs d'échantillonnage, notamment sur le calcul des moments d'ordre supérieurs donc sur les tests inhérents à leur fiabilité (Laborde, J.P. 2009).

III-10- LES GRANDES CATEGORIES DE TESTS :

On peut classer les tests soit selon leur objet (but) ou selon leurs propriétés mathématiques.

III-10-1- Tests selon leurs propriétés mathématiques :

Un test est dit paramétrique si son objet est de tester certaines hypothèses relatives à un ou plusieurs paramètres d'une variable aléatoire de loi spécifiée. Dans la plupart des cas, ces tests sont basés sur la considération de la loi normale et supposent donc explicitement l'existence d'une variable aléatoire de référence X suivant une loi normale. La question se pose alors de savoir si les résultats restent encore valables lorsque X n'est pas normale : si les résultats sont valables on dit que le test en question est robuste. La robustesse d'un test par rapport à un certain modèle est donc la qualité de rester relativement insensible à certaines modifications du modèle. Un test est dit non paramétrique s'il ne fait pas appel à des paramètres ou d'hypothèses précises concernant la distribution sous-jacente (Ruch, J.J, 2013).

III-10- 2- Tests selon leur objet :

Les tests sont généralement classés en quatre groupes principaux qui contiennent la plupart des tests statistiques généralement utilisés en hydrologie (Ruch, J.J, 2013).

- Test de conformité : comparaison d'une caractéristique d'un échantillon à une valeur de référence, destinée à vérifier si la caractéristique correspondante de la population peut être admise égale à la valeur de référence.
- Test d'homogénéité ou test de comparaison d'échantillons : Etant donné deux échantillons de taille n_1 et n_2 , peut admettre qu'ils ont été prélevés dans une même population indépendamment l'un de l'autre (Ruch, J.J, 2013).

Mathématiquement le problème se formalise de la manière suivante : on observe sur le premier échantillon les réalisations d'une variable aléatoire X_1 , de fonction de répartition $F_1(X)$ et sur le deuxième échantillon les réalisations d'une variable aléatoire X_2 de fonction de répartition $F_2(X)$.

Le choix est dicté par des considérations pratiques car $F_1(X)$ et $F_2(X)$ est trop vague pour obtenir une région critique. Dans la pratique on se contentera de vérifier l'égalité des espérances mathématiques et des variances de X_1 et X_2 , en disposant de $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, et s_1^2 , s_2^2 moyennes et variances empiriques des deux échantillons (Ruch. J.J, 2013).

- **Test d'ajustement** : vérifier si un échantillon donné peut être considéré comme tiré d'une population-parente spécifiée.
- **Test d'autocorrélation** : vérifier si une dépendance (due à la proximité dans le temps par exemple) existe dans des données chronologiques d'une série d'observations.
- L'autocorrélation est une mesure de la mémoire, donc de la persistance, du phénomène.

III-10-3- Tests selon la nature des informations :

En hydrologie diverses situations peuvent se rencontrer en fonction des situations hydrologiques particulières. Ainsi il est parfois nécessaire de contrôler un seul type de données (pluie, température, évaporation) à l'échelle locale (à l'endroit où la mesure a été effectuée) ou à l'échelle régionale (d'un bassin versant où plusieurs sites de mesures ont été établis). Il est également parfois souhaitable de vérifier la qualité de plusieurs types de données (par exemple : pluie-débit, température-vitesse du vent...) aussi bien à l'échelle locale que régionale. Ainsi divers contrôles de données, recoupant à la fois des tests numériques (strictement statistiques) et graphiques (à caractère plus hydrologique), peuvent être classés en 4 grands groupes selon l'échelle spatiale et le nombre de paramètres considérés : 1 paramètre – échelle locale ; 1 paramètre – échelle régionale ; plusieurs paramètres – échelle locale ; plusieurs paramètres – échelle régionale (Houde. L, 2014).

III-11- CONTROLE DES DONNEES :

III-11-1- 1 Paramètre – échelle locale :

Il s'agit de tester la série des données à l'endroit où elles ont été mesurées.

III-11-1-1- Tests paramétriques :

- **Tests de conformité :** Les tests de conformité comparent la moyenne ou la variance d'un échantillon à la moyenne ou la variance de la loi théorique (de la population dont il est issu). Deux tests sont utilisés pour la conformité de la moyenne selon que la variance est connue ou doit être estimée, il s'agit respectivement des tests z et de Student (appelé aussi test t) (Morgenthaler. S, 1997).
- **Tests d'homogénéité :** Le test d'homogénéité de la moyenne se base sur la statistique de Student pour deux échantillons tandis que le test d'homogénéité de la variance correspond au test de Fisher-Snedecor (Meylan. P et al, 1998).
- **Tests d'adéquation :** Le test paramétrique servant à l'adéquation, basé sur la comparaison des fréquences théoriques et effectives, est le test de chi-carré.
- **Tests d'autocorrélation :** Il faut tout d'abord remarquer que la façon la plus simple et la plus immédiate d'évaluer l'indépendance sérielle, adoptée dans de nombreux ouvrages d'hydrologie statistique, consiste à calculer le coefficient d'autocorrélation de rang un de la série, et d'appliquer ensuite l'un des tests « classiques » paramétriques ou non-paramétriques proposés pour le coefficient de corrélation $r_{x,y}$ « standard », à savoir :
 - ✓ Test de nullité du coefficient de corrélation selon Fisher.
 - ✓ Test de nullité du coefficient de corrélation des rangs de Spearman.
 - ✓ Test de nullité du coefficient de corrélation des rangs de Kendall.

Ces trois tests ont un comportement nominal tout à fait correct, lorsqu'ils sont appliqués à une série bivariable « classique », mais s'avèrent inapplicables dans le cas du coefficient d'autocorrélation, comme cela ressort de certains développements (Meylan P. et al., 1999).

III-11-1-2- Tests non paramétriques :

Il est rappelé que les tests non paramétriques ne font pas appel à des paramètres ou d'hypothèses précises concernant la distribution sous-jacente.

- **Tests de conformité :** Le test de conformité de la moyenne classique non paramétrique est le test de Wilcoxon pour un échantillon (Morgenthaler.S., 1997).

▪ **Tests d'homogénéité :**

- a) **Test de Wilcoxon :** Pour tester l'homogénéité de données issues de deux populations on utilise les deux statistiques équivalentes de Mann-Whitney et Wilcoxon (Morgenthaler, S, 1997), ainsi que le test de la médiane.
- b) **Test de la médiane :** Soit un échantillon de n valeurs x_i (série chronologique par exemple) de médiane $\tilde{x}$ (une variante consiste à utiliser la moyenne $\bar{x}$). Chaque observation x_i est affectée d'un signe + si elle est supérieure à la médiane, d'un signe - dans le cas contraire. Tout groupe de valeurs « + » est une séquence positive (ou suite positive), et tout groupe de valeurs « - » est une séquence négative (ou suite négative). Il s'agit de déterminer N , le nombre total de séquences positives ou négatives ainsi que T_s , la taille de la plus longue de ces suites.
- c) **Tests d'autocorrélation :** A la suite des travaux d'Anderson, Wald et Wolfowitz ont développé un test non paramétrique du coefficient d'autocorrélation.

La statistique du test est calculée comme

$$R = \sum_{i=1}^{n-1} x_i \cdot x_{i+1} + x_n \cdot x_1 \quad (\text{III-1})$$

Pour n «suffisamment grand», cette statistique suit une distribution normale de moyenne et de variance.

III-11-2- 1 Paramètre – échelle régionale :

Ces méthodes s'appliquent par exemple pour contrôler des données pluviométriques à plusieurs stations situées dans un bassin versant.

Les deux tests développés sont essentiellement utilisés en hydrologie. Leur but spécifique est de comparer un ou plusieurs échantillons, acquis à des stations voisines, afin de détecter une éventuelle inhomogénéité (dont la cause la plus classique est une modification de l'une des stations, par exemple, le déplacement du pluviomètre).

III-11-2- 1- Méthode du double cumul :

Le principe de la méthode consiste à vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations. L'une des stations (station X) est la station de base ou station de référence, supposée correcte. L'autre station (Y) est la station à contrôler. Un effet de lissage est obtenu en comparant, au pas de temps choisi (année, saison, mois, décade), non pas les valeurs

observées, mais leur cumul. La méthode est d'un concept extrêmement simple, puisqu'il suffit de tracer un graphe des quantités :

$$X(t) = \sum_{i=0}^t x(i) \text{ et } Y(t) = \sum_{i=0}^t y(i) \quad (\text{III-2})$$

La méthode du double cumul a l'avantage d'être simple, bien connue de tous et très rapidement réalisable. Par contre, l'interprétation des graphes obtenus n'est pas toujours aisée et, surtout, la méthode ne propose aucune graduation en probabilité des défauts constatés: un test, au sens statistique, est donc exclu. Elle permet de détecter l'erreur mais pas de la corriger, du moins pas directement. Après une analyse approfondie d'une situation critique constatée, une correction peut être toutefois envisagée.

III-11-2-2- Méthode du cumul des résidus :

La méthode du cumul des résidus, due à Philippe Bois de l'Ecole nationale supérieure d'hydraulique de Grenoble, est une extension de l'idée de la méthode du double cumul, à laquelle elle ajoute un contenu statistique autorisant la pratique d'un véritable test d'homogénéité : c'est donc un progrès décisif (Bernier, J, 1977).

A nouveau pour une série double de valeurs x_i (série de base) et y_i (série à contrôler), l'idée de base consiste à étudier, non pas directement les valeurs x_i et y_i (ou Sx_i et Sy_i) mais les cumuls des résidus e_i de la régression linéaire de y en x :

$$y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + \varepsilon_i \quad (\text{III-3})$$

$$\text{Ou encore : } \varepsilon_i = y_i - (a_0 + a_1 \cdot x_i) = y_i - \hat{y}_i \quad (\text{III-4})$$

De la théorie classique de la régression il découle que la somme des résidus est nulle par construction et que leur distribution est normale, d'écart-type :

$$\sigma_x = \sigma_y \sqrt{1 - r^2} \quad (\text{III-5})$$

où r est le coefficient de corrélation linéaire entre X et Y .

Pour un échantillon d'effectif n , le cumul des résidus E_j est défini comme :

$$E_0 = 0; E_j = \sum_{i=1}^j \varepsilon_i, \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{III-6})$$

Le report graphique des résidus cumulés E_j (en ordonnée) en fonction des numéros d'ordre j des valeurs (en abscisse, $j = 0$ à n , avec $E_0 = 0$) devrait, pour une corrélation avérée entre X et Y , donner une ligne partant de 0, oscillant aléatoirement autour de zéro entre $j = 0$ et $j = n$, et aboutissant à 0 pour $j = n$. La présence d'une inhomogénéité se manifeste par des déviations non aléatoires autour de la valeur nulle.

III-11-3- Plusieurs paramètres – échelle locale :

Cette méthode est basée sur les relations existant entre certaines grandeurs hydrologiques telles que les précipitations et les débits ou la température et l'humidité relative de l'air. Si on suppose cette relation connue, ou tout au moins approchée à l'aide de modèles divers (physiques ou mathématiques), il est possible de détecter les données qui ne cadrent pas avec cette relation.

III-11-4- Plusieurs paramètres – échelle régionale :

Les méthodes qui prévalent à ce niveau sont d'ordre hydrologique ou statistique, selon les cas envisagés.

III-11-4-1- Méthode des bilans :

L'équation simplifiée du bilan hydrologique est la suivante :

$$P - (R + E) = \pm \Delta S \quad \text{(III-7)}$$

Avec :

P : précipitations ;

R : ruissellement ;

E : évapotranspiration ;

ΔS : variation de stockage.

Un contrôle possible des données est de mesurer tous les paramètres du bilan et vérifier l'égalité : si $\Delta S \cong 0$, alors on déduit que $P - R \cong E$. La mesure de la pluie et de l'écoulement nous donne une évaluation du degré de vraisemblance de l'évapotranspiration. Si celui-ci n'est pas acceptable, on se doit alors de vérifier les données de pluie et de ruissellement.

Une autre analyse possible consiste à estimer grossièrement le coefficient de ruissellement ($Cr = R/P$), d'évaluer sa vraisemblance en regard des caractéristiques du bassin versant ou alors de vérifier si le calcul obtenu avec les données pluie-débit donne un résultat similaire. Dans le cas où le calcul du coefficient de ruissellement donne des valeurs a priori aberrantes (par exemple supérieures à l'unité), l'erreur a priori est manifeste. Cette erreur a aussi des chances de provenir de : la non concordance des bassins topographiques et hydrogéologiques, à défaut d'une erreur sur les données de pluie et de débit (Baccini, A, et al, 2008).

III-11-4-2- Méthode des débits spécifiques maximaux :

Un autre exemple de contrôle hydrologique simple est celui qui utilise les débits spécifiques maximaux. On sait que ces débits spécifiques varient de manière inversement proportionnelle à la surface sur laquelle ils sont calculés. Ainsi, si on dispose de plusieurs stations

hydrométriques sur un même réseau hydrographique, on peut tracer la courbe décroissante $q_{\max} = f(A)$. Si un des points, correspondant à une station n'est pas « hydrologiquement » bien placé il y a lieu de craindre une erreur. Cependant il faut être attentif au fait que cette erreur ne provient pas forcément d'une mauvaise mesure du débit, elle peut provenir d'une erreur d'estimation de la superficie des bassins versants (Morell. M, et al, 1999).

III-11-4-3- Méthode statistiques multivariées :

Souvent, lors de l'étude d'un phénomène hydrologique, on observe une multitude de variables différentes qui pourraient potentiellement offrir un intérêt. Dans ce cas on peut faire appel à des méthodes statistiques multivariées. Parmi ces méthodes on trouve l'analyse en composantes principales et l'analyse factorielle.

- Le principe de l'analyse en composantes principales (ACP) est d'obtenir une représentation approchée d'un nuage de n individus dans un sous-espace de dimension faible. Ceci s'effectue par une projection. L'ACP construit de nouvelles variables, artificielles, et des représentations graphiques permettant de visualiser les relations entre variables, ainsi que l'existence éventuelle de groupes d'individus et de groupes de variables. Il est à remarquer de l'interprétation des résultats est une phase délicate qui doit se faire en respectant une démarche.
- L'analyse factorielle est un modèle mathématique qui tente d'expliquer les corrélations entre un grand nombre de variables par un nombre restreint de facteurs correspondants. Une hypothèse fondamentale de l'analyse factorielle est qu'il n'est pas possible d'observer ces facteurs directement ; les variables dépendent des facteurs mais sont également sujettes à des erreurs aléatoires.

III-11-5- Estimation des données manquantes, correction des données :

On peut estimer les données manquantes ou erronées à une station à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique. Trois méthodes sont proposées pour les données pluviométriques :

- remplacer la valeur manquante par celle de la station la plus proche ;
- remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines. Cette méthode est utilisée lorsque les précipitations moyennes annuelles de la station à compléter ne diffèrent pas de plus de 10% des précipitations moyennes annuelles aux stations de référence (Morell. M, et al, 1999).
- remplacer la valeur manquante par une moyenne pondérée par la tendance annuelle des stations pluviométriques, soit :

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_x}{P_i} \right) \quad (\text{III-8})$$

Où :

P_x : donnée manquante de précipitation (par exemple), estimée

n : nombre de stations de référence,

P_i : précipitation à la station de référence i ,

$\bar{P}_x$: précipitation moyenne à long terme de la station x ,

$\bar{P}_i$: précipitation moyenne à long terme de la station de référence i .

Pour reconstituer des données de hauteurs d'eau, on peut utiliser des critères de proportionnalité analogues dans le cas de stations limnimétriques placées sur un même cours d'eau (transposition géographique, conservation des volumes,...).

Les méthodes basées sur l'analyse de régressions et corrélations (relations pluie-pluie ou pluie-débit, relations inter-postes) sont utilisées à cet effet.

Le calcul de la régression se fait en déterminant les valeurs des paramètres de la relation entre la variable expliquée et la ou les variables explicatives. Cette régression peut être simple ou multiple.

III-12- LA VALIDATION :

C'est à l'issue de ce contrôle que la validation des données est faite. Si la production de données provisoires de bonne facture dans un délai court est possible, il doit être clair que la critique requiert du recul et que la validation ne peut se faire dans la précipitation.

La monographie, exercice qui consiste à procéder à l'analyse critique a posteriori de 10 ou 15 ans d'exploitation d'une station de mesure, avec toute la connaissance acquise dans l'intervalle (nouveaux jaugeages, comportement hydraulique, meilleurs recoupements amont/aval...), la sérénité d'esprit que comporte une réflexion menée en dehors de la contrainte de produire rapidement des résultats conduits toujours à :

- ✓ Profondément remodifié des valeurs, même dans les gammes courantes de débits supposées bien connues ;
- ✓ Attribution de code de qualité des données : exprime le niveau de confiance qui peut être accordé à la donnée ;
- ✓ Acquérir les éléments de synthèse (fréquence de détarage, dispersion) utiles pour l'extrapolation future ;
- ✓ Et donc en final, tout en consolidant des résultats « du passé », à mieux appréhender la gestion « du futur » (Hydro Banque, 1998).

III-13- DIFFÉRENTES ÉCHELLES DE GESTION ET D'ÉCHANGE DE DONNÉES

On peut concevoir un réseau de collecte et de gestion du réseau de données selon l'organigramme ci-dessous (Figure III-1) :

Difficultés d'échanges de données se pose en terme de :

- Multiplicité des bases de données et des logiciels de SGBD ;
- Diversités des formats de données ;
- Codification des données (utilisation de codes différents) ;
- Fiabilité des données échangées (confiance sur la qualité de la donnée) (Projet Volta-HYCOS, 2007).

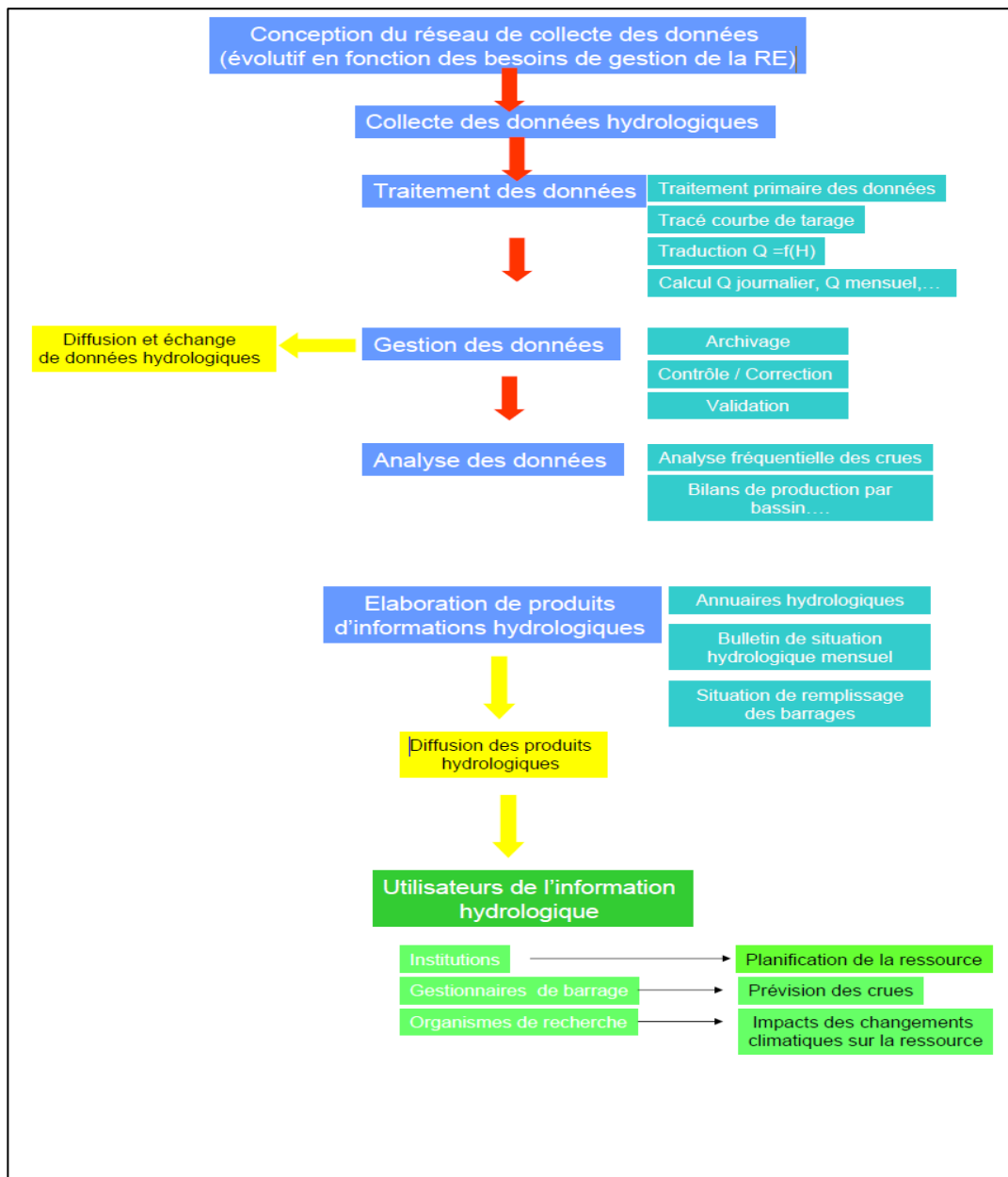


Figure (III-1) : Organigramme de la collecte des données à la diffusion de l'information (Projet Volta-HYCOS, 2007).

III-14- PRINCIPAUX PARAMÈTRES STATISTIQUES UTILISES :

Les paramètres statistiques sont des nombres qui ont pour but de résumer l'essentiel de l'information relative à une variable statistique quantitative (Thomine. D, 2025).

III-14-1- Paramètres de tendance centrale :

a — Moyenne arithmétique :

Dans le cas de variables continues :

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{X_i}{n} \quad (\text{III-9})$$

$\bar{X}$: La moyenne arithmétique ;

n : nombre d'observation.

b— Médiane M_e :

La médiane est la valeur qui se trouve au centre d'un ensemble de nombres. En d'autres termes, les nombres appartenant à la première moitié de l'ensemble ont une valeur inférieure à la médiane, tandis que ceux appartenant à l'autre moitié ont une valeur supérieure à la médiane.

Si : $N = 2n + 1 \longrightarrow$ la médiane est le $(n+1)^{\text{ème}}$ terme.

Si : $N = 2n \longrightarrow$ la médiane est égale à la moyenne du $n^{\text{ème}}$ et $(n+1)^{\text{ème}}$ terme.

c- Le mode M_o ou dominante D » :

Le mode est la valeur de la variable qui présente le maximum de fréquence. Dans le cas de distribution symétrique, le mode est égal à la moyenne arithmétique et à la médiane.

(Aivazian. S, et al, 1970)

III-14-2- Paramètres de dispersion :

a- Écart — type :

L'écart type est une mesure de la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne (valeur moyenne).

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (\text{III-10})$$

σ_x : L'écart type ;

$\bar{X}$: la moyenne arithmétique ; n : nombre d'observation.

b- Coefficient de variation :

En théorie des probabilités et statistiques, le coefficient de variation également nommé écart type relatif est une mesure de dispersion relative. Le coefficient de variation est défini comme le rapport entre l'écart — type et la moyenne exprimée en général en pourcentage.

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \quad \text{(III-11)}$$

III-14-3- Paramètres caractéristiques de la forme :**Coefficient d'asymétrie :**

Cette fonction caractérise le degré d'asymétrie d'une distribution par rapport à sa moyenne. Une asymétrie positive indique une distribution unilatérale décalée vers les valeurs les plus positives. Une asymétrie négative indique une distribution unilatérale décalée vers les valeurs les plus négatives.

$$C_s = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^3}{n \cdot \sigma_x^3} \quad \text{(III-12)}$$

Remarque :

Les équations pour la détermination des paramètres statistiques citées dans ce chapitre seront appliquées dans le chapitre VI de cette thèse.

CHAPITRE IV : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA MACTA

IV-1- INTRODUCTION :

Le bassin de la Macta, situé dans la partie centrale de la Région Hydrographique Oranie Chott Chergui, est influencé par les conditions hydro climatiques, hydrogéologiques, démographiques et même parfois socio-économiques.

Après le bassin de la Tafna, ce bassin joue un rôle important dans l'Oranie à cause de ces bonnes potentialités en ressources en eaux et en sols. Ainsi ce bassin est un facteur influant dans les perspectives de développement de la métropole Oranaise (ABHOCC, 2007).

IV-2- ETUDE MORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MACTA :

IV-2-1 Espace géographique :

Situé au Nord-Ouest de l'Algérie (Plusieurs Wilayas lui sont tributaires : Sidi bel Abbés, Mascara, et Saida) entre les latitudes 34° 28' et 35° 87' Nord et les longitudes 0° 52' et 1° 2' Ouest, le bassin de la Macta s'étend sur une superficie de 14 389 Km².

Le Bassin de la Macta est limité au Nord par la Mer Méditerranée, au Sud par une grande partie du bassin Chott Chergui, à l'Est par la région Cheliff Zahrez et à l'Ouest par une partie du Côtier Central, bassin Tafna et Chott Chergui (Figure IV-1) (ABHOCC, 2007)

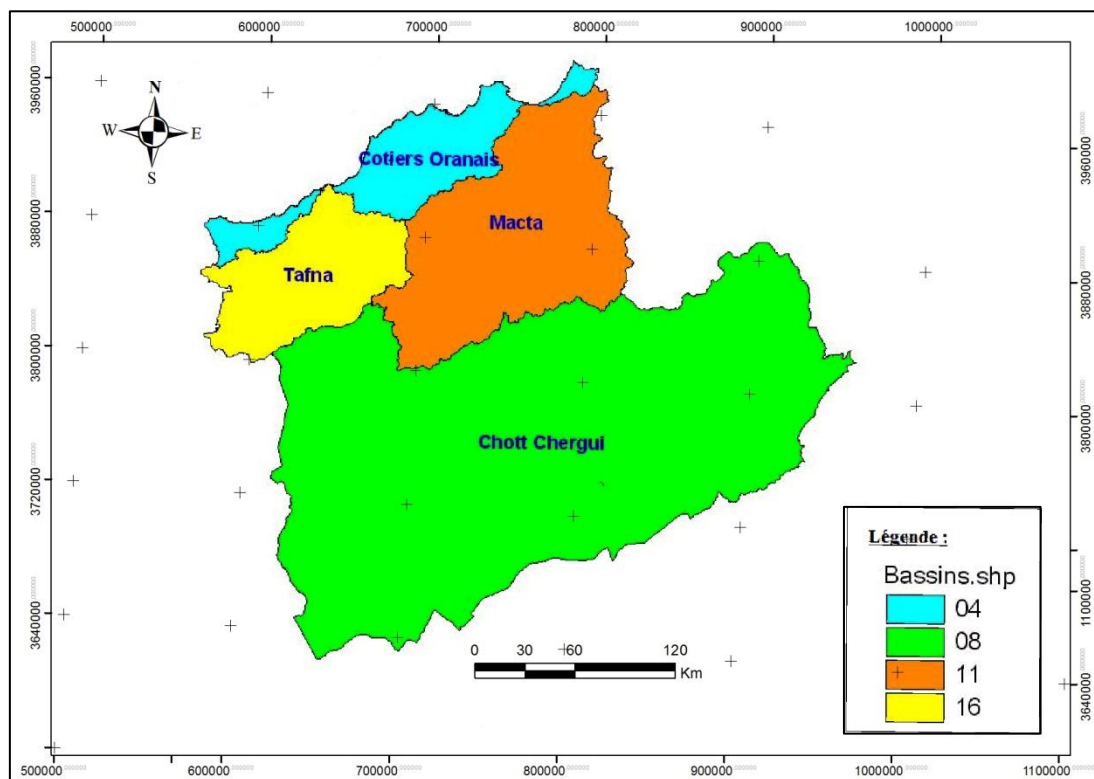


Figure (IV-1) : Situation Géographique du Bassin de la Macta (Etablie par Madani Cherif. H, 2025).

Ce bassin est composé de seize (16) sous bassins versants selon le découpage de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) (Figure IV-2), dont ils sont regroupés dans trois grands bassins versants à savoir : Mekerra, Oued El Hammam et les Marais. Il est délimité au Nord-Ouest par la chaîne montagneuse du Tessala, au sud par les hauts plateaux de Ras-el-Ma et les plaines de Maalif, à l'Est par les plateaux du Telagh et les monts de Tlemcen qui sont le prolongement des monts de Beni-Chougrane.

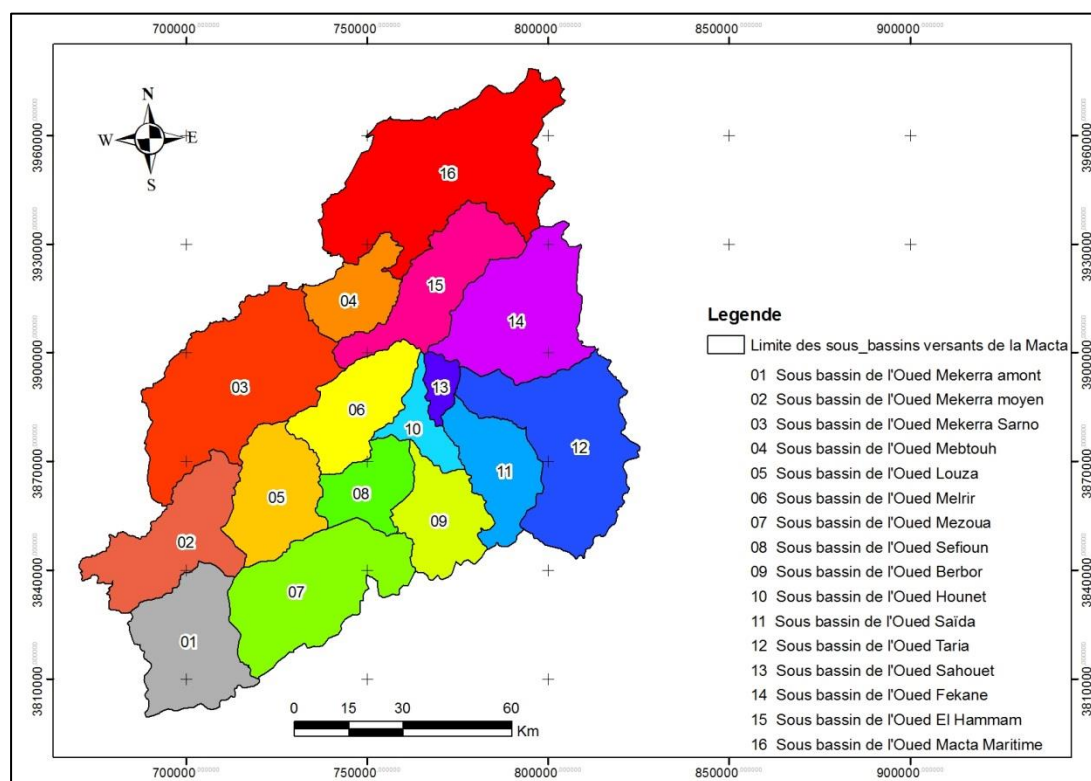


Figure (IV-2) : Répartition des sous bassins versants de la Macta (Etablie par Madani Cherif. H, 2025).

IV-2-2- Lithologie :

La connaissance détaillée des caractéristiques lithologiques des faciès et de leurs structures profondes et superficielles est nécessaire à la compréhension du système hydrologique et hydraulique souterrain de la région étudiée (plaine de Ghriss, plateau de Saïda, et la plaine de Sidi Bel Abbès) (ABHOCC, 2007).

Ces régions occupent sur le plan géologique la partie occidentale de l'Atlas tellien où seront différenciées les formations géologiques suivantes :

IV-2-2-1- La plaine de Ghriss :

La plaine de Ghriss est une entité hydrogéologique indépendante encadrée par des reliefs aux aspects géologiques divers :

Au Nord et au Nord-Ouest de la plaine se trouvent les versants sud des Beni Chougrane formés d'un chéneau de djebels allongés en direction Sud-Sud-Ouest et Nord-Nord-Est. Ils sont formés de terrains très plissés possédant une ossature crétacée et un recouvrement tertiaire très épais. Le Crétacé marneux et marno-calcaires à semelle de trias gypseux et salifère recouvre les terrains du Miocène. Le nummulitique (éocène et oligocène), marneux et gréseux est en contact soit avec le crétacé ou le miocène. Ces assises du Néogène, légèrement ondulées, couvrent actuellement, presque en totalité, la bordure méridionale des monts des Beni Chougrane. La limite septentrionale et occidentale de la plaine de Ghriss est un massif ossature totalement constituée par les terrains nappés (marneux et argileux), recouverts par des terrains plus ou moins perméables qui vont contribuer à l'alimentation des nappes de la plaine (ABHOCC, 2007).

Au Nord-Est de la plaine et plus précisément à l'Est de la Ville de Tighennif la surélévation des formations marneuses et argileuses de l'oligocène et du miocène, forment une barrière relativement imperméable qui limite nettement le bassin versant de la plaine de Ghriss et celui de l'oued Mina (ABHOCC, 2007).

La bordure Sud du bassin versant de la plaine de Ghriss est formée par les Monts de Saida (Djebels de Sidi Kada). Ces derniers sont constitués par des formations karstiques qui ont subi une intense tectonique cassante, dont subsistent quelques témoins (horsts des djebels Emfouss et Bourradou). Cet ensemble s'enfonce légèrement Vers le Nord ce qui favorise l'écoulement et le drainage des eaux vers la plaine. Au niveau d'Ain Fekan, cet ensemble calcaréo-dolomitique du Jurassique supérieur est limité par une faille qui le met en contact avec des argiles gréseux du crétacé. Cette interruption brusque de la perméabilité est à l'origine des sources d'Ain Fekan, là où le crétacé constitue un véritable barrage souterrain.

Les terrains calcaréo-dolomitiques rigides, des monts de Sidi Kada se prêtent mal aux déformations. On note quelques ondulations de faibles amplitudes, mais surtout affectées par une tectonique cassante suivant deux directions principales : une première direction de failles, Ouest-Sud-Ouest et Est-Nord-Est, détermine un effondrement en marches d'escaliers. Une seconde direction de failles, orientée Sud-Nord dans la partie occidentale, divise les formations précédentes en horsts et grabens (Sourisseau, 1972).

IV-2-2-1-1- Litho-stratigraphie :

La série stratigraphique qui caractérise les formations de la plaine de Ghriss s'établit de haut en bas comme suit :

1. **Le quaternaire** est représenté par des formations continentales constituées d'argiles rouges détritiques qui surmontent les calcaires lacustres du pliocène. Ces dépôts affleurent à l'Ouest et au Nord de la plaine. Entre les villes de Tighennif, Maoussa et Froha le quaternaire moyen correspond à une terrasse alluviale constituée de sables fins accompagnés de quelques petits graviers centimétriques ([Sourisseau, 1975](#)).
2. **Le Pliocène** est constitué principalement par deux formations géologiques à savoir les grès de l'Astien et les calcaires lacustres. Les grès affleurent dans la région de Khalouia et à proximité de la ville de Mascara et biseautent sous la plaine. Ces formations d'origine marine passent progressivement à des sables consolidés vers le sommet de la série. Leurs épaisseurs varient de 40 à 100 mètres. Les calcaires lacustres affleurent sur toute la bordure des monts Beni Chougrane. Ils reposent directement sur les grès ou séparés de ces derniers par une couche d'argile sableuse rouge de faible épaisseur. L'épaisseur des calcaires lacustres augmente sous la plaine jusqu'à atteindre 270 mètres dans un forage au Sud-Est de la ville de Mascara. Ces formations disparaissent au Sud d'une ligne reliant les Djebels d'Emfouss et Bourradou et le Nord des monts de Saida ([Sourisseau, 1975](#)).
3. **Le Miocène** affleure au Nord des Beni Chougrane. Il s'agit d'un ensemble monotone, très épais, à prédominance de marnes Vertes qui a une puissance totale de l'ordre de 400 mètres. Sous la plaine, il constitue les terrains qui ont comblé les fosses d'effondrement du Jurassique supérieur. Sous la plaine des formations constituent le mur de l'aquifère des grès et calcaires lacustres du Pliocène et le toit des nappes profondes ([Sourisseau, 1975](#)).
4. **L'Oligocène** est représenté par des couches argilo-marneuses avec des passages de grès et à la base s'intercale un conglomérat. Il affleure dans les monts Beni Chougrane et à l'Est de la plaine ([Sourisseau, 1975](#)).

5. **L'Eocène** affleure dans le Nord-Ouest de la plaine. Il est représenté par une alternance de bancs métriques grésocalcaires et de couches argilo-marneuses de plusieurs mètres d'épaisseur (Sourisseau, 1975).
6. **Le Crétacé inférieur** affleure au Nord-Ouest de la région de Mascara, à l'ouest de Djebel Emfouss et dans le Sud-Ouest de la plaine de Guerdjoum aux environs de la ville de Fekan. Il est représenté par des calcaires gréseux, devenant argileux en profondeur. La puissance de ces formations atteint une centaine de mètres (Sourisseau, 1975).
7. **Le Jurassique (Kimméridgien et Purbeckien)** affleure largement, tout au long de la bordure méridionale de la plaine. Il constitue également le substratum résistant effondré. Au sommet on trouve des calcaires gris à pâte fine et zoogènes, qui passent progressivement à des calcaires dolomitiques et à des dolomies. On observe des petits niveaux de marnes noires qui ralentissent l'infiltration des eaux et peuvent donner naissance à des résurgences perchées. La puissance totale de cette formation dépasse 400 mètres (Sourisseau, 1975).
8. **Le Lusitanien** affleure dans la partie Sud des monts de Sidi Kada. Il est composé en alternance de bancs gréseux et dolomitiques. La puissance totale de cette formation est de l'ordre de 150 mètres (Sourisseau, 1975).
9. **Le Callovo-oxfordien** correspond à des séries d'argiles et de marnes grises, jaunes et vertes, avec une intercalation de bancs gréseux. La formation n'affleure pas dans le secteur étudié, mais constitue le substratum imperméable de l'aquifère calcaréo-dolomitique. Sa puissance totale est de l'ordre de 250 mètres (Sourisseau, 1975).
10. **Le Trias** est rencontré dans les monts de Beni Chougrane à la base des formations du crétacé. On trouve dans toute la région Nord de l'Algérie deux associations de faciès bien caractéristiques, souvent mal datés mais rattachés au Trias par analogie avec ce que l'on trouve ailleurs. Dans la région ces deux associations correspondent d'une part à une formation détritique grossière, et d'autre part à des dépôts lagunaires, riche en gypse, en halite et en argile versicolore Tableau (IV-1) (Sourisseau, 1975).

Tableau (IV-1) : LOG. Stratigraphique de la plaine de Ghriss (Sourisseau, 1975)

STRATIGRAPHIE			EPAISSEUR (m)	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE
AGE	SYSTEME	SOUS SYSTEME		
QUATERNAIRE	-	-	-	Argiles rouges silteuses, sable argileux, conglomérats, calcaire dolomitique, calcaire.
PLIO QUATERNAIRE	-	-	-	Argiles rouges détritiques, graviers, terrasses alluviales de sable.
TERTIAIRE	MIOCENE	Pliocène	40 - 270	Grès marins, sables, argiles sableuses, calcaire lacustres.
		Miocène	≈ 100	Sables fins argileux à concrétions calcaires, sables, calcaires récifaux massifs.
				Marnes vertes, conglomérats.
	PALEOGENE	Oligocène	-	Couches argilo marneuses avec des bancs de grès, conglomérats.
		Eocène	-	Alternance métrique de bancs gréséo calcaires, couches argilo marneuse.
SECONDAIRE	CRETACE INF	Hautérvien	-	Calcaires gréseux devenant argileux en profondeur, grès fins argileux.
	JURASSIQUE	Supérieur	300 - 400	Calcaires gris, calcaires dolomitiques, dolomies, marnes noires.
		Lusitanien	≈ 150	Alternances de bancs gréseux dolomitiques, série marneuse à intercalations de calcaire dolomitique, marnes grises à modules ferrugineux.
		Callovo-Oxfordien	≈ 250	Bancs gréseux, argiles, marnes grises, jaunes et vertes.
	TRIAS	Sup	-	Marnes bariolées, dolomies, congueules, brèches fétides, gypses.
		Moy Inf		

IV-2-2-2- Plaine de Saida :

Entre les Hauts Plateaux oranais au sud d'âge tertiaire et l'Atlas Tellien au nord, d'âge également tertiaire, apparaît une unité géologique d'âge secondaire constituée par les Monts de Saida et qui s'étend jusqu'à la région des Hassasna au sud. Cette région est caractérisée par les roches paléozoïques constituant le socle de la plate- forme épi hercynienne et par des formations méso-cénozoïques constituant la couverture (ABHOCC, 2007).

C'est à la faveur d'un bombement à très grand rayon de courbure que le substratum secondaire enfoui sous les terrains secondaires des hauts plateaux se relève pour constituer cette région et disparaît au nord sous l'Atlas Tellien.

Ce vaste anticlinal d'âge secondaire est essentiellement constitué de terrains du Jurassique inférieur et moyen dolomitiques reposant en biseau sur le Trias au niveau du mole primaire de Tiffrit – Ain Soltane. La tectonique cassante, qui a affecté ces terrains carbonatés, est à l'origine de caractéristiques très particulières des régions karstiques (ABHOCC, 2007).

Ces terrains dolomitiques sont partiellement recouverts de terrains plus récents, d'origine détritique du Jurassique supérieur et du Tertiaire. Des lambeaux de terrains quaternaires apparaissent dans le fond des vallées.

L'impluvium des bassins versants est donc partagé entre des terrains dolomitiques plus ou moins karstifiés et des terrains plus récents appartenant au Jurassique supérieur, au Tertiaire et au Quaternaire. Ces différents terrains sont encaissés par les vallées de Tiffrit, Guernida et Hassasna faisant apparaître des formations triasiques et paléozoïques altérées et très argileuses, respectivement volcano-détritiques et cristallines. Ces différents ensembles constituent plusieurs aquifères dont le plus important est de nature karstique correspondant aux roches carbonatées, plus ou moins dolomitiques ou calcaires du Jurassique inférieur et moyen (ABHOCC, 2007).

IV-2-2-2-1- Litho-stratigraphie (Pitaud, 1973):

1. **LE PALEOZOIQUE** : On y distingue les dépôts du Silurien, du Dévonien et du Carbonifère, présents sur une Vaste région qui affleurent sur le Horst de Tiffrit (Oued Rigou, Oued Babkha et au Djebel Modzbab) et qui ont pu être datées grâce à leur lithologie, à leur position stratigraphique, à la faune et à la flore qu'ils contiennent.
2. **LE MESOZOIQUE** : Les dépôts du Mésozoïques se rencontrent sur tout le territoire et recouvrent les roches du Paléozoïque. Leur coupe synthétique épaisse de 200 à 700 m est représentée de bas en haut par des roches terrigènes effusives du Trias, des roches carbonatées du Jurassique inférieur et moyen et des roches terrigènes carbonatées du Jurassique supérieur. La diversité des faciès et la variation des épaisseurs dans des coupes peu distantes, caractérisent les dépôts du Mésozoïque transgressifs sur les formations du primaire. Les formations du secondaire sont représentées par un complexe de roches volcaniques et sédimentaires (Pitaud, 1973).
3. **LE CENOZOIQUE** : Les dépôts du Néogène et du Quaternaire sont représentés par des tufs calcaires, des conglomérats, des gravèlites, des limons et limons sableux remplissant les vallées des oueds de la région. Ces dépôts se caractérisent par des épaisseurs peu importantes et sont représentés par des formations continentales d'âge Plio-Quaternaire et Quaternaire (Pitaud, 1973).

IV-2-2-2-2- Le cadre structural :

La région considérée est localisée dans la zone des hauts plateaux (Meseta Oranaise) de l'Algérie occidentale. La structure la plus importante de la région est représentée par le Horst anticlinal de Saida qui est orienté du S-W au N-E et garde la même direction en allant de la ville de Saida vers Frenda. L'analyse des documents géologiques et géophysiques disponibles permet de définir trois étages structuraux dans la zone étudiée (Pitaud, 1973).

1. **étage structural Calédonien** : Composé de roches sédimentaires plissées et fortement métamorphisées du Silurien et de roches plus anciennes représentées par des granitoïdes, des roches effusives basiques, neutres et acides (Pitaud, 1973).
2. **étage structural Hercynien** : Représenté par des dépôts sédimentaires et volcaniques plissés et faiblement métamorphisés du Dévonien et du Carbonifère et par des intrusions de granitoïdes (Pitaud, 1973).
3. **étage structural Alpin** : Constitué de roches volcano-sédimentaires non métamorphisées à disposition horizontale formant la couverture de la plate-forme. Aucune intrusion n'a été décelée. Les rejets sont plus ou moins importants pour atteindre parfois 150 m. Certaines zones tectoniques plus riches en failles peuvent être dégagées. Elles ont une forme générale allongée Nord-Sud dans la vallée de Saida et Sud-Ouest - Nord-Est sur le reste de la région. Ces alignements sont reliées entre eux par des zones tectoniques secondaires orientées perpendiculairement avec notamment un plexus important au niveau de la région d'Oum – Djerane (Pitaud, 1973).

Certains ensembles de blocs dolomitiques sont effondrés. Il est possible de distinguer principalement par ordre d'importance :

Le fossé d'effondrement de la vallée de Saida et le relatif affaissement de la région située entre la ligne tectonique Saida – Oum- Djerane et Tiffrit et l'axe du djebel Sidi Youssef. Tableau (IV-2).

Tableau (IV-2) : LOG. Stratigraphique du plateau de Saida (Pitaud, 1973)

STRATIGRAPHIE			EPAISSEUR (m)	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE
AGE	SYSTEME	SOUS SYSTEME		
PLIO QUATERNAIRE	-	-	-	Argiles rouges, limons, croûtes de calcaires conglomérats, calcaire dolomitique.
TERTIAIRE	MIOCENE	Pliocène continental	-	Grès marins, sables, argiles sableuses rouges détritiques, calcaire lacustres.
		Miocène	-	Marnes argileuses de couleur rouge brique claire, conglomérats.
SECONDAIRE	CRETACE	Inférieur marin	-	Calcaires gréseux devenant argileux en profondeur, grès fins argileux.
	JURASSIQUE	Lusitanien	≈ 350	Formation gréseuse de couleur jaunâtre.
		Callovo-Oxfordien	≈ 250	Formation argilo gréseuse, argiles, bancs gréseux.
	TRIAS	Moyen	≈ 400	Dolomies cristallines, calcaires, argiles, formation marno calcaire, formation argilo gréseuse.
		Inf	≈ 100	Diorites, gabbros, dolorites.
		Permo-trias		Ryolites, dellinites, dacites et tufs associés.
PRIMAIRE	CARBONIFERE	Dinantien	-	Granites.
	DEVONNIEN	Sup, Inf, Moy		Schistes, quartzites.
	SILURIEN	Gothlandien		Basaltes et tufs associées.

IV-2-2-3- Plaine de Sidi Bel Abbès :

La position géographique donne à la plaine l'aspect d'une dépression remblayée par des formations quaternaires et Plio-Quaternaires et est limitée au Nord et à l'Est par des terrains post crétacé, au Sud par des terrains jurassique et crétacé. (ANAT 1989).

- **Bordure Nord** : les monts de Tessala constituent la bordure septentrionale de la plaine. C'est une chaîne de reliefs allongés en direction SW-NE, très plissés à ossature crétacée et à recouvrement tertiaire très épais (Sourisseau, 1975).
- **Bordure Sud** : elle est constituée par les monts de Tlemcen-Saida, formés en totalité par les terrains secondaires du Jurassique moyen et supérieur, et du Crétacé inférieur. Ces reliefs sont affectés par une tectonique cassante selon deux directions principales (WSW – ENE, ESE – WNW) (Sourisseau, 1975).
- **Bordure Ouest** : cette bordure constitue la limite topographique entre les deux bassins, de l'Isser à l'Ouest et de la Mekerra à l'Est. Elle a l'aspect d'une colline encroûtée formée de matériaux Plio-Quaternaires subhorizontaux.
- **Bordure Est** : la bordure Est, correspond à la topographie élevée des terrains plio-quaternaire et pliocènes. La bordure Sud-Est de la plaine est caractérisée par une puissante formation continentale du Pliocène où apparaît vers le Sud, le Miocène. Au

Sud du village Caïd Belarbi, le Crétacé inférieur (calcaire de l'Aptien) affleure à la faveur d'un horst ([Sourisseau, 1975](#)).

- **Centre de la plaine** : il présente une vaste cuvette à substratum argilo-marneux imperméable du Miocène ou du Pliocène inférieur, et comblée de sédiments détritiques provenant de la désagrégation des reliefs environnants.

IV-2-2-3-1- Litho-stratigraphie ([Sourisseau, 1975](#)) :

La succession stratigraphique de la plaine de Sidi Bel Abbès s'établit de bas en haut comme suit :

1. **Le Trias** : composé d'argiles et de marnes bariolées multicolores associées à du gypse, des dolomies bréchiques, des cargneules, des ophites et des gabbros, forment principalement l'accident diapirique près d'Ain Tellout.
2. **Le Jurassique** :
 - **L'Oxfordien** : il en affleure au Sud-Ouest de la plaine sous forme de grès à passées argileuses alternant avec quelques niveaux dolomitiques ou calcaires.
 - **Le Kimméridgien inférieur et moyen** : cette formation appelée dolomies de Tlemcen est constituée par un ensemble de dolomies cristallines bien karstifiées et fissurées à intercalations calcaires et marneuses affleurant au Sud-Ouest de la plaine sur une épaisseur d'environ 500 m. Elle forme le massif de Sidi Ali Ben youb ([Sourisseau, 1975](#)).
 - **Le Portlandien** : membre marno-calcaires de la formation calcaire de Remailia d'une épaisseur de 200 m. il est constitué de bas en haut par des grès blancs, des marnes verdâtres, des calcaires argileux et graveleux. Il affleure largement entre Sidi Ali ben youb et Ain Tellout ([Sourisseau, 1975](#)).
 - **Le Kimméridgien supérieur** : c'est le membre calcaréo-dolomitique de la formation des calcaires de Remailia. Ce membre est constitué dans son ensemble par une alternance de marnes gris verts et calcaires variés, souvent gréseux, en bancs massifs près de la base ([Sourisseau, 1975](#)).

3. Le Crétacé :

- **Le Valanginien-Berriasien** : cet ensemble monotone de 120 m de marnes Vertes et jaunes et de calcaires graveleux affleure également au Sud. Il appartient à la formation calcaire de Remailia. On le trouve également au Sud-Est et Sud-Ouest de la plaine, épais de 110 m à 140 m ([Sourisseau, 1975](#)).
- **L'Hautérvien** : membre des calcaires de Remailia, l'Hautérvien affleure au Sud-Est du bassin Versant sous forme d'une épaisse formation de 150 m de calcaire graveleux et gréseux, de grès avec à la base un ensemble marneux à bancs calcaires ([Sourisseau, 1975](#)).
- **Le Barrémien** : cette formation de grès roux, d'argiles gréseuses et de calcaires graveleux affleure légèrement au Sud de la forêt de Belarbi ([Sourisseau, 1975](#)).
- **L'Aptien** : au Sud de Belarbi, il apparaît à la faveur d'un horst. Il est constitué de calcaire microcristallins ou à rognons gris-bleus appelés calcaires de Zygone. Cette formation a une épaisseur d'environ 150 m ([Sourisseau, 1975](#)).
- **Le Crétacé moyen supérieur** : cette formation allochtone affleure au Nord-Ouest du bassin Versant sous forme de marnes salifères comprenant quelques bancs de calcaires ([Sourisseau, 1975](#)).

4. Le Tertiaire :

- **L'Eocène** : il appartient aux nappes de charriage, il affleure essentiellement à l'ouest de Sidi Ali Boussidi et dans le Djebel de Tignemar. Il est constitué par un calcaire gris-bleu ([Sourisseau, 1975](#)).
- **L'Oligo-Miocène** : il constitue l'essentiel des nappes du Tessala, formant les reliefs Nord du bassin Versant. Il est composé de marnes grises avec quelques bancs de conglomérats à la base, et de minces plaquettes de grès dans la partie supérieure ([Sourisseau, 1975](#)).
- **Le Miocène moyen marin** : il forme le substratum de la plaine alluviale, affleurant principalement le long de l'Oued Isser : argiles et marnes grises ou bleuâtres très fines comprenant des bancs de grès intercalés. Leur épaisseur peut dépasser les 500 m. cette formation apparaît entre 25 et 50 m de profondeur sous la plaine ([Sourisseau, 1975](#)).

➤ **Le Miocène supérieur :**

- Marin : le Miocène supérieur marin affleure au Nord Est de la plaine, dans la forêt de Louza. Il est constitué de grès, de marnes à quelques gypses.
- Continental : le Miocène supérieur continental forme le Djebel Tenira et les Djebel au Sud de Caïd Belarbi. Ce sont des dépôts d'environ 300 m de marnes grises à bancs de grès et à lentilles de galets plus au moins cimentés ([Sourisseau, 1975](#)).

➤ **Le Pliocène** : il est constitué de grès et sables fins alternant avec des limons rouges ; l'ensemble repose sur des conglomérats à la base. On note également la présence de petits bancs de calcaires lacustres ([Sourisseau, 1975](#)).

5. **Le Plio-Quaternaire** : c'est un remplissage très hétérogène de graviers et galets, formant des lentilles plus ou moins cimentées (conglomérats), et inégalement réparties sous la couverture de marnes rouges. Trois formations peuvent être attribuées au Plio-Quaternaire :

- Les conglomérats des Hauts Plateaux ferrugineux à ciment dolomitique ou calcaire, et à éléments hétérométriques contenant quelques lentilles gréseuses, localisées au Sud de la plaine et dans la vallée alluviale de Sidi Ali Ben youb ;
- Les conglomérats des chenaux aquifères formés de galets hétérométriques, le plus souvent relié par un ciment argilo-carbonaté. Ils occupent les anciennes Vallées des Oueds Mekerra et Lamtar. Le complexe argilo-gréseux, déposé principalement au Sud et à l'Est de la plaine, est constitué d'argiles sableuses ;
- Les dépôts alluvionnaires des plateaux, affleurent principalement dans la partie Sud-Ouest de la plaine ; dépôts caillouteux et limoneux, parfois grésosableux avec intercalations de lentilles et même de bancs de poudingues à gros éléments ([Sourisseau, 1975](#)).

6. **Le Quaternaire** : il est représenté par les terrains suivants :

- Limons, argiles sableuses (argiles en faille d'une épaisseur allant jusqu'à 10m) dans le centre et la partie Nord de la plaine ([Sourisseau, 1975](#)) ;
- Alluvions et conglomérats des terrasses en bordures des Oueds ;
- Croûtes calcaires principalement en bordures des massifs calcaires ;
- Travertins près d'Ouled Mimoun ;

- Alluvions plus ou moins cimentées et conglomérats des « Chenaux aquifères » principalement déposés près de Sidi Bel Abbès. Tableau (IV-3).

Tableau (IV-3) : LOG. Stratigraphique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau, 1975)

STRATIGRAPHIE			EPAISSEUR (m)	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	
AGE	SYSTEME	SOUS SYSTEME			
QUATERNAIRE	-	-	-	Limons, argiles sableuses, alluvions, conglomérats, croûtes calcaires, travertins.	
PLIO QUATERNAIRE	-	-	≈ 50	Dépôts caillouteux à intercalations de conglomérats.	
TERTIAIRE	MIOCENE	Pliocène		≈ 25	Conglomérats, grès sableux à teneurs en argiles variables alternant avec des limons rouges et des conglomérats.
		Miocène	Terminal	≈ 500	Couches à tripoli, marnes à gypse.
			Sup		Formation marneuse à intercalation en argile marneuse.
		PALEOGENE	Oligocène		-
	Eocène		Moy	-	Calcaires durs massifs bien lités, percés de lapiez de couleur gris-bleu parfois jaunâtres, pétris de fossiles.
			Inf		Calcaires durs massifs.
	SECONDAIRE	CRETACE	Crétacé Sup et Moy		-
Aptien			≈ 160	Calcaires microcristallins.	
Barémien			≈ 700	Calcaires gréseux.	
Hautérivien			≈ 170	Ensemble marneux calcaires gréseux.	
Valenginien-Bériasien			≈ 140	Alternances de marnes gris vert et calcaires variées, souvent gréseux en bancs massifs.	
JURASSIQUE		Portlandien		≈ 250	Dolomies cristallines karstifiées et fissurées à intercalations calcaires et marnes, calcaires argileux et graveleux.
		Kimméridgien		-	Alternances de marnes gris vert et calcaires variées souvent gréseux.
TRIAS		Sup		-	Marnes bigarrées gypseuses, argiles, dolomies bréchiques, des cargneules des ophites et des gabbros.
		Moy			
		Inf			

IV-2-3- La Végétation :

La couverture végétale constitue le facteur écologique le plus important du milieu, son rôle majeur dans l'équilibre écologique est bien connu, elle est d'une considération vitale dans la protection des eaux et des sols.

La présentation des espèces végétales se limitera aux principales espèces vivaces présentes sur la zone. Elle sera effectuée en suivant la répartition de la végétation de la mer vers l'intérieur de la plaine (Benabdeli et al, 2004).

IV-2-3-1- La Végétation côtière :

Cette formation dunaire est constituée essentiellement par une strate arborescente composée par deux espèces dominantes : *Juniperus phoenicea* et *tetralinis articulata*. Elle présente un cortège floristique constitué par : *Diotis candidissima*, *Polygonum maritimum*, *Euphorbia paralias*, *Cakile maritima*, *Salsola kali*, *Eryngium maritimum*, *Pancratium maritimum* (Benabdeli et al, 2004).

D'autres espèces importantes dans la fixation et la préservation des dunes telles que *Ammophila arenaria*, *Plantago coronopus*, *Centaurea Sphaerocephala*, *Ononis Variegata* et *Silene ramosissima* (Benabdeli et al, 2004).

IV-2-3-2- La Végétation halophile ou halipèdes :

La plaine de la Macta présente une vaste étendue couverte par des aires de végétations halophiles et aquatiques (steppes salée ou halipèdes). Cette formation occupe les argileuses riches en sels. On distingue les formations suivantes :

Le groupement halophile à *Salicorne* : cette formation constitue une steppe halophile composée essentiellement par un groupement à *Salicornia fruticosa*, avec un cortège floristique constitué par *Suaeda fruticosa*, *Salicornia macrostachya*, *Salsola kali*, *Juncus acutus*. Il occupe la partie Nord de plaine sur des terrains inondés à drainage naturel très faible (Benabdeli et al, 2004).

Sur la colline du Sbara où le terrain est plus salé et humide, on rencontre une formation herbacée constituée par le groupement à *Arthrocnemum macrostachyum*, il s'adapte aux milieux les plus instables. Pendant la saison estivale, le sol se couvre d'efflorescences salines (Benabdeli et al, 2004).

Dans la partie Sud de la plaine, le groupement à *Suaeda fruticosa* occupe les terrains rarement submergés ; il se présente sous plusieurs faciès, dominés par les thérophytes, on distingue le faciès à *Calendula algeriensis*, *Senecio gallicus* et *ormenis praecox* (Tafer, 1996).

Dans les parties situées plus au Sud, le groupement à *Atriplex halimus* se localise sur des terrains qui sont moins soumises à l'effet de salinité, et qui ne sont jamais inondés. Il se localise à la limite Sud du groupement à *Suaeda* et en bordure Nord-Ouest et Nord-Est de la plaine. A l'intérieur de la plaine, on le trouve en mélange avec *Suaeda fruticosa* et *Salicornia*

fruticosa. Le cortège floristique est constitué généralement par des espèces annuelles (Tafer, 1996).

IV-2-3-3- La Végétation aquatique :

Elle occupe les terrains les plus humides : les marais et les lits d'oueds. On distingue les groupements suivants (Tafer, 1996) :

- Le groupement à *phragmites communis* : situé dans les lits d'oueds à l'aval et aux bordures des lagunes dans la partie Nord de la plaine. Ce groupement est présenté en mélange avec le *Tamarix africana* et *Salsola oppositifolia*, il occupe la canalisation de l'oued Sig, oued Habra et oued Tinn jusqu'à l'embouchure de la Macta (Tafer, 1996).
- Le groupement à *Juncus maritimus* occupe des surfaces réduites situé dans les zones d'épandages des oueds Habra et Tinn. Ce groupement est fortement concurrencé par le groupement à *Scirpus maritimus* (Tafer, 1996).
- Le groupement à *Scirpus maritimus* : localisé dans les dépressions à hydromorphie temporaire, il se présente en mélange avec le groupement *Salicornia fruticosa*, *Juncus maritimus* et *Juncus subulatus* (Tafer, 1996).
- Le groupement à *Typha angustifolia* : il est localisé dans le lit de l'oued Tinn associé par le groupement à *Phragmite communis* (Tafer. B., 1996) .

IV-2-4- Zones Forestières :

La végétation naturelle ne subsiste plus guère que dans les secteurs montagneux. Elle est constituée en grande partie par les pins d'Alep (forêts de Louza, de Belarbi et de Tenira). Au sud (forêts de Kounteidat et de Tassa) les thuyas se mêlent en minorité aux pins d'Alep. Dans la région du Djebel Kerroucha, seul le chêne vert a subsisté. Les cultures annuelles (production céréalière fourrage) et les jachères couvrent les deux tiers de la surface. La grande partie sol est occupée par la vigne, principalement à raisin de cuve. De petites surfaces de plantation d'oliviers et d'arbres fruitiers sont distribuées dans toute la plaine. Des cultures irriguées, principalement le maraîchage sont pratiquées par dérivation de l'Oued Mekerra et par pompage dans les régions riches en eau (surtout au nord de la plaine) (ABHOCC, 2003).

La forêt domaniale « Moulay Smail » comporte des formations variées telles les forêts et le matorral. C'est une forêt semi-aride de plaine qui constitue un ensemble écologique de très grande valeur environnementale, et est répartie en trois cantons (Bencherif, 2011) :

- a- Canton la mare d'eau : est occupé essentiellement par deux formations végétales : peuplement artificiel de pin d'Alep (*Pinus Halepensis*) et un groupement végétal à base d'olivier sauvage (*Oléa européa sp sylvestris*) et de lentisque (*Pistacia lentiscum*).
- b- Canton Djira : renferme principalement trois formations végétales : peuplement d'Eucalyptus très dégradé, en état de fragmentation en bosquets, matorral à base de lentisque et matorral à base d'armoïse (Bencherif, 2011).
- c- Canton Ras Karoun : est constitué de quatre type de peuplements : peuplement naturel de Thuya (*Tetraclinis articulata*), peuplement artificiel de pin d'Alep, peuplement artificiel d'eucalyptus, Matorral dégradé à base de lentisque et d'armoïse (*Artemisia berba alba*) (Bencherif, 2011).

IV-2-5- Hydrogéologie du bassin Versant :

Les différentes nappes du bassin versant de la Macta ont fait l'objet d'un bilan global. Ce dernier concerne la totalité du bassin hydrogéologique (Figure IV-3), correspondant approximativement au bassin hydrologique, considéré comme un réservoir unique à caractéristiques hydrauliques différentes (ABHOCC, 2007) (Tableau IV-4) :

Tableau (IV-4) : Identification des Unités Hydrogéologiques (ABHOCC, 2007)

Wilaya	Nappes Aquifères	Potentialités (Hm ³)	Observation	Qualité de l'eau
Sidi Bel Abbés	Plaine de Sidi Bel Abbes	44	Surexploitée	Médiocre (Eau saumâtre)
	Djebel Marhoum	4		Moyenne
	Plaine Telagh	2		Bonne
	Djebel Ramailia	9		Moyenne
	Melrir	6		Moyenne
	Mekerra	3		Moyenne
Mascara	Plaine de Ghriss	70	Surexploitée	Bonne
	Plaine de Habra	15		Mauvaise qualité-irrigation seulement
	Boumier	3		Moyenne
	Djebel Soukeif	2		Moyenne
	Guetarnia	2		Moyenne
	Monts de Beni Chougrane	5		Moyenne
	Vallée Oued EL Hammam	2		Moyenne
Saïda	Monts de Saïda	50		Bonne
	Vallée Oued Saïda	36,4	Tarissement des sources	Moyenne
TOTAL		217	-	-

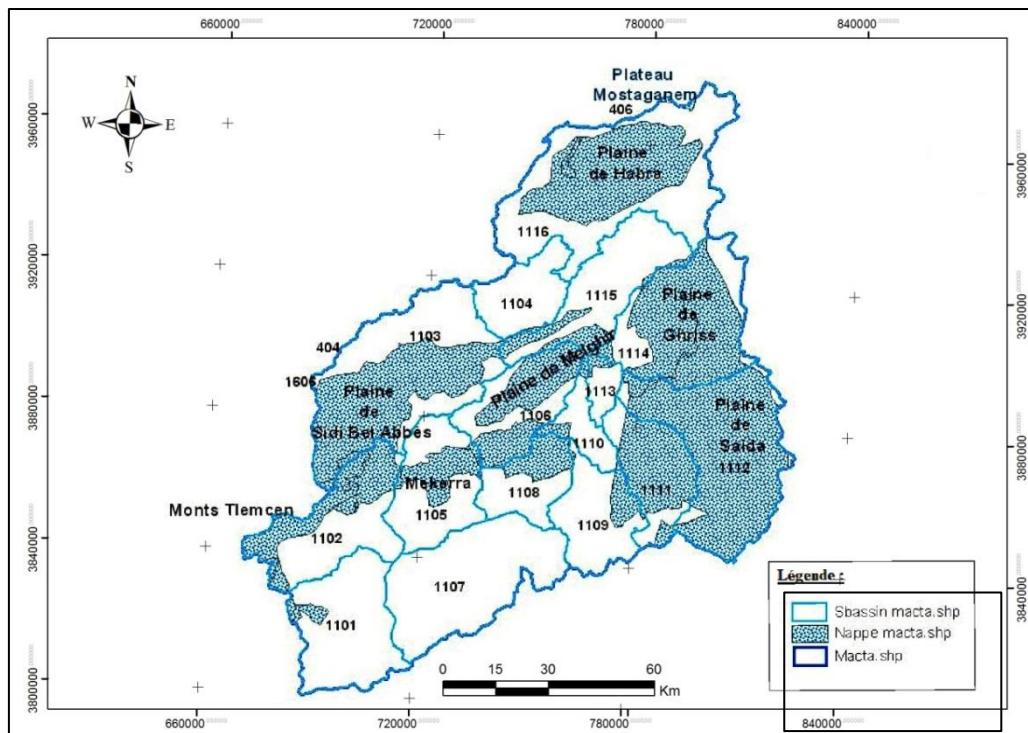


Figure (IV-3) : Les unités hydrogéologiques du bassin versant de la Macta (Etablie par Madani Cherif. H, 2025).

Les points d'eau intégrés dans le bassin sont répartis en : 173 forages, 18 puits et 28 sources avec un débit total de $2,43 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figure. IV-4).

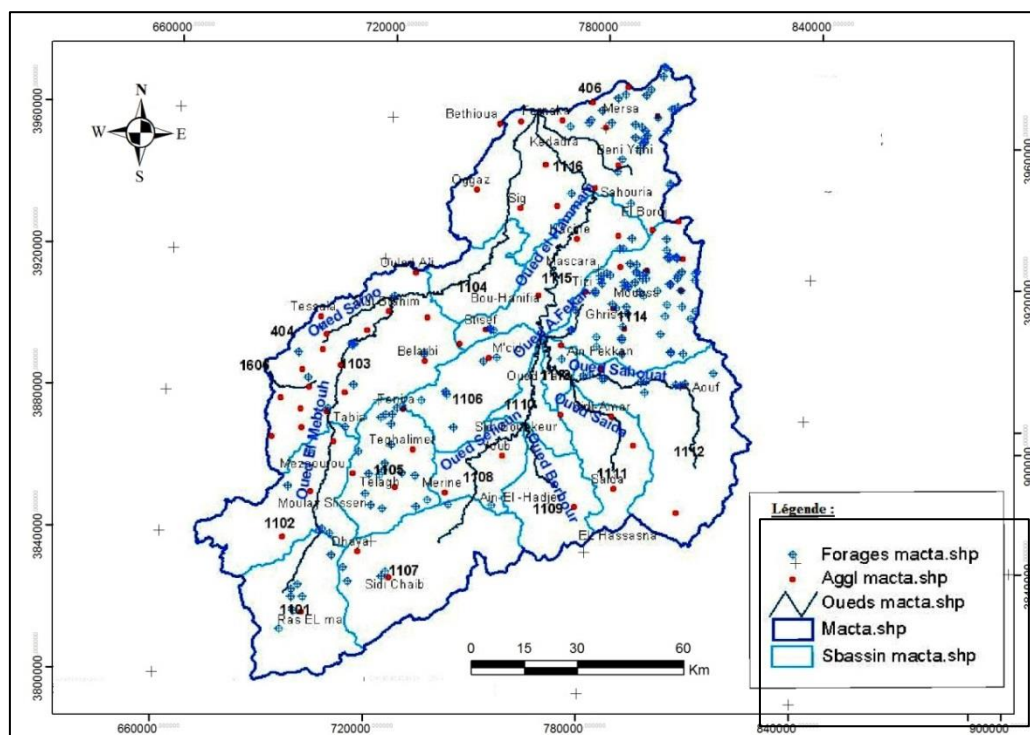


Figure (IV-4) : Les ressources souterraines dans le bassin versant de la Macta (Etablie par Madani Cherif. H, 2025).

Les eaux souterraines du bassin de la Macta sont souvent chargées en minéraux. En effet les terrains constituant les couches géologiques tel que le Miocène Supérieur et le Pliocène présentent des traces et même parfois des couches d'évaporites comme le gypse par exemple; La dissolution de cet élément par l'eau provoque l'enrichissement des eaux par les sulfates, le sodium et d'autres éléments (ABHOCC, 2007).

La qualité des eaux du bassin de la Macta varie d'une zone à l'autre. En effet il existe des eaux minérales au niveau de la plaine de Saida, des eaux thermales au Nord de Saida et à Bouhnifia ainsi qu'entre les villes de Sig et Mohammedia.

Les nappes superficielles contenues dans les karts sont très exposées à la pollution par infiltration et contamination rapide comme c'est le cas de la nappe de Saida (ABHOCC, 2007).

IV-2-6- Le sol :

Les diverses prospections agro-pédologiques ont permis de distinguer huit classes de sols (Figure V-5) (ANRH, 1996). A savoir :

1. Sols minéraux bruts ;
2. Sols peu évolués ;
3. Vertisols ;
4. Sols Calcimagnésiques ;
5. Sols Isohumiques ;
6. Sols à Sesquioxydes de fer ;
7. Sols Hydromorphes ;
8. Sols Halomorphes.

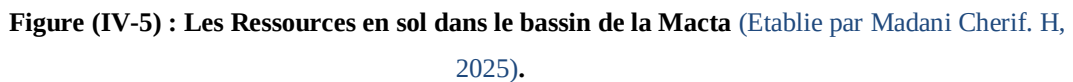
Les sols peu évolués, Calcimagnésiques et Halomorphes sont les plus représentatifs et occupent d'importantes superficies.

En plus de la classification usuelle, on peut également classer les sols d'après :

- **les facteurs topographiques :** sols de la bordure de la plaine, sols de la plaine. Ils se situent lorsque la configuration du terrain est accentuée et dans les différences d'altitudes varient de 30 à 70 m. ils se trouvent pratiquement en dehors de l'influence de la nappe phréatique et ne sont pas salins. A ce groupe peuvent se rapporter les sols minéraux bruts, peu évolués et calcimagnésiques ne présentant pas de caractères salins.

Au contraire les sols de la plaine subissent une influence de la nappe phréatique plus ou moins forte. Ces sols sont formés dans les dépressions et les bas-fonds (ANRH, 1996).

- **Leurs constitutions physiques :** on distingue divers types de sols et qui vont depuis les sables presque purs (berges de l'oued Habra et oued Sig) jusqu'aux argiles les plus compactes (cuvette de Bou henni). On cite les types les plus fréquents et qui sont :
- *Les sols sablonneux :* se trouvent dans les cônes de déjection des divers oueds. Ce sont des sols légers, faciles à travailler mais généralement moins fertiles. L'infiltration de l'eau est très rapide. Ce sont des sols de couleurs jaune orangé ou gris jaunâtre (ANRH, 1996).
 - *Les sols argileux :* sols bien pourvus en élément de fertilité surtout en potasse. Ils jouissent d'une meilleure capacité de rétention en eau. Ces sols de couleur sombre ou noire grisâtre présentent des propriétés physiques défavorables à savoir une compacité très forte, ils sont difficiles à travailler. Leur structure prismatique favorise les mouvements vertiques. Ils sont en général plus ou moins salés (ANRH, 1996).
 - *Les sols rouges :* parfois légèrement orangés, parfois rouge foncés, à structure grumeleuse perméable. Ces sols semblent convenir aux cultures les plus diverses. (ANRH, 1996)



C'est un facteur très important, il sert à déterminer en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, aux écoulements, l'infiltration et la rétention superficielle. C'est l'un des principaux éléments dans le comportement hydrologique du bassin versant (Figure IV-6). Le bassin versant de la Macta se caractérise par trois entités distinctes (Figure IV-7).

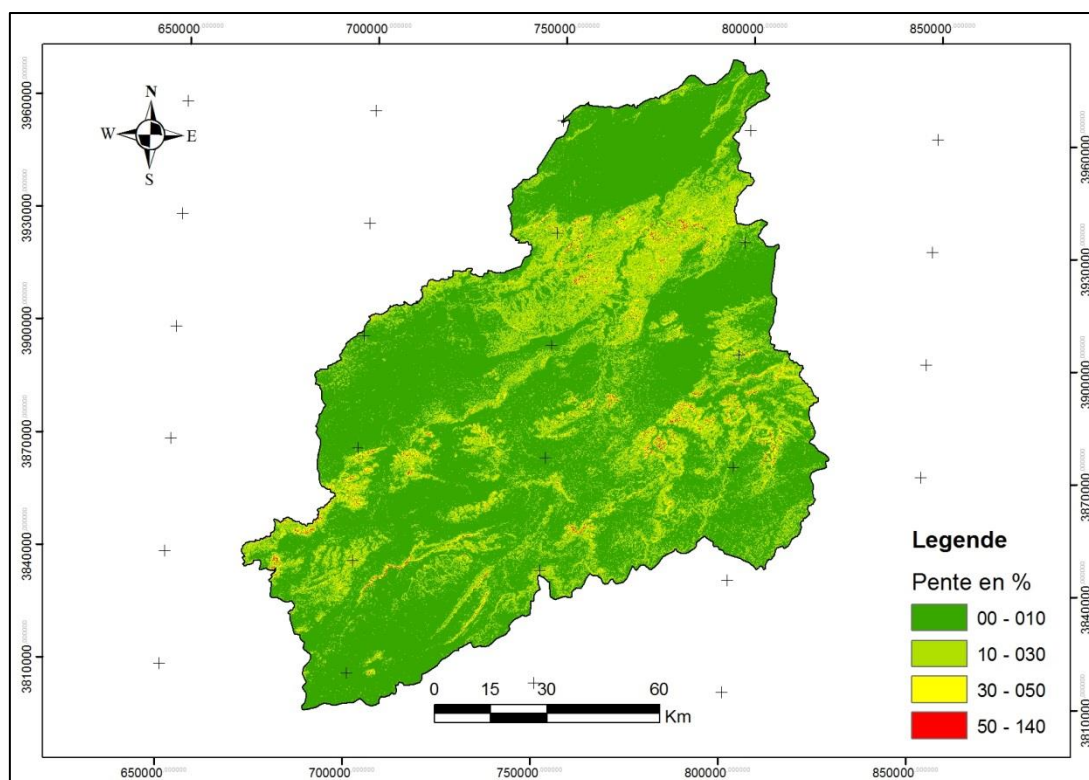


Figure (IV-6) : Carte des pentes du bassin versant de la Macta (Etablie par Madani Cherif. H, 2025).

1. **Zone des plaines** : représentée par : au Nord : les plaines de Sidi Bel Abbès et de Ghriss ;
2. **Zone des reliefs moyens** : caractérisée par les monts de Beni Chougrane orientés SW-NE ; et qui est une zone montagneuse très accidentée, d'altitude moyenne de 700 m, culminant à des altitudes maximales représentées par les Djebels Kalled (910m) et Djebel Mahass (723 m).
3. **Zone des hauts reliefs** : au niveau du Sud du bassin, ces reliefs sont représentés par les monts de Daïa et ceux de Saida axés SW-NE. Le relief est rigoureux, dominé par une série de Djebel élevés, notamment Djebel Beghira (1409 m), Djebel el Marhoum (1404 m), Djebel Tennfeld (1356 m), et Djebel Ouled Aouf (1025 m) (Baghdadi et al, 1996).

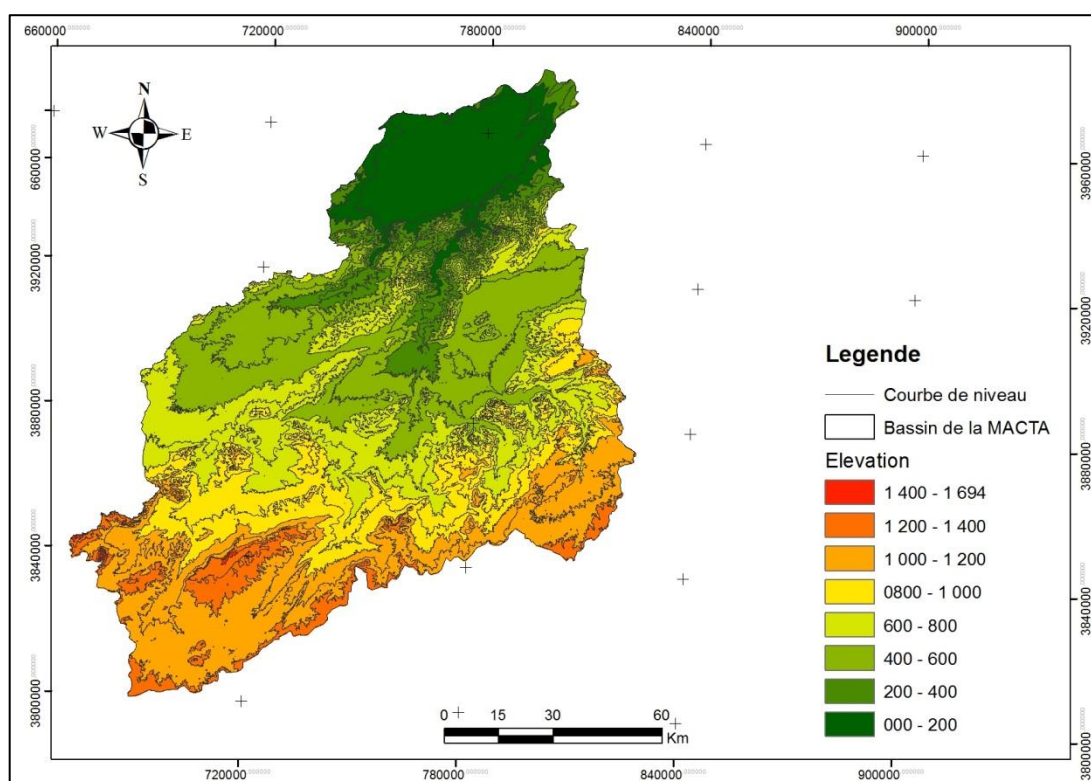


Figure (IV-7) : Carte topographique du bassin versant de la Macta (Etablie par Madani Cherif. H, 2025).

IV-2-8- Mobilisation des ressources superficielles :

Face à la situation de déficit chronique et de non satisfaction des besoins en eau, le bassin versant de la Macta est mobilisé par cinq grands barrages (Figure IV-8), à savoir :



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figure (IV-8) : Les différents Barrages du bassin versant de la Macta :

(a): Fergoug, (b) : Bouhanifia, (c) : Ouizert, (d) : Chorfa II, (e) : Sarno.

IV-2-8-1- Barrage Fergoug :

FERGOUG est situé au Nord-Ouest de l'Algérie, à environ 10 km en amont de la ville de Mohammedia. Fergoug est le barrage le plus aval d'un réseau de trois (03) barrages : Ouizert, Bouhanifia, Fergoug.

La construction du premier barrage a eu lieu de 1865 à 1871. Des ruptures de la digue eurent lieu en 1872, 1881 et 1927. Un nouveau barrage fut construit de 1965 à 1970, qui est le barrage actuel avec une capacité de 18 millions de m³.

Une campagne de mesures topographiques et bathymétriques a eu lieu en 1986.

La côte des plus hautes eaux (PHE) est à 102.25 m NGA. La côte de retenue normale (RN) est à 100.50 m NGA (ANBT, 2004).

IV-2-8-2- Barrage Bouhanifia :

Le réservoir du barrage de BOUHANIFIA est situé dans la Wilaya de Mascara au Nord-Ouest de l'Algérie. Il retient l'oued El HAMMAM qui s'écoule sensiblement du Sud au Nord et prolonge l'oued BRAHIM situé en amont. En aval du barrage, l'oued El HAMMAM est également retenu par le barrage FERGOUG, puis s'écoule jusqu'à proximité de MERS EL HADJADJ où il se jette dans la mer Méditerranée.

En amont du barrage, l'oued Brahim est lui-même retenu par le barrage OUIZERT qui récupère les eaux des bassins versants des Monts de DAIA et de SAIDA.

Le barrage à proprement parler se situe en amont de la ville de BOU-HANIFIA entre les villes de MASCARA et SIDI-BEL-ABBES.

Le barrage a été mis en service en 1948 avec une capacité de stockage de 73 millions de m³. Il est actuellement utilisé pour écrêter le débit annuel de l'oued, irriguer les cultures, alimenter l'industrie et approvisionner en eau potable les populations situées en aval, et notamment les agglomérations de MASCARA, MOHAMMADIA et ORAN.

Il est utilisé en parallèle avec les réservoirs d'OUIZERT et de FERGOUG qui sont également alimentés par le bassin versant de l'oued El HAMMAM.

Deux campagnes de mesures topographiques et bathymétriques ont eu lieu, la première par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG, France) en 1973, la seconde par Geokart (Pologne) en 1985.

La côte de la retenue normale a été fixée à 295.00m dans le système hydrographique du barrage.

La côte des Plus Hautes Eaux Exceptionnelles est de 300.00m – système hydrographique du barrage Tableau (IV-5).

IV-2-8-3- Barrage Ouizert :

Le barrage d'Ouizert est situé à environ 35 Km au Sud-Ouest du chef-lieu de la « Wilaya de Mascara » et à 17 Km au sud de la localité d'Ain Fekan.

Les travaux du barrage d'Ouizert ont commencé en 1974 pour une mise en service qui a eu lieu en 1986. Il est alimenté par les oueds Taria et Saida. Sa digue est longue de 950 m pour 58 m de hauteur.

Le Barrage est implanté à l'aval de la confluence de l'oued Taria et oued Saida qui constitue l'oued de Sahouat, construit en remblai et d'une capacité totale de 100 Millions de m³, et d'une hauteur de 58 m, il est destiné à régulariser avec les barrages de Bouhanifia et Fergoug, les apports de l'Oued El Hammam pour l'alimentation en eau potable et industrielle de la région oranaise et l'irrigation du périmètre El-Habra (Mohammadia) (ANBT, 2004).

IV-2-8-4- Barrage Chorfa II :

Le barrage de Chorfa est situé à une quinzaine de kilomètres au Sud-ouest de Sig dans la wilaya de Mascara. Il est alimenté par L'oued Mebtouh.

Ce barrage a été construit à l'emplacement d'un ancien barrage datant de 1882. Il a été mis en service en 1992 avec une capacité de 82 millions de m³. Il compte 82 m de haut au-dessus de la plus basse fondation. La longueur de crête est de 290 m (ANBT, 2004).

IV-2-8-5- Barrage de Sarno :

Le barrage de Sarno est situé à une quinzaine de kilomètres au Nord-est de Sidi-Bel-Abbès. Il est alimenté par l'oued Sarno.

Ce barrage a été mis en service en 1955 avec une capacité de 22 millions de m³. Il compte 34,4 m de haut au-dessus de la plus basse fondation. La longueur de crête est de 310 m.

La cote de la retenue normale est fixée à 424.50m et celle de la retenue maximale à 427.50 m (niveau des plus hautes eaux exceptionnelles) (ANBT, 2004).

Tableau (IV-5) : Caractéristiques des cinq barrages (ANBT, 2015)

Code du Barrage	BG1101	BG1102	BG1103	BG1104	BG1105
Code de la Commune	2902	2241	2931	2918	2943
Code de Sous Bassin versant	1115	1103	1115	1113	1104
Code de l'OUED	11001	11003	11001	11007	11004
Code de la Wilaya	29	22	29	29	29
Nom du Barrage	Bouhanifia	Sarno	Fergoug	Ouizert	Cheurfa II
Coordonnées géographiques du barrage (Latitude) (°)	-0,06114	-0,5797	6,135192	9,303564	-0,253161
Coordonnées géographiques du barrage (Longitude) (°)	35,28112	35,2811	35,29588	35,11708	35,401755
Altitude du Barrage (m)	295	394	59,5	395	200
Coordonnées Lambert du barrage (X) (km)	247755	201954	260404	262570,3	233517
Coordonnées Lambert du barrage (Y) (km)	225080	227013	250754	205342,6	237448
Superficie du Barrage (km ²)	7850	263	420	2100	4190
Type du Barrage	Enrochement	Terre	Terre	Terre	En béton
Année de la mise en service du Barrage	1948	1954	1987	1985	1992
Capacité initiale du Barrage (10 ⁶ m ³)	73	22	18	100	82
Volume utile initial du Barrage (10 ⁶ m ³)	52,08	21,16	4,5	88	70,9
Volume régularisable initial du Barrage (10 ⁶ m ³)	38	10	15	32	45
Capacité totale du Barrage (10 ⁶ m ³)	73	21,25	0,4	93,91	70,21
Volume utile actuel du Barrage (10 ⁶ m ³)	32,215	6,545	0,358	54,276	45,36
Volume régularisable du Barrage (10 ⁶ m ³)	38	10	15	32	45
Usage du Barrage	AEP/IRR	IRR	AEP/IRR	Transfert	AEP/IRR
Taux d'envasement du barrage (10 ⁶ m ³)	47,22	1	97,65	10	9,64
Etat du barrage	En exploitation	En exploitation	Envasé	En exploitation	En exploitation
Hauteur du barrage (m)	53	27	45	60	82,4
Cote du barrage (m)	295	427,4	100,5	448	225,06
Cote de la hauteur du barrage (m)	300	428	102,5	449,8	228

IV-2-9- L'Hydrologie du bassin versant :

Par sa forme très allongée, le bassin se caractérise par un écoulement violent dans la partie amont où le chevelu hydrographique est dense. Cet écoulement s'affaiblit, en aval par les pertes de charges du ruissellement le long du cours d'eau, dues à la pente faible de la vallée qui s'évase dans les limites de la zone inondable (d'épandage), les marais de la Macta.

Le bassin de la Macta est traversé par deux principaux cours d'eau à l'Ouest, l'Oued Mekkera et à l'Est l'Oued EL Hammam qui se rejoignent non loin de la côte Méditerranéenne pour former la Macta (Dakiche, 1996) (Figure IV-9).

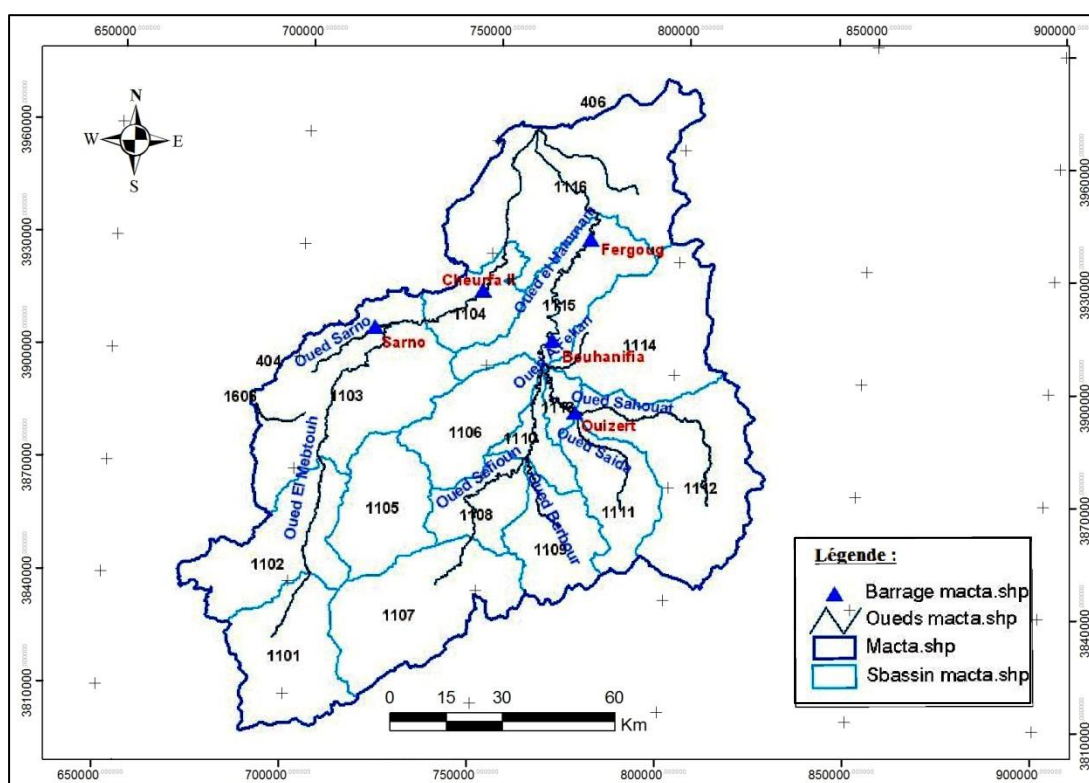


Figure (IV-9) : Réseau hydrographique et barrages du bassin versants de la Macta (Etablie par Madani Cherif. H, 2025).

Le régime hydrologique du bassin versant est marqué par une forte irrégularité d'écoulement, tant saisonnière, qu'annuelle. Les crues sont rapides, souvent violentes mais peu durables (inondations catastrophiques de la région de Sidi Bel Abbés) et elles représentent un apport liquide près de 80% du total annuel. Quant à l'écoulement superficiel, les potentialités en eau sont évaluées à plus de 260 Hm³, répartis entre 70 Hm³ pour le bassin de la Mekerra et 190 Hm³ pour le bassin d'El Hammam qui draine la partie orientale la plus arrosée du bassin (Figure. IV-10) (Dakiche, 1996).

Le bassin de la Macta est contrôlé par :

- ✓ 120 stations Pluviométriques.
- ✓ 05 stations Climatologiques.
- ✓ 24 stations Hydrométriques.

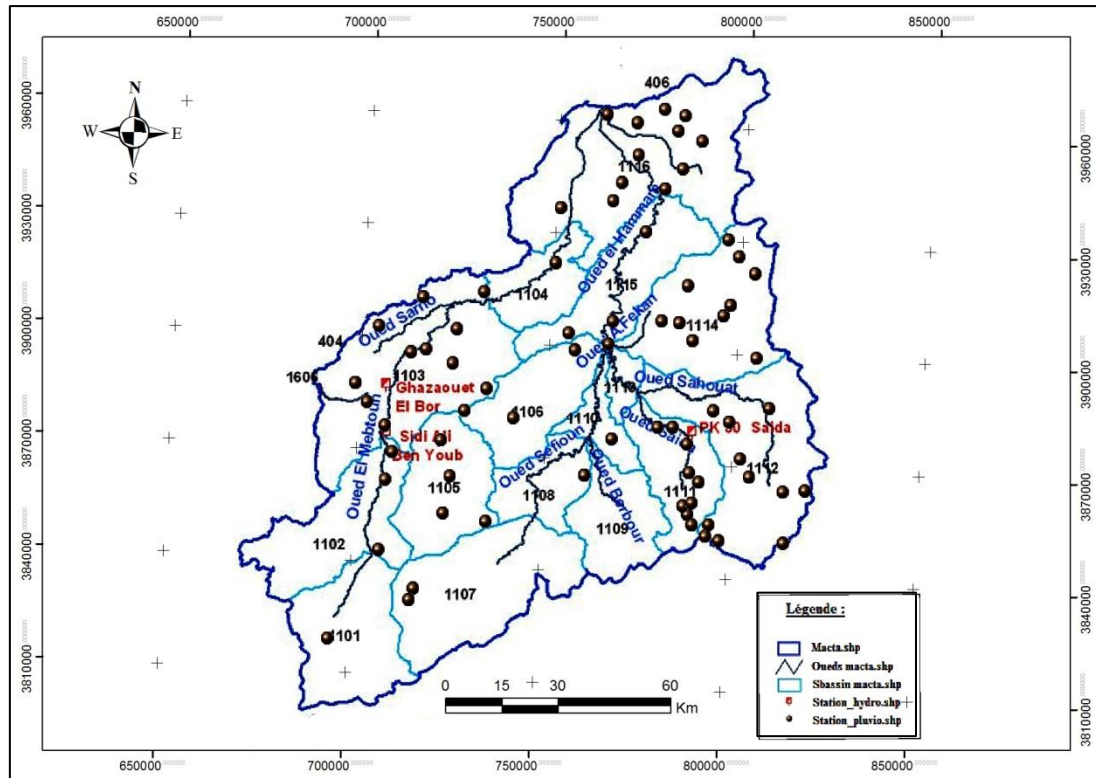


Figure (IV-10) : Répartition spatiale des stations de contrôle du bassin versants de la Macta
(Etablie par Madani Cherif. H, 2025).

IV-2-10- Le climat :

Le Bassin de la Macta est caractérisé par un climat frais dans la partie Sud (ANRH, 2010).

IV-2-10-1- Pluviométrie :

La pluviométrie moyenne inter-annuelle du bassin versant de la Macta varie de **200 à 350 mm/an** (Tableau IV-6).

Tableau (IV-6) : Pluviométries moyennes interannuelles des principaux postes (ANRH, 2010)

Stations Pluviométriques	Code	Coordonnées		Période	Précipitations Moyennes inter- annuelles (mm)
		X (Km)	Y (Km)		
SIDI BEL ABBES	110308	199,10	219,70	1910 - 2004	241,66
CHEURFA Barrage	110504	230,00	238,10	1940 - 1998	341,32
SIDI BOUBEKEUR	111106	259,30	195,70	1966 - 2003	242,14
SAIDA	111113	268,40	173,30	1960 - 2004	313,83
PK50	111106	269,00	191,00	1972 - 1999	288,28
OUED TARIA	111204	262,20	205,10	1905 - 1999	329,79
MASCARA VILLE	111429	268,10	235,70	1976 - 2004	278,48
BOUHANIFIA	111511	247,50	225,00	1940 - 1996	312,61
FERGOUG	111516	259,30	250,30	1977 - 1998	267,07
HACINE	111509	254,60	243,50	1941 - 2002	321,44
MOHAMMADIA	111505	261,80	257,70	1941 - 2003	306,91
TROIS RIVIERES	111506	246,60	217,00	1973 - 2004	188,01

IV-2-10-2- Autres paramètres (ANRH, 2010) :

- **Gelée** : Elle est d'environ 22 jours/an en moyenne.
- **Vents** : d'une Dominance Nord-Ouest.
- **Humidité** : Moyenne Annuelle 65%.
- **Insolation** : - Août : 304 heures / an.
- Février : 100 heures / an.
- **Neige** : Janvier - Février.
- **Etage bioclimatique** : Semi-Aride, Frais.

CHAPITRE V : ASPECTS MORPHOMÉTRIQUES & CLIMATIQUES

V-1- MORPHOMETRIE ET TOPOGRAPHIE :**V-1-1- Introduction :**

L'utilisation des différents types de paramètres morphométriques a pour but, la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique d'un bassin versant (Laborde, J.P, 2009).

V-1-2- Caractéristiques de forme :

Ce sont les caractéristiques géométriques du bassin versant que l'on peut atteindre par un très simple contour de levés topographiques.

a- Coefficient de compacité de Gravélius K_c :

La forme d'un bassin versant peut être traduite par l'indice de compacité de Gravélius K_c qui représente le rapport du périmètre mesuré du bassin, au périmètre d'un cercle occupant une aire équivalente (Laborde, J.P, 2009).

$$K_c = 0.282 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{V-1})$$

S : la surface du bassin versant (Km^2) ;

P : le périmètre du bassin versant (Km).

b-Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est défini comme étant un rectangle de longueur L et de largeur l qui a même surface, même périmètre, même indice de compacité et même hypsométrie que le bassin versant étudié ; c'est une transformation purement géométrique : le bassin devient un rectangle de même périmètre, les courbes de niveaux des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des angles du rectangle.

La notion de rectangle équivalent permet de comparer deux bassins du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur la nature de l'écoulement (Laborde, J.P, 2009).

$$L = \frac{K_c}{1.128} \cdot \sqrt{S} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right] \quad (\text{V-2})$$

$$l = \frac{K_c}{1.128} \cdot \sqrt{S} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right] \quad (\text{V-3})$$

V-1-3- Topographie :

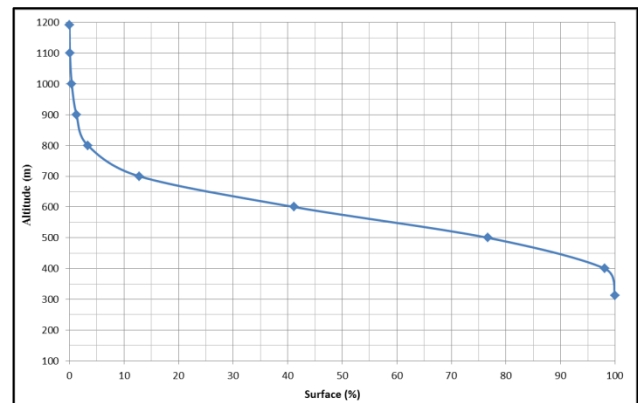
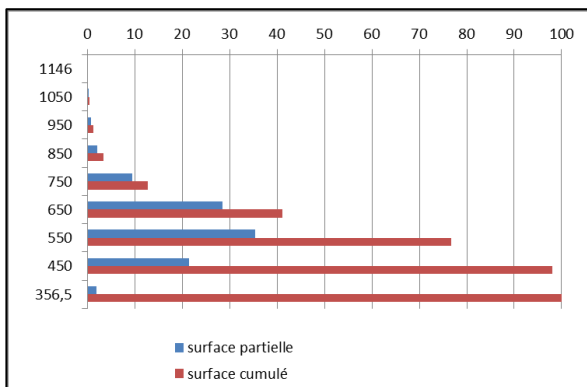
a- Caractéristiques des altitudes (hypsométrie) :

Une courbe hypsométrique pour un bassin versant est un graphique qui représente la relation entre l'altitude et la surface d'un bassin versant. Elle est obtenue en traçant sur un graphique la surface relative du bassin versant située au-dessus ou au-dessous d'une altitude donnée (Laborde, J.P, 2009). Cet outil aide à visualiser et à comparer la morphologie, le relief et l'état d'un bassin versant en montrant comment la surface est répartie selon les altitudes. Les résultats obtenus des cinq sous bassins étudiés sont représentés sur le tableau (V-1), tandis que les courbes hypsométriques sont données dans la figure (V-1).

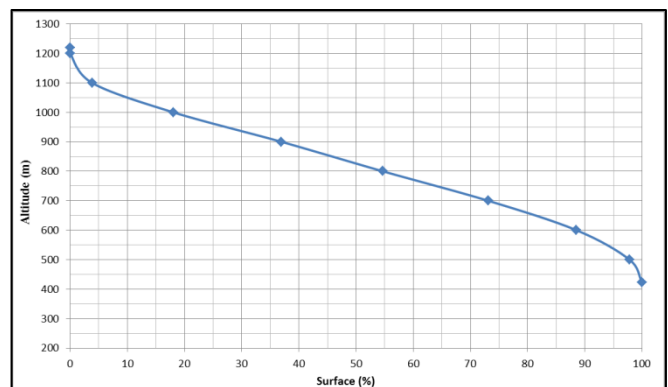
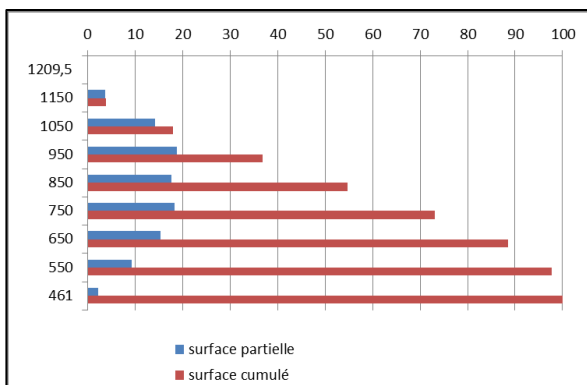
Tableau (V-1) : Caractéristiques des Altitudes (Hypsométrie) des cinq sous bassins versants étudiés.

Code S/Bassin	Altitude (m)	H (i) moy (m)	Surface partielle (km ²)	Surface Cumulée (km ²)	Surface (%)	Surface Cumulée (%)
1103	1192 - 1100	1146	1,180	1,180	0,068	0,068
	1100 - 1000	1050	5,839	7,019	0,336	0,403
	1000 - 0900	950	14,918	21,937	0,857	1,261
	0900 - 0800	850	36,676	58,614	2,108	3,368
	0800 - 0700	750	163,723	222,337	9,408	12,776
	0700 - 0600	650	494,668	717,005	28,425	41,202
	0600 - 0500	550	616,772	1333,777	35,442	76,644
	0500 - 0400	450	372,676	1706,453	21,415	98,059
	0400 - 0313	356,5	33,776	1740,228	1,941	100,000
1111	1219 - 1200	1209,5	0,035	0,035	0,006	0,006
	1200 - 1100	1150	23,715	23,750	3,823	3,828
	1100 - 1000	1050	88,188	111,938	14,215	18,043
	1000 - 0900	950	117,198	229,136	18,891	36,935
	0900 - 0800	850	110,005	339,141	17,732	54,667
	0800 - 0700	750	114,220	453,361	18,411	73,078
	0700 - 0600	650	95,839	549,200	15,449	88,527
	0600 - 0500	550	57,469	606,669	97,790	97,790
	0500 - 0422	461	13,708	620,377	100,000	100,000
1112	1324 - 1300	1312	0,723	0,723	0,050	0,050
	1300 - 1200	1250	83,635	84,358	5,732	5,782
	1200 - 1100	1150	264,601	348,959	18,136	23,918
	1100 - 1000	1050	352,513	701,472	24,162	48,080
	1000 - 0900	950	158,319	859,791	10,851	58,931
	0900 - 0800	850	139,258	999,049	9,545	68,476
	0800 - 0700	750	170,985	1170,034	11,719	80,195
	0700 - 0600	650	127,800	1297,834	8,760	88,955
	0600 - 0500	550	102,466	1400,300	7,023	95,978
	0500 - 0427	463,5	58,680	1458,980	4,022	100,000
1114	1166 - 1100	1133	2,115	2,115	0,179	0,179
	1100 - 1000	1050	15,378	17,494	1,299	1,477
	1000 - 0900	950	54,081	71,575	4,567	6,045
	0900 - 0800	850	66,061	137,636	5,579	11,624
	0800 - 0700	750	119,385	257,021	10,082	21,706
	0700 - 0600	650	148,442	405,463	12,536	34,242
	0600 - 0500	550	277,667	683,130	23,449	57,691
	0500 - 0400	450	495,010	1178,140	41,804	99,496
	0400 - 0303	351,5	5,972	1184,112	0,504	100,000
1115	884 - 800	842	0,995	0,995	0,117	0,117
	800 - 700	750	35,522	36,517	4,183	4,300
	700 - 600	650	110,009	146,526	12,953	17,253
	600 - 500	550	154,682	301,208	18,213	35,466
	500 - 400	450	146,711	447,919	17,275	52,741
	400 - 300	350	170,027	617,946	20,020	72,761
	300 - 200	250	136,676	754,622	16,093	88,854
	200 - 100	150	75,322	829,944	8,869	97,723
	100 - 018	59	19,337	849,281	2,277	100,000

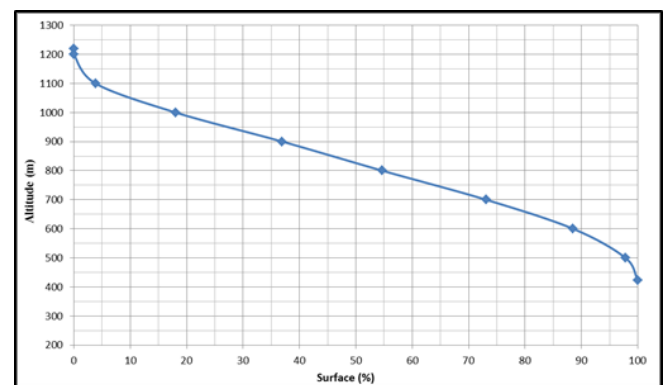
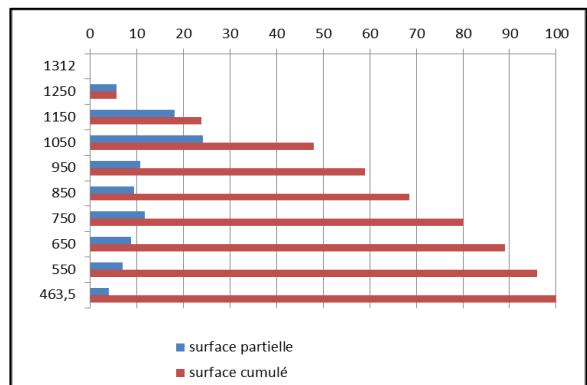
a) Plaine de Sidi Bel Abbès (1103)



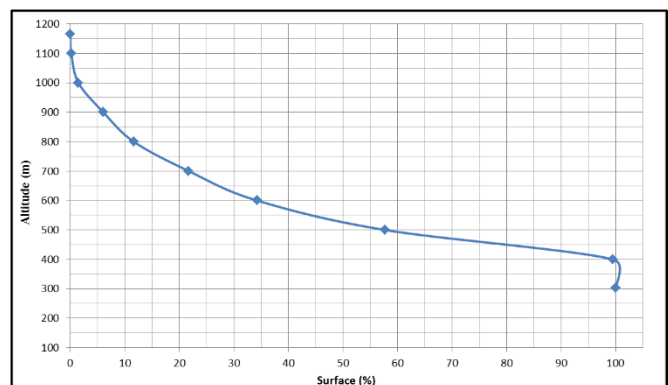
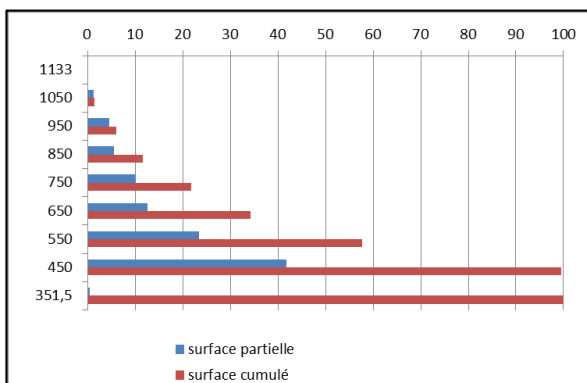
b) Oued Saïda (1111)



c) Oued Taria (1112)



d) Plaine de Ghriss (1114)



e) Oued El Hammam (1115)

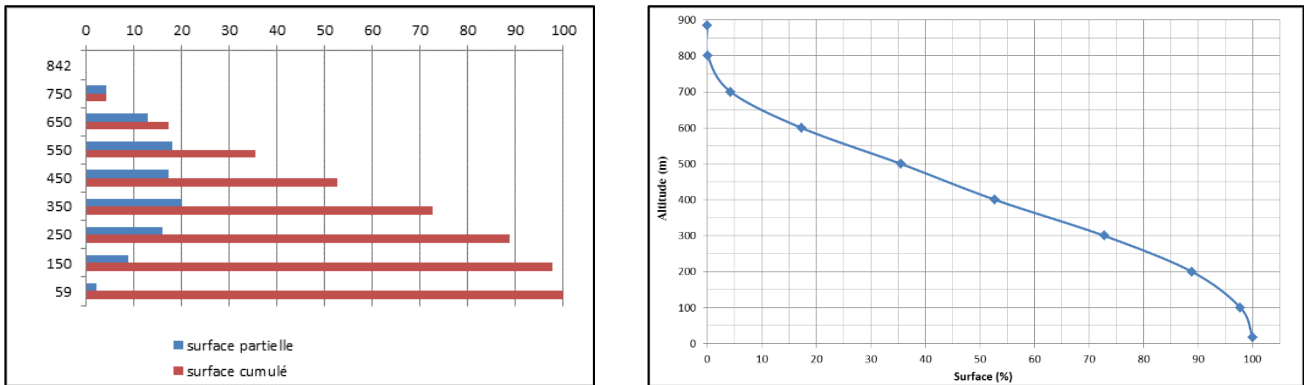


Figure (V-1) : A gauche : La morphométrie des sous bassins, A Droite : les courbes hypsométriques des sous bassins versants de la Macta.

Les courbes hypsométriques (Figure V-1) dévoilent la surface totale des cinq sous bassins étudiés en fonction de l'altitude. Une partie des écoulements auront aptitude à s'effectuer avec une vitesse importante, favorisant une érosion significative très appuyée dans la superficie des sous bassins.

A partir des résultats du tableau (V-1), on peut calculer les paramètres ci-dessous :

La dénivelée D comme étant la différence des côtes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad (V-4)$$

b- Altitude moyenne du bassin versant :

L'altitude moyenne du bassin versant est adoptée suivant la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum h_{moy} \cdot S_i}{S} \quad (V-5)$$

H_{moy} : l'altitude moyenne du bassin versant (m) ;

S_i : surface partielle comprise entre deux altitudes (km^2) ;

h_{moy} : la moyenne entre deux altitudes (m) ;

S : surface totale du bassin versant (km^2).

c- Indice de pente :

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications. Les indices de pente se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin (Morell.M, et al, 1999).

c-1- Indice de pente de Roche I_p :

Roche a proposé un indice de pente plus facile à calculer I_p , représentant la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérées par les surfaces.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\sqrt{S_i \cdot D_i} \right] \quad (\text{V-6})$$

où :

I_p : indice de pente de Roche ;

L : longueur du rectangle équivalent ;

D_i : différences entre deux altitudes du rectangle équivalent ;

S_i : superficie partielle en (%) comprise entre deux altitudes.

c-2- Indice de pente globale I_g :

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, il est préférable d'utiliser un autre indice qui est l'indice de pente globale, donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (\%) \quad (\text{V-7})$$

où :

D : dénivelée, elle est définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique ;

L : longueur du rectangle équivalent (m).

d- Dénivelée Spécifique D_s :

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient, elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface.

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S} = \frac{D}{L} \cdot \sqrt{S} \quad (\text{V-8})$$

e- Relief Ratios I_{As} :

Les Anglo-Saxons utilisent d'autres indices de pente I_{As} que nous ne citerons que pour mémoire :

$$I_{As} = \text{Plus grande dénivelée} / \text{plus long Thalweg} \quad (\text{V-9})$$

$$I_{As} = \text{Plus grande dénivelée sur le pourtour} / \text{plus grande longueur du bassin} \quad (\text{V-10})$$

f- Etude des paramètres morphométriques :

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. La définition d'un cours d'eau est difficile à donner avec précision, en particulier pour les cours d'eau temporaires. L'étude du chevelu hydrographique servant surtout à comparer des bassins entre eux.

f-1- La densité de drainage D_d :

La densité de drainage d'un bassin versant est définie comme étant la longueur moyenne du réseau hydrographique par km^2 de l'aire S du bassin. Elle reflète la dynamique de ce dernier, la stabilité du réseau de drainage et le type de ruissellement de surface. Elle est obtenue par la relation suivante :

$$D_d = \frac{\sum L}{S} \quad (\text{km}/\text{km}^2) \quad (\text{V-11})$$

où :

$\sum L$: la longueur totale des cours d'eau dans les limites du bassin versant (km) ;

S : surface totale du bassin versant (km^2).

f-2- Fréquences des cours d'eau F_1 :

Cette valeur représente le nombre de thalweg par unité de surface.

$$F_1 = \frac{N_1}{S} \quad (\text{Km}^{-2}) \quad (\text{V-12})$$

où : N_1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1 ; S : la surface totale du bassin versant (km^2).

f-3- Coefficient de torrentialité C_T :

Il se calcule à partir de la relation suivante :

$$C_T = D_d \cdot F_1 \quad (\text{V-13})$$

avec :

F_1 : la fréquence des cours d'eau d'ordre 1 (km^{-2}) ;

D_d : densité de drainage (km/km^2).

V-1-4- Temps de concentration :

Le temps de concentration, nous intéresse dans la détermination du débit de pointe qui passe par l'exutoire.

a- Formule de Kirpich :

Cette formule est applicable pour les zones arides et semi arides et elle est comme suit :

$$T_c = \frac{0.01947 \cdot L^{0.77}}{I_0^{0.385}} \quad (\text{V-14})$$

T_c : temps de concentration en Heures ;

L : la longueur du cours d'eau principal (m) ;

I_0 : la pente du bassin versant (%).

b- Formule de Branby Williams :

$$T_c = 0.0146 \cdot L \cdot \left(\frac{1}{S^{0.1} \cdot I_0^{0.2}} \right) \quad (\text{V-15})$$

T_c : temps de concentration en Heures ;

L : longueur de l'Oued (m) ;

S : superficie du bassin versant (km^2) ;

I_0 : la pente du bassin versant (%).

c- Formule de Giandotti :

Cette formule a été élaborée en Italie sur la base des données de bassins versants :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{\text{moy}}}} \quad (\text{V-16})$$

T_c : temps de concentration en Heures ;

S : superficie du bassin versant (km^2) ;

L : longueur de l'Oued (km) ;

H_{moy} : altitude moyenne (m).

d- Formule de Basso :

Cette formule a été élaborée par Basso en 1973, sur la base de données de bassins versants d'Amérique Centrale.

$$T_c = 0.067 \cdot \frac{L^{1.155}}{(H_{\max} - H_{\min})^{0.385}} \quad (\text{V-17})$$

T_c : temps de concentration en Heures ;

L : longueur du bassin versant (Km) ;

H_{min} : altitude minimale (Km) ;

H_{max} : altitude maximale (Km)

e- Formule de Kennedy-Bath:

Cette formule a été élaborée au Canada, sur la base de données de la région de la Province de l'Ontario (1969).

$$T_c = 0.19 \left(\frac{L}{\sqrt{I_0}} \right)^{0.75} \cdot I_c^{1/3} \quad (\text{V-18})$$

T_c : temps de concentration en Heures ;

L : longueur du bassin versant (Km) ;

I₀ : la pente du bassin versant (%) ;

I_c : la pente critique du bassin versant (%).

Remarque :

Les résultats de tous les paramètres morphométriques, et topographiques par l'utilisation des formules indiquées dans ce chapitre, sont illustrés sur le Tableau (V-2).

Tableau (V-2) : Caractéristiques morphométriques des cinq sous bassins versants étudiés.

Paramètre	S/ BV	Plaine de Sidi Bel Abbès	Oued Saida	Oued Taria	Plaine de Ghriss	Oued El Hammam
Code S/ BV		11.03	11.11	11.12	11.14	11.15
Nom de l'Oued		Oued Mekerra Sarno	Oued Saida	Oued Taria	Oued Fekane	Oued El Hammam
Superficie « S »	(km ²)	3000	400	1365	196	7440
Périmètre « P »	(km)	280	88	165	60	538
Facteur de forme « K _C »		1,44	1,24	1,26	1,21	1,75
Longueur « L »	(km)	113,38	31,11	59,65	20,45	236,12
Largeur « I »	(km)	26,47	12,85	22,88	9,58	31,50
Altitude moyenne	(m)	956	887	946	677,04	790,75
Altitude minimale	(m)	313	422	427	303	18
Altitude maximale (m)		1192	1219	1324	1166	884
Indice de pente de Roche « I _p »	(%)	9,13	54	38	51	67
Dénivelée « D »	(m)	1105,60	229,79	625	277	548
Indice de pente global « I _g »	(m/km)	9,75	7,38	10,47	13,54	2,32
Dénivelée spécifique « D _s »	(m)	534,02	147,60	396,79	189,56	200,18
Pente moyenne	(m/km)	0,011	0,016	0,018	0,013	0,006
Longueur du Talweg principal	(km)	134	38	60	10	132
Densité de drainage « D _d »	(Km km ⁻²)	2,85	2,70	0,58	1,92	0,47
Coefficient de torrentialité « C _T »		22,31	13,20	5,80	6,32	0,07
T _C par l'Equation de Kirpich	(H)	4'13''	1'21''	2'7''	1'3''	9'22''
T _C par l'Equation de Branby Williams	(H)	1'49''	34''	56''	25''	3'55''
T _C par l'Equation de Giandotti	(H)	8H51'51''	3H21'34''	6H 00'34''	2H41'30''	15H21'
T _C par l'Equation de Basso	(H)	17''	5'8''	9''	4''	39''
T _C par l'Equation de Kennedy-Bath	(H)	40H36'11''	13H42'37''	18H28'38''	5H26'43''	50H23'37''
Temps de concentration moyen	(H)	9H 54'52''	3H25'36''	4H54'29''	1H37'57''	13H11'43''

D'après le Tableau (V-2), on constate que les cinq sous bassins versants étudiés (Plaine de Sidi Bel Abbès, Oued Saida, Oued Taria, Plaine de Ghriss, et Oued El Hammam) présentent des coefficients de compacité supérieurs à 1,12 ; donc la forme rectangulaire ou la forme allongée des sous bassins est prononcée. Cette forme allongée des bassins versants favorise un temps de concentration plus long, ce qui peut réduire le risque des crues soudaines.

Le temps de concentration est mieux exprimé par la formule de Giandotti et de Kennedy Bath.

La classification d'après ORSTOM des reliefs en fonction de la dénivelée spécifique des cinq sous bassins versant étudiés est représentée dans le Tableau (V-3).

Tableau (V-3) : Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M

Classe	Relief	D_s (m)
R1	Relief très faible	$D_s < 10$
R2	Relief faible	$10 < D_s < 25$
R3	Relief assez faible	$25 < D_s < 50$
R4	Relief modéré	$50 < D_s < 100$
R5	Relief assez fort	$100 < D_s < 250$
R6	Relief fort	$250 < D_s < 500$
R7	Relief très fort	$D_s > 500$

Le sous bassin versant de la plaine de Sidi Bel Abbès représente un relief très fort avec une dénivelée spécifique de 534,02m (Classe R7), le sous bassin d'Oued Taria est classé en relief fort avec une D_s de 396,79m (Classe R6). Tandis que les sous bassins de oued Saida, la plaine de Ghriss, et oued el Hammam sont caractérisés par un relief assez fort (Classe R5) avec une dénivelée spécifique respective de 147,60m ; 189,56m et 200,18m.

Chaque sous bassin versant est caractérisé par sa propre densité de drainage. Cette dernière reflète l'efficacité du réseau de drainage. Nous constatons que le bassin de la plaine de Sidi Bel Abbès, oued Saida et la plaine de Ghriss sont bien drainés (densité de drainage élevée), ceci est associé à des sols moins perméables, qui favorisent le ruissellement de surface plutôt que l'infiltration. Les deux autres bassins (Oued Taria et oued el Hammam) présentent une densité de drainage moins élevée car le réseau est moins dense (peu de cours d'eau) qui permet une évacuation lente de l'eau.

La densité de drainage n'est pas statique et peut évoluer en fonction des changements dans le système de drainage.

V-2- CLIMATOLOGIE :

V-2-1- Introduction :

L'intensité ainsi que la quantité de la pluie sont le processus générateur du phénomène de l'érosion.

La pluviométrie dans le bassin méditerranéen en général et dans les pays d'Afrique du Nord en particulier, est le paramètre climatique dominant et beaucoup plus variable que la température. Le régime des cours d'eau, est en dépendance directe du régime pluviométrique, par conséquent de la pluviométrie, de sa répartition et de son irrégularité spatiale et temporelle.

V-2-2- Etude des Précipitations :

Afin de caractériser le climat de notre zone de recherche, nous avons choisi cinq stations (05) pluviométriques dont nous disposons pour la plupart, d'une longue série de données pluviométriques sur l'ensemble de ces stations.

Les caractéristiques des stations pluviométriques utilisées dans cette étude sont représentées dans le tableau (V-4) :

Tableau (V-4) : Caractéristiques des stations pluviométriques qui contrôlent les cinq S/bassins versants Étudiés (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques).

Bassin versant	Stations Pluviométriques	Code	Coordonnées Lambert		Période
			X (m)	Y (m)	
La plaine de Sidi Bel Abbès	Sidi Bel Abbès	110308	199100	219700	1910 - 2004
Oued Saida	PK50	111106	269000	191000	1972 - 1999
Oued Taria	Oued Taria	111204	262200	205100	1967 - 1997
La plaine de Ghriss	Mascara Ville	111429	268100	235700	1976 - 2004
Oued el Hammam	Trois Rivières	111506	246600	217000	1973 - 2004

Les bassins versants étudiés sont soumis à un bioclimat de type méditerranéen subhumide. Ces bassins, qui font partie de l'extrême Nord-Ouest Algérien, montrent une région moyennement arrosée de l'Afrique du Nord.

V-2-2-1- Variabilité annuelle des précipitations :***V-2-2-1-1- Variabilité à l'échelle annuelle :***

Dans toute étude pluviométrique, l'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations est très importante pour une bonne gestion de la ressource hydrique dans n'importe quel bassin.

Sur les périodes étudiées, nous enregistrons pour l'année hydrologique (71/72, 72/73) une valeur des précipitations moyennes annuelles maximales de 503,80 mm et 549,20 mm respectivement dans les stations pluviométriques Sidi Bel Abbès et Oued Taria. Tandis que les stations PK50 et Mascara ville l'année la plus pluvieuse était celle de (95/96) avec une quantité respective de 471,10 mm, et 461,70 mm. L'année de (85/86) était généreuse pour la station Trois Rivières avec une précipitation maximale de 293,50 mm (Tableau (V-5)).

Tableau (V-5) : Caractéristiques statistiques des stations pluviométriques sélectionnées

Stations Pluviométriques	$\bar{P}$ (mm)	σ	C_v
Sidi Bel Abbès	240,66	122,43	0,51
PK50	288,28	107,99	0,37
Oued Taria	292,85	111,42	0,38
Mascara Ville	278,48	104,73	0,38
Trois Rivières	188,01	61,95	0,33

Par ailleurs, nous constatons une irrégularité importante de la répartition des pluies annuelles (Figure V-2), qui peut être exprimée par la variabilité interannuelle des pluies et par le coefficient de variation qui s'avère un paramètre statistique efficace pour étudier toute la dispersion relative des valeurs autour de la moyenne. Le coefficient de variation varie de 0,33 (Trois Rivières), 0,37 pour la station PK50. Le même coefficient de variation de 0,38 était recensé pour les stations Mascara ville ainsi que Oued Taria, la station de Sidi Bel Abbès possède un $C_v = 0,51$ qui est le plus élevé par rapport aux autres. Donc, on peut dire que le bassin de la plaine de Sidi Bel Abbès est le plus arrosé avec une grande variation de pluviométrie annuelle.

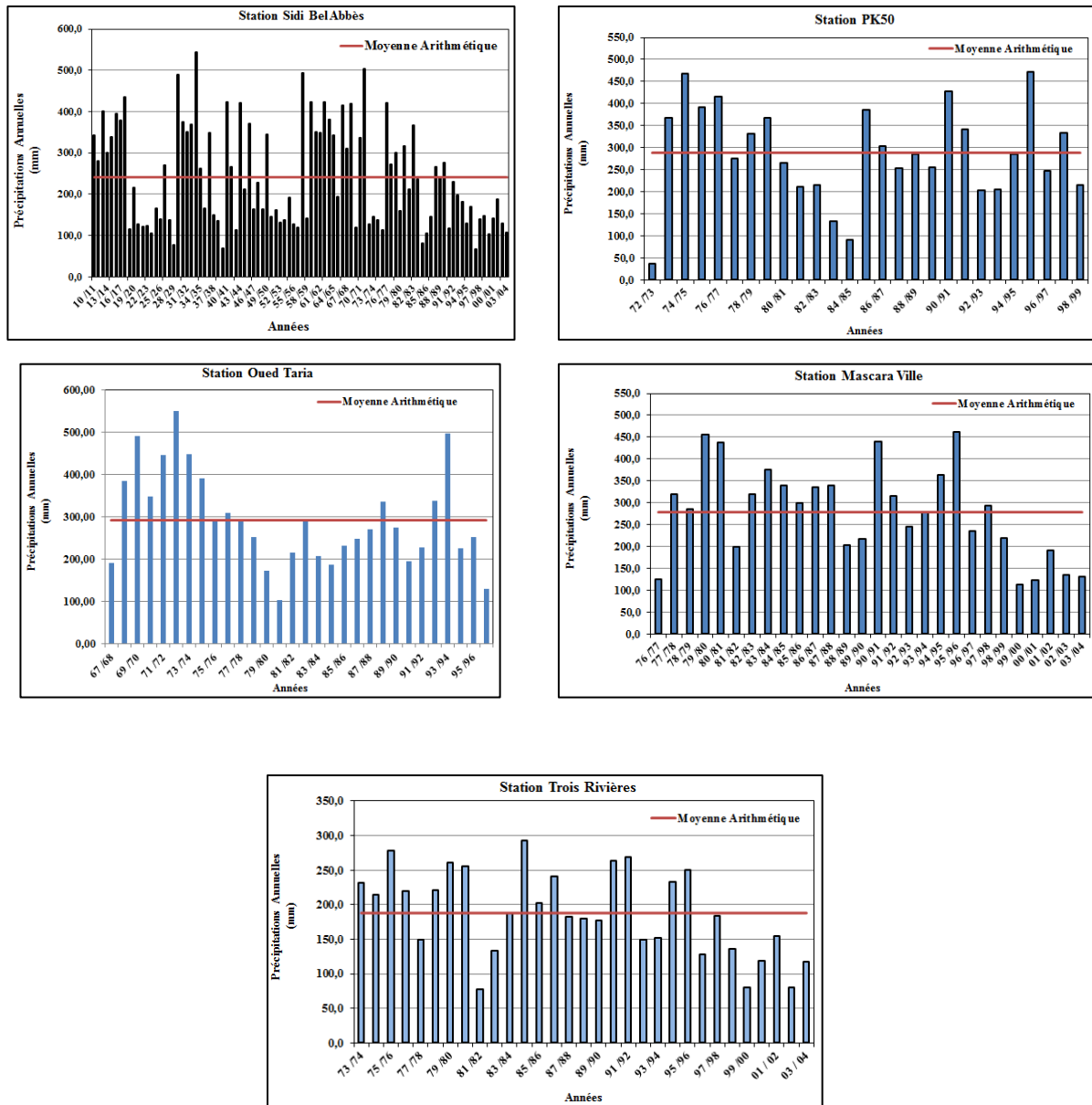


Figure (V-2) : Variation annuelle des précipitations aux différentes stations pluviométriques.

L'étude de la variation des pluies annuelles et des paramètres statistiques (σ et C_v), interprète très bien l'influence du climat méditerranéen sur les cinq bassins de la Macta. Les valeurs maximales des précipitations changent d'un bassin à un autre ce qui est susceptible d'entraîner une érosion hydrique différentielle d'une année à une autre, et d'un sous bassin à un autre (Gachi. A, 1986).

V-2-2-1-2- Variabilité à l'échelle intermensuelle :

L'étude de la variabilité intermensuelle est très primordiale afin de connaître le régime de l'écoulement fluvial par saison, et par la suite le comportement hydrologique annuel des sous bassins versants (Khanchoul. K, 2007).

Cette variabilité est très significative en étudiant les coefficients de variation qui sont très élevés dans la saison d'été. Nous avons noté un coefficient de variation maximal en mois de Juillet de 3,59 pour la station de Trois Rivières, et de 3,01 pour la station de Mascara ville. D'autre part, le mois de Septembre a montré un coefficient de variation plus élevé que les mois d'été 1,54 (cas de Sidi Bel Abbès) (Tableau V-6). Cette variation est le résultat des pluies orageuses et des averses de l'été à l'automne qui sont très dangereuses aux sols surtout déboisés car elles engendrent l'érosion.

Tableau (V-6) : Variabilité des précipitations moyennes mensuelles des stations pluviométriques étudiées.

Station Pluviométrique	Paramètre	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fèv	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Sidi Bel Abbès	$\bar{P}$	12,76	21,03	23,17	32,90	32,16	30,52	27,40	25,68	20,17	8,08	3,00	4,77
	C_v	1,54	1,06	1,19	0,89	0,84	0,84	0,79	0,81	1,10	1,38	1,41	1,18
PK50	$\bar{P}$	12,57	25,19	27,65	33,30	33,91	35,60	48,02	32,79	21,07	9,62	3,91	4,65
	C_v	0,94	0,99	0,78	0,88	0,81	0,88	1,06	0,93	0,87	1,37	1,96	1,81
Oued Taria	$\bar{P}$	14,94	24,86	36,86	32,89	34,78	36,51	42,62	32,27	20,54	8,83	2,70	5,04
	C_v	1,10	1,19	1,02	0,93	0,88	0,75	0,86	0,89	1,21	1,65	2,49	2,36
Mascara Ville	$\bar{P}$	15,07	24,14	36,08	35,23	33,89	38,83	38,07	23,36	23,03	5,27	2,41	3,11
	C_v	1,30	1,08	0,76	0,97	0,76	0,88	1,15	0,79	0,91	1,95	3,01	1,87
Trois Rivières	$\bar{P}$	12,45	21,10	25,25	20,58	14,56	24,59	24,18	21,94	15,72	4,04	0,81	2,79
	C_v	1,09	0,99	1,15	1,19	0,86	0,86	1,03	0,91	1,01	1,55	3,59	2,14

Pour les cinq stations étudiées, nous avons constaté deux cycles différents. Un premier est très sec qui correspond à la saison estivale (Juin, Juillet et Aout), tandis que le deuxième correspond aux autres saisons de l'année (Figure V-3).

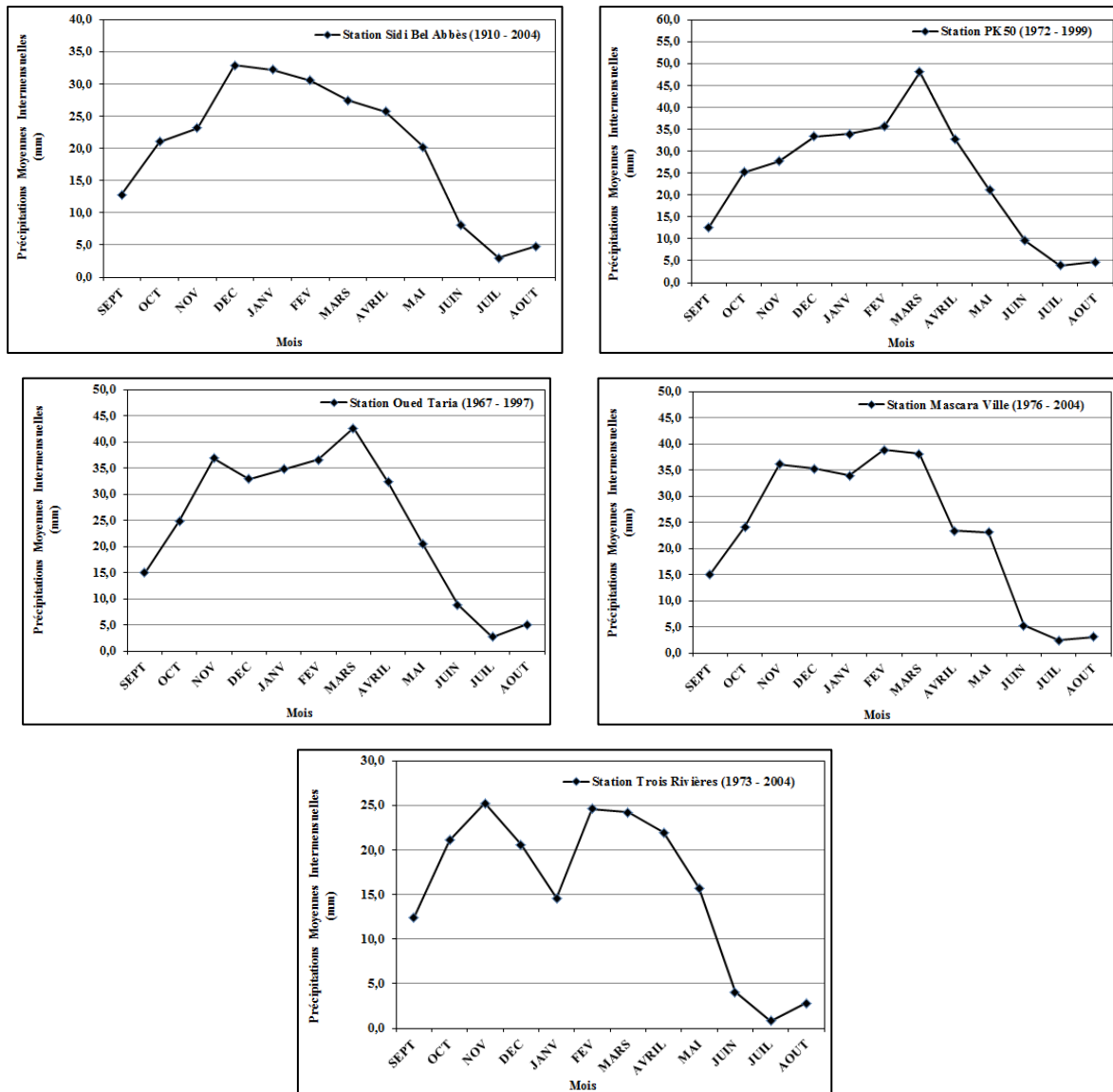


Figure (V-3) : Variation mensuelle des précipitations moyennes aux différentes stations pluviométriques.

V-2-2-2- Variabilité saisonnière des précipitations :

La répartition saisonnière des précipitations détermine les conditions hydrologiques, écologiques et agricoles du bassin versant en influençant la disponibilité de l'eau au fil de l'année. Elle permet de comprendre les phénomènes météorologiques (les saisons sèches et pluvieuses), l'impact sur la végétation et les sols, et aide à l'optimisation des pratiques agricoles, comme les dates de semis et de récolte (Achit. M, 2007, Benkhaled. A, 2006).

Afin de mieux caractériser le régime saisonnier, nous avons groupé les données des pluies saison par saison pour chaque station pluviométrique (Figure V-4), ensuite nous avons fait un arrangement des quatre saisons par ordre décroissant de pluviosité et par station. Le classement des quatre saisons donne ce qu'on appelle «Indicatif saisonnier », et qui est formé par les initiales des saisons (Tableau V-7).

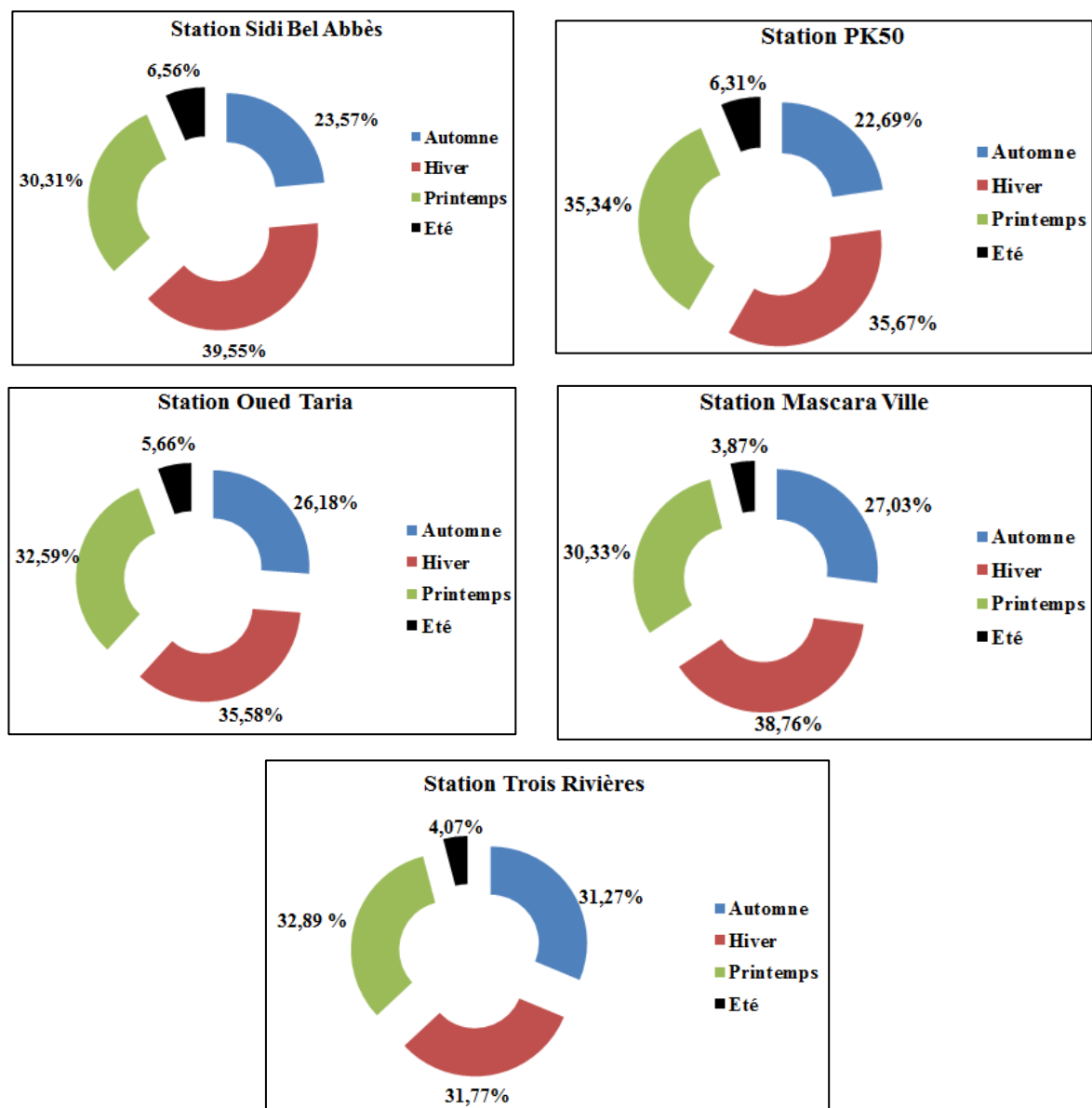


Figure (V-4) : Répartition saisonnière des pluies des cinq stations étudiées.

- Pour les quatre stations pluviométriques étudiées (Sidi Bel Abbès, PK50, Oued Taria, et Mascara Ville), le régime saisonnier dominant est de type **HPAE**, la période pluvieuse se situe en hiver et au printemps (pendant l'hiver : plus de 39% pour Sidi bel Abbès, 35% pour PK50 et Oued Taria, et plus de 38 % pour Mascara Ville), suivie par une diminution de pluie durant l'automne qui varie de 23 jusqu'à 27%, et une sécheresse pendant la saison estivale (entre 3 % et 6%).

Tableau (V-7) : Variabilité saisonnière des précipitations des stations pluviométriques étudiées.

Stations Pluviométriques	Automne (S, O, N)	Hiver (D, J, F)	Printemps (M, A, M)	Eté (J, Juil, A)	Indicatif Saisonnier
Sidi Bel Abbès	23,57 %	39,55 %	30,31 %	6,56 %	HPAE
PK50	22,69 %	35,67 %	35,34 %	6,31 %	HPAE
Oued Taria	26,18 %	35,58 %	32,59 %	5,66 %	HPAE
Mascara Ville	27,03 %	38,76 %	30,33 %	3,87 %	HPAE
Trois Rivières	31,27 %	31,77 %	32,89 %	4,07 %	PHAE

- La station pluviométrique Trois rivières est caractérisé par le régime **PHAE**, qui domine avec un printemps plus pluvieux atteignant plus de 32%. Dans cette partie la pluviosité de l'hiver vient en seconde position avec un ratio de 31,77%, puis les pluies d'automne en troisième position (32,27 %), tandis que l'été reste la saison la plus sèche caractérisée par une faible pluviosité d'environ 4%.

V-2-3- Étude de l'Évaporation :

L'évaporation a été estimée pour une période de prélèvement à partir des stations hydro-climatiques des cinq barrages d'une période de 1986 jusqu'au 2006 (Figure V-5).

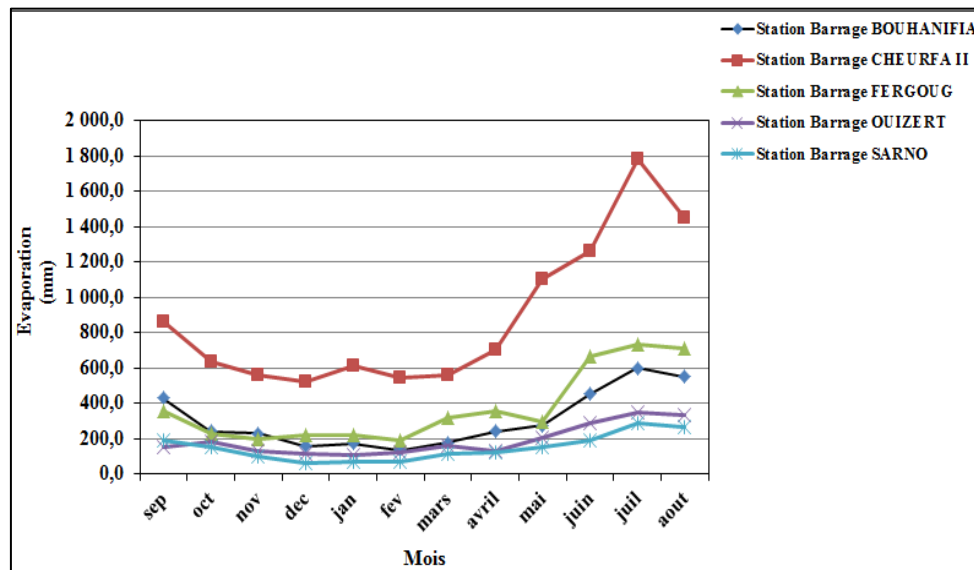


Figure (V-5) : Moyenne des totaux inter-mensuels de l'évaporation dans les cinq stations hydro-climatiques pour la période (1986/1987 – 2005 /2006).

D'après la Figure ci-dessus, on constate que la concentration en évaporation est maximale durant les mois de juin jusqu'au Août (l'été) à cause des températures élevées, on note aussi que toutes les quatre stations enregistrent des valeurs modérées de l'évaporation durant toute l'année sauf la station du barrage Chorfa II qui a connu une valeur élevée qui atteint 1800 mm.

V-2-4- Étude de la Température :

D'après les données des températures moyennes inter-mensuelles (recueillies à partir des stations des barrages Sarno et Ouizert (1986/1987 – 2005/2006), on constate que le bassin versant de la Macta est caractérisé par des températures sèches et chaudes de Juin jusqu'au mois d'Août, et par des températures relativement humides durant toute l'année (Figure V-6).

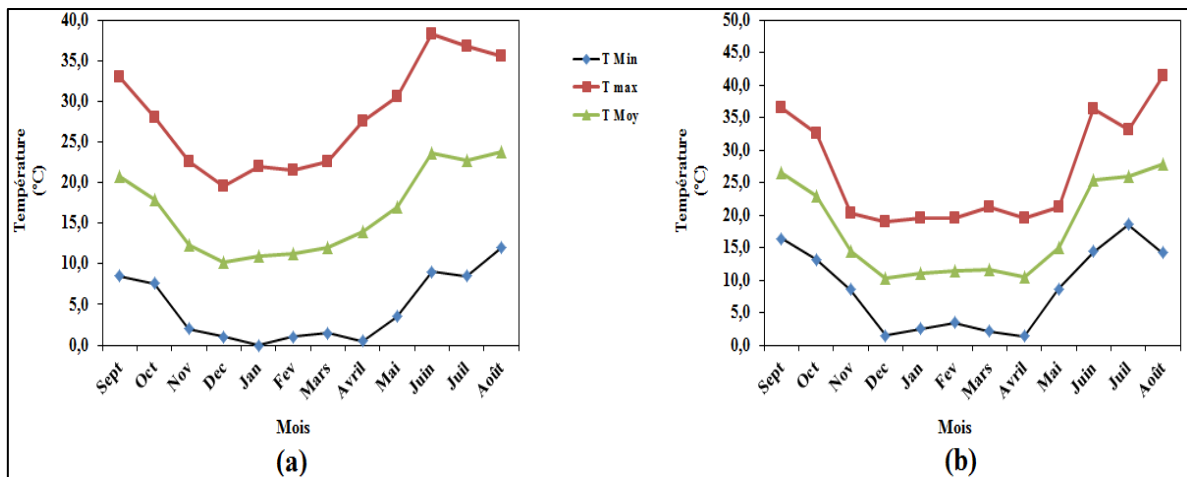


Figure (V-6) : Variation Inter-mensuelles de la température : (a) Station barrage Sarno, (b) Station barrage Ouizert (1986/1987 – 2005/2006).

V-3- CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons étudié d'abord les caractéristiques morphométriques et topographiques des cinq sous bassins versants. Cette étude a révélé que nos bassins versants présentent une forme géométrique allongée avec des temps de concentration assez grand en adaptant l'utilisation de la formule de Giondotti et de Kennedy-Bath. Aussi, des reliefs variés (Très fort, fort, et assez fort), et d'une densité de drainage assez élevée qui reflète le bon drainage de nos sous bassins.

Ensuite, nous avons étudié la partie climatique, commençant par la variation des précipitations à différentes échelles (Annuelle, mensuelle, et saisonnière). Le régime méditerranéen est calqué sur le régime des précipitations, caractérisé par un maximum principal de pluie en mois de Décembre et Janvier, ainsi qu'un maximum secondaire moins important en mois de Mars et Avril.

La répartition des pluies en pourcentage dans les cinq stations représente deux domaines climatiques à savoir une saison d'hiver humide et froide, ainsi qu'une saison d'été chaude et sèche. La quantité de pluie tombée en automne équivaut à peu près à celle printanière.

A constater aussi, que les pluies sont généralement concentrées dans le temps pour les cinq stations étudiées. Plus de 39 % des précipitations de la saison hivernale sont enregistrées dans un temps très court (un tiers du trimestre), tandis qu'environ 35 % des pluies de la période de printemps tombent généralement durant le mois de Mars et Avril, une explication

qui est liée aux caractères orageux des pluies qui peuvent être violentes et par conséquent provoquent des dégâts importants de glissements de terrain, inondations, et érosion.

Enfin, la concentration en évaporation est maximale durant les mois de juin jusqu'au Août (durant l'été) à cause des températures élevées enregistrées dans la même période, ces résultats justifient le climat méditerranéen semi-aride de la région Ouest de l'Algérie.

CHAPITRE VI : HYDROLOGIE DES SOUS BASSINS VERSANTS ETUDIÉS

VI-1- INTRODUCTION :

L'Hydrologie est une discipline qui s'intéresse à l'étude des eaux qui se trouvent à la surface de la Terre (les rivières, les lacs...), son application pratique est la gestion des ressources en eau, les flux sédimentaires, la prévision des phénomènes extrêmes comme les inondations ou les sécheresses.

L'hydrologie reste une science expérimentale dont les résultats sont étanches d'incertitude. Un large intérêt doit donc être réservé aux observations de terrain, au bon sens. Il est très important de noter qu'une mesure même si elle est très sommaire, restera toujours plus proche de la vérité que toute formule mathématique.

VI-2- OUTILS ET METHODES DE TRAVAIL :

Les données doivent être contrôlées et dépouillées afin de permettre leur utilisation ultérieure sans complication pour un usage varié.

A cet effet, les techniques utilisées par les observateurs de l'agence nationale des ressources hydrauliques (A. N. R. H) relatives aux jaugeages, au traitement et à l'édition des données de débits liquides et concentrations des sédiments solides au niveau des cinq stations hydrométriques : Sidi Bel Abbès, PK50, Oued Taria, Khalouia, et Trois rivières sont les suivantes :

VI-2-1- Pour les débits liquides :

Les jaugeages sont effectués au niveau de chaque station à l'aide d'un moulinet hydrométrique étalonné. Le dépouillement des jaugeages est réalisé au bureau pour l'obtention des débits liquides. Chaque station est dotée d'une courbe de tarage valable pour une période donnée dite période de validité. Le phénomène de sédimentation ou d'érosion au niveau de la station de jaugeage influe sur l'allure de la courbe de tarage, phénomène appelé détarage.

VI-2-2- Pour les concentrations des sédiments solides :

Les prélèvements se font en un point unique, soit sur le bord, soit au milieu, au moyen de bouteilles d'échantillonnage. Il s'agit généralement de bouteilles en matière plastique d'une contenance de 500 cl.

Théoriquement l'échelonnement des prélèvements lors d'une crue se fait selon des intervalles de temps variables en fonction du régime de l'oued étudié. Le traitement initial des échantillons se fait au laboratoire local.

S'agissant de la fréquence des prélèvements, les consignes suivantes sont données aux observateurs :

- **En étiage :** ou lorsque le débit est constant au cours de la journée, il y a lieu d'effectuer un seul prélèvement au cours de la journée généralement à 12 H 00.
- **En crue :** la fréquence des prélèvements est fixée pour chaque station en fonction de la vitesse de crue et de décrue (en relation avec la taille du bassin et de la durée des averses). Mais généralement les fréquences des prélèvements sont fortement influencées par le régime de la crue.

En règle générale :

- Un prélèvement est effectué durant la montée des eaux ; si cette montée est lente (supérieure à une heure) on prélève un échantillon d'eau toutes les heures.
- Un prélèvement doit être obligatoirement effectué au maximum de la crue. Cette tâche étant la plus difficile à réaliser compte tenu de la grande vitesse des eaux ne permettant pas de maintenir le moulinet dans une position verticale pour la mesure, ainsi la possibilité de cassure et de perte de moulinet.
- En décrue, et suivant la vitesse, on prélève un échantillon toutes les heures durant les six premières heures et toutes les deux heures ensuite.
- L'espacement dans le temps des prélèvements doit croître au fur et à mesure qu'on s'éloigne du maximum de la crue jusqu'à atteindre un (01) prélèvement par jour lorsque le débit reste constant dans la journée.
- L'évaluation des apports solides journaliers, mensuels et annuels est effectuée de la même façon, que pour les apports liquides sur la base d'un dépouillement des enregistrements limnigraphiques, suivant un pas de temps d'une demi – heure, d'une heure ou de deux heures.

Les données sont ensuite enregistrées sur supports informatique et les calculs des débits et des apports solides ainsi que celui des concentrations moyennes journalières, mensuelles et annuelles se font à l'ordinateur. (Demmak. A, 1982)

VI-2-2-1- Calcul des débits solides journaliers :

On reporte sur la bande limnigraphique, à une échelle que l'on déterminera au préalable sur chaque bande, les résultats des mesures chronologiques de concentrations en sédiments, en positionnant ces valeurs dans le temps.

La courbe de l'évolution des concentrations en fonction du temps, ou turbidigramme, sera tracée en joignant les différents points et en s'inspirant de la courbe limnigraphique. A cet effet, il faut signaler que le nombre de prélèvements et leur échelonnement correct dans le temps conditionnent exclusivement la fiabilité et la précision du tracé du turbidigramme.

En effet, cette turbidité étant liée à de nombreux facteurs, aucune loi générale ne permet une interpolation sûre entre deux points de mesure.

VI-2-2-2- Dépouillement et calcul :

On adopte pour la lecture du turbidigramme le même pas de temps que pour les dépouillements des hauteurs d'eau et on remplit la case 'turbidité' en notant les valeurs correspondantes lues sur la courbe.

Les débits solides instantanés (kg/s) sont obtenus en multipliant les débits liquides (m^3/s) par les concentrations correspondantes (kg/m^3).

VI-3- TRAITEMENT DES DONNEES HYDROMETRIQUES :

Les débits liquides instantanés ainsi que les concentrations des sédiments solides en suspension des cinq stations hydrométriques Tableau (VI-1) ont été obtenues à partir de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique d'Oran (ANRH), et pour les périodes d'observations disponibles Figure (VI-1)

Tableau (VI-1) : Caractéristiques des cinq stations hydrométriques étudiées. (ANRH)

N°	Nom de la Station	Code	Coordonnées Lambert (m)		Période d'Observation	Nombre de Données	Nombre de crue
			X	Y			
01	Sidi Bel Abbès	110301	199070	219750	1987 - 2007	8244	212
02	PK 50	111106	268450	192000	1979 - 1989	1246	/
03	Oued Taria	111201	262350	204850	1986 - 2007	7658	174
04	Khalouia	111425	280500	239930	1985 - 2008	2314	55
05	Trois Rivières	111501	246350	216650	1986 - 2008	5138	140

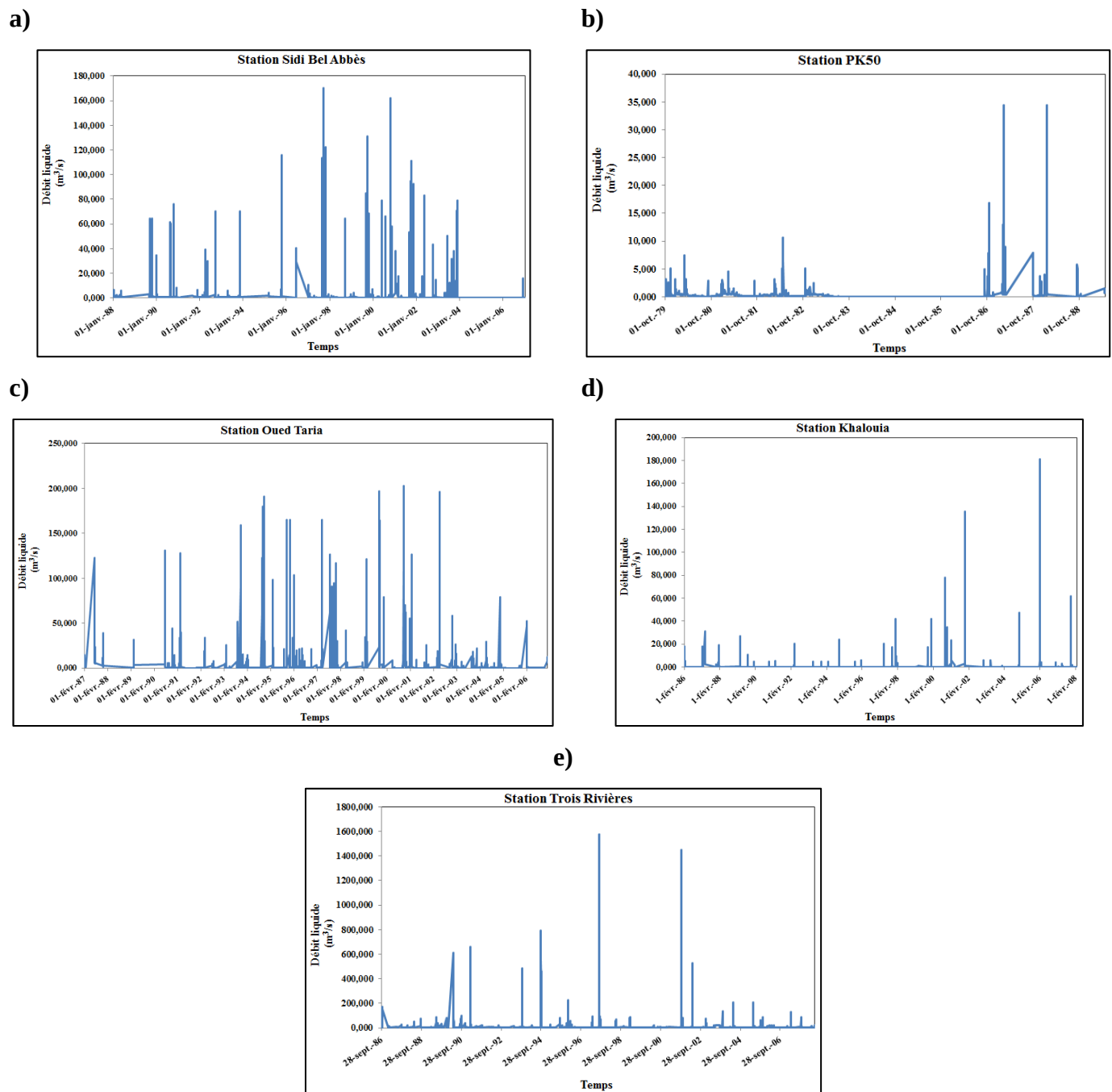


Figure (VI-1) : Chronologies des débits liquides instantanés de toute les séries prélevés aux cinq différentes stations de jaugeage : a) Station de Sidi Bel Abbès, b) Station PK50, c) Station Oued Taria, d) Station Khalouia, e) Station Trois Rivières.

VI-3-1- Variation des débits liquides à l'échelle annuelle :

Pour mieux connaître la variation ainsi que l'abondance de l'écoulement dans les cinq sous bassins étudiés, nous avons déterminé les coefficients de l'écoulement et les précipitations y tombées Figure (VI-2).

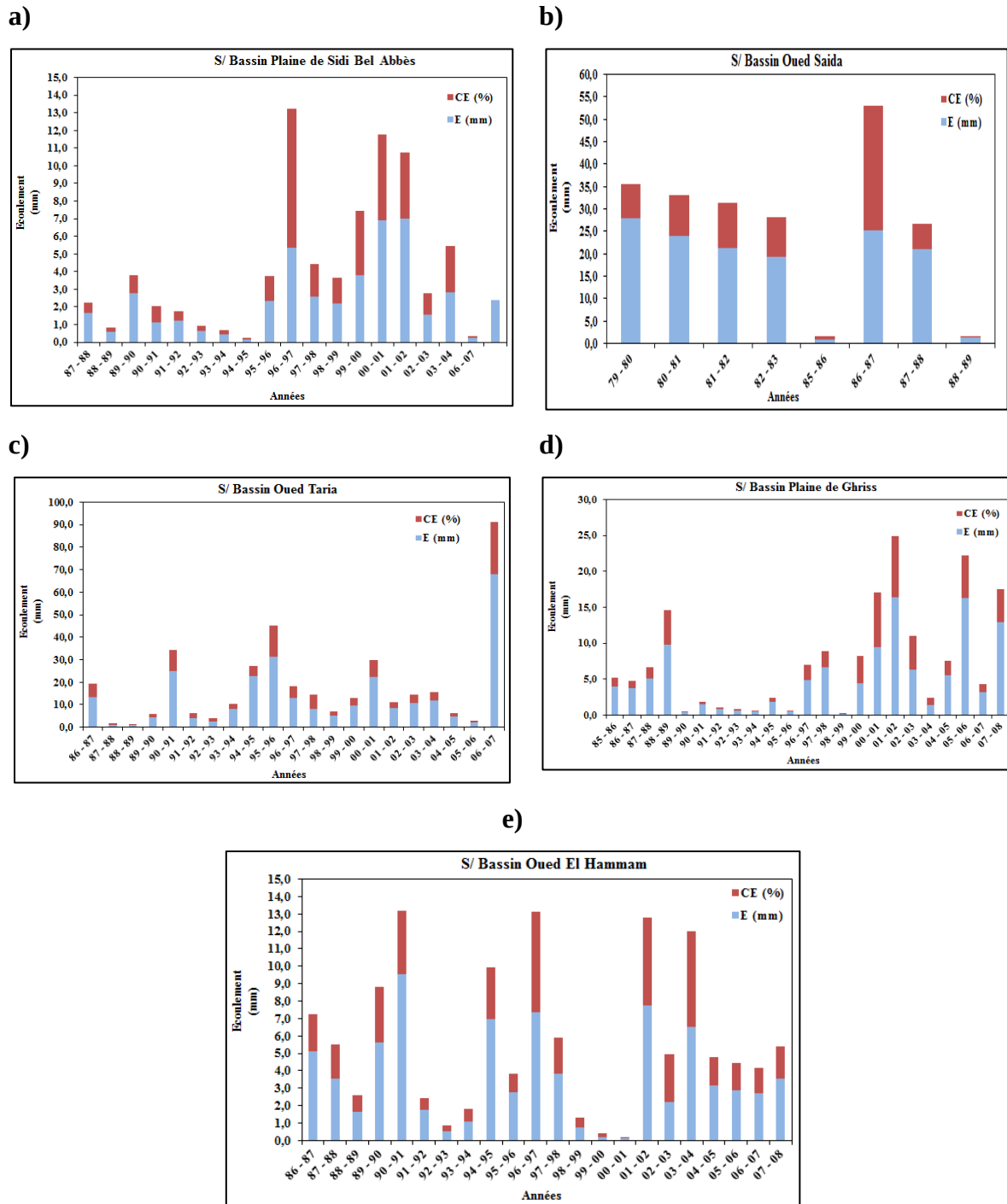


Figure (VI-2) : Variation annuelle de l'écoulement et précipitations dans les S/ bassins : a) Plaine de Sidi Bel Abbès, b) Oued Saïda, c) Oued Taria, d) Plaine de Ghriss, e) Oued El Hammam.

Nous constatons que l'abondance de l'écoulement dans la majorité de nos bassins étudiés est très faible. Les coefficients d'écoulement des S/bassins d'Oued el hammam et la plaine de Ghriss sont proche de 0, ce qui signifie que la majeure partie de l'eau précipitée était retenue, s'infiltrait dans le sol, ou s'évaporait, à cause : soit au couvert végétal dense (les forêts), soit au faible pente. Les autres S/bassins CE est compris entre 0 et 1, cela signifie que la quantité d'eau tombée est divisée en deux parties, une première s'écoule, tandis que la deuxième reste perdu par infiltration et évapotranspiration.

Les écoulements extrêmes étaient enregistrés en 2001/2002 dans oued Mekerra Sarno, 1979/1980 dans oued Saida, 2006/2007 dans oued Taria, à oued Fekane durant l'année hydrologique 2005/2006 et 1991/1992 à oued El Hammam Tableau (VI-2). A noter, que ces valeurs ne correspondent pas pour la plus part des S/bassins aux précipitations extrêmes enregistrées, donc cela explique qu'une partie de l'écoulement résulte d'une alimentation des oueds par les eaux souterraines, et/ou par les écoulements hypodermiques, sans oublier les lâchers en continus effectués par l'ANBT à partir des barrages Bouhanifia et Ouizert vers barrage Fergoug afin de renforcer son apport liquide.

Tableau (VI-2) : Valeurs extrêmes des écoulements et des précipitations à l'échelle annuelle.

S/Bassin Paramètre	E (mm)	Année	P (mm)	Année
Plaine de Sidi Bel Abbès	7,02	2001/2002	276,80	1989/1990
Oued Saida	7,59	1979/1980	385,70	1987/1988
Oued Taria	67,96	2006/2007	497,40	1994/1995
Plaine de Ghriss	16,34	2005/2006	461,70	1995/1996
Oued El Hammam	9,55	1990/1991	269,20	1991/1992

E : lame d'eau écoulée moyenne annuelle. P : précipitation moyenne annuelle.

VI-3-2- Variation des débits liquides à l'échelle des crues :

En ignorant la quantité d'eau précipitée, on peut dire qu'à l'échelle annuelle le ruissellement augmente avec le coefficient d'écoulement, mais cette relation devient moins évidente à l'échelle des crues (Khanchoul. K, 2006),

Les crues correspondent à des débits qui dépassent majoritairement la contenance du lit du cours d'eau et provoquent le débordement du cours d'eau (Benkhaled. A, 2006).

Le régime d'écoulement dépend principalement de l'intensité de la crue : importance du débit de pointe, volume d'eau apporté, et la durée de la crue. Nous enregistrons des coefficients d'écoulement très élevés qui se rapproche de 1 (100%) Tableau (VI-3).

Tableau (VI-3) : Les paramètres de l'écoulement.

S/Bassin	P	E	CE
Paramètre	(mm)	(mm)	(%)
Plaine de Sidi Bel Abbès	240,66	45,77	19,02
Oued Saida	288,28	141,19	48,98
Oued Taria	292,85	277,50	94,76
Plaine de Ghriss	278,48	116,21	41,73
Oued El Hammam	188,01	79,62	42,35

E : lame d'eau écoulée moyenne annuelle. P : précipitation moyenne annuelle. CE : Coefficient de l'écoulement.

Nous remarquons que les crues sont tellement intenses et de longue durées que le sol devient saturé, sans oublier les pentes raides qui favorisent l'écoulement fort cas de Oued Taria avec un coefficient d'écoulement plus de 94% et un indice de pente global $I_g = 10,47$ m/km. Idem pour oued Saida avec CE = 48,98% et $I_g = 7,38$ m/km.

A partir de cette analyse de l'écoulement des cinq sous bassins versants étudiés, nous déduisons que les valeurs fortes de l'écoulement, ne correspondent pas souvent à des valeurs équivalentes des précipitations. L'interaction des paramètres physiographiques est souvent déterminante dans le ruissellement.

VI-4- CLASSIFICATION ET ANALYSE DES CRUES :

VI-4-1- Traitement Statistique :

Pour les besoins de cette étude, nous avons procédé au dépouillement des données enregistrées des débits liquides et concentrations des sédiments solides en suspension, ensuite nous avons calculé les paramètres statistiques de toutes les crues observées dans chaque station hydrométrique (En utilisant les équations mentionnées dans le chapitre III), tous les résultats trouvés sont illustrés dans les Tableaux dans l'**ANNEXE I**.

A partir de ces résultats, nous avons remarqué que les intervalles de variation des estimations des paramètres statistiques des échantillons analysés sont assez importants témoignant de l'irrégularité du régime hydrologique des cours d'eau de la Macta :

A Sidi Bel Abbès, les données des deux variables hydrométriques (Q_l , C) présentent un faible écart-type, ce qui signifie que les valeurs sont très groupées autour de la moyenne indiquant une forte homogénéité, et que la moyenne de chaque variable est représentative des données individuelles, tandis que nous avons remarqué une asymétrie négative de quelques données des crues, cela signifie que la distribution est décalée à droite de la médiane (Exemple : crues de mois d'Avril 88, Mai 88, Juin 90, Août 90, Septembre 90, février 91, octobre 91, et septembre 91...) (ANNEXE I Tableau VI-4) .

A la station PK50, nous n'avons pas sélectionné les crues, car les données fournies par l'ANRH ne permettent pas l'établissement des hydrogrammes et des turbidigrammes complets, subséquemment nous avons travaillé avec la série complète des données de débits et de concentrations. Le traitement statistique des deux variables (Q_l , C) montre que les données présentent une homogénéité avec un écart-type de 2,12 pour les débits liquides, et de 3,57 pour les concentrations, ainsi qu'une asymétrie positive des deux séries 9,39 pour les débits liquides et 8,50 pour les concentrations des sédiments solides (ANNEXE I Tableau VI-5).

A la station hydrométrique Oued Taria, le traitement statistique révèle un écart type d'une valeur un peu élevé, ce qui indique une dispersion des valeurs, s'éloignant davantage de la moyenne. Les deux séries présentent une asymétrie positive dans la majorité des crues, sauf celles du mois de septembre, octobre 94 et 95, janvier, février 96, novembre 99, janvier 2001, qui indiquent une asymétrie négative (ANNEXE I Tableau VI-6).

Le traitement statistique des paramètres (Q_l et C) à la station Khalouia, indique un écart-type très élevé qui atteint 119,66 (crue de février 86, février 87) et 200 pour la crue de Janvier 2000, ce qui signifie une grande dispersion des données qui sont étalées sur une plage de valeurs plus large. Les deux séries des variables sont positives dans la majorité, sauf quelques valeurs négatives enregistrées pour les crues des mois de novembre 97, septembre 99, octobre 2000, novembre 2001, décembre 2003, et septembre 2004 (ANNEXE I Tableau VI-7).

La station hydrométrique trois rivières, présente un écart-type très élevés dans quelques cas : pour la crue de mois d'octobre 93 l'écart type est de 105,55 ; septembre 94 l'écart type égale à 162,46, une valeur de $\sigma = 154,98$ pour août 97, et $\sigma = 117,83$ durant la crue de mois d'octobre 2001. Cela signifie que les données sont très dispersées, et ne présentent pas la moyenne. A noter aussi, que les données présentent une asymétrie positive

dans la majorité des cas, sauf quelques crues de janvier 88, juillet 89, et mai 90 avec des coefficients d'asymétrie négative mais qui s'approche au zéro, qui ont des valeurs respectives: -0,03, -0,31, et -0,07 (ANNEXE I Tableau VI-8). Ce qui reflète les valeurs extrêmes (loin de la moyenne calculée) des deux variables durant les événements hydrologiques singuliers (crues).

VI-4-2- Analyse de la variabilité des crues :

Tous les phénomènes météorologiques à l'origine de la crue et les conditions d'écoulement initiales sont nécessaires à la compréhension de l'évènement crue. Par ailleurs, les variations des eaux après la phase de croissance (étale, double pics, décroissance) font aussi partie de l'évènement appelé souvent épisode crue (Gaume. E, et al, 2012).

Selon le type d'analyse ou l'objectif d'étude, nous décrivons la crue par les données suivantes :

- Les hydrogrammes de crues,
- Les lignes d'eau instantanées du cours d'eau et leurs variations dans le temps,
- Les champs d'inondations du cours d'eau et leurs variations dans le temps,
- Les caractéristiques hydrauliques, morphodynamiques, et météorologiques.

Comme l'objectif de notre étude est de quantifier le transport solide et l'érosion dans le bassin versant de la Macta, nous avons décrit toutes les crues enregistrées et sélectionnées dans les cinq sous bassins étudiés par l'hydrogramme de crues (exprimé en débits liquides du cours d'eau et leurs variations dans le temps), (**l'Annexe II**).

Le tableau (VI-9) montre la répartition des débits liquides spécifiques maximums selon des classes que nous avons choisies, dont l'objectif est de comparer entre les sous bassins versants étudiés.

Nous constatons que la classe des débits spécifiques inférieurs à 10 l/s/km² (<10) est la plus dominante avec des pourcentages très élevés pour les quatre sous bassins : Sidi Bel Abbès 79,81%, 96,03% pour PK50, 53,45% pour Oued Taria, et 78,57% pour Trois Rivières, tandis que la classe prédominante pour Khalouia est celle des débits spécifiques compris entre 10 et 30 l/s/km² avec un pourcentage significatif de 34,55%. A noter aussi, que ce dernier S/bassin enregistre des débits spécifiques supérieurs à 200 l/s/km² avec un pourcentage de 9,09%.

Tableau (VI-9) : Nombre de crues en pourcentage réparties selon les classes des débits liquides spécifiques maximums pour les cinq stations de jaugeage.

Classe des Débits liquides Spécifiques Maximums (l/s/km ²)	Sidi bel Abbès	PK50	Oued Taria	Khalouia	Trois Rivières
$Q_1 < 10$	79,81	96,03	53,45	29,09	78,57
$10 < Q_1 < 30$	15,02	3,33	21,84	34,55	16,43
$30 < Q_1 < 50$	4,23	0,41	9,20	7,27	0,00
$50 < Q_1 < 100$	0,94	0,24	9,20	9,09	2,86
$100 < Q_1 < 200$	0	0	6,32	10,91	1,43
$Q_1 > 200$	0	0	0	9,09	0,71

VI-4-3- Puissance des crues sélectionnées :

En fonction des différents facteurs de formation et de distribution, spatiale et temporelle des précipitations, nous distinguons :

VI-4-3-1- Les crues méditerranéennes (crues d'orages) :

Localisées et brutales, constituent un premier cas extrême typique. Ces crues se produisent principalement en automne, et avec un peu moins de violence au printemps. Elles peuvent toucher de grandes espaces (crues extensives), ou être moins étendues, mais violentes notamment sur les reliefs (Gaume. E, et al, 2012). Les crues méditerranéennes sont provoquées par des averses de début de saison, de type orageux, de courtes durées avec de fortes intensités. Les averses sont généralement localisées dans l'espace et se produisent sur des sols secs.

Les crues générées par ces averses sont caractérisées par des temps de montée très courts et les débits de pointe peuvent être importants.

VI-4-3-2- Les fortes crues généralisées :

Ce groupe qui constitue un autre ensemble assez caractéristique des pluies génératrices de crues exceptionnelles. Ces précipitations surviennent généralement durant les saisons d'hiver et de printemps, et plus particulièrement durant les mois de février et mars : les crues de ce groupe sont caractérisées par des précipitations longues, régulières, continues, présentant des intensités faibles à moyennes peu agressives avec des débits de pointe assez importants.

VI-4-3-3- Les crues intermédiaires :

Cette série intermédiaire entre les deux cas extrêmes précédents comporte :

- ✓ Des crues d'automne (crues-éclair) provoquées par des précipitations désorganisées et caractérisées par des hydrogrammes complexes, les sols sont secs et mal protégés.
- ✓ Des crues d'hiver ou de printemps provoquées par des précipitations peu importantes et des débits faibles ou moyens (Demmak, 1982).

Les crues sélectionnées pour les quatre stations considérées dans cette étude, ont été classées en pourcentages suivant leurs dominances durant les quatre saisons, (Tableau VI-10):

Tableau (VI-10) : Classifications en pourcentage des crues sélectionnées par saison.

S/Bassin Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Sidi Bel Abbès	47,42	20,66	21,12	10,80
Oued Taria	39,08	29,31	18,39	13,22
Khalouia	43,64	40,00	14,54	1,82
Trois Rivières	32,86	17,14	28,57	21,43

Nous constatons que la majorité des crues ont été enregistrées durant la saison d'automne, donc le bassin versant de la Macta est caractérisé par des crues méditerranéennes (Sidi Bel Abbès 47,42% avec un débit de pointe maximal de 161,80 m³/s crue de 23/10 au 24/10/2000, Khalouia 43,64% avec un débit maximal de 135,88 m³/s crue du 10/11 au 12/11/2001, Oued Taria 39,08% avec un débit de pointe maximal de 191 m³/s crue du 17/10

au 18/10/1994, et Trois Rivières 32,86% avec un débit de pointe maximal de 792,40 m³/s du 26/09 au 29/09/1994, et un débit extrême de 1450 m³/s pour la crue de 09/10 au 17/10/2001).

Les crues généralisées enregistrées en hiver et printemps arrivent en seconde position avec un pourcentage moins élevé, sauf pour la station de Khalouia qui est de 40% en hiver.

Il faut noter que durant la saison d'été, nous avons enregistrées des crues fortes dans les S/bassins suivants :

- cas de la station de Sidi Bel Abbès : des débits liquides de pointes de 170 m³/s (crue de 16/09/1997), et 113,80 m³/s (crue du 26/08 au 28/08/1997).
- Station d'Oued Taria : 131,25 m³/s (crue du 17/07 au 21/07/1990), 126,60m³/s (crue du 24/08/1997).
- Station Trois Rivières des débits de pointes de 90 m³/s (crue de 16/09 au 22/09/1997).

VI-5- ESTIMATION DES APPORTS EN EAU :

L'estimation des apports en eau moyens annuels dans un bassin versant est la phase primordiale pour un bon dimensionnement des ouvrages hydrauliques (capacité en eau d'un barrage, déversoir, évacuateur des crues, conduite de fond...).

L'apport en eau annuel et saisonnier exporté par les oueds étudiés est calculé par la formule suivante (Terfous. A, et al., 2001) :

$$A_L = \sum_{j=1}^N \frac{[Q_{L(j+1)} + Q_{Lj}]}{2} \cdot (t_{j+1} - t_j) \quad \text{(VI-1)}$$

Où :

A_L : est l'apport liquide annuel ou saisonnier en (m³/an) ;

Q_{Lj} : correspond au débit liquide à l'instant t_j en (m³/s);

N : est le nombre de prélèvements effectués sur l'année et la saison considérée ;

$(t_{j+1} - t_j)$: est le pas de temps séparant deux prélèvements consécutifs en (seconde). Au

moment des événements (crues), les prélèvements sont intensifiés, et donc par la suite, le pas de temps est réduit.

Les bilans annuels des apports liquides calculés pour chaque sous bassin versant sont illustrés sur le tableau (VI-11).

Tableau (VI-11) : Les Apports en eau moyens annuels des stations étudiées.

Station Khalouia		Station Trois Rivières		Station Oued Taria		Station Sidi Bel Abbès		Station PK50	
ANNEE	AL (10 ⁶ m ³ /AN)	ANNEE	AL (10 ⁶ m ³ /AN)	ANNEE	AL (10 ⁶ m ³ /AN)	ANNEE	AL (10 ⁶ m ³ /AN)	ANNEE	AL (10 ⁶ m ³ /AN)
85 - 86	0,769	86 - 87	38,032	86 - 87	18,256	87 - 88	4,913	79 - 80	11,183
86 - 87	0,725	87 - 88	26,568	87 - 88	1,621	88 - 89	1,805	80 - 81	9,613
87 - 88	1,006	88 - 89	12,412	88 - 89	1,252	89 - 90	8,361	81 - 82	8,501
88 - 89	1,924	89 - 90	41,897	89 - 90	5,987	90 - 91	3,365	82 - 83	7,702
89 - 90	0,069	90 - 91	71,058	90 - 91	34,249	91 - 92	3,667	85 - 86	0,390
90 - 91	0,288	91 - 92	13,265	91 - 92	5,572	92 - 93	1,876	86 - 87	10,118
91 - 92	0,158	92 - 93	3,946	92 - 93	3,618	93 - 94	1,331	87 - 88	8,448
92 - 93	0,118	93 - 94	8,236	93 - 94	11,065	94 - 95	0,459	88 - 89	0,522
93 - 94	0,090	94 - 95	51,873	94 - 95	30,888	95 - 96	7,034		
94 - 95	0,368	95 - 96	20,441	95 - 96	42,563	96 - 97	16,051		
95 - 96	0,104	96 - 97	54,777	96 - 97	17,918	97 - 98	7,7		
96 - 97	0,958	97 - 98	28,349	97 - 98	11,183	98 - 99	6,528		
97 - 98	1,307	98 - 99	5,590	98 - 99	6,931	99 - 00	11,384		
98 - 99	0,034	99 - 00	1,316	99 - 00	13,031	00 - 01	20,697		
99 - 00	0,856	00 - 01	0,871	00 - 01	30,341	01 - 02	21,053		
00 - 01	1,843	01 - 02	57,660	01 - 02	11,466	02 - 03	4,686		
01 - 02	3,203	02 - 03	16,489	02 - 03	14,719	03 - 04	8,435		
02 - 03	1,248	03 - 04	48,418	03 - 04	15,996	06 - 07	0,737		
03 - 04	0,270	04 - 05	23,327	04 - 05	6,365				
04 - 05	1,092	05 - 06	21,469	05 - 06	3,002				
05 - 06	3,202	06 - 07	20,137	06 - 07	92,767				
06 - 07	0,618	07 - 08	26,241						
07 - 08	2,528								

Les apports moyens annuels des cinq sous bassins versants varient selon la série de référence comme suit :

- Le sous bassin de la plaine de Ghriss contrôlé par la station hydrométrique Khalouia enregistre un apport minimal de 34 000 m³ durant l'année hydrologique 1998/1999, et un maximum de plus de 3 millions de m³ durant l'année hydrologique 2001/2002.
- Le sous bassin d'oued el Hammam contrôlé par la station hydrométrique Trois Rivières est caractérisé par un apport moyen annuel maximal plus de 71 millions de m³ durant l'année hydrologique 1990/1991, tandis que l'année 2000/2001 accumule un apport liquide de 871 milles m³.

- L'apport en eau moyen annuel de l'année hydrologique 2006/2007 pour le sous bassin d'Oued Taria est le plus élevé 92 millions m³/an, alors que l'année 1988/1989 a enregistré un apport de 1,252 million m³.
- Le sous bassin versant de Sidi Bel Abbès durant l'année hydrologique 2001/2002 a enregistré un volume liquide dépassant 21 millions m³, et de 459 milles de m³ pendant l'année hydrologique 1994/1995.
- Et pour le dernier sous bassin versant d'Oued Saida contrôlé par la station hydrométrique PK50, les volumes d'eau sont de 390 milles m³ durant l'année hydrologique 1985/1986, et un maximum de 11 millions de m³ pour l'année 1979/1980.

Les variations interannuelles des volumes en eau sont généralement moins significatives que celles saisonnières. A cet effet, une deuxième estimation a été établie pour mieux déterminer les fortes disponibilités en eau pendant les saisons Tableau (VI-12).

Tableau (VI-12) : Les Apports en eau (Millions m³) par saison des cinq sous bassins étudiés selon les années de référence de chaque station.

	Station Sidi Bel Abbès	Station PK50	Station Khalouia	Station Oued Taria	Station Trois Rivières
AUTOMNE	73,614	13,850	10,556	108,024	201,542
HIVER	6,470	27,920	7,964	69,789	102,009
PRINTEMPS	15,879	9,019	2,435	30,938	158,332
ETE	30,160	4,649	0,144	23,085	125,868

Nous découvrons que la saison d'automne est la plus dominante en volume d'eau pour les quatre sous bassins étudiés, ce qui traduit la violence de ruissellement et des forts débits liquides durant les crues enregistrées durant cette saison.

A noter aussi que la saison hivernale est la plus dominante en volume liquide pour la station PK50 (plus de 27 millions de m³).

VI-6- CONCLUSION :

En raison de l'aggravation du réchauffement climatique et de ses effets, des phénomènes hydrographiques extrêmes ont été fréquemment observés. Le changement climatique a accru la concentration, le volume et l'intensité des précipitations, ce qui a eu un impact significatif sur le ruissellement et l'érosion des sols dans de nombreux bassins versants (Dutucu, A. A., et al., 2025).

L'étude hydrologique des sous bassins versants étudiés dépend directement des données disponibles observées et des mesures effectuées au niveau des stations hydrométriques à l'intérieur de chaque sous bassin, ainsi que de leurs répartition spatio-temporelle.

C'est ainsi que la fiabilité d'une telle étude nécessite un traitement statistique des données hydrologiques de base.

Dans cette étude hydrologique, les résultats trouvés donnent une bonne conformité avec la réalité physique des phénomènes hydrologiques des sous bassins versants étudiés de la Macta.

L'abondance de l'écoulement dans la majorité de nos sous bassins étudiés est très faible, alors que le ruissellement a un effet positif et significatif sur la production de sédiments (Shravan Kumar S. M, et al., 2024).

La majorité des crues observées durant les années de référence pour les sous bassins est classée en crues méditerranéennes avec un pourcentage dépassant 45 %. On observe davantage de précipitations hivernales en mars, tandis que la majeure partie des précipitations estivales est reçue en mois d'Août (Sarwar, A., et al., 2024).

La saison automnale est caractérisée par l'apport liquide le plus élevé durant les années hydrologiques étudiées.

Par ailleurs, il faut mettre également en évidence l'intérêt des approches interdisciplinaires en hydrologie, géomorphologie et gestion des bassins versants, contribuant ainsi à une gouvernance plus durable des bassins fluviaux face aux changements climatiques et environnementaux (Changyuan.T, et al., 2025).

CHAPITRE VII : QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION ET L'ÉROSION

VII-1- INTRODUCTION :

Comprendre les variabilités à long terme des effets extrêmes des phénomènes hydrologiques sur la variabilité de l'érosion des sols et du transport des sédiments représente un défi pour les sciences de l'environnement.

Les précipitations et autres agents climatiques sont les principaux facteurs déclencheurs de l'érosion des sols dans la région méditerranéenne, où ils peuvent accroître le débit et le transport des sédiments et entraîner des modifications à long terme du système fluvial. Pour les cinq sous bassins versants de notre étude, nous avons estimé les variations de l'érosion nette en fonction des caractéristiques géographiques des sous bassins versants, de la répartition saisonnière et annuelle des débits liquides et des concentrations des sédiments solides.

Dans cette étude nous allons analyser la variation de la production de sédiments, le transport des sédiments et la distribution des dépôts d'érosion à l'échelle du bassin versant. L'étude s'est basée sur le bassin de la Macta, l'un des plus grands bassins du l'Ouest d'Algérie.

A cet effet, nous allons appliquer une approche de modélisation par régression entre les débits liquides – débits solides pour trouver le modèle empirique (Rating Curve) (Megnounif. A, 2007), estimer le transport solide en suspension et par la suite quantifier l'érosion et le taux d'érodabilité dans les différents sous bassins étudiés.

VII-2- METHODOLOGIE DE QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION :

Des mesures systématiques du débit d'eau instantané et de la concentration de sédiments en suspension ont été effectuées par l'Agence Nationale des Ressources en Eau.

La présente étude couvre différentes périodes de mesures instantanées de débit d'eau et de concentration des sédiments en suspension aux cinq stations de jaugeage (Tableau VI-1). L'intervalle de temps entre deux mesures successives de débit liquide est estimé à 15 minutes, pouvant être étendu à 30 minutes.

Les variations de débit permettent d'identifier des événements de crue (les crues ont été sélectionnées par rapport aux valeurs des débits liquides qui étaient supérieures à celles du débit liquide moyen). Les débits d'eau sont directement donnés par la courbe de tarage ($H = f(Q_L)$) et les hauteurs d'eau mesurées par une échelle limnimétrique et un enregistreur de niveau d'eau.

À chaque mesure de débit, des échantillons d'eau sont prélevés près du lit de la rivière afin de déterminer la concentration de sédiments en suspension (Le traitement des matières en suspension prélevées se fait au laboratoire par la décantation, filtrage avec un filtre de type Laurent ($\varnothing = 32$ cm), séchage à l'étuve à 110°C durant 30 minutes et la pesée). Concernant l'évaluation du transport de sédiments pendant une phase de montée des eaux, elle est effectuée de la même manière que pour les débits d'eau, sur la base de l'examen des enregistrements. Avant le tracé du solidigraphe, les relevés d'échantillonnage sur le graphique de niveau d'eau sont nécessaires.

Les valeurs de concentration en fonction du débit liquide sont reportées sur le graphique (Figure VII-1).

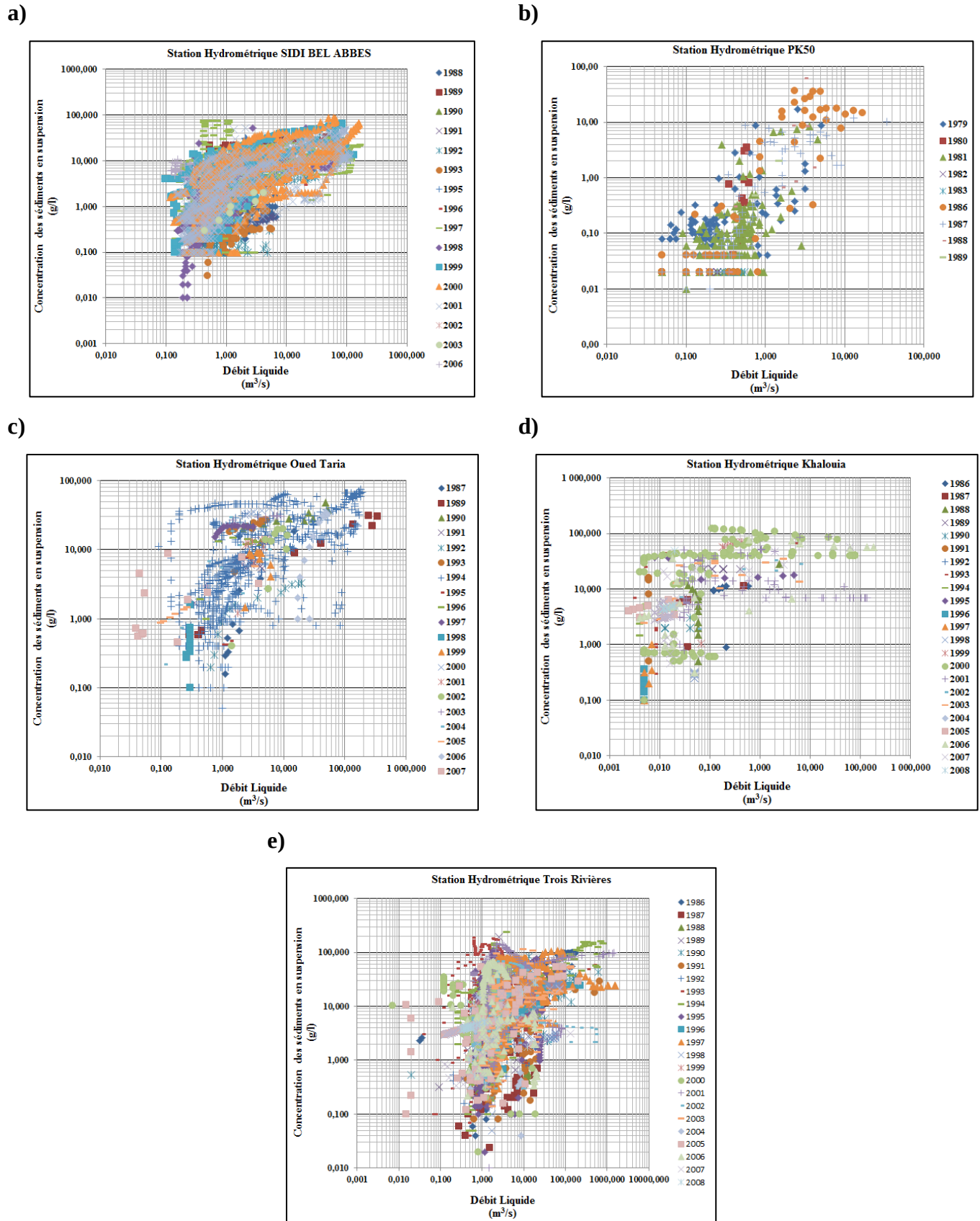


Figure (VII-1) : Graphes combinés des C_{ss} en fonction des débits liquides instantanés de toute la série et à l'échelle des événements (Prélevés aux cinq différentes stations de jaugeage : a) Station de Sidi Bel Abbès, b) Station PK50, c) Station Oued Taria, d) Station Khalouia, e) Station Trois Rivières.

VII-3- MODELISATION DU TRANSPORT DES SEDIMENTS EN SUSPENSION :**VII-3-1- Etablissement de Régressions entre Débits Solides - Débits Liquides :**

Pour étudier les réponses des cinq sous bassins versants aux débits liquides et matières en suspension au cours de la série d'observation, nous avons porté sur les valeurs instantanées des débits liquides en (m³/s) et des débits solides en (Kg/s) (débits solides sont calculés en multipliant les concentrations des sédiments en suspension par les débits liquides).

Nous avons sélectionné les journées de crues pour lesquelles un nombre suffisant et représentatif de prélèvements a été effectué permettant une bonne reconstitution du turbidigramme.

La courbe du transport solide est une relation empirique, qui relie le débit solide au débit liquide (Cambell. F.B, et al., 1940 ; Crawford, 1991). Cette relation est établie à partir d'ajustement de droites par la méthode des moindres carrés sur les nuages de points reportés sur une échelle logarithmique. Généralement ces tracés graphiques démontrent une dispersion considérable, même en coordonnées logarithmiques.

Pour les données de toutes les stations étudiées, les regroupements ont été effectués suivant quatre saisons : Automne, hiver, printemps, été, et annuelle (Figures : VII-2, VII-3, VII-4, VII-5, et VII-6). Ensuite, nous avons analysé la relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension.

Nous avons constaté que le débit solide et le débit liquide évoluent en général suivant un modèle de puissance (Etchanchu et al, 1986; Benkhaled. A, et Remini. B, 2003).

$$Q_s = a. Q_l^b \quad \text{(VII-1)}$$

Où :

a et b sont des paramètres, dont l'exposant b, fonction des caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques du bassin versant considéré.

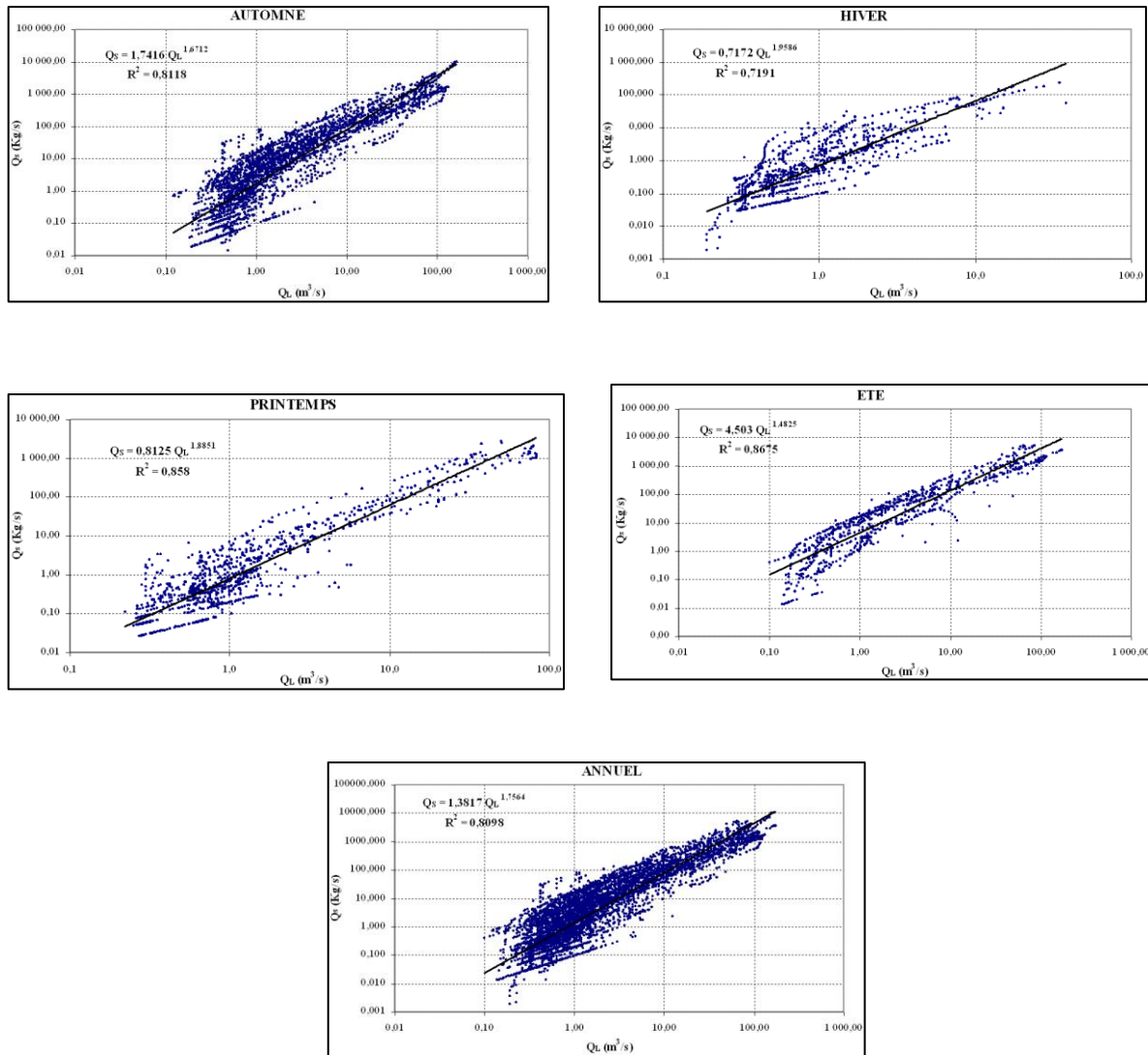


Figure (VII-2) : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique Sidi Bel Abbès
(Période : 1987 - 2007).

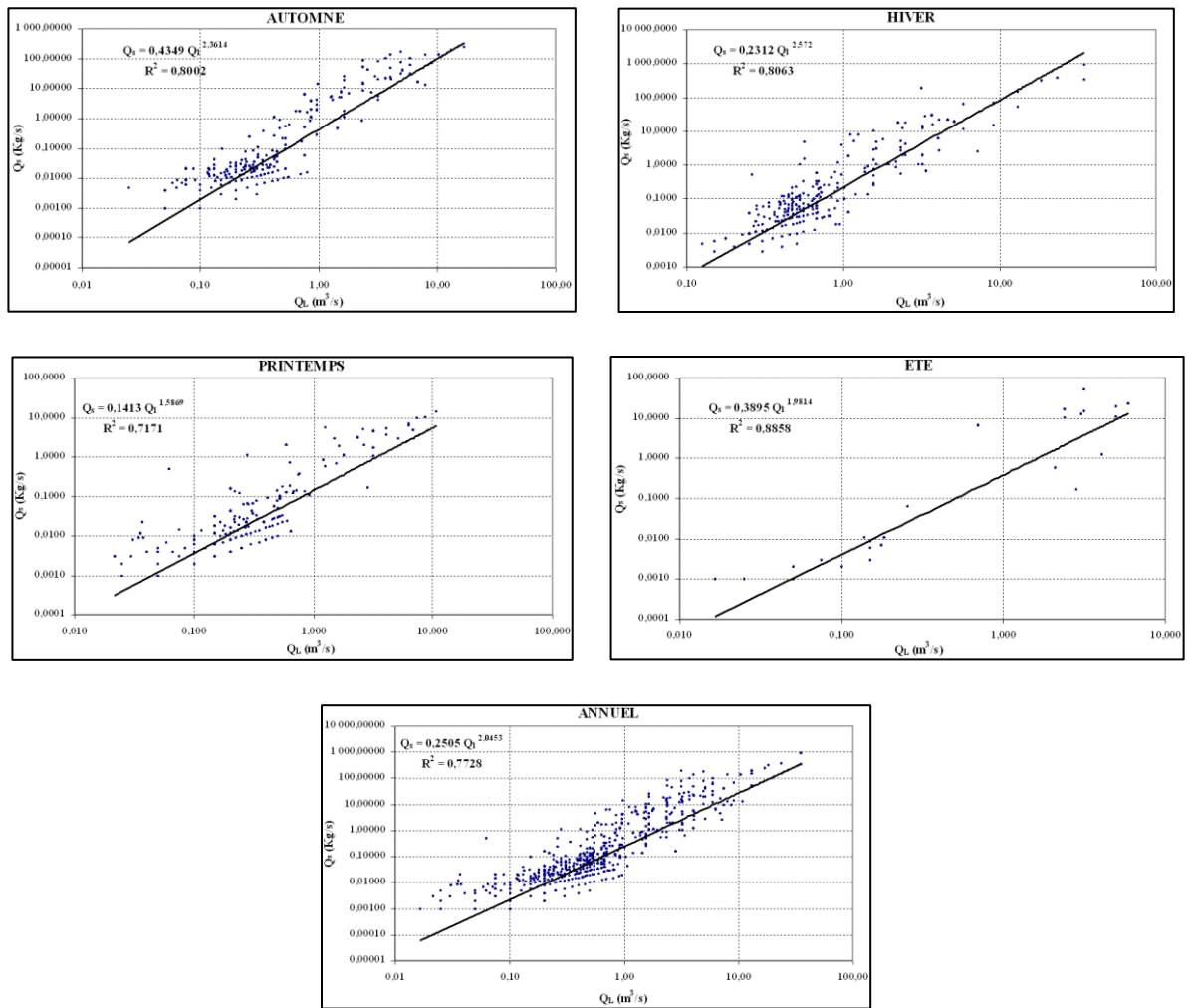


Figure (VII-3) : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique PK50
(Période : 1979 - 1989).

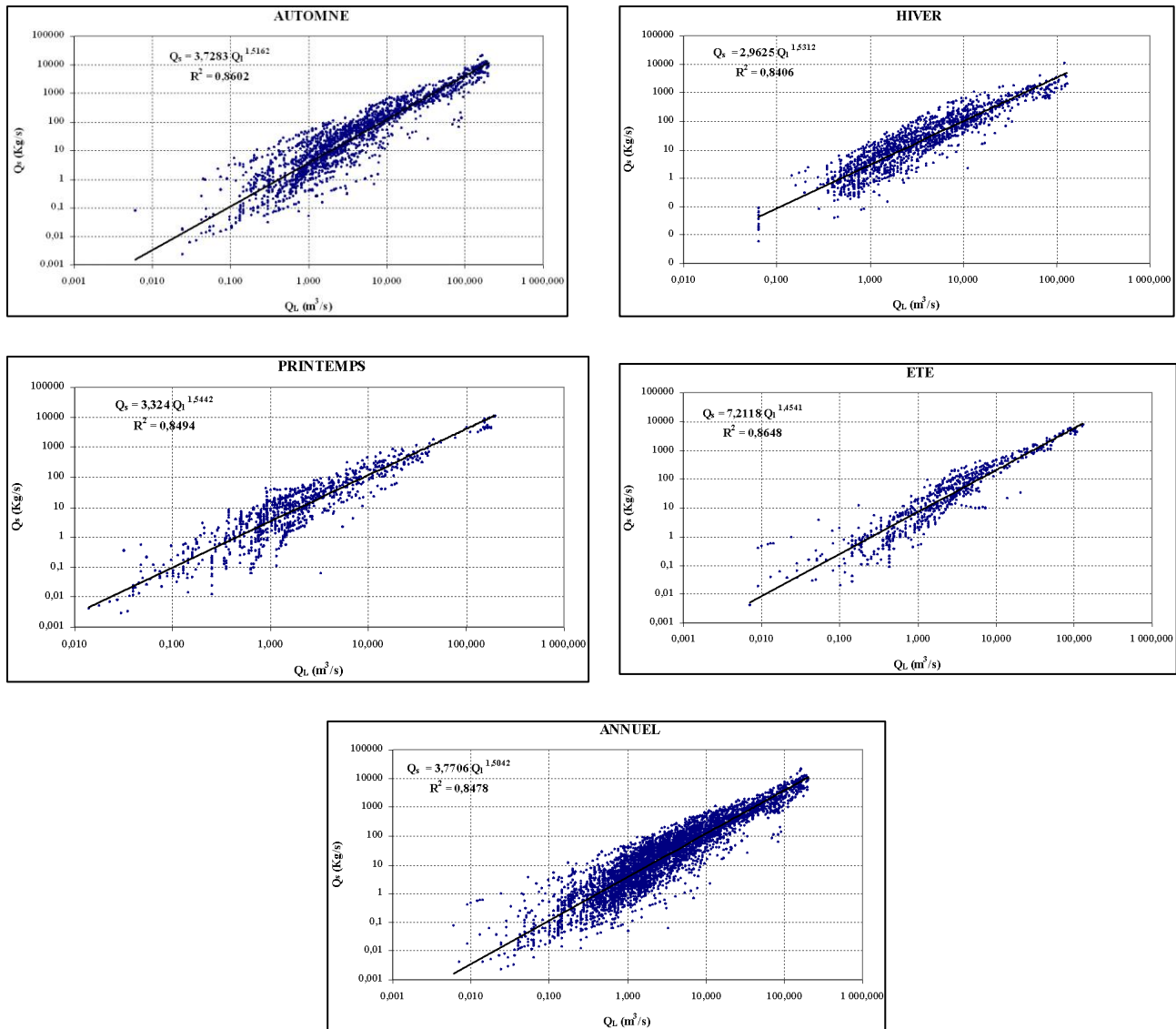


Figure (VII-4) : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique Oued Taria
(Période : 1986 - 2007).

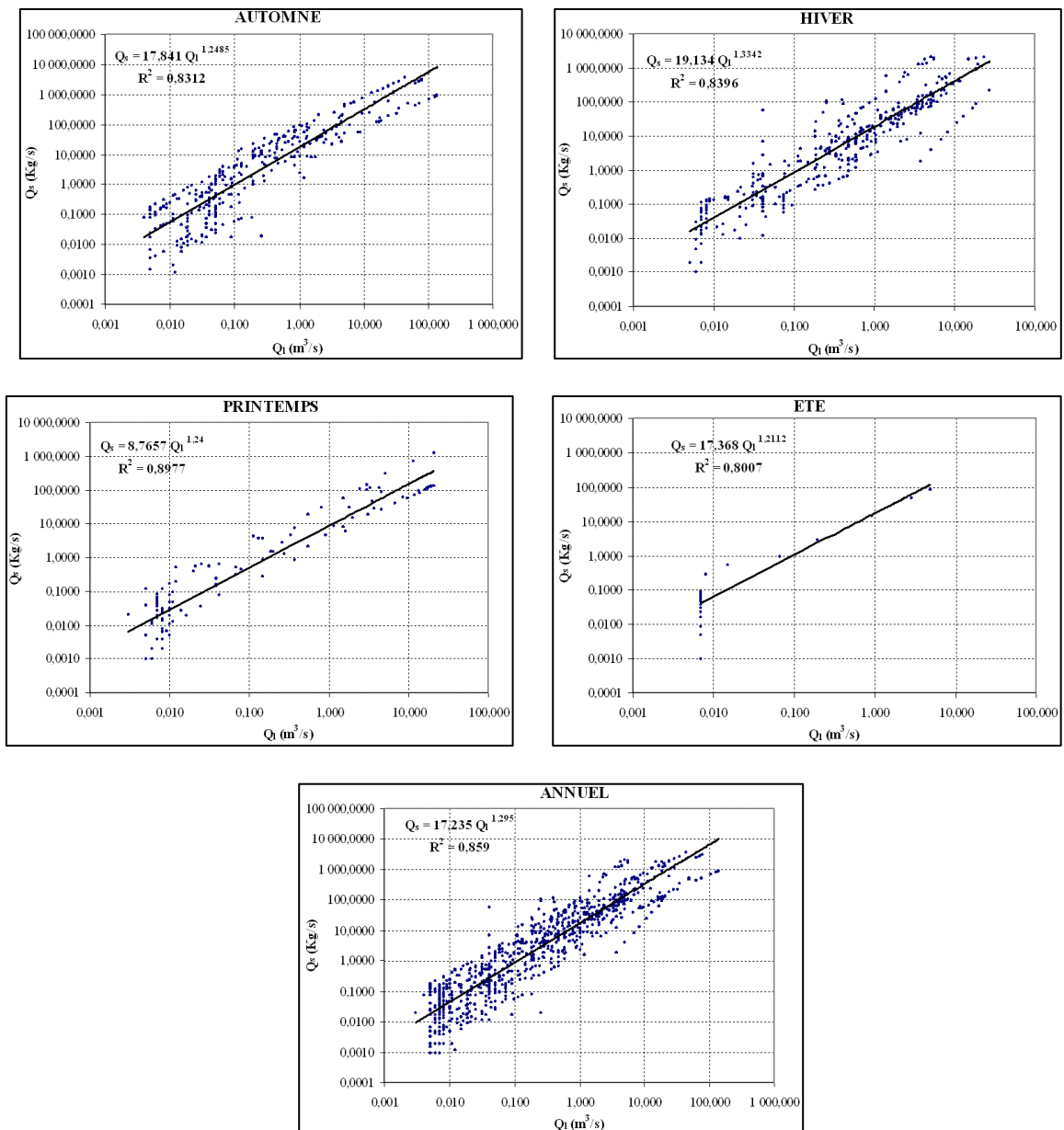


Figure (VII-5) : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique Khalouia
(Période : 1985 - 2008).

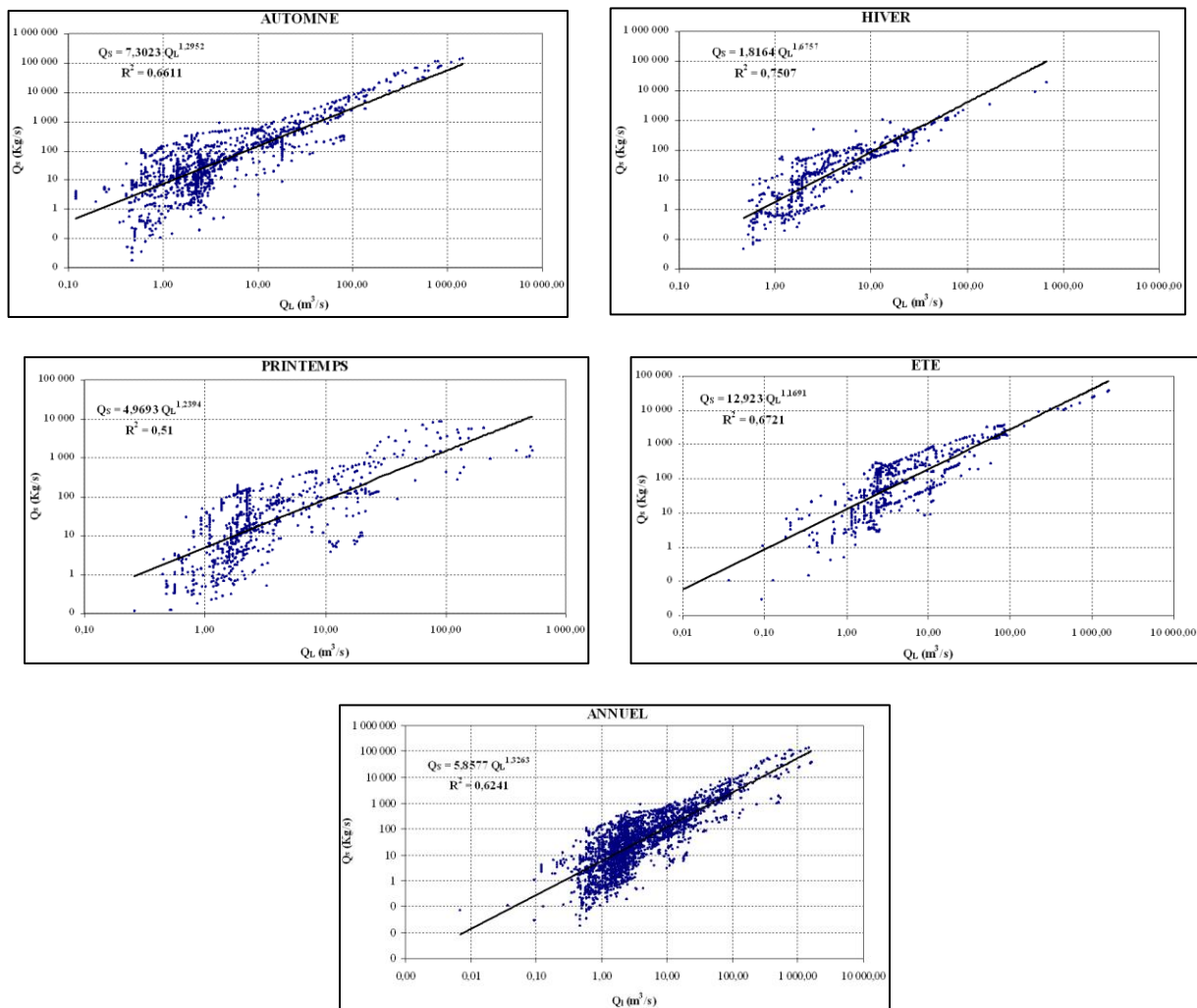


Figure (VII-6) : Courbes de Transport Solide à la station hydrométrique Trois Rivières

(Période : 1986 - 2008).

VII-3-1-1- Interprétation des Résultats :

Les modèles dans leur majorité, expliquent une forte corrélation car plus les valeurs de R^2 sont proches de 1, plus le modèle est précis (Tableau VII-1).

Il est à noter qu'à l'échelle des crues saisonnières, les courbes de transport solide ont une allure très fine, car les données sont caractérisées par des paramètres de dispersion plus faibles que celles des données annuelles, ce qui explique l'effet du contraste saisonnier sur le transport solide.

Le taux de la variance expliqué est plus élevé en saison chaude ($R^2 > 80\%$) qu'en saison froide.

Les valeurs des coefficients de régression des courbes de transport solide sont supposées dépendre de la sévérité de l'érosion, de la disponibilité des sédiments dans une certaine zone, de la puissance de la rivière à éroder et à transporter le matériel solide existant, et de la mesure dans laquelle de nouvelles sources de sédiments deviennent disponibles dans des conditions météorologiques qui provoquent un débit élevé (Asselman 2000). Selon Morgan (1995), l'érodibilité des sols est représentée par le coefficient **a**. Des valeurs élevées du coefficient **a** se produisent dans les zones caractérisées par des matériaux solides qui peuvent être facilement érodés et transportés. C'est le cas observé dans la zone d'étude en automne et à la fin de l'été ($a = 17,84$ à la plaine de Ghriss pendant l'automne, et $a = 19,134$ pendant l'hiver ce qui explique la facilité de transport des matériaux à cause des orages intenses), alors que pour les autres sous bassins (plaine de Sidi Bel Abbès, plaine de Saida, Oued El Hammam et Oued Taria, le coefficient **a** est relativement faible. Cela peut être dû à la destruction des agrégats de particules solides à la surface du lit du bassin, causée par la pluie après une longue saison sèche caractérisée par de fortes températures. Le ruissellement commence avec la pluie, assurant le transport des particules solides détachées. De plus, en saison chaude, les sols sont très souvent découverts ou mal protégés. Cette situation accentue le phénomène érosif du sol en raison des fortes énergies produites par les orages courts (pluies de fortes intensités). Cependant, en hiver, où l'évapotranspiration est faible, l'eau captée par la végétation est principalement restituée au sol par drainage. Cette partie des précipitations peut ainsi atteindre le sol après un certain temps, et la quantité d'eau perdue est négligeable. Dans ce cas, le ruissellement est retardé et atténué, ce qui donne une capacité érosive limitée.

Le coefficient **b** représente la puissance érosive de la rivière. Des valeurs de **b** élevées sont indicatives de rivières avec une forte augmentation de la puissance érosive et de la capacité de transport de sédiments lorsque le débit augmente. Selon Walling (1974), les valeurs de **b** varient avec la distribution granulométrique des matériaux solides disponibles pour le transport, c'est-à-dire que dans les cours d'eau caractérisés par des sédiments de la taille du sable, la puissance du cours d'eau à transporter les sédiments est plus importante que dans les cours d'eau qui transportent principalement du limon et de l'argile. Comme discuté précédemment, les sous-bassins étudiés sont principalement formés de grès et d'argile de l'Oligocène, ce qui explique évidemment les faibles valeurs de **b** trouvés en toutes saisons ($1,482 \leq b \leq 1,958$ pour la plaine de Sidi Bel Abbès ; $1,586 \leq b \leq 2,571$ pour la plaine de Saida, pour le sous bassin versant d'Oued Taria $1,454 \leq b \leq 1,544$; la plaine de Ghriss a enregistré $1,211 \leq b \leq 1,334$, tandis que le sous bassin d'Oued El Hammam le coefficient **b** varie comme suit $1,169 \leq b \leq 1,675$).

Une analyse qualitative plus détaillée des paramètres de la relation de puissance Débit solide - Débit liquide, à savoir :

L'exposant **b** représente la pente de la courbe sur une échelle log-log, tandis que Bogardi (1974) suggère que l'exposant **b** et la constante **a** reflètent les caractéristiques du bassin versant. Vanoni (1977) considère que le paramètre **a** représente l'indice d'érodabilité du sol, et l'exposant **b** peut prendre la valeur de 2 ou 3 pour les rivières où le lit est du sable. Selon Fleming (1969), le paramètre **b** varie de 0,72 à 1,02 ; tandis que **a** peut prendre des valeurs de 4 jusqu'à 446 pour différents couverts végétaux. Dawdy (1967) conclut que **a** est une constante pour un canal quelconque, et **b** = 1,2. Battala et al. (1992) a trouvé **b** = 1,63 ; tandis que la constante **a** est petite. Remini et Benkhaled (2003) ont démontré que la constante **a** représente l'état de sol, alors que l'exposant **b** est bien relié aux caractéristiques de l'écoulement.

Tableau (VII-1) : Valeurs a et b des équations obtenues, et les coefficients de corrélation de toutes les courbes de transport solide.

Station	Saison	a	b	R ² (%)	Modèle Puissance Obtenu
Sidi Bel Abbès	Automne	1,746	1,671	81,18	$Q_s = 1,746 Q_L^{1,671}$
	Hiver	0,717	1,958	71,91	$Q_s = 0,717 Q_L^{1,958}$
	Printemps	0,812	1,885	85,80	$Q_s = 0,812 Q_L^{1,885}$
	Été	4,503	1,482	86,75	$Q_s = 4,503 Q_L^{1,482}$
	Annuel	1,381	1,756	80,98	$Q_s = 1,381 Q_L^{1,756}$
PK50	Automne	0,434	2,361	80,02	$Q_s = 0,434 Q_L^{2,361}$
	Hiver	0,231	2,572	80,63	$Q_s = 0,231 Q_L^{2,572}$
	Printemps	0,141	1,586	71,71	$Q_s = 0,141 Q_L^{1,586}$
	Été	0,389	1,981	88,58	$Q_s = 0,389 Q_L^{1,981}$
	Annuel	0,250	2,045	77,28	$Q_s = 0,25 Q_L^{2,045}$
Oued Taria	Automne	3,728	1,516	86,02	$Q_s = 3,728 Q_L^{1,516}$
	Hiver	2,962	1,531	84,06	$Q_s = 2,962 Q_L^{1,531}$
	Printemps	3,324	1,544	84,94	$Q_s = 3,324 Q_L^{1,544}$
	Été	7,211	1,454	86,48	$Q_s = 7,211 Q_L^{1,454}$
	Annuel	3,770	1,504	84,78	$Q_s = 3,77 Q_L^{1,504}$
Khalouia	Automne	17,840	1,248	83,12	$Q_s = 17,84 Q_L^{1,248}$
	Hiver	19,134	1,334	83,96	$Q_s = 19,134 Q_L^{1,334}$
	Printemps	8,765	1,240	89,77	$Q_s = 8,765 Q_L^{1,24}$
	Été	17,368	1,211	80,07	$Q_s = 17,368 Q_L^{1,211}$
	Annuel	17,235	1,295	85,90	$Q_s = 17,235 Q_L^{1,295}$
Trois Rivières	Automne	7,362	1,295	66,11	$Q_s = 7,362 Q_L^{1,295}$
	Hiver	1,816	1,675	75,07	$Q_s = 1,816 Q_L^{1,675}$
	Printemps	4,969	1,239	51,00	$Q_s = 4,969 Q_L^{1,239}$
	Été	12,923	1,169	67,21	$Q_s = 12,923 Q_L^{1,169}$
	Annuel	5,857	1,326	62,41	$Q_s = 5,857 Q_L^{1,326}$

VI-4- ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES :

La quantité de sédiments produits, le mode et le moment de la sédimentation, la taille et la composition des grains de sédiments, et le transport au sein du réseau hydrographique sont des caractéristiques importantes du régime de sédimentation des bassins versants ; car les changements dans chacun de ces facteurs entraînent des changements dans la performance du bassin versant.

Par conséquent, la production de sédiments reflète l'importance et l'intensité des processus d'érosion et des sources de sédiments en amont du bassin versant, ainsi que la manière dont les sédiments sont transportés et déposés depuis le point de séparation des matériaux d'érosion jusqu'à leur exutoire.

À cette fin, l'estimation de flux sédimentaire est particulièrement importante pour l'élaboration de plans de gestion intégrés et de mesures de contrôle de l'érosion et de la sédimentation (Soleimanpour, S.M., et al., 2024).

Le flux annuel et saisonnier des matières solides en suspension exporté par les oueds étudiés est calculé par la formule suivante (Terfous, A, et al., 2001) :

$$A_s = \sum_{j=1}^N \frac{[(Q_{L(j+1)} \cdot C_{(j+1)}) + (Q_{Lj} \cdot C_j)]}{2} \cdot (t_{j+1} - t_j) \quad (\text{VII-2})$$

Où :

A_s : est l'apport solide annuel ou saisonnier en (T/an) ;

C_j : est la concentration mesurée à l'instant t_j en (Kg/s) ;

Q_{Lj} : correspond au débit liquide à l'instant t_j en (m^3/s) ;

N : est le nombre de prélèvements effectués sur l'année et la saison considérée ;

$(t_{j+1} - t_j)$: est le pas de temps séparant deux prélèvements consécutifs. Au moment des événements (crues), les prélèvements sont intensifiés, et donc par la suite, le pas de temps est réduit.

Par ailleurs, la dégradation spécifique A_{ss} est calculée par la formule ci-dessous :

$$A_{ss} = \frac{A_s}{S} \quad (\text{VII-3})$$

Avec : A_{ss} : la dégradation spécifique annuelle ou saisonnière en ($\text{T/Km}^2/\text{an}$) ;

A_s : est l'apport solide en (T/an) ;

S : la surface du sous bassin versant (Km^2).

VII-4-1- Apports solides et Dégradations Spécifiques à l'échelle annuelle :

Les évènements extrêmes associés à la production des sédiments soient caractérisées par des précipitations cumulées plus faibles, ils indiquent une plus grande propension du bassin à produire des sédiments. Ceci est cohérent avec la fréquence accrue des crues éclaircies observées dans la région méditerranéenne (Diodato, N, et al., 2022).

En revanche, l'apport sédimentaire enregistré au cours de la période d'observation au niveau des stations de jaugeage, malgré une diminution continue des précipitations extrêmes, a interrompu sa descente, déclenchant parfois des pics remarquables, comme en 2000/2001 pour la plaine de Sidi Bel Abbès où l'apport solide estimé est de 483 milles t/an, et de plus de 4 millions t/an au niveau du bassin de Oued El Hammam durant l'année 1994/1995 ; plus 1 million t/an d'apport solide a été calculé pendant l'année 1994/1995 au niveau du bassin d'Oued Taria, environ 183 milles t/an en 2005/2006 dans la plaine de Ghriss , et plus de 73 milles t/an à la plaine de Saida en 1986/1987, Figure (VII-7).

Le couvert végétal a également joué un rôle important au milieu de la série chronologique, lorsque le déboisement de nombreuses zones ne permet pas de mieux contenir le transport sédimentaire en aval, surtout lors d'événements extrêmes.

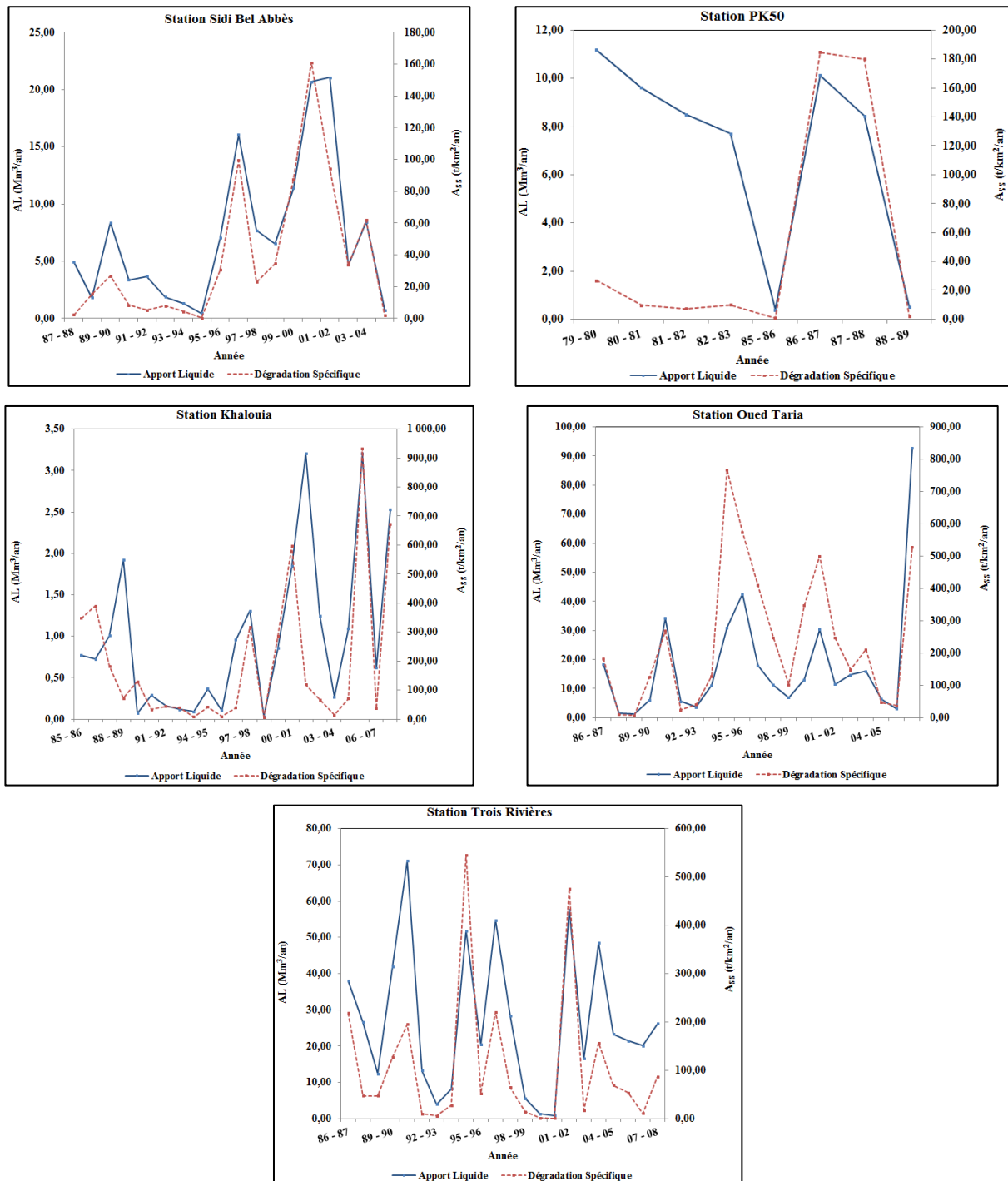


Figure (VII-7) : Variation annuelle des apports liquides et la dégradation spécifique dans les cinq sous bassins.

Les taux annuels de perte de sol déposés spatialement dans les sous bassins versants étudiés étaient très variables d'une année à une autre, et d'un bassin à un autre (Tableau VII-2). Si on prend à titre d'exemple l'année hydrologique 1987/ 1988, nous remarquons que ce taux est compris entre 2,23 et 183,07 t/km²/an (2,23 t/km²/an à Sidi Bel Abbès ; 180,05 t/km²/an à la station PK50 ; à la station Khalouia 183,07 t/km²/an ; à Oued Taria 97 t/km²/an ;

et au niveau de la station Trois Rivières 47,20 t/km²/an) ce qui a montré une forte hétérogénéité spatiale du potentiel d'érosion.

Ceci indique également, que la régulation des mesures de conservation des sols et de l'eau à l'échelle spatio-temporelle des effets du processus érosion dans les sous bassins est dans un équilibre instable, où des événements proches de tempêtes modérées à extrêmes peuvent parfois engendrer des conditions intolérables en matière d'érosion des sols. Dans ce contexte, l'année 1994/1995 mérite une mention particulière, car elle a enregistré le taux de sédimentation absolu le plus élevé de la série chronologique de la station de Trois rivières (545,09 t/ km²) et de 768,16 t/ km² au niveau de la station Oued Taria, en raison des fortes et multiples crues enregistrées dans la région en mois de septembre et octobre de cette année.

Tableau (VII-2) : Résultats des Apports solides Annuels et la Dégradation Spécifique dans les cinq sous bassins étudiés.

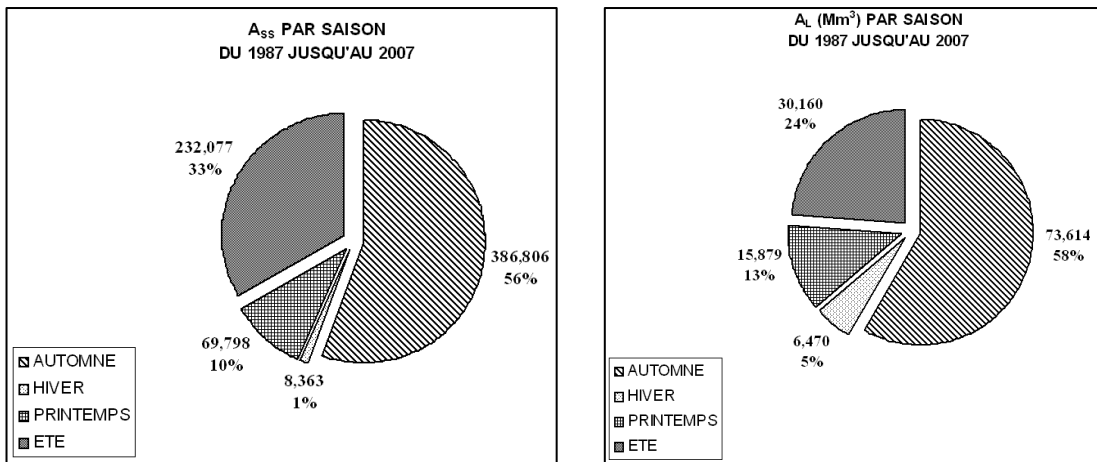
Station	Station Sidi Bel Abbès		Station PK50		Station Khalouia		Station Oued Taria		Station Trois Rivières	
ANNEE	A _s (T/AN)	A _{ss} (T/Km ² /AN)	A _s (T/AN)	A _{ss} (T/Km ² /AN)	A _s (T/AN)	A _{ss} (T/Km ² /AN)	A _s (T/AN)	A _{ss} (T/Km ² /AN)	A _s (T/AN)	A _{ss} (T/Km ² /AN)
79 - 80	-	-	10 677,13	26,69	-	-	-	-	-	-
80 - 81	-	-	3 886,09	9,72	-	-	-	-	-	-
81 - 82	-	-	2 904,27	7,26	-	-	-	-	-	-
82 - 83	-	-	3 984,56	9,96	-	-	-	-	-	-
85 - 86	-	-	378,37	0,95	68 189,68	347,91	-	-	-	-
86 - 87	-	-	73 906,13	184,77	76 411,57	389,86	247 639,58	181,42	1 623 133,79	218,16
87 - 88	6 701,48	2,23	72 018,06	180,05	35 881,71	183,07	13 275,65	9,73	351 151,55	47,20
88 - 89	45 892,27	15,30	925,15	2,31	14 199,24	72,45	8 744,70	6,41	350 025,61	47,05
89 - 90	79 925,00	26,64	-	-	25 410,99	129,65	172 549,45	126,41	941 572,89	126,56
90 - 91	25 050,30	8,35	-	-	6 524,22	33,29	367 295,69	269,08	1 449 789,51	194,86
91 - 92	15 811,83	5,27	-	-	8 721,08	44,50	32 371,59	23,72	74 910,16	10,07
92 - 93	23 776,00	7,93	-	-	7 734,17	39,46	54 261,35	39,75	40 491,46	5,44
93 - 94	12 766,87	4,26	-	-	1 647,90	8,41	175 484,21	128,56	206 691,02	27,78
94 - 95	781,94	0,26	-	-	8 110,71	41,38	1 048 535,38	768,16	4 055 496,22	545,09
95 - 96	91 568,59	30,52	-	-	1 697,96	8,66	783 290,69	573,84	389 374,32	52,34
96 - 97	298 289,52	99,43	-	-	7 649,04	39,03	559 310,98	409,75	1 639 962,44	220,43
97 - 98	68 776,29	22,93	-	-	62 382,56	318,28	338 512,09	247,99	481 420,90	64,71
98 - 99	103 761,39	34,59	-	-	1 311,97	6,69	139 957,23	102,53	107 291,24	14,42
99 - 00	262 803,40	87,60	-	-	55 839,14	284,89	473 104,47	346,60	9 328,87	1,25
00 - 01	483 286,30	161,10	-	-	116 869,32	596,27	682 478,20	499,98	6 832,23	0,92
01 - 02	282 656,76	94,22	-	-	23 392,99	119,35	337 605,61	247,33	3 542 284,06	476,11
02 - 03	100 839,03	33,61	-	-	13 076,78	66,72	201 522,12	147,64	129 064,68	17,35
03 - 04	185 579,23	61,86	-	-	2 708,96	13,82	287 765,93	210,82	1 166 104,99	156,74
04 - 05	-	-	-	-	13 831,58	70,57	63 945,12	46,85	511 816,10	68,79
05 - 06	-	-	-	-	182 983,69	933,59	50 952,36	37,33	397 609,79	53,44
06 - 07	5 390,99	1,80	-	-	7 128,95	36,37	719 749,93	527,29	79 105,00	10,63
07 - 08	-	-	-	-	131 813,75	672,52	-	-	645 362,00	86,74
MOY	116 314,29	38,77	21 084,97	52,71	37 979,04	193,77	321 826,30	235,77	827 219,04	111,19

VII-4-2- Apports solides et Dégradations Spécifiques à l'échelle saisonnière :

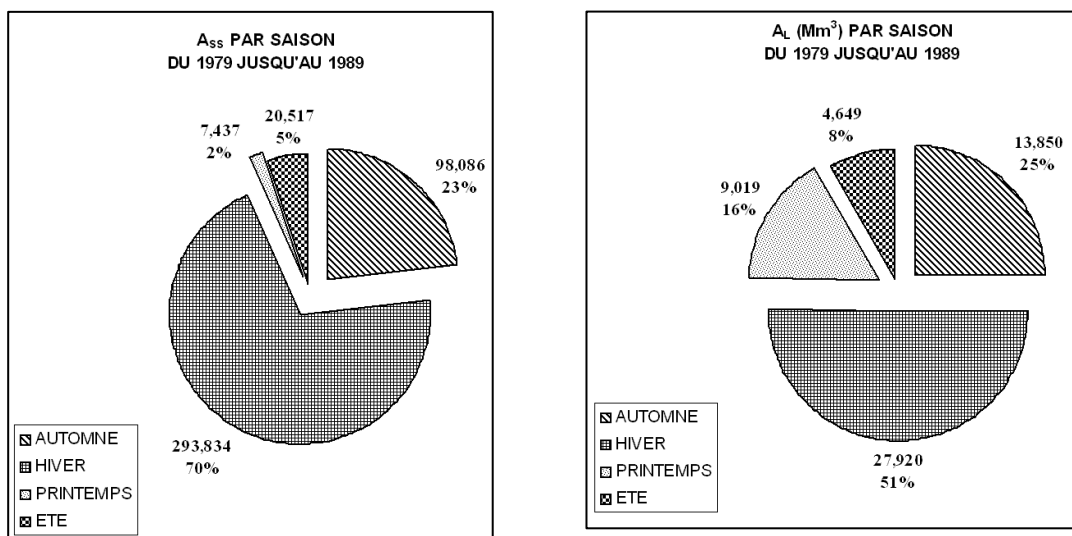
L'action érosive des précipitations dépend non seulement de la quantité de précipitations, mais aussi de leur distribution saisonnière, en raison de sa concomitance avec différentes conditions saisonnières d'érodibilité des sols, de couverture végétale et de pratiques agricoles, et enfin de l'intensité des épisodes pluvieux.

A cet effet, nous avons présenté ci-dessous la variation saisonnière des apports liquides et la dégradation solide spécifique saisonnière pour les cinq sous bassins étudiés Figure (VII-8).

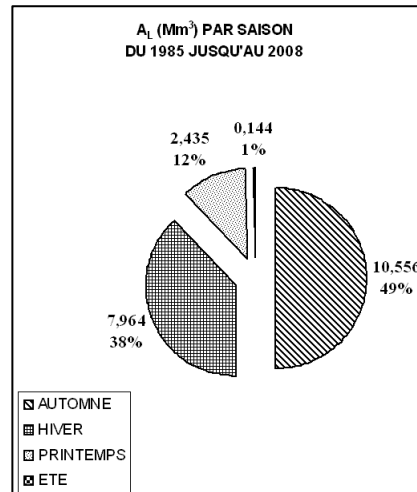
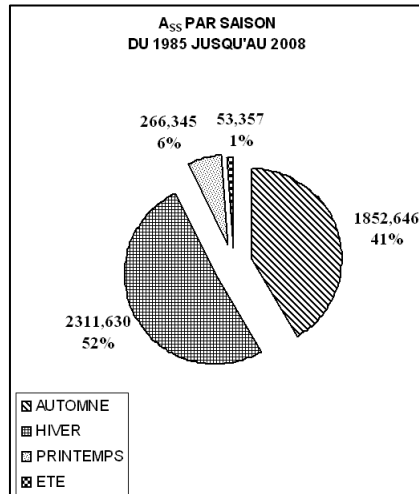
a) Station Sidi Bel Abbès :



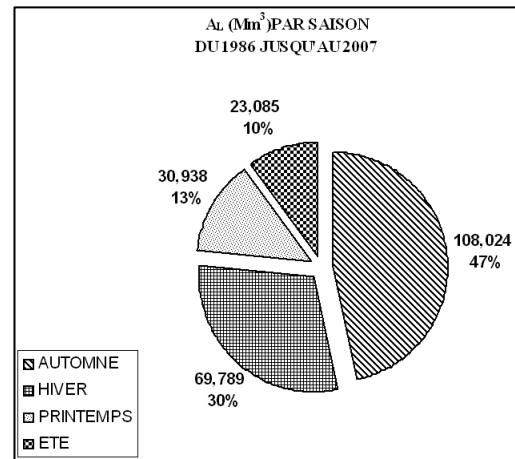
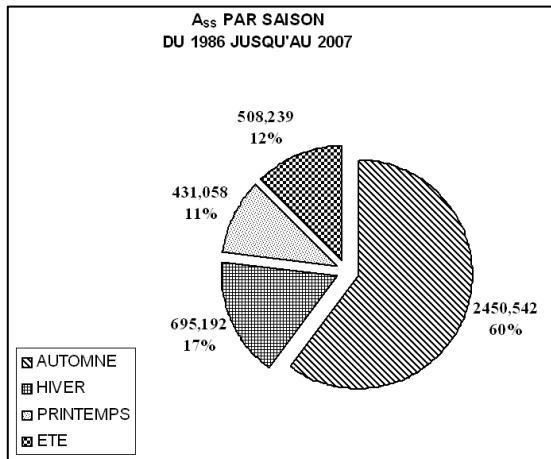
b) Station PK50 :



c) Station Khalouia :



d) Station Oued Taria :



e) Station Trois Rivières :

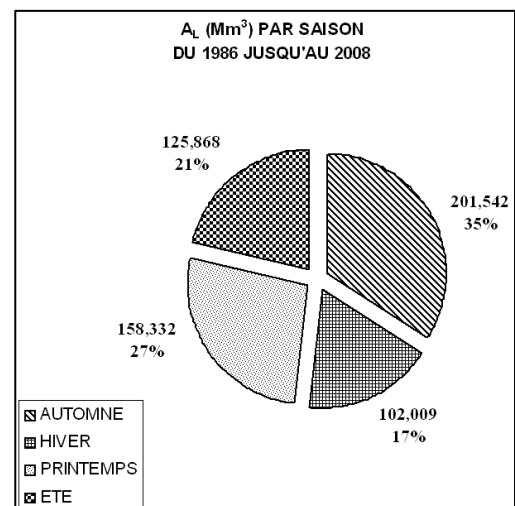
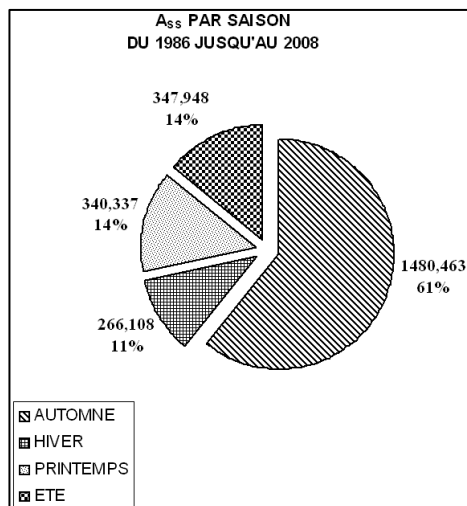


Figure (VII-8) : Résultats des cinq stations : A gauche : la dégradation spécifique, A droite : l'apport liquide.

En général, les variations saisonnières des apports solides suivent celles des apports liquides. La valeur maximale des apports solides pour la plaine de Sidi Bel Abbès s'observe au début d'automne avec une dégradation spécifique de 386 t/km²/an (56%) qui correspond à un apport liquide annuel estimé à plus de 73 millions de m³ (Figure VII-8), par contre la saison d'hiver, enregistre la plus basse dégradation spécifique qui est de 8 t/km²/an (1%) et un apport liquide annuel plus de 6 millions de m³.

La Plaine de Saida produit annuellement une quantité spécifique des sédiments solides pendant l'hiver environ 294 t/km²/an soit un pourcentage de 70% du total, correspond à la plus grande quantité d'eau apporté durant la même saison 27 millions de m³, le printemps enregistre la plus faible dégradation spécifique estimée à 7,437 t/km²/an soit 2% de la totalité annuelle.

La dégradation spécifique au niveau de la Plaine de Ghriss est plus significative durant la saison hivernale avec une quantité de plus de 2311 t/km²/an, soit un taux de 52%, qui correspond à un apport liquide de plus de 7 millions de m³, tandis que la saison estivale enregistre un taux d'érodabilité le plus faible qui est de 1% soit une quantité de 53 t/km²/an, mobilisée par un apport d'eau égal à 144 milles m³.

La saison d'hiver est la plus érosive avec un apport de plus 2450 t/km²/an soit un taux d'érodabilité de 60% au niveau d'Oued Taria, avec un apport liquide conséquent estimé à 108 millions de m³, alors que la saison du printemps enregistre le plus faible quantité d'érodabilité estimée à 431 t/km²/an, soit un taux de 11%, correspond à un apport liquide égal à 30 millions de m³.

Le plus fort taux d'érodabilité à Oued El Hammam était enregistré durant la saison d'automne avec une quantité plus de 1480 t/km²/an, soit un taux de 61%, correspond à un apport d'eau estimé à plus de 201 millions de m³. Alors que l'hiver est caractérisé par le taux d'érodabilité le plus faible 11%, soit une quantité de 266 t/km²/an, avec un apport liquide le plus faible aussi égal à 102 millions de m³.

Il est toutefois certain, que la planification des activités agricoles devient complexe, de ce fait les gestionnaires fonciers doivent néanmoins rester vigilants face à cette tendance, car il est quasiment impossible de prédire quelle année et quelle saison atteindra son point le plus bas, avec des pertes considérables de sédiments, de matière organique et d'éléments nutritifs du sol (Llasat MC, et al., 2010, Flaounas E, et al., 2013).

VII-5- MODELISATION DES APPORTS SOLIDES ET LIQUIDES :

La quantité des sédiments transportés de l'aval jusqu'à l'exutoire du bassin est déterminée par quatre facteurs interagissant : le climat, le sol, la topographie et l'utilisation des terres. Ces facteurs d'érosion des sols sont pris en compte dans une structure hiérarchique pour représenter le phénomène d'érosion (Diodato, N, et al., 2022).

Afin de généraliser l'expression et de prendre en compte le rôle des apports liquides dans l'accumulation des dépôts solides, nous avons conçu un modèle de régression, où nous allons présenter sur une échelle logarithmique : les apports liquides en abscisse, et ceux solides en ordonnées.

La mise en relation des apports liquides et solides durant toutes les années et pour chaque sous bassin versant est nécessaire (Figure VII-9). Ce type de relation serait sans nul doute un moyen de prévision capital des apports solides qui pourraient se déposer notamment dans les barrages hydrauliques provoquant l'envasement de ces derniers et par la suite la diminution des volumes d'eau régularisables de ces équipements de stockage d'eau.

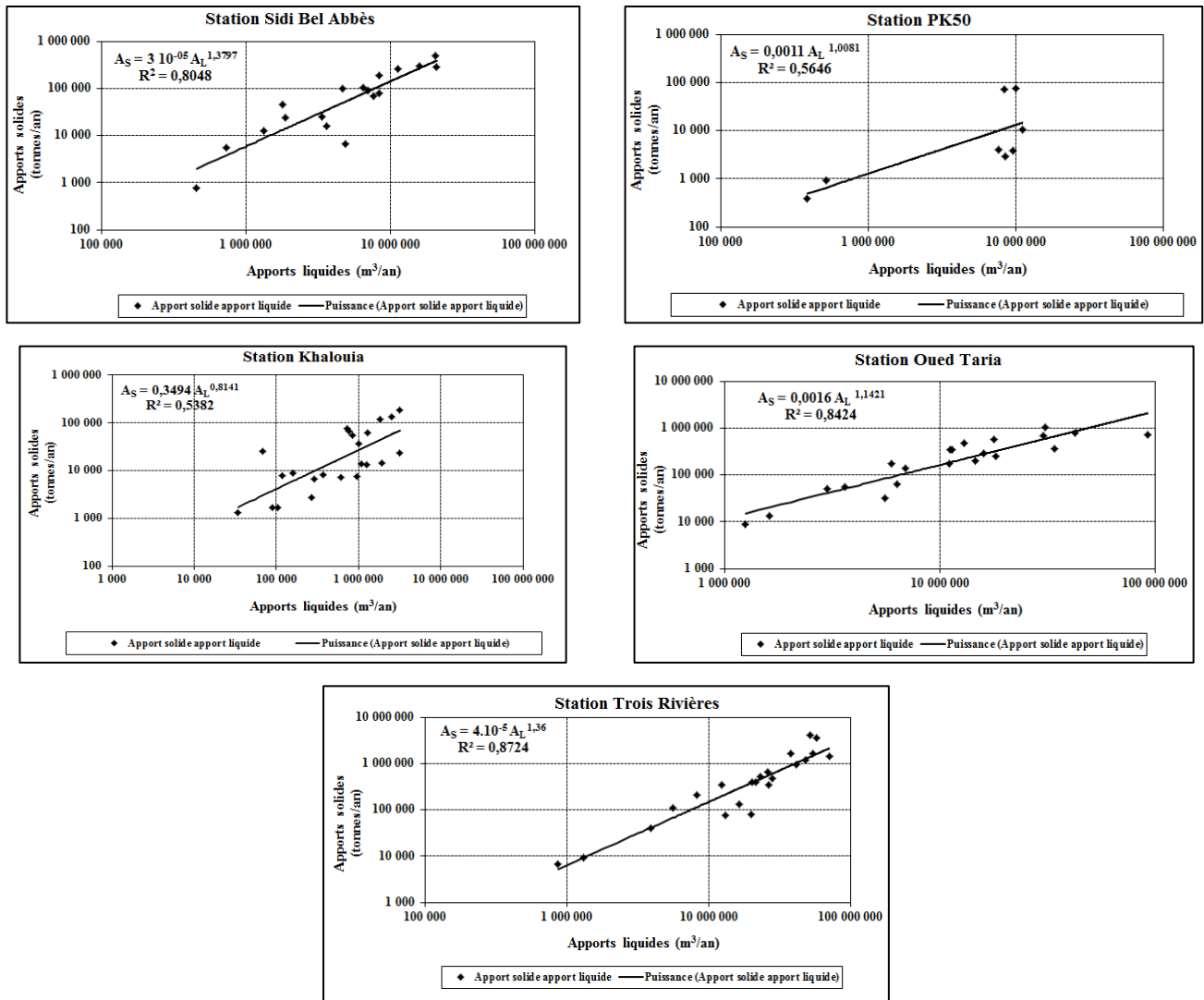


Figure (VII-9) : Relation Apport Solide – Apport Liquide des cinq stations étudiées.

Le modèle puissance adopté atteint un coefficient de détermination plus élevé ($R^2 = 80\%$) pour la majorité des sous bassins étudiés, et plus de 53% pour le reste, ceci démontre une performance améliorée (Tableau VII-3).

Tableau (VII-3) : Relations A_S – A_L des sous bassins versants étudiés

Sous bassin	Modèle obtenu	R^2 (%)
Plaine de Sidi Bel Abbès	$A_S = 3 \cdot 10^{-5} A_L^{1,3797}$	80,48
Plaine de Saida	$A_S = 0,0011 A_L^{1,0081}$	56,46
Plaine de Ghriss	$A_S = 0,3494 A_L^{0,8141}$	53,82
Oued Taria	$A_S = 0,0016 A_L^{1,1421}$	84,24
Oued El Hammam	$A_S = 4 \cdot 10^{-5} A_L^{1,36}$	87,24

Ce modèle permet de simuler l'érosion des sols en fonction des apports liquides. Notre méthodologie consiste à incorporer des données hydrologiques mesurées dans un modèle d'érosion dérivé d'une régression, qui extrapole les données manquantes. Ceci permettra d'obtenir une série temporelle suffisamment longue de données. Ces modèles sont vivement recommandés pour prévoir la quantité en continue des dépôts solides grâce à l'accessibilité facile et la disponibilité des données des apports liquides (débits liquides, volumes d'eau, ou hauteurs d'eau).

Ces résultats permettent non seulement d'identifier les zones à risque actuelles et les zones critiques pour les mesures de conservation, mais aussi d'apporter des informations précieuses pour anticiper les scénarios d'érosion potentiels futurs, contribuant ainsi à l'élaboration de politiques de gestion durable des terres à l'échelle du bassin versant. (Dutucu, A. A., et al., 2025).

VII-6- CONCLUSION :

En conclusion, cette étude souligne le rôle crucial des méthodologies statistiques avancées en particulier l'analyse de régression et l'établissement des modèles concluants qui gèrent le débit solide –débit liquide, ensuite les apports solides- apports liquides.

Bien que les précipitations et les apports sédimentaires soient historiquement suivis en Algérie, les mesures de l'érosion n'ont pas été prolongées au cours des dernières décennies, limitant ainsi le développement de modèles hydrologiques et leur application à la compréhension des facteurs d'érosion des sols (Prosdocimi M., et al., 2016).

Les fluctuations hydroclimatiques en Afrique du Nord se sont accrues au cours des dernières décennies, avec une augmentation observée de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes tels que les sécheresses sévères, les inondations catastrophiques et des taux alarmants de dégradation des terres (Diodato et al., 2022; Swarnkar et al., 2021; WMO, 2020).

La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride avec de faibles précipitations, des températures élevées et une végétation dispersée. Les sols de la région d'étude sont naturellement vulnérables à l'érosion hydrique en raison de leur faible fertilité, et de leur structure fragile. Ces conditions, combinées à la faible capacité des sols à retenir l'eau et les nutriments, à l'exposition à des pluies saisonnières intenses et à des pratiques agricoles non durables, ont induit l'érosion des sols et entraîné une dégradation importante de leur qualité et une perte de productivité.

Nous faisons ici référence à l'érosion nette des sols appelée dégradation spécifique (tonnes/ km²/an), c'est-à-dire la rapport moyen des sédiments qui se produisent dans l'ensemble du sous bassin au fil du temps : pour le sous bassin versant de Sidi bel Abbès qui est caractérisé par un relief très fort, nous avons estimé une valeur de $A_{ss} = 38,77$ tonnes / km²/an ; le sous bassin de la plaine de Saida classé en relief assez fort ; une moyenne de $A_{ss} = 52,71$ tonnes / km²/an ; au niveau du sous bassin de la plaine de Ghriss qui est classé en relief assez fort $A_{ss} = 193,77$ tonnes / km²/an ; une dégradation spécifique d'une valeur de 111,18 tonnes / km²/an au sous bassin de Oued El Hammam caractérisé par un relief assez fort ; et $A_{ss} = 235,77$ tonnes / km²/an au niveau du sous bassin versant d'Oued Taria qui est classé en relief fort.

Les sédiments issus de l'érosion des sous bassins versants sont transportés vers les oueds et rivières par le ruissellement de surface et constituent la principale composante des sédiments fluviaux, ainsi qu'une source majeure de dépôt de sédiments dans les réservoirs et les barrages. Le degré d'érosion des sols a un impact significatif sur l'évolution des chenaux fluviaux, influençant la stabilité des rivières, la sécurité en matière de prévention des inondations et la planification de la restauration des cours d'eau. Par conséquent, la maîtrise de la production de sédiments est cruciale pour la gestion des bassins versants, d'autant plus qu'elle implique généralement des coûts élevés (Soleimanpour, S.M., et al., 2024).

On notera que les valeurs de notre zone d'étude sont modérées par rapport à celles publiées pour d'autre bassins versants d'Algérie, tels que la Tafna avec 150 tonnes / km²/an (Sogreah, 1967), Oued Mazafran (Côtiers Algérois) et Oued Isser (Lakhdaria) dont les dégradations spécifiques sont respectivement 1610 et 2300 tonnes / km²/an (Bourouba. M, 1997), Algérie Orientale avec 145 tonnes / km²/an ((Bourouba. M, 1998), Oued Ebda avec 1875 tonnes/km²/an (Meddi. M, 1999), La Haute Tafna avec 1120 tonnes / km²/an (Megnounif. A, et al, 2003), Oued Sebdou avec 937 tonnes/km²/an, Oued Sikkak avec 170 tonnes / km²/an (Bouanani. A, 2004), Oued Haddad avec 2,87 tonnes/km²/an, Oued Abd avec 3,47 tonnes/km²/an (Achite. M, 2004, 2005, 2006), Oued Ouahrane avec 169 tonnes / km²/an (Benkhalel. A, 2006), Oued Mouilah 165 tonnes/km²/an (Ghenim. A, 2008), Oued Saf Saf avec 461 tonnes / km²/an (Khanchoul. K, 2007), Oued Mellah avec 373 tonnes/km²/an (Khanchoul. K, et al, 2008), Oud Sebdou avec 1330 tonnes/km²/an (Ghenim. A et al, 2007), Oued Mekerra 111,146 tonnes/km²/an (Cherif. E, et al, 2009), Oued Bellah avec 610 tonnes/km²/an (Elahcene. O, et al, 2013). Ces valeurs correspondent aux estimations de Heusch et Millies-Lacroix (1971) de 265 à 2569 tonnes/km²/an pour les

bassins versants Maghrébins, comme elles sont considérées modérées et très faibles par rapport au taux de 1000 à 5000 tonnes /km²/an supposé par Walling (1984) pour les bassins versants de l'Afrique du Nord.

En Afrique, l'érosion des sols affecte environ 80 % des terres, avec une augmentation annuelle moyenne d'environ 3,88 Mg/ha/an (Bouamrane. A, et al., 2024).

Nous citons aussi à titre d'exemple quelques valeurs de la dégradation spécifique qui s'avèrent très réduites : cas du bassin versant Chardavol en Iran de 0,20 tonnes/km²/an (Gholami. L, et al, 2024), et le bassin versant Diamer en Pakistan de 0,27 tonnes/km²/an (Anum. M, et al, 2025).

Il est important de noter que les zones à faible érosion et forte connectivité représentent des points chauds potentiels pour les glissements de terrain superficiels, qui devront faire l'objet d'une attention particulière et être maîtrisés à l'avenir. L'érosion en ravins et les glissements de terrain superficiels induits par les pluies extrêmes sont reconnus comme des sources de sédiments critiques sur les bassins versants (Liang. X., et al., 2026).

Comprendre l'hydrodynamique de l'érosion hydrique, en particulier les effets de la distribution et de la couverture de la rugosité des pentes, est crucial pour la lutte contre l'érosion, la protection des terres agricoles, la restauration de la végétation, l'amélioration de l'utilisation des terres et l'amélioration des services écosystémiques (Hu. J., et al., 2025).

Bien que dans cette étude divers modèles sont développés dans le domaine de transport solide et érosion, leur performance a été évaluée à partir de données d'observation de terrain et de méthodes statistiques. Cette recherche vise à analyser le flux sédimentaire des sous bassins versants de la Macta situé à l'Ouest de l'Algérie, à partir de capacité de transfert sédimentaires, provoquant l'envasement des barrages, et diminuant leur capacité de stockage d'eau.

**CHAPITRE VIII : EFFET D'HYSTÉRÉSIS ET DYNAMIQUE
DE L'ÉROSION DURANT LES ÉVÉNEMENTS
SINGULIERS**

VIII-1- INTRODUCTION :

Ce chapitre est une étude quantitative de l'érosion, des sédiments en suspension et de l'envasement des barrages. La dynamique des sédiments en suspension est influencée par les orages et les facteurs contrôlant les changements de concentrations de sédiments en suspension lors d'événements hydrologiques à petite échelle. Dans ce contexte, les sous bassins versants sont considérés comme l'une des sources de sédiments les plus importantes. Au moyen de mesures in situ, nous essayons de définir les relations entre le débit d'eau, le flux de sédiments et la concentration de sédiments en suspension. Ces relations sont des moyens d'étudier les effets d'hystérésis en décrivant des boucles d'hystérésis dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre qui permettent de quantifier le transport de sédiments et le taux d'envasement.

Par conséquent, l'objectif de ce travail est de développer une meilleure compréhension du comportement des sédiments en suspension dans les cours d'eau de la Macta, tels que l'oued El Hammam, oued Mekerra à Sarno, oued Taria, oued Saida, et oued Fekane. Une attention est également portée aux variations des concentrations de sédiments en suspension pendant la saison de ruissellement et pendant les crues.

VIII-2- UTILISATION DES EFFETS D'HYSTERESIS :

La dynamique des sédiments brièvement déposés pendant les orages entraîne des concentrations élevées de sédiments en suspension au début de la crue. La quantité de charge sédimentaire existante diminue à mesure que la crue se poursuit et que sa vitesse diminue, provoquant le dépôt des sédiments en suspension. Ces deux facteurs entraînent des concentrations de sédiments en suspension plus faibles pendant la phase de décrue que pendant la phase de montée des eaux.

Wood (1977) a présenté des modèles des relations C-Q basés sur l'étude d'un bassin versant unique en Angleterre. Les objectifs de cette étude sont les suivants :

1. Identifier et classer les principaux types de relations débit-concentration (C-Q) pour un événement unique, à l'aide de modèles et d'exemples de terrain ;
2. Fournir une explication graphique simple pour chaque type ;

3. Résumer les raisons physiographiques ou hydrologiques de chaque type. L'événement hydrologique unique peut être bref, comme une crue durant quelques heures ou quelques jours, ou relativement long, comme la fonte des neiges durant plusieurs semaines ou mois.

VIII-2-1- Procédure de la méthode d'Hystérésis :

Bien que les résultats de cette étude soient présentés sous forme de classes de relations C-Q, la procédure pour y parvenir était graphique. Dans un premier temps, des graphiques temporels ont été tracés sur du papier semi-logarithmique, le temps étant la variable indépendante sur l'échelle arithmétique et la concentration (C) ou le débit (Q) en ordonnée. Le graphique de la concentration en fonction du temps est appelé ci-après graphique C, et celui du débit en fonction du temps, hydrogramme ou graphique Q. Les graphiques de C en fonction de Q sont tracés sur une échelle logarithmique, avec C en ordonnée.

La procédure consistait en : (1) la construction de graphiques temporels modèles ou idéalisés en faisant varier systématiquement le mode, la dispersion ou l'asymétrie (c'est-à-dire en faisant varier l'une de ces caractéristiques tout en maintenant les deux autres approximativement constantes) ; (2) le tracé de la relation C-Q idéalisée associée ; et (3) la vérification et la démonstration de ces caractéristiques à l'aide d'exemples de terrain. La variation du mode, de la dispersion et de l'asymétrie sur les graphiques a été effectuée de manière non dimensionnelle et qualitative, plutôt que par des calculs détaillés. Seules les combinaisons les plus courantes ou les plus probables de mode, de dispersion et d'asymétrie (ou les combinaisons nécessaires pour établir les principes initiaux) ont été examinées (Williams, G.P, 1989).

VIII-2-2- Les Classes de relations C-Q :

L'étude des différents modes, étalements et asymétries des graphiques temporels a révélé cinq classes de relations C-Q (Tableau VIII-1). D'autres classes sont envisageables, mais le Tableau (VIII-1) présente probablement les principales. Chaque classe est caractérisée par un critère mathématique simple, objectif et fiable, une fois les deux graphiques temporels disponibles. Ce critère est le rapport C/Q à quelques instants arbitrairement choisis durant les phases de croissance et de décroissance de C et Q. Les branches ascendante et descendante du graphique Q représentent les deux périodes de référence (la montée et la descente de la crue). La première étape de l'analyse consiste à choisir un instant durant la branche ascendante du graphique Q, à relever les valeurs correspondantes Q_1 et C_1 , et à calculer leur rapport, C_1/Q_1 . La seconde étape consiste à repérer cette même valeur de débit sur la branche descendante du graphique Q, à relever la concentration associée au débit à cet instant, et à déterminer ce nouveau rapport, C_2/Q_1 . Les deux rapports C/Q – l'un sur la branche ascendante et l'autre sur la branche descendante du graphique Q, pour une même valeur de Q – ont ensuite été comparés qualitativement afin de déterminer lequel était le plus élevé. Enfin, ce type de comparaison a été répété pour plusieurs autres valeurs de Q sélectionnées.

Idéalement, les valeurs de C et de Q dans les rapports C/Q devraient se situer dans la plage de variation de ces variables, et non avant ou après l'événement hydrologique. Si la variation de C s'achève simultanément à celle de Q, l'un des rapports C/Q devra inévitablement être déterminé avant ou après cette variation de C. Certains graphiques C-Q de données de terrain présentent une dispersion suffisante pour rendre l'évaluation des rapports C/Q difficile.

Tableau VIII-1 : Les Classes de relations C-Q (Williams. G.P, 1989).

Classe	Relation	Critère C/Q	Exemple de Référence
I	Ligne à valeur unique (single-valued line). A. Ligne Droite.	$(C/Q)_m \cong (C/Q)_d$ A. Les pentes des deux sous-sections de la relation globale sont égales.	Wood (1977)
	B. Courbe dont la pente augmente avec les valeurs croissantes de Q.	B. Les pentes des deux sous-sections de la relation globale sont inégales- Plus fortes pour les valeurs de Q plus élevées.	Wood (1977)
	C. Courbe dont la pente diminue lorsque les valeurs de Q augmentent.	C. Les pentes des deux sous-sections de la relation globale sont inégales- Plus faibles pour les valeurs de Q plus élevées.	-
II	Boucle dans le sens des aiguilles d'une montre (Clockwise loop).	$(C/Q)_m > (C/Q)_d$ pour toutes les valeurs de Q.	Paustian et Beschta (1979)
III	Boucle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (Counterclockwise loop).	$(C/Q)_m < (C/Q)_d$ pour toutes les valeurs de Q.	Axelsson (1967)
IV	Ligne simple avec boucle (single line plus a loop)	$(C/Q)_m \cong (C/Q)_d$ pour une plage de valeurs de Q.	-
		$(C/Q)_m \lesseqgtr (C/Q)_d$ pour d'autre plage de valeurs de Q.	-
V	Figure en Huit (figure eight).	$(C/Q)_m > (C/Q)_d$ pour une plage de valeurs de Q.	-
		$(C/Q)_m < (C/Q)_d$ pour d'autre plage de valeurs de Q.	Arnborg et al. (1967)

$(C/Q)_m = (C/Q)$ sur le graphe de débit branche montée de crue, pour un Q sélectionné ; $(C/Q)_d = (C/Q)$ sur le graphe de débit branche de décrue associée à un rapport C/Q particulier, calculée pour la même valeur de Q.

A- Classe I « Relation linéaire » :

Le type le plus simple de relation débit-quotient (C-Q) est la relation linéaire. Sa caractéristique unique est que, pour une même valeur de Q, tout rapport C/Q sur la phase de montée de l'hydrogramme est égal au rapport C/Q sur la phase de descente. Cette classe de relations linéaires se divise en trois sous-groupes : la droite, la courbe ascendante et la courbe descendante. Dans les trois sous-groupes, C augmente avec Q (Figures VIII-1, et VIII-2).

Le premier sous-groupe, la droite, correspond à des pics simultanés et à des étalements et asymétries identiques sur les graphiques de C et de Q, même si la hauteur relative des pics n'est pas nécessairement identique ((Figure VIII-1). L'étalement est ici relatif ou sans dimension : deux courbes de distribution en cloche (graphiques temporels) de forme identique ont le même étalement, même si l'une est beaucoup plus grande que l'autre (Figure : Classe IB, et Classe IC).

L'évolution (le cas échéant) des rapports C/Q depuis le début de la branche ascendante du graphique Q jusqu'à son sommet indique si la pente de la relation linéaire C-Q est égale à 1, supérieure à 1 ou inférieure à 1. Si tous les rapports C/Q sont égaux pour toutes les valeurs de Q, la relation linéaire C-Q a une pente de 1. Ceci se produit uniquement lorsque les deux graphiques présentent des sommets simultanés, la même forme et la même taille (c'est-à-dire, lorsqu'ils présentent des augmentations et des diminutions coïncidentes après normalisation et tracés sur le même graphique ((Figure VIII-1 : Classe IA).

Si le graphique C est relativement plus haut que le graphique Q, les deux rapports C/Q pour des valeurs données de Q restent égaux sur les branches ascendante et descendante, mais les rapports C/Q pour différentes valeurs de Q n'ont pas tous la même valeur ; en effet, la valeur numérique de ces rapports C/Q augmente systématiquement lorsqu'on se déplace le long de la branche ascendante du graphique Q vers le sommet. La droite sur le graphique C-Q a dans ce cas une pente supérieure à 1 ((Figure VIII-1 : Classe IB).

Si, en revanche, la courbe C est relativement plus courte que la courbe Q (pics simultanés, même dispersion et même asymétrie pour les deux courbes), la valeur numérique de ces rapports C/Q diminue systématiquement lorsqu'on se déplace le long de la branche ascendante de la courbe Q vers le pic. La droite sur le graphique C/Q a alors une pente inférieure à 1 ((Figure VIII-1 : Classe IC).

Une relation C-Q sous forme de courbe et univoque (Classes IB, IC) est obtenue lorsque les deux courbes temporelles présentent des pics simultanés, des asymétries et des hauteurs identiques, mais une dispersion différente ((Figure VIII-2). Les résultats sont

généralement les mêmes, même si les deux pics des courbes temporelles n'ont pas la même hauteur relative, lorsque des courbes symétriques sont utilisées. Lorsque l'écart du graphique C est inférieur à celui du graphique Q, la courbe C-Q associée se situe généralement dans la partie inférieure droite de la zone traçable et présente une courbure vers le haut, sa pente augmentant avec Q. Il s'agit du deuxième sous-groupe de la classe des lignes à valeur unique, illustré dans la Figure VIII-2 (a). (À proprement parler, l'écart peut varier tout en conservant une asymétrie constante uniquement lorsque les deux graphiques temporels sont symétriques). Les graphiques temporels de la plupart des données de terrain ne sont pas symétriques, présentant généralement une asymétrie positive.

Seul Wood (1977), Figure VIII-4 a publié une courbe C à valeur unique pour un événement hydrologique ; ses exemples présentent une courbure ascendante. Autrement dit, la relation à courbure descendante (Figures VIII-2 : (b)) n'a peut-être pas été rapportée jusqu'à présent. Il ne semble pas exister d'informations publiées sur la fréquence de telles relations.

Des relations C-Q univoques existent également (rarement) dans des conditions autres que celles, idéalisées, décrites ici. Par exemple, tant que les graphiques temporels présentent des pics simultanés, les différences de dispersion et d'asymétrie peuvent se compenser de telle sorte que les exigences C/Q pour une relation C-Q à valeur unique soient satisfaites.

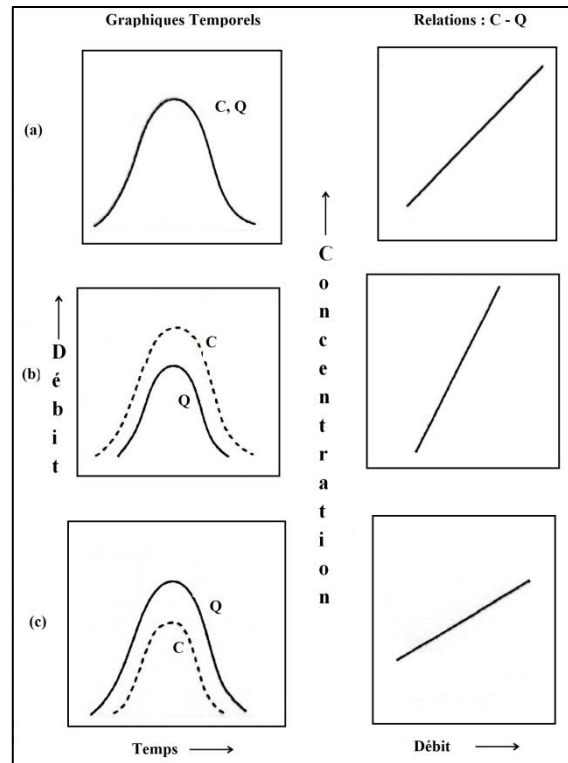


Figure (VIII- 1) : Relation C-Q de type ligne droite (Classe IA) : (a) ligne droite avec une pente de 45° , (b) ligne droite avec une pente > 1 , (c) ligne droite avec une pente < 1 (Williams. G.P, 1989).

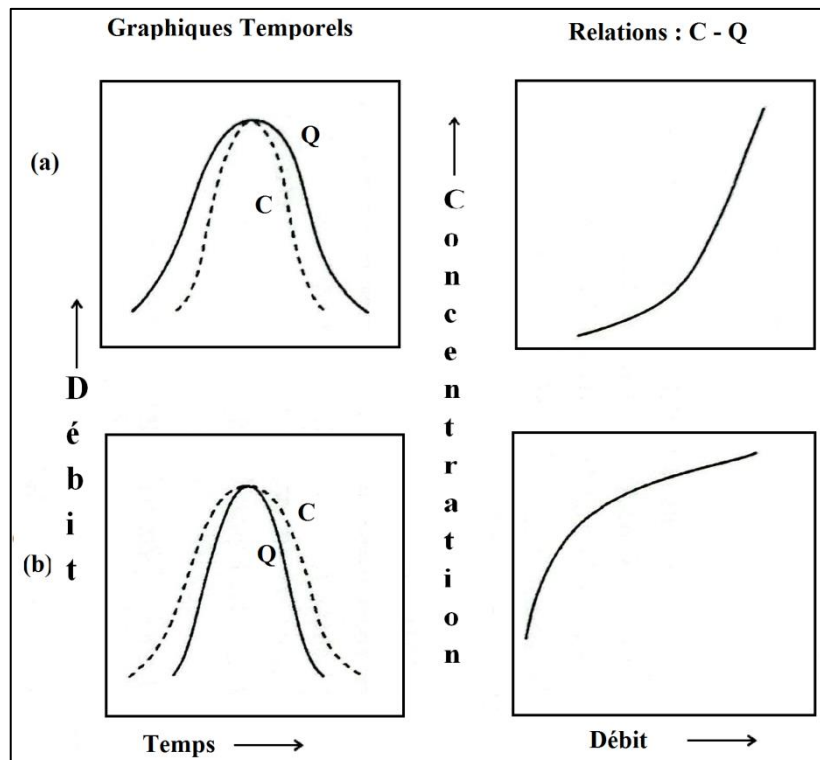


Figure (VIII- 2) : Relation C-Q de type courbe univoque illustrant l'effet de la propagation temporelle du graphique : (a) Courbure vers le haut (Classe IB), (b) Courbure vers le bas (Classe IC) (Williams. G.P, 1989).

B- CLASSE II : Boucle dans le sens des aiguilles d'une montre :

Si le pic de concentration atteint la section transversale du cours d'eau avant le pic de débit et que les deux graphiques présentent une asymétrie similaire, la valeur C sur la branche de la montée du graphique Q est supérieure à celle correspondant au même débit sur la branche de décrue (Figure VIII-3 (a)). Autrement dit, le rapport C_1/Q_1 à un instant donné sur la partie montante du graphique Q est supérieur à celui correspondant au même débit sur la partie de décrue. Sur le graphique $C-Q$, les données de la montée de crue sont situées en dessous de la valeur initiale. Considérés successivement, les points décrivent une boucle dans le sens des aiguilles d'une montre. Ces boucles sont fréquentes et bien connues ; des exemples publiés (exprimés dans certains cas en termes de charge en suspension, ce qui réduit quelque peu la dispersion des points) sont disponibles dans Leopold et Maddock (1953), Sundborg (1966), Walling et Teed (1971), Wood (1977) et Paustian et Beschta (1979).

Lorsque les courbes temporelles présentent la même dispersion, la même asymétrie (courbes symétriques) et les mêmes hauteurs de pic relatives, la boucle $C-Q$ est symétrique, son grand axe étant orienté à 45° par rapport à l'horizontale. À longueur donnée, la boucle $C-Q$ est la plus large lorsqu'il existe un grand intervalle de temps entre l'arrivée des deux pics. À mesure que cet intervalle diminue, la largeur de la boucle $C-Q$ diminue également (et finit par se réduire à une seule ligne lorsque les deux pics surviennent simultanément).

L'apparition d'une boucle séquentielle dans le sens horaire, même lorsque les pics des courbes temporelles sont simultanés, s'explique par le principe C/Q décrit précédemment. Lorsque les deux graphiques présentent des pics simultanés, mais que l'asymétrie du débit d'eau est supérieure à celle de la concentration en sédiments, le rapport C/Q sur la partie de montée de crue du graphique Q est systématiquement supérieur à celui sur la branche de décrue, quelle que soit la valeur de Q . Si les rapports C/Q sont plus élevés sur la branche de montée de crue, les valeurs de C sont relativement élevées sur cette branche et faibles sur la branche de décrue, ce qui produit une boucle $C-Q$ dans le sens horaire. Les boucles séquentielles dues à la combinaison, sur un graphique temporel, de pics simultanés et d'asymétries différentes semblent assez fréquentes.

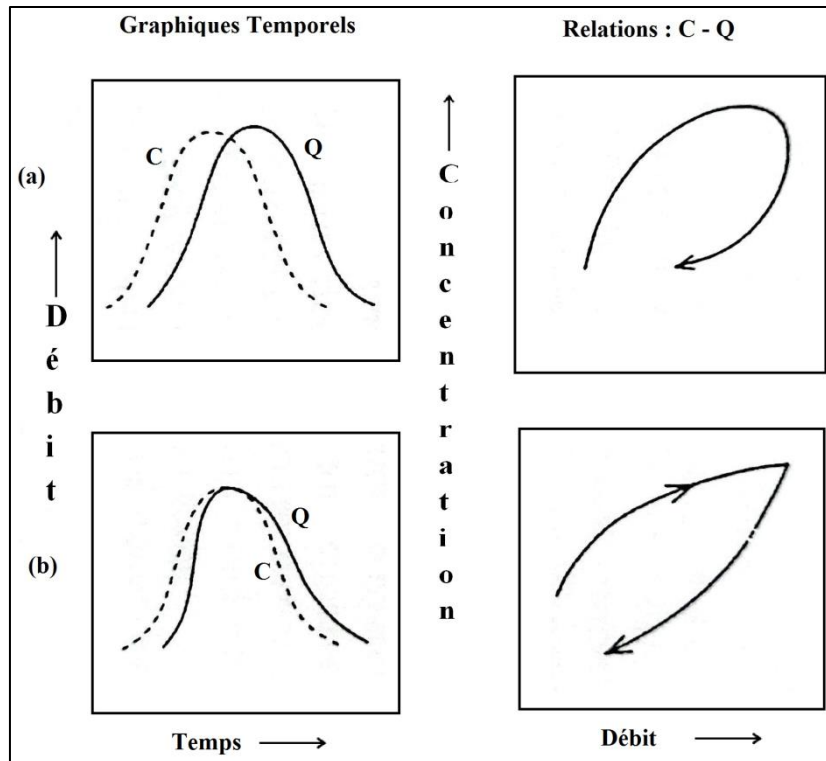


Figure (VIII- 3) : Relation C-Q de type Boucle dans le sens des aiguilles d'une montre, (a) Pic de concentration avant le débit, (b) Pic simultané de la concentration et de débit (Williams. G.P, 1989).

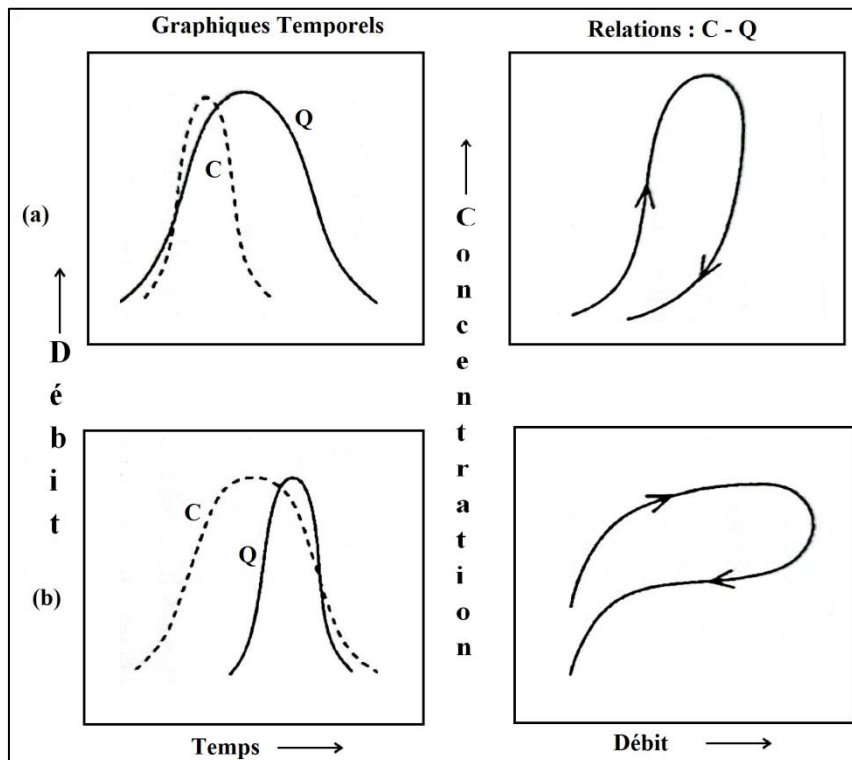


Figure (VIII- 4) : Boucles C-Q asymétriques illustrant l'effet de l'étalement temporel du graphe (Classes II ou III ; classe II représentée ici) : (a) étalement du graphe C inférieur à celui du graphe Q, (b) étalement du graphe C supérieur à celui du graphe Q (Williams. G.P, 1989).

C- CLASSE III : Boucle dans le sens des aiguilles d'une montre :

Le pic de C arrive après celui de Q (l'asymétrie étant identique pour les deux graphiques). Les valeurs de C sur la montée de crue du graphique Q sont inférieures à celles sur la branche de décrue, pour des valeurs de Q données. Cela signifie que, pour un débit donné, le rapport C/Q sur la partie montée de la crue du graphique Q est inférieur au rapport correspondant sur la partie de la décrue. Les données, disposées chronologiquement, forment une boucle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (Figure VIII-5 (a)). Les boucles dans le sens inverse des aiguilles d'une montre sont apparemment bien connues, notamment depuis l'article de Heidel (1956) ; cependant, peu d'exemples semblent avoir été publiés pour des événements hydrologiques uniques. Même le graphique de Heidel (1956) ne montre pas réellement une boucle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, car il a tracé le débit d'eau sur l'axe Y au lieu de l'axe X, obtenant ainsi une boucle dans le sens des aiguilles d'une montre. De même qu'avec les boucles C-Q dans le sens des aiguilles d'une montre, une boucle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre peut se former même lorsque le graphique C et le graphique Q atteignent leur pic en même temps (Figure VIII-5 (b)).

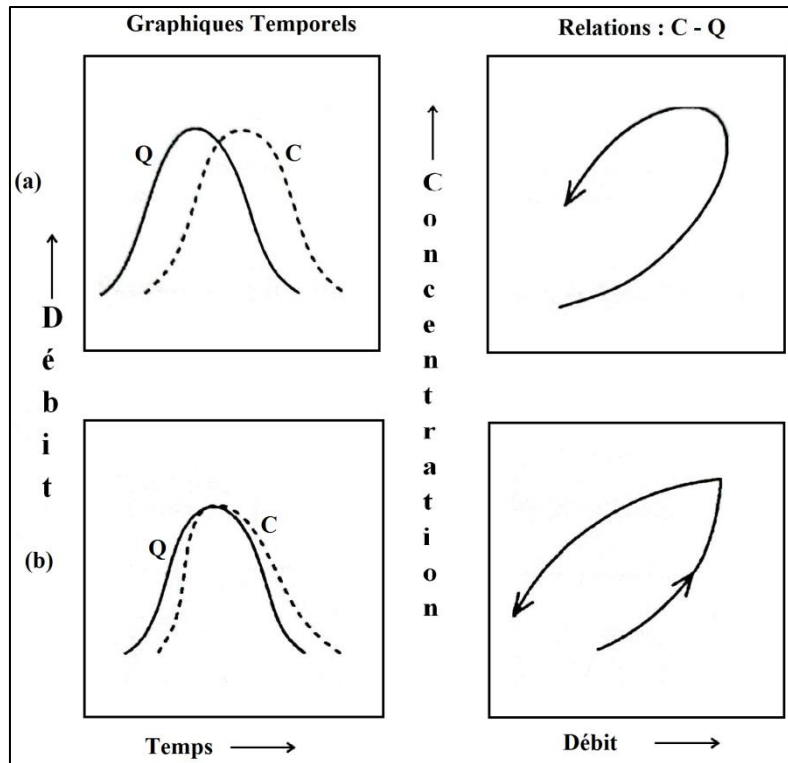


Figure (VIII- 5) : Boucles dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (Classe III) : (a) Pic de débit avant le pic de la concentration, (b) Pic simultané de la concentration et du débit (Williams. G.P, 1989).

D- CLASSE IV : Ligne simple avec Boucle :

La relation concentration - débit (C-Q) pour un événement hydrologique donné peut également se présenter sous la forme d'une relation linéaire dans une plage de débits et d'une boucle séquentielle dans la plage de débits adjacente (Figure VIII-6).

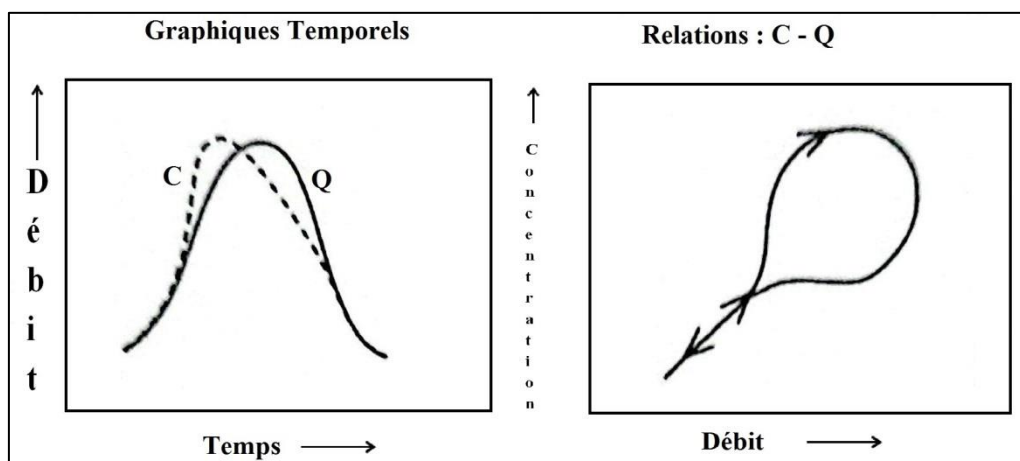


Figure (VIII- 6) : Relation C-Q, Classe IV : Ligne simple avec Boucle (Williams. G.P, 1989).

E- Classe V : Figure en Huit :

Avec une dispersion approximativement constante, des expériences à asymétrie variable ont révélé que, lorsque C atteint son pic en premier, une boucle dans le sens des aiguilles d'une montre peut se former, mais pas systématiquement. De même, lorsque Q atteint son pic en premier, une boucle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre se produit souvent, mais pas toujours. En revanche, dans certaines conditions, une boucle C - Q en forme de huit se développe, quelle que soit la variable qui atteint son pic en premier. Les deux parties des sous-boucles de la figure en huit évoluent successivement dans des directions opposées (Figure VIII-7).

Des exemples de telles relations ont été publiés par Bobrovitskaya (1967), sans toutefois être commentés, et par Arnborg et al. (1967).

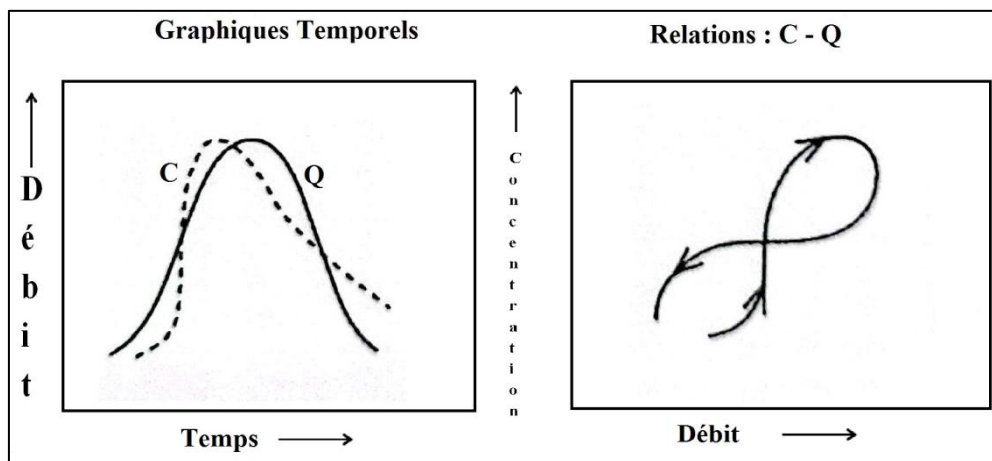


Figure (VIII- 7) : Relation C-Q, Classe V : Figure en Huit (Williams. G.P, 1989).

VIII-3- RESULTATS DES EFFETS D'HYSTERESIS DANS LES SOUS BASSINS

ETUDIÉS :

Cinq cent quatre-vingt et une crues (581) avec des données de débits liquides et concentrations des sédiments en suspension étaient choisies et analysées dans cette étude (Voir annexe I et II du chapitre VI), et elles sont réparties comme suit :

- 212 crues dans le sous bassins versant de la plaine de Sidi Bel Abbès ;
- 174 crues dans le sous bassin versant d'Oued Taria ;
- 140 crues dans le sous bassin versant d'Oued El Hammam ;
- 55 crues dans le sous bassin versant de la plaine de Ghriss.

Cent trente-trois (133) événements forts et modérés dont le débit de pointe est supérieur ou égal à $30 \text{ m}^3/\text{s}$, ont été sélectionnés pour l'ensemble des stations hydrométriques :

- ✓ 42 crues dans le sous bassins versant de la plaine de Sidi Bel Abbès ;
- ✓ 38 crues dans le sous bassin versant d'Oued Taria ;
- ✓ 42 crues dans le sous bassin versant d'Oued El Hammam ;
- ✓ 11 crues dans le sous bassin versant de la plaine de Ghriss.

Ensuite, nous avons détaillé ces crues en traçant pour chacune d'elles la fonction $C = f(Q)$, afin de déterminer le phénomène d'hystérésis et discuter son comportement hydrosédimentaire, quelques hystérésis sont montrées en Figures : (VIII-8), (VIII-9), (VIII-10), et (VIII-11) (**Toutes les figures détaillées d'hystérésis des quatre stations sont renvoyées en ANNEXE III**).

A- Station Sidi Bel Abbès :

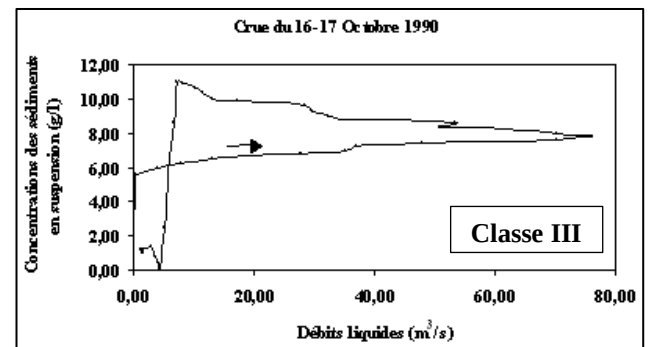
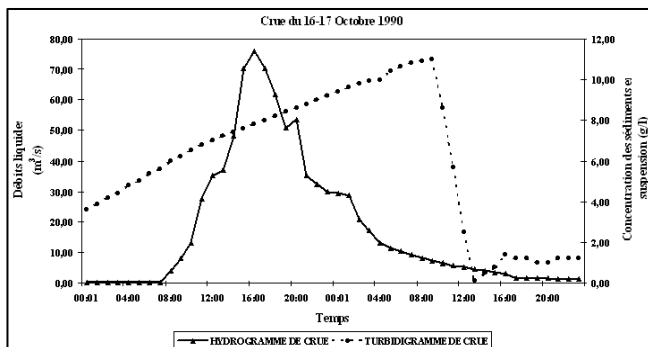
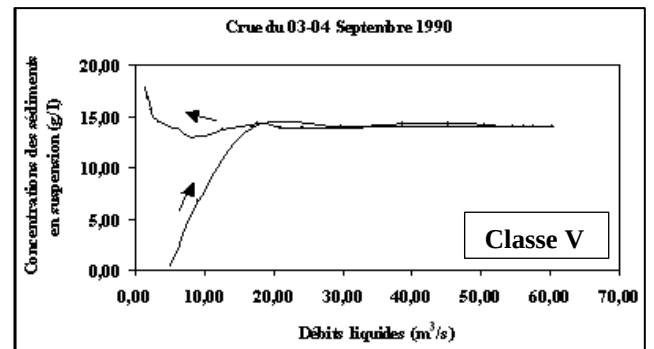
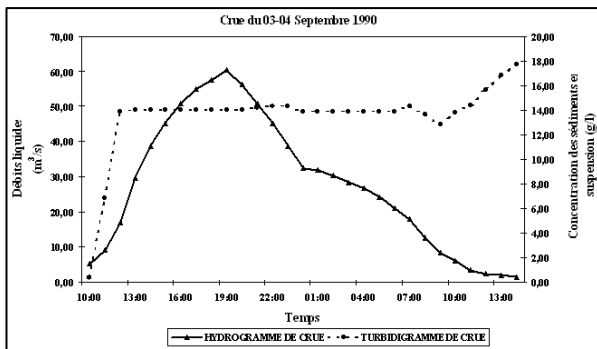
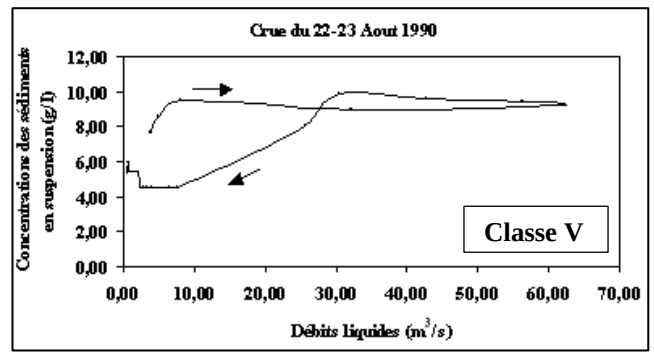
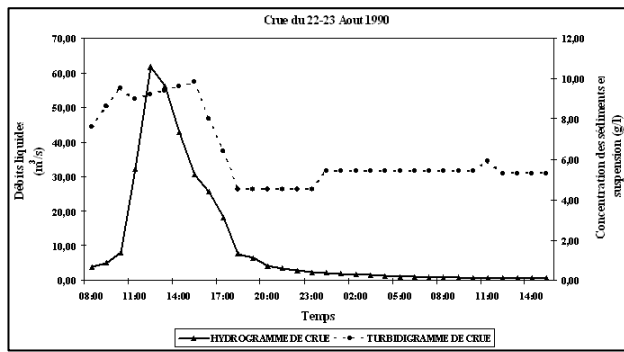


Figure (VIII-8) : Quelques Hystérésis de la Station Sidi Bel Abbès : A gauche l'hydrogramme de crue, A droite relation C – Q.

B- Station Trois Rivières :

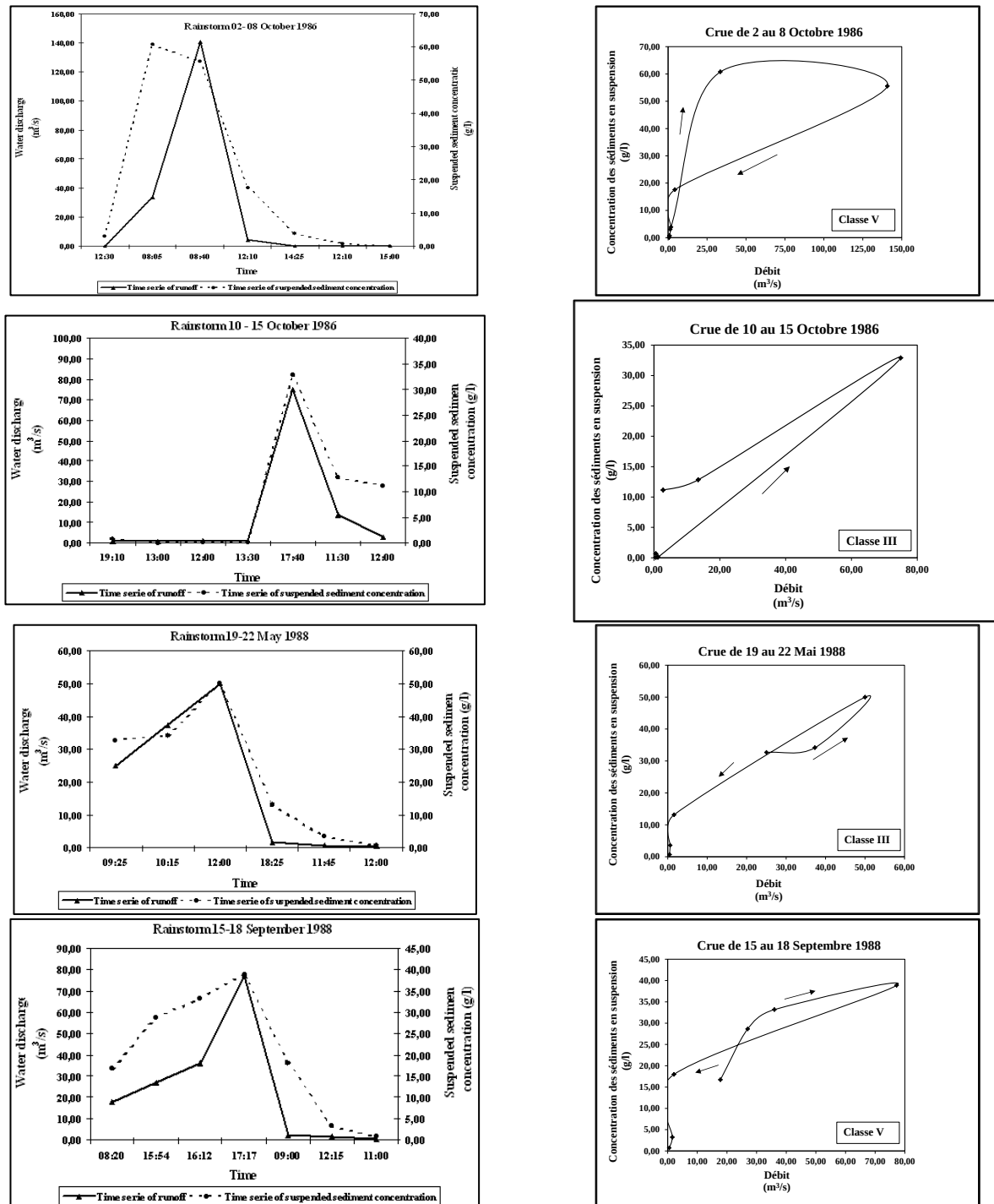


Figure (VIII-9) : Quelques Hystérésis de la Station Trois Rivières : A gauche l'hydrogramme de crue, A droite relation C – Q.

C- Station Khalouia :

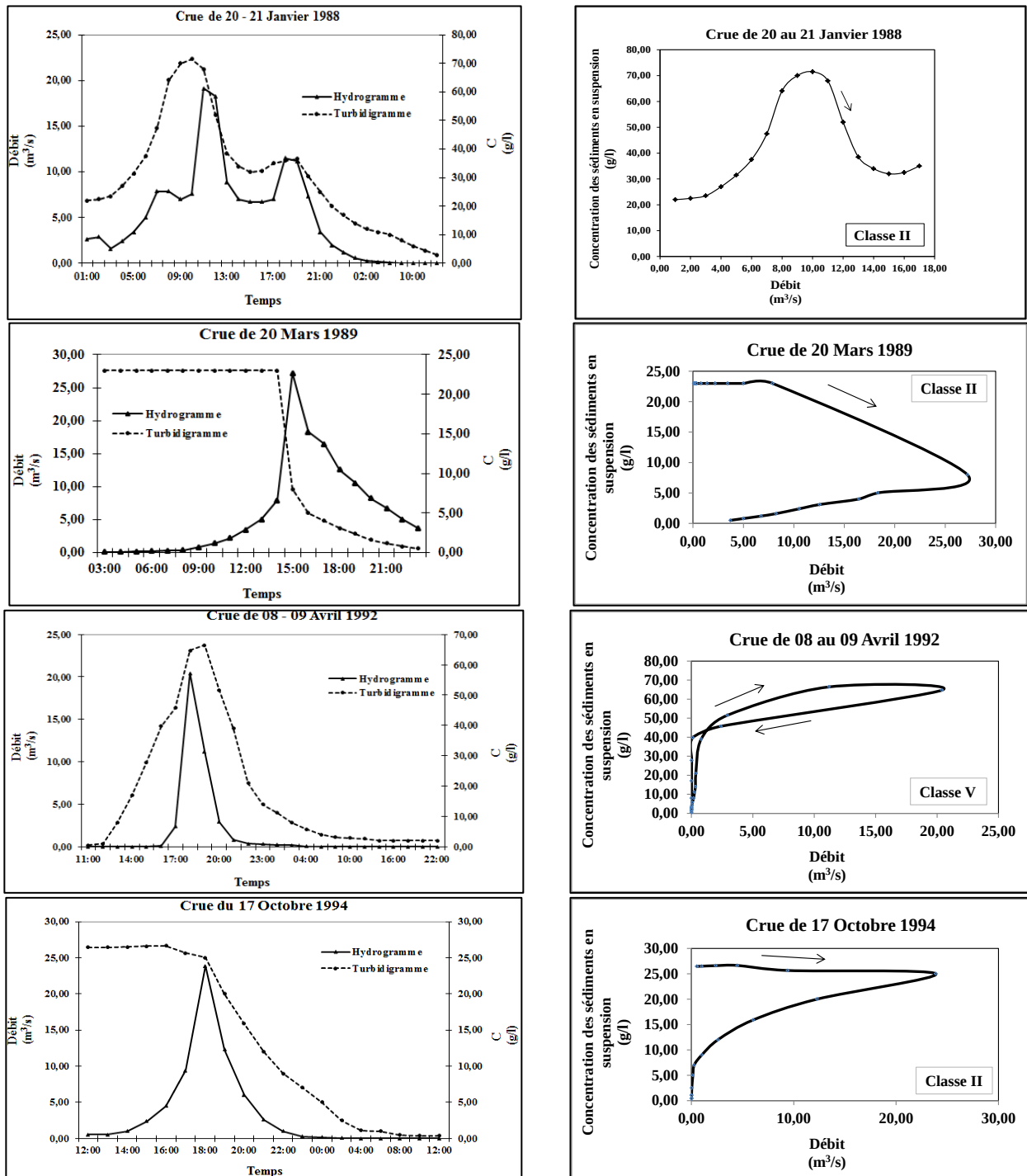


Figure (VIII-10) : Quelques Hystérésis de la Station Khalouia : A gauche l'hydrogramme de crue, A droite relation C – Q.

D- Station Oued Taria :

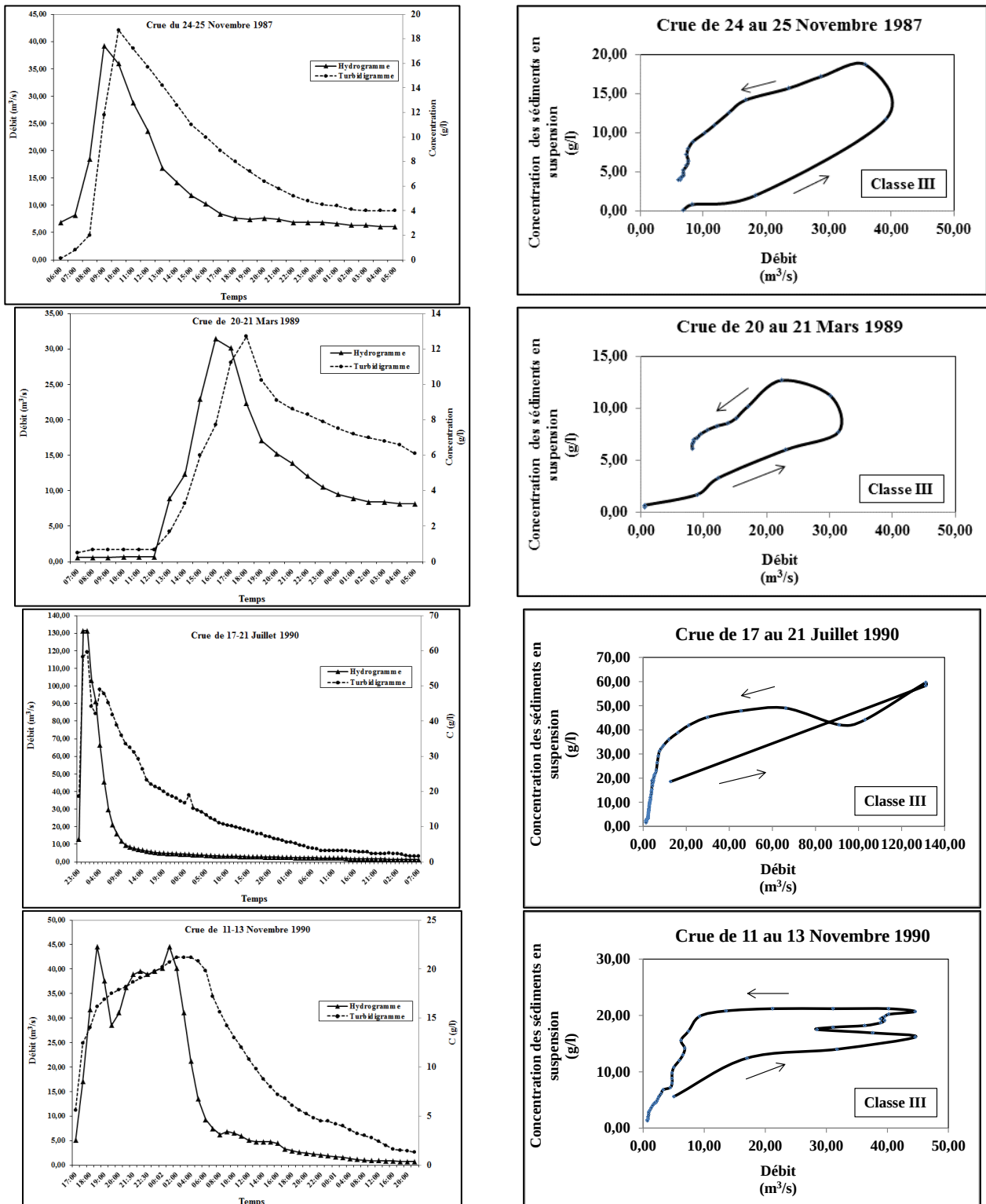


Figure (VIII-11) : Quelques Hystérésis de la Station Oued Taria : A gauche l'hydrogramme de crue, A droite relation C – Q.

VIII-4- INTERPRETATION DES RESULTATS :

La dynamique du transport sédimentaire est non linéaire, car elle peut être fortement influencée par une disponibilité accrue de sédiments après des événements extrêmes, tels que des averses torrentielles et des crues, et par la dynamique complexe de l'activation des sources de sédiments, présentant différents degrés de connectivité avec le réseau hydrographique à l'échelle du bassin versant (Getu, L.A., et al., 2025).

En effet, l'approvisionnement en sédiments dans chaque bassin est sujet aux conditions physico-géographiques qui conditionnent l'entraînement de la charge solide vers l'oued. Les classes d'hystérésis trouvées, sont analysées ci-dessous d'après Williams (1989), et comparées à l'échelle des crues (Tableau VIII-2), comme suit :

Tableau VIII-2 : Répartition en pourcentage des crues par classes d'Hystérésis

Classes Bassin versant	Nombre de Crue	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
Plaine de Sidi Bel Abbès Sarno	42	0	19,04 %	16,67 %	16,67 %	47,62 %
Oued Taria	38	0	34,21 %	34,21 %	7,90 %	23,68 %
Oued El Hammam	42	0	14,29 %	50,00 %	4,76 %	30,95 %
Plaine de Ghriss	11	0	54,55 %	27,27 %	9,09 %	9,09 %
Total	133	0	100 %	100 %	100 %	100 %

- ❖ **Classe II** : L'hystérésis dans le sens des aiguilles d'une montre « Clockwise loop » a tendance à se produire plus au début de la saison des pluies qu'après (Sidle et Campbell, 1985). Ceci est lié à la disponibilité des sédiments produits par les crues précédentes, comparés à un manque ou une diminution des réserves en sédiments à la fin de la saison sèche. Le caractère cyclique de la relation $C_{ss} - Q_L$ peut être illustré en trois phases dans la boucle. La première phase est caractérisée par une forte augmentation de la concentration de sédiments en suspension et du débit (Benkhaled et Remini, 2003). Cette phase reflète l'arrivée successive des premières charges fines de sédiments issus de l'effet du « Splash » des pluies torrentielles dans les zones de ruissellements proches de l'exutoire du bassin. Elle peut correspondre également à la remobilisation des matériaux déposés sur le fond lors des basses eaux (Kattan et al., 1987). La troisième phase est caractérisée par une diminution de la concentration en suspension et du

débit. Elle correspond particulièrement au dépôt des sédiments sur le lit de l'oued dans les zones alluviales (Benkhalel et Remini, 2003). Ce type d'hystérésis correspond à 19,04 % de tous les pics étudiés au niveau du sous bassin Sidi Bel Abbès Sarno, plus de 34% à Oued Taria, 14,29% à Oued El Hammam, et le plus dominant dans la Plaine de Ghriss avec un pourcentage de 54,55% (Crue de janvier 1988 et décembre 1999). Cette classe est caractérisée par un apport continu de sédiment pendant les crues, ces hystérésis se produisent relativement souvent en Automne et l'hiver.

- ❖ **Classe III** : L'hystérésis dans le sens contraire des aiguilles d'une montre « Counterclockwise Loop » se produit principalement pendant les périodes mineures de fort débit en été, comme elle peut se produire pendant les autres saisons. Contrairement au modèle de la classe II dont la plus part de la charge des sédiments est sujette à un transport sans dépôt net dans le cours d'eau, le modèle de la classe III, défini par un débit de pointe se plaçant avant la concentration maximale, reflète un dépôt net des sédiments dans le cours d'eau (Jansson, 2002, Baça. P, 2010). Cette boucle peut se former aussi quand les courbes C_{ss} et Q_L ont des montées simultanées pour atteindre le même maximum. D'une manière générale, les crues de cette classe sont caractérisées par un temps de montée supérieur au temps de concentration du bassin et une concentration en suspension qui peut atteindre des valeurs assez élevées (environ 34 g/l, crue du 18-20/11/2003 à Sidi Bel Abbès). Cela peut être indicatif quant à l'érodabilité du sol, plus au moins saturé et moins couvert. Ce type de classe est le plus dominant dans le sous bassin d'Oued El Hammam avec un pourcentage de 50% (les périodes de fort débit dépassent 1600 m³/s crue du 23 au 26 août 1997), tandis que le sous bassin de Oued Taria cette classe représente 34,21% de la totalité des crues sélectionnées. Le sous bassin de la Plaine de Ghriss ce type d'hystérésis correspond à 27,27%. Alors que la classe III est moins dominante dans le sous bassin de Sidi Bel Abbès Sarno avec une apparition de 16,67%.

- ❖ **Classe IV** : Une hystérésis dans le sens des aiguilles d'une montre, évidente est observée lorsque les concentrations de sédiments augmentent très rapidement, avant même que l'augmentation la plus forte du débit ne se produise (Asselman, 1999). Ce type d'hystérésis se produit sept fois au sous bassin de Sidi Bel Abbès Sarno (16,67%), crue du 04 au 05 septembre 1999 avec une concentration de pointe environ 63 g/l, trois fois (7,90%) à Oued Taria, deux fois (4,76%) à Oued El Hammam, et qu'une seule fois

(9,09%) à Oued Fekane (Khalouia). Il semble être lié à l'érosion ou à un apport précoce de sédiments par les affluents juste en amont du lieu de mesure. Les crues de cette classe se produisent généralement en automne.

- ❖ **Classe V** : La forme en huit « Figure eight » la forme en huit : cette classe combine des parties de la classe II (clockwise loop) et III (counterclockwise loop). En effet, bien que les maximums des concentrations et des débits liquides arrivent au même moment, l'augmentation de C_{ss} est plus rapide que celles de Q_L et le pic de la concentration vient avant celui du débit. Ceci donnera une boucle dans le même sens des aiguilles d'une montre, pendant la montée de la crue. Après, le pic de la concentration diminue légèrement en fonction du temps, relativement aux débits liquides, pendant la décrue et on obtient une boucle dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Ce type d'hystérésis se produit vingt fois et représente 47,62% des événements sélectionnés à Sidi bel Abbès Sarno avec un débit de pointe de $161 \text{ m}^3/\text{s}$, et une concentration de pointe de 65 g/l (Crue de 23 au 24 octobre 2000), treize fois (30,95%) des périodes de fort débit dépassant $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ (crue du 9 au 17 octobre 2001) à Oued El Hammam, neuf fois (23,68%) à Oued Taria, et une seule fois (9,09%) à Oued Fekane. Ce type d'hystérésis se produit relativement souvent en été et en automne.
- ❖ Cependant, la **Classe I** : Ligne à valeur unique « single-valued line » n'est pas trouvée dans notre zone d'étude, la raison pourrait être associée à un apport discontinu de sédiments pendant les crues et/ou à la non disponibilité des sédiments mobilisables issus de la saison sèche dans nos sous bassins versants.

VIII-5- CONCLUSION :

Cette étude met en lumière l'histoire et la dynamique érosive du bassin, et donc la sensibilité variable des processus hydrologiques et de leurs perturbations.

Nous avons montré que les phénomènes hydrologiques extrêmes associés à une forte production de sédiments, ont été caractérisés par des précipitations cumulées, indiquant une plus grande propension du bassin à produire des sédiments de manière plus discontinue au fil du temps. Ceci est cohérent avec la fréquence accrue des crues observées dans la région méditerranéenne (Diodato, N, et al., 2022).

Il faut noter aussi, que l'effet de l'énergie cinétique des précipitations sur l'érosion des sols de versant se manifestait principalement par la dispersion des agrégats de sol et la modification de la rugosité de surface causée par l'impact des gouttes de pluie. L'intensité des précipitations, le diamètre et la vitesse terminale des gouttes déterminaient l'amplitude de l'énergie cinétique des précipitations. L'énergie d'un épisode pluvieux doit être contrôlée non seulement par l'intensité des précipitations, mais aussi par la quantité et la durée de celles-ci. La goutte de pluie peut gagner en vitesse lors de sa chute en augmentant sa hauteur d'impact afin d'accroître son énergie lorsqu'elle touche la surface du sol (Wang, L., et al., 2025).

Les événements singuliers, dans un contexte de changement climatique, augmenteraient significativement le volume d'érosion des sols, la production de sédiments et le taux de transport des sédiments (Toy, T.J., et al, 2002).

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de cette étude consacrée à l'estimation du transport solide et à l'érosion dans le bassin versant de la Macta, nous disposons désormais d'une vision quantifiée et détaillée de la dynamique sédimentaire qui caractérise cette région stratégique de l'Ouest algérien. L'analyse croisée des données morphométriques, climatiques, hydrologiques et sédimentométriques a permis de répondre aux objectifs fixés et de dégager des conclusions majeures concernant le fonctionnement de ce bassin face à l'érosion hydrique.

Bilan des Caractéristiques Physiques et Climatiques :

L'analyse morphométrique a révélé que les sous bassins de la Macta présentent majoritairement une forme allongée et des reliefs allant de "assez forts" à "très forts" (notamment pour Sidi Bel Abbès et Oued Taria). Cette configuration topographique, associée à des densités de drainage parfois élevées, favorise une concentration rapide des eaux de ruissellement, augmentant ainsi le potentiel érosif.

Sur le plan climatique, l'étude confirme l'appartenance de la région au domaine semi-aride méditerranéen. La pluviométrie se caractérise par une forte irrégularité spatio-temporelle et une concentration des précipitations sur de courtes périodes. Les averses orageuses d'automne et de printemps, violentes et intenses, constituent le facteur déclenchant prépondérant de l'érosion, agissant sur des sols souvent secs et peu protégés par une végétation clairsemée en début de saison pluvieuse.

Fonctionnement Hydrologique :

L'étude hydrologique a mis en évidence la variabilité extrême des écoulements. Les coefficients d'écoulement, bien que généralement faibles à l'échelle annuelle (traduisant une forte évapotranspiration et infiltration), peuvent atteindre des valeurs très élevées lors des crues majeures, indiquant une saturation rapide des sols. Le régime des oueds est typiquement torrentiel, marqué par des crues brutales (crues-éclair) qui mobilisent l'essentiel des apports liquides et solides. La classification des crues a montré la prédominance des crues de type méditerranéen, survenant principalement en automne.

Quantification du Transport Solide et de l'Érosion :

L'apport majeur de cette thèse réside dans la modélisation et la quantification des flux sédimentaires. Les relations de puissance établies entre le débit liquide (Q_L) et le débit solide (Q_s), ainsi qu'entre les apports liquides (A_L) et les apports solides (A_s), ont montré de très bonnes corrélations (R^2 souvent supérieur à 80%), validant l'utilisation de ces modèles pour la prédiction des apports solides dans la région.

Les résultats en termes de dégradation spécifique (A_{ss}) mettent en lumière une forte hétérogénéité spatiale de l'érosion :

- ✓ Le sous bassin de l'Oued Taria apparaît comme le plus productif en sédiments, avec une dégradation spécifique moyenne annuelle de l'ordre de 235 t/km²/an. Ce taux élevé s'explique par son relief fort et sa lithologie vulnérable.
- ✓ La Plaine de Ghriss et le bassin de l'Oued El Hammam présentent également des taux significatifs, respectivement de 193 t/km²/an et 111 t/km²/an.
- ✓ Les sous bassins de la Plaine de Sidi Bel Abbès et de l'Oued Saïda affichent des valeurs plus modérées, autour de 38 à 52 t/km²/an, bien que ces chiffres puissent augmenter drastiquement lors d'années exceptionnellement humides.

Ces valeurs situent le bassin de la Macta dans une moyenne "modérée" par rapport aux bassins très érodés de l'Est algérien ou du Tell central (comme l'Oued Mazafran ou l'Agrioun), mais elles restent suffisamment élevées pour constituer une menace sérieuse d'envasement pour les barrages situés à l'aval, notamment Fergoug et Bouhanifia.

Dynamique Sédimentaire et Hystérésis :

L'analyse fine des boucles d'hystérésis a permis de mieux comprendre la chronologie du transport sédimentaire lors des crues. La prédominance des boucles de Classe II (sens des aiguilles d'une montre) et de Classe V (en forme de huit) indique que, pour la majorité des événements, le pic de concentration en sédiments précède ou accompagne le pic de débit liquide. Cela suggère une disponibilité immédiate des sédiments dans le lit des oueds ou à proximité immédiate, qui sont rapidement remobilisés dès le début de la crue (effet de "Splash"), ou un épuisement des stocks sédimentaires disponibles avant la fin de l'épisode hydrologique.

Implications et Recommandations :

Les résultats de cette recherche ont des implications directes pour la gestion des ressources en eau dans la région :

1. **Risque d'envasement :** Les volumes de sédiments quantifiés confirment que l'envasement reste une contrainte majeure pour les barrages de la Macta. La réduction de la capacité utile de ces ouvrages compromet la sécurité hydrique régionale.
2. **Gestion des barrages :** Les modèles de régression établis peuvent servir d'outils d'aide à la décision pour les gestionnaires (ANBT), permettant d'estimer les apports solides entrants en fonction des débits mesurés et d'optimiser les opérations de soutirage des vases (vannes de fond).
3. **Lutte antiérosive :** Il est impératif de mettre en œuvre une stratégie de conservation des eaux et des sols (CES) à l'amont des bassins versants les plus productifs (notamment Taria et Ghriss). Des actions de reboisement, de correction torrentielle (seuils, gabions) et la promotion de pratiques agricoles conservatoires sont nécessaires pour réduire la production de sédiments à la source.

Perspectives :

Cette étude ouvre la voie à des recherches complémentaires :

- Il serait pertinent d'étendre le réseau de surveillance sédimentométrique pour capturer davantage d'événements extrêmes, qui échappent parfois aux courbes de tarage classiques.
- L'utilisation de la modélisation hydrologique distribuée et de la télédétection pourrait également permettre d'affiner la localisation des "points chauds" de l'érosion à l'intérieur même des sous bassins, pour cibler plus efficacement les interventions d'aménagement.
- Enfin, l'impact futur du changement climatique sur l'intensité des crues et donc sur l'érosion mériterait une attention particulière dans les travaux à venir.

BIBLIOGRAPHIE

- ABHOCC (Agence de Bassin Hydrographique Oranais Chott Chergui). (2007). Cadastre hydraulique, Bassin Macta. Document de synthèse : Ministère des ressources en eau, Algérie.
- Achite, M. (2006). Methodology for the computation of normal annual yield of suspended sediments from rivers: Case of the wadi Abd basin of Northern Algeria / 2006 (Ed by Singh, V.P. and Xu, Y.J), Proceedings of the AIH 25th Anniversary Meeting & International Conference « Challenges in Coastal Hydrology and Water Quality », pp. 175-182.
- Achite, M. (2007). Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie du Nord : Bassin versant de l'Oued Mina (Wilaya de Relizane). Thèse de Doctorat Es-Sciences en Hydraulique. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, p. 207.
- Achite, M., Meddi. M. (2004). Estimation du transport solide dans le bassin-versant de l'oued Haddad (Nord-Ouest algérien). Sécheresse, 15 (4), pp. 367-373.
- Achite, M., Meddi. M. (2005). Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (nord-ouest algérien). Revue des sciences de l'eau, 18/spécial, pp. 37-56. <https://doi.org/10.7202/705575ar>
- Ackers, P., and Whie W. K. (1973). Sediment Transport : New Approach and Analysis. Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol 95, N°. HY11, pp 2041-2060.
- Aivazian, S., Enukov, I., Mechalkine, L. (1986). Elément de modélisation et traitement primaire des données 1970, p 384. Traduction Française, Editions Mir Moscou 1986.
- ANBT. (2009). Agence Nationale des Barrages et des Transferts. Compte rendu et synthèse : Attachée de presse.
- ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). (1996). Bassin versant de la Macta. Synthèse bibliographique inventaire des données.

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). (2010). Bassin versant de la MACTA, Synthèse Bibliographique inventaire des données, Algérie.

Anum, M., Ashraf, A., Kalim-Ullah, Durr-e-Adan, & Awais, M. (2025). Estimating Soil Erosion Risk in District Diamer, Pakistan Using RUSLE Model: A Spatial Analysis Approach. *International Journal of Innovations in Science & Technology*. Vol. 07 Special Issue. pp 218-236, August 2025.

<https://journal.50sea.com/index.php/IJIST/article/view/1522>

Arnborg, L., Walker, H.J., and Peippo, J. (1967). Suspended load in the Colville River, Alaska. *Geogr. Ann.*, 49A(2-4): 131-144. <https://www.jstor.org/stable/i222473>

ASCETASK : Comitee on preparation of Sedimentation Manuel (1971). Sediment Transport Mechanics : H. Sediment Discharge Formulas”, *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*; Vol.97, N° HY 4, PP. 523-567.

Asselman, N.E.M. (1999). Suspended sediment dynamics in a large drainage basin : the River Rhine. *Hydrological Processes*, Vol. 13, pp. 1437-1450. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199907\)13:10%3C1437::AID-HYP821%3E3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199907)13:10%3C1437::AID-HYP821%3E3.0.CO;2-J)

Asselman, N.E.M. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. *J. Hydrol.* 234: 228-248. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00253-5)

Auzet A.V. (1990). L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects aménagements. Centre d'études et recherches éco-géographiques, ministère de l'Environnement / ministère de l'Agriculture, 39 p.

BAČA, P. (2008). Hysteresis effect in suspended sediment concentration in the Rybárik basin, Slovakia / Effet d'hystérèse dans la concentration des sédiments en suspension dans le bassin versant de Rybárik (Slovaquie). *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), 224–235. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.224>

Baccini, A., Besse, P., Déjean, S., Martin, P., Robert-Granié, C., et San Cristobam, M. Analyse statistique des données d'expression. Institut National des Sciences Appliquées Toulouse, P135, Edition Biostat.

-
- Bagnold, R.A. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. Geol. Survey, Professional Paper 422-I, US Government Printing Office, Washington.
- Battala, R. and Sala, M. (1992). Temporal variability of suspended sediment in a Mediterranean river. International conference Canberra, Australia, IAHS Publications, 224: 229-305.
- Benkhalel, A. (2006). Contribution à l'étude du transport solide en suspension. Bassin de Oued Ouahrane. Bassin Hydrographique Chelif-Zahrez. Période 1974-1990. Thèse de Doctorat Es-Sciences en Hydraulique. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, p. 258.
- Benkhalel, A. et Remini, B. (2003). Variabilité temporelle de la concentration en sédiments et phénomène d'hystérésis dans le bassin de l'Oued Wahrane (Algérie). – Hydrol. Sci. Jour., 48(2):243-255. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.2.243.44698>
- Bernier, J. (1977). Etude de la stationnarité des séries hydrométéorologiques, La Houille Blanche/ N° 4- 1977.
- Bogardi, J.L. (1974). Sediment transport in alluvial streams. International courses in Hydrology. Budapest, Academic Kiado Press, p. 812.
- Bouamrane, A., Hamouda, B., Bouamrane, A., Dahri, N., Abida, H., & Saber, M., Kantoush, S., & Sumi, T. (2024). Soil erosion susceptibility prediction using ensemble hybrid models with multicriteria decision-making analysis: Case study of the Medjerda basin, northern Africa. International Journal of Sediment Research. 39. DOI:10.1016/j.ijsrc.2024.08.003, <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2024.08.003>
- Bouanani, A. (2004). Hydrologie, transport solide et modélisation – Etude de quelques sous-bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tlemcen, p.249.
- Bourouba, M. (1997). Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits des oueds semi-arides de l'Algérie orientale. Bulletin de l'ORSTOM, 17 : 345-360.

-
- Bourouba, M. (1998). Phénomène de transport solide dans les Hauts Plateaux Orientaux. Cas de l'Oued Logmane et l'Oued Leham dans le bassin de la Hodna. *Revue des Sciences et technologies*, 9: 5-11.
- Brownlie, W.R. (1981). *Compilation of Alluvial Channel Data. Laboratory and Field*. California Institute of Technology, California. Report N°. KH-R-43B.
<https://hdl.handle.net/11299/263572>
- Campbell, F.B. and Bauder, H. (1940). A rating curve method for determining silt-discharge of streams, EOS. – *Trans. Am. Geophys. Union*, 21: 603-607.
- Capolini, J. (1967) Bassin versant de l'oued Fodda. Carte de sensibilité à l'érosion. Etude SES Alger, (carte 1/50.000), 6 p.
- Capolini, J. (1967) Étude géomorphologiques des conditions d'envasement du port de Ghazouet, Etude SES 1013/DH2, Alger, (8plans), 16 p.
- Capolini, J., Piens, S. et Ramana, R. (1969). Prévision des apports des crues et des débits solides. Bassin versant du Chélif : oued Rhiau, Sly, Fodda, Deurdeur, Zeddine, Ebda. Etude SES 13/12/DH2, Alger. 41 p.
- Chang, F.M., Simons, D.B and Richardson, E.V. (1967). Material discharge in alluvial channel. Congress, IAHR, Vol It September 1967. Total bed Proc. 1 2th.
- Changyuan,T., Shenghua, G., Xudong, Z., Yi, Z., Jianing, L., & Tonggang, Z. (2025). Precipitation, landscape pattern and sediment connectivity differ in their effects on runoff and sediment transport. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102889>
- Chebbani, R., Djilli, K., Roose, E. (1999). Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. In : *L'influence de l'homme sur l'érosion : 1. A l'échelle du versant*. Bulletin - Réseau Erosion, (19), p. 85-95 multigr. *L'Homme et l'Erosion : Colloque International*, Yaoundé (CMR), 1999/12/09-19.
- Chen, C.-N., Tfwala, S. S., & Tsai, C.-H. (2020). Climate Change Impacts on Soil Erosion and Sediment Yield in a Watershed. *Water*, 12(8), 2247.
<https://doi.org/10.3390/w12082247>

-
- Cherif, E., Errih, M., Madani cherif, H. (2009). Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride, Hydrological Sciences Journal, Vol. 54, part 2, pp. 338-348. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.2.338>
- Colby, B.R. (1964). Practical Computation of Bed-Material Discharge. Journal of Hydraulics Division, 90.
- Correia, L.P. (1992). Numerical modeling of unsteady channel flow over a mobile boundary. Thèse présentée pour obtenir le titre de docteur ES Sciences Techniques à l'école polytechnique.
- Couvert, B., Cortier, B., & Bravard, J.P. (2002). Perspectives de la dynamique fluviale au XXI^e siècle : l'exemple du bassin du Rhône, La Houille Blanche, 88:4-5, 83-88, DOI: 10.1051/lhb/2002064 <https://doi.org/10.1051/lhb/2002064>
- Couvert, B., Lefort, P., Peiry, J.L., Belleudy, P. (1999). La gestion des rivières, Transport solide et atterrissement. Document réalisé par les agences de l'eau (Agence Rhône-Méditerranée-corse).
- Crawford, C.G. (1991). Estimation of suspended sediment rating curves and mean suspended
- Dakiche, A. (1996). Esquisse hydrologique du bassin versant de la Macta.
- Dawdy, R.D. (1967). A monograph on Sediment Transport in Alluvial streams, Teknisk Forlag. Copenhagen. pp. 1-62.
- Delus, C., Bonnot, E., François, D., Lejeune, T., Rochel, X., Mathis, D. et Abèle, J. (2021). Historique des crues et risque d'inondation dans la vallée de la Meurthe depuis le XVIII^e siècle. La revue Electronique en Sciences de l'environnement 21-3 Décembre 2021. Les mondes agricoles face aux problèmes des pesticides. <https://doi.org/10.4000/vertigo.34420>
- Demmak, A. (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Docteur Ingénieur, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6. 323 p.
- Diodato, N., Fiorillo, F., Rinaldi, M., Bellocchi, G. (2022). Environmental drivers of dynamic soil erosion change in a Mediterranean fluvial landscape. PLoS One 17, e0262132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262132>

-
- Dubois, P. (1879). Le Rhône et les rivières à lit affouillable. Annales des Ponts et Chaussées, 5 Ser, Vol 18 ,pp 141-195 (1879) .
- Dutucu, A. A., Koç, D. E., & Ustaoglu, B. (2025). Projected Soil Erosion Risk Under Shared Socioeconomic Pathways: A Case Study with RUSLE Modelling in Sakarya, Türkiye. Land, 14(11), 2153. <https://doi.org/10.3390/land14112153>
- Einstein, H.A. (1950). The bed load for sediment transportation in open channel flow. US Dept Agriculture, Soil Conservation , Ser . Tech. Bull. 1026, 1950.
- Einstein, H.A., and Chien, N. (1953). Transport of sediment mixtures with large ranges of grain size. Missouri River Division, Corps of Engineers Sediment Series No 2, University of California, June 1953.
- Elahcene, O., Terfous, A., Remini, B., Ghenaim, A., & Poulet, J. B. (2013). Etude de la dynamique sédimentaire dans le bassin versant de l'Oued Bellah (Algérie). Hydrological Sciences Journal, 58(1), 224–236. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.742530>
- Engelund and Hansen, E. (1972). A monograph on sediment transport in alluvial streams. Copenhagen, Techn.Press Edition, 1972.
- Eric Gaume, E., Miquel, J., et Roche, P.A. (2012). Hydrologie quantitative: Processus, modèles et aide à la décision, Chapitre 3 : les crues : Hydraulique et morphologie fluviale. Ingénierie et Développement Durable. Edition : Springer, Paris. Pp. 95-164.
- Erpul, G., Norton, L.D., and Donald Gabriëls (UGent). (2002). Raindrop-induced and wind-driven soil particle transport (2002) CATENA. 47(3). p.227-243: <http://hdl.handle.net/1854/LU-152391>
- Etchanchu, D. et Bropst, J.L. (1986). Erosion et transport de matières en suspension dans un bassin versant en région agricole. Méthode de mesure de ruissellement superficiel, de sa charge et des deux composantes du transport solide dans un cours d'eau. – C.R. Acad. Sci., Paris, 302, série II,17: 1063-1067.
- Evrard, O. (2024). Qu'est-ce que l'érosion des sols ? », Publié le 14 février 2024, Futura Le média qui explore le monde <https://www.futura-sciences.com/planete/personnalites/geologie-olivier-evrard-1147/>.

-
- Eze, E., & Siegmund, A. (2024). Identifying disaster risk factors and hotspots in Africa from spatiotemporal decadal analyses using INFORM data for risk reduction and sustainable development. *Sustainable Development*, 32(4), 4020–4041. <https://doi.org/10.1002/sd.2886>
- Flaounas, E., Drobinski, P., Vrac, M., Bastin, S., Lebeaupin-Brossier, C., Stéfanon, M., Borga, M., & Calvet, J.C. (2013). Precipitation and temperature space–time variability and extremes in the Mediterranean region: evaluation of dynamical and statistical downscaling methods. *Clim Dyn* 2013; 40:2687–705. DOI 10.1007/s00382-012-1558-y
- Fleming, G. (1969). Design curves for suspended load estimation. *Proc. Inst. Civ. Eng.* Vol. 43. pp.1-9.
- Fournier, F. (1960). *Climat et érosion : La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. Presses Universitaires de France., Paris, 201p.
- Gavrilović, S., (1962). A method for estimating of the average annual quantity of sediments according to the potency of erosion. *Glasnik Šumarskog Fakulteta*.
- Getu, L.A., Sàndor, S., Zoltàn, T., & Addis, H.K. Bayesian model averaging approach to predict future rainfall erosivity in the Gumara-Maksegnit watershed, Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.101012>
- Ghachi, A. (1982). *Hydrologie et utilisation des ressources en eau de la Seybouse*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Toulouse, p. 499.
- Ghenim, A., Seddini, A., Terfous, A. (2008). Variation temporelle de la dégradation spécifique du bassin versant de l'Oued Mouilah (nord-ouest Algérien), *Hydrological Sciences Journal*, Vol 53, part 2, pp. 448-456.
- Gholami, L., Khaledi Darvishan, A., Derakhti, S., & Kiani Harchegani, M. (2024). Effects Evaluation of land use change on soil erosion using the RUSLE model in the Chardavol watershed, Ilam. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 2024; 18 (65) : 1 URL: <http://jwmsei.ir/article-1-1153-en.html>
- Guillot, P., Bernier, J., Miquel, J., Michel, C. (1994). *Hydrologie générale (Fascicule 2,C3) : La mesure en hydrologie*. Ecole nationale des ponts et chaussées.

Hadj Rabia, N. (1994). Contribution à l'étude d'un modèle numérique bidimensionnel de transport des sédiments en suspension. Thèse de Magister Ecole Nationale Polytechnique Alger.

Heidel, S.G. (1956). The progressive lag of sediment concentration with flood waves. In: Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers (ed. By G.P. Williams, 1989). J.Hydrol., 111: 89-106.

<https://doi.org/10.1029/TR037i001p00056>

Heusch, B. et Lacroix, A. M. (1971). Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin, application au Maghreb. Mines et géologie n° 33, Rabat.

Houde, L. (2014). Analyse quantitative de problème de gestion « Tests d'hypothèses » , Département de Mathématiques et d'informatique, Université du Québec à Trois – Rivières., PAF-1010 UQTR. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139174107>

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:11\(1613\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:11(1613)) Consulté le 11 novembre 2025.

<https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/deep-clay-ravine-soil-erosion-2386803359>

Consulté le 11 novembre 2025.

<https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/deep-gullies-have-formed-due-soil-2578855517>

Consulté le 11 novembre 2025.

Hu, J., Wang, P., Meng, Z., Feng, T., Zheng, H., & Sadeghi, S.H. (2025). Hydrodynamic behavior of overland flow on slopes with various soil surface coverages. International Soil and Water Conservation Research <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.10.006>

Hydro Banque. (1998). Charte qualité de l'hydrométrie code bonnes pratiques. Ed : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

Jansson, M.B. (2002). Determining sediment source areas in a tropical river basin, Costa Rica. Catena, 47: 63-84.

Johnson, J.W. (1943). Laboratory investigations on bed-load transportation and bed roughness. U.S. Department Agriculture Report SCS-TP-50, 16 p.

-
- Julien, P.Y. (1995) Erosion and Sedimentation. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kalinske, A. (1947). A Movement of sediment as bed load in rivers. Am. Geophys. Union Trans, V. 28, pp 615-620.
- Karim, M. F., and Kennedy, J. F. (1990). Menu of Coupled Velocity and Sediment-Discharge Relations for Rivers. Journal of Hydraulic Engineering Volume 116, Issue 8
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1990\)116:8\(978\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1990)116:8(978))
- Kattan, Z., Gac, J.J., and Probst, J.L. (1987). Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin – estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion. – J. Hydrol., 92: 59-76.
- Khanchoul, K. (2006). Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants de l'extrême Nord-est algérien, Thèse de Doctorat d'état en Géologie. Université Badji Mokhtar Annaba, p. 296.
- Khanchoul, K., Jansson, M.B., and Lange, Y. (2007). Comparison of suspended sediment yield in two catchments, northeast Algeria. – Z. Geomorph. (in press).
<https://doi.org/10.1127/0372-8854/2007/0051-0063>
- Laborde, J.P. (2009). Eléments d'hydrologie de surface. Ecole Polytechnique de l'Université de Nice - Sophia Antipolis. Département Hydroinformatique et Ingénierie de l'Eau. p. 192.
- Lane, E. W., and Kalinske. A.A. (1941), Engineering calculations of suspended sediment, Eos Trans. AGU, 22(3), 603–607, doi:10.1029/TR022i003p00603
<https://doi.org/10.1029/TR022i003p00603>
- Langston, G. (2021). La fonte des neiges : Tout un Processus. <https://gault.mcgill.ca/fr/>. Institut géographique et géologique de Catalogne, « Carte topographique de Catalogne [archive] » (consulté le 27 septembre 2018).
- Laursen, E.L. (1958). The total sediment load of streams. American Society Civil Engineers. Journal of the Hydraulics Division, v. 84, N°. HY1, Proc. Paper 1530, p. 1-36.
- Leblay, J. <https://stock.adobe.com/images/arbre-de-pierre-sculpte-par-l-erosion-eolienne/5294577> consulté le 11 novembre 2025.

-
- Lebreton, J.C. (1974). Dynamique fluviale. 209 p. Eyrolles, Paris, 1974.
- Leopold, L.B. and Maddock, T.G. (1953). The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications, Washington, D.C. – U.S.G.S. Professional Paper, 252p. <https://doi.org/10.3133/pp252>
- Liang, X., Xin, Z., Wang, R., & Zhang, Z. (2026). Incorporating the RUSLE model into the sediment connectivity index to explore the relationship between soil erosion and sediment transport, CATENA, Volume 262, 109646, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109646>
- Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., Prat, M. A., Porcú, F., Price, C., Mugnai, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y., Savvidou, K., and Nicolaides, K. (2010). High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database, Adv. Geosci., 23, 47–55, <https://doi.org/10.5194/adgeo-23-47-2010>
- M.A.A.A.R. (2012). Ministère de l’Agriculture, de l’Alimentation et des Affaires rurales. Garantir la durabilité de l’agriculture avec des programmes de recherche et d’innovation. Rapport d’activité. CANADA 2012.
- Mannering, J. V., Meyer, L. D., Johnson, C. B. (1968). Effect of Cropping Intensity on Erosion and Infiltration¹. Agronomy Journal. 60(2), 206–209. <https://doi.org/10.2134/agronj1968.00021962006000020019x>
- Mate, et GTZ. (2000). Rapport sur l’état et l’avenir de l’environnement. 118 p.
- Meddi, M. (1999). Etude du transport solide dans le bassin versant de l’oued Ebda (Algérie). Z. Geomorph. N.F., 43 (2), 167-183.
- Medinger, J. M., 1960. Transport solide des oueds algériens. Annuaire hydrologique de l’Algérie (années 50-59), Alger.
- Megnounif, A., Terfous. A., and A. Bouanani. (2003). Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien) Production and transport of suspended sediment transport in the Upper-Tafna river bassin (North West Algeria). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 16(3), 369–380. <https://doi.org/10.7202/705513ar>

-
- Megnounif, A., Terfous. A., Ghenaim. A., Poulet. J.B. (2007). Key processes influencing erosion and sediment transport in a semi-arid Mediterranean area : the Upper Tafna catchment, Algeria. *Hydrological Sciences Journal*, 52 (6), pp. 1271-1284.
- Meyer-Peter, E., and Muller, R. (1948). Formulae for bed load Transport. Proc. 2nd Congress IAHR, Stockholm, June 1948.
- Meylan, P., et Musy, A. (1998). *Hydrologie Fréquentielle*, polycopié, EPFL.
- Morell, M., Thébé, B., et L'Hôte, Yann. (1999). Acquisition et constitution d'une information Hydrologique de base. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Edition H.G.A Bucarest 1999, ISBN 973-98954-1-7. 206 p.
- Morgan, R.P.C.(2005). Soil erosion and conservation. Third edition Published by Blackwell Publishing Ltd., p.304.
- Morgenthaler, S. (1997). *Introduction à la Statistique*, PPUR, 1997, p.129.
- Musy, A. (2005) Cours d'hydrologie générale. Laboratoire d'hydrologie et Aménagements (HYDRAM), Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE), Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL).
- Nayak, A., & Mishra, N. (2026). Urban Soil Erosion Modelling and Infrastructure Vulnerability Assessment Using RUSLE–GIS and Remote Sensing Techniques. *Journal of Smart Infrastructure and Environmental Sustainability*, ISSN 3107-7358, Vol. 3, No. 1, 2026 (pp. 9-17).
- Négrel, P., Rigollet, C. (2011). Dynamique de l'eau, de l'érosion à la sédimentation, *Géosciences*, 2011, 13, pp.64-71. fhal-00662460. HAL Id: hal-00662460 <https://brgm.hal.science/hal-00662460v1>.
- Oberholtz, C., Fox Weather, 23 juin 2025, <https://www.foxweather.com/weather-news/skier-dead-avalanche-mt-mckinley-alaska-june-10-2025> consulté le 11 novembre 2025.
- ORSTOM : LAVAU, P., RUELLAN, A. (1985). Une Recherche Fondamentale pour l'Action : Connaissances Climatiques et Développement. Rapport d'activité. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

-
- Parker, W.C., Pallardy, S.G., Hinckley, T.M. and Teskey, R.O. (1982). Seasonal Changes in Tissue Water Relations of Three Woody Species of the Quercus-Carya Forest Type. Ecology, 63: 1259-1267. <https://doi.org/10.2307/1938853>
- Paustian, S.J., Beschta, R.L. (1979). The suspended sediment regime of an Oregon Coast Range stream. Water Resources Bulletin. v. 15 N°1. pp. 144-154.
- Pitaud, G. (1973). Étude hydrogéologique pour mise en valeur de la vallée de Saïda, Étude hydrogéologique (Document ANRH).
- Portillo, G. (2025). Ravine : Définition, formation et exemples. 22 mai 2025, <https://www.projetecolo.com/ravine-definition-formation-et-exemples-2946.html>, Consulté le 11 novembre 2025.
- Projet Volta-HYCOS. (2007). Séminaire de formation sur les courbes de tarage (23-27 avril 2007). Organisation météorologique mondiale (OMM); FFEM; Institut de Recherche pour le Développement (IRD); Groupe des écoles EIER – ETSHER. 19 p. Genève.
- Prosdocimi, M., Cerdà, A., & Tarolli, P. (2016). Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. Catena 2016; 141:1–21. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.010>
- Remini, B. (2001). L'envasement des barrages en Algérie et les moyens techniques de lutte. Séminaire National sur l'Eau « Tlemcen 2001 ».
- Rey, F. (2002). Influence de la distribution spatiale de la végétation sur la production sédimentaire de ravines marneuses dans les Alpes du Sud. Grenoble : Université Joseph Fourier / Cemagref, 183 p. (Thèse de doctorat).
- Rey, F., Ballais, J.L., Marre, A., et Rovera, G. (2004). Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. Comptes Rendus. Géoscience, 2004, 336 (11), pp.991-998. ISSN 1631-0713, <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.03.012>
- Riser, J. (1995). Érosion et paysages naturels : un exposé pour comprendre, un essai pour réfléchir. Paris : Flammarion, DL 1995, 1 (127 p.) ISBN: 2-08-035244-X (br.) : 39 FRF, EAN : 9782080352446, <https://www.sudoc.fr/003751643>
- Robinson, M., Cognard-Plancq, A.-L, C. Cosandey, J. Davidd, P. Durande, H.-W. Fuhrer, R. Halla, M.O. Hendriques, V. March, R. McCarthy, M. McDonnell, ,

-
- C. Martini , T. Nisbetj , P. O’Deag , M. Rodgersh , A. Zollnerk. (2003). Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective. *Forest Ecology and Management* 186 (2003) 85–97, Elsevier B.V. All rights reserved. doi:10.1016/S0378-1127(03)00238-X
- Rottner, J. (1959). A formula for bed load transportation. *La Houille Blanche* 4, No 3, 301-7.
- Ruch, J.J. (2013). *Statistique : Tests d’hypothèses*, Institut de Mathématiques de Bordeaux Préparation à l’Agrégation Bordeaux 1.
- SANDRE. (2007). Service d’Administration Nationale des Données et Référentiels sur l’Eau « Processus d’acquisition des données hydrométriques ».Thème : Hydrométrie, Version 1.0.
- Sarwar, A., Ali, M., Israr, M., Gulzar, S., Khan, M. I., Ali, M. A. S., Rukh, S. (2024). Mapping annual soil loss in the southeast of Peshawar basin, Pakistan, using RUSLE model with geospatial approach. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 9(3), 1102–1113. <https://doi.org/10.1080/24749508.2024.2373493>
- Schoklitsch, A. (1934). The bed-load and the rate of bed-load transportation, *Wasserkraft und Wasserwirtschaft*, Vol. 29, No.4, February 16, 1934.
- Schoklitsch, A. (1943, 1950). *Handbuch des Wasserbaues*, Springer-Verlag, Vienna, 2nd Ed, Vol. I. sediment loads. *J. Hydrol.*, 129: 331-348. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(91\)90057-O](https://doi.org/10.1016/0022-1694(91)90057-O)
- Shen, H.W. & Hung, C.S. (1972). An Engineering Approach to Total Bed Material Load by Regression Analysis. *Proc. Sedimentation Symp*, 14-11 to 14-17.
- Shields, A. (1936). Anwendung der Aehnlichkeitsmechenik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. *Mitteilungen der Preussichen Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau* , Helft 2 6 , Berlin , 1936.
- Shravan Kumar S. M., Manish Pandey, N. V. Umamahesh; Predicting total upland sediment yield using regression and machine learning models for improved land management and water conservation. *Journal of Hydroinformatics* 1 August 2024; 26 (8): 2045–2058. doi: <https://doi.org/10.2166/hydro.2024.159>

-
- Sidle, R.C. and Campbell, A.J. (1985). Patterns of suspended sediment transport in a coastal Alaska stream. – Water Resour. Bull., 21(6): 909-917. <https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.1985.TB00186.X>
- Smart et Jaeggi. (1983), Sediment transport on steep slopes. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Zurich.
- Sodoke, S., Andam-Akorful, S. A., Amuah, E. E. Y., Amoah, E. G., Anokye, K., Nang, D. B., & Kazapoe, R. W. (2025). GIS-based assessment of soil erosion impact and mitigation strategies for sustainable agriculture in Ghana's most vulnerable region. Environmental and Sustainability Indicators. 25 (2025) 100551. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100551>
- Sogreah. (1990) - Port de la pointe des Galets. Protection du littoral Nord et Sud du Port-Ouest. Rapport général, 52 p.
- Sogréah-Sogetha. (1969). Etudes générales des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie. – Dossier Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, Alger, p.164.
- Soleimanpour, S.M., Rahmati, O., Arabkhedri, M., & Tiefenbacher, J. (2024). Evaluation of the performance of sediment connectivity and sediment transport capacity indicators in the spatial analysis of the sediment flux pattern in the Neyriz Watershed, Fars Province. Water and Soil Management and Modeling, 4(3), 239-252. DOI: 10.22098/mmws.2024.15007.1454 <https://doi.org/10.22098/mmws.2024.15007.1454>
- Sourisseau. (1975). Etude hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès. Ministère des Ressources Hydrauliques.
- Straub, L.G. (1935). Missouri River Report , Appendix XV, US Serial N° 9829, House Document N° 238, 73rd Congress, 2nd Session.
- Sundborg, A. (1956). The River Klarälven : A study of Fluvial Processes. Geografiska Annaler. Stockholm. 38 (2). pp. 127-316. <https://doi.org/10.1080/20014422.1956.11880887>
- TEED, Walling. (1971). Mesure des débits solides en suspension dans les petits cours d'eau. Article de périodique. © 1999 OIEau. pp. 325-337.

-
- Thomas, P., Dequinney, O. (2007). La colonisation végétale des ruines d'un village enfoui sous les cendres projetées par le Capelinhos en 1957-1958, île de Faial, Açores (Portugal) : évolution entre 1986 et 2007. Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS de Lyon, Planet Terre, Ressources scientifiques pour l'enseignement des sciences de la Terre et de l'Univers.
- Thomine, D. (2025). Statistiques descriptives. Paramètres de position. Mathématiques et statistiques appliquées, Département TC1-IUT de Sceaux, Université Paris Saclay, France, p 23.
- Tixeront, J. (1960). Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. – In: IAHS Publ., 53: 26-42. <https://www.sudoc.fr/193277492>
- Toffaleti, F.B. (1969). Definitive computations of sand discharge in rivers. Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol 95, No HY1, Proc. Paper 6357.
- Toy, T.J., Foster, G.R., & Renard, K.G. (2002). Soil erosion ; prediction, measurement, and control. European Journal of Soil Science, Wiley, New York: by John Wiley & Sons; 2002. SBN: 978-0-471-38369-7
- Van Rijn, L.C. (1984). Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport. Journal of Hydraulic Engineering, 110, 1613-1641.
- Vanoni, V.A. (1975). Sedimentation Engineering Practice. American Society of Civil Engineers, Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 54, 745 p.
- Vanoni, V.A. (1977). Erosion rates from sediment sources. – In Engineering sedimentation, Manual ASCE, New York, pp 472-480.
- Velikanov, M.A. (1954). Gravitational Theory of Sediment Transport. Journal of Science of the Soviet Union, Geophysics, Vol. 4, 1954.
- Walling, D.E. (1977). Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. Water Resources Research, 13(3): 531-538.
<https://doi.org/10.1029/WR013i003p00531>
- Walling, D.E. (1977). Limitations of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers. Erosion and solid Matter

-
- Transport in Inland Waters, Proceedings of a symposium held at Paris. IAHS Publ. n° 122, pp. 34-48.
- Walling, D.E. (1984). The sediment yields of African rivers, IAHS Publication n° 144, pp. 265-283.
- Walling, D.E., Webb, B.W. (1981). The reliability of suspended sediment load data. Erosion and Sediment Transport Measurement, Proceedings of the Florence Symposium. IAHS Publ. n° 133, pp. 177-194.
- Walling, D.E., Webb, B.W. (1982). Sediment availability and the prediction of storm-period sediment yields. Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield, Proceedings of the Exeter Symposium. IAHS Publ. n° 137, pp. 327-337.
- Wang, L., Zheng, F., Xu, X., Flanagan, D.C., Wang, L., & Wang, X. (2025). Hongqiang Shi, Fengbao Zhang. Effects of rainfall intensity and kinetic energy on hillslope soil erosion in the thin-layer Mollisol region of China: Field observation and rainfall simulation. International Soil and Water Conservation Research.
- <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.09.013>
- Williams, G.P. (1989). Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. – J. Hydrol., 111. 89-106.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. In Agriculture Handbook; US Department of Agriculture: Washington, DC, USA, 1978; Volume 537, p. 85.
- Wood, P.A. (1977). Controls of variation in suspended sediment concentration in the River Rother, West Sussex, England. – Sedimentology, 24: 437-445.
- <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1977.tb00131.x>
- Yalin, M.S. (1963). On the Velocity Distribution in Turbulent Shear Flow. Box: 12, Item: FC-224. Hans Albert Einstein papers, WRCA-100. Water Resources Collections & Archives.

-
- Yang, C.T. (1973). Incipient motion and sediment transport. American Society Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division, v. 99, N°. HY10, Proc. Paper 10067, p. 1679-1704.
- Yang, C.T. (1996). Sediment Transport: Theory and Practice. 412 p. McGraw-Hill, New York.
- Zekri, N., Tounkob, A. (2021). Cartographie de la vulnérabilité potentielle des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant de Tafna (Nord-Ouest Algérien). Revue Marocaine Des Sciences Agronomiques Et Vétérinaires, 9(4), 608–615. Consulté à l'adresse https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/1046

ANNEXES

ANNEXE I : TRAITEMENT STATISTIQUE

Tableau (VI-4) : Paramètres statistiques des débits liquides et concentration des sédiments solides à la station hydrométrique Sidi Bel Abbès.

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
1	DU 19/01/88 AU 19/01/88	39	C (g/l)	1,700	0,37	0,51	0,2	0,40	0,73	1,06
			Q _L (m ³ /s)	6,530	1,83	1,98	0,58	1,20	0,92	1,36
2	DU 20/01/88 AU 20/01/88	47	C (g/l)	0,700	0,20	0,33	0,1	0,40	0,61	0,16
			Q _L (m ³ /s)	6,740	1,84	2,23	0,63	1,48	0,83	1,07
3	DU 07/02/88 AU 07/02/88	11	C (g/l)	2,500	0,72	0,74	0,3	0,50	0,97	1,82
			Q _L (m ³ /s)	2,040	0,49	0,99	0,63	0,73	0,49	1,31
4	DU 05/03/88 AU 05/03/88	24	C (g/l)	4,100	1,05	0,79	0,1	0,35	1,33	2,15
			Q _L (m ³ /s)	2,520	0,49	0,83	0,55	0,65	0,59	2,62
5	DU 03/04/88 AU 03/04/88	24	C (g/l)	0,600	0,19	0,24	0,1	0,10	0,79	0,8
			Q _L (m ³ /s)	0,930	0,12	0,69	0,73	0,72	0,17	-0,26
6	DU 04/04/88 AU 04/04/88	24	C (g/l)	0,500	0,13	0,35	0,5	0,30	0,37	0,1
			Q _L (m ³ /s)	1,570	0,26	0,77	0,55	0,71	0,34	1,84
7	DU 27/04/88 AU 27/04/88	5	C (g/l)	4,500	1,28	2,88	-	3,00	0,44	-0,27
			Q _L (m ³ /s)	2,215	0,61	1,5	0,93	1,36	0,41	0,32
8	DU 13/05/88 AU 13/05/88	6	C (g/l)	1,000	0,32	0,8	1	0,95	0,40	-1,82
			Q _L (m ³ /s)	1,480	0,24	1,17	-	1,19	0,21	-0,06
9	DU 18/09/89 AU 19/09/89	36	C (g/l)	31,900	8,07	20,94	21,8	22,10	0,39	-1,03
			Q _L (m ³ /s)	64,600	19,21	12,39	-	4,19	1,55	1,96
10	DU 19/09/89 AU 20/09/89	26	C (g/l)	2,900	0,72	2,09	2,8	2,45	0,34	-0,55
			Q _L (m ³ /s)	1,233	0,10	1,1	0,53	1,11	0,09	0,05
11	DU 19/10/89 AU 21/10/89	61	C (g/l)	13,100	3,89	5,77	11	5,10	0,67	0,34
			Q _L (m ³ /s)	64,600	11,96	5,45	0,71	1,02	2,19	3,46
12	DU 18/11/89 AU 18/11/89	24	C (g/l)	21,500	6,36	10,58	-	7,00	0,60	0,48
			Q _L (m ³ /s)	1,348	0,26	0,79	0,61	0,66	0,33	1,05
13	DU 04/01/90 AU 08/01/90	110	C (g/l)	10,800	3,69	5,05	10,7	5,30	0,73	0,19
			Q _L (m ³ /s)	34,800	6,23	4,73	0,58	1,38	1,32	2,27
14	DU 08/01/90 AU 10/01/90	47	C (g/l)	0,400	0,04	0,11	0,1	0,10	0,36	6,86
			Q _L (m ³ /s)	0,636	0,04	0,57	0,64	0,58	0,07	-0,13
15	DU 10/01/90 AU 12/01/90	50	C (g/l)	21,100	3,79	4,74	0,1	4,30	0,80	1,88
			Q _L (m ³ /s)	2,178	0,44	0,91	0,56	0,78	0,48	1,18
16	DU 12/01/90 AU 14/01/90	29	C (g/l)	0,500	0,18	0,36	0,5	0,40	0,50	-0,72
			Q _L (m ³ /s)	1,074	0,21	0,7	0,46	0,71	0,30	0,39

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
17	DU 15/01/90 AU 15/01/90	21	C (g/l)	0,400	0,08	0,29	0,2	0,30	0,28	0,19
			Q _L (m ³ /s)	0,721	0,02	0,69	0,68	0,68	0,03	0,07
18	DU 19/01/90 AU 20/01/90	36	C (g/l)	4,400	1,73	1,23	0,1	0,10	1,41	0,99
			Q _L (m ³ /s)	2,870	0,65	1,15	0,56	0,87	0,57	1,18
19	DU 21/08/90 AU 21/08/90	12	C (g/l)	3,700	1,01	2,18	-	2,20	0,46	-0,03
			Q _L (m ³ /s)	0,481	0,05	0,45	0,48	0,48	0,11	-1,48
20	DU 21/08/90 AU 22/08/90	20	C (g/l)	20,900	5,39	6,03	0,2	4,60	0,89	1,46
			Q _L (m ³ /s)	12,480	4,27	6,17	0,34	6,28	0,69	-0,04
21	DU 22/08/90 AU 23/08/90	32	C (g/l)	9,800	1,81	6,27	5,4	5,40	0,29	0,98
			Q _L (m ³ /s)	61,700	16,70	10,29	0,74	2,36	1,62	2,04
22	DU 03/09/90 AU 04/09/90	29	C (g/l)	17,700	3,03	13,52	13,9	14,00	0,22	-3,38
			Q _L (m ³ /s)	60,330	19,13	27,91	38,76	28,54	0,69	0,17
23	DU 16/10/90 AU 17/10/90	48	C (g/l)	11,000	3,45	6,03	1,2	6,65	0,57	-0,32
			Q _L (m ³ /s)	76,100	21,66	17,78	0,33	7,63	1,22	1,34
24	DU 09/12/90 AU 09/12/90	12	C (g/l)	20,080	7,06	4,97	2,2	2,04	1,42	2,03
			Q _L (m ³ /s)	2,575	0,61	0,9	-	0,66	0,68	2,38
25	DU 11/12/90 AU 12/12/90	29	C (g/l)	1,600	0,45	0,45	0,3	0,22	1,00	1,08
			Q _L (m ³ /s)	8,386	2,38	1,97	-	0,82	1,21	1,67
26	DU 20/02/91 AU 20/02/91	14	C (g/l)	0,100	0,00	0,1	0,1	0,10	0,00	-
			Q _L (m ³ /s)	0,741	0,11	0,57	0,63	0,60	0,19	-0,61
27	DU 15/10/91 AU 16/10/91	35	C (g/l)	0,200	0,03	0,13	0,1	0,13	0,23	0,54
			Q _L (m ³ /s)	0,573	0,05	0,51	0,54	0,54	0,10	-0,69
28	DU 16/10/91 AU 16/10/91	13	C (g/l)	0,200	0,01	0,18	0,2	0,18	0,06	-0,27
			Q _L (m ³ /s)	0,471	0,02	0,45	0,43	0,45	0,04	-0,04
29	DU 20/10/91 AU 20/10/91	24	C (g/l)	2,300	0,33	1,77	1,4	1,80	0,19	-0,09
			Q _L (m ³ /s)	1,322	0,17	0,58	0,53	0,53	0,29	4
30	DU 20/11/91 AU 21/11/91	40	C (g/l)	0,700	0,22	0,33	0,1	0,29	0,67	0,35
			Q _L (m ³ /s)	6,530	1,85	1,77	0,43	0,72	1,05	1,27
31	DU 19/02/92 AU 19/02/92	22	C (g/l)	0,800	0,05	0,74	0,8	0,74	0,07	-0,24
			Q _L (m ³ /s)	0,513	0,02	0,48	0,49	0,48	0,04	0,5
32	DU 19/02/92 AU 21/02/92	34	C (g/l)	0,800	0,15	0,43	-	0,43	0,35	0,01
			Q _L (m ³ /s)	2,506	0,38	0,6	0,47	0,49	0,63	4,43
33	DU 21/02/92 AU 21/02/92	16	C (g/l)	0,170	0,02	0,11	0,1	0,10	0,18	1,88
			Q _L (m ³ /s)	1,070	0,19	0,66	0,63	0,62	0,29	1,28
34	DU 05/03/92 AU 05/03/92	4	C (g/l)	1,400	0,27	1,01	-	0,92	0,27	1,65
			Q _L (m ³ /s)	1,329	0,13	1,23	1,28	1,28	0,11	-1,8
35	DU 25/03/92 AU 26/03/92	27	C (g/l)	0,900	0,10	0,76	0,63	0,75	0,13	-0,05
			Q _L (m ³ /s)	1,476	0,27	0,73	0,62	0,62	0,37	2,01
36	DU 26/03/92 AU 27/03/92	16	C (g/l)	0,550	0,15	0,28	-	0,25	0,54	0,51
			Q _L (m ³ /s)	4,774	1,54	1,55	0,62	0,64	0,99	1,5

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
37	DU 01/04/92 AU 01/04/92	10	C (g/l)	0,100	0,00	0,1	0,1	0,10	0,00	1,19
			Q _L (m ³ /s)	0,632	0,01	0,62	0,62	0,62	0,02	-0,44
38	DU 10/04/92 AU 11/04/92	27	C (g/l)	10,200	2,42	6,61	-	6,30	0,37	-0,07
			Q _L (m ³ /s)	39,500	10,07	8,92	-	4,12	1,13	1,59
39	DU 03/05/92 AU 04/05/92	36	C (g/l)	6,100	2,04	2,71	0,1	2,80	0,75	0,02
			Q _L (m ³ /s)	6,202	1,13	1,21	0,66	0,70	0,93	3,01
40	DU 09/05/92 AU 11/05/92	65	C (g/l)	4,500	1,24	2,8	3,7	3,30	0,44	-0,67
			Q _L (m ³ /s)	29,700	8,07	5,95	0,65	1,71	1,36	1,71
41	DU 16/05/92 AU 17/05/92	24	C (g/l)	4,000	1,09	1,91	-	1,85	0,57	0,14
			Q _L (m ³ /s)	8,685	2,32	2,57	0,84	1,44	0,90	1,53
42	DU 22/09/92 AU 23/09/92	32	C (g/l)	38,600	9,10	9,16	6,60	6,80	0,99	2,88
			Q _L (m ³ /s)	70,340	15,81	8,59	-	2,09	1,84	2,87
43	DU 23/09/92 AU 24/09/92	16	C (g/l)	8,400	2,55	6,04	8,4	7,00	0,42	-0,91
			Q _L (m ³ /s)	1,258	0,15	1,02	0,85	0,99	0,15	0,47
44	DU 07/11/92 AU 08/11/92	25	C (g/l)	0,200	0,03	0,15	0,16	0,15	0,20	-0,14
			Q _L (m ³ /s)	2,230	0,56	0,93	0,37	0,72	0,60	1,38
45	DU 14/04/93 AU 14/04/93	24	C (g/l)	0,340	0,08	0,26	0,34	0,28	0,31	-0,63
			Q _L (m ³ /s)	5,730	1,45	1,73	0,73	0,96	0,84	1,77
46	DU 15/04/93 AU 15/04/93	24	C (g/l)	0,600	0,08	0,53	0,6	0,59	0,15	-0,94
			Q _L (m ³ /s)	1,172	0,14	0,79	0,82	0,77	0,18	1,17
47	DU 16/04/93 AU 16/04/93	24	C (g/l)	0,600	0,19	0,38	0,2	0,26	0,50	0,22
			Q _L (m ³ /s)	2,240	0,42	0,99	0,75	0,84	0,42	2,41
48	DU 24/04/93 AU 24/04/93	47	C (g/l)	0,200	0,00	0,2	0,2	0,20	0,00	1,03
			Q _L (m ³ /s)	1,461	0,24	1	0,75	0,89	0,24	0,54
49	DU 25/04/93 AU 25/04/93	16	C (g/l)	0,250	0,02	0,22	0,2	0,22	0,09	0,22
			Q _L (m ³ /s)	1,024	0,08	0,86	0,8	0,86	0,09	0,7
50	DU 06/05/93 AU 06/05/93	17	C (g/l)	0,630	0,15	0,39	-	0,36	0,38	0,12
			Q _L (m ³ /s)	1,795	0,42	1,02	0,75	0,80	0,41	0,76
51	DU 06/05/93 AU 07/05/93	17	C (g/l)	1,000	0,12	0,87	1	0,88	0,14	-0,34
			Q _L (m ³ /s)	1,542	0,22	1,18	1,22	1,22	0,19	-0,25
52	DU 07/05/93 AU 08/05/93	24	C (g/l)	0,970	0,21	0,63	-	0,64	0,33	0
			Q _L (m ³ /s)	1,380	0,12	1,17	1,22	1,19	0,10	0,01
53	DU 18/10/93 AU 19/10/93	36	C (g/l)	1,060	0,31	0,54	-	0,54	0,57	0,01
			Q _L (m ³ /s)	2,060	0,50	0,7	0,48	0,53	0,71	1,82
54	DU 04/11/93 AU 04/11/93	13	C (g/l)	0,800	0,13	0,66	0,6	0,70	0,20	-0,6
			Q _L (m ³ /s)	4,826	1,38	1,63	0,84	0,93	0,85	1,69
55	DU 12/11/93 AU 14/11/93	47	C (g/l)	14,200	3,90	5,93	3	3,10	0,66	0,82
			Q _L (m ³ /s)	70,340	14,40	6,88	0,8	1,53	2,09	3,45
56	DU 13/03/95 AU 15/03/95	49	C (g/l)	2,700	0,51	1,57	1,8	1,60	0,32	-0,09
			Q _L (m ³ /s)	4,500	0,81	2,47	2,04	2,10	0,33	0,85

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
57	DU 05/10/95 AU 06/10/95	34	C (g/l)	31,500	12,51	21,94	1,7	29,10	0,57	-1,04
			Q _L (m ³ /s)	6,940	2,13	3,09	0,66	2,18	0,69	0,48
58	DU 06/10/95 AU 09/10/95	59	C (g/l)	27,500	6,45	5,12	0,8	3,20	1,26	2,15
			Q _L (m ³ /s)	3,465	0,82	1,37	0,73	0,92	0,60	1,17
59	DU 09/10/95 AU 10/10/95	24	C (g/l)	8,600	1,51	5,72	5,2	5,35	0,26	-0,87
			Q _L (m ³ /s)	18,600	6,01	7,46	-	6,64	0,81	0,55
60	DU 10/10/95 AU 11/10/95	32	C (g/l)	11,100	1,97	9,35	10,3	10,25	0,21	-1,22
			Q _L (m ³ /s)	33,000	9,64	8,42	33	4,11	1,14	1,58
61	DU 11/10/95 AU 13/10/95	55	C (g/l)	11,200	2,38	6,51	7	6,80	0,37	-0,47
			Q _L (m ³ /s)	116,000	28,03	17,43	1,49	5,24	1,61	2,25
62	DU 10/06/96 AU 10/06/96	13	C (g/l)	31,000	10,40	22,58	24	26,00	0,46	-1,47
			Q _L (m ³ /s)	40,340	10,29	28,94	30,4	30,40	0,36	-1,88
63	DU 03/01/97 AU 04/01/97	41	C (g/l)	0,600	0,17	0,25	0,1	0,20	0,68	1,05
			Q _L (m ³ /s)	1,060	0,19	0,5	0,37	0,40	0,38	1,67
64	DU 09/01/97 AU 10/01/97	31	C (g/l)	3,800	1,01	1,89	1,4	1,60	0,53	0,35
			Q _L (m ³ /s)	10,575	2,10	1,35	0,42	0,43	1,56	3,34
65	DU 25/01/97 AU 26/01/97	28	C (g/l)	1,300	0,40	0,9	1,3	1,00	0,44	-0,82
			Q _L (m ³ /s)	3,700	0,88	1,63	1,36	1,47	0,54	0,58
66	DU 09/04/97 AU 09/04/97	16	C (g/l)	1,000	0,13	0,75	0,77	0,77	0,17	0,4
			Q _L (m ³ /s)	1,060	0,20	0,49	0,37	0,40	0,41	2,12
67	DU 15/04/97 AU 16/04/97	23	C (g/l)	3,200	0,79	1,22	0,56	0,96	0,65	1,38
			Q _L (m ³ /s)	1,800	0,56	0,86	0,59	0,59	0,65	0,94
68	DU 16/04/97 AU 16/04/97	21	C (g/l)	1,440	0,31	1,03	1,44	1,04	0,30	-0,19
			Q _L (m ³ /s)	0,704	0,12	0,5	0,41	0,42	0,24	0,84
69	DU 16/05/97 AU 17/05/97	36	C (g/l)	0,100	0,00	0,1	0,1	0,10	0,00	-1,04
			Q _L (m ³ /s)	0,592	0,08	0,39	0,37	0,37	0,21	1,34
70	DU 24/08/97 AU 24/08/97	44	C (g/l)	30,700	10,69	15,92	17	17,00	0,67	-0,25
			Q _L (m ³ /s)	10,575	3,13	2,61	0,82	1,21	1,20	1,71
71	DU 24/08/97 AU 26/08/97	78	C (g/l)	16,800	3,09	15,58	16,3	14,15	0,20	2,15
			Q _L (m ³ /s)	99,600	35,59	28,32	3,4	5,02	1,26	1,04
72	DU 26/08/97 AU 28/08/97	90	C (g/l)	20,000	6,90	7,63	3,5	4,30	0,90	0,72
			Q _L (m ³ /s)	113,800	40,77	29,87	1,2	5,48	1,36	1,13
73	DU 13/09/97 AU 15/09/97	91	C (g/l)	31,800	9,11	11,27	0,1	12,00	0,81	0,26
			Q _L (m ³ /s)	85,150	11,44	3,5	0,16	0,41	3,27	5,38
74	DU 15/09/97 AU 16/09/97	42	C (g/l)	25,000	9,03	10,13	1	8,25	0,89	0,26
			Q _L (m ³ /s)	53,900	18,83	12,14	0,25	1,91	1,55	1,39
75	DU 16/09/97 AU 16/09/97	27	C (g/l)	21,900	4,74	18,16	20	20,00	0,26	-1,55
			Q _L (m ³ /s)	170,000	66,83	56,22	170	11,68	1,19	0,87
76	DU 01/10/97 AU 01/10/97	38	C (g/l)	34,500	9,59	11,82	0,1	9,75	0,81	0,97
			Q _L (m ³ /s)	12,000	3,22	2,77	0,42	1,48	1,16	1,81

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
77	DU 06/10/97 AU 07/10/97	47	C (g/l)	48,000	16,56	9,68	0,1	0,20	1,71	1,49
			Q _L (m ³ /s)	1,180	0,28	0,52	0,42	0,40	0,54	1,65
78	DU 07/10/97 AU 07/10/97	23	C (g/l)	0,100	0,00	0,1	0,1	0,10	0,00	-1,07
			Q _L (m ³ /s)	0,404	0,02	0,38	0,37	0,37	0,05	-0,77
79	DU 23/10/97 AU 23/10/97	28	C (g/l)	74,400	19,79	63,98	74	73,55	0,31	-2,09
			Q _L (m ³ /s)	1,120	0,31	0,74	1,12	0,64	0,42	0,24
80	DU 23/10/97 AU 25/10/97	81	C (g/l)	20,600	6,59	8,96	4	7,50	0,74	0,61
			Q _L (m ³ /s)	41,700	13,74	9,85	41,7	2,84	1,39	1,41
81	DU 27/10/97 AU 28/10/97	55	C (g/l)	23,000	5,53	6,4	5	5,00	0,86	1,65
			Q _L (m ³ /s)	122,600	50,26	44,91	122,6	7,80	1,12	0,54
82	DU 12/11/97 AU 12/11/97	34	C (g/l)	1,700	0,42	0,75	0,4	0,60	0,56	0,96
			Q _L (m ³ /s)	1,120	0,21	0,71	0,71	0,71	0,30	0,35
83	DU 13/11/97 AU 13/11/97	47	C (g/l)	0,300	0,05	0,23	0,2	0,20	0,22	1,03
			Q _L (m ³ /s)	0,526	0,03	0,43	0,43	0,43	0,07	1,76
84	DU 21/11/97 AU 21/11/97	19	C (g/l)	0,200	0,02	0,11	0,1	0,10	0,18	4,36
			Q _L (m ³ /s)	0,411	0,02	0,4	0,4	0,40	0,05	-1,39
85	DU 21/11/97 AU 22/11/97	20	C (g/l)	4,300	1,07	3,67	4,2	4,05	0,29	-2,49
			Q _L (m ³ /s)	0,856	0,19	0,69	0,86	0,77	0,28	-0,51
86	DU 22/11/97 AU 23/11/97	51	C (g/l)	3,600	1,08	0,92	0,1	0,40	1,17	1,28
			Q _L (m ³ /s)	0,814	0,11	0,44	0,4	0,40	0,25	2,01
87	DU 23/11/97 AU 23/11/97	21	C (g/l)	2,100	0,46	1,33	0,9	1,20	0,35	0,46
			Q _L (m ³ /s)	1,602	0,47	0,86	1,6	0,57	0,55	0,49
88	DU 26/11/97 AU 26/11/97	26	C (g/l)	1,400	0,45	0,67	0,3	0,45	0,67	0,6
			Q _L (m ³ /s)	0,698	0,12	0,46	0,7	0,42	0,26	0,93
89	DU 26/11/97 AU 27/11/97	48	C (g/l)	0,300	0,06	0,15	0,1	0,10	0,40	0,76
			Q _L (m ³ /s)	0,772	0,13	0,48	0,4	0,43	0,27	1,28
90	DU 05/12/97 AU 06/12/97	26	C (g/l)	0,900	0,23	0,23	0,1	0,10	1,00	1,84
			Q _L (m ³ /s)	0,385	0,02	0,33	0,32	0,32	0,06	1,55
91	DU 06/12/97 AU 06/12/97	45	C (g/l)	1,300	0,37	0,37	0,1	0,20	1,00	1,36
			Q _L (m ³ /s)	1,060	0,20	0,45	0,33	0,37	0,44	1,96
92	DU 07/12/97 AU 07/12/97	47	C (g/l)	1,200	0,40	0,5	0,1	0,50	0,80	0,3
			Q _L (m ³ /s)	0,570	0,07	0,41	0,57	0,39	0,17	0,91
93	DU 13/12/97 AU 13/12/97	47	C (g/l)	18,900	5,99	6,23	0,1	6,50	0,96	0,67
			Q _L (m ³ /s)	3,240	1,01	1,26	0,33	0,86	0,80	0,81
94	DU 03/02/98 AU 03/02/98	17	C (g/l)	1,150	0,40	0,65	0,2	0,52	0,62	0,09
			Q _L (m ³ /s)	1,980	0,67	0,98	0,33	0,77	0,68	0,41
95	DU 03/02/98 AU 04/02/98	54	C (g/l)	0,800	0,26	0,34	0,1	0,25	0,76	0,38
			Q _L (m ³ /s)	1,030	0,23	0,44	0,33	0,33	0,52	1,78
96	DU 06/02/98 AU 06/02/98	13	C (g/l)	0,100	0,00	0,1	0,1	0,10	0,00	-
			Q _L (m ³ /s)	0,325	0,01	0,31	0,33	0,31	0,03	-0,21

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
97	DU 06/02/98 AU 08/02/98	48	C (g/l)	0,860	0,24	0,37	0,2	0,26	0,65	0,9
			Q _L (m ³ /s)	0,814	0,15	0,39	0,32	0,32	0,38	1,88
98	DU 08/02/98 AU 09/02/98	17	C (g/l)	1,000	0,18	0,86	1	0,94	0,21	-1,52
			Q _L (m ³ /s)	0,418	0,04	0,34	0,31	0,32	0,12	0,87
99	DU 12/03/98 AU 12/03/98	31	C (g/l)	12,000	3,67	4,75	1	3,90	0,77	0,8
			Q _L (m ³ /s)	1,060	0,17	0,49	0,45	0,45	0,35	2,08
100	DU 29/03/98 AU 30/03/98	41	C (g/l)	3,400	0,75	0,42	0,1	0,20	1,79	3,18
			Q _L (m ³ /s)	0,380	0,02	0,29	0,27	0,29	0,07	1,84
101	DU 11/04/98 AU 11/04/98	23	C (g/l)	12,300	3,39	3,45	0,1	2,60	0,98	1,07
			Q _L (m ³ /s)	0,570	0,09	0,36	0,3	0,32	0,25	1,44
102	DU 02/05/98 AU 03/05/98	38	C (g/l)	1,300	0,30	0,4	0,2	0,25	0,75	1,3
			Q _L (m ³ /s)	0,526	0,06	0,31	0,28	0,29	0,19	2,31
103	DU 04/05/98 AU 04/05/98	15	C (g/l)	0,200	0,00	0,2	0,2	0,20	0,00	-1,11
			Q _L (m ³ /s)	0,348	0,03	0,3	0,26	0,28	0,10	0,6
104	DU 10/05/98 AU 11/05/98	39	C (g/l)	0,500	0,08	0,24	0,2	0,20	0,33	2,36
			Q _L (m ³ /s)	0,404	0,04	0,29	0,27	0,27	0,14	2,13
105	DU 21/09/98 AU 22/09/98	62	C (g/l)	51,700	9,03	7,97	7	6,90	1,13	3,83
			Q _L (m ³ /s)	64,200	24,12	17,38	0,23	2,12	1,39	1,01
106	DU 21/12/98 AU 21/12/98	47	C (g/l)	1,320	0,44	0,54	0,04	0,42	0,81	0,56
			Q _L (m ³ /s)	2,950	0,85	0,86	0,26	0,38	0,99	1,29
107	DU 30/12/98 AU 31/12/98	13	C (g/l)	0,620	0,24	0,24	0,01	0,14	1,00	0,58
			Q _L (m ³ /s)	1,420	0,45	0,53	0,22	0,31	0,85	1,46
108	DU 10/02/99 AU 10/02/99	15	C (g/l)	4,100	1,11	2,57	1	2,50	0,43	-0,07
			Q _L (m ³ /s)	4,150	1,14	2,35	-	2,26	0,49	0,09
109	DU 04/09/99 AU 05/09/99	47	C (g/l)	63,500	20,89	26,19	4	22,50	0,80	0,42
			Q _L (m ³ /s)	84,800	27,66	17,47	0,15	2,14	1,58	1,53
110	DU 27/09/99 AU 27/09/99	16	C (g/l)	11,000	1,74	8,13	8	8,00	0,21	-0,16
			Q _L (m ³ /s)	4,500	1,18	2,47	1,74	2,46	0,48	0,17
111	DU 27/09/99 AU 28/09/99	54	C (g/l)	29,200	6,70	11,12	13,3	13,20	0,60	0,85
			Q _L (m ³ /s)	131,200	49,89	36,61	0,67	3,75	1,36	0,94
112	DU 16/10/99 AU 18/10/99	81	C (g/l)	37,000	8,60	15,56	14	14,00	0,55	0,59
			Q _L (m ³ /s)	68,630	24,47	17,04	1,48	1,78	1,44	1,24
113	DU 15/11/99 AU 16/11/99	13	C (g/l)	3,000	0,89	1,62	1	1,50	0,55	0,22
			Q _L (m ³ /s)	0,850	0,19	0,6	0,5	0,61	0,32	-0,3
114	DU 20/11/99 AU 21/11/99	47	C (g/l)	18,000	5,09	4,94	0,5	3,00	1,03	1,16
			Q _L (m ³ /s)	3,000	0,57	1,06	0,77	0,82	0,54	1,84
115	DU 21/11/99 AU 22/11/99	9	C (g/l)	6,000	1,95	1,48	0,3	0,50	1,32	1,89
			Q _L (m ³ /s)	0,990	0,24	0,62	0,45	0,58	0,39	0,19
116	DU 05/12/99 AU 05/12/99	13	C (g/l)	6,500	2,25	1,95	0,3	0,80	1,15	1,23
			Q _L (m ³ /s)	0,962	0,25	0,53	0,3	0,50	0,47	0,64

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
117	DU 10/12/99 AU 10/12/99	9	C (g/l)	4,000	1,56	1,67	2,5	1,10	0,93	0,52
			Q _L (m ³ /s)	0,738	0,12	0,55	0,48	0,50	0,22	0,42
118	DU 16/12/99 AU 16/12/99	9	C (g/l)	3,800	1,40	1,3	-	0,80	1,08	1,25
			Q _L (m ³ /s)	5,950	1,90	1,99	-	0,93	0,95	1,4
119	DU 17/12/99 AU 17/12/99	5	C (g/l)	0,800	0,22	0,62	0,8	0,70	0,35	-0,91
			Q _L (m ³ /s)	0,658	0,04	0,62	0,66	0,63	0,06	-1,09
120	DU 18/12/99 AU 18/12/99	13	C (g/l)	1,800	0,62	0,86	0,3	0,70	0,72	0,41
			Q _L (m ³ /s)	1,110	0,19	0,87	1,08	0,82	0,22	0,16
121	DU 18/12/99 AU 19/12/99	13	C (g/l)	4,000	1,28	1,69	1	1,50	0,76	0,74
			Q _L (m ³ /s)	3,500	0,90	1,88	-	1,60	0,48	0,66
122	DU 19/12/99 AU 19/12/99	12	C (g/l)	17,700	5,91	5,83	-	3,90	1,01	1
			Q _L (m ³ /s)	7,120	2,19	3,64	2,7	3,00	0,60	0,36
123	DU 20/12/99 AU 20/12/99	6	C (g/l)	1,500	0,47	0,83	0,5	0,75	0,57	0,36
			Q _L (m ³ /s)	1,690	0,36	1,05	-	0,92	0,34	1,34
124	DU 30/12/99 AU 30/12/99	9	C (g/l)	1,500	0,56	0,71	0,1	0,70	0,79	0,19
			Q _L (m ³ /s)	2,700	0,66	1,2	0,71	1,05	0,55	1,6
125	DU 14/03/00 AU 14/03/00	11	C (g/l)	16,500	5,63	7,51	4	6,00	0,75	0,4
			Q _L (m ³ /s)	1,445	0,34	0,72	0,5	0,61	0,47	0,9
126	DU 15/03/00 AU 15/03/00	24	C (g/l)	7,000	2,53	2,27	0,5	0,85	1,11	0,91
			Q _L (m ³ /s)	1,507	0,36	0,68	0,66	0,61	0,53	1,36
127	DU 16/03/00 AU 16/03/00	11	C (g/l)	2,000	0,68	1,06	0,8	1,00	0,64	0,14
			Q _L (m ³ /s)	0,580	0,09	0,48	0,41	0,50	0,19	-0,34
128	DU 11/04/00 AU 11/04/00	24	C (g/l)	0,500	0,50	0,45	0,1	0,25	1,11	1,91
			Q _L (m ³ /s)	1,290	0,23	0,46	0,3	0,36	0,50	2,39
129	DU 24/05/00 AU 25/05/00	20	C (g/l)	5,500	1,58	1,34	0,1	0,85	1,18	1,9
			Q _L (m ³ /s)	3,100	0,76	1,07	0,45	0,82	0,71	1,59
130	DU 25/05/00 AU 26/05/00	64	C (g/l)	26,900	8,52	10,39	7,2	7,20	0,82	0,69
			Q _L (m ³ /s)	79,350	27,42	19,86	0,48	5,50	1,38	1,31
131	DU 29/07/00 AU 30/07/00	51	C (g/l)	86,300	24,85	32,79	6	34,00	0,76	0,62
			Q _L (m ³ /s)	66,270	21,74	15,11	0,5	3,00	1,44	1,4
132	DU 02/09/00 AU 02/09/00	6	C (g/l)	0,800	0,25	0,38	-	0,35	0,66	0,87
			Q _L (m ³ /s)	0,502	0,11	0,33	-	0,31	0,33	0,69
133	DU 23/09/00 AU 24/09/00	11	C (g/l)	4,000	1,40	1,25	0,5	0,50	1,12	1,15
			Q _L (m ³ /s)	1,230	0,32	0,5	-	0,35	0,64	1,61
134	DU 30/09/00 AU 01/10/00	28	C (g/l)	4,700	1,12	0,7	0,2	0,20	1,60	2,5
			Q _L (m ³ /s)	1,020	0,21	0,42	0,31	0,32	0,50	1,65
135	DU 01/10/00 AU 01/10/00	14	C (g/l)	6,500	2,23	2	0,6	1,05	1,12	1,28
			Q _L (m ³ /s)	2,700	0,77	0,83	0,31	0,44	0,93	1,5
136	DU 12/10/00 AU 14/10/00	29	C (g/l)	4,500	1,12	1,19	0,1	1,00	0,94	1,14
			Q _L (m ³ /s)	1,110	0,24	0,47	0,45	0,39	0,51	1,01

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
137	DU 14/10/00 AU 14/10/00	21	C (g/l)	31,000	11,62	14,24	17	14,00	0,82	0,13
			Q _L (m ³ /s)	9,400	2,71	2,13	0,31	0,91	1,27	1,8
138	DU 15/10/00 AU 16/10/00	71	C (g/l)	38,000	11,61	14,29	0,1	12,00	0,81	0,81
			Q _L (m ³ /s)	25,300	7,18	4,82	1,35	1,35	1,49	1,84
139	DU 21/10/00 AU 22/10/00	18	C (g/l)	19,500	5,03	9,47	7	7,50	0,53	0,78
			Q _L (m ³ /s)	5,200	1,50	1,11	0,29	0,39	1,35	1,98
140	DU 22/10/00 AU 22/10/00	7	C (g/l)	3,300	0,87	2,3	1,5	2,00	0,38	0,28
			Q _L (m ³ /s)	0,990	0,08	0,86	0,79	0,82	0,09	0,92
141	DU 23/10/00 AU 23/10/00	31	C (g/l)	32,000	5,41	3,37	1,5	2,30	1,61	5,25
			Q _L (m ³ /s)	101,280	17,88	6,34	0,45	3,50	2,82	5,32
142	DU 23/10/00 AU 24/10/00	55	C (g/l)	65,000	18,96	23,52	65	13,50	0,81	1,1
			Q _L (m ³ /s)	161,800	49,73	69,37	16,5	62,30	0,72	0,47
143	DU 24/10/00 AU 25/10/00	7	C (g/l)	8,000	0,85	6,86	6	6,50	0,12	0,62
			Q _L (m ³ /s)	21,320	3,63	16,4	12,74	16,50	0,22	0,24
144	DU 25/10/00 AU 26/10/00	63	C (g/l)	23,200	5,45	6,53	2	8,00	0,83	0,88
			Q _L (m ³ /s)	66,860	19,40	25,39	20,51	20,51	0,76	0,74
145	DU 14/11/00 AU 15/11/00	17	C (g/l)	15,500	4,77	9,01	2	10,50	0,53	-0,49
			Q _L (m ³ /s)	7,100	2,48	4,05	6,58	4,40	0,61	-0,26
146	DU 15/11/00 AU 16/11/00	51	C (g/l)	24,000	4,69	13,23	10,5	13,00	0,35	-0,02
			Q _L (m ³ /s)	58,300	18,55	37,66	55,6	41,55	0,49	-0,5
147	DU 16/11/00 AU 17/11/00	49	C (g/l)	7,900	1,53	4,49	3,5	3,50	0,34	0,83
			Q _L (m ³ /s)	25,050	7,37	10,34	24,82	8,08	0,71	0,7
148	DU 17/11/00 AU 17/11/00	11	C (g/l)	2,800	0,35	2,43	2,8	2,50	0,14	-0,21
			Q _L (m ³ /s)	6,060	1,87	3,24	2,3	3,04	0,58	0,3
149	DU 17/11/00 AU 18/11/00	29	C (g/l)	19,000	6,33	7,97	2,5	5,00	0,79	0,61
			Q _L (m ³ /s)	18,150	5,41	4,34	2,85	1,76	1,25	1,58
150	DU 14/01/01 AU 14/01/01	9	C (g/l)	3,500	0,66	2,41	-	2,30	0,27	0,35
			Q _L (m ³ /s)	38,070	9,40	14,69	15,2	12,40	0,64	2,21
151	DU 29/01/01 AU 30/01/01	7	C (g/l)	6,500	1,53	5,36	5,5	5,70	0,29	-2,29
			Q _L (m ³ /s)	11,800	2,85	8,46	9,48	9,48	0,34	-0,48
152	DU 25/02/01 AU 26/02/01	10	C (g/l)	0,500	0,14	0,31	0,3	0,30	0,45	-0,21
			Q _L (m ³ /s)	0,460	0,06	0,38	0,36	0,36	0,16	0,11
153	DU 27/02/01 AU 27/02/01	17	C (g/l)	2,700	0,75	0,81	0,4	0,50	0,93	1,61
			Q _L (m ³ /s)	4,550	1,08	0,95	0,43	0,51	1,14	2,73
154	DU 28/02/01 AU 01/03/01	30	C (g/l)	11,000	3,54	5,46	6	6,00	0,65	0
			Q _L (m ³ /s)	17,640	5,61	4,91	1,2	2,56	1,14	1,48
155	DU 01/03/01 AU 01/03/01	18	C (g/l)	1,000	0,34	0,33	0,1	0,10	1,03	1,26
			Q _L (m ³ /s)	1,793	0,37	0,79	0,52	0,60	0,47	1,62
156	DU 21/04/01 AU 21/04/01	12	C (g/l)	2,000	0,73	1,13	2	1,15	0,65	-0,03
			Q _L (m ³ /s)	1,997	0,56	0,66	0,25	0,45	0,85	1,72

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
157	DU 04/05/01 AU 04/05/01	10	C (g/l)	5,500	1,87	2,23	3	1,75	0,84	0,77
			Q _L (m ³ /s)	0,902	0,25	0,49	0,36	0,36	0,51	1,03
158	DU 03/09/01 AU 04/09/01	37	C (g/l)	51,000	13,23	19,66	-	16,00	0,67	1,02
			Q _L (m ³ /s)	53,560	16,22	10,04	0,25	1,34	1,62	1,72
159	DU 07/09/01 AU 08/09/01	35	C (g/l)	34,400	8,45	12,98	-	11,50	0,65	1,04
			Q _L (m ³ /s)	30,520	7,80	4,23	0,32	0,67	1,84	2,43
160	DU 19/09/01 AU 20/09/01	26	C (g/l)	12,000	3,08	2,63	4	1,25	1,17	1,8
			Q _L (m ³ /s)	1,895	0,33	0,36	0,27	0,27	0,92	4,22
161	DU 20/09/01 AU 22/09/01	83	C (g/l)	47,000	15,25	16,47	3	9,40	0,93	0,86
			Q _L (m ³ /s)	94,733	32,57	24,12	77,88	5,45	1,35	1,17
162	DU 22/09/01 AU 23/09/01	16	C (g/l)	4,000	1,22	1,56	1	1,00	0,78	1,08
			Q _L (m ³ /s)	1,260	0,37	0,48	1,26	0,30	0,77	1,38
163	DU 28/09/01 AU 29/09/01	33	C (g/l)	3,500	0,78	1,19	1,6	1,30	0,66	0,98
			Q _L (m ³ /s)	0,878	0,17	0,53	0,63	0,54	0,32	0,02
164	DU 29/09/01 AU 29/09/01	11	C (g/l)	0,100	0,00	0,1	0,1	0,10	0,00	1,17
			Q _L (m ³ /s)	0,310	0,02	0,29	0,27	0,30	0,07	0,06
165	DU 01/10/01 AU 02/10/01	49	C (g/l)	27,000	7,94	10,55	9,5	9,50	0,75	0,68
			Q _L (m ³ /s)	23,400	6,37	4,48	0,27	1,45	1,42	1,75
166	DU 07/10/01 AU 07/10/01	16	C (g/l)	5,500	1,79	2,58	0,7	2,50	0,69	0,18
			Q _L (m ³ /s)	1,229	0,34	0,51	0,51	0,45	0,67	1,3
167	DU 07/10/01 AU 09/10/01	60	C (g/l)	32,000	9,63	12,01	21	11,50	0,80	0,46
			Q _L (m ³ /s)	74,080	26,91	19,96	73,32	2,31	1,35	1,08
168	DU 09/10/01 AU 10/10/01	20	C (g/l)	1,000	0,35	0,49	0,1	0,40	0,71	0,39
			Q _L (m ³ /s)	0,596	0,14	0,38	0,24	0,35	0,37	0,41
169	DU 10/10/01 AU 12/10/01	111	C (g/l)	23,000	4,65	7,33	11,3	6,90	0,63	0,55
			Q _L (m ³ /s)	111,167	38,01	26,07	0,62	4,40	1,46	1,29
170	DU 09/11/01 AU 10/11/01	14	C (g/l)	6,000	1,44	4,21	5	4,75	0,34	-0,87
			Q _L (m ³ /s)	3,020	0,88	1,75	1,26	1,86	0,50	-0,12
171	DU 10/11/01 AU 12/11/01	84	C (g/l)	13,500	3,63	3,34	1,5	1,50	1,09	1,54
			Q _L (m ³ /s)	92,800	29,59	21,9	2,75	4,40	1,35	1,35
172	DU 14/11/01 AU 15/11/01	40	C (g/l)	3,000	0,67	0,66	0,4	0,40	1,02	2,05
			Q _L (m ³ /s)	6,020	1,45	1,37	0,42	0,75	1,06	2,05
173	DU 21/11/01 AU 21/11/01	24	C (g/l)	2,000	0,56	0,7	0,2	0,50	0,80	0,97
			Q _L (m ³ /s)	1,050	0,22	0,62	0,44	0,58	0,35	0,66
174	DU 18/12/01 AU 19/12/01	17	C (g/l)	5,000	1,46	1,59	0,1	1,50	0,92	1,05
			Q _L (m ³ /s)	3,600	0,90	1,03	0,44	0,65	0,87	1,96
175	DU 24/12/01 AU 24/12/01	13	C (g/l)	3,000	0,70	1,78	2	2,00	0,39	-0,05
			Q _L (m ³ /s)	2,560	0,53	1,26	1,02	1,24	0,42	1,29
176	DU 25/12/01 AU 25/12/01	11	C (g/l)	1,500	0,41	1,11	1,5	1,00	0,37	-0,39
			Q _L (m ³ /s)	1,110	0,25	0,79	0,8	0,80	0,32	-0,3

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
177	DU 07/03/02 AU 08/03/02	21	C (g/l)	4,400	1,32	1,07	0,1	0,50	1,23	1,52
			Q _L (m ³ /s)	2,892	0,60	0,78	0,44	0,57	0,77	2,7
178	DU 08/03/02 AU 09/03/02	23	C (g/l)	4,000	1,09	1,5	2	1,60	0,73	0,93
			Q _L (m ³ /s)	2,892	0,63	1,02	1,11	1,08	0,62	1,36
179	DU 09/03/02 AU 09/03/02	14	C (g/l)	0,900	0,30	0,44	0,1	0,40	0,68	0,14
			Q _L (m ³ /s)	0,960	0,17	0,56	0,42	0,53	0,30	0,94
180	DU 17/03/02 AU 17/03/02	12	C (g/l)	1,100	0,39	0,48	0,1	0,40	0,81	0,62
			Q _L (m ³ /s)	1,624	0,35	0,92	0,65	0,76	0,38	0,86
181	DU 01/04/02 AU 02/04/02	27	C (g/l)	2,000	0,66	0,97	0,4	0,60	0,68	0,56
			Q _L (m ³ /s)	1,756	0,42	0,95	0,75	0,75	0,44	0,49
182	DU 02/04/02 AU 04/04/02	36	C (g/l)	15,000	4,63	6,97	2	6,20	0,66	0,36
			Q _L (m ³ /s)	17,800	5,53	5,56	1,28	2,89	0,99	1,01
183	DU 04/04/02 AU 04/04/02	17	C (g/l)	1,200	0,19	0,77	0,6	0,70	0,25	0,85
			Q _L (m ³ /s)	0,700	0,12	0,57	0,42	0,63	0,21	-0,37
184	DU 11/04/02 AU 12/04/02	40	C (g/l)	6,000	1,46	1,78	2	1,50	0,82	1,13
			Q _L (m ³ /s)	5,600	1,17	0,98	0,52	0,61	1,19	3,15
185	DU 06/05/02 AU 06/05/02	11	C (g/l)	2,000	0,51	0,82	0,5	0,70	0,62	1,57
			Q _L (m ³ /s)	4,200	1,24	1,95	1,17	1,54	0,64	0,98
186	DU 07/05/02 AU 09/05/02	87	C (g/l)	18,200	5,88	6,1	3	3,50	0,96	0,73
			Q _L (m ³ /s)	83,000	31,38	22,18	83	3,30	1,41	1,16
187	DU 08/10/02 AU 09/10/02	52	C (g/l)	41,100	9,39	20,03	10	17,50	0,47	0,6
			Q _L (m ³ /s)	43,220	10,43	7,52	1,72	3,15	1,39	2,25
188	DU 10/10/02 AU 10/10/02	17	C (g/l)	2,700	0,90	1,6	2,5	2,00	0,56	-0,48
			Q _L (m ³ /s)	3,360	0,84	1,68	-	1,52	0,50	0,42
189	DU 17/11/02 AU 18/11/02	36	C (g/l)	10,000	2,78	2,59	0,5	0,95	1,07	1,4
			Q _L (m ³ /s)	5,400	1,20	1,37	0,52	0,94	0,88	1,79
190	DU 20/11/02 AU 20/11/02	18	C (g/l)	9,500	3,08	2,66	0,9	0,90	1,16	1,36
			Q _L (m ³ /s)	3,150	0,79	1,28	0,88	0,92	0,62	1,25
191	DU 25/11/02 AU 26/11/02	31	C (g/l)	28,300	7,77	6,21	0,5	2,50	1,25	1,69
			Q _L (m ³ /s)	13,400	3,11	2,89	0,4	1,48	1,08	2
192	DU 26/11/02 AU 27/11/02	39	C (g/l)	14,500	4,01	5,02	3	3,00	0,80	1,24
			Q _L (m ³ /s)	14,600	3,52	3,3	1,28	2,08	1,07	2,01
193	DU 16/04/03 AU 16/04/03	13	C (g/l)	2,000	0,62	1,09	0,5	1,00	0,57	0,37
			Q _L (m ³ /s)	4,200	1,20	1,73	1,2	1,20	0,69	0,95
194	DU 19/04/03 AU 19/04/03	19	C (g/l)	2,000	0,53	0,77	0,30	0,60	0,69	1,2
			Q _L (m ³ /s)	2,200	0,47	1,15	1,12	1,12	0,41	0,35
195	DU 06/05/03 AU 06/05/03	17	C (g/l)	4,000	1,20	0,94	0,1	0,30	1,28	1,57
			Q _L (m ³ /s)	4,500	1,17	1,43	0,52	1,08	0,82	1,54
196	DU 05/06/03 AU 05/06/03	24	C (g/l)	4,500	1,65	2,57	4	3,00	0,64	-0,26
			Q _L (m ³ /s)	1,400	0,34	0,96	1,4	1,00	0,35	-0,05

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
197	DU 09/06/03 AU 10/06/03	52	C (g/l)	65,000	14,13	22,75	5	22,50	0,62	0,74
			Q _L (m ³ /s)	50,200	13,89	12,92	11,9	6,03	1,08	1,02
198	DU 13/07/03 AU 14/07/03	29	C (g/l)	22,500	6,54	6,42	0,7	4,00	1,02	1,31
			Q _L (m ³ /s)	12,360	4,19	3,82	12,36	1,43	1,10	1,18
199	DU 08/08/03 AU 09/08/03	13	C (g/l)	21,500	5,59	15,46	19	17,00	0,36	-0,66
			Q _L (m ³ /s)	6,300	1,76	2,57	-	2,02	0,68	1,02
200	DU 09/08/03 AU 10/08/03	29	C (g/l)	12,500	3,06	4,33	3	3,00	0,71	1,76
			Q _L (m ³ /s)	5,740	1,52	1,55	0,3	0,90	0,98	1,41
201	DU 20/08/03 AU 21/08/03	41	C (g/l)	54,500	13,22	13,3	0,5	12,00	0,99	1,21
			Q _L (m ³ /s)	31,600	5,83	2,96	0,42	1,14	1,97	3,72
202	DU 25/09/03 AU 26/09/03	56	C (g/l)	57,700	15,74	18,66	11,5	11,50	0,84	1,44
			Q _L (m ³ /s)	38,200	11,48	9,23	0,9	3,16	1,24	1,34
203	DU 06/10/03 AU 07/10/03	11	C (g/l)	8,000	2,25	4,47	5,5	5,00	0,50	-0,14
			Q _L (m ³ /s)	1,110	0,35	0,55	-	0,44	0,64	0,67
204	DU 15/10/03 AU 16/10/03	44	C (g/l)	48,000	11,48	20,3	7	18,75	0,57	0,86
			Q _L (m ³ /s)	13,000	3,56	3,16	13	1,50	1,13	1,71
205	DU 16/10/03 AU 17/10/03	17	C (g/l)	6,900	0,68	5,45	5	5,00	0,12	1,31
			Q _L (m ³ /s)	0,545	0,07	0,47	0,55	0,48	0,15	-0,19
206	DU 17/10/03 AU 19/10/03	91	C (g/l)	53,000	14,84	14,93	2,70	10,00	0,99	1,4
			Q _L (m ³ /s)	12,360	2,73	2,09	0,57	0,96	1,31	2,36
207	DU 24/10/03 AU 25/10/03	45	C (g/l)	17,300	4,54	8,95	10	10,00	0,51	0,03
			Q _L (m ³ /s)	14,440	4,55	5,38	0,44	2,82	0,85	0,64
208	DU 11/11/03 AU 13/11/03	70	C (g/l)	49,400	9,76	10,38	2	8,40	0,94	2,04
			Q _L (m ³ /s)	71,000	17,27	9,82	2,38	1,91	1,76	2,47
209	DU 16/11/03 AU 16/11/03	21	C (g/l)	6,500	1,90	1,46	0,5	0,50	1,30	1,95
			Q _L (m ³ /s)	1,668	0,34	0,58	0,3	0,50	0,59	2,14
210	DU 17/11/03 AU 18/11/03	21	C (g/l)	12,000	3,89	6,95	3	7,00	0,56	-0,13
			Q _L (m ³ /s)	2,260	0,53	0,85	0,44	0,63	0,62	1,48
211	DU 18/11/03 AU 20/11/03	103	C (g/l)	34,500	9,51	9,83	3	6,50	0,97	1,36
			Q _L (m ³ /s)	79,000	26,69	23,59	79	10,20	1,13	0,99
212	DU 26/11/03 AU 26/11/03	7	C (g/l)	4,000	1,15	2,03	2	2,00	0,57	0,77
			Q _L (m ³ /s)	1,340	0,32	0,72	-	0,70	0,44	1,33
213	DU 03/12/06 AU 03/12/06	21	C (g/l)	7,581	0,56	6,27	6,08	6,24	0,09	-0,04
			Q _L (m ³ /s)	15,770	4,91	3,43	0,15	0,17	1,43	1,51

Tableau (VI-5) : Paramètres statistiques des débits liquides et concentration des sédiments solides à la station hydrométrique PK50.

N°	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
1	1246	C (g/l)	61,000	3,57	0,85	0,02	0,04	4,20	8,50
		Q _L (m ³ /s)	34,400	2,12	0,77	0,15	0,30	2,75	9,39

Tableau (VI-6) : Paramètres statistiques des débits liquides et concentration des sédiments solides à la station hydrométrique Oued Taria.

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
1	DU 15/11/87 AU 15/11/87	5	C (g/l)	3,200	1,32	1,03	0,20	0,20	1,28	1,52
			Q _L (m ³ /s)	11,540	3,26	7,23	-	7,64	0,45	0
2	DU 24/11/87 AU 25/11/87	24	C (g/l)	18,700	5,15	7,73	4	6,10	0,67	0,66
			Q _L (m ³ /s)	39,200	9,71	12,68	6,86	7,64	0,77	1,77
3	DU 26/11/87 AU 26/11/87	6	C (g/l)	1,600	0,60	0,77	-	0,75	0,78	0,25
			Q _L (m ³ /s)	10,240	3,00	6,76	-	7,12	0,44	-0,22
4	DU 20/03/89 AU 21/03/89	23	C (g/l)	12,700	3,81	5,73	0,68	6,80	0,66	-0,15
			Q _L (m ³ /s)	31,400	9,05	10,96	0,59	8,94	0,83	0,83
5	DU 21/03/89 AU 21/03/89	17	C (g/l)	6,200	1,46	3,96	6,2	3,46	0,37	0,49
			Q _L (m ³ /s)	7,380	1,40	5,26	4,11	5,30	0,27	0,4
6	DU 17/07/90 AU 17/07/90	19	C (g/l)	48,000	8,53	23,95	18,4	20,00	0,36	1,52
			Q _L (m ³ /s)	52,990	16,26	11,96	1,86	2,95	1,36	1,69
7	DU 17/07/90 AU 21/07/90	81	C (g/l)	59,620	14,62	14,45	3,2	8,80	1,01	1,43
			Q _L (m ³ /s)	131,250	25,75	10,88	1,66	2,80	2,37	3,73
8	DU 03/09/90 AU 03/09/90	36	C (g/l)	8,300	2,10	4	3	3,00	0,53	1,08
			Q _L (m ³ /s)	5,907	1,72	1,75	0,4	0,95	0,98	1,21
9	DU 03/09/90 AU 04/09/90	17	C (g/l)	2,100	0,59	1,48	1,8	1,75	0,40	-0,94
			Q _L (m ³ /s)	0,692	0,18	0,46	0,69	0,44	0,39	-0,01
10	DU 12/09/90 AU 12/09/90	11	C (g/l)	4,200	1,16	2,99	3	3,00	0,39	-0,79
			Q _L (m ³ /s)	0,313	0,12	0,1	0,03	0,03	1,20	0,99
11	DU 12/09/90 AU 13/09/90	16	C (g/l)	2,100	0,49	1,38	1,3	1,45	0,36	-0,71
			Q _L (m ³ /s)	0,901	0,25	0,43	0,48	0,38	0,58	0,65
12	DU 03/11/90 AU 03/11/90	10	C (g/l)	11,400	1,84	7,77	-	7,20	0,24	0,96
			Q _L (m ³ /s)	0,901	0,19	0,72	0,92	0,74	0,26	-0,42
13	DU 08/11/90 AU 09/11/90	22	C (g/l)	23,700	4,66	18,34	20,2	20,15	0,25	-1,45
			Q _L (m ³ /s)	12,700	4,19	4,25	0,69	2,23	0,99	1,03
14	DU 11/11/90 AU 11/11/90	14	C (g/l)	6,800	1,84	4,72	6,8	4,90	0,39	-0,24
			Q _L (m ³ /s)	5,028	2,01	1,75	0,36	0,36	1,15	0,75
15	DU 11/11/90 AU 13/11/90	48	C (g/l)	21,200	7,11	10,96	21,2	10,30	0,65	0,11
			Q _L (m ³ /s)	44,580	15,83	14,06	4,74	5,03	1,13	0,86
16	DU 28/11/90 AU 30/11/90	48	C (g/l)	0,800	0,15	0,6	0,6	0,60	0,25	-0,17
			Q _L (m ³ /s)	2,052	0,49	0,79	0,4	0,59	0,62	1,42
17	DU 09/12/90 AU 09/12/90	9	C (g/l)	1,500	0,20	1,14	1,2	1,20	0,18	-0,19
			Q _L (m ³ /s)	0,901	0,17	0,68	0,59	0,69	0,25	0,11

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
18	DU 10/12/90 AU 10/12/90	20	C (g/l)	10,000	2,34	6,48	4,8	6,55	0,36	-0,11
			Q _L (m³/s)	14,420	4,21	4,79	1,53	2,66	0,88	1,29
19	DU 10/12/90 AU 11/12/90	24	C (g/l)	5,700	0,60	4,37	4	4,15	0,14	1,19
			Q _L (m³/s)	6,505	1,67	3,05	2,23	2,23	0,55	1,06
20	DU 11/12/90 AU 12/12/90	17	C (g/l)	3,800	0,24	3,39	3,6	3,40	0,07	0,13
			Q _L (m³/s)	2,052	0,37	1,4	1,11	1,32	0,26	0,42
21	DU 27/12/90 AU 27/12/90	23	C (g/l)	3,800	1,14	2,07	1,6	1,90	0,55	0,04
			Q _L (m³/s)	3,563	0,90	1,97	2,57	2,05	0,46	0,18
22	DU 20/02/91 AU 23/02/91	50	C (g/l)	10,400	2,88	4,21	7	3,70	0,68	0,35
			Q _L (m³/s)	4,735	1,24	1,45	0,4	0,90	0,86	1,07
23	DU 01/03/91 AU 03/03/91	56	C (g/l)	20,000	5,46	10,13	13,9	13,45	0,54	-0,5
			Q _L (m³/s)	33,700	8,36	5,07	0,48	1,16	1,65	2,13
24	DU 13/03/91 AU 14/03/91	15	C (g/l)	30,600	9,31	14,23	4,4	12,40	0,65	0,74
			Q _L (m³/s)	37,600	9,46	23	-	20,36	0,41	0,04
25	DU 14/03/91 AU 14/03/91	19	C (g/l)	17,600	4,90	11,39	4,4	12,80	0,43	-0,42
			Q _L (m³/s)	128,000	44,53	62,53	13,56	72,50	0,71	0,11
26	DU 14/03/91 AU 16/03/91	51	C (g/l)	14,500	4,20	7,57	10,4	8,10	0,55	0,05
			Q _L (m³/s)	123,800	39,08	46,06	82,7	38,90	0,85	0,35
27	DU 24/03/91 AU 25/03/91	48	C (g/l)	15,900	4,69	4,18	1,4	1,60	1,12	1,48
			Q _L (m³/s)	40,120	11,07	8,23	1,67	2,45	1,35	1,77
28	DU 31/03/91 AU 02/04/91	28	C (g/l)	2,200	0,48	0,87	1,08	0,90	0,55	1,25
			Q _L (m³/s)	2,258	0,36	1,58	1,54	1,48	0,23	0,77
29	DU 22/11/91 AU 23/11/91	28	C (g/l)	23,440	8,55	14,37	2,6	16,85	0,59	-0,36
			Q _L (m³/s)	0,474	0,12	0,27	0,21	0,21	0,44	0,35
30	DU 24/11/91 AU 24/11/91	9	C (g/l)	2,500	0,72	2,16	2,5	2,48	0,33	-2,29
			Q _L (m³/s)	0,210	0,01	0,19	0,19	0,19	0,05	-0,94
31	DU 27/03/92 AU 29/03/92	48	C (g/l)	8,500	2,19	2,62	0,9	1,85	0,84	1,15
			Q _L (m³/s)	19,360	5,19	4,07	1,03	1,31	1,28	1,79
32	DU 08/04/92 AU 08/04/92	10	C (g/l)	3,450	0,58	2,53	-	2,30	0,23	0,61
			Q _L (m³/s)	1,120	0,37	0,72	0,39	0,61	0,51	0,51
33	DU 08/04/92 AU 10/04/92	39	C (g/l)	12,350	3,60	5,17	1	4,00	0,70	0,73
			Q _L (m³/s)	33,840	9,58	6,56	0,74	2,33	1,46	1,9
34	DU 10/04/92 AU 11/04/92	35	C (g/l)	1,850	0,54	1,01	1,6	1,05	0,53	-0,17
			Q _L (m³/s)	1,590	0,41	0,62	0,25	0,65	0,66	0,78
35	DU 04/08/92 AU 05/08/92	30	C (g/l)	21,520	5,13	11,38	14	10,75	0,45	0,39
			Q _L (m³/s)	4,925	1,26	1,25	0,25	0,70	1,01	1,65
36	DU 24/08/92 AU 25/08/92	23	C (g/l)	42,000	9,72	13,7	5	14,00	0,71	1,03
			Q _L (m³/s)	7,680	2,06	1,75	2,71	1,31	1,18	1,71

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
37	DU 15/09/92 AU 16/09/92	29	C (g/l)	13,100	3,34	4,03	0,66	3,50	0,83	1,45
			Q _L (m ³ /s)	0,342	0,10	0,18	0,18	0,18	0,56	0,35
38	DU 12/02/93 AU 13/02/93	25	C (g/l)	26,940	7,92	17,4	26,4	18,20	0,46	-0,16
			Q _L (m ³ /s)	5,220	1,91	2,31	1,59	1,59	0,83	0,43
39	DU 14/02/93 AU 15/02/93	14	C (g/l)	4,400	0,71	2,4	2,08	2,08	0,30	2,3
			Q _L (m ³ /s)	0,744	0,16	0,42	0,34	0,34	0,38	1,32
40	DU 24/04/93 AU 26/04/93	30	C (g/l)	7,900	3,04	4,12	7,9	4,00	0,74	-0,02
			Q _L (m ³ /s)	1,962	0,74	0,63	0,04	0,14	1,17	0,75
41	DU 31/08/93 AU 01/09/93	50	C (g/l)	48,500	13,82	18,02	7,5	12,60	0,77	0,92
			Q _L (m ³ /s)	52,000	15,01	8,14	50,5	1,80	1,84	2,21
42	DU 19/10/93 AU 20/10/93	34	C (g/l)	53,500	11,80	24,47	28,00	23,55	0,48	0,78
			Q _L (m ³ /s)	159,000	44,28	35,67	20,25	11,70	1,24	1,42
43	DU 21/10/93 AU 23/10/93	66	C (g/l)	43,600	9,74	16,65	12	14,25	0,58	0,89
			Q _L (m ³ /s)	43,850	9,14	5,77	1,85	2,09	1,58	2,92
44	DU 03/11/93 AU 03/11/93	41	C (g/l)	23,700	3,96	16,45	11,8	16,40	0,24	-0,04
			Q _L (m ³ /s)	14,750	3,39	6,2	4,24	5,56	0,55	1,04
45	DU 07/11/93 AU 09/11/93	42	C (g/l)	15,400	4,08	4,26	0,4	3,00	0,96	1,05
			Q _L (m ³ /s)	8,400	2,20	2,25	1,13	1,36	0,98	1,42
46	DU 13/11/93 AU 14/11/93	26	C (g/l)	33,200	12,63	16,3	0,2	20,65	0,77	-0,18
			Q _L (m ³ /s)	13,400	3,02	2,74	0,69	1,33	1,10	2,13
47	DU 02/12/93 AU 03/12/93	36	C (g/l)	13,300	3,54	3,01	1,4	1,60	1,18	1,98
			Q _L (m ³ /s)	3,440	0,88	1,2	0,41	0,82	0,73	1,31
48	DU 07/01/94 AU 08/01/94	16	C (g/l)	4,800	1,24	2,81	4,8	2,58	0,44	0,18
			Q _L (m ³ /s)	4,460	1,34	1,42	0,41	0,91	0,94	1,5
49	DU 11/01/94 AU 12/01/94	28	C (g/l)	8,150	2,21	5,52	6	6,10	0,40	-0,96
			Q _L (m ³ /s)	7,500	1,82	1,66	0,63	0,88	1,10	2,01
50	DU 19/01/94 AU 22/01/94	58	C (g/l)	12,200	3,10	3,48	0,6	2,15	0,89	0,94
			Q _L (m ³ /s)	10,750	2,28	1,96	0,41	1,13	1,16	2,54
51	DU 06/02/94 AU 08/02/94	25	C (g/l)	5,120	1,11	3,1	2,4	2,50	0,36	0,66
			Q _L (m ³ /s)	2,720	0,76	1,28	0,63	0,88	0,59	1,02
52	DU 08/02/94 AU 10/02/94	37	C (g/l)	11,200	3,62	4,27	2,6	2,60	0,85	0,72
			Q _L (m ³ /s)	14,750	4,82	3,82	0,41	0,88	1,26	1,25
53	DU 17/02/94 AU 19/02/94	40	C (g/l)	7,550	2,22	3,71	0,8	3,90	0,60	-0,02
			Q _L (m ³ /s)	9,700	2,74	2,17	0,41	0,85	1,26	1,77
54	DU 01/09/94 AU 02/09/94	15	C (g/l)	7,600	1,85	2,19	1,6	1,60	0,84	1,98
			Q _L (m ³ /s)	0,468	0,12	0,31	0,41	0,31	0,39	-0,34

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
55	DU 22/09/94 AU 23/09/94	22	C (g/l)	50,400	20,86	20,22	12	11,80	1,03	0,49
			Q _L (m ³ /s)	123,000	39,39	48,76	98,5	47,65	0,81	0,24
56	DU 23/09/94 AU 25/09/94	27	C (g/l)	46,400	9,22	38,9	46,4	42,40	0,24	-1,68
			Q _L (m ³ /s)	1,925	0,59	0,82	0,2	0,75	0,72	0,47
57	DU 27/09/94 AU 28/09/94	57	C (g/l)	60,000	10,63	10,09	2,4	6,70	1,05	2,68
			Q _L (m ³ /s)	134,520	21,77	9,44	1	1,55	2,31	4,15
58	DU 28/09/94 AU 29/09/94	44	C (g/l)	74,000	18,01	45,93	60	51,60	0,39	-0,58
			Q _L (m ³ /s)	180,120	56,13	55,81	10,75	24,20	1,01	0,92
59	DU 29/09/94 AU 30/09/94	40	C (g/l)	48,000	10,28	19,27	14,2	16,00	0,53	2,02
			Q _L (m ³ /s)	155,400	34,61	26,93	14,3	13,05	1,29	2,07
60	DU 30/09/94 AU 02/10/94	22	C (g/l)	40,700	5,19	7,26	5	5,50	0,71	0,65
			Q _L (m ³ /s)	60,900	3,30	4,03	1,25	2,54	0,82	1,25
61	DU 11/10/94 AU 13/10/94	29	C (g/l)	37,000	11,95	12,3	25	7,00	0,97	0,63
			Q _L (m ³ /s)	14,300	3,26	3,51	1,06	1,93	0,93	1,91
62	DU 17/10/94 AU 18/10/94	68	C (g/l)	68,000	20,89	30,3	17	20,75	0,69	0,64
			Q _L (m ³ /s)	191,000	62,92	88,68	127,32	97,00	0,71	-0,13
63	DU 20/10/94 AU 21/10/94	34	C (g/l)	1,400	0,25	1,12	1,4	1,05	0,22	0
			Q _L (m ³ /s)	4,240	0,85	1,28	0,65	0,93	0,66	2,06
64	DU 03/11/94 AU 04/11/94	42	C (g/l)	33,600	7,49	20,54	13	22,40	0,36	-0,73
			Q _L (m ³ /s)	30,400	7,31	4,94	1,65	2,05	1,48	2,49
65	DU 05/11/94 AU 06/11/94	27	C (g/l)	14,000	3,09	3,27	0,8	2,40	0,94	2,07
			Q _L (m ³ /s)	2,340	0,64	1,14	0,42	1,14	0,56	0,48
66	DU 02/03/95 AU 04/03/95	76	C (g/l)	36,800	10,37	12,47	0,3	11,10	0,83	0,63
			Q _L (m ³ /s)	98,250	23,35	11,77	0,75	2,02	1,98	2,59
67	DU 04/03/95 AU 04/03/95	8	C (g/l)	1,600	0,50	1,26	1,6	1,55	0,40	-1,37
			Q _L (m ³ /s)	1,840	0,42	1,31	0,75	1,35	0,32	-0,26
68	DU 12/03/95 AU 13/03/95	56	C (g/l)	28,400	9,76	11,26	0,35	13,03	0,87	0,16
			Q _L (m ³ /s)	23,000	5,87	6,17	0,75	5,85	0,95	1,04
69	DU 05/09/95 AU 07/09/95	43	C (g/l)	35,300	11,71	10,15	1,62	2,22	1,15	0,96
			Q _L (m ³ /s)	21,010	5,20	3,65	0,49	1,35	1,42	2,18
70	DU 09/10/95 AU 11/10/95	43	C (g/l)	53,000	18,92	26,35	53	22,50	0,72	0,26
			Q _L (m ³ /s)	165,000	50,33	28,4	3,47	3,47	1,77	1,87
71	DU 11/10/95 AU 12/10/95	35	C (g/l)	3,800	0,70	3,02	3,5	3,10	0,23	-0,84
			Q _L (m ³ /s)	1,178	0,19	0,93	1,18	0,92	0,20	0,14
72	DU 12/10/95 AU 14/10/95	39	C (g/l)	47,000	13,68	29,96	46	29,00	0,46	-0,29
			Q _L (m ³ /s)	78,380	15,68	23,47	13,32	19,54	0,67	1,86

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
73	DU 14/10/95 AU 15/10/95	29	C (g/l)	16,400	4,75	11,53	16	13,00	0,41	-1,07
			Q _L (m ³ /s)	17,090	5,42	6,63	2,46	3,72	0,82	0,75
74	DU 05/12/95 AU 07/12/95	73	C (g/l)	52,500	15,99	16,32	2	10,50	0,98	1,08
			Q _L (m ³ /s)	165,000	60,11	47,05	1,26	8,70	1,28	0,97
75	DU 11/01/96 AU 12/01/96	31	C (g/l)	15,000	2,63	10,24	12	10,20	0,26	-1,16
			Q _L (m ³ /s)	3,470	0,76	1,45	0,81	1,18	0,52	1,38
76	DU 12/01/96 AU 12/01/96	11	C (g/l)	6,800	2,14	3,64	-	3,80	0,59	-0,12
			Q _L (m ³ /s)	33,500	10,78	17,12	-	16,60	0,63	0,03
77	DU 01/02/96 AU 02/02/96	24	C (g/l)	9,000	2,64	4,76	2	4,60	0,55	0,06
			Q _L (m ³ /s)	9,700	2,47	2,55	1,26	1,26	0,97	1,71
78	DU 02/02/96 AU 03/02/96	28	C (g/l)	1,340	0,28	0,85	1	0,95	0,33	0,03
			Q _L (m ³ /s)	0,596	0,07	0,55	0,49	0,52	0,13	0,43
79	DU 03/02/96 AU 06/02/96	71	C (g/l)	25,800	8,22	13,79	3,1	15,00	0,60	-0,1
			Q _L (m ³ /s)	103,600	29,22	27,63	56	15,37	1,06	1,01
80	DU 07/02/96 AU 08/02/96	35	C (g/l)	16,000	4,17	5,94	3,5	3,95	0,70	0,99
			Q _L (m ³ /s)	23,150	6,67	6,81	1,61	2,63	0,98	1,01
81	DU 11/02/96 AU 13/02/96	25	C (g/l)	8,500	2,30	3,94	4	3,60	0,58	0,41
			Q _L (m ³ /s)	8,700	2,57	3,84	2,29	2,46	0,67	0,74
82	DU 16/02/96 AU 17/02/96	26	C (g/l)	3,000	0,93	1,9	2,9	2,00	0,49	-0,22
			Q _L (m ³ /s)	3,976	0,81	1,25	0,81	1,01	0,65	2,2
83	DU 20/02/96 AU 21/02/96	23	C (g/l)	6,000	1,56	4,47	6	5,00	0,35	-0,97
			Q _L (m ³ /s)	6,300	1,81	2,35	1,01	1,44	0,77	1,11
84	DU 21/02/96 AU 22/02/96	21	C (g/l)	3,100	0,76	2,75	3	3,00	0,28	-2,89
			Q _L (m ³ /s)	1,694	0,24	1,19	1,09	1,09	0,20	0,65
85	DU 29/02/96 AU 02/03/96	38	C (g/l)	25,100	4,18	3,29	0,72	2,20	1,27	3,98
			Q _L (m ³ /s)	3,976	0,97	1,76	0,92	1,31	0,55	1,08
86	DU 02/03/96 AU 03/03/96	26	C (g/l)	0,720	0,04	0,7	0,72	0,72	0,06	-2,26
			Q _L (m ³ /s)	4,735	1,03	1,78	1,01	1,48	0,58	1,48
87	DU 08/03/96 AU 09/03/96	54	C (g/l)	15,600	4,75	10,44	13	12,63	0,45	-1,04
			Q _L (m ³ /s)	13,320	3,17	6,12	7,2	6,45	0,52	0,05
88	DU 09/03/96 AU 12/03/96	44	C (g/l)	11,850	3,74	4,75	1,6	3,05	0,79	0,75
			Q _L (m ³ /s)	13,730	4,15	5,78	1,44	4,86	0,72	0,48
89	DU 12/03/96 AU 13/03/96	37	C (g/l)	11,500	3,20	7,8	1,6	8,70	0,41	-1,13
			Q _L (m ³ /s)	19,540	4,87	8,05	2,79	8,10	0,60	0,47
90	DU 13/03/96 AU 16/03/96	52	C (g/l)	8,000	2,06	2,98	1,2	2,53	0,69	0,84
			Q _L (m ³ /s)	7,200	1,79	3,38	1,78	2,79	0,53	0,59

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
91	DU 08/04/96 AU 09/04/96	33	C (g/l)	39,000	13,19	15,53	-	13,50	0,85	0,46
			Q _L (m ³ /s)	1,694	0,26	1,03	0,92	0,92	0,25	1,32
92	DU 29/04/96 AU 30/04/96	25	C (g/l)	21,600	7,19	11,48	-	12,00	0,63	-0,06
			Q _L (m ³ /s)	21,500	7,40	5,31	0,38	0,38	1,39	1,12
93	DU 10/05/96 AU 13/05/96	66	C (g/l)	17,400	4,34	7,43	8,8	8,30	0,58	0,26
			Q _L (m ³ /s)	9,000	2,19	2,44	0,65	1,39	0,90	1,48
94	DU 11/06/96 AU 11/06/96	10	C (g/l)	2,000	0,62	1,17	0,6	1,00	0,53	0,22
			Q _L (m ³ /s)	0,596	0,06	0,5	0,49	0,49	0,12	0,66
95	DU 12/06/96 AU 14/06/96	61	C (g/l)	18,100	5,51	6,28	1	4,10	0,88	0,89
			Q _L (m ³ /s)	22,050	3,20	1,95	0,49	0,92	1,64	4,96
96	DU 14/06/96 AU 15/06/96	26	C (g/l)	25,200	8,32	14,05	2	15,60	0,59	-0,22
			Q _L (m ³ /s)	14,960	4,76	4,5	0,87	2,12	1,06	1,17
97	DU 15/06/96 AU 17/06/96	38	C (g/l)	28,000	8,27	11,12	2,7	9,50	0,74	0,66
			Q _L (m ³ /s)	6,000	1,23	1,54	0,76	0,92	0,80	2
98	DU 15/07/96 AU 16/07/96	40	C (g/l)	22,400	6,44	8,63	10,4	9,80	0,75	0,49
			Q _L (m ³ /s)	8,100	2,11	1,66	0,43	0,70	1,27	2,15
99	DU 16/07/96 AU 18/07/96	44	C (g/l)	9,700	2,00	7,59	6,4	8,20	0,26	-1,33
			Q _L (m ³ /s)	3,976	0,84	1,04	0,92	0,81	0,81	1,95
100	DU 15/10/96 AU 16/10/96	21	C (g/l)	3,200	0,85	1,9	2,5	2,10	0,45	-0,54
			Q _L (m ³ /s)	0,856	0,19	0,39	0,3	0,30	0,49	1,74
101	DU 06/11/96 AU 08/11/96	45	C (g/l)	60,200	19,16	17,51	0,5	8,60	1,09	1,14
			Q _L (m ³ /s)	21,570	4,58	2,08	0,27	0,30	2,20	3,06
102	DU 08/04/97 AU 09/04/97	28	C (g/l)	51,000	13,21	15,49	51	13,05	0,85	1,68
			Q _L (m ³ /s)	8,800	2,16	1,94	0,9	1,18	1,11	1,9
103	DU 10/04/97 AU 12/04/97	29	C (g/l)	2,000	0,50	0,53	0,3	0,30	0,94	2,56
			Q _L (m ³ /s)	0,338	0,14	0,15	0,34	0,11	0,93	0,48
104	DU 20/04/97 AU 21/04/97	14	C (g/l)	33,000	6,32	24,46	22	24,50	0,26	-0,53
			Q _L (m ³ /s)	163,433	63,32	73,42	-	48,13	0,86	0,52
105	DU 21/04/97 AU 23/04/97	54	C (g/l)	17,500	5,29	6,83	2	6,00	0,77	0,86
			Q _L (m ³ /s)	41,500	11,35	9,08	2,09	2,46	1,25	1,47
106	DU 23/04/97 AU 24/04/97	21	C (g/l)	20,000	6,29	8,65	2	7,50	0,73	0,52
			Q _L (m ³ /s)	7,380	2,02	3,14	1,51	2,30	0,64	1,12
107	DU 26/04/97 AU 28/04/97	40	C (g/l)	27,600	8,80	13	4	11,50	0,68	0,33
			Q _L (m ³ /s)	20,910	6,04	6,8	1,51	3,04	0,89	0,78
108	DU 24/08/97 AU 24/08/97	14	C (g/l)	54,000	20,29	26,5	0,48	32,30	0,77	-0,18
			Q _L (m ³ /s)	126,600	48,45	48,58	0,34	33,70	1,00	0,47

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
109	DU 25/08/97 AU 26/08/97	40	C (g/l)	52,400	14,83	16,45	-	9,60	0,90	1,16
			Q _L (m³/s)	90,660	23,35	16,79	1,13	4,02	1,39	1,66
110	DU 26/08/97 AU 27/08/97	20	C (g/l)	5,600	1,48	2,8	1,6	2,20	0,53	0,78
			Q _L (m³/s)	7,380	2,17	2,89	0,98	1,90	0,75	0,88
111	DU 15/09/97 AU 15/09/97	42	C (g/l)	32,500	5,28	21,78	19	20,60	0,24	0,26
			Q _L (m³/s)	21,960	5,79	4,92	0,83	2,20	1,18	1,62
112	DU 15/09/97 AU 16/09/97	51	C (g/l)	66,000	13,24	40,36	32	36,00	0,33	0,4
			Q _L (m³/s)	90,920	27,60	19,8	3,77	5,66	1,39	1,63
113	DU 16/09/97 AU 17/09/97	45	C (g/l)	44,500	5,36	36,84	32	35,00	0,15	0,32
			Q _L (m³/s)	40,280	10,84	10,35	1,74	6,20	1,05	1,57
114	DU 17/09/97 AU 19/09/97	33	C (g/l)	32,000	10,68	17,11	32	16,00	0,62	0,04
			Q _L (m³/s)	38,640	10,01	7,76	1,91	2,93	1,29	1,97
115	DU 03/10/97 AU 04/10/97	25	C (g/l)	8,360	1,55	6,09	8	6,00	0,25	-0,01
			Q _L (m³/s)	1,744	0,49	0,64	0,3	0,34	0,77	1,09
116	DU 22/10/97 AU 24/10/97	37	C (g/l)	55,000	19,79	32,53	55	32,40	0,61	-0,16
			Q _L (m³/s)	94,930	26,87	17,69	0,68	5,39	1,52	1,79
117	DU 29/10/97 AU 31/10/97	28	C (g/l)	31,000	11,08	14,23	30	12,65	0,78	0,16
			Q _L (m³/s)	1,492	0,28	1,13	1,24	1,24	0,25	-0,56
118	DU 13/11/97 AU 13/11/97	16	C (g/l)	23,820	7,92	9,37	0,8	7,40	0,85	0,55
			Q _L (m³/s)	1,912	0,44	1,14	1,1	1,10	0,39	0,58
119	DU 22/11/97 AU 25/11/97	53	C (g/l)	51,000	17,29	18,64	0,4	11,60	0,93	0,6
			Q _L (m³/s)	116,584	32,57	25,22	0,42	4,58	1,29	1,2
120	DU 26/11/97 AU 27/11/97	16	C (g/l)	25,960	9,43	20,83	25,96	25,96	0,45	-1,45
			Q _L (m³/s)	67,820	23,45	21,05	3,36	6,66	1,11	1
121	DU 06/12/97 AU 08/12/97	35	C (g/l)	2,100	0,49	1,57	1,6	1,60	0,31	-1,57
			Q _L (m³/s)	8,600	1,98	1,74	0,61	1,60	1,14	2,33
122	DU 13/12/97 AU 15/12/97	35	C (g/l)	17,300	6,92	8,1	17,2	6,90	0,85	0,21
			Q _L (m³/s)	29,800	6,82	3,48	0,3	0,82	1,96	2,9
123	DU 23/12/97 AU 23/12/97	22	C (g/l)	13,800	5,45	6,65	13,7	4,75	0,82	0,28
			Q _L (m³/s)	3,770	0,91	1,38	0,89	0,93	0,66	1,34
124	DU 23/04/98 AU 24/04/98	29	C (g/l)	38,000	10,63	16,07	32	14,50	0,66	0,57
			Q _L (m³/s)	41,880	10,41	6,77	0,62	1,58	1,54	2,1
125	DU 24/05/98 AU 26/05/98	36	C (g/l)	23,200	7,92	9,9	0,25	10,30	0,80	0,16
			Q _L (m³/s)	2,780	0,89	0,96	0,5	0,50	0,93	1,24
126	DU 18/01/99 AU 20/01/99	49	C (g/l)	9,100	1,50	6,54	8,9	6,50	0,23	-0,5
			Q _L (m³/s)	6,190	1,43	2,34	0,74	1,90	0,61	0,92

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
127	DU 01/03/99 AU 04/03/99	42	C (g/l)	62,100	19,25	16,93	0,3	10,38	1,14	1,24
			Q _L (m³/s)	34,820	6,84	3,22	0,06	0,86	2,12	3,46
128	DU 15/03/99 AU 19/03/99	78	C (g/l)	90,500	20,34	26,9	22	22,45	0,76	0,86
			Q _L (m³/s)	121,396	15,88	7,7	3,26	3,26	2,06	5,59
129	DU 28/03/99 AU 31/03/99	41	C (g/l)	21,590	6,12	5,59	2	2,00	1,09	1,05
			Q _L (m³/s)	29,450	7,20	3,99	0,77	1,18	1,80	2,81
130	DU 27/09/99 AU 28/09/99	43	C (g/l)	46,000	12,52	13,52	2	9,00	0,93	1,05
			Q _L (m³/s)	197,000	60,69	37,1	2,36	6,86	1,64	1,78
131	DU 08/10/99 AU 09/10/99	28	C (g/l)	128,000	39,36	20,28	3	2,50	1,94	2,02
			Q _L (m³/s)	164,120	49,52	26,64	9	6,88	1,86	2,23
132	DU 17/10/99 AU 17/10/99	15	C (g/l)	52,000	17,67	20,41	-	16,50	0,87	0,6
			Q _L (m³/s)	53,256	16,80	19,09	-	13,26	0,88	1,13
133	DU 22/11/99 AU 22/11/99	5	C (g/l)	0,900	0,34	0,64	0,9	0,80	0,53	-1,24
			Q _L (m³/s)	3,464	0,98	2,57	3,1	3,10	0,38	-1,11
134	DU 18/12/99 AU 20/12/99	44	C (g/l)	25,000	7,58	10,03	6	6,50	0,76	0,75
			Q _L (m³/s)	78,824	22,77	16,83	3,1	5,47	1,35	1,75
135	DU 24/05/00 AU 25/05/00	17	C (g/l)	12,000	3,11	6,27	6,3	6,30	0,50	-0,15
			Q _L (m³/s)	1,480	0,41	0,38	0,05	0,25	1,08	1,62
136	DU 29/09/00 AU 30/09/00	28	C (g/l)	6,700	2,67	4,41	6,7	6,30	0,61	-0,47
			Q _L (m³/s)	0,683	0,22	0,37	0,33	0,33	0,59	-0,18
137	DU 02/10/00 AU 03/10/00	44	C (g/l)	3,000	0,61	0,6	0,4	0,40	1,02	3,01
			Q _L (m³/s)	0,440	0,11	0,11	0,05	0,06	1,00	2,22
138	DU 23/10/00 AU 24/10/00	31	C (g/l)	68,900	20,16	27,01	38	28,00	0,75	0,15
			Q _L (m³/s)	203,000	74,89	81,7	-	65,00	0,92	0,52
139	DU 16/11/00 AU 17/11/00	30	C (g/l)	15,600	4,35	9,77	15,6	10,25	0,45	-0,39
			Q _L (m³/s)	67,506	16,77	15,2	9,29	9,29	1,10	2,18
140	DU 17/11/00 AU 17/11/00	11	C (g/l)	30,000	8,59	14,45	10	12,00	0,59	0,56
			Q _L (m³/s)	53,000	16,75	23,49	-	26,50	0,71	0,15
141	DU 21/11/00 AU 21/11/00	24	C (g/l)	0,200	0,00	0,2	0,2	0,20	0,00	-1,07
			Q _L (m³/s)	2,940	1,01	1,21	0,53	0,53	0,83	0,78
142	DU 25/11/00 AU 26/11/00	24	C (g/l)	31,500	9,40	14,29	5	13,90	0,66	0,42
			Q _L (m³/s)	62,000	15,25	13,08	2,1	8,77	1,17	2,1
143	DU 20/01/01 AU 21/01/01	24	C (g/l)	14,100	5,39	6,1	1	4,75	0,88	0,36
			Q _L (m³/s)	5,350	1,40	2,3	2,1	2,10	0,61	0,87
144	DU 29/01/01 AU 31/01/01	36	C (g/l)	30,200	7,83	15,67	15	15,00	0,50	0,34
			Q _L (m³/s)	55,000	14,01	17,9	21,6	18,03	0,78	1,25

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
145	DU 27/02/01 AU 28/02/01	16	C (g/l)	22,100	6,15	17,89	22	20,25	0,34	-1,85
			Q _L (m³/s)	45,000	11,85	13,25	-	9,73	0,89	1,68
146	DU 28/02/01 AU 02/03/01	53	C (g/l)	32,700	8,61	9,38	5,8	5,80	0,92	1,17
			Q _L (m³/s)	126,500	33,28	22,94	1,19	6,27	1,45	1,86
147	DU 02/05/01 AU 04/05/01	53	C (g/l)	9,400	2,78	2,39	0,6	0,70	1,16	1,44
			Q _L (m³/s)	0,792	0,21	0,23	0,07	0,13	0,91	1,21
148	DU 04/05/01 AU 06/05/01	38	C (g/l)	23,000	6,67	6,2	0,7	3,60	1,08	1,36
			Q _L (m³/s)	9,760	2,56	1,69	0,42	0,42	1,51	2,14
149	DU 07/09/01 AU 09/09/01	38	C (g/l)	70,800	28,86	34,37	70,8	33,00	0,84	0,08
			Q _L (m³/s)	6,260	1,70	1,74	0,5	1,38	0,98	1,02
150	DU 23/09/01 AU 24/09/01	25	C (g/l)	47,460	11,55	11,45	6	7,00	1,01	2,1
			Q _L (m³/s)	2,920	0,77	0,71	0,12	0,35	1,08	1,66
151	DU 27/09/01 AU 28/09/01	13	C (g/l)	16,000	5,35	10,95	15,7	13,00	0,49	-0,88
			Q _L (m³/s)	0,940	0,37	0,38	0,07	0,16	0,97	0,72
152	DU 10/11/01 AU 13/11/01	80	C (g/l)	71,000	14,91	10,18	6	5,00	1,46	2,99
			Q _L (m³/s)	26,030	3,16	2,53	2,92	2,07	1,25	5,59
153	DU 02/04/02 AU 04/04/02	43	C (g/l)	20,000	5,06	8,33	12	8,00	0,61	0,47
			Q _L (m³/s)	11,500	2,89	3,2	0,79	2,20	0,90	1,42
154	DU 04/04/02 AU 05/04/02	22	C (g/l)	12,590	3,18	7,68	8	8,00	0,41	0,02
			Q _L (m³/s)	8,340	2,58	3,67	0,87	3,28	0,70	0,43
155	DU 11/04/02 AU 13/04/02	31	C (g/l)	49,500	13,42	20,52	16	16,00	0,65	0,94
			Q _L (m³/s)	18,980	5,06	4,2	1,44	1,82	1,20	1,81
156	DU 07/05/02 AU 07/05/02	24	C (g/l)	58,000	14,27	36,01	29	29,00	0,40	0,39
			Q _L (m³/s)	196,400	72,90	118,38	155,4	152,88	0,62	-0,79
157	DU 11/10/02 AU 11/10/02	23	C (g/l)	25,500	8,08	8,71	2	5,00	0,93	0,97
			Q _L (m³/s)	4,600	1,13	1,55	0,42	1,32	0,73	0,92
158	DU 20/11/02 AU 21/11/02	18	C (g/l)	34,000	5,74	25	22	25,50	0,23	-0,05
			Q _L (m³/s)	20,500	5,90	9,72	4	8,23	0,61	0,74
159	DU 21/11/02 AU 22/11/02	29	C (g/l)	20,140	5,06	11,13	13	11,90	0,45	-0,1
			Q _L (m³/s)	8,890	2,35	2,77	0,94	2,20	0,85	1,26
160	DU 25/11/02 AU 26/11/02	43	C (g/l)	31,000	9,11	16,51	10	12,00	0,55	0,34
			Q _L (m³/s)	58,610	16,93	11,65	1,1	2,56	1,45	1,73
161	DU 29/11/02 AU 29/11/02	20	C (g/l)	6,000	2,30	3,54	6	3,90	0,65	-0,31
			Q _L (m³/s)	2,200	0,50	1,34	1,51	1,51	0,37	-0,46
162	DU 09/01/03 AU 10/01/03	12	C (g/l)	30,800	8,11	26,02	30,8	29,65	0,31	-2,44
			Q _L (m³/s)	8,890	2,88	4,8	2,38	4,41	0,60	0,03
163	DU 10/01/03 AU 11/01/03	31	C (g/l)	19,000	2,40	12,31	13	12,70	0,19	0,17
			Q _L (m³/s)	13,750	3,17	8,26	10,05	10,05	0,38	-0,32
164	DU 11/01/03 AU 12/01/03	27	C (g/l)	46,000	12,93	24,04	44	23,00	0,54	0,16
			Q _L (m³/s)	18,250	5,00	7,8	11,95	8,89	0,64	0,07

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
165	DU 12/01/03 AU 13/01/03	32	C (g/l)	5,400	1,34	3,54	5	3,80	0,38	-0,69
			Q _L (m ³ /s)	4,600	1,10	2,44	1,51	2,06	0,45	0,71
166	DU 16/01/03 AU 18/01/03	47	C (g/l)	66,500	20,71	17,71	4	6,50	1,17	1,24
			Q _L (m ³ /s)	26,350	5,54	4,15	2,2	2,20	1,33	2,81
167	DU 23/01/03 AU 24/01/03	48	C (g/l)	20,300	6,71	12,37	20	12,75	0,54	-0,14
			Q _L (m ³ /s)	16,000	4,57	4	6,78	1,51	1,14	1,23
168	DU 11/05/04 AU 11/05/04	4	C (g/l)	26,260	3,87	22,28	-	22,86	0,17	-0,79
			Q _L (m ³ /s)	29,100	9,20	19,69	-	20,53	0,47	-0,36
169	DU 13/09/04 AU 14/09/04	37	C (g/l)	43,400	9,33	19,15	20	20,00	0,49	0,61
			Q _L (m ³ /s)	6,000	1,67	2,08	0,08	1,82	0,80	0,71
170	DU 02/11/04 AU 04/11/04	53	C (g/l)	0,650	0,16	0,37	0,2	0,35	0,43	0,32
			Q _L (m ³ /s)	0,144	0,03	0,12	0,13	0,13	0,25	-0,83
171	DU 11/11/05 AU 12/11/05	30	C (g/l)	32,600	9,44	16,24	9,5	15,00	0,58	0,2
			Q _L (m ³ /s)	3,820	1,34	2,01	3,46	2,06	0,67	-0,14
172	DU 31/01/06 AU 31/01/06	13	C (g/l)	34,000	13,40	19,96	34	25,00	0,67	-0,32
			Q _L (m ³ /s)	52,120	13,71	35,14	47,98	37,95	0,39	-0,21
173	DU 27/02/06 AU 27/02/06	24	C (g/l)	9,000	1,80	7,1	9	7,50	0,25	-0,56
			Q _L (m ³ /s)	1,318	0,42	0,81	1,32	0,83	0,52	-0,13
174	DU 24/12/06 AU 25/12/06	25	C (g/l)	7,000	1,05	5,17	6	5,00	0,20	0,09
			Q _L (m ³ /s)	12,240	4,57	5,29	7,56	5,60	0,86	0,12

Tableau (VI-7) : Paramètres statistiques des débits liquides et concentration des sédiments solides à la station hydrométrique Khalouia.

N°	DATE DE LA CRUE	NOMBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	M_o	M_e	C_v	C_s
1	DU 12/02/86	34	C (g/l)	128	30,74	32,15	3,99	20	0,96	2,01
	AU 14/02/86		Q _L (m ³ /s)	18,14	3,99	2,38	0,59	0,78	1,68	3,03
2	DU 19/02/86	21	C (g/l)	16,22	6,14	7,83	16	4,75	0,78	0,44
	AU 19/02/86		Q _L (m ³ /s)	2,86	0,67	0,89	0,59	0,59	0,75	1,77
3	DU 22/02/86	19	C (g/l)	360	119,66	189,74	320	190	0,63	0,09
	AU 22/02/86		Q _L (m ³ /s)	5,56	2,06	2,25	5,56	1,4	0,92	0,73
4	DU 12/02/87	30	C (g/l)	128	31,75	34,9	20	21,5	0,91	1,85
	AU 13/02/87		Q _L (m ³ /s)	18,14	4,23	2,55	0,48	0,86	1,66	2,79
5	DU 19/02/87	21	C (g/l)	16	6,14	7,83	16	4,75	0,78	0,44
	AU 19/02/87		Q _L (m ³ /s)	2,86	0,73	0,8	0,48	0,48	0,91	1,58
6	DU 22/02/87	19	C (g/l)	360	119,66	189,74	320	190	0,63	0,09
	AU 22/02/87		Q _L (m ³ /s)	5,56	2,12	2,18	5,56	1,4	0,97	0,68
7	DU 14/11/87	16	C (g/l)	75	20,13	61,97	74,5	71,5	0,32	-1,95
	AU 15/11/87		Q _L (m ³ /s)	1,2	0,3	0,39	0,19	0,33	0,77	1,58
8	DU 23/11/87	20	C (g/l)	90,5	18,86	14,51	17,5	11,4	1,3	3,74
	AU 24/11/87		Q _L (m ³ /s)	2,18	0,75	0,82	1,2	0,77	0,91	0,55
9	DU 27/11/87	16	C (g/l)	65,4	22,01	33,31	15	34,5	0,66	-0,03
	AU 28/11/87		Q _L (m ³ /s)	0,109	0,02	0,06	0,06	0,05	0,33	1,62
10	DU 23/12/87	11	C (g/l)	26,5	8,57	9,97	-	7,5	0,86	0,8
	AU 23/12/87		Q _L (m ³ /s)	0,944	0,28	0,33	0,28	0,28	0,85	1,19
11	DU 02/01/88	18	C (g/l)	28	8,23	11,78	-	9,5	0,7	0,63
	AU 02/01/88		Q _L (m ³ /s)	3,96	1,1	1,02	0,8	0,8	1,08	1,37
12	DU 19/01/88	17	C (g/l)	24	3,38	19,63	20	20	0,17	-0,85
	AU 20/01/88		Q _L (m ³ /s)	6,74	1,78	3,44	3,96	3,48	0,52	-0,19
13	DU 20/01/88	31	C (g/l)	71,5	19,34	30,41	-	30,5	0,64	0,71
	AU 21/01/88		Q _L (m ³ /s)	19,14	5,05	5,17	7,03	3,44	0,98	1,22
14	DU 20/03/89	21	C (g/l)	23	10,28	14,41	23	23	0,71	-0,38
	AU 20/03/89		Q _L (m ³ /s)	27,2	7,28	6,22	5	3,7	1,17	1,54
15	DU 04/01/90	17	C (g/l)	431,6	180,01	200,62	2	175	0,9	0,1
	AU 04/01/90		Q _L (m ³ /s)	5	1,76	1,12	0,04	0,19	1,57	1,5
16	DU 11/11/90	9	C (g/l)	10,8	4,23	5,04	-	4,6	0,84	0,22
	AU 11/11/90		Q _L (m ³ /s)	5	1,71	2,14	-	1,8	0,8	0,55
17	DU 14/03/91	39	C (g/l)	35	9,46	21,58	23,5	23,5	0,44	-0,65
	AU 15/03/91		Q _L (m ³ /s)	5,29	1,61	1,55	1,6	1,6	1,04	1,14
18	DU 27/03/92	20	C (g/l)	17	4,91	2,46	0,2	0,5	2	2,69
	AU 28/03/92		Q _L (m ³ /s)	1,8	0,52	0,2	0,01	0,01	2,6	2,8
19	DU 08/04/92	25	C (g/l)	66,44	21,02	17,78	2	8	1,18	1,24
	AU 09/04/92		Q _L (m ³ /s)	20,4	4,54	1,57	0,01	0,02	2,89	3,63
20	DU 05/05/93	12	C (g/l)	66	21,49	12,9	2	2	1,67	1,9
	AU 06/05/93		Q _L (m ³ /s)	5	1,44	0,42	0,01	0,01	3,43	3,46

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
21	DU 11/03/94 AU 12/03/94	13	C (g/l)	15,6	5,97	7,58	-	6,26	0,79	0,23
			Q _L (m ³ /s)	5	1,83	1,33	0,25	0,25	1,38	1,33
22	DU 16/10/94 AU 17/10/94	24	C (g/l)	26,9	4,05	15,5	6	16	0,26	0,06
			Q _L (m ³ /s)	4,22	1,44	1,1	0,01	0,3	1,31	1,06
23	DU 17/10/94 AU 18/10/94	19	C (g/l)	26,65	11,2	13,59	26,46	12	0,82	0,05
			Q _L (m ³ /s)	23,88	6,06	3,41	0,02	0,54	1,78	2,55
24	DU 19/11/94 AU 19/11/94	13	C (g/l)	20,04	6,78	7,45	3,2	4,8	0,91	0,74
			Q _L (m ³ /s)	0,041	0,01	0,03	0,04	0,04	0,33	-1,7
25	DU 13/09/95 AU 14/09/95	23	C (g/l)	37,6	11,01	12,77	-	11	0,86	1,27
			Q _L (m ³ /s)	4,74	1,13	0,39	0,01	0,01	2,9	3,36
26	DU 26/09/95 AU 26/09/95	16	C (g/l)	25,55	3,28	21,95	-	23,15	0,15	-0,77
			Q _L (m ³ /s)	0,025	0,01	0,01	0,01	0,01	1	1,82
27	DU 11/01/96 AU 14/01/96	34	C (g/l)	17	4,9	11,86	17	13,2	0,41	-0,99
			Q _L (m ³ /s)	6,04	1,29	0,41	0,02	0,01	3,15	3,5
28	DU 07/04/96 AU 09/04/96	26	C (g/l)	20	4,34	8,4	9	8,2	0,52	0,82
			Q _L (m ³ /s)	0,02	0	0,01	0,01	0,01	0	4,32
29	DU 25/01/97 AU 27/01/97	22	C (g/l)	11,3	4	5,33	1	4,7	0,75	0,28
			Q _L (m ³ /s)	0,008	0	0,01	0,01	0,01	0	-0,55
30	DU 21/04/97 AU 22/04/97	35	C (g/l)	8	1,69	5,8	6,2	6,2	0,29	-0,59
			Q _L (m ³ /s)	20,6	7,91	6,99	0,01	3,04	1,13	0,61
31	DU 22/04/97 AU 24/04/97	41	C (g/l)	6,66	1,51	3,12	2	2,5	0,48	0,93
			Q _L (m ³ /s)	0,274	0,05	0,03	0,01	0,01	1,67	3,75
32	DU 26/04/97 AU 26/04/97	15	C (g/l)	39,28	13,89	16,51	-	13,5	0,84	0,44
			Q _L (m ³ /s)	4,48	1,68	1,35	0,01	0,54	1,24	0,93
33	DU 27/09/97 AU 27/09/97	10	C (g/l)	17,5	6,62	10,28	10	10	0,64	-0,24
			Q _L (m ³ /s)	0,424	0,13	0,13	0,05	0,07	1	1,87
34	DU 16/10/97 AU 17/10/97	16	C (g/l)	13	3,17	5,02	-	4,25	0,63	1,22
			Q _L (m ³ /s)	17,4	5,72	3,34	0,05	0,2	1,71	1,87
35	DU 29/10/97 AU 29/10/97	9	C (g/l)	10,48	3,81	4,09	3,6	3,6	0,93	0,76
			Q _L (m ³ /s)	0,76	0,25	0,1	0,01	0,01	2,5	2,93
36	DU 17/12/97 AU 19/12/97	39	C (g/l)	87,9	34,16	35,81	5	21	0,95	0,42
			Q _L (m ³ /s)	42,3	9,55	4,7	0,02	0,24	2,03	2,48
37	DU 26/12/97 AU 26/12/97	6	C (g/l)	35,08	11,25	16,76	16,4	16,4	0,67	0,63
			Q _L (m ³ /s)	9,4	3,41	2,68	0,88	0,92	1,27	2,13
38	DU 03/02/98 AU 04/02/98	25	C (g/l)	3,2	0,77	2,63	3,2	3	0,29	-1,25
			Q _L (m ³ /s)	3,7	0,91	0,53	0,07	0,12	1,72	2,5
39	DU 04/12/98 AU 04/12/98	8	C (g/l)	6,4	2,34	4,74	6,4	5,85	0,49	-1,47
			Q _L (m ³ /s)	0,082	0,03	0,06	0,09	0,07	0,5	-0,42
40	DU 27/09/99 AU 27/09/99	10	C (g/l)	17,5	6,62	10,28	10	10	0,64	-0,24
			Q _L (m ³ /s)	0,424	0,13	0,13	0,05	0,07	1	1,87
41	DU 16/10/99 AU 17/10/99	16	C (g/l)	13	3,17	5,02	-	4,25	0,63	1,22
			Q _L (m ³ /s)	17,4	5,72	3,34	0,05	0,2	1,71	1,87

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
42	DU 17/12/99 AU 19/12/99	39	C (g/l)	87,9	34,16	35,81	5	21	0,95	0,42
			Q _L (m ³ /s)	42,3	9,55	4,7	0,02	0,24	2,03	2,48
43	DU 30/09/00 AU 30/09/00	33	C (g/l)	77,42	8,59	43,56	40	40	0,2	3,3
			Q _L (m ³ /s)	78,224	26,12	13,39	0,21	0,21	1,95	1,82
44	DU 14/10/00 AU 15/10/00	25	C (g/l)	45,8	9,92	34,65	20	37,5	0,29	-0,57
			Q _L (m ³ /s)	4,64	1,25	0,42	0,01	0,01	2,98	3,22
45	DU 14/11/00 AU 15/11/00	29	C (g/l)	1,5	0,29	0,8	0,7	0,7	0,36	1,46
			Q _L (m ³ /s)	0,129	0,04	0,04	0,02	0,02	1	1,56
46	DU 16/11/00 AU 16/11/00	14	C (g/l)	122	51,26	52,34	1	37,35	0,98	0,27
			Q _L (m ³ /s)	6,9	2,17	1,15	0,02	0,08	1,89	2,12
47	DU 16/11/00 AU 17/11/00	18	C (g/l)	122	38,61	65,56	-	63	0,59	0,1
			Q _L (m ³ /s)	1,09	0,36	0,37	0,19	0,22	0,97	0,9
48	DU 17/11/00 AU 17/11/00	16	C (g/l)	82	30,13	41,59	-	34	0,72	0,26
			Q _L (m ³ /s)	34,8	10,05	4,23	0,07	0,13	2,38	2,61
49	DU 13/01/01 AU 14/01/01	19	C (g/l)	12	2,53	6,51	6	6	0,39	0,14
			Q _L (m ³ /s)	2,3	0,72	0,37	0,03	0,04	1,95	2,09
50	DU 28/01/01 AU 29/01/01	12	C (g/l)	85,8	26,87	40,27	-	37,5	0,67	0,6
			Q _L (m ³ /s)	23,4	6,73	2,81	0,03	0,09	2,4	3,08
51	DU 10/11/01 AU 12/11/01	38	C (g/l)	33,5	12,3	21,33	7	32,3	0,58	-0,25
			Q _L (m ³ /s)	135,886	43,57	23,42	0,06	0,06	1,86	1,79
52	DU 16/04/03 AU 17/04/03	3	C (g/l)	35,14	4,3	30,3	-	28,82	0,14	1,37
			Q _L (m ³ /s)	3	1,69	1,05	-	0,13	1,61	1,72
53	DU 09/12/03 AU 10/12/03	3	C (g/l)	32,28	7,9	26,79	-	30,36	0,29	-1,62
			Q _L (m ³ /s)	1,3	0,61	0,62	-	0,44	0,98	1,22
54	DU 09/12/04 AU 09/12/04	5	C (g/l)	10,66	1,23	9,54	-	10,28	0,13	-0,56
			Q _L (m ³ /s)	47,5	17,81	24,24	-	23,4	0,73	-0,02
55	DU 22/02/06 AU 25/02/06	5	C (g/l)	76,96	39,22	33,63	-	13,8	1,17	0,53
			Q _L (m ³ /s)	4,3	1,87	0,99	-	0,02	1,89	2,14

Tableau (VI-8) : Paramètres statistiques des débits liquides et concentration des sédiments solides à la station hydrométrique Trois Rivières.

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	M_o	M_e	C_v	C_s
1	DU 02/10/86 AU 08/10/86	7	C (g/l)	60,770	26,61	26,24	-	3,90	1,01	1,06
			Q _L (m ³ /s)	140,760	51,88	20,23	-	1,87	2,56	2,39
2	DU 10/10/86 AU 15/10/86	7	C (g/l)	32,890	12,21	8,25	-	0,66	1,48	1,24
			Q _L (m ³ /s)	75,000	27,48	13,55	0,59	1,24	2,03	2,5
3	DU 03/02/87 AU 10/02/87	8	C (g/l)	18,720	7,68	4,9	-	0,68	1,57	1,45
			Q _L (m ³ /s)	14,760	4,71	3,12	1,24	1,36	1,51	2,81
4	DU 11/02/87 AU 19/02/87	6	C (g/l)	15,600	5,57	6,96	-	6,31	0,80	0,57
			Q _L (m ³ /s)	8,000	2,50	3,45	-	3,06	0,72	1,4
5	DU 23/06/87 AU 10/07/87	13	C (g/l)	3,600	0,99	0,74	0,77	0,36	1,34	2,65
			Q _L (m ³ /s)	8,500	0,77	7,35	8	7,50	0,10	-0,35
6	DU 03/10/87 AU 06/10/87	4	C (g/l)	0,260	0,07	0,16	0,12	0,13	0,44	1,89
			Q _L (m ³ /s)	4,320	1,77	2,38	0,83	2,19	0,74	0,21
7	DU 01/01/88 AU 05/01/88	6	C (g/l)	8,400	3,12	3,93	-	2,83	0,79	0,64
			Q _L (m ³ /s)	6,920	2,59	4,29	-	4,42	0,60	-0,03
8	DU 19/01/88 AU 20/01/88	7	C (g/l)	17,240	2,99	10,76	-	9,46	0,28	2,17
			Q _L (m ³ /s)	23,800	5,39	15,4	10,88	14,00	0,35	0,53
9	DU 20/01/88 AU 24/01/88	6	C (g/l)	12,680	5,10	5,84	-	5,95	0,87	0,13
			Q _L (m ³ /s)	22,280	8,19	8,88	-	8,35	0,92	0,78
10	DU 05/05/88 AU 11/05/88	7	C (g/l)	4,350	1,46	1,04	0,46	0,52	1,40	2,64
			Q _L (m ³ /s)	12,690	0,45	12,04	11,7	12,03	0,04	0,1
11	DU 19/05/88 AU 22/05/88	6	C (g/l)	49,980	19,58	22,36	-	22,90	0,88	0,25
			Q _L (m ³ /s)	50,000	21,52	19,17	-	13,31	1,12	0,52
12	DU 15/09/88 AU 18/09/88	7	C (g/l)	38,880	14,57	19,91	-	17,98	0,73	-0,14
			Q _L (m ³ /s)	77,250	27,54	23,19	-	17,80	1,19	1,44
13	DU 20/03/89 AU 24/03/89	7	C (g/l)	196,000	72,96	30,62	-	3,52	2,38	2,64
			Q _L (m ³ /s)	7,780	2,73	3,94	2,52	2,52	0,69	0,34
14	DU 26/04/89 AU 28/04/89	3	C (g/l)	4,740	1,50	3,17	-	3,00	0,47	0,49
			Q _L (m ³ /s)	2,260	0,65	1,57	-	1,48	0,41	0,59
15	DU 24/06/89 AU 29/06/89	6	C (g/l)	37,980	15,11	12,38	-	6,23	1,22	1,21
			Q _L (m ³ /s)	5,100	1,92	1,54	-	0,71	1,25	1,65
16	DU 30/06/89 AU 05/07/89	8	C (g/l)	55,460	19,32	19,81	-	17,65	0,98	0,8
			Q _L (m ³ /s)	85,000	33,01	20,68	-	2,30	1,60	1,53
17	DU 18/07/89 AU 21/07/89	7	C (g/l)	35,560	14,60	19,24	-	26,28	0,76	-0,35
			Q _L (m ³ /s)	41,720	18,21	19,47	-	19,40	0,94	0,06
18	DU 21/08/89 AU 23/08/89	3	C (g/l)	43,820	21,92	18,87	-	10,10	1,16	1,51
			Q _L (m ³ /s)	14,700	7,87	5,62	-	1,23	1,40	1,73
19	DU 04/01/90 AU 08/01/90	6	C (g/l)	19,800	5,31	12,87	-	13,92	0,41	-0,86
			Q _L (m ³ /s)	35,700	14,25	14,16	-	11,58	1,01	0,59

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
20	DU 11/01/90 AU 20/01/90	20	C (g/l)	82,000	18,18	10,53	-	7,66	1,73	3,8
			Q _L (m ³ /s)	58,880	15,14	12,21	-	7,20	1,24	2,04
21	DU 01/05/90 AU 02/05/90	7	C (g/l)	35,040	11,40	23,31	-	24,12	0,49	-0,24
			Q _L (m ³ /s)	163,000	61,87	84,78	-	102,00	0,73	-0,29
22	DU 03/05/90 AU 08/05/90	8	C (g/l)	53,500	17,89	18,68	-	13,63	0,96	1,04
			Q _L (m ³ /s)	85,500	28,70	18,01	-	7,06	1,59	2,35
23	DU 10/05/90 AU 11/05/90	4	C (g/l)	20,680	8,01	13,31	-	15,29	0,60	-1,33
			Q _L (m ³ /s)	155,000	63,50	78,86	-	79,65	0,81	-0,07
24	DU 11/05/90 AU 16/05/90	13	C (g/l)	43,540	12,39	20,71	-	19,98	0,60	0,22
			Q _L (m ³ /s)	155,000	56,22	51,19	-	29,00	1,10	0,82
25	DU 03/09/90 AU 04/09/90	8	C (g/l)	19,840	4,65	14,81	-	16,47	0,31	-0,85
			Q _L (m ³ /s)	31,760	10,95	13,82	-	10,69	0,79	0,78
26	DU 18/09/90 AU 19/09/90	5	C (g/l)	39,280	15,53	21,16	-	21,60	0,73	0,05
			Q _L (m ³ /s)	74,400	29,48	32,64	-	32,22	0,90	0,53
27	DU 01/12/90 AU 03/12/90	3	C (g/l)	3,040	1,07	2,07	-	2,24	0,52	-0,71
			Q _L (m ³ /s)	37,600	19,09	22,75	-	29,44	0,84	-1,31
28	DU 10/12/90 AU 15/12/90	5	C (g/l)	9,360	4,08	5,15	-	5,70	0,79	-0,2
			Q _L (m ³ /s)	6,640	2,29	3,36	-	3,12	0,68	0,57
29	DU 29/12/90 AU 30/12/90	3	C (g/l)	1,540	0,63	0,81	-	0,50	0,78	1,68
			Q _L (m ³ /s)	7,740	3,67	3,58	-	2,24	1,03	1,43
30	DU 11/03/91 AU 20/03/91	21	C (g/l)	66,120	16,82	18,36	-	15,86	0,92	1,65
			Q _L (m ³ /s)	662,320	173,04	80,71	-	19,60	2,14	2,86
31	DU 31/03/91 AU 03/04/91	8	C (g/l)	21,580	8,55	10,11	-	8,48	0,85	0,34
			Q _L (m ³ /s)	26,200	7,97	11,64	-	10,58	0,68	0,67
32	DU 03/06/91 AU 05/06/91	3	C (g/l)	0,500	0,14	0,35	-	0,32	0,40	0,82
			Q _L (m ³ /s)	1,750	0,47	1,21	-	1,02	0,39	1,51
33	DU 01/07/91 AU 03/07/91	3	C (g/l)	8,800	3,67	4,65	-	3,32	0,79	1,41
			Q _L (m ³ /s)	15,000	2,48	13,31	-	14,46	0,19	-1,64
34	DU 08/07/91 AU 11/07/91	4	C (g/l)	0,660	0,35	0,74	-	0,64	0,47	1,53
			Q _L (m ³ /s)	10,920	5,05	7,96	10,92	10,23	0,63	-1,9
35	DU 12/09/91 AU 14/09/91	4	C (g/l)	7,920	3,50	2,75	-	0,85	1,27	1,83
			Q _L (m ³ /s)	11,150	4,89	8,56	11,15	10,69	0,57	-1,99
36	DU 22/09/91 AU 24/09/91	4	C (g/l)	1,540	0,74	0,84	-	0,86	0,88	-0,06
			Q _L (m ³ /s)	14,730	5,09	9,17	-	9,77	0,56	-0,7
37	DU 16/10/91 AU 23/10/91	9	C (g/l)	22,420	7,55	5,79	-	1,44	1,30	1,62
			Q _L (m ³ /s)	20,500	7,14	6,48	1,36	2,14	1,10	1,12
38	DU 09/04/92 AU 12/04/92	4	C (g/l)	2,020	0,76	1,14	-	1,06	0,67	0,31
			Q _L (m ³ /s)	3,720	1,07	2,2	-	1,92	0,49	1,39
39	DU 08/05/92 AU 12/05/92	6	C (g/l)	11,660	4,31	3,9	-	1,79	1,11	1,53
			Q _L (m ³ /s)	8,620	2,89	3,04	1,5	1,98	0,95	1,91
40	DU 17/07/92 AU 19/07/92	3	C (g/l)	1,330	0,49	0,76	-	0,94	0,64	1,62
			Q _L (m ³ /s)	0,894	0,40	0,44	0,21	0,89	0,91	1,73

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
41	DU 04/08/92 AU 06/08/92	4	C (g/l)	1,660	0,49	0,99	-	0,90	0,49	0,99
			Q _L (m ³ /s)	18,800	7,45	9,98	-	8,70	0,75	0,42
42	DU 01/09/93 AU 02/09/93	38	C (g/l)	27,000	3,38	17,81	17,00	17,00	0,19	1,22
			Q _L (m ³ /s)	11,340	2,48	3,75	5,25	3,60	0,66	1,23
43	DU 02/09/93 AU 03/09/93	9	C (g/l)	51,500	7,92	37,87	-	36,00	0,21	0,6
			Q _L (m ³ /s)	5,250	1,40	3,77	3,3	3,60	0,37	-1,22
44	DU 03/09/93 AU 04/09/93	34	C (g/l)	137,000	46,02	64,99	0,1	2,25	0,71	-0,11
			Q _L (m ³ /s)	4,350	1,37	1,61	2,25	2,03	0,85	0,21
45	DU 08/09/93 AU 08/09/93	6	C (g/l)	8,000	2,04	7,17	8	8,00	0,28	-2,45
			Q _L (m ³ /s)	10,800	4,16	8,47	9,72	9,72	0,49	-2,36
46	DU 10/09/93 AU 11/09/93	31	C (g/l)	5,500	1,43	3,5	5	3,50	0,41	-0,73
			Q _L (m ³ /s)	10,620	4,39	7,47	10,62	10,62	0,59	-0,85
47	DU 23/09/93 AU 25/09/93	51	C (g/l)	14,500	4,87	6,89	0,9	6,50	0,71	0,1
			Q _L (m ³ /s)	10,620	2,47	3,8	3	3,00	0,65	1,65
48	DU 12/10/93 AU 19/10/93	41	C (g/l)	18,000	4,36	9,95	10	10,00	0,44	-0,07
			Q _L (m ³ /s)	18,000	2,78	17,44	18	18,00	0,16	-6,19
49	DU 19/10/93 AU 20/10/93	39	C (g/l)	58,000	13,07	19,47	2,7	15,50	0,67	1,23
			Q _L (m ³ /s)	482,340	91,10	39,55	17,82	14,04	2,30	4,11
50	DU 20/10/93 AU 21/10/93	25	C (g/l)	44,000	11,87	16,93	8	10,50	0,70	1,29
			Q _L (m ³ /s)	6,600	2,35	3,72	1	4,95	0,63	-0,28
51	DU 21/10/93 AU 27/10/93	74	C (g/l)	183,000	50,89	105,55	90	113,00	0,48	0,74
			Q _L (m ³ /s)	2,300	0,44	0,92	0,59	0,74	0,48	1,25
52	DU 04/11/93 AU 07/11/93	33	C (g/l)	26,000	7,97	8,86	2	5,00	0,90	0,69
			Q _L (m ³ /s)	4,580	1,04	1,29	0,47	0,83	0,81	1,93
53	DU 13/11/93 AU 17/11/93	68	C (g/l)	33,000	7,00	13,08	12	11,60	0,54	1,12
			Q _L (m ³ /s)	11,600	1,98	1,39	0,72	0,72	1,42	3,81
54	DU 02/12/93 AU 02/12/93	22	C (g/l)	0,700	0,22	0,47	0,68	0,55	0,47	-0,83
			Q _L (m ³ /s)	0,755	0,08	0,64	0,72	0,65	0,13	-0,55
55	DU 03/01/94 AU 03/01/94	9	C (g/l)	12,000	3,61	3,51	-	3,20	1,03	1,8
			Q _L (m ³ /s)	0,755	0,10	0,62	0,59	0,59	0,16	-0,1
56	DU 21/01/94 AU 24/01/94	55	C (g/l)	1,300	0,36	0,61	0,6	0,60	0,59	0,13
			Q _L (m ³ /s)	1,400	0,26	0,82	0,59	0,72	0,32	1,06
57	DU 19/04/94 AU 24/04/94	30	C (g/l)	8,700	3,61	5,25	0,4	7,15	0,69	-0,59
			Q _L (m ³ /s)	21,620	7,58	10,63	21,62	10,70	0,71	0,23
58	DU 23/09/94 AU 25/09/94	26	C (g/l)	54,000	14,33	19,36	16	16,00	0,74	1,74
			Q _L (m ³ /s)	3,700	0,80	1,85	1,16	1,64	0,43	0,88
59	DU 25/09/94 AU 26/09/94	31	C (g/l)	148,000	42,57	49,65	20	28,20	0,86	1,32
			Q _L (m ³ /s)	2,000	0,66	1,34	2	1,46	0,49	-0,31
60	DU 26/09/94 AU 29/09/94	57	C (g/l)	146,000	33,68	49,95	10,5	42,00	0,67	1,37
			Q _L (m ³ /s)	792,400	162,05	95,67	14,62	26,92	1,69	2,74
61	DU 29/09/94 AU 03/10/94	32	C (g/l)	239,300	63,63	68,77	18	29,20	0,93	1,01
			Q _L (m ³ /s)	729,400	204,37	162,46	301	57,30	1,26	1,42

N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
62	DU 06/10/94 AU 09/10/94	4	C (g/l)	6,660	2,60	3,22	-	2,80	0,81	0,8
			Q _L (m ³ /s)	23,000	10,06	7,93	-	3,19	1,27	1,99
63	DU 11/03/95 AU 31/03/95	125	C (g/l)	30,900	7,99	10,21	24	8,80	0,78	0,53
			Q _L (m ³ /s)	27,480	6,65	5,38	0,92	2,12	1,24	2,12
64	DU 12/04/95 AU 19/04/95	80	C (g/l)	108,000	31,39	34,37	68,3	21,75	0,91	0,67
			Q _L (m ³ /s)	4,100	0,74	2,19	1,88	1,97	0,34	1,18
65	DU 19/04/95 AU 20/04/95	16	C (g/l)	5,000	1,03	2,88	3,1	3,10	0,36	-0,55
			Q _L (m ³ /s)	1,400	0,14	1,28	1,4	1,34	0,11	-0,59
66	DU 03/05/95 AU 11/05/95	68	C (g/l)	44,000	10,54	5,5	0,2	0,70	1,92	2,35
			Q _L (m ³ /s)	2,060	0,40	1,06	0,92	0,92	0,38	1,74
67	DU 11/06/95 AU 14/06/95	24	C (g/l)	18,800	7,26	11,83	-	16,65	0,61	-0,62
			Q _L (m ³ /s)	6,110	1,07	2,12	1,94	1,94	0,50	2,69
68	DU 05/09/95 AU 06/09/95	47	C (g/l)	65,000	18,20	19,66	11,1	11,10	0,93	0,94
			Q _L (m ³ /s)	83,500	23,51	28,32	16	19,36	0,83	1,28
69	DU 06/10/95 AU 06/10/95	24	C (g/l)	18,300	5,01	11,05	11	11,05	0,45	-0,48
			Q _L (m ³ /s)	15,310	4,09	6,08	3,14	4,10	0,67	1,26
70	DU 12/10/95 AU 17/10/95	48	C (g/l)	95,000	17,92	18,93	10	12,90	0,95	1,89
			Q _L (m ³ /s)	3,900	0,63	2,15	1,64	2,03	0,29	1,2
71	DU 12/06/96 AU 21/06/96	52	C (g/l)	9,200	1,76	5,77	7,2	6,00	0,31	-0,07
			Q _L (m ³ /s)	7,260	1,05	2,26	1,64	1,88	0,46	2,96
72	DU 20/04/97 AU 24/04/97	62	C (g/l)	34,000	8,53	11,88	-	8,00	0,72	0,69
			Q _L (m ³ /s)	44,700	8,88	6,18	1,58	2,57	1,44	2,91
73	DU 24/04/97 AU 28/04/97	84	C (g/l)	108,000	30,87	20,7	2	2,15	1,49	1,7
			Q _L (m ³ /s)	92,600	19,47	11,3	1,58	2,36	1,72	2,78
74	DU 22/08/97 AU 23/08/97	19	C (g/l)	33,970	1,26	31,56	32	31,95	0,04	-0,58
			Q _L (m ³ /s)	9,100	2,47	5,08	2,6	4,30	0,49	0,26
75	DU 23/08/97 AU 26/08/97	59	C (g/l)	65,640	17,35	37	23,95	29,90	0,47	0,26
			Q _L (m ³ /s)	1578,400	350,31	154,98	3,5	11,86	2,26	2,92
76	DU 26/08/97 AU 31/08/97	65	C (g/l)	70,000	9,44	57,43	60	60,00	0,16	-0,49
			Q _L (m ³ /s)	4,000	0,53	2,74	2,36	2,48	0,19	1,31
77	DU 31/08/97 AU 07/09/97	67	C (g/l)	79,000	34,35	41,12	77	59,80	0,84	-0,1
			Q _L (m ³ /s)	4,500	0,91	2,23	1,16	2,24	0,41	0,82
78	DU 07/09/97 AU 09/09/97	28	C (g/l)	8,200	1,69	2,63	1,3	1,90	0,64	1,92
			Q _L (m ³ /s)	2,480	0,36	1,97	2,36	2,03	0,18	-0,79
79	DU 11/09/97 AU 15/09/97	105	C (g/l)	20,000	5,18	8,41	5	5,00	0,62	1,21
			Q _L (m ³ /s)	58,000	7,30	5,68	1,16	3,23	1,29	4,87
80	DU 15/09/97 AU 16/09/97	26	C (g/l)	25,300	9,40	14,08	5,8	5,90	0,67	0,19
			Q _L (m ³ /s)	80,000	37,77	37,12	2,36	7,45	1,02	0,29
81	DU 16/09/97 AU 22/09/97	97	C (g/l)	81,500	23,96	50,39	30	44,00	0,48	0,09
			Q _L (m ³ /s)	90,000	26,72	22,05	2,48	10,02	1,21	1,26
82	DU 27/09/97 AU 01/10/97	97	C (g/l)	24,000	5,17	14,45	12	14,00	0,36	-0,8
			Q _L (m ³ /s)	70,000	13,58	14,97	6,34	10,71	0,91	2,03

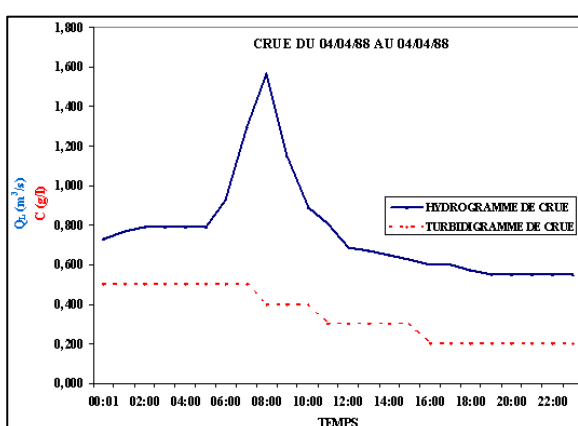
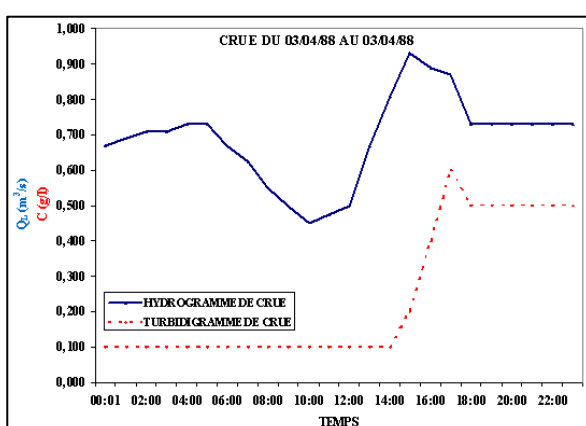
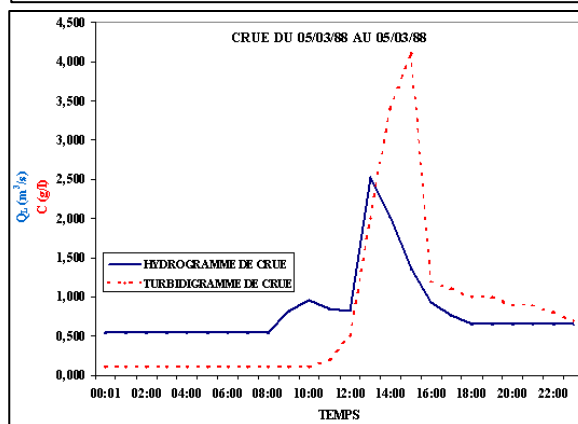
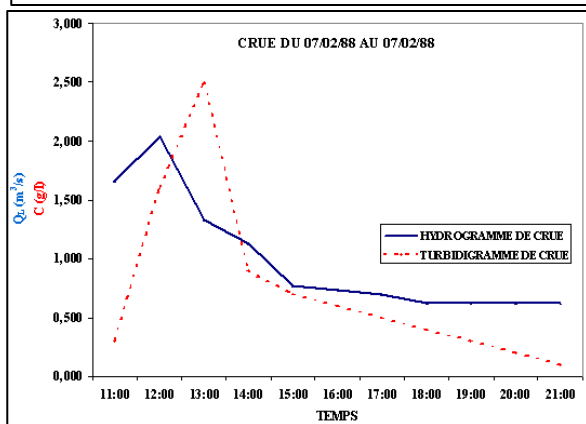
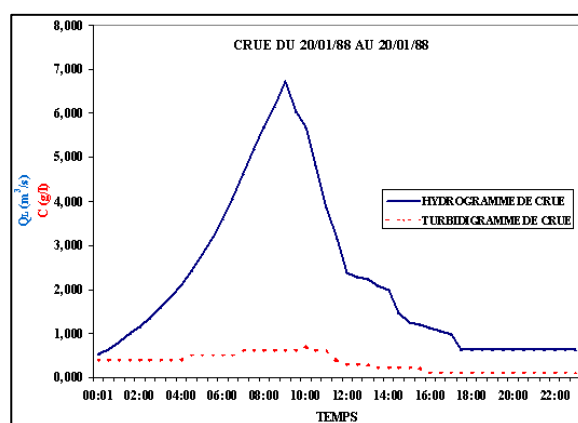
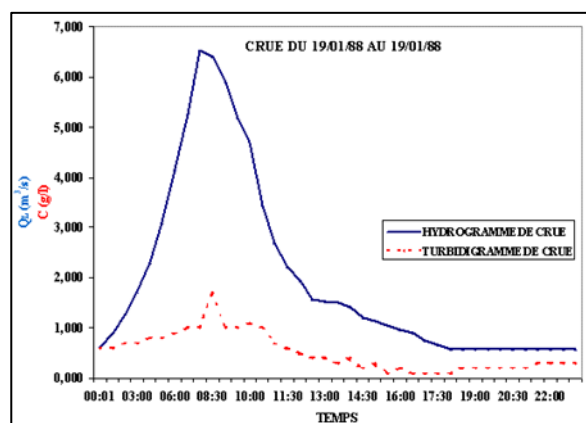
N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
83	DU 07/10/97 AU 09/10/97	37	C (g/l)	6,700	1,32	5,35	6	6,00	0,25	-0,93
			Q _L (m ³ /s)	4,100	0,45	2,86	2,54	2,60	0,16	1,42
84	DU 27/10/97 AU 01/11/97	27	C (g/l)	8,700	2,71	3,92	1,65	3,30	0,69	0,43
			Q _L (m ³ /s)	2,600	0,24	2,35	2,48	2,48	0,10	-0,79
85	DU 07/11/97 AU 09/11/97	37	C (g/l)	6,700	1,32	5,35	6	6,00	0,25	-0,93
			Q _L (m ³ /s)	4,100	0,45	2,86	2,54	2,60	0,16	1,42
86	DU 27/11/97 AU 01/12/97	28	C (g/l)	8,700	2,57	3,6	1,6	1,95	0,71	0,91
			Q _L (m ³ /s)	2,600	0,27	2,32	2,48	2,48	0,12	-0,66
87	DU 01/12/97 AU 04/12/97	39	C (g/l)	7,600	1,81	5,2	6,8	5,60	0,35	-0,52
			Q _L (m ³ /s)	2,180	0,07	2,14	2,18	2,18	0,03	-2,55
88	DU 05/12/97 AU 12/12/97	92	C (g/l)	29,600	9,85	10,51	4,8	6,15	0,94	0,77
			Q _L (m ³ /s)	3,050	0,21	2,49	2,48	2,48	0,08	1,61
89	DU 12/12/97 AU 21/12/97	42	C (g/l)	8,350	1,97	2,94	2,4	2,60	0,67	1,33
			Q _L (m ³ /s)	3,320	0,57	2,52	1,82	2,62	0,23	0,04
90	DU 15/03/99 AU 22/03/99	91	C (g/l)	25,250	5,43	8,92	5,6	6,50	0,61	1,32
			Q _L (m ³ /s)	90,000	13,99	7,72	1,88	2,87	1,81	4,33
91	DU 02/05/00 AU 03/05/00	12	C (g/l)	52,000	22,95	21,24	-	7,50	1,08	0,44
			Q _L (m ³ /s)	4,184	1,30	2,27	1,28	1,45	0,57	0,74
92	DU 06/05/00 AU 07/05/00	15	C (g/l)	50,000	19,66	27,07	46,5	37,00	0,73	-0,27
			Q _L (m ³ /s)	1,960	0,20	1,81	1,96	1,96	0,11	-1,21
93	DU 03/08/00 AU 04/08/00	23	C (g/l)	26,200	7,52	9,72	10,4	6,60	0,77	1,31
			Q _L (m ³ /s)	2,920	1,07	1,16	2,92	0,44	0,92	0,63
94	DU 04/08/00 AU 05/08/00	32	C (g/l)	30,400	10,37	10,91	3,2	5,30	0,95	0,85
			Q _L (m ³ /s)	7,500	1,38	1,54	0,67	1,11	0,90	3,07
95	DU 27/09/00 AU 29/09/00	42	C (g/l)	35,320	8,96	15,82	-	14,80	0,57	0,44
			Q _L (m ³ /s)	5,500	1,36	1,25	0,12	0,58	1,09	1,25
96	DU 14/01/01 AU 15/01/01	26	C (g/l)	4,000	1,41	2,21	3,4	2,32	0,64	-0,14
			Q _L (m ³ /s)	7,100	1,79	3,46	1,9	3,00	0,52	0,76
97	DU 01/10/01 AU 04/10/01	44	C (g/l)	55,500	17,83	27,44	12	24,00	0,65	0,24
			Q _L (m ³ /s)	9,750	3,23	3,68	1,4	1,40	0,88	0,96
98	DU 09/10/01 AU 17/10/01	85	C (g/l)	97,500	27,84	54,92	51,2	58,00	0,51	-0,44
			Q _L (m ³ /s)	1450,000	303,46	117,83	0,65	2,89	2,58	3,11
99	DU 10/11/01 AU 16/11/01	102	C (g/l)	149,000	51,43	45,67	9,9	9,90	1,13	0,77
			Q _L (m ³ /s)	80,400	21,78	13,61	1,53	3,83	1,60	2,17
100	DU 03/04/02 AU 05/04/02	30	C (g/l)	6,920	1,71	4,89	4,02	5,21	0,35	-0,8
			Q _L (m ³ /s)	8,750	2,11	2,85	1,53	2,07	0,74	2,16
101	DU 12/04/02 AU 13/04/02	36	C (g/l)	17,370	4,02	14,76	17,3	16,78	0,27	-1,76
			Q _L (m ³ /s)	4,980	1,38	3,45	4,98	3,70	0,40	-0,22
102	DU 05/05/02 AU 18/05/02	169	C (g/l)	69,000	22,66	20,3	2,2	5,00	1,12	0,73
			Q _L (m ³ /s)	528,000	83,88	21,8	2,25	2,25	3,85	5,09
103	DU 09/01/03 AU 10/01/03	12	C (g/l)	4,500	1,02	2,23	2	1,98	0,46	1,48
			Q _L (m ³ /s)	1,799	0,05	1,73	1,72	1,72	0,03	0,06

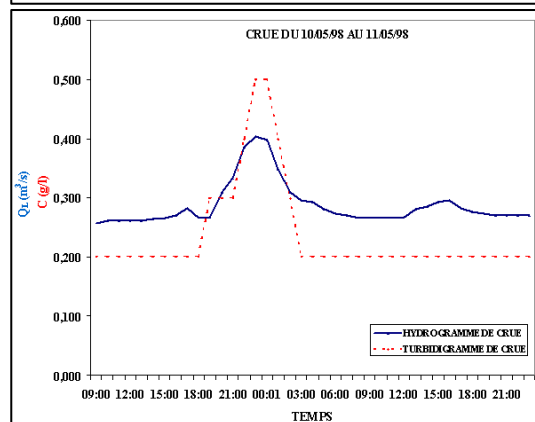
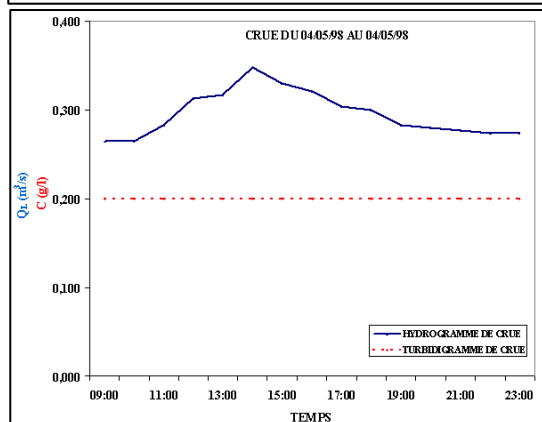
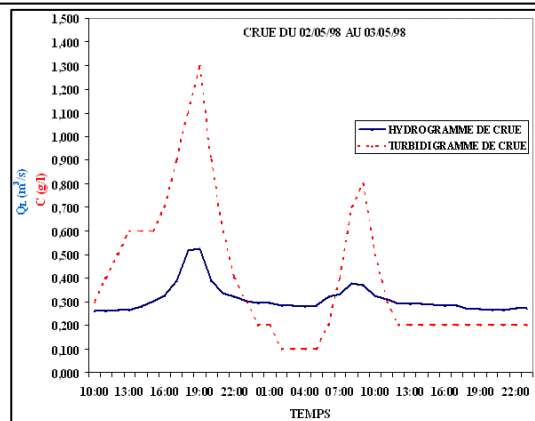
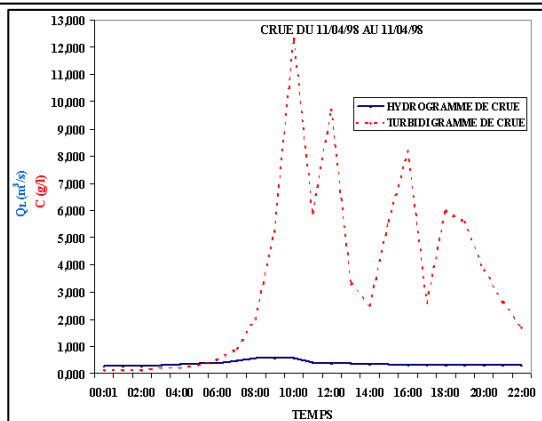
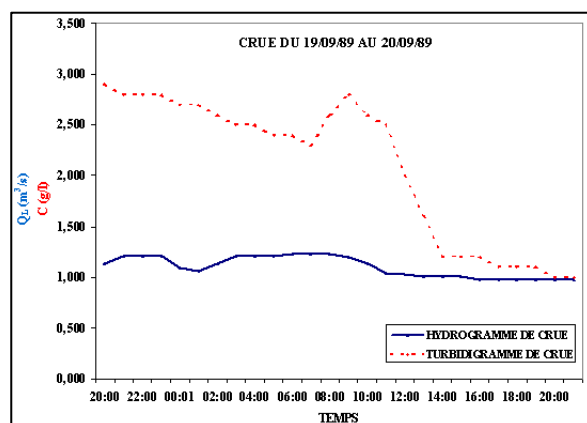
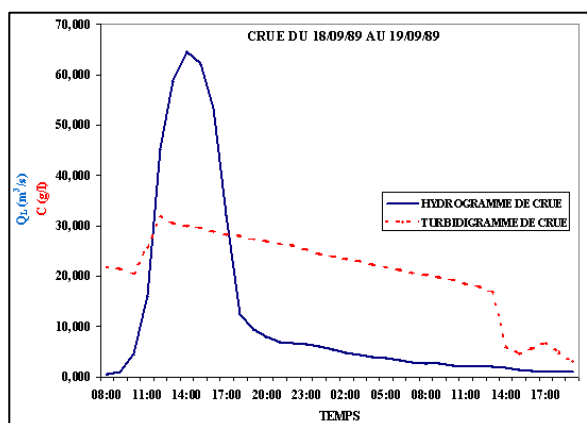
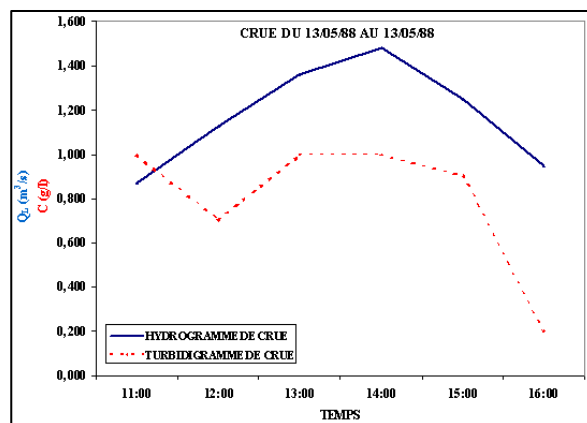
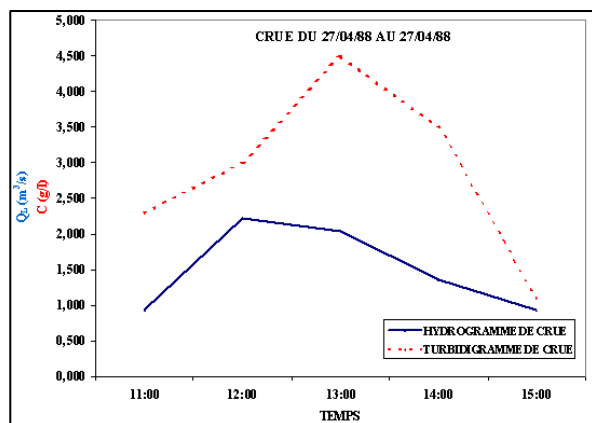
N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
104	DU 10/01/03 AU 14/01/03	62	C (g/l)	28,200	8,67	14,2	14,4	14,40	0,61	-0,03
			Q _L (m ³ /s)	75,600	18,11	12,42	1,05	3,38	1,46	2
105	DU 16/01/03 AU 18/01/03	40	C (g/l)	5,800	2,38	3,51	5,5	5,28	0,68	-0,34
			Q _L (m ³ /s)	39,600	8,66	6,81	1,46	2,75	1,27	2,31
106	DU 22/01/03 AU 24/01/03	14	C (g/l)	0,420	0,00	0,42	0,42	0,42	0,00	-
			Q _L (m ³ /s)	3,060	0,77	2,34	3,24	2,38	0,33	-0,31
107	DU 17/02/03 AU 19/02/03	3	C (g/l)	2,880	3,61	3,55	-	2,88	1,02	0,8
			Q _L (m ³ /s)	1,752	0,30	1,43	-	1,38	0,21	0,73
108	DU 08/06/03 AU 12/06/03	7	C (g/l)	34,720	16,34	16,47	-	13,88	0,99	0,12
			Q _L (m ³ /s)	23,000	9,76	8,28	-	2,62	1,18	0,99
109	DU 24/09/03 AU 26/09/03	4	C (g/l)	13,820	4,51	8,33	-	7,48	0,54	0,52
			Q _L (m ³ /s)	14,750	6,59	6,38	-	5,13	1,03	0,69
110	DU 11/11/03 AU 14/11/03	6	C (g/l)	53,600	23,29	23,41	-	13,89	0,99	0,78
			Q _L (m ³ /s)	137,560	65,47	50,87	-	16,45	1,29	0,9
111	DU 16/11/03 AU 21/11/03	7	C (g/l)	24,200	10,88	12,42	-	18,44	0,88	-0,28
			Q _L (m ³ /s)	136,400	64,34	41,16	0,91	3,91	1,56	1,22
112	DU 09/12/03 AU 11/12/03	3	C (g/l)	7,380	3,31	4,32	-	4,78	0,77	-0,61
			Q _L (m ³ /s)	4,000	1,44	2,56	-	2,54	0,56	0,05
113	DU 16/04/04 AU 17/04/04	3	C (g/l)	6,420	1,49	4,73	-	4,16	0,32	1,46
			Q _L (m ³ /s)	0,815	0,06	0,75	-	0,73	0,08	1,06
114	DU 12/05/04 AU 22/05/04	13	C (g/l)	54,780	14,68	11,57	-	8,44	1,27	2,39
			Q _L (m ³ /s)	8,100	2,59	3,52	6,5	2,96	0,74	0,45
115	DU 23/05/04 AU 01/06/04	10	C (g/l)	53,660	19,51	12,49	-	1,20	1,56	1,42
			Q _L (m ³ /s)	206,500	67,87	30,5	-	0,82	2,23	2,42
116	DU 14/06/04 AU 17/06/04	4	C (g/l)	3,040	1,10	1,73	-	1,76	0,64	-0,16
			Q _L (m ³ /s)	17,120	4,93	10,44	-	9,35	0,47	1,04
117	DU 12/05/05 AU 16/05/05	5	C (g/l)	8,440	4,09	3,32	-	0,46	1,23	0,67
			Q _L (m ³ /s)	3,820	1,39	1,42	1,13	1,13	0,98	1,86
118	DU 18/05/05 AU 22/05/05	6	C (g/l)	54,780	19,15	17,02	-	10,51	1,13	2,07
			Q _L (m ³ /s)	8,100	2,63	4,73	6,5	4,73	0,56	0,1
119	DU 23/05/05 AU 01/06/05	10	C (g/l)	53,660	19,51	12,49	-	1,20	1,56	1,42
			Q _L (m ³ /s)	206,500	67,87	30,5	0,48	0,82	2,23	2,42
120	DU 14/06/05 AU 17/06/05	4	C (g/l)	3,040	1,10	1,73	-	1,76	0,64	-0,16
			Q _L (m ³ /s)	17,120	4,93	10,44	-	9,35	0,47	1,04
121	DU 12/09/05 AU 19/09/05	8	C (g/l)	41,780	11,11	17,7	-	15,48	0,63	1,66
			Q _L (m ³ /s)	9,750	3,49	2,74	-	1,20	1,27	1,48
122	DU 04/10/05 AU 09/10/05	8	C (g/l)	38,000	16,97	16,39	-	12,48	1,04	0,25
			Q _L (m ³ /s)	66,000	25,70	15,54	-	1,34	1,65	1,58
123	DU 13/11/05 AU 18/11/05	10	C (g/l)	54,200	20,43	26,89	-	28,85	0,76	-0,08
			Q _L (m ³ /s)	90,000	30,13	21,04	-	9,52	1,43	1,79
124	DU 27/12/05 AU 31/12/05	5	C (g/l)	6,280	2,05	3,4	-	3,32	0,60	0,06
			Q _L (m ³ /s)	1,082	0,10	0,99	0,96	0,96	0,10	-0,45

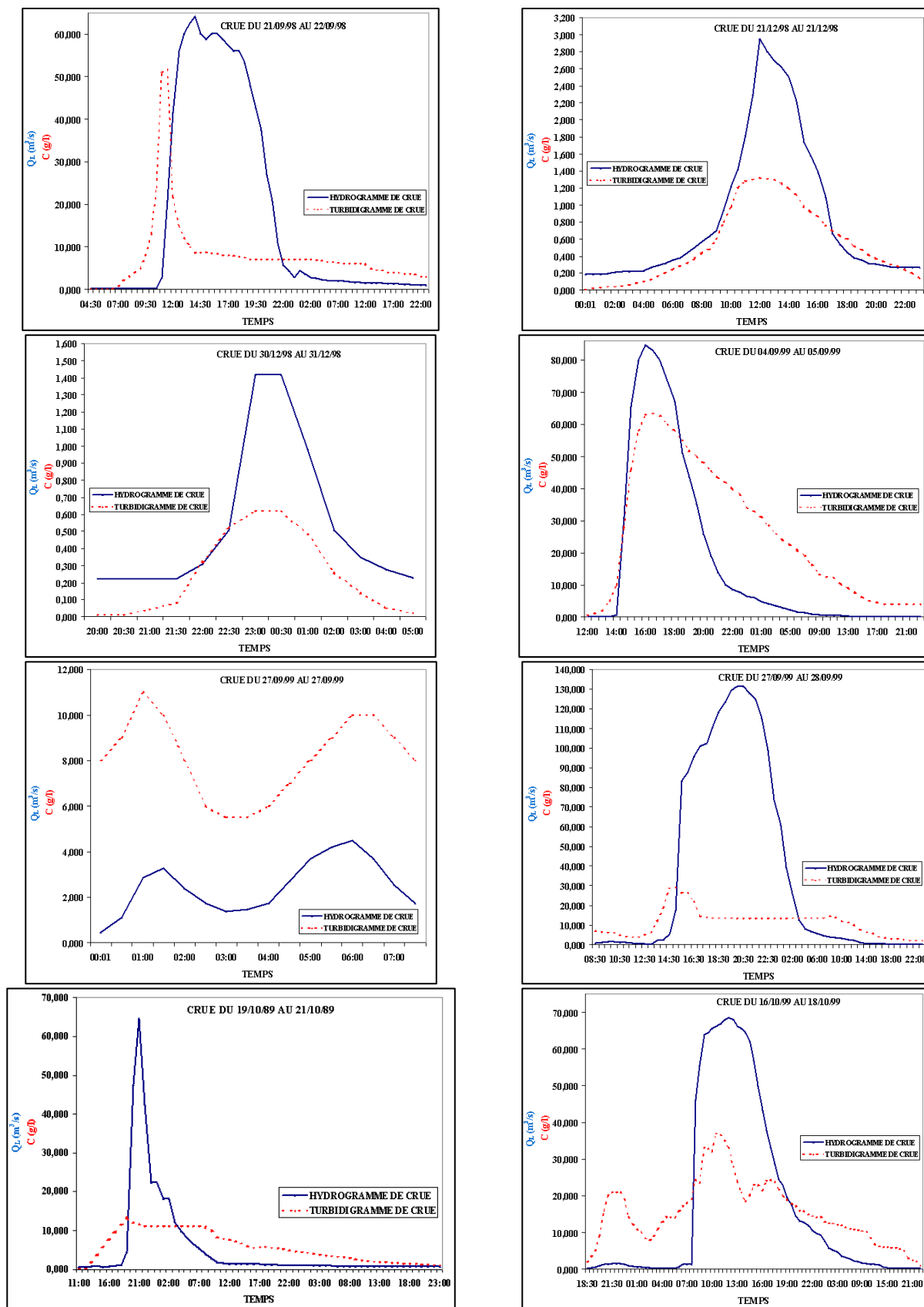
N°	DATE DE LA CRUE	NBRE D'OBSERVATION	VARIABLES	VALEUR MAX	σ_x	$\bar{X}$	Mo	Me	Cv	Cs
125	DU 27/01/06 AU 31/01/06	5	C (g/l)	6,280	2,05	3,4	-	3,32	0,60	0,06
			Q _L (m ³ /s)	1,082	0,10	0,99	0,96	0,96	0,10	-0,45
126	DU 01/02/06 AU 05/02/06	7	C (g/l)	52,140	21,12	25,83	-	30,78	0,82	-0,07
			Q _L (m ³ /s)	12,750	4,99	4,59	-	1,74	1,09	1,19
127	DU 27/03/06 AU 29/03/06	70	C (g/l)	66,000	23,04	39,83	3	50,25	0,58	-0,54
			Q _L (m ³ /s)	3,030	0,42	1,44	1,37	1,37	0,29	1,76
128	DU 19/04/06 AU 22/04/06	5	C (g/l)	6,620	2,78	1,65	-	0,44	1,68	2,23
			Q _L (m ³ /s)	18,240	6,65	14,16	-	17,40	0,47	-2,05
129	DU 02/05/06 AU 02/05/06	14	C (g/l)	5,500	0,00	5,5	5,5	5,50	0,00	-
			Q _L (m ³ /s)	4,210	1,33	1,62	0,45	1,33	0,82	1,02
130	DU 29/05/06 AU 29/05/06	19	C (g/l)	6,000	1,88	3,02	6	2,50	0,62	0,59
			Q _L (m ³ /s)	5,348	1,14	2,03	2,4	2,19	0,56	1,47
131	DU 09/06/06 AU 10/06/06	41	C (g/l)	7,500	1,90	1,28	0,6	0,60	1,48	2,63
			Q _L (m ³ /s)	20,200	7,24	15,95	19,64	19,64	0,45	-1,56
132	DU 06/11/06 AU 07/11/06	3	C (g/l)	10,100	5,02	6,95	-	9,60	0,72	-1,71
			Q _L (m ³ /s)	2,348	1,08	1,22	-	1,12	0,89	0,41
133	DU 30/01/07 AU 02/02/07	4	C (g/l)	11,420	3,93	5,66	-	4,32	0,69	1,72
			Q _L (m ³ /s)	16,560	7,92	4,68	0,7	0,73	1,69	2
134	DU 28/03/07 AU 30/03/07	3	C (g/l)	4,600	2,26	3,21	-	4,44	0,70	-1,72
			Q _L (m ³ /s)	3,910	1,71	2,43	-	2,82	0,70	-0,98
135	DU 17/04/07 AU 21/04/07	5	C (g/l)	7,640	2,29	3,86	-	3,16	0,59	1,51
			Q _L (m ³ /s)	131,760	55,15	34,34	-	15,50	1,61	2,1
136	DU 20/09/07 AU 22/09/07	4	C (g/l)	7,500	2,85	3,44	-	2,70	0,83	1,41
			Q _L (m ³ /s)	2,960	1,25	1,56	-	1,57	0,80	-0,04
137	DU 17/10/07 AU 18/10/07	4	C (g/l)	21,140	5,15	18,13	-	20,46	0,28	-1,94
			Q _L (m ³ /s)	73,200	32,42	32,07	-	25,80	1,01	0,69
138	DU 19/10/07 AU 24/10/07	8	C (g/l)	64,600	21,15	15,43	-	8,28	1,37	2,24
			Q _L (m ³ /s)	90,000	30,40	16,29	-	3,24	1,87	2,62
139	DU 29/10/07 AU 02/11/07	6	C (g/l)	20,020	8,72	10,08	-	10,93	0,87	-0,11
			Q _L (m ³ /s)	7,716	2,59	2,66	-	1,66	0,97	2,02
140	DU 27/11/07 AU 30/11/07	4	C (g/l)	1,540	0,35	1,23	-	1,32	0,28	-1,3
			Q _L (m ³ /s)	1,041	0,15	0,87	-	0,87	0,17	0,02

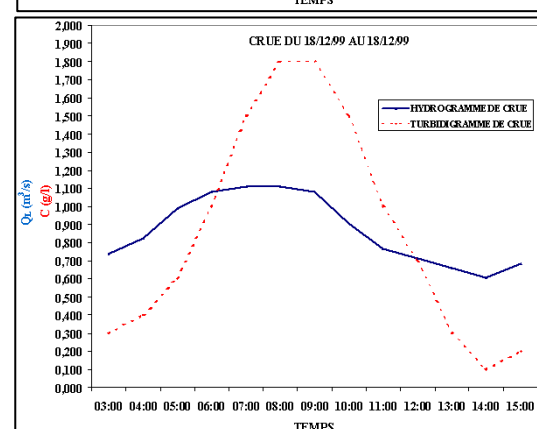
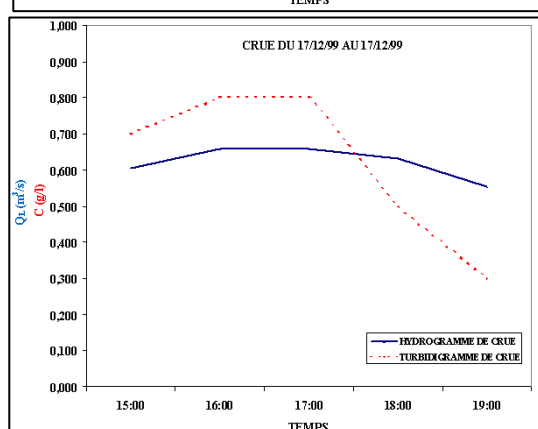
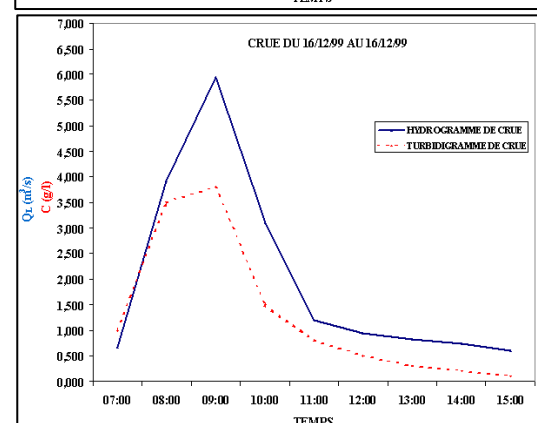
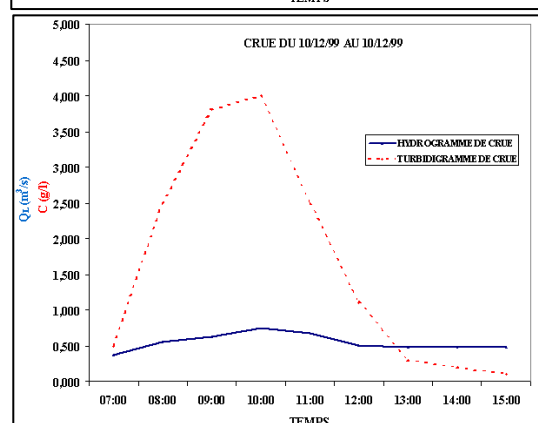
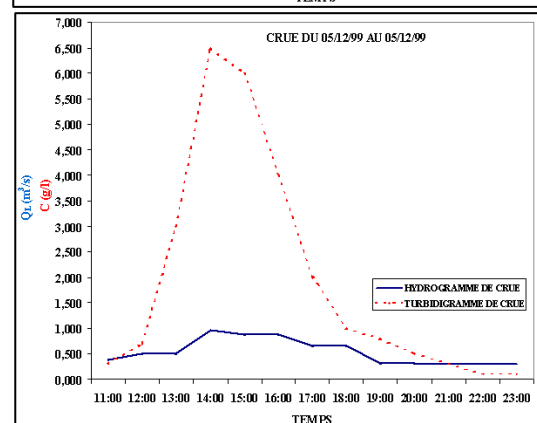
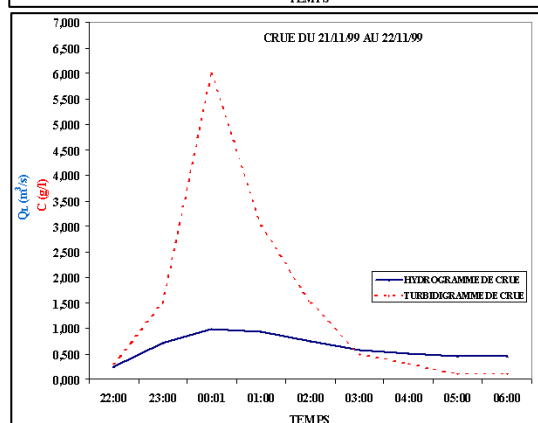
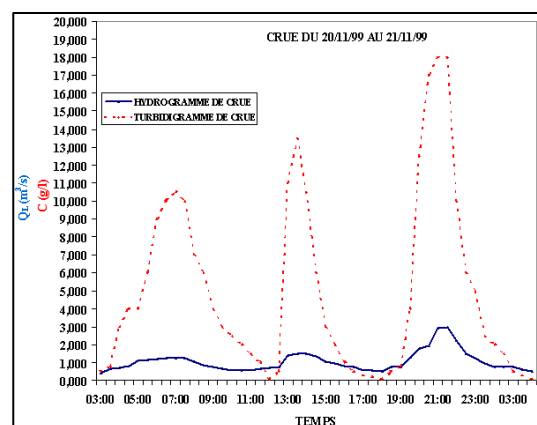
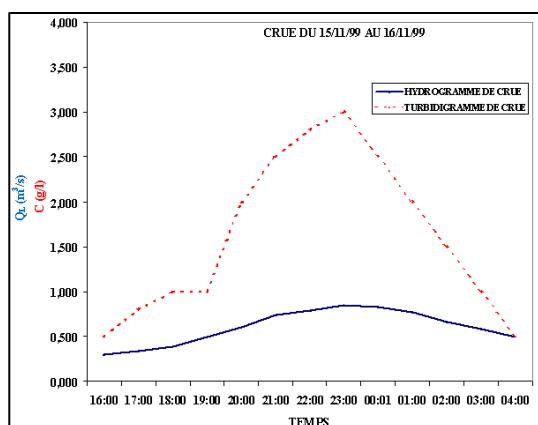
ANNEXE II : HYDROGRAMMES ET TURBIDIGRAMMES DES CRUES SÉLECTIONNÉES.

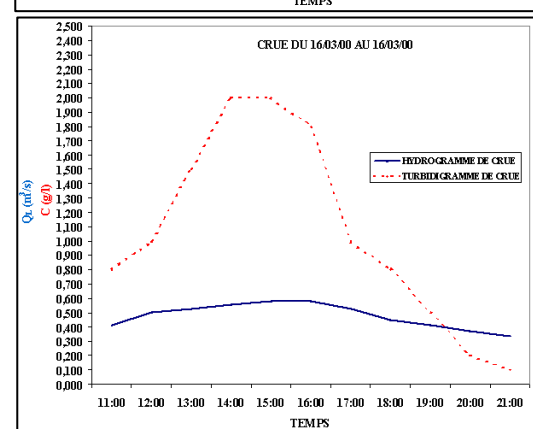
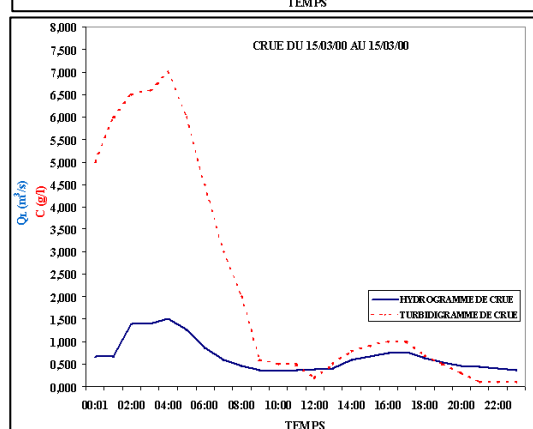
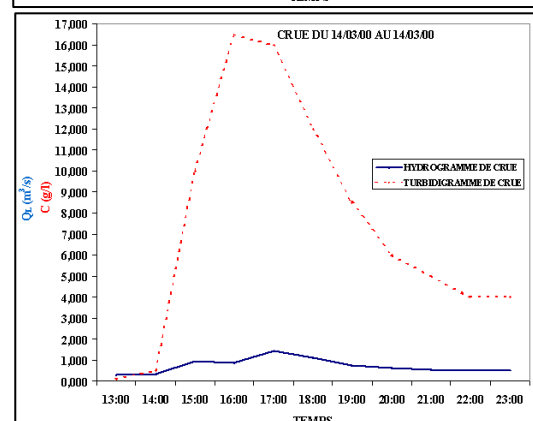
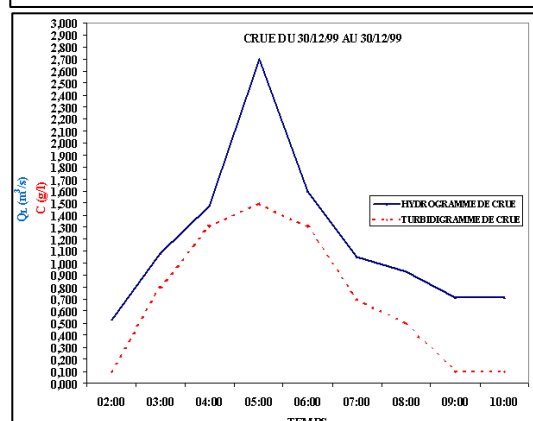
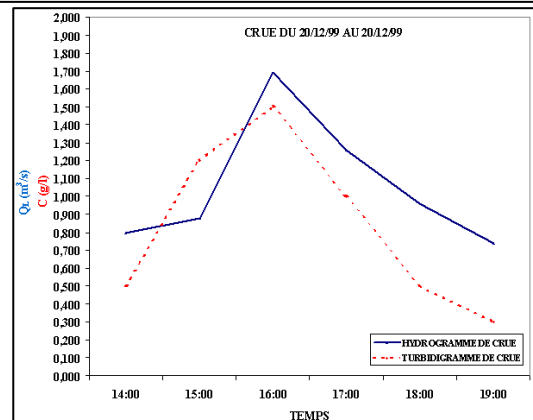
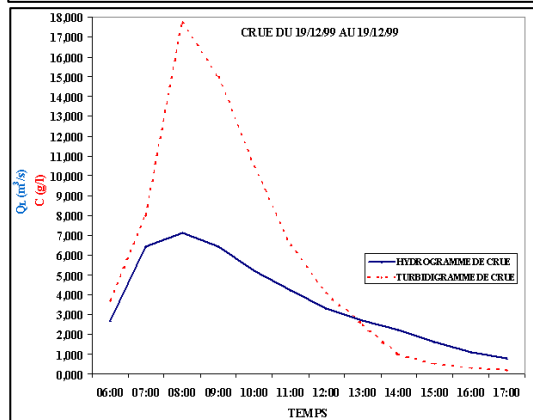
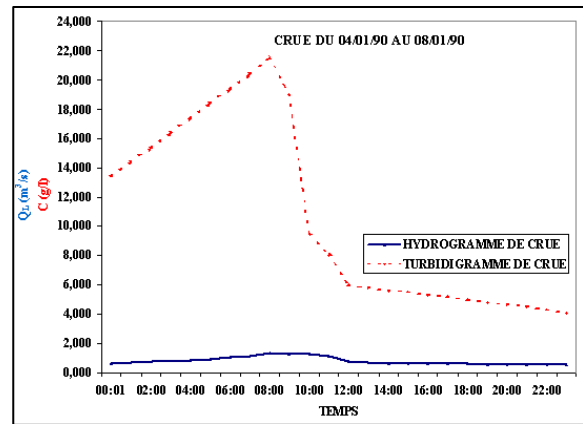
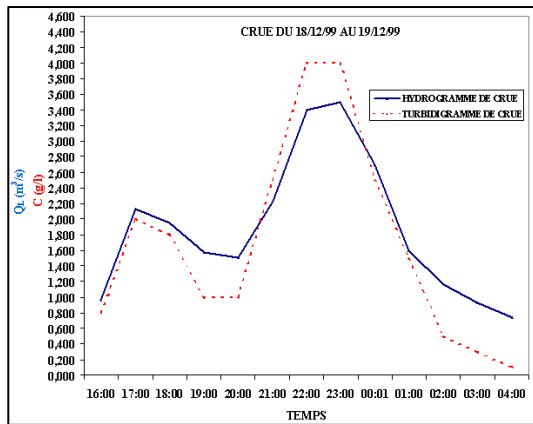
1- Hydrogrammes de crue – Turbidigrammes « Station Sidi Bel Abbès »

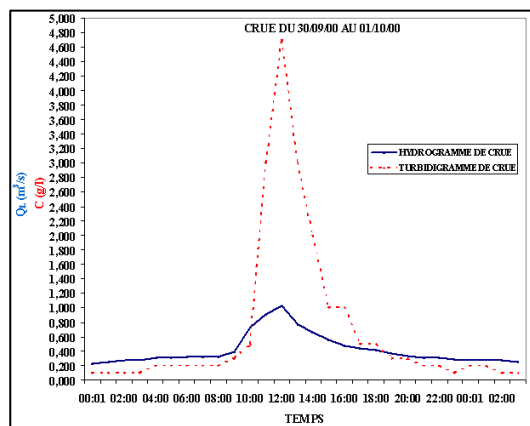
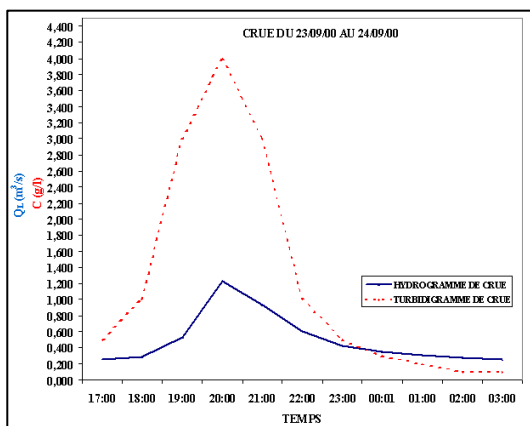
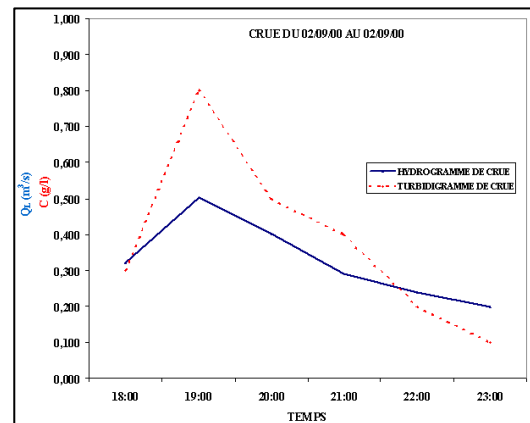
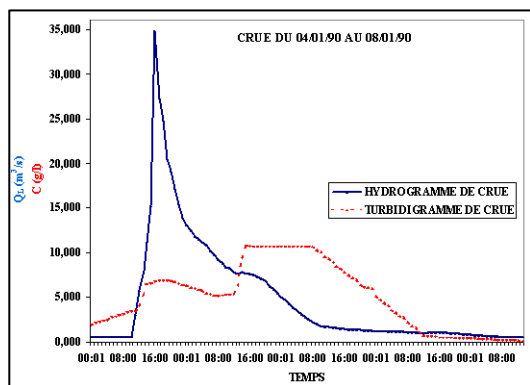
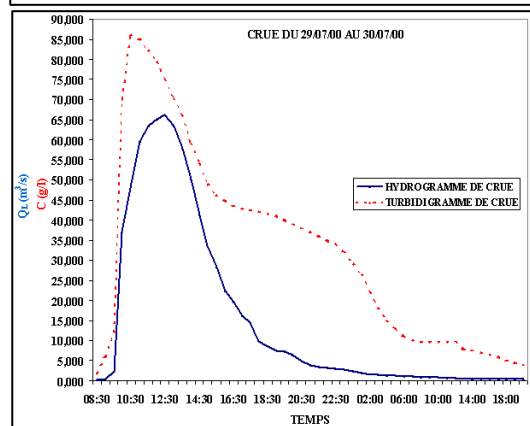
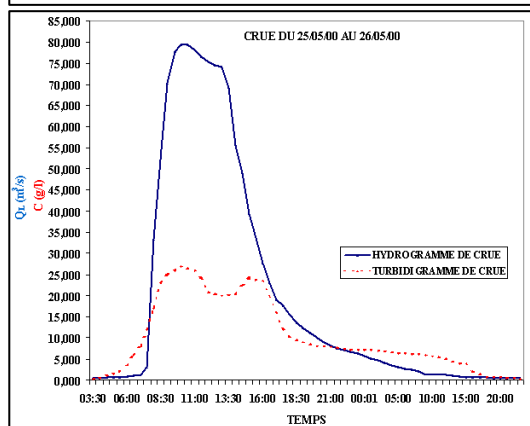
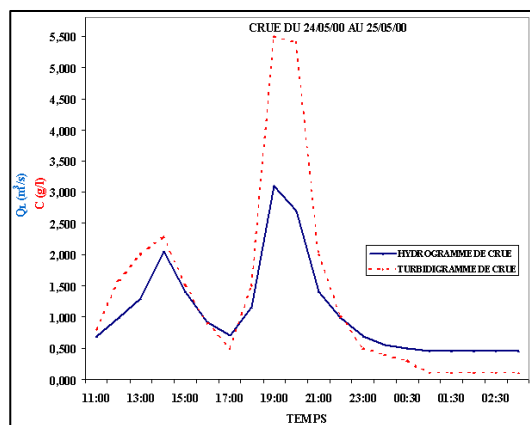
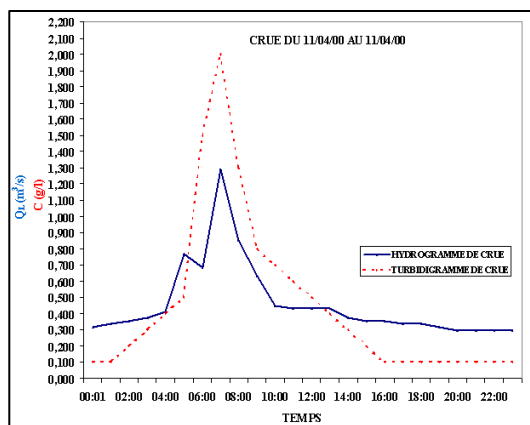


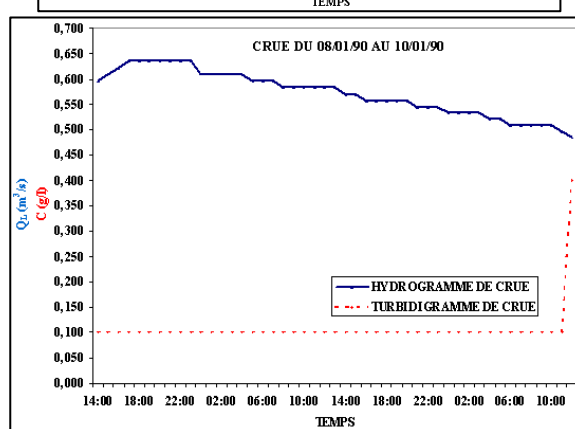
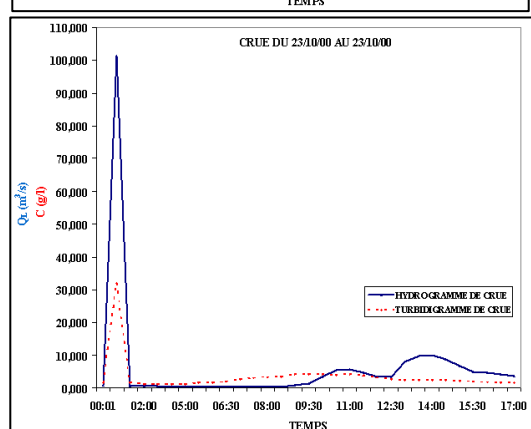
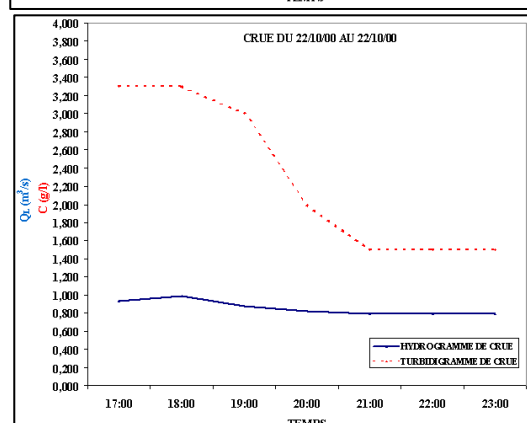
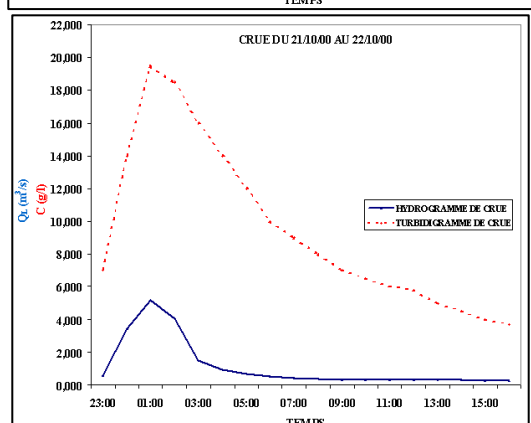
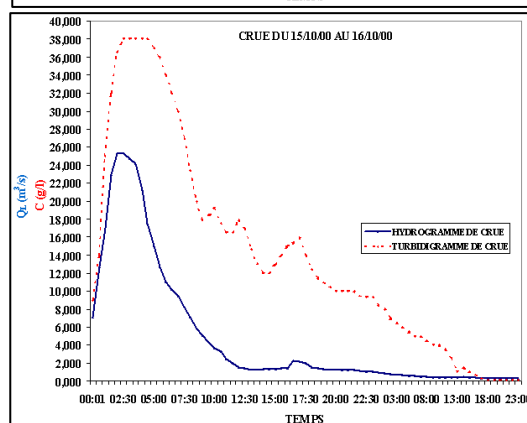
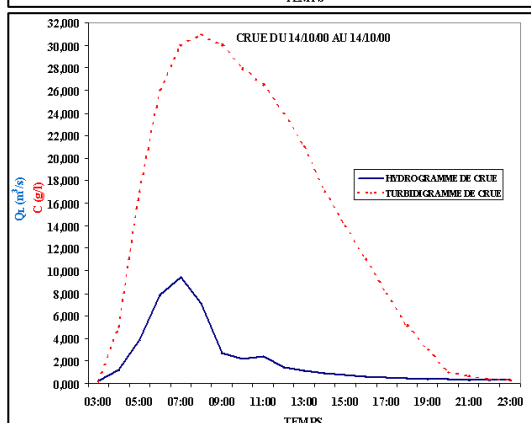
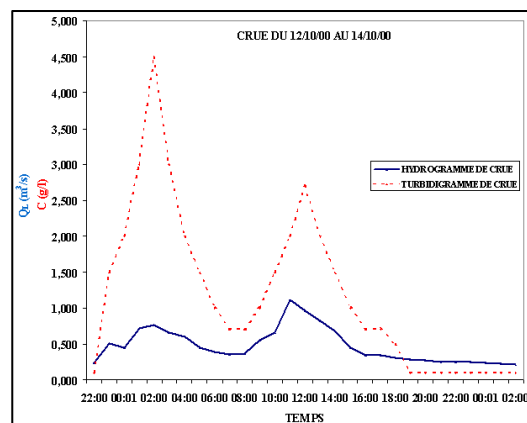
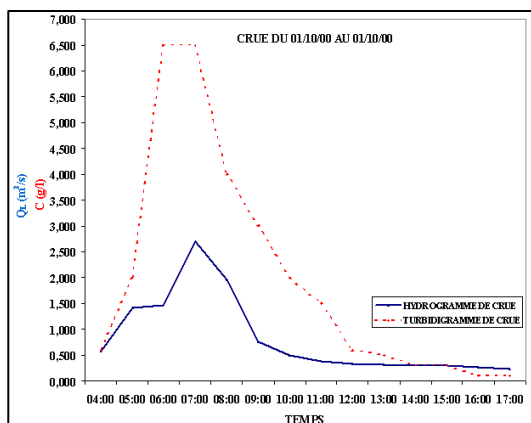


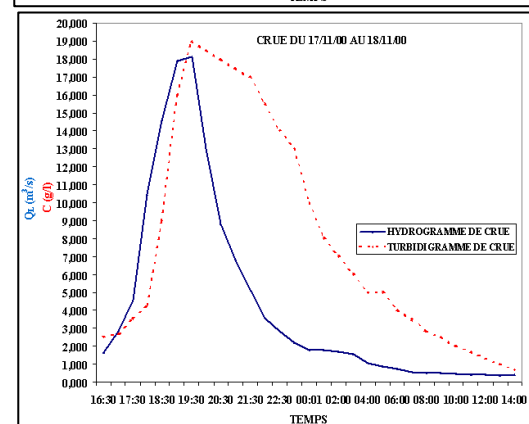
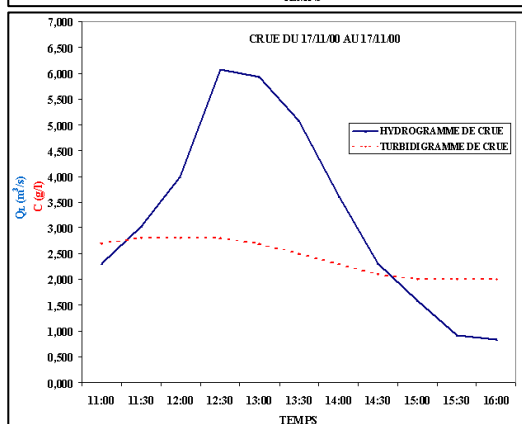
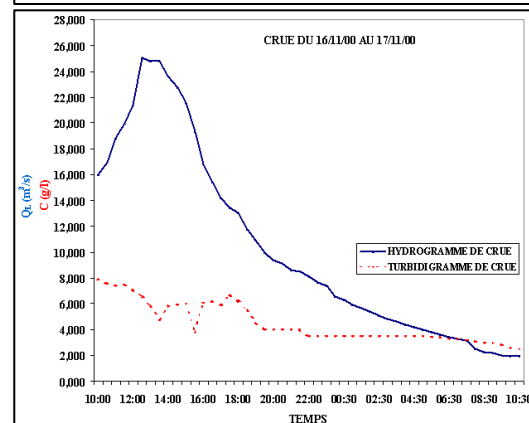
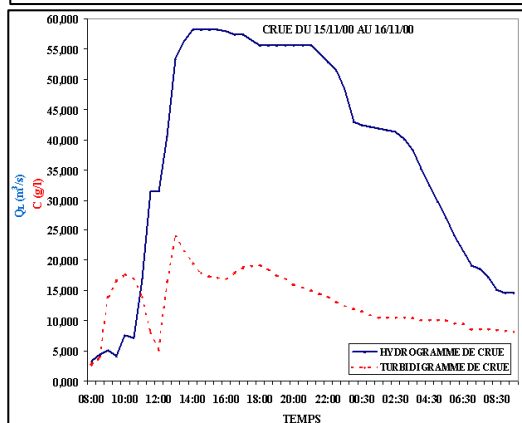
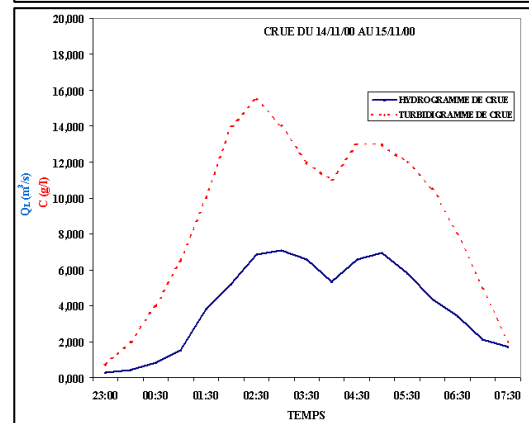
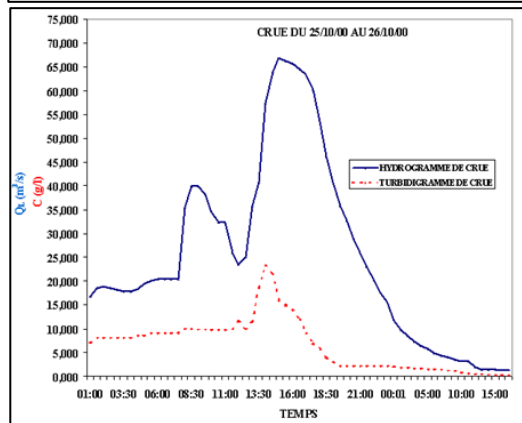
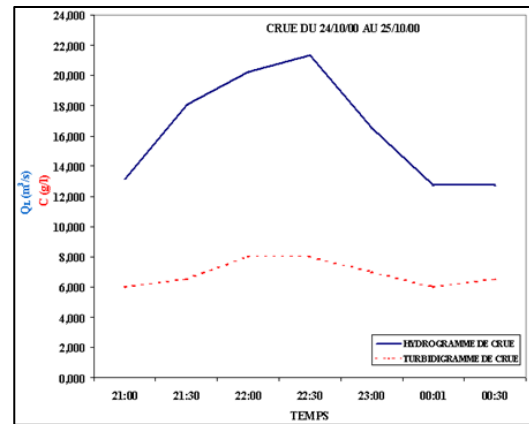
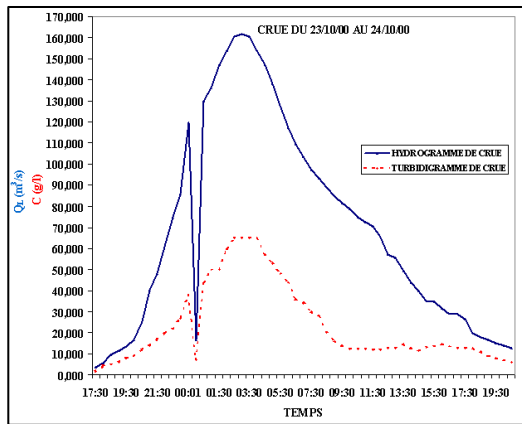


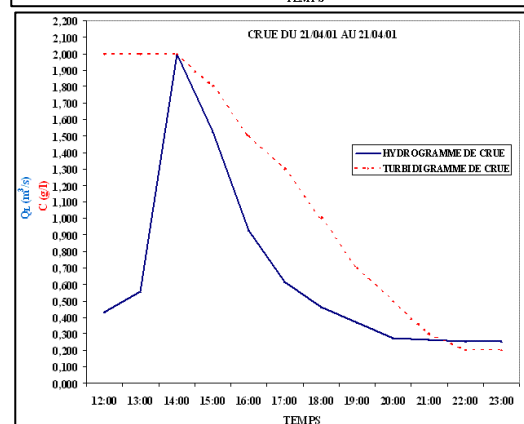
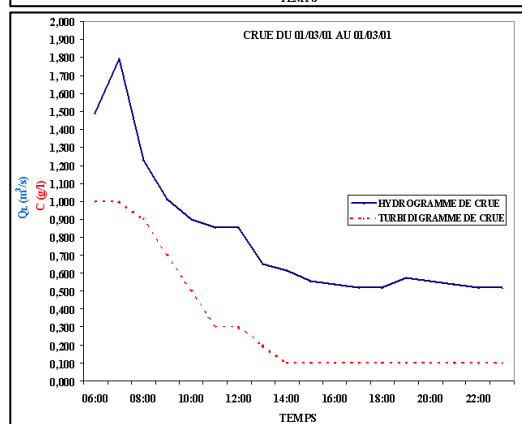
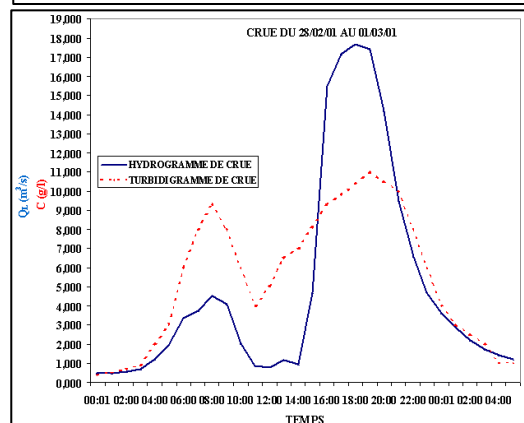
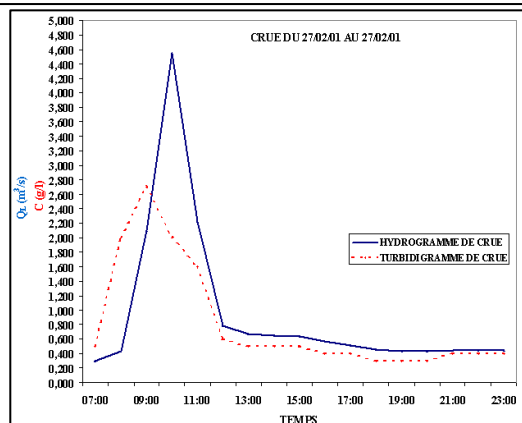
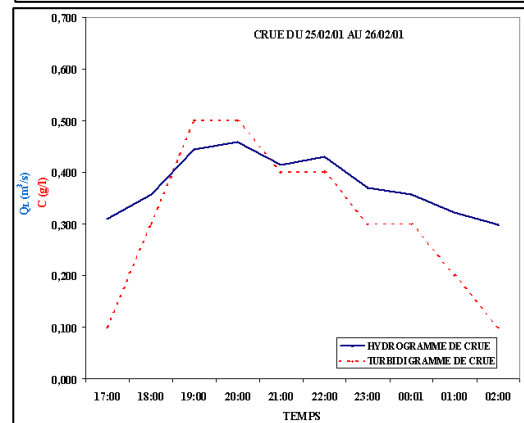
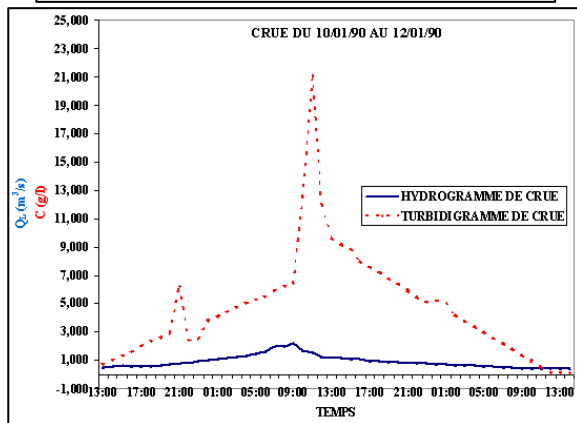
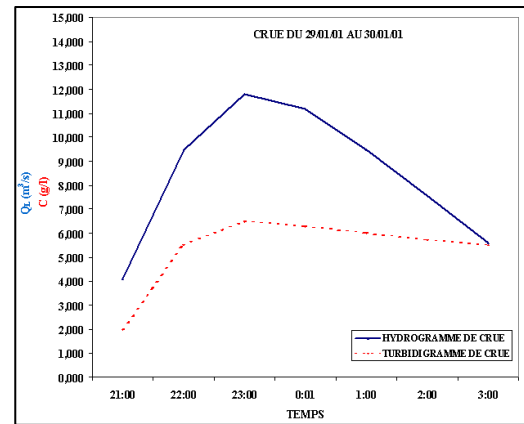
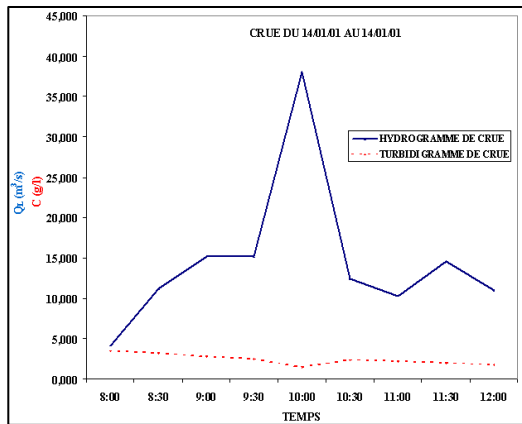


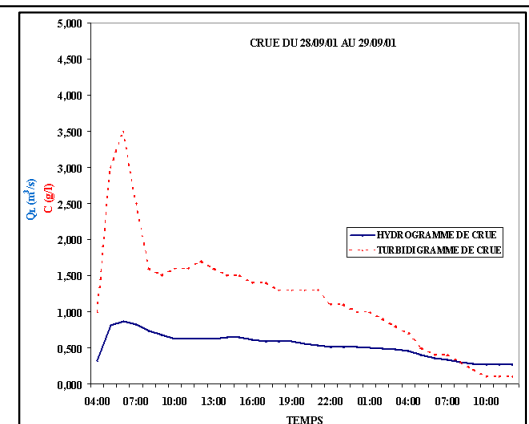
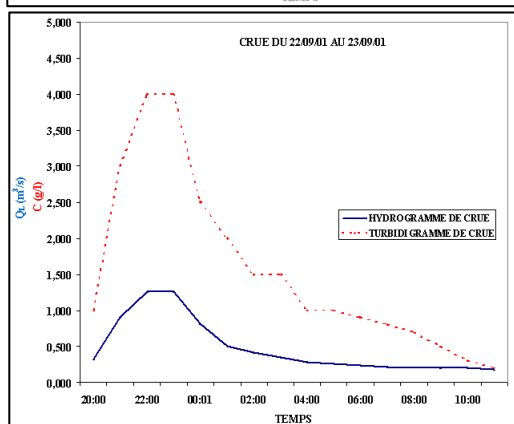
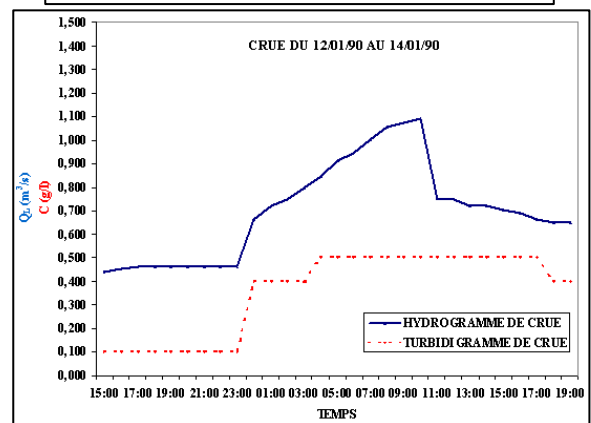
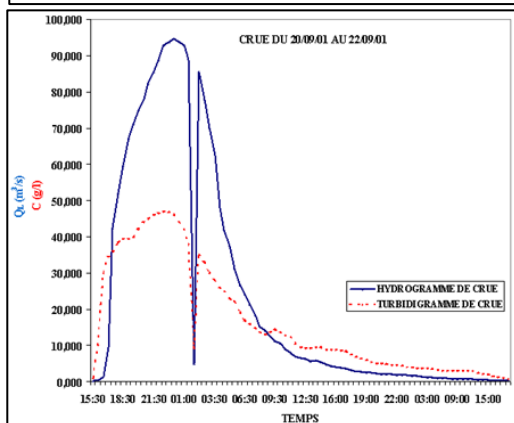
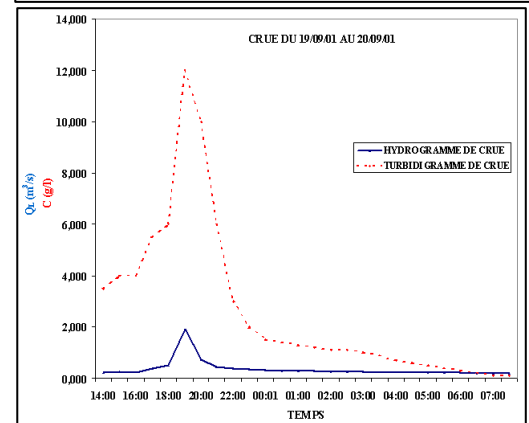
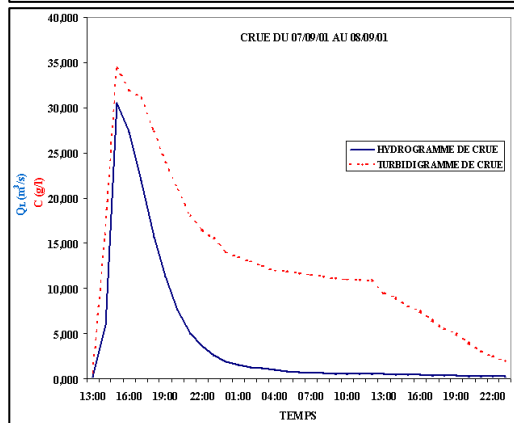
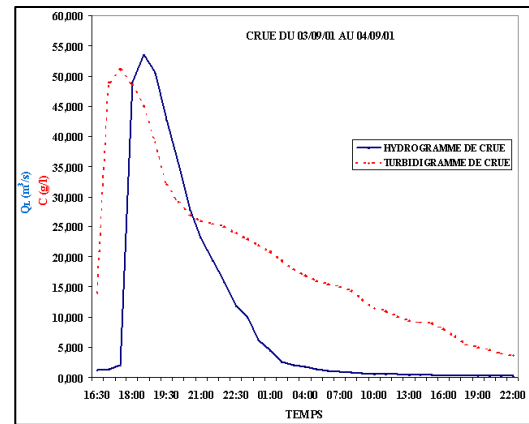
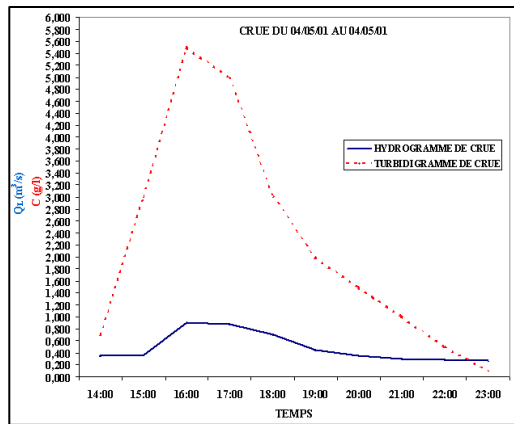


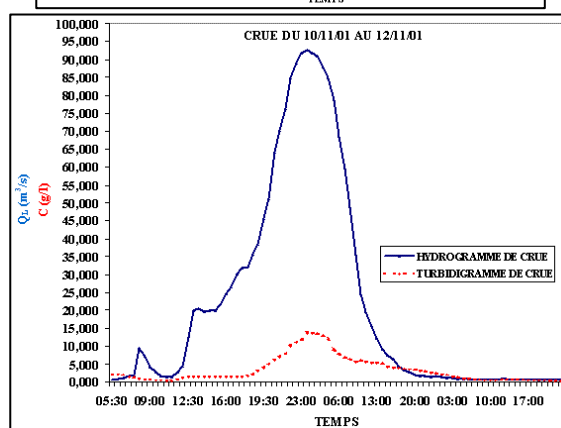
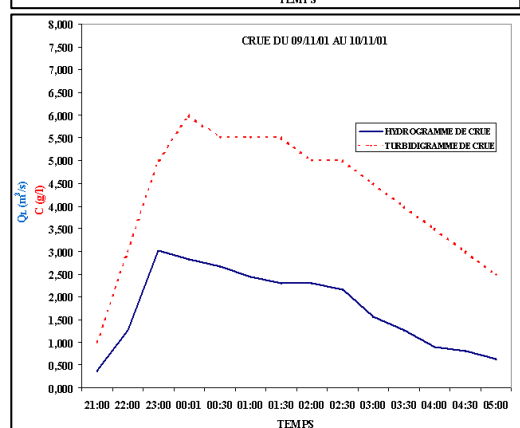
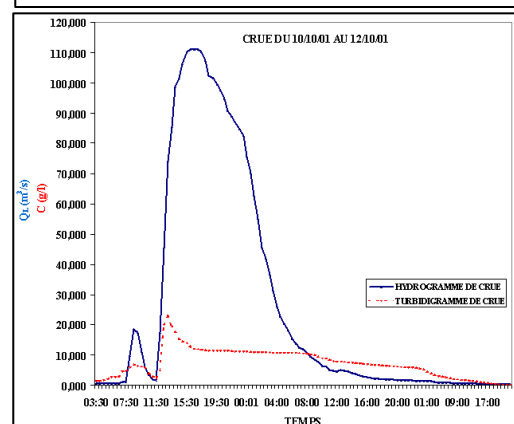
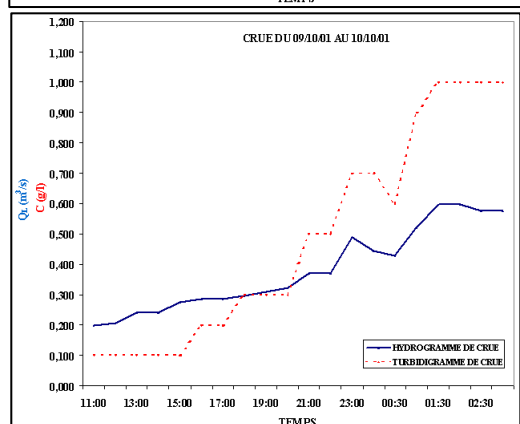
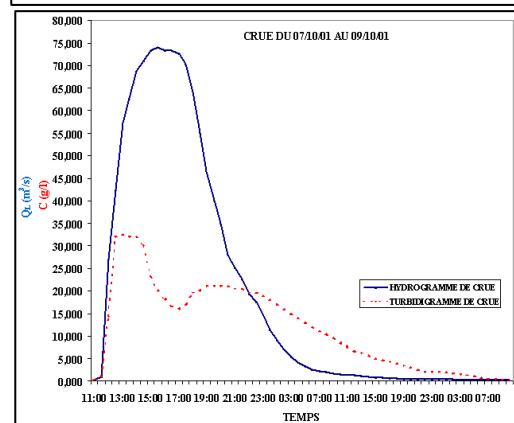
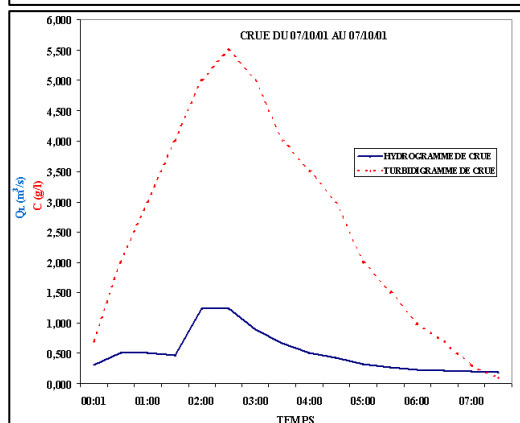
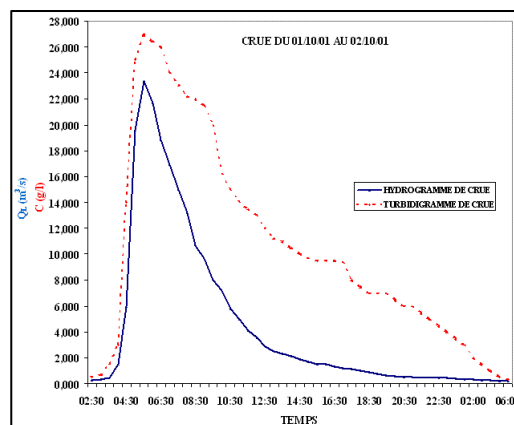
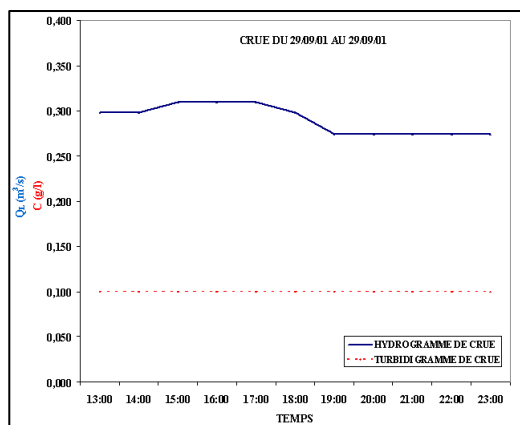


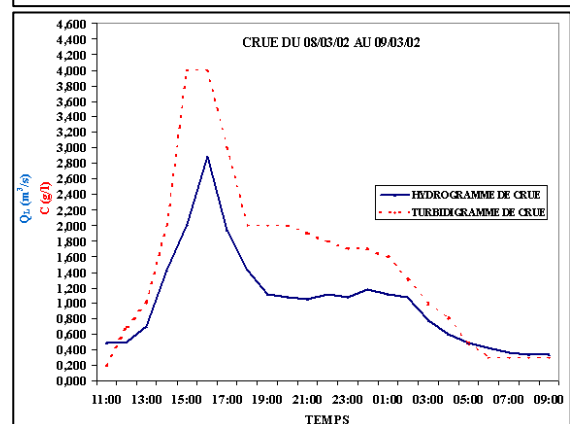
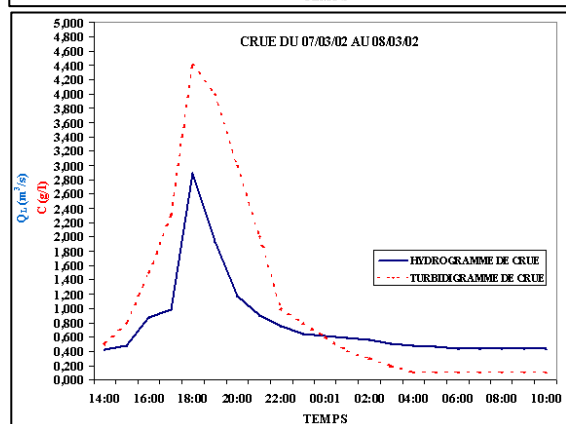
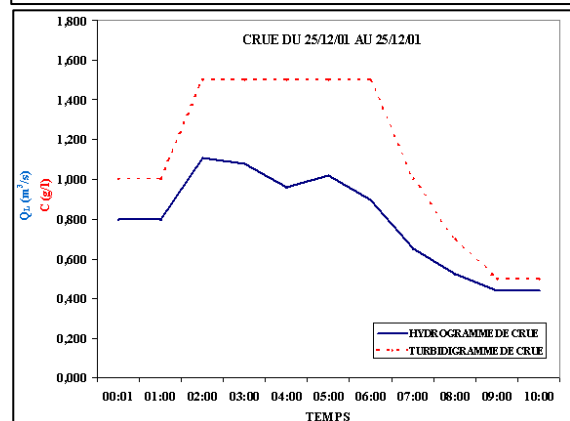
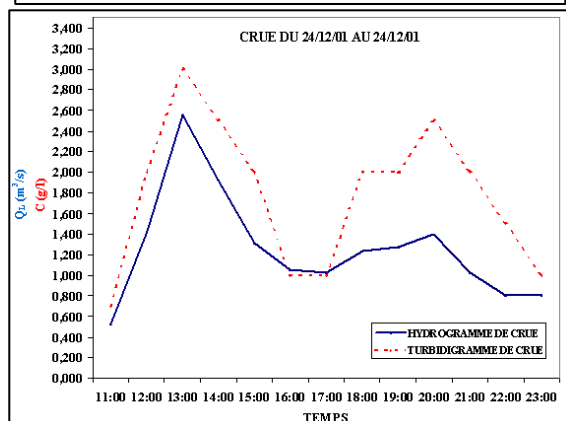
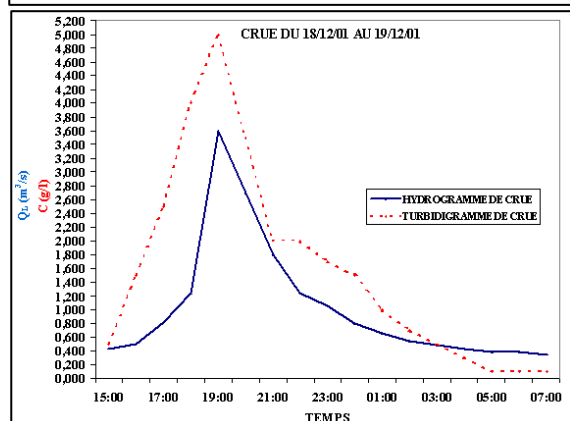
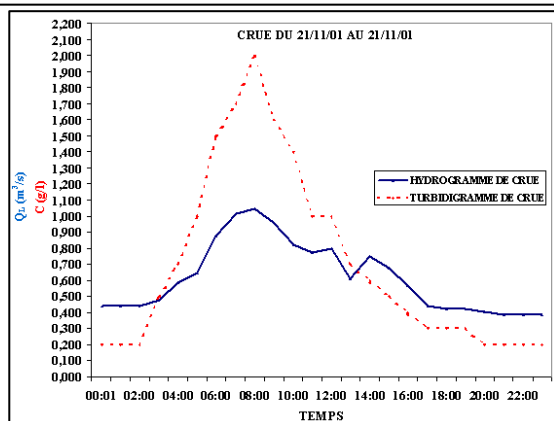
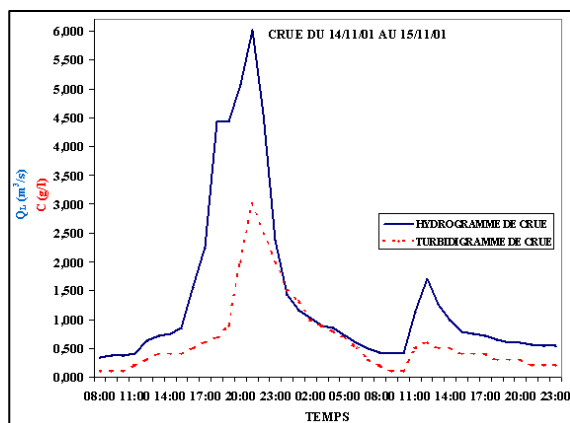
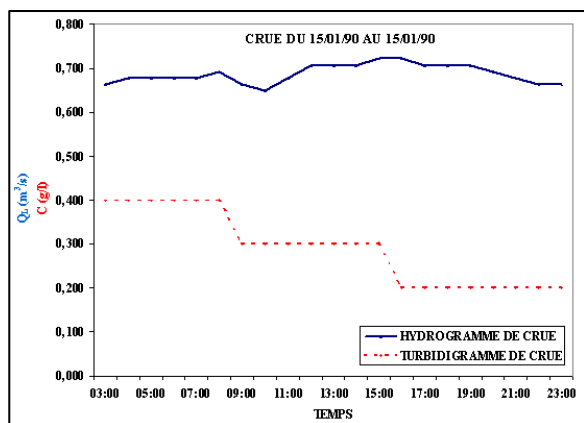


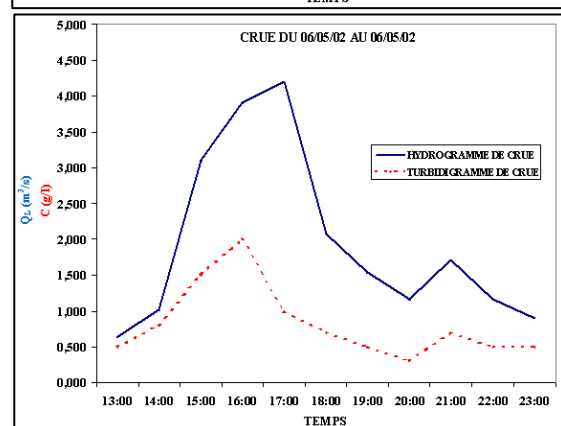
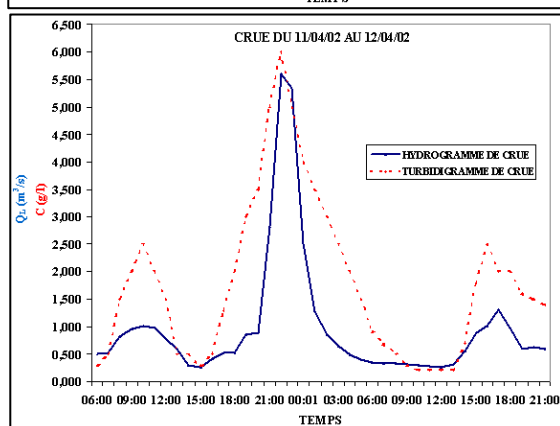
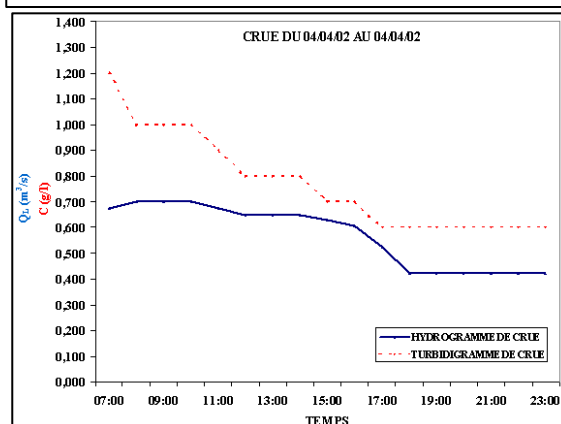
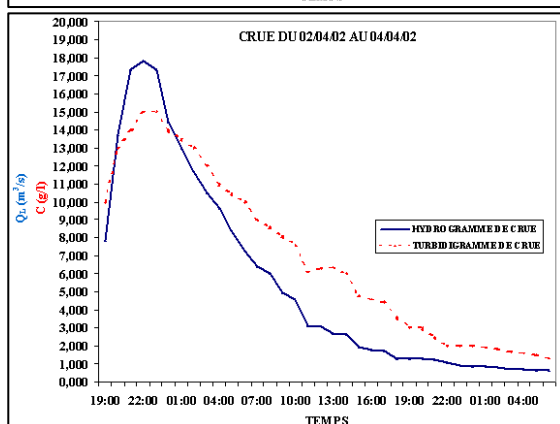
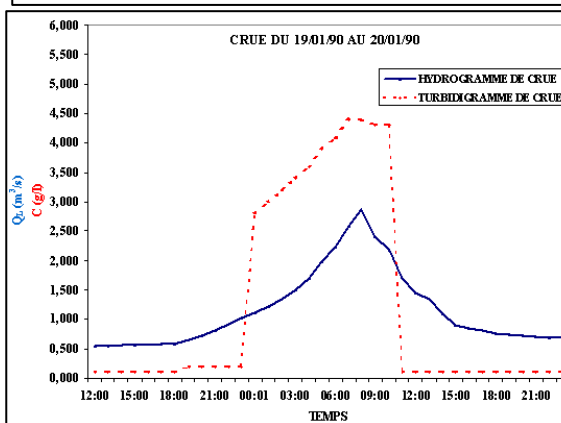
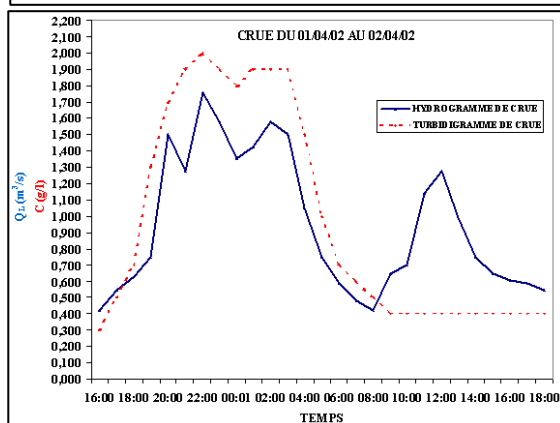
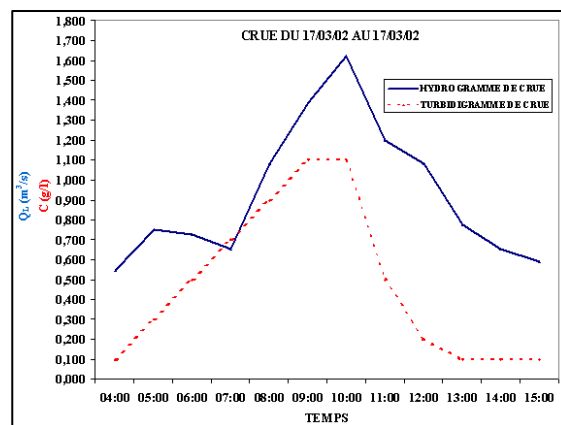
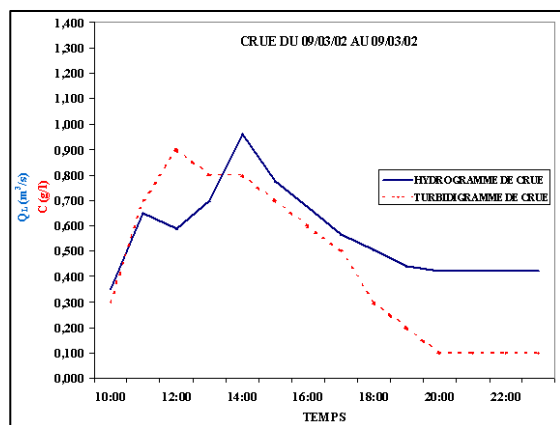


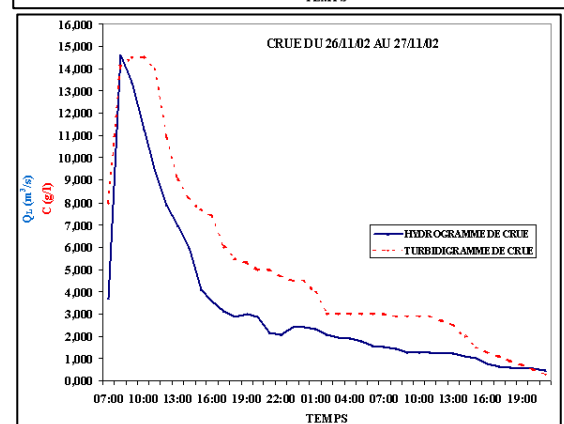
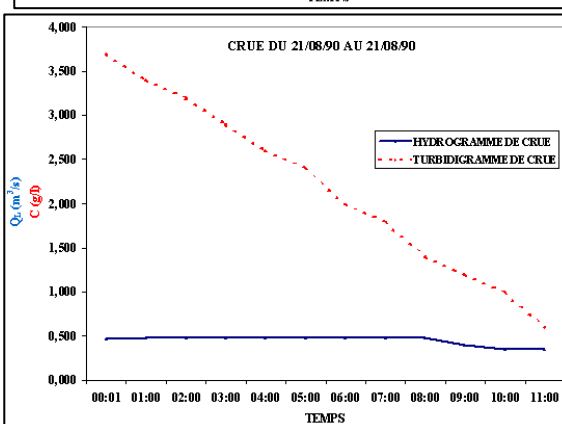
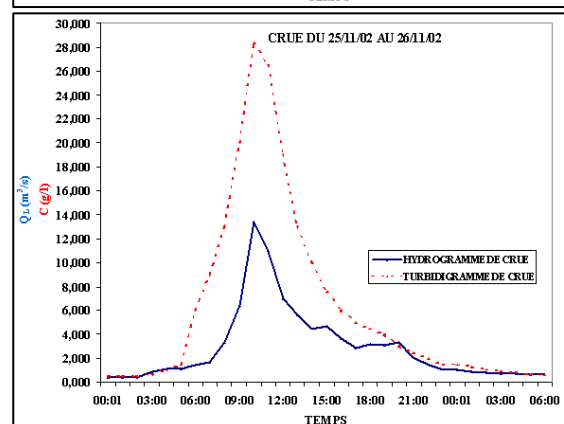
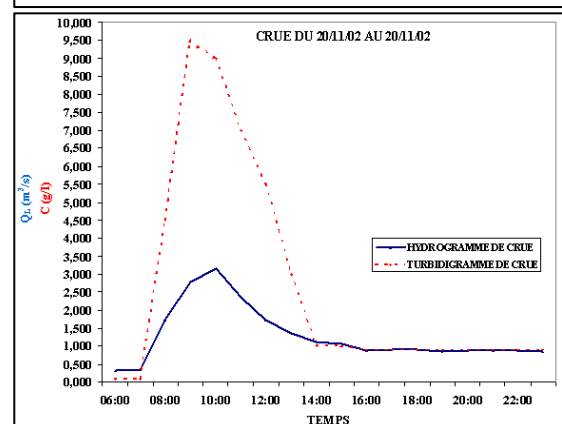
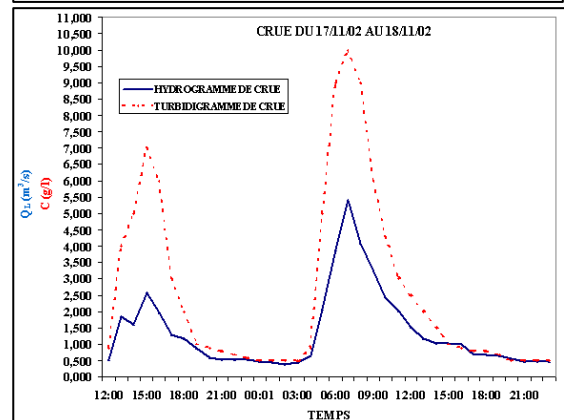
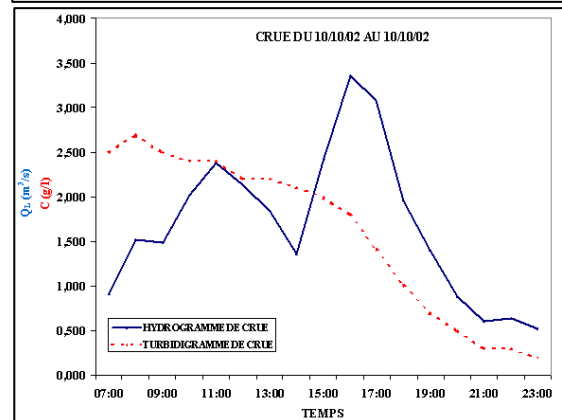
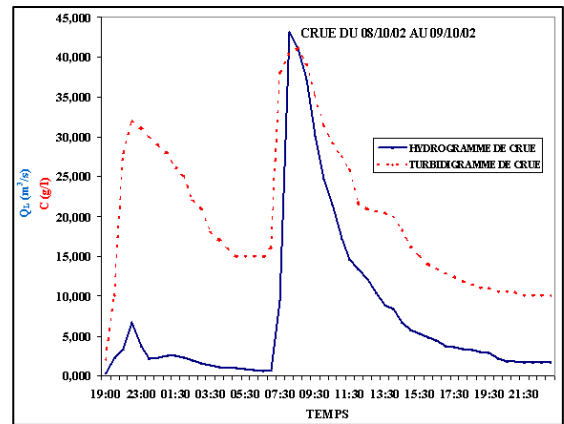
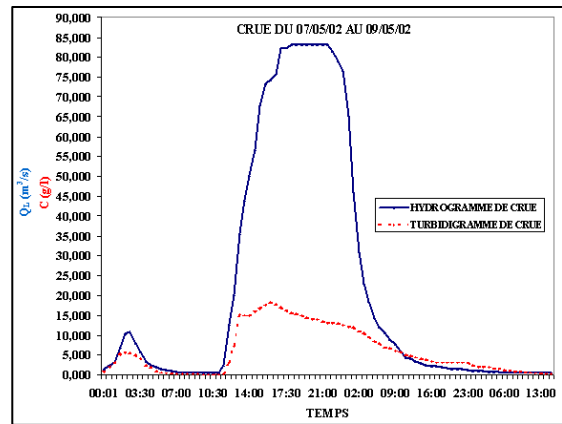


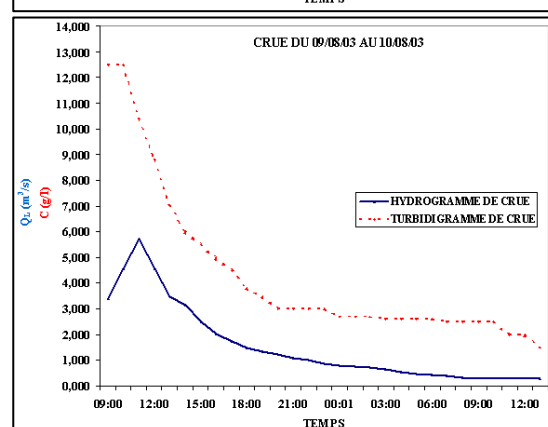
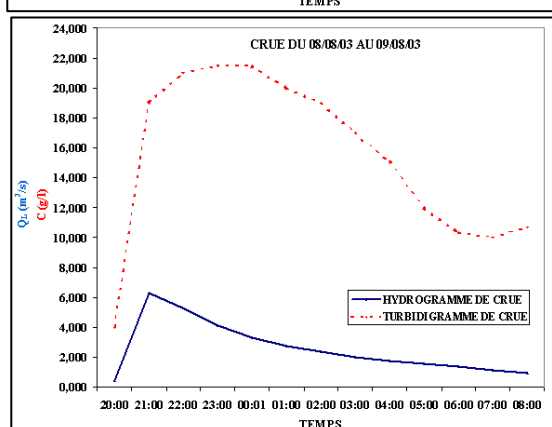
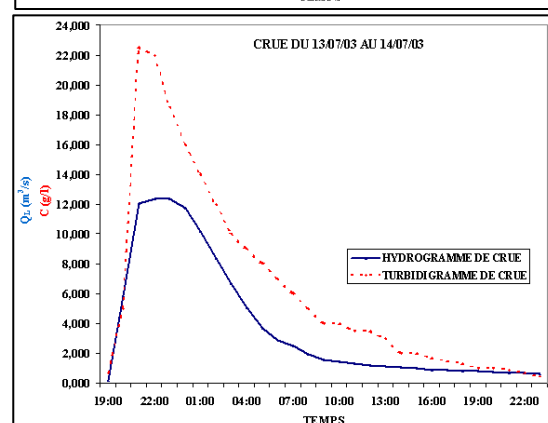
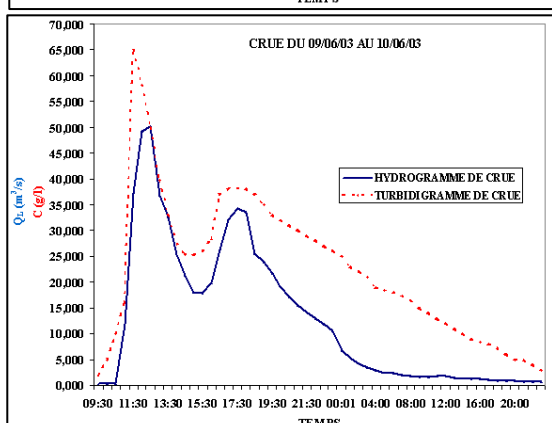
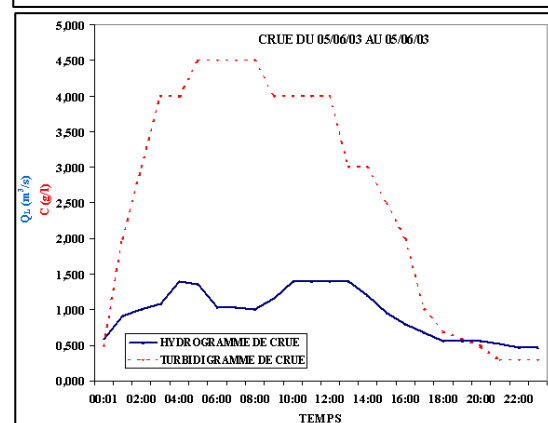
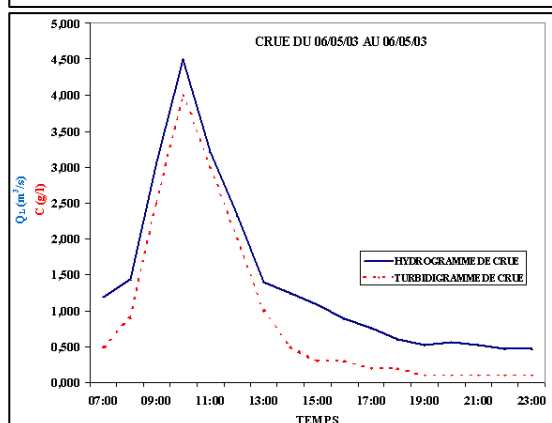
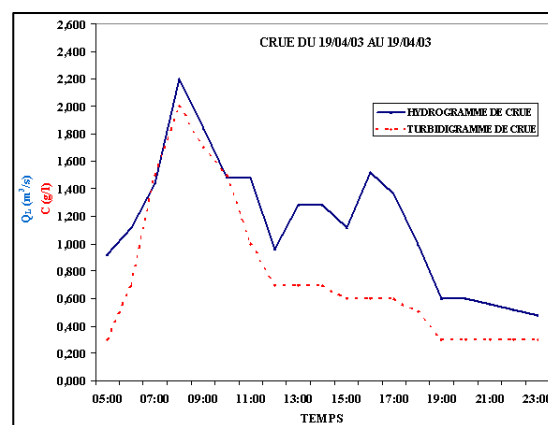
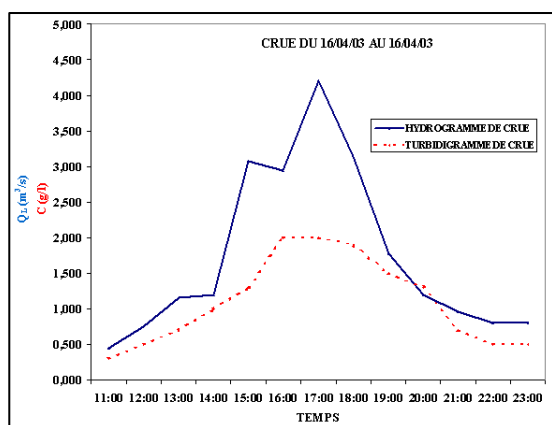


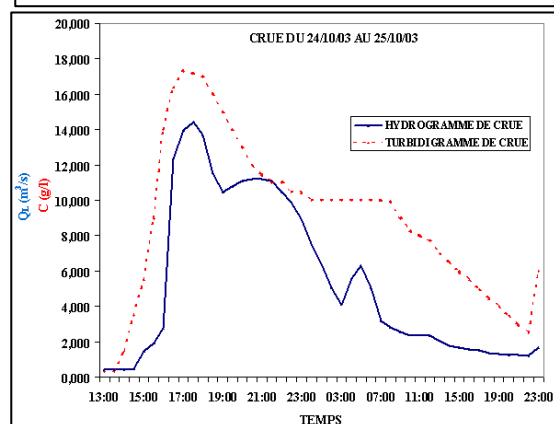
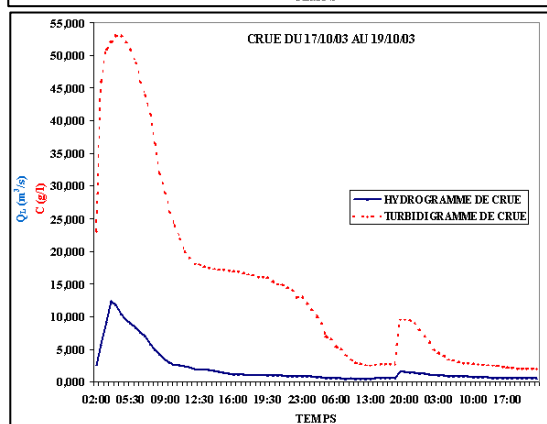
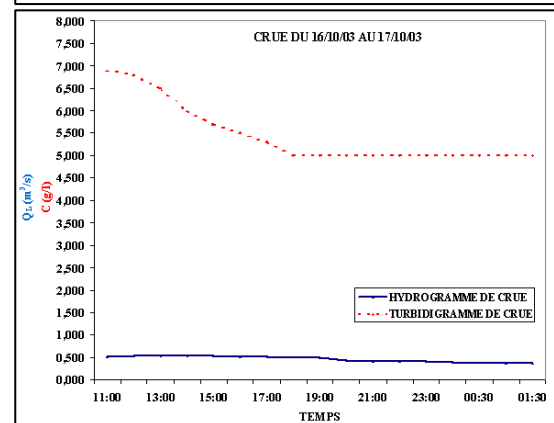
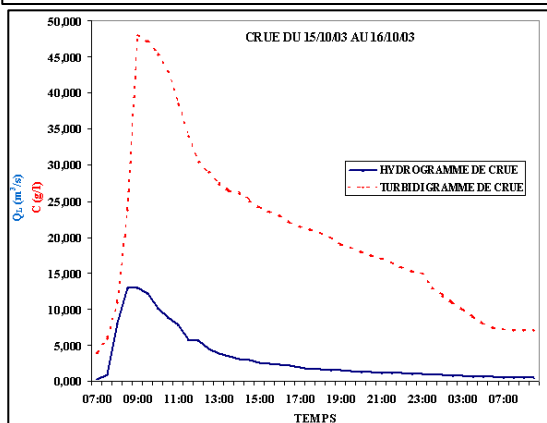
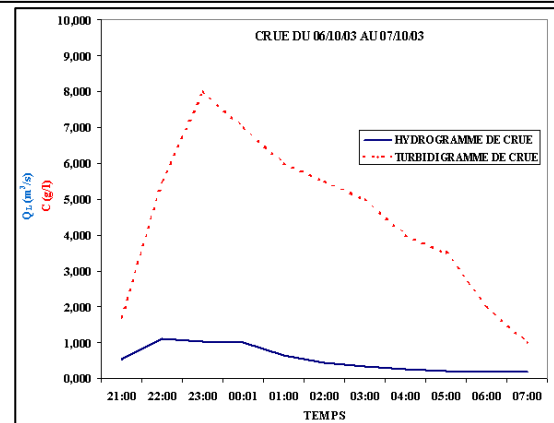
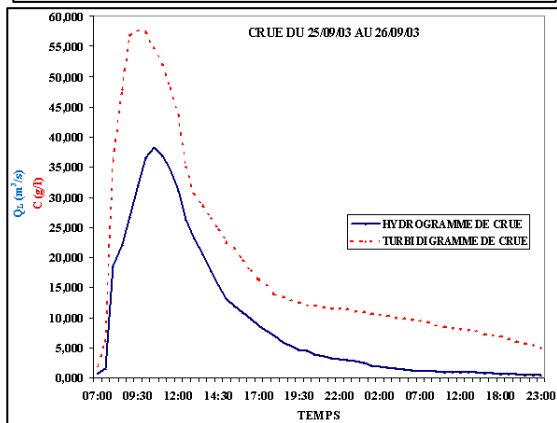
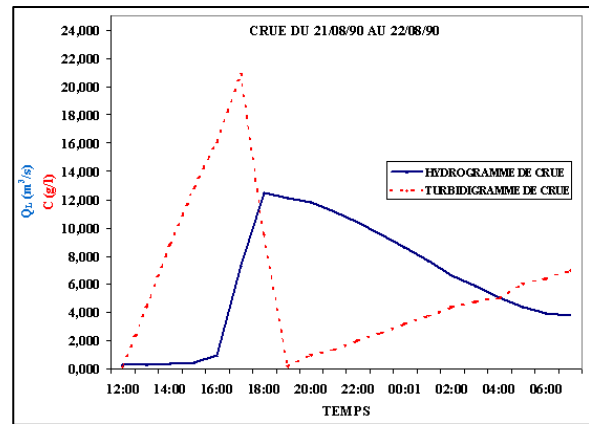
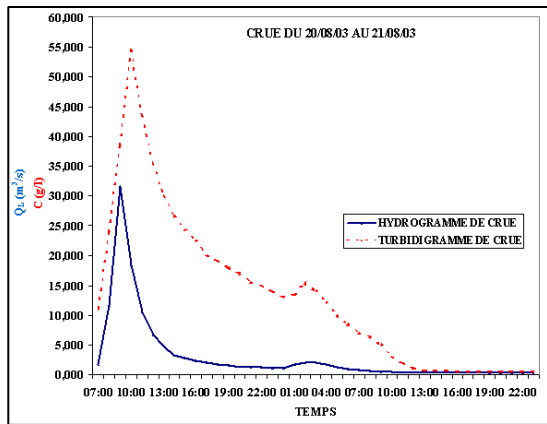


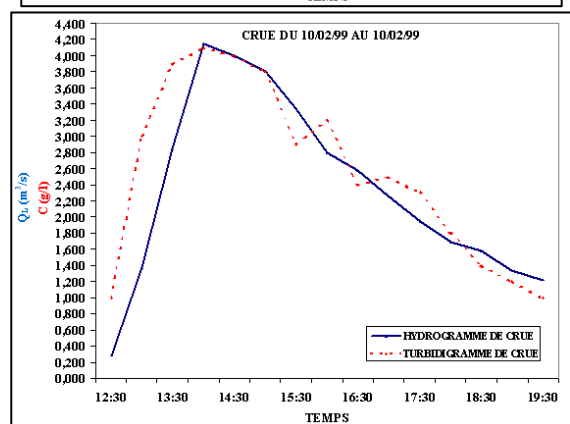
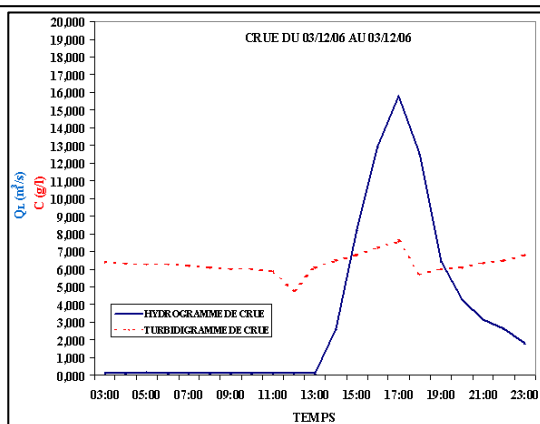
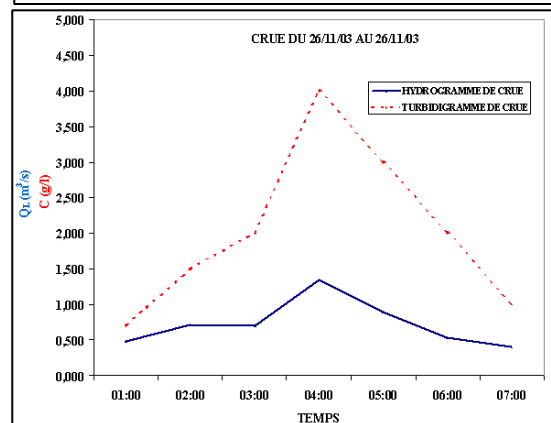
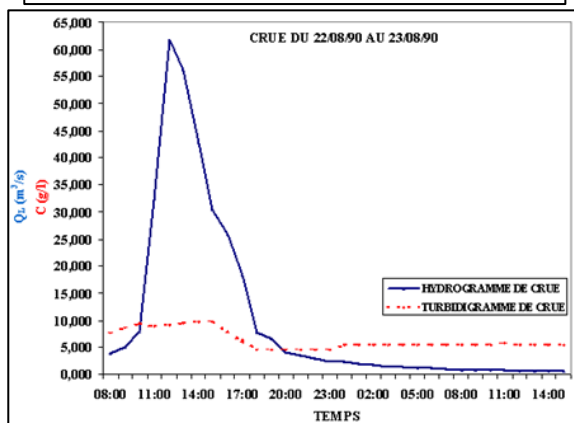
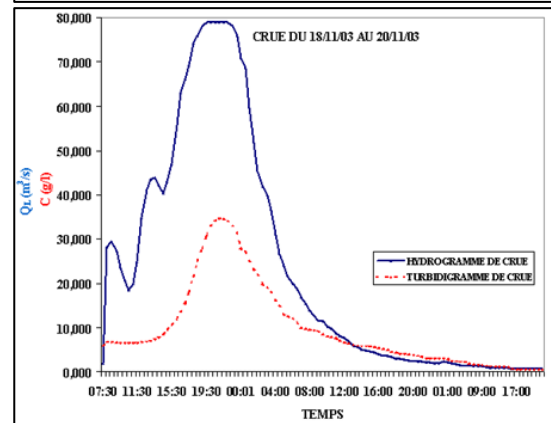
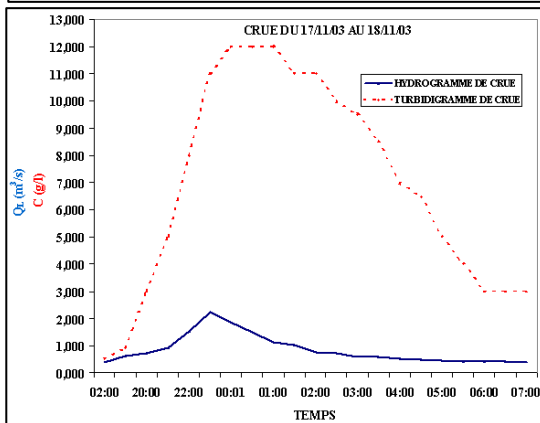
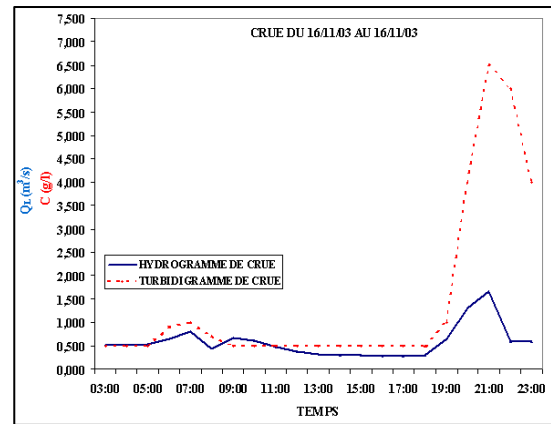
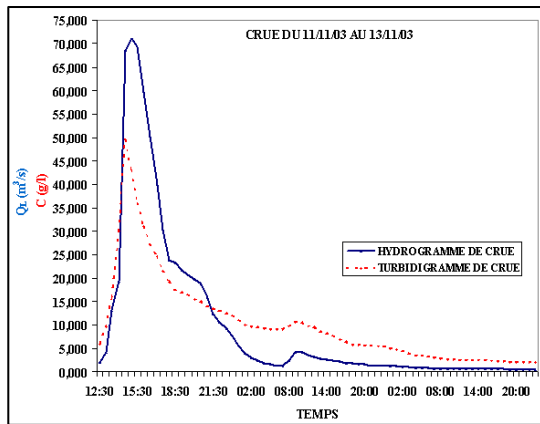


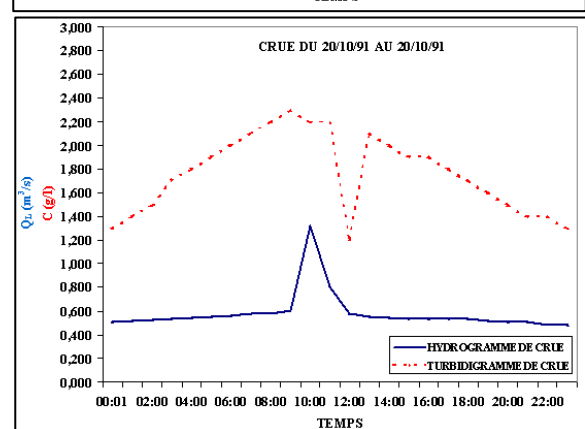
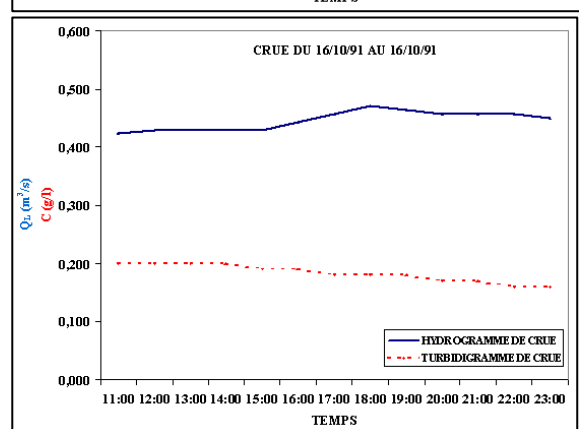
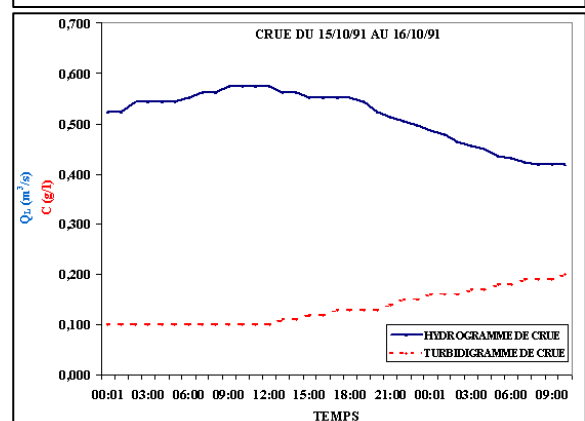
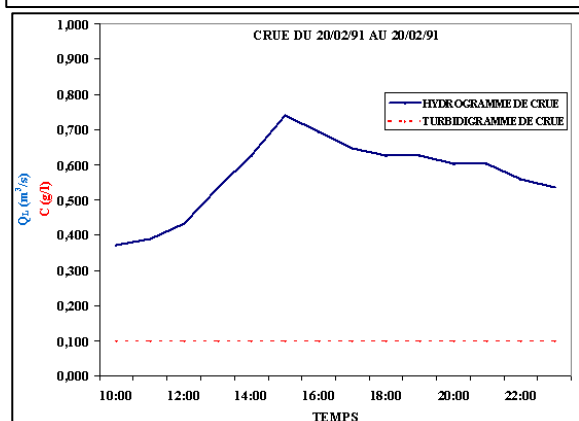
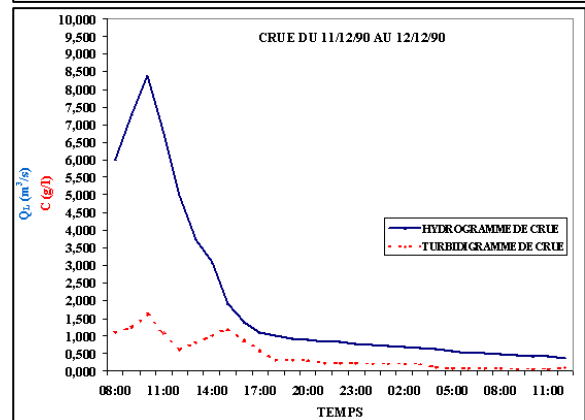
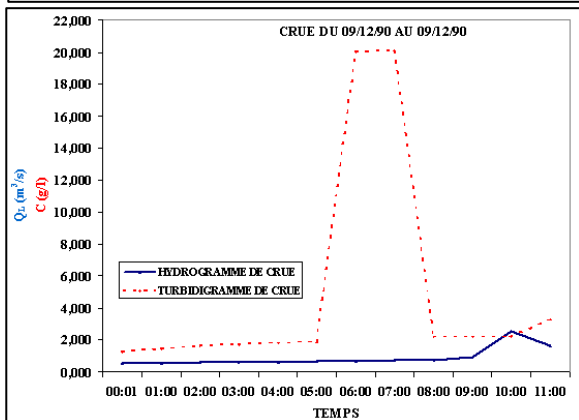
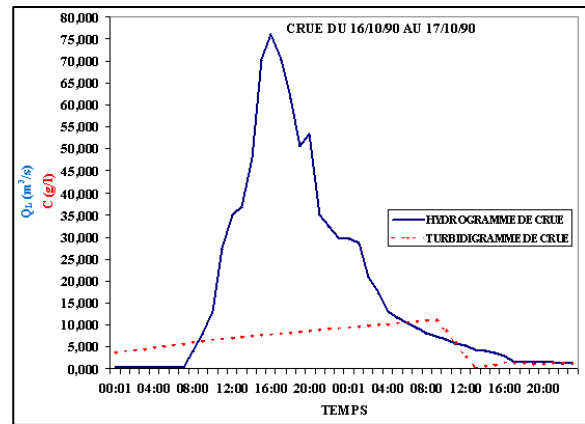
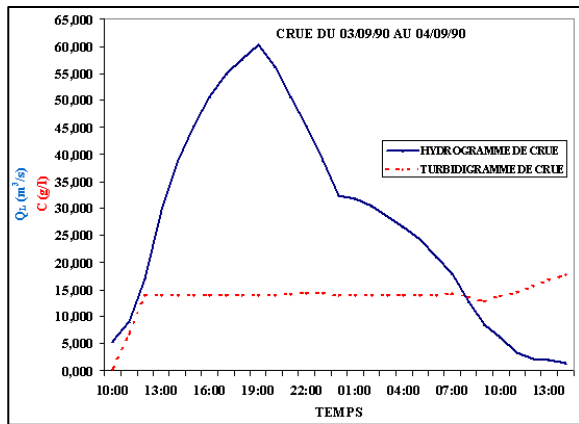


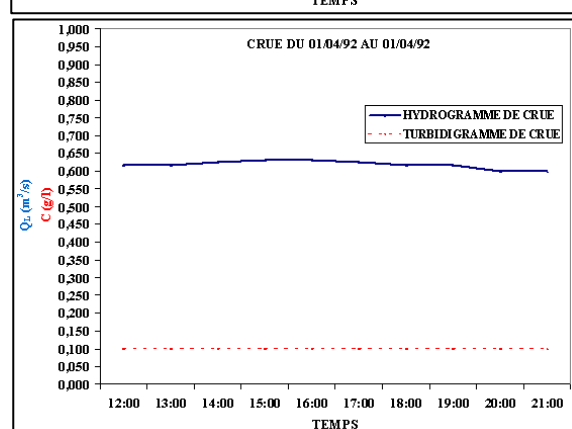
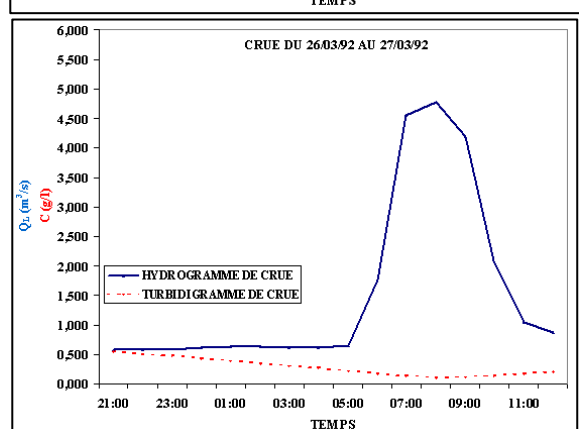
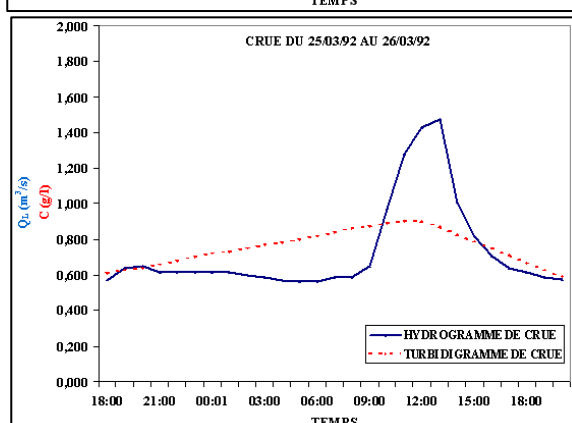
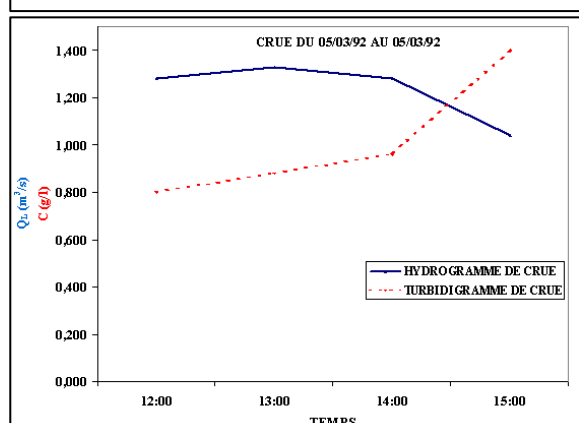
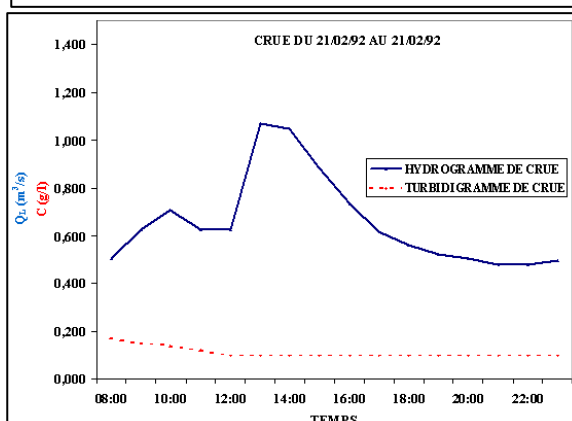
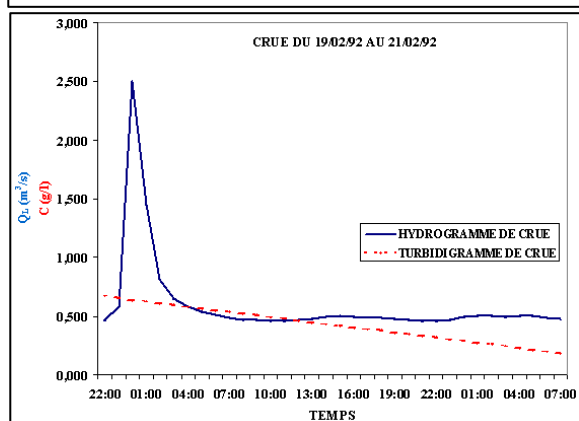
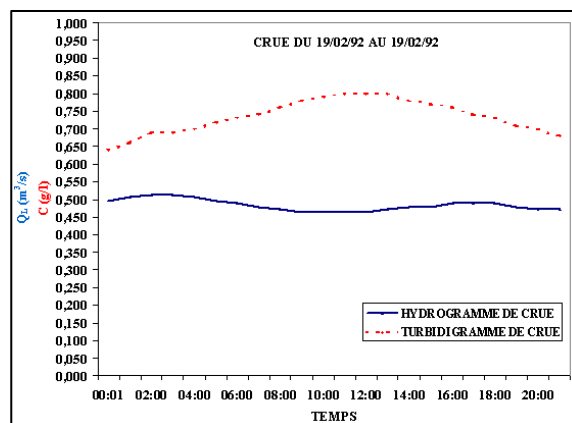
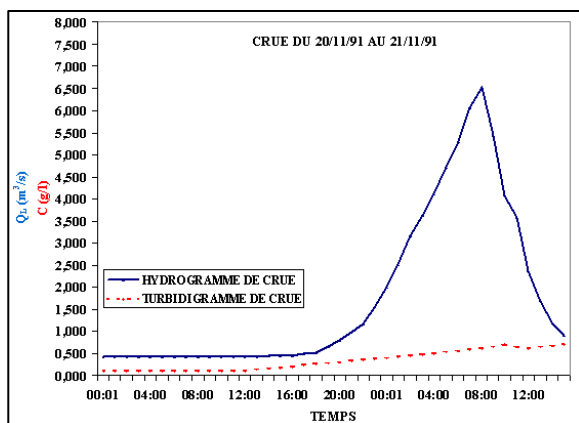


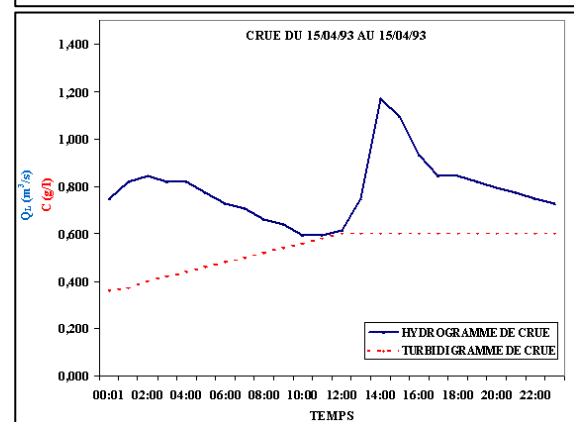
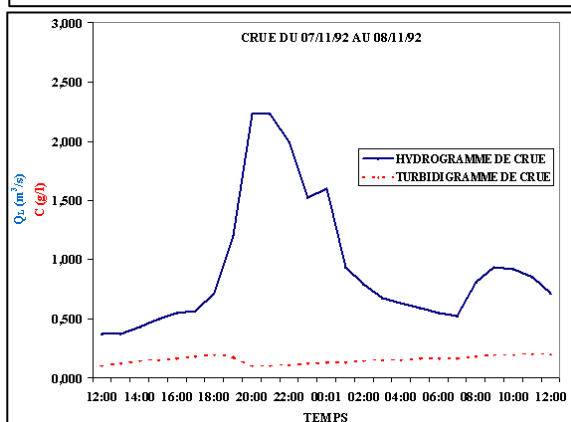
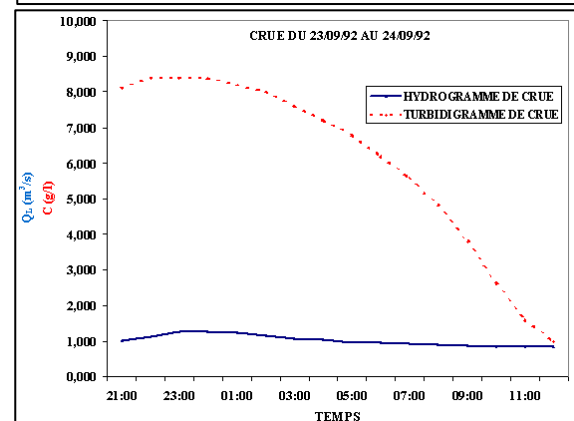
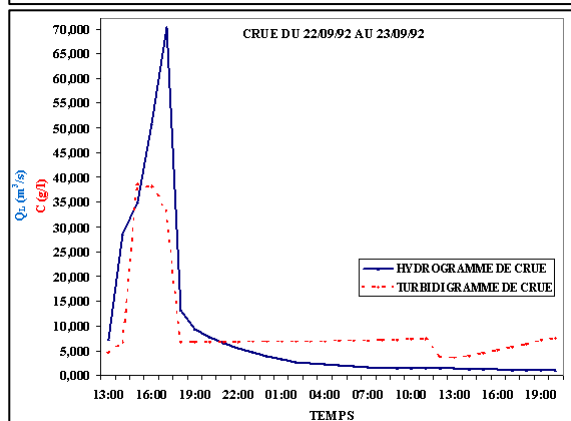
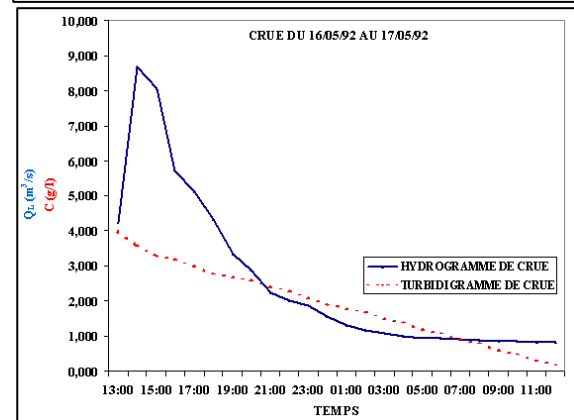
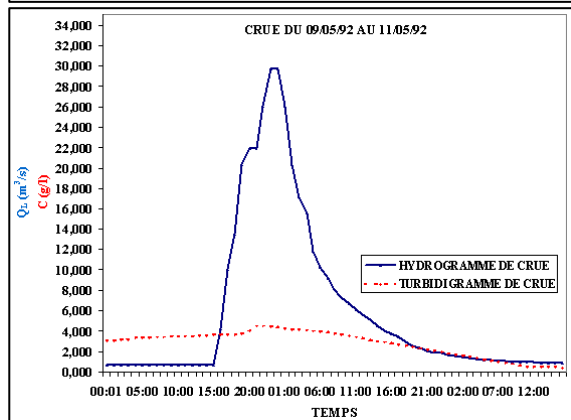
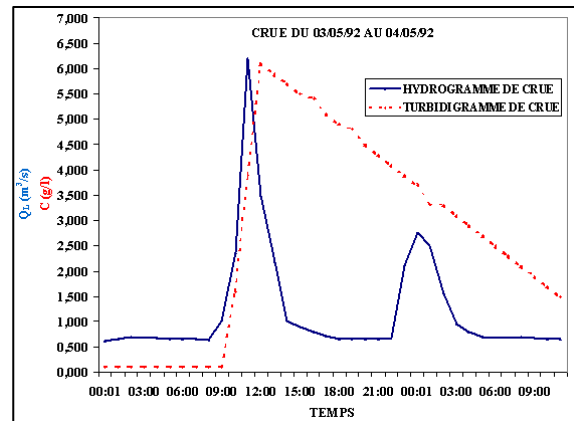
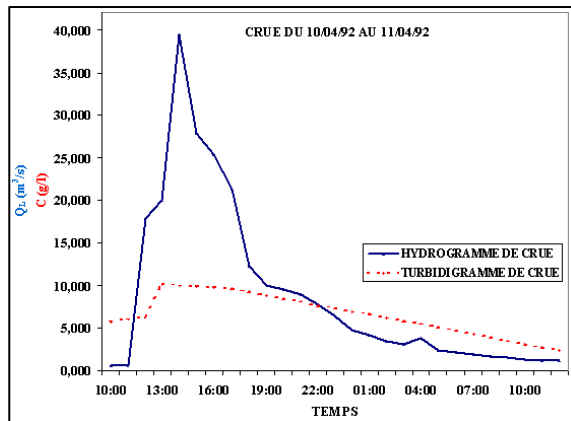


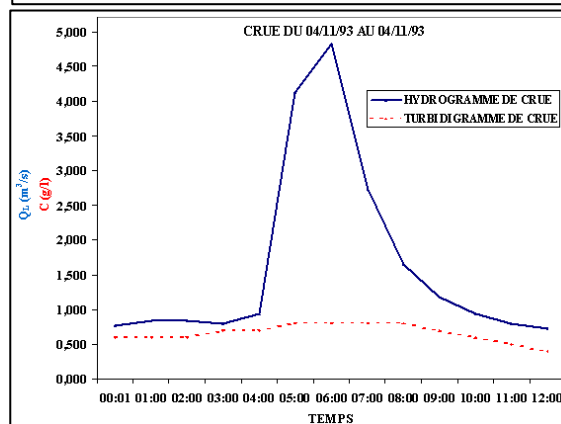
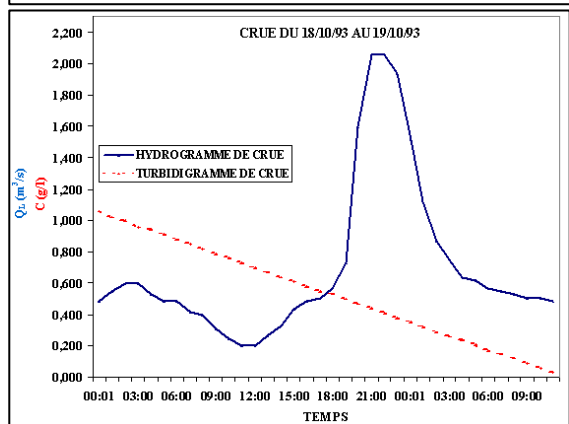
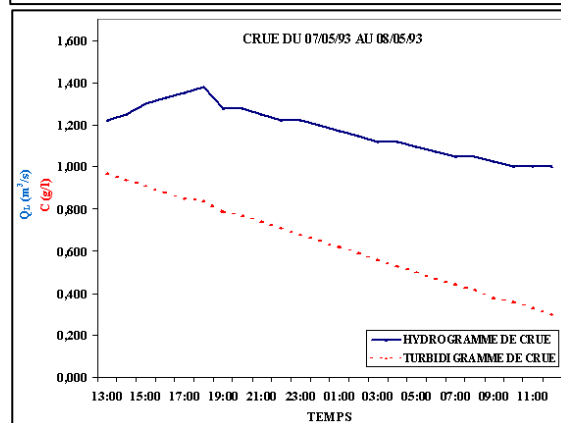
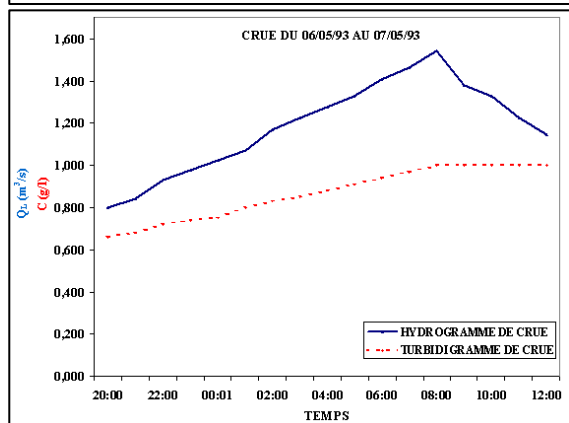
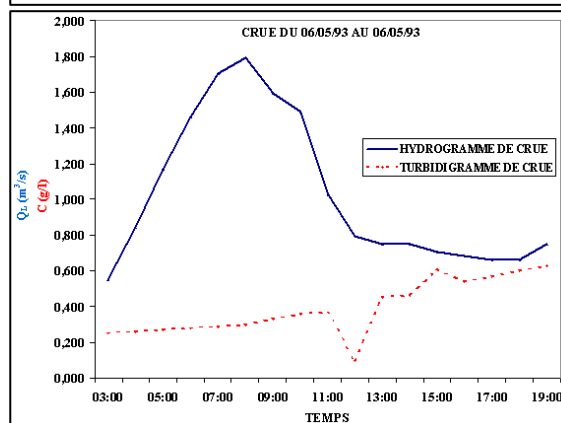
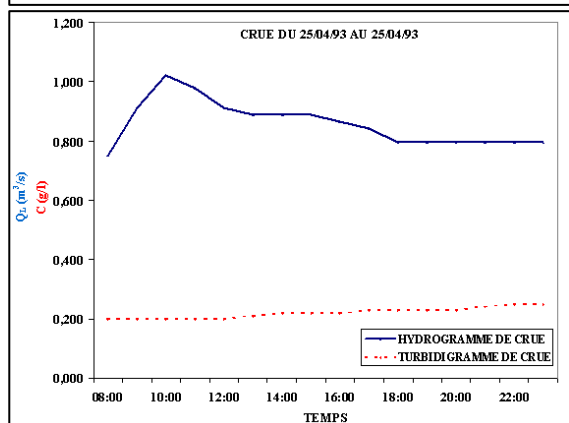
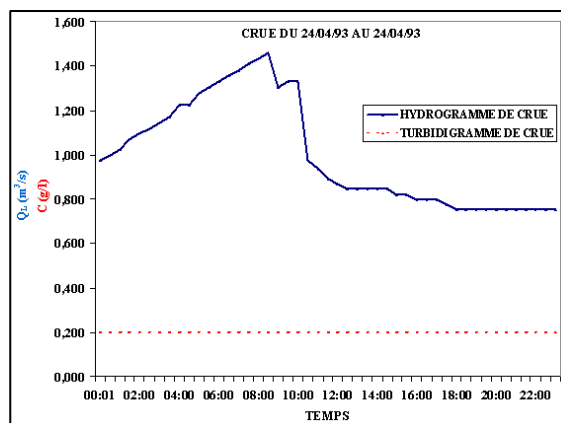
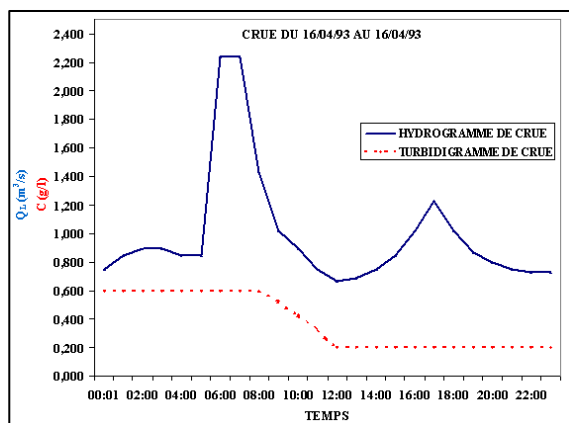


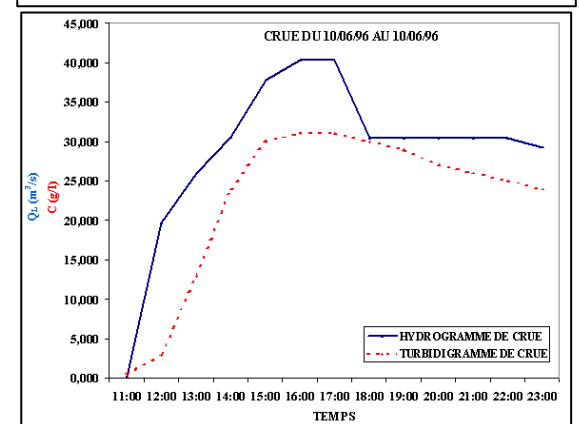
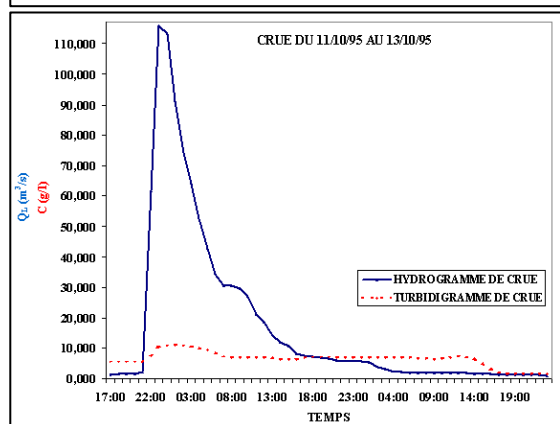
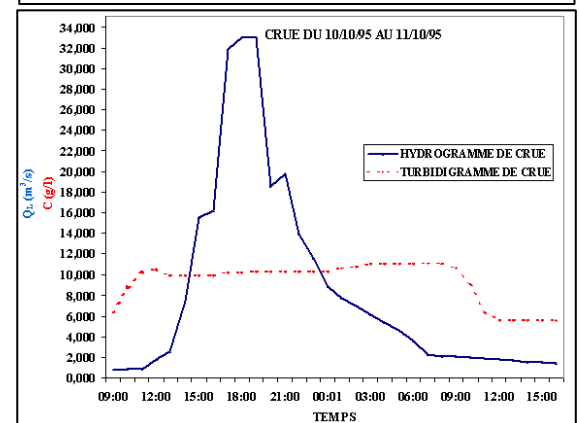
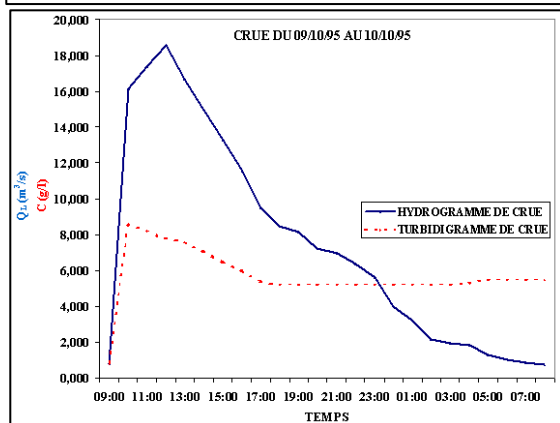
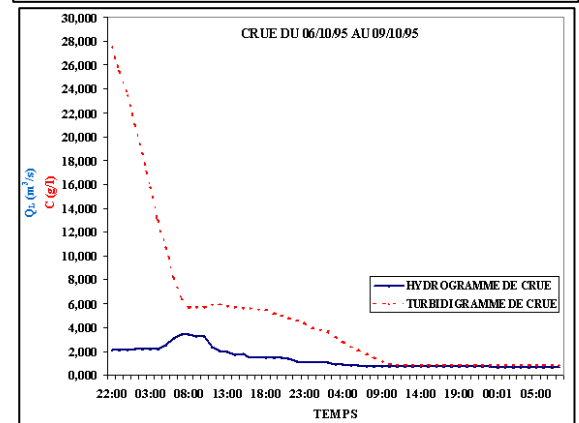
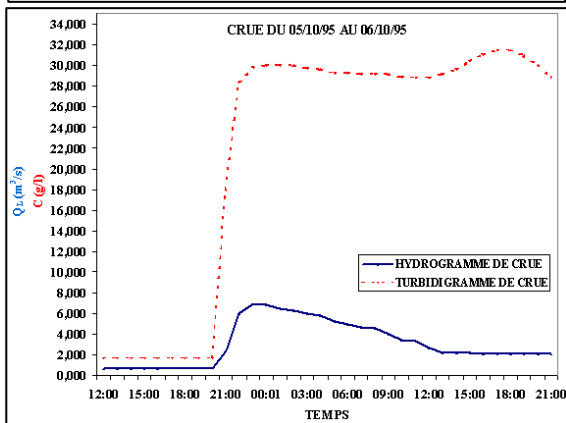
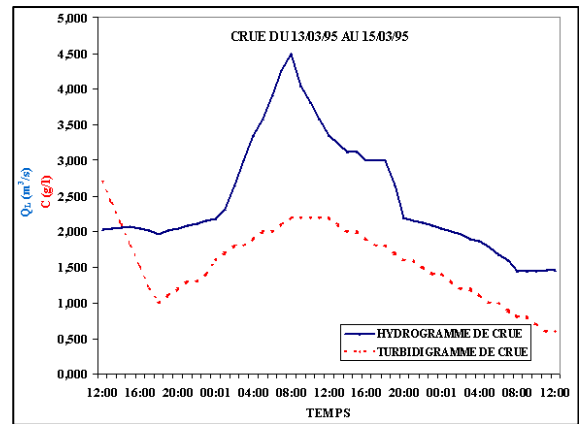
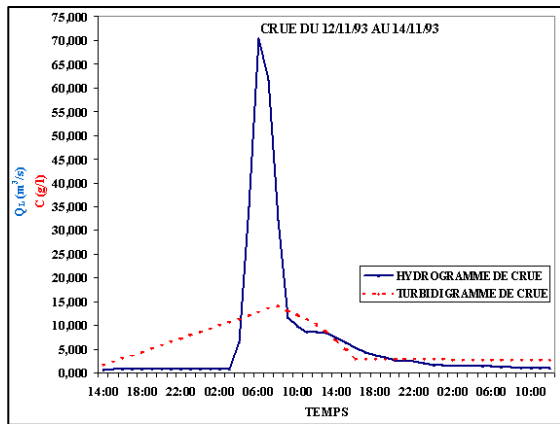


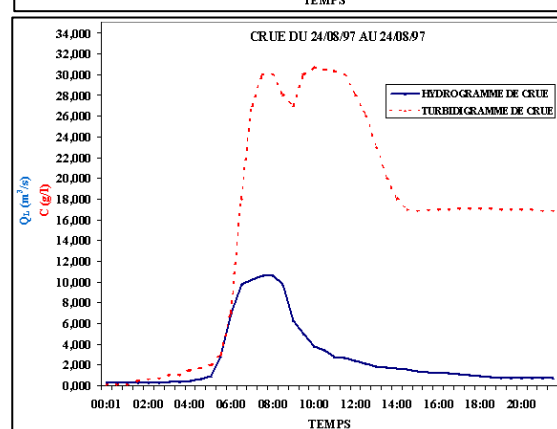
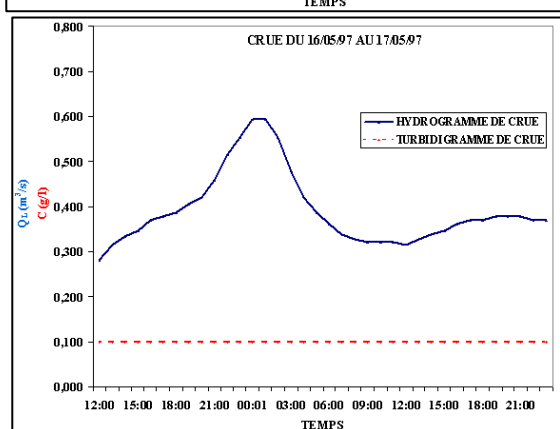
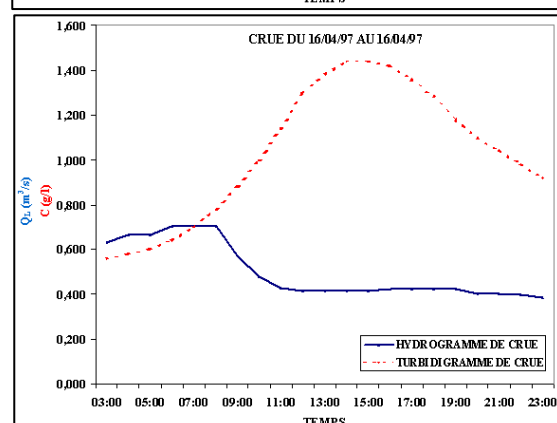
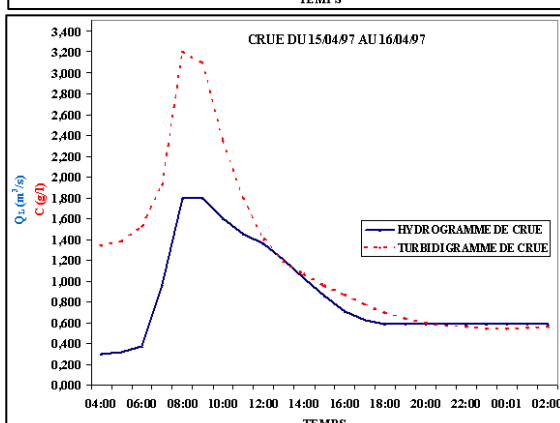
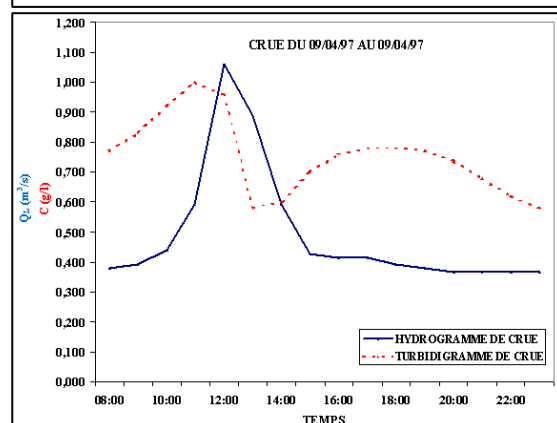
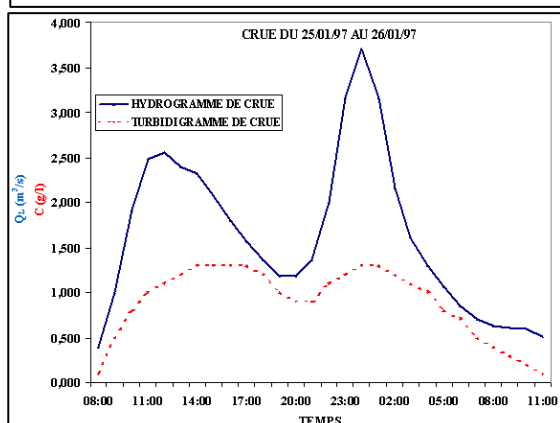
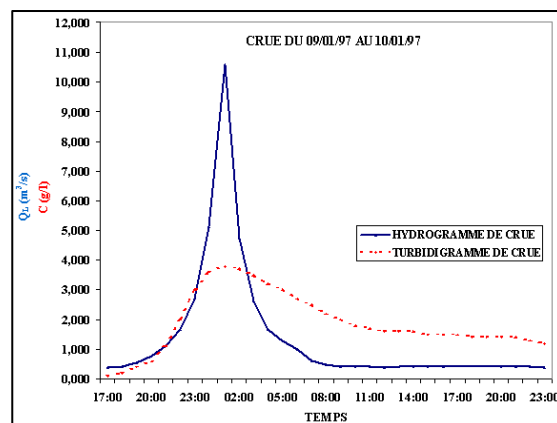
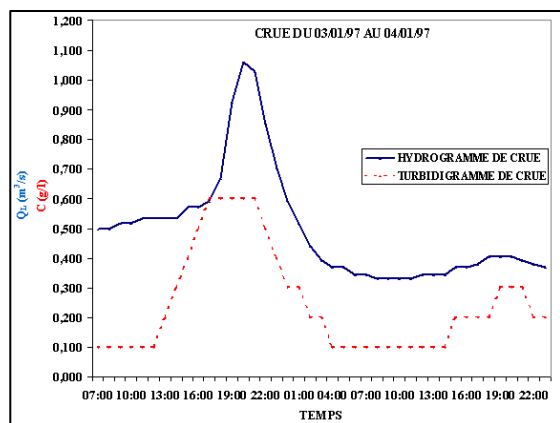


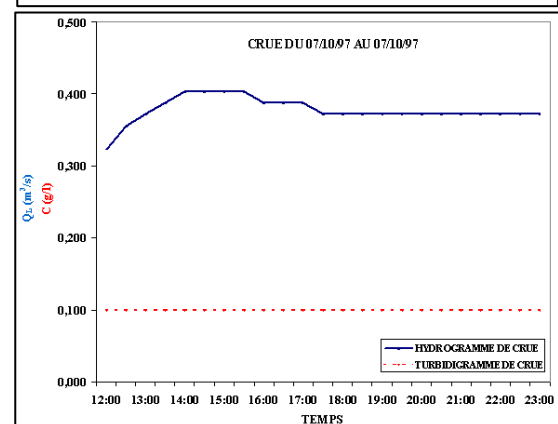
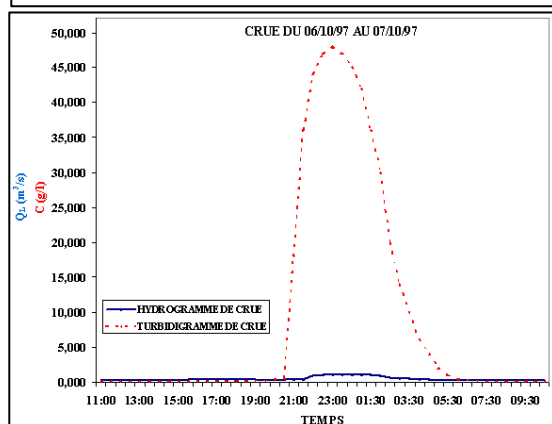
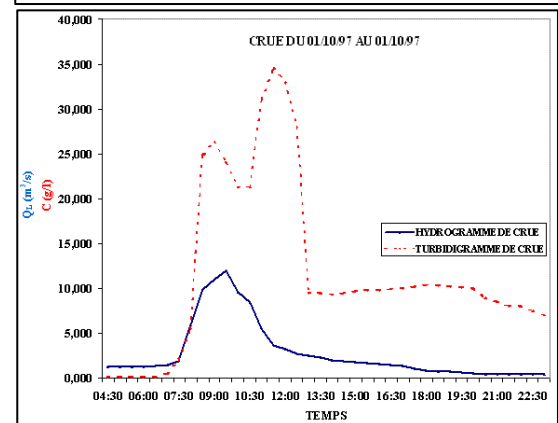
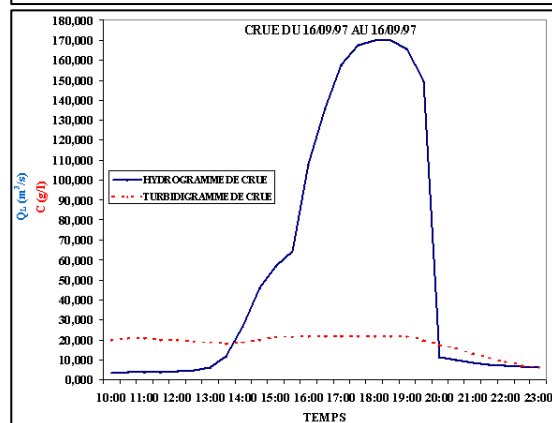
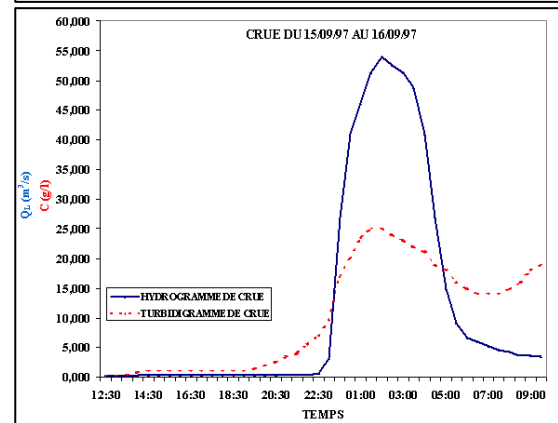
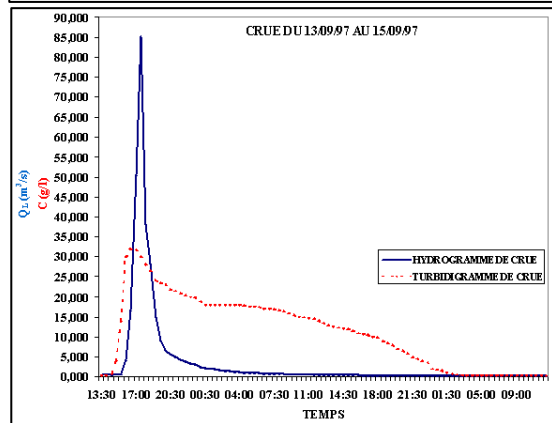
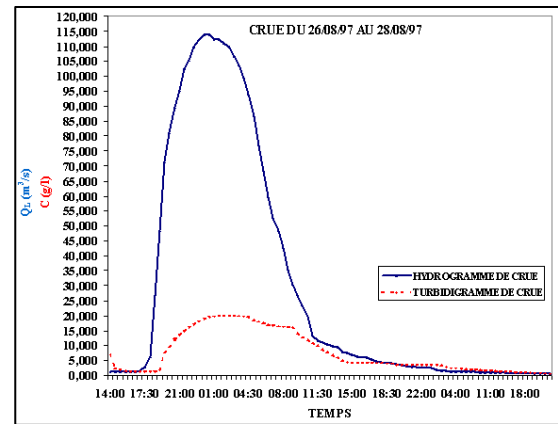
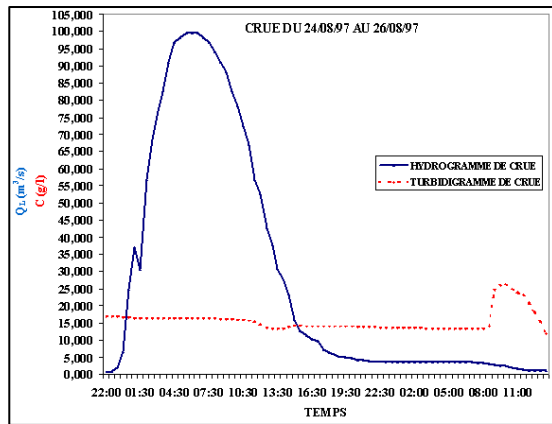


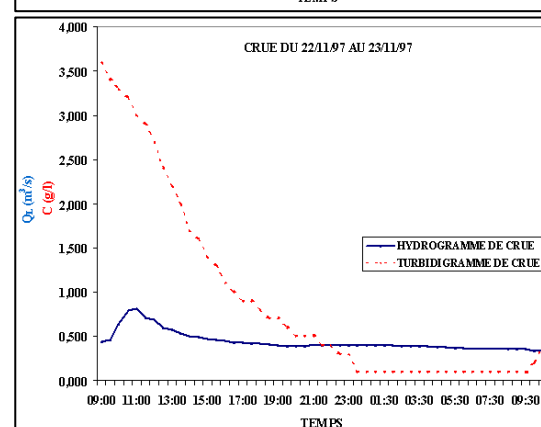
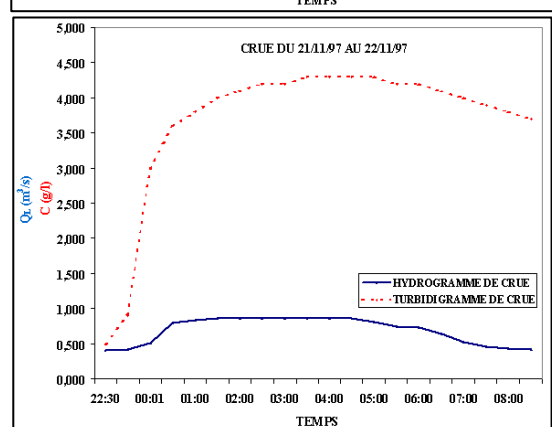
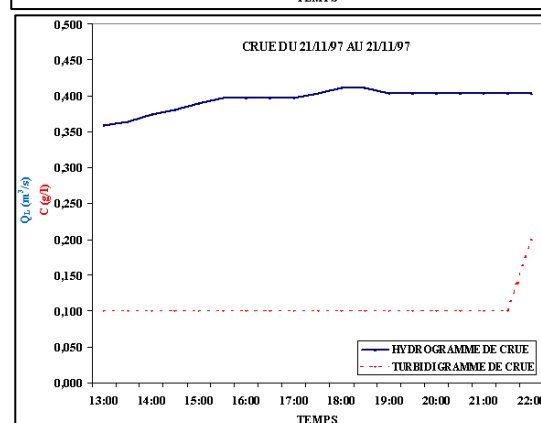
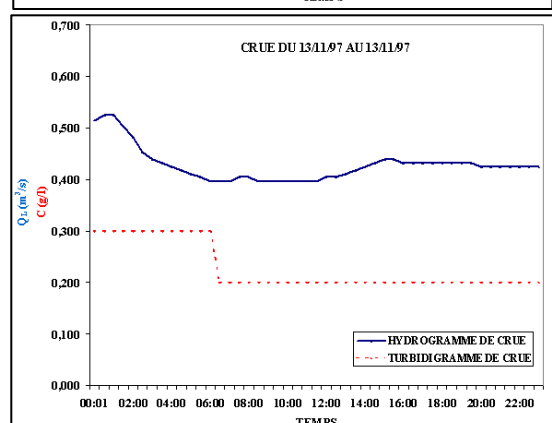
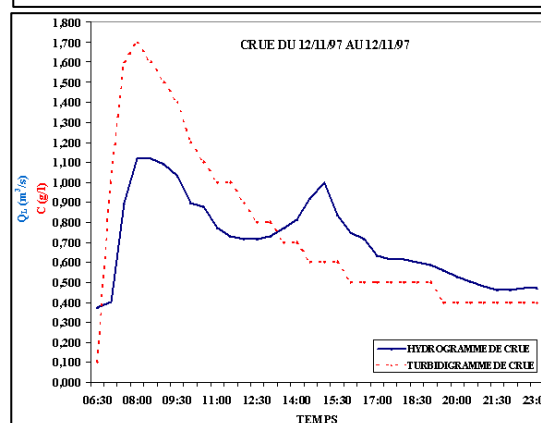
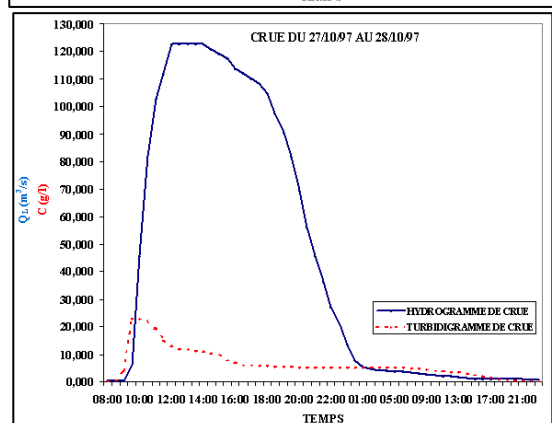
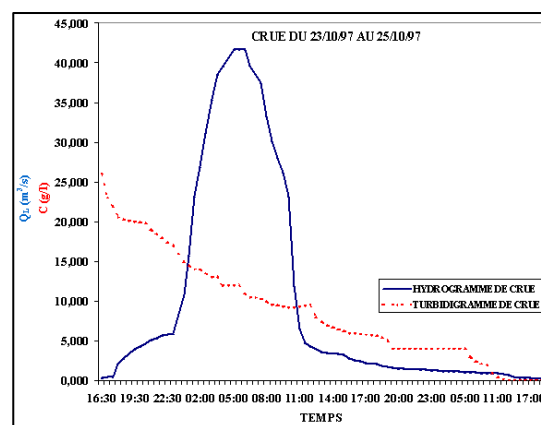
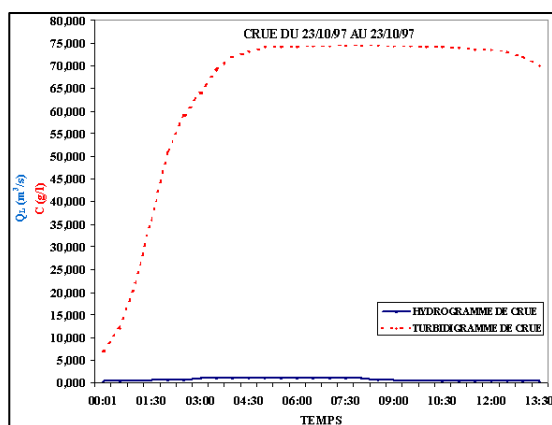


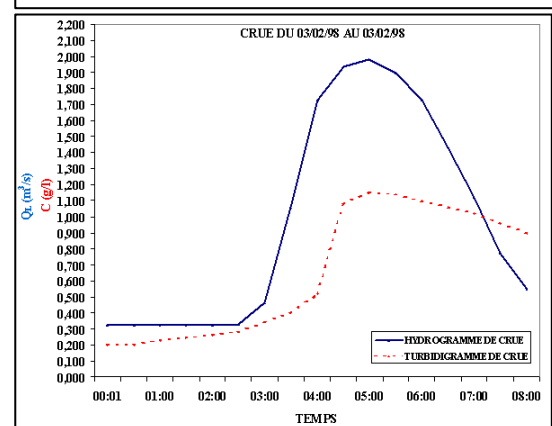
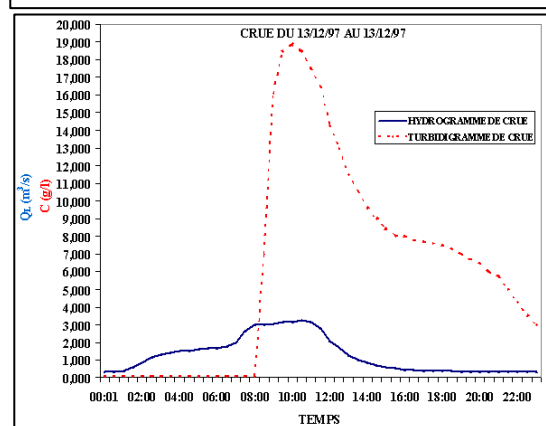
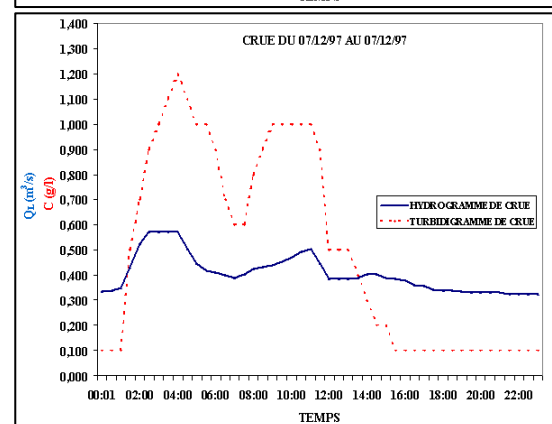
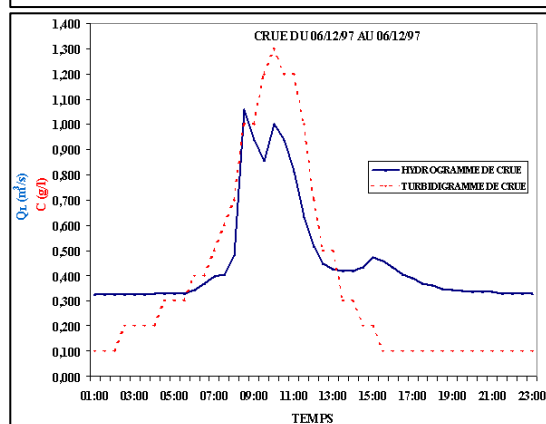
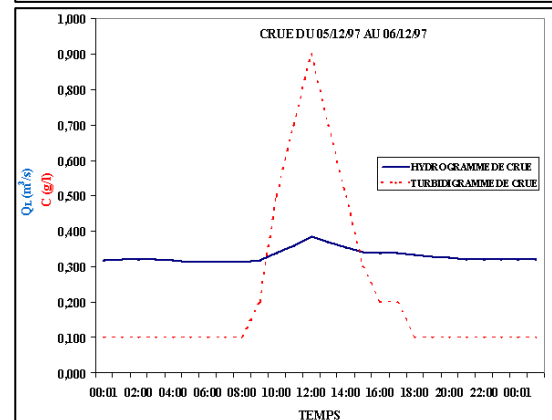
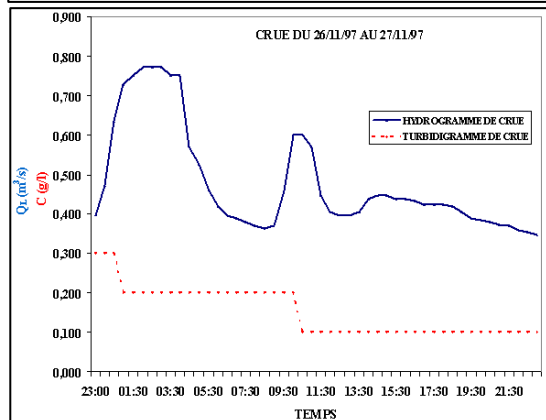
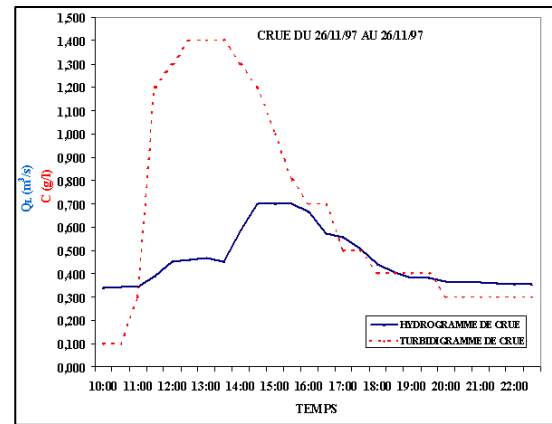
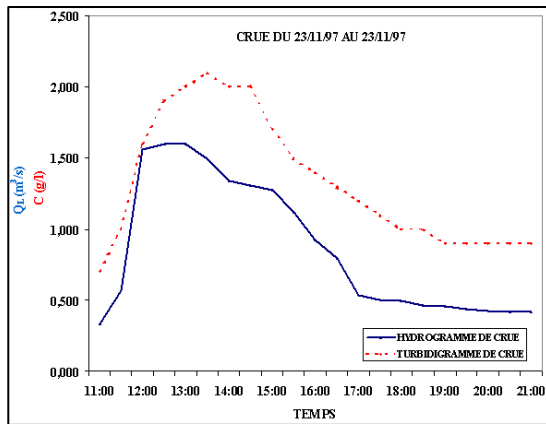


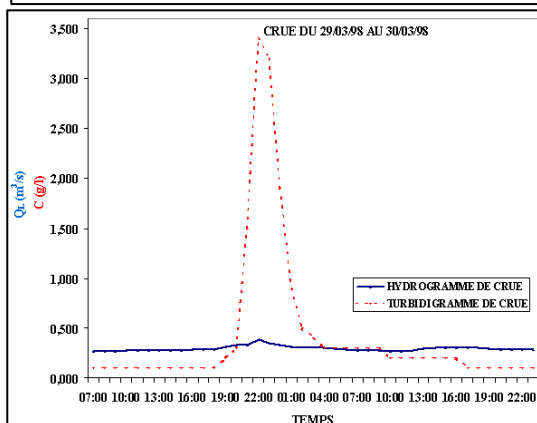
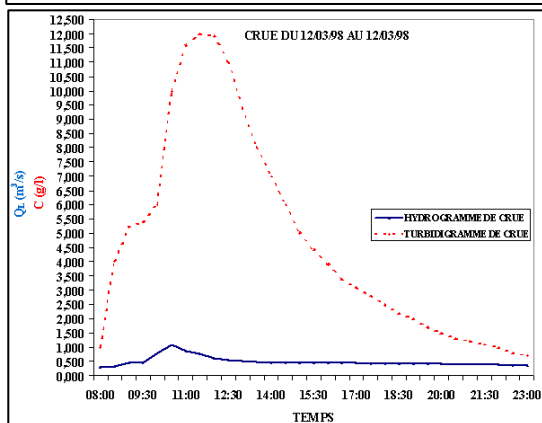
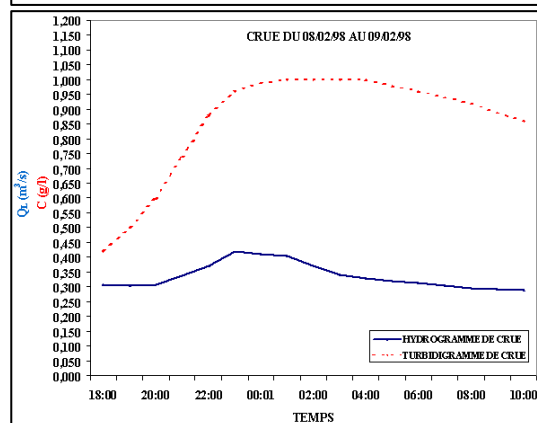
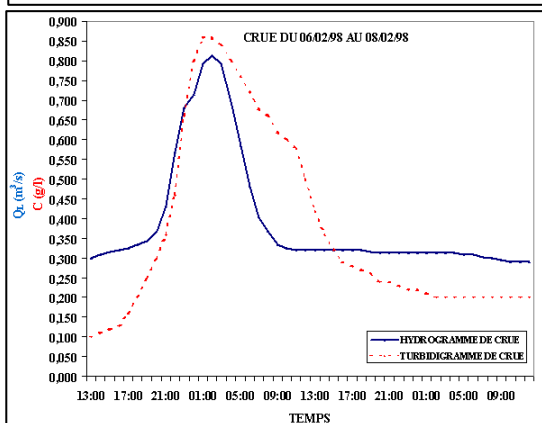
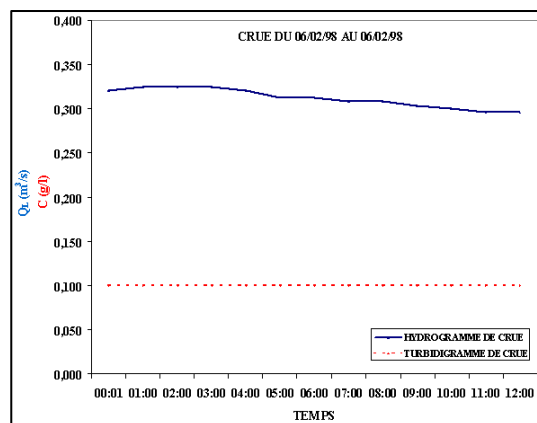
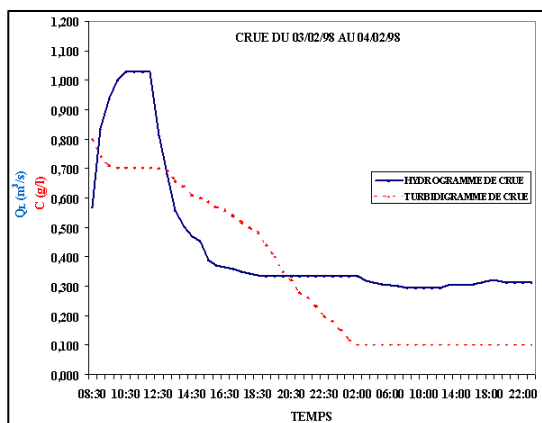




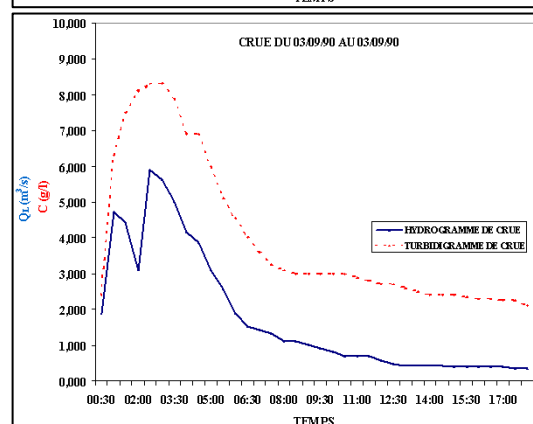
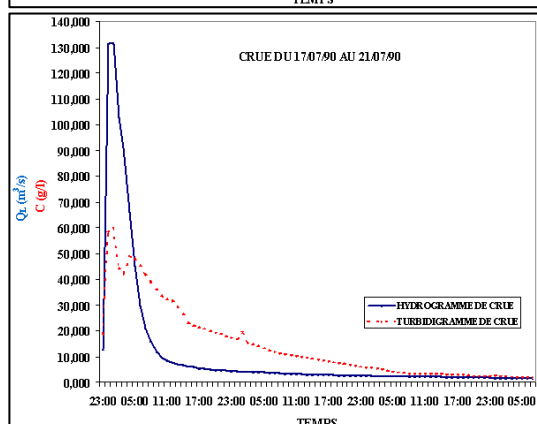
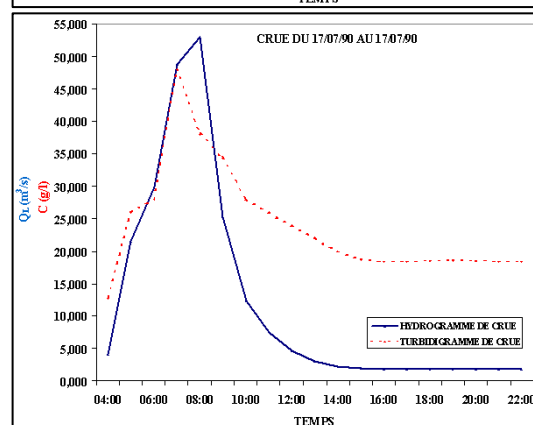
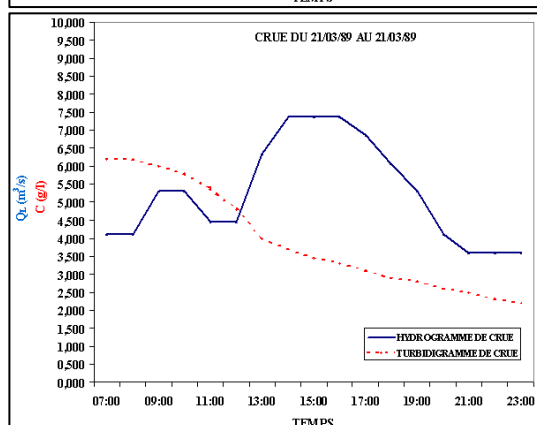
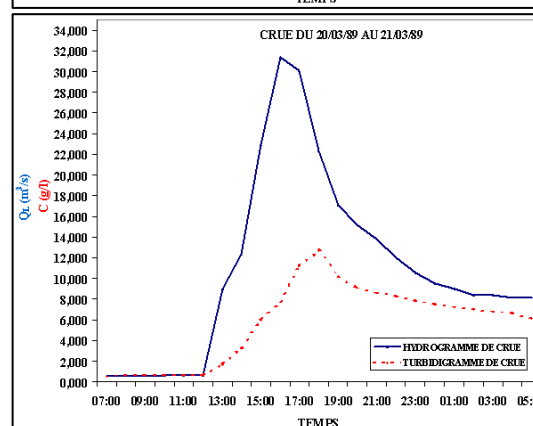
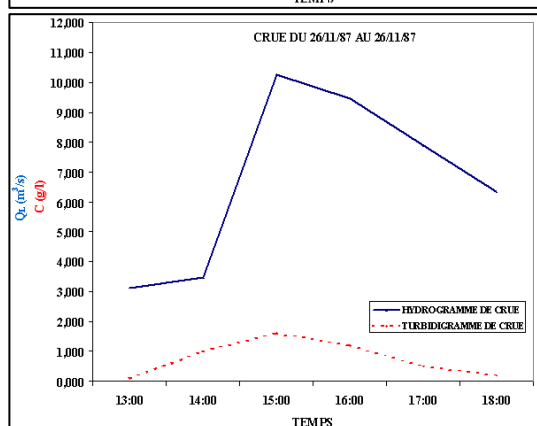
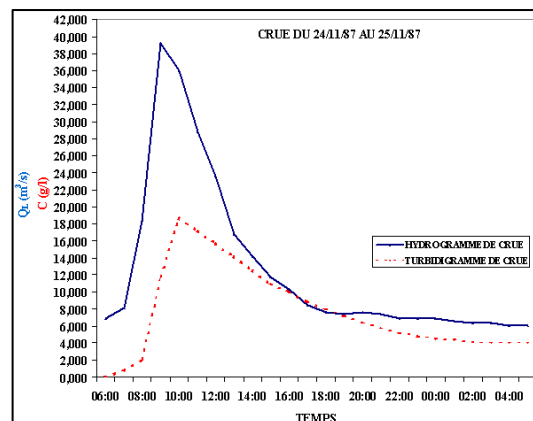
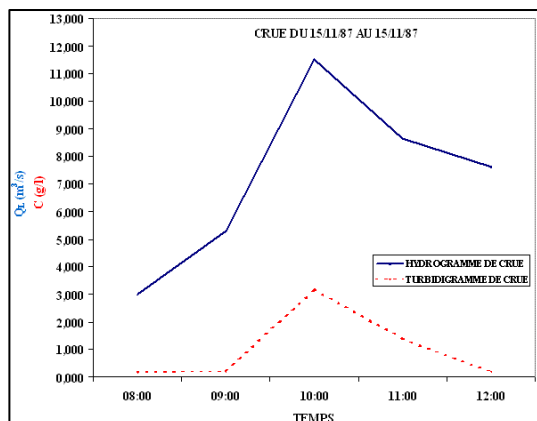


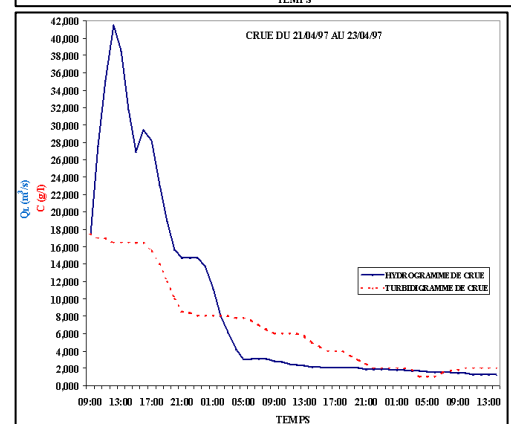
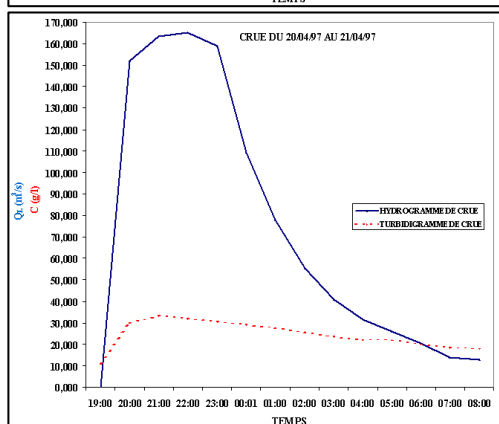
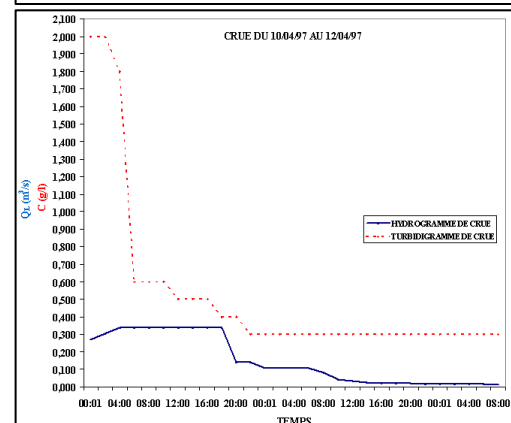
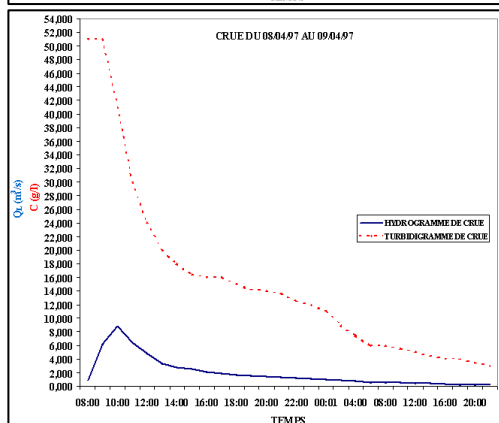
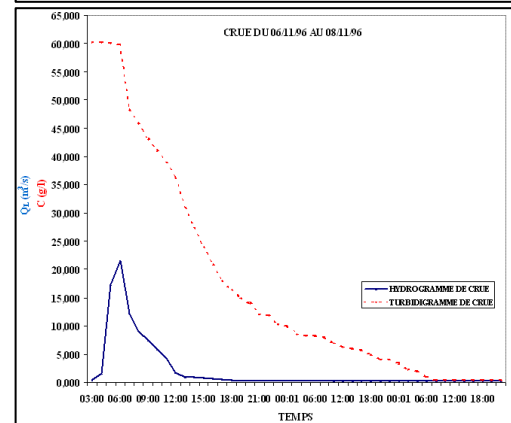
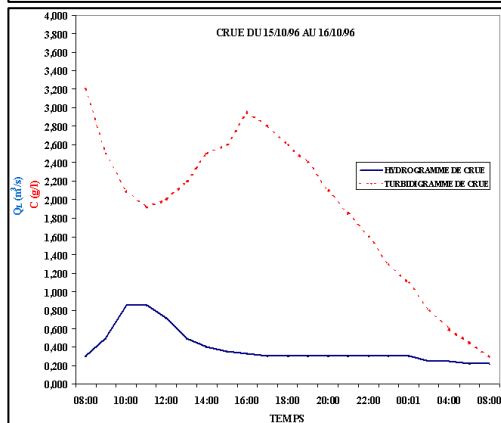
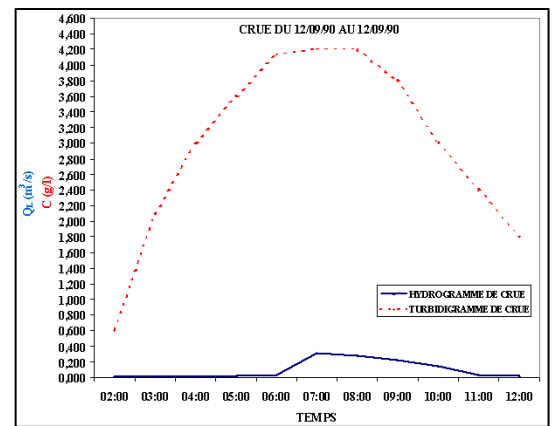
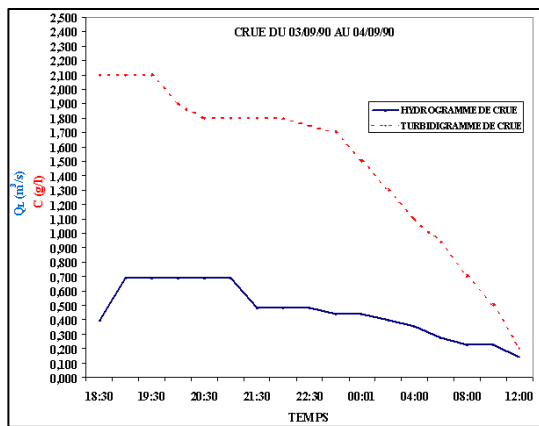


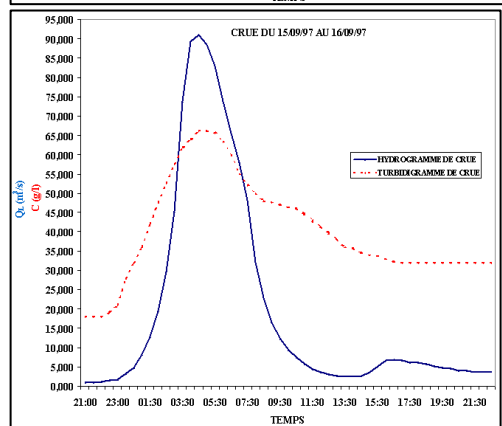
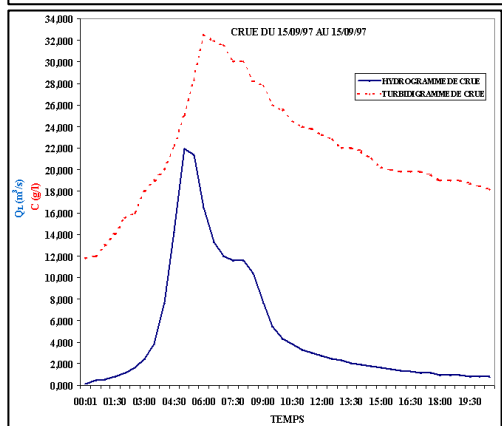
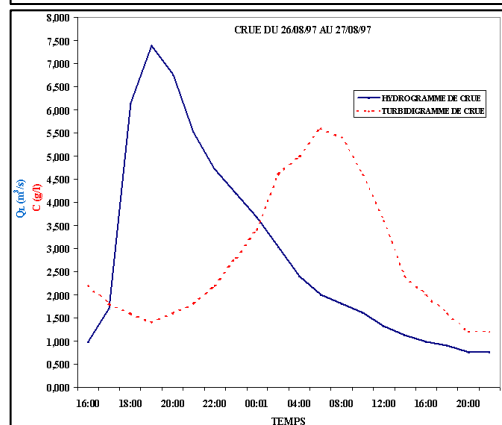
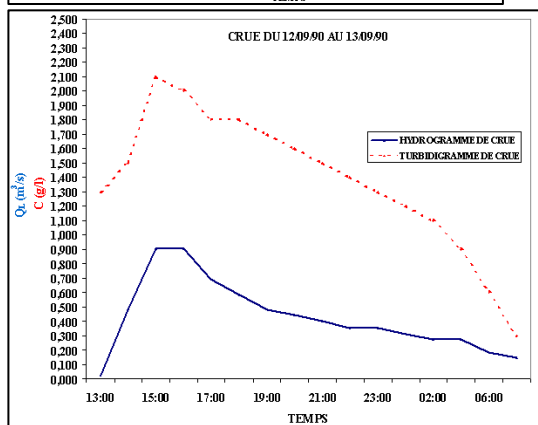
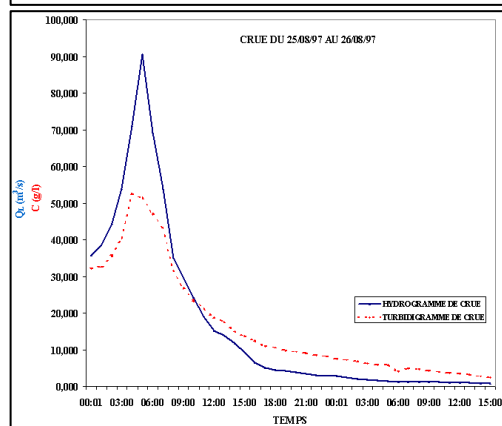
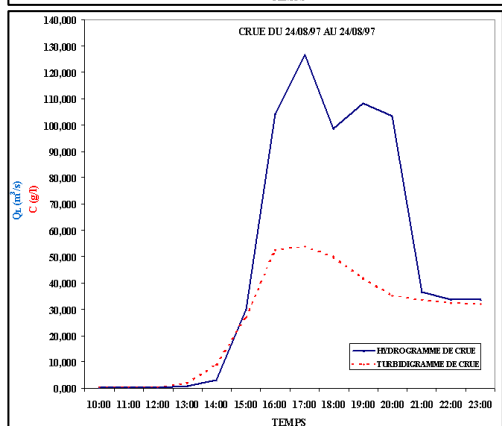
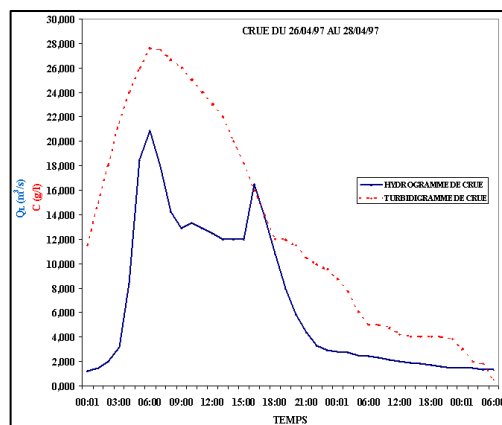
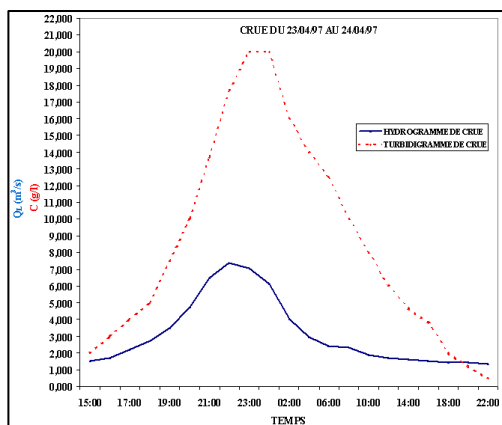


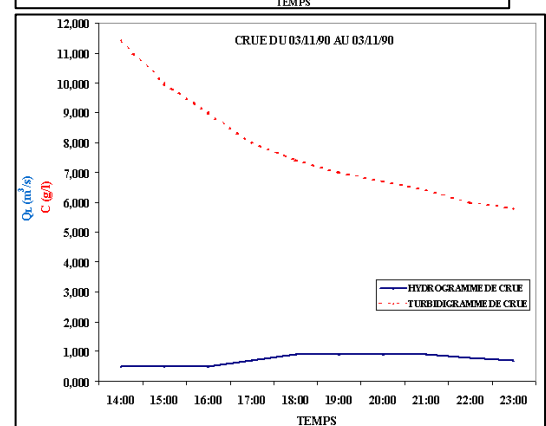
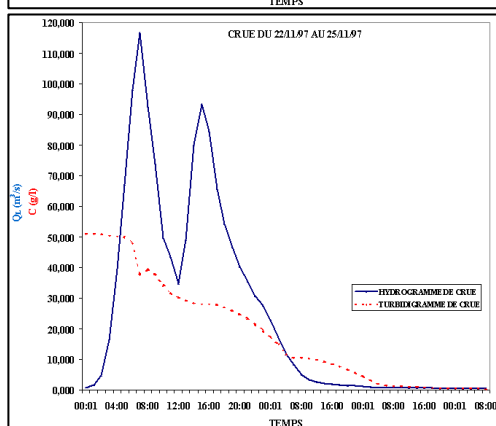
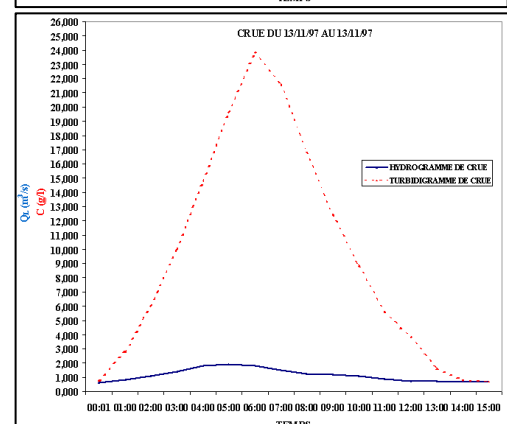
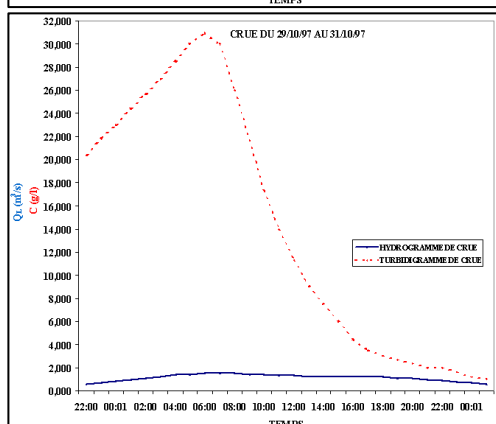
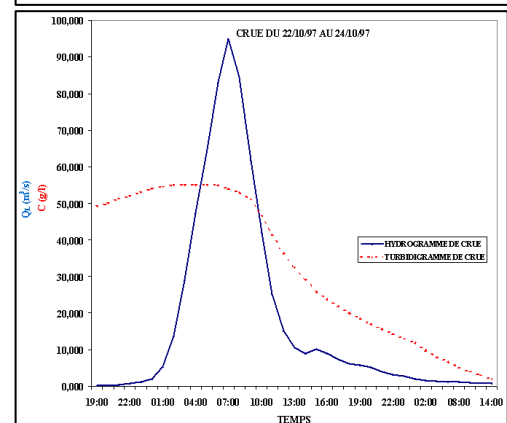
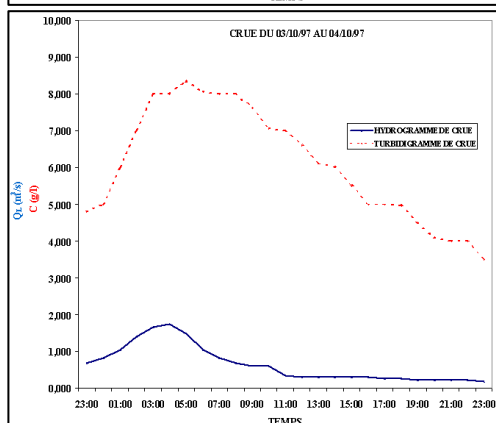
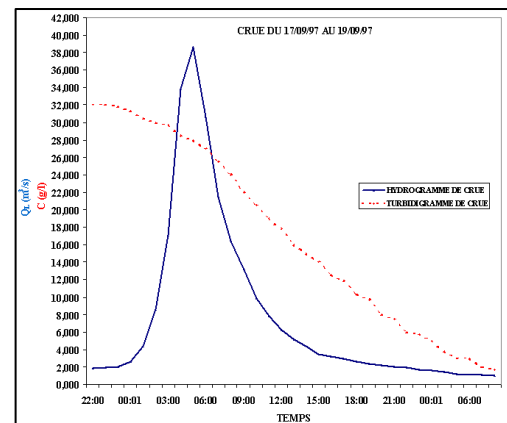
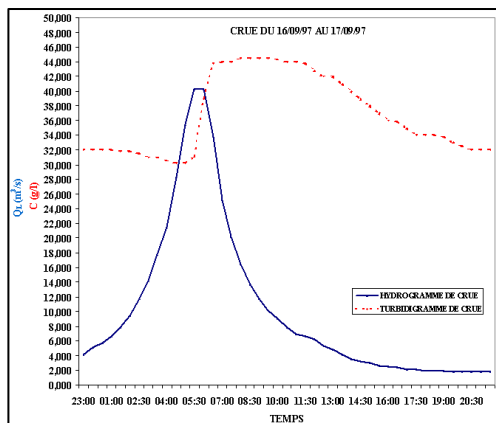


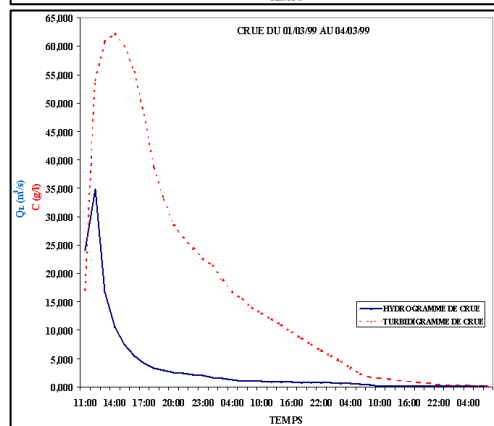
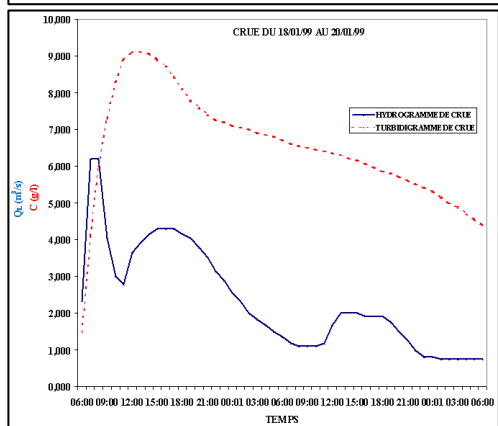
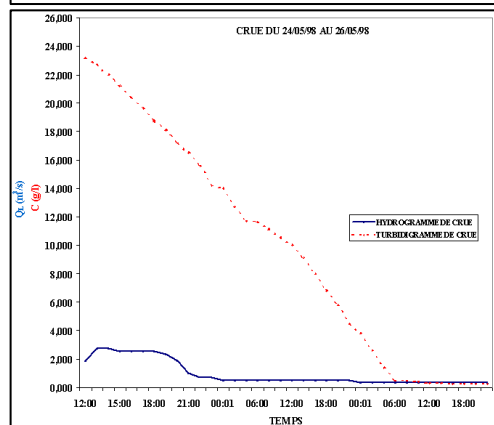
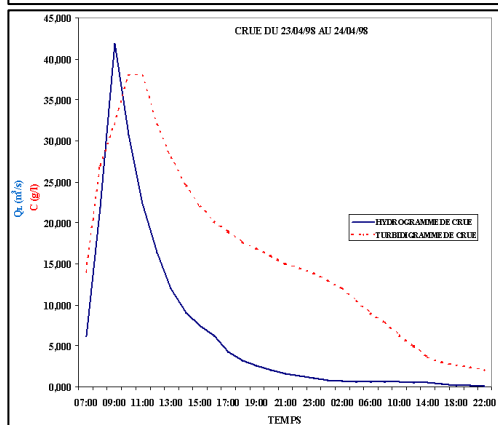
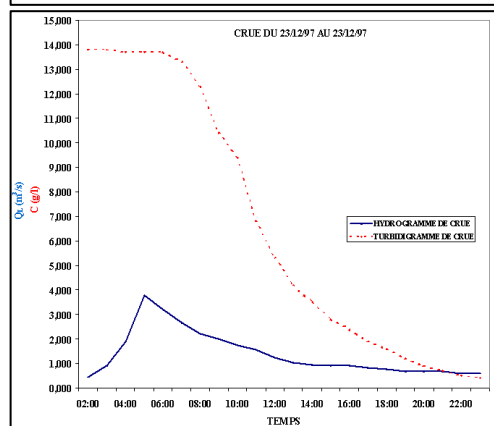
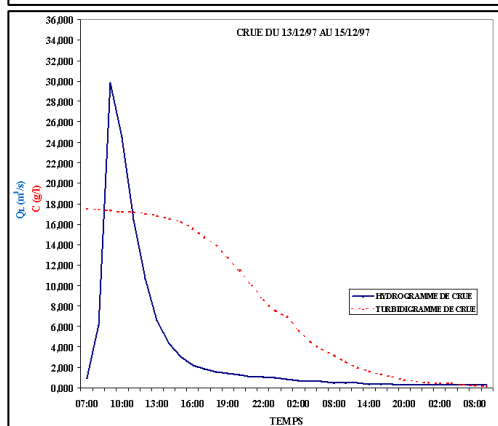
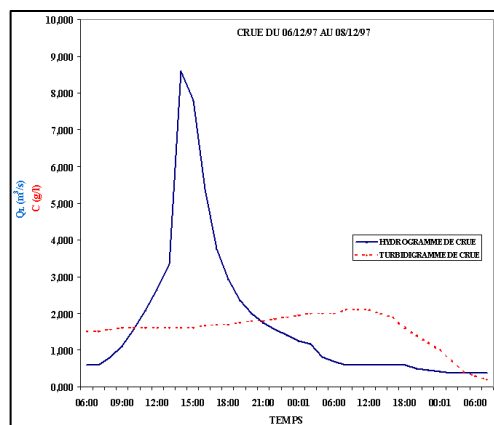
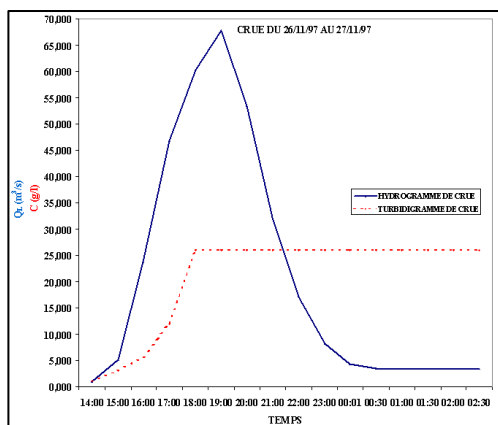
2- Hydrogrammes de crue – Turbidigrammes « Station Oued Taria »

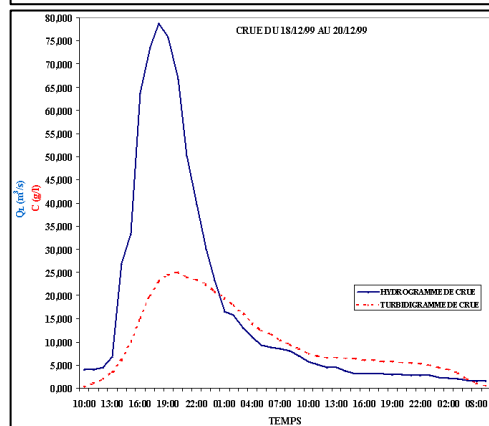
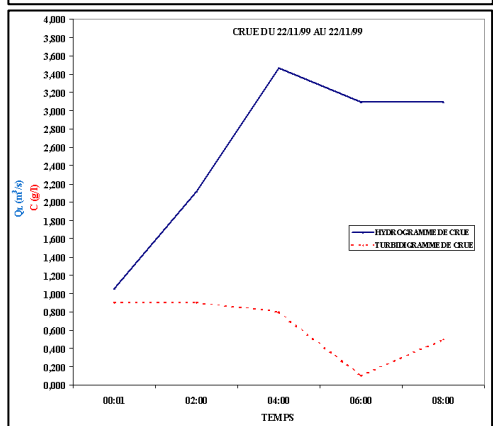
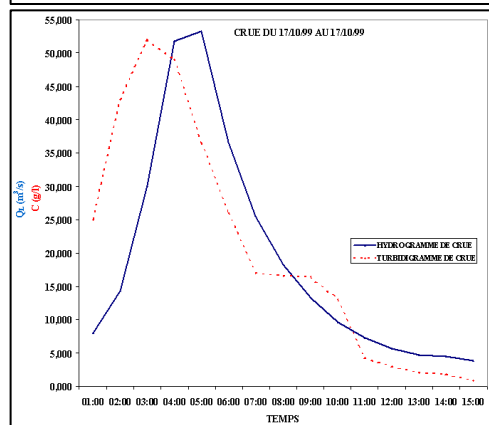
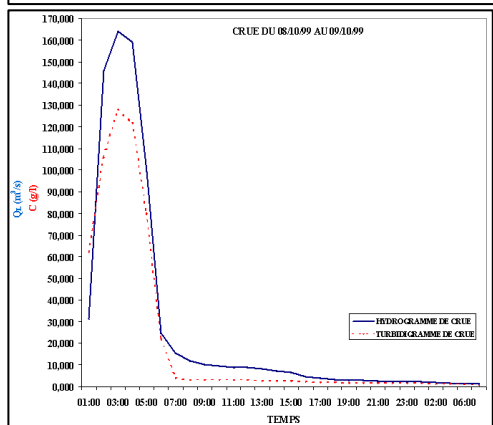
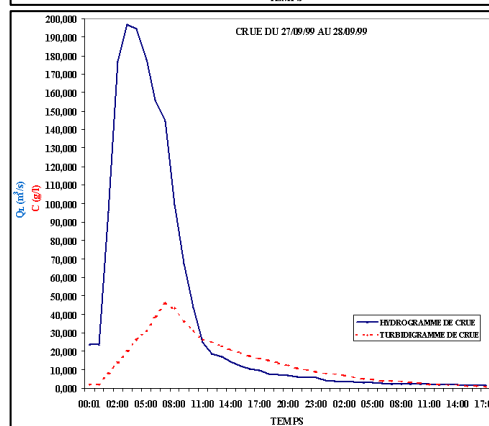
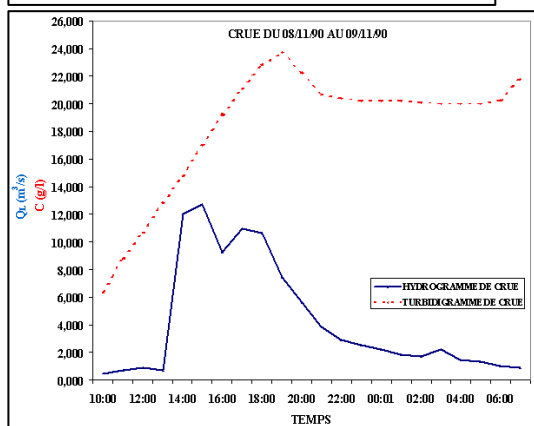
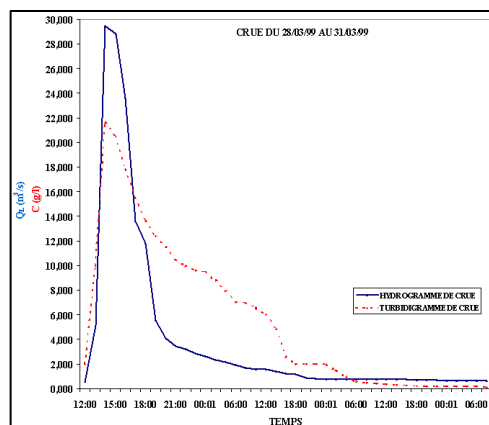
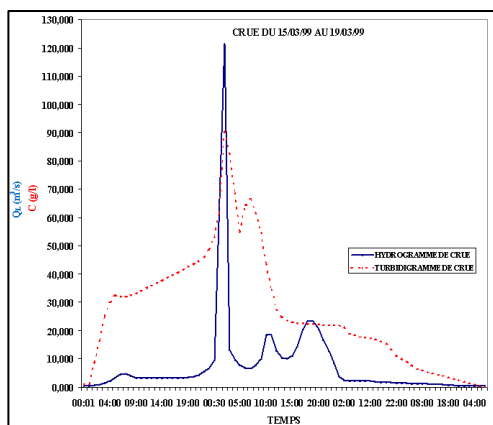


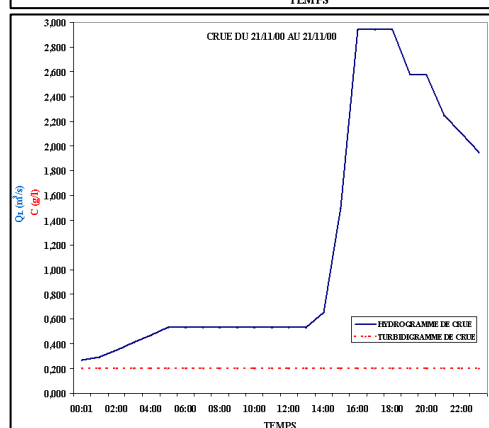
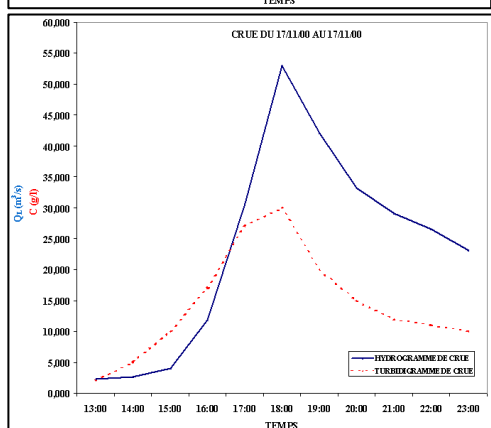
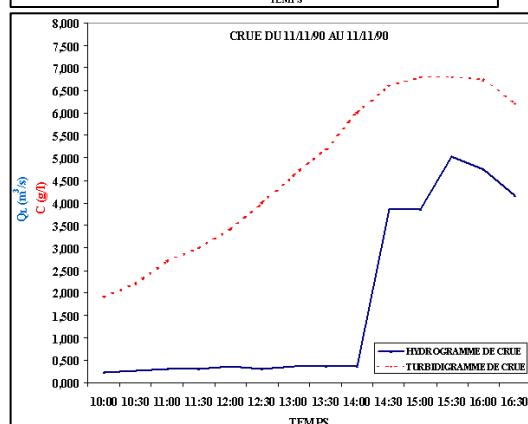
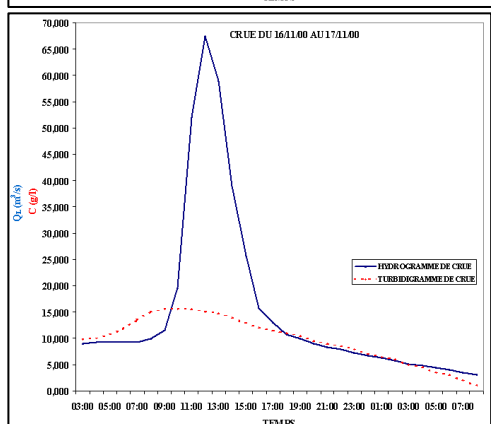
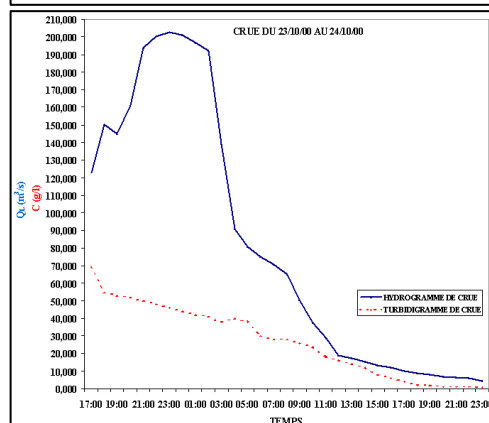
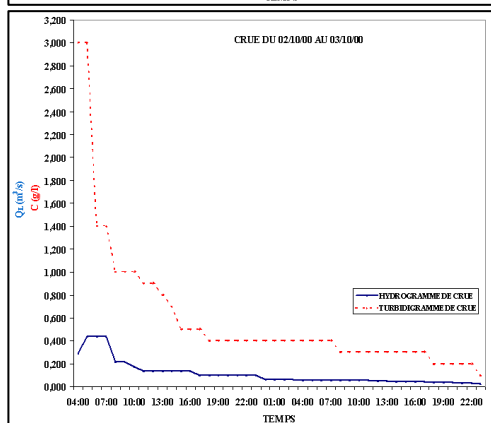
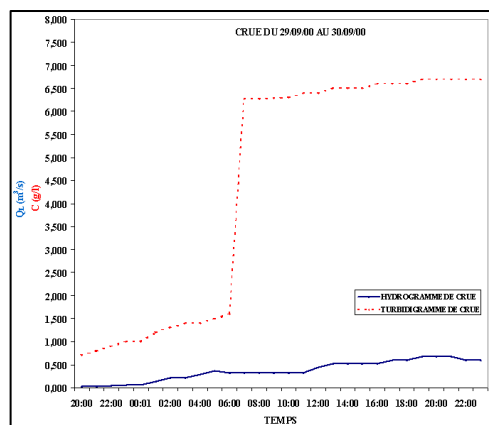
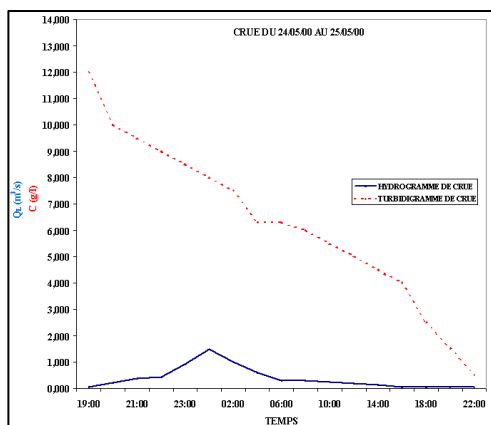


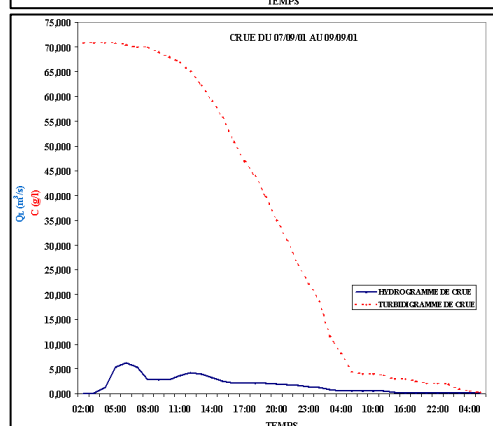
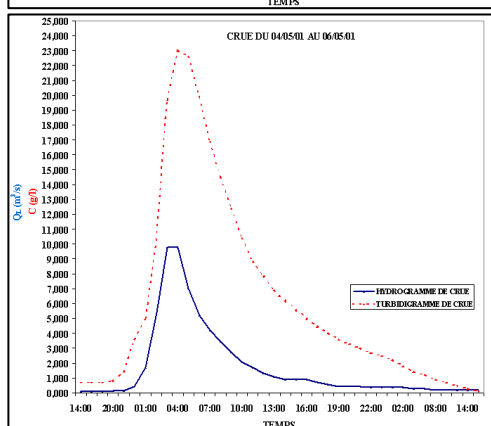
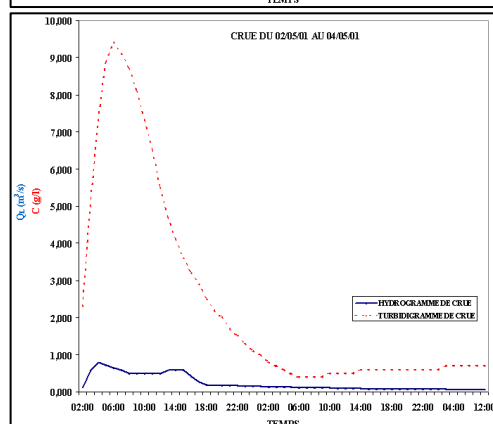
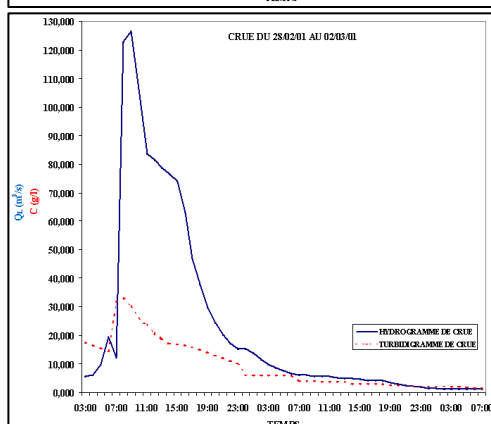
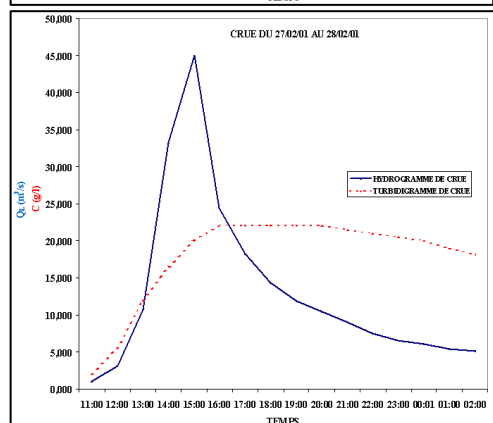
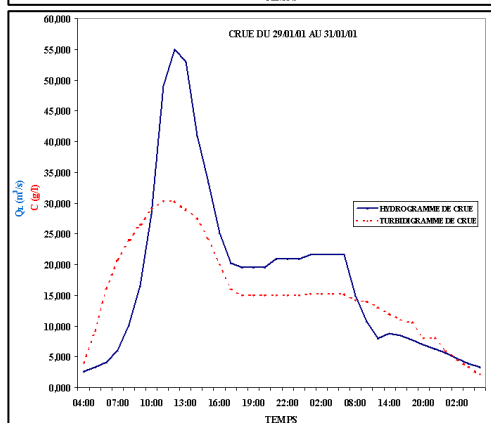
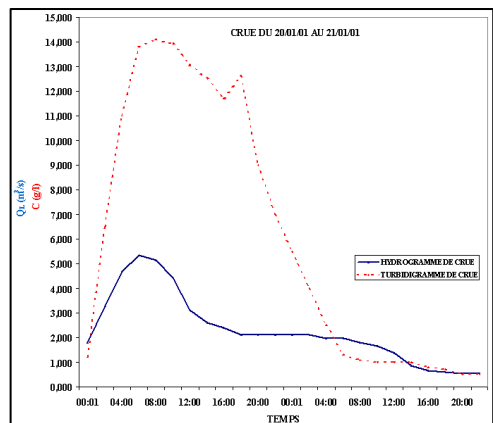
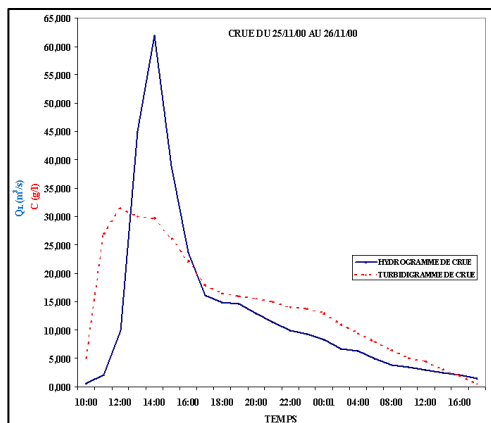


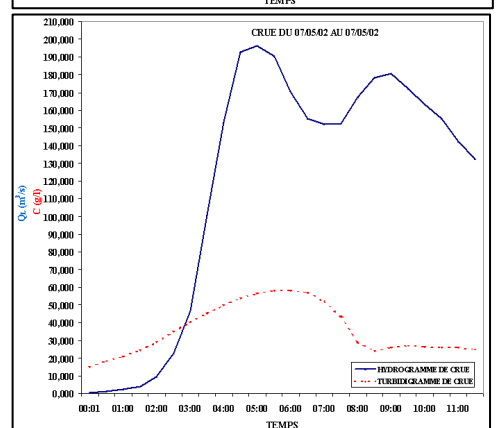
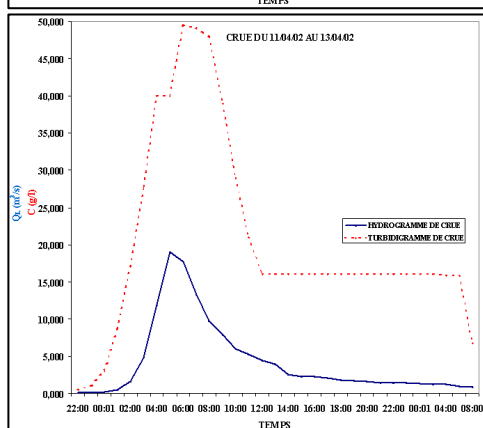
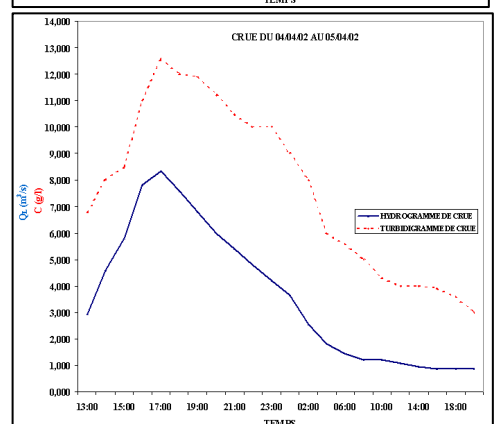
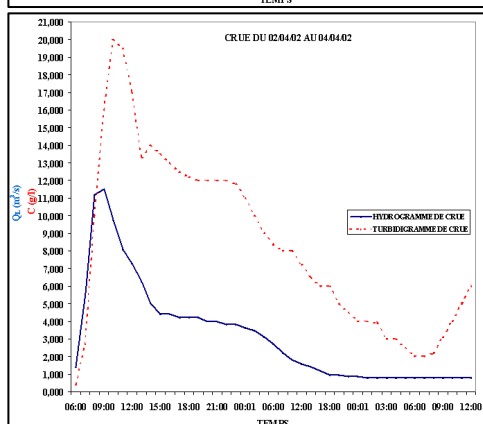
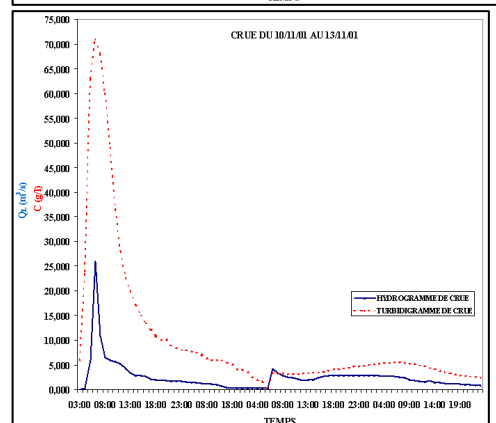
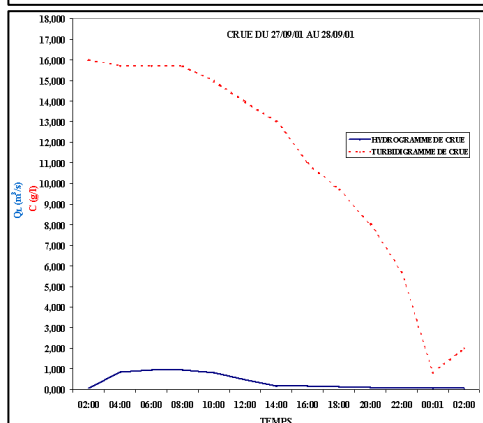
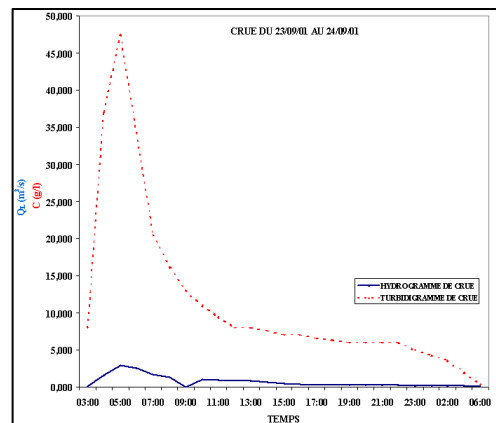
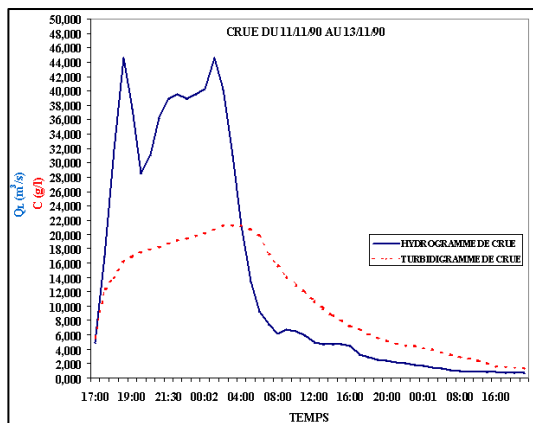


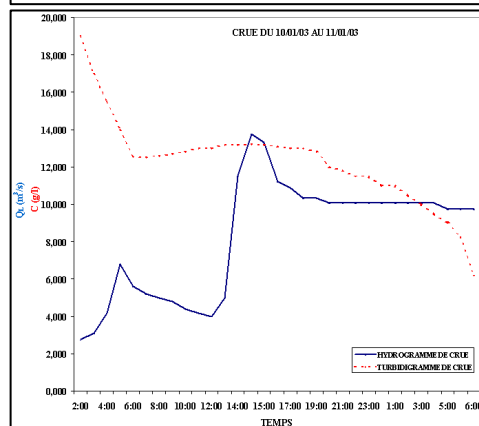
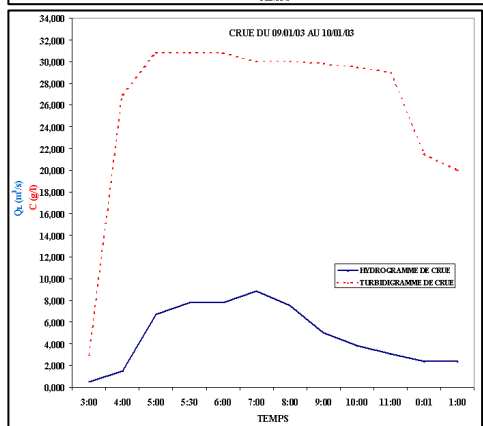
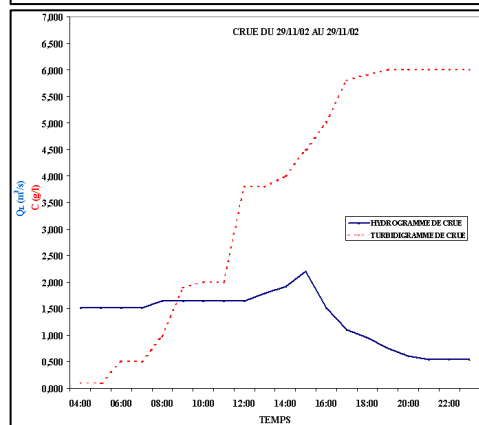
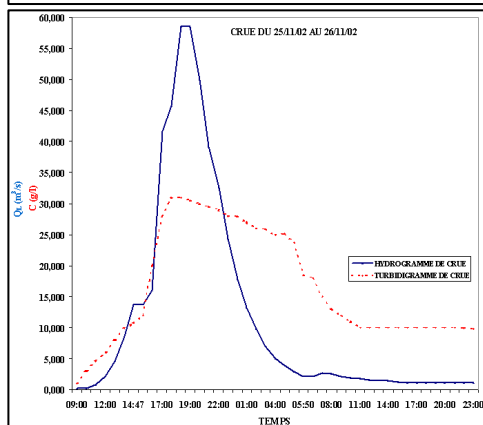
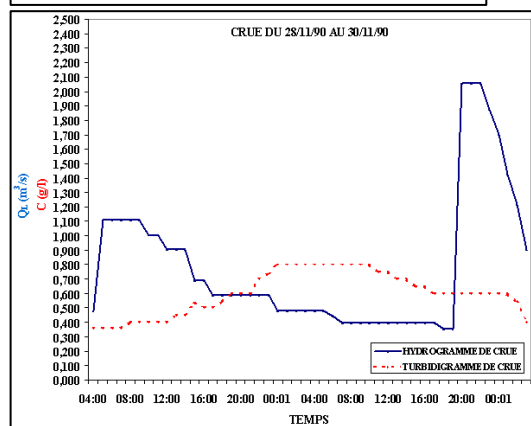
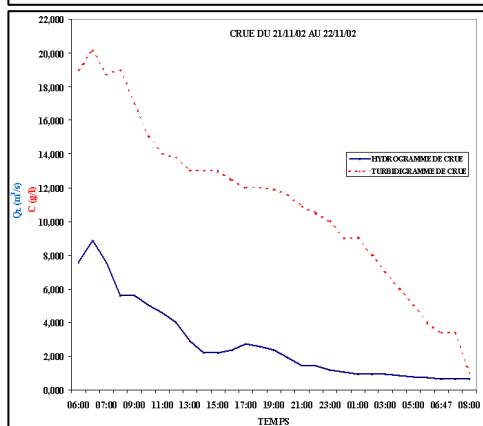
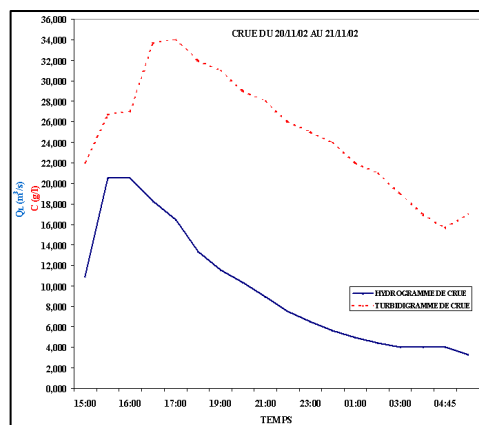
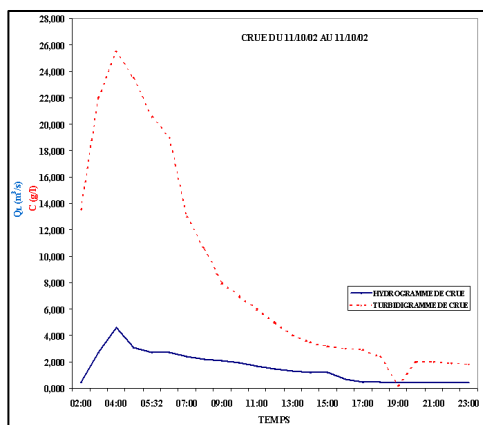


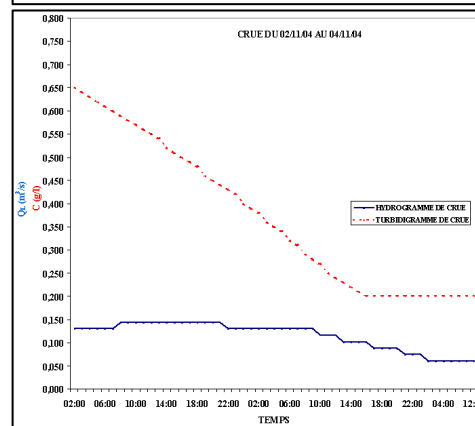
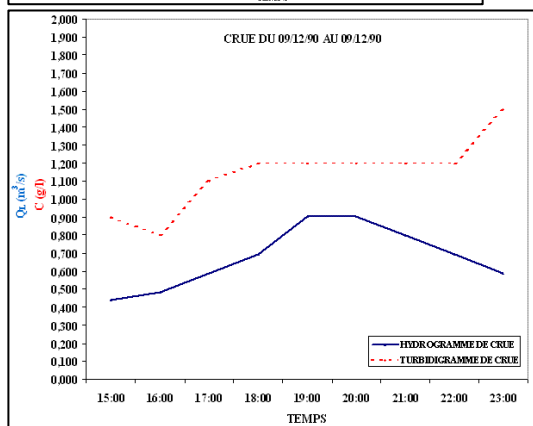
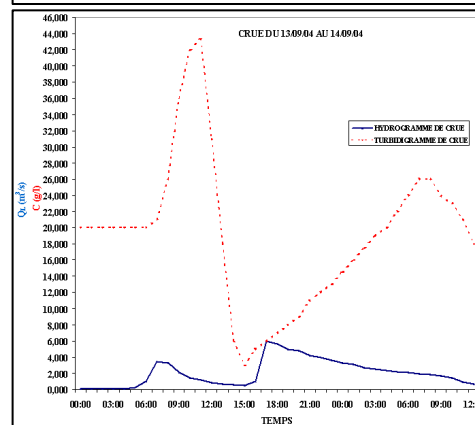
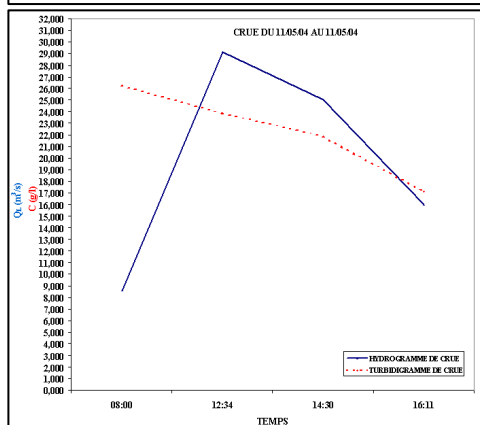
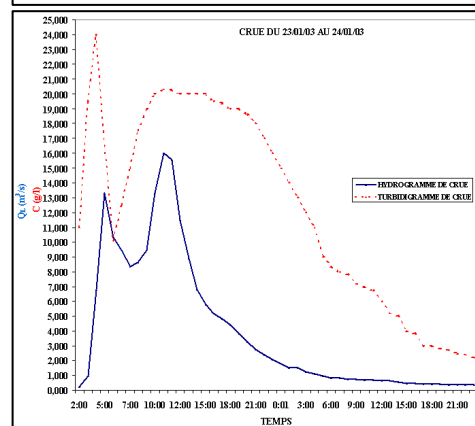
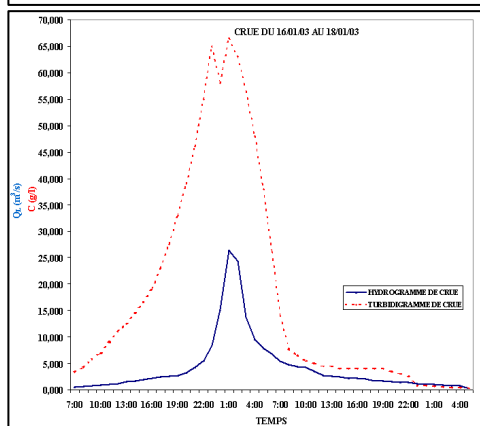
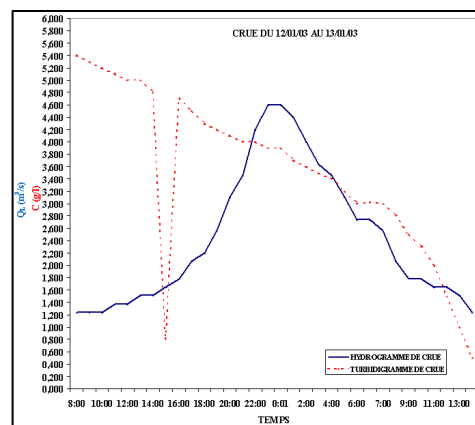
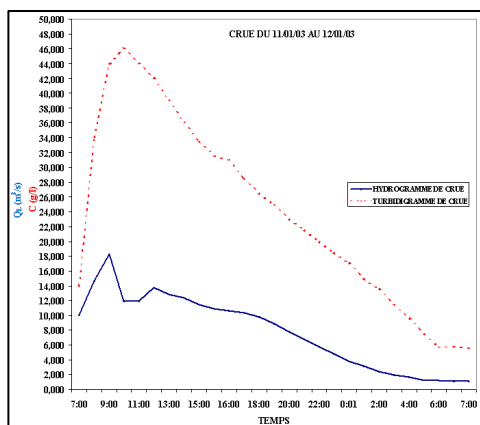


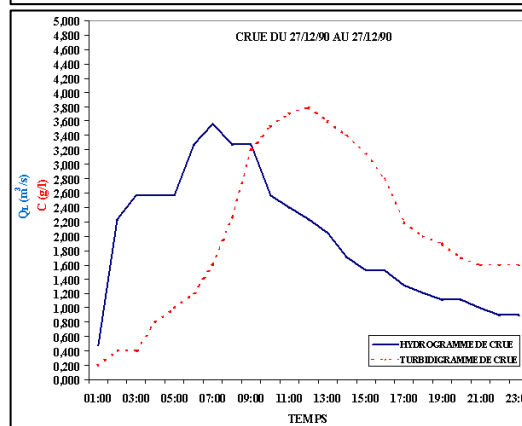
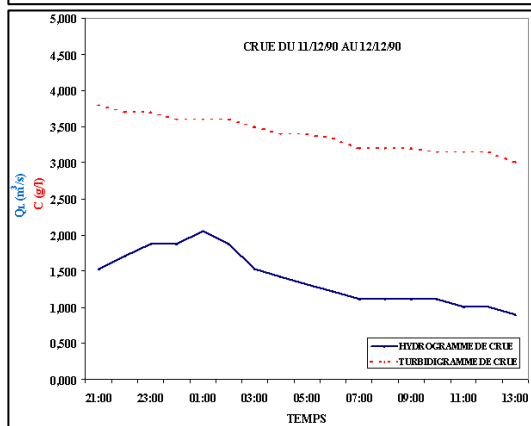
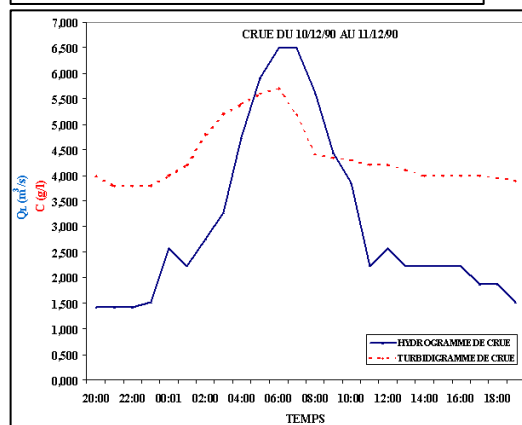
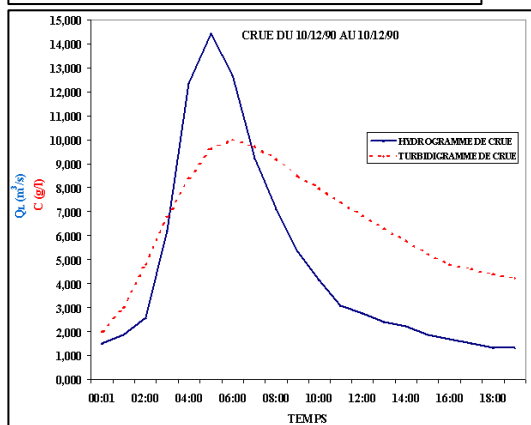
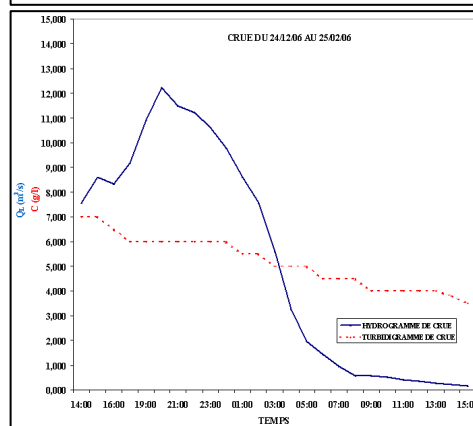
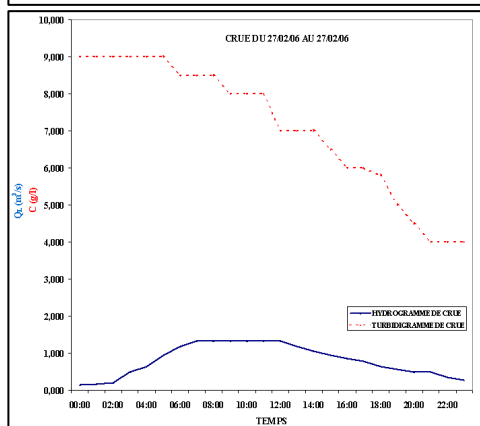
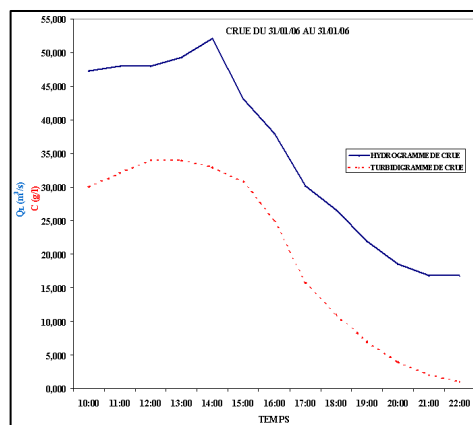
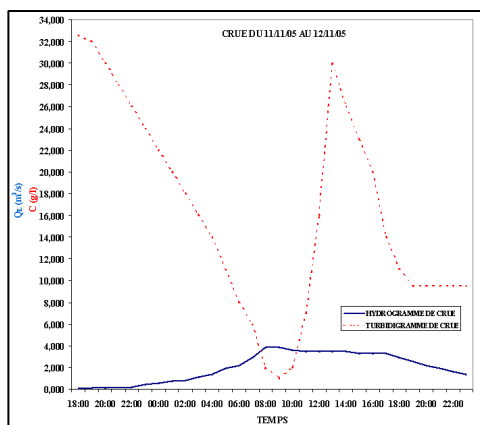


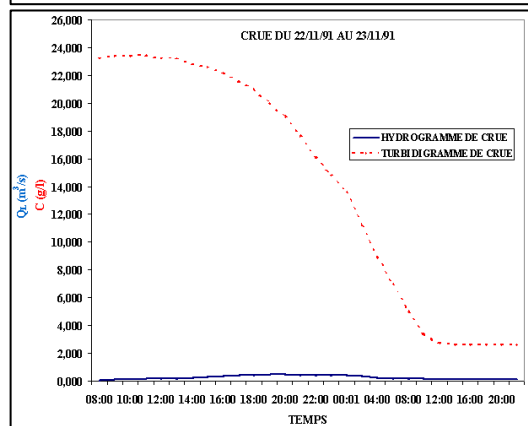
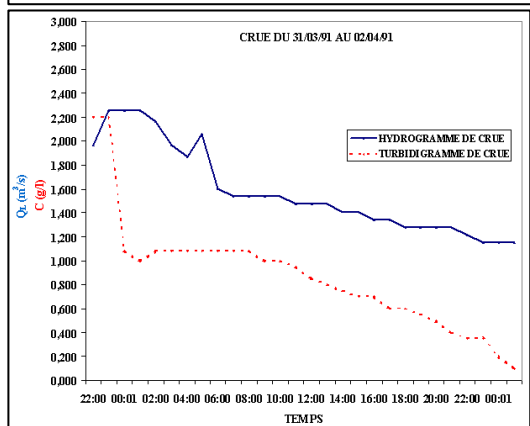
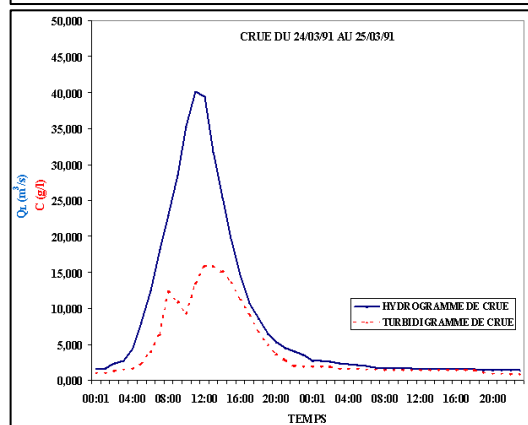
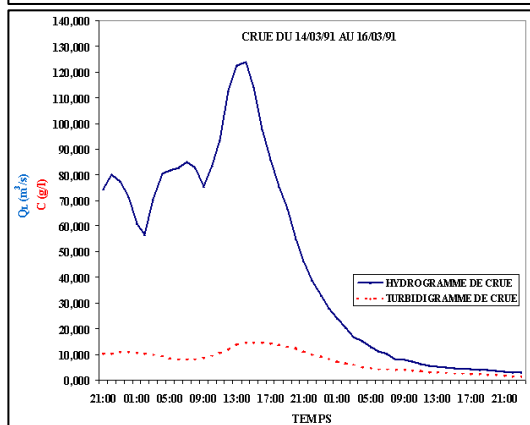
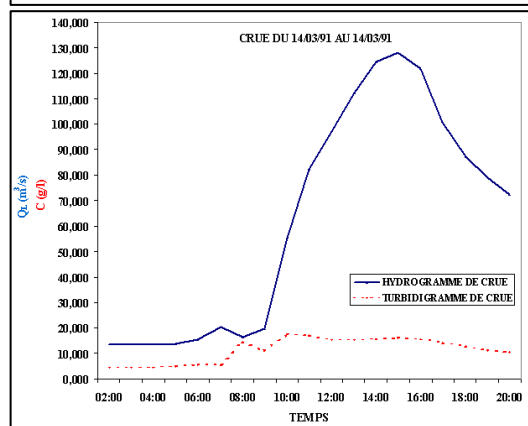
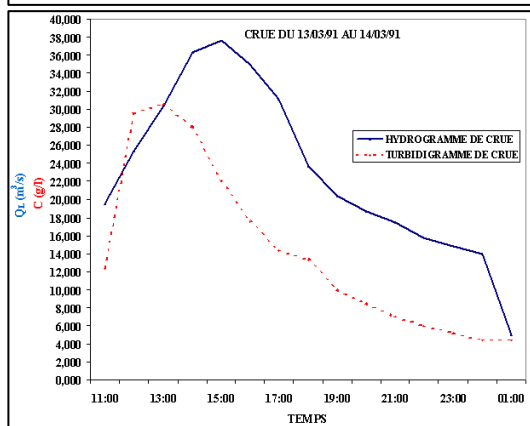
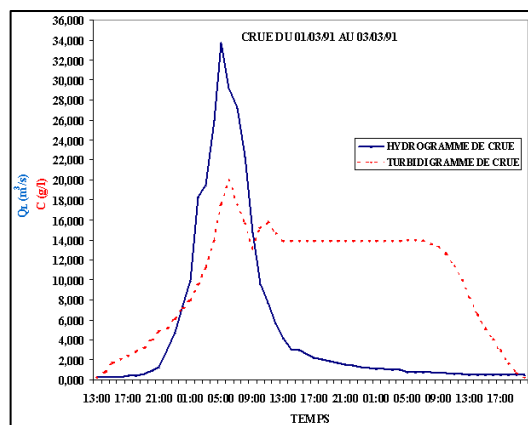
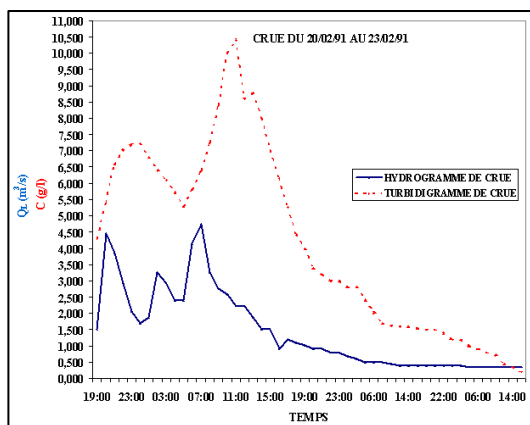


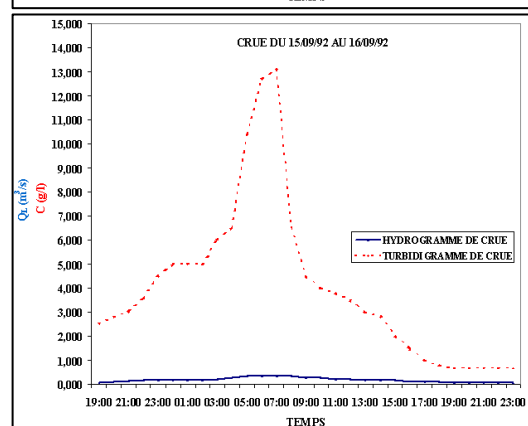
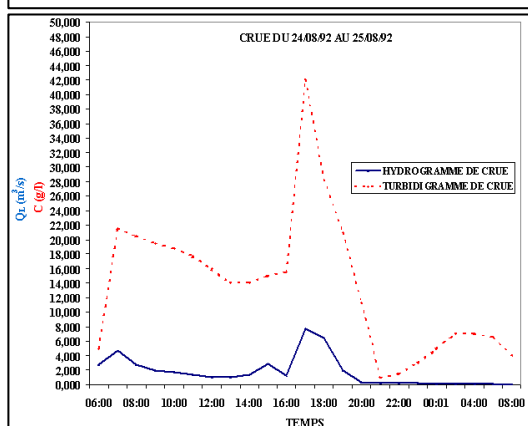
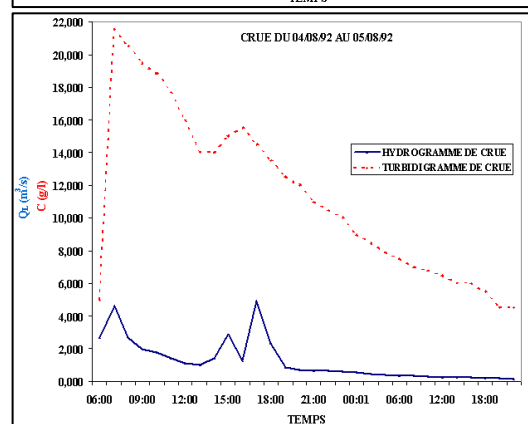
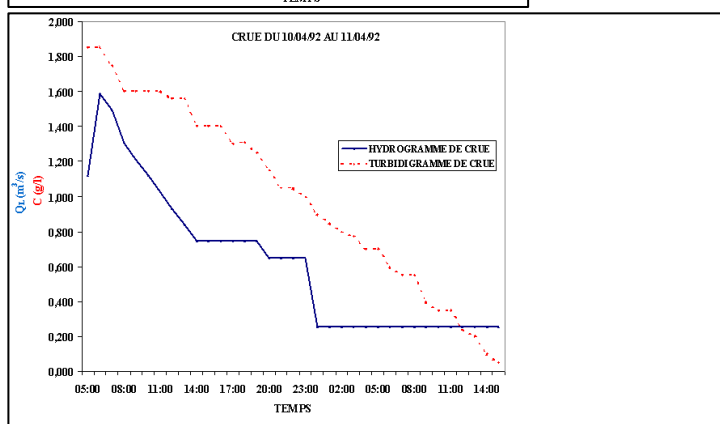
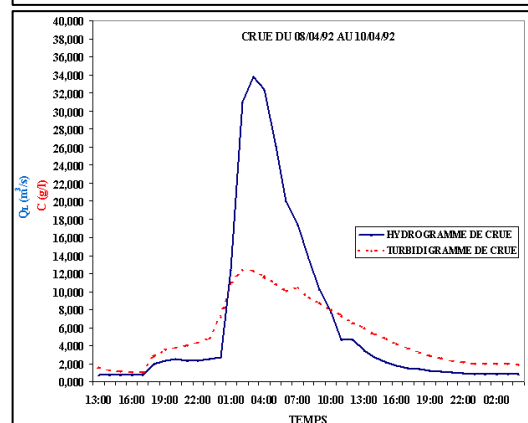
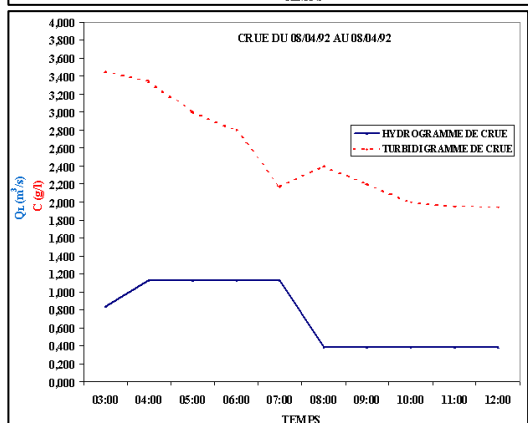
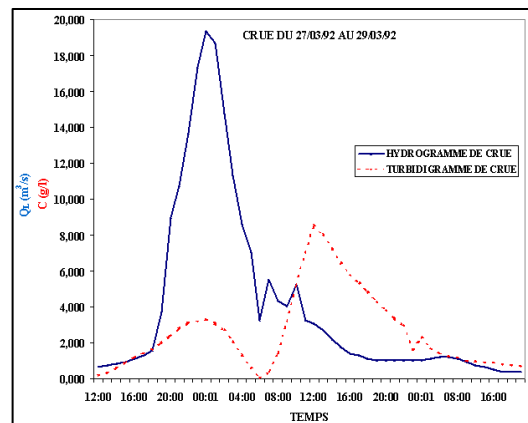
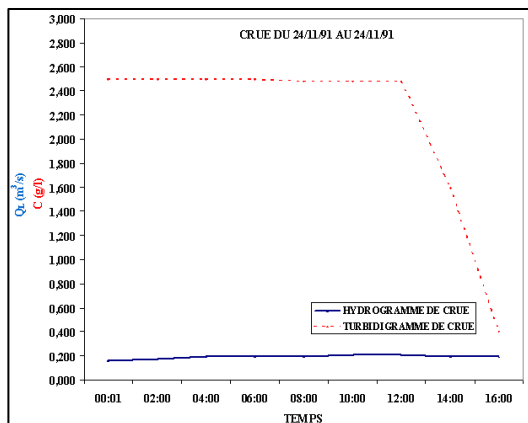


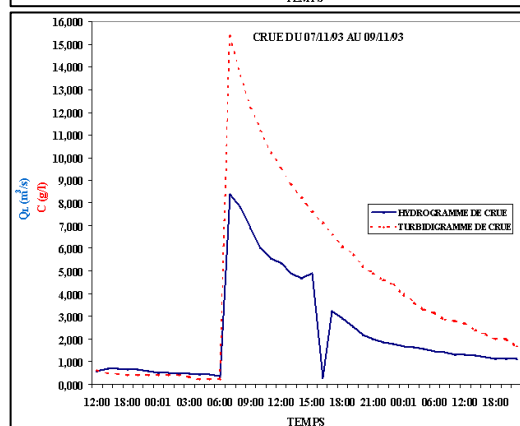
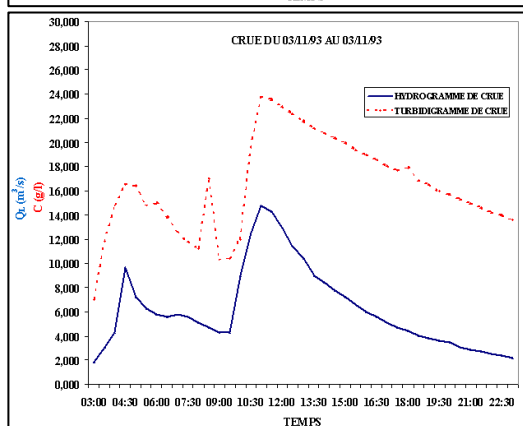
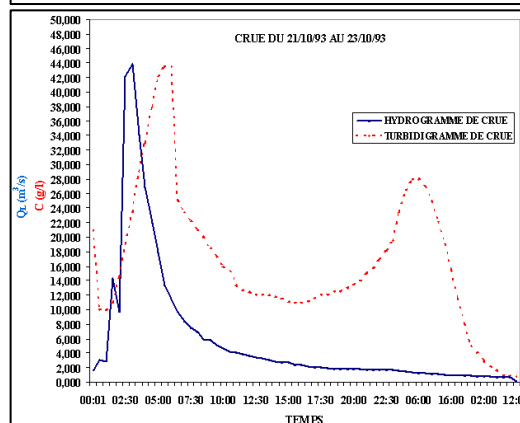
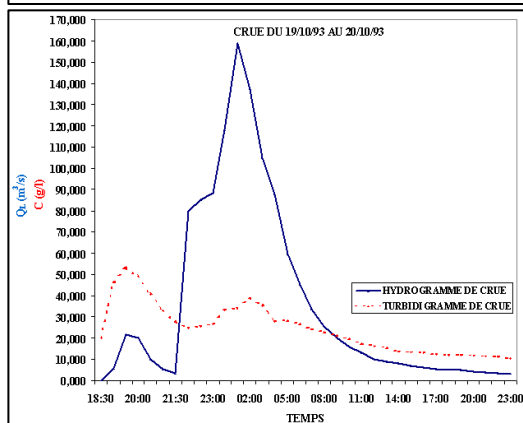
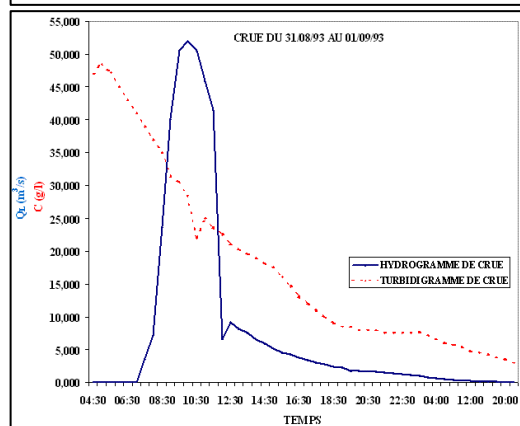
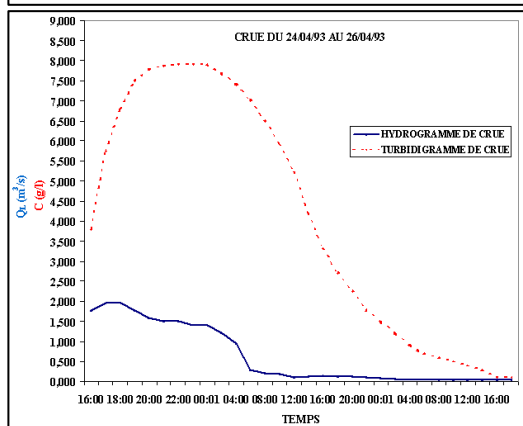
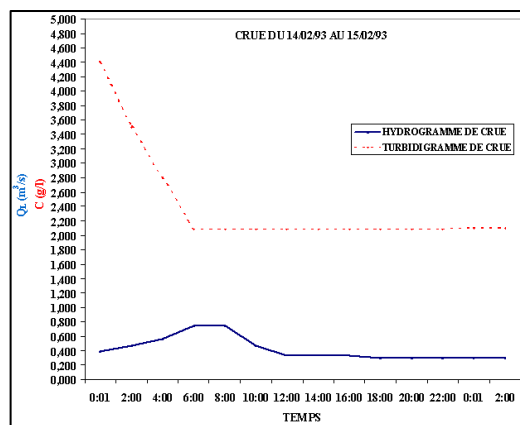
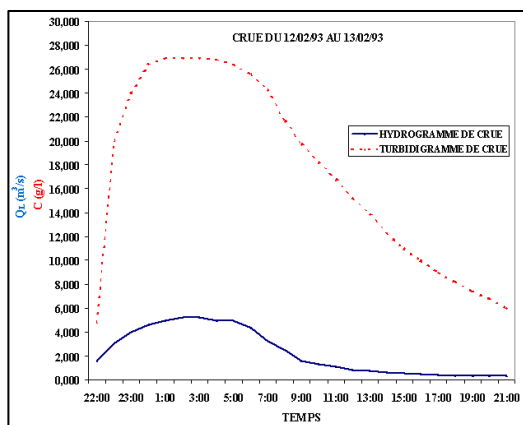


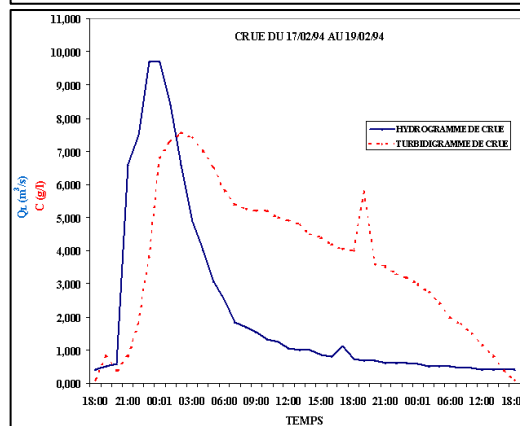
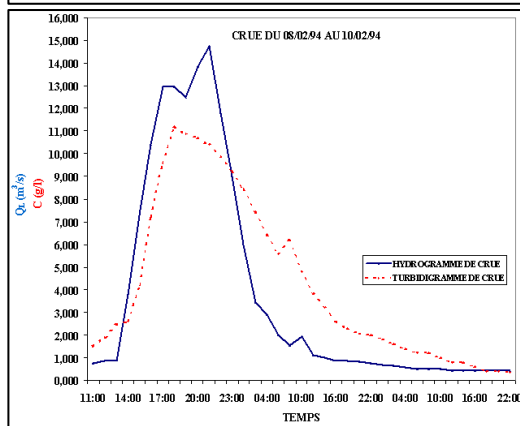
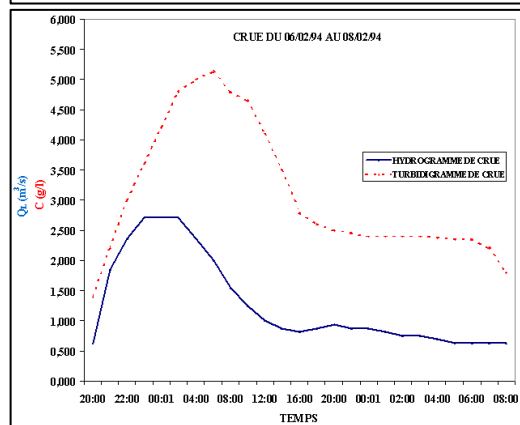
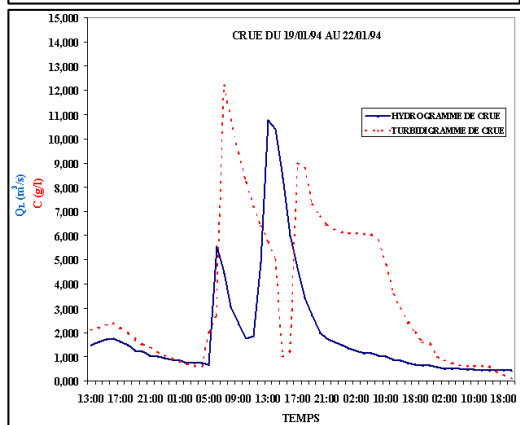
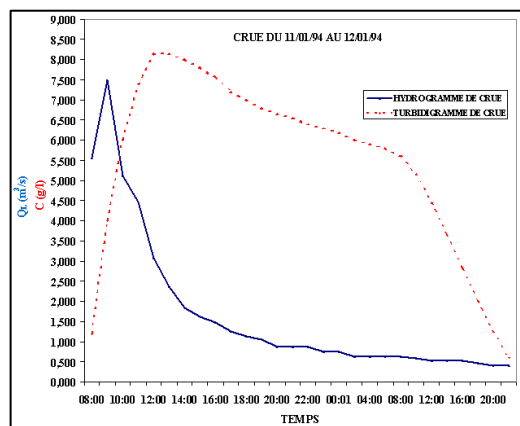
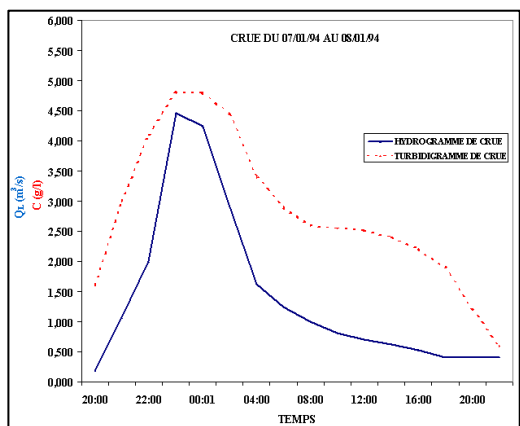
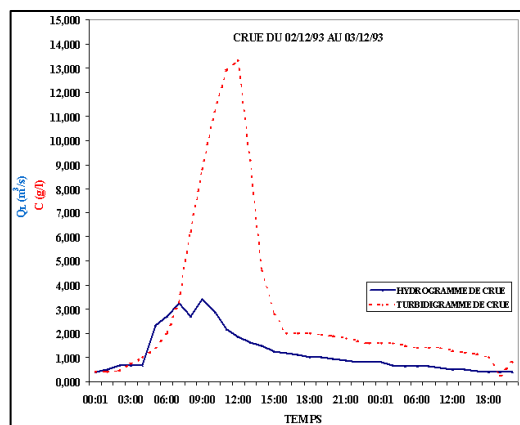
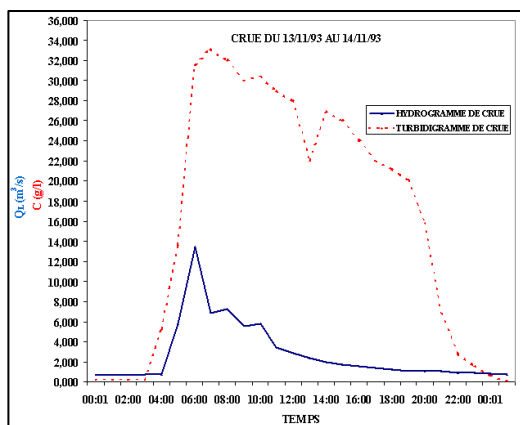


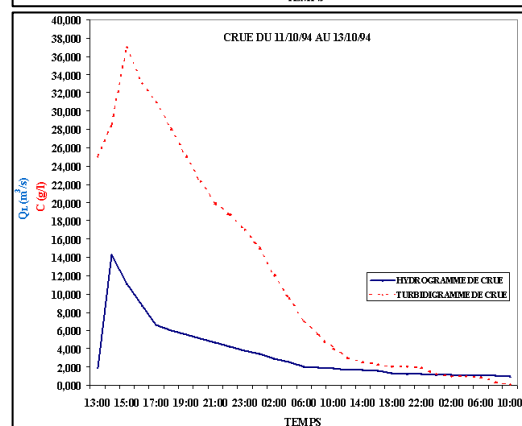
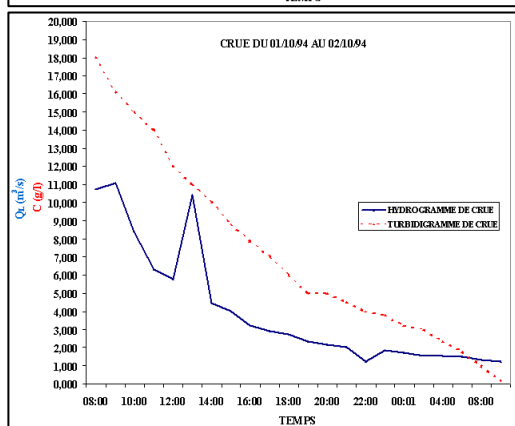
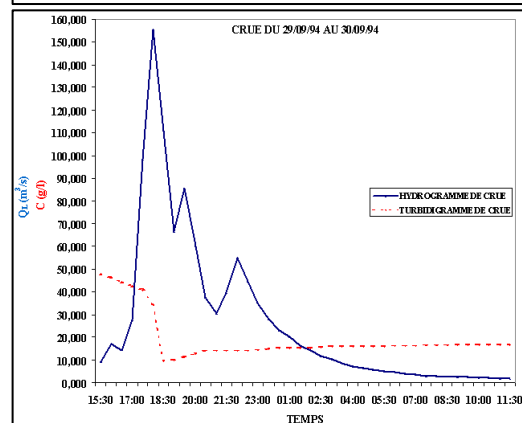
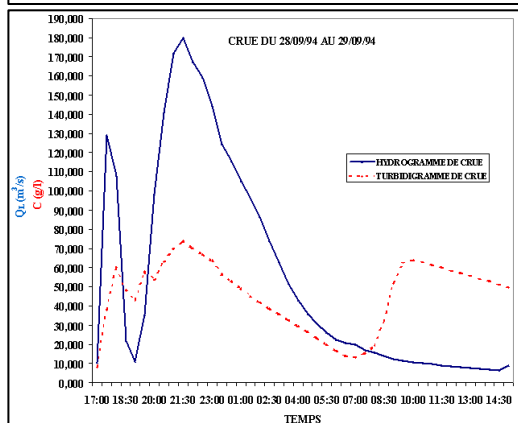
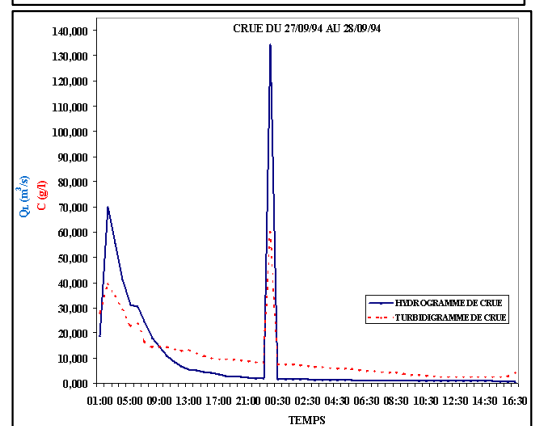
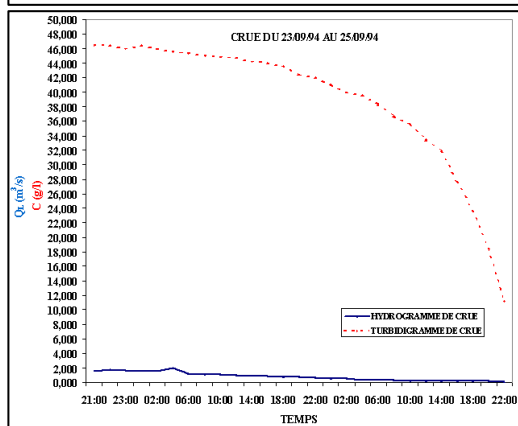
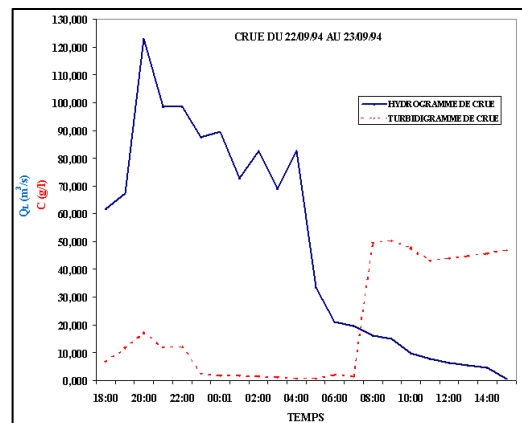
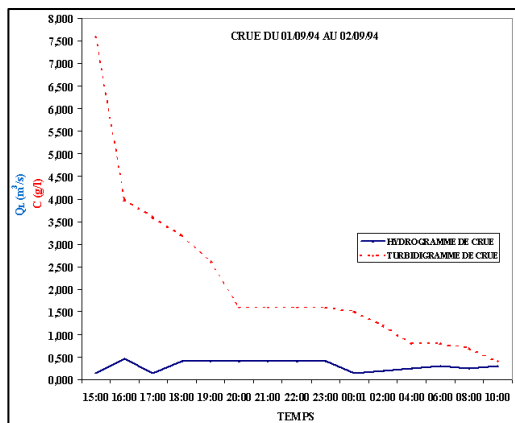


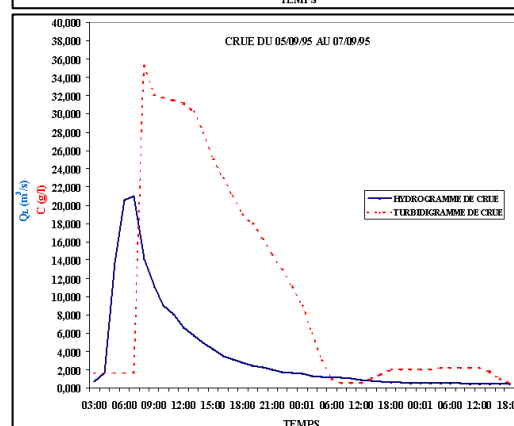
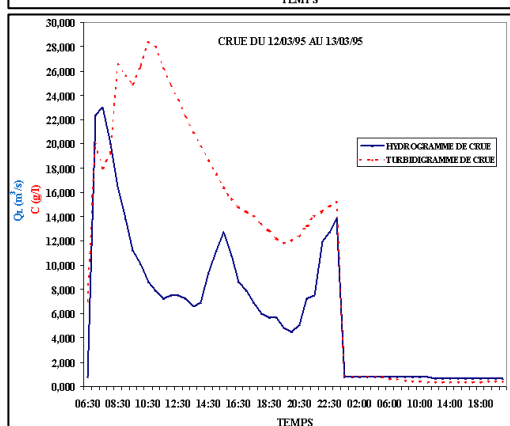
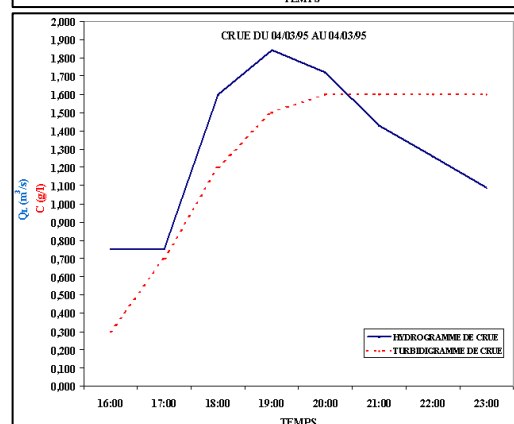
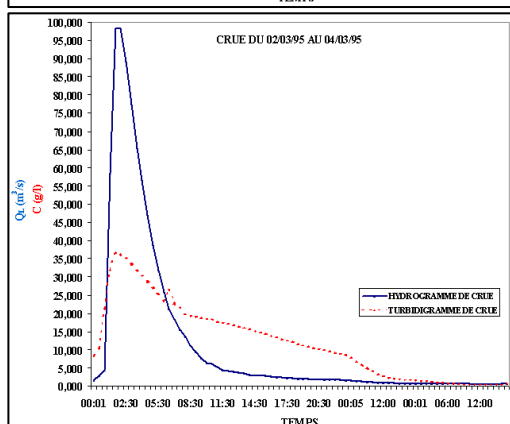
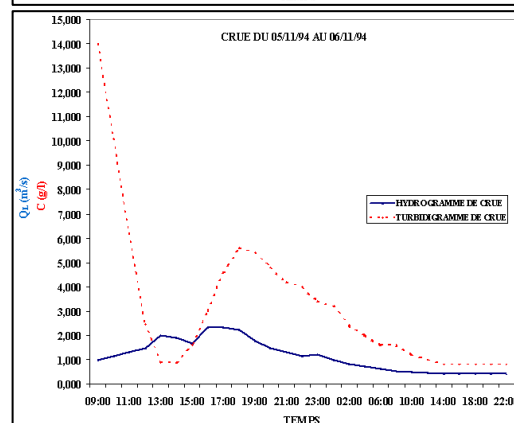
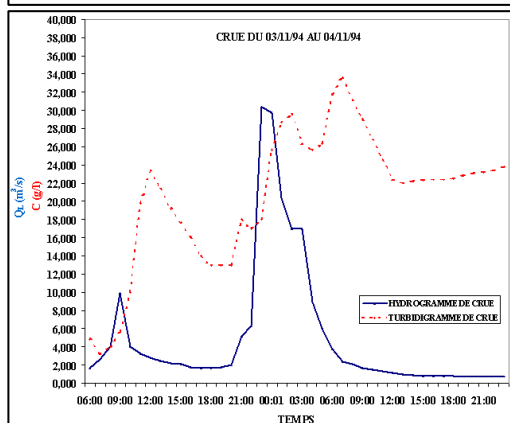
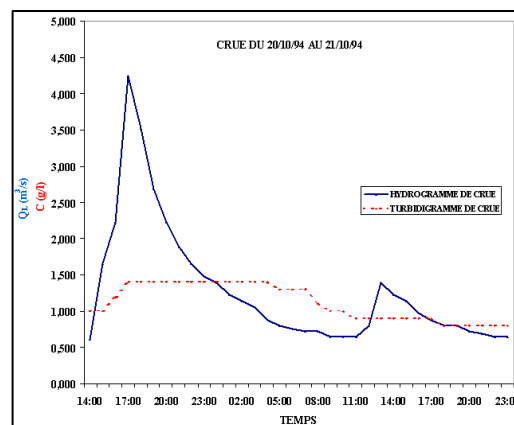
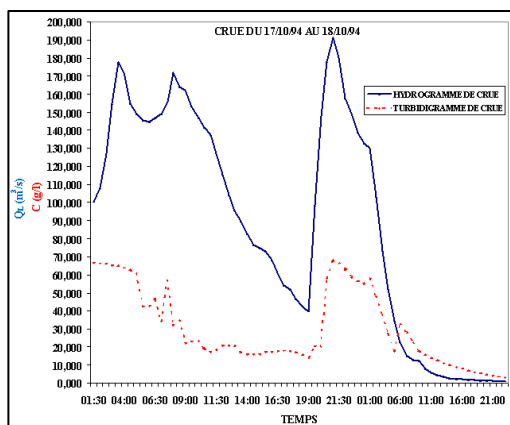


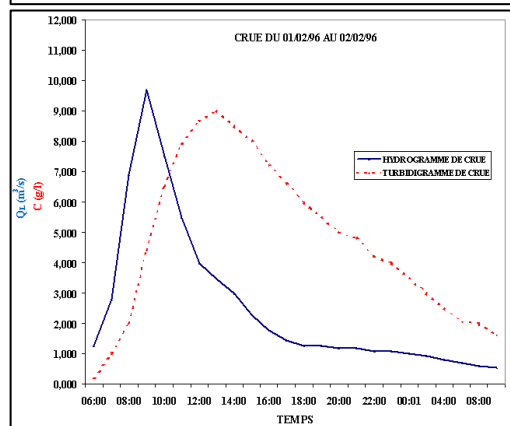
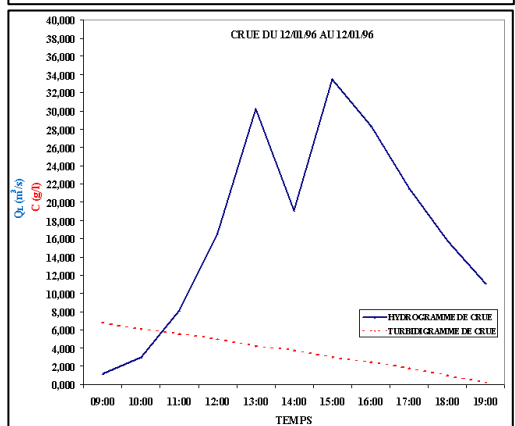
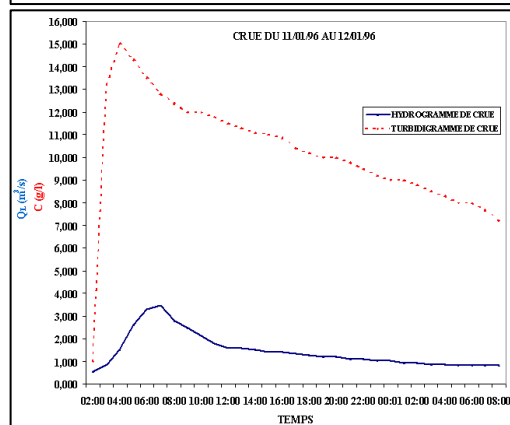
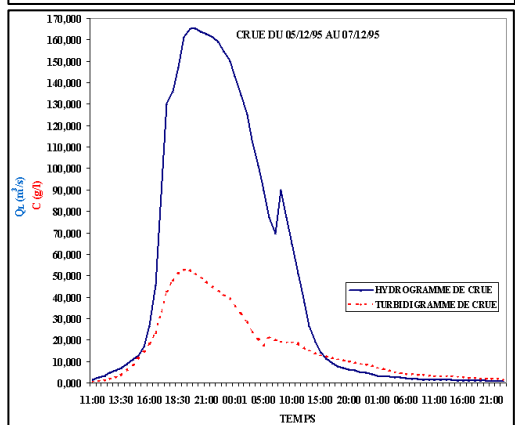
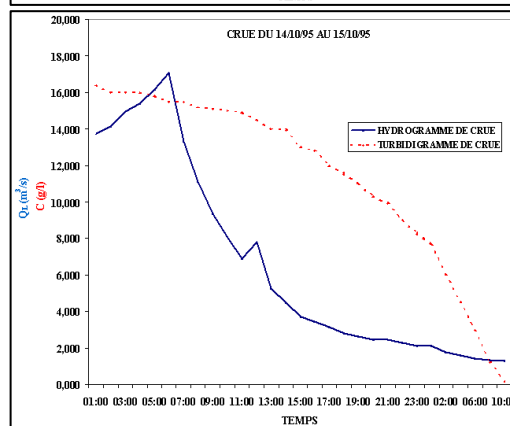
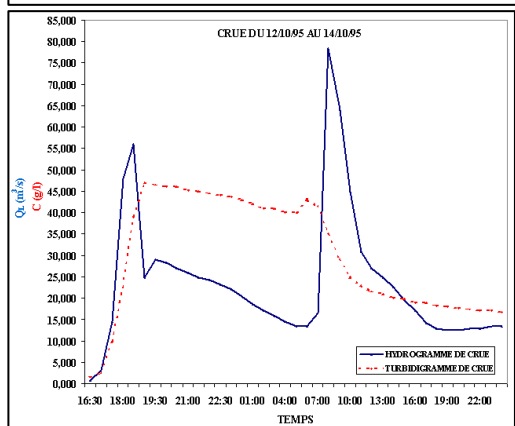
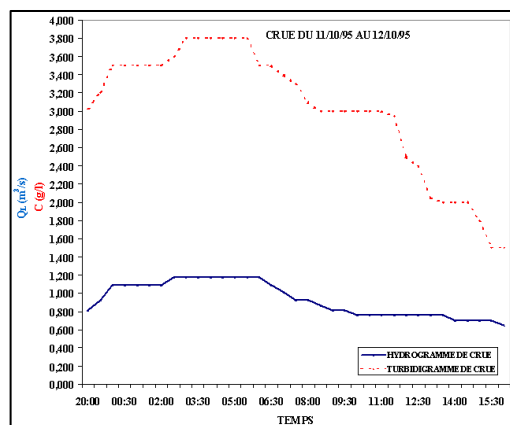
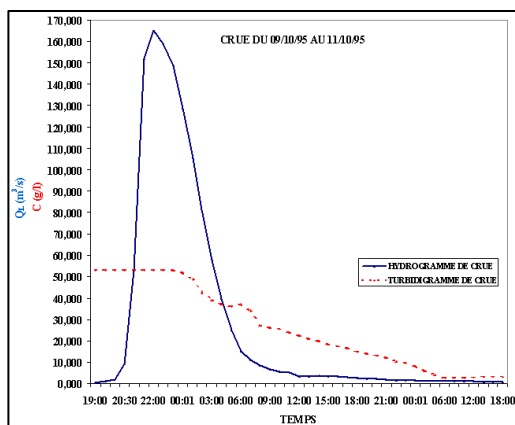


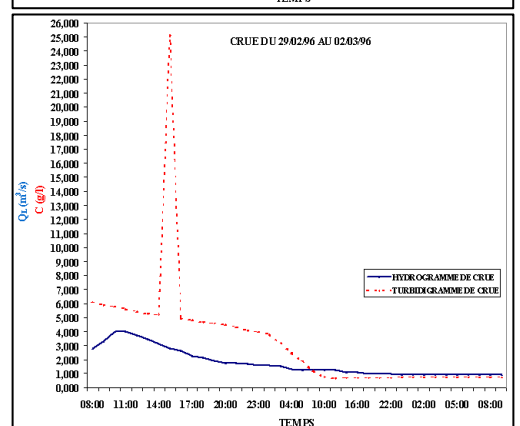
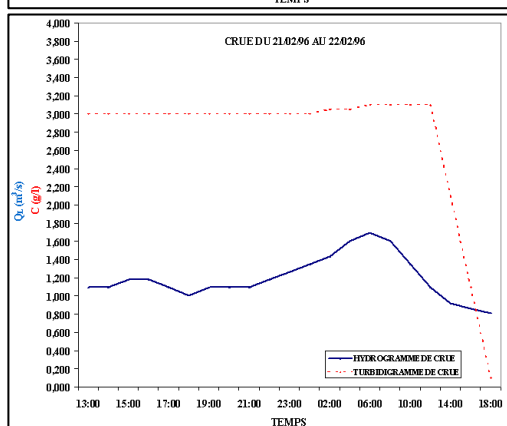
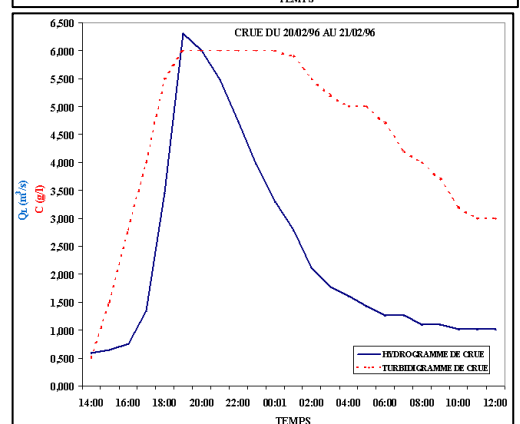
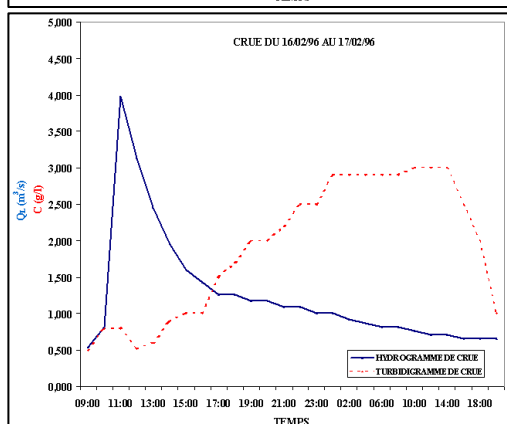
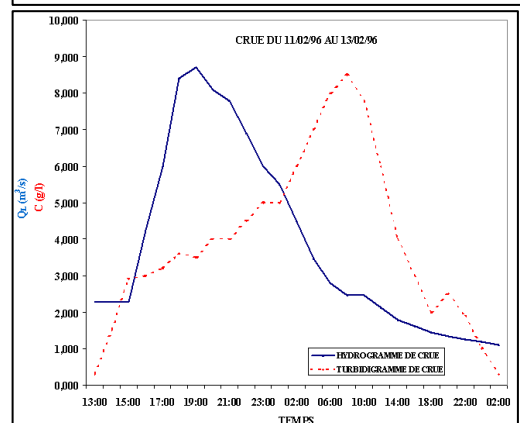
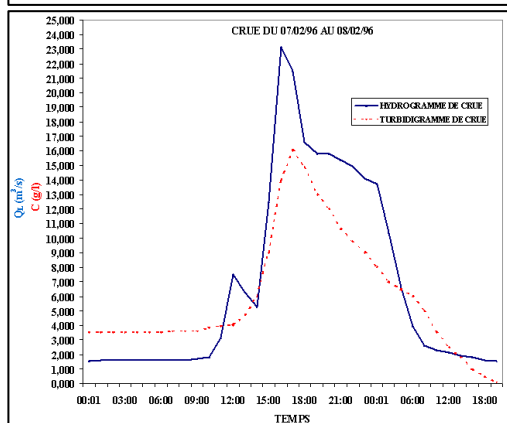
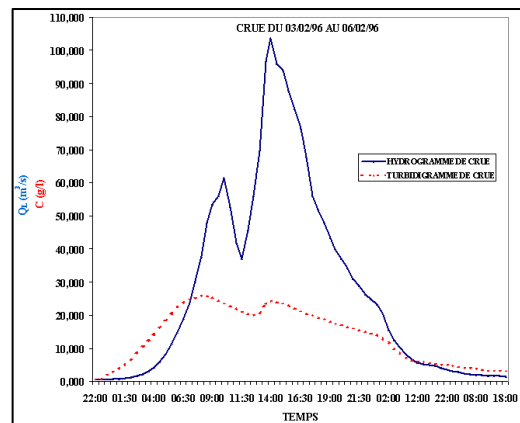
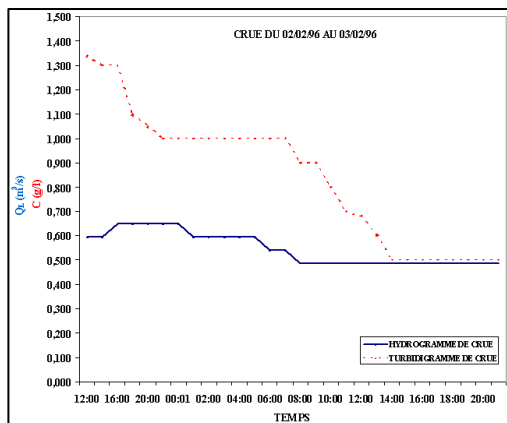


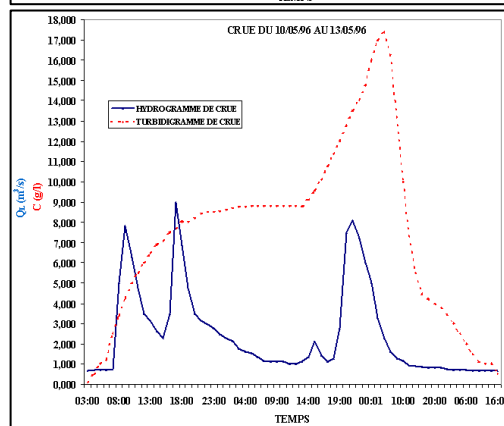
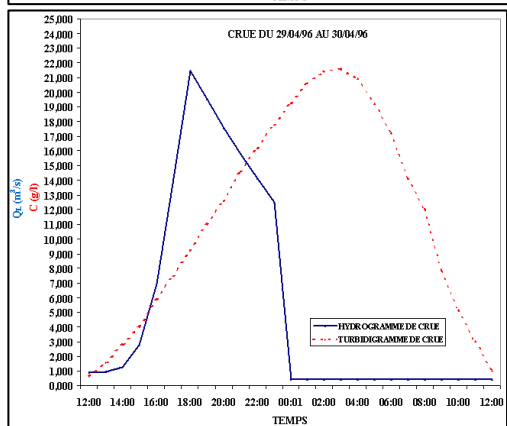
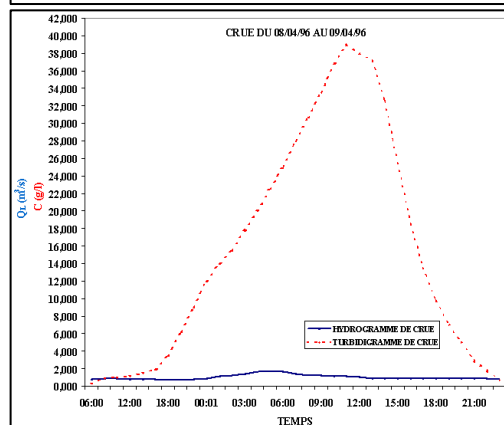
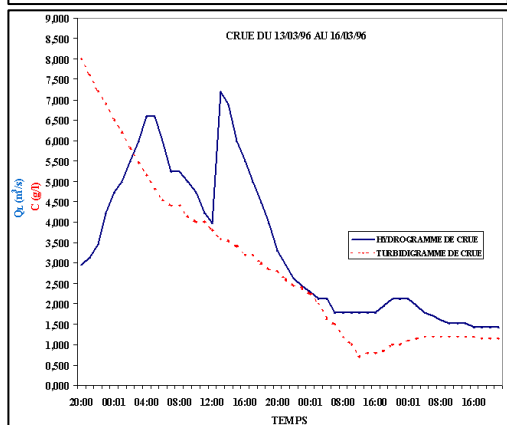
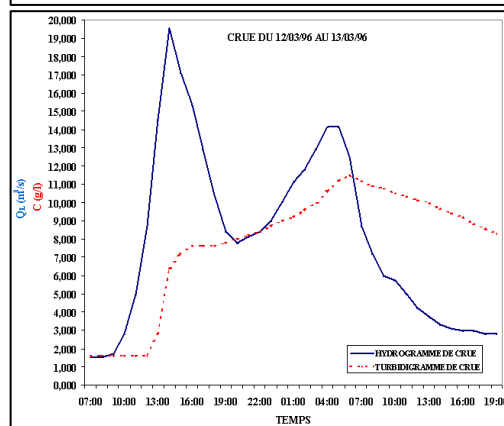
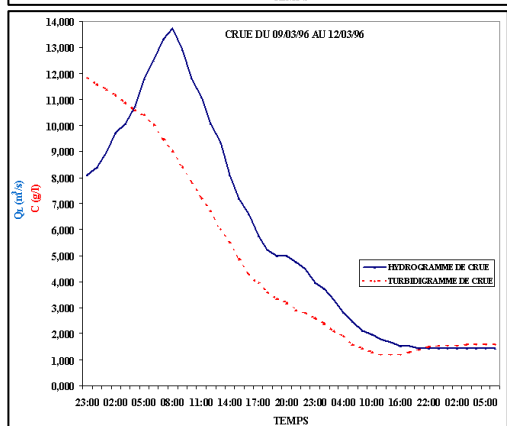
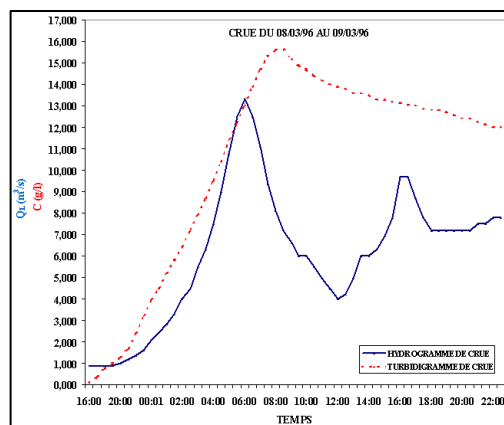
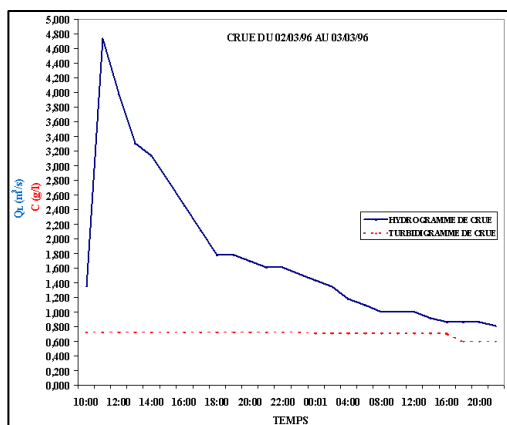


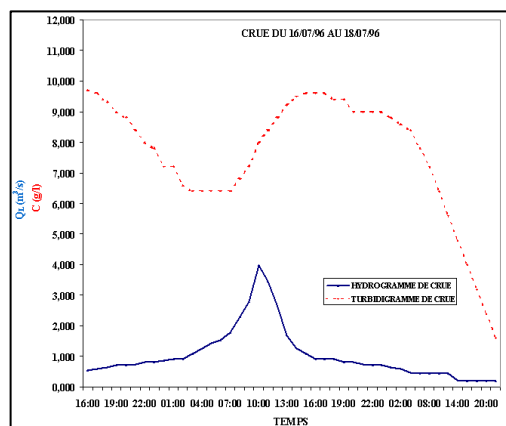
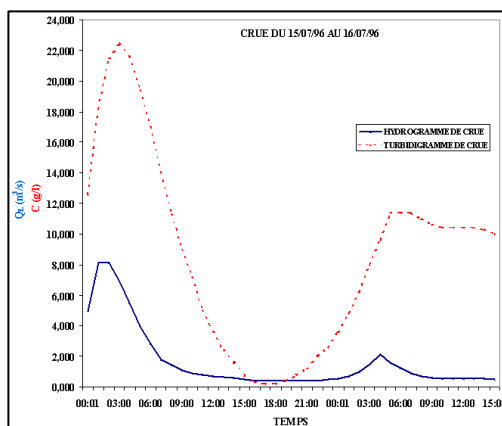
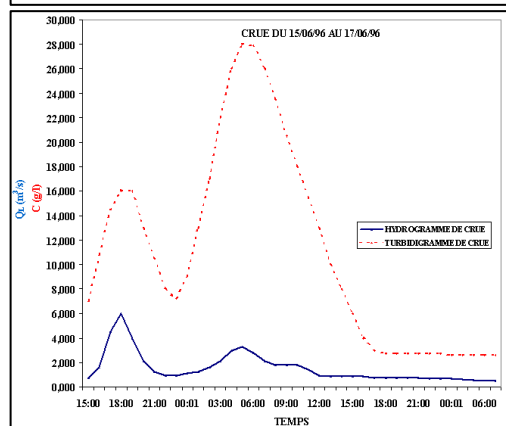
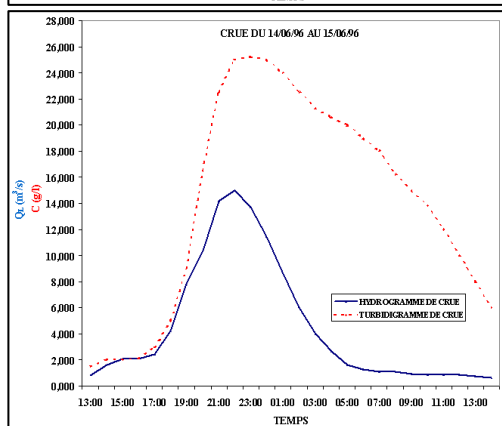
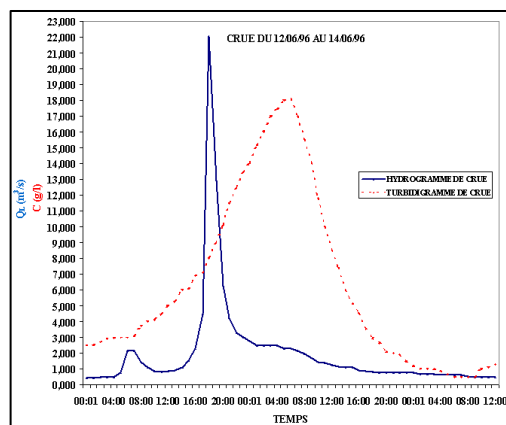
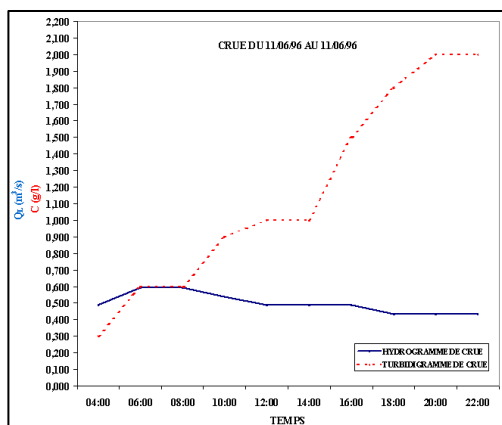




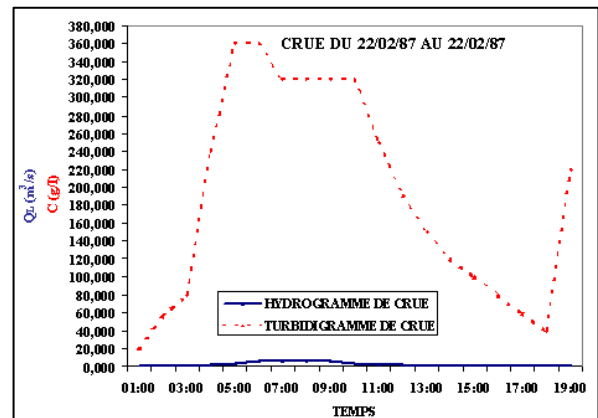
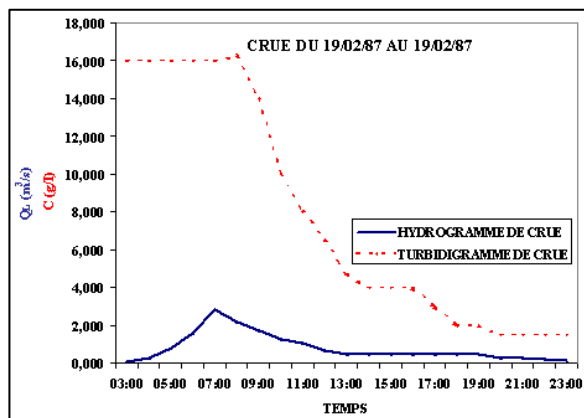
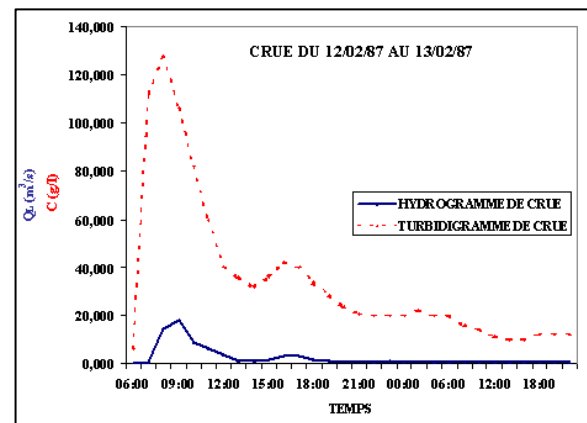
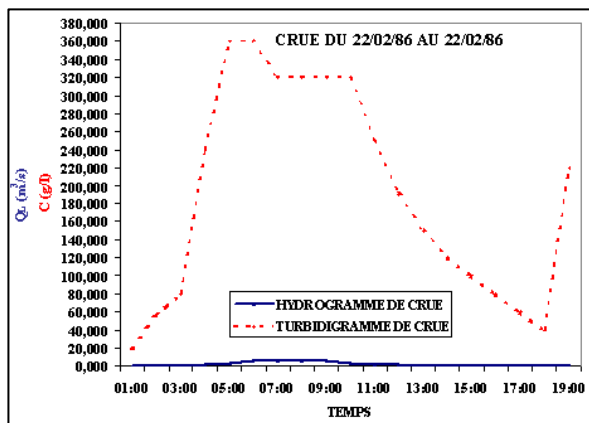
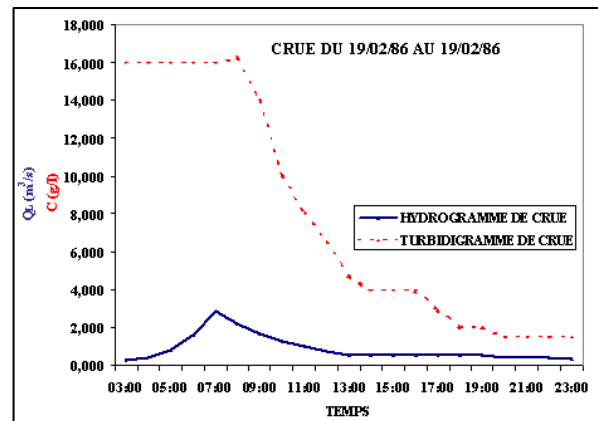
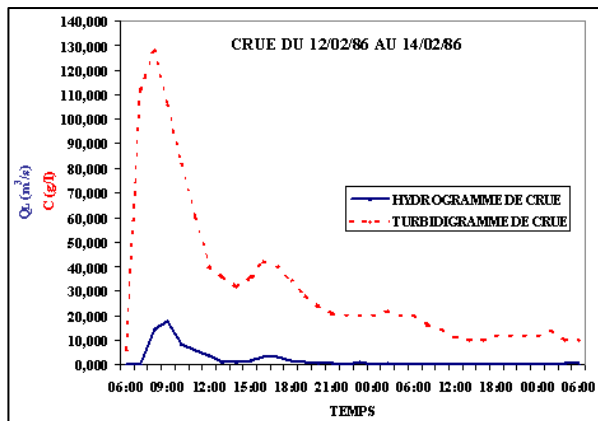


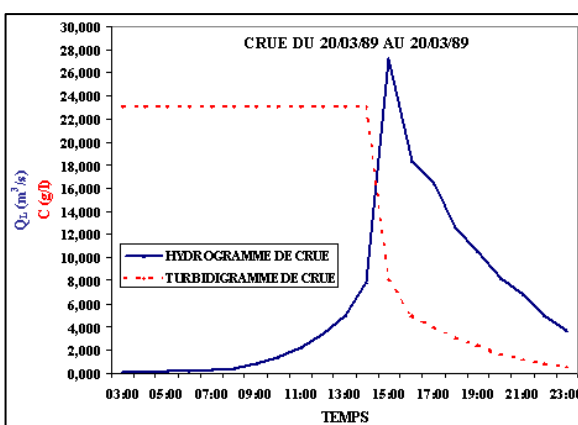
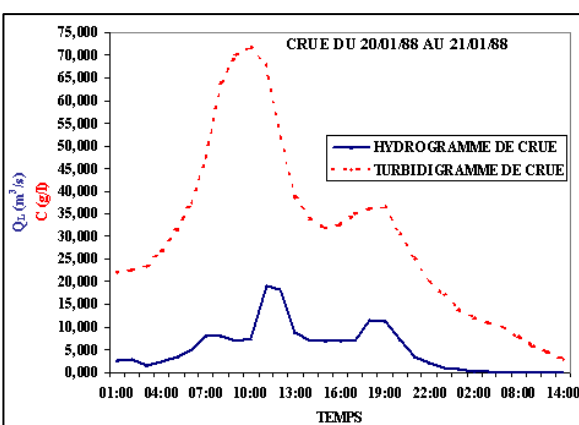
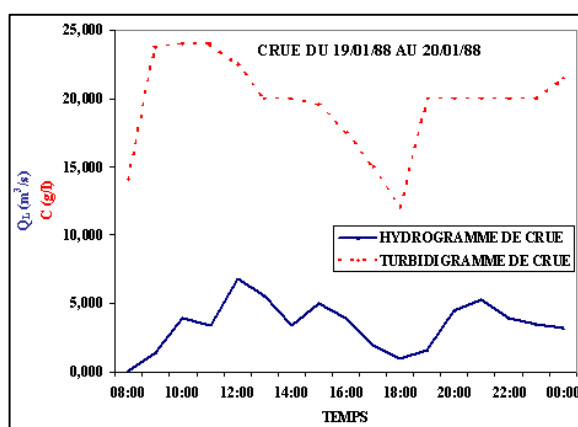
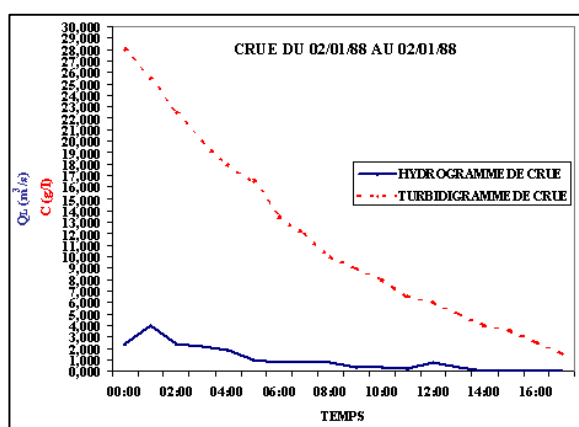
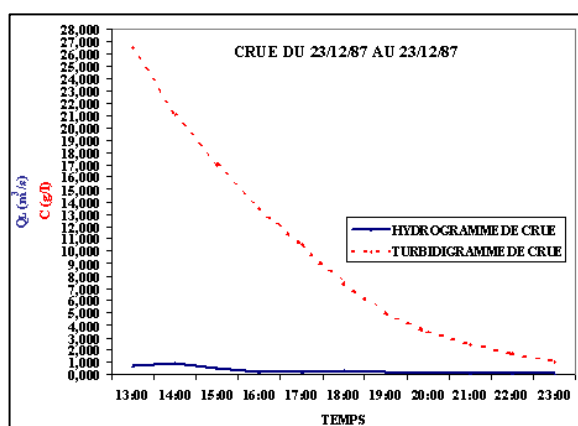
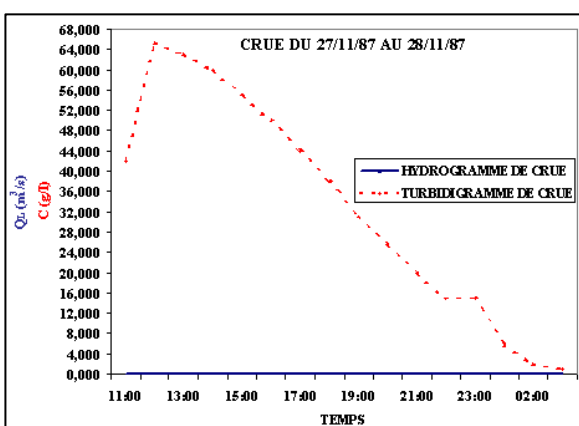
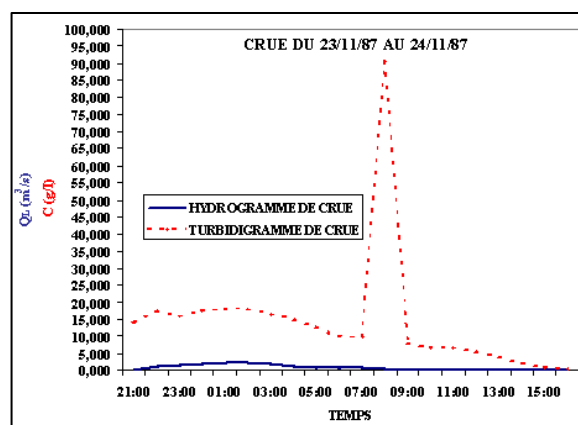
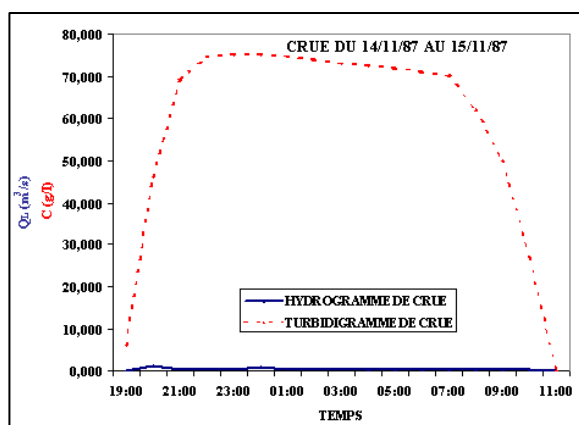


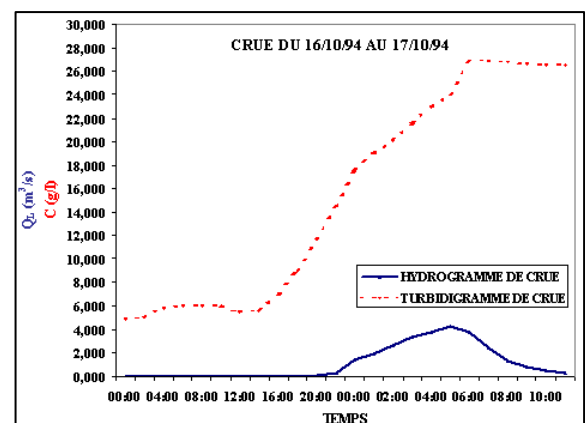
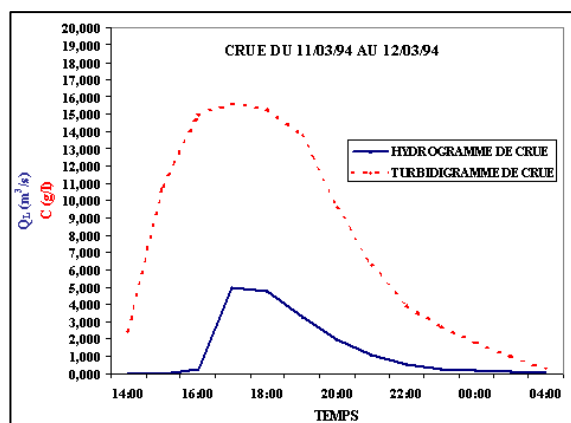
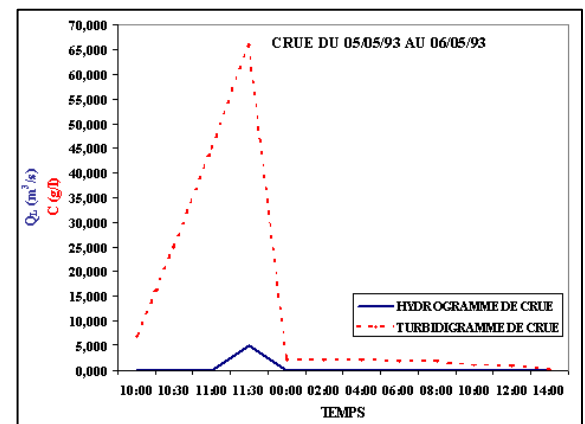
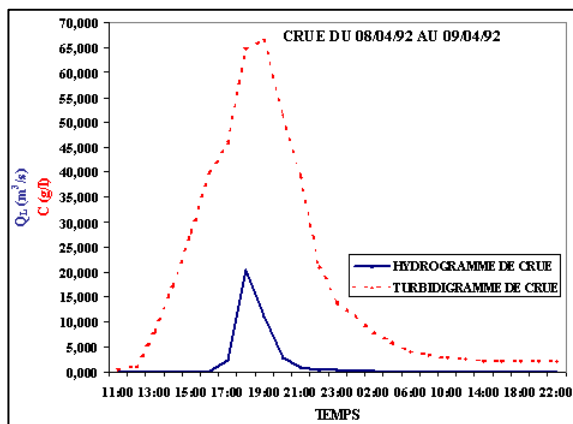
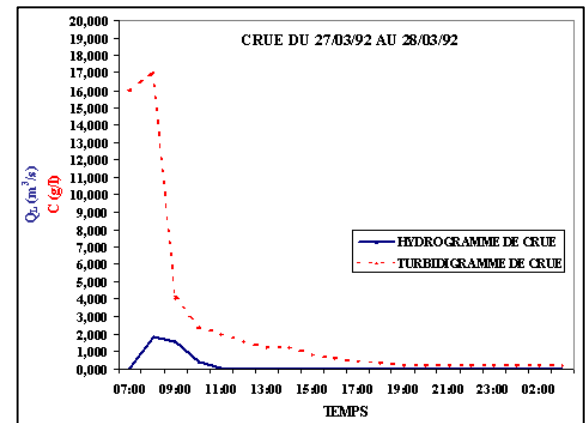
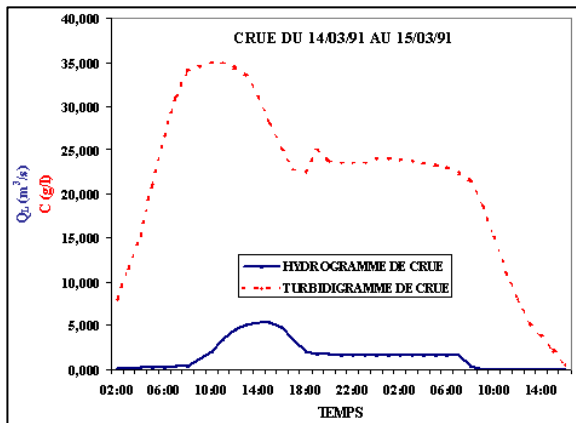
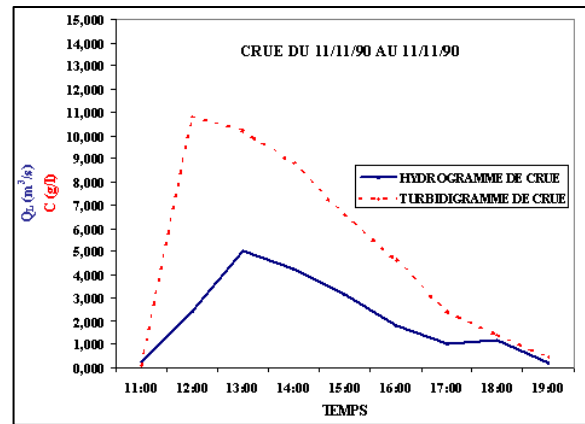
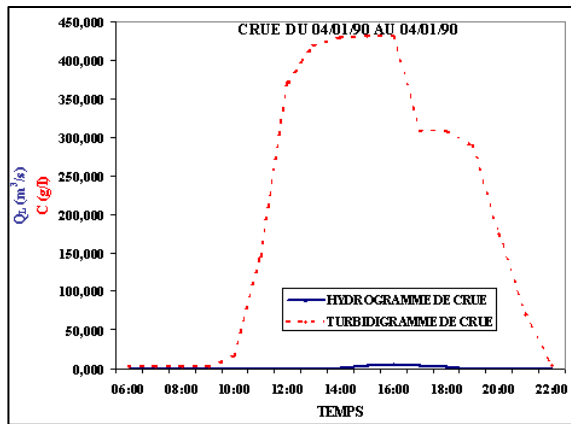


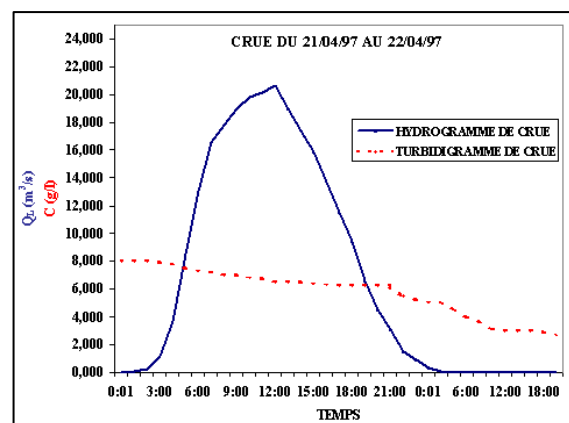
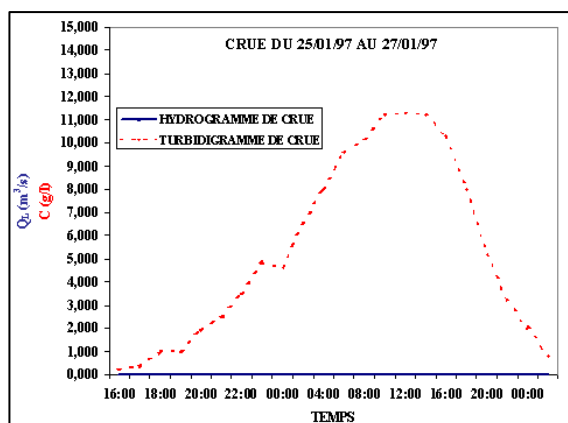
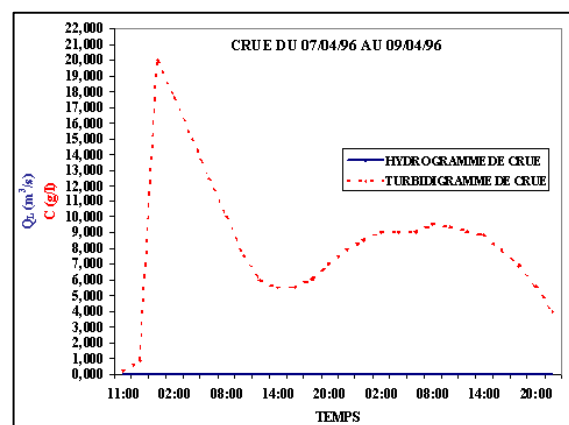
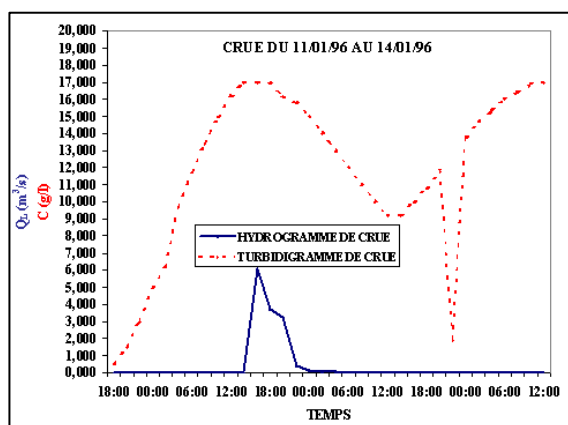
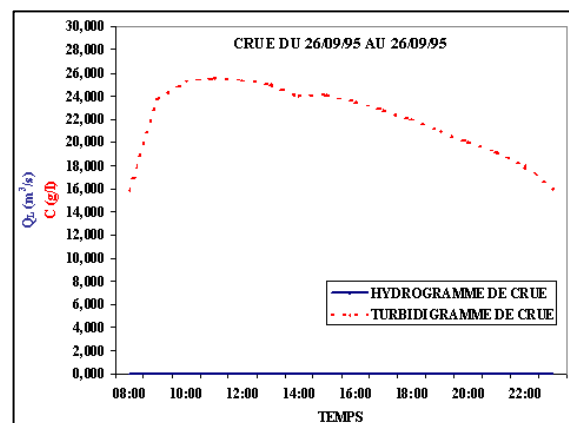
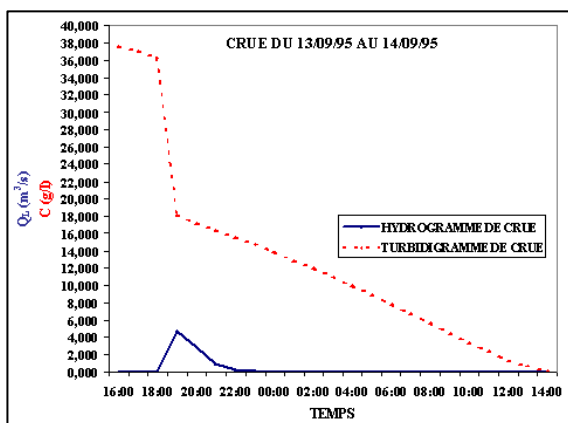
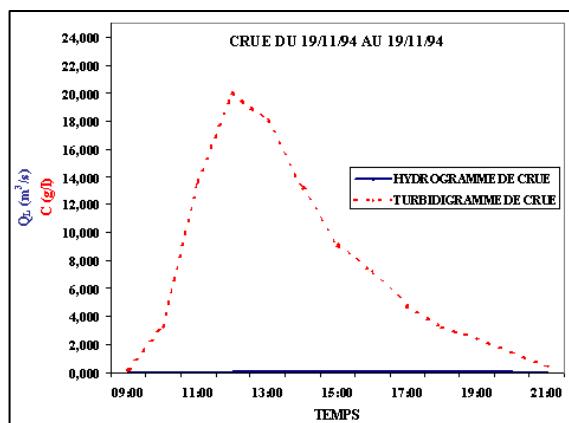
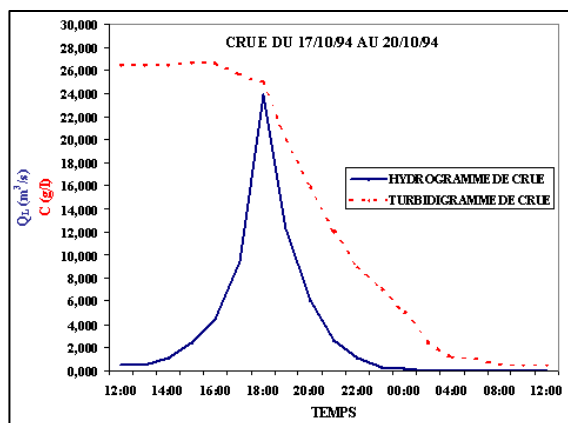


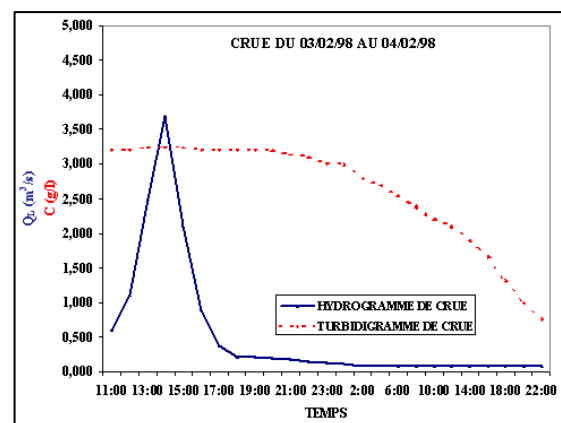
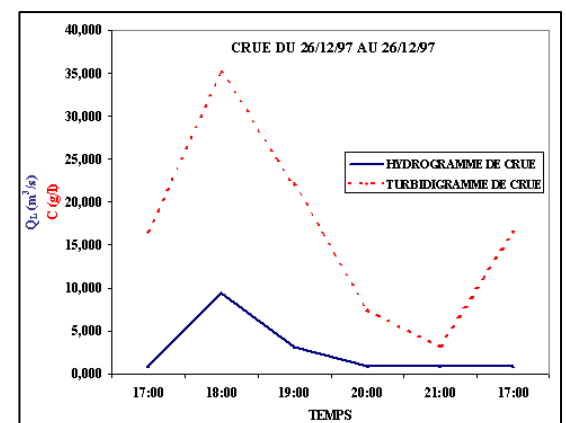
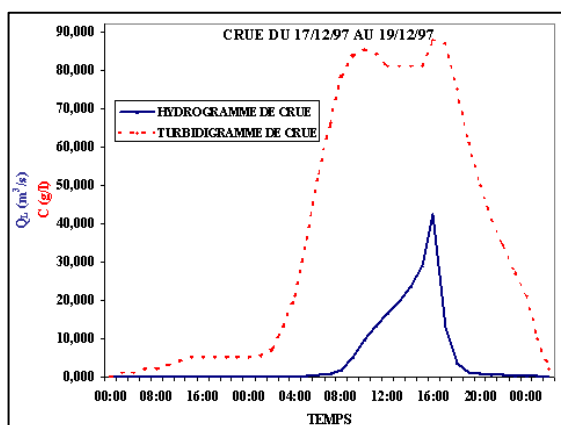
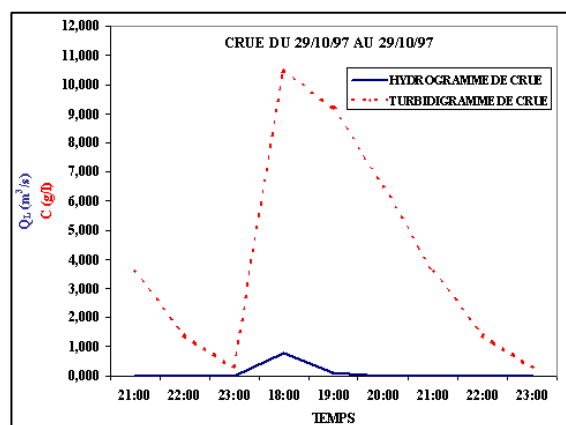
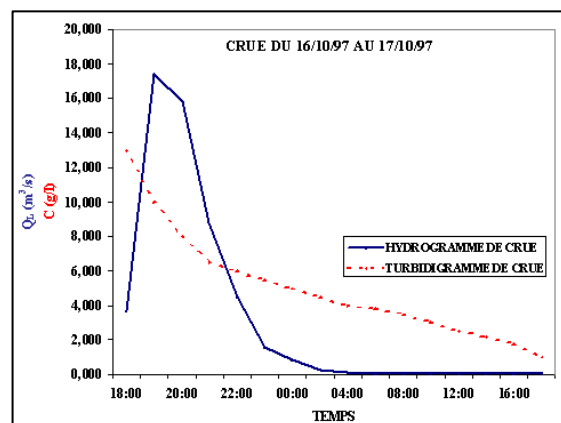
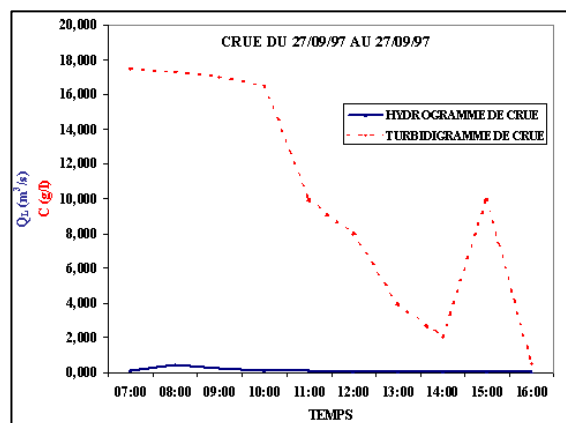
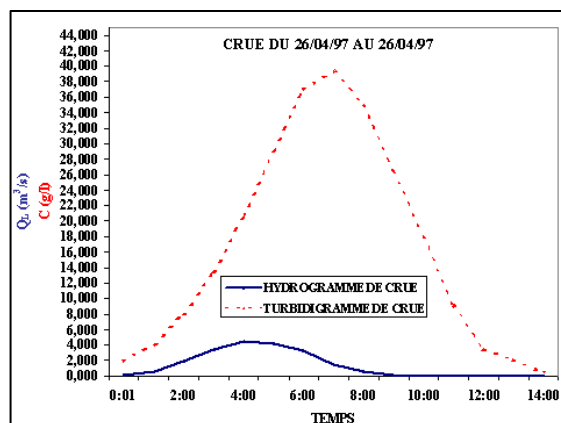
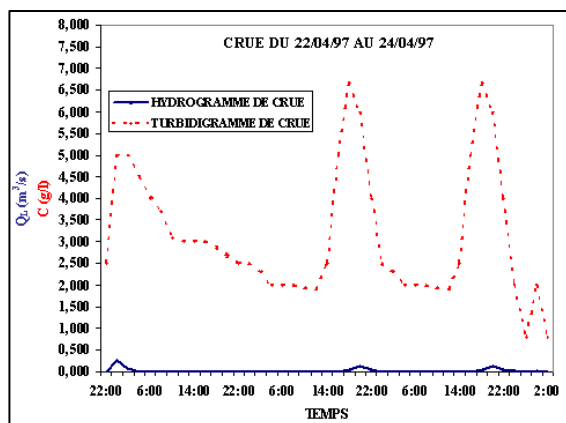
3- Hydrogrammes de crue – Turbidigrammes « Station Khalouia »

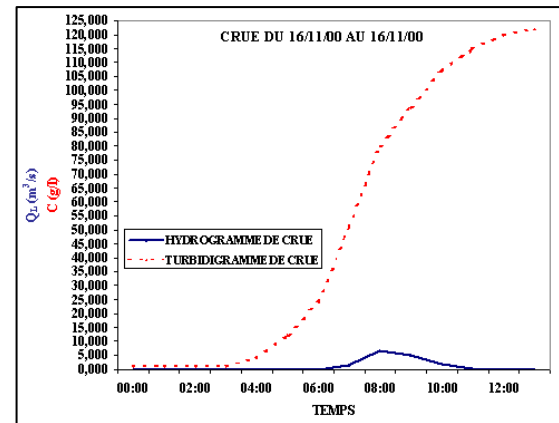
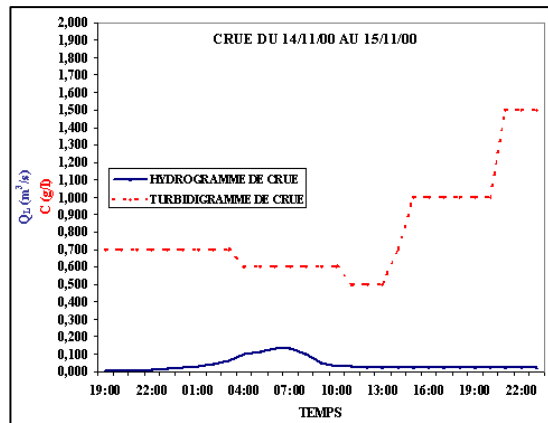
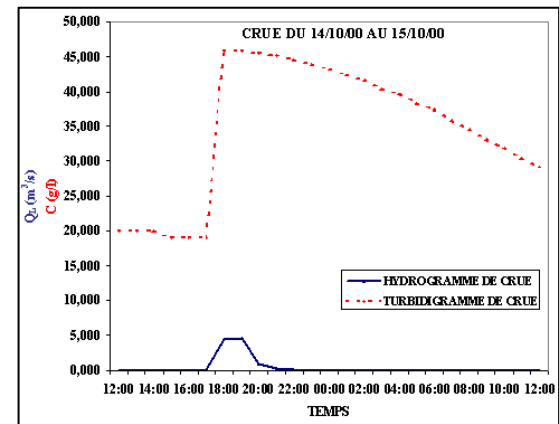
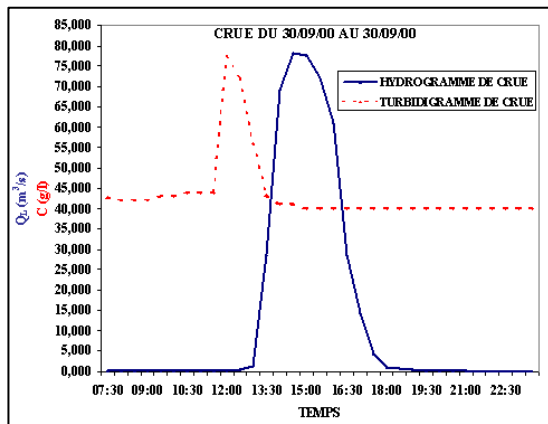
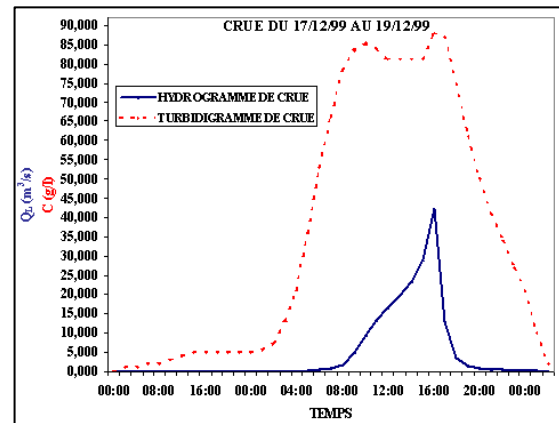
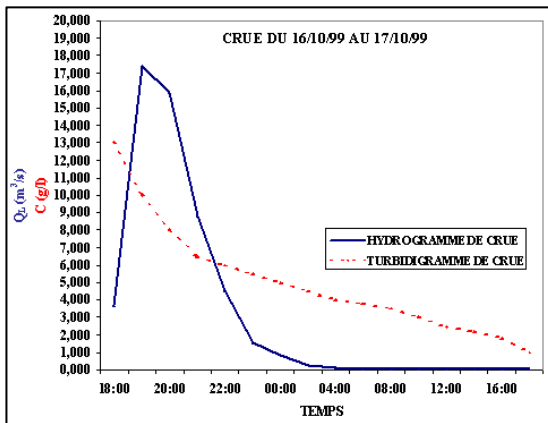
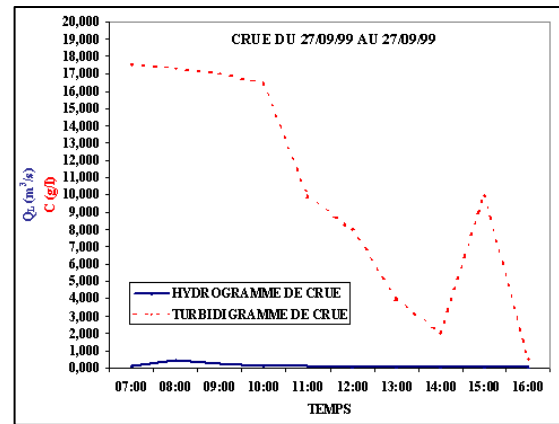
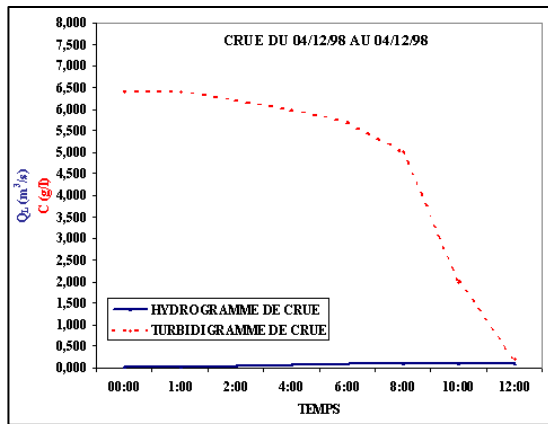


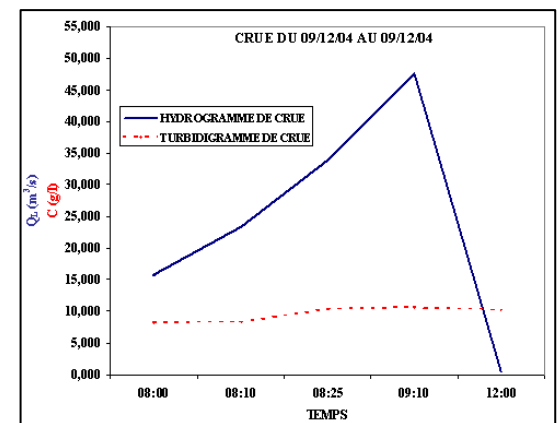
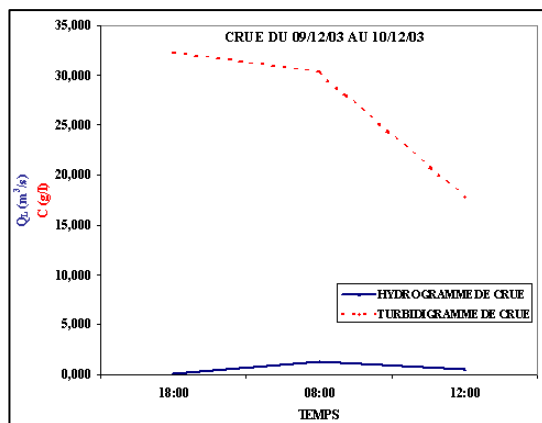
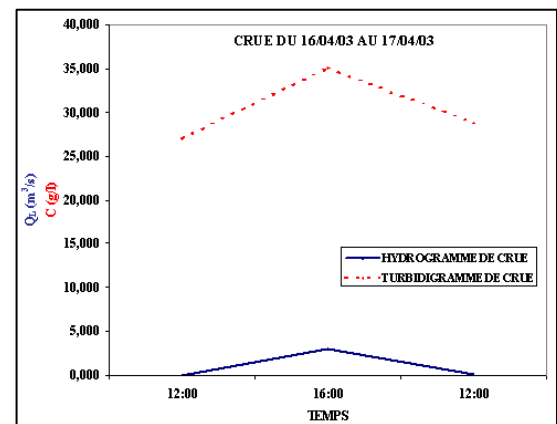
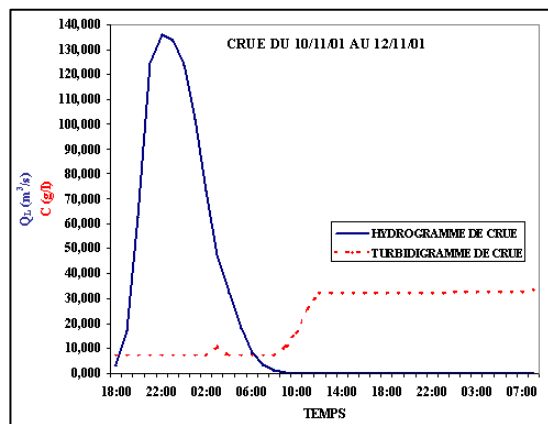
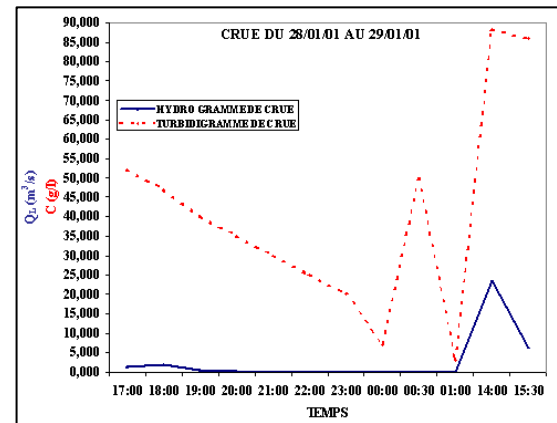
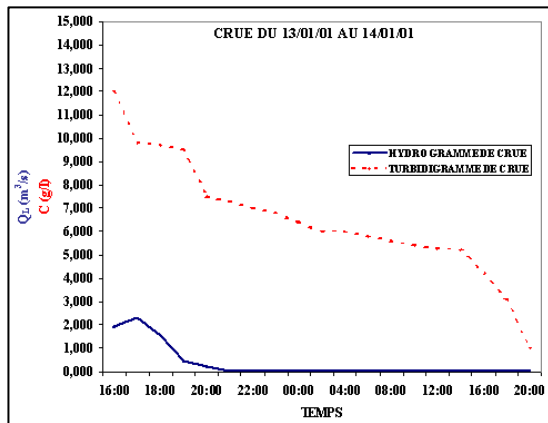
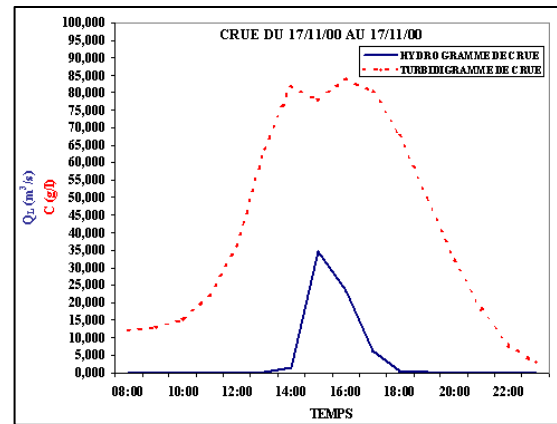
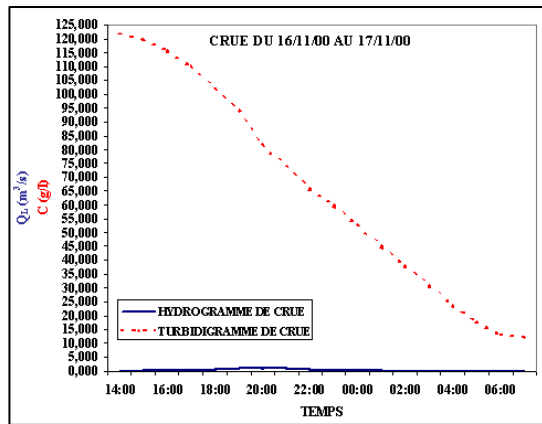


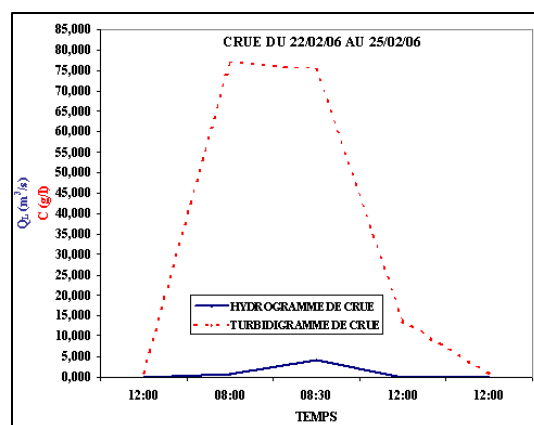




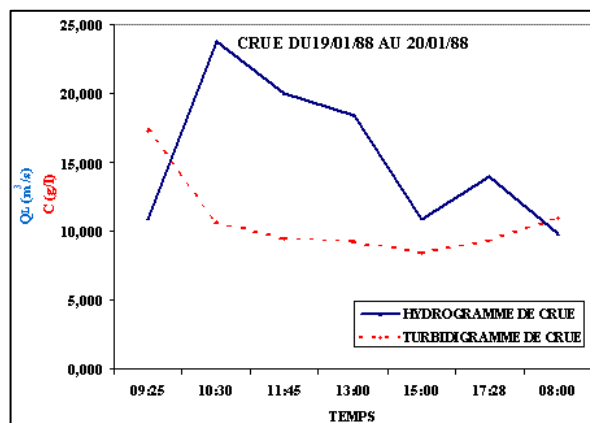
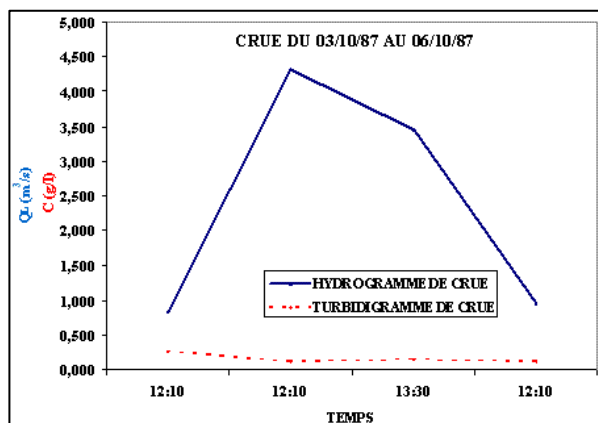
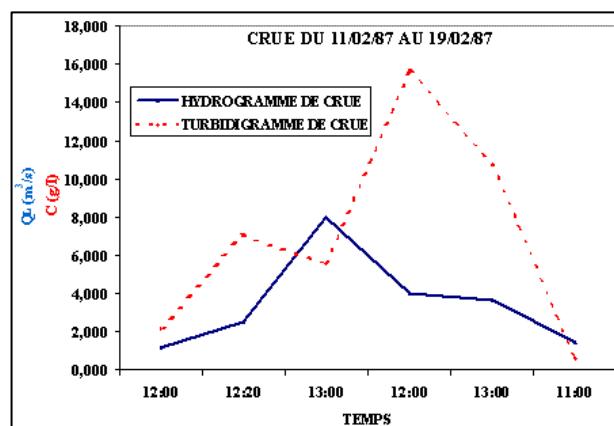
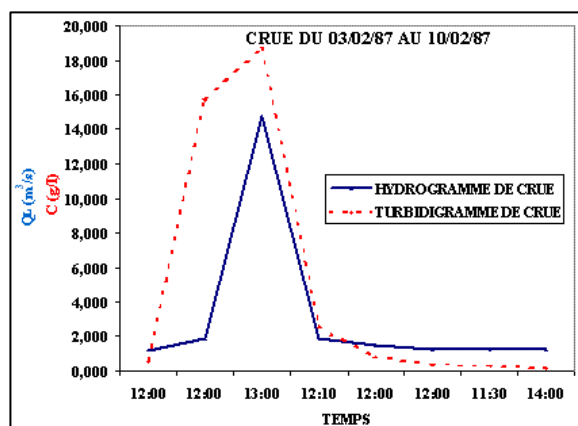
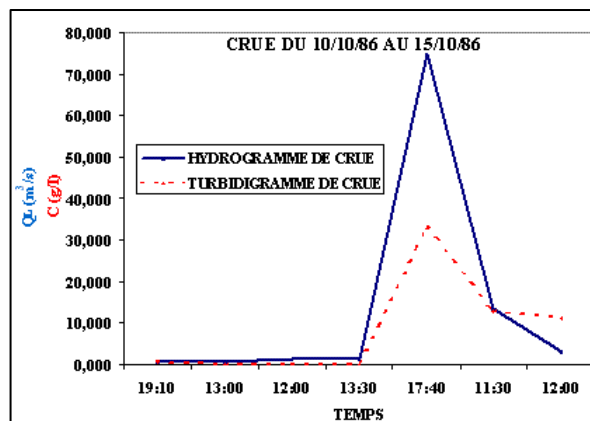
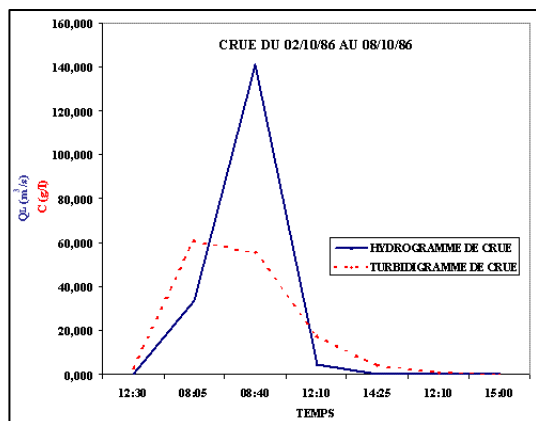


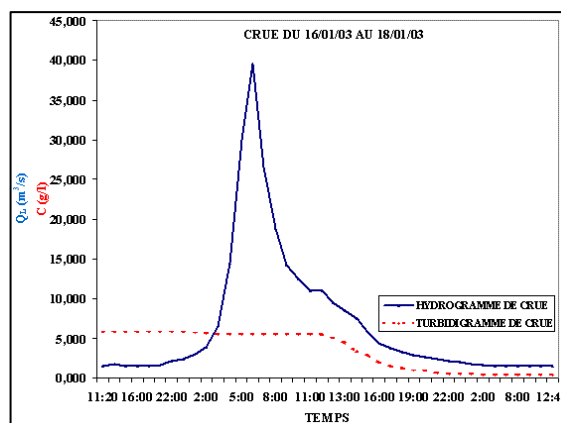
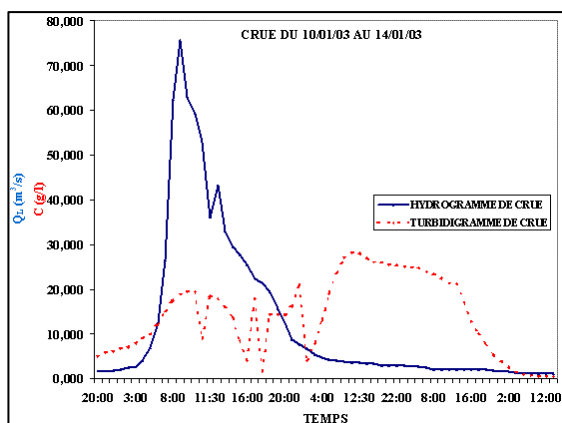
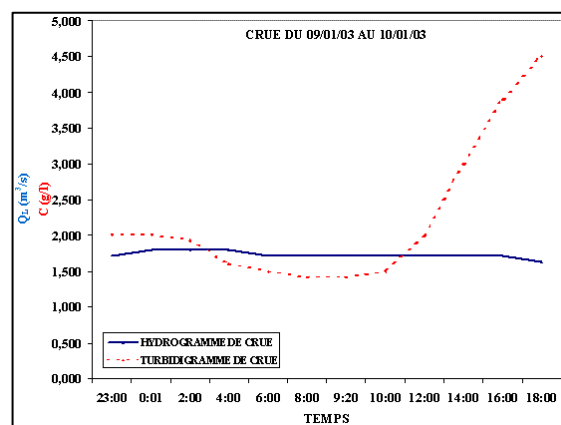
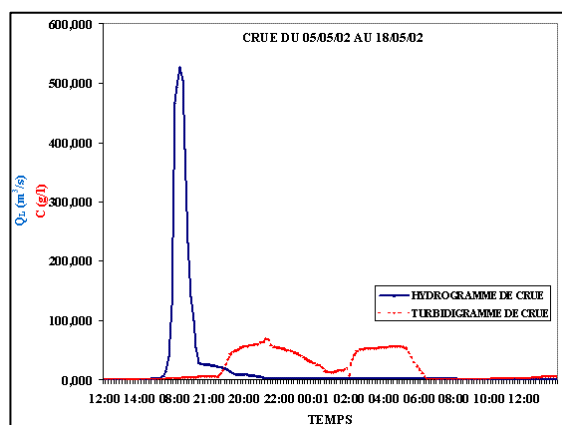
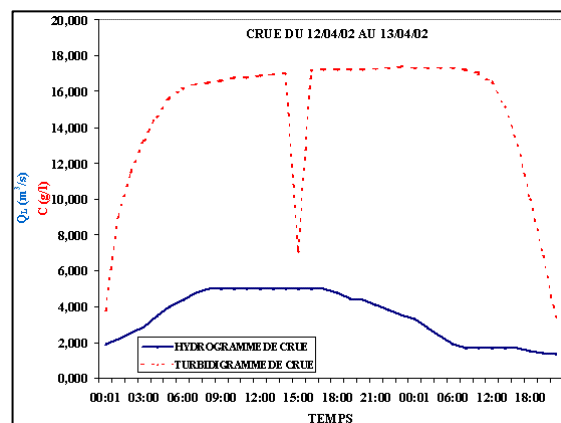
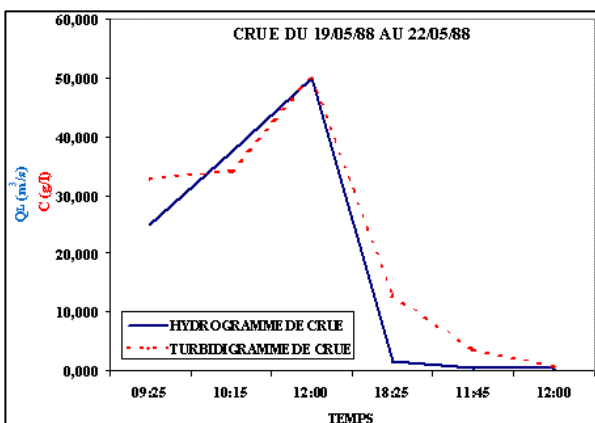
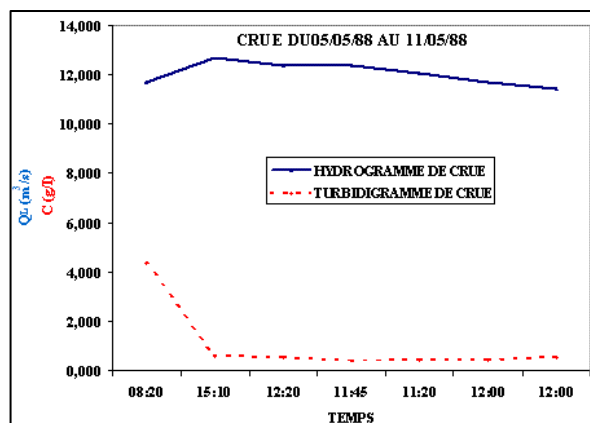
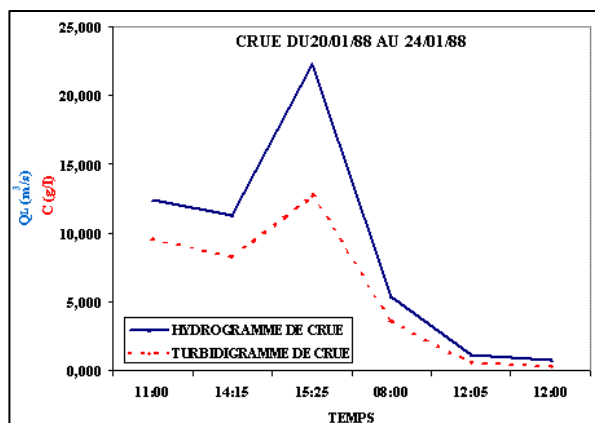


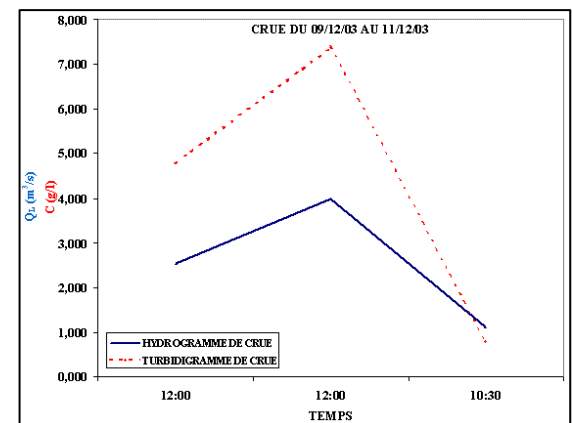
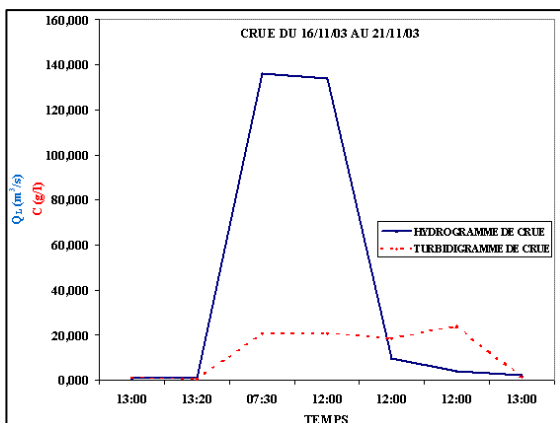
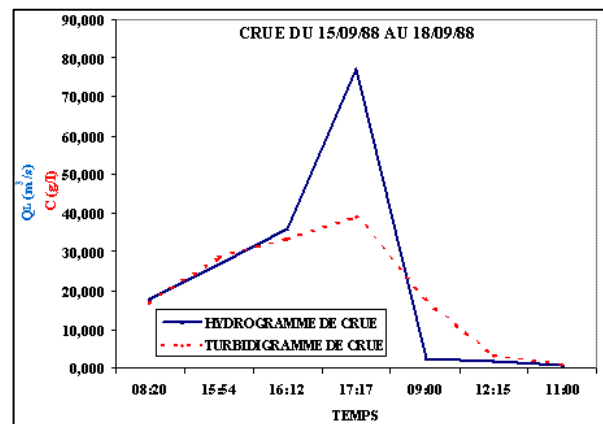
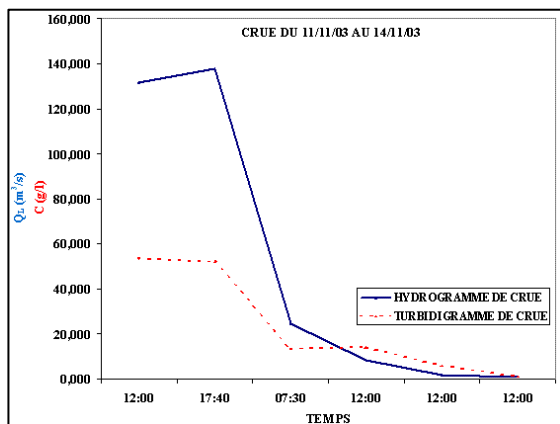
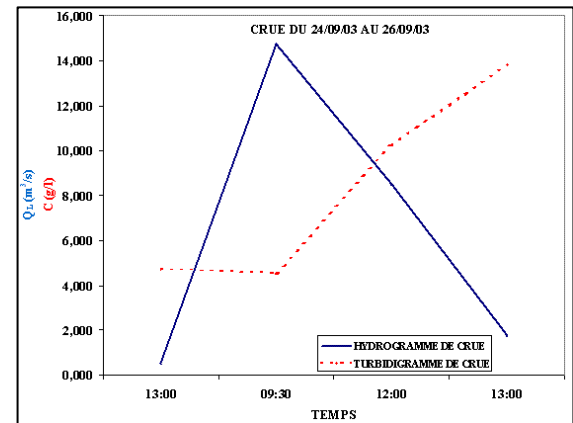
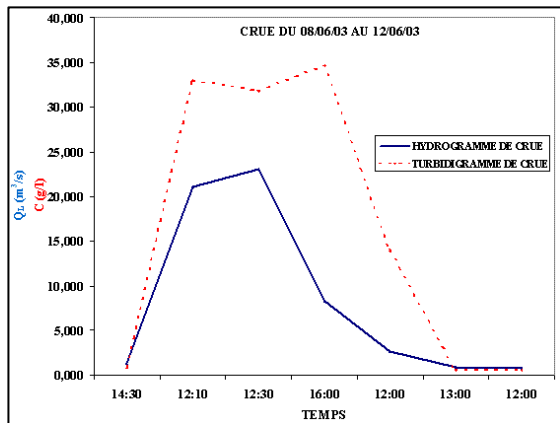
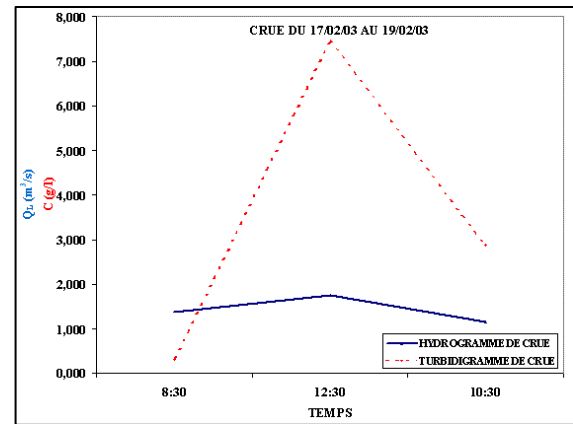
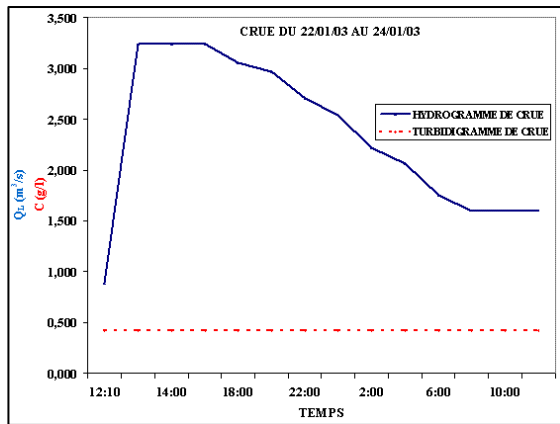


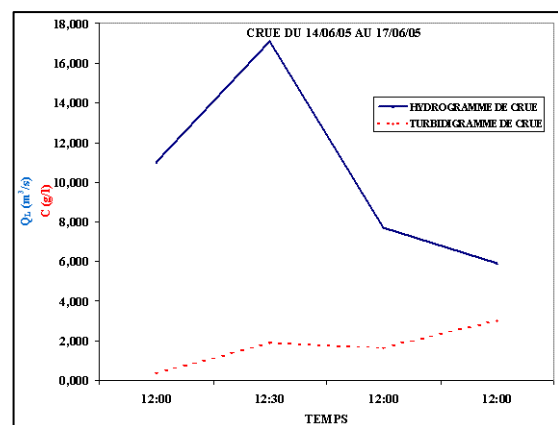
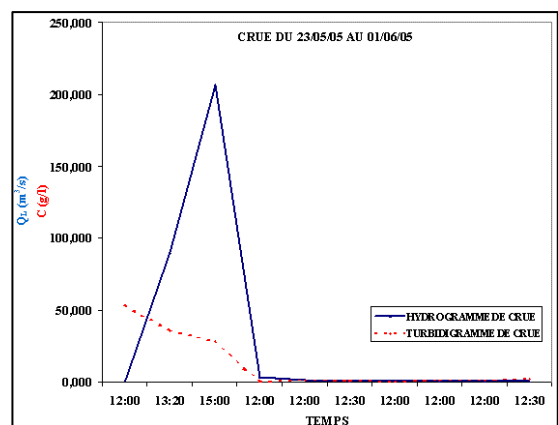
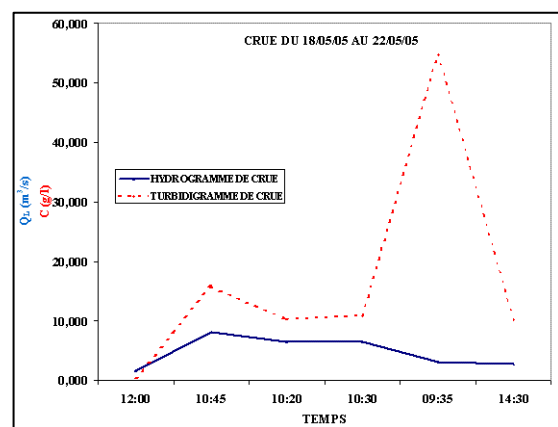
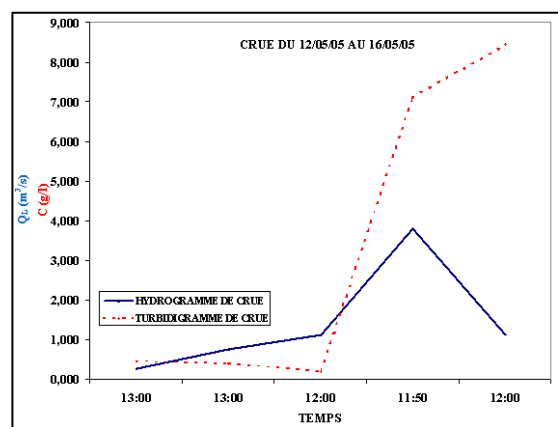
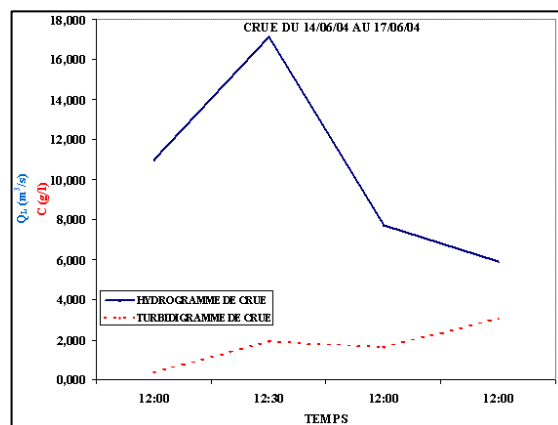
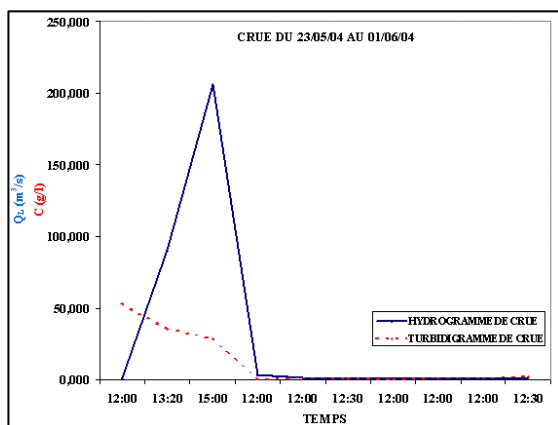
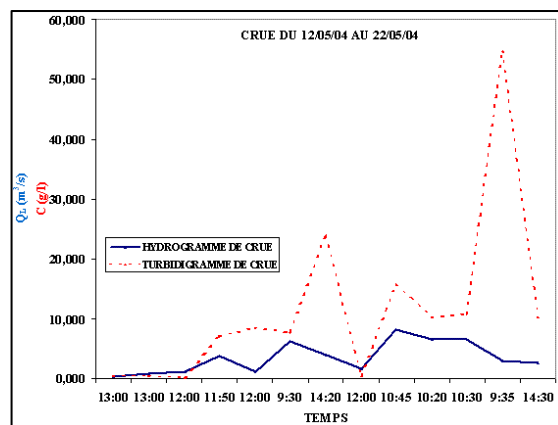
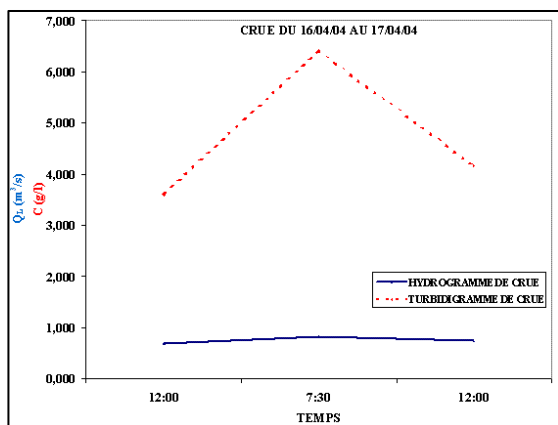


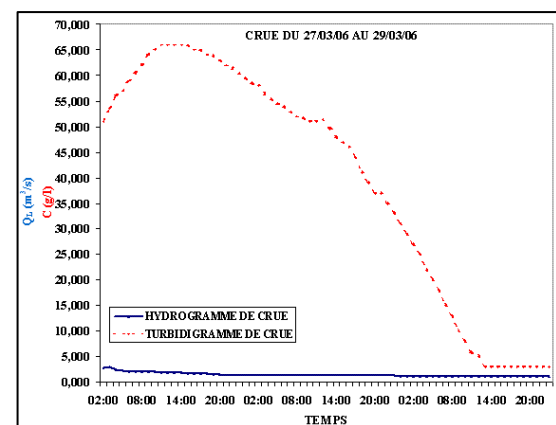
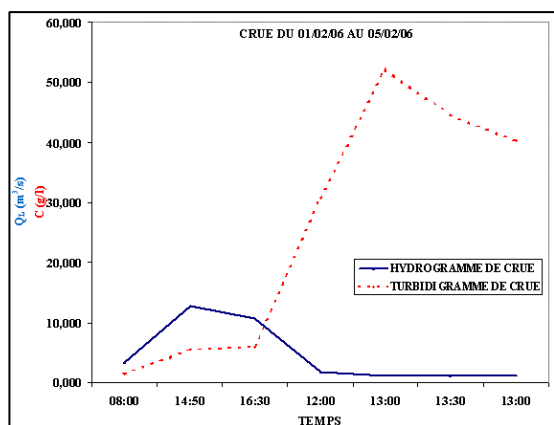
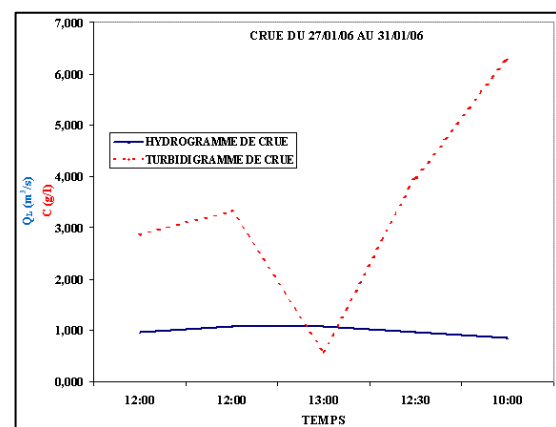
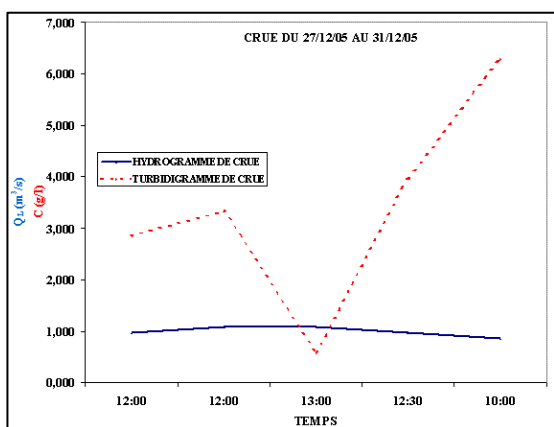
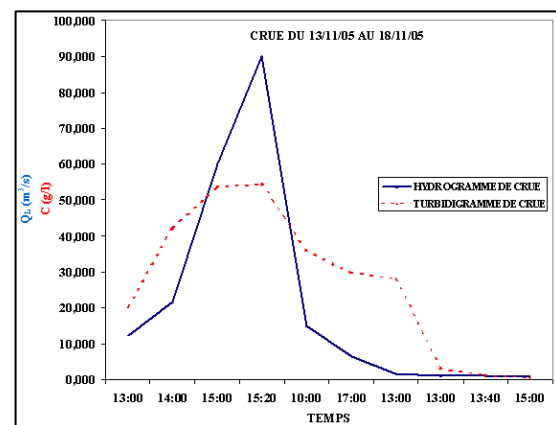
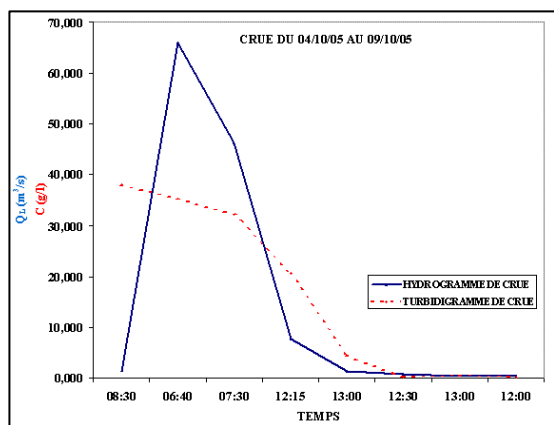
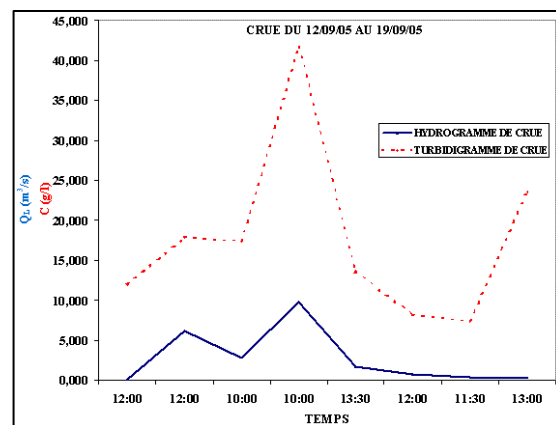
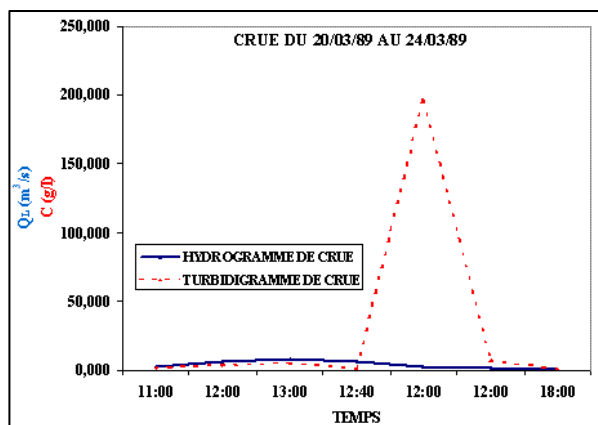
4- Hydrogrammes de crue – Turbidigrammes « Station Trois Rivières »

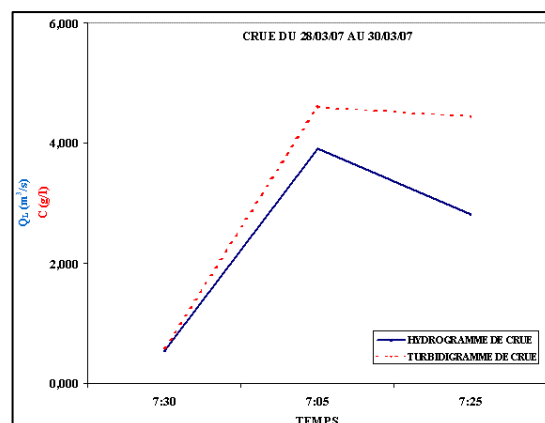
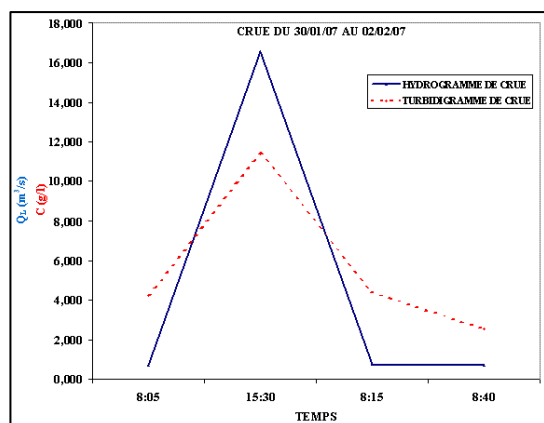
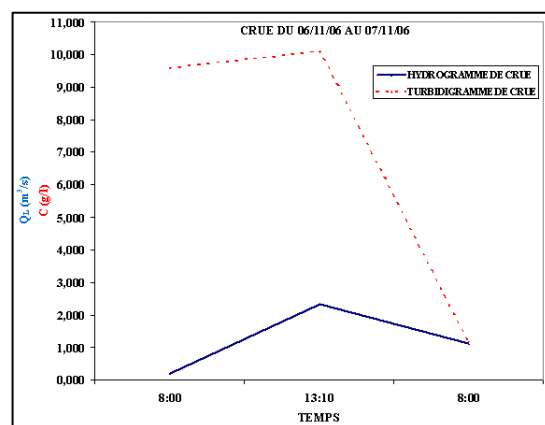
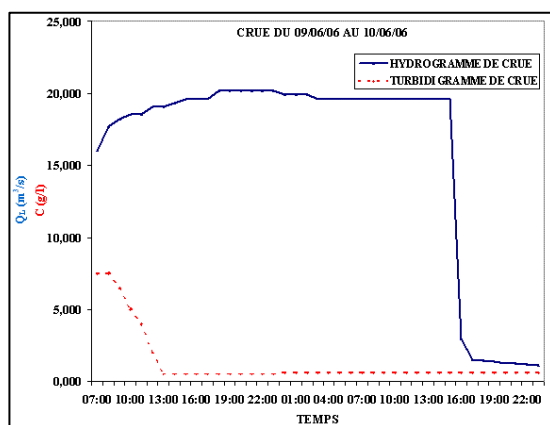
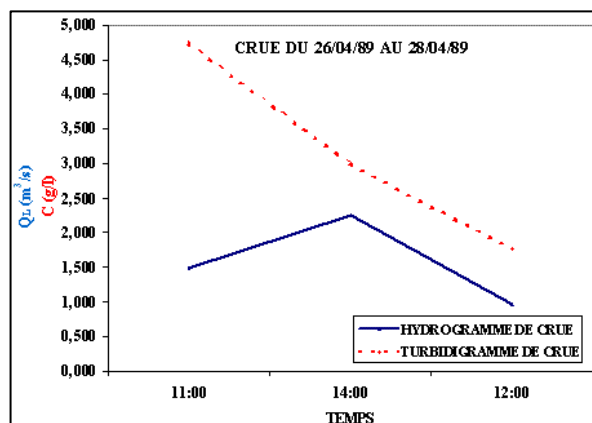
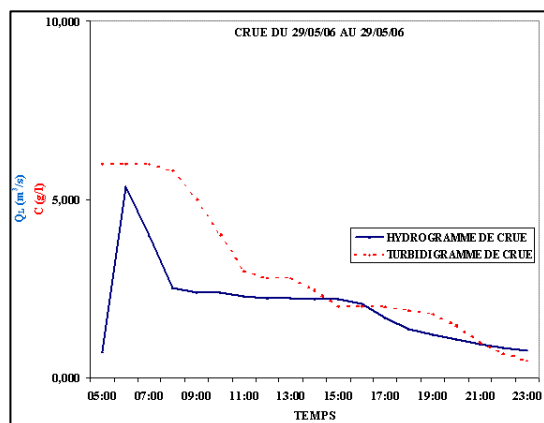
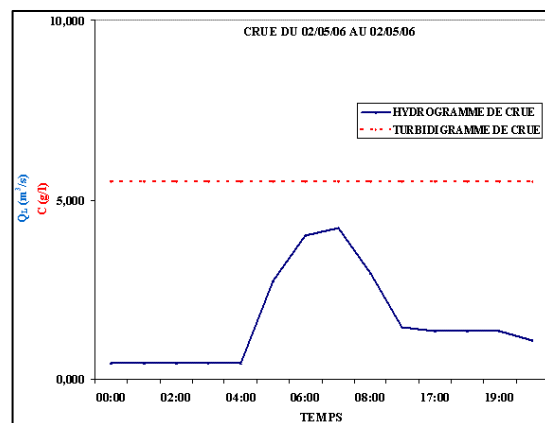
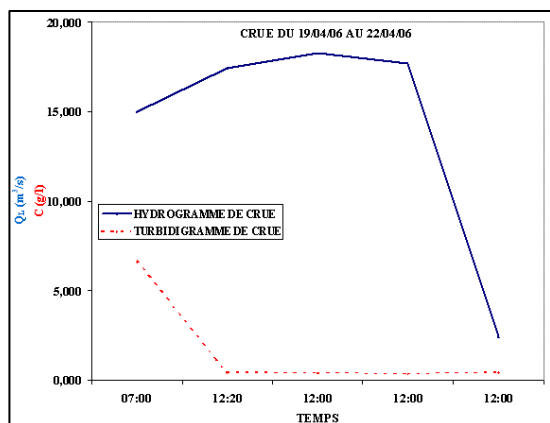


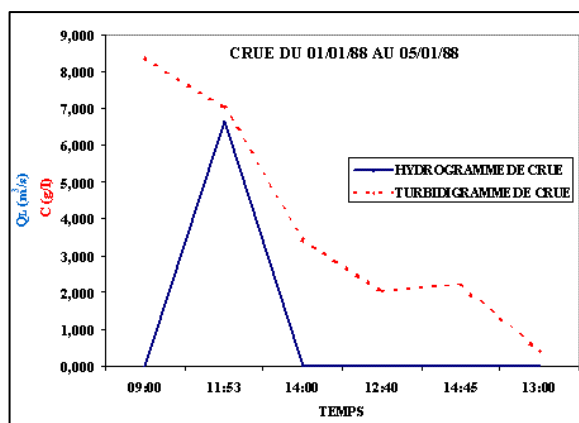
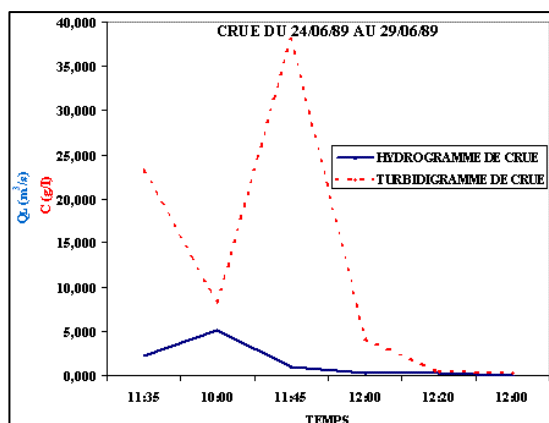
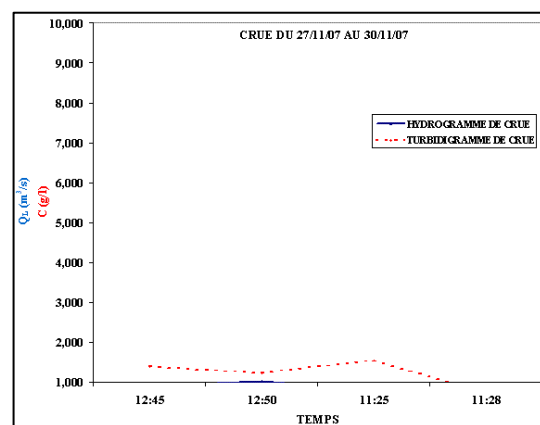
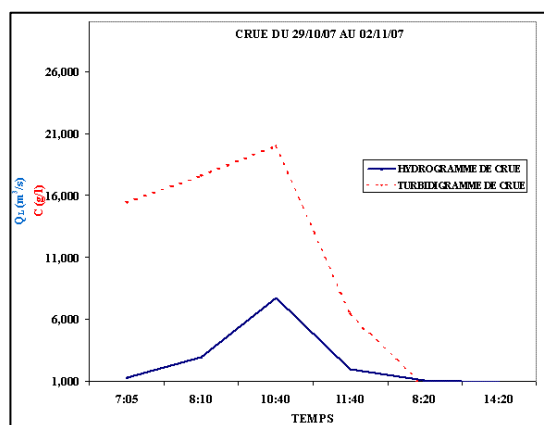
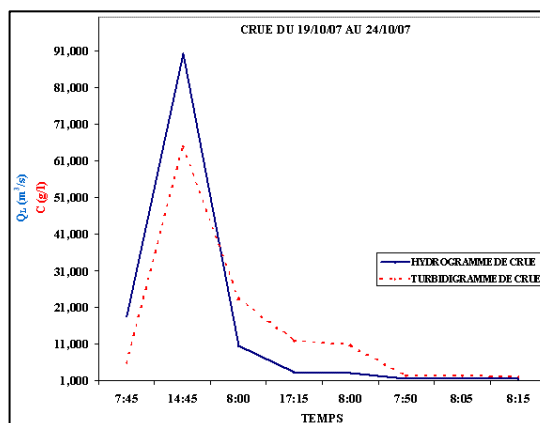
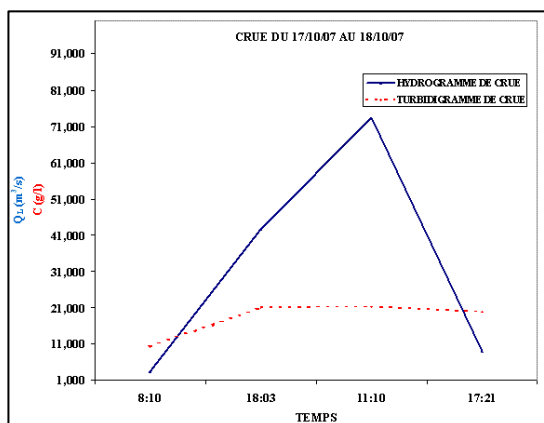
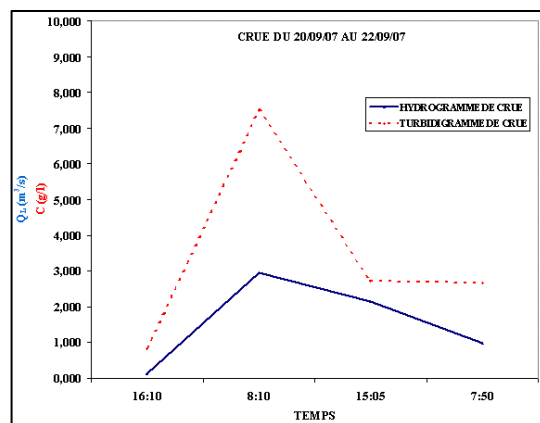
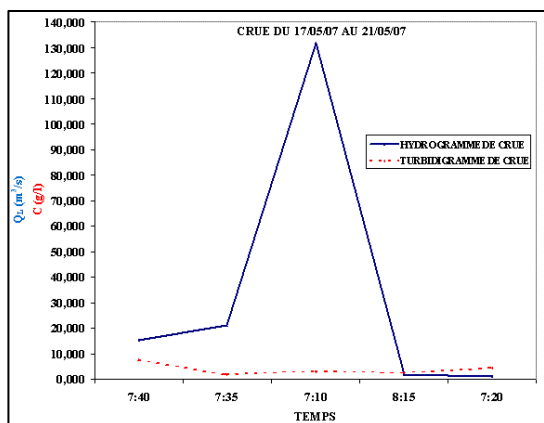


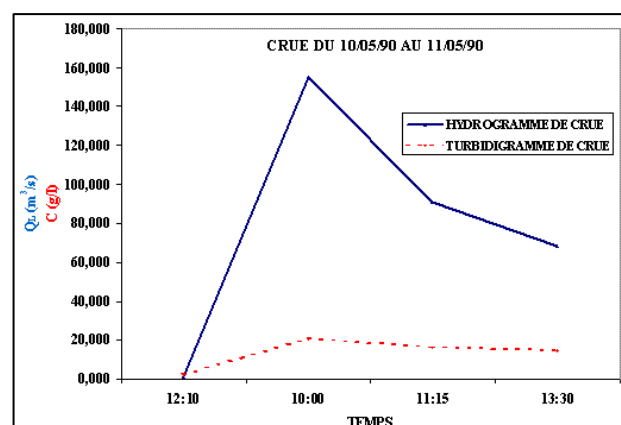
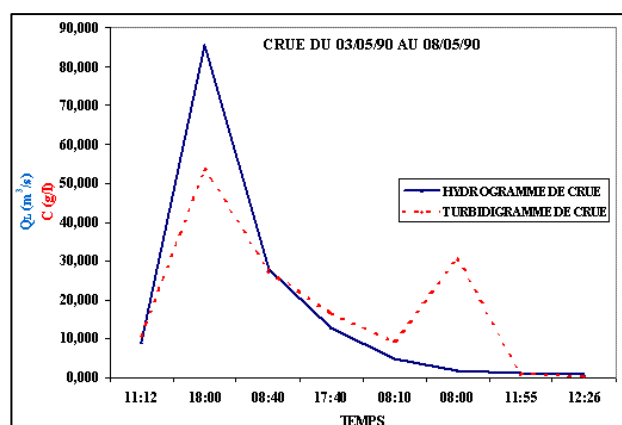
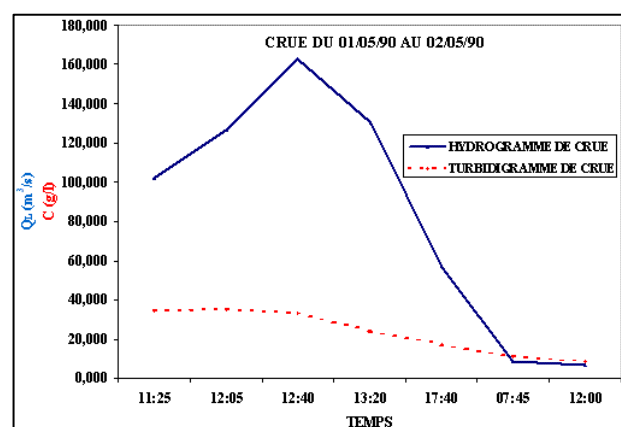
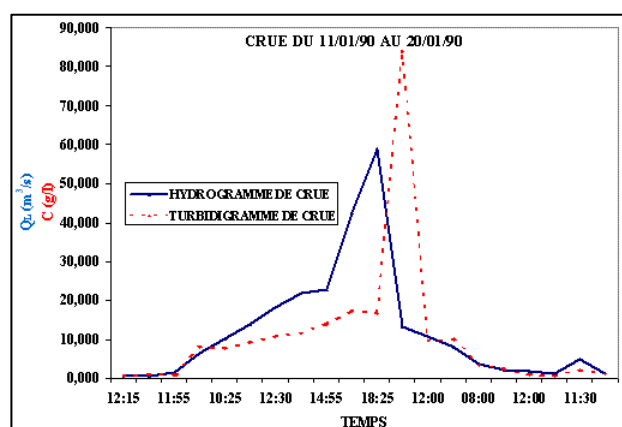
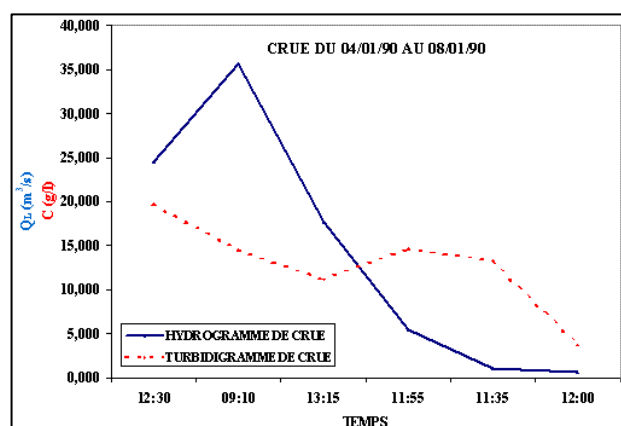
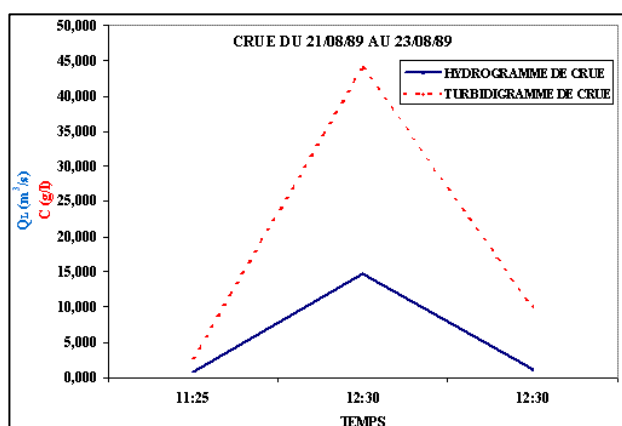
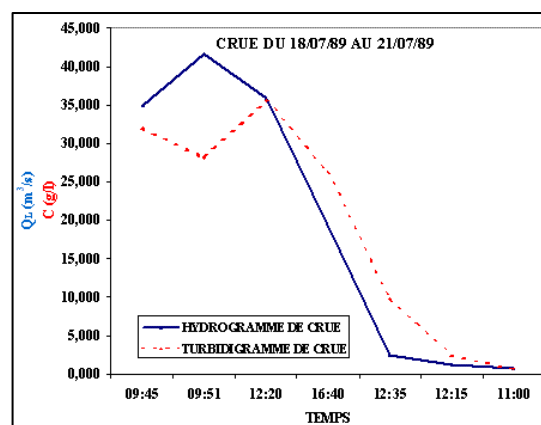
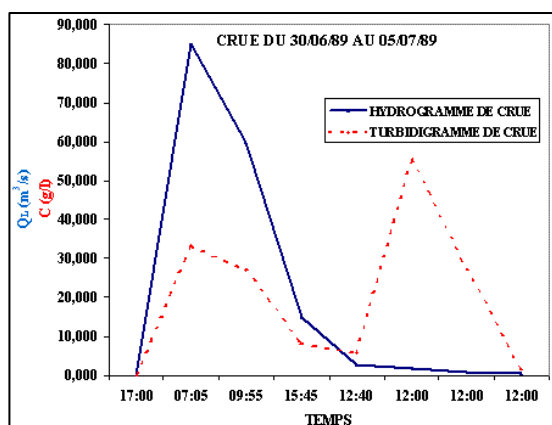


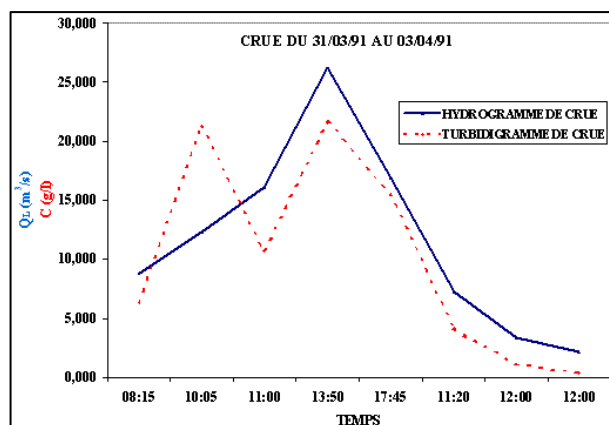
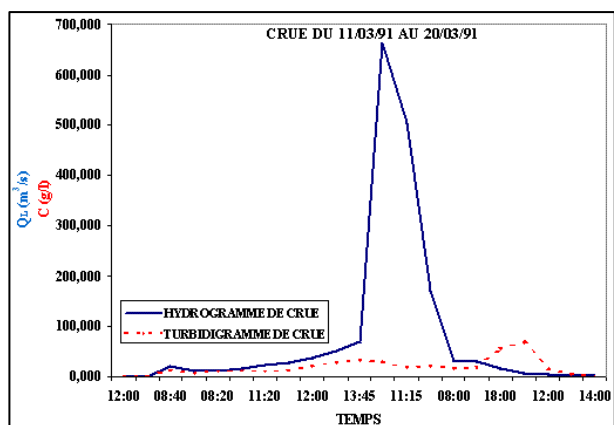
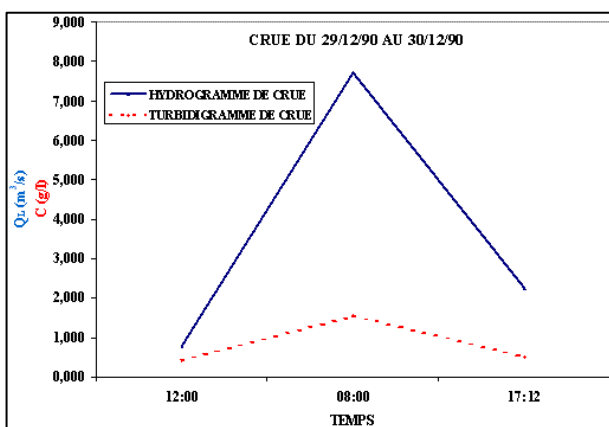
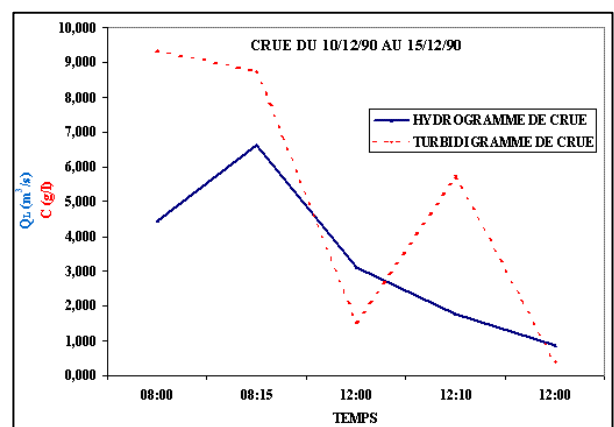
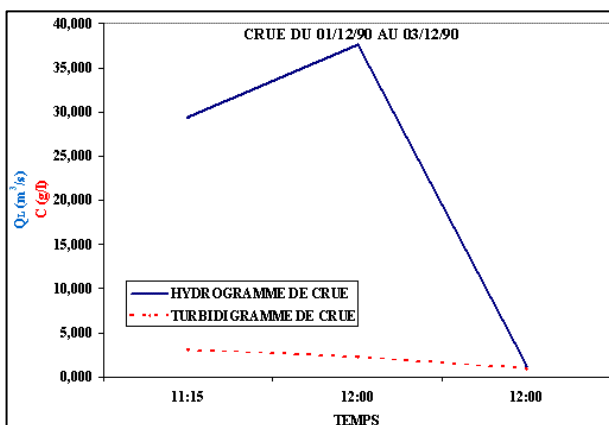
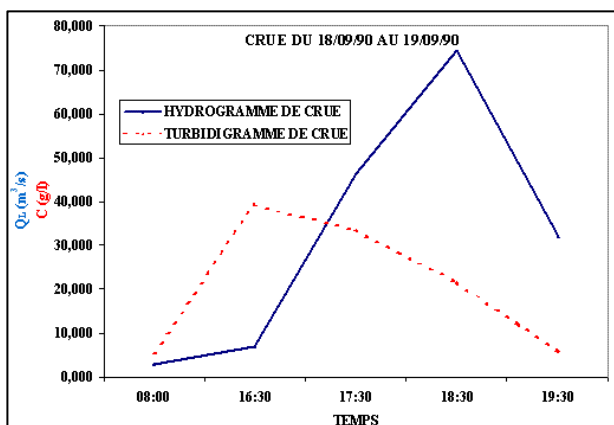
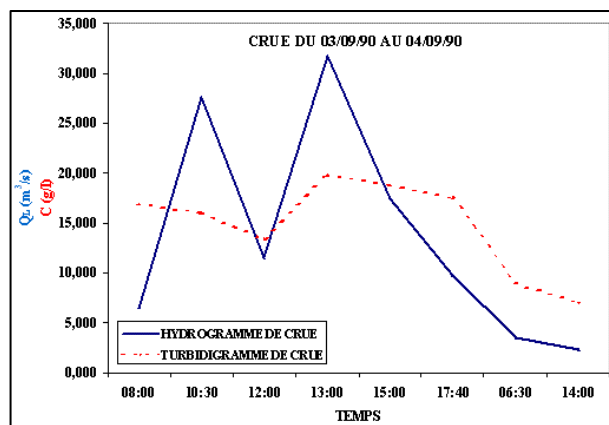
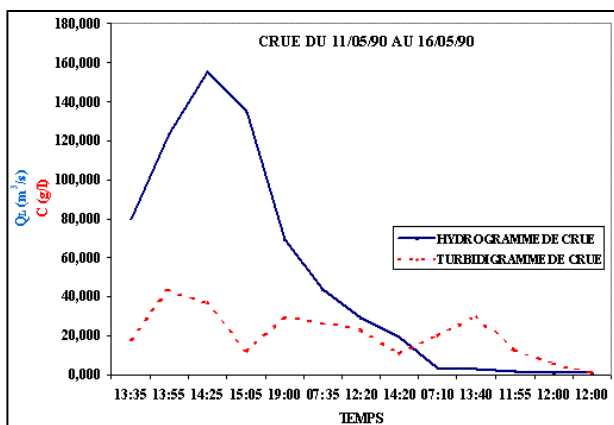


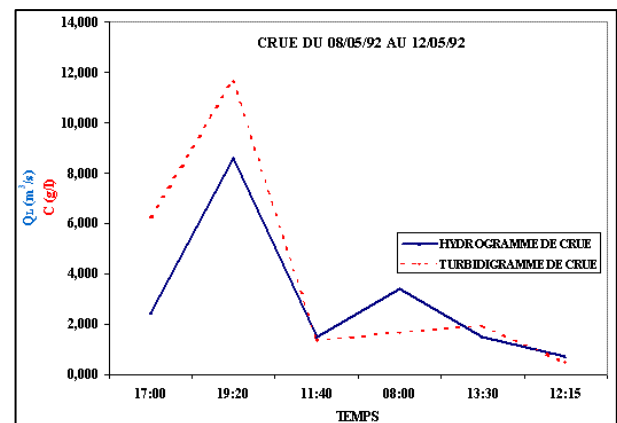
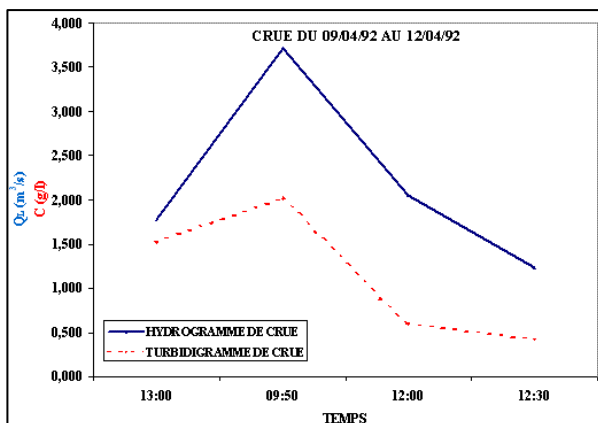
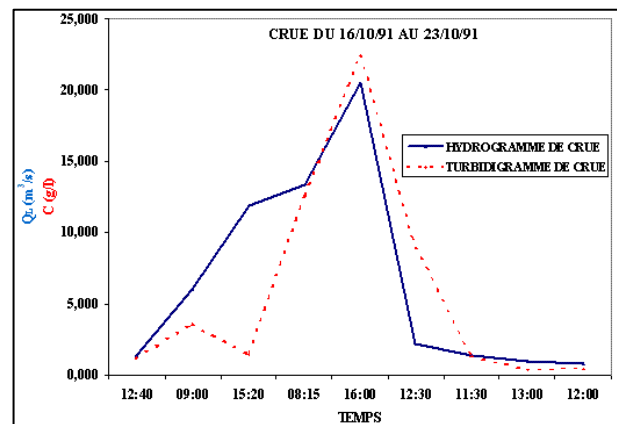
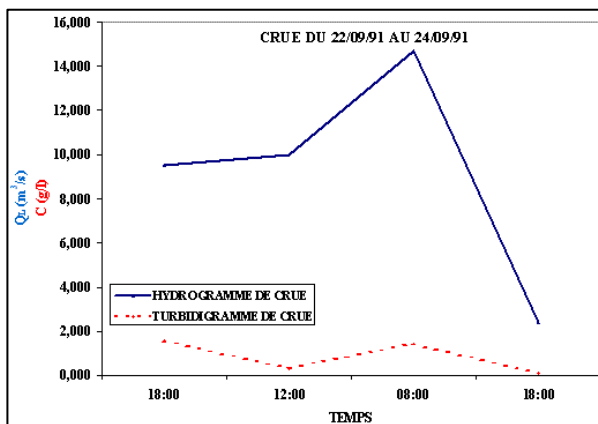
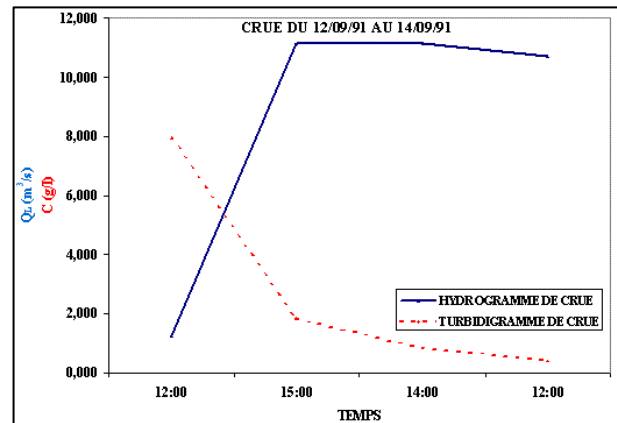
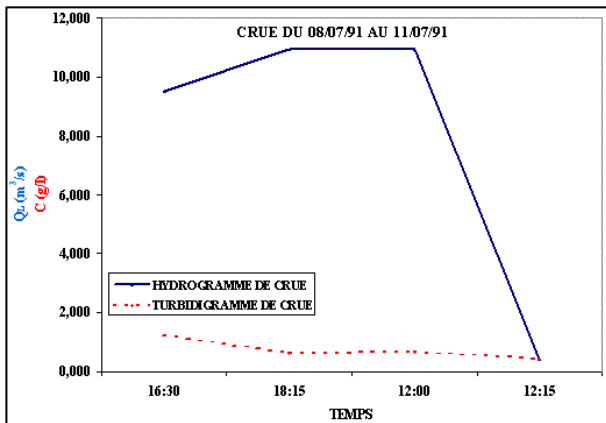
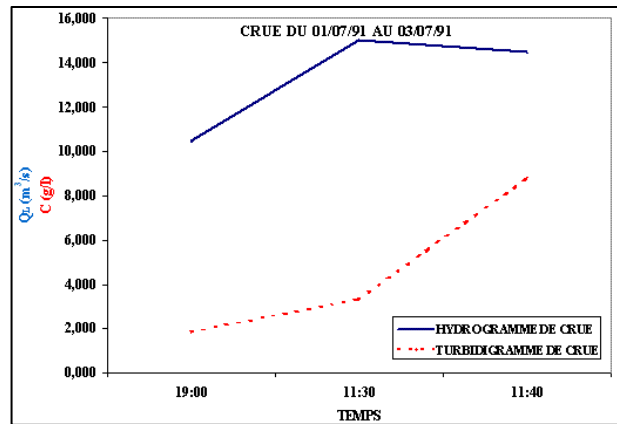
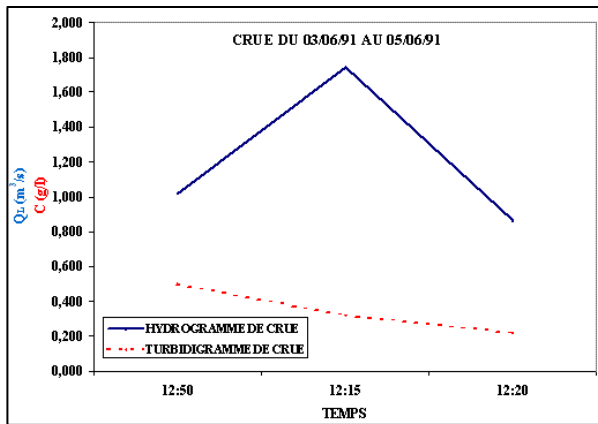


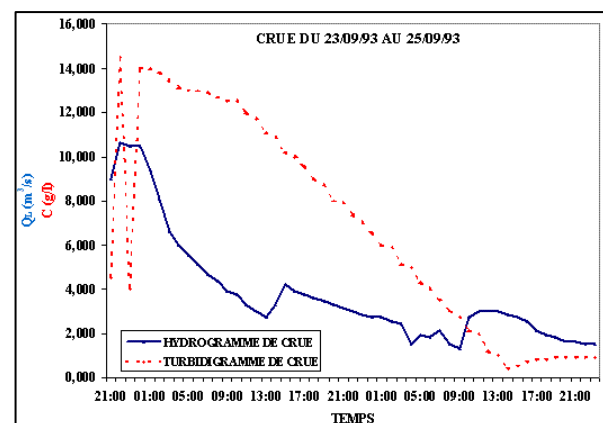
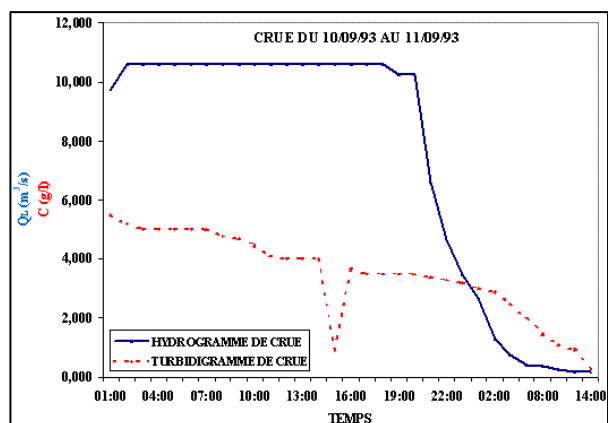
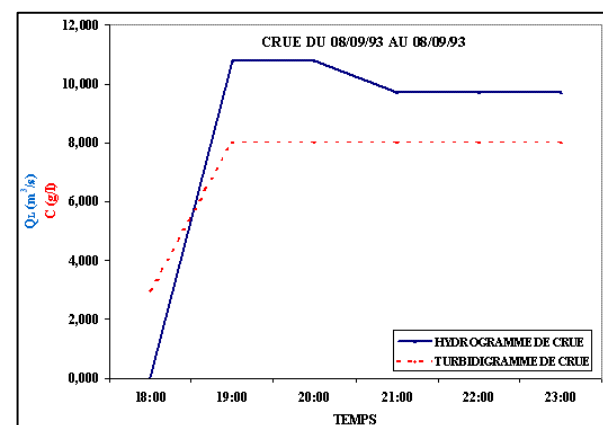
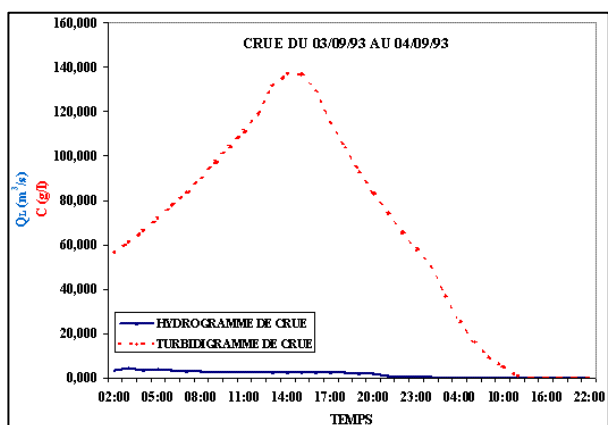
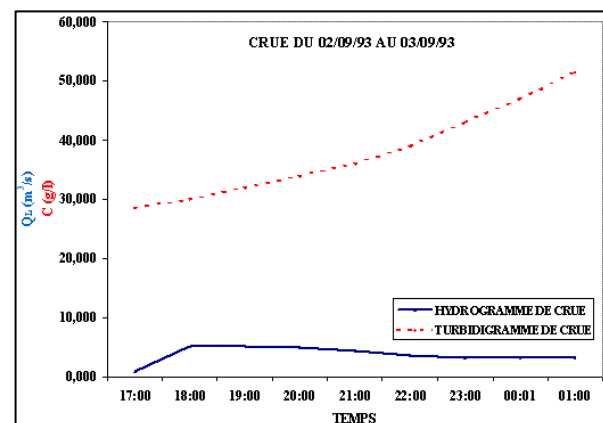
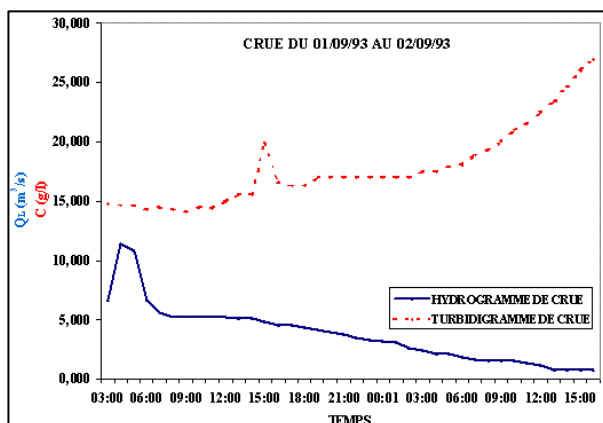
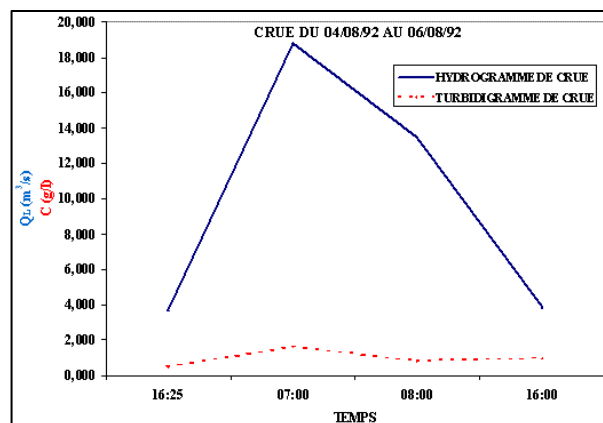
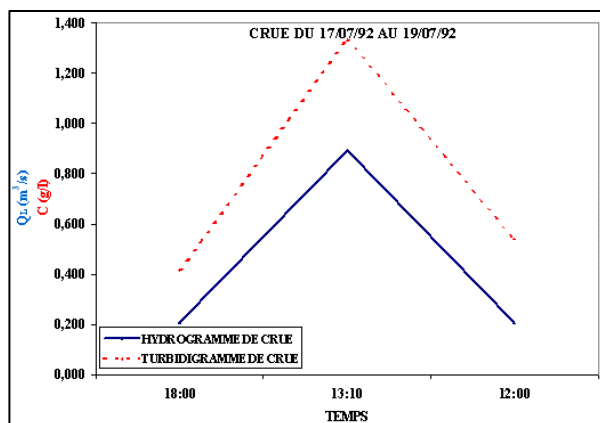


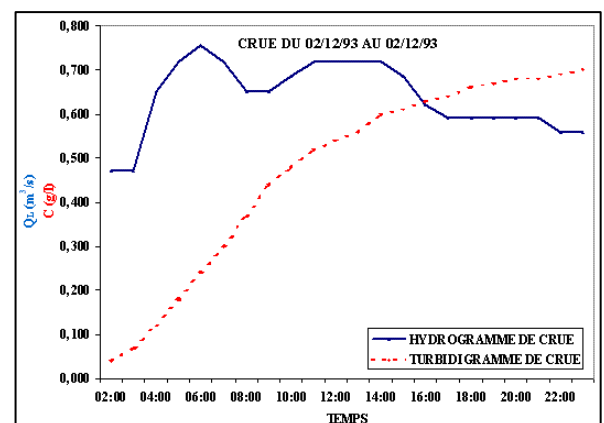
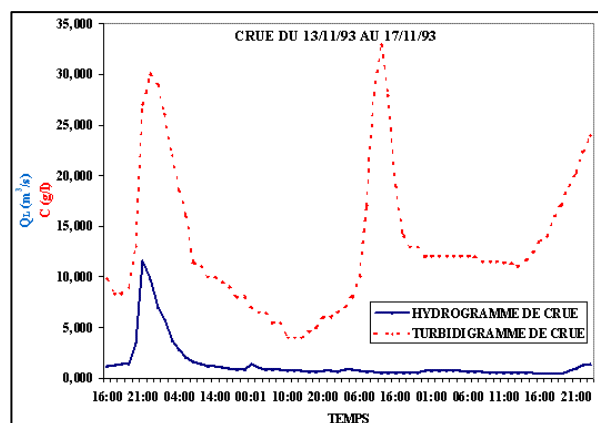
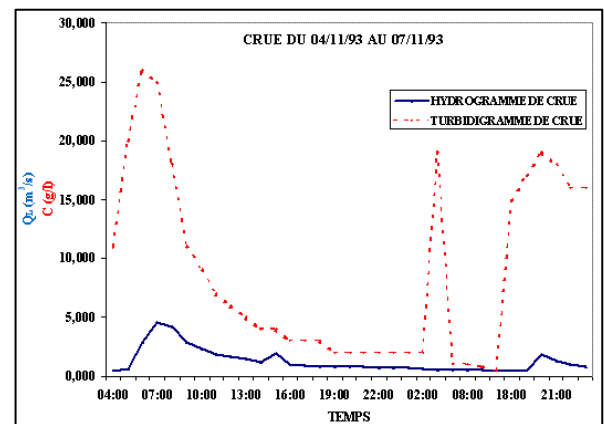
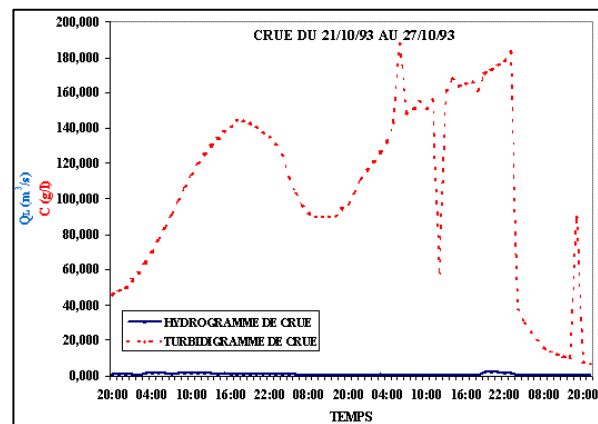
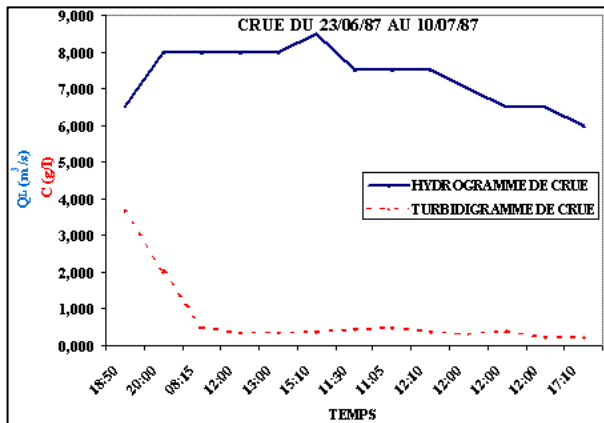
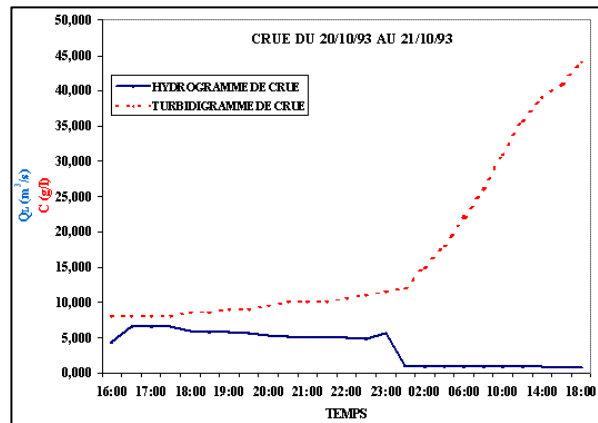
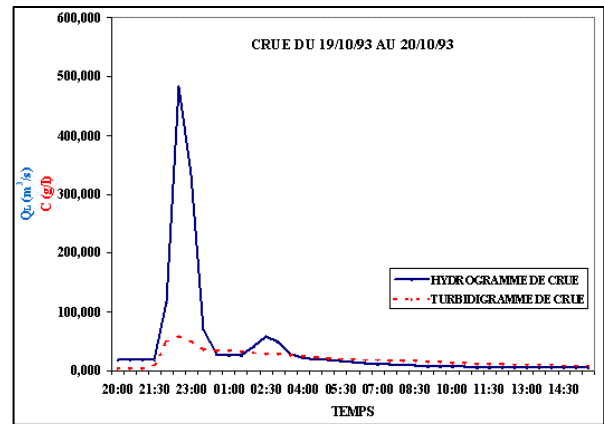
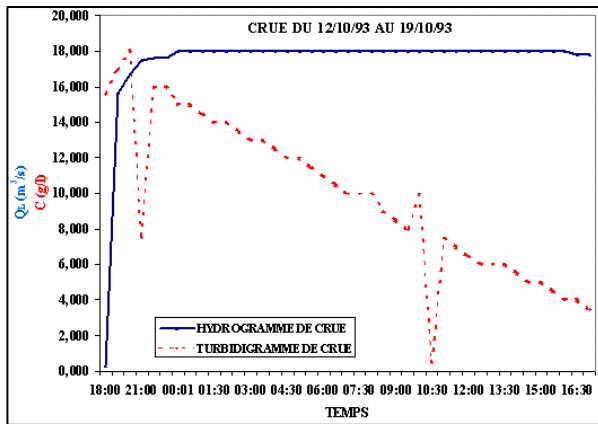


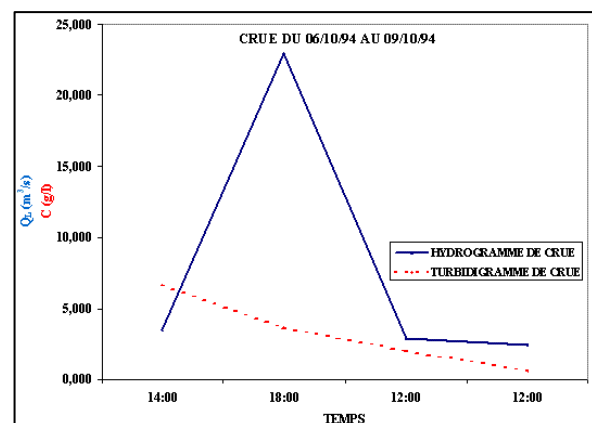
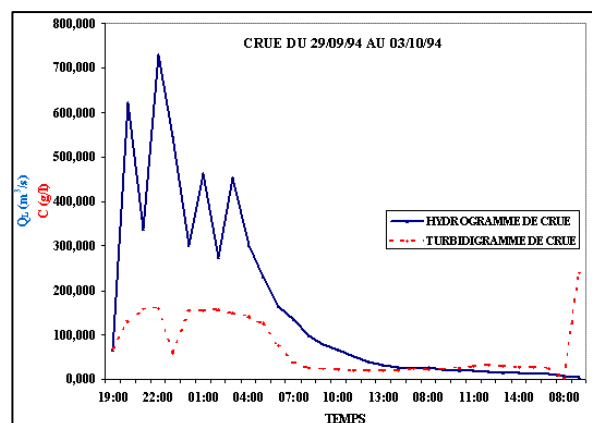
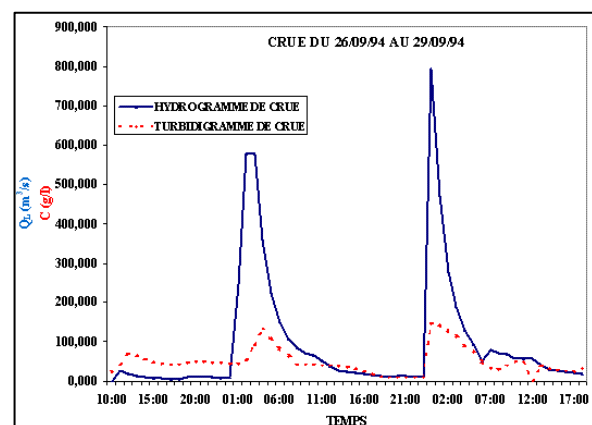
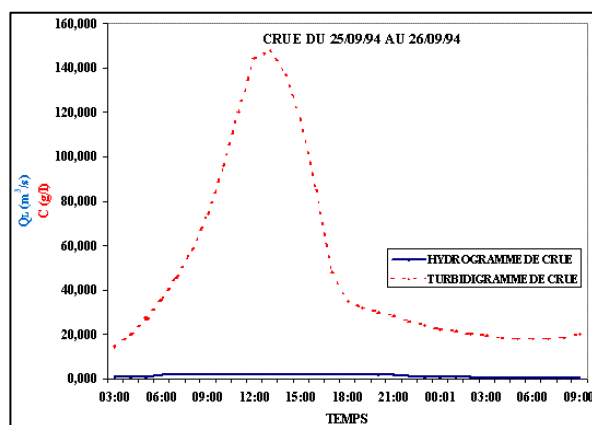
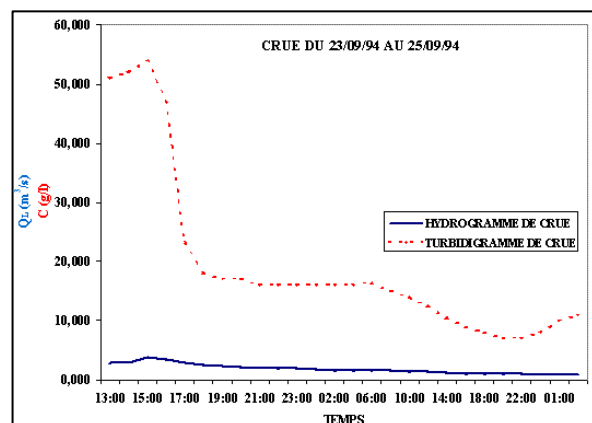
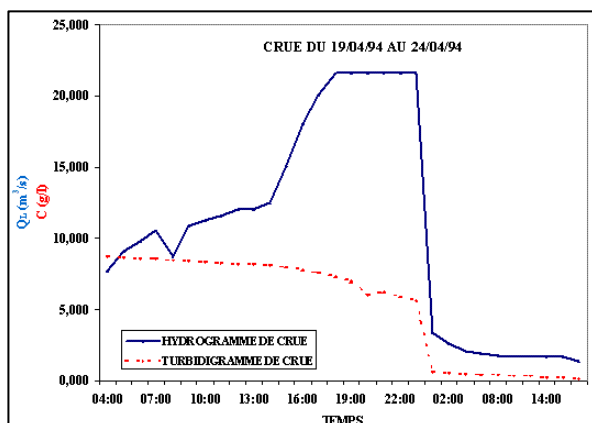
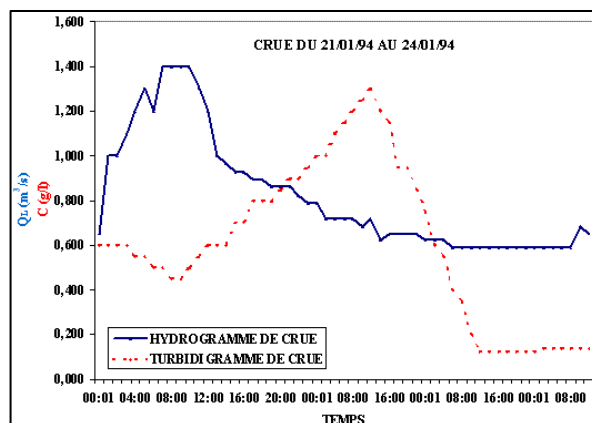
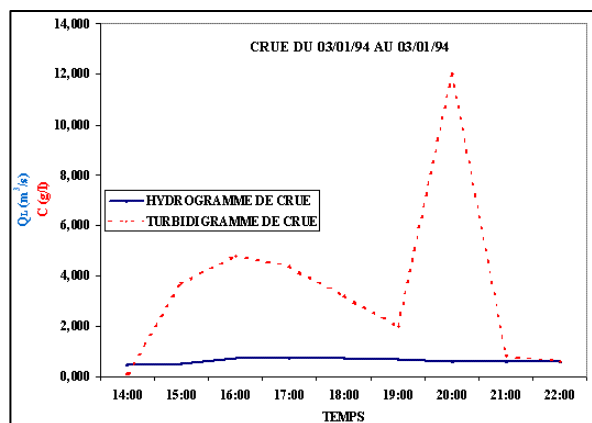


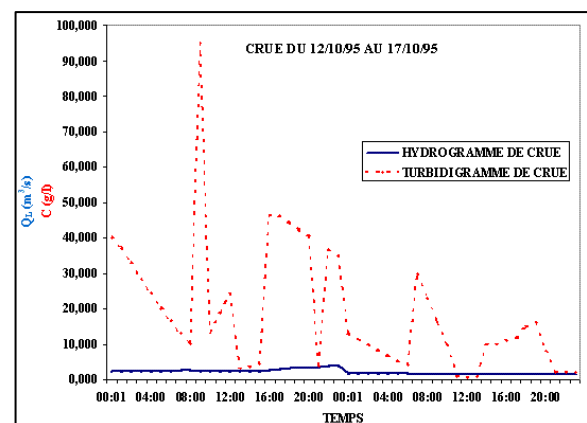
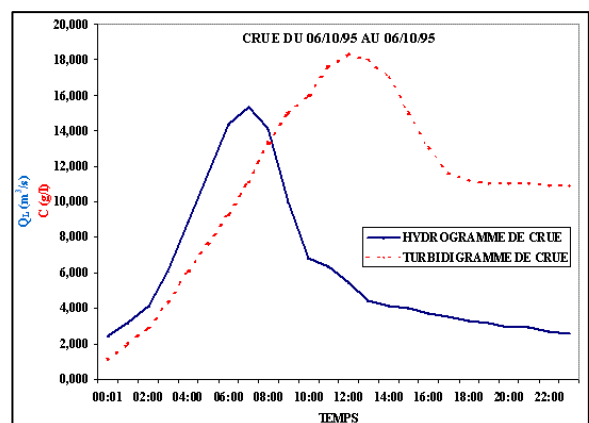
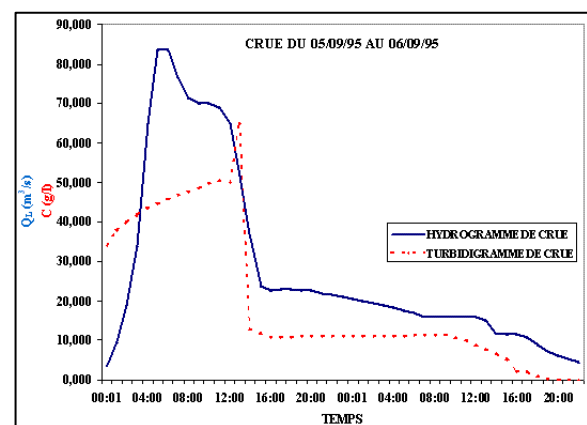
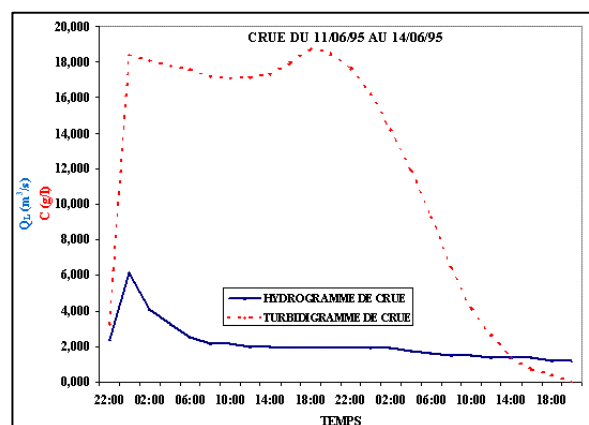
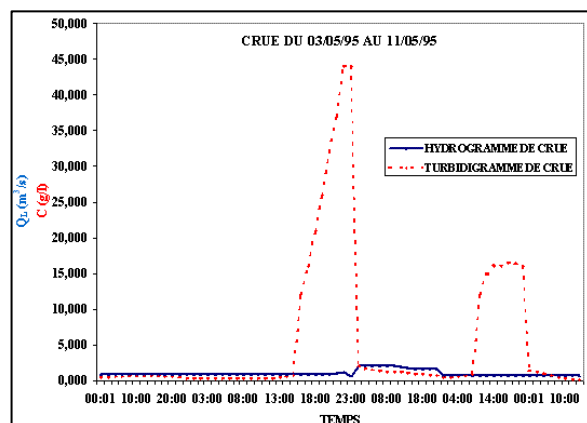
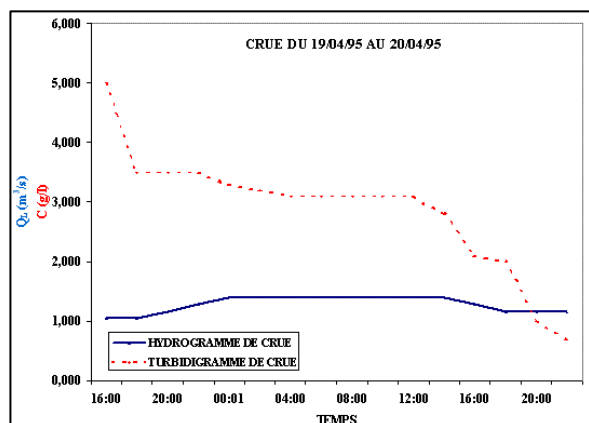
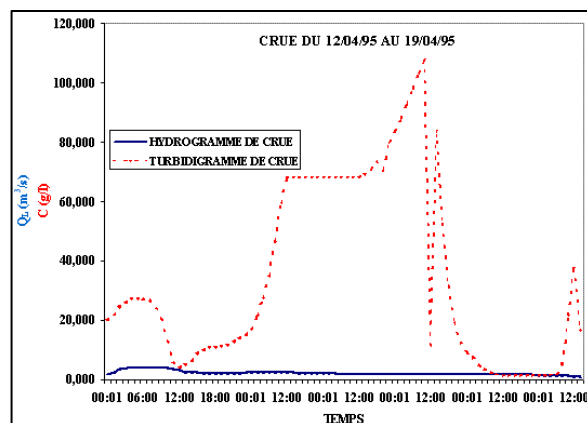
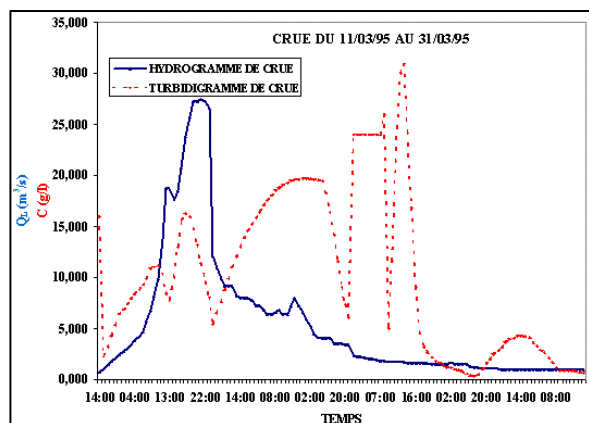


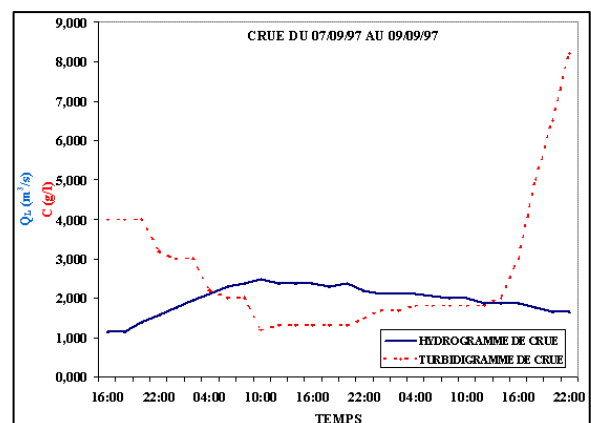
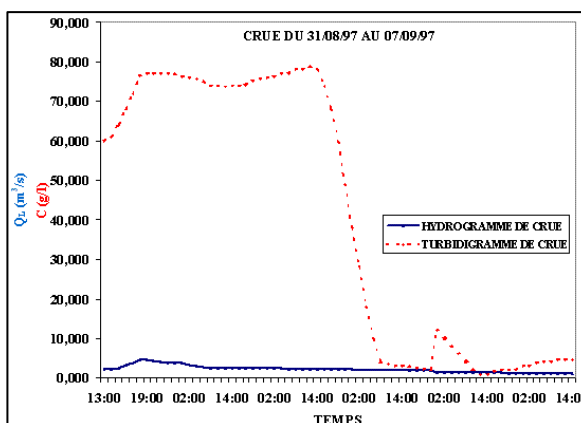
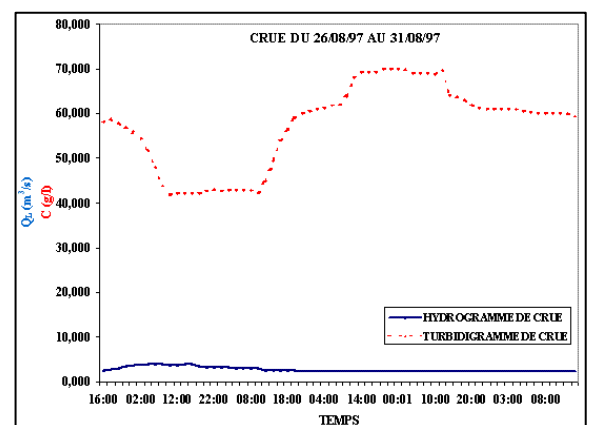
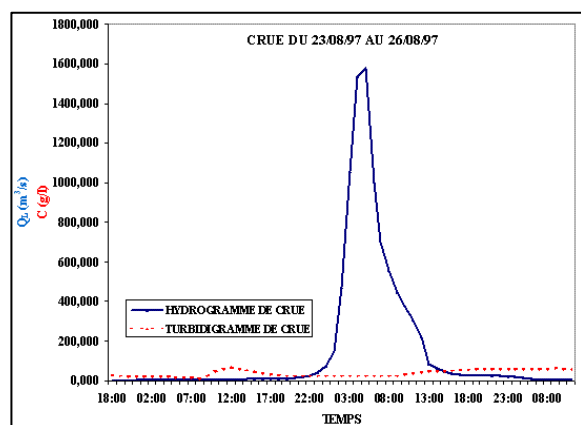
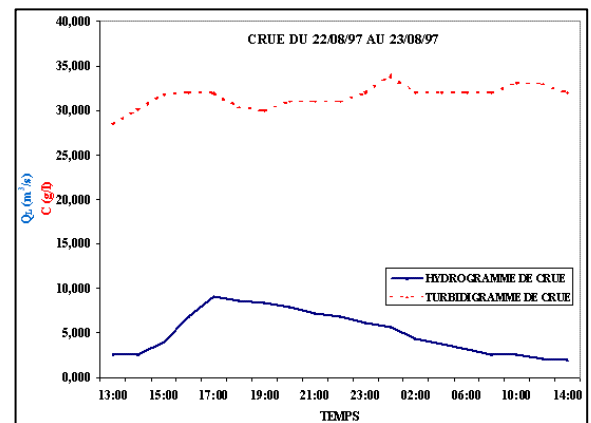
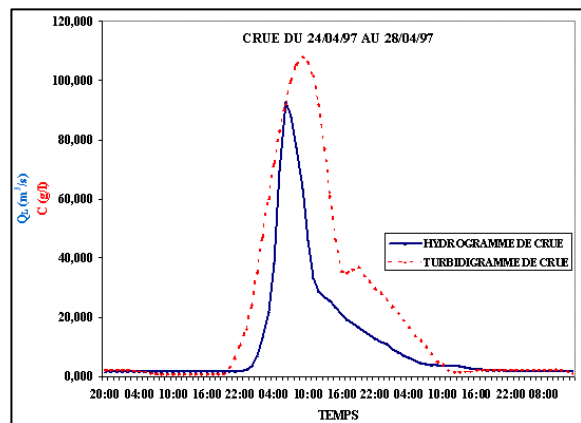
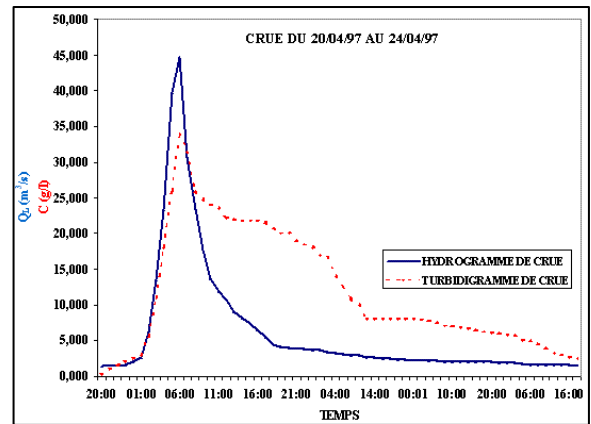
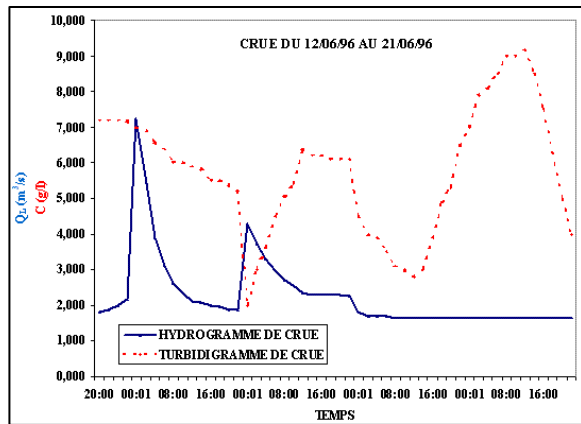


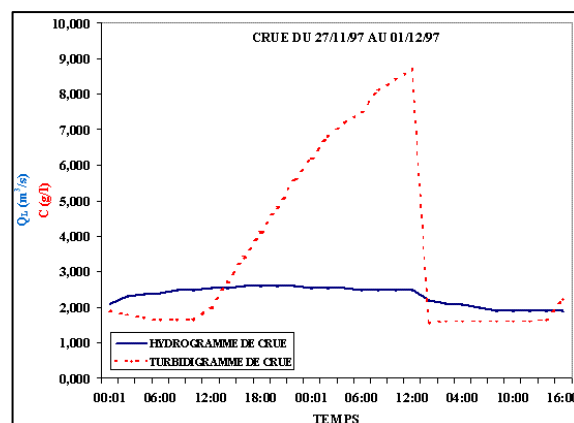
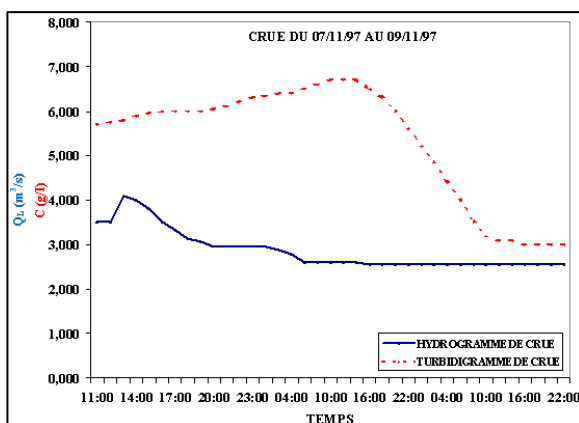
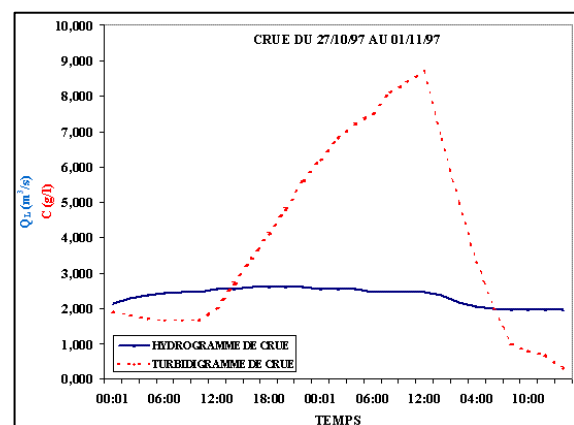
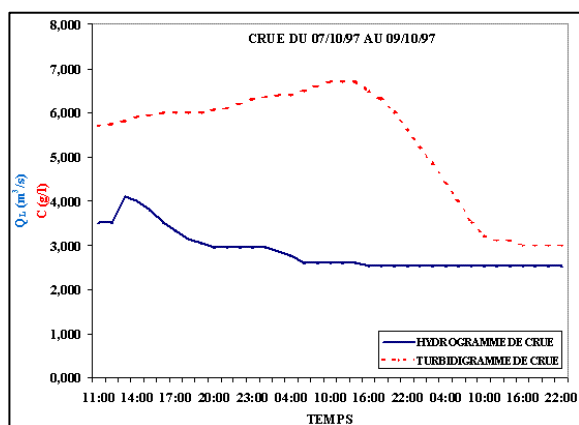
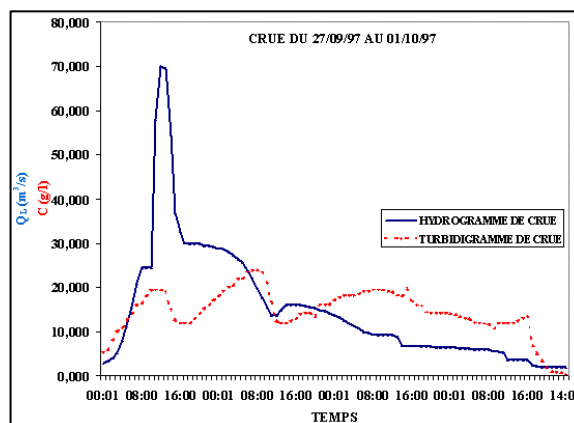
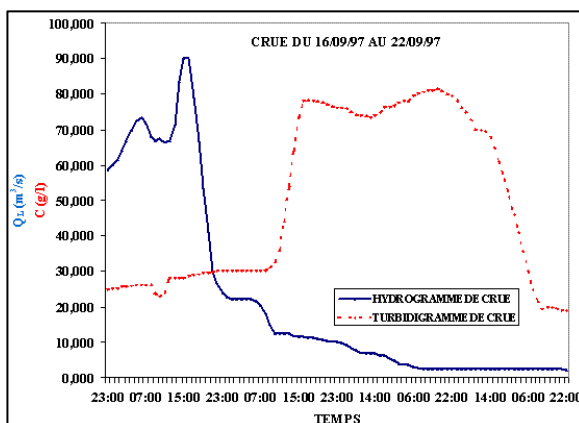
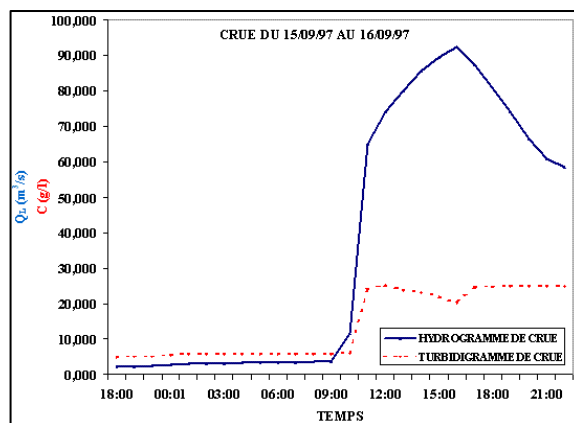
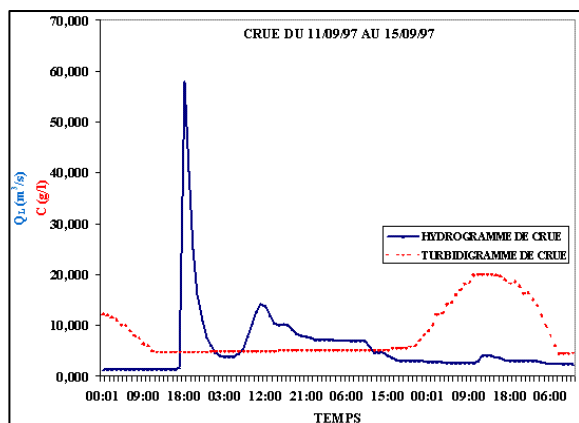


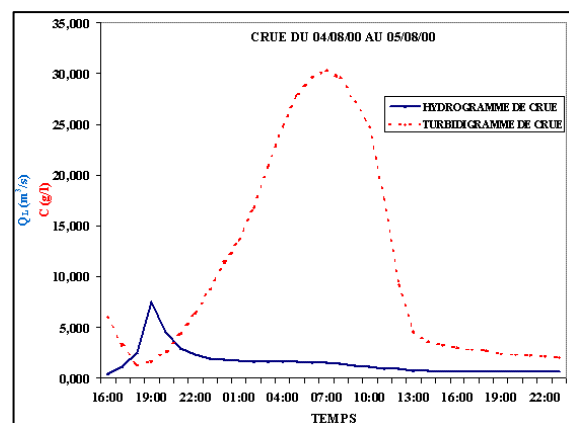
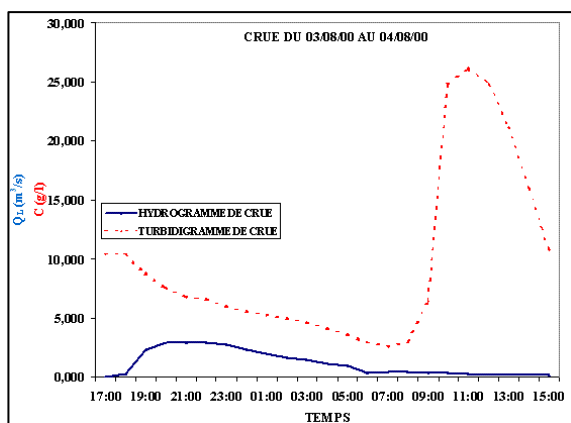
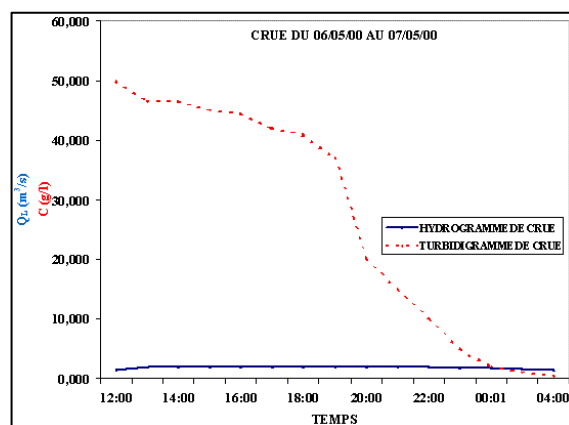
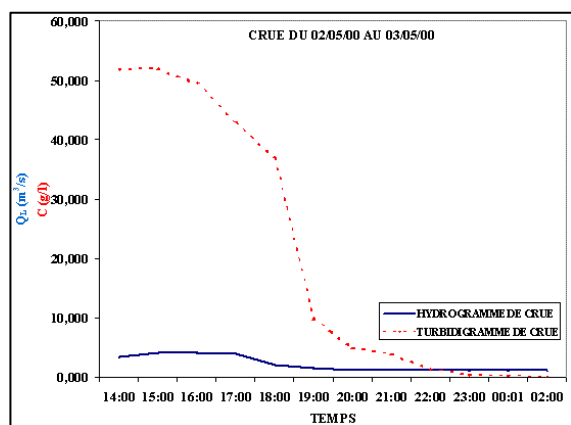
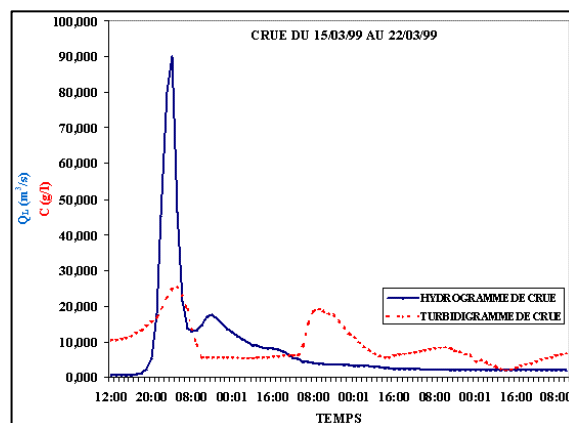
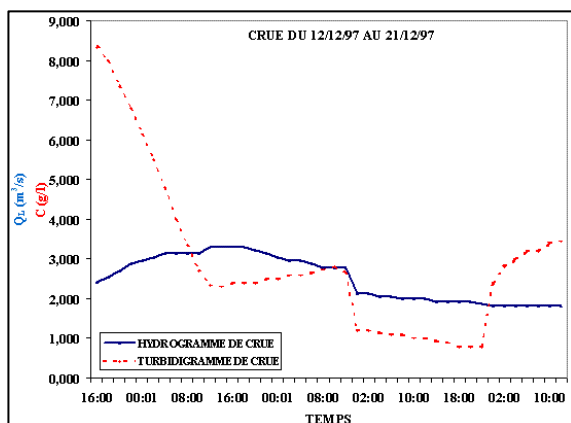
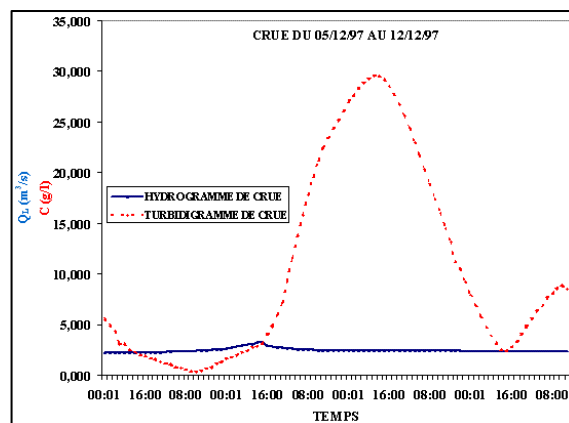
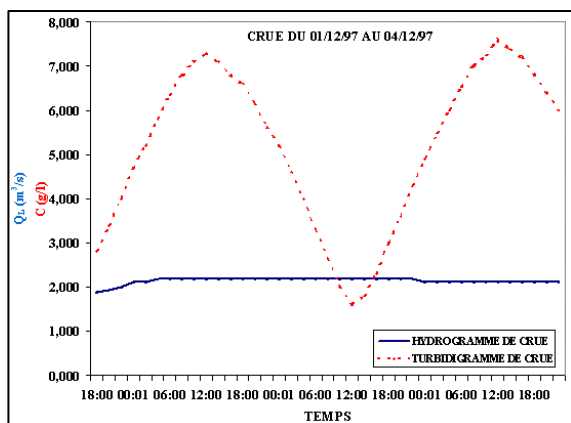


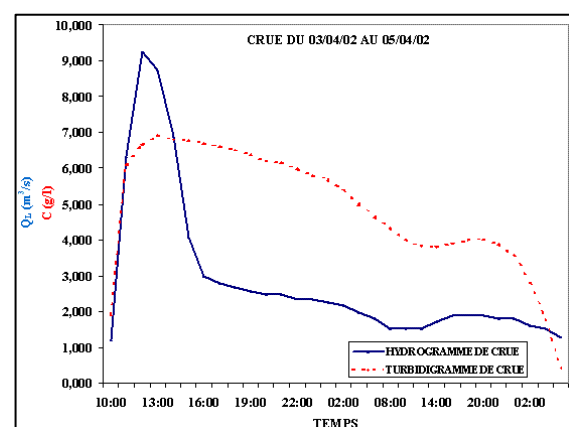
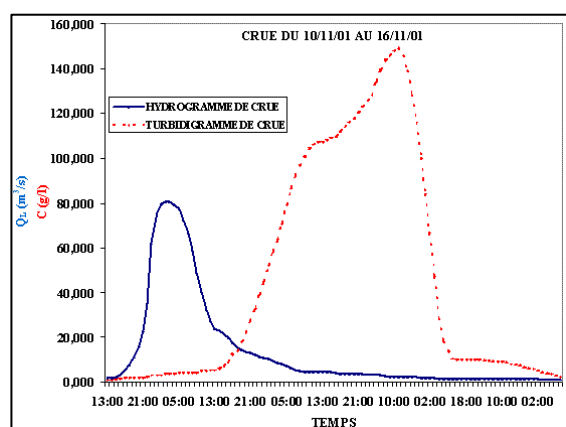
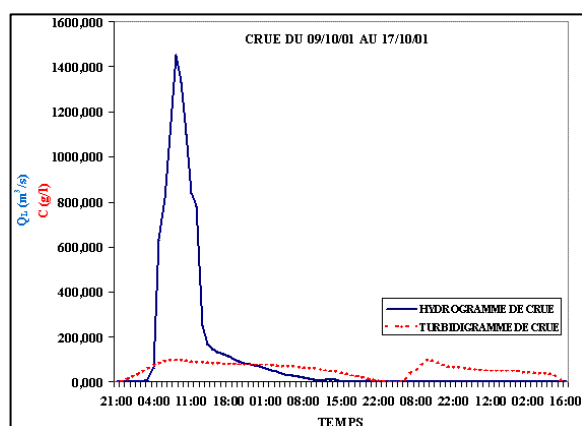
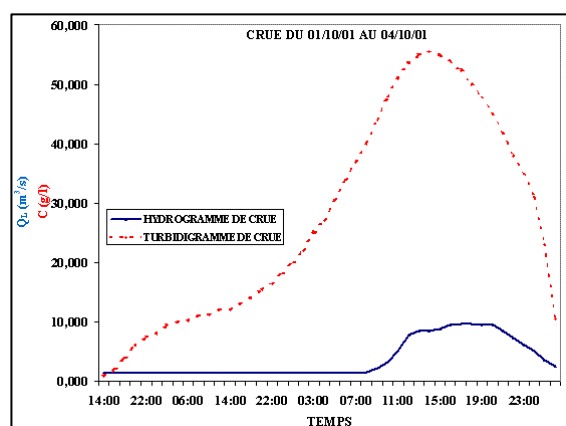
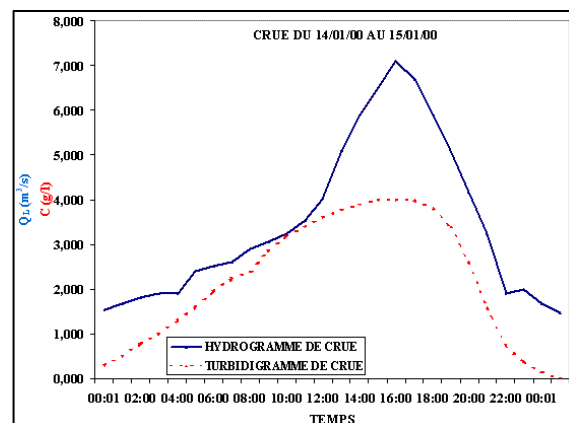
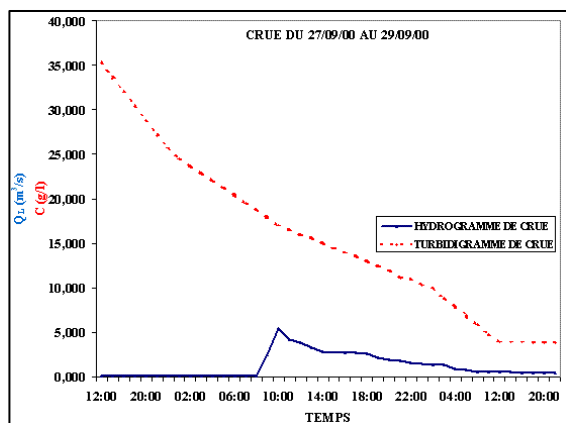






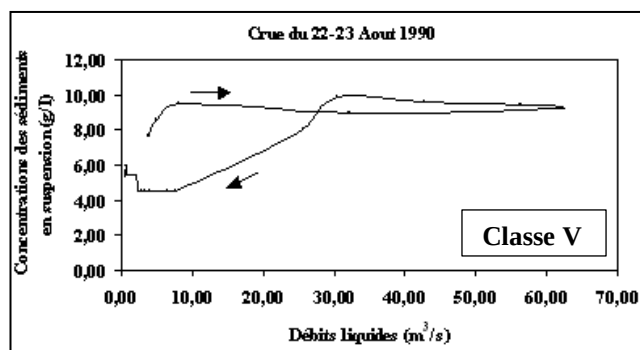
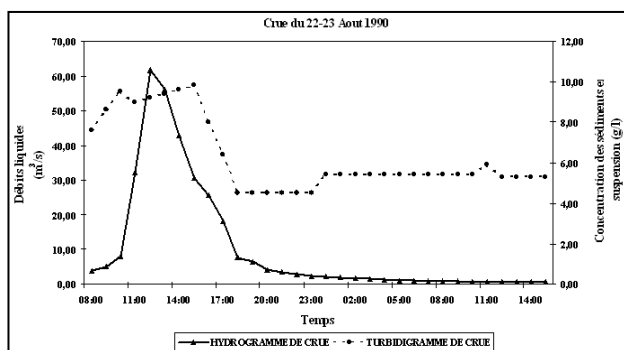
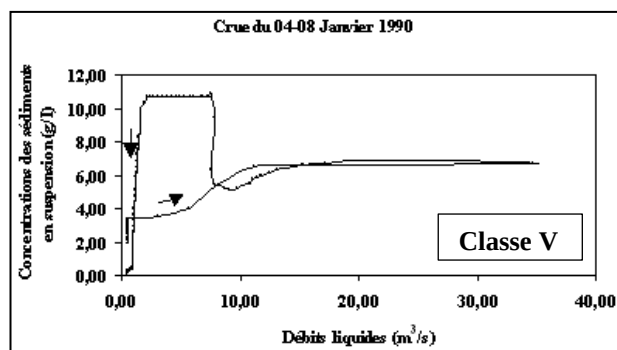
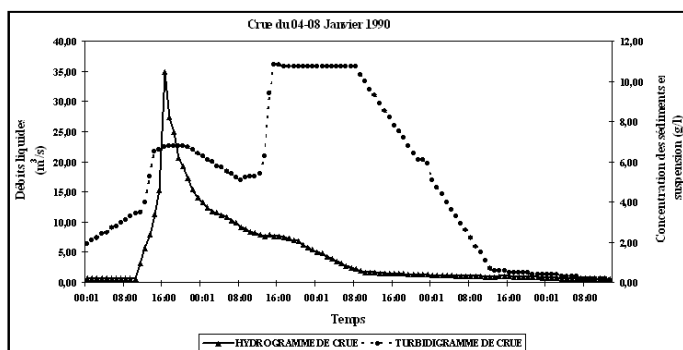
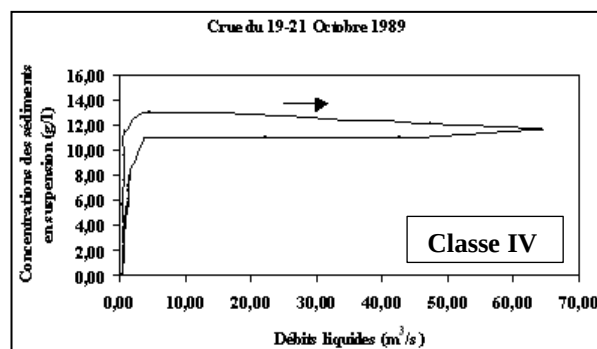
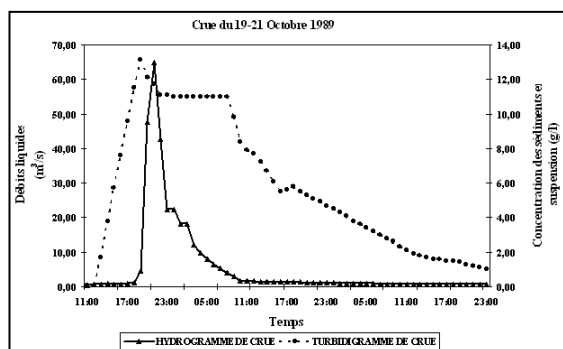
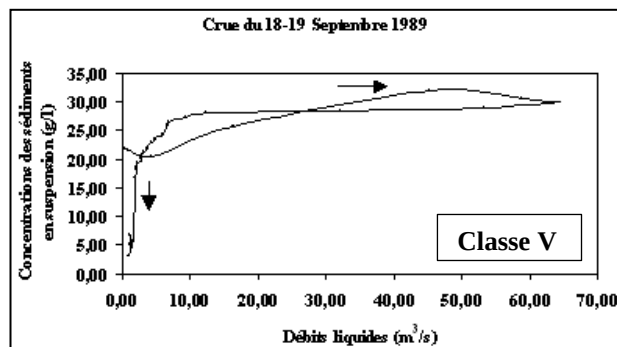
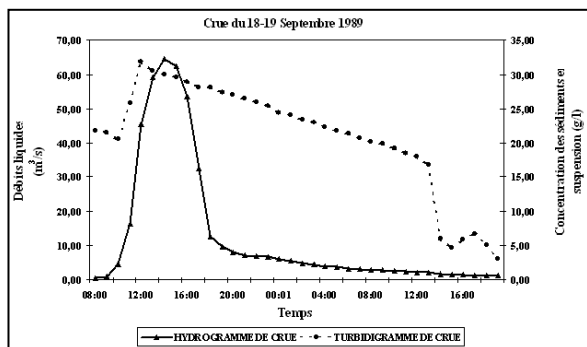


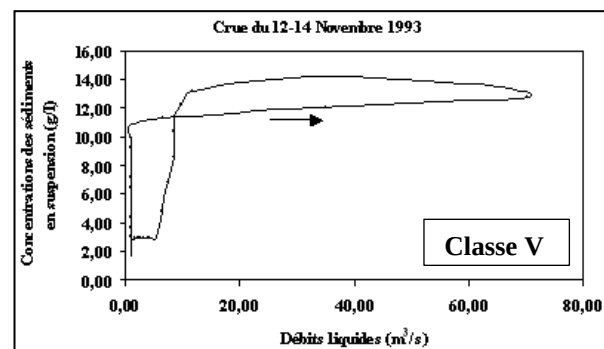
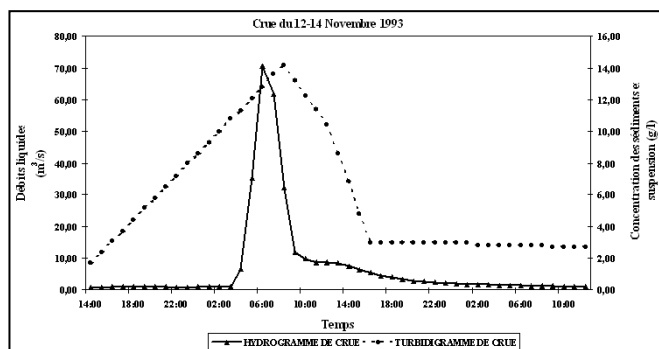
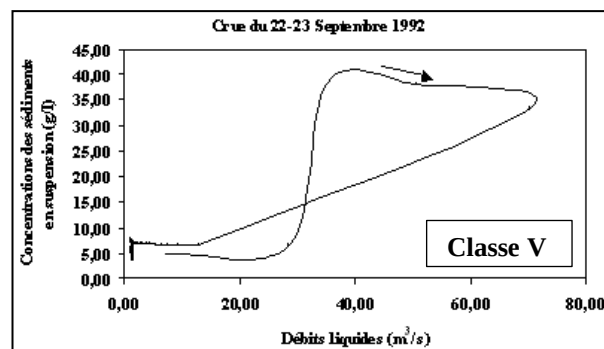
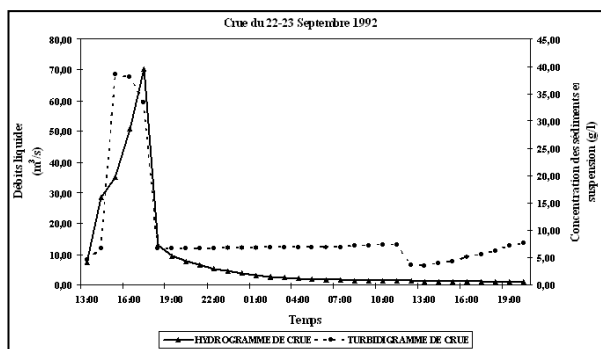
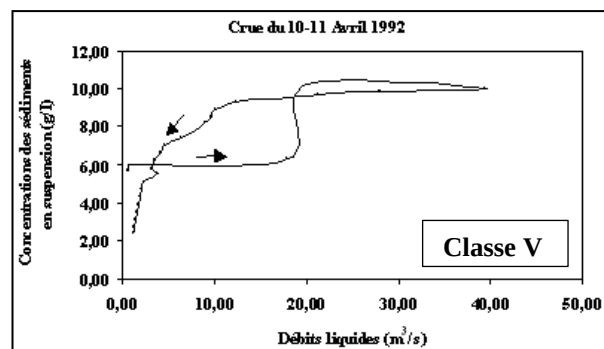
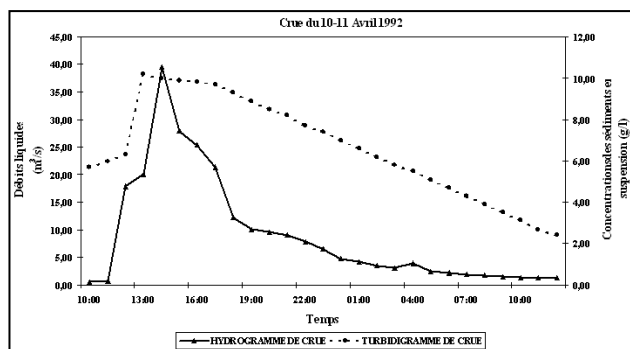
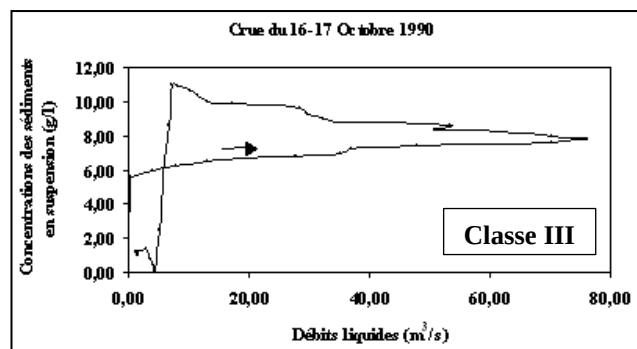
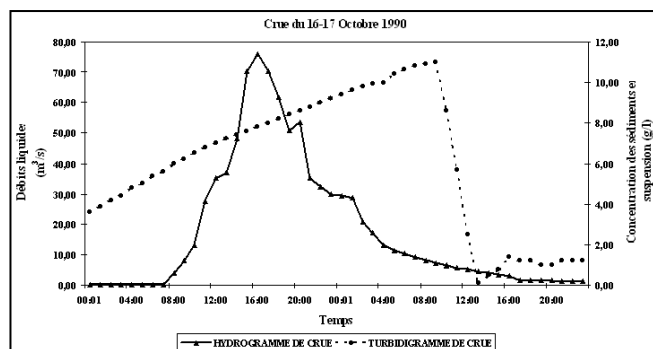
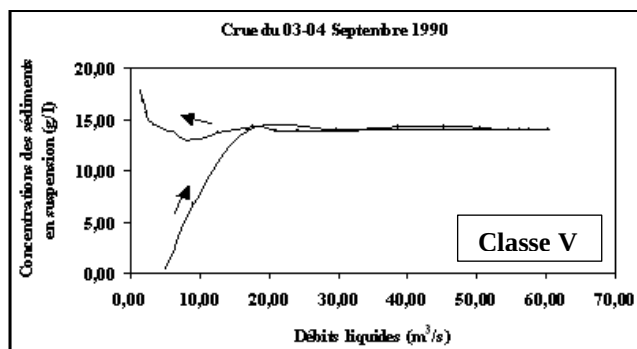
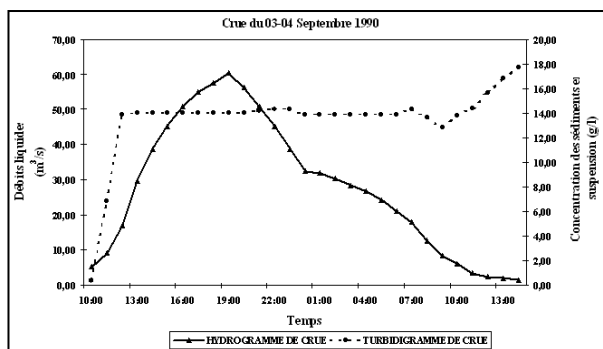


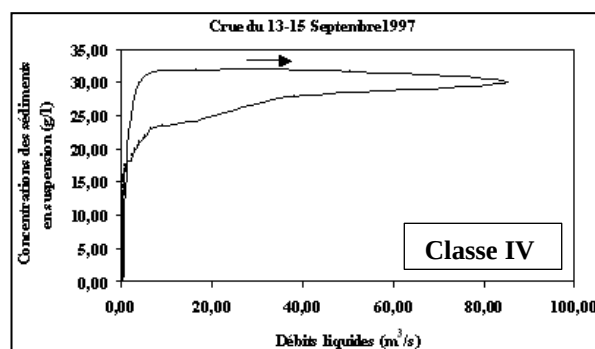
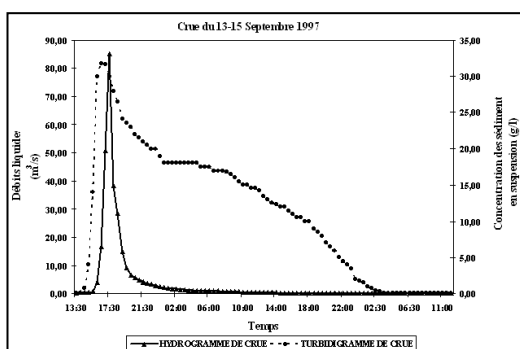
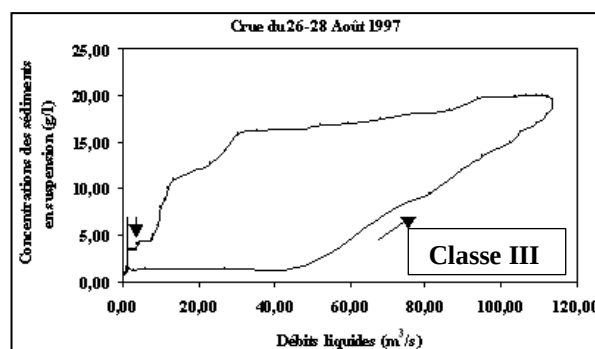
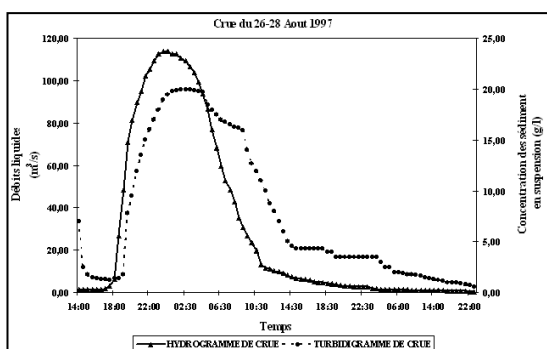
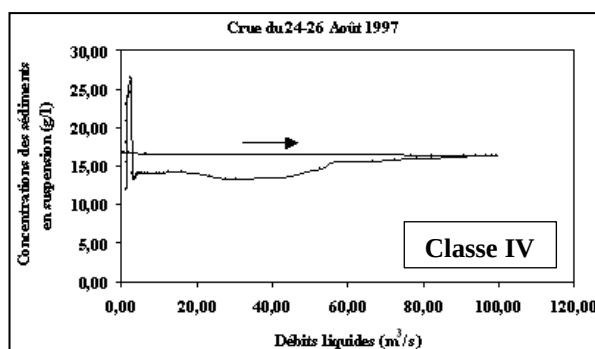
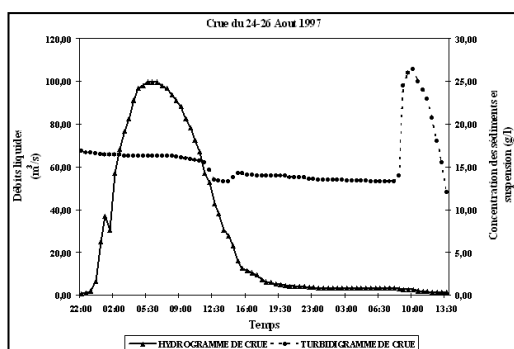
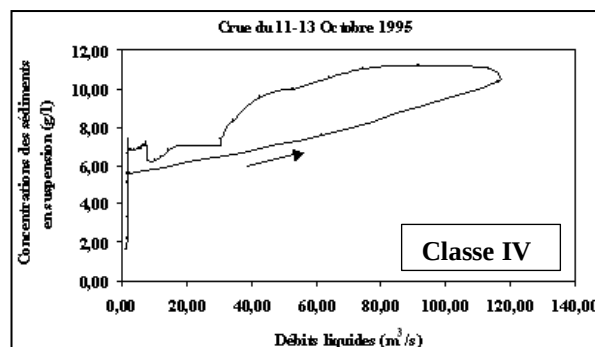
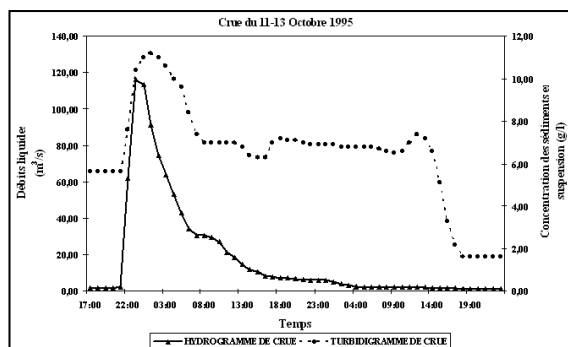
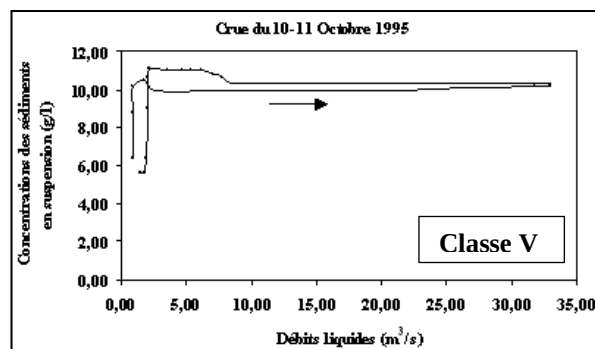
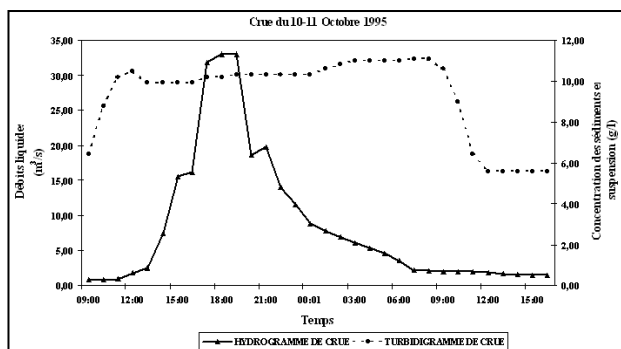


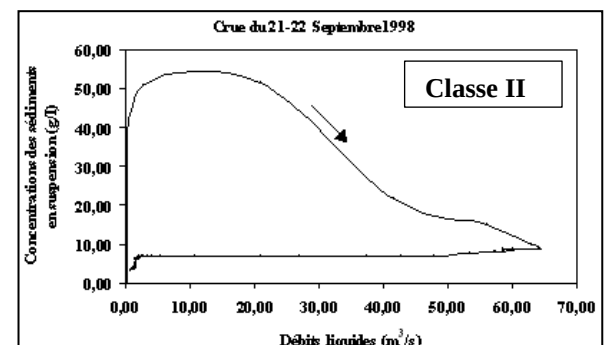
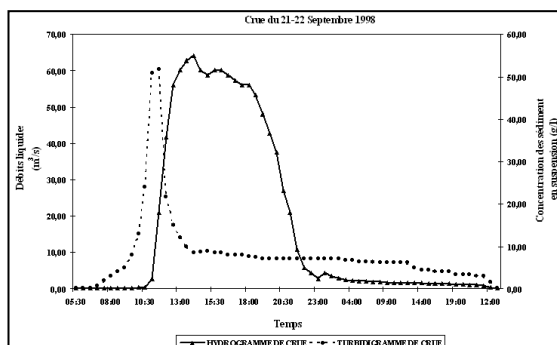
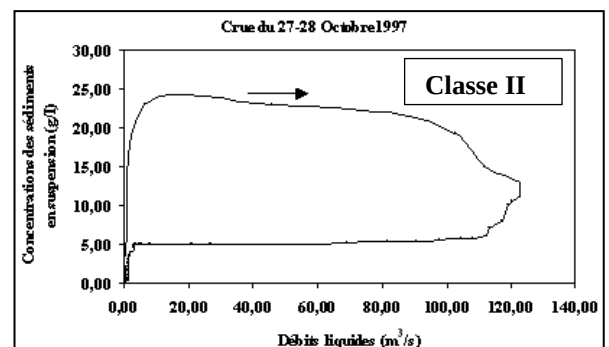
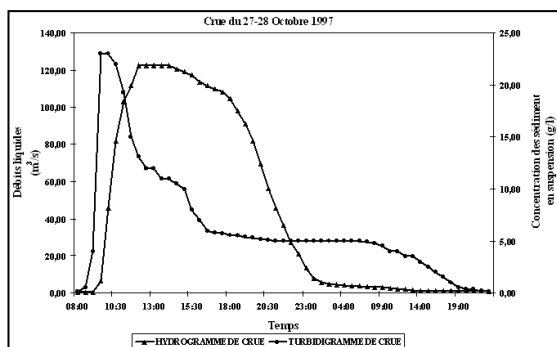
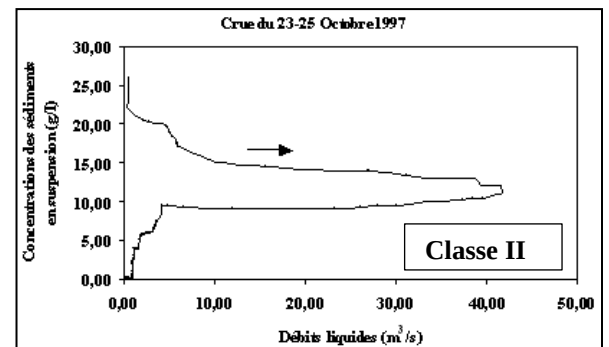
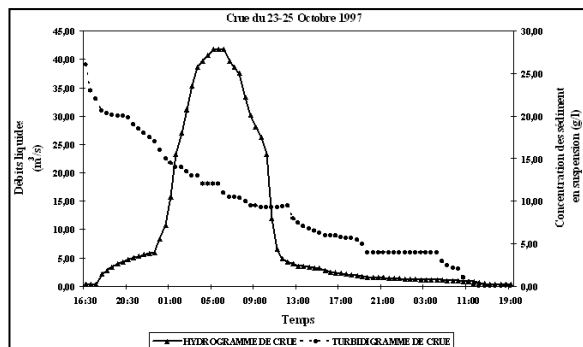
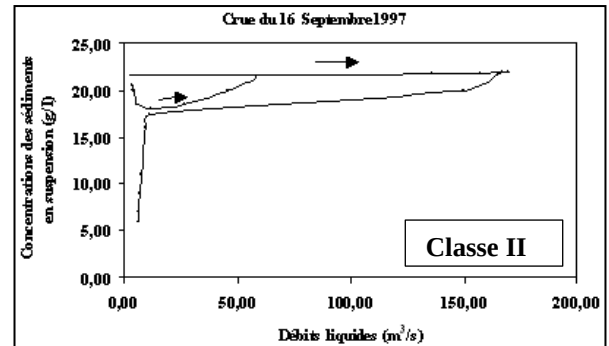
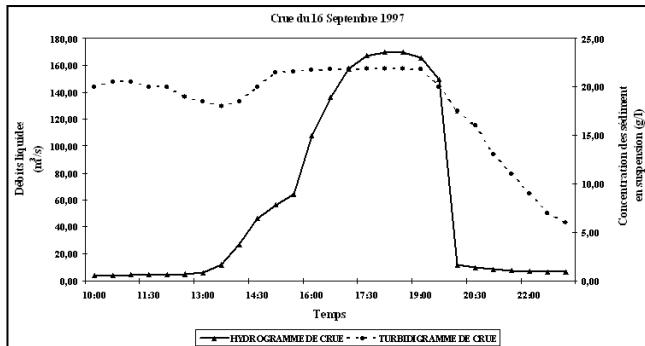
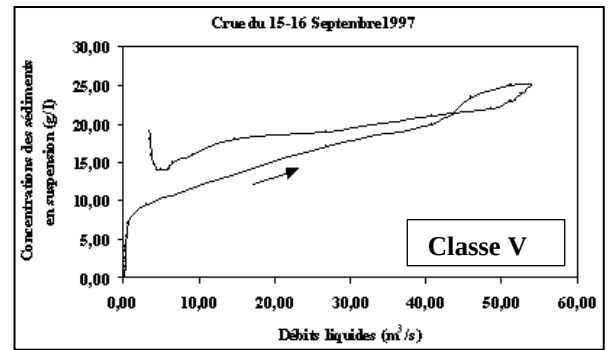
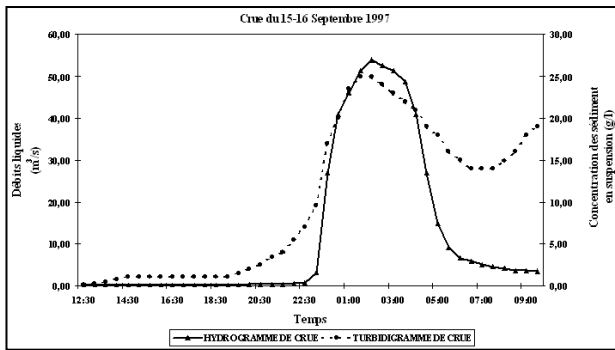
ANNEXE III : HYSTÉRÉSIS DANS LES SOUS BASSINS ETUDIÉS

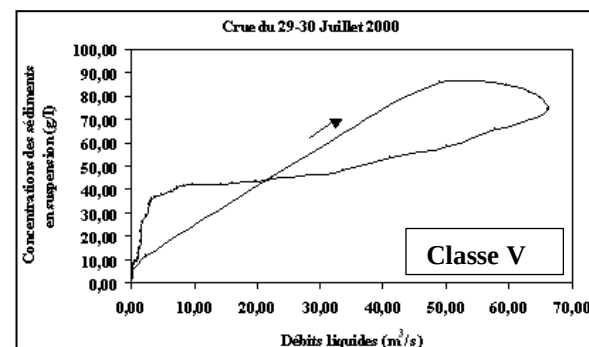
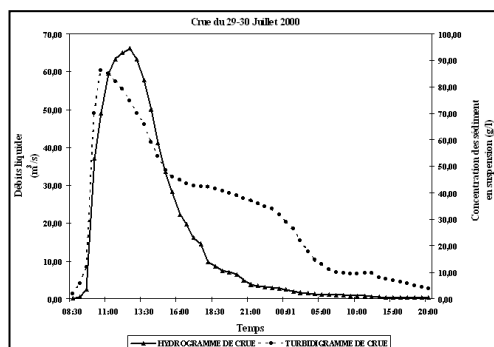
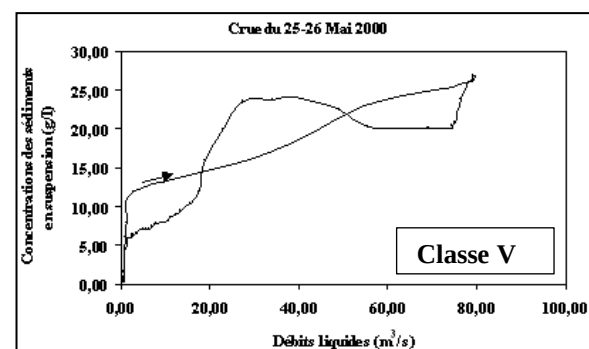
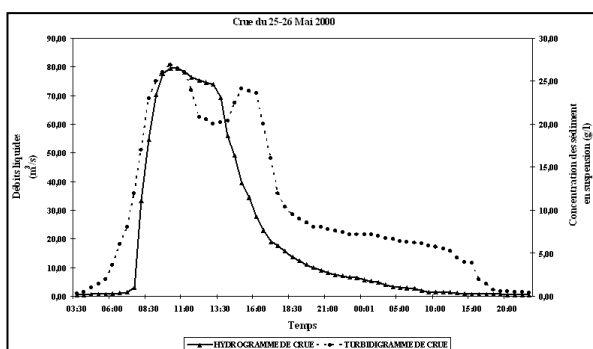
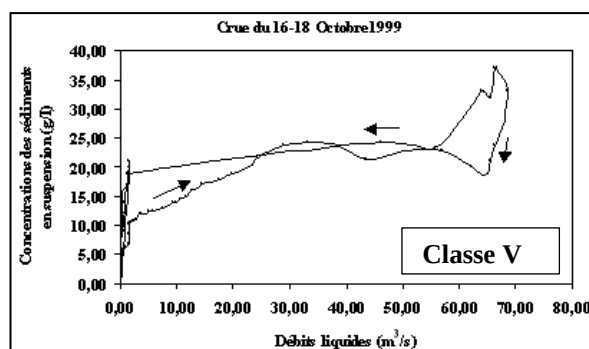
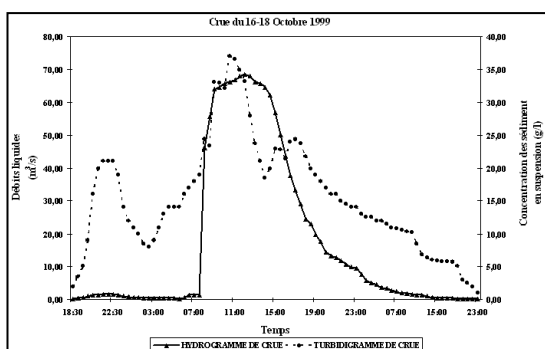
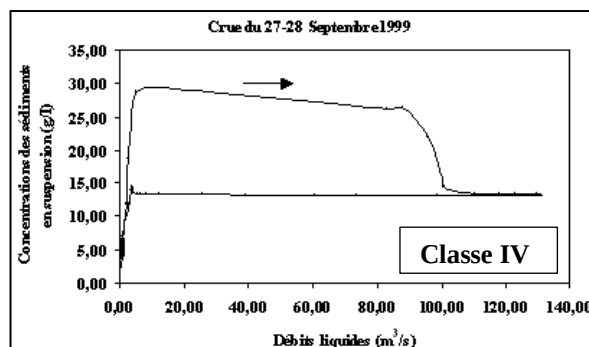
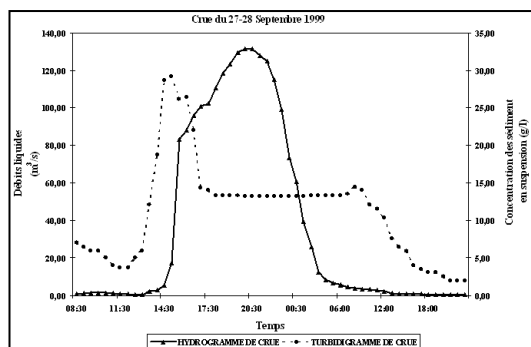
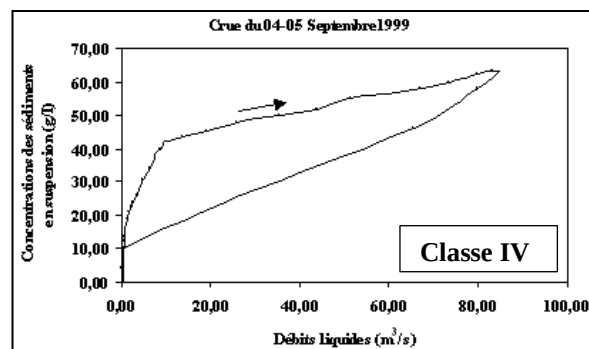
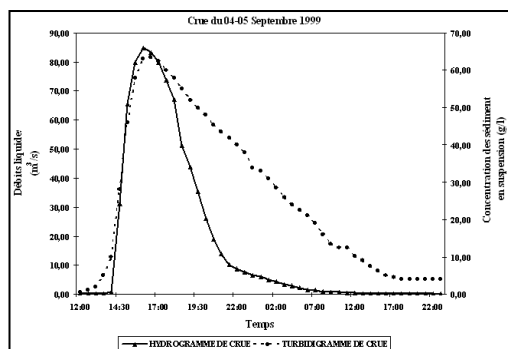
1- Station Sidi Bel Abbès :

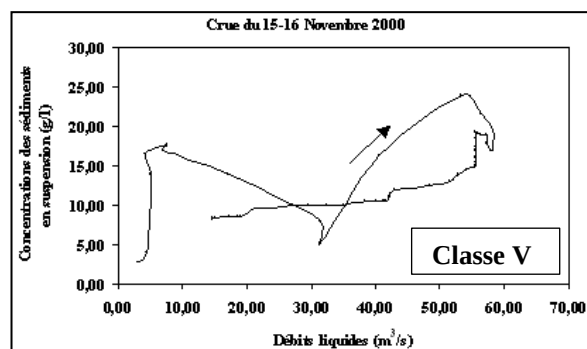
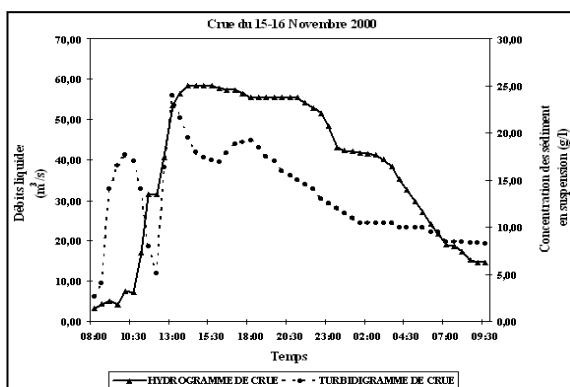
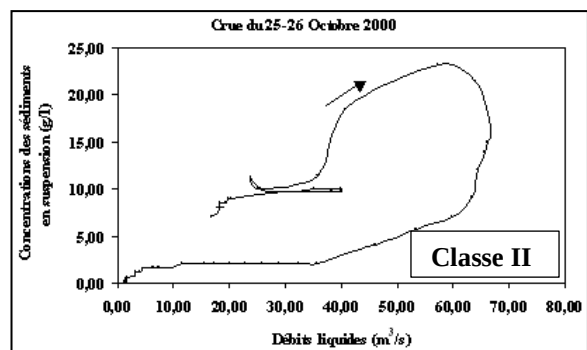
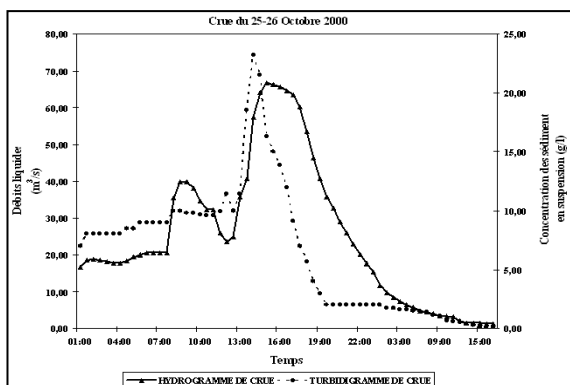
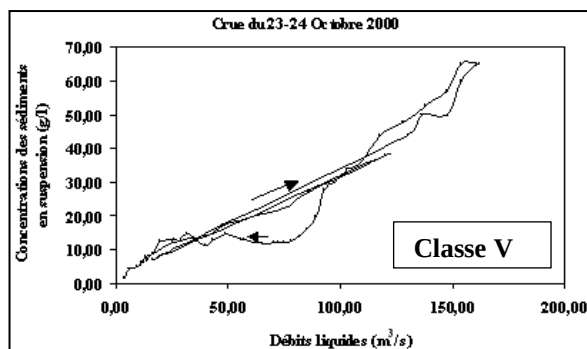
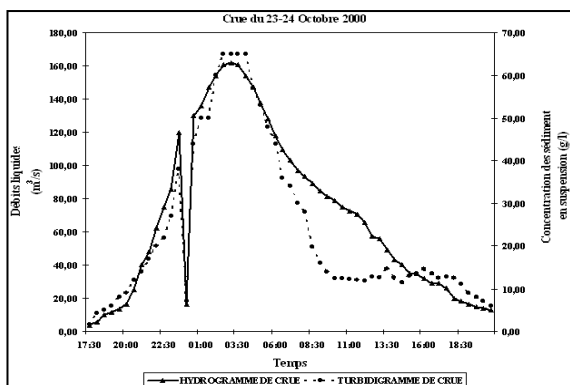
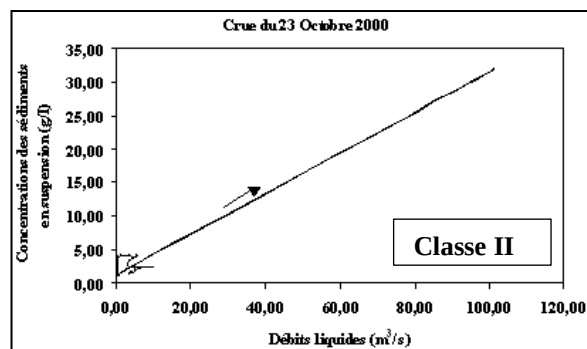
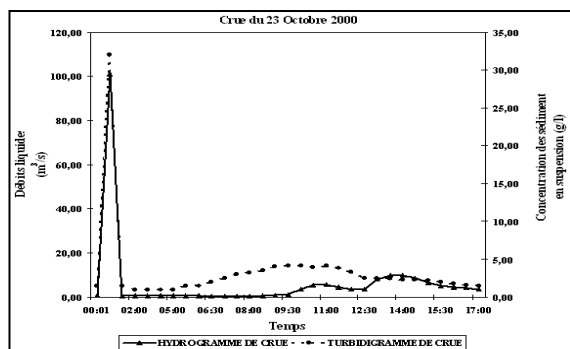


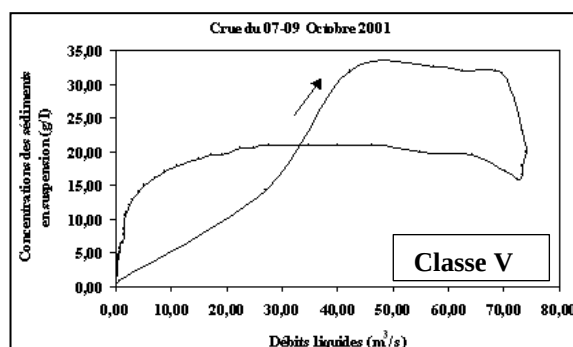
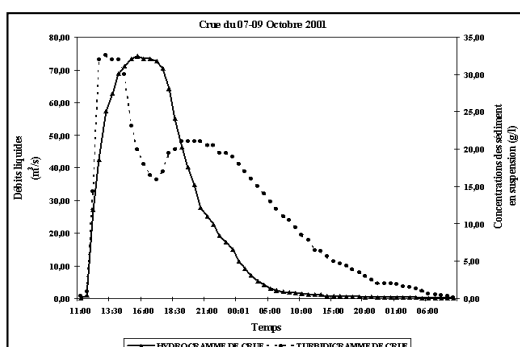
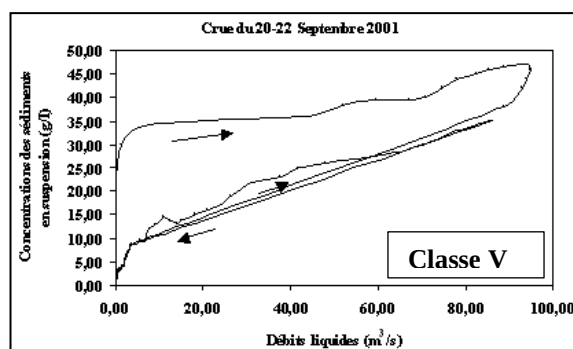
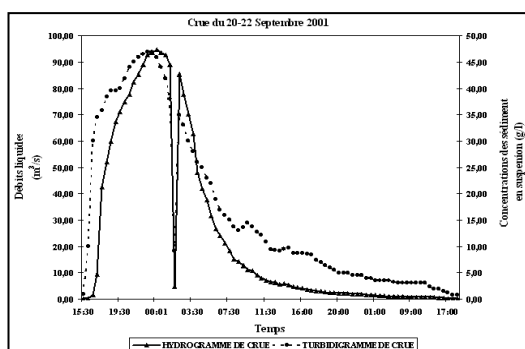
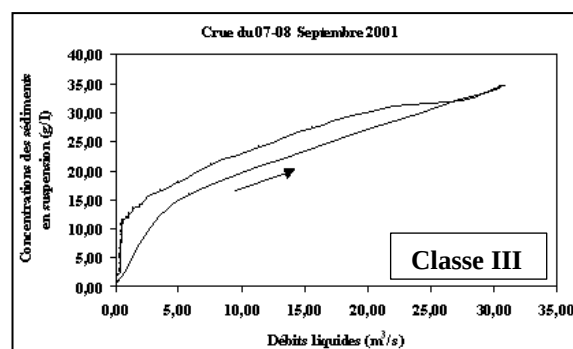
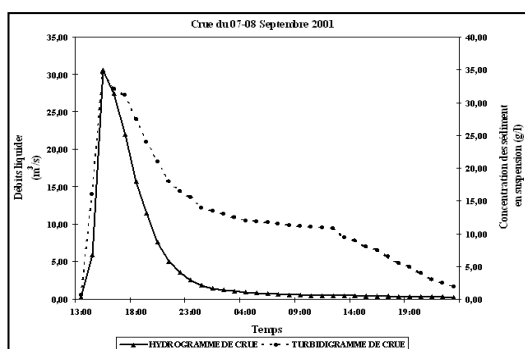
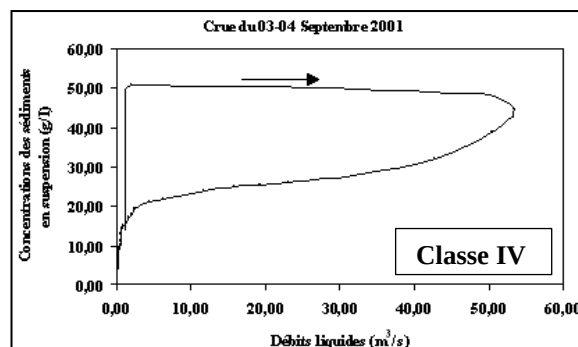
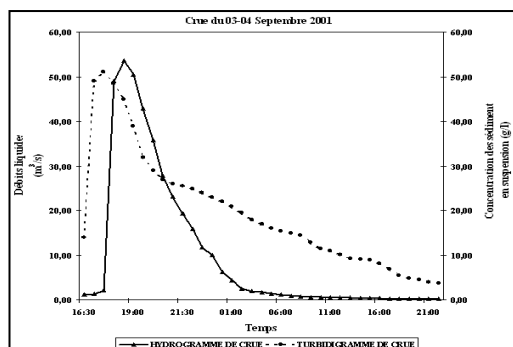
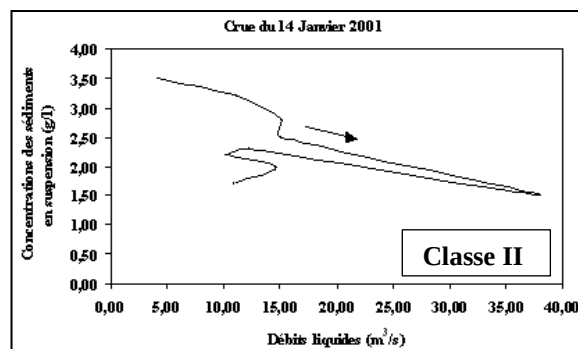
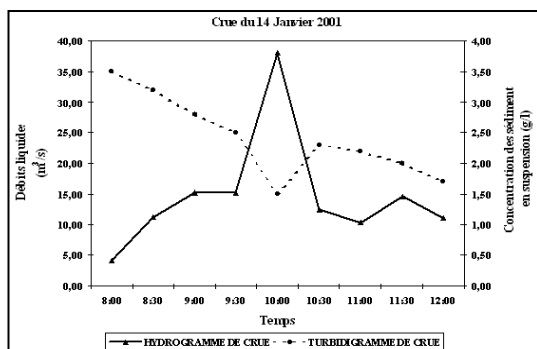


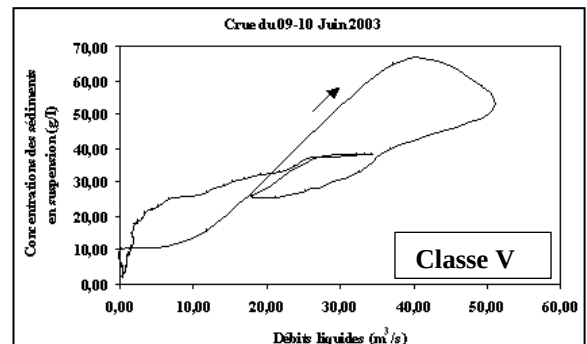
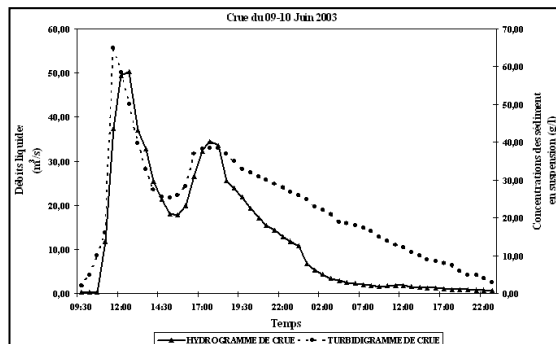
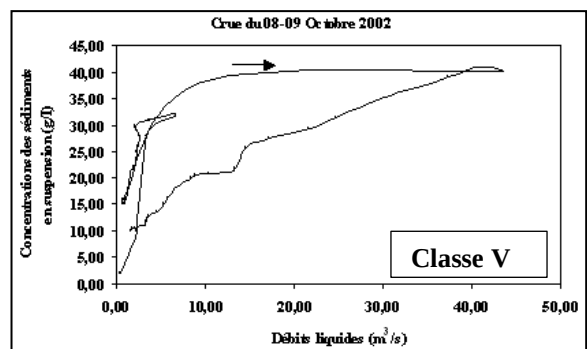
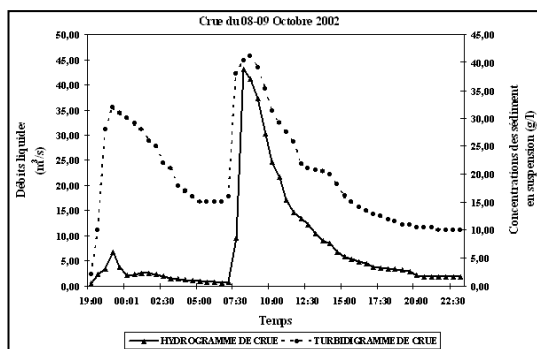
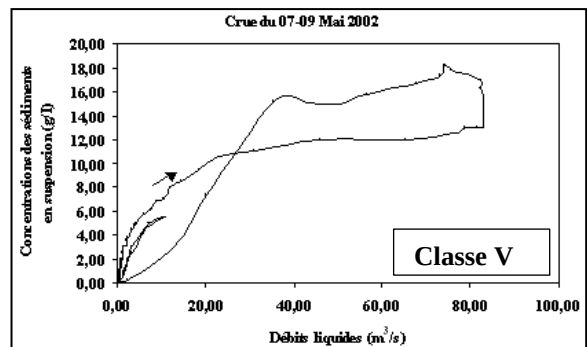
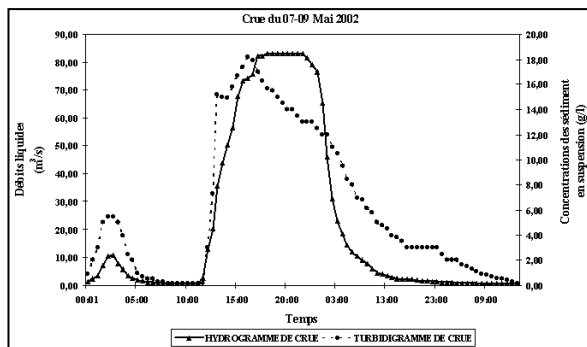
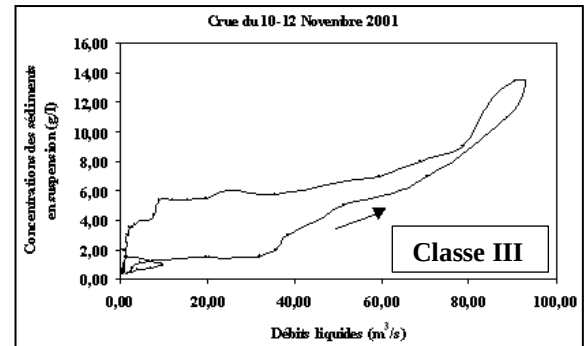
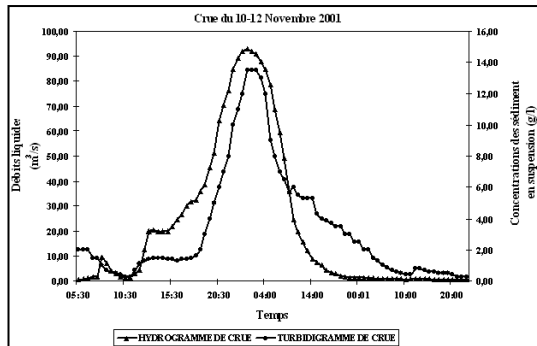
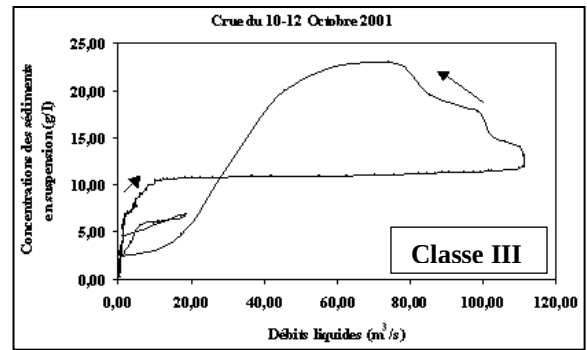
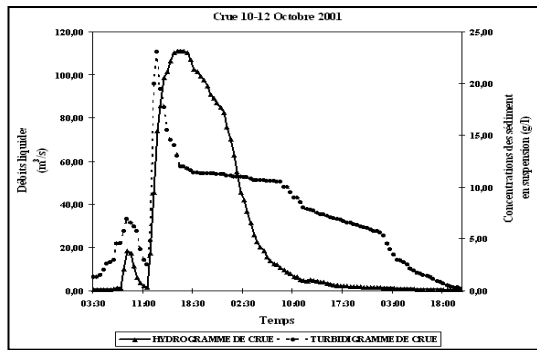












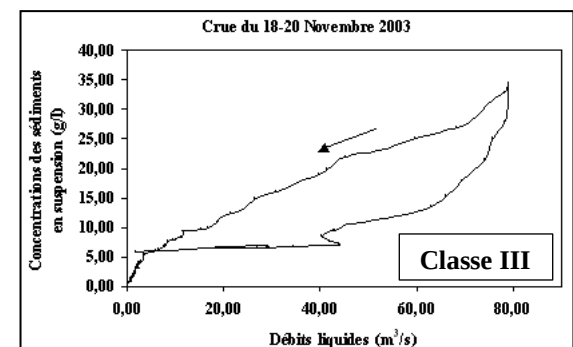
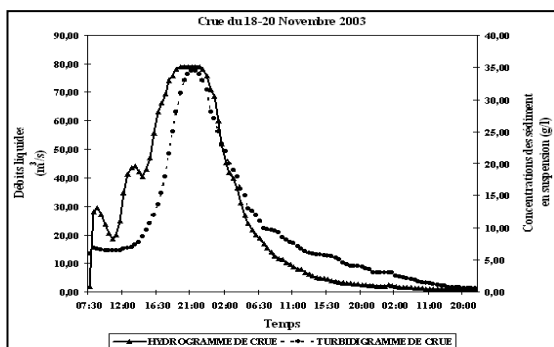
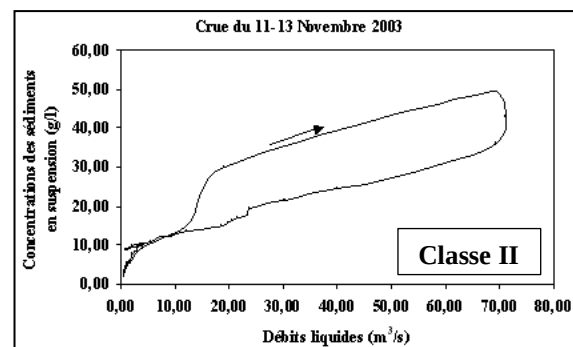
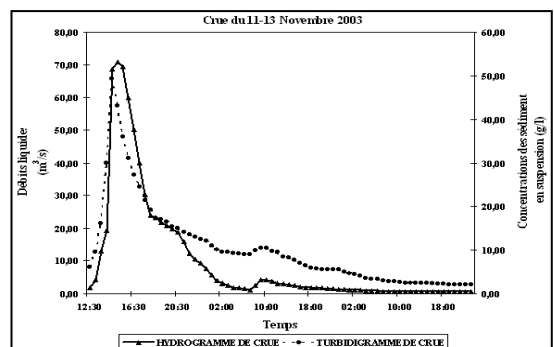
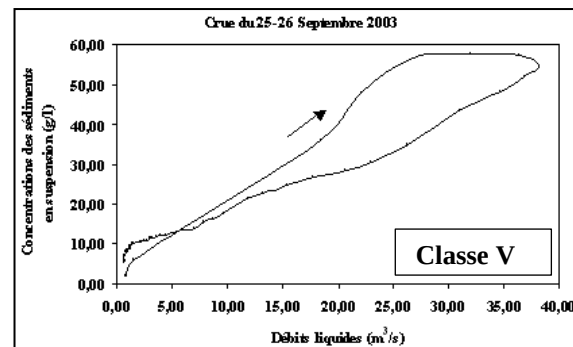
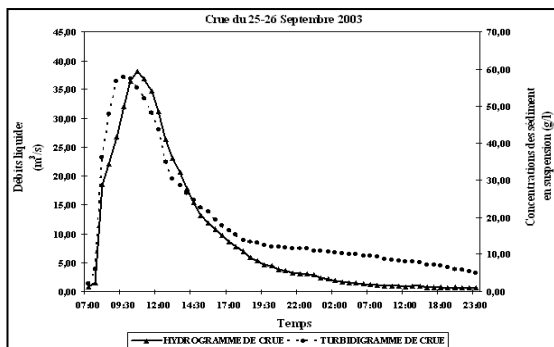
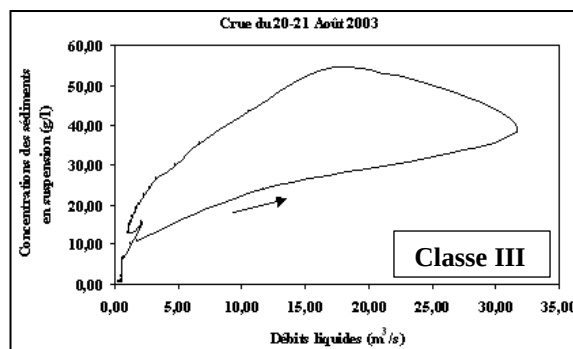
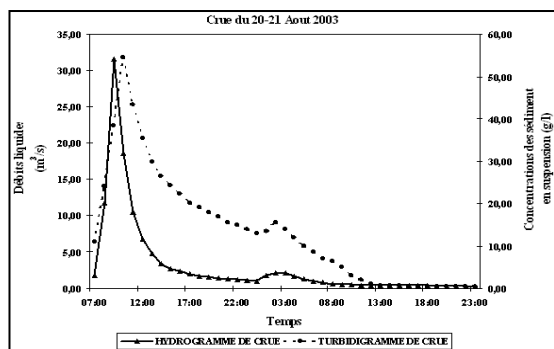
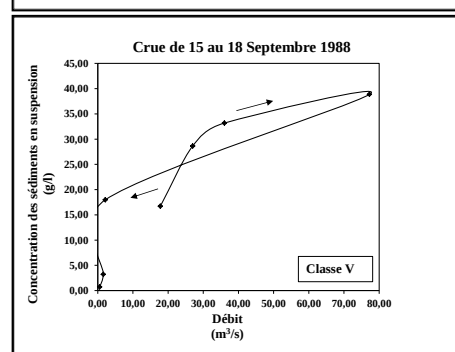
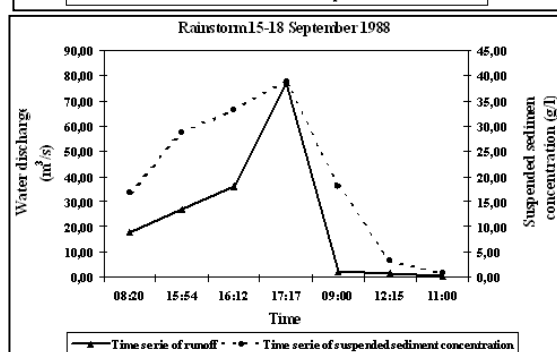
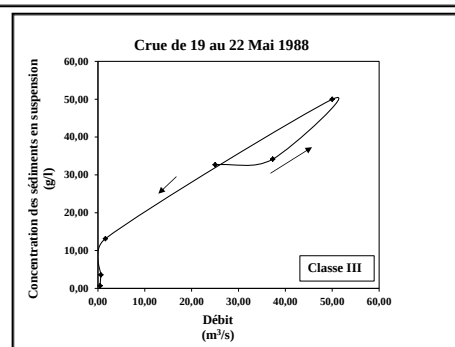
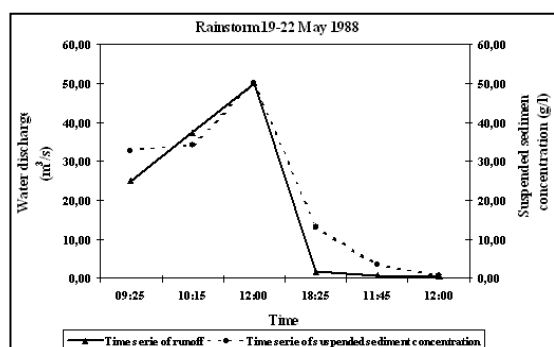
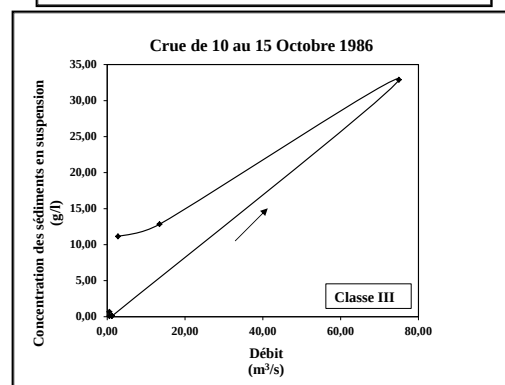
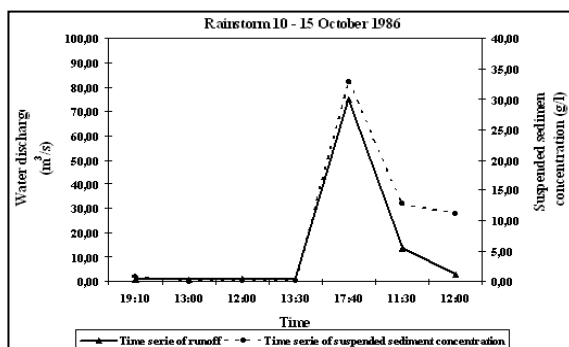
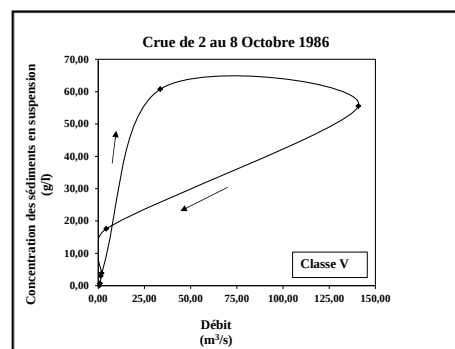
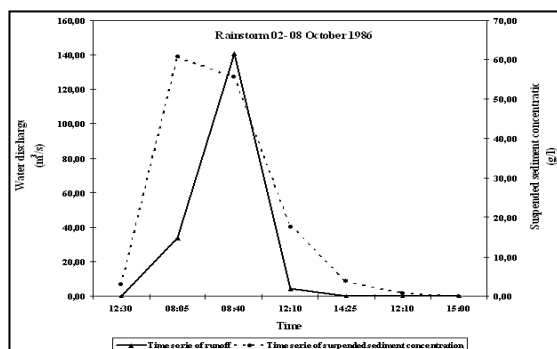
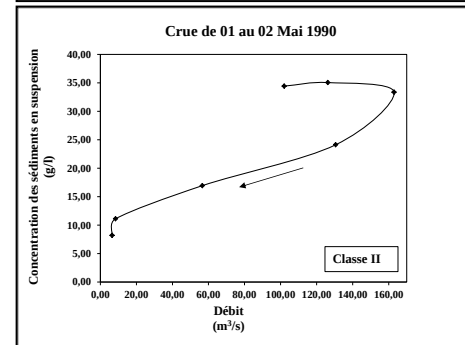
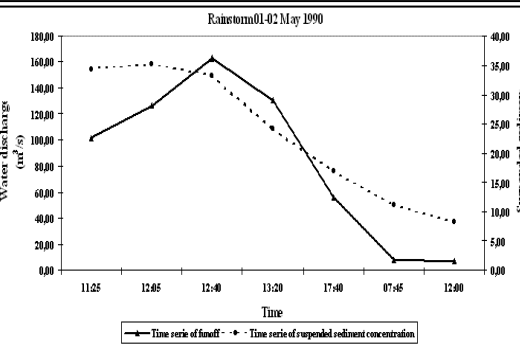
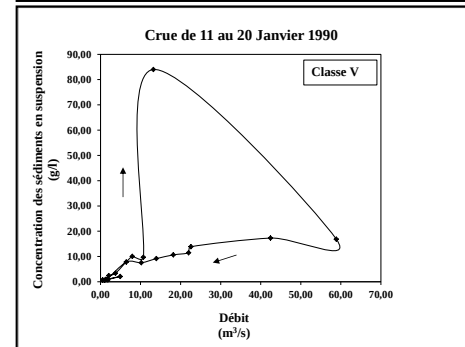
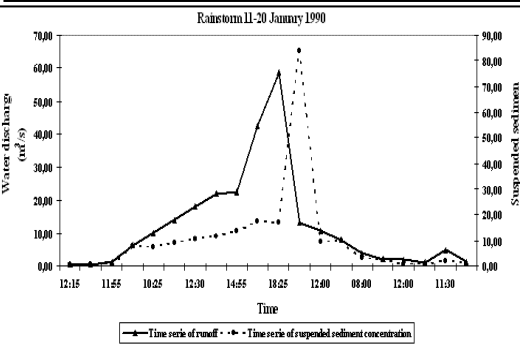
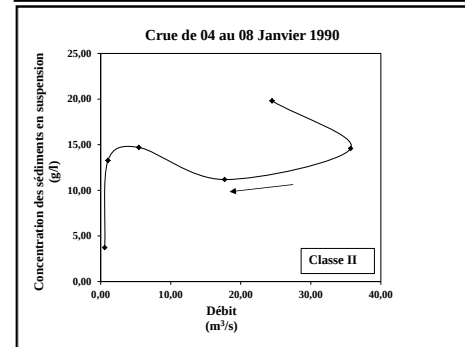
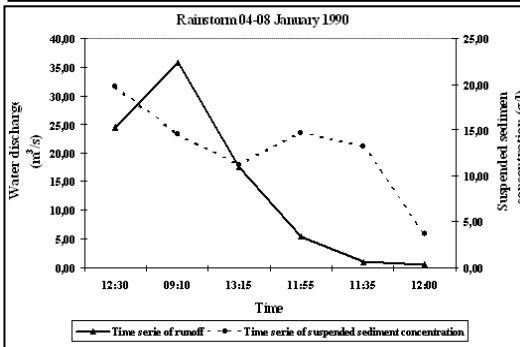
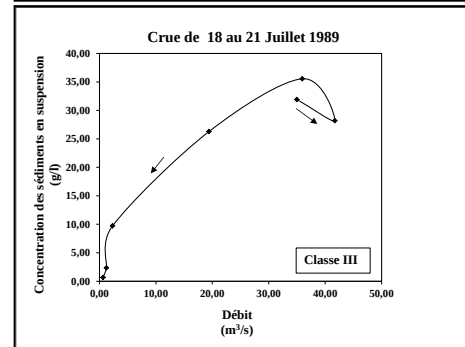
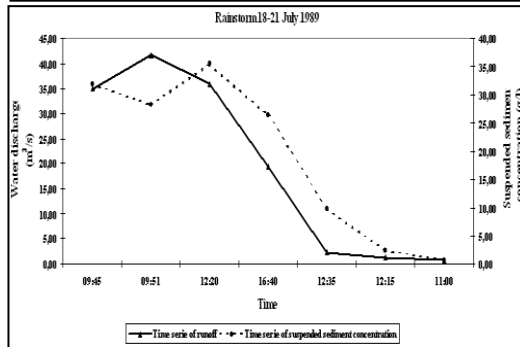
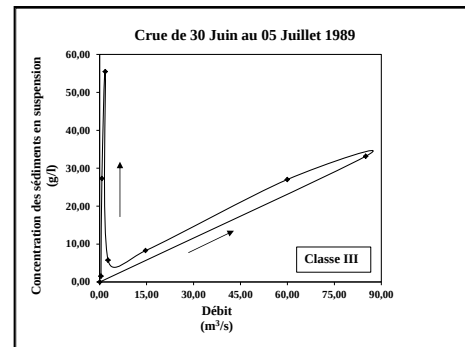
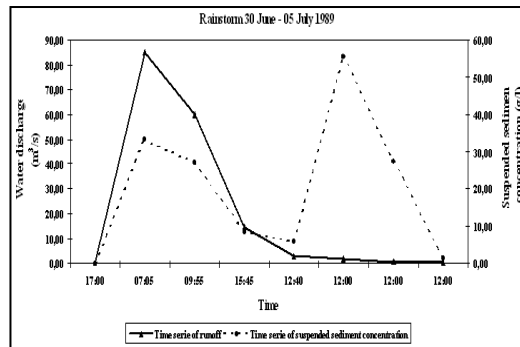
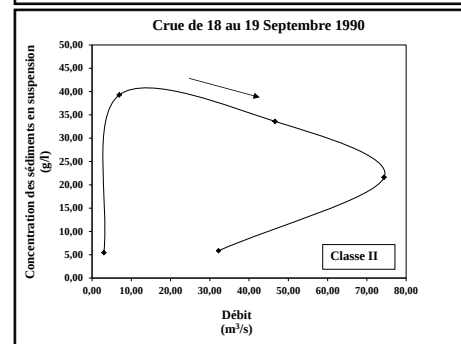
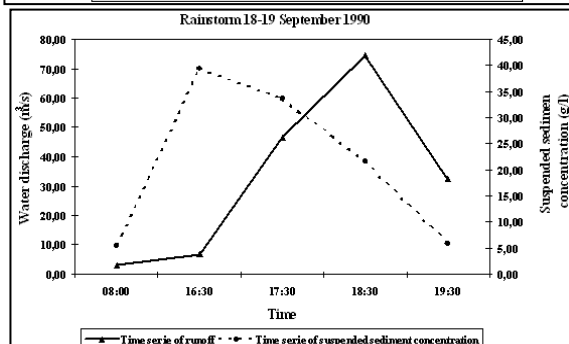
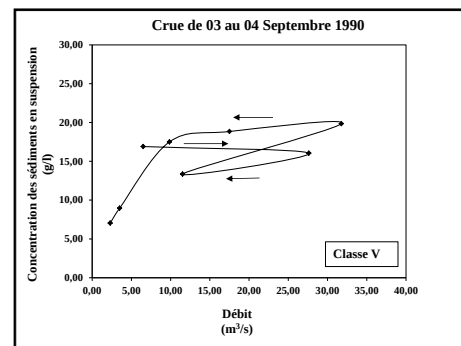
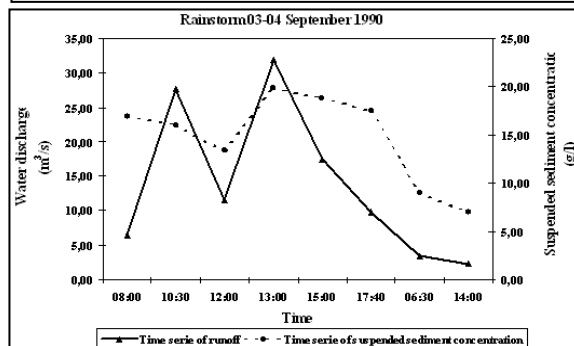
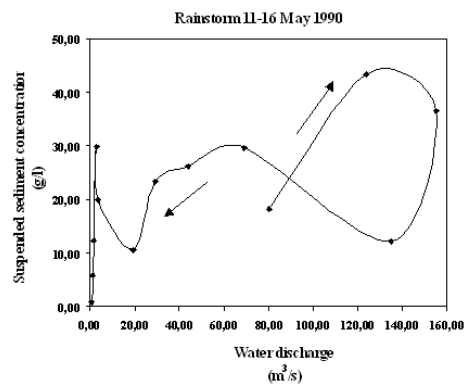
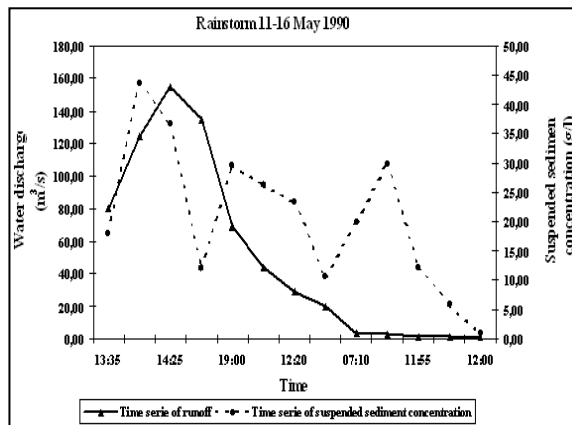
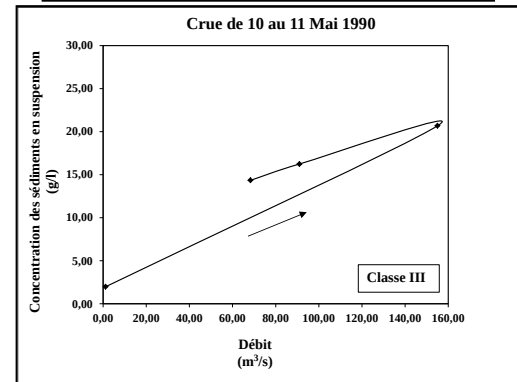
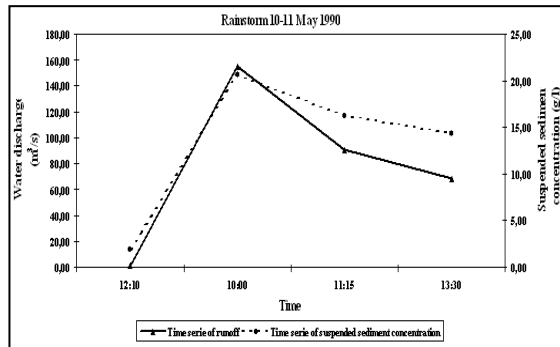
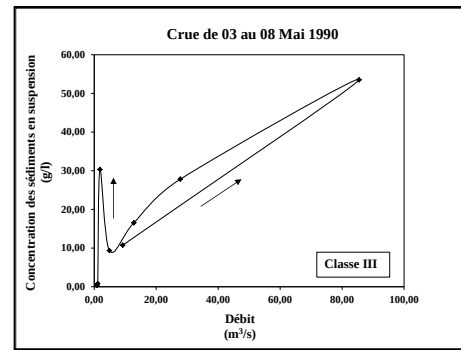
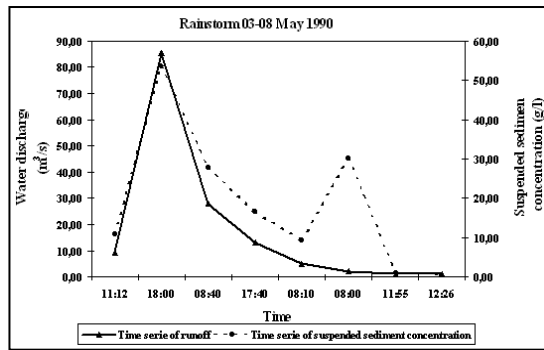


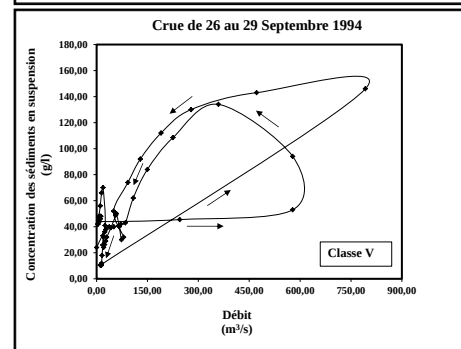
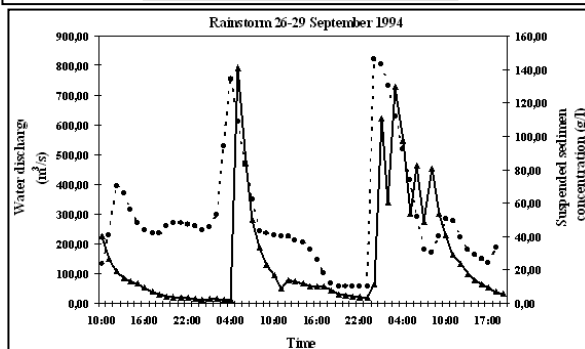
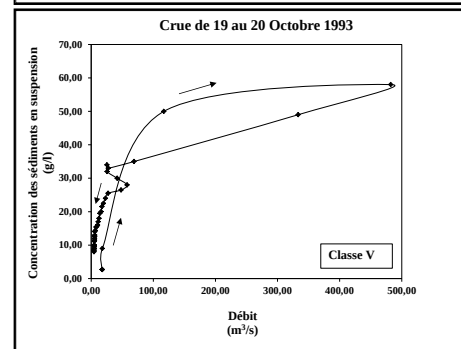
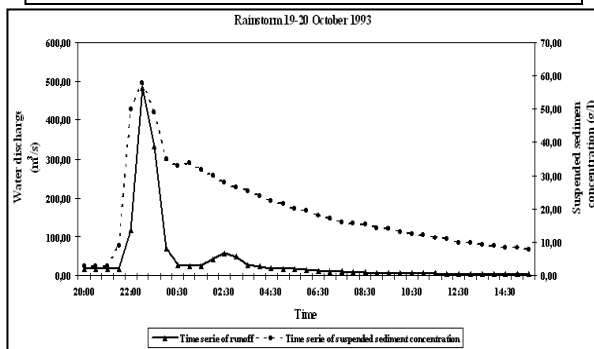
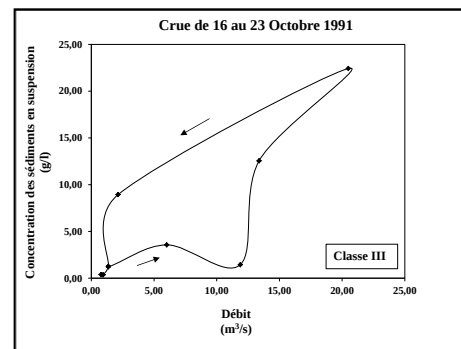
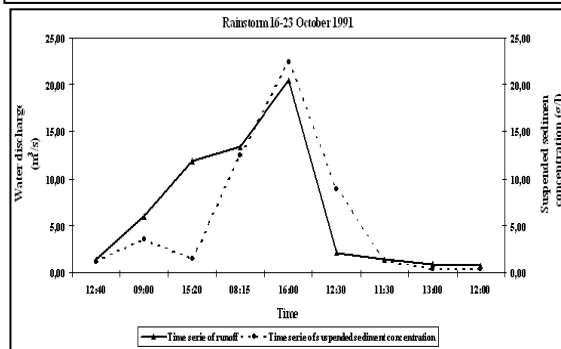
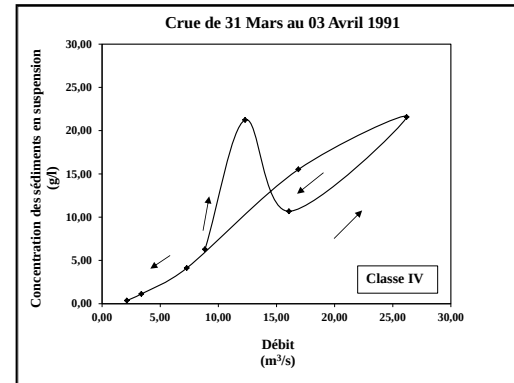
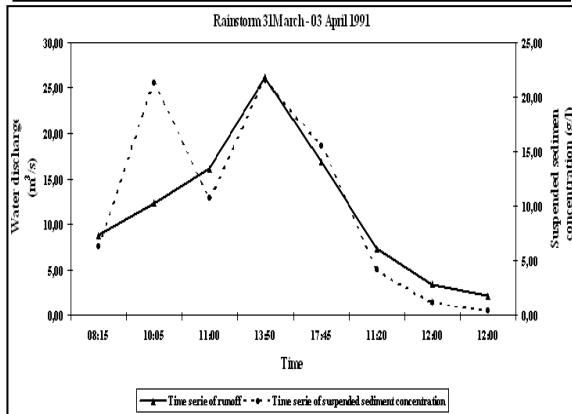
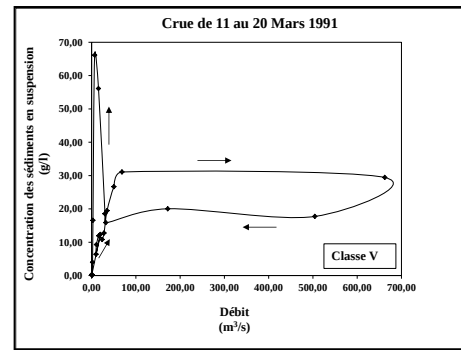
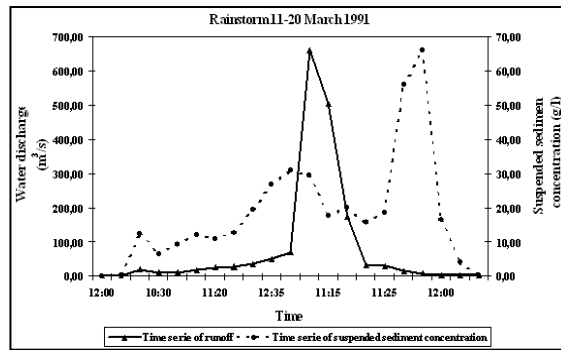
Figure (VIII-8) : Station Sidi Bel Abbès : A gauche l'hydrogramme de crue, A droite relation C – Q.

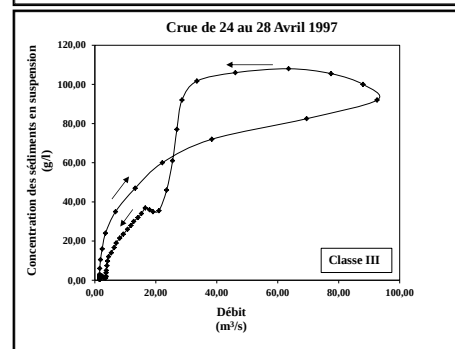
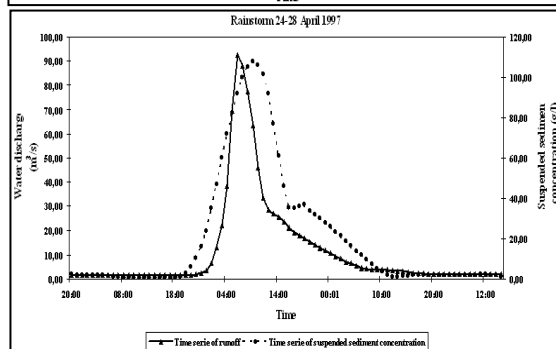
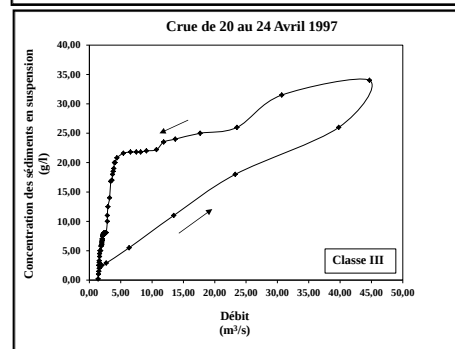
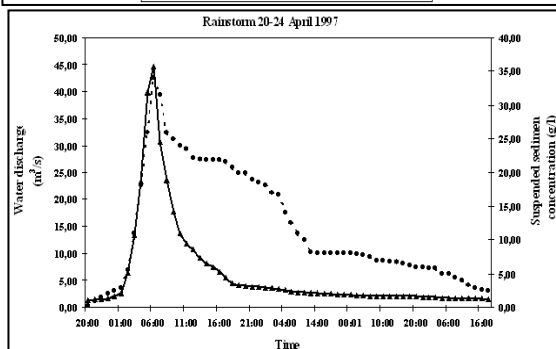
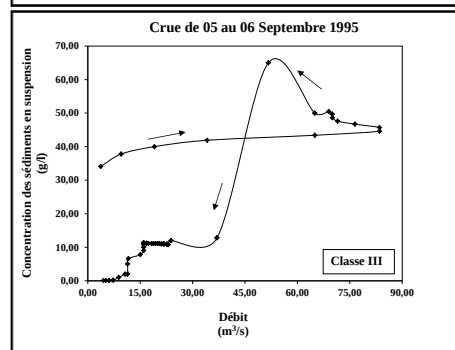
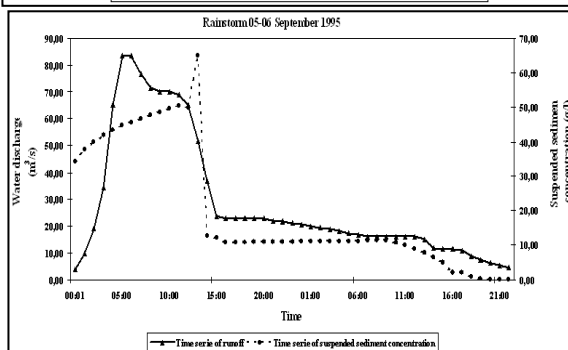
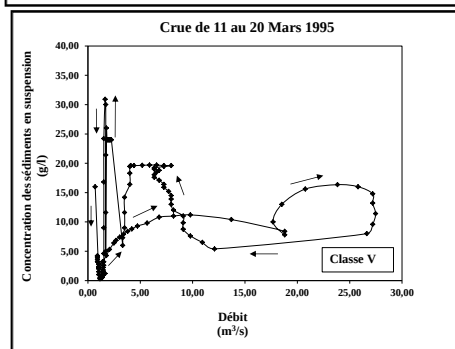
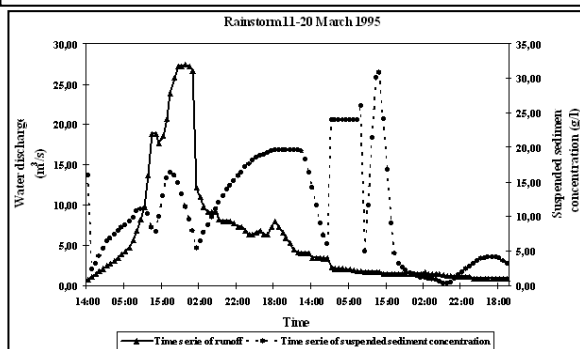
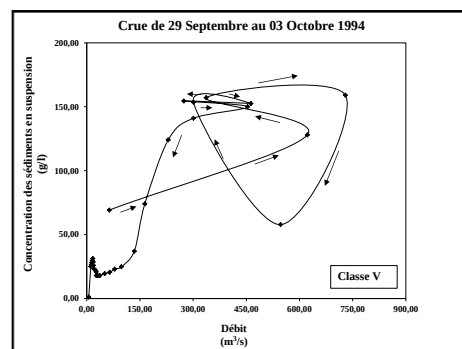
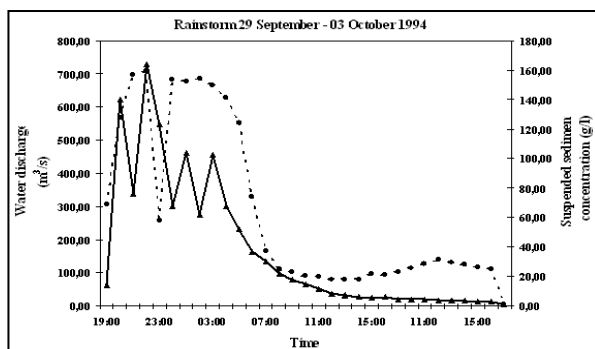
2- Station Trois Rivières :

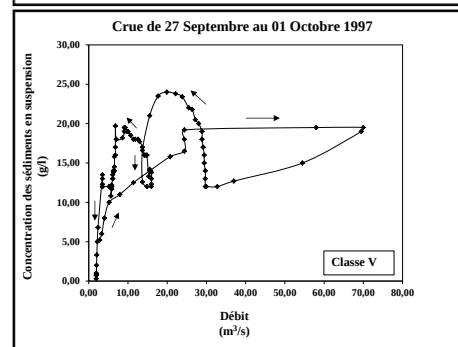
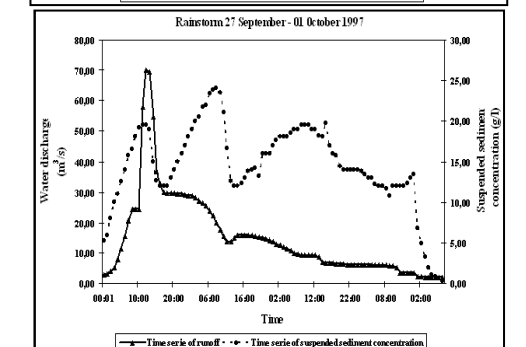
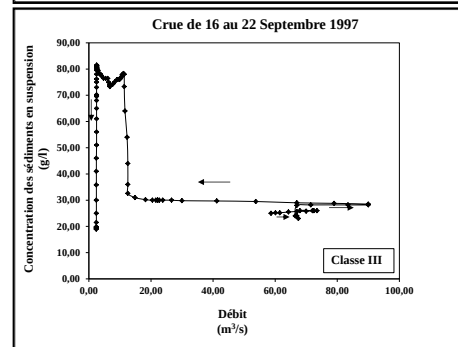
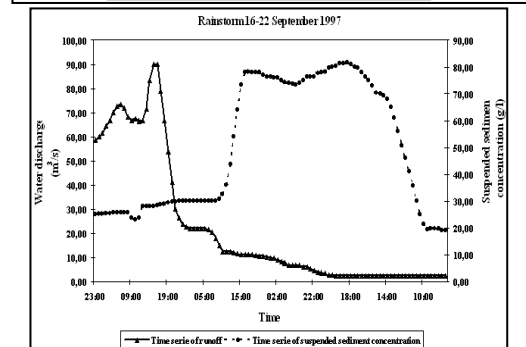
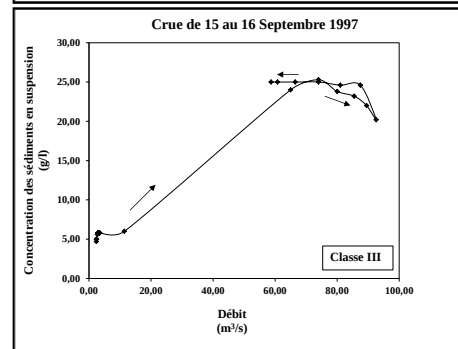
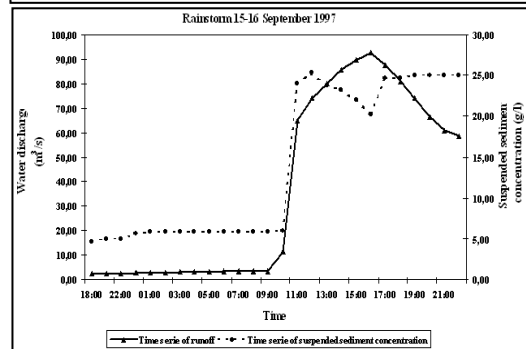
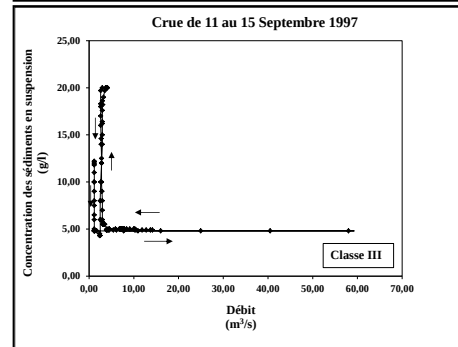
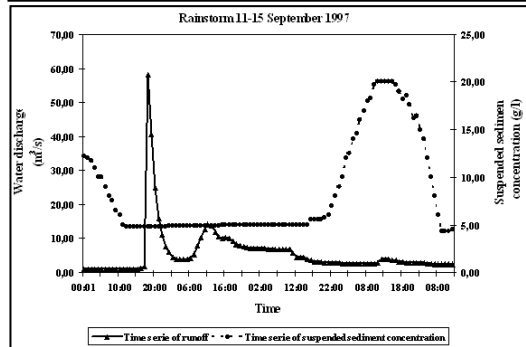
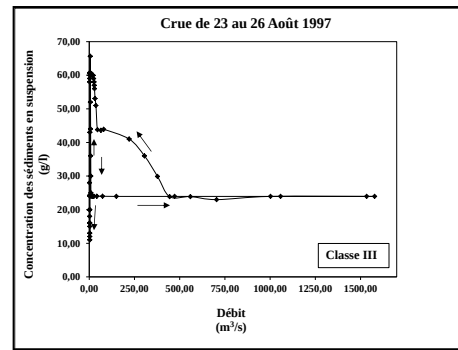
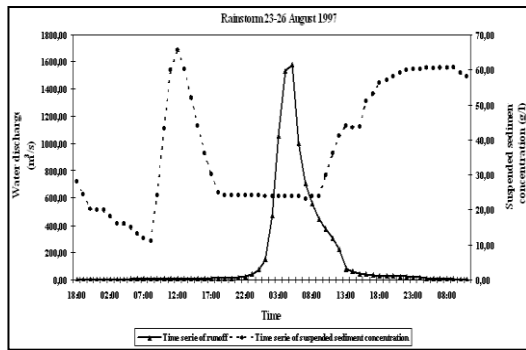


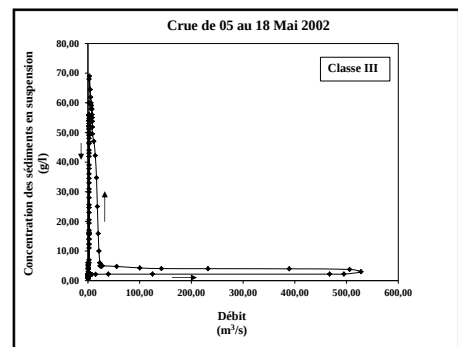
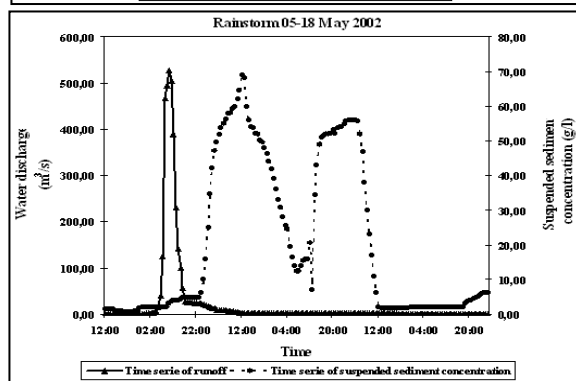
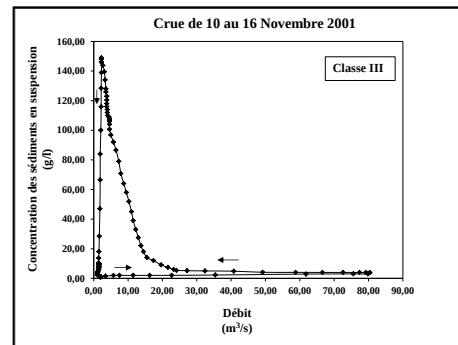
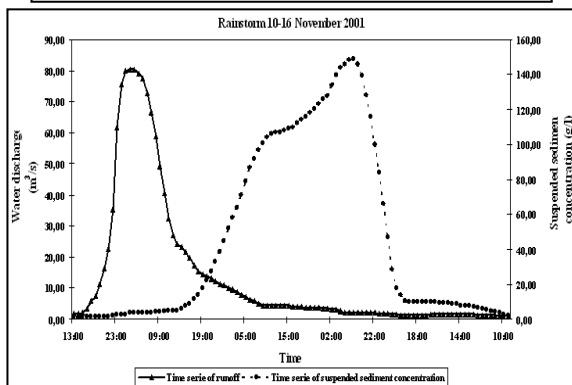
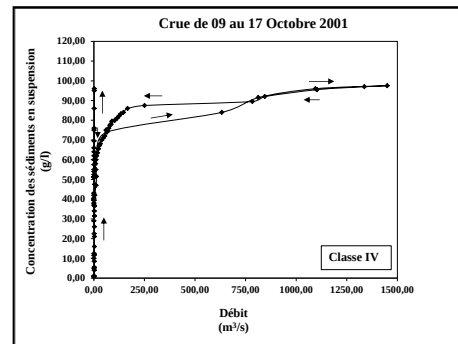
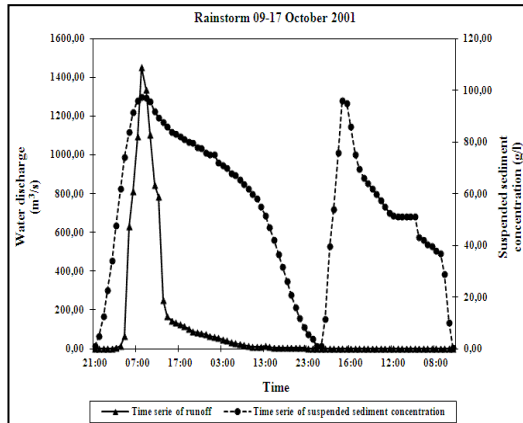
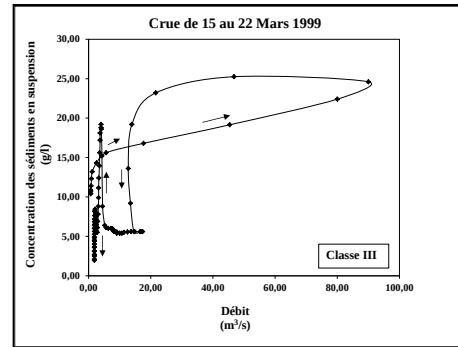
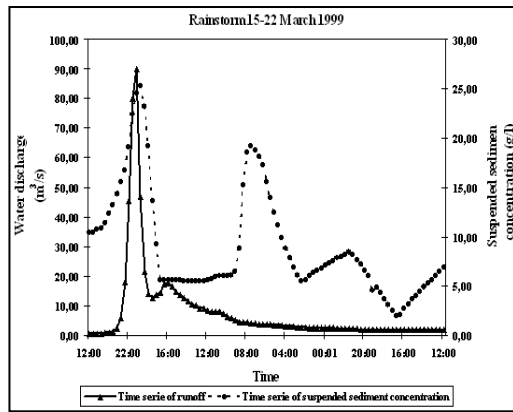


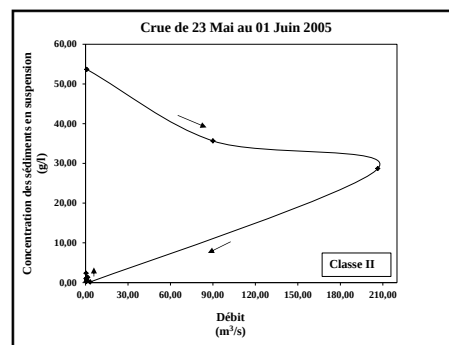
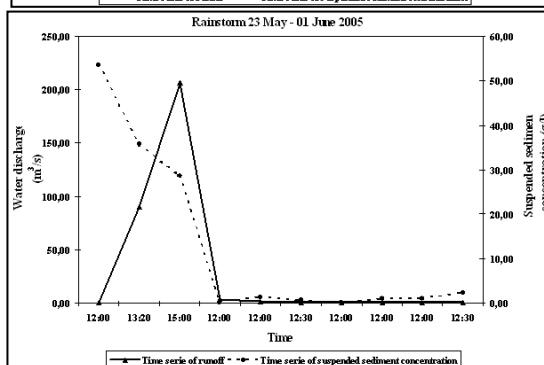
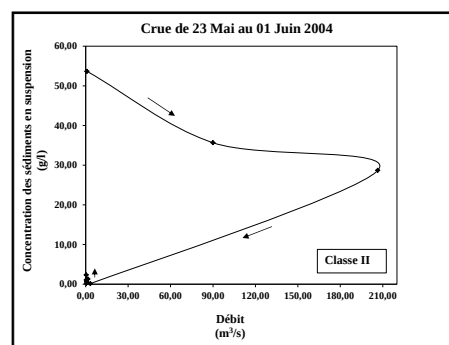
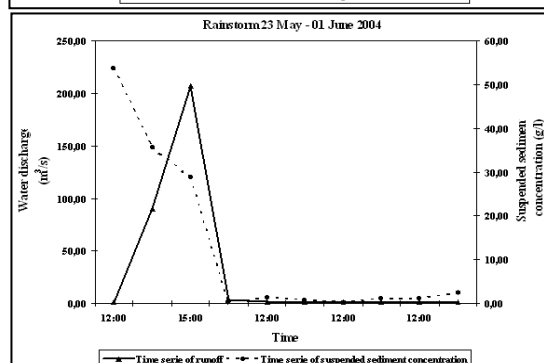
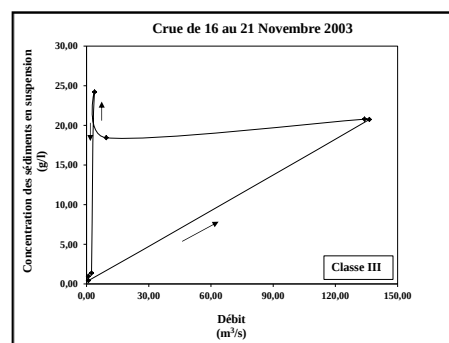
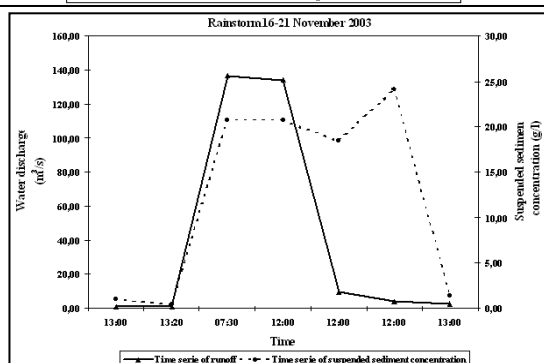
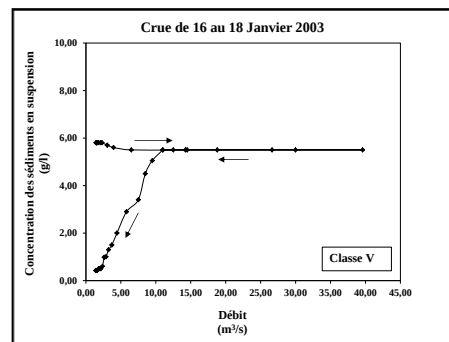
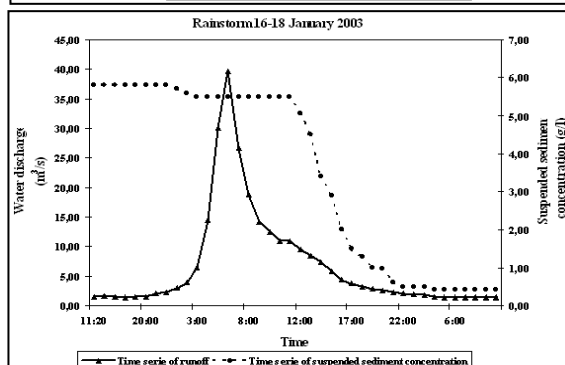
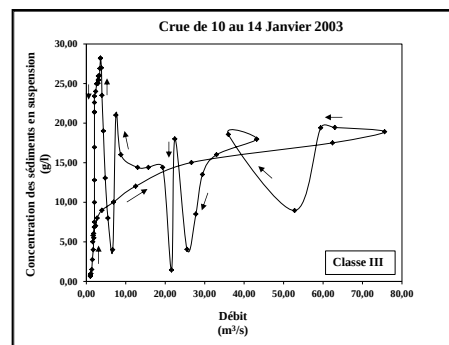
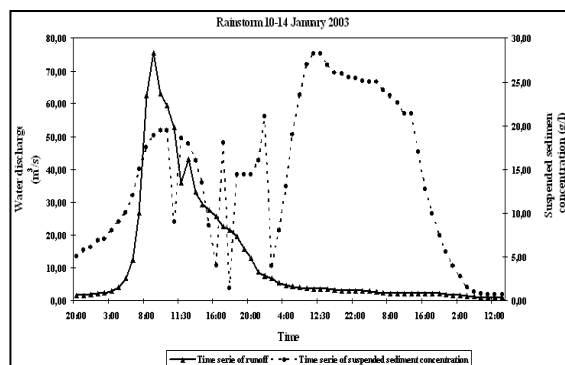












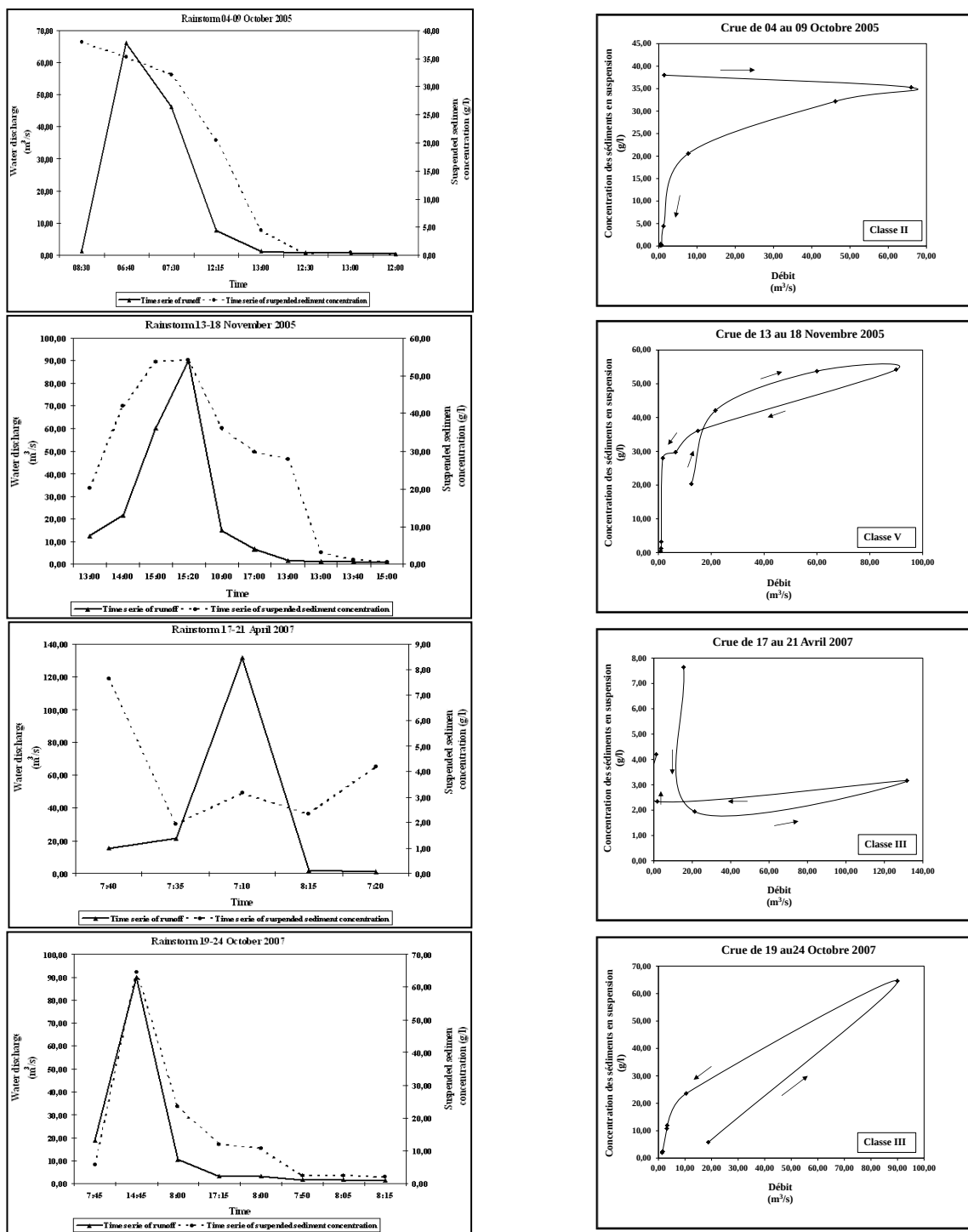
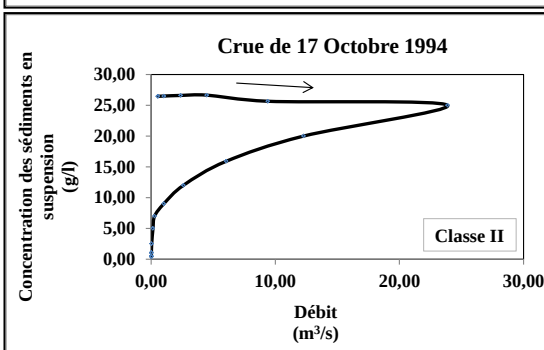
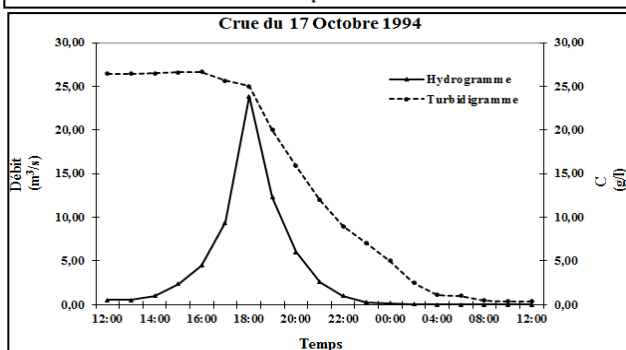
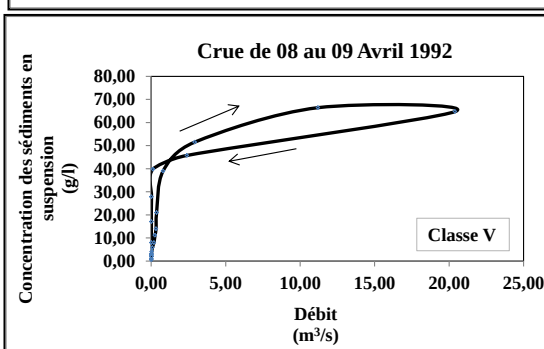
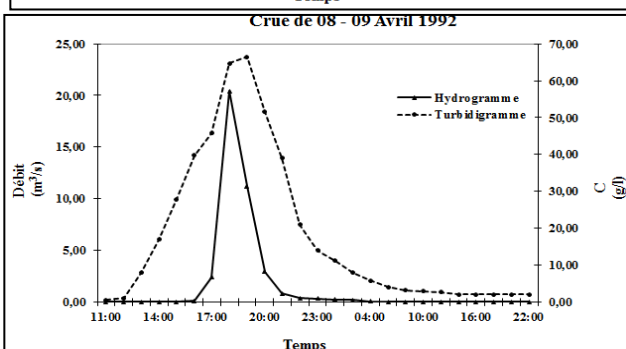
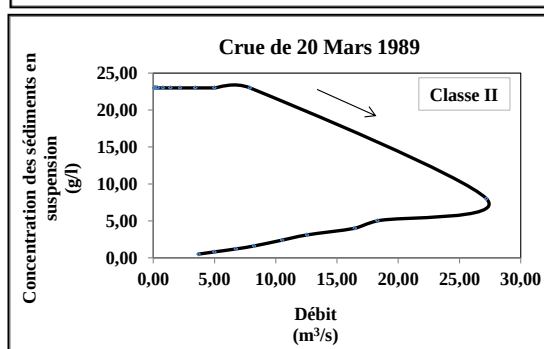
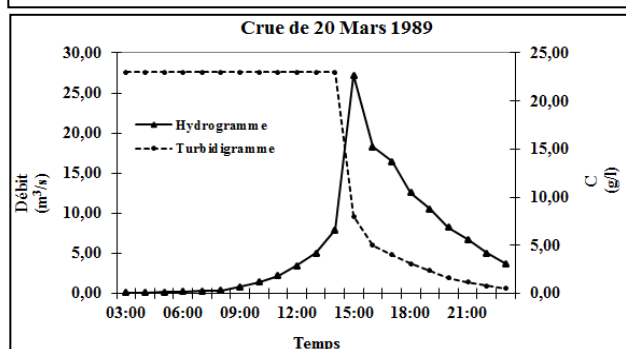
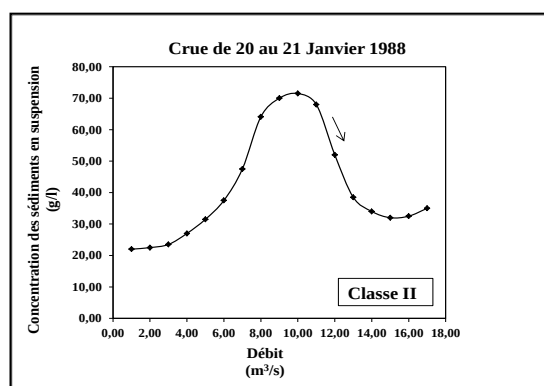
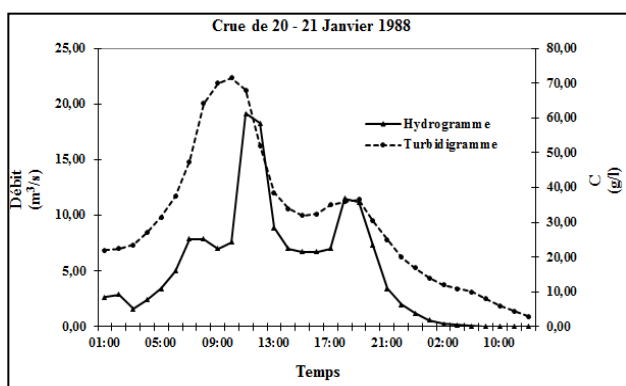
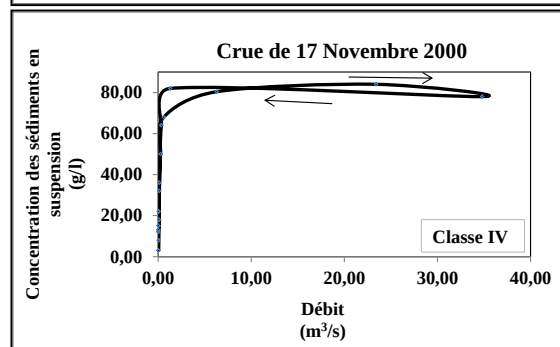
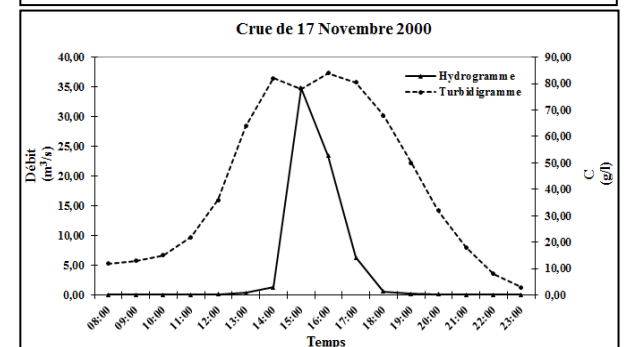
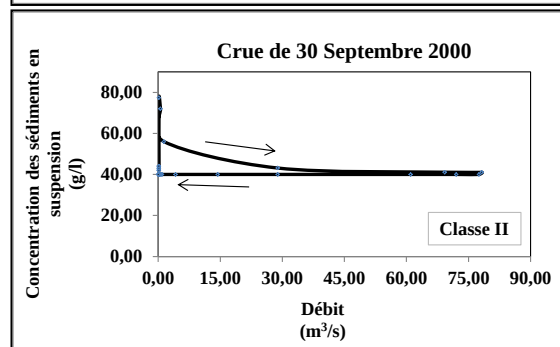
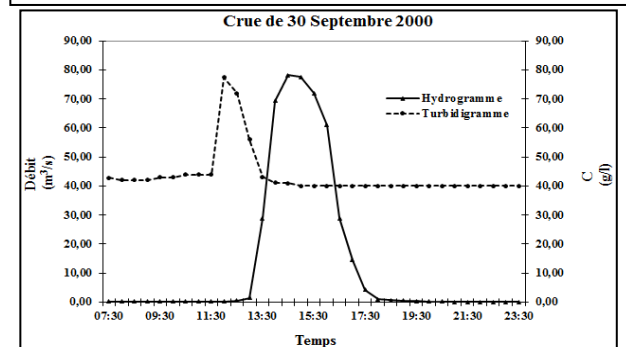
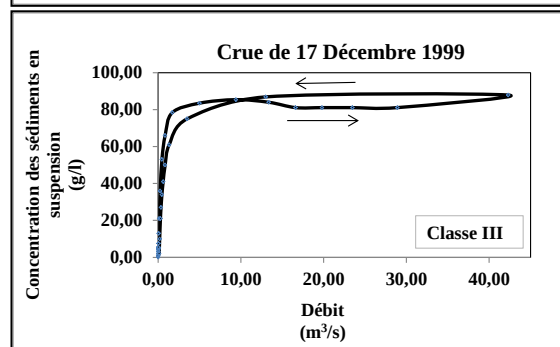
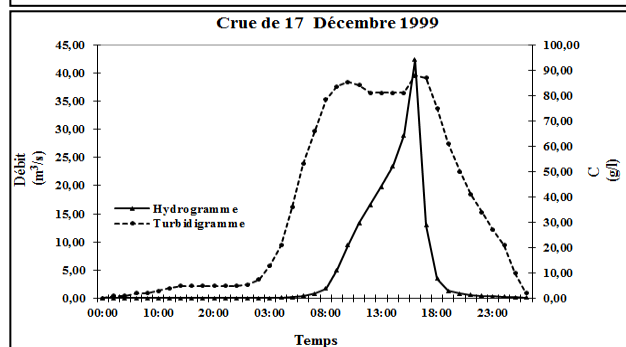
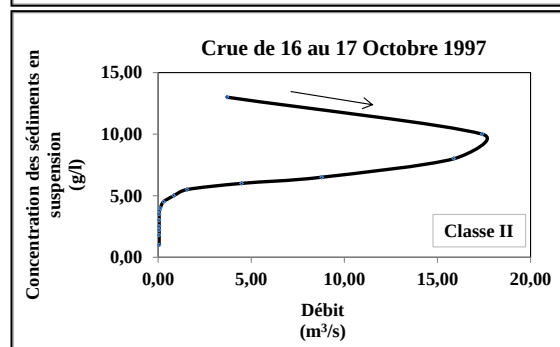
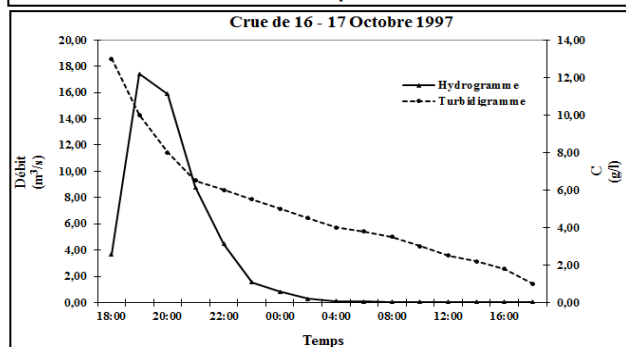
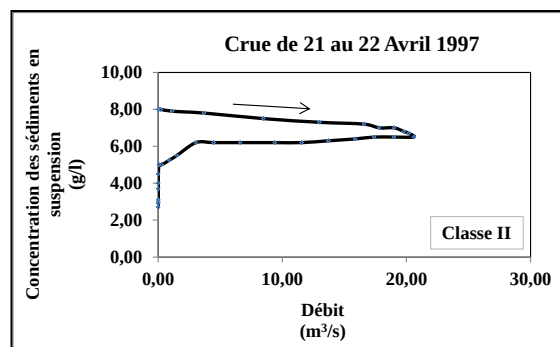
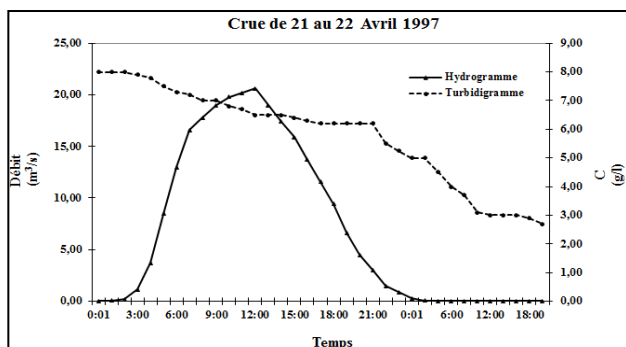


Figure (VIII-9) : Station Trois Rivières : A gauche l'hydrogramme de crue, A droite relation C – Q.

3- Station Khalouia :





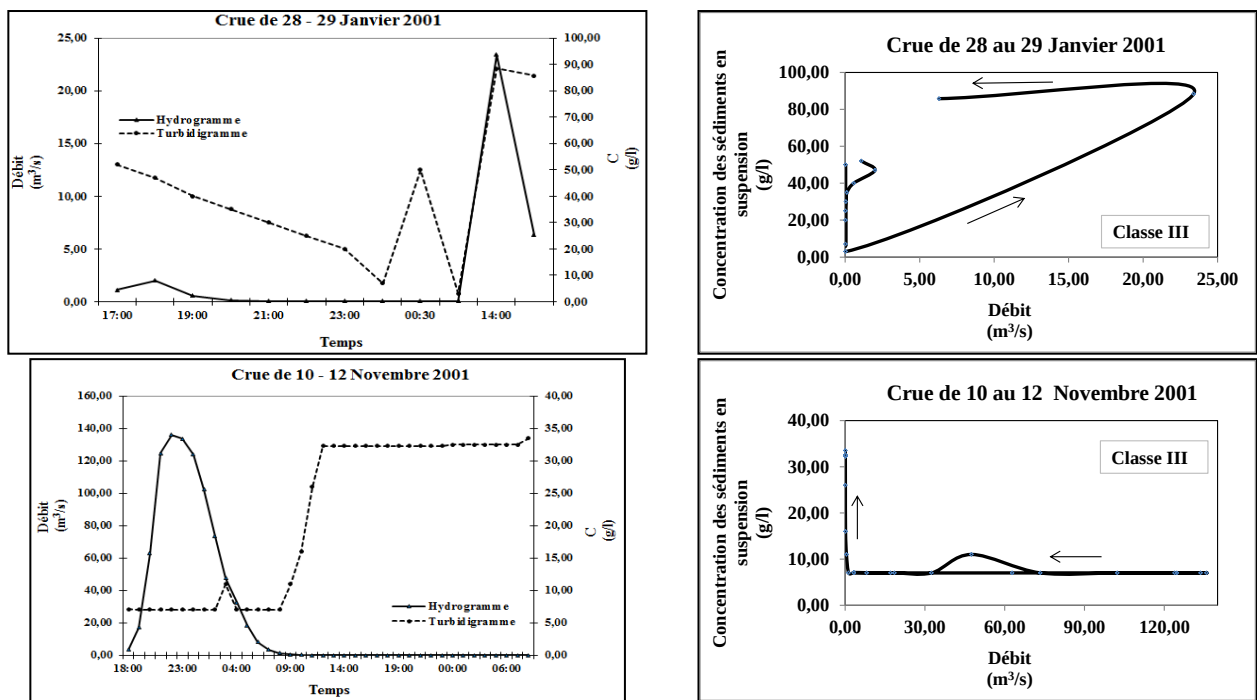
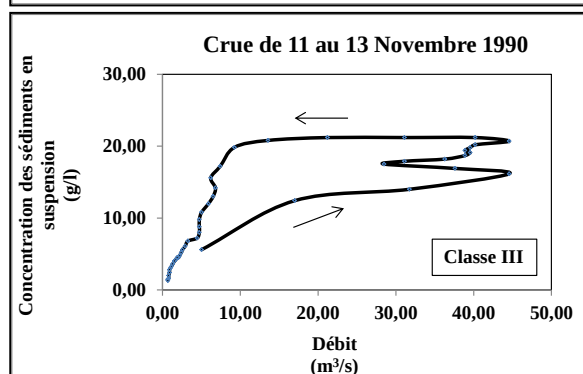
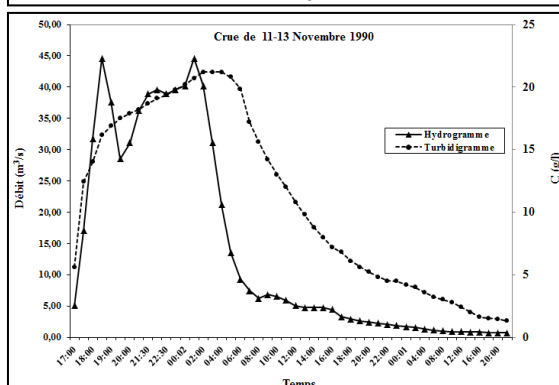
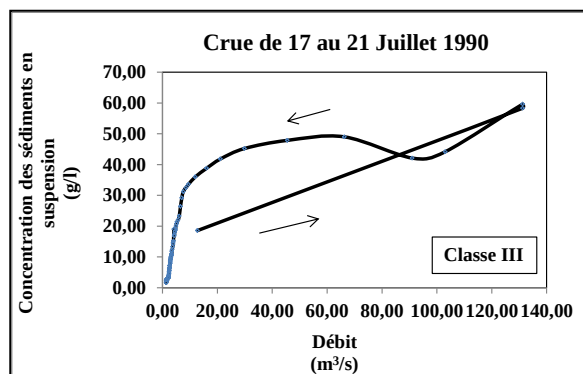
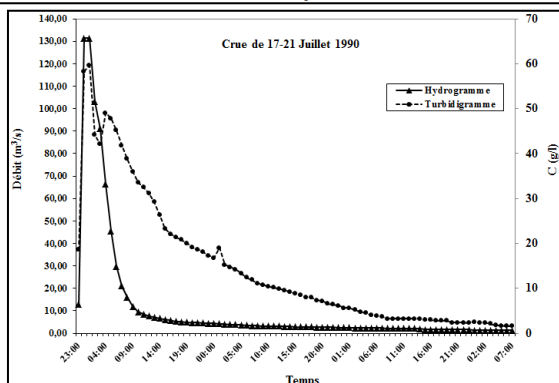
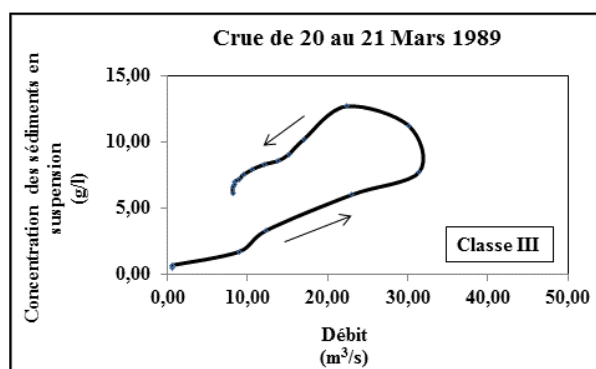
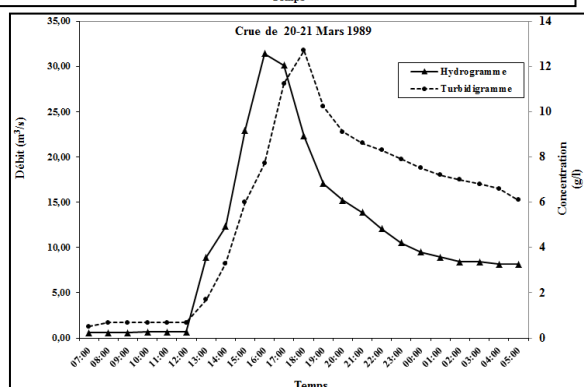
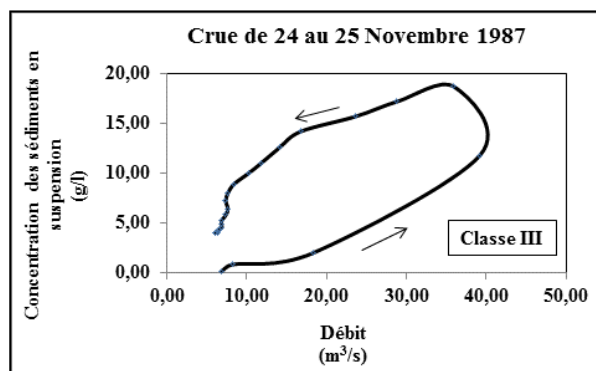
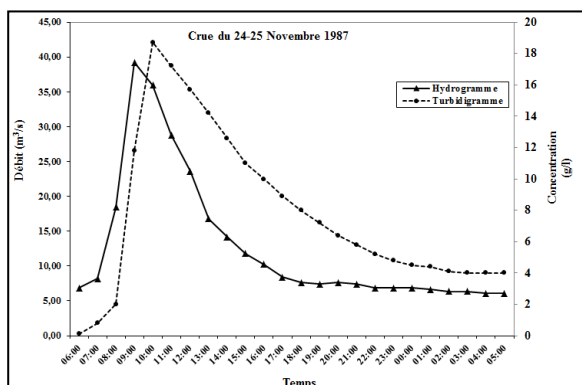
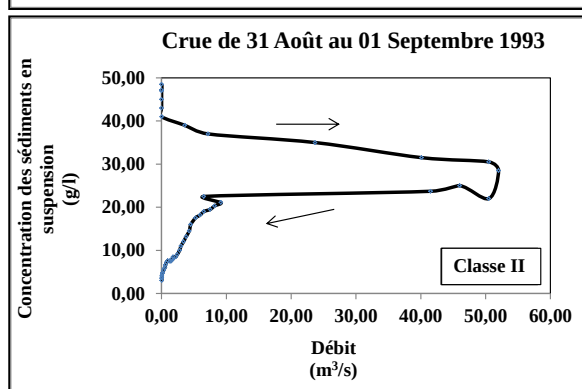
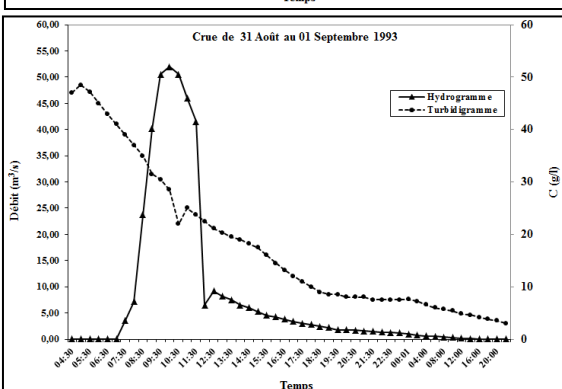
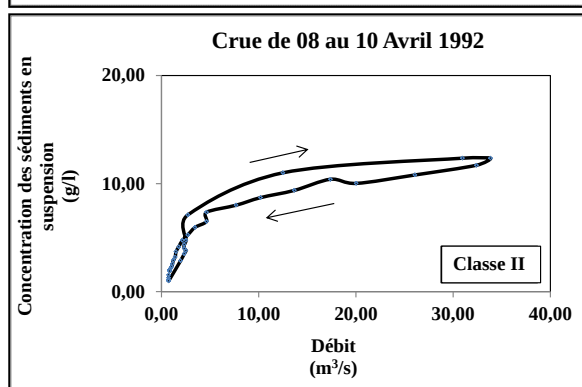
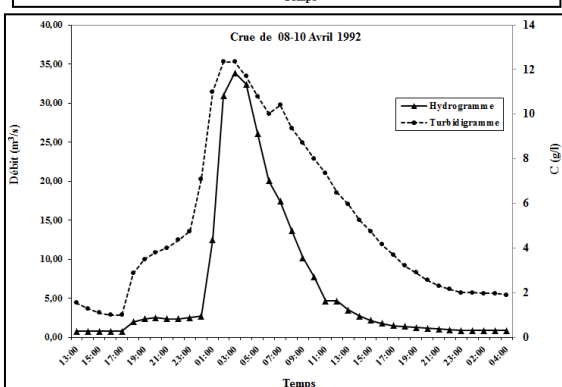
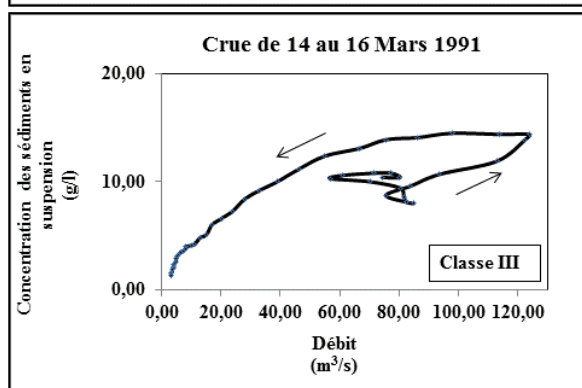
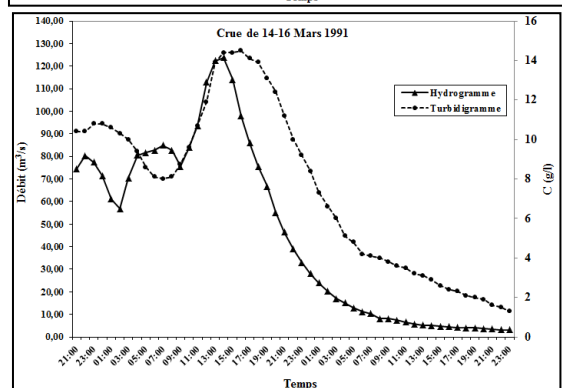
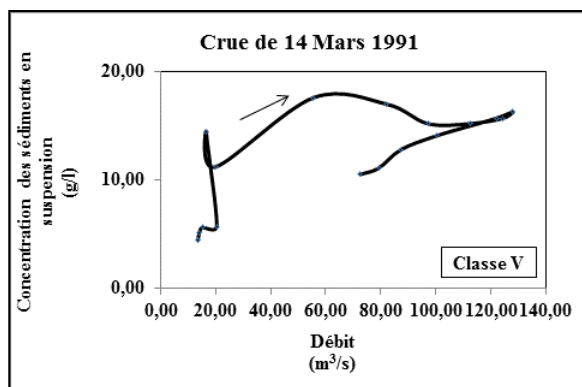
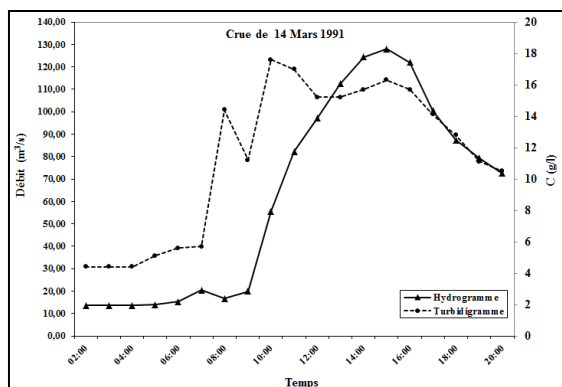
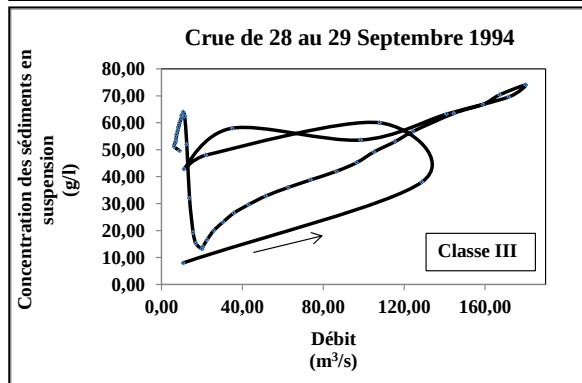
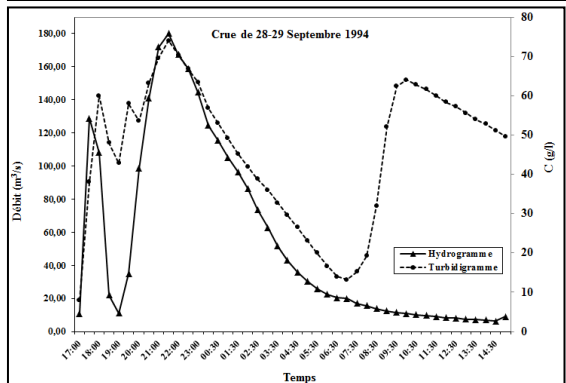
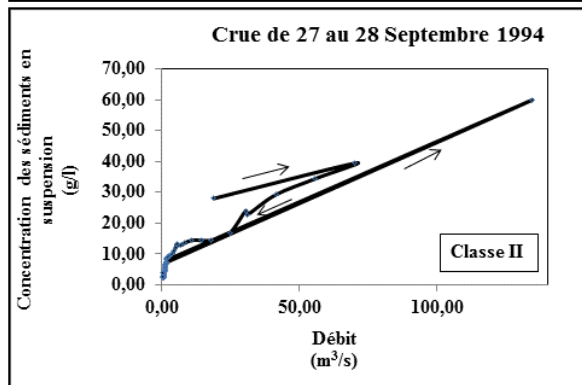
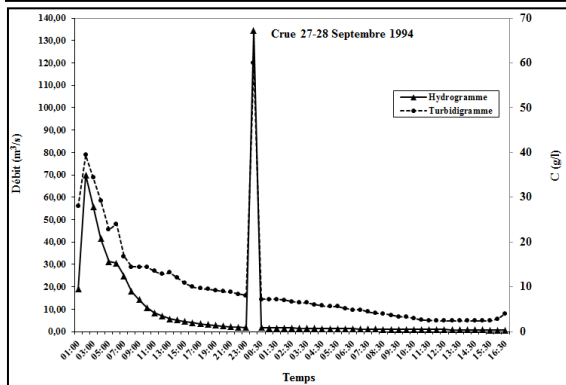
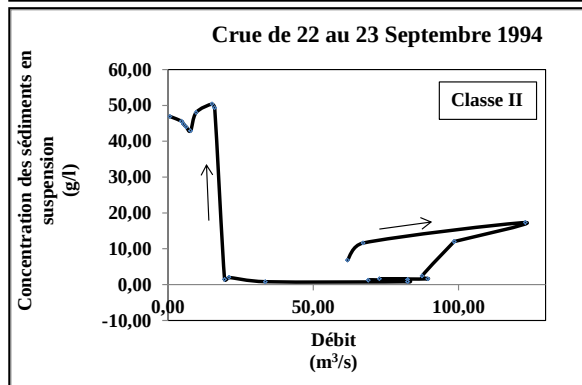
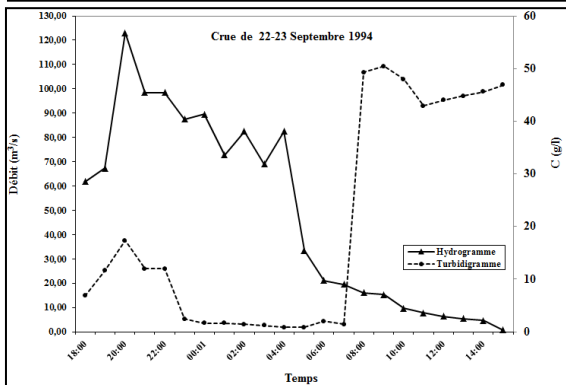
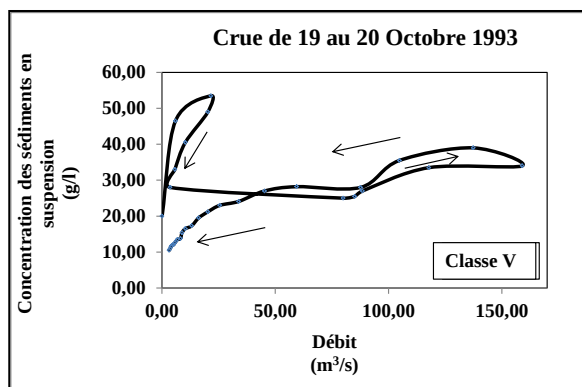
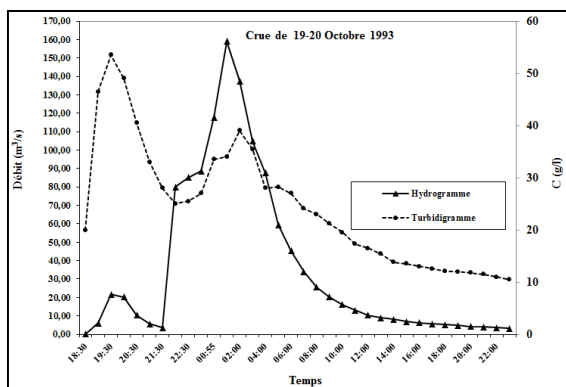


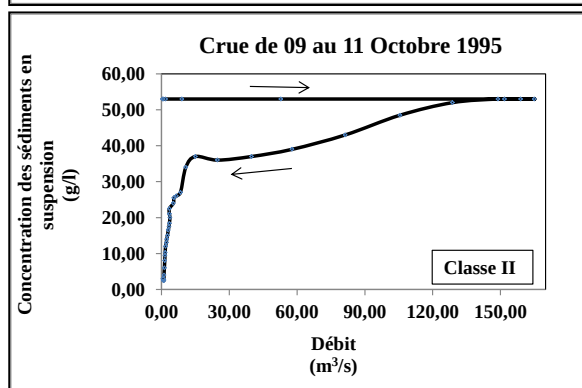
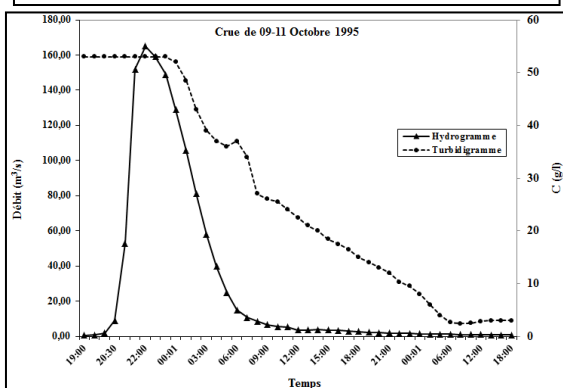
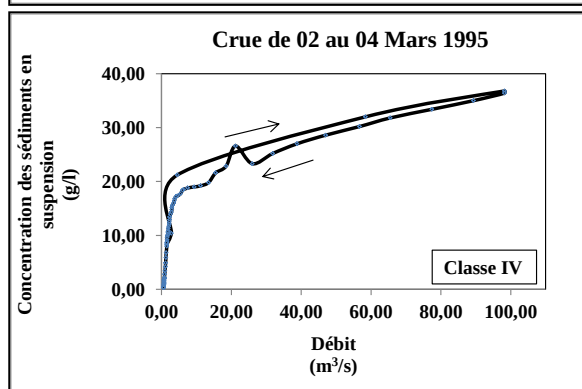
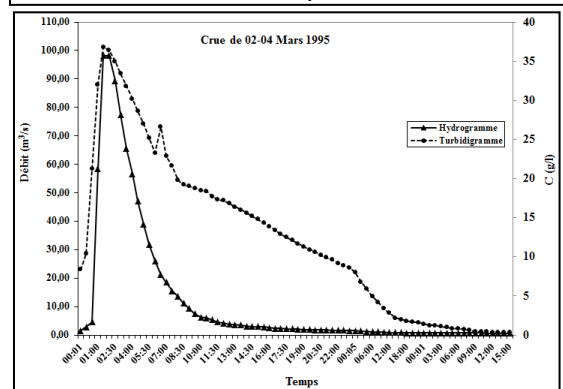
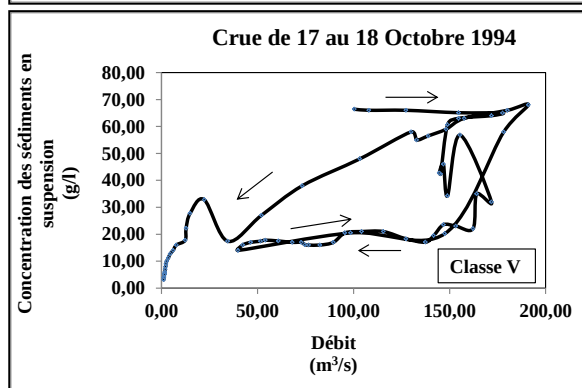
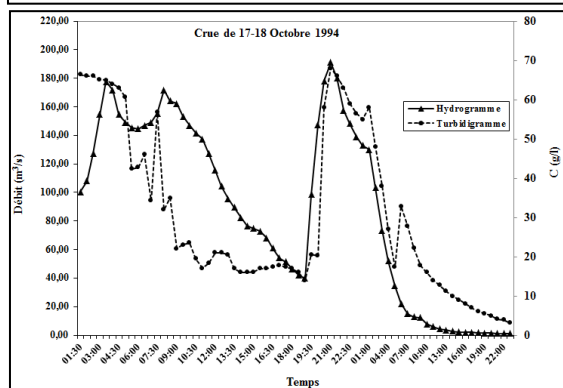
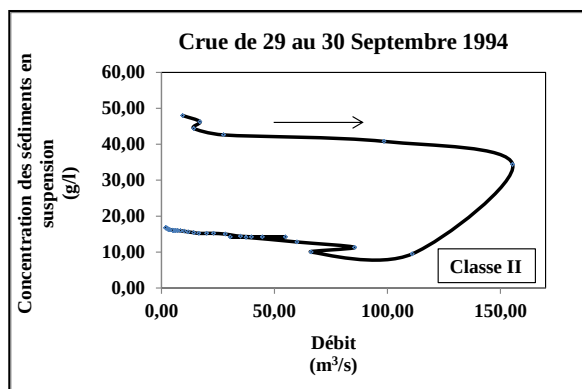
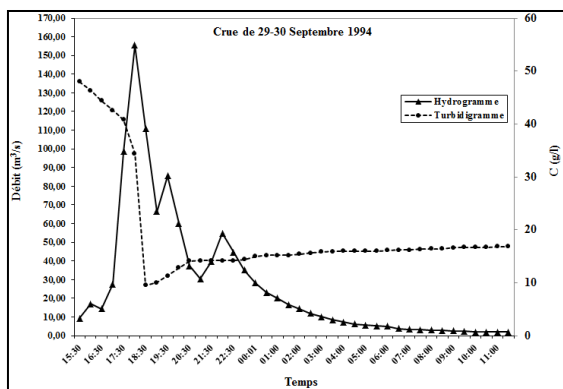
Figure (VIII-10) : Station Khalouia : A gauche l'hydrogramme de crue,
 A droite relation C – Q.

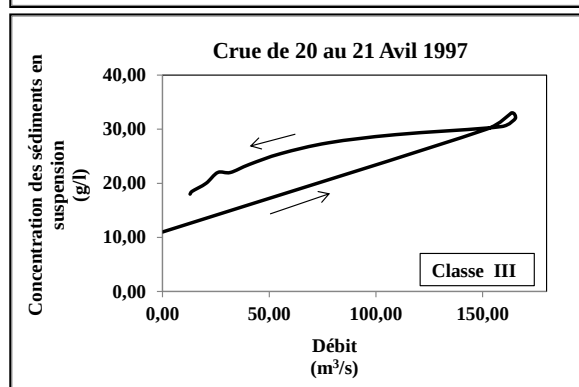
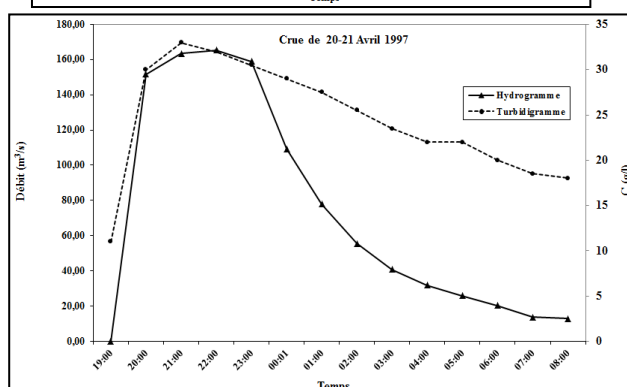
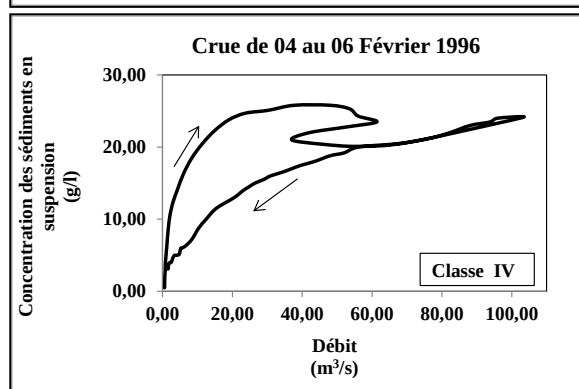
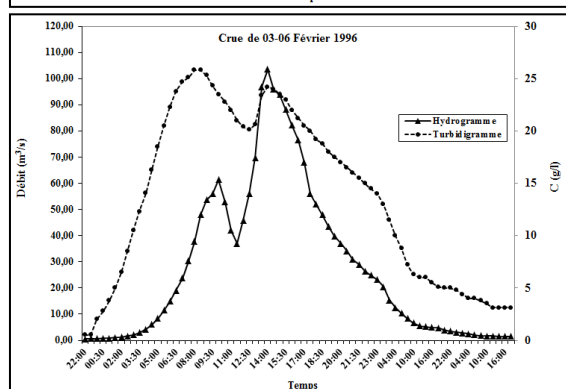
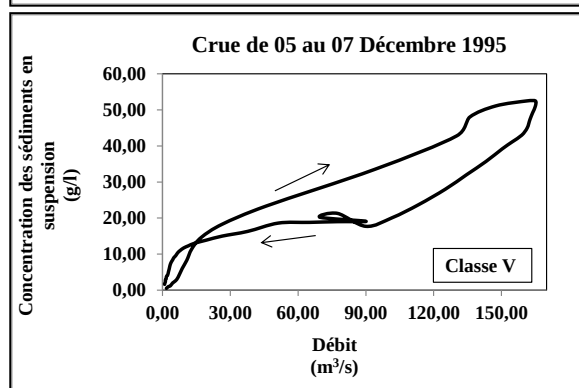
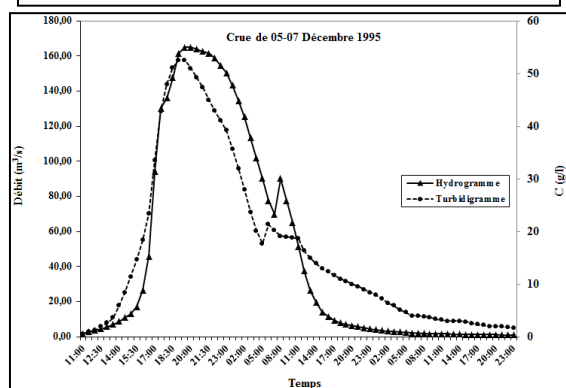
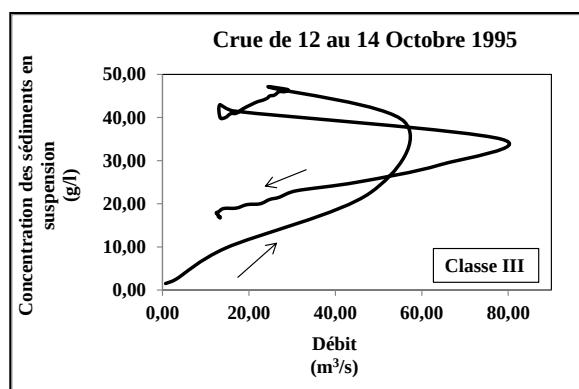
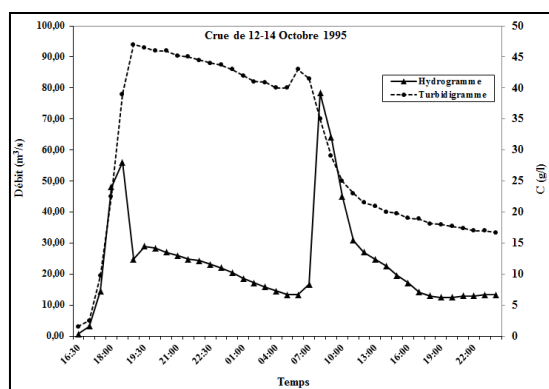
4- Station Oued Taria :

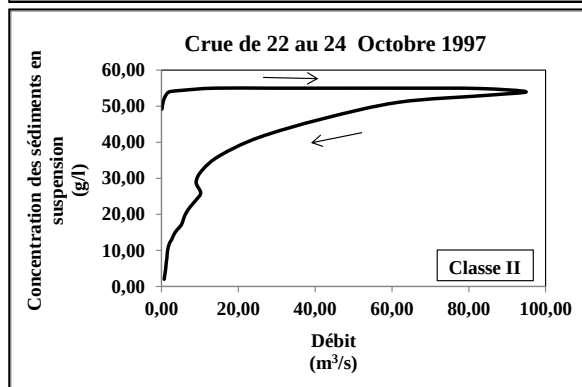
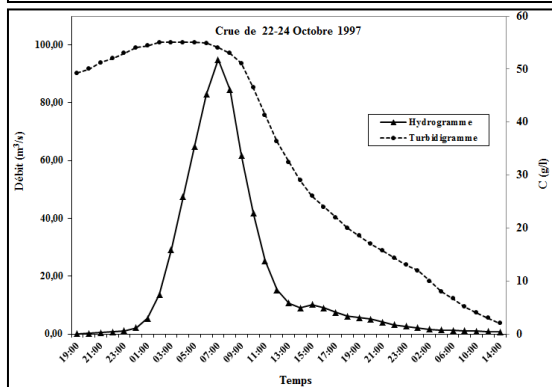
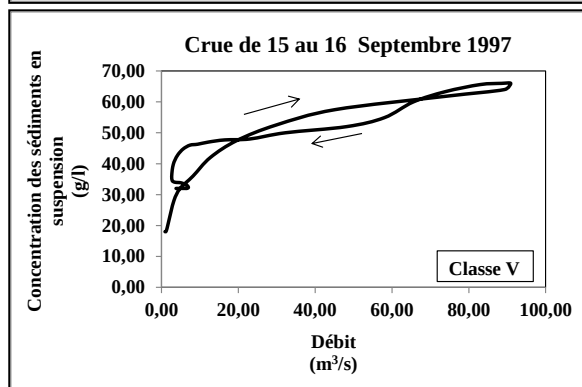
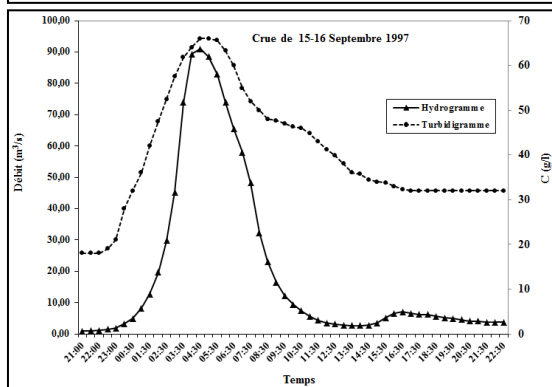
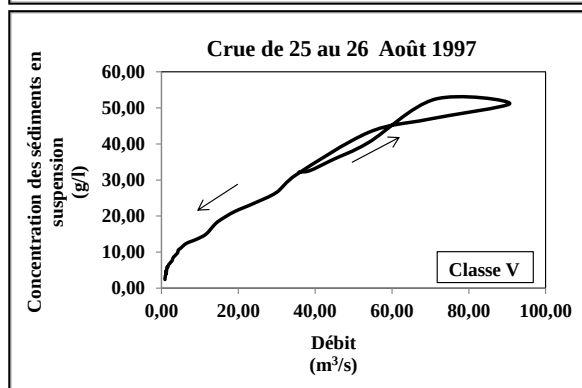
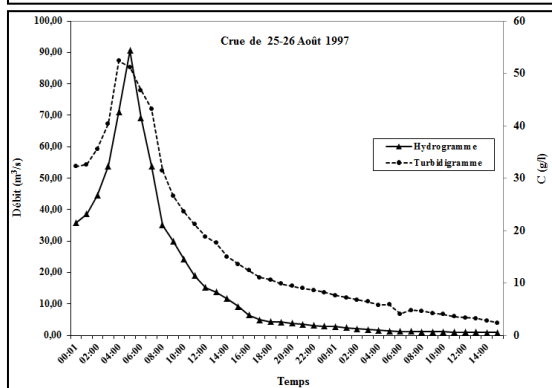
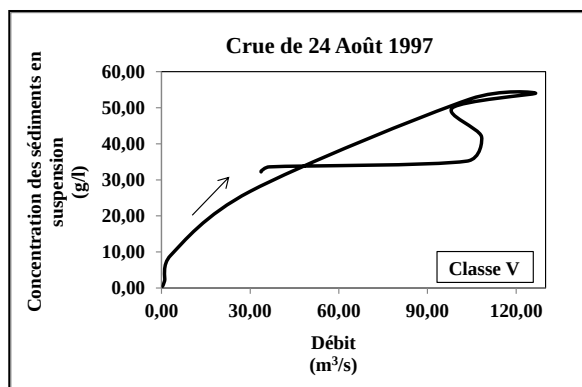
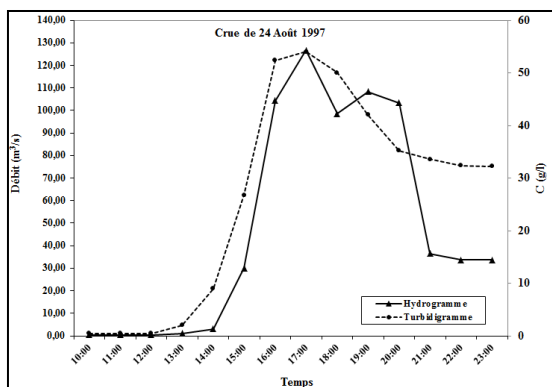


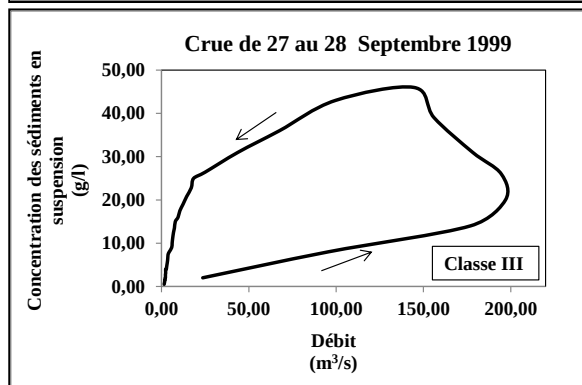
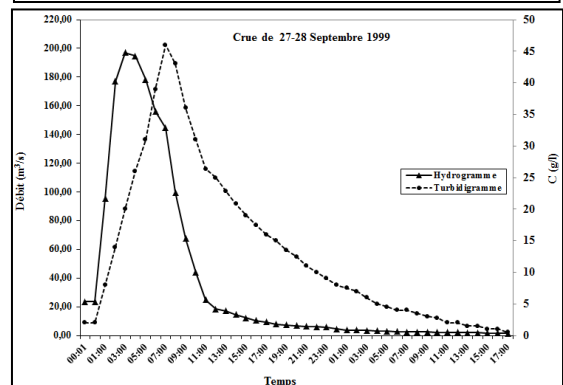
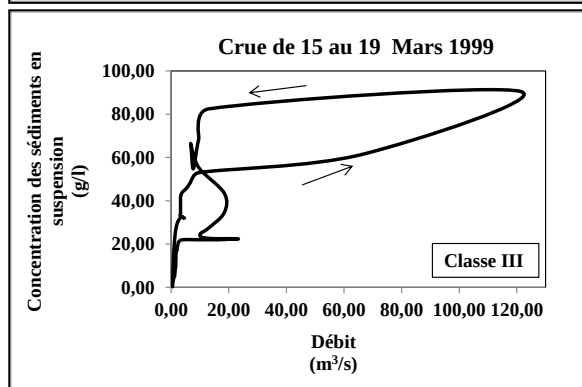
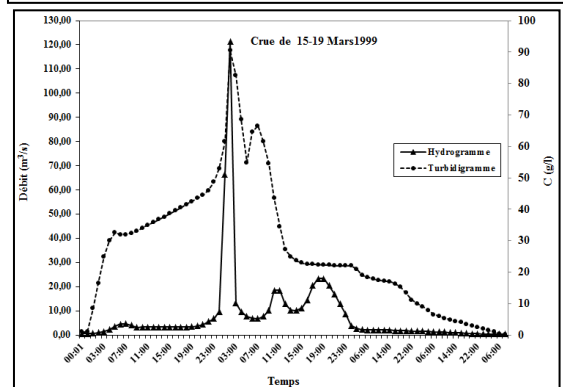
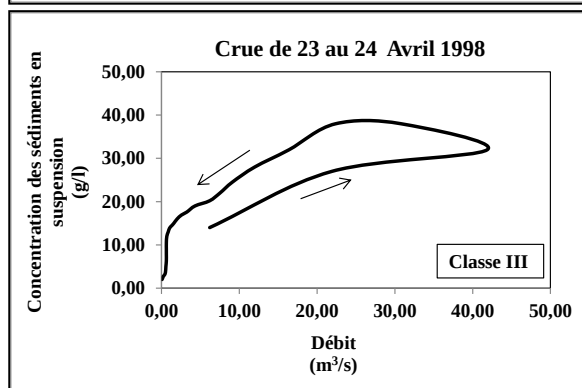
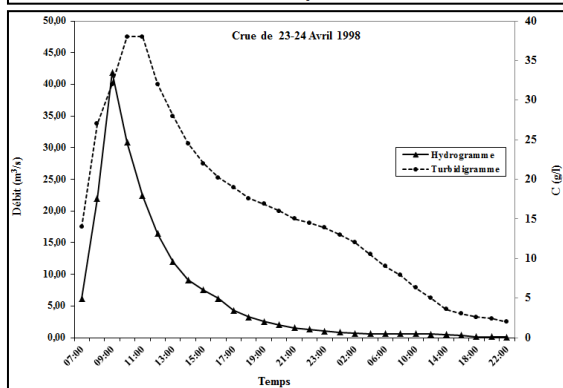
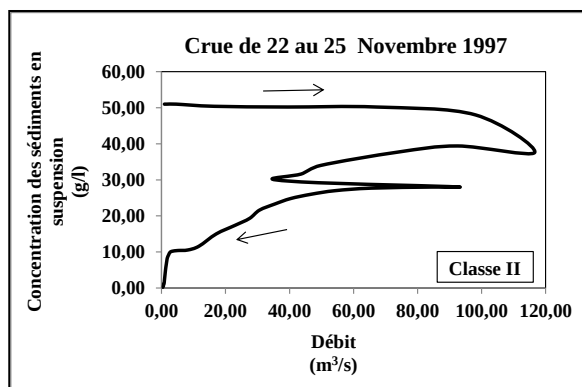
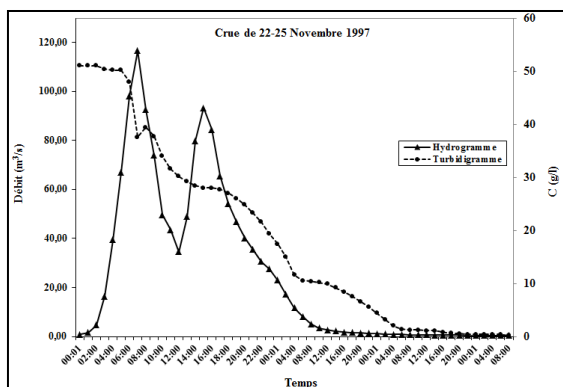


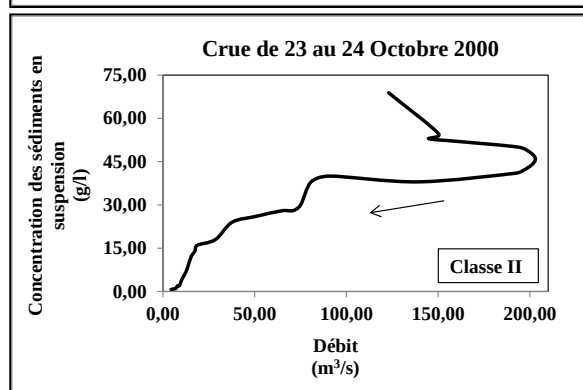
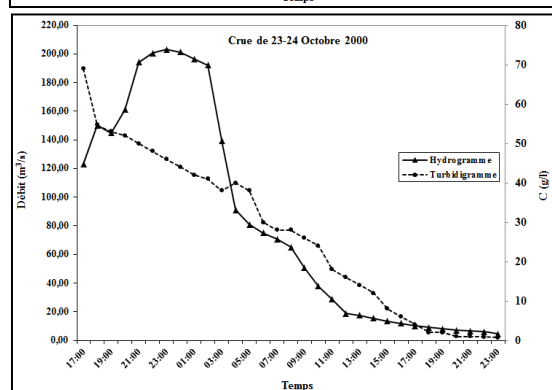
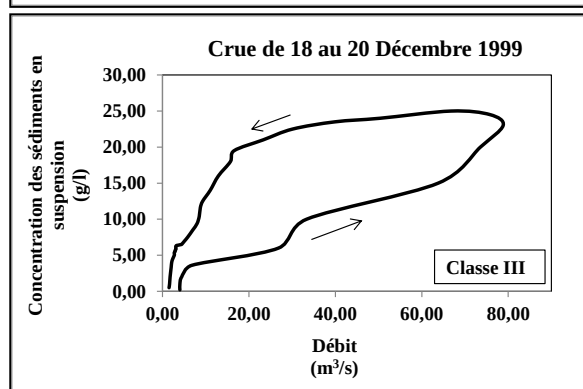
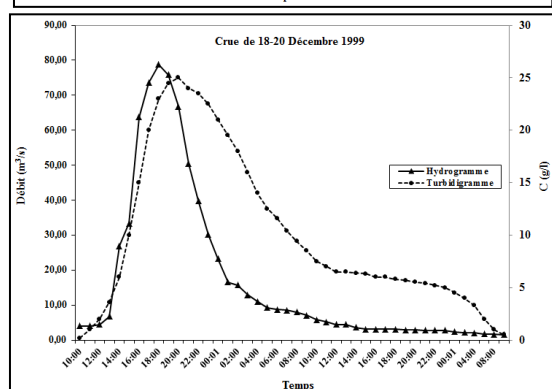
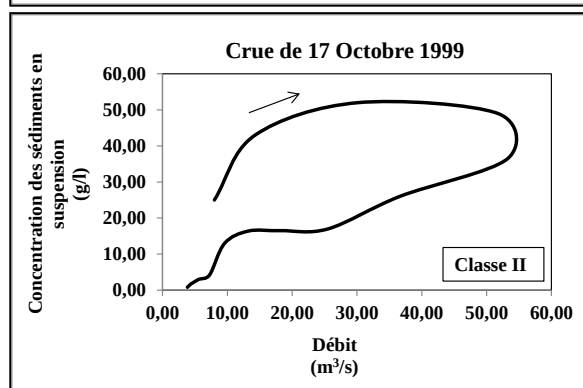
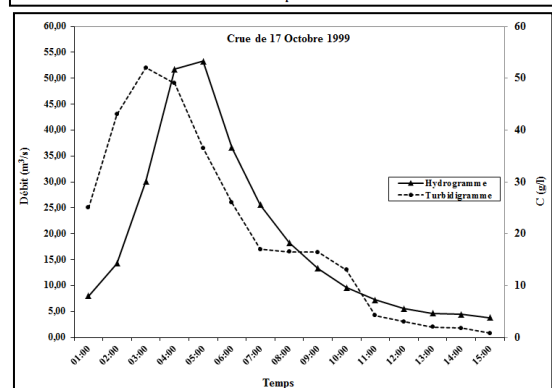
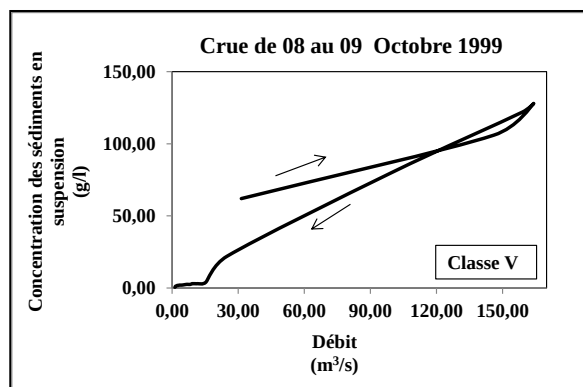
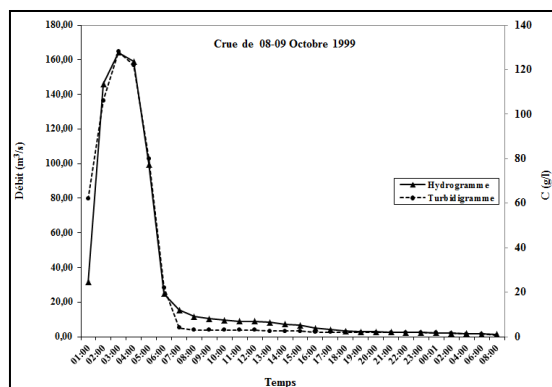


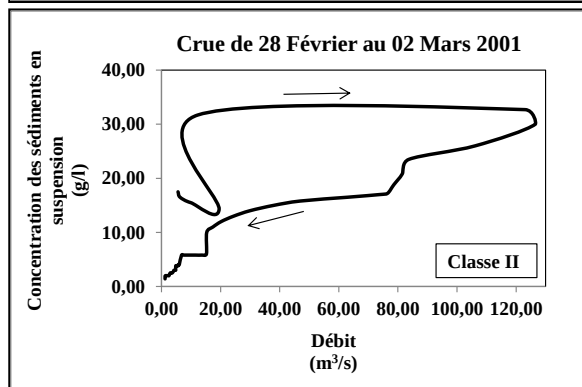
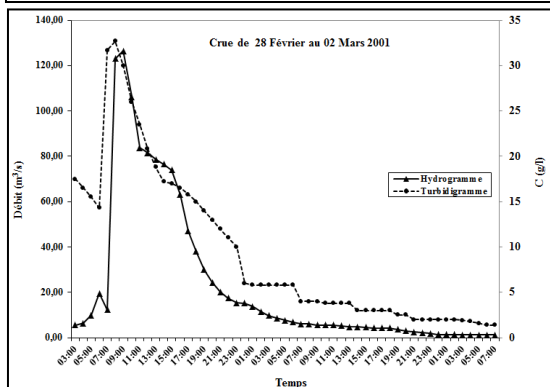
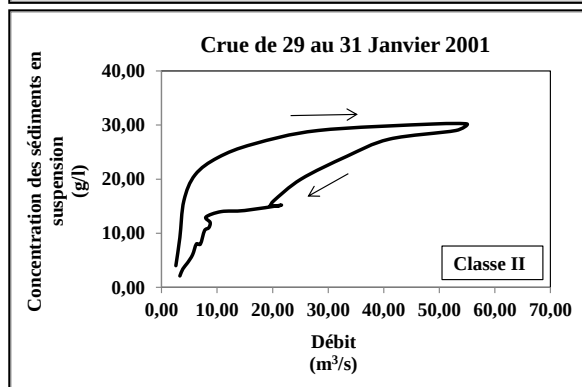
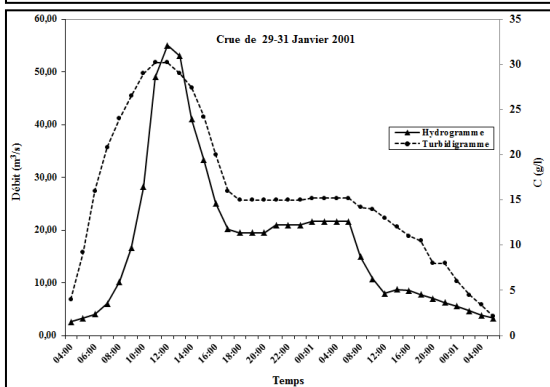
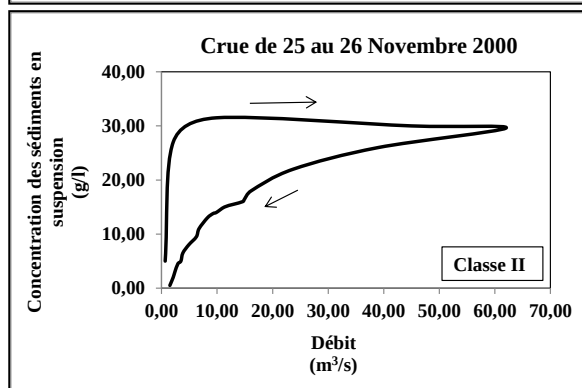
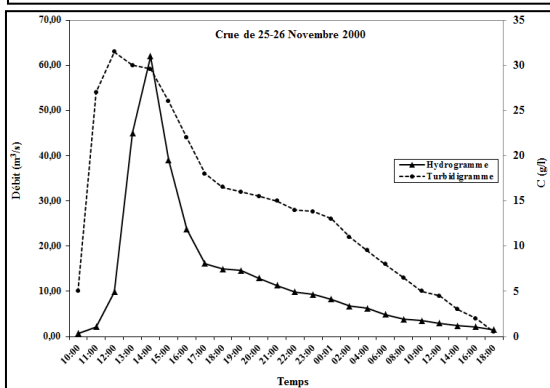
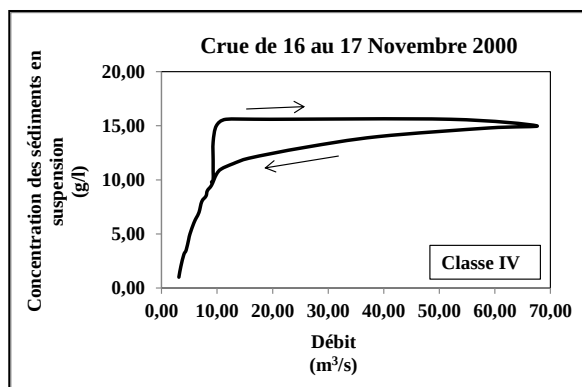
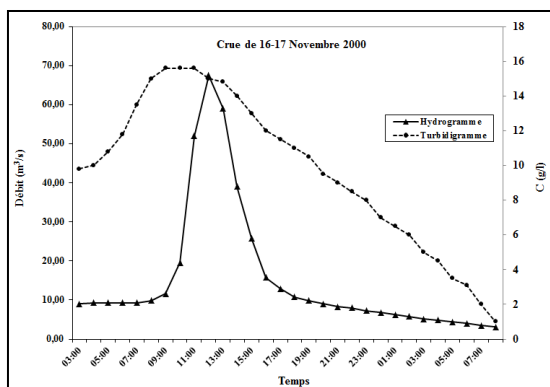












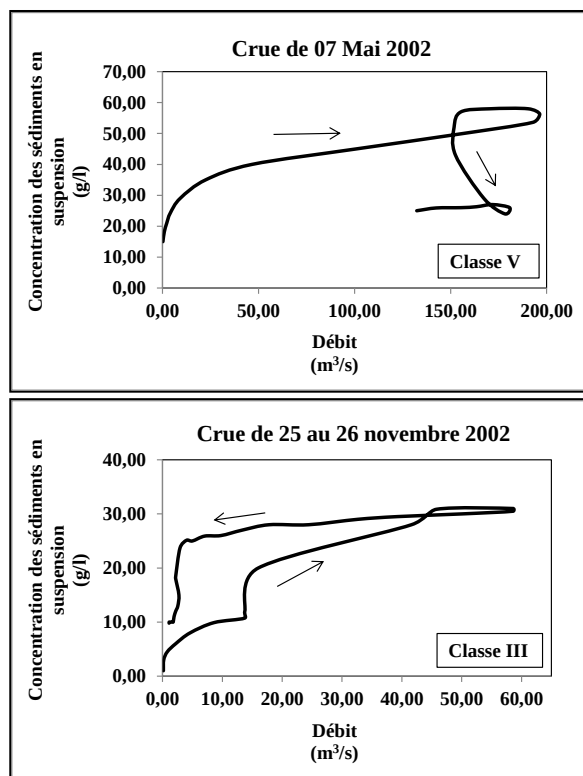
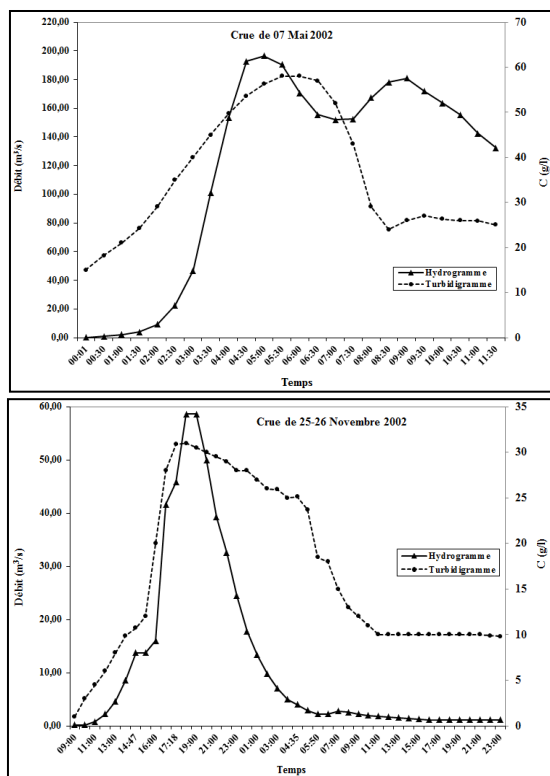


Figure (VIII-11) : Station Oued Taria : A gauche l'hydrogramme de crue, A droite relation C – Q.

LISTE DES ABREVIATIONS

ABHOCC	Agence de Bassin Hydrographique Oranais Chott Chergui.
ANBT	Agence Nationale des Barrages et des Transferts.
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
HPAE	Hiver, Printemps, Automne, Eté.
INSA	Institut National des Sciences Appliquées.
I.G.C.C	Institut de Génie Civil et Construction.
IRD	Institut de Recherche pour le Développement.
M.A.A.A.R	Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales.
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.
PHAE	Printemps, Hiver, Automne, Eté.
SANDRE	Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau.