

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie-Rural

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Science de l'eau.

**CONTRIBUTION A L'ELABORATION D'UN ABAQUE
« EROSION SPECIFIQUE - SURFACE - LAME D'EAU
PRECIPITEE » POUR LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE
DE L'OUED CHELIFF.**

Par

Melle BOUAICHI Ilhem

Devant le jury composé de :

B. REMINI	Professeur, U. de Blida	Président
A. AIDAOUI	Professeur, I.N.A. El-Harrach	Examineur
N. DECHEMI	Professeur, E.N.P. El-Harrach	Examineur
M. BESSENASSE	Maître de Conférence, U. de Blida	Examineur
B. TOUAIBIA	Professeur, E.N.S.H. Blida	Rapporteur

Blida, Mai 2008

REMERCIEMENTS

Nous remercions DIEU de nous avoir donné la volonté, la force et le courage d'accomplir ce travail.

À l'issue de ce modeste travail, il m'est agréable de remercier et d'exprimer ma gratitude à tous ceux qui m'ont aidé à le réaliser.

➤ Je tiens à exprimer tout d'abord ma profonde gratitude à ma promotrice, M^{me} TOUAIBIA. B, Professeur à l'ENSH de Blida qui m'a beaucoup aidé par ses orientations et ses précieux conseils pour l'élaboration de cette étude et qui m'a donné la chance d'être son assistante de travaux dirigés ;

➤ Mes remerciements s'adressent à tous mes enseignants de la Post-Graduation au Département de Génie Rural de l'Université SAAD DAHLAB de Blida et en particulier à Mr BENSALIA . D (Chef du département) et Mr. Professeur REMINI. B ;

➤ Je remercie aussi le président du jury, le Professeur REMINI ainsi que Messieurs les membres du jury à savoir : le Professeur AIDAOUI, le Professeur DECHEMI et le Maître de Conférence Mr. BESSENASSE d'avoir accepté d'évaluer ce travail ;

➤ Qu'il me soit permis de remercier également Mr SAHRAOUI. T, Cadre à la direction Générale de l'ANBT d'Alger pour sa contribution et son aide précieuse ;

➤ Aussi, je remercie Mr RAHMANI. M, Ingénieur à l'A.N.R.H de Blida (service étude) qui m'a consacré tout le temps nécessaire et qui m'a vraiment aidé au début de mon travail, Mr BENMESAOUUD. A, Ingénieur l'A.N.R.H .de Blida (service réalisation) par son aide précieuse ainsi qu'à Mr RAISSI. O, chef de service de Réalisation ;

➤ Mes remerciements vont aussi à Mr OULD Amara, directeur de la recherche scientifique à l'A.N.R.H d'Alger ainsi qu'aux ingénieurs du département d'Hydrologie ;

➤ Je tiens à remercier également Mr Maraf. D Directeur général de l'Agence Hydrographique Cheliff-Zahrez de Chlef pour son aide ;

➤ Je tiens également à exprimer mes remerciements au personnel de la bibliothèque de l'ENSH et en particulier Aziza et Houria ;

Melle BOUAICHI. Ilhem

DEDICACES

- A mes très chers parents que j'aime par dessus tout et à qui je dois toute ma réussite ;
- A mon très cher et unique frère Tarik de m'avoir soutenu et aidé tout au long de mon parcours universitaire, et d'avoir été toujours là pour moi, à son adorable épouse Nihed ainsi qu'à leur petite princesse Ikram ;
- A ma très chère sœur Nacima ainsi qu'à son époux Abdelkader ;
- A ma très chère sœur Naima d'avoir cru en moi j'usqu'au bout ;
- A mon futur mari Khaled qui m'a soutenu, encouragé et aidé, à sa formidable tante Nadia et à toute ma belle famille ;
- A la mémoire de mes grands parents, de mon oncle et de mes tantes ;
- A toute ma famille de Blida et d'Alger ;
- A toutes mes amies : Houria, Nawel, Latifa, Aicha, Fella et Nacima ;
- A tous mes collègues et mes étudiants de l'ENSH.

A toutes et à tous, je dédie ce travail.

Wem.

ملخص

إن هدف دراستنا يتمثل في التحليل لمتغير نقل التربة لحوض الصب لواد الشلف الواقع بوسط الجزائر البالغ و المتميز بمناخ البحر الأبيض المتوسط إلى شبه قحط على العموم أين التغيرات² مساحته أكثر من 43750 كم² الزمنية للمياه الجارية تشكل مشاكل عانقة للمهندسين المكلفين بتقييم كمية المواد الصلبة المنجرفة.

إن تقييم كمية المواد المنجرفة في الأحواض المتوفرة على محطات القياس و تعميمها إلى الأحواض الخالية من هذه المحطات بواسطة معادلة رياضية ينجز عنه المنحنى الموضح لتغيرات الانجراف و علاقته بالمساحة و كمية ارتفاع الأمطار.

لهذا يتقسم عملنا من الأقسام التالية :

..- التعريف المسبق لمجموعة العوامل الجيومورفولوجية, الجيولوجية, المائية و المناخية الخاصة بالحوض

- التحليل الكمي و الكيفي للتدفقات السائلة و الصلبة التي تم قياسها على مستوى محطات قياس التصريف المنصوبة ..بالحوض البالغ عددها 18 محطة سمح لنا باستخلاص العلاقات الموجودة بين المواد الصلبة و المياه الخارجية

- تكميم معلم خاص بالمواد الصلبة الأ و هو الانجراف المحدد على مستوى السدود و الحواجز المائية المصغرة الموزعة على حوض الشلف..

- إصدار معادلة رياضية الموضح من خلالها علاقة عامل الانجراف بالعوامل الأخرى و تكميم الانجراف بواسطة هذه المعادلة على مستوى الأحواض الخالية من القياسات..

العامل "الانجراف" و علاقته بأهم العوامل المسببة في تغيير كميته و هما ذ- إصدار منحنى خاص لدراسة تغيير ه لك كمية ارتفاع الأمطار المتدفقة عبر المساحة ذالمساحة التي تحدها محطة قياس المواد الصلبة و المائية و ك المحددة.

بواسطة إصدار منحنى تغيير عامل الانجراف باستطاعتنا الحصول على قيمته في أي مكان من حوض الشلف لهدف مكافحة انجراف التربة المتسببة في خسارات هائلة .

مفتاح الكلمات: واد الشلف, تدفقات مائية, انجراف, منحنى

RESUME

Notre étude a pour but l'analyse de la variable du transport solide au niveau du bassin versant de l'Oued Cheliff, s'étendant sur une superficie de plus de 43750 Km², et est caractérisé par un climat méditerranéen à semi aride dans sa majorité avec des irrégularités temporelles des écoulements causant de sérieux problèmes aux ingénieurs chargés d'évaluer le transport solide. La quantification de l'érosion spécifique aux bassins versants jaugés et son extension à ceux non jaugés à l'aide d'un modèle mathématique aboutira à l'élaboration d'un abaque expliquant ainsi la variabilité de l'érosion spécifique en fonction de la surface et de la lame d'eau précipitée.

Notre travail est structuré en 5 points distincts, à savoir :

- définition préalable de l'ensemble des paramètres géomorphologiques, géologiques, hydrologiques et climatiques caractérisant le bassin ;
- analyses quantitatives et qualitatives détaillées des débits solides et liquides mesurés au niveau des 18 stations hydrométriques, ayant permis d'établir des relations entre le transport solide et les écoulements ;
- quantification de l'érosion spécifique au niveau des 15 barrages et de 40 retenues collinaires répartis sur l'ensemble du bassin versant du Cheliff ;
- élaboration d'un modèle mathématique expliquant la variation de l'érosion spécifique en fonction des variables explicatives et sa quantification spécifique à l'aide de ce modèle au niveau des bassins versants non jaugés ;
- élaboration d'un abaque où la variable de l'érosion spécifique est expliquée en fonction de la surface ainsi que la lame d'eau précipitée.

A l'aide de l'abaque de la variation de l'érosion spécifique, la quantité de matériaux en suspension transportée en tout endroit du bassin versant pourront être évaluée.

Mots clés : érosion, apports liquides, abaque, Oued Cheliff.

ABSTRACT

The purpose of our study is the analysis of the solid transport variable at the level of the basin of Cheliff Wadi which is located at the center of Algeria; extends on a surface of more than 43750 Km² and characterized by a Mediterranean climate to a semi arid climate as a whole and where the temporal irregularities of the flows cause serious problems with the engineers in charge to evaluate solid transport. The quantification of the erosion specific to the basin measured and its extension to those not measured using a mathematical model will lead to the development of an abacus thus explaining the variability of specific erosion according to the surface and streambed water.

Our work was divided into five essential parts, namely:

- preliminary definition of the whole of the geomorphological, geological, hydrological and climatic parameters characterizing the basin;
- the detailed quantitative and qualitative analyses of the solid and liquid flows measured at the level of the 18 hydrometric stations made it possible to establish relations between solid transport and the flows;
- quantification of specific erosion at the level of the 15 dams and 40 colinary reserves distributed at the whole of the basin of Cheliff;
- development of a mathematical model explaining the variation of erosion specific according to the explanatory variables and quantification of her using this model on the level of the basins not measured slopes;
- development of an abacus where the variable of specific erosion is explained according to surface as well as the streambed water blade.

Using this abacus of the variation of specific erosion we can evaluate the quantity of matter of the sediments transported in any place of the basin of Cheliff .

Key words: erosion, liquid contributions, abacus, Cheliff Wadi.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
RESUME	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX	
LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS	
INTRODUCTION	17
1. RECUEILS BIBLIOGRAPHIQUES ET THEORIQUES	21
1.1. Erosion et transport solide	21
1.1.1. Erosion	21
1.1.1.1. Définition	22
1.1.1.2. Formes d'érosion	22
1.1.1.3. Facteurs et processus de l'érosion hydrique	23
1.1.1.4. Causes de l'érosion	24
1.1.1.5. Conséquences de l'érosion hydrique	26
1.1.1.6. Quantification de l'érosion hydrique	26
1.1.2. Transport solide	30
1.1.2.1. Les différents aspects du transport solide	31
1.1.2.2. Mesure du débit solide	32
1.2. Ampleur de l'érosion et du transport solide dans le Monde	36
1.2.1. Conséquences de l'érosion hydrique	37
1.3. Travaux dans le monde et en Algérie	39
1.3.1. Dans le monde	39
1.3.2. En Algérie	48
1.4. Approche géostatistique	51
1.4.1. Définitions	52
1.4.2. Détermination du variogramme expérimental	53
1.4.3. Ajustement du variogramme à un modèle	56
1.4.4. Estimation par Krigeage	58
1.5- Conclusion	63
2. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE	64
2.1. Présentation générale du bassin versant du Cheliff	64
2.1.1. Situation géographique et délimitation	64
2.1.2. Relief	67
2.1.3. Végétation et l'occupation du sol	67

2.1.4. Géologie et Lithologie	69
2.1.5. Ressources en eaux superficielles	71
2.1.6. Les ressources souterraines	75
2.2. Caractéristique physiques du bassin versant du Cheliff	77
2.2.1. Hydrographie du bassin	77
2.2.2. Caractéristiques du climat	79
2.3. Bilan hydrique global	92
2.4. Caractéristiques de forme du bassin versant du Cheliff	93
2.5. Hydrologie du bassin versant du Cheliff	104
2.5.1. Présentation des stations hydrométriques	104
2.6. Conclusion	113
3. PRESENTATION ET MISE EN FORME DES DONNEES	115
3.1. Collecte et mise en forme des données	115
3.1.1. Collecte des données	115
3.1.2. Mise en forme et traitement des données	126
3.2. Relation : Débit liquide instantané – débit solide instantané	154
3.3. Conclusion	207
4. ELABORATION DE L'ABAQUE "Es- S- Lp"	208
4.1. Evaluation des Apports Solides	208
4.1.1. Introduction	208
4.1.2. Approche d'évaluation des apports solides dans les stations hydrométriques	208
4.1.3. Variabilité spatio - temporelle des apports liquides et solides	211
4.2. Analyse multivariée de l'érosion spécifique	226
4.2.1. Constitution de la banque des données	226
4.2.2. Recherche d'une relation « Erosion spécifique - variables explicatives »	229
4.2.3. Tracé du variogramme de l'érosion spécifique	232
4.3. Elaboration de l'abaque « Erosion spécifique- Surface- Lamme d'eau précipitée »	236
CONCLUSION	238
REFERENCES	240

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1	: Types d'érosion hydrique [60]	23
Figure 1.2	: Différentes étapes de l'érosion [64]	25
Figure 1.3	: Mode de transport par ruissellement	26
Figure 1.4	: Différents formes de transport [72]	31
Figure 1.5	: Epure du débit solide	34
Figure 1.6	: Carte mondiale des transports solides spécifiques (T/Km ² /an) par les grands fleuves du monde [80]	41
Figure 1.7	: Variation de transport des sédiments en fonction des précipitations moyennes annuelles [65]	43
Figure 1.8	: Variation du transport solide en fonction de la densité du couvert végétal [110]	43
Figure 1.9	: Variogramme borné	54
Figure 1.10	: Variogramme non borné	54
Figure 1.11	: Les différentes formes du variogramme	55
Figure 1.12	: Formes caractéristiques du variogramme théorique	56
Figure 2.1	: Carte de situation du Bassin Versant du Cheliff	65
Figure 2.2	: Schéma de localisation des principaux sous bassins de la région d'étude [138]	66
Figure 2.3	: Carte de Végétation et d'occupation du sol du bassin versant du Cheliff [138]	68
Figure 2.4	: Coupe géologique «Est-Ouest »	69
Figure 2.5	: Coupe géologique « Nord-Sud »	70
Figure 2.6	: Carte géologique du bassin versant du Cheliff [138]	72
Figure 2.7	: Situation des barrages dans le bassin versant du Cheliff [138]	74
Figure 2.8	: Taux de remplissage de chaque barrage du bassin du Cheliff [141]	74
Figure 2.9	: Carte des eaux souterraines du bassin versant du Cheliff [140]	76
Figure 2.10	: Présentation de l'Oued Cheliff et de ses principaux affluents	78
Figure 2.11	: Représentation des isoyètes du bassin du Cheliff-Zahrez [138]	83
Figure 2.12	: Répartition des pluies annuelles des différentes stations du bassin versant du Cheliff	84
Figure 2.13	: Répartition mensuelle des pluies à la station de Ghrib barrage	85
Figure 2.14	: Répartition mensuelle des pluies à la station de Ain Defla	86
Figure 2.15	: Répartition mensuelle des pluies à la station de Fodda barrage	86
Figure 2.16	: Répartition mensuelle des pluies à la station Bordj Bou Nâama	87
Figure 2.17	: Répartition mensuelle des pluies à la station de Oued Sly	87
Figure 2.18	: Répartition des pluies journalières maximales dans la zone d'étude	88
Figure 2.19	: Répartition mensuelle des débits moyens interannuels (O, Cheliff)	90

Figure 2.20	: Schéma des principaux flux d'eau en régime naturel pour le bassin versant du Cheliff [138]	92
Figure 2.21	: Rectangle équivalent du bassin versant du Cheliff	94
Figure 2.22	: Carte hypsométrique du bassin versant du Cheliff	96
Figure 2.23	: Courbe hypsométrique du bassin versant du Cheliff	97
Figure 2.24	: Profil en long du Cours d'eau principal (Oued Cheliff)	101
Figure 2.25	: Carte de situation des stations hydrométriques (BV du Cheliff)	105
Figure 2.26	: Variabilité interannuelle du module moyen annuel (Mo).	106
Figure 2.27	: Carte de régionalisation du coefficient d'écoulement en % du bassin versant du Cheliff	112
Figure 3.1	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Ghrib Amont	127
Figure 3.2	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Harbil à la station de Tamezguida	127
Figure 3.3	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Djenane Ben Ouadah	128
Figure 3.4	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Deurdeur à la station de Marabout blanc	128
Figure 3.5	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Arib Cheliff	129
Figure 3.6	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Harreza à la station d'El Ababssa	129
Figure 3.7	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Abda à la station de Arib Abda	130
Figure 3.8	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Zeddine à la station de Bir Ouled Tahar	130
Figure 3.9	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Tickezal à la station de Tickezal.	131
Figure 3.10	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Ouarhane à la station de Larbaa Ouled Fares	131
Figure 3.11	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Pontéba Deffluent	132
Figure 3.12	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Sly à la station de Ouled Ben Abk	132
Figure 3.13	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Djediouia à la station de Djediouia	133
Figure 3.14	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Taht à la station de Kef Mahboula	133
Figure 3.15	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Haddad à la station de Sidi Abk Djillali	134
Figure 3.16	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Mina à la station de Oued Abtal	134

Figure 3.17	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Mina à la station de Relizane Amont	135
Figure 3.18	: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Sidi Bel Attar	135
Figure 3.19	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Ghrib Amont	155
Figure 3.20	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Tamezguida	157
Figure 3.21	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Djenane Ben Ouadah.	160
Figure 3.22	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Marabout Blanc	163
Figure 3.23	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Cheliff	165
Figure 3.24	: Relation débit liquide – débit solide à la station d'El Ababssa	168
Figure 3.25	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Abda.	171
Figure 3.26	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Bir Ouled Tahar	174
Figure 3.27	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Tickezal	177
Figure 3.28	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Larbaa Ouled Fares	180
Figure 3.29	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Pontéba Deffluent	183
Figure 3.30	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Ouled Ben Abk	186
Figure 3.31	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Djediouia	189
Figure 3.32	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Kef Mahboula	192
Figure 3.33	: Relation débit liquide – débit solide à la station S. A. Djillali [130]	196
Figure 3.34	: Relation débit liquide – débit solide à la station O, Abtal [130]	198
Figure 3.35	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Relizane Amont	201
Figure 3.36	: Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Bel Attar	204
Figure 4.1	: Méthodologie de quantification du transport solide	209
Figure 4.2	: Variabilité des apports liquides et solides dans le BV du Cheliff	220
Figure 4.3	: Carte de Situation des sites de mesures observées et estimées sur le réseau d'écoulement du bassin versant de l'Oued Cheliff	233
Figure 4.4	: Variogramme de l'érosion spécifique	235
Figure 4.5	: Variation de l'érosion spécifique en fonction de la surface (BV de l'Oued Cheliff, 1 ^{ère} approche).	236
Figure 4.6	: Variation de l'érosion spécifique en fonction de la surface (BV de l'Oued Cheliff, 2 ^{ème} approche).	237
Figure 4.7	: Variation de l'érosion spécifique en fonction de la lame d'eau précipitée (BV de l'Oued Cheliff).	237

Tableau 1.1 : Intensité du processus d'érosion	28
Tableau 1.2 : Différents aspects du transport des sédiments	30
Tableau 1.3 : Valeurs du transport solide dans quelques pays du monde	38
Tableau 1.4 : Valeurs de a et n pour différents types du couvert végétal [65]	40
Tableau 1.5 : Expression du modèle $A_s = f(S)$, R^2 dans différents pays de la région méditerranéenne	47
Tableau 2.1 : Ouvrages de Mobilisation des eaux (bassin versant du Cheliff)	73
Tableau 2.2 : Découpage du bassin versant du Cheliff en sous bassins [138]	79
Tableau 2.3 : Température mensuelle et moyenne annuelle des différents secteurs du bassin du Cheliff [138]	80
Tableau 2.4 : Evaporations Journalières moyennes en mm [138]	81
Tableau 2.5 : Humidité relative (%) enregistrée à la station de Tiaret (1970-1995) [143]	82
Tableau 2.6 : Répartition mensuelle des pluies moyennes [142]	85
Tableau 2.7 : Quantiles de débits moyens journaliers (m^3/s) [142]	91
Tableau 2.8 : Quantiles des apports annuels (Hm^3) [142]	91
Tableau 2.9 : Répartition des surfaces partielles du bassin du Cheliff par tranche d'altitude	95
Tableau 2.10: Classification du relief	98
Tableau 2.11: Longueur des courbes de niveau	99
Tableau 2.12: Paramètres hydromorphométriques du bassin versant du Cheliff [145] et [146]	102
Tableau 2.13: Présentation des station hydrométriques du bassin versant du Cheliff	104
Tableau 3.1 : Nombres d'observations à la station de Ghrib Amont	116
Tableau 3.2 : Nombres d'observations à la station de Tamezguida	116
Tableau 3.3 : Nombres d'observations à la station de Djenane Ben Ouadah	116
Tableau 3.4 : Nombres d'observations à la station de Marabout Blanc	117
Tableau 3.5 : Nombres d'observations à la station de Arib Cheliff	117
Tableau 3.6 : Nombres d'observations à la station d' El Ababssa	118
Tableau 3.7 : Nombres d'observations à la station de Arib Abda	119
Tableau 3.8 : Nombres d'observations à la station de Bir Ouled Tahar	119
Tableau 3.9 : Nombres d'observations à la station de Tickezal	120
Tableau 3.10: Nombres d'observations à la station de Larbaa Ouled Fares	120
Tableau 3.11: Nombres d'observations à la station de Pontéba Deffluent	121
Tableau 3.12: Nombres d'observations à la station de Ouled Ben Abk	121
Tableau 3.13: Nombres d'observations à la station de Djediouia	122
Tableau 3.14: Nombres d'observations à la station de Kef Mahboula	122
Tableau 3.15: Nombres d'observations à la station de Sidi Abk Djillali	123
Tableau 3.16: Nombres d'observations à la station de Oued Abtal	124
Tableau 3.17: Nombres d'observations à la station de Relizane Amont	124
Tableau 3.18: Nombres d'observations à la station de Sidi Bel Attar	125

Tableau 3.19 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Ghrib Amont	136
Tableau 3.20 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Tamezguida	137
Tableau 3.21 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Djenane Ben Ouadah.	138
Tableau 3.22 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Marabout blanc	139
Tableau 3.23 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Arib Cheliff	140
Tableau 3.24 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station d'El Ababssa	141
Tableau 3.25 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Arib Abda	142
Tableau 3.26 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Bir Ouled Tahar	143
Tableau 3.27 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Tickezal	144
Tableau 3.28 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Larabaa Ouled Fares	145
Tableau 3.29 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Pontéba Deffluent	146
Tableau 3.30 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Ouled Ben Abk	147
Tableau 3.31 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Djediouia	148
Tableau 3.32 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Kef Mahboula	149
Tableau 3.33 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Sidi Abk Djillali	150
Tableau 3.34 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Oued Abtal	151
Tableau 3.35 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Relizane Amont	152
Tableau 3.36 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Sidi Bel Attar	153
Tableau 3.37 : Résultats de calculs des différents modèles (station Ghrib Amont)	154
Tableau 3.38 : Résultats de calculs des différents modèles (station Tamezguida.)	157
Tableau 3.39 : Résultats de calculs des différents modèles (station Djenane Ben Ouadah)	160
Tableau 3.40 : Résultats de calculs des différents modèles (station Marabout blanc)	162
Tableau 3.41 : Résultats de calculs des différents modèles (station Arib Cheliff)	165
Tableau 3.42 : Résultats de calculs des différents modèles (station d'El Ababssa)	168
Tableau 3.43 : Résultats de calculs des différents modèles (station de Arib Abda)	171

Tableau 3.44 : Résultats de calculs des différents modèles (station Bir Ouled Tahar)	174
Tableau 3.45 : Résultats de calculs des différents modèles (station de Tickezal)	177
Tableau 3.46 : Résultats de calculs des différents modèles (station Larbaa, O, Fares)	190
Tableau 3.47 : Résultats de calculs des différents modèles (station de Pontéba)	183
Tableau 3.48 : Résultats de calculs des différents modèles (station Ouled Ben Abk)	186
Tableau 3.49 : Résultats de calculs des différents modèles (station de Djediouia)	189
Tableau 3.50 : Résultats de calculs des différents modèles (station Kef Mahboula)	192
Tableau 3.51 : Résultats de calculs des différents modèles (station Sidi Abk Djillali) [130]	195
Tableau 3.52 : Résultats de calculs des différents modèles (station O, Abtal) [130]	198
Tableau 3.53 : Résultats de calculs des différents modèles (station Relizane Amont)	201
Tableau 3.54 : Résultats de calculs des différents modèles (station Sidi Bel Attar)	204
Tableau 4.1 : Nombre d'enregistrements des hauteurs d'eau instantanées des stations Hydrométriques	211
Tableau 4.2 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Ghrib Amont	212
Tableau 4.3 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Tamezguida	212
Tableau 4.4 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Djenane Ben Ouadah	212
Tableau 4.5 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Marabout Blanc.	213
Tableau 4.6 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Arib Cheliff	213
Tableau 4.7 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station d'El Ababssa	214
Tableau 4.8 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Arib Abda	214
Tableau 4.9 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Bir Ouled Tahar	215
Tableau 4.10 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Tickezal	215
Tableau 4.11 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Larbaa Ouled Fares	215
Tableau 4.12 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Pontéba Deffluent	216
Tableau 4.13 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station Ouled Ben Abk	216
Tableau 4.14 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Djediouia	217
Tableau 4.15 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Kef Mahboula	217

Tableau 4.16: Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Sidi Abk Djillali [130]	218
Tableau 4.17: Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Oued Abtal [130]	218
Tableau 4.18: Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Relizane Amont	219
Tableau 4.19: Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Sidi Bel Attar	219
Tableau 4.20: Caractéristiques des bassins au droits des stations hydrométriques	227
Tableau 4.21: Caractéristiques des bassins versant au droits des barrages	228
Tableau 4.22: Caractéristiques des bassins versant au droits des retenues	228
Tableau 4.23: Matrice de corrélation pour le modèle puissance	230
Tableau 4.24: Coefficients de régression, de corrélation partielle et multiple (1 ^{ère} étape)	230
Tableau 4.25: Coefficients de régression, de corrélation partielle et multiple (2 ^{ème} étape)	231
Tableau 4.26: Coefficients de régression, de corrélation partielle et multiple (3 ^{ème} étape)	231
Tableau 4.27: Caractéristiques des exutoires supplémentaires	232
Tableau 4.28: Paramètre statistiques de la nouvelle série étendue	234
Tableau 4.29: Calcul des accroissement du variogramme des différents modèles	234

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

A.B.H.C-Z	: Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez
A.N.R.H	: Agence Nationale des Ressources Hydriques.
A.N.B.T	: Agence Nationale des Barrages et de Transfert.
A.R.C.E	: Association pour la Recherche sur le Climat et l'Environnement.
Al	: Apport liquide (Mm^3).
Ao	: Apport moyen annuel (Mm^3)
As	: Apport solide (Tonnes).
BV	: Bassin versant
b	: Exposant climatique.
C	: Concentration des matière en suspension (g/l).
C1	: Première composante principale.
C_t	: Coefficient de torretialité
C.I	: Capacité Initiale du Barrage (Mm^3).
C.D.L	: Capacité du Dernier Levé bathymétrique (Mm^3).
Ce	: Coefficient d'écoulement moyen annuel (%).
Cv	: Coefficient de variation.
Cveg	: Densité du couvert végétal (%).
D	: Dénivelée (m).
Dc	: Densité du couvert végétal (%).
Dd	: Densité de drainage.
Ds	: Dénivelée spécifique.
E	: Ecoulement (mm)
Ec	: Energie cinétique des gouttes de pluies (joules).
Es	: Erosion spécifique ($T/Km^2/an$).
Em	: Erosion mécanique ($T/Km^2/an$).
F	: Statistique de Fischer Snedecor.
F.A	: Fonction aléatoire.
Fp	: Facteur de pente.
g	: Accélération gravitationnelle (m/s^2).
H_{max}	: Altitude maximale (m).
H_{min}	: Altitude minimale (m).
$H_{50\%}$: Altitude correspondant à 50% de la surface.
$H_{5\%}$: Altitude correspondant à 5% de la surface.
$H_{95\%}$: Altitude correspondant à 95% de la surface.
H_{moy}	: Altitude moyenne (m).
h	: Profondeur du point de prélèvement.
h_i	: Altitude entre deux courbes de niveaux (m).
I_g	: Indice de pente globale.
I	: Intensité de pluie (mm/h).
I_m	: Pente moyenne du bassin versant (%)
I_p	: Indice de pente de Roche (%).
K_c	: Indice de compacité de Gravelius.
L	: Longueur du rectangle équivalent (Km).

l	: Largeur du rectangle équivalent (Km).
l_i	: Longueur de la courbe de niveau d'ordre 1,2,...n (m).
L_{cp}	: Longueur du cours d'eau principal (Km).
L_p	: Lamé d'eau précipitée(mm).
L_r	: Lamé d'eau ruisselée (mm).
N_1	: Nombre de talwegs d'ordre 1.
Q_i	: Débit liquide instantané observé (m^3/s).
Q_m	: Débit moyen (m^3/s).
Q_{max}	: Débit maximal (m^3/s).
Q_{min}	: Débit minimal (m^3/s).
Q_s	: Débit solide (Kg/s).
N	: Taille de l'échantillon.
P	: Périmètre du bassin versant
P_o	: Pluie annuelle (mm).
P_{moy}	: Pluie moyenne sue le bassin versant (mm).
r	: Coefficient de corrélation.
R^2	: Coefficient de détermination.
S	: Surface du bassin versant (Km^2).
S_i	: Surface comprise entre deux courbes de niveau d'ordre i et i+1 (Km^2).
$S.A.U$: Surface Agricole Utile.
T_c	: Temps de concentration (heure).
t_o	: Température moyenne annuelle ($^{\circ}C$).
T	: Temps (jours, mois, années).
$T.E$: Taux d'envasement (%).
V	: Vitesse de la goutte de pluie (m/s).
V_r	: Vitesse de ruissellement (m/s).
$V.R$: Variable régionalisée.
$V.Rég$: Volume régularisé (Mm^3).
W	: Vitesse de chute des particules (m/s).
x	: Point figurant dans l'espace de la variable régionalisée.
X,Y,Z	: Coordonnées Lambert (Km et m).
$Z(x)$: Fonction mathématique de la variable régionalisée.
ΔH	: Equidistance (m).
σ	: Ecart type.
$\gamma(h)$: Variogramme expérimental.
λ_i	: Poids du point x .

INTRODUCTION

L'érosion façonne la terre depuis sa création et, depuis plus de 7000 ans, l'homme s'acharne à lutter contre elle, pour protéger ses terres contre l'agressivité des pluies et du ruissellement.

L'existence de problèmes d'érosion hydrique au niveau d'un bassin versant se manifeste souvent par la présence d'une quantité excessive de sédiments en suspension dans les cours d'eau. L'évaluation des taux de sédimentation transportés à l'exutoire des bassins versants permet d'avoir une bonne idée sur leur ampleur et leur conséquences. Il s'avère essentiel, dans une perspective de gestion de la qualité de l'eau à l'échelle d'un bassin versant, de pouvoir estimer l'érosion hydrique et le transport des sédiments en suspension afin d'identifier les zones productives des sédiments.

Souvent une utilisation irrationnelle des modèles empiriques pour l'évaluation du transport solide est constatée car les conditions régionales influencent les résultats [1] ; [2] et [3].

Les travaux relatifs à la compréhension, à l'évaluation et la modélisation des phénomènes d'érosion et du transport solide passent par plusieurs approches : des chercheurs ont étudié le phénomène à l'échelle de la parcelle, tout en utilisant l'équation universelle de WISCHMEIER pour évaluer l'érosion [4] ; [5] ; [6] ; [7] et [8]. Un processus de mesure utilisant le Césium (^{137}Cs) a été employé afin d'étudier l'apport de sédiments provenant de petits bassins versants agricoles [9] ; [10] ; [11] ; [12] ; [13] et [14]. Une méthode fondée sur l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) est proposée et expérimentée afin d'identifier l'origine des sédiments et de prévoir leur exportation à l'exutoire des bassins [15] ; [16] ; [17] ; [18] ; [19] ; [20] et [21]. Afin de connaître les terrains les plus exposés aux problèmes de l'érosion des sols et d'estimer le transport solide dans les bassins non jaugés, des essais de cartographie ont déjà été réalisés à différentes échelles. Parmi ces travaux nous pouvons distinguer : les cartes d'érosion

basées sur des observations ou des synthèses bibliographiques ; les cartes de risques d'érosion qui sont issues de modélisation du fonctionnement des phénomènes d'érosion et du transport solide, soit par l'apport de télédétection soit par le traitement par la méthode spectrale [22] ; [23] ; [24] ; [25] ; [26] et [27].

Il faut également mentionner les travaux qui ont été déjà réalisés, utilisant les modèles mathématiques, numériques et stochastiques comme moyens de la quantification du transport solide [28] ; [29] ; [30] ; [31] ; [32] et [33]. La modélisation des phénomènes d'érosion et du transport solide relie ce dernier aux paramètres explicatifs [34] et [35]. Le contrôle périodique de l'envasement des barrages permet d'une part l'estimation globale du transport solide, et d'autre part la surveillance et la protection de ces ouvrages [36] ; [37] ; [38] ; [39] et [40].

La plupart des travaux de recherche menés dans le monde ont montré l'utilité de la relation débit solide ou concentration – débit liquide (rating curves), comme une méthode permettant l'estimation du transport solide sur la période considérée [41] ; [42] ; [43] ; [44] ; [45] ; [46] ; [47] ; [48] ; [49] et [50].

En Algérie, l'inventaire systématique des ressources n'est pas encore achevé malgré les nombreuses études menées au cours du siècle dernier. Ces ressources ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines). La majeure partie du pays (**87%**) est un désert où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord du pays est caractérisée par son climat méditerranéen ; elle dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surfaces que pour les nappes phréatiques. Les **90%** des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ **7%** du territoire. Le pays est également caractérisé par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaines mais est peu arrosée. La partie Est du pays est une zone montagneuse où coulent les principaux fleuves. Les bassins occidentaux reçoivent **10%** seulement des flux, pour une surface représentant le tiers de celle du Nord du pays. Les bassins orientaux drainent **40%** des flux, alors qu'ils ne représentent que **20%** de la superficie totale et ceux du centre en

drainent **50%** pour une surface totale représentant les **50%** restants. On estime à **1.6 milliards m³** leur volume moyen annuel. Le pays compte 124 barrages dont 59 ont une capacité supérieure à **10 millions m³** et 65 sont de capacité inférieure, il y a 16 barrages en cours de construction à l'heure actuelle et 20 nouveaux barrages sont prévus à l'horizon 2010. En ce qui concerne l'avenir, 17 autres barrages sont à l'étude [51].

L'érosion hydrique est un problème majeur au Nord de l'Algérie. Le principal facteur de l'érosion est le ruissellement dont la répartition spatiale est contrôlée par celles des précipitations et des caractéristiques géologiques et biophysigraphiques (topographie, couvert végétal,...). L'érosion se manifeste principalement sur les sols en pente et constitue une des principales causes de dégradation des sols dans les massifs montagneux. Elle s'est accélérée suite au défrichements des forêts et maquis qui protégeaient les sols sensibles. L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre, la partie Ouest (**47%** de l'ensemble des terres), est la région la plus érodée du pays. Viennent ensuite les régions du Centre (**27%**) et de l'Est (**26%**). L'érosion moyenne varie entre **2000** et **4000 T /Km²/an** [34], et le taux d'envasement est supérieur à **15%** [52]. L'Algérie est de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion.

L'alluvionnement des retenues est un phénomène préoccupant dans les pays du Maghreb et particulièrement en Algérie. Ce phénomène est dû principalement à une érosion très active dans les bassins versant Algériens [34] ; [36] ; [53] et [54], et Maghrébins [37] et [55]. L'estimation du taux de sédimentation des barrages et leurs durées de vie nécessite une bonne connaissance des apports solides. À l'heure actuelle, les recherches traitant le problème de l'érosion hydrique des sols sont très limitées (complexité et manque de données pour l'étude du phénomène).

Tenant compte de l'ampleur du phénomène de l'érosion hydrique en Algérie et des conséquences qui en découlent, nous nous sommes intéressés de près au bassin versant de l'Oued Cheliff qui est le plus long Oued en Algérie de part ses **759 Km** de longueur et de sa superficie qui est estimée à plus de **43750 Km²**. Ce bassin occupe une place stratégique où une variabilité importante de l'écoulement entre le Nord et le Sud et entre l'Ouest et l'Est est observée, aussi la non suffisance de stations de jaugeage et leur répartition assez

concentrée dans le Nord du bassin nous a permis d'essayer de développer une approche méthodologique détaillée de connaissance et de quantification du transport solide à partir des données collectées au droit de ces stations . L'approche consiste en la recherche d'un modèle régressif pouvant expliquer la relation débit liquide et débit solide qui servira à quantifier le transport solide en utilisant l'information du débit liquide qui est plus abondante et en conséquence l'érosion spécifique.

En plus de ces stations hydrométriques, l'érosion spécifique est estimée au niveau des barrages et des retenues collinaires, ce qui permet d'élaborer un modèle régressif qui sert à l'extension à des points d'observations en cherchant d'autres sites non jaugés pour sa bonne représentativité sur toute la zone d'étude. Ce travail aboutit à élaboration d'un abaque expliquant la variation de l'érosion spécifique en fonction de la surface et de la lame d'eau précipitée pour l'ensemble du bassin versant de l'Oued Cheliff.

Ainsi, notre travail sera réparti en quatre chapitres :

- le premier chapitre présente un recueil bibliographique et théorique sur le processus de l'érosion et du transport solide (ampleur, conséquences et méthodes d'évaluation), ainsi que les études réalisées de part le monde ;
- Le deuxième chapitre présente en détails la zone d'étude qui est le bassin versant de l'Oued Cheliff ;
- Le troisième chapitre consiste en la constitution de la banque des données (collecte, mise en forme et traitement) ;
- Le quatrième chapitre évalue les apports solides au droit des stations hydrométriques, des barrages, des retenues collinaires et des exutoires supplémentaires, afin d'établir un abaque de la variation de l'érosion spécifique en fonction de la surface et de la lame d'eau précipitée.

CHAPITRE 1

RECUEILS BIBLIOGRAPHIQUES ET THEORIQUES

1.1. Erosion et transport solide

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et indépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules du sol. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache la terre vers un lieu de dépôt.

L'étude du débit solide occupe une place très importante et très vaste dans le domaine de l'hydrologie de surface et de la régularisation des débits [56]. La matière première du débit solide est principalement l'érosion continentale. Son étude doit donc être intégrée à l'ensemble du bassin versant, faisant intervenir un grand nombre de disciplines complémentaires (mécanique des fluides, hydraulique, hydrologie, géomorphologie et agronomie) [57].

La dégradation des sols par le phénomène d'érosion revêt de plus en plus des aspects inquiétant pour les barrages. En effet, l'envasement et la sédimentation restent un problème crucial, liés à un processus d'érosion intense difficilement maîtrisable.

1.1.1. Erosion

En zones méditerranéennes et semi-arides caractérisées par un climat agressif et des régimes hydrologiques violents et irréguliers, l'érosion des bassins versants et la sédimentation des cours d'eau constituent un phénomène complexe très répandu qui pose de nombreux problèmes aux ingénieurs chargés des projets de mise en valeur et d'aménagement. Les problèmes sont multiples entre autres:

- Dégradation des terres arables donc réduction de la production agricole ;
- Envasement des barrages et des canaux d'irrigation ;
- Modification de la morphologie des sites.

1.1.1.1. Définition

C'est l'ensemble des actions physiques, chimiques et organiques qui aboutissent à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain. Plus simplement l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre. L'eau, le vent et l'homme sont les principaux agents [58].

L'érosion est un phénomène naturel qui affecte l'ensemble de la couverture terrestre géopédologique et c'est l'un des facteurs importants de formation et d'évolution des milieux naturels [59].

1.1.1.2. Formes d'érosion

L'érosion se manifeste sous deux formes, érosion hydrique et érosion éolienne [59].

- **Erosion éolienne** : elle se traduit par l'ablation et le transport des particules du sol (sables et limons surtout) détachées des agrégats auparavant, suite à l'absence de liant, d'argile ou de matières organiques. Elle concerne essentiellement les sols sableux ou sablo-limoneux à faible teneur en matière organique.

- **Erosion hydrique** : elle commence avec la chute des gouttes de pluies sur les agrégats du sol qui provoque un certain détachement des particules élémentaires du sol (sables et limons) qui est appelé *splash*, et qui reste plus ou moins intense selon l'état du sol au moment où il reçoit la pluie. L'action peut se poursuivre avec l'entraînement des particules détachées, d'abord en petites nappes à l'intérieur de la parcelle, puis hors de la parcelle mais avec des intensités très variables selon : la nature du sol ; les systèmes culturaux et l'état de l'humidité du sol. Elle se traduit visuellement par les formes suivantes, dans l'ordre croissant de gravité.

- a. Erosion en nappe* : pour les surfaces planes ou à faible micro-relief, correspondant à la redistribution sur place des particules ou avec un faible transport et aboutissant au glaçage des surfaces ;

- b. Erosion en rigoles* : qui s'effectue généralement selon la ligne de plus grande pente, ou plus simplement dans les raies de labour, de semis, ou passage des roues des divers matériels agricoles, et qui correspond à un entraînement des particules par l'eau. Le transport par rigoles peut s'aggraver en formant des *ravins* sur les pentes. L'eau peut s'accumuler aussi sur les versants, surcharger les terrains et occasionner des *glissements et décrochement de terrains* en grande masse (régions de marnes surtout).

Les différents types de l'érosion hydrique sont résumés dans le figure 1.1 :

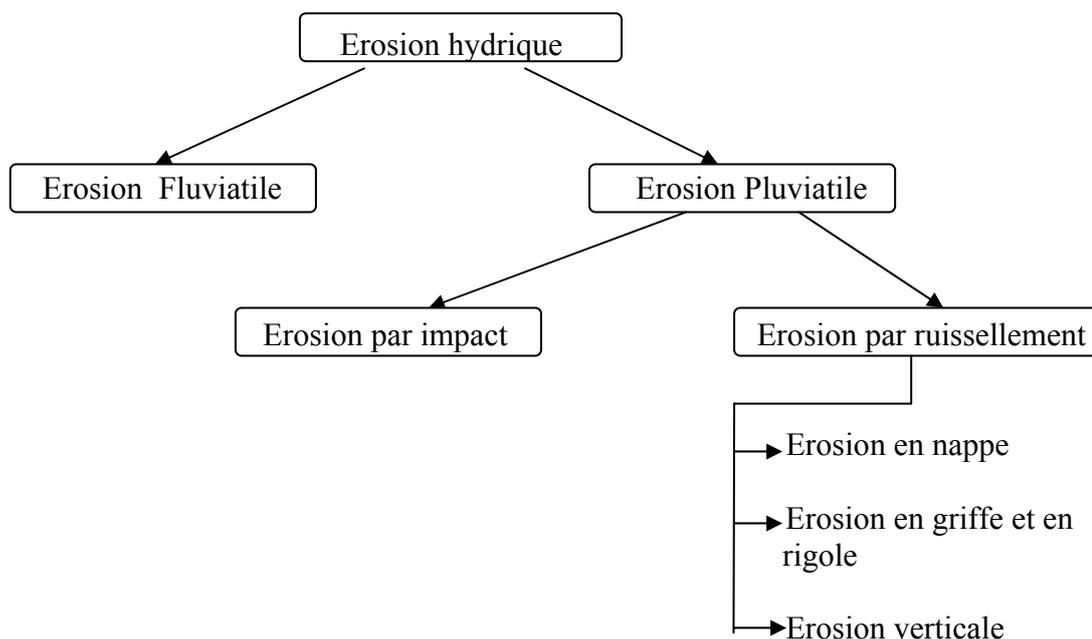


Figure 1.1 : Types d'érosion hydrique [60].

1.1.1.3. Facteurs et processus de l'érosion hydrique

a- Facteurs de l'érosion hydrique

➤ **Facteurs climatiques**

Les précipitations constituent l'agent essentiel de l'érosion hydrique. Il s'agit de l'intensité, du volume, de la fréquence de ces pluies et de leur répartition au cours de l'année. Pour bien comprendre le rôle joué par ces pluies, il est nécessaire de restituer l'événement pluvieux dans un processus d'évolution de la structure et de l'état hydrique du sol qui s'opère durant une saison hydrologique et culturale.

➤ **Facteurs pédologiques**

La couverture pédologique joue un rôle essentiel sur le processus du ruissellement et d'érosion à travers sa capacité d'infiltration et de son érodibilité [61]. Sous l'action des pluies, la surface du sol passe d'un état fragmentaire poreux et meuble à un état compact. La couche superficielle forme une croûte de battance qui diminue en effet la vitesse d'infiltration favorisant donc le ruissellement. Ces croûtes de battance se développent surtout dans les sols à perméabilité faible (argile, limon,...).

➤ **Facteurs topographiques**

Le relief du terrain intervient sur l'érosion hydrique par la topographie, notamment la pente et sa longueur qui vont déterminer le régime d'écoulement des eaux sur les versants, et donc le transport et l'arrachement des particules du sol.

➤ **Facteurs biologiques**

La végétation permet de réduire l'ampleur de l'érosion hydrique en jouant un rôle d'interception des gouttes de pluies, grâce aux parties aériennes des plantes [62]. Cette interception est fonction de la densité de la surface foliaire [63] et de la structure du couvert végétal [62].

b- Processus de l'érosion hydrique

Les différentes phases du processus d'érosion sont bien identifiées selon [64] :

- Emplacement des agrégats et détachements des particules sous l'action des gouttes de pluies ;
- Formation d'une croûte structurale et perte d'infiltrabilité ;
- Formation d'une croûte sédimentaire et fermeture de la surface ;
- Ruissellement en nappe après remplissage du volume de rétention superficielle ;
- Concentration des eaux par les eaux de collecte vers les collecteurs principaux ;
- Incision et transport au delà de la vitesse limite des griffes, rigoles et ravines ;
- Dépôt dans les zones d'atterrissement.

1.1.1.4. Causes de l'érosion

La cause principale de l'érosion hydrique est l'eau et plus particulièrement la pluie torrentielle. L'Algérie du Nord, de par sa nature géologique et lithologique de son sol est caractérisée par un climat agressif à pluies torrentielles ($I > 24\text{mm/h}$), irrégulières aussi bien dans l'espace que dans le temps, avec des temps de concentration courts, des crues fortes, rapides et chargées.

La lame d'eau en mouvement le long des versants se divise progressivement, les filets d'eau se regroupent dans les petites dénivellations du sol [60]. Cette eau déploie une force qui leur permet d'arracher les obstacles (grains de sable, pierres, végétaux, ...), aussi, la faculté d'érosion augmente avec :

- L'épaisseur de la lame d'eau ruisselée donc avec l'intensité de pluie ;
- La longueur du bassin versant.

A cela, s'ajoute l'effet du couvert végétal, la pente du terrain, la lithologie du bassin versant et l'homme [65], qui ont tous leur part dans l'érosion des bassins versants. Ce processus est décrit dans la figure 1.2 :

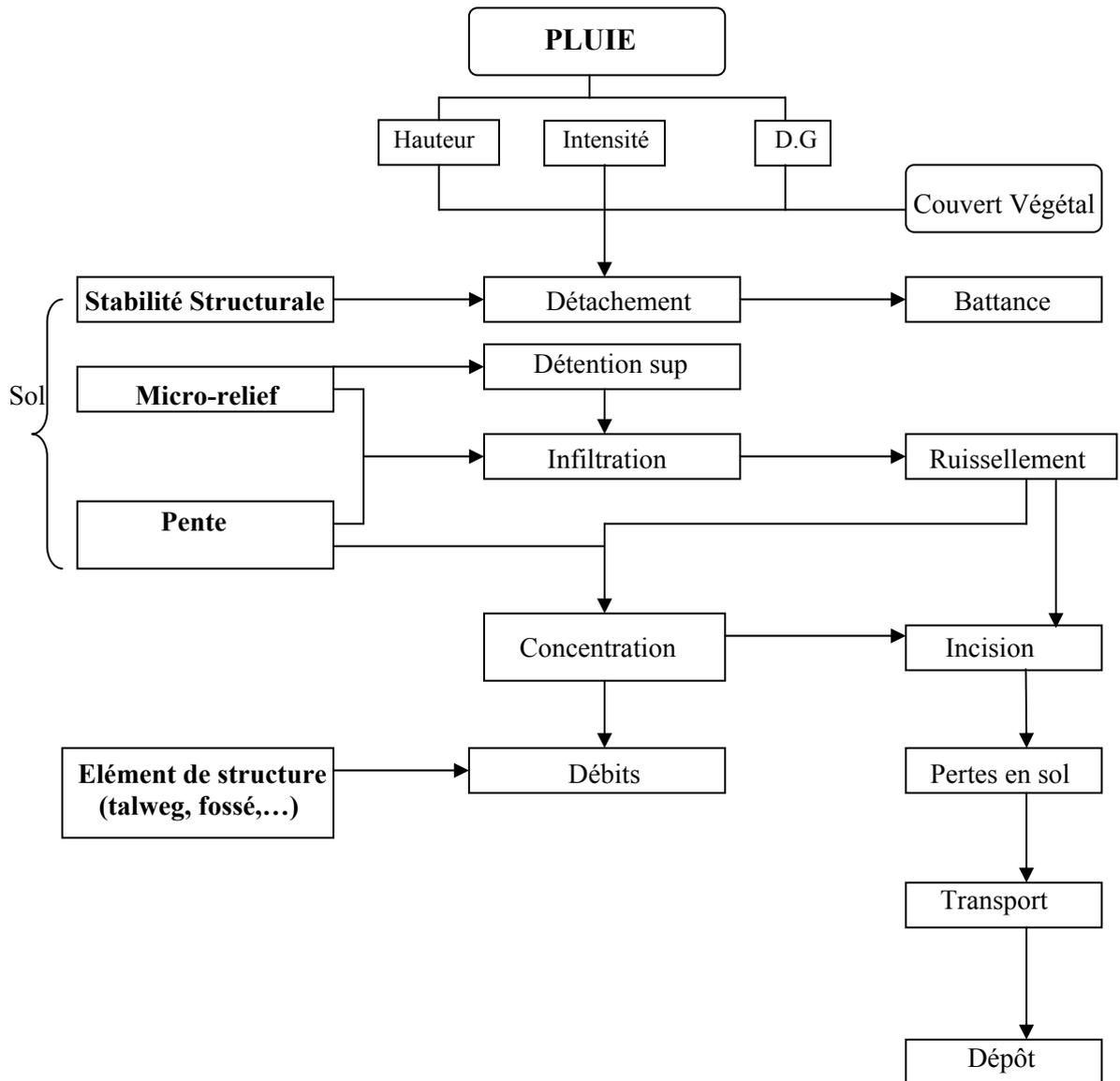


Figure 1.2 : Différentes étapes de l'érosion [64].

En Algérie du Nord, l'aspect le plus important de l'érosion hydrique est l'érosion pluviale et plus précisément l'érosion par ruissellement. Comme les précipitations, le ruissellement agit sur le sol par le détachement et le transport (figure 1.3).

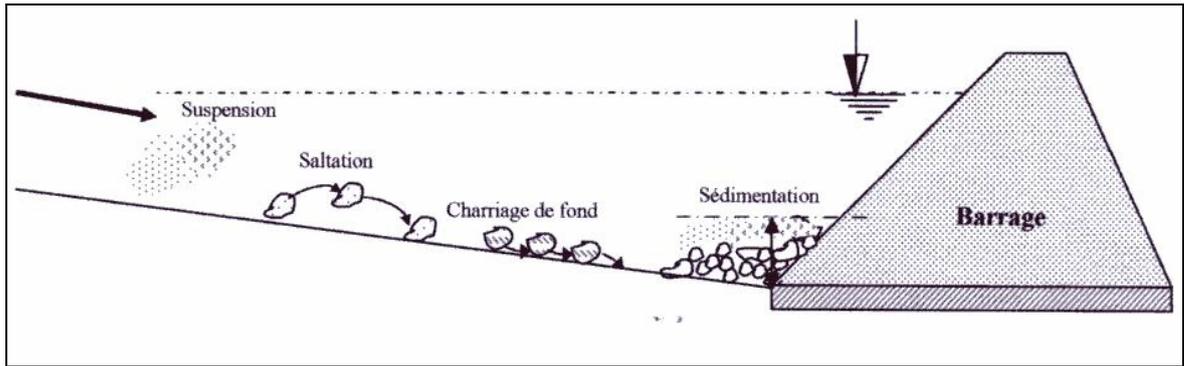


Figure 1.3 : Mode de transport par ruissellement.

1.1.1.5. Conséquences de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique des bassins versants a des répercussions directes à long terme sur les infrastructures hydroagricoles à l'aval par :

- La réduction de la production agricole en dépit de l'extension des surfaces agricoles suite à la dissection des surfaces cultivées (dégradation des terres arables) et leur fertilité ;
- Une dégradation spécifique atteignant 2000 T/Km² dans les bassins versants Telliens ;
- Une quantité de 120 millions de Tonnes de sédiments rejetés en mer chaque année par les bassins tributaires de la méditerranée [66] ;
- Un exode rural important diminuant les activités agricoles, l'occupation des sols et favorisant l'accélération de l'érosion ;
- Un engorgement rapide de nombreux barrages qui influent sur la capacité de stockage de nos barrages, soit une réduction de 20 millions de m³/an [66].

1.1.1.6. Quantification de l'érosion hydrique

Les dégâts graves et intenses causés par l'érosion au fil des siècles ont poussé l'homme par le biais de différentes formules empiriques à quantifier les pertes en sols. Ces formules restent toujours à utiliser avec précaution du fait de leur limite d'application. Parmi ces équations, nous pouvons citer :

➤ **Equation universelle des pertes en sol**

Les U.S.A (service Américain de conservation des sols) ont exploité plusieurs milliers de mesures sur des parcelles pour établir une équation dite de WISCHMEIR qui consiste à quantifier seulement l'érosion en nappe. L'équation fait intégrer l'ensemble des facteurs qui déterminent le phénomène d'érosion tel que : Le facteur d'érosivité de la pluie (R), le facteur d'érodibilité du sol (K), le facteur topographique (Ls), le paramètre du couvert végétal (C) et le facteur des pratiques anti-érosives [67]. Cette équation est de la forme 1.1:

$$E = R * K * Ls * C * Fp \dots\dots\dots(1.1)$$

Où:

- E: pertes en sols (T/Ha/an) ;
- R: index d'érosion;
- K: érodibilité des sols;
- Ls : facteur de longueur et de pente ;
- C : facteur de végétation, fonction des travaux agricoles des résidus des cultures ;
- Fp : facteur de pratique de protection, fonction des rotations de cultures et des pentes.

➤ **Formule de GRAVILOVITCH (1960)**

Il a défini l'érosion spécifique comme étant proportionnelle à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion. L'équation est donnée par l'expression 1.2 :

$$Es = 3,14 * T * P_o * \sqrt{Z^3} \dots\dots\dots(1.2)$$

Où:

- Es: érosion spécifique dans le bassin versant (T/Km²/an) ;
- T : coefficient de température tel que :

$$T = \frac{\sqrt{t_0}}{\sqrt{10}} + 0,1 \dots\dots\dots(1.3)$$

Avec :

- t_0 : température moyenne annuelle en °C ;
- P_o : pluie annuelle en (mm) ;
- Z : coefficient d'érosion tel que :

$$Z = y * [x * a] * [\delta + \sqrt{I_{moy}}] \dots\dots\dots(1.4)$$

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

$[x * a]$: 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 liées aux conditions naturelles, il est aussi tabulé ;

δ : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcé dans le bassin versant, il est tabulé ;

I_{moy} : pente moyenne du bassin versant.

Partant de la valeur du coefficient d'érodabilité des sols, 6 catégories des destruction des sols ont été établies et sont présentées dans le tableau 1.1 avec le débit solide spécifique correspondant :

Tableau 1.1 : Intensité du processus d'érosion.

Catégorie de destruction	Intensité du processus d'érosion dans le lit et sur le bassin versant	Coefficient d'érodabilité Z	Valeur moyenne du coefficient Z	Débit solide spécifique $m^3/Km^2.an$
I	Erosion excessive	1.01 à 1.50 et au delà	1.25	<3000
II	Erosion forte	0.71 à 1.00	0.85	1500 à 3000
III	Erosion moyenne	0.41 à 0.70	0.55	1000 à 1500
IV	Erosion faible	0.20 à 0.40	0.30	500 à 1000
V	Erosion très faible	0.01 à 0.19	0.10	0 à 500
VI	retenue	0.00	0.00	0.00

➤ **Formule de l'A.N.R.H (1982)**

$$T_{ss} = 26,62 I_1 + 5,07 I_p + 9,77 C_t - 593,59 \dots\dots\dots(1.5)$$

Où:

T_{ss} : transport solide spécifique moyen annuel ($T/Km^2/an$) ;

I_1 : indice lithologique (%);

I_p : indice des précipitations (%);

C_t : coefficient de torrentialité tel que : $C_t = D_d * F_1$ avec :

D_d : densité de drainage tel que ; $D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} \dots\dots\dots(1.6)$

$\sum_{i=1}^n L_i$: longueur de tous les cours d'eau (Km) ;

A : surface du bassin versant ;

F_1 : fréquence des talwegs élémentaires tel que $F_1 = \frac{N_1}{A}$ (1.7)

N_1 : Nombre de talwegs d'ordre 1.

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes : $I_e > 10\%$ et $P_o > 300\text{mm}$;

➤ **Formule de TIXERONT** [68]

$$E_s = [S_1 * T_{a1} + S_2 * T_{a2} + S_3 * T_{a3}] . S \dots\dots\dots(1.8)$$

Avec :

E_s : érosion spécifique (T/Km²/an) ;

T_{a1} , T_{a2} , T_{a3} : taux d'abrasion fonction de la perméabilité du sol dans le sous bassin (T/Km²) ;

S : superficie totale du bassin versant (Km²) ;

S_1 , S_2 , S_3 : surfaces des sous bassins versants (Km²).

Pour l'Algérie du Nord :

$T_{a1} = 0.75 \cdot L_e^{0,15} \Rightarrow$ Bassin Versant à forte perméabilité ;

$T_{a2} = 350 \cdot L_e^{0,15} \Rightarrow$ Bassin Versant à perméabilité moyenne ;

$T_{a3} = 1400 \cdot L_e^{0,15} \Rightarrow$ Bassin Versant à faible perméabilité.

Où:

L_e : lame d'eau ruisselée moyenne interannuelle en (mm) ;

➤ **Formule de FOURNIER** [69]

$$A_s = \frac{1}{36} * \left(\frac{P}{P_a}\right)^{2.65} * \left(\frac{H_{moy}}{S}\right)^{0.46} \dots\dots\dots(1.9)$$

Où :

A_s : apport solide moyen interannuel (T/Km²/an) ;

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

P_a : pluviométrie moyenne interannuelle (mm) ;

H_{moy} : altitude moyenne (m) ;

S : superficie du bassin versant (Km²).

1.1.2. Transport solide

Le transport solide joue un rôle important dans la dynamique fluviale, son expression recouvre un ensemble de phénomènes physiques extrêmement vaste, il s'agit de l'entraînement du solide à l'état granulaire sous l'action de l'écoulement du fluide du fluide et celui biphasique [70].

La vitesse d'écoulement et la granulométrie sont les critères essentiels pour la dynamique des matériaux arrachés au sol et leur transport par le réseau d'écoulement. Notons cependant, qu'il y a une grande variation dans le champ d'exploitation des vitesses d'écoulement tout au long du profil de l'Oued d'amont en aval, soit une variation spatiale de la capacité du transport. Ainsi, l'entraînement de particules solides par un écoulement liquide est essentiellement fonction de la dimension de ces particules [71].

L'Américain Geophysical Union, donne une classification des particules selon leur mode de transport (tableau 1.2).

Tableau 1.2 : Différents aspects du transport des sédiments.

Dimensions (diamètre moyen)	Désignation	Zones concernées	Mode de transport	Nature des phénomènes
De 0.24 à 4 μ	Vases	Lacs, estuaires littoral	Suspension et courant de densité	Mécanique et physico-chimique
De 4 à 62 μ	Silt	Lacs, retenues de barrages, zones d'eau morte,...	Suspension et courant de densité	Mécanique
De 0.002 à 2mm	Sable	Littoral, cours d'eau	Suspension ou charriage	Mécanique
De 2 à 64 mm	Graviers	Cours d'eau	Charriage	Mécanique
De 64 à 250 mm	Galets	Plages, rivières à forte pente, torrents	Charriage	Mécanique
> 250 mm	Blocs	Torrents à très forte pente	Charriage	Mécanique

1.1.2.1. Les différents aspects du transport solide

Le transport des matériaux solides dans un cours d'eau peut s'effectuer de deux manières : par charriage et en suspension.

Le transport par charriage est un transport de fond du lit qui correspond à l'entraînement des alluvions les plus grossiers allant du sable jusqu'aux blocs.

Le transport en suspension concerne les particules fines (argiles, limons, parfois le sable dans les rivières à plus forte pente et les torrents). Ce mode particulier de transport est généré par la turbulence déterminant ainsi les composantes ascensionnelles de la vitesse de l'eau qui font flotter les particules fines.

Selon LEVIANDIER [67], le transport solide se fait sous deux formes :

- un transport des particules fines en suspension ;
- un transport des particules grossières par charriage.

Avec, bien entendu le cas intermédiaire qui est la **saltation** considérée comme étant un charriage. Ces différents modes de transport sont représentés par la figure 1.4 :



Figure 1.4 : Différents formes de transport [72].

a- Transport solide par charriage

Les matériaux grossiers constituant le lit du cours d'eau sont mis en mouvement par glissement, roulement ou saltation, lorsque les forces de frottements tangentiels dues à l'écoulement sont prépondérantes par rapport aux forces de la pesanteur. En ce qui concerne le charriage, on peut dire qu'il est généralement lié exclusivement aux périodes de crues.

De même, GUILLOT et al [73] ont distingué :

- les matériaux qui sont maintenus en suspension dans l'eau par la turbulence et qui peuvent être transportés sur de très longues distances sans entrer en contact avec le fond. Ce sont des particules de petites dimensions et à faibles vitesses de chute ;
- des matériaux charriés dont les dimensions sont plus importantes et dont le mouvement sur le fond est à l'instant t fonction de la capacité du transport de l'oued.

D'autre part, RIEKEMANN [74] et GOMER [75] attirent l'attention sur le fait qu'on peut trouver tous les types de transport dans les bassins, aussi il convient de faire des études approfondies pour poser des critères de différenciation de ces types de transport.

1.1.2.2. Mesure du débit solide

a- Cas de charriage

La mesure du débit solide par charriage peut être réalisée par diverses méthodes, la plus directe consiste à déposer une trappe transversalement sur toute la largeur du lit et de piéger les sédiments qui viennent de l'amont. Cette méthode a été mise au point la première fois aux Etats Unis ; certaines installations permettent de mesurer le débit solide d'un cours d'eau pour les largeurs de 30m [71]. Ce type d'appareils recueille pratiquement 100% du charriage, à la suite d'un pompage ou d'extraction des matériaux piégés dans la trappe.

Nous citons également ;

- les détecteurs hydrophoniques ;
- les nasses de prises en rivières ;
- les traceurs radioactifs ;
- procédés topographiques ;
- fosses à sédiments ;
- modèles réduits.

Le charriage est discontinu dans le temps au cours de l'année hydrologique et dans l'espace, d'amont en aval. Sa variation dans le temps se traduit par des valeurs très élevées lors des crues, surtout pour les bassins de montagne où le régime d'écoulement est torrentiel. Malheureusement, lors des crues cette variation est souvent très peu connue, faute de mesures.

La variation dans l'espace du charriage se fait tel que:

- la phase caillouteuse transite plus lentement, le transport de gravillons et de galets se fait soit par paquets (roulement en masse) soit par saltation individuellement. Ces 2 phénomènes (roulement en masse et saltation) ont un caractère commun qui est la **lenteur**. Ce qui explique que les galets ne jouent qu'un rôle réduit dans le bilan global du charriage de la plupart des rivières [76].

b- Cas du transport solide en suspension

La mesure du transport se fait sur toute la largeur de la section de mesure. Ces mesures sont effectuées au niveau des stations hydrométriques.

➤ *Méthode approchée*

La méthode consiste à effectuer à l'aide des prélèvements d'échantillons en bordure du cours d'eau. Nous mesurons la concentration C de l'échantillon au laboratoire par filtration, étuvage et pesée (C : sera exprimé en g/l). Aussi, le débit solide Q_s exprimé en (Kg/s) n'est que le produit du débit liquide Q_L (l/s) par la concentration C (g/l).

$$\boxed{Q_s = Q_L * C} \dots\dots\dots(1.10)$$

➤ *Méthode par exploration du champ de concentration*

La méthode consiste à explorer à travers une section droite du cours d'eau le champ de concentration en matière en suspension et de déterminer le débit solide par intégration. Nous procédons à des prélèvements d'échantillons aux différents point de la section de mesure, vu que la concentration des sédiments varie souvent de la surface vers le fond et d'une rive à l'autre (figure 1.5). La détermination du champ de concentration de vitesse pour la mesure du débit liquide est effectuée simultanément. Le dépouillement d'un jaugeage de débit solide se fait de la même façon que celui du débit liquide. Un certain nombre de points sont répartis sur plusieurs verticales, pour lesquels on dispose d'une mesure de vitesse (V) et d'une mesure de concentration des matériaux en suspension (C). Pour une verticale i , nous reportons le produit $C*V$ en fonction de la profondeur h_i , nous traçons les épures des vitesses de chaque verticale (figure 1.5)

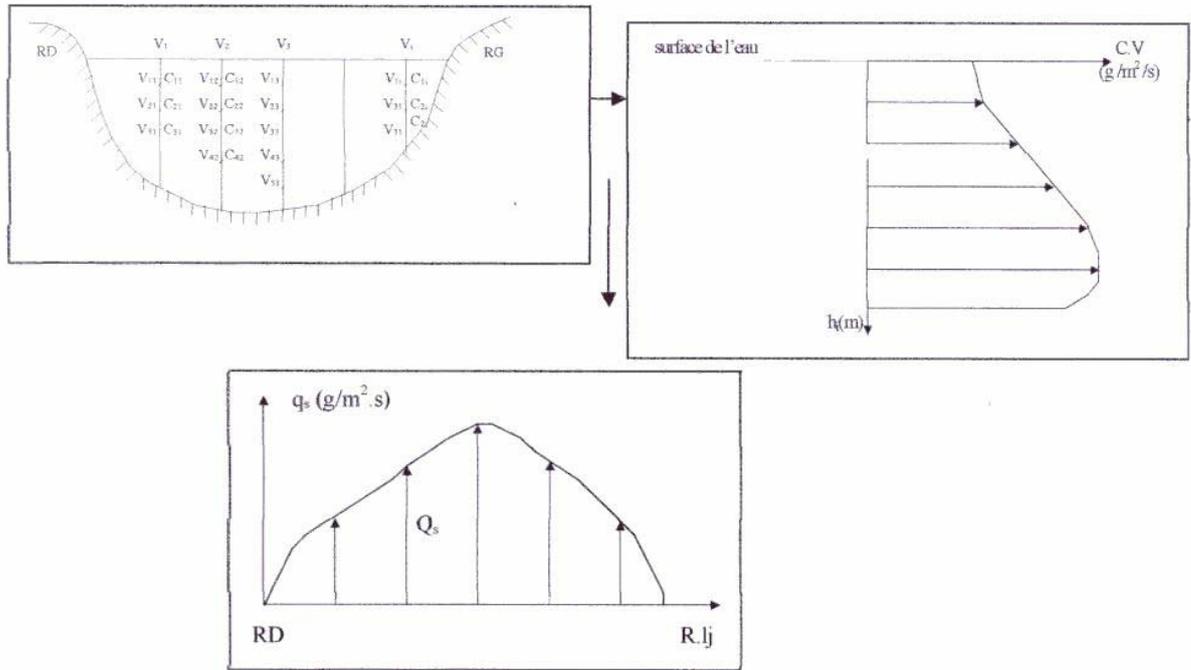


Figure 1.5 : Epure du débit solide.

D'où :

$$q_s = \int_0^{h_i} C*V \, dh \dots\dots\dots(1.11)$$

Avec :

h : profondeur du point de prélèvement (m);

h_i : profondeur de la verticale i (m).

C'est le même procédé pour toutes les verticales.

Le débit solide à travers toute la section de mesure est obtenu par intégration des débits solides unitaires (figure 1.5).

$$Q_s = \int_0^L q_s \, dl = \int_0^L \int_0^{h_i} C*V \, dh \, dl \dots\dots\dots(1.12)$$

Avec :

l : abscisse de la verticale i (m) ;

L : largeur totale de la section (m);

Le débit solide total aura pour équation aux dimensions :

$M L^{-1} * T^{-1} * L = M T^{-1}$ et sera exprimé souvent en Kg/s ou en Tonne/an.

➤ *Mesure des concentrations par prélèvements*

Il est possible également avec certains appareils comme une turbidi-sonde de faire la mesure par intégration en aller retour « surface- fond- surface », ce qui permet d'obtenir la débit solide par unité de champ de concentration.

Cet appareil permet d'effectuer des prélèvements d'échantillons d'eau en n'importe quel point de la section du cours d'eau sans altération de l'écoulement.

Néanmoins, des conditions de prélèvements restent à respecter et qui sont :

- prise d'eau parallèle au sens du courant d'eau ;
- champ de vitesse au voisinage de l'ajutage non perturbé ;
- vitesse d'entrée dans le tube de prise proche de celle du courant ;
- distribution granulométrique des sédiments prélevés équivalente à celle des sédiments écoulés.

La mesure de la concentration peut se faire à l'aide d'une bouteille. Cette méthode est utilisée pour les faibles courants d'eau. Les résultats de ces mesures sont exploités pour l'estimation des apports solides moyens annuels et l'érosion spécifiques des bassins.

➤ *Mesure directe des concentrations*

Il existe des possibilités pour mesurer les concentrations in situ sans faire des prélèvements en utilisant l'absorption et / ou la diffusion du rayonnement par les matières en suspension. Toutefois, cette méthode nécessite un étalonnage préalable des appareils en laboratoire et des corrections sur site en fonction de la température de l'eau, de la granulométrie et éventuellement de la composition chimique des sédiments et des sels dissous [73].

L'utilisation des méthodes optiques (transmission ou diffusion de la lumière) sont peu répandues, car elles ne permettent pas de mesurer des concentrations qui peuvent dépasser 10 à 15 g/l.

Par contre, ces méthodes fondées sur la mesure de l'absorption ou de la diffusion d'un rayonnement radioactif sont les plus utilisées. On distingue principalement :

- 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. La méthode nous permet de mesurer des concentrations de 2 à 300 g/l.

- les jauges à diffusion utilisant le phénomène de diffusion des photons δ dans le milieu qui entoure l'ensemble « source – détecteur ». Elles sont surtout conçues pour des turbidités élevées.

- des appareils permettant de mesurer la radioactivité naturelle des matières en suspension. En effet, lorsque les particules ont un faible diamètre, la radioactivité ambiante n'est plus négligeable. Elle est fonction de la turbidité qui peut être mesurée par un détecteur que l'on plonge dans l'eau. Cette méthode est plus simple, mais elle ne doit être utilisée que pour les concentrations élevées (supérieur à quelques centaines de gramme par litre)

1.2. Ampleur de l'érosion et du transport solide dans le monde

L'érosion des sols est une menace environnementale majeure dans le monde. Dans ces dernières années, pratiquement 1/3 des terres cultivables du monde ont été perdues par l'érosion et continuent d'être perdues à un rythme de plus de 10 millions d'Ha /an [77].

Dans la région méditerranéenne, l'érosion du sol est même plus prononcée. L'érosion hydrique dans cette région peut entraîner une perte de 20 à 40 tonnes/Ha du sol, parfois, en un seul orage jusqu'à 100 tonnes / Ha [78].

Dans la région du Maghreb, plusieurs auteurs ont attirés l'attention sur l'ampleur de ce fléau dans ces pays là. FOURNIER [69] et STRAKHOV [79] ont considéré que les pays du Maghreb sont parmi ceux les plus érodés dans le monde.

MILLIAM et al [80] ont estimé que le transport solide par les cours d'eau Maghrébins est environ 100 T/Km²/an en moyenne. WALLING [81] confirme que ces chiffres sont loin d'être réels, et propose que le transport solide est de l'ordre de 1000 à 5000 T/Km²/an. Ces chiffres sont à la base de plusieurs études menées dans ces régions ; HEUSCH et al [82] au Maroc, DEMMAK [34] en Algérie et GHORBAL et al [83] en Tunisie.

Cette différence remarquable entre ces chiffres peut être due aux difficultés de mesure de la variabilité spatio-temporelle de l'érosion, de l'agressivité du climat, du couvert végétal et du relief.

Le tableau 1.3 illustre les valeurs de l'érosion hydrique dans différentes régions du monde. De nombreux travaux de recherches d'étude et d'expérimentation sur le phénomène de l'érosion et des transports des sédiments ont été menés dans les pays du Maghreb ainsi que dans d'autres pays, mais la complexité du phénomène, son caractère irrégulier et aléatoire n'a pas permis d'aboutir à des résultats suffisants.

1.2.1. Conséquences de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique des sols est d'abord une perte en terre, celle-ci est très variable dans le temps et dans l'espace. La qualité du sol, sa structure, sa stabilité structurale et sa texture peuvent être affectées par l'érosion [84]. Sur le domaine agricole, les conséquences sont principalement : les arrachements des plants du semis, la création de ravines qui constituent une gêne pour les interventions culturales et le recouvrement des plants et des semis par des dépôts.

Nous pouvons considérer les coulées de boues, les inondations, le sapement des chaussées, le colmatage des réseaux d'assainissement et la sédimentation des cours d'eau et des ouvrages hydrauliques comme conséquences de l'érosion hydriques sur l'environnement.

Tableau 1.3 : Valeurs du transport solide dans quelques pays du monde

Pays	Bassin Versant	Superficie (10 ³ Km ²)	Ts (T/Km ² .an)	Cycle hydrologique	Référence
<u>Amérique du sud</u>					
Brazil	Jamari	30.4	13.1	(1978-1984)	MORTATTI et al [85]
	Jiparana	60.3	12.6	(1978-1984)	MORTATTI et al [85]
Colombie	Cabera	2.446	755	(1982-1998)	RESTREPO et al [86]
	Guarino	0.976	464	(1981-1999)	RESTREPO et al [86]
<u>Europe</u>					
France	Garonne amont	9.98	34.4	(1971-1978)	PROBST [87]
	Garonne aval	52.0	30.0	(1971-1980)	ETCHANCHU [88]
	Girou	0.52	22.0	(1980-1981)	PROBST [87]
<u>Afrique tropicale</u>					
Sénégal	Sénégal à Bakel	218.0	10.3	(1979-1987)	KATTAN et al [89]
	Sénégal à Dangana	270.0	10.6	(1981-1983)	GAC et al [90]
Gambie	Gambie à Goulombou	42.0	2.1	(1983-1984)	LÔ [91]
	Gambie à Kedougou	7.5	7.9	(1987-1988)	Kattan et al [89]
Niger	Niger à Koulikoro	120.0	5.2	(1991-1994)	BRIQUET et al [92]
	Niger à Bamako	117.0	4.9	(1990-1992)	BRIQUET et al [92]
	Milo Kankan	9.6	21.3	(1987-1988)	GAC [93]
Tchad	Logone à Lai	56.7	39.0	(1969-1970)	GAC [93]
	Logone à Bongor	71.1	34.0	(1969-1976)	GAC [93]
Congo	Oubangui à Bangui	500	5.8	(1987-1988)	OLIVRY et al [94]
	Lefini à Mbouambé	13.5	9.4	(1987-1991)	MOUKOLO et al [95]
	Alima à Tchikapika	20.07	6.0	(1987-1991)	MOUKOLO et al [95]
<u>Afrique du Nord</u>					
Maroc	Sebou	40.0	929	-	SNOUSSI [96]
	Souss	16.0	262	-	SNOUSSI et al [97]
	Moulouya	50.0	240	-	SNOUSSI [96]
					SNOUSSI et al [97]
					TALIB [98]
Algérie	Medjerda	0.22	113.4	(1975-1984)	BOUROUBA [99]
	Haut Tafna	0.256	1119.0	(1988-1992)	MEGNOUNIF et al [100]
Tunisie	Kébir- Tabuka	0.164	2224.0	(1979-1981)	SAADAOUI [101]
	Zouara- Berrak	0.865	1434.0	(1979-1981)	SAADAOUI [101]

1.3. Travaux dans le monde et en Algérie

1.3.1. Dans le monde

Nous pouvons citer les travaux suivants :

- LIOPOLD et al [102], à partir des études faites aux Etats-Unis, ont essayé d'établir des formules empiriques qui permettent d'évaluer le débit des transports de sédiments en suspension à partir des données de débits liquides. La relation établie est de la forme :

$$C = K * Q^J \dots\dots\dots(I.13)$$

Avec:

C: concentration de matière en suspension (Kg/m³) ;

Q : débit liquide (m³/s) ;

K, J : constantes.

- WOOD [103], attire l'attention par une étude qui a été faite sur un bassin versant situé en Angleterre. Ce dernier alimente la rivière Rother, dont la superficie du bassin est de 3.9 Km² et la précipitation moyenne annuelle variant entre 940 et 960 mm. Après un traitement des données sur plusieurs évènements (crues), il a pu opté pour différents modèles permettant le contrôle de la variation des concentrations, en cas d'un événement unique (isolé) ou bien pour plusieurs événements à la fois. De même, il a montré la variation des concentrations de surface en profondeurs.

- FLEMING [104], a exploité les données de 250 points de piégeages dans le monde entier, donnant une relation statistique liant l'apport solide moyen annuel (Q_s) et le débit liquide moyen annuel (Q_L) de la forme :

$$Q_s = a * (Q_L)^n \dots\dots\dots(I.14)$$

Où:

a et n sont des coefficients donnés en fonction du type et de la densité du couvert végétal (tableau 1.4). Notons que l'erreur admise pour ce modèle est de l'ordre de ± 50%, ce qui est important.

Tableau 1.4 : Valeurs de a et n pour différents types du couvert végétal [65].

Type du couvert végétal	a	n
- Feuillus et épineux (conifères)	4	1.02
- Forêt de conifères et buisson (épineux)	59	0.82
- Terrains herbacés	177	0.65
- Terrains nus	446	0.72

Ces valeurs sont valables pour Q_s en Tonnes et Q_L en m^3/s .

- MATHYS et al [105] ont travaillé depuis 1983 sur des bassins versants expérimentaux à Draix caractérisés par des terrains marneux noirs. Ils ont montré qu'il existe une bonne corrélation ($R^2 = 0.81$) entre l'érosion, l'intensité des pluies et l'énergie cinétique de l'épisode pluvieux qui est formulée par l'expression suivante :

$$\text{Erosion (Kg/Ha)} = 1.84 * (i_{15})^{0.86} * (e)^{0.97} \dots\dots\dots(1.15)$$

Par ailleurs, ils ont montré que la durée de l'épisode pluvieux (t_s) influe sur l'érosion, dont la formule est la suivante :

$$\text{Erosion (Kg/Ha)} = 1.84 * (i_{15})^{0.93} * (e)^{0.87} * t_s^{0.15} \dots\dots\dots(1.16)$$

donnant un coefficient de détermination ($R^2 = 0.84$)

Où :

i_{15} : intensité maximale de la pluie en 15 mn exprimée en (mm/h)

e : énergie cinétique totale de l'épisode pluvieux en joule/ m^2 .

Avec :

$$e = \sum (11.9 + 8.73 \log_{10} i) dh. \dots\dots\dots(1.17)$$

Où:

i : intensité en (mm/h) ;

dh : hauteur de la pluie en (mm) de la séquence ;

t_s : la durée de l'épisode sec précédent la pluie.

- MILLIMAN et al [80] ont proposé une carte mondiale des transports solides spécifiques, établie d'après les flux de matières en suspension mesurés à l'exutoire des grands fleuves et ramenés à la surface totale de chaque bassin versant (figure 1.6)

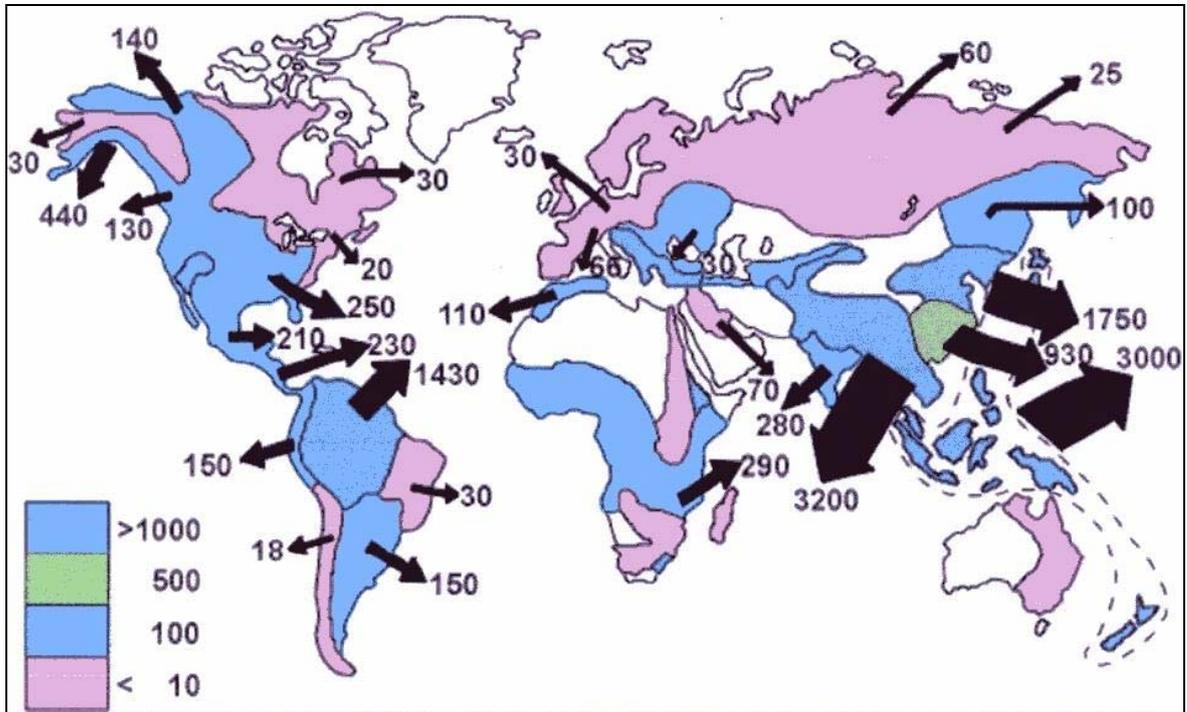


Figure 1.6 : Carte mondiale des transports solides spécifiques (T/Km²/an) par les grands fleuves du monde.

- JULIEN et al [106] ont développé un modèle nommé **LAVSED – II** (Second modèle **SED**imentologique de l'université **LAV**al), pour évaluer la charge solide en suspension dans les cours d'eau nordiques à partir de l'érosion superficielle pluviale à l'échelle de grands bassins versants. Ils ont obtenu deux relations fondamentales en considérant les principales caractéristiques physiques rattachées à l'érosion des sols, ainsi que la variabilité des paramètres climatiques sur une base mensuelle. Ces relations s'écrivent comme suit :

$$A_s = 30.7 \cdot C_s \cdot A^{1.137} \cdot Dc \cdot S^{1.66} \cdot L^{1.035} \cdot I_m^{1.65} \cdot \left(\frac{F_n}{F_{nt}}\right)^{0.37} \dots\dots\dots(1.18)$$

Avec:

- A_s : apport solide annuel (Tonnes);
- C_s : concentration des matières en suspension (g/l);
- A : surface du bassin versant (Km²) ;
- Dc : densité du couvert végétal (%) ;
- L : lame d'eau ruisselée (m) ;
- I_m : pente moyenne du bassin versant (%) ;

F_n : volume mensuel de neige (m^3) ;

F_{nt} : volume total de neige (m^3).

Le présent travail a été appliqué sur quatre bassins versants tributaire du fleuve St-Laurent, dont la charge solide provient essentiellement de l'érosion superficielle. L'apport solide calculé par le modèle est comparable à celui observé. L'importance du modèle est de déterminer les apports solides pour les bassins versants non jaugés.

- TANGUY et al [107] s'étaient intéressés au transport de matériaux et plus particulièrement au transport solide par charriage. Ils considèrent que c'est un phénomène essentiellement bidimensionnel horizontal. Pour simuler un tel processus, ils ont conçu un modèle numérique bidimensionnel de charriage en utilisant la méthode des éléments finis. Ils ont conclu par la suite que ce modèle consiste au couplage original d'un modèle hydrodynamique, qui comprend une actualisation spatio-temporelle du coefficient de rugosité d'une équation d'état et d'un modèle d'évolution du fond. Les résultats qui ont été obtenu par ce modèle numérique sont très comparables à la réalité.

- RAIS et al [108] ont conçu un modèle mathématique permettant d'estimer les volumes de sédiments qui arrivent à la retenue du barrage « Chiba » dans un bassin versant tunisien. Ce modèle dynamique est basé sur les équations fondamentales de l'écoulement et incorpore la plupart des caractéristiques du bassin versant, du barrage et des paramètres hydrologiques. Les résultats du modèle ont été comparés avec les mesures d'envasement effectuées sur cette retenue et ils sont très en courageux.

- ROGERS et al [109], LINSLEY et al [65] et DJABOURRI [110], après des études expérimentales faites sur des bassins expérimentaux en Amérique, ont montré l'effet que manifeste le couvert végétal sur le ruissellement des eaux de pluies et notamment sur l'érosion. Cet effet est montré par la figure 1.7 et 1.8.

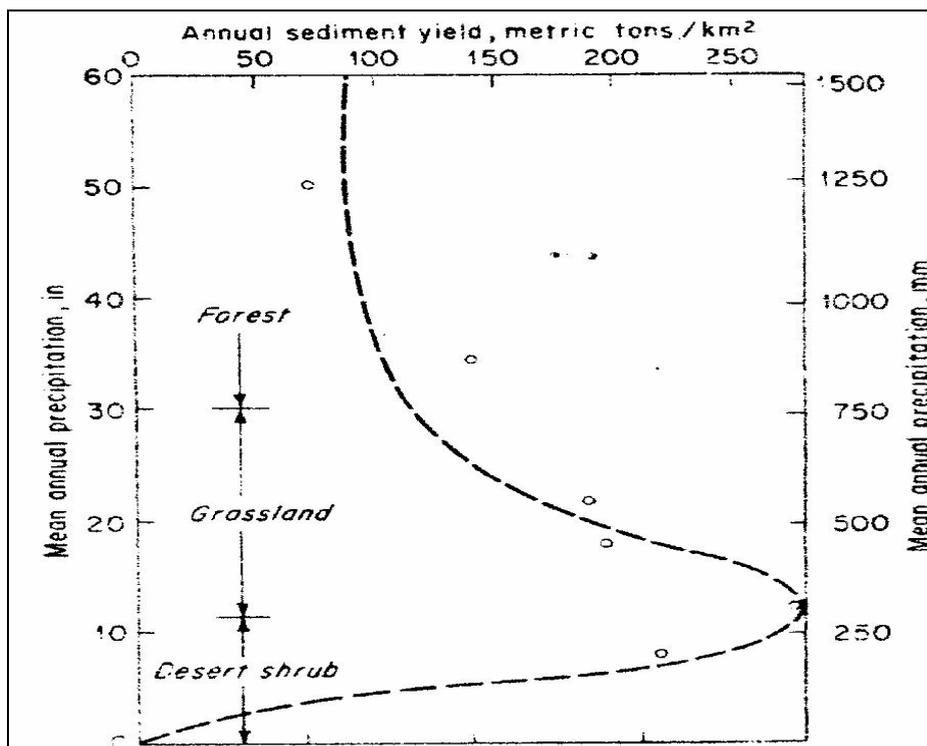


Figure 1.7 : Variation de transport des sédiments en fonction du couvert végétal et les précipitations moyennes annuelles [65].

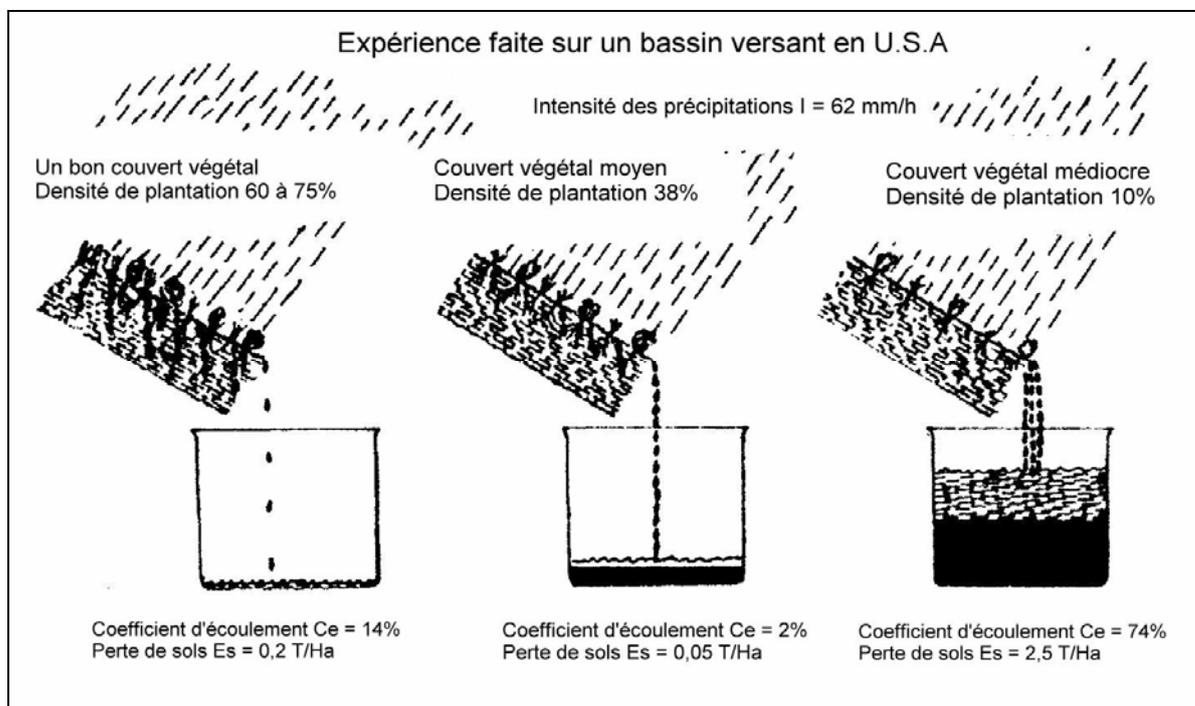


Figure 1.8 : Variation du transport solide en fonction de la densité du couvert végétal [110].

- PROBST [111], à partir des données publiées de MILLIMAN et al [80] sur le transport solide des 45 grands bassins du monde, a pu établir une relation reliant l'érosion mécanique et les principaux facteurs qui sont susceptibles de la contrôler.

$$Em = -74.053 + 0.205 P + 0.222 D + 48.296 I_p + 0.017 S - 57.191 I_{ps} \dots\dots(1.19)$$

(r = 0,879)

Avec:

- Em: érosion mécanique (T/Km²/an) ;
- P : précipitations annuelles (mm) ;
- D : drainage (mm/an) ;
- I_p: indice de pente (%);
- S : surface du bassin versant (Km²) ;
- I_{ps} : indice de protection des sols par la végétation.

- VOGHT et al [112] ont pu faire l'estimation du ruissellement et des matières en suspension, dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie), en se basant sur l'utilisation d'un SIG. Outre, ils ont même intégré un modèle numérique du terrain (MNT), des données landsat TM et aussi des données hydrologiques de terrain. Toutefois, ils ont pu montré que la méthode utilisée pour déterminer les débits liquides et solides en suspension issus de bassins versants élémentaires se fonde surtout sur la connaissance fine des états des sols, en particulier les conditions d'humidité et de leur répartition spatiale. Enfin, ils ont conclu que l'extension de l'expérience à de plus grandes surfaces ou d'autres bassins versants dépendrait essentiellement de la qualité des informations dont nous pourrions disposer.

- LAOUINA et al [113], après une analyse comparative sur des missions de photographie aériennes prises à des dates éloignées (1966 – 1986) a pu viser deux objectifs dans un premier temps : délimitation des fluctuations du couvert végétal et ses rapports avec les formes d'érosion, afin de pouvoir préciser l'impact anthropique sur le processus d'érosion ; mesurer les formes d'érosion existant et repérer l'apparition des nouvelles formes pour estimer le rythme de leur évolution. Cette technique a pu être validée après analyse de plus de quarante échantillons sélectionnés dans trois différents bassins versants du Maroc.

- MONTIER et al [114] ont développé une méthode d'expertise pour l'ensemble de la France. La méthode est basée sur des points qui sont assignés à des facteurs apparentés à la couverture végétale (9 classes), à la capacité du sol à former une croûte de battance (4 classes), à l'angle de pente (8 classes) et l'érodibilité (3 classes). Une caractéristique intéressante de leur méthode est qu'ils prennent en compte les différents types d'érosion

qui existent dans les zones cultivées, les vignobles, les zones de montagne et la Méditerranée. De cette façon, l'interaction entre le sol, la végétation, la pente et le climat rend bien compte du phénomène dans toute son étendue.

- MOUKHCHANE et al [115] ont utilisé la technique du Césium 137 (137 Cs) pour quantifier l'érosion dans le bassin de Tanger au Maroc. Cette technique leur a permis de délimiter les zones d'érosion qui sont surtout situées dans la partie Nord du bassin ; ensuite la dégradation spécifique quantifiée est de l'ordre de 49.10 T/Ha/an qui peut témoigner l'ampleur de l'érosion dans ce bassin. La validité de cette technique a été contrôlée par le suivi bathymétrique du barrage « Ibn Battota » situé dans le contexte physique et biologique de la région de Tanger, ce qui confirme la validité de ces résultats d'après les auteurs.

- DOGAN et al [116] montre après une étude menée en Turquie que la quantité de sédiments transportés par le cours d'eau est de l'ordre de 500 millions de Tonnes/an pour toute la Turquie. A partir des données de 26 bassins versants analysés, il estime que l'érosion est de 62.6 T/Km²/an. D'après ces mesures, l'auteur a pu déterminer une relation entre les quantités transportées (Q_s) et la surface du bassin de drainage, cette relation prend la forme suivante :

$$\boxed{\text{Log}(Q_s) = 1.16177 + 1.26016 (\text{Log } A)} \dots\dots\dots (1.20)$$

Avec :

Q_s : quantité de sédiments transportés en (Tonnes/an) ;

A : surface du bassin versant en (Km²).

- BERGAOUI et al [117], à partir des observations faites sur la période (1987 – 1994) sur des micro bassins expérimentaux de Tebaga en Tunisie, après avoir sélectionné toutes les crues sur cette période, il s'agit des crues simples (simple pic) et des crues complexes (plusieurs pics). Dans un premier temps il était intéressant pour les auteurs de développer un modèle mathématique entre le transport solide et le débit maximal de chaque crue, cela après avoir tester plusieurs variables, notamment le débit maximum (Q_{max}), la lame ruisselée (L_r) et l'intensité maximale de la pluie en 30 mn (I_{30 mn}). Les auteurs confirment que le débit Q_{max} explique à lui seul 84% des variations du transport solide, les autre variables n'expliquent que 13%.

Le modèle proposé pour cette étude est comme suit :

$$\boxed{T_s = 14.93 Q_{\max} + \varepsilon} \dots\dots\dots (1.21)$$

Avec :

Ts : transport solide (Kg) ;
 Q_{max} : débit maximum (l/s).

- ALBERGEL et al [118] ont pu souligné l'intérêt qu'il faut porter à la quantification de l'érosion hydrique à partir d'un suivi bathymétrique continu de 26 retenues collinaires implantées dans la dorsale semi aride tunisienne. Les superficies de ces dernières varient de quelques hectares à quelques dizaines de Km². Ces retenues ont été choisies de telle sorte d'avoir un gradient pluviométrique représentatif de la zone semi aride de 250 mm à 500 mm. Après cette analyse des levées bathymétriques, l'érosion quantifiée varie de 2 à 46 T/Ha/an.

- SERRAT et al [47], sur une étude de la dynamique hydrosédimentaire d'un fleuve côtier méditerranéen d'un bassin de drainage « la Têt » d'une superficie de 1380 Km², les auteurs se sont intéressés à étudier le flux sédimentaire en aval et en amont d'un barrage qui se trouve dans la partie médiane du bassin. Afin de pouvoir évaluer les apports solides, les auteurs ont développé une relation $C = f(Q)$ en aval et en amont du barrage.

En amont :

$$\text{Log}(C) = 0.4743 \text{Log}(Q)^2 - 0.1169(Q) + 0.8263 \quad (R^2 = 0.68) \quad \dots\dots\dots(1.22)$$

La présente équation est appliquée aux débits moyens journaliers (Q_{maxj}) de la période (1980-1999) et permet d'obtenir un flux moyen de 33518 T/an soit 35.8 T/Km²/an.

En aval : L'équation trouvée prend la forme suivante :

$$\text{Log}(C) = 0.505 \text{Log}(Q)^2 - 0.4537(Q) + 1.087 \quad (R^2 = 0.67) \quad \dots\dots\dots(1.23)$$

Cette équation a été appliquée aux débits moyens journaliers (Q_{maxj}) de la station « Joffre » en aval du barrage, le débit solide calculé est de l'ordre 53546 T/an soit 38.8 T/Km²/an.

- LIENON et al [119], des mesures du transport solide dans un cours d'eau au Cameroun (Afrique tropicale) ont constitué pour les auteurs un support pour une approche globale d'appréhender l'intensité du transport solide dans les rivières. Cette analyse a conduit les auteurs à conclure que les fortes pentes, la densité de la population, la travail du sol et l'élevage sont les facteurs primordiaux pour l'évolution de la charge solide dans ces rivières. Ils ont déduit qu'elle croit du Sud vers le Nord en fonction de la latitude par l'expression suivante :

$$C = 17 X + 21 \quad \dots\dots\dots(1.24)$$

Avec :

C : concentration de la matière en suspension (g/l) ;

X : la latitude en degré.

- LI et al [120], à partir des mesures continues de la concentration et du débit liquide (Q_L) pour le cours d'eau inférieur de la rivière (Koping) dans le Sud de Taiwan, une analyse de 1999 couples (1991-2001) de la station de « Llba » permet aux auteurs de déduire la relation suivante :

$$Q_s = 1.016 Q_L^{1.68} \quad (R^2 = 0.85) \quad \dots\dots\dots(1.25)$$

Cette équation est appliquée ensuite aux débits moyens journaliers, ce qui fournit une valeur de $Q_s = 27339$ Tonnes, soit 107 T/an pour une dégradation spécifique du 3450 T/Km²/an pour une superficie de 2895 Km².

Quant à la relation « apport solide et la surface de drainage », plusieurs auteurs se sont intéressés à ce genre de modélisation dans le contexte méditerranéen. Ces modèles sont mentionnés dans le tableau (1.5) avec leurs références.

Il ressort du tableau que les valeurs de R^2 sont faibles, sauf pour le cas de l'Algérie ($R^2 = 0,77$). Ces modèles restent loin d'être applicables pour l'évaluation du transport solide dans les bassins versants non jaugés.

Tableau 1.5 : Expression du modèle $A_s = f(S)$, R^2 dans différents pays de la région méditerranéenne .

Pays	Modèle	R^2	Références
Espagne	$A_s = 4139 S^{-0.44}$	0.17	AVENDANO et al [121]
Turquie	$A_s = 39.28 S^{0.06}$	0.012	GÖGUS et al [122]
Italie	$A_s = 103.6 S^{0.28}$	0.04	VAN RAMPAYEY [123]
Tunisie	$A_s = 2027 S^{-0.64}$	0.20	ALBERGET et al [118]
Algérie	$A_s = 4077 S^{-0.43}$	0.77	SAIDI [36]
Maroc	$A_s = 19193 S^{0.43}$	0.59	LAHLOU [124]

1.3.2. En Algérie

Les travaux concernant l'érosion et le transport solide sont très limités, nous pouvons citer :

- CAPOLINI et al [125] ont montré par des travaux basés sur une étude géomorphologique régionale sur le bassin versant de l'Oued Cheliff et de ses principaux affluents, qu'il existe une relation entre l'érosion et le transport solide ainsi il a abouti à plusieurs conclusions parmi lesquelles :

- Une quantification des débits solides à partir de la lithologie ;
- L'existence d'une relation statistique entre l'érosion spécifique et la torrentialité ;
- Possibilité de cartographie du coefficient de torrentialité (Ct).

- ARABI [126] a confirmé que le ruissellement constitue un facteur essentiel pour la détermination du transport solide dans les bassins versants. De ce fait, il propose les mesures de protection suivantes :

- Stocker les eaux d'écoulement ;
- Favoriser l'infiltration au maximum ;
- Végétaliser ;
- Travailler le sol chaque fois que possible ;
- Corriger les ravins.

- KOURI [127] étudie de manière détaillée l'évolution des ravins de la zone pilote Tassalet et décrit les processus d'érosion observables. Il a établi par une analyse statistique, une typologie des types de fonctionnement des ravins en fonction de lithologie, de la pente, de l'exposition, de la morphologie des ravins et de la mise en valeurs des bassins versants respectifs. Enfin cinq types de ravins sont obtenus par classification, ce qui a permis pour des zones à précipitations et débits analogues d'évaluer qualitativement les formes dominantes d'érosions.

- RAMDANE [128] a montré qu'en Algérie la vitesse ou la durée de comblement des retenues des barrages est bien corrélée avec la proportion de terrains marneux dans le bassin versant.

- MAHIEDDINE [66] a étudié la quantification de l'érosion de l'échelle parcellaire sur le bassin versant de Oued Mina, il a fait des essais sur des parcelles élémentaires, qu'elles soient de 1m² au 100m², qui ont subi la même forme d'érosion : une altération par éclaboussement pour le flux d'écoulement qui est faible à moyen de 11.5 à 53.65%. L'érosion varie de 0.26 à 2.54 T/Ha sur 100m². Dans la parcelle de 1m², le ruissellement a été abondant variant entre 61.1 et 79.2% et les pertes en terres se sont élevées de 1.46 à 3.45 T/Ha.

- TOUAÏBIA et al [27] ont essayé de cartographier l'érosion hydrique dans le bassin versant de la Mina en appliquant l'approche géostatistique. Le principal objectif de cette étude était de déceler les zones productives de sédiments en vue d'un aménagement anti-érosif afin d'étendre la série d'observation, le modèle est de type :

$$E_s = 19.36 * S^{0.134} * C_{veg}^{-0.308} \dots\dots\dots(1.26)$$

et **R² = 0,94.**

Avec :

- Es : érosion spécifique en T/Ha ;
- S :superficie du bassin versant en Km² ;
- C_{veg} : densité du couvert végétal en %.

Cette ébauche de cartographie par le krigeage a abouti à la détermination de deux zones distinctes dans la région à savoir :

- Une zone caractérisée par une érosion élevée dépassant les 20 T/Ha/an dans la région su Nord ;
- Une autre zone dans la partie Sud du bassin moins érodée.

- MEGNOUNIF et al [129] se sont intéressés au transport solide en suspension dans le bassin versant de l'Oued Tafna à Beni Bahdel. L'analyse de la variabilité de la charge en suspension quant aux fluctuations des régimes hydro-climatiques, pour la période 1988-1993, montre que la production des sédiments est très forte en automne mais de faible ampleur au printemps. L'été est caractérisé par quelques crues éphémères observées qui sont fortement chargées. Quant à l'automne, il présente à lui seul 44% du flux annuel estimé à 286000 Tonnes. Au printemps, malgré l'augmentation des débits (environ 60% de l'apport total annuel), la charge solide reste faible par rapport à l'automne.

- ACHITE [130] a défini différentes approches statistiques pour l'homogénéisation, l'extension et l'évaluation du transport solide dans deux sous bassins versants jaugés. L'approche basée sur l'homogénéisation et l'extension des données à partir de celles des hauteurs d'eau instantanées convertis en débits liquides en utilisant la relation débit solide – débit liquide développée à l'échelle des crues paraît meilleure que les autres approches proposées. Cette variation est liée essentiellement au nombre de mesures du transport solide effectuée dans l'année considérée par le rapport (Rc), exprimant le rapport entre les crues observées et celles enregistrées. L'estimation de l'érosion spécifique par cette approche a donné les résultats suivants : l'Oued Mina à la station de Oued Abtal et l'Oued Haddad à la station de Sidi Abk Djillali ont transporté respectivement 8,27 et 3,14 millions de tonnes (suspension) soit une érosion spécifique de 20,04 et 66,81 T/ha.an respectivement. Au droit du barrage de SMBA, l'apport solide moyen annuel est de 11,41 millions de tonnes soit une érosion spécifique de 24,83 T/ha.an, dépassant largement le seuil toléré. Si le charriage est pris en compte (20% de la suspension), l'apport solide serait de 13,69 millions de tonnes soit une érosion de 29,78 T/ha.an.

- ZAÏBAK [54], a contribué à élaborer une approche à la fois analytique et synthétique du transport des sédiments en suspension dans les deux régions suivantes : le Bas Cheliff et le BV de l'Oued Mina ainsi que le Haut et Moyen Cheliff, afin de réaliser une cartographie de l'érosion spécifique qui mettra en exergue les zones les plus productives des sédiments. Pour mieux expliquer ce phénomène et de mettre en évidence des relations susceptibles d'être appliquées à des régions ou des bassins versants où les mesures sont rares ou inexistantes, la recherche du modèle le plus représentatif et le plus fiable de l'érosion en fonction des caractéristiques climatiques, morphométriques et morphologiques de la région étudiée a été entreprise. Les deux régions ont été étudié séparément, les coefficients de corrélation des modèles régressifs obtenus sont de l'ordre de **0,71** et **0,82** respectivement. Par contre, le modèle régressif pour toute la région est le plus représentatif avec un coefficient de corrélation de **0,92** de type :

$$E_s = 5,85 * S^{0.17} C_{veg}^{-0.45} * D_d^{-0.67} \dots\dots\dots(1.27)$$

Avec :

- Es : érosion spécifique en T/ha ;
- S : superficie du bassin versant en Km² ;
- C_{veg} : densité du couvert végétal en %.
- D_d : densité de drainage en Km/ Km² .

Cette cartographie réalisée par la technique du krigeage a montré clairement que le Bas Cheliff au niveau de Oued Abda et Oued Mina ainsi que la région de Ghrib Cheliff dans la partie du Haut présentent une forte érosion par rapport au reste du bassin.

1.4. Approche géostatistique

Des données à référence spatiale sont de plus en plus exploitées, et ce, dans divers domaines de recherche. Qu'il s'agisse de précipitations mesurées à des stations météorologiques, de la densité d'un minerai dans des échantillons de sol ou de la concentration de gaz carbonique dans l'air en certains sites, ces données possèdent toutes un point en commun : elles sont localisées dans l'espace géographique. Le traitement statistique de ce type de données demande une attention particulière car l'hypothèse classique selon laquelle les observations sont indépendantes et identiquement distribuées est rarement vérifiée. Des méthodes statistiques adaptées à l'analyse de données à référence spatiale ont été développées [131] et [132].

A partir d'un échantillonnage discret d'une variable spatialement répartie, les procédés d'estimation interviennent en utilisant les données disponibles, et permettent alors d'évaluer la valeur de la variable étudiée en un lieu non mesuré.

Ces procédés d'estimation peuvent être analytiques ou probabilistes (stochastiques).

- interpolation linéaire par triangulation ;
- interpolation polynomiale ;
- interpolation par moindres carrées ;
- interpolation par la méthode de THIESSEN (méthode de pondération) ;
- pondération en fonction de la distance.

Les procédés analytiques d'estimation de part la lourdeur de leur mise en œuvre, présentent deux inconvénients majeurs, à savoir :

- 1- ils ne donnent pas la variance d'estimation pour déterminer l'intervalle de confiance pour chaque valeur estimée ;
- 2- ils ne tiennent pas compte de la structure spatiale du phénomène, elles s'appliquent en principe aussi bien à un phénomène stationnaire que non stationnaire, erratique que continu. Or la plupart des paramètres notamment les grandeurs hydrologiques (P, Q, T,...) présentent une certaine structure par processus de dépendance ou auto-corrélation régionalisée. Face à l'handicap des méthodes d'estimation analytique, le recours aux méthodes probabilistes par procédés géostatistiques devient inévitable.

1.4.1. Définitions

a- Variable régionalisée (V.R)

Le terme « régionalisée » a été proposé par MATHERON pour qualifier un phénomène se déployant dans l'espace (et / ou dans le temps), et y manifestant une certaine structure. Une variable caractérisant un tel phénomène est appelée « variable régionalisée V.R ». en fait, presque toutes les variations descriptives de la surface du sol ou de l'atmosphère, donc intéressant le cycle de l'eau, peuvent être considérées comme V.R.

Du point de vue mathématique, une V.R est simplement une fonction $Z(x)$ donnant la valeur au point x (de l'espace à 1, 2 ou 3 dimensions) d'une caractéristique Z du phénomène étudié. Mais en générale, ces fonctions ont un comportement spatial (ou temporel) bien trop complexe pour le décrire à l'aide d'expression analytiques classiques.

La théorie des variables régionalisées a pour but :

- d'établir les bases théoriques permettant de rendre compte des caractéristiques structurales des phénomènes naturels sous forme mathématique appropriée ;
- de fournir les moyens pratiques de résoudre les divers problèmes d'estimation qui se posent à partir d'un échantillonnage fragmentaire. Elle couvre l'ensemble des possibilités allant des surfaces (ou courbes) les plus lisses jusqu'aux plus accidentées.

b- Géostatistique

La géostatistique c'est l'étude statistique des phénomènes, selon MATHERON [133], qui a été le premier à utiliser ce terme d'une manière extensive, elle est « l'application du formalisme des fonctions aléatoires à la reconnaissance et l'estimation des phénomènes naturels », toute estimation par la méthode géostatistique comporte les étapes suivantes:

- 1- Détermination du variogramme expérimental ;
- 2- Ajustement du variogramme à un modèle théorique ;
- 3- Estimation par krigeage.

Dans ce qui suit, nous allons développer les différentes phases de cette méthode.

1.4.2. Détermination du variogramme expérimental

1.4.2.1. Définition du variogramme

Analyse structurale, première étape indispensable à toute étude géostatistique, est la caractérisation des structures de variabilité spatiale des grandeurs considérées. C'est le variogramme $\gamma(h)$ qui est chargé de résumer, de façon quantitative, toute l'information structurale sur le phénomène considéré. Le calcul du variogramme est donc le fondement de la théorie des variables régionalisées et il reste essentiel pour la mise en application du Krigeage.

Le "variogramme" est un outil mathématique qui permet d'analyser la corrélation spatiale de données ponctuelles de type (X, Y, paramètre mesuré). Il s'agit en fait d'un graphique qui permet de déterminer :

- l'interdistance maximale au delà de laquelle deux points n'ont plus de rapport l'un avec l'autre ;
- la manière dont la corrélation décroît avec l'interdistance de séparation.

Pour construire un variogramme, il faut suivre les étapes suivantes :

- 1- on recense tous les couples de points possibles (pour n points on obtient $n[n-1]/2$ paires) et on mesure leur interdistance ;
- 2- on "range" les couple de points en fonction de leur interdistance dans un certain nombre de classes (généralement entre 20 et 30 classes) ;
- 3- classe par classe, on passe en revue les couples de points ayant la même interdistance h (à quelque chose près) et on calcule la demi-moyenne des écarts quadratiques ou le demi-variogramme tel que:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E [Z(x) - Z(x+h)]^2 = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \dots\dots\dots (1.28)$$

Où :

$N(h)$ est le nombre de couples expérimentaux ($Z(x_i), Z(x_i+h)$) distant de h .

- 4- on positionne sur un graphique les points $\gamma(h)$: ceci correspond au variogramme expérimental ;
- 5- on ajuste les points du variogramme expérimental par un modèle théorique (sphérique, logarithmique, gaussien, sphérique + gaussien, ... etc);

1.4.2.2. Propriété du variogramme

La définition précédente du variogramme comme variance des accroissements $2\gamma(h)=E[Z(x)-Z(x+h)]^2$ engendra les propriétés suivantes :

$$\begin{cases} \gamma(0) = 0 \\ \gamma(h) = \gamma(-h) \geq 0 \end{cases} \dots\dots\dots (1.29)$$

En général, le variogramme croit à partir de l'origine, à mesure que 'h' grandit l'écart quadratique moyen entre les deux variables $Z(x)$ et $Z(x+h)$ tend à croître. Cette croissance, plus au moins rapide, caractérise ainsi d'une manière statistique de façon dont se détériore l'information apportée par une mesure ponctuelle quand on s'éloigne de ce point connu [134].

1.4.2.3. Paramètres du variogramme

La portée : si le variogramme est borné (il a une variance finie), la distance au bout de laquelle il se stabilise est appelée **portée** ;

Le palier : c'est la variance spatiale de la variable à partir de laquelle le variogramme devient constant ;

Effet pépite : nous disons qu'il y a un, effet de pépite lorsque le variogramme à une ordonnée non nulle qui se traduit par une discontinuité à l'origine.

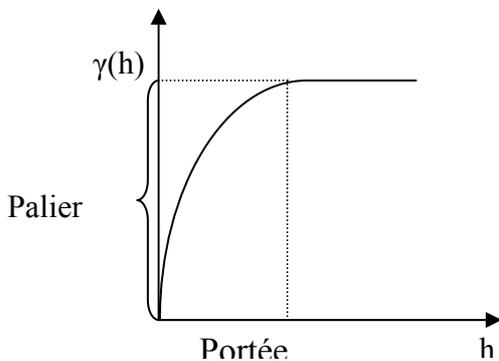


Figure 1.9 : variogramme borné

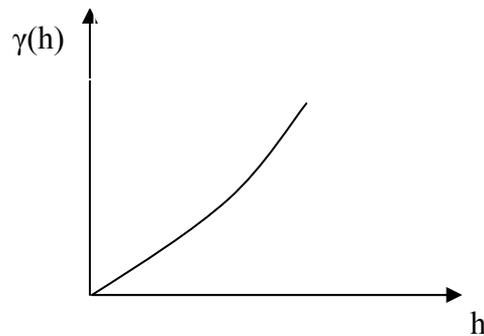


Figure 1.10 : variogramme non borné

1.4.2.4. Forme du variogramme

La forme du variogramme indique les propriétés structurales de la série, ces différentes formes possibles sont données par la figure 1.11 :

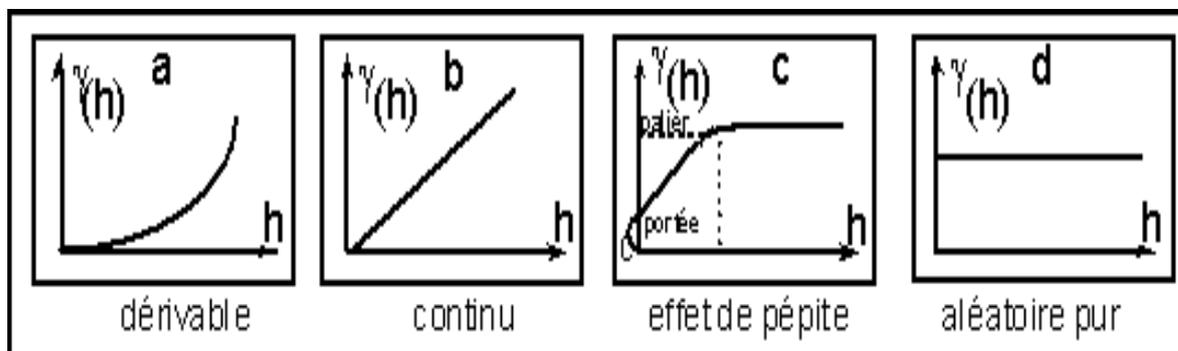


Figure 1.11 : Les différentes formes du variogramme.

La forme a et b montrent l'existence d'un gradient tandis que dans c et d il y a variance à l'origine. De plus, la forme c indique l'intervalle (portée) à partir duquel il y a indépendance entre les stations et dans d les observations sont indépendantes

Par ordre d'irrégularité croissante on distinguera:

a- l'allure parabolique qui caractérise une variable extrêmement régulière (très lissée). La variable est dérivable en moyenne quadratique. Plus les points sont éloignés et plus les différences sont progressivement accentuées. Il y a donc un fort gradient ;

b- la forme linéaire qui représente une variable un peu moins régulière et non dérivable ;

c- le variogramme dit à effet de pépité: $h=0$ est toujours estimée en extrapolant la tendance générale de la fonction. Cependant si on dispose de plusieurs mesures instantanées cette valeur peut être obtenue par la variance de celles-ci. Si cette valeur est nulle cela sous entend que le processus est régulier, et que la mesure n'est pas entachée d'une variabilité instrumentale ou de l'effet de la micro distribution dans. Par contre une ordonnée à l'origine indique un effet de pépité. Souvent les valeurs du variogramme se stabilisent autour d'une certaine valeur (pallier) après un certain intervalle h (portée). La portée est la limite de l'influence d'une observation sur ses voisines ;

d- l'effet de pépité pur: dans ce cas la fonction fluctue autour d'une valeur constante ce qui signifie qu'il y a indépendance totale des observations. En principe, seules des variables ayant cette propriété sont susceptibles d'être traitées par l'inférence statistique. Notons ici que lorsqu'il n'y a aucune dépendance entre des observations, faire une cartographie à base d'interpolation n'a pas plus de sens que de tracer une régression non-significative.

1.4.3. Ajustement du variogramme à un modèle

Pour pouvoir bien exploiter le variogramme et d'en tirer le maximum d'information sur la structure du phénomène, il est nécessaire d'approximer le graphe du variogramme par un modèle théorique connu.

Sans rentrer dans les détails mathématiques, le choix du modèle de variogramme théorique conditionne les coefficients pondérateurs utilisés lors d'une interpolation par krigeage. Les différentes formes caractéristiques possibles des variogrammes théoriques sont les suivantes (figure 1.12):

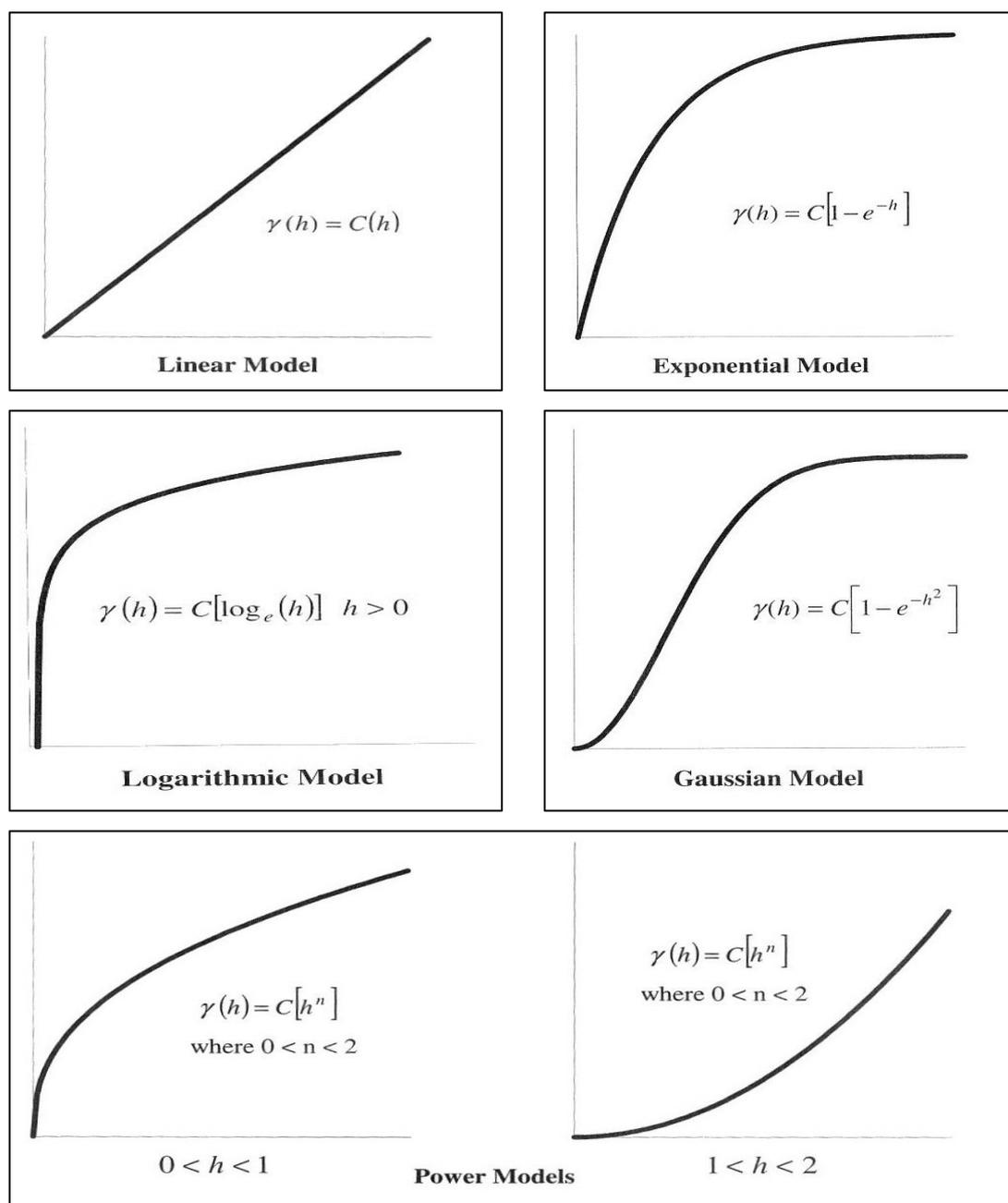


Figure 1.12 : Formes caractéristiques du variogramme théorique.

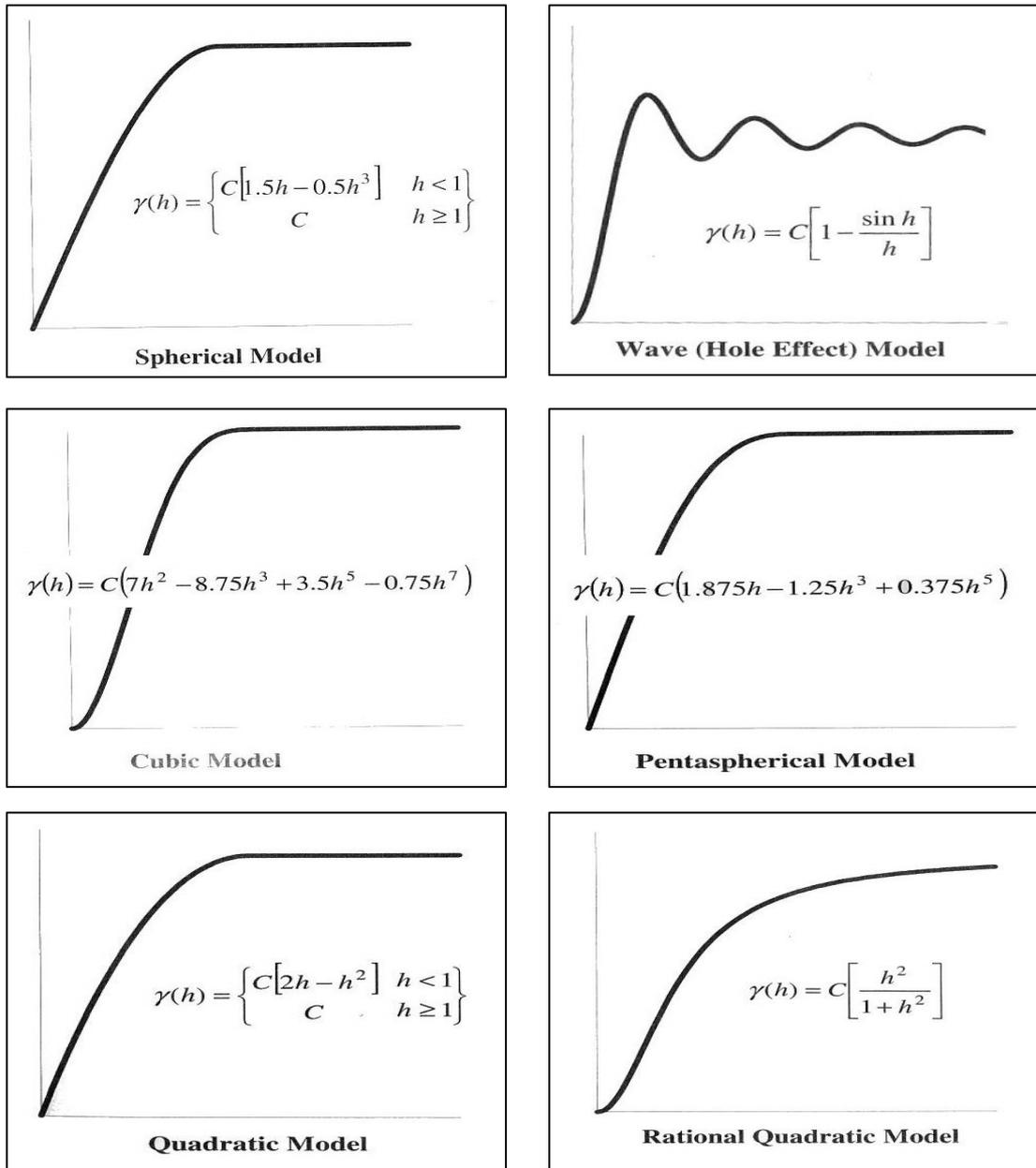


Figure 1.12 : Formes caractéristiques du variogramme théorique (suite et fin).

Les équations de la fonction $\gamma(h)$ des modèles les plus représentatifs sont données par :

➤ **Modèle linéaire :** représenté par la fonction Gamma (h), il est donné par la formule 1.30 :

$$\gamma(h) = \text{Pépite} + h \frac{\text{Palier}}{\text{Portée}} \dots\dots\dots (1.30)$$

➤ **Modèle sphérique** : représenté par la même fonction précédente et est donné par les formules 1.31 et 1.32 suivant les valeurs de h par rapport à la portée :

$$\gamma(h) = \text{Pépite} + \text{Palier} \left[\frac{3h}{2 \text{Portée}} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{\text{Portée}^3} \right] \quad \text{si } h < \text{Portée} \dots\dots\dots (1.31)$$

$$\gamma(h) = \text{Pépite} + \text{Palier} \quad \text{si } h > \text{Portée} \dots\dots\dots(1.32)$$

➤ **Modèle exponentiel** : l'équation de sa fonction $\gamma(h)$ est donné par la formule 1.33

$$\gamma(h) = \text{Pépite} + \text{Palier} \left[1 - e^{-\frac{3h}{\text{Portée}}} \right] \quad \dots\dots\dots (1.33)$$

➤ **Modèle Gaussien** : l'équation de sa fonction $\gamma(h)$ est donné par la formule 1.34 :

$$\gamma(h) = \text{Pépite} + \text{Palier} \left[1 - e^{-\left[\frac{1,732 h}{\text{Portée}} \right]^2} \right] \quad \dots\dots\dots (1.34)$$

Remarque : Le modèle retenu sera celui qui donnera l'erreur type la plus faible.

1.4.4. Estimation par le Krigeage

Après l'étape de l'inférence statistique qui consiste à faire une analyse structurale de la variable spatiale étudiée par le biais du variogramme, l'approche géostatistique s'étend à une deuxième étape traitant le problème de l'estimation dans son contexte probabiliste où la variable étudiée est supposée être une réalisation d'une fonction aléatoire F.A.

Dans ce sens, la procédure géostatistique a donné lieu à une méthode d'estimation linéaire appelée Krigeage qui représente le lien étroit entre la précision d'une estimation et la structure du phénomène, chose qui fait défaut dans les méthodes analytiques et d'interpolation linéaire.

1.4.4.1. Définition

Le Krigeage est la méthode stochastique optimale d'interpolation spatiale qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des sites non échantillonnés par une combinaison linéaire sans biais et à variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins. On peut l'utiliser autant pour l'interpolation que l'extrapolation.

Le Krigeage porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain D.G. KRIGE [135]. Dans les années 50, KRIGE a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. C'est cependant le français Matheron qui a formalisé l'approche en utilisant les corrélations entre les forages pour en estimer la répartition spatiale. C'est lui qui a baptisé la méthode " Krigeage ". Il a aussi été le premier à utiliser le terme " géostatistiques " pour désigner la modélisation statistique de données spatiales. Les mêmes idées ont été développées parallèlement en URSS par L.S. GANDIN qui a baptisé sa méthode " interpolation optimale ", il a introduit la notion d'" analyse objective " pour décrire cette approche basée sur les corrélations. C'est le nom sous lequel la méthode est connue en météorologie. En océanologie, la méthode a été introduite par BRETHERTON et al [136], et elle est connue sous le nom de " méthode d'interpolation de GAUSS-MARKOV ", d'après le nom qu'on lui donne formellement dans les livres de statistiques.

Un utilisateur sérieux du Krigeage se doit de bien connaître les conditions d'utilisation de la méthode. Ici, nous dirons simplement que la seule condition indispensable pour utiliser le Krigeage est que la moyenne et la variance de la fonction aléatoire soient stationnaires, c'est-à-dire qu'elles ne dépendent pas de la position des points, seulement de la distance entre les points.

En fait, le krigeage est une technique de détermination de coefficients de pondération pour l'estimateur optimal où la variable Z_0^* est estimée par la somme pondérée des autres valeurs échantillonnées $Z(x_i)$ tel que :

$$\boxed{Z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)} \dots\dots\dots(1.35)$$

Où :

n : points expérimentaux .

λ_i : le poids du point x .

Il s'agit donc de déterminer les poids de pondération λ_i qui donneront la meilleure estimation possible.

1.4.4.2. Caractéristique du Krigage

Le Krigage présente trois caractéristiques :

- 1- Elle est linéaire ; l'estimateur Z en x_0 est une combinaison linéaire des valeurs expérimentales Z_i aux points x_i ;
- 2- Elle est non biaisée, est un choix avec l'erreur moyenne doit être nulle, cette condition est donnée par la formule 1.36:

$$\boxed{E = |z_0^* - z| = 0} \dots\dots\dots(1.36)$$

- 3- Elle prend en compte une condition d'optimalité, minimisant la variance de l'écart entre Z et son estimateur tel que :

$$\boxed{\text{Var} = |z_0^* - z| = \text{Minimale}} \dots\dots\dots(1.37)$$

Ces caractéristiques permettent de calculer les poids λ_i et une variance d'estimation à l'aide du variogramme, le système s'écrit sous la forme :

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i C(X_j, X_i) - \mu = C(X_0, X_j) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \dots\dots\dots(1.38)$$

Si l'estimation est exacte, ce qui signifie que les valeurs estimées aux points de mesures sont égales aux valeurs mesurées.

1.4.4.3. Différents types de Krigage

Il existe trois types de Krigage univarié (à une seule variable), la différence entre eux réside dans la connaissance de la statistique de la variable à interpoler, ces types sont :

- Krigage simple : variable stationnaire de moyenne connue;
- Krigage ordinaire : variable stationnaire de moyenne inconnue et
- Krigage universel : variable non-stationnaire (qui contient une tendance).

➤ Cas stationnaire

a- Krigeage Simple

Un phénomène est dit stationnaire si sa fonction aléatoire ou du moins ses 2 premiers moments (moyenne et variance) sont invariants par translation.

Le krigeage simple s'effectue dans la condition de **non biais** où l'espérance mathématique est supposée être constante égale à **m** :

$$\mathbf{m} = E(Z_0^*) = E(Z_0) \Rightarrow E(Z_0^* - Z) = 0 \quad \dots\dots\dots(1.39)$$

remplaçons Z_0^* par sa formule et selon l'équation 1.34, on aura ; $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ (1.40)
c'est la condition non biais de l'estimateur.

Et il s'effectue aussi en minimisant le mieux possible la variance d'estimation selon l'équation 1.32

b- Krigeage ordinaire

Aussi appelé Krigeage ponctuel par certains auteurs, car il est le plus fréquemment utilisé. La méthode consiste à déterminer la combinaison de poids λ_i . Les poids sont obtenus en multipliant les λ_i , pour chacun des m points, par chacune des m semi-variances associées à ce point (les lignes de la matrice A de l'équation 1.41). Le problème s'exprime finalement sous la forme du système de m+1 équations linéaires à m+1 inconnues suivant [137].

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{W} = \mathbf{B} \quad \dots\dots\dots(1.41)$$

Où :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \dots & \gamma(h_{1m}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \dots & \gamma(h_{2m}) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(h_{m1}) & \gamma(h_{m2}) & \dots & \gamma(h_{mm}) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} ; \mathbf{W} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_m \\ \lambda \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \dots \\ \gamma(h_{mp}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Les $\gamma(x_i)$ sont les valeurs du semi-variogramme qui correspondent à la distance h_{ij} entre les points x_i et x_j . Pour que la solution soit non-biaisée, la somme des poids, les λ_i , doit être égale à 1. Cette dernière contrainte introduit un degré de liberté supplémentaire dans le problème. Ce degré supplémentaire est utilisé en ajoutant une variable libre, λ (un multiplicateur de Lagrange), dans le but de minimiser l'erreur d'estimation. Le vecteur W est obtenu en multipliant les deux côtés de l'équation 1.41 par l'inverse de la matrice A . La valeur recherchée au point x_p est ensuite calculée en utilisant les valeurs connues de Z , les $Z(x_i)$, à l'aide de l'équation 1.28.

La variance de l'estimation S_p^2 , c'est-à-dire le carré de l'erreur standard en chaque point, est obtenue par la relation

$$\boxed{S_p^2 = W^T \cdot B} \dots\dots\dots(1.42)$$

Où : le T indique qu'il faut utiliser la transposée du vecteur W .

Si nous supposons que les erreurs d'estimation sont normalement distribuées autour de la vraie valeur, alors la probabilité que la vraie valeur soit $F(x_p) \pm S_p$ est de **68%**, tandis que la probabilité que la vraie valeur soit $F(x_p) \pm 2S_p$ est de **95%** [137].

➤ **Cas non stationnaire**

Dans ce cas, l'hypothèse intrinsèque* n'est plus vérifiée et par conséquent la moyenne n'est plus constante, elle est fonction de x : $E(Z(x)) = m(x)$

Le variogramme n'est pas seulement fonction de h :

$$\boxed{\gamma = \frac{1}{2} \text{Var} [Z(x) - Z(x+h)] = \frac{1}{2} E [Z(x) - Z(x+h)]^2 - \frac{1}{2} [m(x) - m(x+h)]^2} \dots\dots(1.43)$$

Il y a plusieurs techniques qui peuvent aborder le problème de l'estimation dans le cas non stationnaire, parmi lesquelles nous avons le **krigeage universel**.

* Hypothèse intrinsèque : se traduit par le fait que pour tout vecteur h l'accroissement $Z(x) - Z(x+h)$ possède une espérance mathématique et une variance indépendante du point x et c à d : $E [Z(x) - Z(x+h)] = 0$ et $\text{Var} [Z(x) - Z(x+h)] = 2\gamma(h)$

1.5. Conclusion

Après cette analyse bibliographique, il y a lieu de constater que tous les modèles cités sont de bons modèles d'approche et ne peuvent en aucun cas être étendus à notre milieu expérimental extrêmement complexe.

La méthode la plus fiable pour la quantification du transport solide reste la mesure dans les stations hydrométriques. Cette mesure actuelle de la concentration ne peut être valorisée que par l'introduction de modèles statistiques permettant une estimation de l'érosion spécifique.

Il est à signaler que les apports solides venant de l'amont sont fonction essentiellement :

- de la surface, du relief et de la nature géologique du bassin versant ;
- du régime des pluies et de la température ;
- de la résistance à l'érosion du sol, liée à la teneur en eau et de sa couverture végétale (forêts, pâturages, cultures).

CHAPITRE 2 PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. Présentation générale du bassin versant de l'Oued Cheliff

2.1.1. Situation géographique et délimitation

Le bassin de l'Oued Cheliff attribué du code **01** est d'une superficie de **43750 km²**, il se divise en deux régions distinctes:

- La partie amont du Cheliff , avec une superficie de 20500 km² est limité au sud par les montagnes de Djebel Amour et au nord par les montagnes de l'Ouarsenis ;
- La partie aval du Cheliff qui s'étend sur une surface de 23250 km² est limité au sud par les massifs de Tiaret, Saida et l'Ouarsenis, au nord par le Dahra et Beni Menacer.

Le bassin du Cheliff s'étend entre les longitudes 0° 7' et 3° 31' Est et entre les latitudes 33° 53' et 36° 26' Nord, il est limitrophe:

- au Nord avec les côtiers Algérois et Oranais;
- à l'Est avec les bassins de l'Isser, du Hodna, du Zahrez et des hauts plateaux Constantinois;
- à l'Ouest avec les bassins de la Macta et des hauts plateaux Oranais.
- Et au Sud par l'Atlas Saharien.

La situation du bassin d'étude est donnée par la figure 2.1.

Le bassin du Cheliff est lui même composé par trois grandes unités hydrologiques ou sous bassins principaux :

- Cours supérieur de l'Oued Cheliff (Amont de Boughezoul) d'une étendue de 19.710 Km² ;
- Sous bassin moyen et haut du Cheliff (Moyen et Haut Cheliff) de 13.870 Km² ;
- Bas Cheliff, et sous bassin de l'Oued Mina (Bas Cheliff et la Mina) de 10.170 Km².

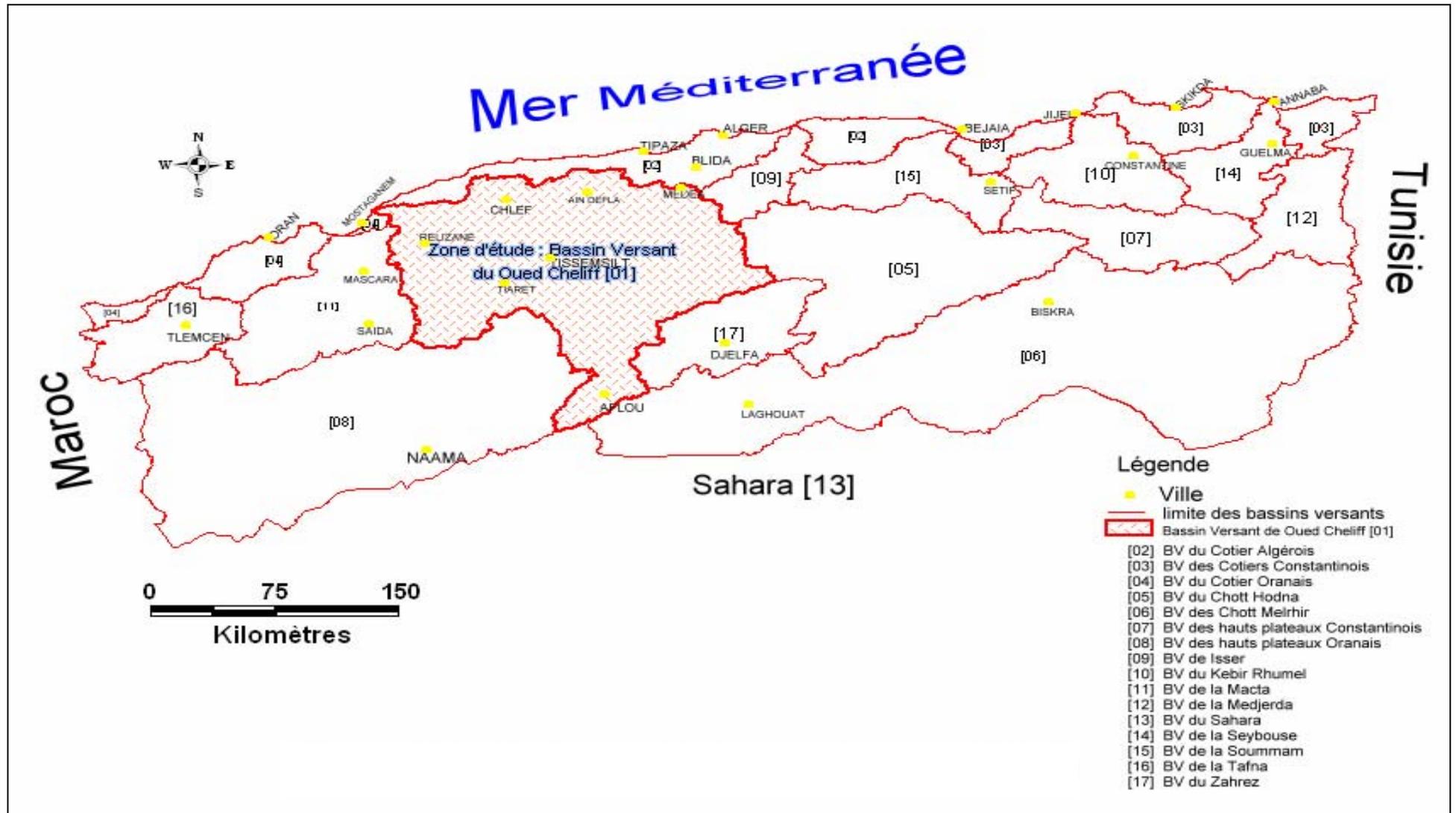


Figure 2.1 : Carte de situation de la zone d'étude.

Le BV du Cheliff fait partie du grand bassin hydrographique Côtier Algérois- Cheliff Zahrez tel que :

- La zone côtière au Nord, qui n'est autre qu'un ensemble de petites vallées en direction Nord-Sud qui drainent leurs eaux directement vers la Méditerranée ; il s'agit du secteur nommé Côtier Dahra, sa superficie est de 3.202 Km² ;
- Au Sud, se trouve le grand bassin endoréique du Zahrez, dont la ville représentative est le localité de Djelfa, il représente une étendue de 8.990 Km².

L'ensemble de tous ces bassins est donné par la figure 2.2 :

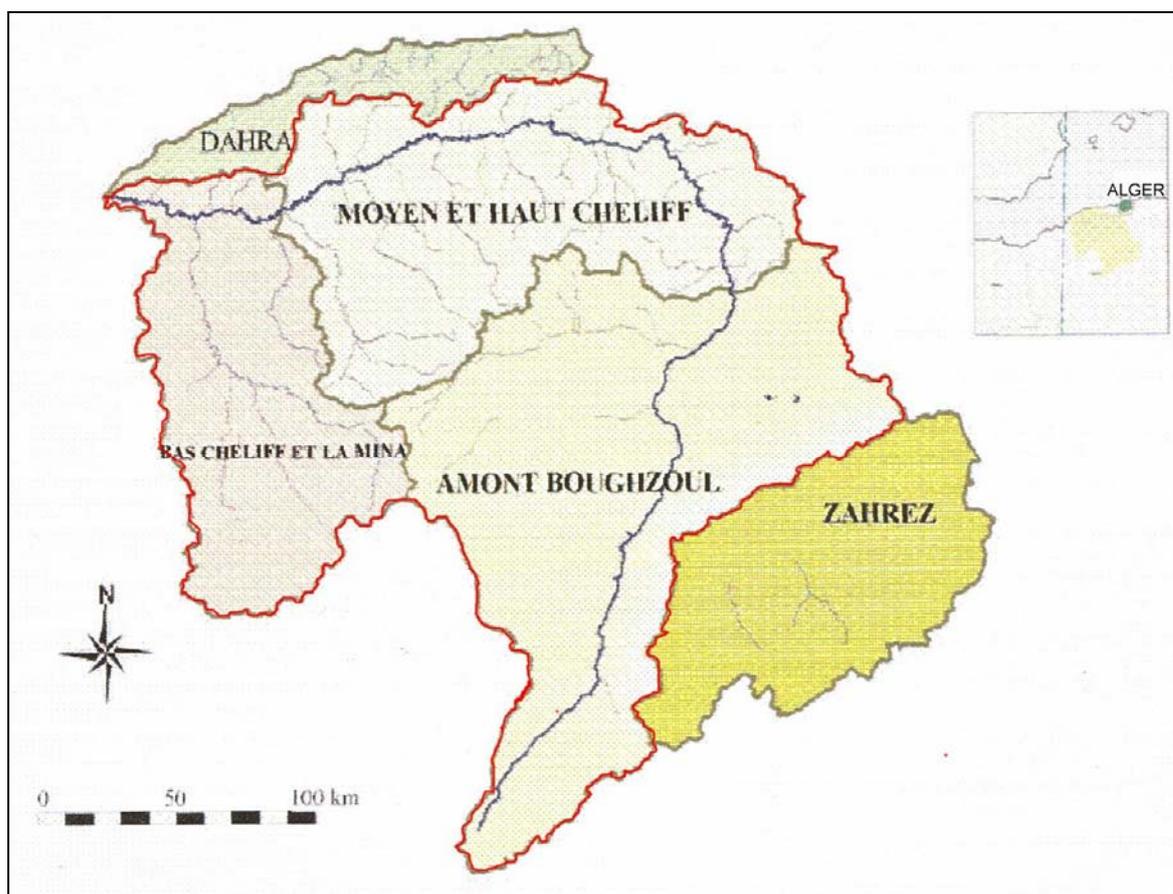


Figure 2.2: Schéma de localisation des principaux sous bassins de la région d'étude [138].

2.1.2. Relief

Le bassin versant du Cheliff occupe une portion de l'Algérie dont l'orographie est à la fois simple et typique. Des chaînes montagneuses, parallèles à la côte, séparées par les zones déprimées ou par de hautes plaines, en constituent les principaux traits. Cette disposition correspond à la structure géologique, mais sa réalisation fut assez récente puisqu'elle ne s'est introduite définitivement dans le relief qu'au cours de la période Miocène.

Les bassins versants du Cheliff et de ses affluents se répartissent en cinq groupes :

- Les hauts plateaux.
- Le bassin versant du Cheliff en amont de Lavignerie.
- Les bassins versants des affluents de la rive droite.
- Les bassins versants des affluents de la rive gauche.
- Le bassin versant de la Mina.

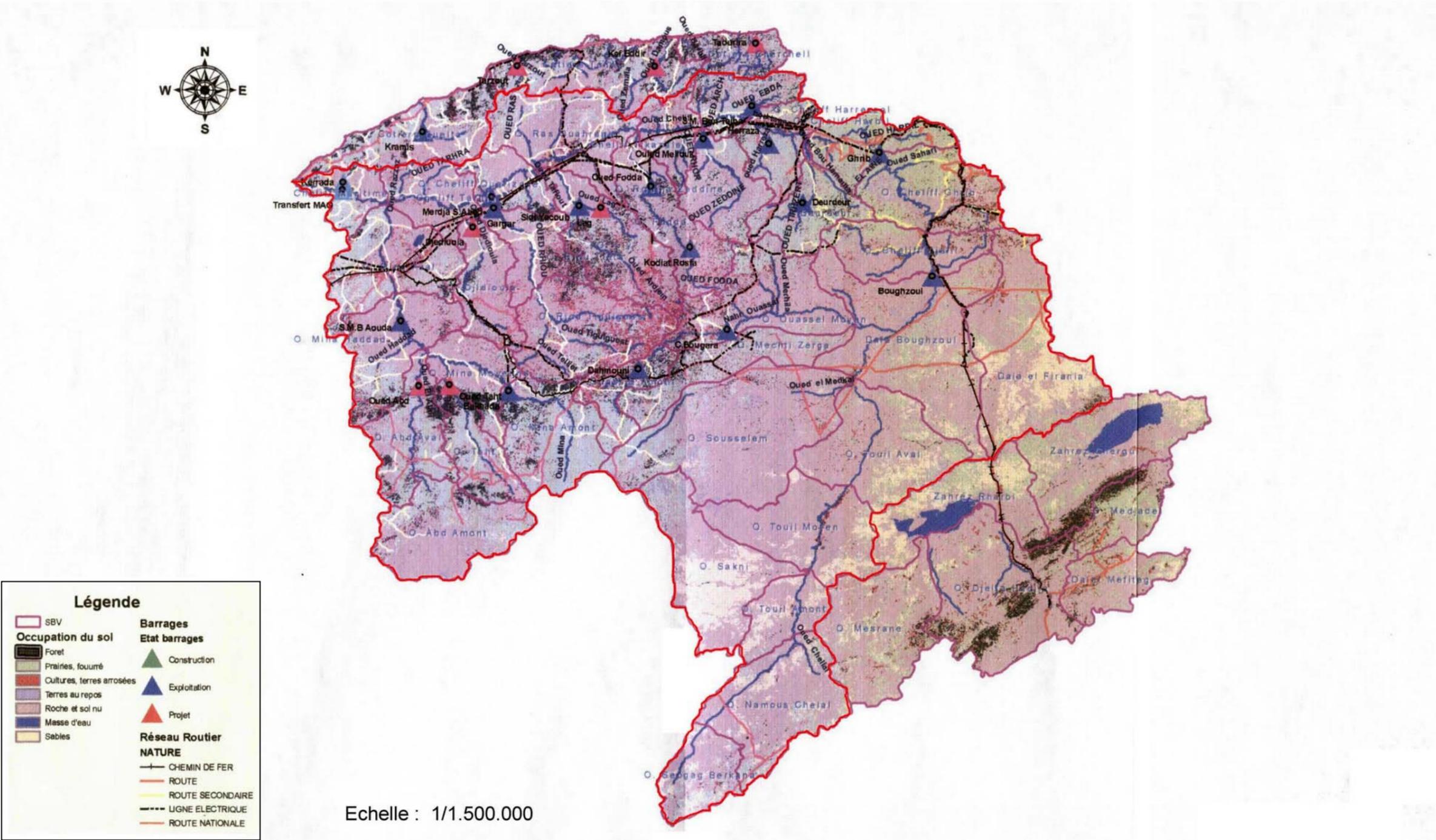
Ainsi, on retrouve au Nord la vallée du Cheliff, au Sud les hauts plateaux allant de Saïda à Tiaret, les plaines de Nahr Oussel et Aïn Oussera et au centre domine le massif de Ouarsenis, l'aire est drainé au Sud par oued Nahr Oussel et par oued Touil et leurs affluents, ces deux oueds se réunissent pour former oued Cheliff qui traverse la vallée du Cheliff et se déverse dans la méditerranée près de Mostaganem, ce bassin renferme la quasi-totalité des ressources en eau superficielle [139].

2.1.3. Végétation et Occupation du sol

Le bassin versant du Cheliff est dans sa majeure partie affecté par un régime climatique semi aride qui détermine la couverture végétale. En matière d'érosion des sols, c'est le facteur « taux de couverture » qui intervient le plus.

La carte d'occupation du sol du bassin versant du Cheliff (figure 2.3) fait ressortir d'emblée que les forêts (bois et broussailles) occupent plus de 40% de la superficie du haut et moyen Cheliff et 15% du bas Cheliff et la Mina, les prairies occupent une partie non négligeable du haut et moyen Cheliff avec un pourcentage de 20% situé à l'Est du bassin, les cultures et les terres arrosées sont concentrées au centre du bassin du Cheliff, le reste se sont des terres au repos et des sols nus tandis que l'Amont de Boughezoul est essentiellement couvert par le sable.

Figure 2.3: Carte de végétation et d'occupation du sol du BV du Cheliff [138].



La production agricole dans le bassin versant est variée, cela s'explique essentiellement par l'importance de sa superficie. Le bas Cheliff est caractérisé par des cultures extensives et ne comporte que peu de plantations, les céréales représentent 88 % des surfaces labourables. Dans le haut Cheliff, la production agricole est diversifiée, elle est due principalement à la nature des formations qui forment cette zone qui est essentiellement argilo-gréseuse.

2.1.4. Géologie et Lithologie

Le bassin du Cheliff appartient aux bassins sédimentaires sub-littoraux allongés Est - Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle. Cette représentation est donnée par la coupe géologique suivante :

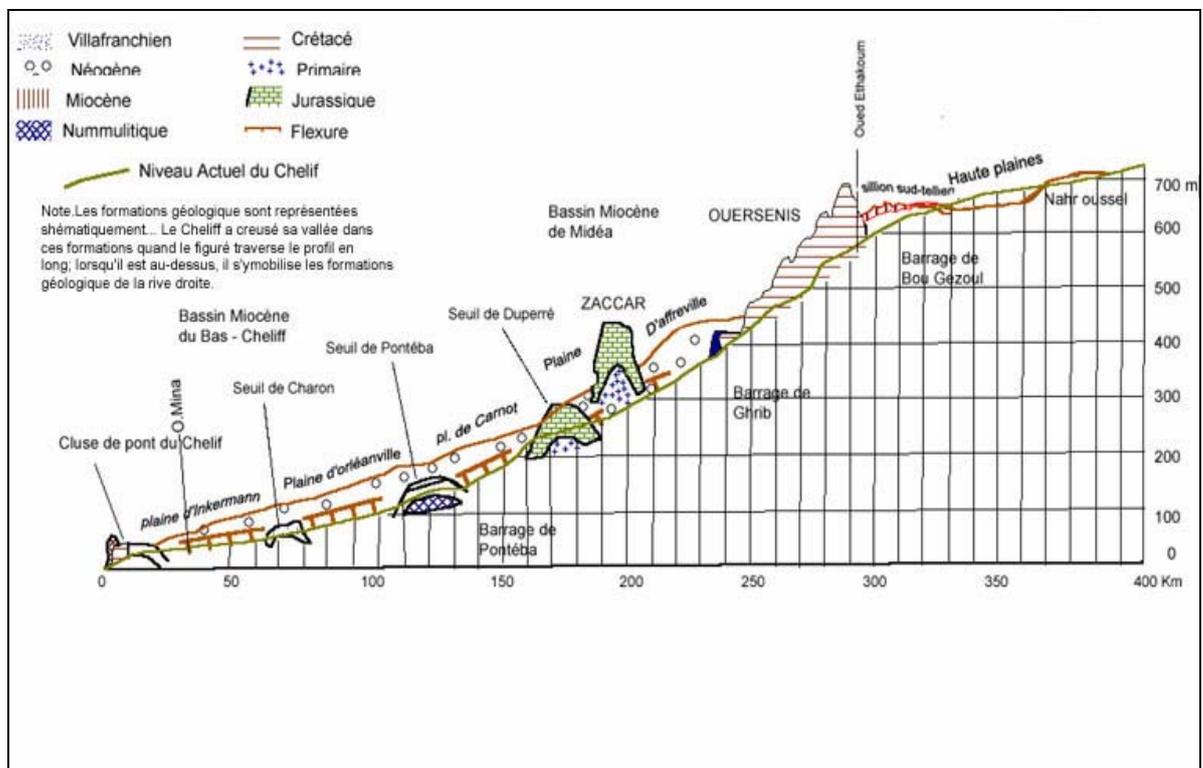


Figure 2.4 : Coupe géologique « Est-Ouest ».

Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga).

Au sud, le bassin du Cheliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes. Ces deux ensembles telliens ont été structurés au cours du Mésozoïque suite à plusieurs phases tectoniques.

Une phase infra - crétacé, compressive donne des plis NE-SW ; Une phase à composante tangentielle intervient après le Sénonien et le Paléocène et serait en partie responsable de l'épimétamorphisme. Une phase datée Aquitano-Burdigalienne, compressive et profonde génératrice d'un nouvel épimétamorphisme. Cette représentation est donnée par la coupe géologique suivante :

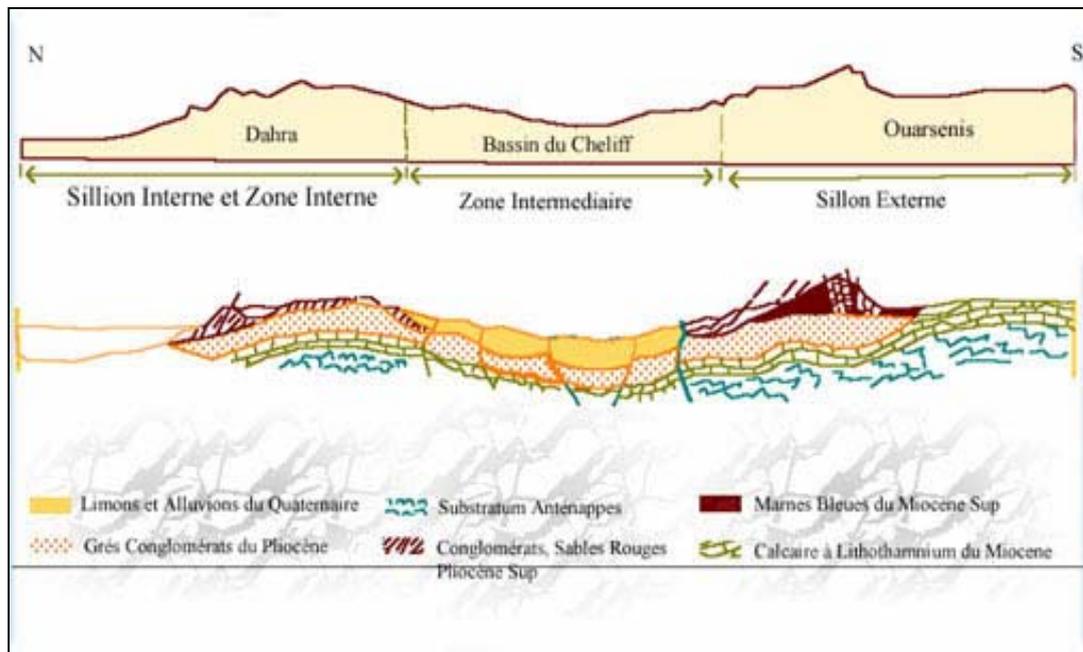


Figure 2.5 : Coupe géologique « Nord-Sud ».

Pendant que les nappes telliennes achèvent de se mettre en place, un nouveau cycle sédimentaire s'amorce marqué par une transgression qui envahit le bassin et finit par déposer une épaisse sédimentation mio-plio-quadernaire. Parallèlement, le bassin du Cheliff est soumis pendant tout le Néogène à une importante tectonique principalement distensive pour certains auteurs (Y. GOURINARD, A.PERRODON, B.FENET) et polyphasée pour G.THOMAS. Cette tectonique continue jusqu'à l'actuel comme en témoigne l'intense activité sismique de la région.

Les conditions paléogéographiques étant très variables, les formations aquifères ont une extension limitée. Ainsi, les grès du Gontass ne sont déposés que dans la plaine d'El Khemis (Haut Cheliff) et les calcaires à Lithothamniés sont localisés sur la rive gauche du Cheliff entre Oum Drou et Zemmoura.

Les calcaires du Lias (Zaccar, Rouina et Temoulga) ont également une extension très réduite. Par conséquent il n'existe pas de nappes continues de très grande extension. Cependant une même zone peut comprendre plusieurs réservoirs superposés.

La partie méridionale du bloc est composée par le bassin des Zahrez qui est un bassin fermé constitué de hautes plaines. Ce bassin est constitué de formations crétacées, d'un Tertiaire continental incomplet et des dépôts quaternaires formés principalement d'éboulis de pentes, de dunes, d'alluvions torrentielles et de croûtes.

La lithologie permet de regrouper les formations géologiques de la manière suivante :

- Des calcaires parfois dolomités où les circulations sont favorisées par la fissuration ou l'érosion karstique tel que les calcaires liasiques du Zaccar éminemment perméables (près du tiers des précipitations s'y infiltrent), de Rouina et Temoulga. De même les calcaires turoniens constituent de bons réservoirs lorsqu'ils sont fissurés (Zahrez) ;
- Les calcaires à Lithothamniés du Miocène supérieur ;
- Des grès plus ou moins consolidés du Barrémiens et de l'Albiens dans la plaine de Ain Oussera, le plateau du Sersou, le syndical de Djelfa et de Slim et du Calabriens sur le plateau de Mostaganem ;
- Des dépôts détritiques à perméabilité variable tels les grès et poudignes du Miocène, les sables, les galets, les graviers et les poudignes du Pliocène et du quaternaire ;
- Des alluvions récentes du quaternaire souvent argilo-limoneuses et peu favorables à l'infiltration ;
- Les alluvions grossières acheminées de certains secteurs du haut, moyen et bas Cheliff ;
- Des formations imperméables ou très peu perméables représentant la majorité des dépôts de la région (séries crétacées et tertiaires du Dahra, de l'Ouarsenis et des Zahrez) [140]. La carte géologique du Cheliff est donné par la figure 2.6.

2.1.5. Ressources en eaux superficielles

Dans le bassin versant existe un corps relativement important d'ouvrages de mobilisation des eaux qui modifie le régime des écoulements, ils sont tous situés dans la partie Nord du bassin, on y compte 12 exploitations (tableau 2.1) :

4 autres barrages sont construits :

- Oued Melouk ayant une capacité de 127 Hm³ ;
- Sidi M'hamed Ben Taïba avec une capacité de 127 Hm³ ;
- Kodiat Rosfa avec une capacité de 77 Hm³ ;
- Kramis avec une capacité de 60 Hm³ .

Figure 2.6: Carte géologique du BV du Cheliff [138].

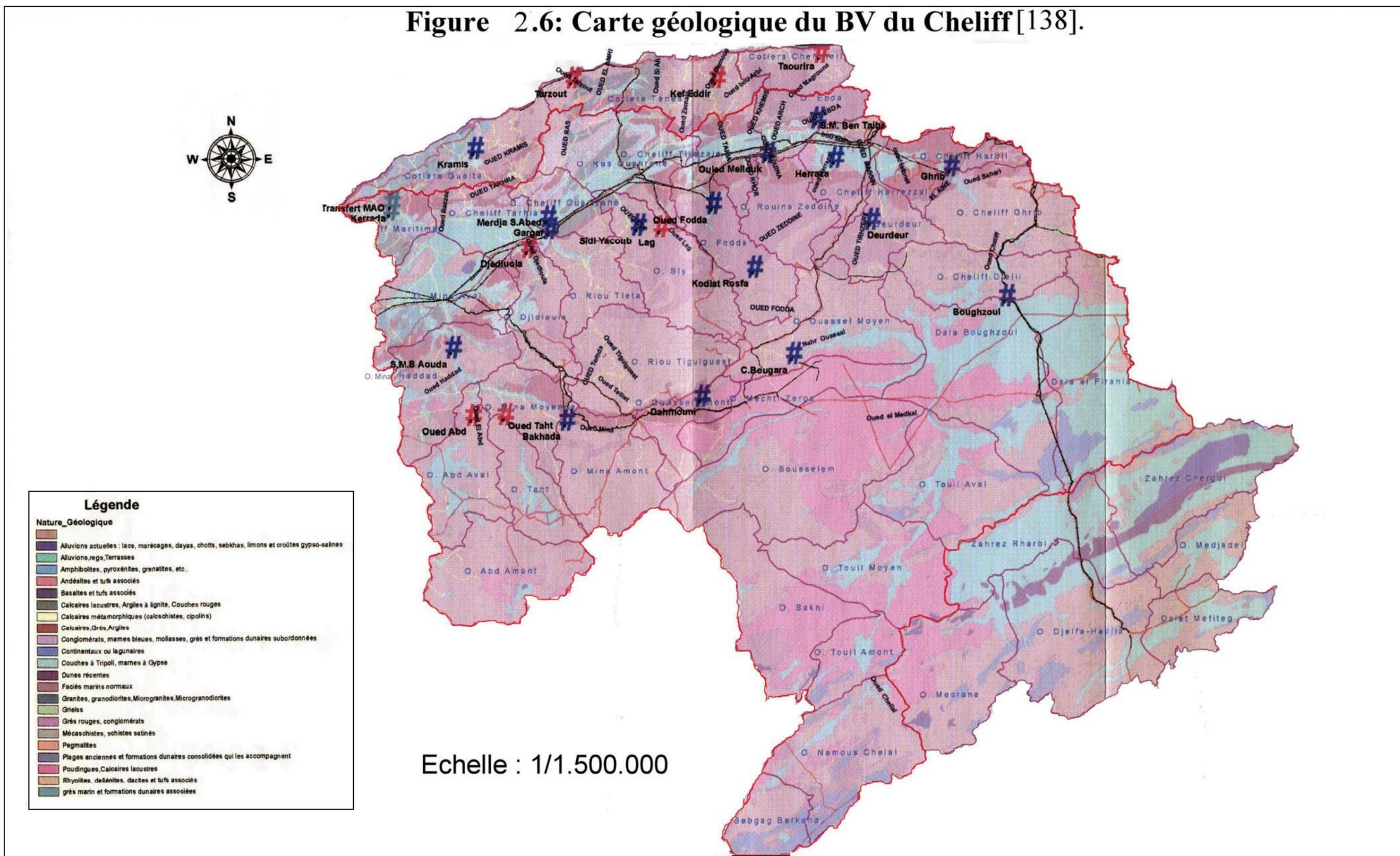


Tableau 2.1 : Ouvrages de Mobilisation des eaux dans le bassin versant du Cheliff

N°	Barrage	Wilaya	Mise en service	C.I (Hm ³)	C.D.L (Hm ³)	T.E (%)	V.R (Hm ³)	Destination
1	Ghrib	Ain-Defla	1939	280	145.2	48.14	105	A.E.P Médea, Berrouaghia et irrigation périmètre Haut Cheliff
2	Deurdeur	Ain-Defla	1985	115	110.2	4.17	40	A.E.P Tissemsilt et irrigation périmètre Haut Cheliff
3	Harreza	Ain-Defla	1984	70	68.2	2.57	23	Irrigation périmètre Haut Cheliff
4	S.M.B.A	Relizane	1978	235	153.71	34.59	100	A.E.P Relizane et irrigation périmètre de la Mina
5	Merdja. S.A	Relizane	1984	54.9	47.97	12.62	40	Irrigation périmètre Bas Cheliff
6	Gargar	Relizane	1988	450	358.28	20.38	120	A.E.P Oran et irrigation Relizane
7	Bakhadda	Tiaret	1935	56	43.8	21.79	44	A.E.P et irrigation de Tiaret
8	Dahmouni	Tiaret	1987	41	38.6	5.85	9	Irrigation Tiaret
9	Oued-Fodda	Chlef	1932	228	125.5	44.96	69	Irrigation périmètre Moyen Cheliff
10	Sidi-Yacoub	Chlef	1986	280	278.8	0.43	98	A.E.P Chlef et irrigation périmètre Moyen et Bas Cheliff
11	Boughzoul	Medea	1934	55	35.6	35.27	-	Transfert Ghrib
12	H.Bouhrara	Tlemcen	1990	117	175.45	0.88	59	A.E.P Oran, Maghnia et irrigation périmètre de la Tafna

La mobilisation en eau superficielle sera renforcée par 7 autres ouvrages qui sont en projet et qui sont :

- Barrage de Kef Chergui ;
- Barrage de Lag ;
- Barrage de Djediouia;
- Barrage de El-Abadia;
- Barrage de Taourina;
- Barrage de Kef Eddir;
- Barrage de Tarsout.

Le taux de remplissage arrêté à la date du 03-01-2007 est estimé à "**14.70%**" soit **240.66 Hm³** pour l'ensemble des barrages du bassin hydrographique Cheliff [141]. L'emplacement de ces barrages est donné par la figure 2.7 et le taux de remplissage de chacun est dans la figure 2.8.

Le BV Cheliff-Zahrez contient plusieurs unités hydrogéologiques renfermant des nappes importantes exploitables tant pour l'AEP que pour l'irrigation. Le BV se compose de 2 zones bien distinctes : Au Nord le sillon du Cheliff encadré par les 2 chaînes telliennes Mont du Dahra et le massif de l'Ouarsenis, au Sud le BV du Zahrez, de nombreuses formations géologiques contiennent des eaux souterraines les plus anciennes sont attribuées au Jurassique et les plus récentes correspondent aux alluvions du quaternaires.

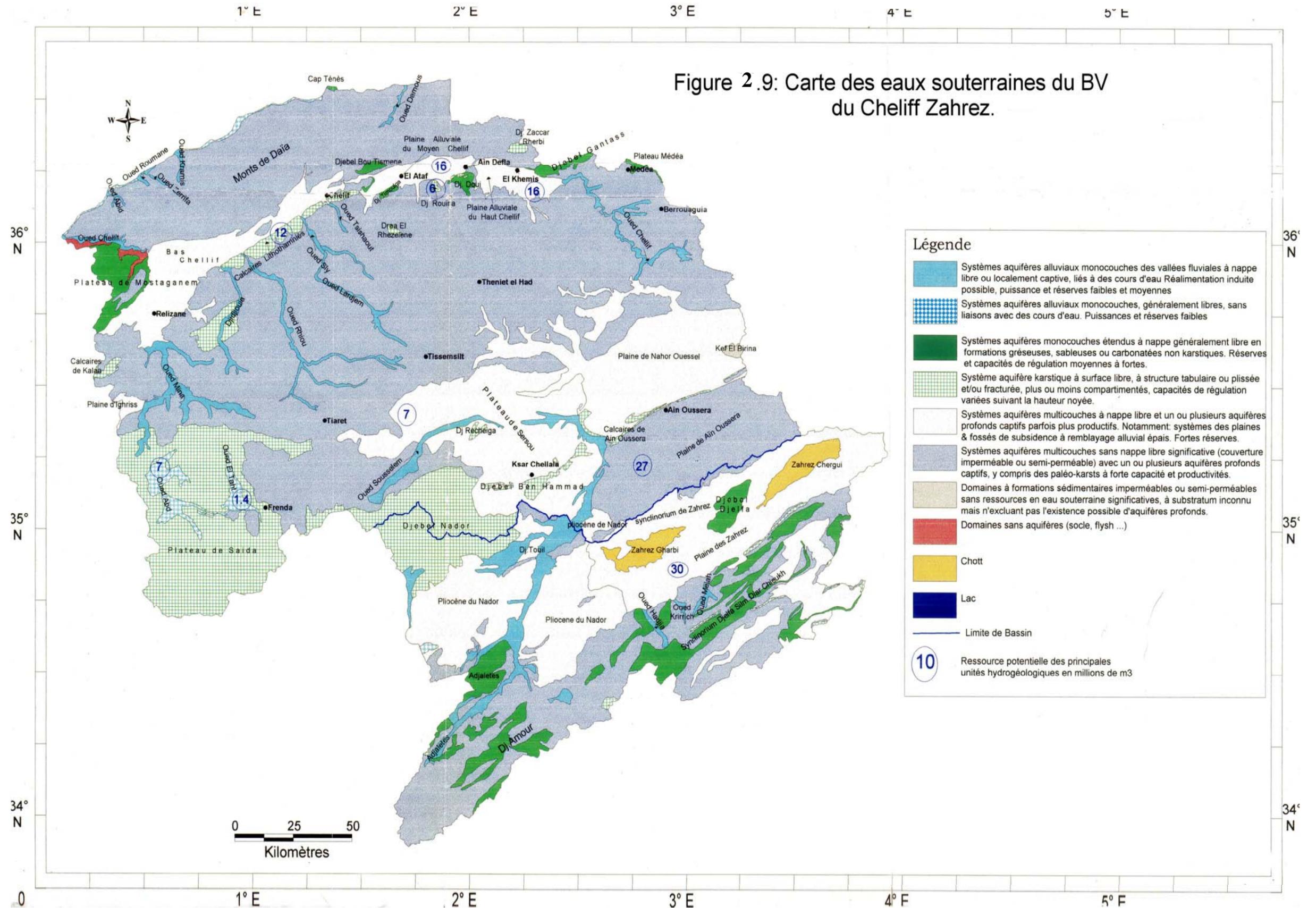
Dans la zone septentrionale, les 2 chaînes telliennes présentent des ressources médiocres et non exploitables directement, les niveaux perméables calcaires et grés sont généralement peu développés et encaissés dans de puissantes formations très peu perméables [140].

Le sillon du Cheliff est compartimenté en 3 cuvettes, haut, moyen et bas Cheliff séparés par 2 seuils, le seuil de Aïn Defla et celui de Oum Drou, les principales unités hydrogéologiques sont décrites ci-après :

- Plaines du haut, du moyen et du bas Cheliff ;
- Djebel Zaccar Gharbi ;
- Calcaire à Lithotamniés ;
- Djebels Doui ;
- Djebel Rouina ;
- Djebel Temoulga ;
- Oued Touil ;
- Djebel Nador ;
- Plaine de Nahr Ouassel ;
- Monts de Saida ;
- Plaine de l'Oued Mina ;
- Plaine de Ain Oussera ;
- Djebel Benhammad ;
- Plateau de Médéa ;
- Plateau de Sersou .

La région du Cheliff Zahrez compte 42 nappes avec une potentialité de 330 Hm³ /an

La carte des eaux souterraines dans la zone est donnée par la figure 2.9.



2.2. Caractéristique physiques du bassin versant du Cheliff

2.2.1. Hydrographie du bassin

L'Oued Cheliff est une exception notable parmi les fleuves nord-africain ; c'est le seul oued qui draine une partie des haut plateaux, et c'est l'un de ceux qui possèdent le cours le plus long et le débit le plus grand. Il doit ces caractères à la structure profonde des paysages qu'il traverse.

La longueur du talweg est de **759 km**, formé au départ par Nahr Oussel et Nahr Touil, il prend sa source dans l'Atlas Saharien au Djebel Ammour près d'Aflou, il traverse sur une distance de 700 Km les hauts plateaux puis la vallée du Cheliff pour se jeter dans la mer méditerranée près de Mostaganem soit successivement 9 wilayas où il est alimenté par plusieurs affluents à savoir : Laghouat, Djelfa, Oued Touil, Tiaret et Tissemsilt coté Ouest, Nahr Oussel, Oued Mina, haut Médéa, Aïn Defla, Chlef, Oued Fodda, Oued Sly, Relizane, Oued Rhiou, bas Mina et Mostaganem. Ce cours d'eau principal avec des potentialités hydriques importantes draine une surface de 43700 km² à la station de Sidi Bel Attar.

Les principaux affluent de l'Oued Cheliff sont ceux de la rive gauche. Ils s'écoulent vers le nord et forment les bassins des Oueds Mina, Rhiou, Sly, Fodda, Deurdeur, Djidiouia et Zeddine. Les principaux affluents de la rive droite forment les bassins des Oueds Ras, Ouahrane, Ebda et Harbil .

Le bassin de l'Oued Touil est le plus grand bassin de la partie amont du Cheliff, il prend sa source sur les versants nord du Djebel Ammour, et est drainé par l'Oued Touil avec une direction Sud-Nord.

La superficie du bassin collecteur est de 9500 km² à BirKheitar. En aval et jusqu'à la confluence avec le Nahr Ouassel, l'Oued Touil devient l'Oued Ouerk. Le bassin de l'oued Nahr Ouassel prend sa source dans les montagnes de l'Ouarsenis et du plateau du Sersou. Après le confluent Ouerk, l'Oued Ouassel devient l'Oued Cheliff, sa présentation est donnée par la figure 2.10. La répartition géographique des ressources superficielles se présente ainsi, les bassins versants se caractérisent par les débits spécifiques moyens suivants :

- le haut Cheliff en amont de Boughezoul ($S = 19516 \text{ Km}^2$): cette zone est moins productive en eau de surface, Lo est de 6 mm/an et elle correspond à un apport annuel moyen de 117 Hm³ ;

- le haut Cheliff en aval de Bougezoul ($S= 5004 \text{ Km}^2$): avec Lo de 74 mm/an et Ao de 372 Hm^3 ;
- le moyen Cheliff ($S= 5030 \text{ Km}^2$): avec Lo de 90 mm/an et Ao de 485 Hm^3 c'est la partie la plus productive du bassin du Cheliff ;
- la Mina et la bas Cheliff ($S= 14200 \text{ Km}^2$) : le BV de la Mina avoisine les affluents de la rive gauche du Cheliff qui constituent la majeure partie du BV du bas Cheliff, ces 2 BV ont un Lo de 39 mm/an et Ao de 551 Hm^3 ;

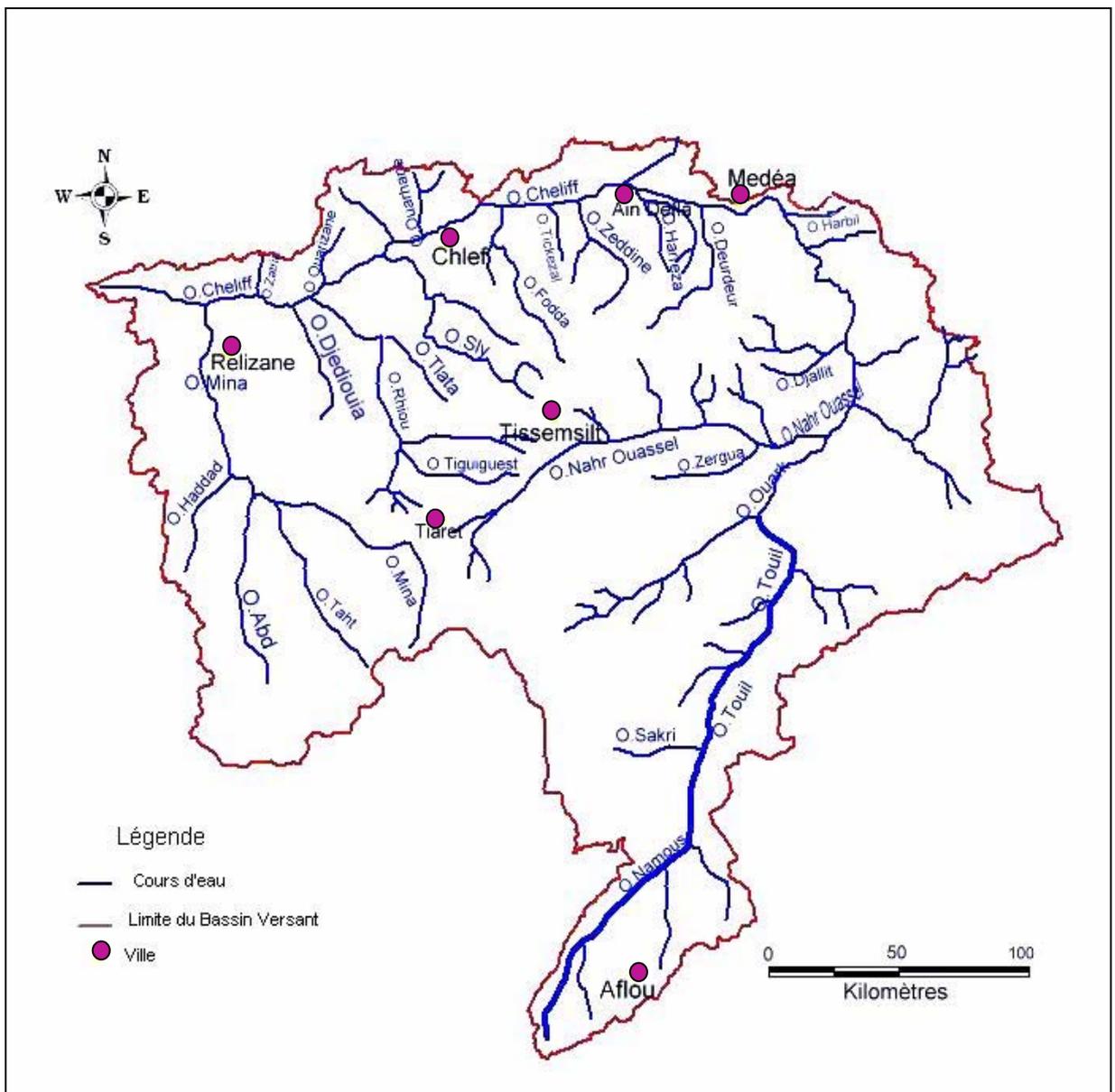


Figure 2.10 : Carte de Présentation de l'Oued Cheliff et des ses principaux affluents.

Le bassin versant délimité par ses contours topographiques constitue l'unité de base pour les différentes études hydrologiques. Le découpage en sous bassins est indispensable dans la mesure où il détermine l'influence des facteurs naturels sur le régime hydrologique [138]. Le tableau 2.2 donne les différents bassins versants qui constituent le bassin du Cheliff ainsi que leurs surfaces .

Tableau 2.2 : Découpage du BV du Cheliff en sous bassins [138].

Code	Nom du Sous-BV	Superficie Km ²	Code	Nom du Sous-BV	Superficie Km ²
0101	O,Sebgag Berkana	778	0119	O, Rouina Zeddine	891
0102	O, Namous Chelal	1734	0120	O ,Cheliff Tickezale	587
0103	O, Touil Amont	689	0121	O, Fodda	1153
0104	O, Sakni	1675	0122	O, Ras Ouahrane	1438
0105	O, Touil Moyen	1609	0123	O, Sly	1403
0106	O, Touil Aval	1750	0124	O, Cheliff Ouarizane	574
0107	O, Sousselem	3003	0125	O, Rhiou Tiguiguest	1617
0108	O, Mechti Zerga	1055	0126	O, Rhiou Tleta	783
0109	O, Ouassel Amont	626	0127	O, Djediouia	840
0110	O, Ouassel Moyen	1621	0128	O, Cheliff Tarhia	772
0111	Daia EL Firania	2365	0129	O, Mina Amont	1327
0112	Daia Boughezoul	2816	0130	O, Taht	772
0113	O, Cheliff Djellil	1012	0131	O, Mina Moyenne	736
0114	O, Cheliff Ghrib	1378	0132	O, Abd Amont	1498
0115	O, Cheliff Harbil	780	0133	O, Abd Aval	1068
0116	Deurdeur	850	0134	O, Mina Haddad	1240
0117	O, Cheliff Harreza	756	0135	O, Mina Aval	1424
0118	O, Ebda	661	0136	Cheliff Maritime	495

Les caractéristiques physiques d'un bassin conditionnent l'écoulement de ses différents cours d'eau, l'écoulement peut être facilité ou retardé selon que la région est étalée ou non, par exemple.

2.2.2. Caractéristiques du climat

Les conditions climatiques à l'amont du Cheliff sont du type semi-aride avec des gradients de température relativement importants. La partie aval du Cheliff est caractérisée par un climat semi-humide à humide d'octobre à avril et semi-aride pendant les autres mois de l'année.

2.2.2.1. La température

Les températures constituent un paramètre climatique dont la variabilité est beaucoup plus faible que celle des précipitations. Les erreurs de mesure sont beaucoup moins importantes tant au niveau de la magnitude que de la fréquence, ce qui explique qu'il n'est en général pas nécessaire de compléter et d'étendre les séries.

La variation sur une période d'observations de 23 ans (1925-1948), des températures moyennes du mois le plus froid au mois le plus chaud varie, de 3 °C à 27 °C à l'amont du Cheliff et de 5 °C à 31 °C pour la partie avale du Cheliff. Les mois les plus chauds correspondent à juillet et août où les températures maximales moyennes varient de 31°C à 40 °C. Les mois les plus froids sont enregistrés de décembre à février. La moyenne des minimums varie de (-1) °C à 6 °C [142].

En utilisant la série des données de 13 stations thermométriques de période (1913-1960), et de 5 autres de période (1975-1997), un regroupement de ces dernières par régions géographiquement homogènes a été fait, les résultats sont reproduits dans le tableau 2.3. La région Sud a été définie à partir des stations d'Aflou et de Laghouat (hors des limites du bassin). La région Centre correspond aux stations de Tissemsilt, Tiaret, Theneit El Had et Boughar. Les stations de Relizane, Chelef, Ain Defla, Miliana et Médéa sont représentatives du Moyen et du Bas Cheliff, alors que n'apparaît aucune station dans la région du Dahra, ce qui nous a amené à prendre en compte celles d'Oran et de Mostaganem Port.

Tableau 2.3: Température mensuelle et moyenne annuelle des différents secteurs du bassin du Cheliff [138].

Secteurs	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Moy
Cheliff	22.4	17.3	12.0	8.4	7.8	8.6	11.2	14.0	17.7	22.2	26.2	26.4	16.2
Région Sud	21.3	15.9	9.9	6.5	5.9	6.2	10.4	13.5	17.7	22.7	26.4	25.9	15.1
Région Centre	21.0	15.5	9.9	6.2	5.6	6.6	9.0	12.0	16.0	20.8	25.3	25.5	14.4
Moyen et bas Cheliff	23.8	18.3	13.0	9.1	8.5	9.5	12.1	14.8	18.7	23.3	27.6	27.8	17.2

Pour l'ensemble du bassin, la température moyenne interannuelle est de **16.2 °C**. La température du mois le plus froid (Janvier) est de **7.6 °C**, tandis que celle du mois le plus chaud (Août) est de **26.2 °C**.

La variabilité est plus importante vers le Sud, en raison des conditions progressivement plus arides, les zones correspondant au Moyen Cheliff présentent les valeurs de température les plus élevées. Plus précisément, les stations les plus chaudes de la série disponible sont celles de Ain Defla et Chelef, présentant toutes les deux une valeur similaire de température moyenne annuelle de **18.7 °C**. Dans la première, on dépasse les **30°C** de température moyenne pendant les mois de Juillet et Août [138].

2.2.2.2. Evapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle a été déterminée à partir des données fournies par l'ANRH qui concernent les 36 sous-bassins du bassin hydrographique Cheliff. La valeur moyenne du bassin a donc été déterminée par une pondération entre la superficie des sous-bassins et l'ETP correspondant à chacune d'entre elles. Les valeurs les plus élevées correspondent aux sous-bassins de l'Oued Touil, où elles excèdent les **1500 mm/an**. On observe également dans le versant moyen de l'Oued Mina des valeurs élevées d'évaporation potentielle. La valeur la plus faible correspond au sous-bassin de Oued Deurdeur, situé dans le secteur centre-oriental du bassin, où la valeur estimée est de **1300 mm/an**. La valeur moyenne annuelle est de **1455 mm** [138].

Les valeurs les plus fortes correspondent au mois de Juillet avec une valeur moyenne de **239 mm** pour toute la région, très proche de celle du mois d'Août où elle est de **216 mm**. Les minima sont enregistrées en Décembre et en Janvier, avec respectivement **34** et **37 mm**. En général, avec des résultats qui convergent, la valeur déduite pour le bassin du Cheliff est de **295mm**.

Le tableau 2.4 montre la répartition mensuelle de l'évaporation pour certaines stations du bassin sur une période d'observation de 25 ans. La moyenne annuelle suit une progression dans l'espace allant de 1198 mm au barrage Ghrib à 1921 mm au niveau de barrage Bakhada. L'évaporation est très élevée en saison chaude avec un maximum généralement atteint aux mois de Juillet et Août.

Tableau 2.4: Evaporations Journalières moyennes en mm [138].

Stations	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Moy. an
Boughzoul	7,2	4,1	2,1	1,1	0,9	1,7	2,8	4,1	6,4	8,4	10,2	9,3	1778
Ghrib	4,6	2,8	2,8	1,4	1,1	1,8	2,3	3,1	3,4	4,7	6,1	5,9	1198
O.el.abtal	5,8	3,6	1,8	1,3	0,9	2,1	3,1	4,4	6,2	7,6	8,6	8	1640
O.Fodda	7,2	3,5	2,1	1,6	1,3	1,7	2,8	4,1	5,7	7,9	10	9,5	1749
Bakhada	7,3	4,1	2,5	1,7	1,7	2,4	3,4	4,3	6,4	8,2	10,1	10	1921

2.2.2.3. Humidité relative

C'est la quantité de vapeur d'eau dans certain volume d'air. Elle est représentée par l'humidité relative comme l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique. Les données d'humidité relatives de la station de Tiaret (située au centre du bassin du Cheliff) sont mentionnées dans le tableau 2.5 :

Tableau 2.5: Humidité relative (%) enregistrée à la station de Tiaret (1970-1995) [143].

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Hr %	55	64	73	78	76	69	66	56	54	48	38	45	60,17

L'humidité en hiver varie de 69 à 78% et en été de 38 à 48%.

2.2.2.4. La pluviométrie

La précipitation moyenne estimée par planimétrie pour le bassin versant du Cheliff est de **315 mm** qui correspond à une période de référence de trente ans (1972/73 – 2001/02). La valeur obtenue est légèrement inférieure à celle calculée à partir de la moyenne arithmétique de toutes les stations (**357 mm**), dû à l'irrégularité de la distribution des lignes des isohyètes. Les pluies oscillent entre des valeurs inférieures à **150 mm** au Sud et des valeurs proches de **700 mm** au secteur Nord-Est. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le secteur du Côtier et dans les points situés plus hauts en relation avec les masses d'air humides qui viennent du Nord [138].

Les **66%** de l'apport pluviométrique annuel a lieu durant le printemps et l'hivers, alors que les mois d'été (Juin, Juillet et Août) représentent que **6%** du total annuel. On a confirmé une réduction dans le module pluviométrique annuel plus dramatique dans les secteurs les plus septentrionaux, qui a provoqué une diminution de **15** à **25%** de la précipitation moyenne à long terme. D'ailleurs, on a détecté l'existence d'une réduction progressive vers le Sud, le secteur le plus déficitaire de pluies dans la quantité de pluies d'hivers et en faveur de celles d'été et de printemps. Les répercussions de ces variations dans la disponibilité spatiale et temporelle des apports superficiels et souterraines sont notables. La représentation des isoyètes est donnée par la figure 2.11.

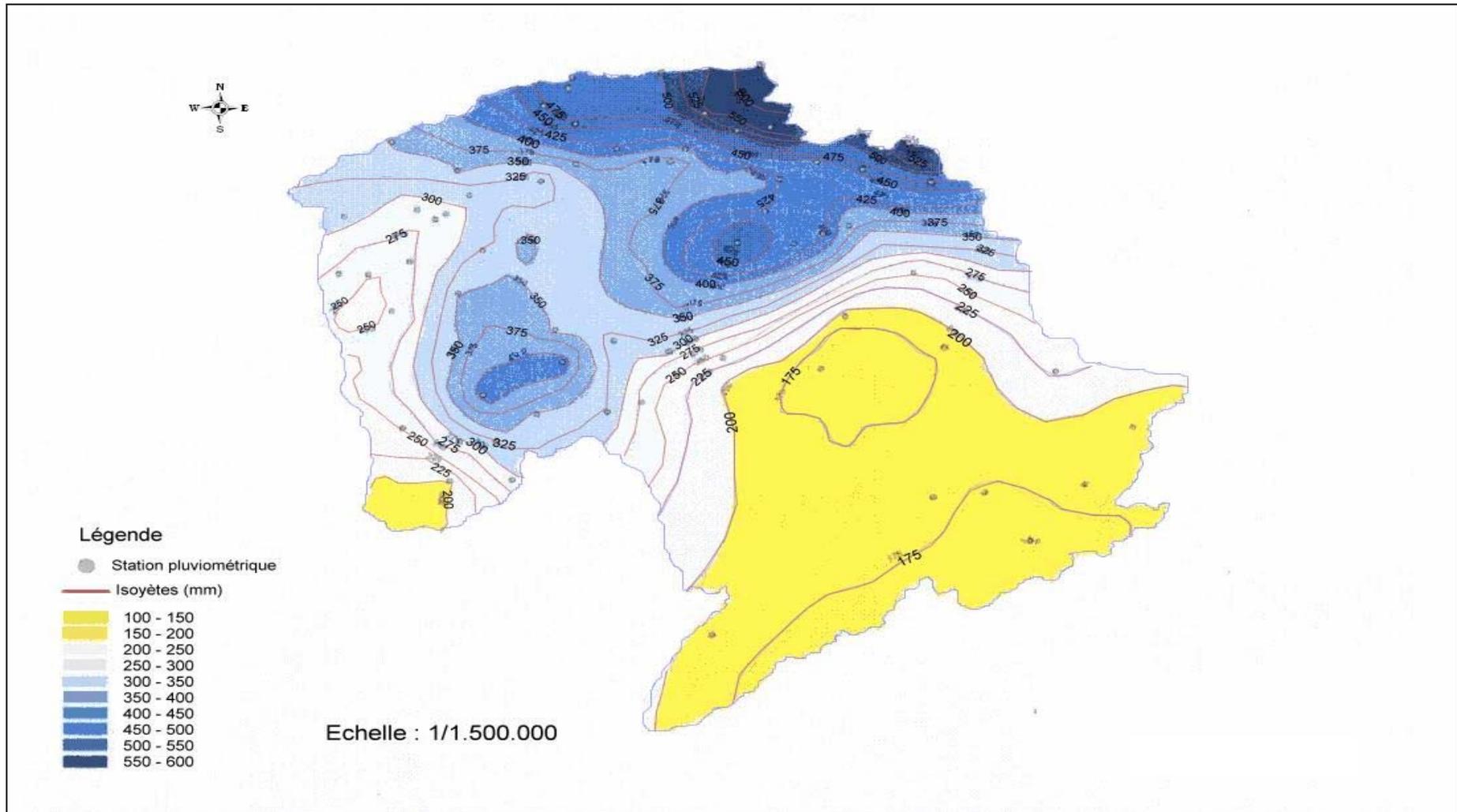


Figure 2.11 : Représentation des isoyètes du BV du Cheliff-Zahrez [138].

a- Les pluies annuelles

Les précipitations annuelles sont liées à l'altitude, la région la plus pluvieuse se situe dans les massifs de l'Ouarsenis (Station de Bordj Bou Nâama). En moyenne, les pluies annuelles varient de 290 à 680 mm, les décennales humides de 390 à 890 mm et les décennales Sèches de 190 à 470mm [142].

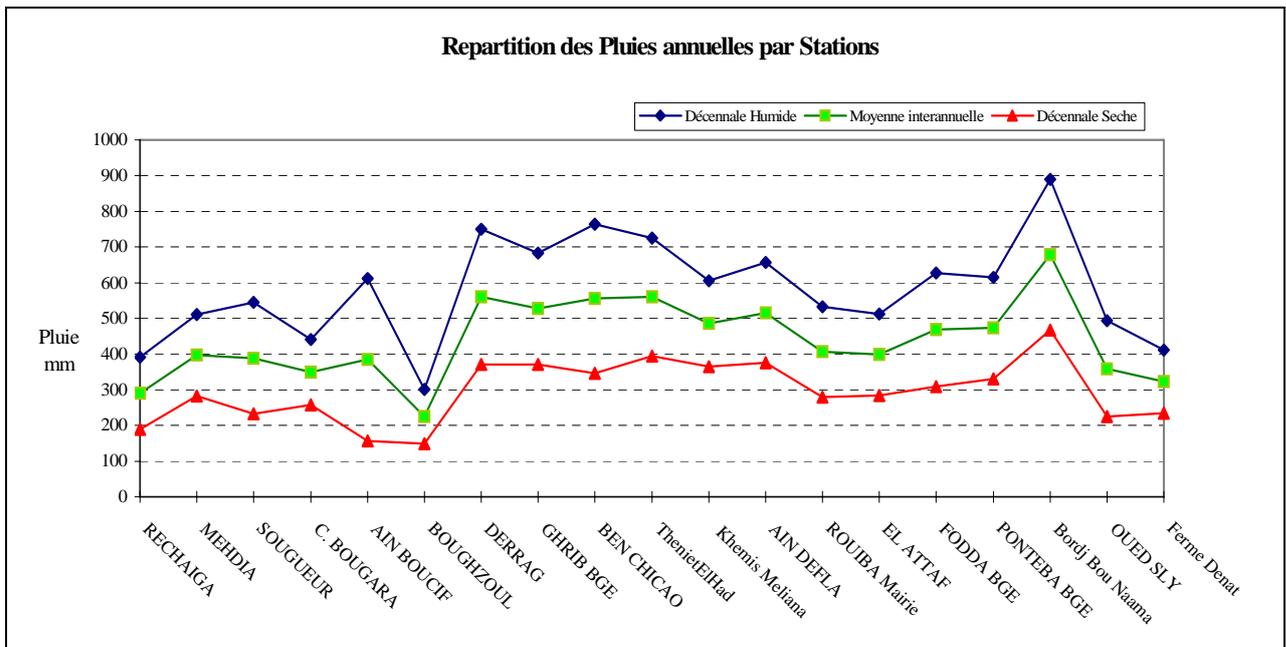


Figure 2.12: Répartition des pluies annuelles des différentes stations du BV du Cheliff.

La figure 2.12 montre l'opposition entre la répartition des pluies annuelles enregistrées aux stations situées au sud par rapport à celles qui sont observées au Nord du bassin. De la station Rechaiga à celle de Boughzoul, les pluies moyennes interannuelles sont comprises dans l'ensemble entre 300 et 400 mm. Des pluies moyennes supérieures à 400 mm sont enregistrées aux stations situées plus au Nord du bassin. Aussi les pluies annuelles augmentent en allant de l'Est vers l'Ouest. Les pluies décennales humides et sèches suivent la même répartition que celle des précipitations moyenne [142].

b- Les pluies mensuelles

Les pluies moyennes mensuelles traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle. Les cinq (05) stations prises en considération dans la zone d'étude, font ressortir deux périodes distinctes, une saison sèche et une autre humide, leur répartition est donnée dans le tableau 2.6.

Tableau 2.6 : Répartition mensuelle des pluies moyennes [142].

Stations	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Ghrib Bge	16,44	33,61	45,15	67,73	67,86	56,07	52,08	46,67	31,7	11,68	3,89	4,26
Ain Defla	16,96	31,49	57,46	66,31	61,12	57,11	48,73	39,2	31,58	12,57	3,21	4,92
Fodda Bge	10,18	27,52	40,88	57,79	57,08	50,45	46,34	45,35	30,35	12,38	2,36	2,75
B.B Nâama	5,48	48,76	67,2	96,1	100,85	76,08	66,79	55,07	39,95	9,34	2,84	5,48
Oued Sly	13,02	28,86	35,06	38,97	48,43	41,98	38,52	22,19	27,68	5,71	3,5	3,75

Sur le Tableau ci dessus, nous remarquons l'existence:

- d'une saison sèche qui correspond aux mois de juin à septembre, avec des pluies moyennes mensuelles inférieures à 18 mm ;
- d'une saison humide qui correspond aux autres mois de l'année.

La station de Bordj Bou Naâma est relativement la plus arrosée en hiver, présente en été un déficit pluviométrique important.

La répartition des pluies mensuelles nous montre de façon distincte que les mois les plus arrosés correspondent à décembre et janvier. Ces derniers accaparent à eux seuls le tiers des précipitations annuelles. Par contre les mois d'été sont largement déficitaires avec moins de 5 % du total annuel pour chaque mois. Cette répartition est donnée par les figures 2.13 ; 2.14 ; 2.15 ; 2.16 et 2.17 pour chacune des stations.

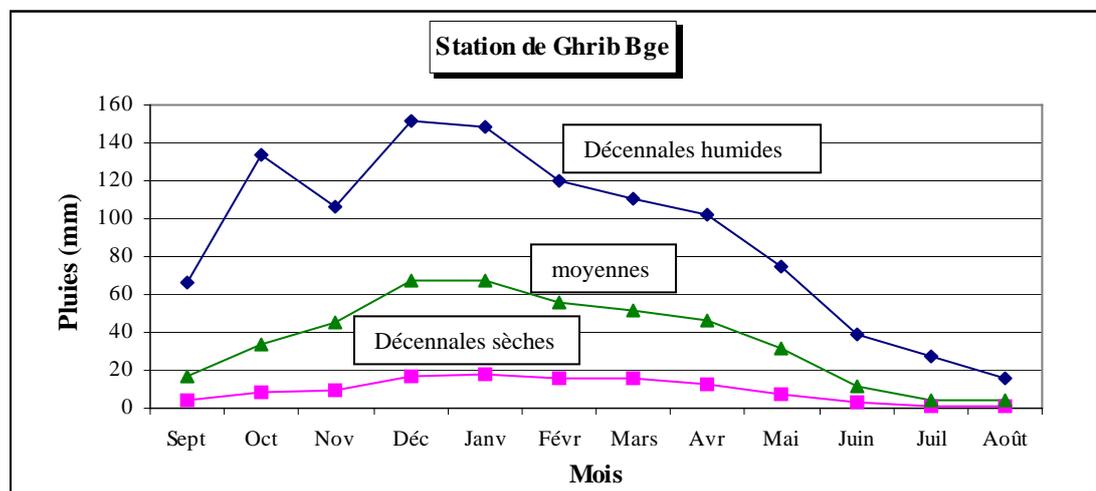


Figure 2.13 : Répartition mensuelle des pluies à la station de Ghrib barrage.

La station de Ghrib barrage est caractérisée par un régime pluviométrique méditerranéen avec un maximum de pluies aux mois de Janvier- Février en moyenne, et un total mensuel proche de 70 mm. Les décennales sèches sont relativement déficitaires avec des pluies mensuelles inférieures à 20 mm. Nous constatons une croissance pluviométrique à partir du mois de Septembre.

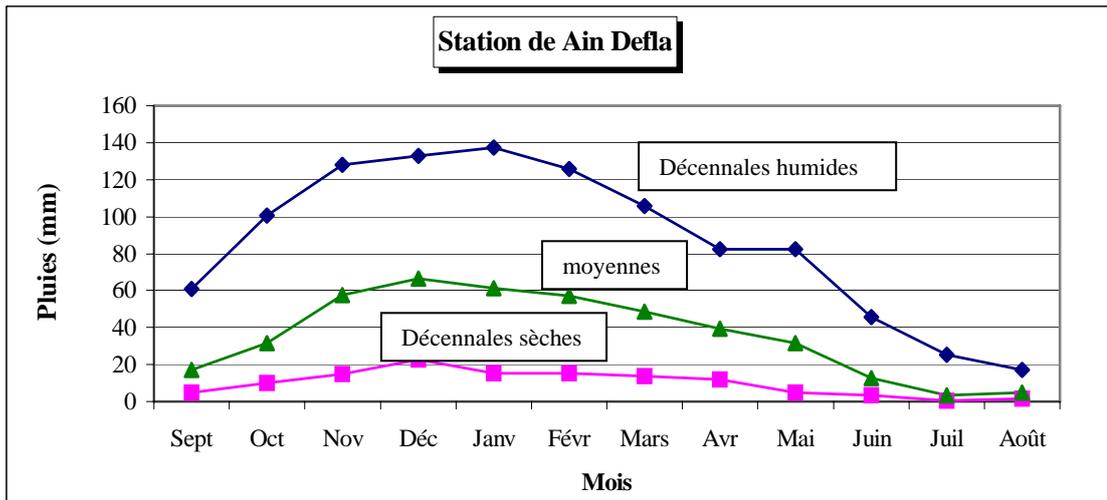


Figure 2.14 : Répartition mensuelle des pluies à la station de Ain Defla.

La station de Ain Defla présente les mêmes caractéristiques pluviométriques que la station précédente sauf que les décennales humides sont un peu plus inférieures. La croissance pluviométrique est observée à partir du même mois.

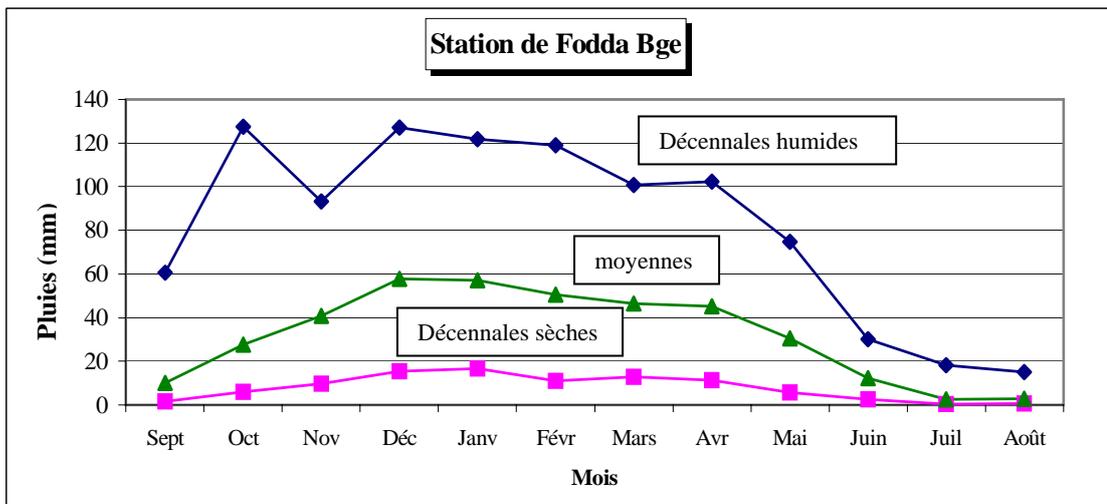


Figure 2.15: Répartition mensuelle des pluies à la station de Fodda barrage

La station de Fodda barrage est caractérisée à l'image des autres stations de la zone d'étude, par un régime pluviométrique méditerranéen avec un maximum aux mois de Janvier- Février en moyenne, et un total mensuel proche de 60 mm. Les décennales sèches sont relativement déficitaires avec des pluies mensuelles inférieures à 16 mm. Nous constatons une croissance pluviométrique à partir du mois de septembre avec un accroissement brusque en Octobre [142].

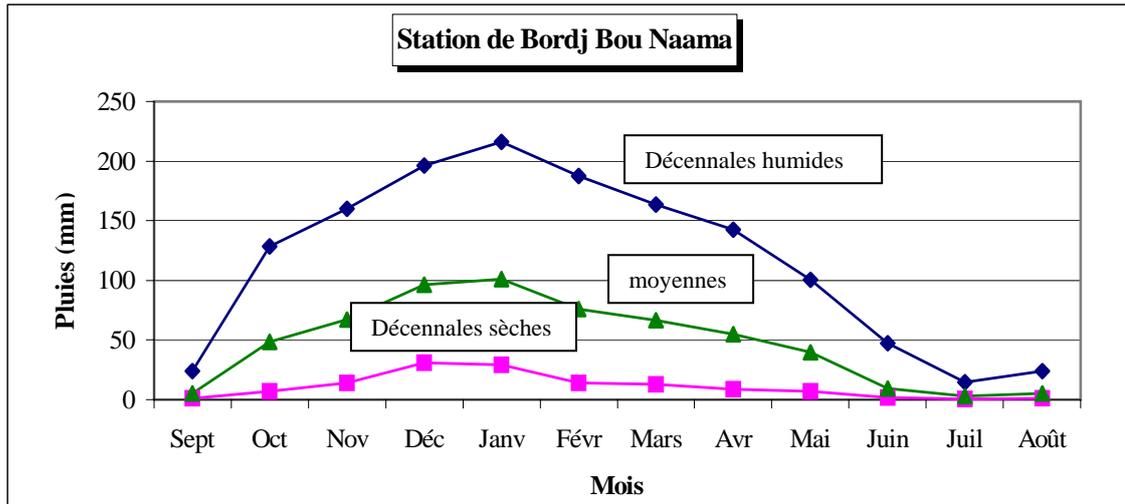


Figure 2.16: Répartition mensuelle des pluies à la station Bordj Bou Nâama

La station de Bordj Bou Nâama est relativement plus pluvieuse, elle est située en altitude et présente un maximum au mois de janvier en moyenne, avec un total mensuel proche de 70 mm. Les décennales sèches sont relativement déficitaires avec des pluies mensuelles inférieures à 20 mm. Nous constatons une croissance pluviométrique à partir du mois de Septembre.

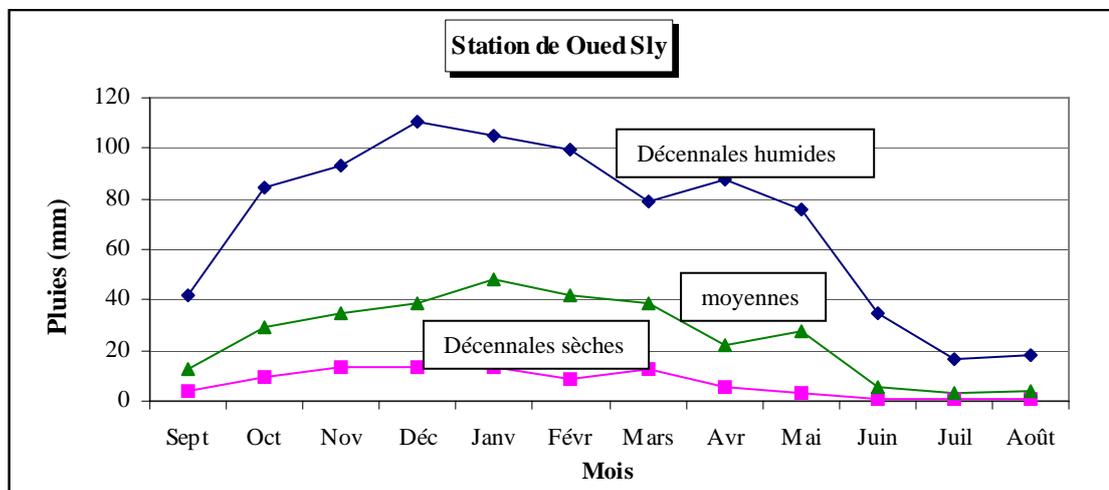


Figure 2.17: Répartition mensuelle des pluies à la station de Oued Sly

La station de Oued Sly quand à elle, est caractérisée par le même régime pluviométrique avec un maximum au mois de Janvier en moyenne. les décennales sèches sont relativement déficitaires avec des pluies mensuelles inférieures à 15 mm.

c- Les pluies journalières

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles. Parmi les lois de distribution qui peuvent rendre compte de la statistique des phénomènes extrêmes, c'est la loi de Gumbel qui s'adapte le mieux aux variables pluviométriques.

Théoriquement les valeurs extrêmes s'ajustent à une loi des valeurs extrêmes. En Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent à une loi de Gumbel. Cette hypothèse est vérifiée sur le bassin versant du Cheliff, les pluies journalières maximales se distribuent bien suivant la loi de Gumbel [142].

Les ajustements faits sur le bassin du Cheliff, nous permettent d'avoir pour l'ensemble les quantiles de pluies maximales en périodes humides ou sèches.

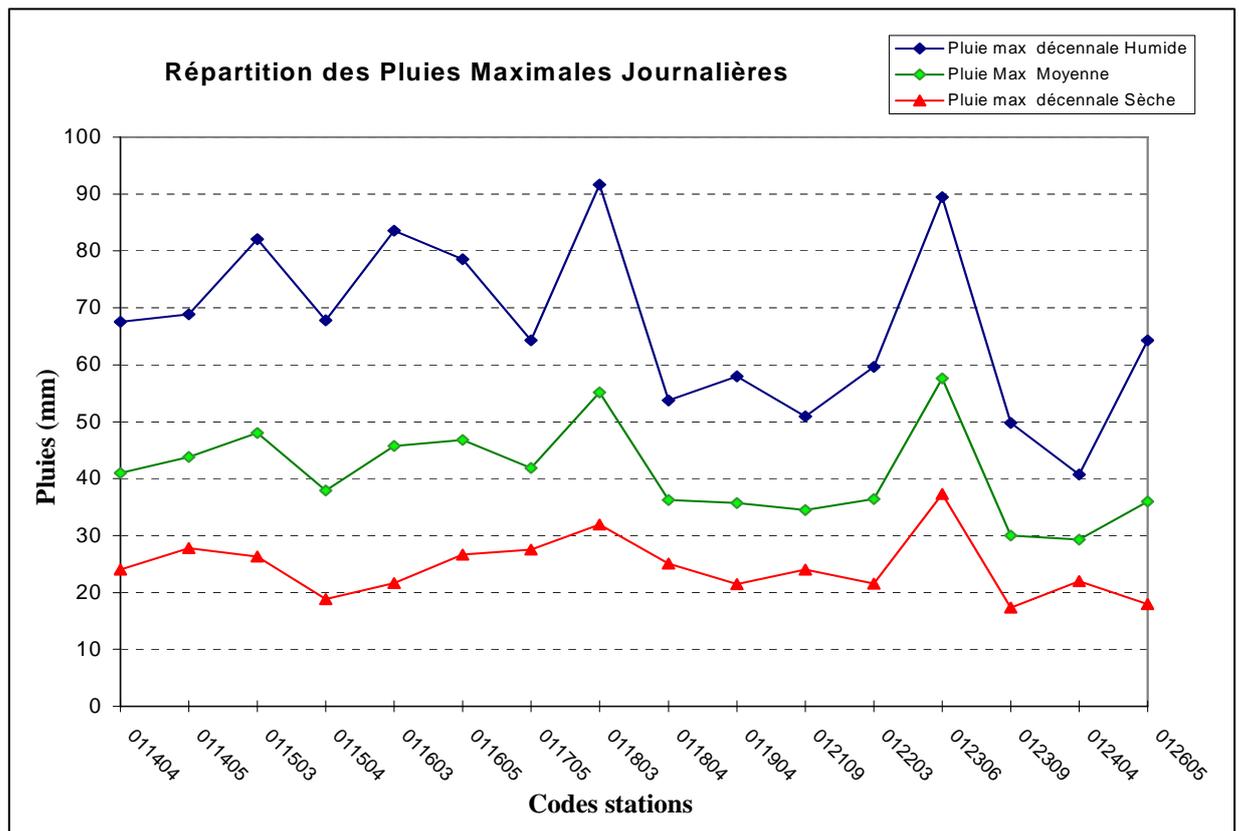


Figure 2.18: Répartition des pluies journalières maximales dans la zone d'étude.

Dans la zone d'étude, les pluies journalières maximales fluctuent en moyenne autour de 40 mm, les écarts avec les décennales sèches et humides sont de 20 mm en moyenne.

2.2.2.5. Les apports

L'écoulement superficiel subit évidemment l'influence du régime pluvial marin qui se caractérise par une saison pluvieuse et froide où on a une succession de crues considérables. L'irrégularité des apports est accrue par les facteurs physiques du bassin. Une saison sèche et chaude d'été très marquée et dont l'écoulement est non significatif.

Actuellement, les ressources hydriques disponibles estimées dans la région hydrographique d'étude sont de 960 Hm^3 dont 85% est apporté par l'Oued Cheliff et dont 144 Hm^3 correspondent au bassin versant de la Dahra, tandis qu'elle est estimée entre 30 et $60 \text{ Hm}^3/\text{an}$ dans le bassin endoréique du Zahrez . Ces valeurs coïncident avec ceux-ci des études hydriques faites dans la région depuis les années 70, d'ailleurs une période de sécheresse. L'apport souterrain déduit à partir de la décomposition des hydrogrammes représente 40 à 50% du global (370 et 470 Hm^3) [142].

La rupture pluviométrique détectée ces dernières années a causé des répercussions à l'écoulement. Alors que les précipitations ont diminué entre 15 et 25 %, selon les secteurs de la région, l'écoulement l'a fait entre 30 et 60% par rapport à la période précédente à la rupture pluviométrique.

Les pluies suffisantes, susceptibles d'engendrer des crues, se produisent en moyenne une dizaine de fois dans l'année, s'étalant sur deux ou trois journées de ruissellement. Les apports liquides ruisselés, générés par les hautes eaux, représentent environ 80 % du total annuel à l'échelle régionale [142].

a- Les données disponibles

La détermination des apports de l'Oued Cheliff s'est faite sur la base de quatre (04) stations hydrométriques, avec une période d'observation allant de 1968 jusqu'à présent:

- *La station Arib Cheliff* : située sur l'Oued Cheliff et contrôle un BV de 24.520 km^2 .
- *La station El Abadia* : située sur l'Oued Cheliff et contrôle un BV de 26.410 km^2 .
- *La station Djidiouia* : située sur l'Oued Cheliff et contrôle un BV de 34.550 km^2 .
- *La station Sidi Bel Attar* : située sur l'Oued Cheliff et contrôle un BV de 43.700 km^2 .

b- Répartition mensuelle des débits moyens interannuels

La figure 2.19 donne la répartition mensuelle des débits du Cheliff, déterminés à partir des séries de débits mesurés le long de l'Oued. Le Cheliff connaît une variation saisonnière et interannuelle très irrégulière. L'écoulement est abondant de décembre à mars. Il est relativement faible les autres mois, souvent provoqué par des orages localisés.

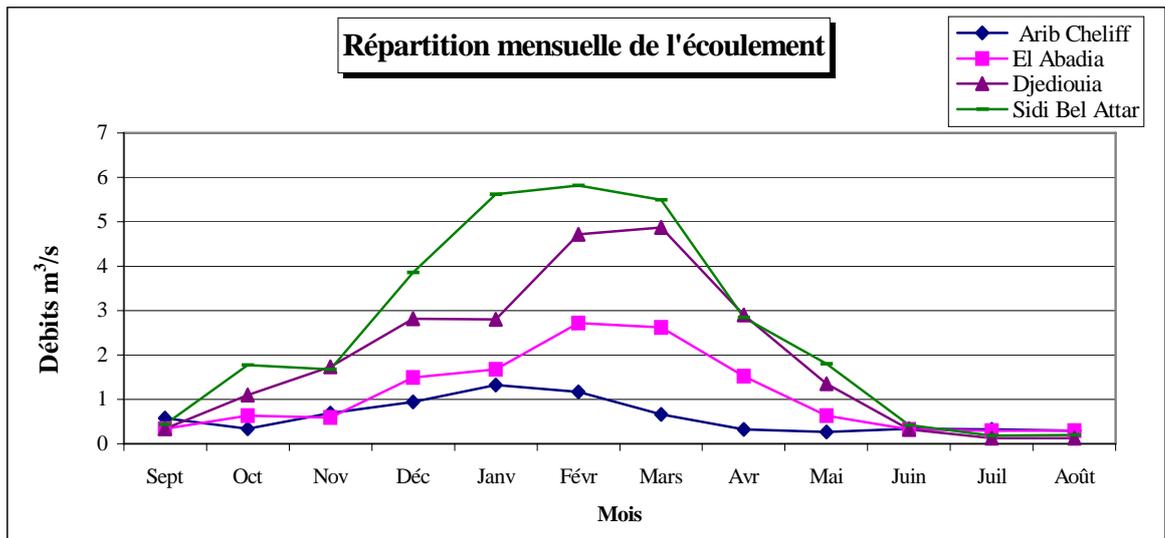


Figure 2.19 : Répartition mensuelle des débits moyens interannuels (Oued Cheliff).

A partir de la figure ci dessus, l'accroissement du débit moyen interannuel est observé tout au long de l'Oued Cheliff vers l'exutoire. Pour la station de Arib Cheliff, le pourcentage des débits moyens est supérieur à 70 % de l'écoulement et ce de novembre à mars. A la station d'El Abadia de décembre à avril, les débits moyens sont supérieurs à 1,5 m³/s, alors que de juin à septembre, ils sont inférieurs à 0,5 m³/s. De même, pour la station Djidiouia, de décembre à avril, les débits moyens sont supérieurs à 2 m³/s, alors que de juillet à septembre, il sont inférieurs à 0,50 m³/s. Et au niveau de la station de Sidi Bel Attar qui est localisée à l'exutoire de l'Oued, de janvier à mars les débits moyens sont supérieurs à 5 m³/s, alors que de juillet à août ils sont inférieurs à 1 m³/s.

Ces débits moyens interannuels enregistrés aux stations hydrométriques sont ajustés à une loi de distribution Log Normale, les résultats obtenus aux différentes fréquences sont les suivant :

Tableau 2.7: Quantiles de débits moyens journaliers (m^3/s) [142].

Nom Station Fréquence	Arib Cheliff	El Abadia	Djdiouia	Sidi Bel Attar
Décennale humide	12,56	23,76	44,49	57,71
Centennale humide	22,35	43,53	80,24	113,7
débit moyen	7,24	13,16	24,4	30,12
Décennale sèche	3,06	5,39	10,47	10,93
Centennale sèche	1,72	2,94	5,81	5,55

c- Apport moyen annuel

La série d'observations hydrométriques de Sidi Bel Attar (proche de l'exutoire du bassin versant) sera considérée comme représentative de l'apport annuel moyen qui est estimé à près de **937 Hm³**.

Les séries de données d'apports annuels s'ajustent suivant une loi de Galton (Log Normale), les apports des différentes fréquences sont les suivants :

Tableau 2.8: Quantiles des apports annuels (Hm³) [142].

Nom Station Fréquence	Arib Cheliff	El Abadia	Djdiouia	Sidi Bel Attar
Décennale humide	390,69	739,16	1383,81	1794,93
Centennale humide	695,23	1353,83	2495,87	3536,41
Apport moyen	225,25	409,30	759,08	937,01
Décennale sèche	95,03	167,51	325,67	340,11
Centennale sèche	53,40	91,46	180,56	172,63

2.3. Bilan hydrique global

Après toute cette étude le bilan hydrique du bassin versant Cheliff est représenté par la figure 2.20 :

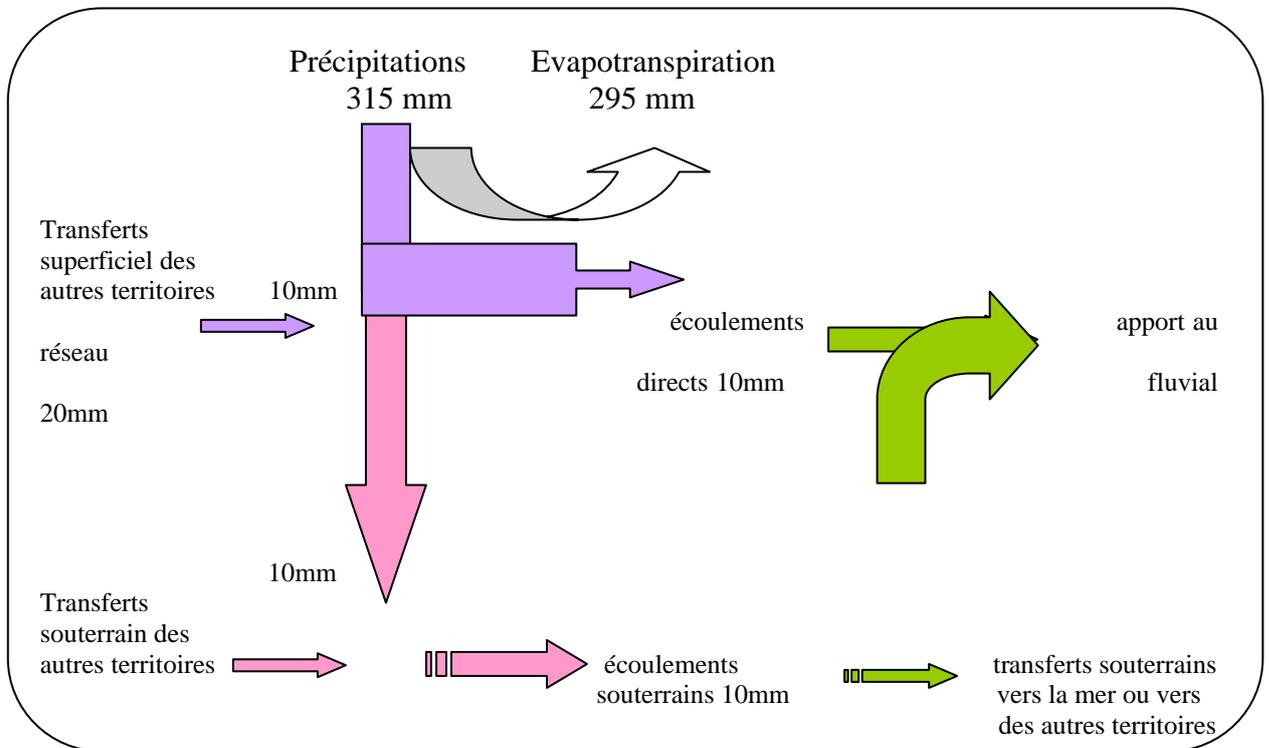


Figure 2.20: Schéma des principaux flux d'eau en régime naturel pour le bassin versant du Cheliff [138].

2.4. Caractéristiques de forme du bassin versant du Cheliff

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal. Un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un autre ramassé même s'ils sont placés dans la mêmes conditions météorologiques.

2.4.1. Indice de compacité de Gravelius K_c

Appelé aussi indice de forme, cet indice caractérisant la forme du bassin versant est le rapport entre le périmètre du bassin versant et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin. Ce coefficient est égal à « 1 » lorsque le bassin est parfaitement circulaire et à « 1.128 » pour un bassin carré, et peut atteindre la valeur « 3 » pour des bassins très allongés, il est donné par la formule 2.1.

$$k_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Avec :

P : périmètre du bassin en Km ;

S : surface du bassin en Km².

2.4.2. Rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions L et l ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits côtés.

Les dimensions de ce rectangle sont données par les formules 2.2 et 2.3 :

* Longueur :

$$L = k_c \cdot \frac{\sqrt{S}}{1.128} \cdot (1 + \sqrt{1 - (1.128/k_c)^2}) \quad (\text{km}) \dots\dots\dots(2.2)$$

* Largeur :

$$l = k_c \cdot \frac{\sqrt{S}}{1.128} \cdot (1 - \sqrt{1 - (1.128/k_c)^2}) \quad (\text{km}) \dots\dots\dots(2.3)$$

La représentation graphique du rectangle équivalent du bassin versant du Cheliff est donnée par la figure 2.21 :

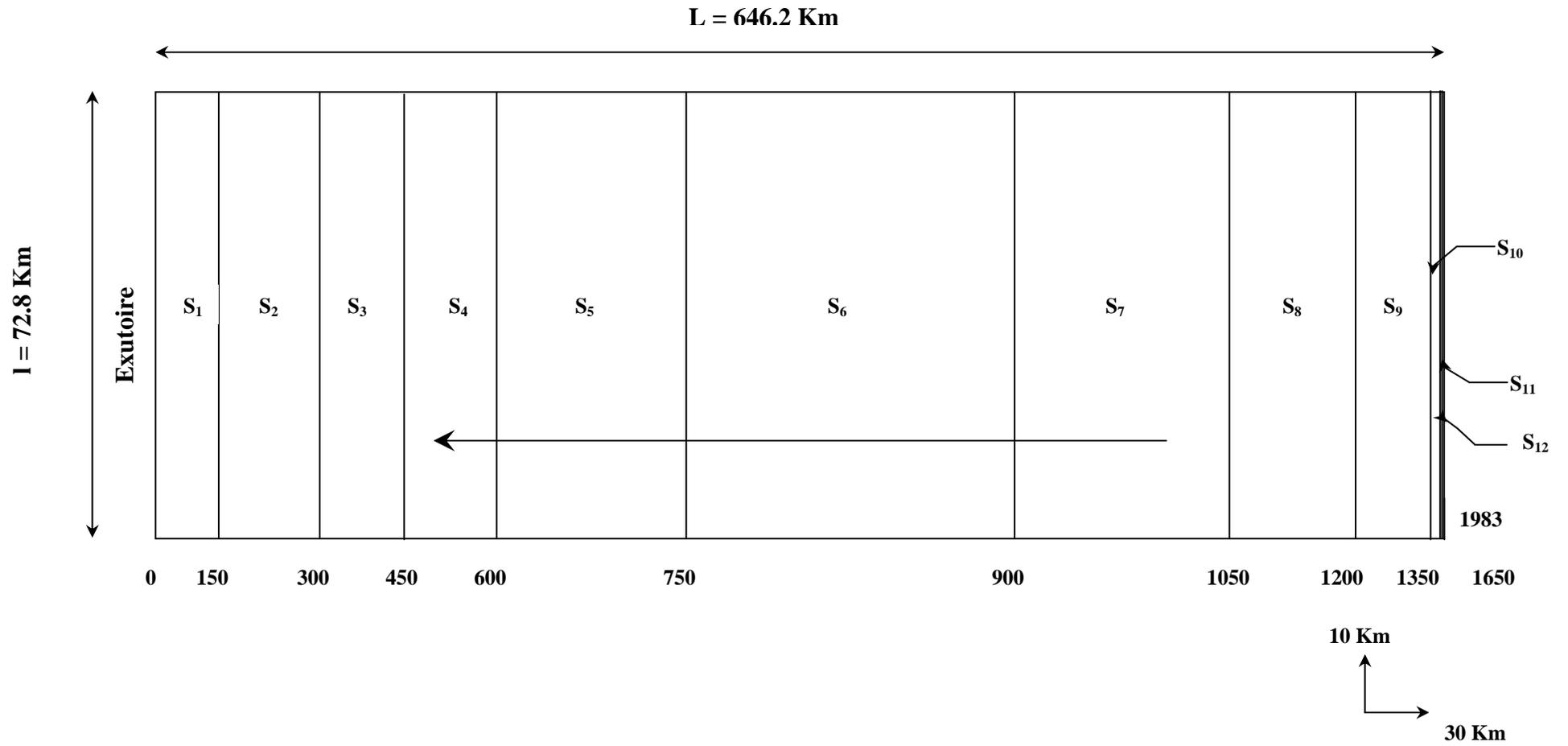


Figure 2.21 : Rectangle équivalent du bassin versant du Cheliff.

2.4.3. Répartition et courbe hypsométrique

La plupart des facteurs climatiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude [144]. Il est donc important de déterminer la répartition du bassin versant par tranches d'altitudes et de dégager les différents paramètres du relief.

La carte hypsométrique du bassin versant du Cheliff est donnée par la figure 2.22, et la répartition hypsométrique est représentée dans le tableau 2.9 :

Tableau 2.9 : Répartition des surfaces partielles du bassin du Cheliff par tranche d'altitude.

Altitude (m)	Surfaces partielles		surfaces cumulés		Altitude moyenne (m)
	Km ²	%	Km ²	%	
1983-1750	0,21	0,00048	0,21	0,00048	1866,5
1750-1650	4,27	0,01	4,48	0,01	1700
1650-1500	71,82	0,16	76,3	0,17	1575
1500-1350	976,71	2,32	1053	2,41	1425
1350-1200	1986	4,54	3039	6,95	1275
1200-1050	4209	9,62	7248	16,57	1125
1050-900	7588	17,34	14836	33,91	975
900-750	10695	24,44	25531	58,36	825
750-600	6632	15,1	32163	73,52	675
600-450	3352	7,66	35515	81,18	525
450-300	2856	6,52	38371	87,71	375
300-150	3552	8,12	41923	95,82	225
150-0	1827	4,17	43750	100	75

La courbe hypsométrique du bassin du Cheliff est donnée par la figure 2.23 :

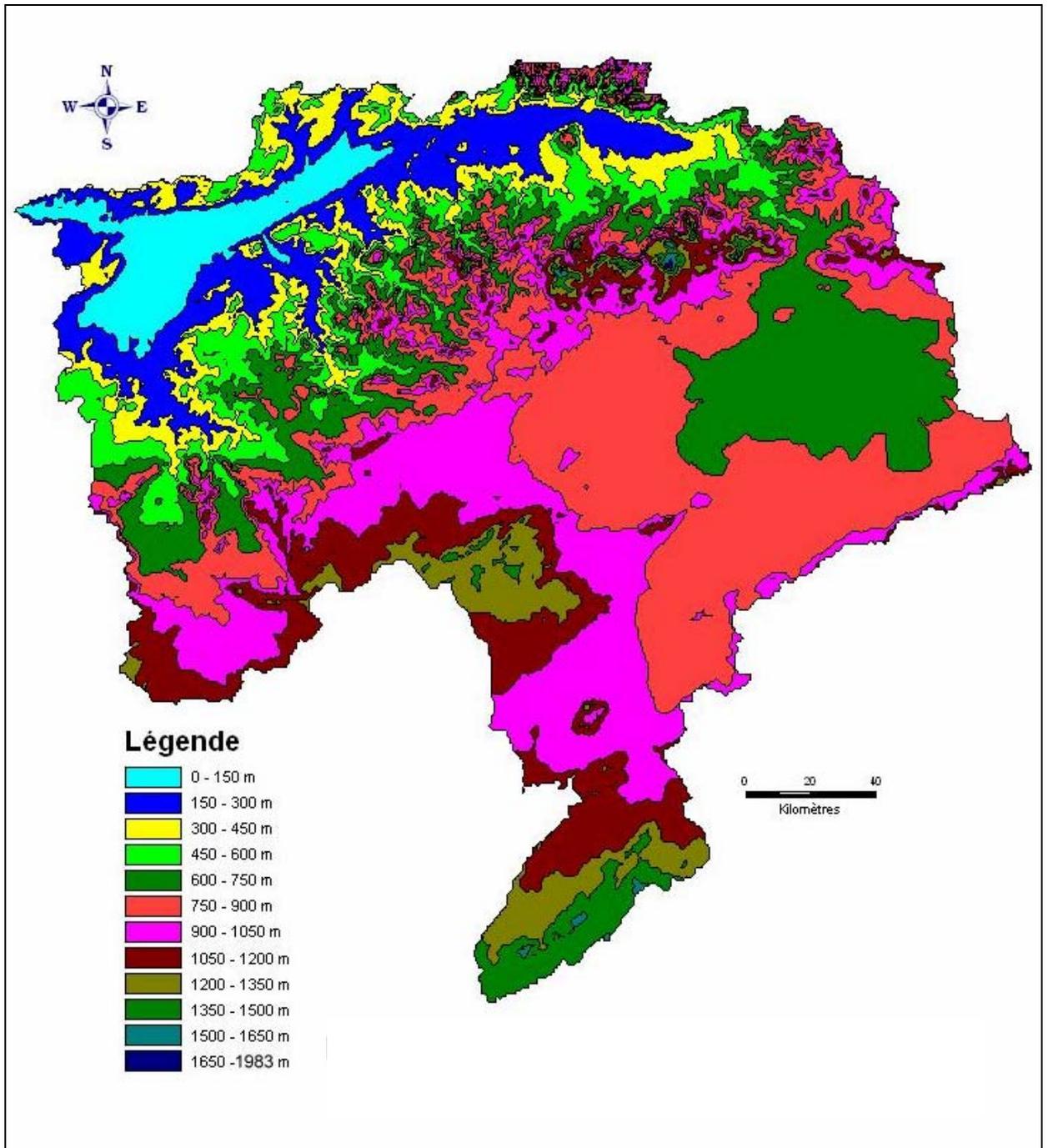


Figure 2.22 : Carte hypsométrique du bassin versant du Cheliff.

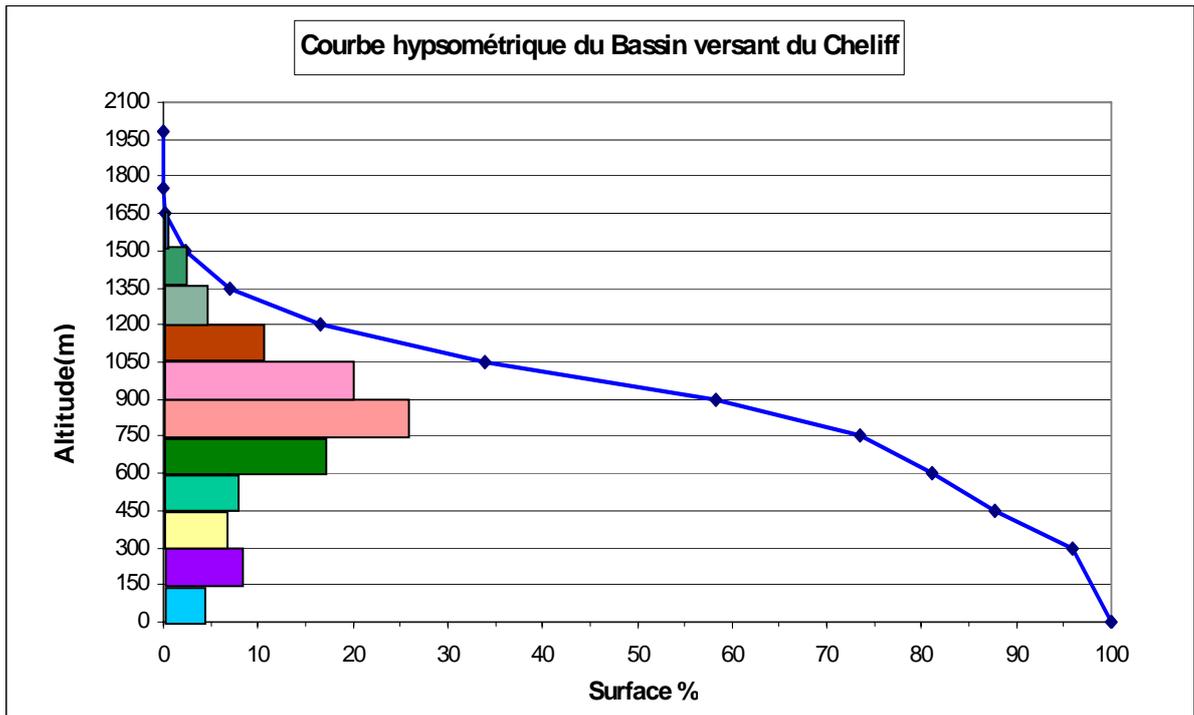


Figure 2.23 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Cheliff.

2.4.4. Altitude moyenne : Elle est calculée par la formule 2.4 :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i}{S} \dots\dots\dots(2.4)$$

Avec : $H_i = \frac{H(n) + H(n+1)}{2}$

Si : Surface partielle entre deux courbes de niveaux successives en (Km²).

S : Surface totale du bassin versant en (Km²).

Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives en (m).

n : Nombre total de surfaces partielles.

2.4.5- Indice de pente globale I_g

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% du bassin et la longueur du rectangle équivalent. Ces altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique .

L'indice de pente globale est donné en % par la relation 2.5 :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots(2.5)$$

Où :

$H_{5\%}$: Altitude correspondante à 5% de la surface du bassin Versant (m).

$H_{95\%}$: Altitude correspondante à 95% de la surface du bassin versant (m).

L : Longueur du rectangle équivalent (Km).

Suivant la valeur de cet indice, on peut classer le relief en se basant sur le tableau 2.10 :

Tableau 2.10: Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global.

Valeur de I_g	Relief
$I_g < 0,002$	Très faible
$0,002 < I_g < 0,005$	Faible
$0,005 < I_g < 0,01$	Assez faible
$0,01 < I_g < 0,02$	Modéré
$0,02 < I_g < 0,05$	Assez fort
$0,05 < I_g < 0,5$	Fort
$0,5 < I_g$	Très fort

2.4.6. Indice de pente de Roche I_p

I_p est le moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau H_i et H_{i-1} . Il est donné par la formule II.6 :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})} \dots\dots\dots(2.6)$$

Avec :

L : longueur du bassin versant (m)

S_i : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives H_i et H_{i-1} (m).

2.4.7. Pente moyenne du bassin versant I_m

Elle est donnée par la formule 2.7:

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{S} \dots\dots\dots(2.7)$$

Avec :

ΔH :Dénivelée (m) ;

S : surface du bassin versant (Km²).

l_i : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2, ...n (m), elles sont données par le tableau 2.11 :

Tableau 2.11 : Longueur des courbes de niveau.

Altitude (m)	longueur de la courbe (km)
150	552
300	1575
450	1682
600	1803
750	2504
900	2787
1050	1825
1200	881,7
1350	503,9
1500	140,5
1650	15,35
1750	0,032

2.4.8. Le réseau d'écoulement

a- Densité de drainage D_d

Elle est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs « L_i » du bassin versant, à la surface totale « S ». Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km/Km² par la formule 2.8 :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \dots\dots\dots(2.8)$$

Avec :

$\sum_{i=1}^n L_i$: Somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre i (Km) ;

S : Surface du bassin versant en Km^2 .

b- Coefficient de Torrentialité C_t

Il est donné par la formule 2.9:

$$\boxed{C_t = F_1 * D_d} \dots\dots\dots(2.9)$$

Avec:

F_1 : densité de talwegs élémentaires tel que: $\boxed{F_1 = \frac{N_1}{S}}$ (2.10)

et : N_1 : Nombre de cours d'eau d'ordre 1 ;

S : surface du bassin versant (Km^2) ;

D_d : densité de drainage (Km/ Km^2) .

c- Temps de concentration T_c

C'est le temps que met une particule d'eau, provenant de la partie la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. Dans le contexte algérien et pour les grands bassins versants, il peut être notamment calculé par l'ancienne formule de GIANDOTTI soit :

$$\boxed{T_c = \frac{4 \sqrt{s} + 1.5 L_p}{0.8 \sqrt{H_{\text{moy}}} - H_{\text{min}}}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Avec :

L_p : Longueur du talweg principal (Km) ;

S : Surface du bassin versant (Km^2) ;

T_c : temps de concentration exprimé en heure ;

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant (m) ;

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant (m).

d- Profil en long du cours d'eau principal

Ce profil est tracé à partir de la courbe topographique en tenant compte de l'altitude et de la longueur du cours d'eau, pour Oued Cheliff, le profil est donné par la figure 2.24 :

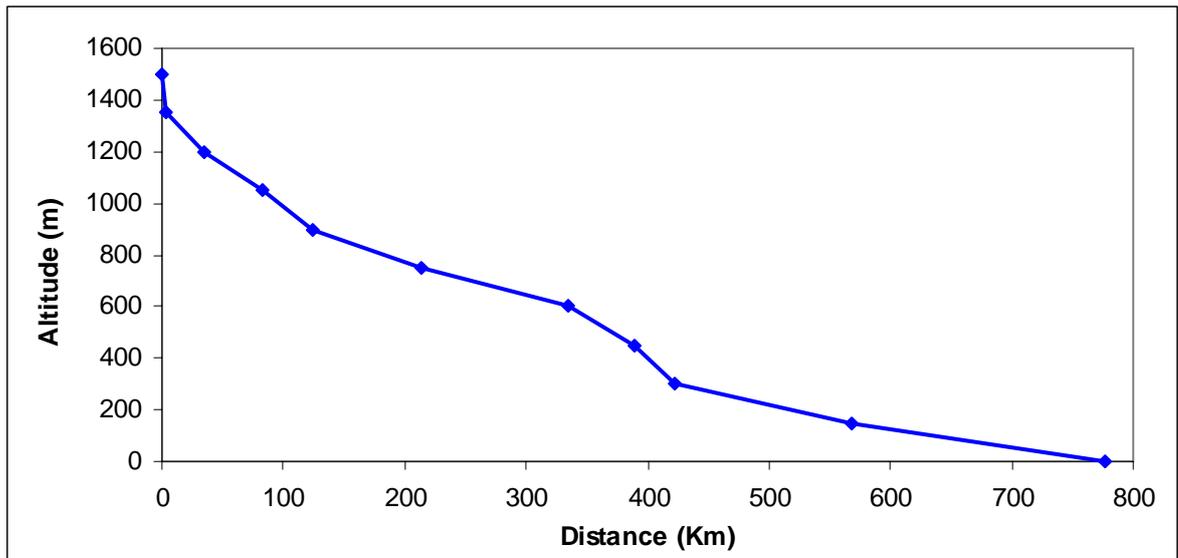


Figure 2.24 : Profil en long du cours d'eau principal (Oued Cheliff).

e- Pente moyenne du cours d'eau principal I_c

Elle exprime le rapport entre la dénivelée et la longueur comprise entre 2 points suffisamment éloignés sur le cours d'eau principal. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{I_c = \frac{\Delta H}{\Delta L}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Avec :

ΔH : Dénivelée entre 2 points suffisamment distants (m) ;

ΔL : Distance entre ces 2 points (Km).

Ainsi, tous les paramètres hydromorphométriques du bassin versant du Cheliff sont récapitulés dans le tableau 2.12 :

Tableau 2.12 : Paramètres hydromorphométriques du bassin versant du Cheliff.

	Paramètres	Symbole	Unité	BV du Cheliff
Caractéristiques de Forme	Superficie	S	Km ²	43750
	Périmètre	P	Km	1438
	Indice de compacité de Gravelius	K_c	-	1,925
	Longueur du rectangle équivalent	L	Km	646,2
	Largeur du rectangle équivalent	L	Km	72,8
Caractéristiques Topographiques	Altitude maximale	H_{max}	m	1983
	Altitude minimale	H_{min}	m	0
	Altitude moyenne	H_{moy}	m	760
	Altitude 5%	H_{5%}	m	1414,3
	Altitude 95%	H_{95%}	m	315,2
	Altitude 50%	H_{50%}	m	951,3
	Indice de pente globale	I_g	%	0,17
	Indice de pente de Roche	I_p	%	9,70
	Pente moyenne du bassin versant	I_m	%	48
Caractéristiques hydrographiques	Somme des longueurs des cours d'eau	$\sum_{i=1}^n L_i$	Km	26850
	Densité de drainage	D_d	Km/Km ²	0,62
	Nombre des cours d'eau d'ordre 1	N₁	-	4845
	Coefficient de torrentialité	C_t	-	0,068
	Longueur du cours d'eau principal	L_p	Km	778
	Pente moyenne du cours d'eau principal	I_c	%	2,23
	Temps de concentration (Giandotti)	T_c	Heure	89,56

2.4.9. Conclusion

La première partie de ce chapitre a été consacrée à la présentation du bassin versant du Cheliff du point de vue relief, géologique, lithologique, végétation et occupation du sol, ressources en eau superficielles et souterraines, réseau hydrographique, caractéristiques du climat ainsi que le bilan hydrique global, de ce fait le bassin versant du Cheliff est riche en ressources souterraines, il la doit aux formations géologiques favorables au stockage des eaux.

La deuxième partie du rapport concerne l'analyse statistique des informations hydrologiques. L'analyse détaillée des pluies annuelles du Cheliff nous montre que :

- les distributions statistiques dans notre région présentent un caractère nettement symétrique ;
- les ajustements montrent la variation spatiale des pluies en allant du Sud (où elles sont plus faibles) vers le Nord qui est relativement plus pluvieux ;
- les précipitations annuelles sont liées à l'altitude, la région la plus pluvieuse se situe dans les massifs de l'Ouarsenis.

L'analyse nous montre qu'en moyenne les pluies annuelles varient de 290 à 680 mm, les décennales humides de 390 à 890 mm et les décennales Sèches de 190 à 470 mm.

Les pluies moyennes mensuelles représentées par des graphiques traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle. En effet, les pluies mensuelles de la zone d'étude suivent une loi Log normale en saison humide et une loi racine normale en saison sèche. Les cinq (05) stations prises en considération dans la zone d'étude, font ressortir deux périodes distinctes, une saison sèche et une autre humide.

Le régime pluviométrique est marqué par un maximum en décembre - janvier et un minimum en Juillet-Août. Le déficit pluviométrique est très marqué en décennale sèche pour les mois de Juin, Juillet et Août.

Les débits moyens annuels enregistrés aux stations hydrométriques et les apports annuels s'ajustent suivant une loi de Galton (Log Normale). Le Cheliff connaît une variation saisonnière et interannuelle très irrégulière. L'écoulement est abondant de décembre en mars. Il est relativement faible les autres mois, provoqué le plus souvent par des orages localisés.

**L'apport annuel moyen du bassin est estimé à près de 937 Hm3
(à la station de Sidi Bel Attar).**

2.5. Hydrologie du bassin versant du Cheliff

Les précipitations et l'écoulement sont des facteurs importants en ce qui concerne l'érosion du sol. La quantité et l'intensité d'une pluie déterminent et influencent l'érosion linéaire et celle en surface du sol. L'intensité d'une averse donnée agit comme source d'énergie pour la séparation des particules du sol et l'écoulement comme moyen de leur transport.

2.5.1. Présentation des stations hydrométriques

Le bassin versant du Cheliff est muni de 28 stations hydrométriques, réparties entre des sites différents. Nous nous intéressons dans notre étude à celles où la donnée est disponible et où la période de fonctionnement est assez tolérable pour quantifier l'érosion au droit de ces stations, elles sont donc au nombre de 18. La présentation de ces stations est donnée par le tableau 2.13 et leur situation est donnée par la figure 2.25:

Tableau 2.13: Présentation des station hydrométriques du bassin versant du Cheliff [145] et [146].

N°	Code station	Nom Station	Oued	Nombre d'année	Période de fonctionnement
1	011407	Ghrib Amont	Cheliff	20	1976-1996
2	011501	Tamezguida	Harbil	7	1987-1994
3	011514	Djenane Ben Aouadah	Cheliff	15	1990-2005
4	011601	Marabout blanc	Deurdeur	14	1990-2004
5	011702	Arib Cheliff	Cheliff	36	1968-2004
6	011715	El-ababssa	Harreza	32	1973-2005
7	011801	Arib Abda	Abda	21	1974-1995
8	011905	Bir Ouled Tahar	Zeddine	15	1989-2004
9	012004	Tickezal CW54	Tickezal	13	1990-2003
10	012201	Larbaa Ouled fares	Ouarhane	20	1983-2003
11	012203	Pontéba Deffluent	Cheliff	28	1975-2003
12	012311	Ouled Ben Abk	Sly	18	1985-2003
13	012701	Djediouia RN4	Djediouia	28	1974-2002
14	013001	Kef Mahboula	Taht	30	1965-1995
15	013401	Sidi Abk Djillali	Haddad	30	1970-2000
16	013402	Oued El Abtal	Mina	31	1970-2000
17	013510	Relizane Amont	Mina	14	1972-1986
18	013602	Sidi Bel Attar	Cheliff	47	1957-2004

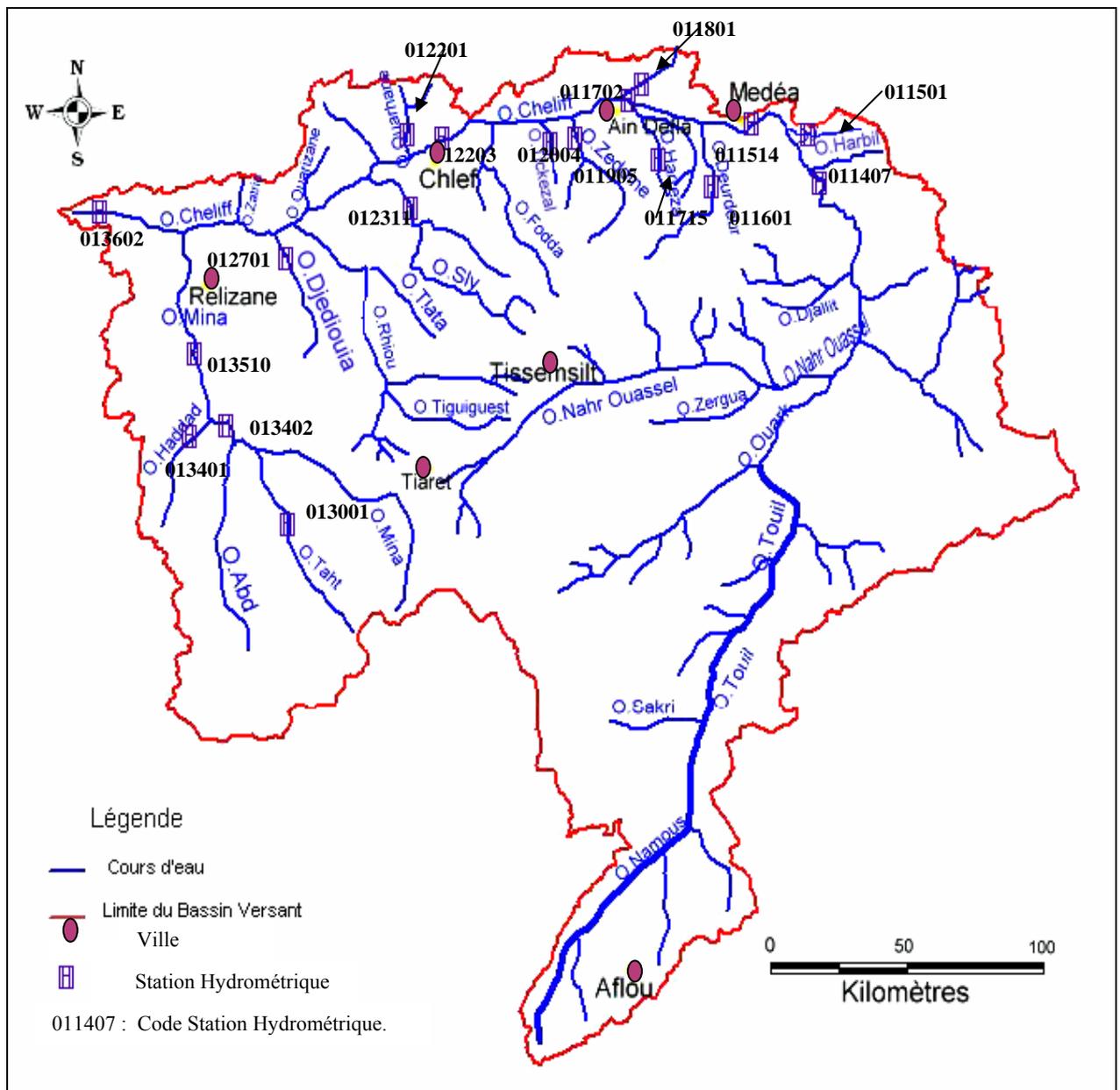


Figure 2.25 : Carte de situation des stations hydrométriques dans le BV du Cheliff.

La variabilité interannuelle du module moyen annuel (Mo) pour les 18 stations hydrométriques retenues dans le bassin versant du Cheliff est donnée par la figure 2.26 :

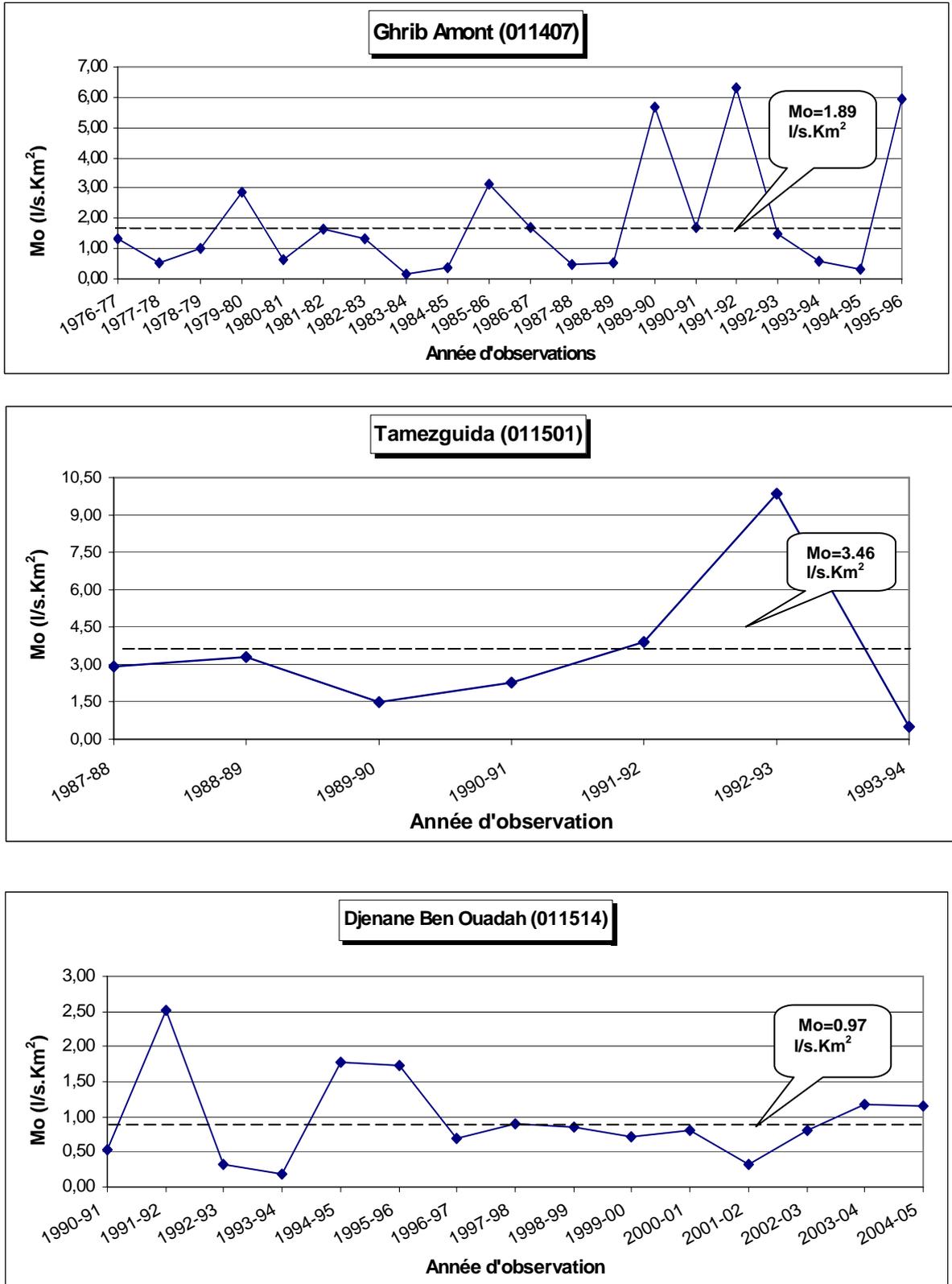


Figure 2.26 : Variabilité interannuelle du module moyen annuel (Mo).

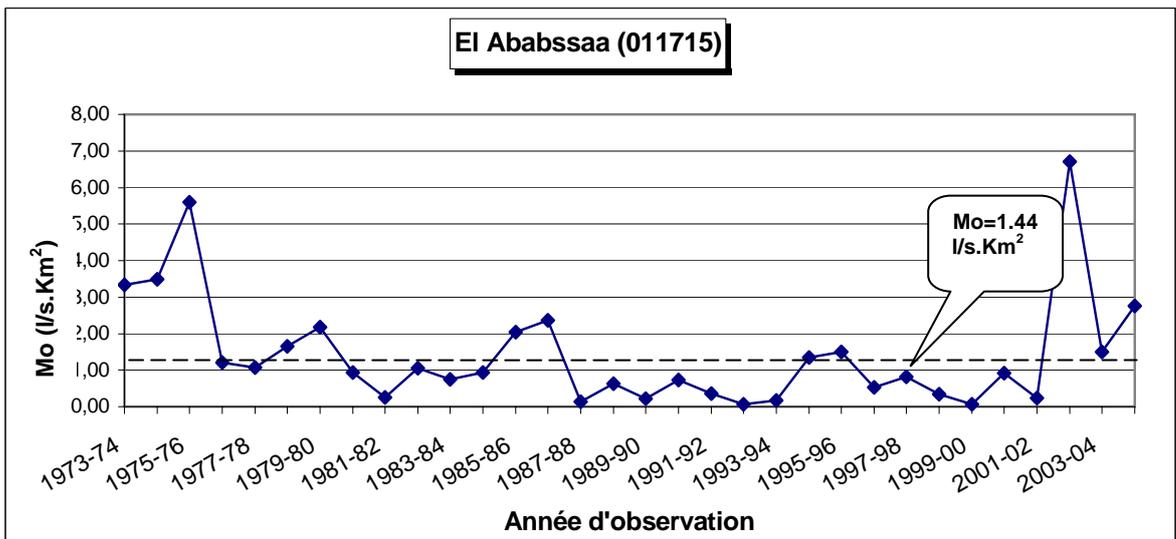
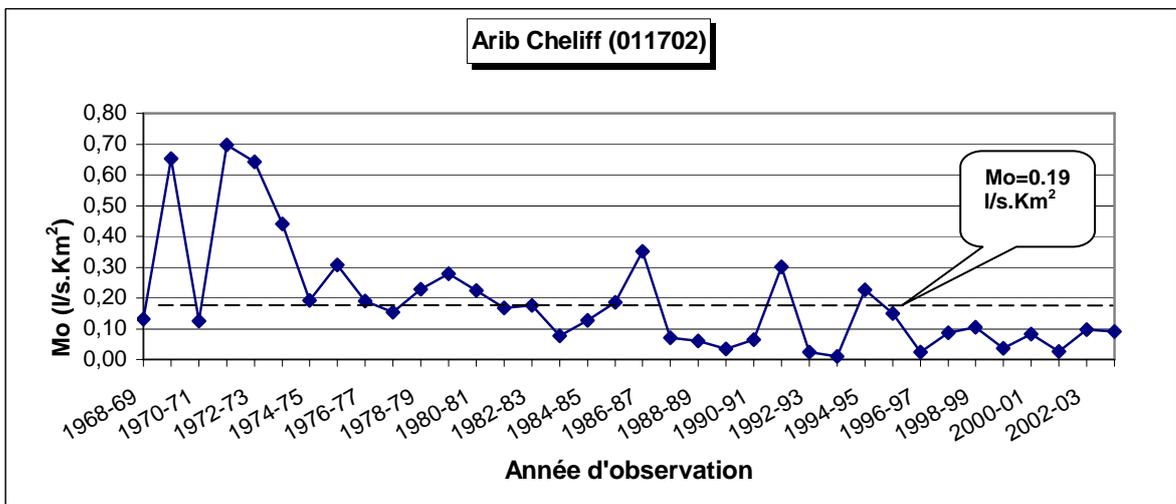
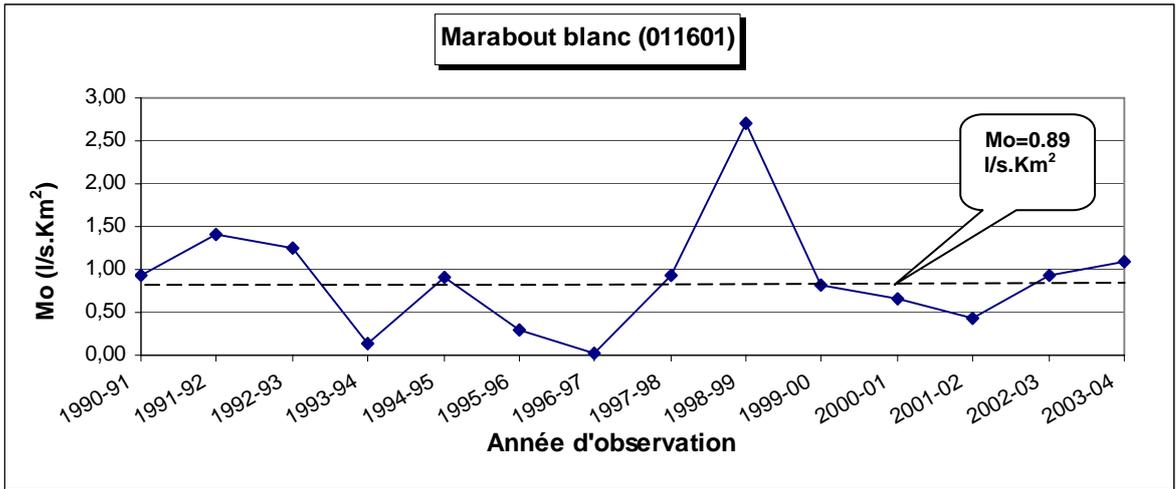


Figure 2.26 : Variabilité interannuelle du module moyen annuel (Mo) (suite).

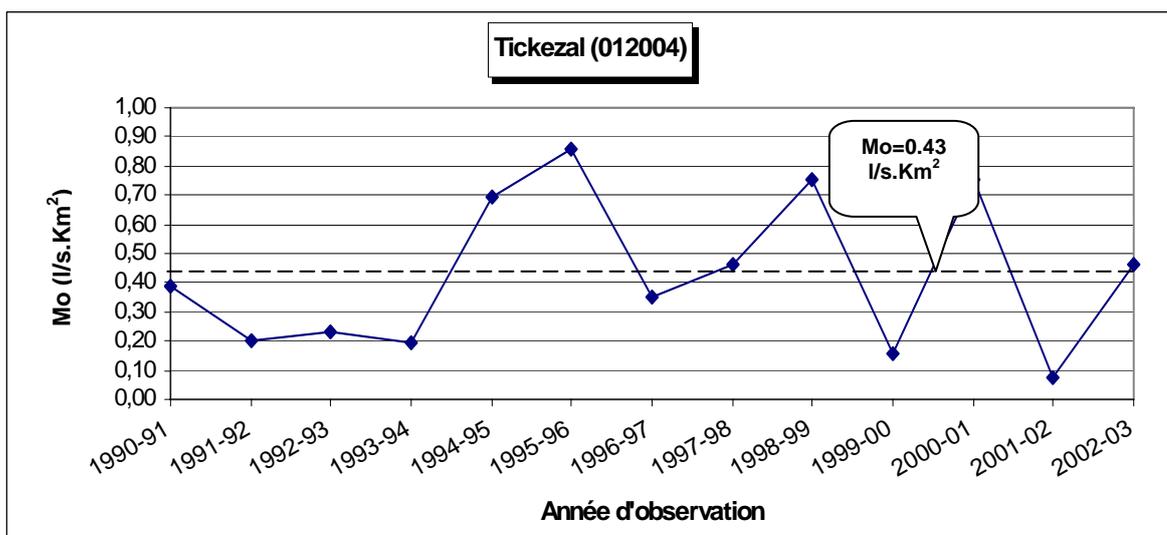
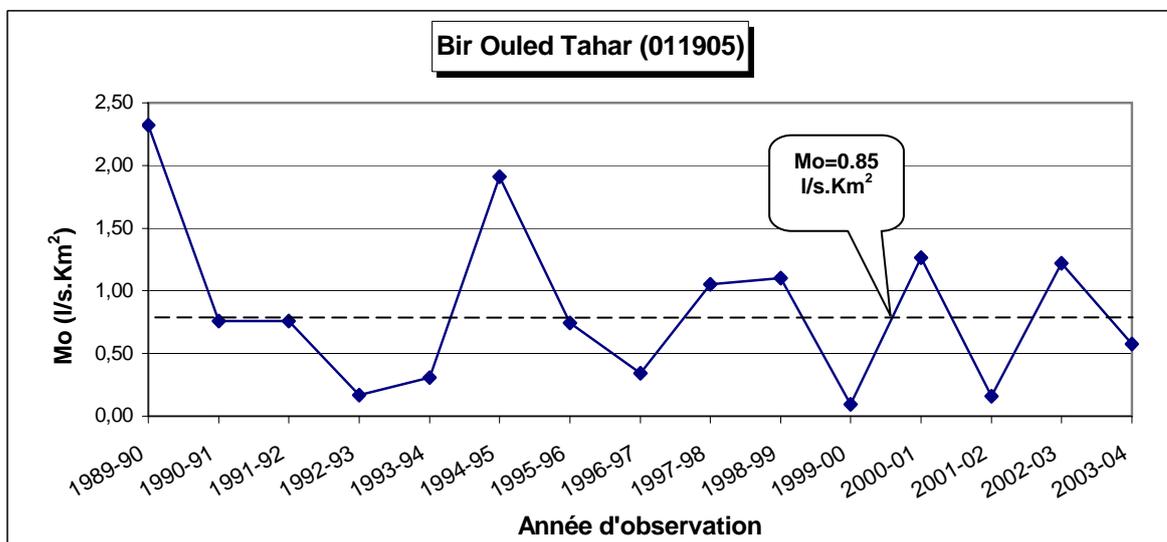
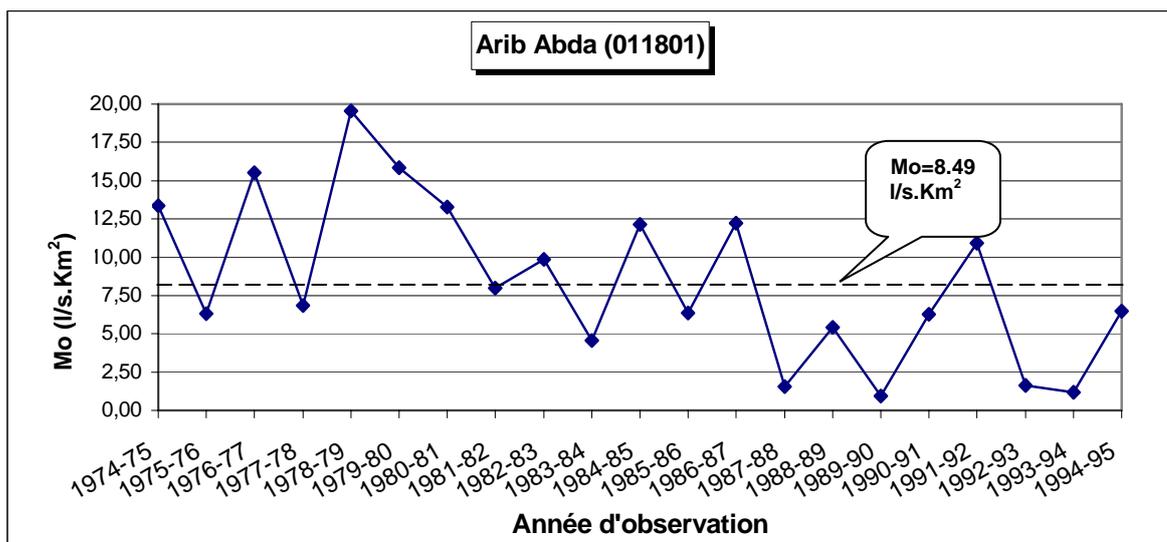


Figure 2.26 : Variabilité interannuelle du module moyen annuel (Mo) (suite).

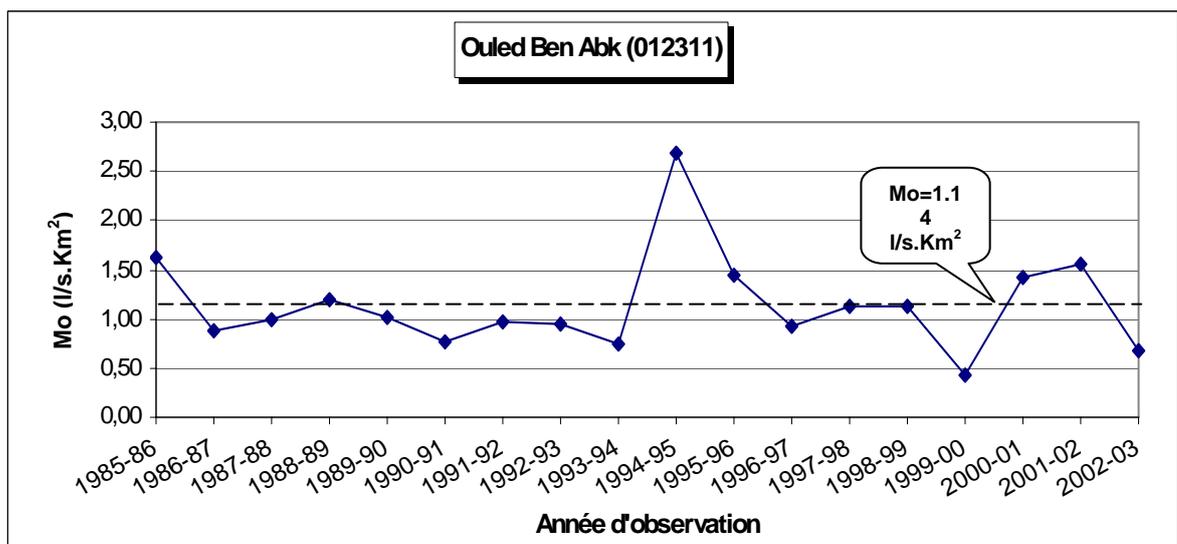
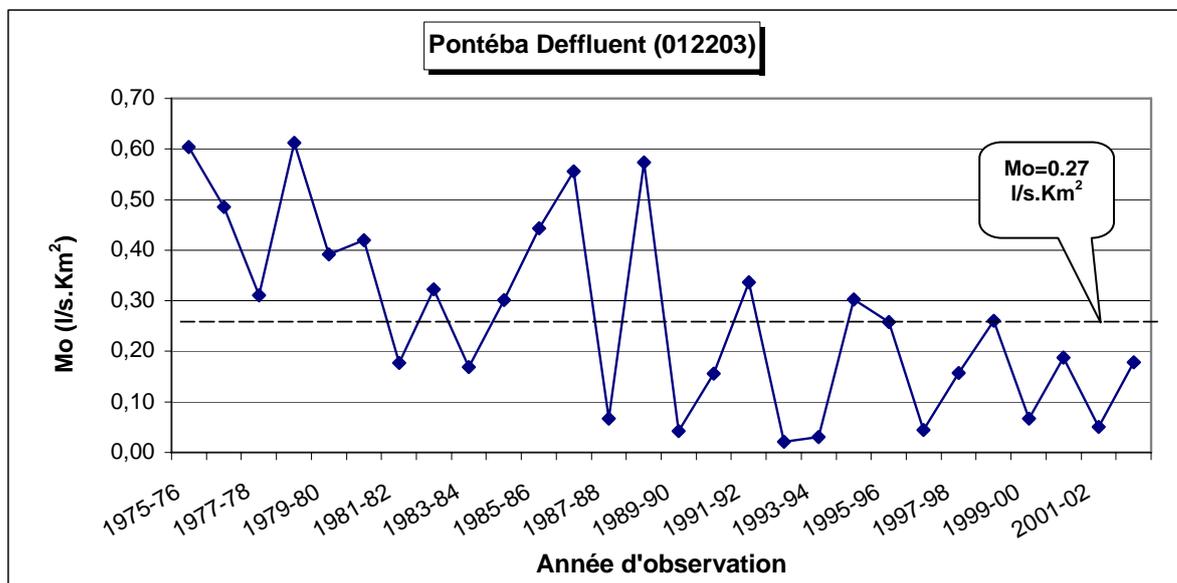
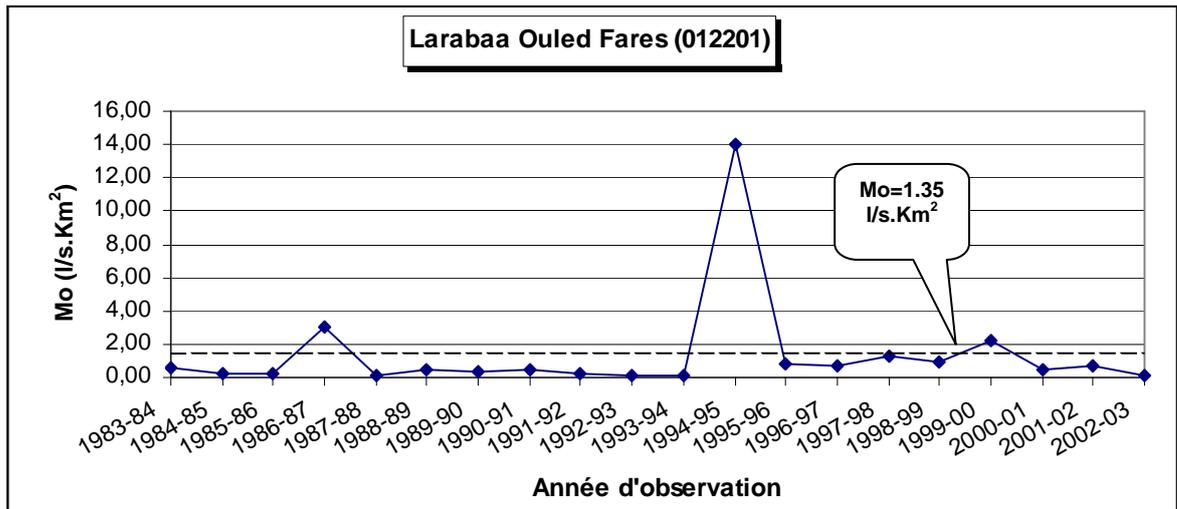


Figure 2.26 : Variabilité interannuelle du module moyen annuel (Mo) (suite).

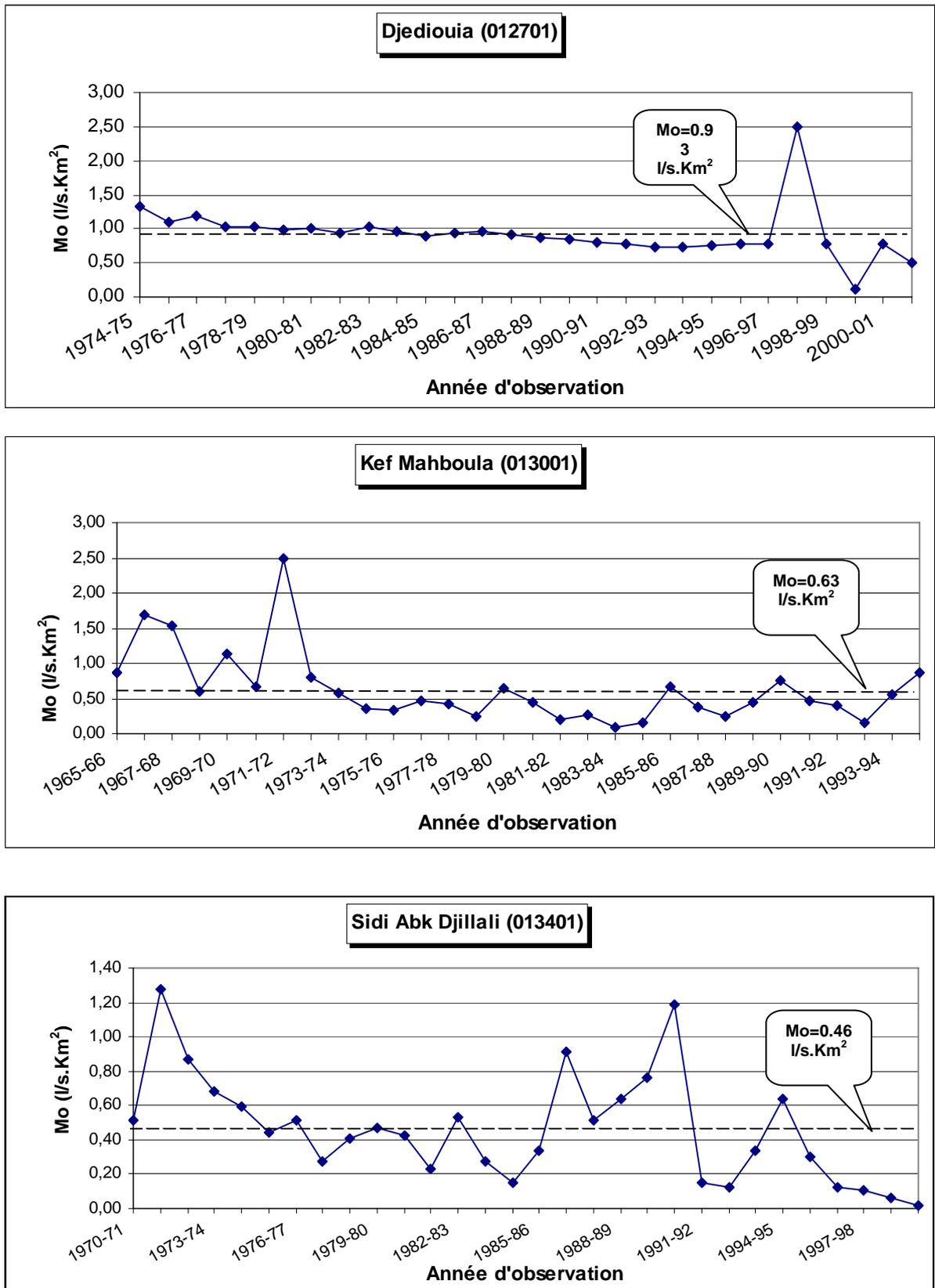


Figure 2.26 : Variabilité interannuelle du module moyen annuel (Mo) (suite).

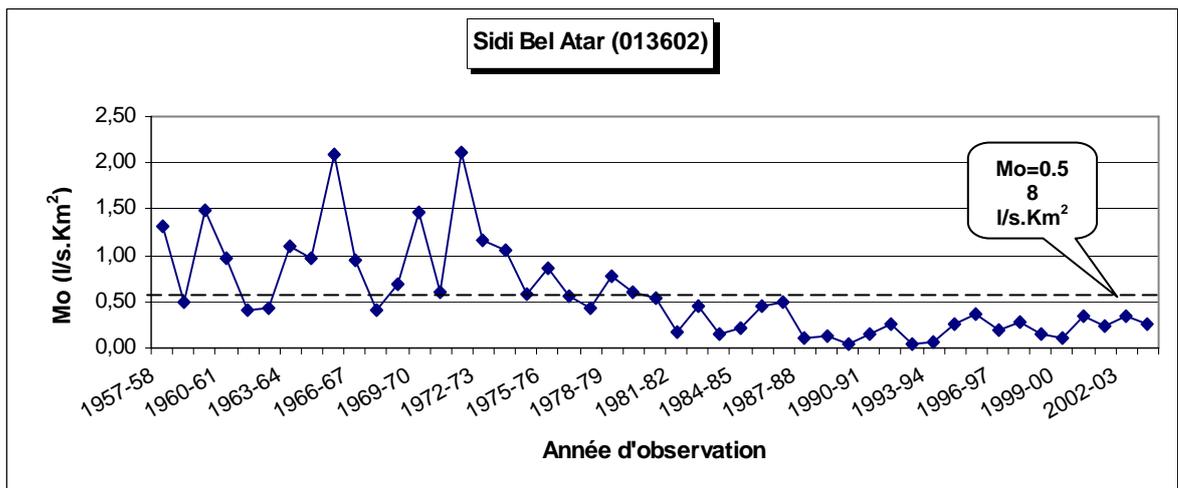
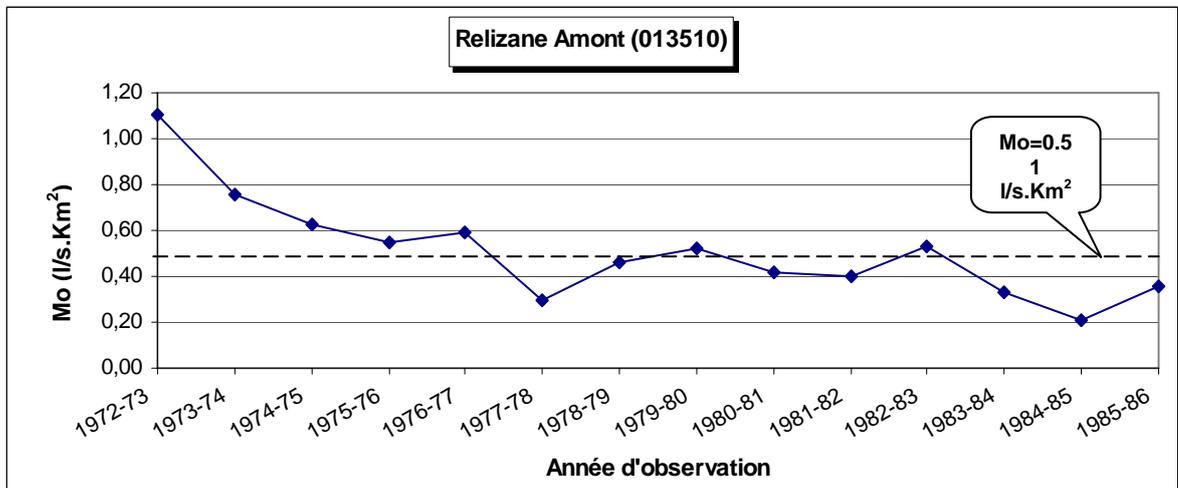
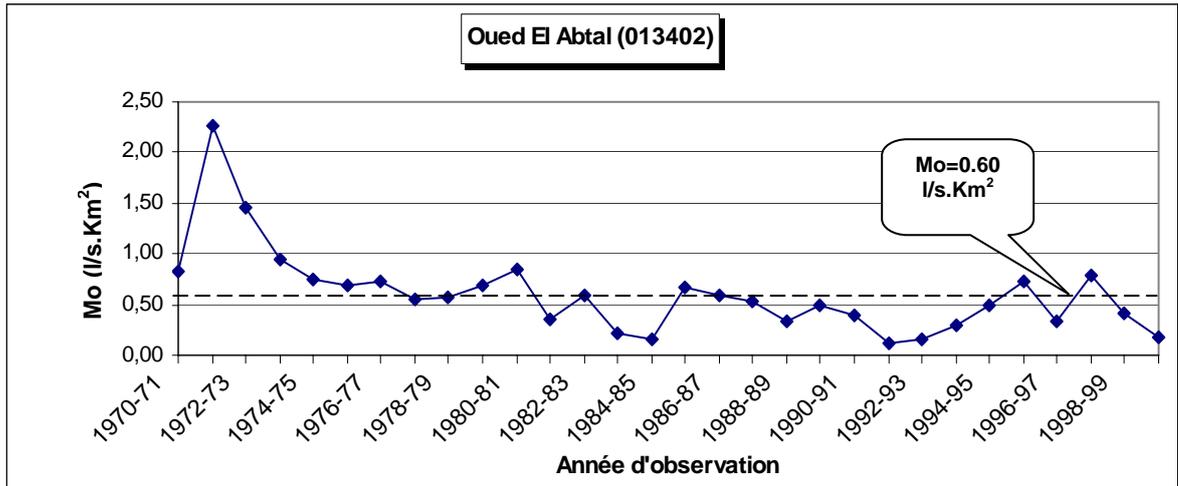


Figure 2.26 : Variabilité interannuelle du module moyen annuel (Mo) (suite et fin).

Pour une meilleure représentativité du coefficient d'écoulement sur toute l'étendue du bassin versant du Cheliff, une carte de régionalisation de ce dernier faite à partir des résultats de mesure des 18 stations hydrométriques du Cheliff et celles des bassins versants adjacents est nécessaire afin d'estimer ce coefficient aux bassins versants non jaugés qui sera utiliser par la suite pour élaborer notre abaque. La carte de régionalisation est donc donnée par la figure 2.27.

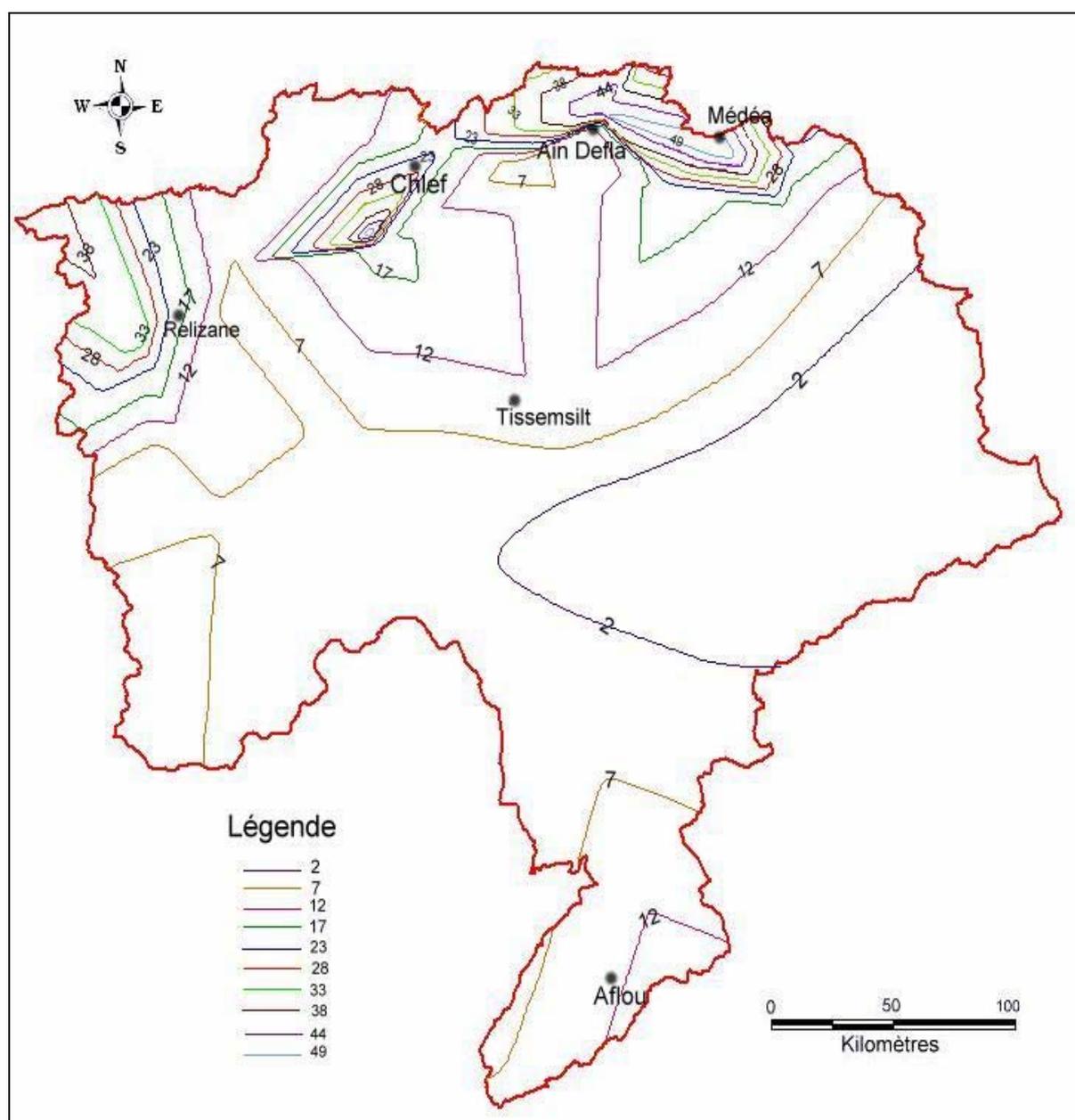


Figure 2.27 : Carte de régionalisation du Coefficient d'écoulement en % du bassin versant du Cheliff.

2.6. Conclusion

A l'issue de ce chapitre, nous pouvons conclure que :

➤ Les paramètres physiques montrent que le bassin versant du Cheliff présente une forme allongée dans l'ensemble ($Kc > 1.50$), un relief fort ($0.05 < I_g = \mathbf{0.17} < 0.5$), une pente moyenne élevée de l'ordre de 48%, une densité de drainage assez faible égale à **0.62 Km/Km²** en raison de son relief assez fort, un coefficient de torrencialité de **0.068** et un temps de concentration de **89.56 heures**.

➤ Selon l'étude géologique, nous avons pu individualiser les formations selon leur perméabilité. En fait, la majorité des formations du bassin ont, de part leur structure physique, une perméabilité assez bonne. Les réserves en eaux souterraines sont liées essentiellement aux nappes superficielles des formations plio - quaternaires et aux phénomènes karstiques des massifs calcaires du Jurassique, ainsi la région du Cheliff-Zahrez compte **42** nappes avec une potentialité de **330 Hm³/an**.

Par ailleurs, les terrains à dominante imperméable (roches marneuses ou argileuses) favorisent largement le ruissellement superficiel. Par contre, la présence notable de formations perméables (calcaires, dolomites ou alluvions etc.....) contribue, de près avec les facteurs morphologiques défavorables, à limiter les possibilités de l'écoulement de surface.

➤ Le climat de la région est de type semi-aride méditerranéen caractérisé par des régimes pluviométriques irréguliers dans le temps et dans l'espace (pluies d'hivers, sécheresse estivale) ainsi, pour l'ensemble du bassin, la température moyenne interannuelle est de **16.2 °C**. La température du mois le plus froid (Janvier) est de **7.6 °C**, tandis que celle du mois le plus chaud (Août) est de **26.2 °C**.

La variabilité est plus importante vers le Sud, en raison des conditions progressivement plus arides, les zones correspondant au Moyen Cheliff présentent les valeurs de température les plus élevées. Plus précisément, les régions les plus chaudes sont Ain Defla et Chelef, présentant toutes les deux une valeur similaire de température moyenne annuelle de **18.7 °C** et où on dépasse les **30°C** de température moyenne pendant les mois de Juillet et Août dans la région de Ain Defla.

➤ En ce qui concerne l'évaporation, les valeurs les plus fortes correspondent au mois de Juillet avec une valeur moyenne de **239 mm** pour toute la région, très proche de celle du mois d'Août où elle est de **216 mm**. Les minima sont enregistrées en Décembre

et en Janvier, avec respectivement **34** et **37 mm**. En général, avec des résultats qui convergent, la valeur déduite pour le bassin du Cheliff est de **295mm**.

➤ Pour l'ensemble du bassin, L'humidité en hiver varie de **69** à **78%** et en été de **38** à **48%**.

➤ La précipitation moyenne estimée pour le bassin versant du Cheliff est de **357 mm**. Les pluies oscillent entre des valeurs inférieures à **150 mm** au Sud et des valeurs proches de **700 mm** au secteur Nord-Est. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le secteur du Côtier et dans les points situés plus hauts en relation avec les masses d'air humides qui viennent du Nord.

➤ Actuellement, les ressources hydriques disponibles estimées dans la région hydrographique d'étude sont de **960 Hm³** dont **85%** est apporté par l'Oued Cheliff et dont **144 Hm³** correspondent au bassin versant de la Dahra, tandis qu'elle est estimée entre **30** et **60 Hm³/an** dans le bassin endoréique du Zahrez .

➤ L'écoulement superficiel subit évidemment l'influence du régime pluvial marin qui se caractérise par une saison pluvieuse et froide où on a une succession de crues considérables. L'irrégularité des apports est accrue par les facteurs physiques du bassin. Une saison sèche et chaude d'été très marquée et dont l'écoulement est non significatif ainsi, le coefficient d'écoulement varie de **4,56%** à la station de Sidi Bel Attar à **39,04%** à la station de Bir Ouled Tahar, cette variabilité est due à la différence des surfaces au droit des stations hydrométriques.

CHAPITRE 3

PRESENTATION ET MISE EN FORME DES DONNEES

3.1. Collecte et mise en forme des données

Une bonne connaissance de l'ampleur et du risque d'un phénomène naturel passe nécessairement par des dispositifs d'observation de terrain, de collecte et de traitement des données. DUBAND [147], affirme sans exagération qu'elle représente 30 à 50% du travail.

3.1.1. Collecte des données

Cette étape est très fastidieuse et très importante car la fiabilité de tout modèle est subordonnée à la qualité de l'information en notre possession.

La collecte des données brutes recueillies auprès des services de l'A.N.R.H [145] et [146] a constitué l'étape la plus longue et la plus délicate pour la mise en forme.

Ces données disponibles qui consistent à établir des fichiers de :

- débits liquides instantanés (m^3/s), à partir de la confrontation entre les hauteurs d'eau disponibles avec la courbe de tarage $Ql = f(H)$;
- concentration C (g/l) obtenue à partir des fichiers d'analyse des eaux ;
- débits solides instantanés Qs (Kg/s) ;
- débits moyens journaliers (m^3/s), à partir des annuaires hydrologiques et des fichiers des débits moyens journaliers de chaque station hydrométrique.

Il est essentiel de collecter un nombre suffisant de données fiables afin de rechercher un modèle en vu de le caler pour estimer correctement les apports solides. La détermination des transports solides en suspension est faite selon la méthode classique qui consiste à filtrer sur papier filtre les échantillons d'eau prélevés et à mesurer le poids des éléments en suspension par unité de volume (1 litre), après séchage à l'étuve et élimination des matière organique par calcination à une température de 110 °C.

L'échelonnement du prélèvement des échantillon s'effectue suivant des intervalles de temps variables en fonction de variations des débits. Les mesures de turbidité sont liées directement aux phénomènes hydrologiques ' variation des débits liquides ; étiages et crues'.

En période de crues, la fréquence des prélèvements est de plus en plus importante, par contre en période d'étiage, un ou deux prélèvements sont effectués au cours de la journée, généralement à 12h.

Les données d'observations sont mises sous forme d'un fichier contenant : la date, l'heure, la hauteur d'eau, la concentration, le débit liquide et le débit solide observé. Chaque fichier correspond à une station hydrométrique sur des périodes d'observations.

La masse de données à traiter est importante, pour chaque station, le nombre de valeurs de débits liquide jaugé et pour lequel la concentration en éléments fins est mesurée reste considérable suivant la période d'observation. Pour chaque station hydrométrique, le nombre des données mesurées de débits liquide et de concentration en éléments fins sont mentionnés dans les tableaux 3.1 à 3.18 :

Tableau 3.1 : Nombres d'observations à la station de Ghrib Amont.

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1989-90	22	*	14	*	10	*	4	4	8	5	2	1	70
1990-91	*	*	*	*	*	3	10	5	*	7	*	3	28
1991-92	5	*	*	6	*	10	5	11	37	14	4	5	97
1992-93	7	*	*	*	*	*	*	*	17	*	*	*	24
1993-94	17	6	17	*	*	*	*	*	*	*	*	*	40
1994-95	20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	20
Total	71	6	31	6	10	13	19	20	62	26	6	9	279

* : pas d'observations.

Tableau 3.2 : Nombres s'observations à la station de Tamezguida.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1989-90	*	*	*	*	*	*	2	6	5	1	5	6	25
1990-91	8	10	6	13	10	6	12	*	*	8	*	3	76
1991-92	3	22	1	*	16	*	*	2	*	4	*	3	51
1992-93	*	*	*	*	5	*	*	*	*	*	*	*	5
Total	11	32	7	13	31	6	14	8	5	13	5	12	157

* : pas d'observations.

Tableau 3.3 : Nombres d'observations à la station de Djenane Ben Ouadah.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1990-91	*	*	1	16	2	28	2	2	*	*	*	*	51
1991-92	*	54	*	*	34	*	6	18	8	*	*	*	120
1992-93	*	*	*	*	*	*	*	*	3	*	*	*	3
1993-94	2	*	*	*	15	7	*	*	*	*	*	*	24
1994-95	20	37	4	6	22	*	17	*	*	*	*	11	117
1995-96	*	17	4	7	4	32	23	15	2	8	6	1	119

1996-97	*	20	1	6	8	*	*	8	4	*	*	*	47
1997-98	17	22	28	21	*	12	*	13	29	*	*	6	148
1998-99	3	8	*	9	39	27	17	2	*	*	*	*	105
1999-00	8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8
2000-01	*	14	11	*	30	6	*	*	*	*	*	*	61
2001-02	5	26	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	31
2002-03	2	*	33	25	34	27	17	*	*	*	*	*	138
2003-04	4	23	16	39	13	5	5	1	*	*	*	*	106
2004-05	*	*	7	15	*	*	*	*	*	*	*	*	22
Total	61	221	105	144	201	144	87	59	46	8	6	18	1100

* : pas d'observations.

Tableau 3.4 : Nombres d'observations à la station de Marabout Blanc.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1990-91	*	*	*	6	1	4	13	*	*	*	9	8	41
1991-92	1	31	*	*	35	*	5	6	5	*	*	*	83
1992-93	*	*	*	1	*	*	*	1	3	*	*	*	5
1993-94	2	3	*	13	*	8	3	*	*	*	*	*	29
1994-95	24	48	13	7	33	*	32	*	*	*	*	*	157
1995-96	2	23	*	*	3	23	18	23	11	24	*	*	127
1996-97	7	5	*	*	4	7	*	16	7	*	*	*	46
1997-98	11	16	20	24	*	*	*	5	29	5	*	*	110
1998-99	5	2	*	*	15	19	32	*	*	*	*	*	73
1999-00	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
2000-01	*	*	*	4	22	3	*	*	*	*	*	*	29
2001-02	6	9	10	*	*	*	*	*	*	*	*	6	31
2002-03	3	3	28	20	19	37	5	9	3	*	*	*	127
2003-04	*	*	10	19	7	3	13	4	11	*	*	*	67
2004-05	5	1	8	4	*	*	*	*	*	*	*	*	18
Total	67	141	89	98	139	104	121	64	69	29	9	14	944

* : pas d'observations.

Tableau 3.5: Nombres d'observations à la station de Arib Cheliff.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1970-71	*	*	*	*	13	3	1	24	*	*	*	*	41
1971-72	3	*	20	40	11	9	3	2	1	*	*	*	89
1972-73	*	*	*	2	14	20	19	1	*	*	*	*	56
1973-74	*	*	1	6	3	25	35	40	*	*	*	*	110
1974-75	*	5	5	*	*	16	29	23	1	*	*	*	79
1975-76	*	*	11	11	3	54	18	1	6	*	3	*	107
1976-77	3	16	17	21	15	9	*	4	*	*	*	*	85
1977-78	*	2	2	8	30	10	43	42	*	*	*	*	137
1978-79	*	28	5	4	36	55	45	3	*	1	*	8	185
1979-80	20	20	11	4	46	3	35	2	4	*	*	23	168
1980-81	*	*	14	*	4	27	*	*	*	*	*	*	45
1981-82	*	*	*	7	13	25	2	*	*	*	*	*	47
1982-83	7	77	36	51	*	*	*	7	*	*	*	*	178

1983-84	*	*	20	6	4	15	6	*	*	*	*	*	51
1984-85	*	22	*	8	14	10	42	*	1	*	*	*	97
1985-86	*	*	*	*	8	42	55	*	*	*	*	*	105
1986-87	*	18	7	31	23	92	3	*	1	*	2	*	177
1987-88	*	10	4	*	*	*	2	*	1	*	*	*	17
1988-89	*	*	*	28	*	2	7	*	*	*	*	*	37
1989-90	*	*	*	*	*	*	1	2	*	*	8	*	11
1990-91	6	9	*	3	2	7	10	1	*	*	*	*	38
1991-92	*	65	12	*	32	7	12	21	6	*	*	*	155
1992-93	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*	*	*	2
1993-94	*	*	*	*	3	7	*	*	*	*	*	*	10
1994-95	24	16	11	14	8	*	14	*	1	*	*	*	88
1995-96	2	12	3	*	7	40	17	23	14	9	*	*	127
1996-97	*	*	*	*	3	*	*	4	3	*	*	*	10
1997-98	6	7	23	23	*	5	*	5	28	3	*	*	100
1998-99	*	*	*	*	21	24	27	*	*	*	*	*	72
1999-00	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4
2000-01	*	*	16	*	25	10	*	*	*	*	*	*	51
2001-02	*	8	*	*	*	2	*	*	*	*	*	*	10
2002-03	1	2	17	36	59	49	21	6	*	*	*	*	191
2003-04	6	6	9	38	29	3	9	3	11	*	*	1	115
2004-05	3	*	9	8	6	15	10	*	*	*	*	*	51
Total	85	323	253	349	432	586	466	214	80	13	13	32	2846

* : pas d'observations.

Tableau 3.6: Nombres d'observations à la station de El Ababssa.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1973-74	*	*	*	*	*	68	33	61	2	*	*	*	164
1974-75	18	8	7	*	1	11	23	23	*	*	*	*	91
1975-76	*	*	12	13	5	95	44	3	68	*	*	*	240
1976-77	14	142	24	26	35	29	17	43	1	*	*	*	331
1977-78	*	*	*	*	54	14	52	54	12	4	*	*	190
1978-79	*	79	12	*	19	17	55	4	4	14	*	*	204
1979-80	21	36	22	15	81	9	86	8	8	*	*	*	286
1980-81	*	*	*	64	*	35	10	32	*	*	*	*	141
1981-82	*	*	*	18	*	32	15	*	*	*	*	*	65
1982-83	26	51	55	27	5	*	3	*	*	*	*	*	167
1983-84	*	*	69	1	16	8	12	4	6	*	1	*	117
1984-85	*	25	26	9	12	10	11	*	41	*	1	*	135
1985-86	8	*	12	1	50	67	59	*	*	*	*	*	197
1986-87	*	69	9	13	43	83	*	*	*	*	14	*	231
1987-88	*	1	34	*	4	*	13	*	4	11	*	*	67
1988-89	*	29	*	64	*	33	35	11	*	4	14	*	190
1989-90	*	*	*	*	3	*	2	23	4	11	20	21	84
1990-91	46	30	15	31	8	10	39	1	3	13	*	*	196
1991-92	*	20	17	*	42	*	21	37	8	6	*	*	151
1992-93	10	10	4	2	*	*	1	21	7	*	*	*	55
1993-94	3	9	*	15	8	27	*	*	*	*	*	*	62

1994-95	47	48	*	16	24	1	21	*	*	*	*	*	157
1995-96	14	43	*	2	20	67	55	18	8	13	*	*	240
1996-97	10	15	*	*	4	21	*	2	10	*	*	17	79
1997-98	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1998-99	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1999-00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
2000-01	*	*	12	9	51	3	*	*	*	*	*	*	75
Total	217	615	330	326	485	640	607	345	186	76	50	38	3915

* : pas d'observations.

Tableau 3.7: Nombres d'observations à la station de Arib Abda.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1974-75	7	10	10	*	*	26	40	20	21	2	*	*	136
1975-76	*	*	*	*	5	44	7	5	17	*	*	5	83
1976-77	6	33	28	37	43	12	3	4	7	1	*	*	174
1977-78	*	*	16	*	34	*	32	30	2	*	*	*	114
1978-79	*	29	9	14	25	33	45	2	*	*	*	*	157
1979-80	6	20	16	14	31	7	36	5	2	*	*	*	137
1980-81	*	*	*	32	12	28	2	3	6	*	*	*	83
1981-82	*	*	*	6	38	29	5	*	1	*	*	*	79
1982-83	4	27	47	44	*	9	6	*	*	*	*	2	139
1983-84	*	*	17	19	20	27	15	2	7	3	*	*	110
1984-85	*	30	18	9	*	21	36	5	6	*	*	*	125
1985-86	3	3	8	5	21	49	31	*	*	5	*	*	125
1986-87	*	19	13	35	32	42	*	*	*	*	4	*	145
1987-88	2	2	13	12	7	*	9	2	10	5	*	*	62
1988-89	*	13	6	52	7	8	32	23	3	5	*	*	149
1989-90	7	2	5	2	17	*	3	29	21	4	7	*	97
1990-91	17	6	23	21	24	23	40	8	*	*	*	*	162
1991-92	*	*	*	*	51	*	31	25	23	*	*	*	130
1992-93	*	*	11	11	*	1	3	13	12	*	*	*	51
1993-94	*	*	*	9	22	35	*	*	*	*	*	*	66
1994-95	26	10	1	8	44	1	50	2	1	*	*	*	143
Total	78	204	241	330	433	395	426	178	139	25	11	7	2467

* : pas d'observations.

Tableau 3.8: Nombres d'observations à la station de Bir Ouled Tahar.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1990-91	25	13	14	30	16	24	57	34	8	3	6	1	231
1991-92	*	20	2	*	28	16	39	48	23	1	2	*	179
1992-93	8	22	22	10	*	8	4	22	10	*	*	2	108
1993-94	7	6	1	22	21	37	6	1	*	*	*	*	101
1994-95	46	52	18	*	46	12	40	8	6	4	*	2	234
1995-96	7	13	8	5	17	52	63	33	37	22	*	*	257
1996-97	15	14	*	*	21	4	*	23	21	*	*	*	98
1997-98	8	12	*	*	29	18	*	4	44	11	*	3	129
1998-99	6	9	4	3	30	36	68	30	3	11	*	*	200

1999-00	1	*	5	34	26	*	*	3	*	*	*	*	69
2000-01	*	1	*	*	21	26	15	22	8	*	*	*	93
Total	123	162	74	104	255	233	292	228	160	52	8	8	1699

* : pas d'observations.

Tableau 3.9: Nombres d'observations à la station de Tickezal.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1990-91	8	1	*	*	17	*	*	*	*	*	*	*	26
1991-92	*	*	*	*	12	*	10	21	6	*	*	*	49
1992-93	2	7	2	8	*	*	23	2	2	*	*	*	46
1993-94	5	6	2	4	7	16	*	*	*	*	*	*	40
1994-95	14	4	5	5	42	12	28	3	3	4	*	3	123
1995-96	14	5	12	8	14	38	31	*	*	10	*	*	132
1996-97	6	8	*	2	15	3	*	42	17	*	*	2	95
1997-98	17	*	61	*	21	30	9	8	30	*	*	*	176
1998-99	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1999-00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
2000-01	5	*	15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	20
Total	71	31	97	27	128	99	101	76	58	14	0	5	707

* : pas d'observations.

Tableau 3.10: Nombres d'observations à la station de Larbaa Ouled Fares.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1989-90	2	4	5	14	32	1	*	*	*	*	6	*	64
1990-91	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1991-92	*	*	*	*	*	*	3	15	10	*	*	*	28
1992-93	*	17	10	8	14	1	8	*	*	*	*	*	58
1993-94	*	*	*	*	15	*	*	*	*	*	*	*	15
1994-95	5	14	12	19	38	12	16	6	2	12	*	7	143
1995-96	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1996-97	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1997-98	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1998-99	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1999-00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
2000-01	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
2001-02	*	*	13	*	12	9	22	*	*	*	*	*	56
2002-03	*	*	13	2	5	*	*	*	*	*	*	*	20
Total	7	35	53	43	116	23	49	21	12	12	6	7	384

* : pas d'observations.

1980-81	*	*	*	*	*	*	*	6	*	*	*	*	6
1981-82	*	9	*	*	*	*	*	8	*	*	*	*	17
1982-83	*	8	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*	12
1983-84	*	*	2	9	*	7	5	*	5	4	*	*	32
1984-85	9	*	30	4	4	*	22	*	*	*	*	*	69
1985-86	6	12	18	*	41	78	65	8	*	4	*	4	236
1986-87	8	36	*	9	11	86	*	*	*	*	20	*	170
1987-88	4	38	21	2	44	4	4	3	2	3	*	*	125
1988-89	6	31	15	8	6	3	44	23	15	8	7	3	169
1989-90	18	*	4	*	58	*	*	9	67	*	*	1	157
1990-91	12	*	17	40	1	7	96	3	7	5	*	*	188
1991-92	*	15	*	*	6	5	28	37	6	*	*	2	99
1992-93	3	*	20	10	*	16	2	6	30	*	*	4	91
1993-94	34	21	7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	62
Total	108	185	156	92	197	233	313	157	150	31	27	24	1673

* : pas d'observations.

Tableau 3.15: Nombres d'observations à la station de Sidi Abk Djillali.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1970-71	1	1	*	5	2	2	3	*	19	*	*	*	33
1971-72	*	*	7	7	7	4	9	*	4	*	*	*	38
1972-73	2	17	4	*	3	6	3	3	3	1	*	2	44
1973-74	*	*	*	4	*	5	9	17	3	*	14	2	54
1974-75	11	1	3	*	*	3	7	3	1	*	*	*	29
1975-76	*	*	4	*	*	27	3	6	25	13	*	5	83
1976-77	7	21	*	*	5	*	2	1	7	6	*	*	49
1977-78	4	10	8	*	37	*	*	3	2	*	*	*	64
1978-79	*	24	2	4	19	21	23	17	*	*	*	*	110
1979-80	5	13	13	20	6	6	32	*	7	*	*	*	102
1980-81	5	*	*	49	15	12	5	*	*	*	*	*	86
1981-82	*	*	*	5	3	41	10	3	*	*	*	*	62
1982-83	6	22	53	18	*	*	2	*	*	*	*	*	101
1983-84	*	*	7	17	6	19	15	1	9	5	*	*	79
1984-85	*	*	22	14	9	*	6	*	20	*	*	*	71
1985-86	3	*	7	3	51	66	53	*	*	*	*	*	183
1986-87	7	53	6	15	21	58	6	*	*	*	17	*	183
1987-88	22	18	16	7	37	4	4	10	13	*	*	*	131
1988-89	3	14	10	4	*	5	38	5	*	*	*	6	85
1989-90	11	*	6	*	25	*	*	15	35	6	16	*	114
1990-91	9	*	23	8	*	11	50	1	3	4	*	*	109
1991-92	*	9	3	*	*	*	19	4	3	*	*	*	38
1992-93	*	*	11	13	*	5	*	9	10	*	*	*	48
1993-94	4	15	11	7	5	25	*	*	*	*	*	*	67
1994-95	12	21	10	3	7	8	16	*	*	*	*	*	77
1995-96	5	9	5	10	15	31	14	10	7	4	2	*	112
1996-97	*	1	*	1	5	*	*	8	*	*	*	3	18
1997-98	14	8	12	7	1	2	2	*	11	*	*	*	57
1998-99	*	4	2	2	8	2	31	*	3	*	*	*	52

1999-00	7	3	3	18	*	*	4	*	4	*	*	*	39
total	138	264	248	241	287	363	366	116	189	39	49	18	2318

* : pas d'observations.

Tableau 3.16: Nombres d'observations à la station de Oued Abtal.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1970-71	*	*	*	1	*	1	*	2	27	*	*	*	31
1971-72	*	*	6	6	7	6	8	7	2	*	*	*	42
1972-73	*	5	2	1	4	5	8	4	1	2	*	*	32
1973-74	*	*	*	*	3	10	9	24	5	3	*	*	54
1974-75	8	8	2	*	*	8	16	11	*	*	*	*	53
1975-76	2	*	*	*	*	46	9	*	12	*	*	12	81
1976-77	19	48	2	*	24	*	*	2	5	*	*	*	100
1977-78	2	6	20	*	23	3	3	26	16	*	*	*	99
1978-79	*	25	5	5	*	35	26	14	33	11	*	*	154
1979-80	24	52	25	16	2	*	28	3	13	*	*	*	163
1980-81	12	*	2	38	4	26	5	20	1	*	*	*	108
1981-82	*	2	*	4	2	29	4	24	3	2	*	*	70
1982-83	*	21	32	19	*	*	7	*	12	*	*	*	91
1983-84	*	*	10	9	8	15	11	*	17	5	1	*	76
1984-85	3	21	22	*	13	*	9	*	11	*	2	*	81
1985-86	20	34	7	1	40	42	39	3	11	*	10	*	207
1986-87	24	94	*	3	11	62	14	3	*	*	24	*	235
1987-88	18	35	30	15	27	4	3	3	7	16	*	*	158
1988-89	4	15	5	4	3	4	30	25	3	12	9	1	115
1989-90	24	*	*	*	31	*	*	6	62	*	3	6	132
1990-91	15	5	22	29	1	11	51	2	4	3	*	*	143
1991-92	2	25	4	*	*	*	18	15	2	*	*	8	74
1992-93	3	*	18	13	*	14	3	23	24	*	*	18	116
1993-94	31	19	21	14	11	28	*	*	*	*	4	7	135
1994-95	43	35	13	3	6	3	*	*	*	2	*	4	109
1995-96	7	26	*	13	15	39	26	14	17	14	17	*	188
1996-97	7	8	3	*	16	*	*	21	1	*	*	32	88
1997-98	30	37	31	13	5	8	8	*	29	2	*	*	163
1998-99	*	*	*	3	12	3	36	1	*	*	*	*	55
1999-00	8	20	4	17	*	11	*	*	*	*	*	*	61
total	306	541	286	228	268	413	371	253	318	72	70	88	3214

* : pas d'observations.

Tableau 3.17: Nombres d'observations à la station de Relizane Amont.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1976-77	47	27	7	3	7	*	3	1	9	3	3	5	115
1977-78	4	9	13	3	19	2	5	15	2	*	2	1	75
1978-79	*	31	4	7	18	25	37	8	3	*	1	*	134
1979-80	5	4	16	17	7	13	20	4	9	*	*	*	95
1980-81	3	*	2	21	13	16	9	8	*	*	*	*	72
1981-82	*	1	*	3	4	15	3	3	*	*	*	*	29

1982-83	*	12	16	14	*	*	9	*	*	*	*	*	51
1983-84	*	*	9	13	4	12	8	4	1	3	2	4	60
1984-85	*	1	12	5	15	2	5	*	8	*	5	*	53
1985-86	1	*	4	3	*	3	*	*	*	*	*	*	11
Total	60	85	83	89	87	88	99	43	32	6	13	10	695

* : pas d'observations.

Tableau 3.18: Nombres d'observations à la station de Sidi Bel Attar.

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
1969-70	*	*	30	25	17	*	*	*	*	9	*	*	81
1970-71	*	*	*	*	44	34	*	15	*	*	2	*	95
1971-72	7	12	14	17	24	16	17	6	16	10	1	*	140
1972-73	5	28	14	14	31	37	32	21	9	6	*	*	197
1973-74	*	12	1	18	15	19	39	33	23	6	*	2	168
1974-75	14	23	20	*	1	12	31	28	12	1	*	*	142
1975-76	8	*	33	28	11	66	31	25	31	15	3	2	253
1976-77	22	58	30	31	29	25	5	7	8	7	*	*	222
1977-78	3	4	16	25	44	30	31	45	8	*	*	*	206
1978-79	*	53	11	34	41	49	50	30	4	3	*	*	275
1979-80	13	25	30	37	41	29	38	10	19	*	*	*	242
1980-81	*	*	8	40	29	32	12	14	2	*	*	*	137
1981-82	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
1982-83	8	16	42	34	7	15	7	*	*	*	*	*	129
1983-84	*	*	18	21	30	31	30	2	24	15	*	*	171
1984-85	*	15	32	8	37	23	53	11	27	*	*	*	206
1985-86	11	17	29	23	49	57	42	15	*	*	*	*	243
1986-87	3	59	15	39	33	52	15	*	*	*	5	*	221
1987-88	*	24	*	15	51	*	12	4	17	6	*	*	129
1988-89	*	15	5	39	*	3	28	31	15	13	*	*	149
1989-90	31	*	3	14	39	3	6	40	38	*	8	3	185
1990-91	15	8	32	34	26	36	37	19	7	*	*	*	214
1991-92	*	52	18	*	16	20	24	40	12	*	7	*	189
1992-93	8	10	21	16	6	6	25	23	17	*	*	*	132
1993-94	5	20	24	15	26	29	*	9	*	*	*	*	128
1994-95	20	70	35	21	64	6	63	7	7	*	3	7	303
1995-96	12	39	17	20	42	59	62	26	35	16	11	*	339
1996-97	21	20	3	21	42	9	*	26	*	*	*	*	142
1997-98	24	32	61	*	*	*	*	*	*	*	*	*	117
1998-99	*	*	*	*	9	32	54	17	4	*	*	*	116
1999-00	5	19	18	50	17	*	7	4	4	*	*	*	124
2000-01	9	53	40	11	48	36	13	10	11	*	*	*	231
2001-02	11	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	17
Total	255	690	620	650	869	766	764	518	350	107	40	14	5643

*: pas d'observations.

3.1.2. Mise en forme et traitement des données

L'homogénéisation des données consiste à déterminer des relations régressives entre deux variables mesurés, permettant ainsi de combler les lacunes et d'étendre les séries à partir de celles de données existantes. Avant la recherche d'un modèle régressif quelconque, les données sont mises en graphe, l'allure de ce dernier peut justifier l'existence d'une relation mathématique et orienter le choix du modèle. Cinq modèles régressifs sont utilisés : le modèle linéaire ; logarithmique ; parabolique ; puissance et exponentiel. Le choix du meilleur modèle est fait au vu des valeurs du coefficient de détermination R^2 .

Pour homogénéiser les séries du transport solide en suspension, plusieurs approches de traitement peuvent être tentées dont le but est de trouver un modèle mathématique pouvant expliquer la relation débit liquide- débit solide à savoir :

- échelle interannuelle ;
- échelle annuelle ;
- échelle mensuelles ;
- échelle saisonnière ;
- période humide et période sèche ;
- années humides et années sèches ;
- échelle journalière ;
- échelle instantanée.

Cependant, l'approche basée sur l'homogénéisation et l'extension des données à partir des données des hauteurs d'eau instantanées convertis en débits liquides en utilisant la relation débit solide – débit liquide développée à l'échelle mensuelle paraît meilleure que les autres approches proposées [130]. Cette variation est liée essentiellement au nombre de mesures du transport solide effectuées dans l'année considérée.

Donc, l'approche liée à l'échelle mensuelle sera utilisée le long de notre calcul afin de quantifier le débit solide en suspension et cela pour les 18 stations hydrométriques choisies dans la zone d'étude.

La série chronologique du débit solide instantané (Kg/s) fournit des données utiles sur le comportement des Oueds. Comme la concentration des matières en suspension totales est en partie liée au débit, le flux augmente parallèlement à l'accroissement du débit. La quantité de sédiments (solides) transportés (la charge) peut varier à différentes échelles durant l'année, ainsi cette variation est présentée par les hydrogrammes et turbidigrammes de Oued Cheliff et de ses affluents aux différentes stations hydrométriques prisent en compte pour l'étude dans les figures 3.1 à 3.18.

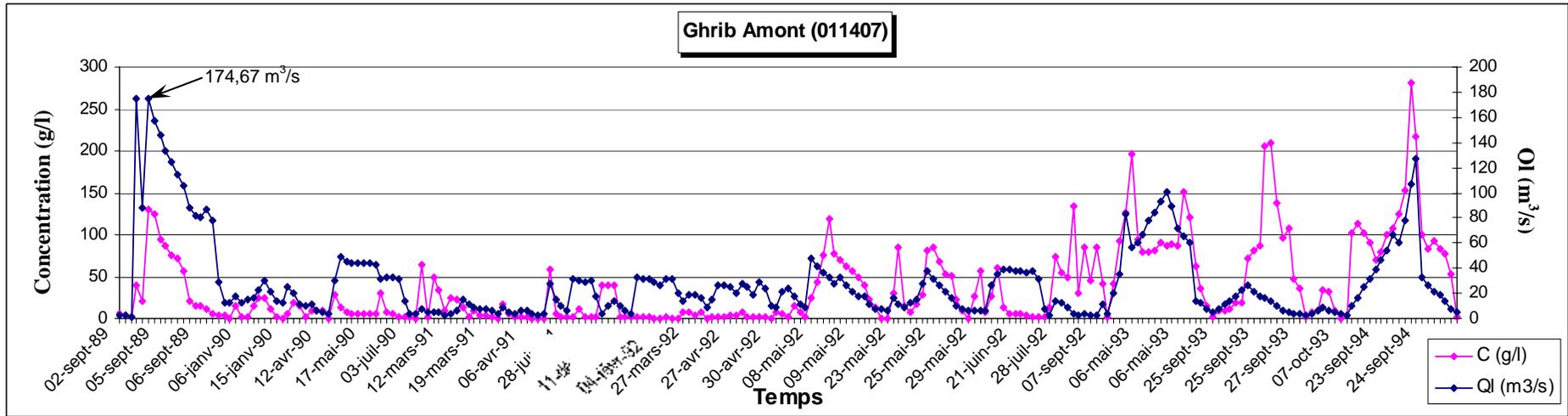


Figure 3.1 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Ghrif Amont.

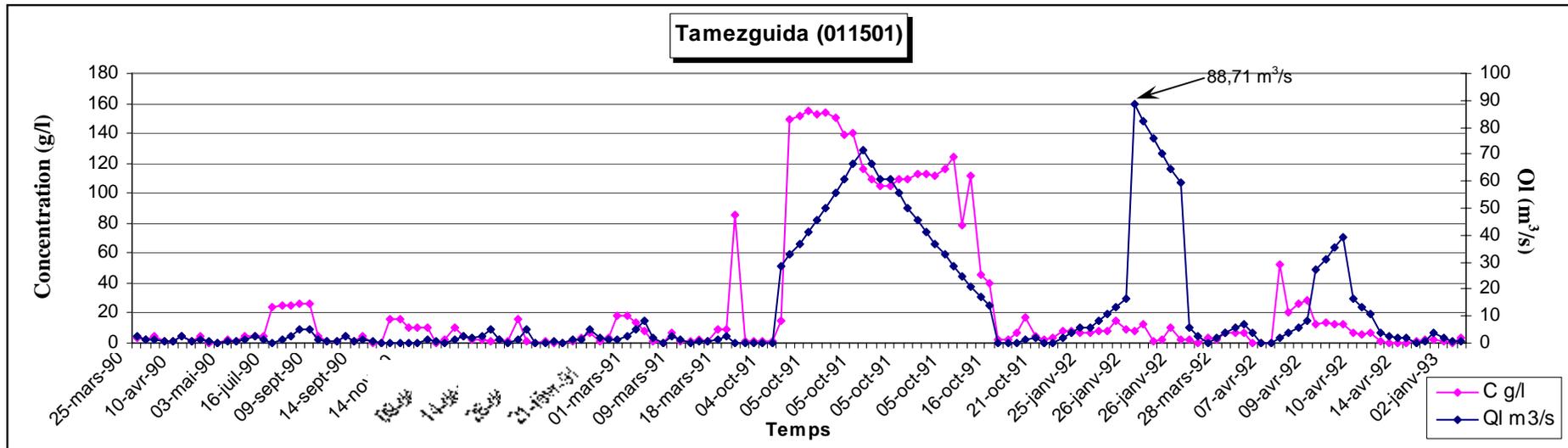


Figure 3.2 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Harbil à la station de Tamezguida.

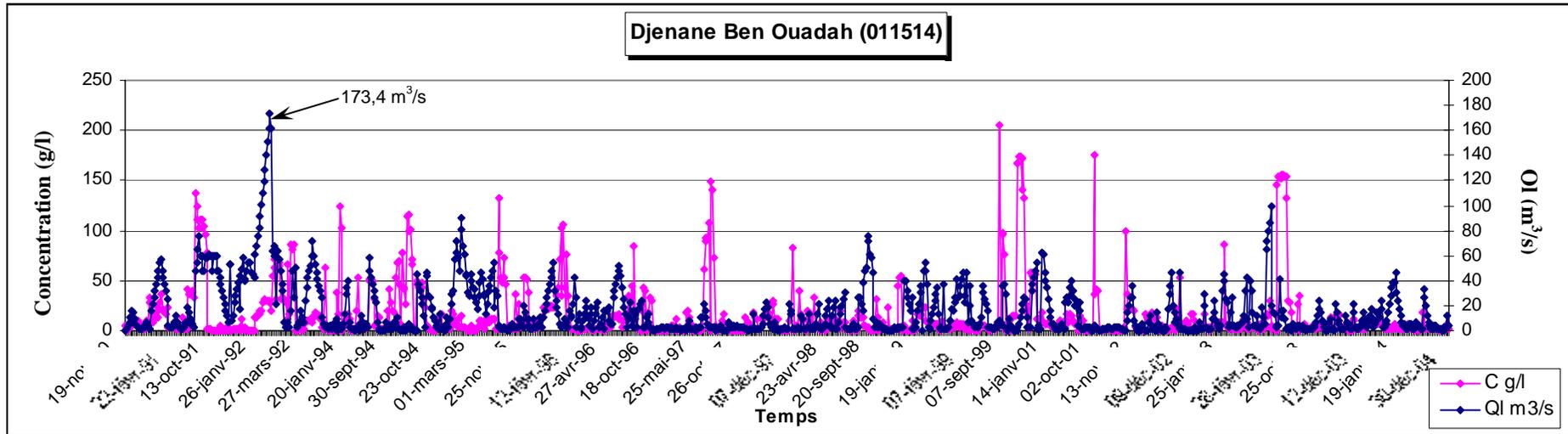


Figure 3.3 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Djenane Ben Ouadah.

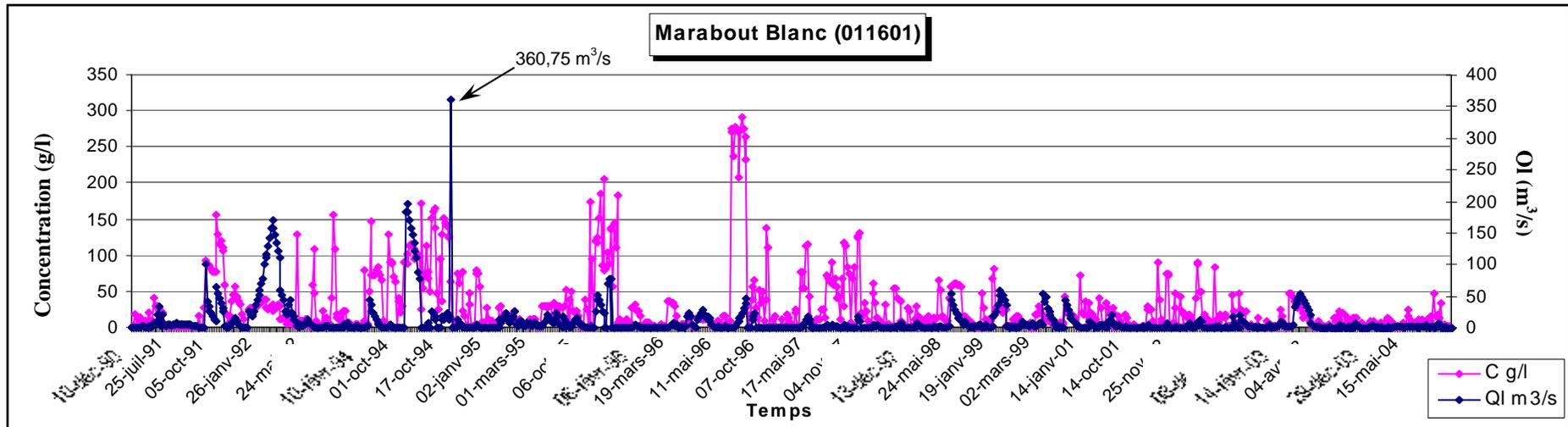


Figure 3.4 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Deurdeur à la station de Marabout blanc.

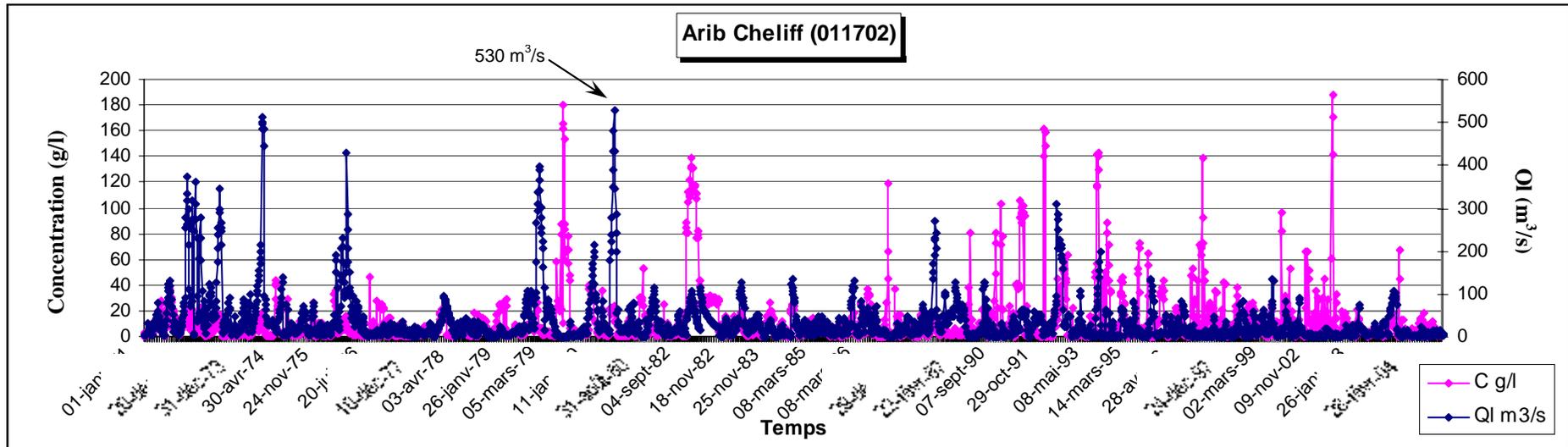


Figure 3.5 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Arib Cheliff.

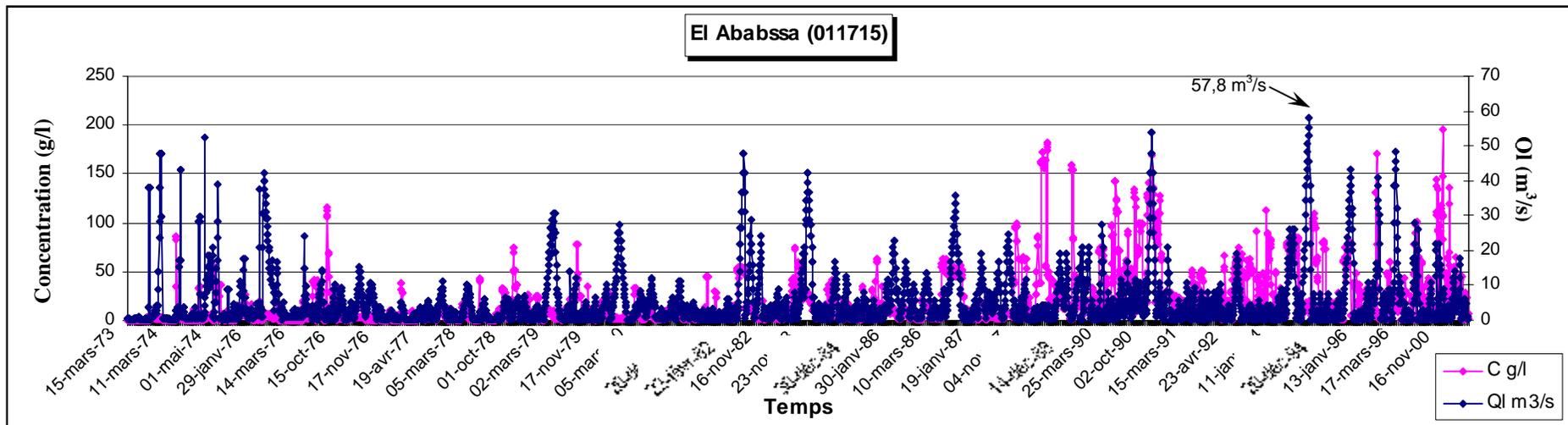


Figure 3.6 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Harreza à la station d'El Ababssa.

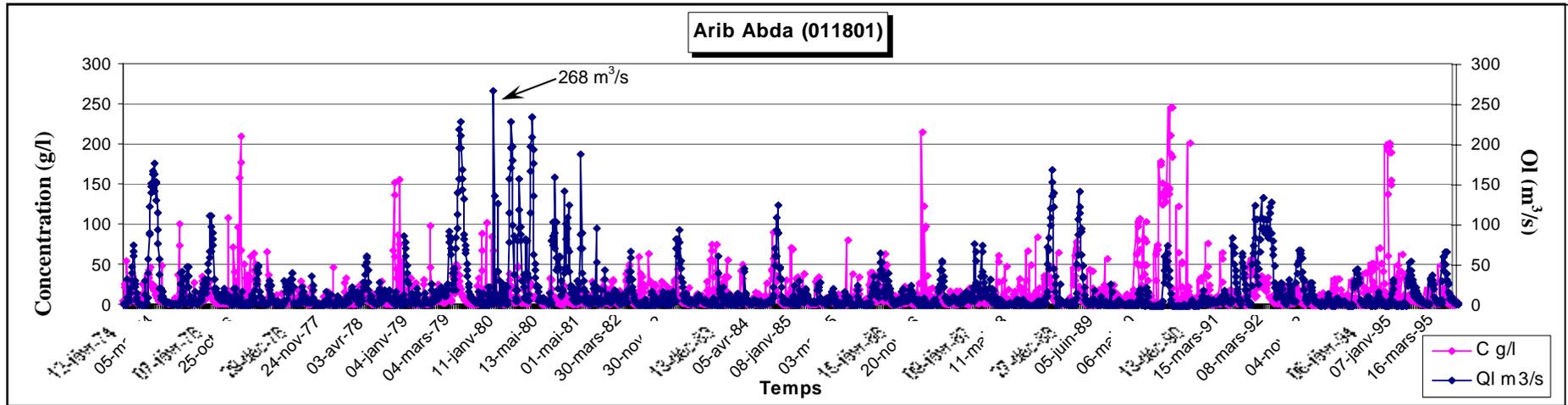


Figure 3.7 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Abda à la station de Arib Abda.

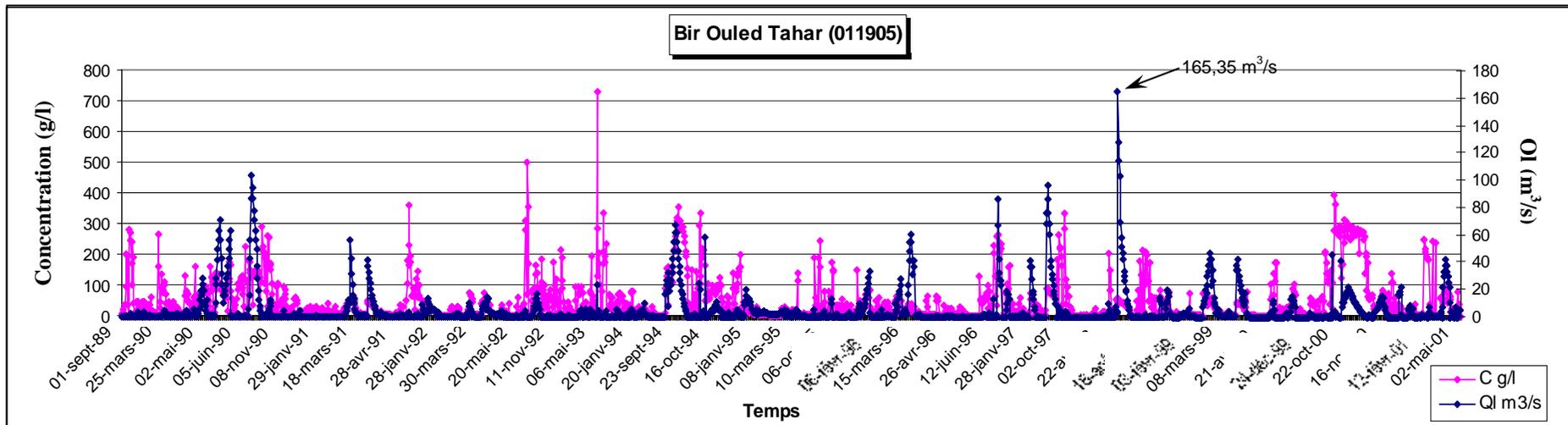


Figure 3.8 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Zeddine à la station de Bir Ouled Tahar.

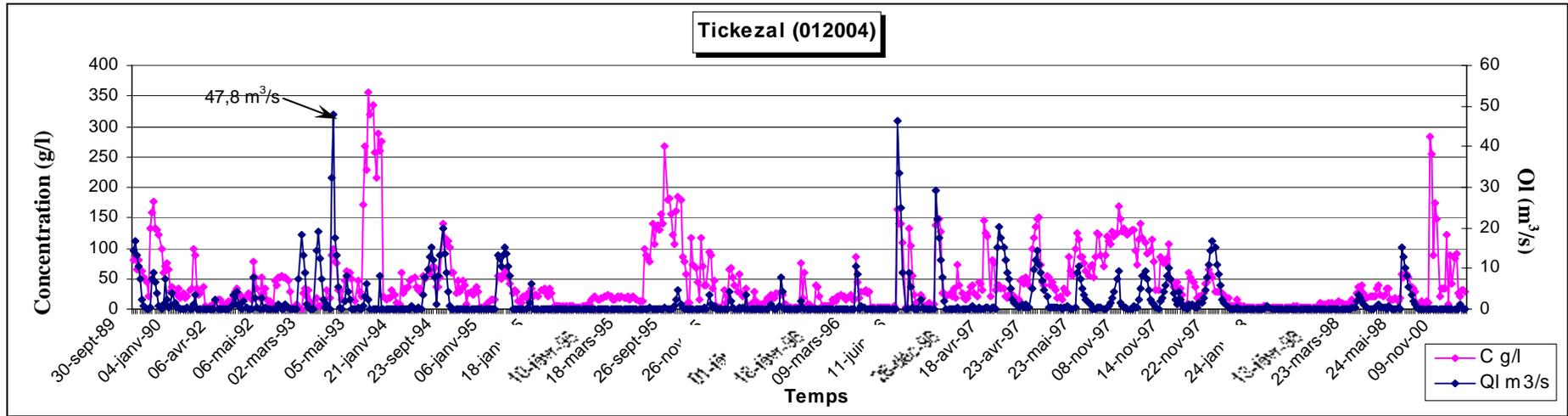


Figure 3.9 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Tickezal à la station de Tickezal.

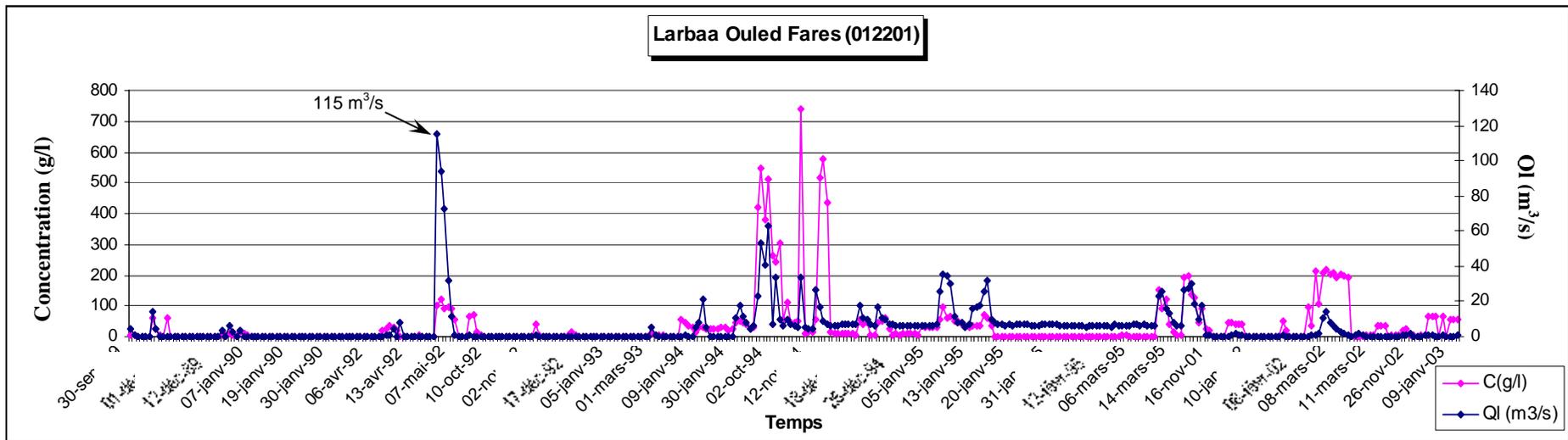


Figure 3.10 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Ouarhane à la station de Larbaa Ouled Fares.

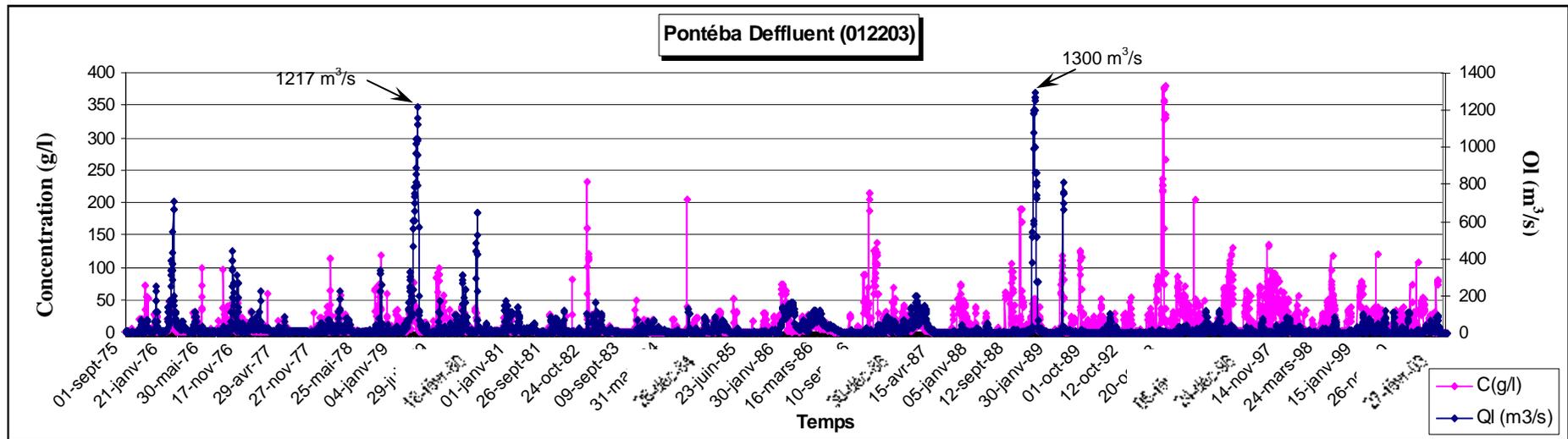


Figure 3.11 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Pontéba Deffluent.

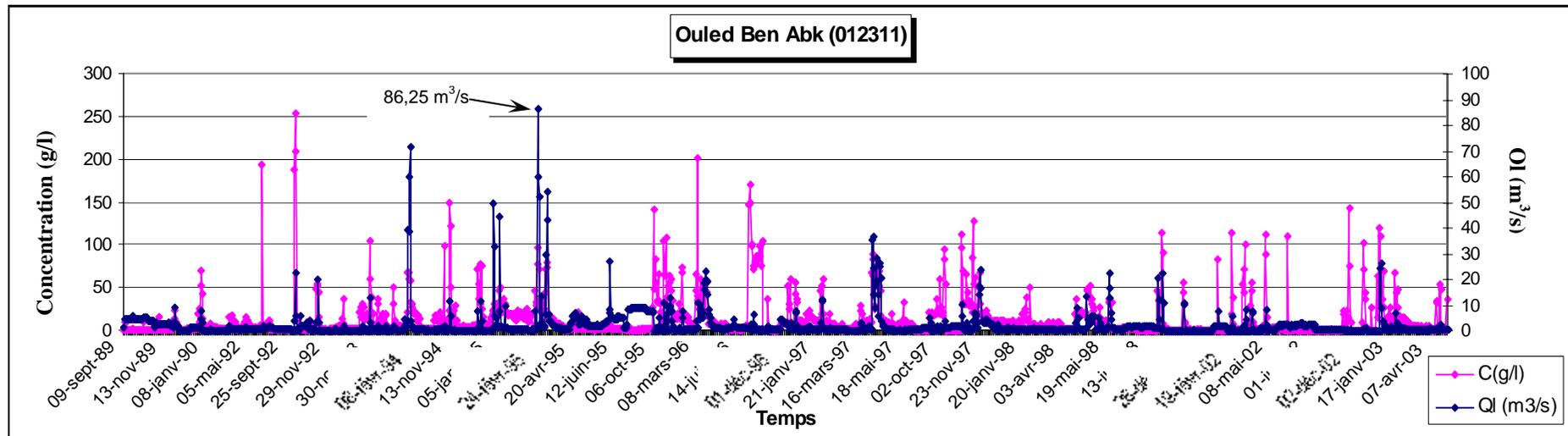


Figure 3.12 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Sly à la station de Ouled Ben Abk.

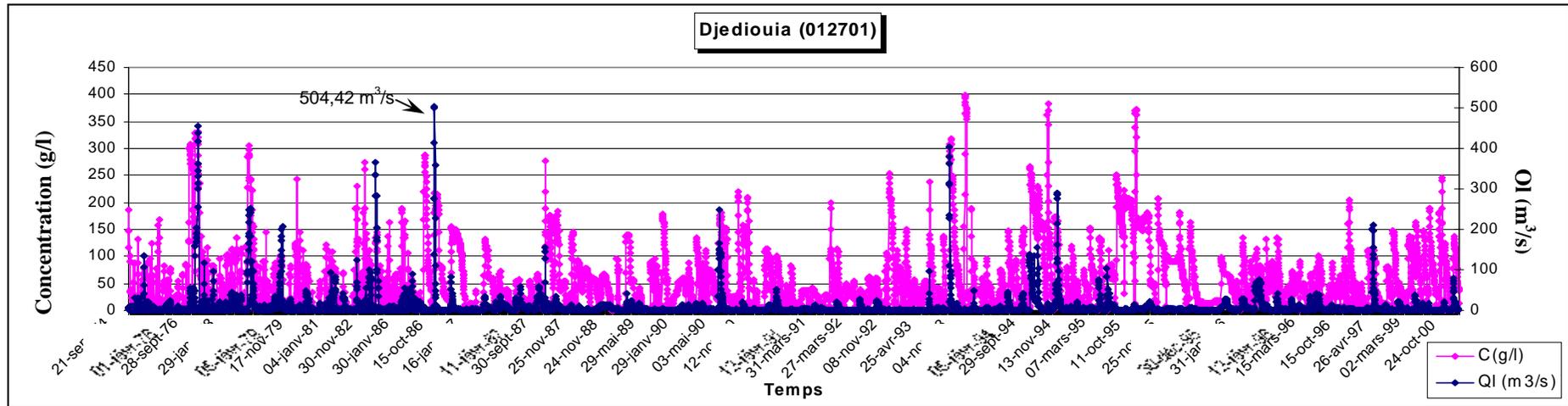


Figure 3.13 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Djediouia à la station de Djediouia.

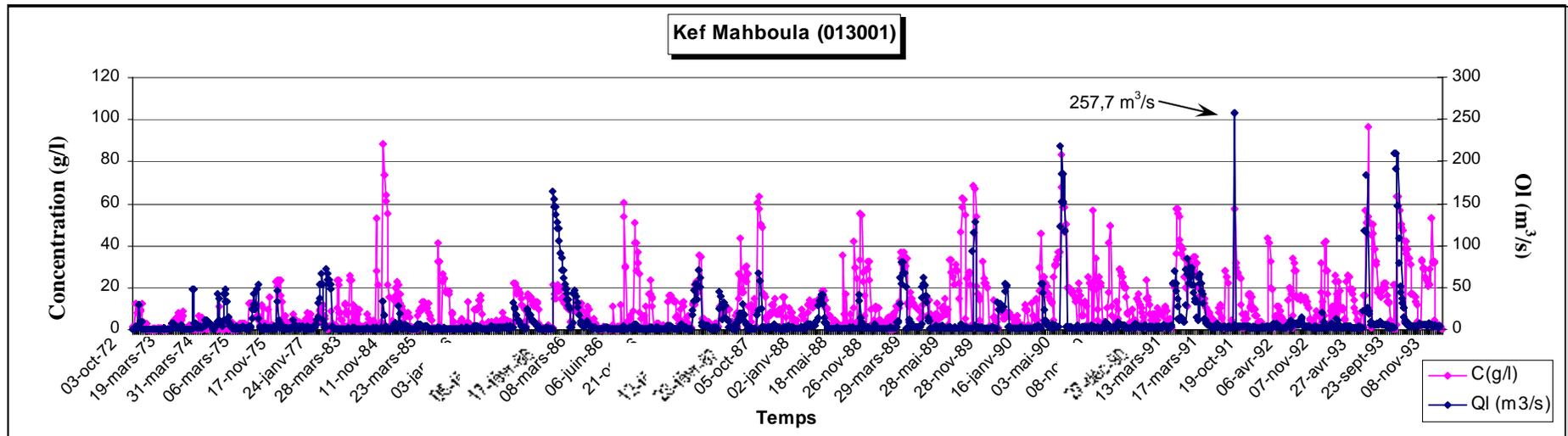


Figure 3.14 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Taht à la station de Kef Mahboula.

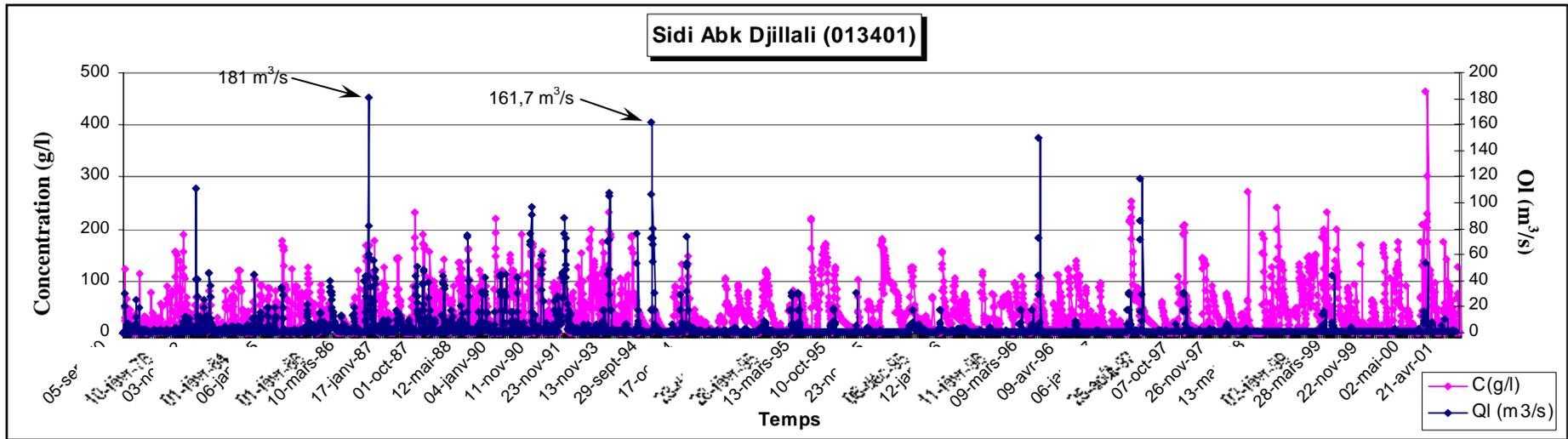


Figure 3.15 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Haddad à la station de Sidi Abk Djillali.

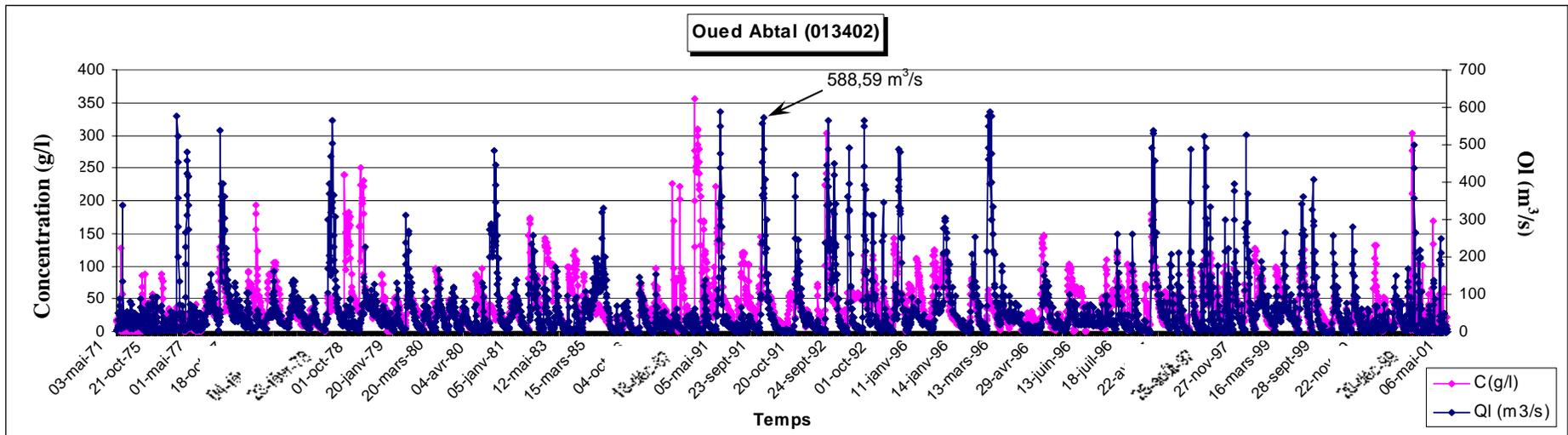


Figure 3.16 : Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Mina à la station de Oued Abtal.

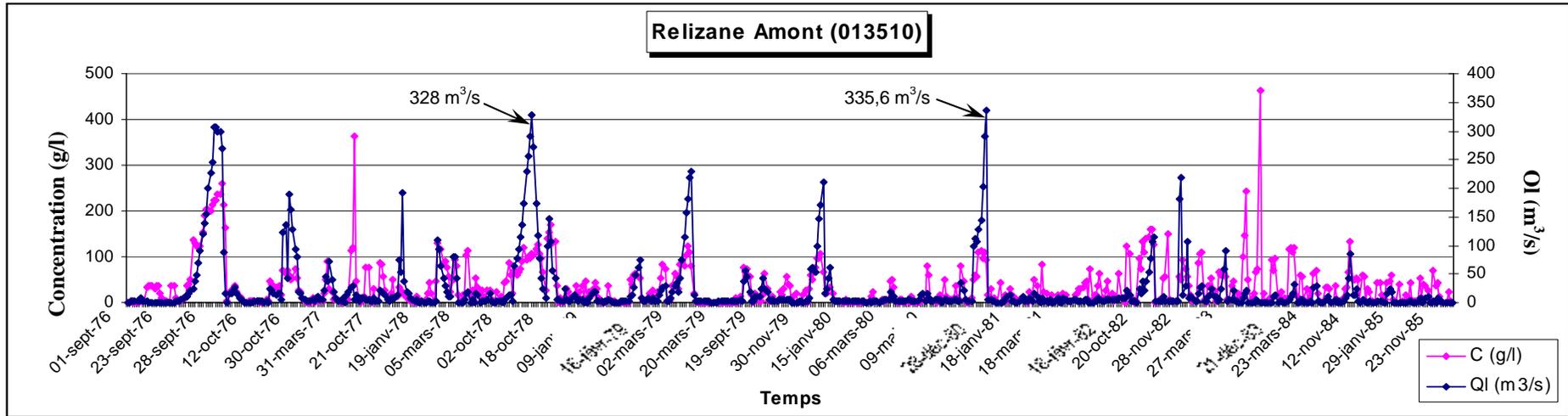


Figure 3.17: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Mina à la station de Relizane Amont.

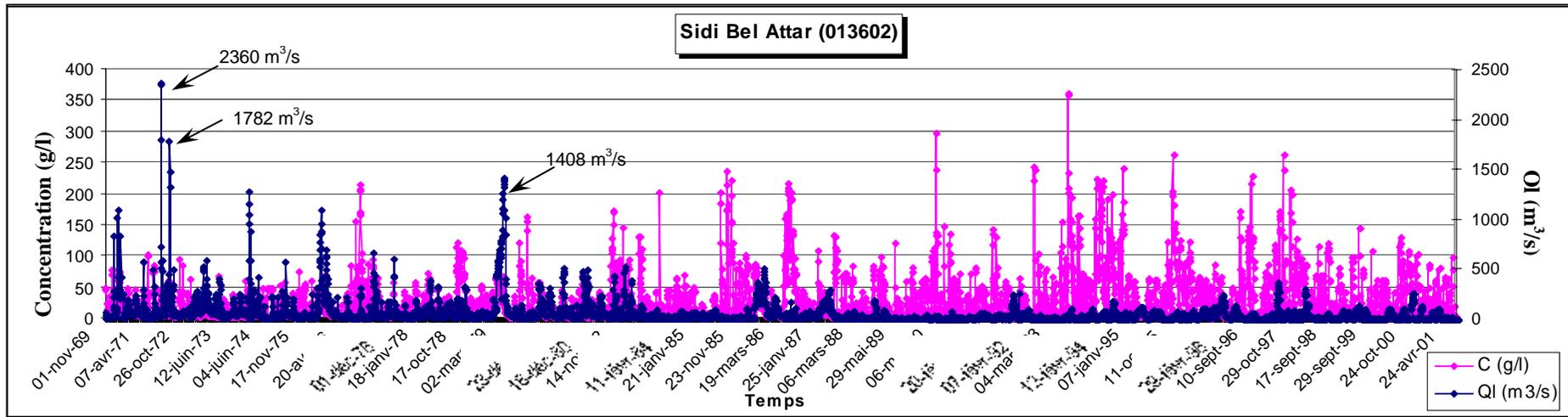


Figure 3.18: Hydrogrammes et Turbidigrammes de l'Oued Cheliff à la station de Sidi Bel Attar.

3.1.2.1. Station de Ghrib Amont (011407)

A cette échelle mensuelle, nous constatons que les valeurs du coefficient de variation varient de 0,34 à 1,79 pour les concentrations, de 0,31 à 1,12 pour les débits liquides et de 0,65 à 1,96 pour les débits solides (tableau 3.19).

Tableau 3.19 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Ghrib Amont

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (Cv)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	280,53	1,00	63,35	59,87	0,95	279,53
	Ql (m3/s)	174,67	0,96	47,26	53,16	1,12	173,71
	Qs (Kg/s)	29946,58	1,132	3564,82	6184,11	1,73	29945,45
Octobre	C (g/l)	33,98	0,62	15,31	13,79	0,90	33,36
	Ql (m3/s)	8,21	3,79	5,59	1,75	0,31	4,42
	Qs (Kg/s)	278,98	2,35	103,81	113,04	1,09	276,63
Novembre	C (g/l)	217,00	0,89	84,77	59,88	0,71	216,11
	Ql (m3/s)	126,50	3,138	24,67	27,54	1,12	123,36
	Qs (Kg/s)	27450,50	3,671	2972,37	5274,20	1,77	27446,83
Décembre	C (g/l)	39,84	1,79	20,87	20,60	0,99	38,05
	Ql (m3/s)	13,60	3,98	8,05	3,83	0,47	9,62
	Qs (Kg/s)	540,60	9,393	187,82	224,58	1,20	531,21
Janvier	C (g/l)	24,60	0,80	9,77	9,60	0,98	23,80
	Ql (m3/s)	30,10	12,24	17,62	5,76	0,33	17,86
	Qs (Kg/s)	713,37	9,792	214,80	250,56	1,17	703,58
Février	C (g/l)	2,00	0,77	1,23	0,41	0,34	1,23
	Ql (m3/s)	32,80	3,60	23,84	11,73	0,49	29,20
	Qs (Kg/s)	65,60	3,488	29,79	19,49	0,65	62,11
Mars	C (g/l)	24,60	0,34	8,40	7,30	0,87	24,26
	Ql (m3/s)	25,60	3,14	11,52	6,23	0,54	22,46
	Qs (Kg/s)	395,92	1,418	95,97	95,02	0,99	394,50
Avril	C (g/l)	16,91	0,25	4,42	4,22	0,95	16,66
	Ql (m3/s)	28,75	3,60	15,27	9,42	0,62	25,15
	Qs (Kg/s)	189,66	0,90	59,92	49,58	0,83	188,76
Mai	C (g/l)	196,25	0,39	47,45	42,81	0,90	195,86
	Ql (m3/s)	100,30	5,70	32,91	25,32	0,77	94,60
	Qs (Kg/s)	11200,97	2,863	2184,73	3048,96	1,40	11198,11
Juin	C (g/l)	120,00	0,21	14,94	26,76	1,79	119,79
	Ql (m3/s)	39,46	2,984	27,63	13,37	0,48	36,48
	Qs (Kg/s)	4735,20	0,796	510,93	1001,14	1,96	4734,40
Juillet	C (g/l)	74,06	2,30	32,88	30,62	0,93	71,76
	Ql (m3/s)	31,90	2,582	13,99	9,83	0,70	29,32
	Qs (Kg/s)	1036,10	33,074	382,24	415,94	1,09	1003,03
Août	C (g/l)	71,00	1,21	31,73	28,35	0,89	69,79
	Ql (m3/s)	31,00	2,58	13,33	9,62	0,72	28,42
	Qs (Kg/s)	1587,56	9,57	529,60	576,09	1,09	1577,99

3.1.2.2. Station de Tamezguida (011501)

Les valeurs du coefficient de variation au niveau de la station de Tamezguida varient de 0,07 à 2,65 pour les concentrations, de 0,72 à 1,05 pour les débits liquides et de 0,82 à 1,99 pour les débits solides (tableau 3.20).

Tableau 3.20 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Tamezguida.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (Cv)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	84,90	0,36	9,46	25,08	2,65	84,54
	Ql (m3/s)	2,78	0,07	0,76	0,79	1,05	2,71
	Qs (Kg/s)	12,20	0,10	2,82	3,90	1,38	12,10
Octobre	C (g/l)	154,71	0,89	85,97	57,50	0,67	153,82
	Ql (m3/s)	71,60	0,06	32,74	23,70	0,72	71,54
	Qs (Kg/s)	9254,76	0,053	3898,05	3194,23	0,82	9254,71
Novembre	C (g/l)	16,44	2,53	9,71	5,52	0,57	13,91
	Ql (m3/s)	1,16	0,145	0,35	0,36	1,05	1,01
	Qs (Kg/s)	11,74	0,506	3,36	3,84	1,14	11,23
Décembre	C (g/l)	15,43	0,13	3,23	4,44	1,37	15,30
	Ql (m3/s)	5,20	0,254	1,76	1,76	1,00	4,95
	Qs (Kg/s)	17,90	0,033	5,37	5,80	1,08	17,87
Janvier	C (g/l)	142,76	0,165	86,09	57,86	0,67	142,60
	Ql (m3/s)	66,20	0,06	29,59	24,20	0,82	66,14
	Qs (Kg/s)	8428,70	0,053	3693,72	3127,54	0,85	8428,65
Février	C (g/l)	18,50	1,33	5,90	6,51	1,10	17,17
	Ql (m3/s)	5,20	1,053	1,88	1,64	0,87	4,15
	Qs (Kg/s)	36,50	1,653	11,61	14,31	1,23	34,85
Mars	C (g/l)	18,12	0,36	5,43	5,48	1,01	17,76
	Ql (m3/s)	7,95	0,227	2,24	2,13	0,95	7,72
	Qs (Kg/s)	70,46	0,092	18,14	24,87	1,37	70,37
Avril	C (g/l)	4,55	0,36	2,05	2,00	0,98	4,19
	Ql (m3/s)	2,78	0,23	0,98	0,82	0,83	2,55
	Qs (Kg/s)	12,20	0,10	3,07	4,29	1,40	12,10
Mai	C (g/l)	5,04	0,62	3,35	1,93	0,58	4,42
	Ql (m3/s)	2,78	0,33	1,17	0,99	0,85	2,45
	Qs (Kg/s)	14,01	0,204	5,11	5,52	1,08	13,81
Juin	C (g/l)	6,25	0,24	2,32	2,08	0,90	6,01
	Ql (m3/s)	2,59	0,15	0,90	0,66	0,73	2,44
	Qs (Kg/s)	16,19	0,074	3,15	4,62	1,47	16,11
Juillet	C (g/l)	25,87	22,00	24,16	1,70	0,07	3,87
	Ql (m3/s)	5,20	0,255	2,45	2,20	0,90	4,94
	Qs (Kg/s)	134,52	6,041	59,82	56,32	0,94	128,48
Août	C (g/l)	25,06	0,29	7,41	9,91	1,34	24,77
	Ql (m3/s)	3,17	0,26	0,92	0,80	0,87	2,91
	Qs (Kg/s)	69,64	0,118	10,22	20,36	1,99	69,52

3.1.2.3. Station de Djenane Ben Ouadah (011514)

Pour la station de Djenane Ben Ouadah, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,87 à 3,12 pour les concentrations, de 0,81 à 1,51 pour les débits liquides et de 0,71 à 3,15 pour les débits solides (tableau 3.21).

Tableau 3.21 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Djenane Ben Ouadah.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	148,92	0,06	30,59	42,24	1,38	148,86
	Ql (m3/s)	57,75	0,032	9,01	13,58	1,51	57,72
	Qs (Kg/s)	3486,41	0,084	386,41	811,62	2,10	3486,33
Octobre	C (g/l)	175,96	0,14	24,01	40,86	1,70	175,82
	Ql (m3/s)	75,40	0,064	13,88	19,34	1,39	75,34
	Qs (Kg/s)	7703,62	0,017	428,55	1348,53	3,15	7703,60
Novembre	C (g/l)	58,58	0,35	11,14	12,80	1,15	58,23
	Ql (m3/s)	54,50	0,466	7,94	11,55	1,45	54,03
	Qs (Kg/s)	2702,40	0,206	166,01	450,82	2,72	2702,19
Décembre	C (g/l)	82,01	0,08	6,97	11,76	1,69	81,93
	Ql (m3/s)	46,00	0,467	6,54	8,57	1,31	45,53
	Qs (Kg/s)	1069,60	0,062	54,47	130,34	2,39	1069,54
Janvier	C (g/l)	86,00	0,07	12,74	18,39	1,44	85,93
	Ql (m3/s)	173,40	0,518	27,09	32,84	1,21	172,88
	Qs (Kg/s)	4900,28	0,102	539,41	1123,42	2,08	4900,18
Février	C (g/l)	562,00	0,39	15,65	48,84	3,12	561,61
	Ql (m3/s)	98,80	0,854	17,28	19,18	1,11	97,95
	Qs (Kg/s)	3877,80	0,862	262,78	506,82	1,93	3876,94
Mars	C (g/l)	155,29	0,38	19,74	45,15	2,29	154,91
	Ql (m3/s)	54,50	0,59	13,72	13,14	0,96	53,91
	Qs (Kg/s)	6173,23	0,236	245,43	772,87	3,15	6173,00
Avril	C (g/l)	204,74	0,11	12,29	27,10	2,20	204,63
	Ql (m3/s)	71,08	0,55	20,48	19,53	0,95	70,53
	Qs (Kg/s)	1586,74	0,061	254,38	326,59	1,28	1586,67
Mai	C (g/l)	37,80	0,03	5,56	7,48	1,34	37,77
	Ql (m3/s)	75,40	0,60	16,75	20,71	1,24	74,80
	Qs (Kg/s)	392,34	0,024	96,24	120,48	1,25	392,32
Juin	C (g/l)	84,18	2,83	29,83	25,94	0,87	81,35
	Ql (m3/s)	22,24	2,56	8,57	6,98	0,81	19,68
	Qs (Kg/s)	447,91	7,231	213,30	151,48	0,71	440,68
Juillet	C (g/l)	99,82	10,01	32,79	35,23	1,07	89,81
	Ql (m3/s)	22,24	0,032	9,38	8,41	0,90	22,21
	Qs (Kg/s)	447,91	3,19	160,53	157,65	0,98	444,72
Août	C (g/l)	43,89	0,67	15,50	14,96	0,97	43,22
	Ql (m3/s)	22,24	0,05	4,69	5,93	1,27	22,19
	Qs (Kg/s)	447,91	0,084	98,87	140,19	1,42	447,83

3.1.2.4. Station de Marabout blanc (011601)

Au niveau de la station de Marabout Blanc, nous constatons que les valeurs du coefficient de variation varient de 0,36 à 4,09 pour les concentrations, de 0,33 à 2,28 pour les débits liquides et de 0,53 à 3,32 pour les débits solides (tableau 3.22).

Tableau 3.22 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Marabout blanc.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	146,25	0,44	42,32	38,28	0,90	145,81
	Ql (m3/s)	43,00	0,007	3,49	7,97	2,28	42,99
	Qs (Kg/s)	5118,75	0,004	255,37	742,62	2,91	5118,75
Octobre	C (g/l)	205,94	0,28	68,40	54,39	0,80	205,66
	Ql (m3/s)	360,75	0,0018	23,43	50,06	2,14	360,75
	Qs (Kg/s)	23138,51	0,003	2394,61	4681,64	1,96	23138,50
Novembre	C (g/l)	90,79	0,21	20,89	23,44	1,12	90,58
	Ql (m3/s)	14,04	0,0023	1,70	2,60	1,53	14,04
	Qs (Kg/s)	706,35	0,002	67,40	145,70	2,16	706,34
Décembre	C (g/l)	84,38	0,18	11,17	13,54	1,21	84,20
	Ql (m3/s)	7,36	0,005	1,18	1,73	1,47	7,36
	Qs (Kg/s)	251,19	0,007	20,92	45,11	2,16	251,19
Janvier	C (g/l)	80,61	0,14	15,36	13,95	0,91	80,47
	Ql (m3/s)	170,00	0,0021	23,96	37,87	1,58	170,00
	Qs (Kg/s)	5276,80	0,003	616,97	1124,48	1,82	5276,80
Février	C (g/l)	46,40	0,23	9,28	10,93	1,18	46,17
	Ql (m3/s)	54,60	0,0021	6,29	12,70	2,02	54,60
	Qs (Kg/s)	1755,39	0,001	130,15	343,04	2,64	1755,39
Mars	C (g/l)	128,00	0,19	15,70	17,38	1,11	127,81
	Ql (m3/s)	52,96	0,017	8,09	10,56	1,31	52,94
	Qs (Kg/s)	1959,68	0,006	160,74	261,71	1,63	1959,68
Avril	C (g/l)	991,00	0,35	30,43	124,34	4,09	990,65
	Ql (m3/s)	28,60	0,0018	6,49	7,60	1,17	28,60
	Qs (Kg/s)	5153,20	0,001	213,56	709,07	3,32	5153,20
Mai	C (g/l)	107,71	0,16	19,92	22,87	1,15	107,55
	Ql (m3/s)	52,96	0,018	4,95	10,20	2,06	52,94
	Qs (Kg/s)	3034,61	0,163	227,11	602,23	2,65	3034,45
Juin	C (g/l)	291,43	0,44	120,92	123,27	1,02	290,99
	Ql (m3/s)	46,28	0,019	8,98	12,59	1,40	46,26
	Qs (Kg/s)	12271,14	0,015	1838,63	3268,52	1,78	12271,13
Juillet	C (g/l)	1,09	0,42	0,63	0,23	0,36	0,67
	Ql (m3/s)	6,72	3,16	4,85	1,58	0,33	3,56
	Qs (Kg/s)	6,98	1,453	3,07	1,62	0,53	5,52
Août	C (g/l)	16,26	0,12	1,51	4,26	2,83	16,14
	Ql (m3/s)	5,84	0,074	3,42	2,60	0,76	5,77
	Qs (Kg/s)	5,56	0,014	1,48	1,69	1,14	5,55

3.1.2.5. Station de Arib Cheliff (011702)

À la station de Arib Cheliff, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,89 à 1,94 pour les concentrations, de 0,71 à 1,95 pour les débits liquides et de 1,01 à 2,88 pour les débits solides (tableau 3.23).

Tableau 3.23 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Arib Cheliff.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	180,58	0,08	46,84	47,58	1,02	180,50
	Ql (m3/s)	196,90	0,01	20,55	39,99	1,95	196,89
	Qs (Kg/s)	24228,65	0,003	1590,18	4583,80	2,88	24228,65
Octobre	C (g/l)	162,00	0,09	28,50	37,85	1,33	161,91
	Ql (m3/s)	134,50	0,076	25,68	27,52	1,07	134,42
	Qs (Kg/s)	15061,68	0,215	1190,65	2388,87	2,01	15061,47
Novembre	C (g/l)	52,72	0,16	11,16	10,75	0,96	52,56
	Ql (m3/s)	131,80	0,65	18,26	23,92	1,31	131,15
	Qs (Kg/s)	4230,78	0,26	301,04	636,95	2,12	4230,52
Décembre	C (g/l)	188,39	0,02	8,93	17,32	1,94	188,37
	Ql (m3/s)	372,00	0,90	30,76	54,89	1,78	371,10
	Qs (Kg/s)	8072,40	0,16	395,06	981,28	2,48	8072,24
Janvier	C (g/l)	62,67	0,150	8,78	10,53	1,20	62,52
	Ql (m3/s)	362,00	0,346	33,44	54,34	1,62	361,65
	Qs (Kg/s)	12322,31	0,568	531,41	1354,44	2,55	12321,74
Février	C (g/l)	66,43	0,02	6,19	7,81	1,26	66,41
	Ql (m3/s)	429,00	1,404	46,42	58,13	1,25	427,60
	Qs (Kg/s)	6696,69	0,122	392,04	844,81	2,15	6696,57
Mars	C (g/l)	68,19	0,08	6,64	7,63	1,15	68,11
	Ql (m3/s)	530,00	0,652	57,65	91,70	1,59	529,35
	Qs (Kg/s)	12359,60	0,25	623,43	1538,91	2,47	12359,35
Avril	C (g/l)	43,77	0,12	6,80	7,87	1,16	43,65
	Ql (m3/s)	139,00	0,374	27,75	25,07	0,90	138,63
	Qs (Kg/s)	1569,38	0,18	198,92	278,87	1,40	1569,20
Mai	C (g/l)	38,84	0,06	5,39	7,61	1,41	38,78
	Ql (m3/s)	84,37	0,062	16,12	19,04	1,18	84,31
	Qs (Kg/s)	1606,42	0,061	131,23	304,49	2,32	1606,36
Juin	C (g/l)	58,94	0,77	23,94	21,24	0,89	58,17
	Ql (m3/s)	28,72	0,294	7,51	7,53	1,00	28,43
	Qs (Kg/s)	459,23	1,326	145,98	147,06	1,01	457,91
Juillet	C (g/l)	81,14	0,69	19,60	29,32	1,50	80,45
	Ql (m3/s)	14,16	1,196	5,34	3,81	0,71	12,96
	Qs (Kg/s)	220,38	1,22	70,28	82,76	1,18	219,16
Août	C (g/l)	28,08	0,64	9,77	9,04	0,93	27,44
	Ql (m3/s)	81,00	1,404	26,80	24,55	0,92	79,60
	Qs (Kg/s)	1052,70	4,78	180,29	241,03	1,34	1047,92

3.1.2.6. Station d'El Ababssa (011715)

Au niveau de la station d'El Ababssa, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,44 à 3,09 pour les concentrations, de 0,89 à 1,72 pour les débits liquides et de 1,10 à 3,45 pour les débits solides (tableau 3.24).

Tableau 3.24 : Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station d'El Ababssa.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	134,32	0,18	48,16	29,84	0,62	134,14
	Ql (m3/s)	47,60	0,001	8,74	10,23	1,17	47,60
	Qs (Kg/s)	2497,10	0,035	476,17	614,35	1,29	2497,06
Octobre	C (g/l)	181,96	0,04	32,20	38,94	1,21	181,92
	Ql (m3/s)	57,80	0,001	7,98	10,74	1,35	57,80
	Qs (Kg/s)	9089,49	0,005	312,20	819,52	2,63	9089,48
Novembre	C (g/l)	127,29	0,13	18,82	22,74	1,21	127,16
	Ql (m3/s)	42,26	0,001	5,14	7,77	1,51	42,26
	Qs (Kg/s)	1271,59	0,001	127,29	233,48	1,83	1271,59
Décembre	C (g/l)	136,01	0,11	12,87	17,02	1,32	135,90
	Ql (m3/s)	20,90	0,003	3,19	4,16	1,30	20,90
	Qs (Kg/s)	569,11	0,003	55,75	103,41	1,85	569,10
Janvier	C (g/l)	81,22	0,05	10,85	13,49	1,24	81,17
	Ql (m3/s)	27,26	0,001	4,36	5,36	1,23	27,26
	Qs (Kg/s)	902,72	0,003	51,25	101,68	1,98	902,72
Février	C (g/l)	170,80	0,02	9,01	18,08	2,01	170,78
	Ql (m3/s)	47,91	0,002	5,86	8,65	1,48	47,91
	Qs (Kg/s)	2117,92	0,002	52,07	125,02	2,40	2117,92
Mars	C (g/l)	86,55	0,14	8,85	11,05	1,25	86,41
	Ql (m3/s)	48,00	0,001	4,80	7,17	1,49	48,00
	Qs (Kg/s)	1070,40	0,001	53,35	108,29	2,03	1070,40
Avril	C (g/l)	98,42	0,12	14,49	19,74	1,36	98,30
	Ql (m3/s)	52,50	0,002	3,17	5,44	1,72	52,50
	Qs (Kg/s)	1270,53	0,001	71,90	186,57	2,59	1270,53
Mai	C (g/l)	883,60	0,16	24,06	74,26	3,09	883,44
	Ql (m3/s)	24,00	0,001	2,91	3,96	1,36	24,00
	Qs (Kg/s)	2704,68	0,004	94,78	327,35	3,45	2704,68
Juin	C (g/l)	142,64	0,78	47,77	40,14	0,84	141,86
	Ql (m3/s)	28,00	0,001	3,90	5,75	1,47	28,00
	Qs (Kg/s)	2525,60	0,019	233,94	488,87	2,09	2525,58
Juillet	C (g/l)	99,11	0,31	57,31	25,64	0,45	98,80
	Ql (m3/s)	27,23	0,001	6,68	6,37	0,95	27,22
	Qs (Kg/s)	1964,56	0,001	400,37	452,02	1,13	1964,56
Août	C (g/l)	194,70	39,89	77,83	34,63	0,44	154,81
	Ql (m3/s)	21,80	0,04	6,92	6,16	0,89	21,76
	Qs (Kg/s)	2077,54	3,32	553,34	610,36	1,10	2074,22

3.1.2.7. Station de Arib Abda (011801)

Pour la station de Arib Abda, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,99 à 1,81 pour les concentrations, de 0,97 à 2,27 pour les débits liquides et de 1,50 à 4,87 pour les débits solides (tableau 3.25).

Tableau 3.25: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Arib Abda.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	208,96	0,27	70,93	70,26	0,99	208,69
	Ql (m3/s)	75,00	0,013	12,48	18,18	1,46	74,99
	Qs (Kg/s)	9689,25	0,016	1536,66	2571,19	1,67	9689,23
Octobre	C (g/l)	359,02	0,16	28,20	49,28	1,75	358,86
	Ql (m3/s)	124,85	0,004	12,05	21,77	1,81	124,85
	Qs (Kg/s)	6552,55	0,003	386,62	928,26	2,40	6552,54
Novembre	C (g/l)	123,04	0,06	12,94	18,23	1,41	122,98
	Ql (m3/s)	268,00	0,049	11,15	25,33	2,27	267,95
	Qs (Kg/s)	22453,04	0,008	339,76	1654,38	4,87	22453,03
Décembre	C (g/l)	201,19	0,08	9,46	15,85	1,68	201,11
	Ql (m3/s)	170,00	0,133	18,79	30,37	1,62	169,87
	Qs (Kg/s)	6500,83	0,151	302,45	815,98	2,70	6500,68
Janvier	C (g/l)	98,17	0,12	10,24	12,92	1,26	98,05
	Ql (m3/s)	229,20	0,076	22,48	35,86	1,60	229,12
	Qs (Kg/s)	8860,87	0,074	439,14	1024,74	2,33	8860,80
Février	C (g/l)	64,05	0,08	9,25	11,71	1,27	63,97
	Ql (m3/s)	188,60	0,29	18,33	23,01	1,25	188,31
	Qs (Kg/s)	3259,01	0,07	263,20	507,96	1,93	3258,94
Mars	C (g/l)	78,45	0,04	9,55	12,45	1,30	78,41
	Ql (m3/s)	235,50	0,10	30,42	47,55	1,56	235,40
	Qs (Kg/s)	8239,92	0,007	595,34	1371,24	2,30	8239,91
Avril	C (g/l)	106,92	0,14	10,31	18,69	1,81	106,78
	Ql (m3/s)	70,00	0,50	10,86	13,94	1,28	69,50
	Qs (Kg/s)	2129,98	0,15	149,95	326,45	2,18	2129,83
Mai	C (g/l)	107,64	0,21	10,68	18,63	1,74	107,43
	Ql (m3/s)	29,50	0,114	5,82	6,41	1,10	29,39
	Qs (Kg/s)	1984,44	0,032	107,37	298,05	2,78	1984,40
Juin	C (g/l)	30,26	0,19	7,79	8,80	1,13	30,07
	Ql (m3/s)	7,08	0,019	2,29	2,23	0,97	7,06
	Qs (Kg/s)	147,45	0,015	22,15	33,15	1,50	147,44
Juillet	C (g/l)	74,08	1,1	29,21	32,58	1,12	72,98
	Ql (m3/s)	1,90	0,037	0,47	0,61	1,29	1,87
	Qs (Kg/s)	141,05	0,087	25,56	46,30	1,81	140,96
Août	C (g/l)	95,42	0,12	25,80	36,11	1,40	95,30
	Ql (m3/s)	3,91	0,078	1,35	1,39	1,03	3,84
	Qs (Kg/s)	373,47	0,055	63,30	137,49	2,17	373,42

3.1.2.8. Station de Bir Ouled Tahar (011905)

Dans cette station, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,72 à 1,93 pour les concentrations, de 1,36 à 2,43 pour les débits liquides et de 1,65 à 3,55 pour les débits solides (tableau 3.26).

Tableau 3.26: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Bir Ouled Tahar.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	497,64	0,15	142,18	101,71	0,72	497,49
	Ql (m3/s)	87,00	0,01	13,85	19,58	1,41	86,99
	Qs (Kg/s)	22849,68	0,001	2914,63	4815,99	1,65	22849,68
Octobre	C (g/l)	357,67	0,47	92,69	75,82	0,82	357,20
	Ql (m3/s)	58,87	0,001	3,37	6,32	1,88	58,87
	Qs (Kg/s)	7196,39	0,008	425,11	936,94	2,20	7196,38
Novembre	C (g/l)	199,89	0,21	49,31	48,33	0,98	199,68
	Ql (m3/s)	5,10	0,006	0,77	1,20	1,57	5,09
	Qs (Kg/s)	660,40	0,013	64,77	146,45	2,26	660,39
Décembre	C (g/l)	507,00	0,34	32,44	58,62	1,81	506,66
	Ql (m3/s)	16,15	0,009	1,39	3,12	2,25	16,14
	Qs (Kg/s)	1336,59	0,008	79,64	219,55	2,76	1336,58
Janvier	C (g/l)	82,95	0,19	17,31	18,22	1,05	82,76
	Ql (m3/s)	22,80	0,004	2,88	4,32	1,50	22,80
	Qs (Kg/s)	1646,70	0,016	85,31	201,79	2,37	1646,69
Février	C (g/l)	248,00	0,12	21,16	40,74	1,93	247,88
	Ql (m3/s)	33,50	0,013	1,93	4,26	2,21	33,49
	Qs (Kg/s)	2874,64	0,02	83,49	296,44	3,55	2874,62
Mars	C (g/l)	247,00	0,39	21,16	27,68	1,31	246,61
	Ql (m3/s)	61,00	0,063	7,47	12,41	1,66	60,94
	Qs (Kg/s)	2605,43	0,032	283,99	536,33	1,89	2605,40
Avril	C (g/l)	108,57	0,14	19,55	24,84	1,27	108,43
	Ql (m3/s)	42,40	0,003	3,65	8,22	2,25	42,40
	Qs (Kg/s)	3228,64	0,002	197,21	582,53	2,95	3228,64
Mai	C (g/l)	206,51	0,14	28,72	39,60	1,38	206,37
	Ql (m3/s)	165,35	0,004	11,47	26,83	2,34	165,35
	Qs (Kg/s)	9983,83	0,011	708,55	1745,27	2,46	9983,82
Juin	C (g/l)	245,35	0,29	58,33	59,48	1,02	245,06
	Ql (m3/s)	12,40	0,017	1,20	2,38	1,97	12,38
	Qs (Kg/s)	1390,00	0,012	99,35	243,65	2,45	1389,99
Juillet	C (g/l)	312,36	0,30	141,43	105,26	0,74	312,06
	Ql (m3/s)	4,20	0,13	1,10	1,49	1,36	4,07
	Qs (Kg/s)	1311,91	0,078	278,66	486,91	1,75	1311,83
Août	C (g/l)	727,78	13,39	194,04	237,07	1,22	714,39
	Ql (m3/s)	23,50	0,01	3,36	8,15	2,43	23,49
	Qs (Kg/s)	17102,83	0,134	2209,81	6018,49	2,72	17102,70

3.1.2.9- Station de Tickezal (012004)

À la station de Tickezal, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,20 à 1,13 pour les concentrations, de 1,58 à 3,06 pour les débits liquides et de 1,67 à 4,14 pour les débits solides (tableau 3.27).

Tableau 3.27: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Tickezal.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	356,75	3,52	108,75	77,46	0,71	353,23
	Ql (m3/s)	19,76	0,001	2,70	4,63	1,72	19,76
	Qs (Kg/s)	2749,80	0,029	298,85	521,26	1,74	2749,77
Octobre	C (g/l)	333,78	5,24	98,21	96,28	0,98	328,54
	Ql (m3/s)	29,15	0,0003	3,31	7,30	2,21	29,15
	Qs (Kg/s)	3992,09	0,007	450,90	1066,08	2,36	3992,09
Novembre	C (g/l)	140,86	2,02	47,47	37,13	0,78	138,84
	Ql (m3/s)	16,68	0,001	2,27	3,68	1,62	16,68
	Qs (Kg/s)	1087,29	0,008	141,67	255,33	1,80	1087,29
Décembre	C (g/l)	66,53	1,11	22,30	18,04	0,81	65,42
	Ql (m3/s)	18,41	0,003	2,10	4,63	2,20	18,41
	Qs (Kg/s)	365,56	0,008	43,90	101,03	2,30	365,55
Janvier	C (g/l)	175,75	1,30	30,07	32,64	1,09	174,45
	Ql (m3/s)	15,30	0,004	1,30	3,25	2,49	15,30
	Qs (Kg/s)	1572,96	0,007	90,15	252,11	2,80	1572,96
Février	C (g/l)	74,23	1,71	17,05	19,32	1,13	72,52
	Ql (m3/s)	15,30	0,0038	0,92	2,81	3,06	15,30
	Qs (Kg/s)	1002,00	0,012	50,42	173,88	3,45	1001,99
Mars	C (g/l)	87,95	1,21	18,94	17,79	0,94	86,74
	Ql (m3/s)	32,34	0,004	1,69	4,86	2,87	32,34
	Qs (Kg/s)	2844,30	0,006	82,79	342,77	4,14	2844,30
Avril	C (g/l)	151,51	2,51	44,37	36,02	0,81	149,00
	Ql (m3/s)	20,30	0,005	3,02	4,77	1,58	20,30
	Qs (Kg/s)	2106,01	0,013	180,59	395,01	2,19	2105,99
Mai	C (g/l)	139,42	6,12	42,19	32,58	0,77	133,30
	Ql (m3/s)	15,09	0,004	1,85	3,51	1,89	15,09
	Qs (Kg/s)	1194,46	0,03	127,29	275,82	2,17	1194,43
Juin	C (g/l)	164,89	1,21	73,47	63,48	0,86	163,68
	Ql (m3/s)	46,50	0,0038	9,21	14,97	1,63	46,50
	Qs (Kg/s)	7667,39	0,006	1331,64	2338,00	1,76	7667,38
Juillet	C (g/l)	-	-	-	-	-	-
	Ql (m3/s)	-	-	-	-	-	-
	Qs (Kg/s)	-	-	-	-	-	-
Août	C (g/l)	154,72	86,49	129,39	25,75	0,20	68,23
	Ql (m3/s)	0,12	0,004	0,03	0,05	1,86	0,12
	Qs (Kg/s)	10,64	0,516	2,66	4,46	1,67	10,12

3.1.2.10- Station de Larabaa Ouled Fares (012201)

Pour cette station , les valeurs du coefficient de variation varient de 0,62 à 2,93 pour les concentrations, de 0,67 à 3,02 pour les débits liquides et de 0,97 à 3,33 pour les débits solides (tableau 3.28).

Tableau 3.28: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Larabaa Ouled Fares.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	51,41	5,43	31,07	19,13	0,62	45,98
	Ql (m3/s)	18,00	0,97	8,30	5,58	0,67	17,03
	Qs (Kg/s)	925,38	5,28	339,26	330,03	0,97	920,10
Octobre	C (g/l)	738,33	0,80	112,21	191,37	1,71	737,53
	Ql (m3/s)	63,25	0,0051	8,73	16,32	1,87	63,24
	Qs (Kg/s)	32492,16	0,007	3633,87	8545,78	2,35	32492,15
Novembre	C (g/l)	579,64	0,22	56,11	121,94	2,17	579,42
	Ql (m3/s)	30,40	0,003	5,02	8,16	1,62	30,40
	Qs (Kg/s)	8898,76	0,006	742,20	1801,32	2,43	8898,76
Décembre	C (g/l)	64,80	0,20	12,38	18,51	1,50	64,60
	Ql (m3/s)	18,00	0,02	3,80	4,85	1,28	17,98
	Qs (Kg/s)	998,28	0,005	108,01	227,46	2,11	998,28
Janvier	C (g/l)	94,25	0,02	16,23	21,58	1,33	94,23
	Ql (m3/s)	35,80	0,001	4,35	7,53	1,73	35,80
	Qs (Kg/s)	3374,15	0,004	165,54	496,29	3,00	3374,15
Février	C (g/l)	50,46	0,04	3,81	11,14	2,93	50,42
	Ql (m3/s)	7,00	0,07	3,32	3,07	0,92	6,93
	Qs (Kg/s)	39,56	0,008	4,31	8,47	1,97	39,55
Mars	C (g/l)	215,57	0,10	54,54	79,20	1,45	215,47
	Ql (m3/s)	25,70	0,03	4,47	5,85	1,31	25,67
	Qs (Kg/s)	3486,00	0,003	385,17	838,80	2,18	3485,997
Avril	C (g/l)	36,52	0,30	7,69	11,79	1,53	36,22
	Ql (m3/s)	7,60	0,005	0,96	2,17	2,26	7,595
	Qs (Kg/s)	132,35	0,008	10,96	29,49	2,69	132,34
Mai	C (g/l)	119,15	0,91	47,39	49,75	1,05	118,24
	Ql (m3/s)	115,00	0,0013	27,10	42,23	1,56	115,00
	Qs (Kg/s)	11858,80	0,002	2816,91	4517,35	1,60	11858,80
Juin	C (g/l)	91,94	0,66	15,42	27,05	1,75	91,28
	Ql (m3/s)	11,50	0,001	1,09	3,28	3,02	11,50
	Qs (Kg/s)	1057,31	0,002	91,26	304,30	3,33	1057,31
Juillet	C (g/l)	4,71	0,67	2,02	1,40	0,69	4,04
	Ql (m3/s)	0,98	0,001	0,17	0,40	2,39	0,98
	Qs (Kg/s)	4,62	0,002	0,77	1,88	2,43	4,62
Août	C (g/l)	6,65	0,87	2,64	2,38	0,90	5,78
	Ql (m3/s)	4,76	0,005	0,86	1,76	2,05	4,76
	Qs (Kg/s)	31,65	0,01	5,32	11,77	2,21	31,64

3.1.2.11- Station de Pontéba Deffluent (012203)

Au niveau de la station de Pontéba Deffluent, les valeurs du coefficient de variation varient de 1,27 à 4,03 pour les concentrations, de 0,89 à 3,77 pour les débits liquides et de 2,58 à 5,92 pour les débits solides (tableau 3.29).

Tableau 3.29: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Pontéba Deffluent.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	237,00	0,02	14,78	37,81	2,56	236,98
	Ql (m3/s)	171,15	0,005	4,52	17,03	3,77	171,15
	Qs (Kg/s)	15088,58	0,001	249,14	1474,68	5,92	15088,58
Octobre	C (g/l)	380,00	0,02	25,01	57,21	2,29	379,98
	Ql (m3/s)	439,30	0,006	14,07	47,25	3,36	439,29
	Qs (Kg/s)	23491,52	0,002	553,80	2091,47	3,78	23491,52
Novembre	C (g/l)	214,98	0,02	17,34	30,64	1,77	214,96
	Ql (m3/s)	312,60	0,01	12,37	24,87	2,01	312,59
	Qs (Kg/s)	13454,30	0,003	373,12	1071,38	2,87	13454,30
Décembre	C (g/l)	107,94	0,04	9,44	12,00	1,27	107,90
	Ql (m3/s)	1300,00	0,01	43,89	158,59	3,61	1299,99
	Qs (Kg/s)	62125,00	0,007	1133,48	5344,27	4,71	62124,99
Janvier	C (g/l)	112,63	0,02	10,93	16,41	1,50	112,61
	Ql (m3/s)	309,32	0,075	20,34	33,77	1,66	309,25
	Qs (Kg/s)	11243,8	0,022	392,28	1095,72	2,79	11243,76
Février	C (g/l)	73,68	0,04	9,67	13,12	1,36	73,64
	Ql (m3/s)	705,00	0,14	45,27	68,88	1,52	704,86
	Qs (Kg/s)	22740,84	0,05	832,92	2150,90	2,58	22740,79
Mars	C (g/l)	120,00	0,02	10,06	15,97	1,59	119,98
	Ql (m3/s)	1217,20	0,01	67,45	173,78	2,58	1217,19
	Qs (Kg/s)	89952,57	0,008	2084,16	8758,02	4,20	89952,57
Avril	C (g/l)	86,40	0,02	4,47	12,19	2,73	86,38
	Ql (m3/s)	103,40	0,001	9,35	15,30	1,64	103,40
	Qs (Kg/s)	3910,00	0,001	108,43	398,11	3,67	3910,00
Mai	C (g/l)	127,11	0,02	9,84	21,19	2,15	127,09
	Ql (m3/s)	115,40	0,002	7,70	15,84	2,06	115,40
	Qs (Kg/s)	5676,30	0,001	212,36	681,86	3,21	5676,30
Juin	C (g/l)	69,00	0,02	3,76	11,64	3,10	68,98
	Ql (m3/s)	26,70	0,003	2,42	3,46	1,43	26,70
	Qs (Kg/s)	1102,71	0,001	27,54	113,60	4,12	1102,71
Juillet	C (g/l)	14,10	0,02	0,44	1,77	4,03	14,08
	Ql (m3/s)	18,56	0,003	2,40	2,32	0,97	18,56
	Qs (Kg/s)	26,79	0,001	0,83	3,19	3,85	26,79
Août	C (g/l)	4,73	0,02	0,26	0,55	2,13	4,71
	Ql (m3/s)	10,56	0,02	2,90	2,58	0,89	10,54
	Qs (Kg/s)	24,60	0,002	0,92	2,79	3,02	24,59

3.1.2.12- Station de Ouled Ben Abk (012311)

À cette station, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,49 à 3,41 pour les concentrations, de 0,45 à 3,72 pour les débits liquides et de 0,53 à 4,99 pour les débits solides (tableau 3.30).

Tableau 3.30: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Ouled Ben Abk.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	36,86	0,10	4,09	8,26	2,02	36,76
	Ql (m3/s)	9,00	0,39	2,33	2,78	1,20	8,61
	Qs (Kg/s)	197,70	0,05	12,03	30,85	2,57	197,64
Octobre	C (g/l)	253,23	0,06	24,77	52,07	2,10	253,17
	Ql (m3/s)	22,56	0,025	2,46	3,17	1,29	22,54
	Qs (Kg/s)	5712,87	0,005	151,63	714,86	4,71	5712,86
Novembre	C (g/l)	148,13	0,02	18,91	26,24	1,39	148,11
	Ql (m3/s)	23,75	0,005	2,19	4,26	1,95	23,745
	Qs (Kg/s)	2586,40	0,002	104,39	325,29	3,12	2586,40
Décembre	C (g/l)	143,45	0,02	13,08	22,22	1,70	143,43
	Ql (m3/s)	12,60	0,012	1,10	2,07	1,88	12,59
	Qs (Kg/s)	1306,75	0,001	42,87	164,78	3,84	1306,75
Janvier	C (g/l)	120,48	0,14	13,99	17,26	1,23	120,34
	Ql (m3/s)	49,92	0,013	1,71	5,57	3,25	49,91
	Qs (Kg/s)	2951,76	0,002	71,26	325,21	4,56	2951,76
Février	C (g/l)	83,05	0,02	12,39	16,17	1,30	83,03
	Ql (m3/s)	71,58	0,012	2,16	8,02	3,72	71,57
	Qs (Kg/s)	4120,15	0,014	101,32	505,62	4,99	4120,13
Mars	C (g/l)	201,92	0,06	15,69	24,52	1,56	201,86
	Ql (m3/s)	86,25	0,01	3,98	11,05	2,78	86,24
	Qs (Kg/s)	8399,89	0,001	231,66	924,66	3,99	8399,89
Avril	C (g/l)	101,29	0,17	14,11	20,62	1,46	101,12
	Ql (m3/s)	36,80	0,004	3,27	6,52	1,99	36,80
	Qs (Kg/s)	3302,43	0,002	144,95	464,82	3,21	3302,43
Mai	C (g/l)	194,00	0,12	11,38	20,08	1,76	193,88
	Ql (m3/s)	22,30	0,125	1,67	2,68	1,60	22,18
	Qs (Kg/s)	978,92	0,04	31,91	100,37	3,15	978,88
Juin	C (g/l)	110,00	0,22	2,92	9,97	3,41	109,78
	Ql (m3/s)	27,12	0,32	2,39	2,74	1,15	26,80
	Qs (Kg/s)	335,47	0,26	9,11	37,06	4,07	335,21
Juillet	C (g/l)	170,28	0,02	38,63	52,25	1,35	170,26
	Ql (m3/s)	6,35	0,31	1,66	0,95	0,57	6,04
	Qs (Kg/s)	480,06	0,05	48,28	100,19	2,07	480,01
Août	C (g/l)	2,42	0,40	1,06	0,52	0,49	2,02
	Ql (m3/s)	9,90	1,08	6,98	3,13	0,45	8,82
	Qs (Kg/s)	12,69	1,16	6,69	3,51	0,53	11,53

3.1.2.13. Station de Djediouia (012701)

Au niveau de la station de Djediouia, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,70 à 1,10 pour les concentrations, de 1,23 à 3,46 pour les débits liquides et de 1,33 à 4,61 pour les débits solides (tableau 3.31).

Tableau 3.31: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Djediouia.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C_v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	329,96	0,64	112,49	85,65	0,76	329,32
	Ql (m3/s)	454,50	0,002	24,41	63,12	2,59	454,50
	Qs (Kg/s)	115597,53	0,002	5958,15	17423,61	2,92	115597,53
Octobre	C (g/l)	382,00	0,30	99,20	75,96	0,77	381,70
	Ql (m3/s)	504,42	0,002	16,34	51,64	3,16	504,42
	Qs (Kg/s)	104092,60	0,033	2927,26	11284,46	3,85	104092,57
Novembre	C (g/l)	399,00	0,10	56,98	60,40	1,06	398,90
	Ql (m3/s)	98,83	0,001	3,57	9,80	2,75	98,82
	Qs (Kg/s)	7710,13	0,007	274,22	827,63	3,02	7710,12
Décembre	C (g/l)	229,80	0,02	40,82	39,41	0,97	229,78
	Ql (m3/s)	366,40	0,06	9,36	32,36	3,46	366,34
	Qs (Kg/s)	49013,33	0,003	895,02	4125,35	4,61	49013,33
Janvier	C (g/l)	164,36	0,02	37,51	32,73	0,87	164,34
	Ql (m3/s)	96,55	0,042	5,81	8,80	1,51	96,51
	Qs (Kg/s)	7617,91	0,005	376,87	810,50	2,15	7617,91
Février	C (g/l)	148,00	0,10	32,64	30,19	0,92	147,90
	Ql (m3/s)	88,96	0,004	7,94	12,58	1,58	88,96
	Qs (Kg/s)	6620,04	0,007	422,78	959,91	2,27	6620,03
Mars	C (g/l)	181,72	0,34	35,63	35,83	1,01	181,38
	Ql (m3/s)	207,50	0,003	8,70	20,02	2,30	207,50
	Qs (Kg/s)	12738,00	0,01	578,96	1602,82	2,77	12737,99
Avril	C (g/l)	239,00	0,10	34,68	32,52	0,94	238,90
	Ql (m3/s)	210,78	0,01	6,07	18,53	3,06	210,77
	Qs (Kg/s)	23396,58	0,001	457,59	2008,13	4,39	23396,58
Mai	C (g/l)	308,54	0,10	67,11	73,88	1,10	308,44
	Ql (m3/s)	248,00	0,004	8,66	27,43	3,17	248,00
	Qs (Kg/s)	43593,44	0,01	1268,12	4702,44	3,71	43593,43
Juin	C (g/l)	138,16	2,78	39,64	27,64	0,70	135,38
	Ql (m3/s)	8,60	0,05	1,70	2,09	1,23	8,55
	Qs (Kg/s)	1188,18	0,192	108,43	219,35	2,02	1187,98
Juillet	C (g/l)	253,00	2,50	91,13	81,33	0,89	250,50
	Ql (m3/s)	8,06	0,01	1,26	1,68	1,34	8,05
	Qs (Kg/s)	1160,06	0,04	121,75	219,05	1,80	1160,02
Août	C (g/l)	274,64	4,20	139,09	117,18	0,84	270,44
	Ql (m3/s)	56,30	0,09	16,09	20,06	1,25	56,21
	Qs (Kg/s)	15180,73	0,378	4157,77	5522,75	1,33	15180,35

3.1.2.14. Station de Kef Mahboula (013001)

Les valeurs du coefficient de variation varient de 0,77 à 1,49 pour les concentrations, de 1,04 à 2,70 pour les débits liquides et de 1,48 à 3,53 pour les débits solides (tableau 3.32).

Tableau 3.32: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Kef Mahboula.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C_v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	88,02	0,37	23,08	21,09	0,91	87,65
	Ql (m3/s)	208,80	0,021	14,93	40,16	2,69	208,78
	Qs (Kg/s)	13200,34	0,013	777,93	2401,28	3,09	13200,32
Octobre	C (g/l)	63,54	0,33	15,82	15,02	0,95	63,21
	Ql (m3/s)	65,38	0,021	3,60	9,16	2,55	65,36
	Qs (Kg/s)	3770,47	0,013	129,97	459,43	3,53	3770,45
Novembre	C (g/l)	49,54	0,25	7,14	9,13	1,28	49,29
	Ql (m3/s)	26,75	0,021	1,73	3,26	1,88	26,73
	Qs (Kg/s)	741,24	0,011	26,84	78,66	2,93	741,23
Décembre	C (g/l)	29,00	0,10	6,81	7,84	1,15	28,90
	Ql (m3/s)	47,60	0,021	2,75	7,12	2,59	47,58
	Qs (Kg/s)	267,73	0,007	23,53	49,57	2,11	267,72
Janvier	C (g/l)	18,08	0,16	5,70	4,78	0,84	17,92
	Ql (m3/s)	72,60	0,025	8,88	16,59	1,87	72,58
	Qs (Kg/s)	727,00	0,016	70,26	145,62	2,07	726,98
Février	C (g/l)	35,52	0,24	7,39	7,34	0,99	35,28
	Ql (m3/s)	69,88	0,021	6,44	12,50	1,94	69,86
	Qs (Kg/s)	2482,14	0,011	105,29	324,94	3,09	2482,13
Mars	C (g/l)	57,06	0,21	10,39	11,48	1,11	56,85
	Ql (m3/s)	163,00	0,025	15,37	27,87	1,81	162,98
	Qs (Kg/s)	3444,19	0,021	333,60	696,53	2,09	3444,17
Avril	C (g/l)	45,94	0,12	7,51	8,25	1,10	45,82
	Ql (m3/s)	53,50	0,012	6,19	11,34	1,83	53,49
	Qs (Kg/s)	519,16	0,006	46,49	93,67	2,01	519,15
Mai	C (g/l)	96,74	0,58	20,62	17,58	0,85	96,16
	Ql (m3/s)	218,00	0,025	15,45	41,77	2,70	217,98
	Qs (Kg/s)	17707,29	0,025	826,86	2696,21	3,26	17707,27
Juin	C (g/l)	62,92	0,48	14,95	22,30	1,49	62,44
	Ql (m3/s)	4,85	0,044	1,25	1,31	1,04	4,81
	Qs (Kg/s)	283,63	0,021	28,23	61,85	2,19	283,61
Juillet	C (g/l)	43,15	0,67	15,79	12,11	0,77	42,48
	Ql (m3/s)	29,42	0,021	5,77	7,76	1,34	29,40
	Qs (Kg/s)	714,61	0,014	138,87	205,99	1,48	714,60
Août	C (g/l)	68,21	0,15	15,58	22,54	1,45	68,06
	Ql (m3/s)	127,00	0,024	14,91	37,53	2,52	126,98
	Qs (Kg/s)	7699,54	0,007	877,69	2343,25	2,67	7699,54

3.1.2.15. Station de Sidi Abk Djillali (013401)

Au niveau de la station de Sidi Abk Djillali, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,88 à 1,33 pour les concentrations, de 1,02 à 2,82 pour les débits liquides et de 1,62 à 4,63 pour les débits solides (tableau 3.33).

Tableau 3.33: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Sidi Abk Djillali.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C_v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	223,60	0,2	52,68	58,24	1,11	223,40
	Ql (m3/s)	56,80	0,010	3,73	9,29	2,49	56,79
	Qs (Kg/s)	12300,00	0,02	513,17	1788,79	3,49	12299,98
Octobre	C (g/l)	242,42	0,14	44,22	46,15	1,04	242,28
	Ql (m3/s)	130,00	0,00	11,08	23,53	2,12	130,00
	Qs (Kg/s)	21801,00	0,01	1101,70	3045,02	2,76	21800,99
Novembre	C (g/l)	239,64	0,04	39,65	43,35	1,09	239,60
	Ql (m3/s)	181,00	0,001	6,21	17,50	2,82	181,00
	Qs (Kg/s)	26245,00	0,002	484,03	2239,96	4,63	26245,00
Décembre	C (g/l)	174,48	0,04	33,74	36,14	1,07	174,44
	Ql (m3/s)	23,30	0,010	2,76	4,20	1,52	23,29
	Qs (Kg/s)	1409,62	0,01	137,57	266,87	1,94	1409,61
Janvier	C (g/l)	155,72	0,04	35,52	33,41	0,94	155,68
	Ql (m3/s)	81,00	0,01	5,26	12,09	2,30	80,99
	Qs (Kg/s)	7636,40	0,02	381,72	1092,04	2,86	7636,38
Février	C (g/l)	144,22	0,1	30,27	32,27	1,07	144,12
	Ql (m3/s)	38,10	0,010	3,57	5,74	1,61	38,09
	Qs (Kg/s)	1929,38	0,01	160,08	307,79	1,92	1929,36
Mars	C (g/l)	197,66	0,24	32,97	34,80	1,06	197,42
	Ql (m3/s)	97,00	0,00	7,51	14,98	2,00	97,00
	Qs (Kg/s)	7300,00	0,00	389,34	914,79	2,35	7300,00
Avril	C (g/l)	173,96	0,06	39,14	43,69	1,12	173,90
	Ql (m3/s)	18,40	0,020	2,18	3,75	1,72	18,38
	Qs (Kg/s)	1880,00	0,03	152,42	346,82	2,28	1879,97
Mai	C (g/l)	202,94	0,08	44,51	46,48	1,04	202,86
	Ql (m3/s)	75,80	0,00	4,51	9,47	2,10	75,80
	Qs (Kg/s)	12960,00	0,01	477,51	1398,81	2,93	12959,99
Juin	C (g/l)	156,80	0,56	47,92	49,98	1,04	156,24
	Ql (m3/s)	3,76	0,120	1,00	1,02	1,02	3,64
	Qs (Kg/s)	589,57	0,17	83,85	135,45	1,62	589,40
Juillet	C (g/l)	230,88	0,1	45,71	60,66	1,33	230,78
	Ql (m3/s)	160,00	0,010	21,77	41,68	1,91	159,99
	Qs (Kg/s)	24341,28	0,01	2457,99	6241,97	2,54	24341,27
Août	C (g/l)	177,80	0,96	63,95	56,49	0,88	176,84
	Ql (m3/s)	5,60	0,050	1,28	1,54	1,21	5,55
	Qs (Kg/s)	995,68	0,05	152,08	259,31	1,71	995,63

3.1.2.16. Station de Oued Abtal (013402)

Pour la station de Oued Abtal, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,88 à 2,05 pour les concentrations, de 1,11 à 2,32 pour les débits liquides et de 1,80 à 3,58 pour les débits solides (tableau 3.34).

Tableau 3.34: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Oued Abtal.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C_v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	302,84	0,44	44,75	53,38	1,19	302,40
	Ql (m3/s)	219,00	0,00	29,79	43,42	1,46	219,00
	Qs (Kg/s)	34523,80	0,00	2180,37	4540,37	2,08	34523,80
Octobre	C (g/l)	251,32	0,40	30,54	34,46	1,13	250,92
	Ql (m3/s)	410,00	0,06	23,32	42,55	1,82	409,94
	Qs (Kg/s)	69741,00	0,12	1247,71	4233,25	3,39	69740,88
Novembre	C (g/l)	170,10	0,22	26,41	31,72	1,20	169,88
	Ql (m3/s)	143,52	0,250	18,94	28,02	1,48	143,27
	Qs (Kg/s)	19221,30	0,11	841,95	2119,09	2,52	19221,19
Décembre	C (g/l)	230,14	0,02	23,27	37,48	1,61	230,12
	Ql (m3/s)	66,50	0,150	11,86	13,22	1,11	66,35
	Qs (Kg/s)	7572,27	0,2	396,30	860,52	2,17	7572,08
Janvier	C (g/l)	193,02	0,18	20,48	27,22	1,33	192,84
	Ql (m3/s)	203,00	0,1	16,68	23,31	1,40	202,90
	Qs (Kg/s)	11587,24	0,21	583,57	1174,38	2,01	11587,03
Février	C (g/l)	160,60	0,2	15,73	21,82	1,39	160,40
	Ql (m3/s)	275,80	0,110	19,75	35,02	1,77	275,69
	Qs (Kg/s)	14068,56	0,08	630,04	1680,56	2,67	14068,47
Mars	C (g/l)	124,52	0,32	20,31	22,89	1,13	124,20
	Ql (m3/s)	229,00	0,66	29,37	39,13	1,33	228,34
	Qs (Kg/s)	9286,93	0,73	918,31	1649,02	1,80	9286,20
Avril	C (g/l)	356,00	0,22	23,73	48,59	2,05	355,78
	Ql (m3/s)	151,76	0,10	16,07	22,41	1,39	151,66
	Qs (Kg/s)	21843,10	0,19	789,40	2823,06	3,58	21842,91
Mai	C (g/l)	303,06	0,3	31,67	44,90	1,42	302,76
	Ql (m3/s)	527,00	0,18	34,97	64,48	1,84	526,82
	Qs (Kg/s)	28257,74	0,32	1872,93	4344,92	2,32	28257,42
Juin	C (g/l)	168,38	0,66	39,52	46,26	1,17	167,72
	Ql (m3/s)	251,00	0,270	24,84	57,73	2,32	250,73
	Qs (Kg/s)	41253,10	0,68	2882,35	9013,28	3,13	41252,43
Juillet	C (g/l)	123,06	0,76	30,88	27,15	0,88	122,30
	Ql (m3/s)	348,00	0,440	45,55	87,95	1,93	347,57
	Qs (Kg/s)	16836,00	0,42	2022,94	4100,63	2,03	16835,58
Août	C (g/l)	137,04	0,1	38,99	34,93	0,90	136,94
	Ql (m3/s)	241,08	0,150	20,49	38,90	1,90	240,93
	Qs (Kg/s)	25000,00	0,10	1487,03	3788,94	2,55	24999,90

3.1.2.17. Station de Relizane Amont (013510)

Au niveau de la station de Relizane Amont, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,86 à 2,00 pour les concentrations, de 0,58 à 2,40 pour les débits liquides et de 1,34 à 3,12 pour les débits solides (tableau 3.35).

Tableau 3.35: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Relizane Amont.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	260,94	0,76	70,68	82,57	1,17	260,18
	Ql (m3/s)	307,00	0,85	53,18	92,89	1,75	306,15
	Qs (Kg/s)	70857,78	0,646	10436,33	21411,36	2,05	70857,13
Octobre	C (g/l)	169,02	0,08	57,48	49,27	0,86	168,94
	Ql (m3/s)	328,00	0,525	55,39	75,18	1,36	327,48
	Qs (Kg/s)	34564,64	0,042	5290,04	7955,00	1,50	34564,60
Novembre	C (g/l)	243,32	0,68	31,20	39,75	1,27	242,64
	Ql (m3/s)	217,50	0,147	17,42	39,54	2,27	217,35
	Qs (Kg/s)	11377,80	0,32	865,83	2240,18	2,59	11377,48
Décembre	C (g/l)	462,00	0,02	38,63	57,20	1,48	461,98
	Ql (m3/s)	335,60	0,173	31,11	63,13	2,03	335,43
	Qs (Kg/s)	32373,75	0,009	2478,74	6125,18	2,47	32373,74
Janvier	C (g/l)	129,30	0,80	25,12	30,64	1,22	128,50
	Ql (m3/s)	109,50	0,20	12,22	22,36	1,83	109,30
	Qs (Kg/s)	14158,35	0,256	822,84	2273,61	2,76	14158,09
Février	C (g/l)	121,64	0,44	23,53	30,10	1,28	121,20
	Ql (m3/s)	75,00	0,30	7,56	12,31	1,63	74,70
	Qs (Kg/s)	4038,00	0,194	372,19	855,52	2,30	4037,81
Mars	C (g/l)	122,69	0,20	23,40	33,56	1,43	122,49
	Ql (m3/s)	230,45	0,365	17,32	41,51	2,40	230,09
	Qs (Kg/s)	23633,55	0,197	1330,98	4154,64	3,12	23633,35
Avril	C (g/l)	75,56	0,74	19,01	20,30	1,07	74,82
	Ql (m3/s)	55,40	0,32	7,62	11,81	1,55	55,08
	Qs (Kg/s)	3633,13	1,152	332,10	850,43	2,56	3631,98
Mai	C (g/l)	364,00	0,42	33,88	67,84	2,00	363,58
	Ql (m3/s)	30,36	0,584	7,61	7,41	0,97	29,78
	Qs (Kg/s)	3618,31	0,546	406,67	870,85	2,14	3617,76
Juin	C (g/l)	36,52	1,14	10,25	13,66	1,33	35,38
	Ql (m3/s)	8,14	0,80	4,88	2,83	0,58	7,34
	Qs (Kg/s)	154,85	2,964	48,06	64,61	1,34	151,88
Juillet	C (g/l)	26,26	0,42	8,27	7,13	0,86	25,84
	Ql (m3/s)	11,33	0,584	3,41	3,36	0,99	10,75
	Qs (Kg/s)	297,53	0,546	45,47	81,59	1,79	296,98
Août	C (g/l)	34,89	0,76	6,80	10,52	1,55	34,13
	Ql (m3/s)	8,14	0,85	2,92	2,61	0,89	7,29
	Qs (Kg/s)	102,24	0,646	23,28	33,86	1,45	101,59

3.1.2.18. Station de Sidi Bel Attar (013602)

À la station de Sidi Bel Attar, les valeurs du coefficient de variation varient de 0,99 à 1,75 pour les concentrations, de 1,27 à 2,41 pour les débits liquides et de 1,95 à 3,63 pour les débits solides (tableau 3.36).

Tableau 3.36: Paramètres statistiques des variables concentration, débit liquide et débit solide à la station de Sidi Bel Attar.

Mois	Variables Hydrométriques	Paramètres statistiques					
		Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (C _v)	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	261,88	0,50	52,25	61,02	1,17	261,38
	Ql (m3/s)	309,00	0,012	19,30	37,99	1,97	308,99
	Qs (Kg/s)	62705,37	0,028	2127,62	6952,40	3,27	62705,34
Octobre	C (g/l)	361,76	0,28	56,68	55,99	0,99	361,48
	Ql (m3/s)	657,00	0,05	44,52	67,77	1,52	656,95
	Qs (Kg/s)	74129,60	0,05	3543,94	7172,48	2,02	74129,55
Novembre	C (g/l)	240,18	0,02	31,73	35,22	1,11	240,16
	Ql (m3/s)	521,90	0,011	34,51	62,10	1,80	521,89
	Qs (Kg/s)	34650,00	0,003	1811,16	4170,69	2,30	34650,00
Décembre	C (g/l)	163,92	0,16	20,31	23,26	1,15	163,76
	Ql (m3/s)	1090,00	0,002	55,66	101,57	1,82	1090,00
	Qs (Kg/s)	65664,95	0,006	1922,34	5405,30	2,81	65664,94
Janvier	C (g/l)	121,90	0,24	18,63	21,48	1,15	121,66
	Ql (m3/s)	2360,00	0,0044	62,15	149,58	2,41	2360,00
	Qs (Kg/s)	103428,00	0,003	1768,84	6418,40	3,63	103428,00
Février	C (g/l)	202,00	0,26	17,70	18,75	1,06	201,74
	Ql (m3/s)	1090,00	0,018	109,70	149,30	1,36	1089,98
	Qs (Kg/s)	56026,00	0,20	3028,60	6271,65	2,07	56025,80
Mars	C (g/l)	145,00	0,20	17,84	21,04	1,18	144,80
	Ql (m3/s)	1782,80	0,18	101,41	212,89	2,10	1782,62
	Qs (Kg/s)	106789,72	0,262	3191,46	10489,56	3,29	106789,46
Avril	C (g/l)	159,98	0,26	14,70	22,56	1,53	159,72
	Ql (m3/s)	881,00	0,23	49,63	86,81	1,75	880,77
	Qs (Kg/s)	27534,00	0,121	1295,74	3938,45	3,04	27533,88
Mai	C (g/l)	295,72	0,5	20,16	33,91	1,68	295,22
	Ql (m3/s)	496,00	0,318	30,00	52,26	1,74	495,68
	Qs (Kg/s)	16159,68	1,238	601,53	1422,91	2,37	16158,44
Juin	C (g/l)	171,58	0,10	22,62	33,42	1,48	171,48
	Ql (m3/s)	121,24	0,246	13,90	17,72	1,27	120,99
	Qs (Kg/s)	3887,60	0,576	343,33	669,97	1,95	3887,02
Juillet	C (g/l)	242,74	0,30	41,00	62,51	1,52	242,44
	Ql (m3/s)	46,00	0,318	6,66	9,84	1,48	45,68
	Qs (Kg/s)	6113,40	0,261	448,86	1139,36	2,54	6113,14
Août	C (g/l)	155,24	1,10	23,54	41,18	1,75	154,14
	Ql (m3/s)	15,20	0,017	3,06	4,90	1,60	15,18
	Qs (Kg/s)	2359,65	0,037	226,34	639,48	2,83	2359,61

3.2. Relation : Débit liquide instantané – débit solide instantané

3.2.1. Relation débit liquide – débit solide à la station de Ghrib Amont

(Echelle mensuelle)

Au niveau mensuel les corrélations sont meilleures, car la variation du transport solide au cours d'un mois n'est pas importante par rapport à la variation annuelle. La représentation des valeurs permet de nous montrer l'allure du graphe. Les calculs de régression sous différentes formes ont permis de conclure que la forme **puissance** est la plus acceptable, car elle présente les valeurs les plus élevées en majorité du coefficient de détermination « R^2 ».

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.37 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphe dans la figure 3.19

Tableau 3.37 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Ghrib Amont.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu Qs = f(Ql)
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	71	0,46	0,35	0,47	0,73	0,45	$9,68Ql^{1,37}$
Octobre	6	0,77	0,50	0,81	0,79	0,63	$0,02Ql^{4,74}$
Novembre	31	0,78	0,51	0,87	0,83	0,47	$4,21Ql^{1,90}$
Décembre	6	0,46	0,38	0,58	0,57	0,28	$2,11Ql^{1,73}$
Janvier	10	0,88	0,87	0,88	0,83	0,64	$4,15Ql^{1,51}$
Février	13	0,70	0,62	0,83	0,88	0,53	$1,16Ql^{1,01}$
Mars	19	0,32	0,28	0,32	0,53	0,33	$2,15Ql^{1,38}$
Avril	20	0,25	0,27	0,25	0,44	0,27	$1,78Ql^{1,2}$
Mai	62	0,70	0,53	0,72	0,74	0,53	$1,40Ql^{1,9}$
Juin	26	0,10	0,09	0,11	0,76	0,68	$0,10Q^{2,28}$
Juillet	6	0,94	0,85	0,97	0,99	0,74	$5,95Ql^{1,94}$
Août	9	0,69	0,66	0,76	0,77	0,48	$1,15Ql^{2,03}$

N : nombre d'observations.

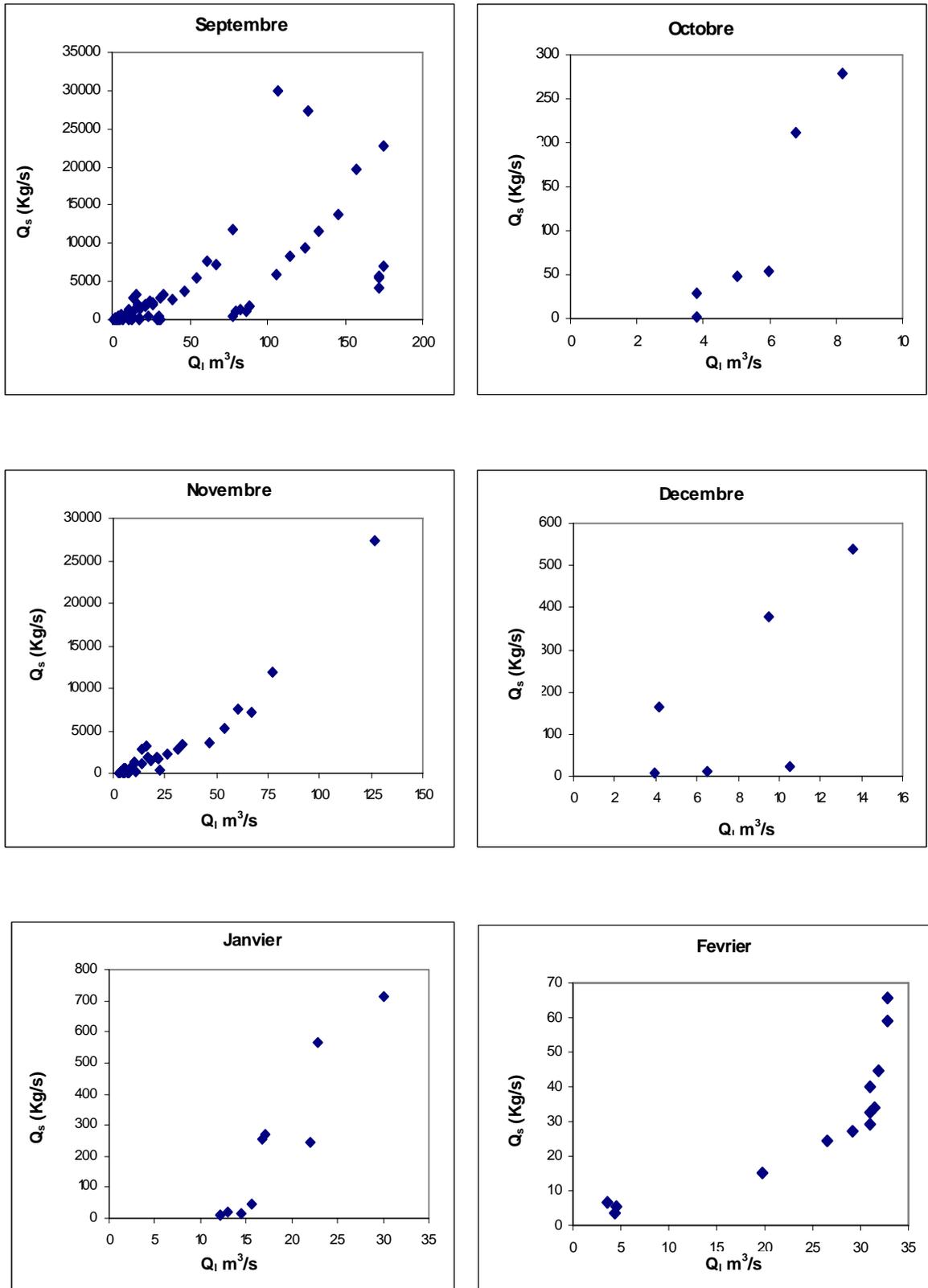


Figure 3.19: Relation débit liquide – débit solide à la station de Ghib Amont

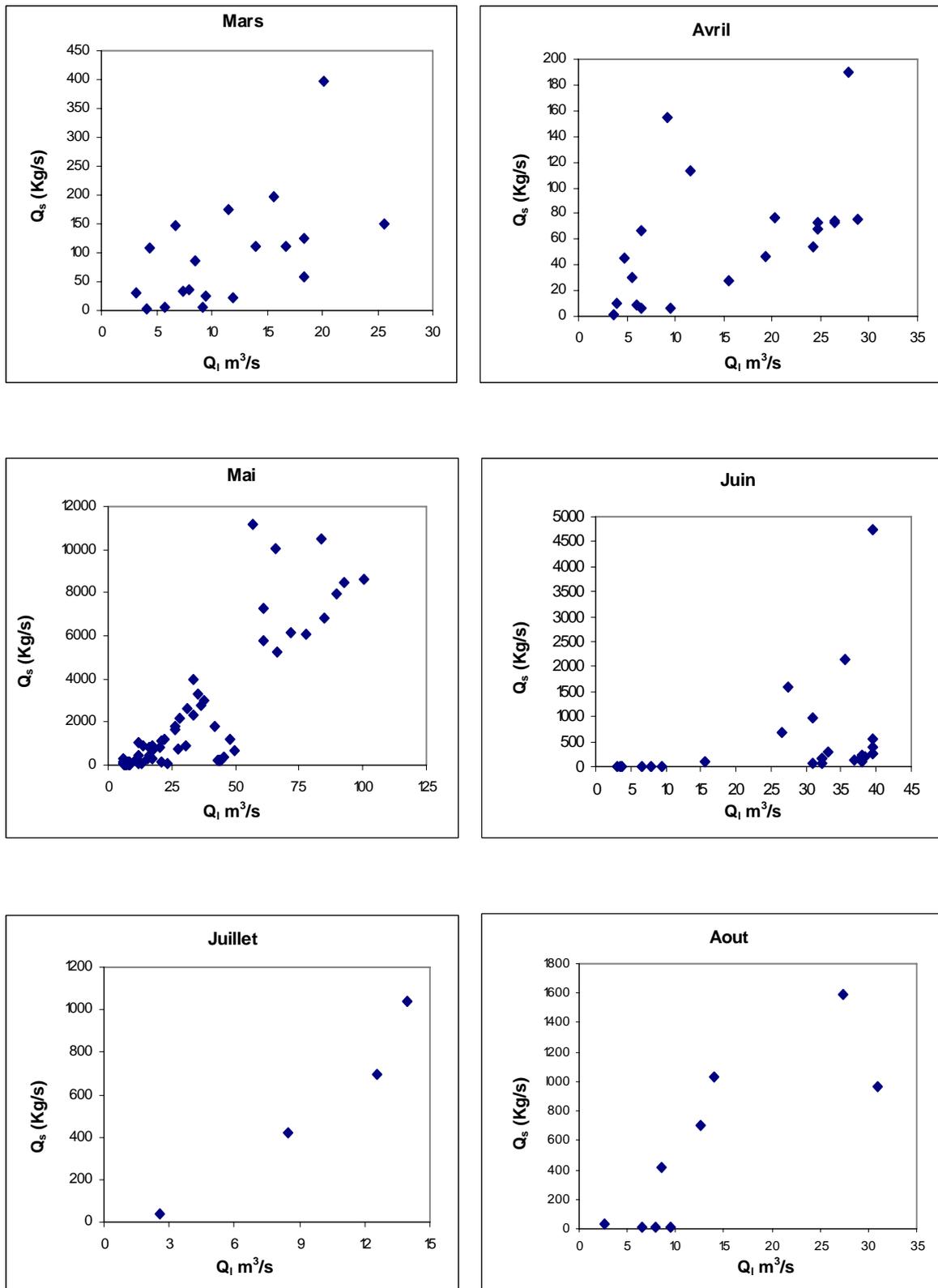


Figure 3.19: Relation débit liquide – débit solide à la station de Ghrif Amont (suite et fin).

3.2.2. Relation débit liquide – débit solide à la station de Tamezguida (Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.38 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphe dans la figure 3.20

Tableau 3.38 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Tamezguida.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	11	0,63	0,24	0,71	0,64	0,46	$1,57Q_l^{0,79}$
Octobre	32	0,90	0,62	0,9	0,98	0,73	$7,95Q_l^{1,69}$
Novembre	8	0,82	0,77	0,83	0,80	0,51	$9,25Q_l^{1,12}$
Décembre	13	0,18	0,36	0,37	0,69	0,41	$1,50Q_l^{1,55}$
Janvier	31	0,87	0,75	0,88	0,91	0,74	$6,31Q_l^{1,75}$
Février	6	0,49	0,44	0,52	0,72	0,46	$3,36Q_l^{1,32}$
Mars	14	0,76	0,59	0,78	0,83	0,62	$2,15Q_l^{1,86}$
Avril	8	0,89	0,69	0,9	0,92	0,75	$1,74Q_l^{2,1}$
Mai	5	0,89	0,72	0,91	0,93	0,73	$2,09Q_l^{1,88}$
Juin	12	0,78	0,56	0,84	0,83	0,75	$2,10Q_l^{2,03}$
Juillet	4	0,88	0,81	0,89	0,99	0,87	$24,04Q_l^{1,01}$
Août	12	0,81	0,51	0,88	0,84	0,56	$3,76Q_l^{2,05}$

N : nombre d'observations.

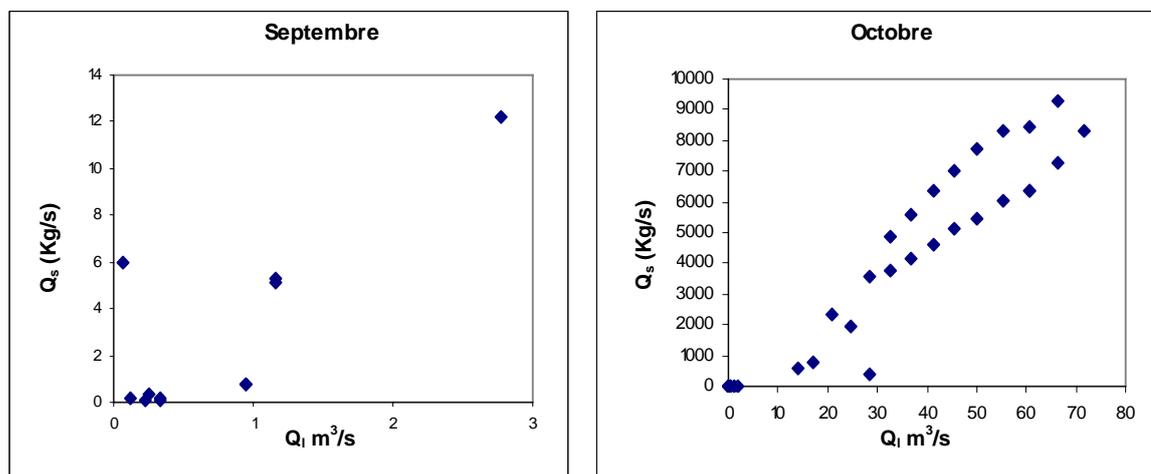


Figure 3.20: Relation débit liquide – débit solide à la station de Tamezguida.

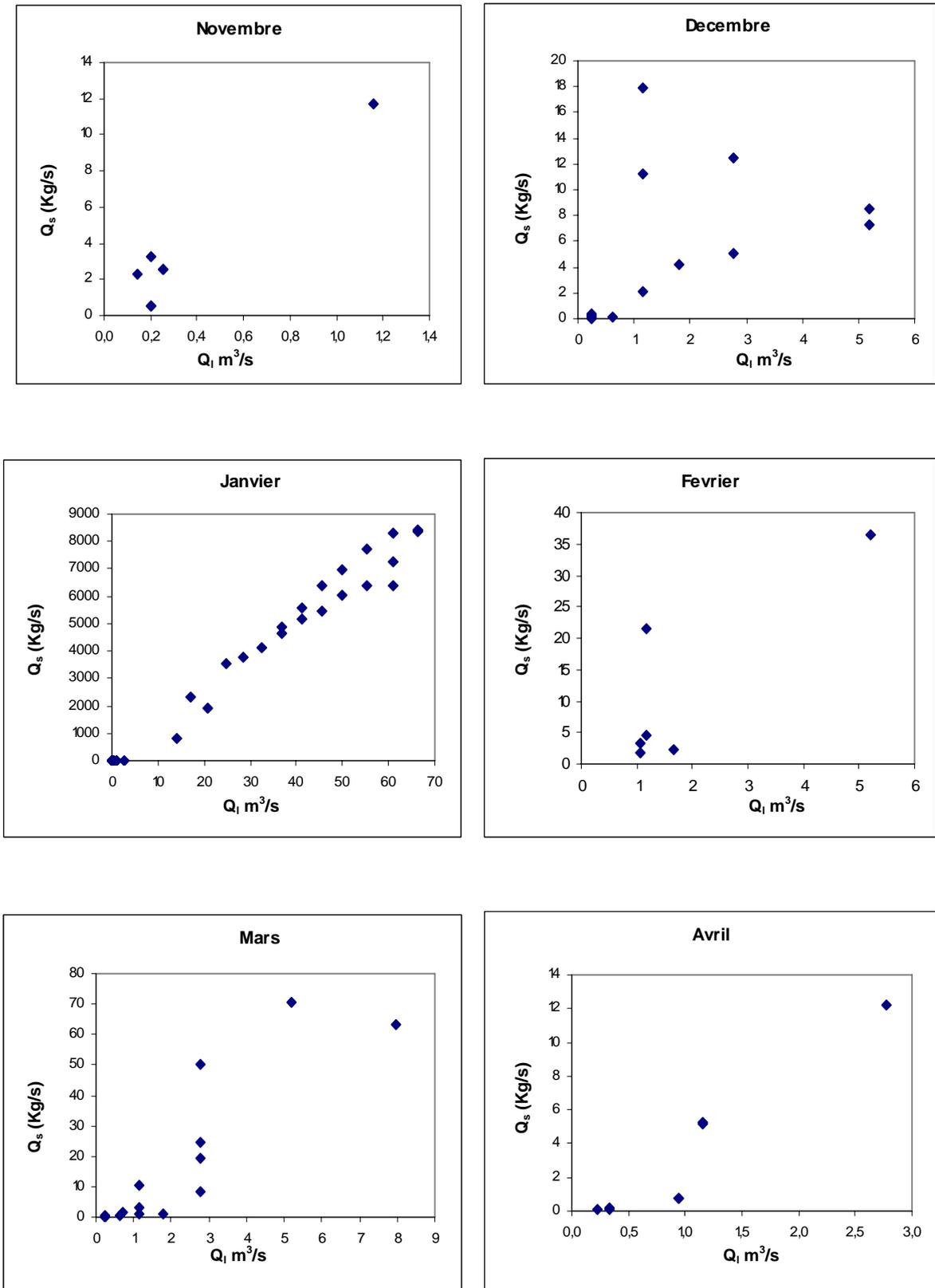


Figure 3.20: Relation débit liquide – débit solide à la station de Tamezguida. (suite)

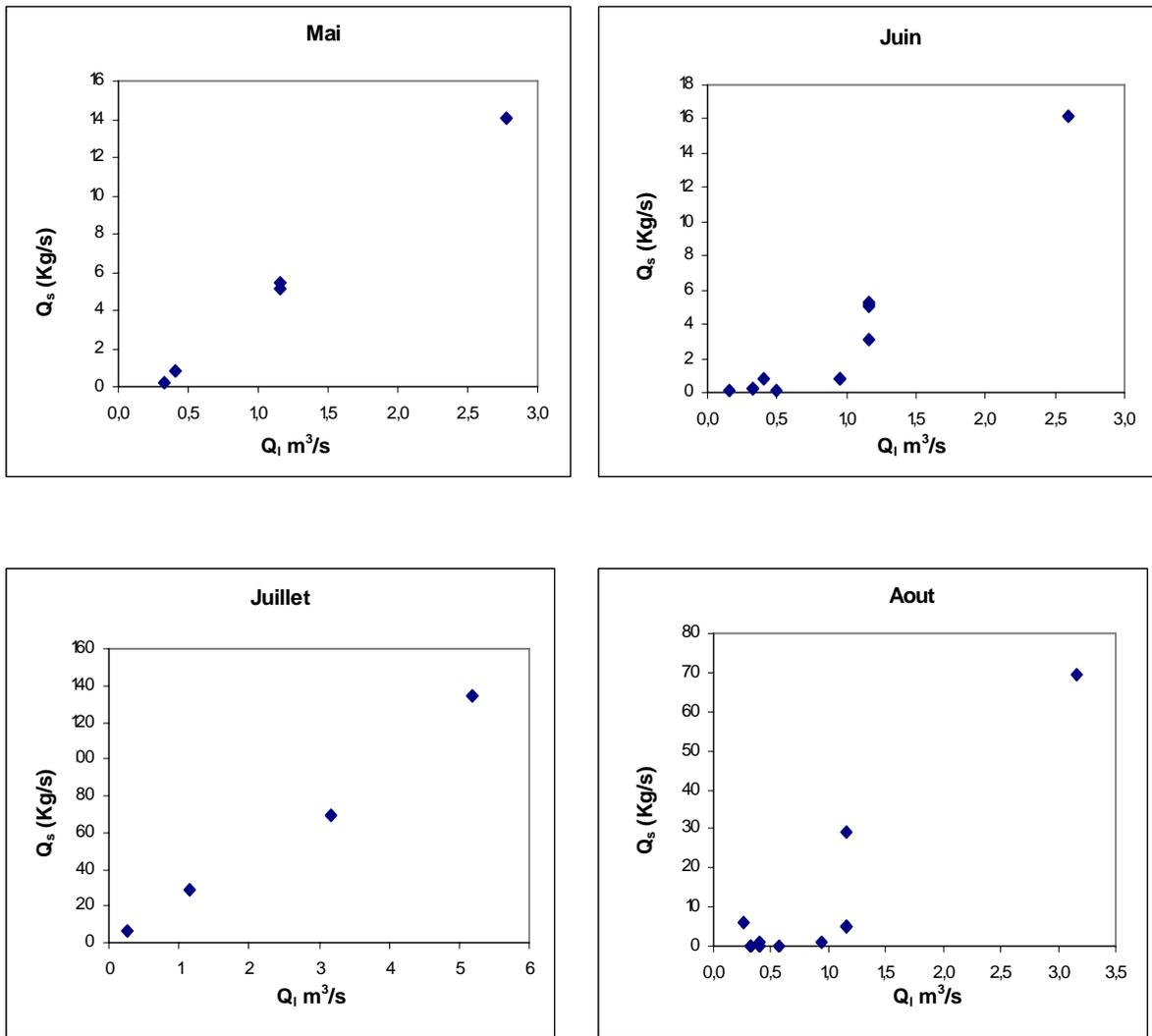


Figure 3.20: Relation débit liquide – débit solide à la station de Tamezguida (suite et fin).

3.2.3. Relation débit liquide – débit solide à la station de Djenane Ben Ouadah (Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.39 et les couples (Q_l , Q_s) sont mis en graphe dans la figure 3.21

Tableau 3.39 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Djenane Ben Ouadah.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	61	0,63	0,39	0,64	0,54	0,46	$4,15Q_l^{1,34}$
Octobre	221	0,27	0,17	0,31	0,41	0,28	$3,91Q_l^{1,06}$
Novembre	105	0,57	0,31	0,59	0,74	0,53	$3,38Q_l^{1,43}$
Décembre	144	0,21	0,22	0,26	0,65	0,42	$2,22Q_l^{1,31}$
Janvier	201	0,59	0,30	0,60	0,73	0,53	$1,97Q_l^{1,41}$
Février	144	0,33	0,24	0,34	0,6	0,5	$3,12Q_l^{1,28}$
Mars	87	0,09	0,07	0,10	0,73	0,40	$2,83Q_l^{1,17}$
Avril	59	0,53	0,42	0,54	0,78	0,59	$1,59Q_l^{1,53}$
Mai	46	0,26	0,48	0,49	0,73	0,37	$0,77Q_l^{1,53}$
Juin	8	0,48	0,59	0,49	0,45	0,35	$15,59Q_l^{1,14}$
Juillet	6	0,77	0,44	0,85	0,90	0,63	$32,14Q_l^{0,7}$
Août	18	0,76	0,54	0,77	0,82	0,47	$4,78Q_l^{1,6}$

N : nombre d'observations

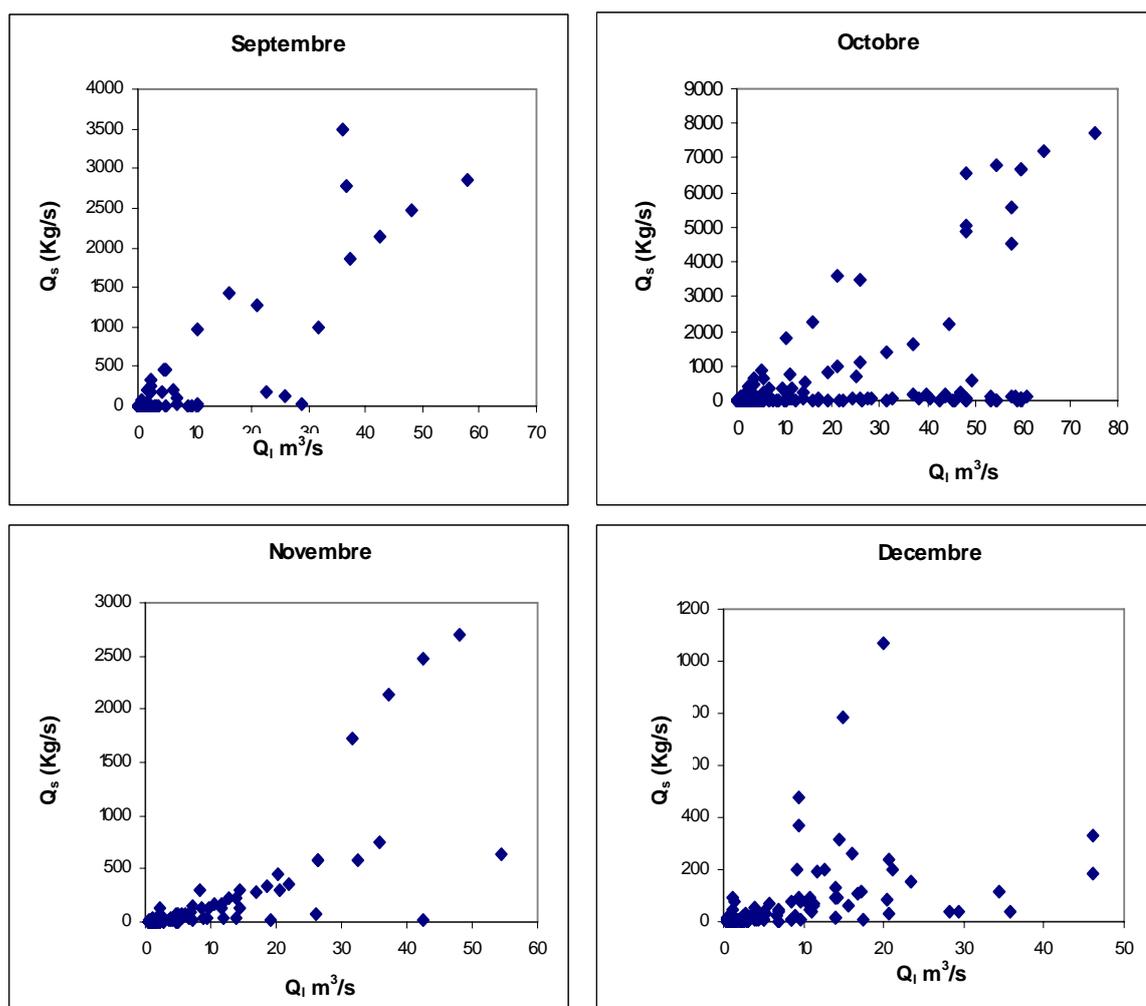


Figure 3.21 Relation débit liquide – débit solide à la station de Djenane Ben Ouadah.

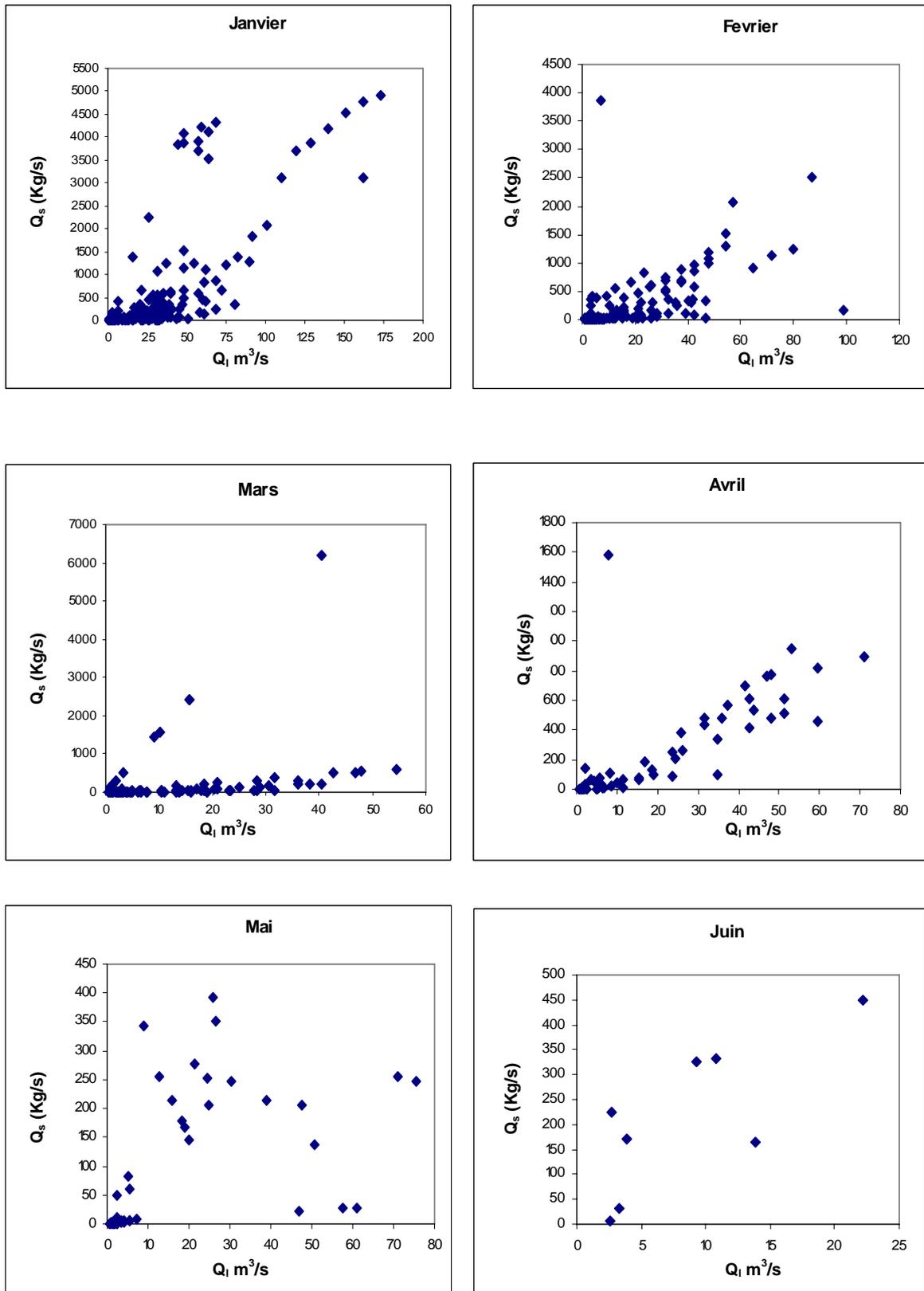


Figure 3.21 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Djenane Ben Ouadah.
(suite)

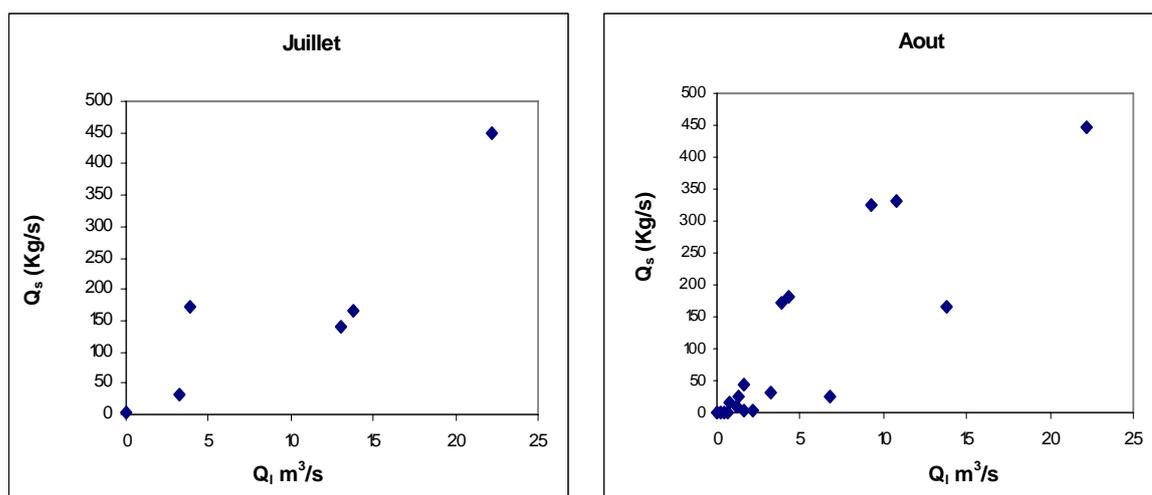


Figure 3.21 Relation débit liquide – débit solide à la station de Djenane Ben Ouadah (suite et fin).

3.2.4. Relation débit liquide – débit solide à la station de Marabout blanc (Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.40 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphe dans la figure 3.22

Tableau 3.40 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Marabout blanc

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	67	0,69	0,29	0,72	0,80	0,31	$22,29Q_l^{1,36}$
Octobre	141	0,82	0,44	0,87	0,89	0,33	$26,72Q_l^{1,33}$
Novembre	89	0,75	0,37	0,76	0,87	0,48	$13,27Q_l^{1,59}$
Décembre	98	0,62	0,35	0,62	0,77	0,50	$7,61Q_l^{1,41}$
Janvier	139	0,83	0,40	0,84	0,91	0,43	$3,94Q_l^{1,42}$
Février	104	0,80	0,34	0,82	0,83	0,49	$4,18Q_l^{1,27}$
Mars	121	0,72	0,42	0,72	0,76	0,44	$4,30Q_l^{1,47}$
Avril	64	0,14	0,25	0,16	0,79	0,5	$5,68Q_l^{1,25}$
Mai	69	0,78	0,39	0,81	0,77	0,52	$9,4Q_l^{1,24}$
Juin	29	0,78	0,42	0,8	0,73	0,58	$28,89Q_l^{1,34}$
Juillet	9	0,36	0,37	0,41	0,51	0,46	$0,63Q_l^{0,98}$
Août	14	0,19	0,12	0,10	0,6	0,48	$0,41Q_l^{0,80}$

N : nombre d'observations.

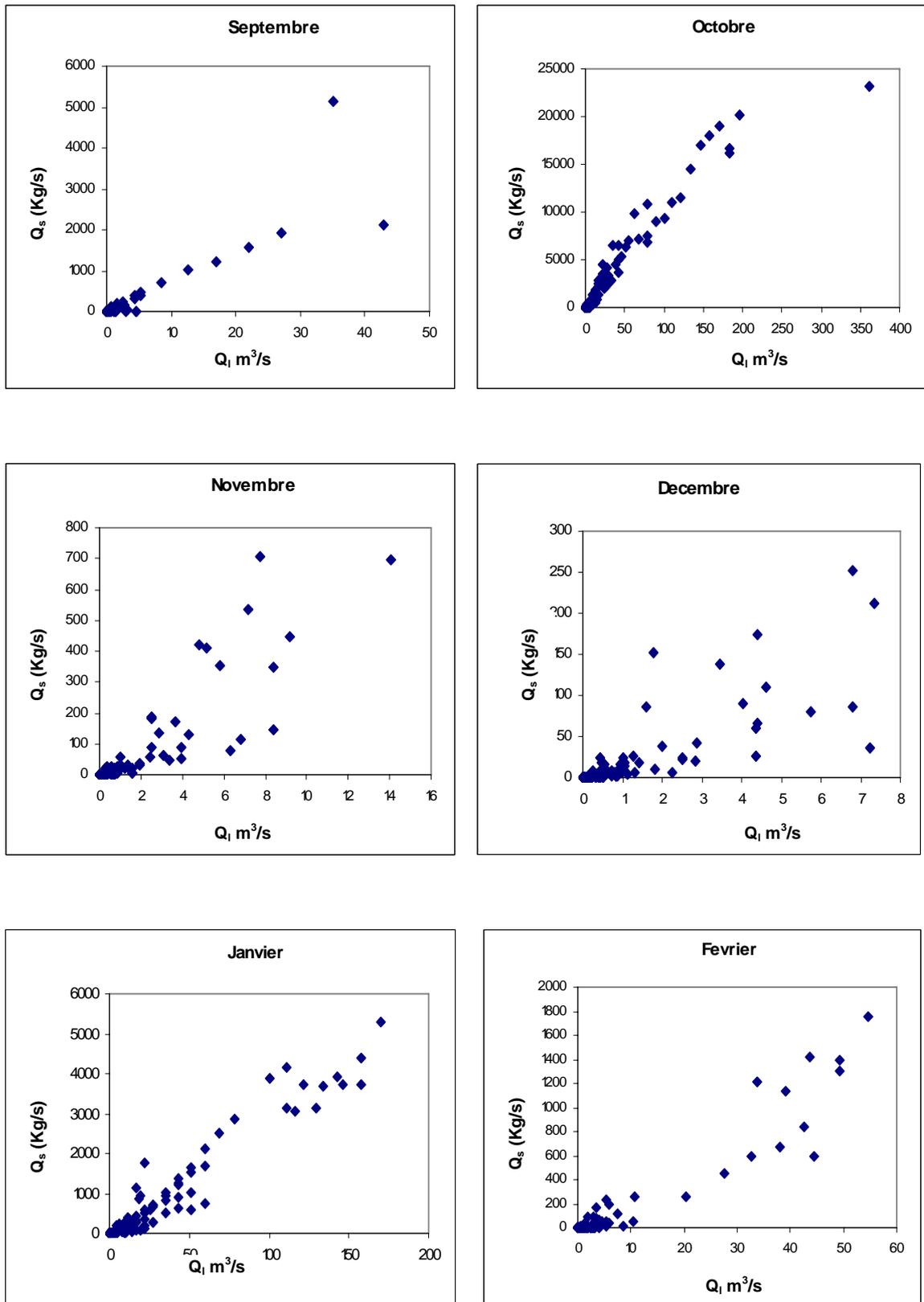


Figure 3.22 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Marabout blanc.

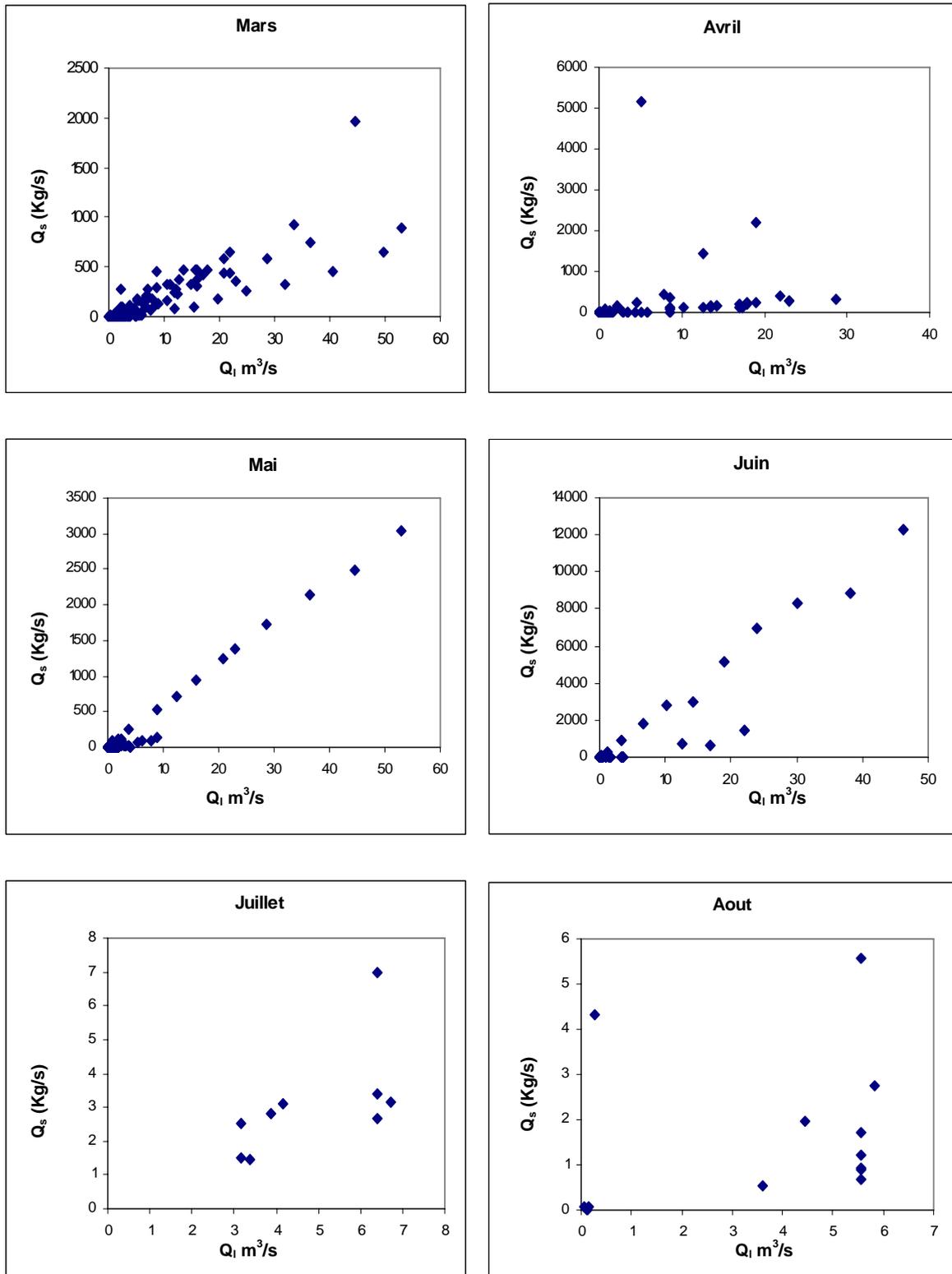


Figure 3.22 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Marabout blanc (suite et fin).

3.2.5. Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Cheliff
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.41 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphes dans la figure 3.23.

Tableau 3.41 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Arib Cheliff.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	85	0,61	0,35	0,62	0,63	0,37	$8,85Q_l^{1,39}$
Octobre	323	0,49	0,29	0,5	0,69	0,54	$1,94Q_l^{1,61}$
Novembre	253	0,73	0,42	0,77	0,66	0,50	$2,01Q_l^{1,46}$
Décembre	349	0,77	0,41	0,78	0,72	0,41	$1,24Q_l^{1,46}$
Janvier	432	0,67	0,39	0,69	0,74	0,48	$1,23Q_l^{1,48}$
Février	586	0,75	0,37	0,76	0,67	0,50	$1,22Q_l^{1,33}$
Mars	466	0,70	0,40	0,72	0,73	0,46	$0,63Q_l^{1,51}$
Avril	214	0,28	0,26	0,35	0,60	0,36	$1,6Q_l^{1,28}$
Mai	80	0,36	0,24	0,38	0,68	0,47	$1,22Q_l^{1,35}$
Juin	13	0,53	0,38	0,54	0,44	0,35	$12,02Q_l^{0,92}$
Juillet	13	0,21	0,17	0,26	0,42	0,11	$5,43Q_l^{0,91}$
Août	32	0,49	0,38	0,45	0,41	0,32	$15,36Q_l^{0,64}$

N : nombre d'observations.

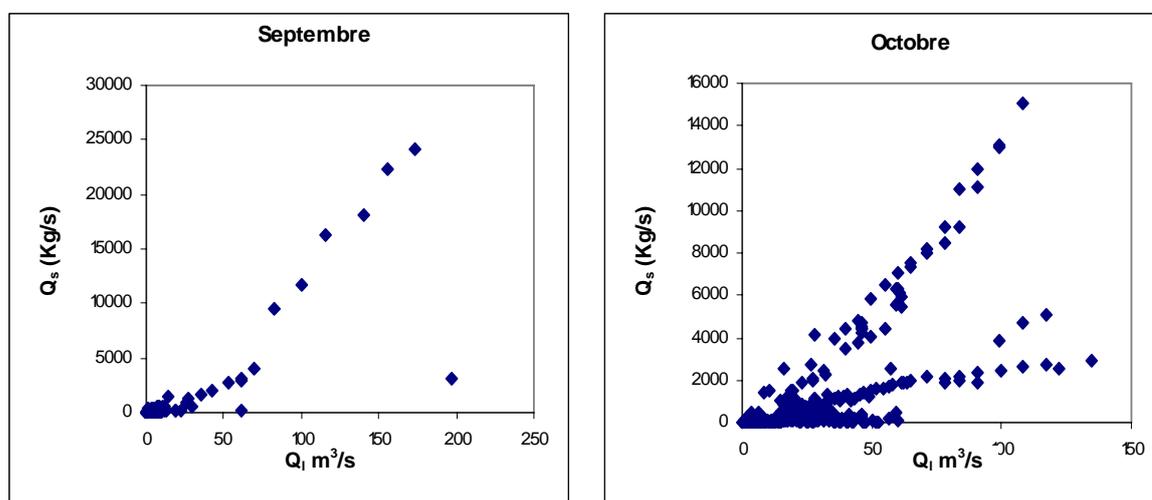


Figure 3.23 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Cheliff.

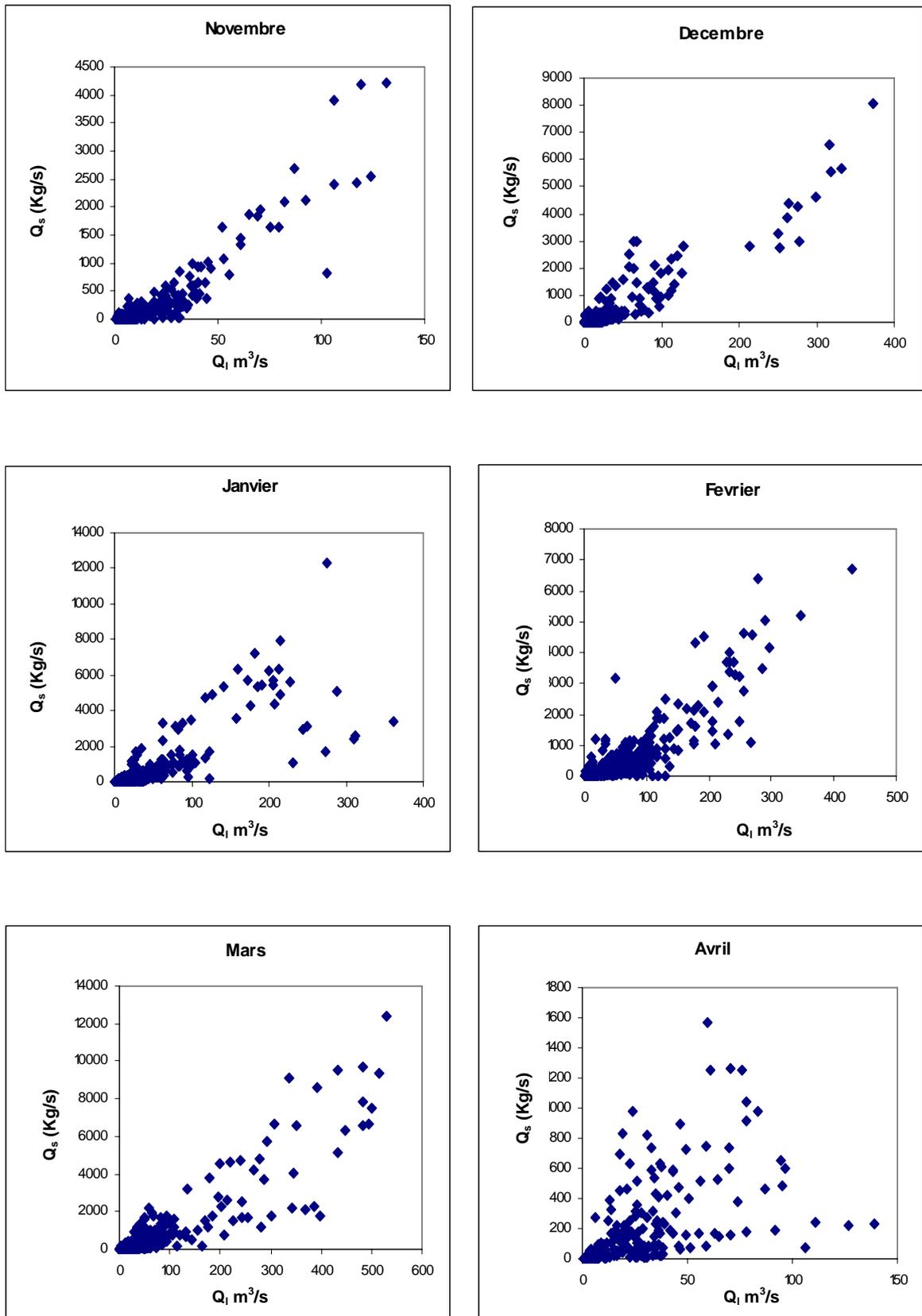


Figure 3.23 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Arrib Cheliff.
(suite)

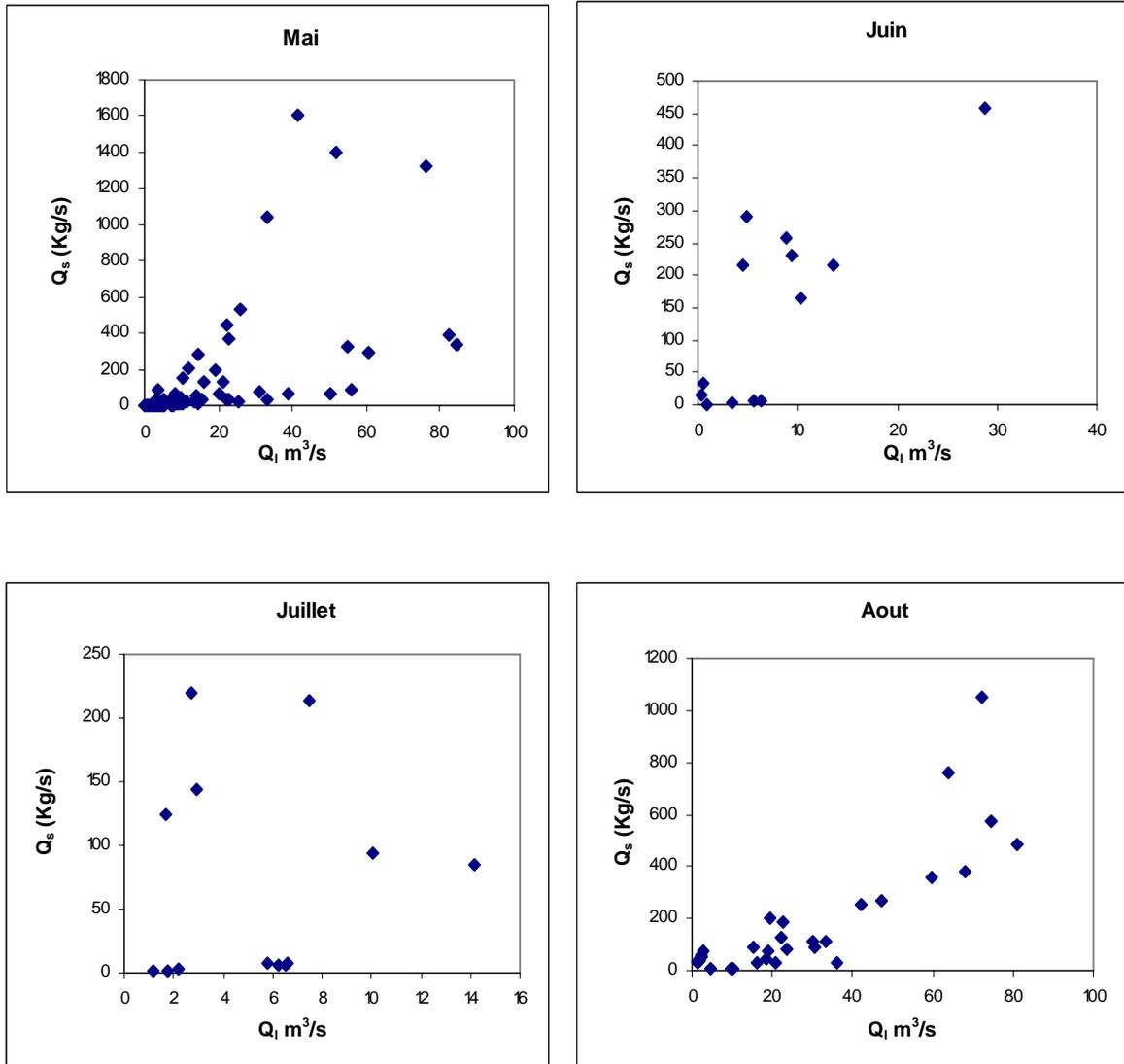


Figure 3.23 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Cheliff.
(suite et fin)

3.2.6. Relation débit liquide – débit solide à la station d'El Ababssa
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.42 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphes dans la figure 3.24

Tableau 3.42 : Résultats de calculs des différents modèles à la station d'El Ababssa.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	217	0,80	0,47	0,81	0,83	0,47	$29,27Q_l^{1,19}$
Octobre	615	0,41	0,17	0,42	0,58	0,36	$11,84Q_l^{1,08}$
Novembre	330	0,68	0,32	0,68	0,76	0,35	$6,59Q_l^{1,37}$
Décembre	326	0,69	0,33	0,71	0,77	0,50	$5,72Q_l^{1,29}$
Janvier	485	0,24	0,20	0,32	0,76	0,37	$4,62Q_l^{1,27}$
Février	640	0,11	0,13	0,19	0,77	0,29	$2,65Q_l^{1,37}$
Mars	607	0,61	0,28	0,63	0,77	0,36	$3,12Q_l^{1,40}$
Avril	345	0,36	0,24	0,45	0,76	0,33	$4,86Q_l^{1,50}$
Mai	186	0,46	0,12	0,52	0,70	0,41	$7,80Q_l^{1,25}$
Juin	76	0,80	0,27	0,81	0,83	0,37	$30,72Q_l^{1,14}$
Juillet	50	0,89	0,32	0,91	0,93	0,29	$30,2Q_l^{1,36}$
Août	38	0,89	0,49	0,92	0,94	0,71	$73,95Q_l^{0,97}$

N : nombre d'observations

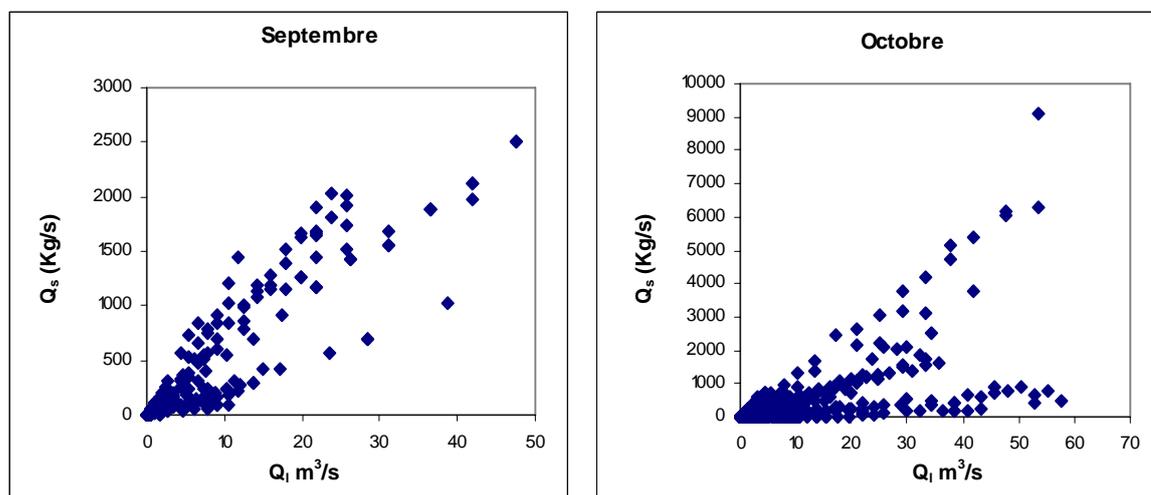


Figure 3.24 : Relation débit liquide – débit solide à la station d'El Ababssa.

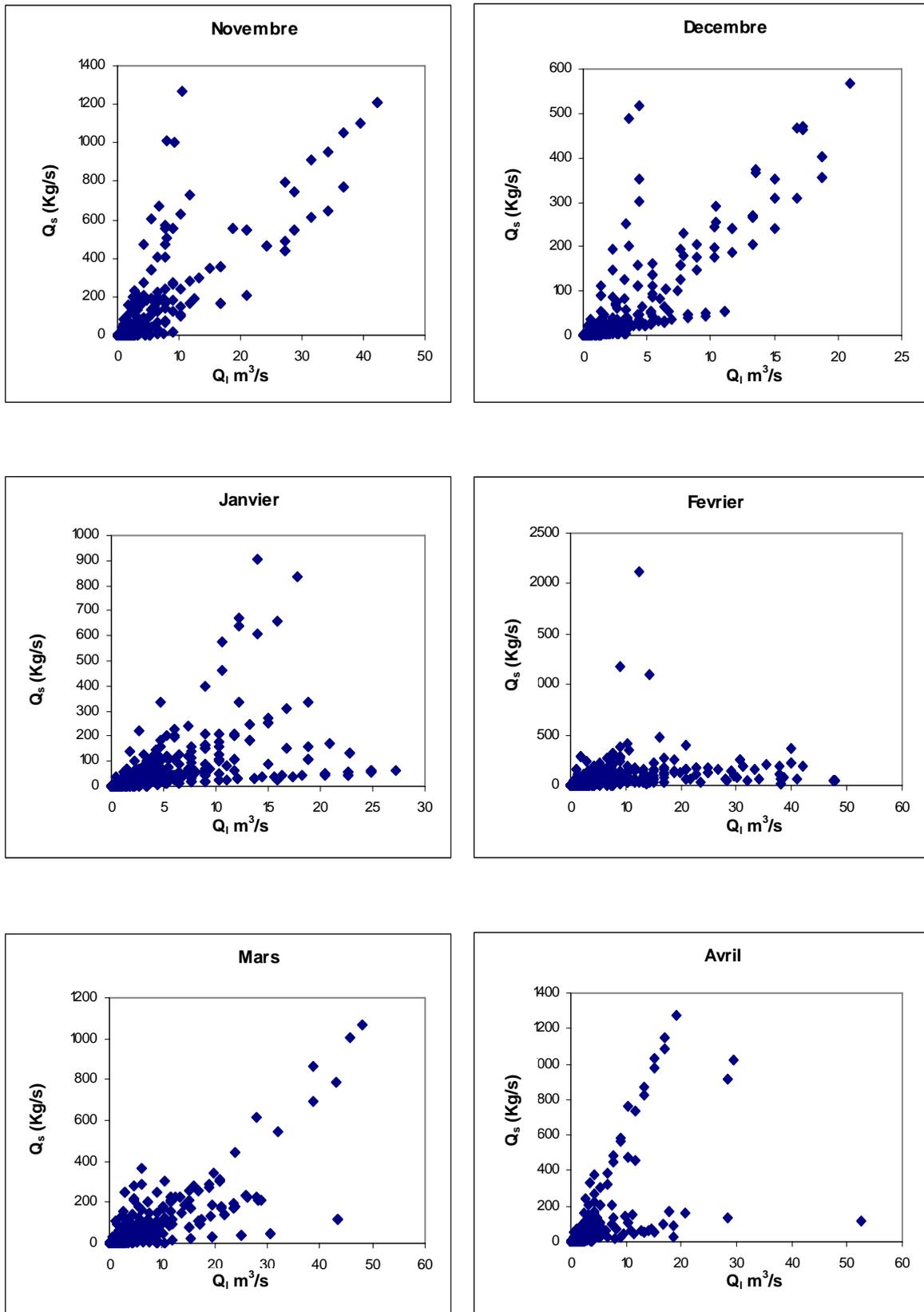


Figure 3.24 : Relation débit liquide – débit solide à la station d'El Ababssa.
(suite)

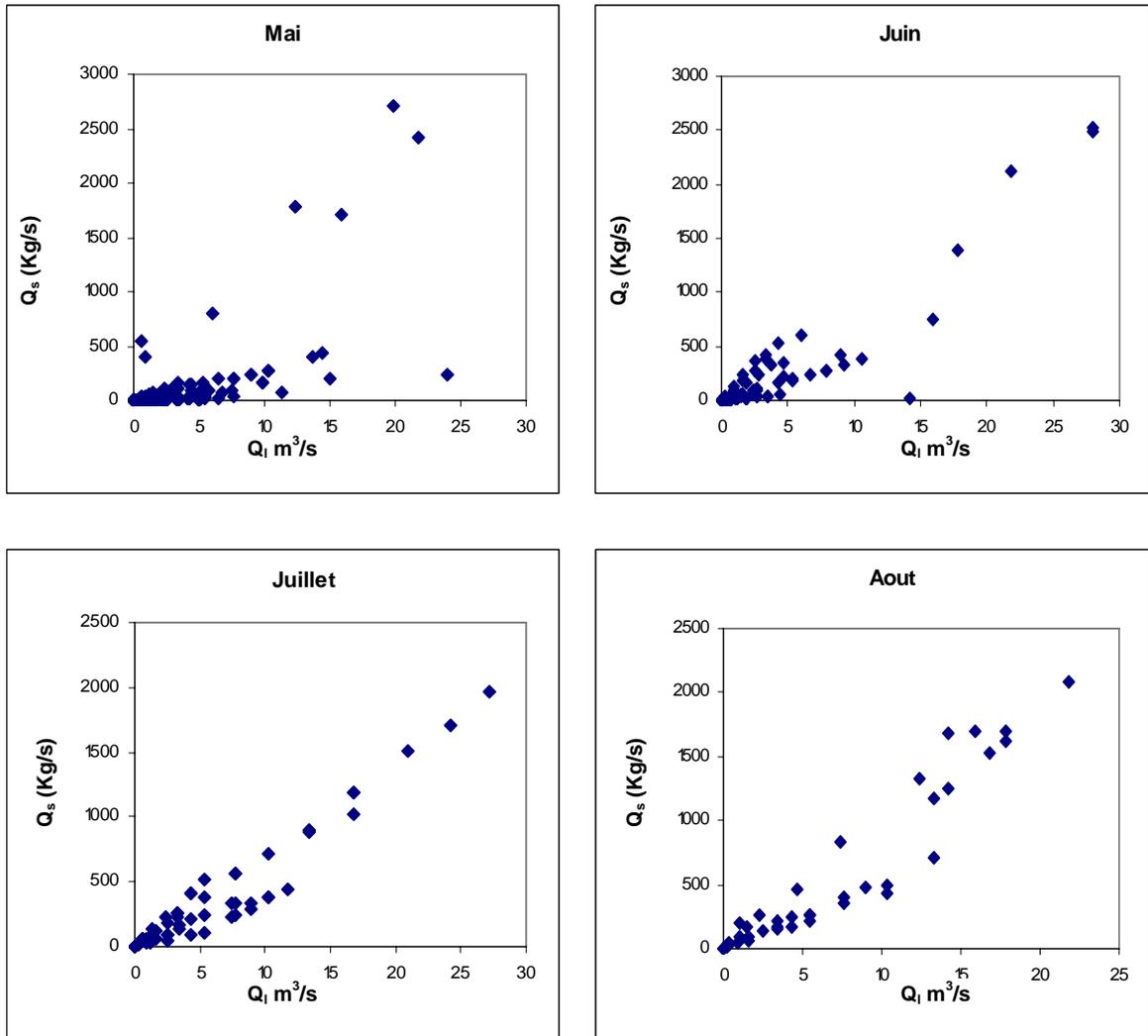


Figure 3.24 : Relation débit liquide – débit solide à la station d'El Ababssa.
(suite et fin).

3.2.7. Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Abda
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.43 et les couples (Q_l , Q_s) sont mis en graphe dans la figure 3.25.

Tableau 3.43 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Arib Abda.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	78	0,83	0,50	0,83	0,85	0,49	$13,28Q_l^{1,59}$
Octobre	204	0,71	0,30	0,73	0,71	0,39	$5,81Q_l^{1,32}$
Novembre	241	0,80	0,14	0,85	0,88	0,33	$2,88Q_l^{1,44}$
Décembre	330	0,69	0,32	0,73	0,72	0,50	$1,70Q_l^{1,42}$
Janvier	433	0,73	0,41	0,74	0,81	0,50	$1,08Q_l^{1,65}$
Février	395	0,61	0,41	0,63	0,77	0,51	$0,86Q_l^{1,69}$
Mars	426	0,73	0,42	0,74	0,84	0,53	$0,77Q_l^{1,68}$
Avril	178	0,37	0,28	0,38	0,63	0,43	$1,31Q_l^{1,56}$
Mai	139	0,34	0,21	0,35	0,60	0,48	$1,32Q_l^{1,69}$
Juin	25	0,44	0,29	0,44	0,81	0,52	$3,54Q_l^{1,44}$
Juillet	11	0,84	0,60	0,86	0,82	0,64	$28,4Q_l^{1,68}$
Août	7	0,69	0,34	0,76	0,78	0,62	$6,53Q_l^{1,68}$

N : nombre d'observations.

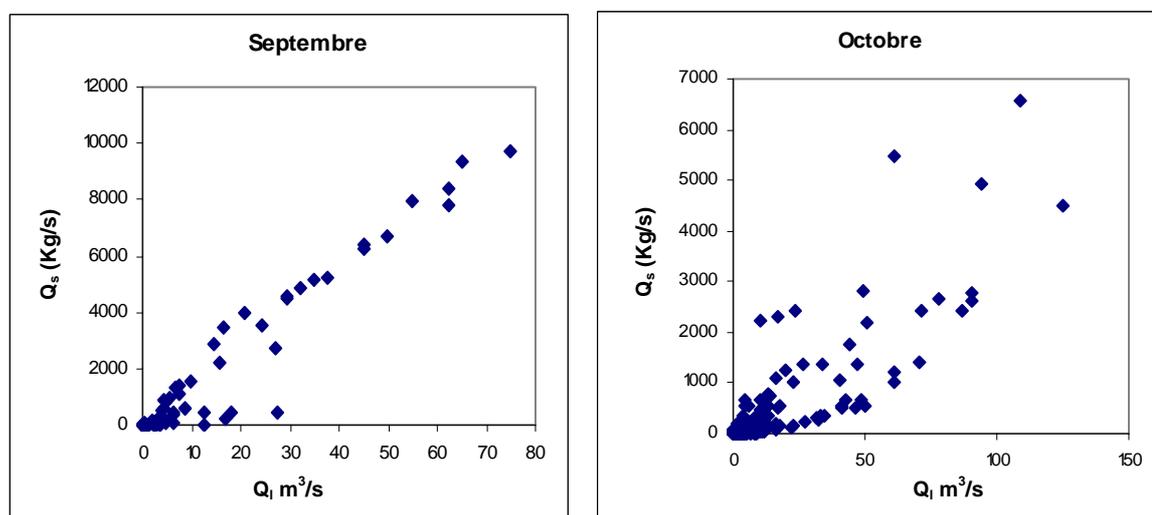


Figure 3.25 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Abda .

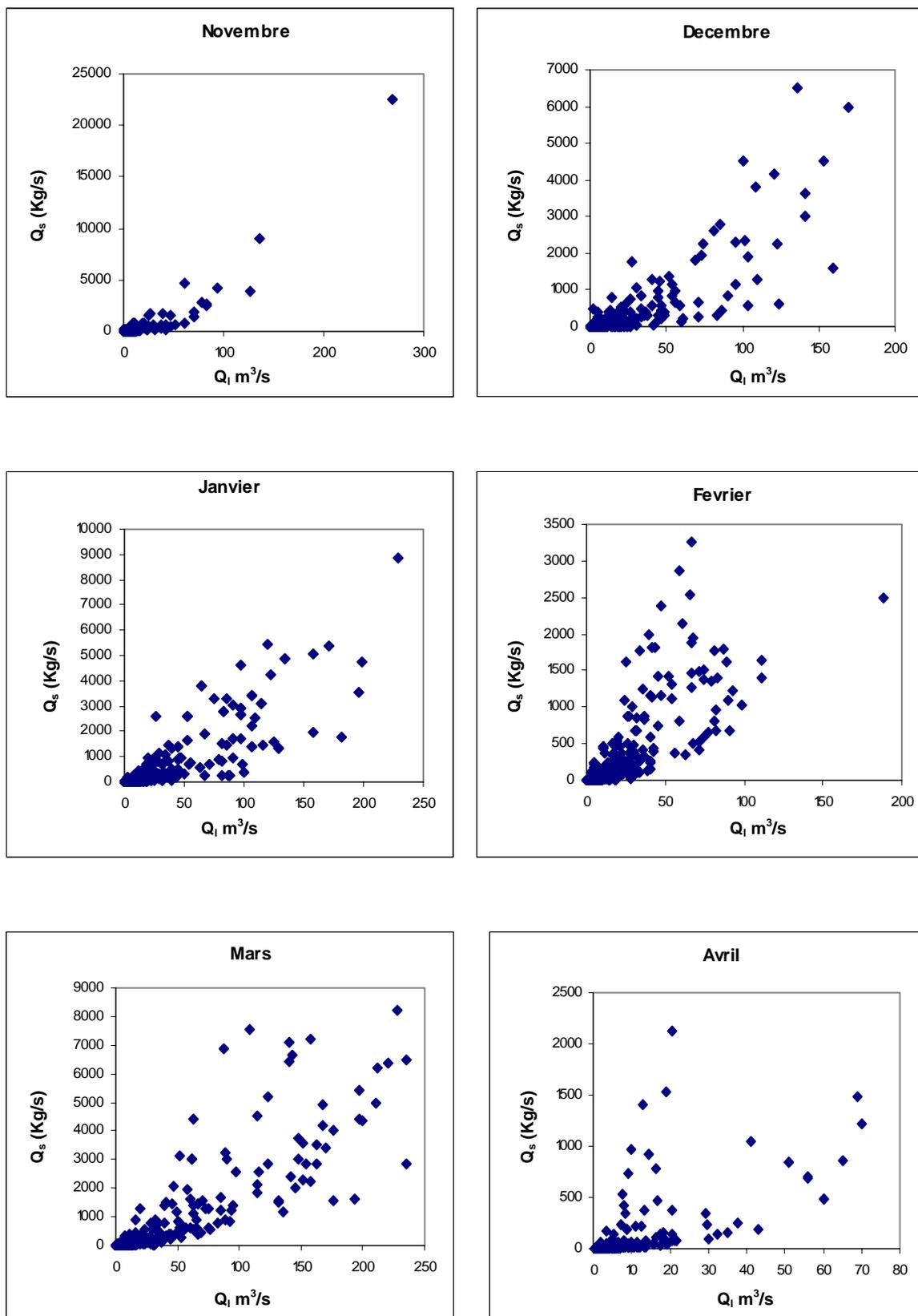


Figure 3.25 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Abda.
(suite)

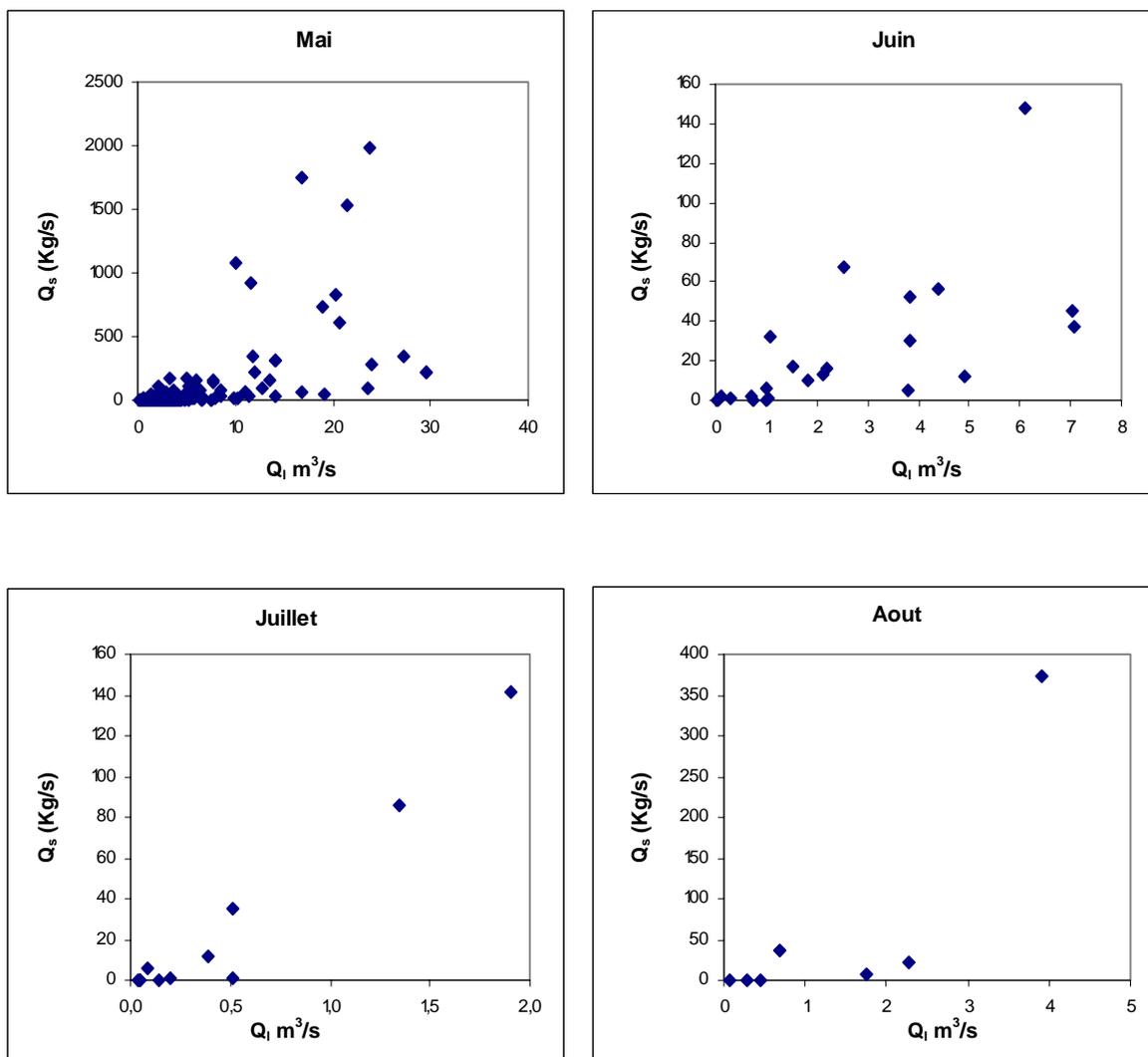


Figure 3.25 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Arib Abda.
(suite et fin)

3.2.8. Relation débit liquide – débit solide à la station de Bir Ouled Tahar
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.44 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphe dans la figure 3.26.

Tableau 3.44 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Bir Ouled Tahar.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	123	0,78	0,47	0,80	0,89	0,46	$54,21Q_l^{1,44}$
Octobre	162	0,57	0,27	0,69	0,88	0,32	$64,75Q_l^{1,20}$
Novembre	74	0,70	0,41	0,71	0,77	0,42	$36,84Q_l^{1,35}$
Décembre	104	0,81	0,42	0,82	0,85	0,43	$25,89Q_l^{1,43}$
Janvier	255	0,66	0,30	0,68	0,83	0,52	$9,28Q_l^{1,39}$
Février	233	0,83	0,29	0,85	0,83	0,40	$9,11Q_l^{1,43}$
Mars	292	0,87	0,57	0,88	0,91	0,54	$7,47Q_l^{1,53}$
Avril	228	0,90	0,36	0,91	0,87	0,46	$9,4Q_l^{1,46}$
Mai	160	0,80	0,49	0,82	0,91	0,42	$9,35Q_l^{1,56}$
Juin	52	0,88	0,42	0,88	0,82	0,37	$39,58Q_l^{1,50}$
Juillet	8	0,89	0,56	0,89	0,73	0,49	$105,68Q_l^{1,51}$
Août	8	0,89	0,54	0,90	0,96	0,53	$156,4Q_l^{1,52}$

N : nombre d'observations.

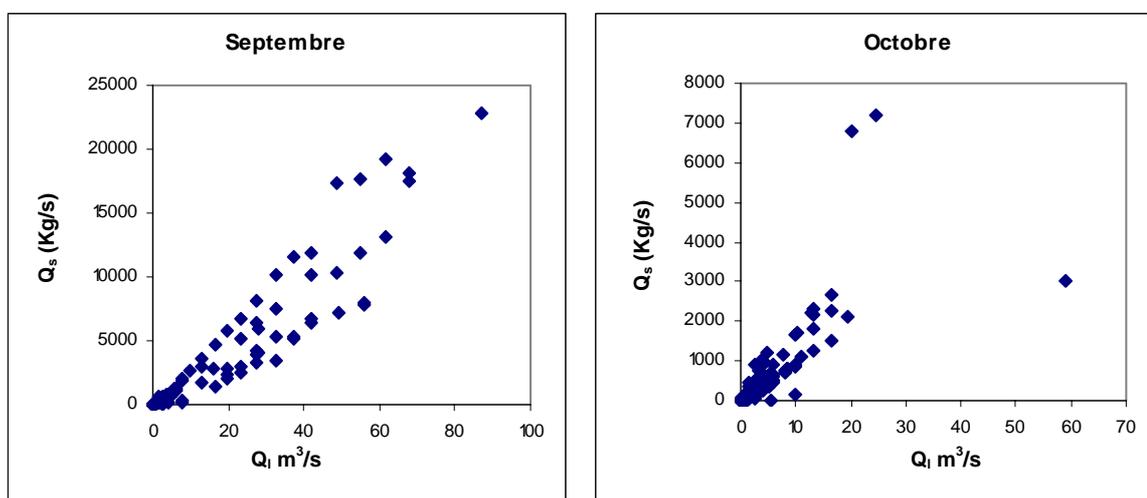


Figure 3.26 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Bir Ouled Tahar.

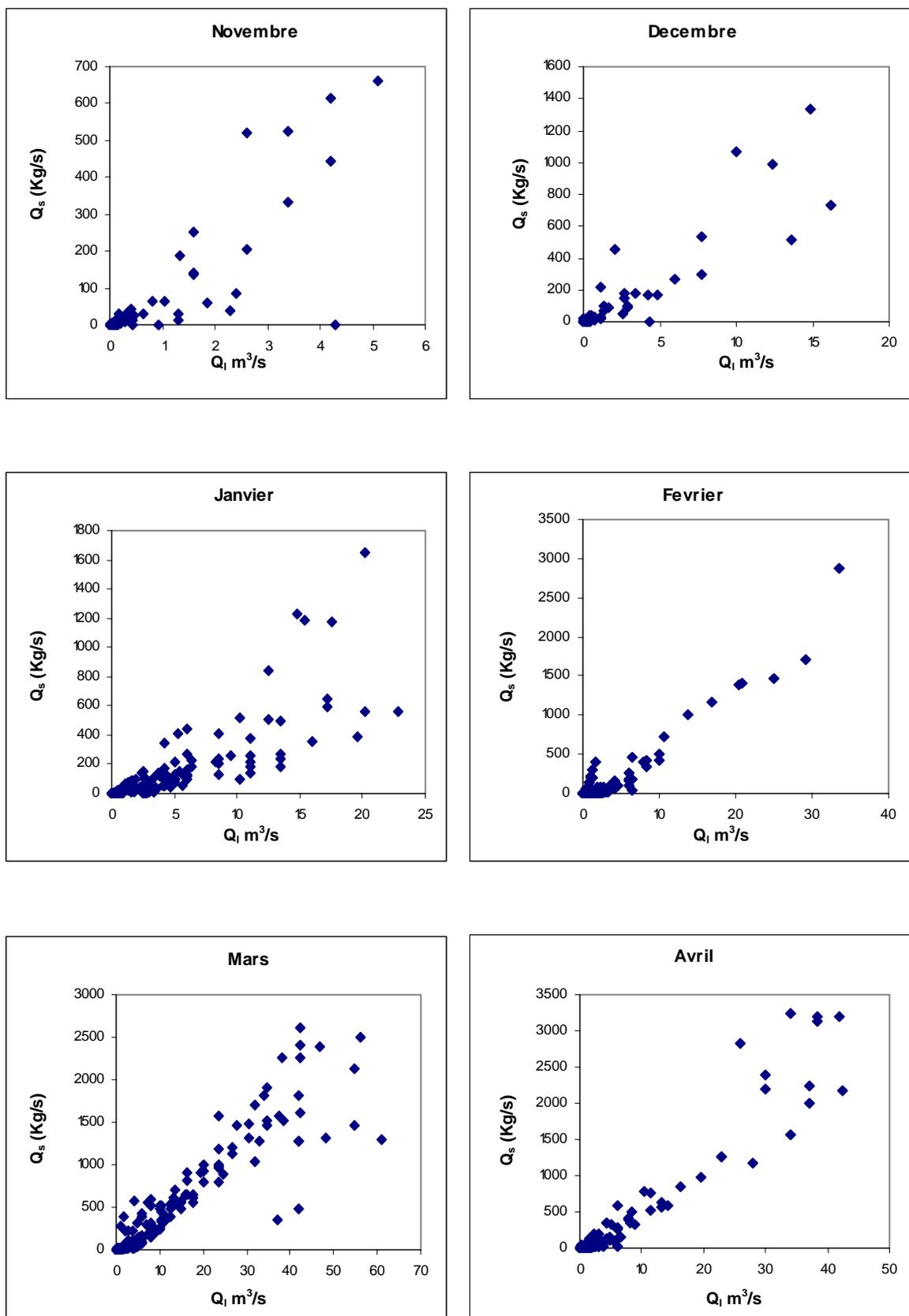


Figure 3.26 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Bir Ouled Tahar.
(suite)

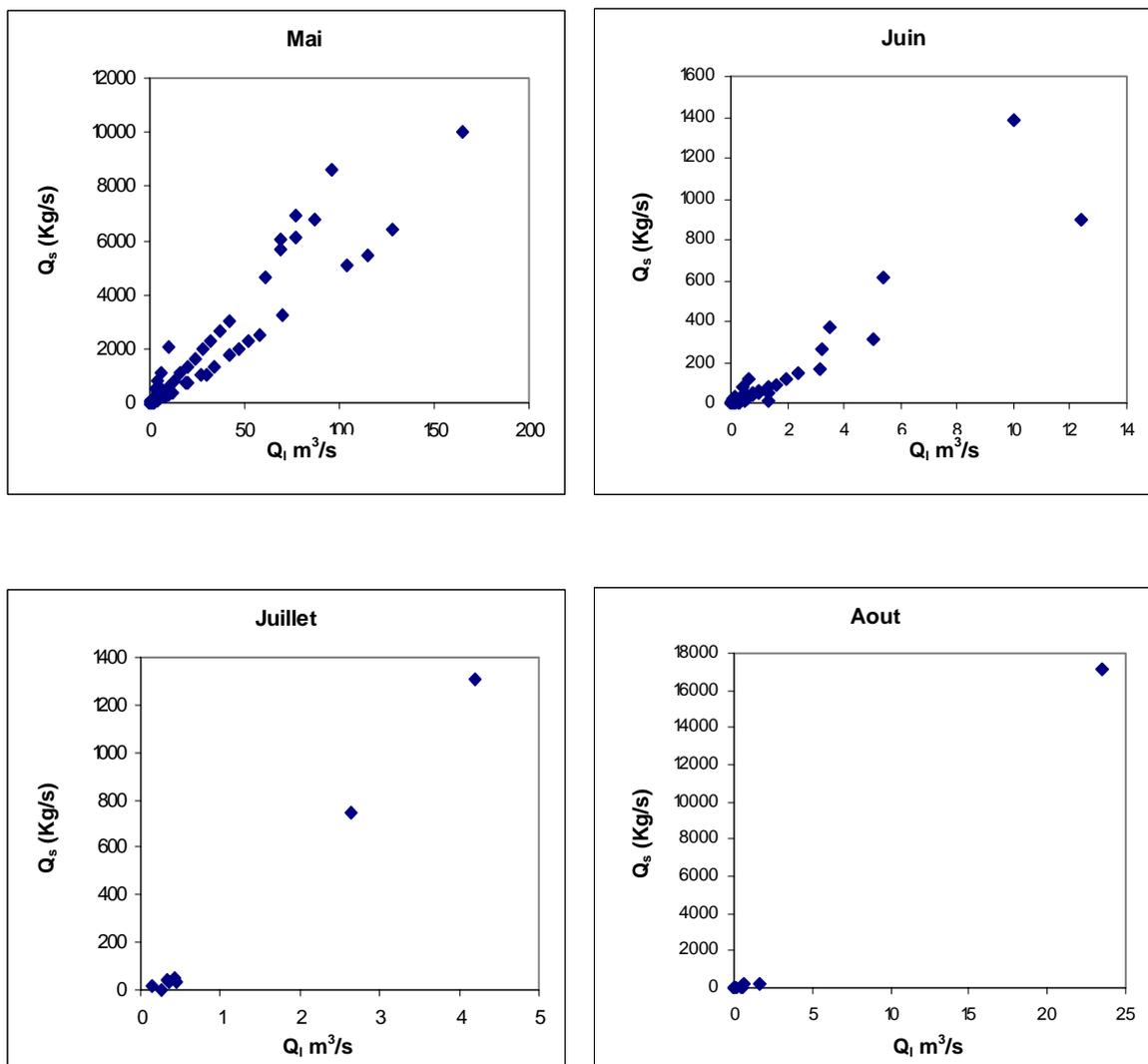


Figure 3.26 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Bir Ouled Tahar.
(suite et fin).

3.2.9. Relation débit liquide – débit solide à la station de Tickezal (Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.45 et les couples (Q_l , Q_s) sont mis en graphe dans la figure 3.27

Tableau 3.45 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Tickezal.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	71	0,80	0,45	0,80	0,93	0,43	$91,77Q_l^{1,11}$
Octobre	31	0,94	0,50	0,94	0,91	0,58	$65,78Q_l^{1,06}$
Novembre	97	0,74	0,39	0,77	0,93	0,46	$38,97Q_l^{1,13}$
Décembre	27	0,34	0,47	0,69	0,89	0,39	$16,45Q_l^{1,06}$
Janvier	128	0,76	0,47	0,78	0,92	0,52	$36,8Q_l^{1,29}$
Février	99	0,95	0,50	0,96	0,94	0,54	$27,79Q_l^{1,34}$
Mars	101	0,73	0,29	0,82	0,92	0,49	$20,72Q_l^{1,18}$
Avril	76	0,57	0,31	0,59	0,93	0,51	$35,97Q_l^{1,13}$
Mai	58	0,86	0,43	0,87	0,95	0,52	$40,62Q_l^{1,18}$
Juin	14	0,88	0,54	0,89	0,96	0,57	$51,89Q_l^{1,35}$
Juillet	-	-	-	-	-	-	-
Août	5	0,89	0,79	0,92	0,99	0,88	$64,34Q_l^{0,86}$

N : nombre d'observations.

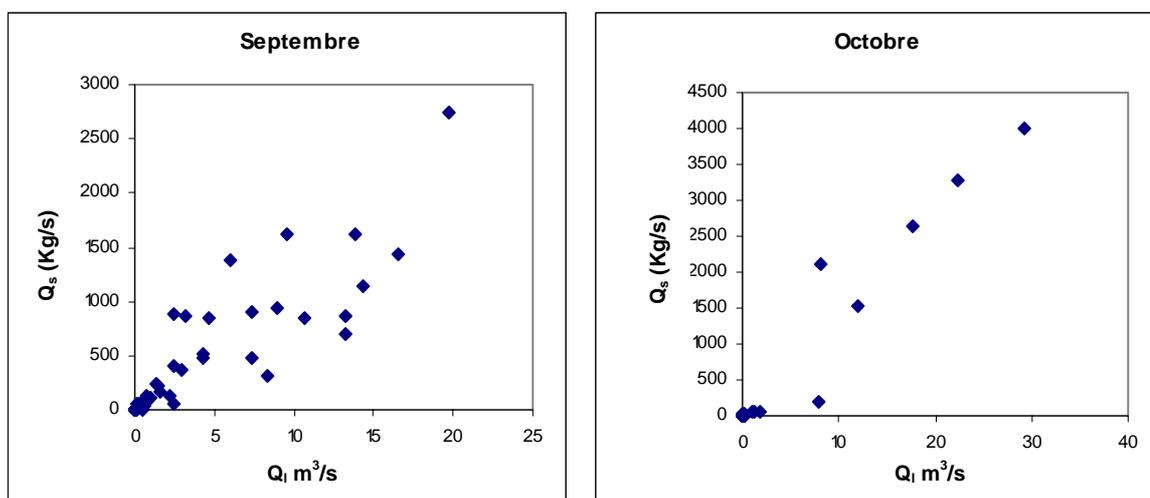


Figure 3.27 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Tickezal.

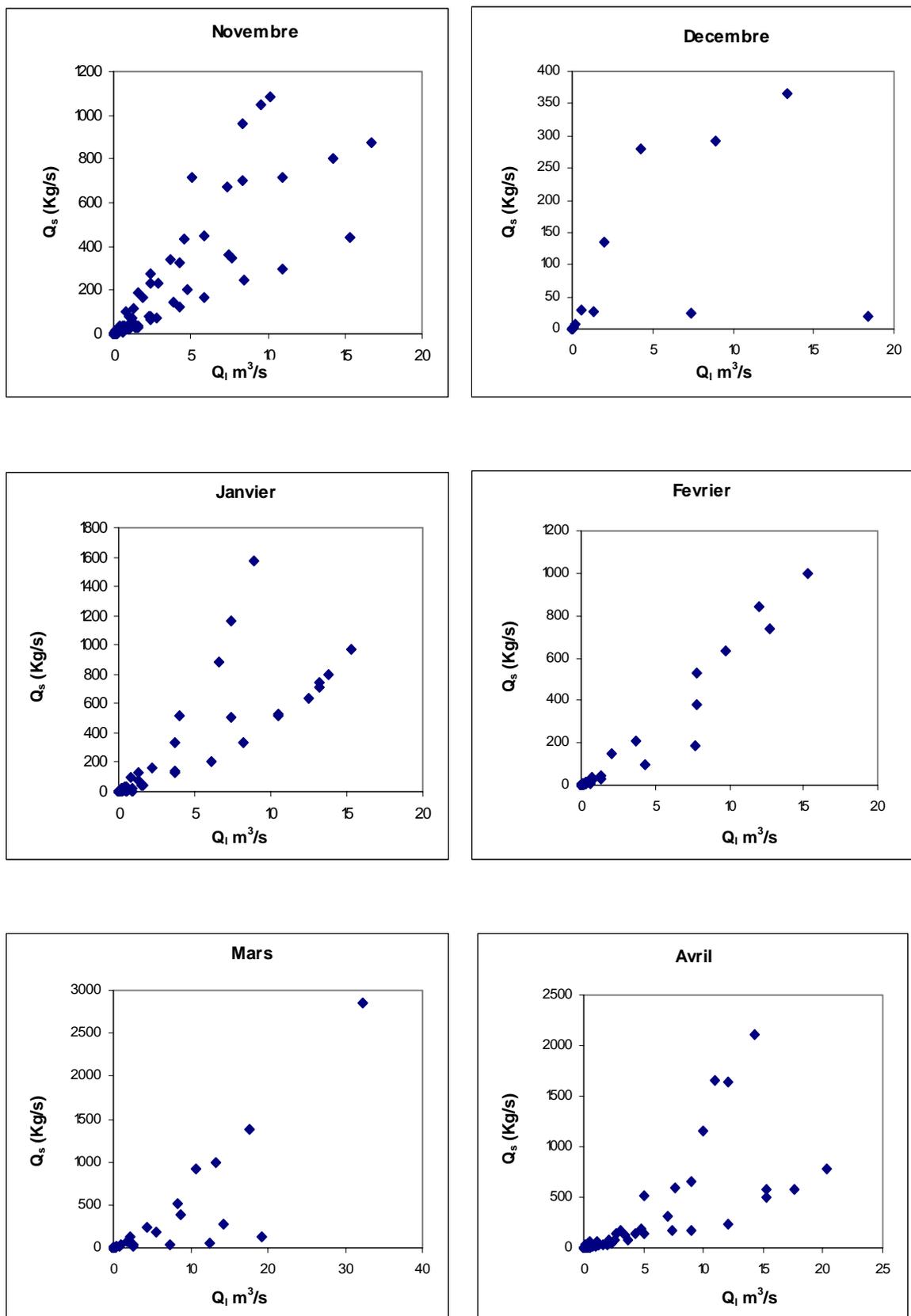


Figure 3.27 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Tickezal.
(suite)

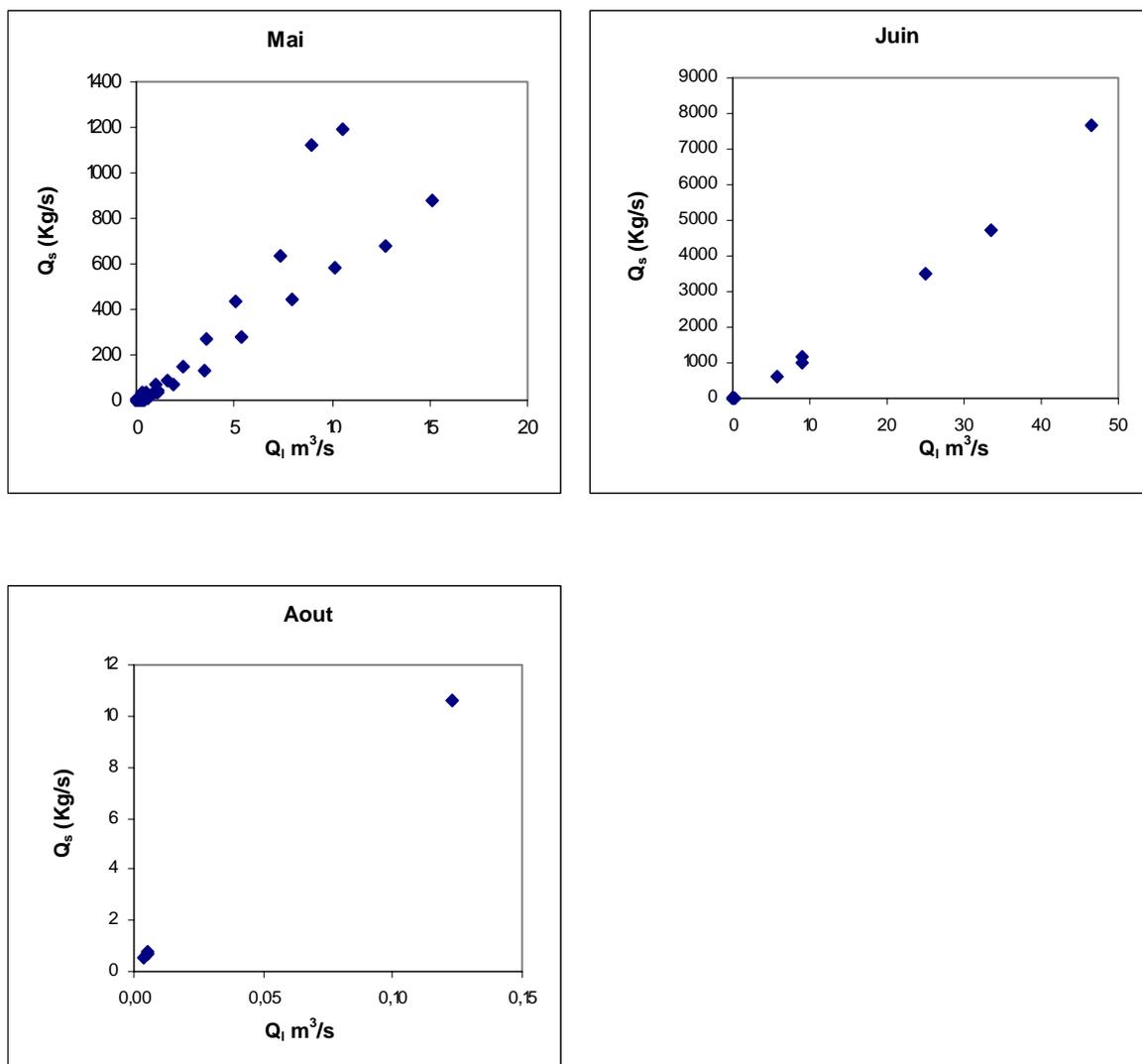


Figure 3.27 : Relation débit liquide – débit solide à la station de Tickezal.
(suite et fin).

3.2.10. Relation débit liquide – débit solide à la station de Larbaa Ouled Fares
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.46 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphes dans la figure 3.28.

Tableau 3.46 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Larbaa Ouled Fares.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	7	0,86	0,67	0,88	0,94	0,78	$4,67Q_l^{1,88}$
Octobre	35	0,91	0,44	0,92	0,98	0,59	$20,1Q_l^{1,82}$
Novembre	53	0,54	0,29	0,55	0,90	0,59	$13,04Q_l^{1,55}$
Décembre	43	0,74	0,35	0,88	0,95	0,81	$5,75Q_l^{1,52}$
Janvier	116	0,82	0,23	0,84	0,75	0,54	$3,92Q_l^{1,32}$
Février	23	0,17	0,24	0,22	0,68	0,47	$0,74Q_l^{0,93}$
Mars	49	0,64	0,28	0,66	0,73	0,44	$7,18Q_l^{1,50}$
Avril	21	0,27	0,36	0,70	0,81	0,42	$5,13Q_l^{1,36}$
Mai	12	0,88	0,63	0,89	0,99	0,62	$20,83Q_l^{1,43}$
Juin	12	0,89	0,44	0,90	0,92	0,49	$15,75Q_l^{1,54}$
Juillet	6	0,94	0,74	0,95	0,97	0,86	$4,01Q_l^{1,18}$
Août	7	0,91	0,65	0,93	0,96	0,73	$3,46Q_l^{1,27}$

N : nombre d'observations.

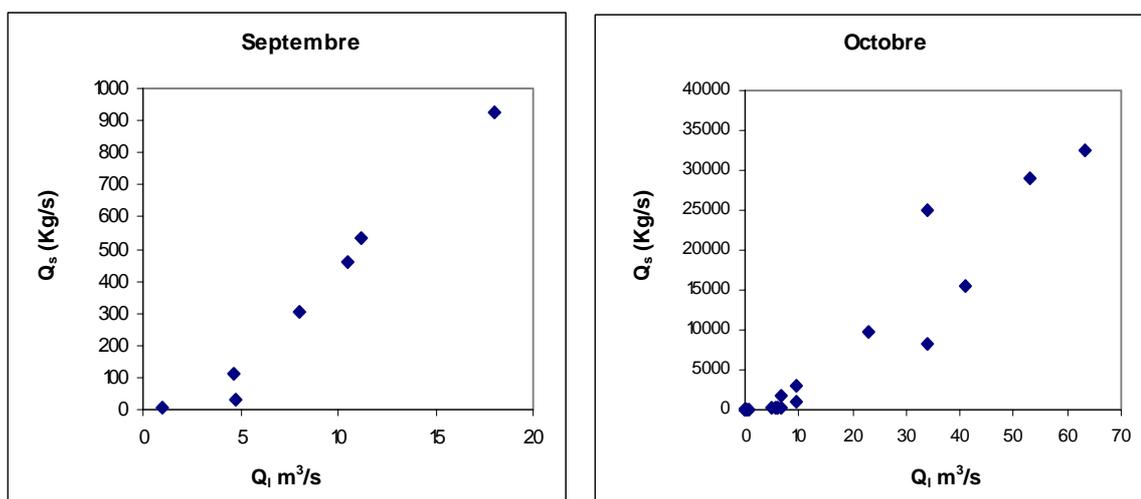


Figure 3.28: Relation débit liquide – débit solide à la station de Larbaa Ouled Fares.

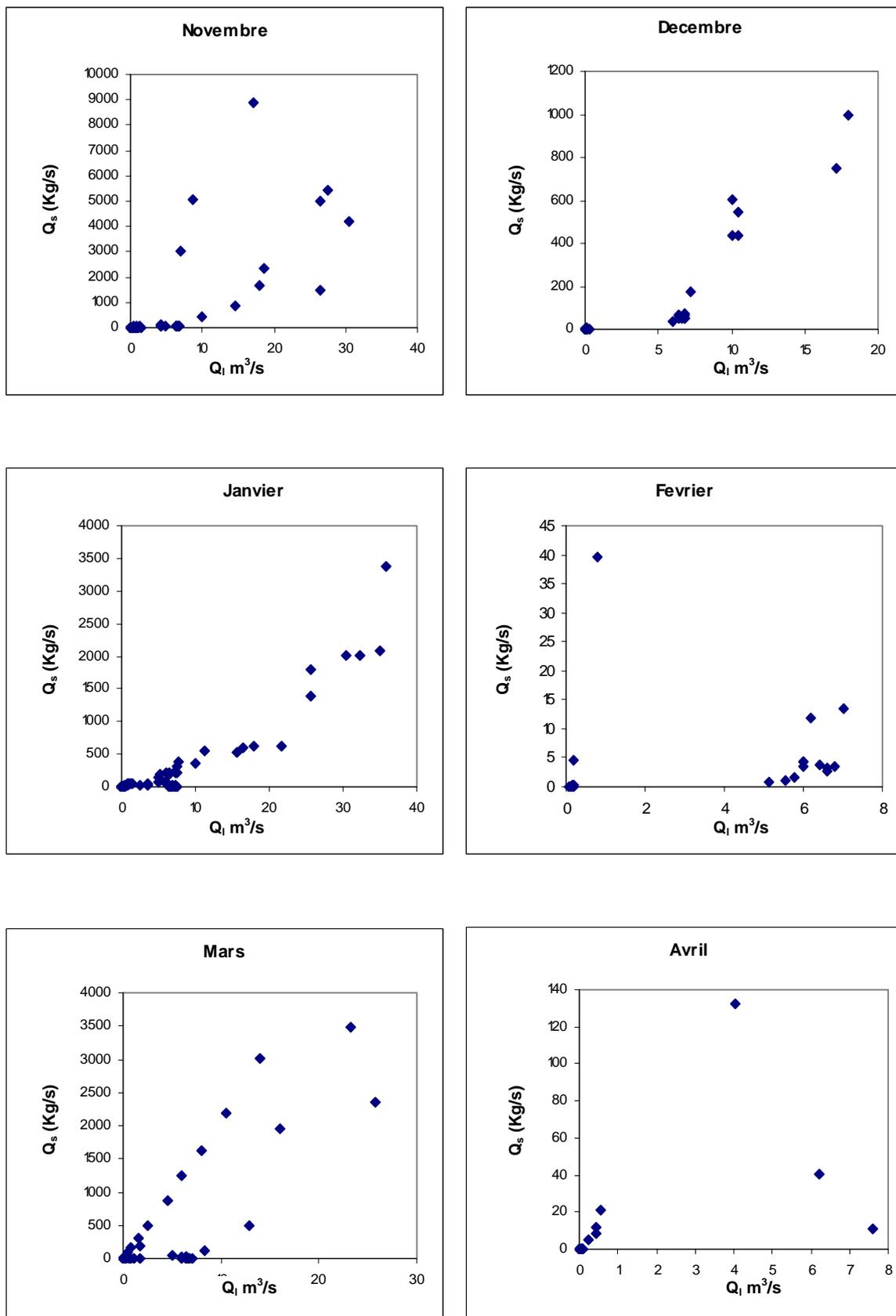


Figure 3.28: Relation débit liquide – débit solide à la station de Larbaa Ouled Fares.
(suite)

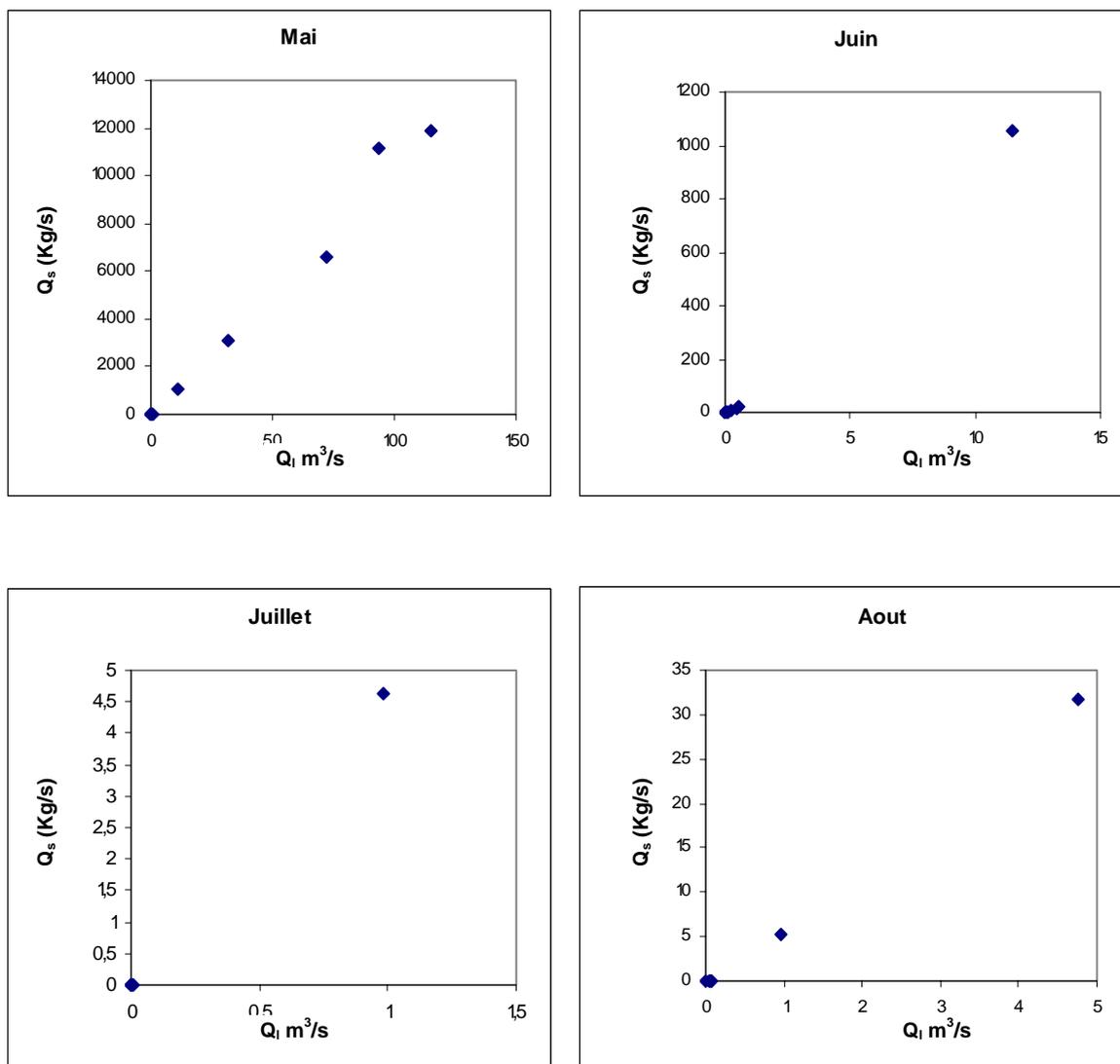


Figure 3.28: Relation débit liquide – débit solide à la station de Larbaa Ouled Fares.
(suite et fin)

3.2.11. Relation débit liquide – débit solide à la station de Pontéba Deffluent
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.47 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphe dans la figure 3.29.

Tableau 3.47 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Pontéba Deffluent.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	313	0,82	0,15	0,84	0,73	0,22	$0,91Q_l^{1,44}$
Octobre	417	0,71	0,22	0,73	0,74	0,20	$1,79Q_l^{1,59}$
Novembre	665	0,70	0,20	0,71	0,73	0,30	$2,31Q_l^{1,46}$
Décembre	824	0,77	0,20	0,79	0,81	0,23	$1,60Q_l^{1,41}$
Janvier	782	0,60	0,26	0,61	0,64	0,33	$0,77Q_l^{1,59}$
Février	862	0,68	0,27	0,69	0,77	0,44	$0,56Q_l^{1,62}$
Mars	782	0,66	0,19	0,67	0,78	0,31	$0,70Q_l^{1,51}$
Avril	554	0,46	0,11	0,46	0,66	0,47	$0,58Q_l^{1,17}$
Mai	534	0,62	0,21	0,62	0,75	0,44	$0,94Q_l^{1,44}$
Juin	411	0,46	0,10	0,61	0,72	0,59	$0,39Q_l^{1,20}$
Juillet	193	0,10	0,02	0,11	0,73	0,48	$0,11Q_l^{0,90}$
Août	117	0,10	0,08	0,12	0,77	0,63	$0,12Q_l^{1,07}$

N : nombre d'observations.

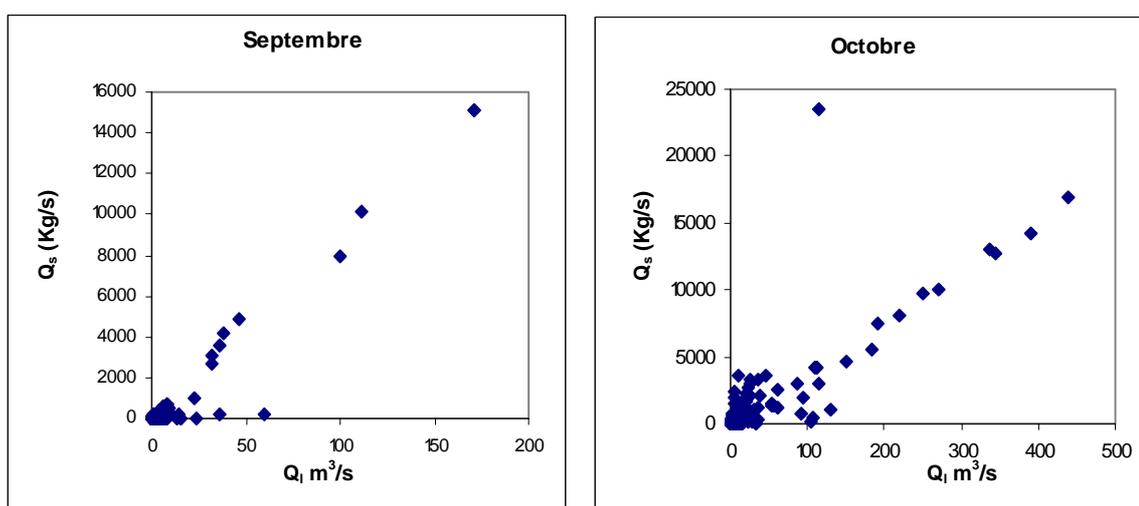


Figure 3.29: Relation débit liquide – débit solide à la station de Pontéba Deffluent.

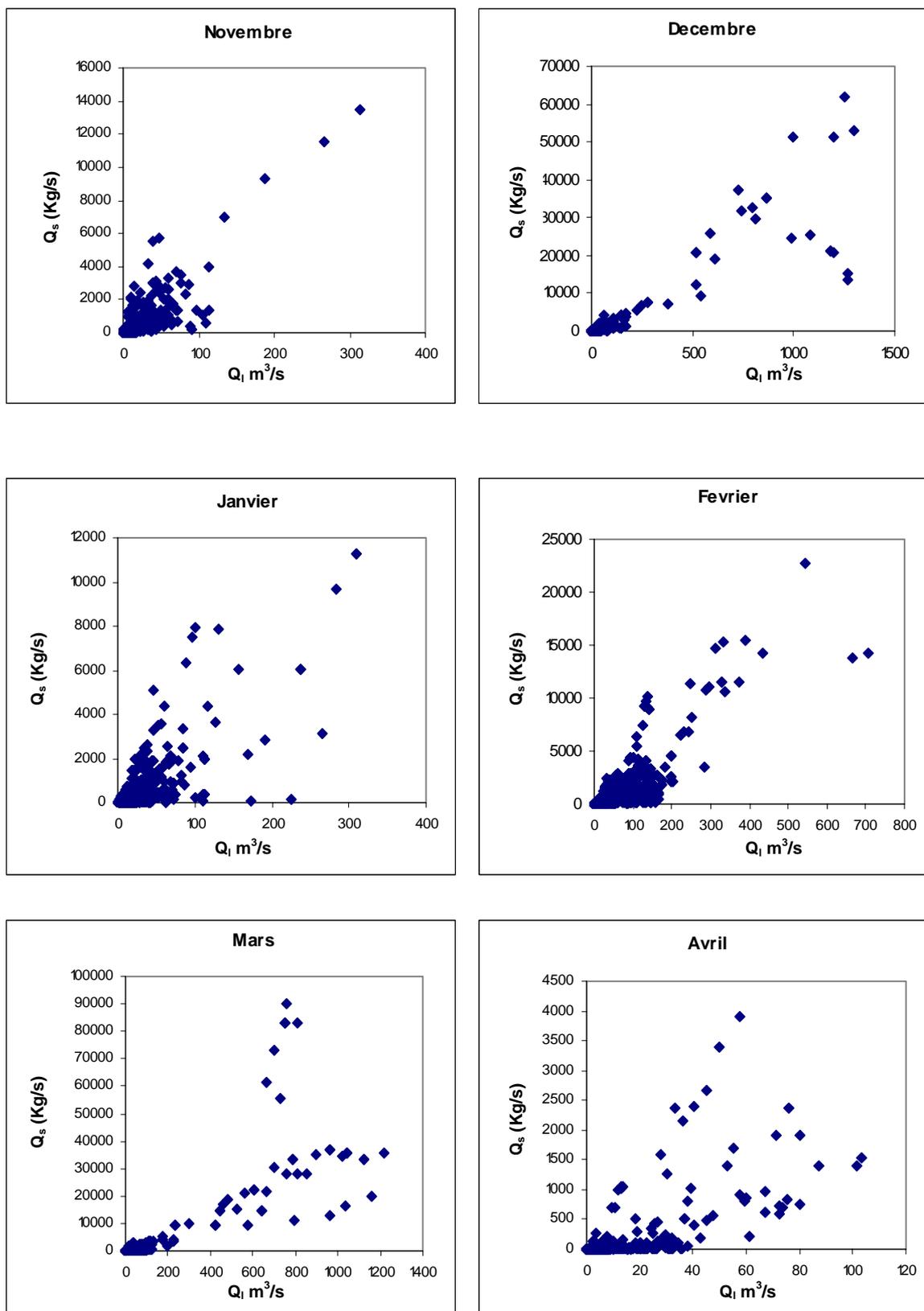


Figure 3.29: Relation débit liquide – débit solide à la station de Pontéba Deffluent.
(suite)

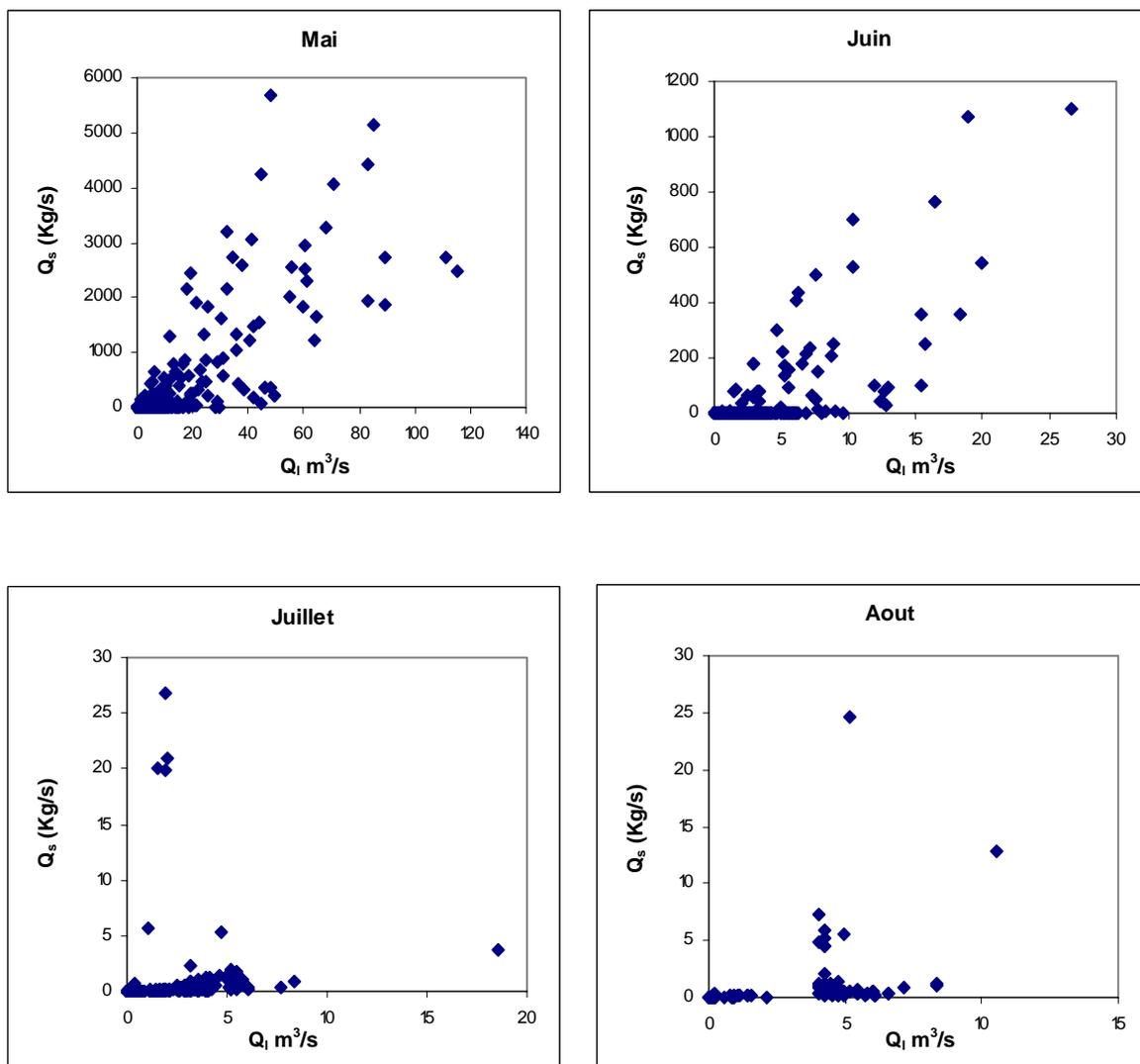


Figure 3.29: Relation débit liquide – débit solide à la station de Pontéba Deffluent.
(suite et fin)

3.2.12. Relation débit liquide – débit solide à la station de Ouled Ben Abk
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.48 et les couples (Q_l , Q_s) sont mis en graphe dans la figure 3.30.

Tableau 3.48 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Ouled Ben Abk.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	59	0,14	0,19	0,24	0,65	0,49	$0,72Q_l^{1,80}$
Octobre	69	0,71	0,11	0,84	0,73	0,27	$1,34Q_l^{1,25}$
Novembre	165	0,76	0,29	0,77	0,71	0,40	$6,94Q_l^{1,48}$
Décembre	227	0,78	0,24	0,81	0,79	0,41	$8,35Q_l^{1,81}$
Janvier	228	0,67	0,29	0,75	0,90	0,23	$12,08Q_l^{1,93}$
Février	183	0,88	0,34	0,88	0,73	0,29	$6,50Q_l^{1,50}$
Mars	166	0,92	0,29	0,94	0,93	0,35	$7,85Q_l^{1,71}$
Avril	147	0,89	0,35	0,91	0,87	0,50	$5,59Q_l^{1,58}$
Mai	185	0,42	0,30	0,51	0,63	0,38	$5,35Q_l^{1,32}$
Juin	123	0,53	0,15	0,66	0,72	0,44	$1,40Q_l^{1,17}$
Juillet	52	0,18	0,03	0,39	0,51	0,04	$5,13Q_l^{1,03}$
Août	23	0,58	0,53	0,63	0,71	0,54	$1,71Q_l^{0,69}$

N : nombre d'observations.

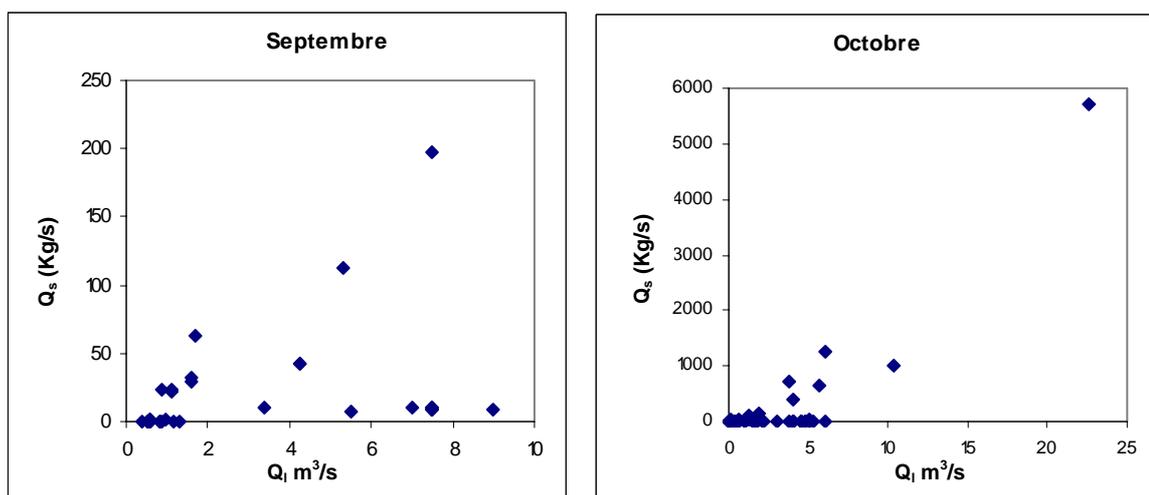


Figure 3.30: Relation débit liquide – débit solide à la station de Ouled Ben Abk.

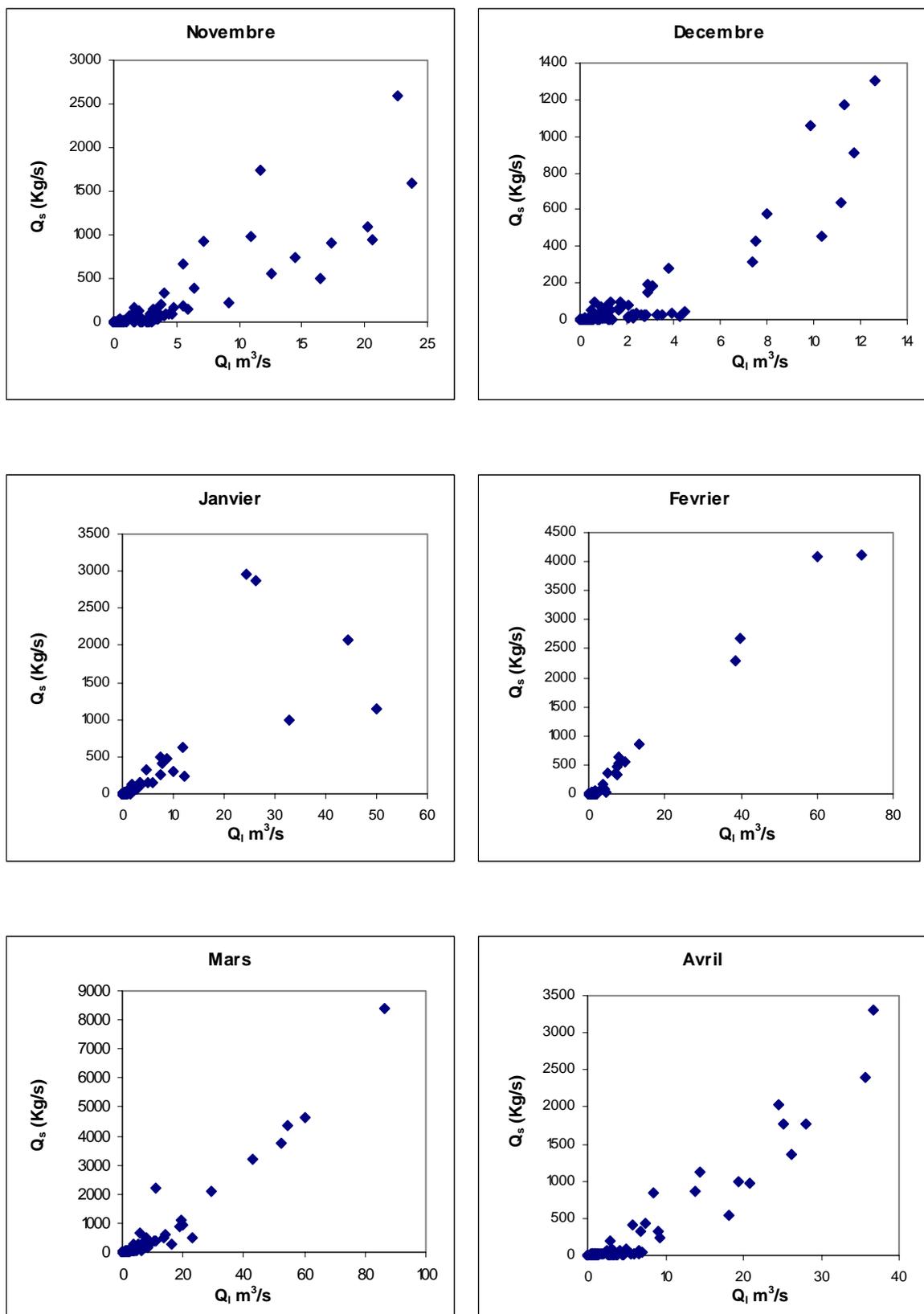


Figure 3.30: Relation débit liquide – débit solide à la station de Ouled Ben Abk.
(suite)

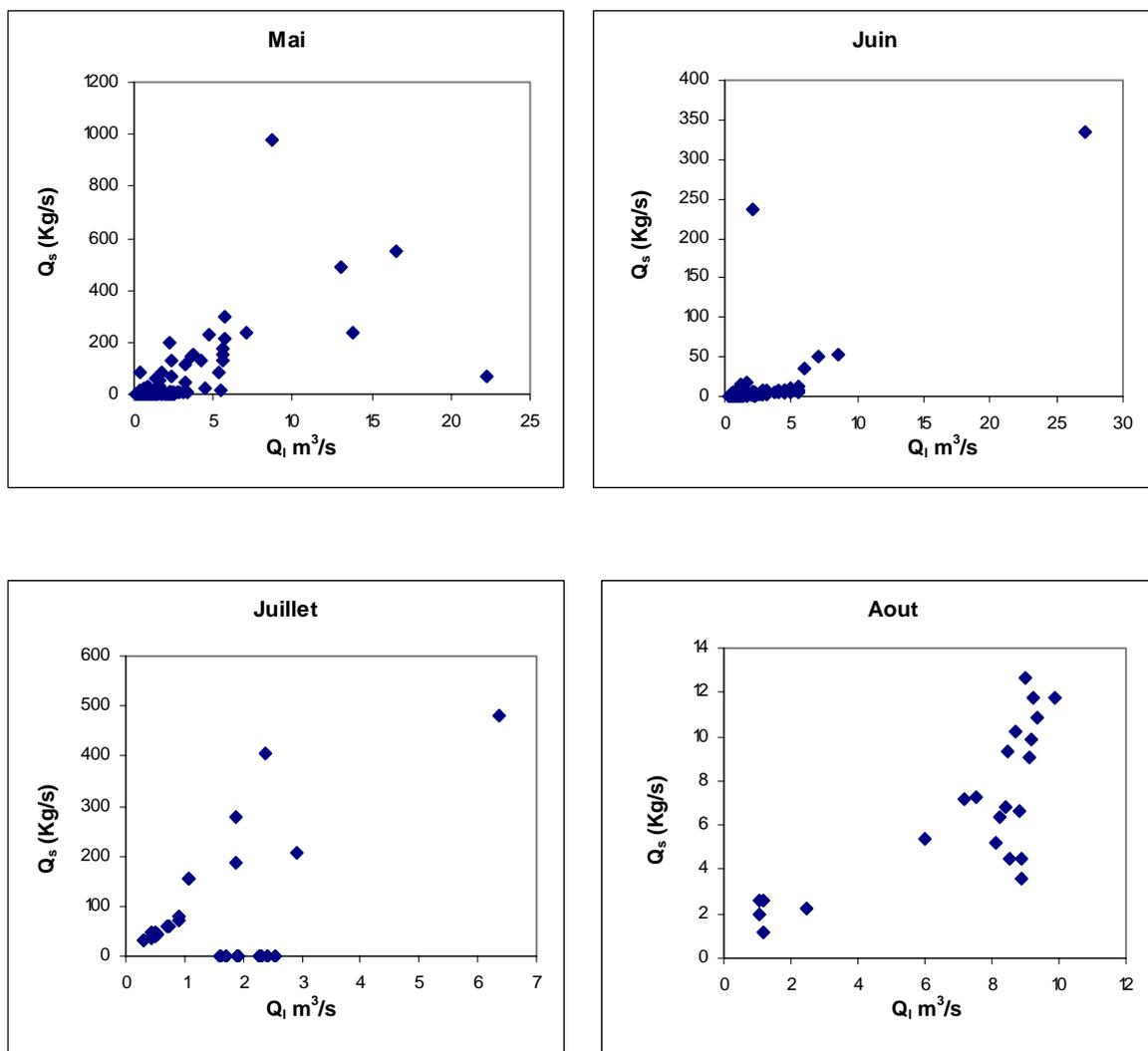


Figure 3.30: Relation débit liquide – débit solide à la station de Ouled Ben Abk.
(suite et fin)

3.2.13. Relation débit liquide – débit solide à la station de Djediouia (Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.49 et les couples (Q_l , Q_s) sont mis en graphe dans la figure 3.31.

Tableau 3.49 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Djediouia.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	424	0,87	0,37	0,88	0,94	0,34	$47,17Q_l^{1,42}$
Octobre	1079	0,81	0,32	0,82	0,83	0,28	$42,22Q_l^{1,38}$
Novembre	889	0,83	0,30	0,84	0,81	0,19	$26,31Q_l^{1,56}$
Décembre	773	0,85	0,27	0,86	0,88	0,26	$16,35Q_l^{1,46}$
Janvier	1125	0,80	0,42	0,80	0,86	0,46	$11,52Q_l^{1,60}$
Février	1150	0,80	0,37	0,81	0,79	0,44	$10,05Q_l^{1,49}$
Mars	969	0,88	0,35	0,91	0,89	0,30	$10,22Q_l^{1,52}$
Avril	651	0,89	0,23	0,90	0,87	0,24	$14,58Q_l^{1,44}$
Mai	418	0,76	0,38	0,77	0,75	0,29	$22,21Q_l^{1,49}$
Juin	35	0,77	0,42	0,85	0,88	0,61	$31,85Q_l^{1,48}$
Juillet	78	0,63	0,38	0,70	0,74	0,44	$61,44Q_l^{1,24}$
Août	19	0,89	0,72	0,90	0,96	0,71	$38,45Q_l^{1,54}$

N : nombre d'observations.

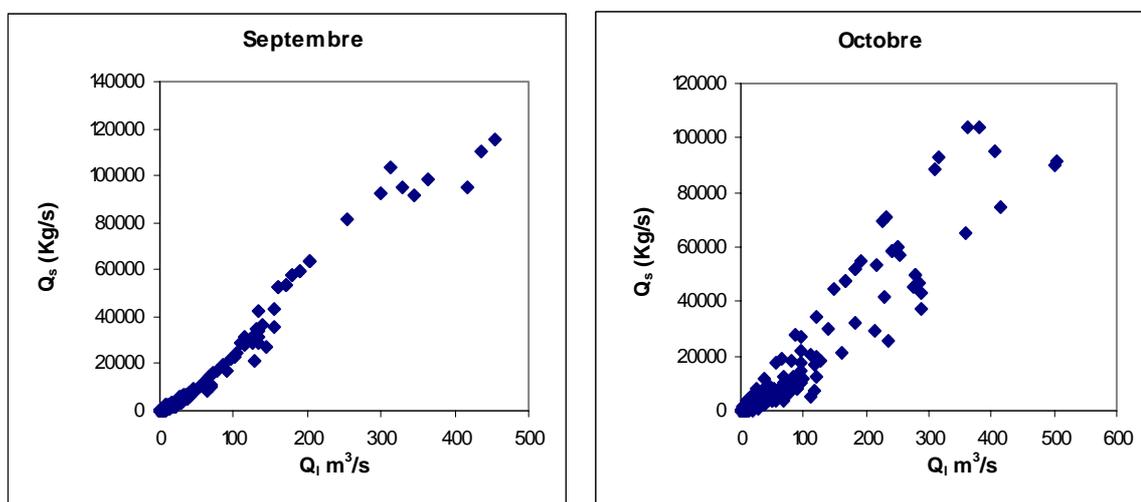


Figure 3.31: Relation débit liquide – débit solide à la station de Djediouia.

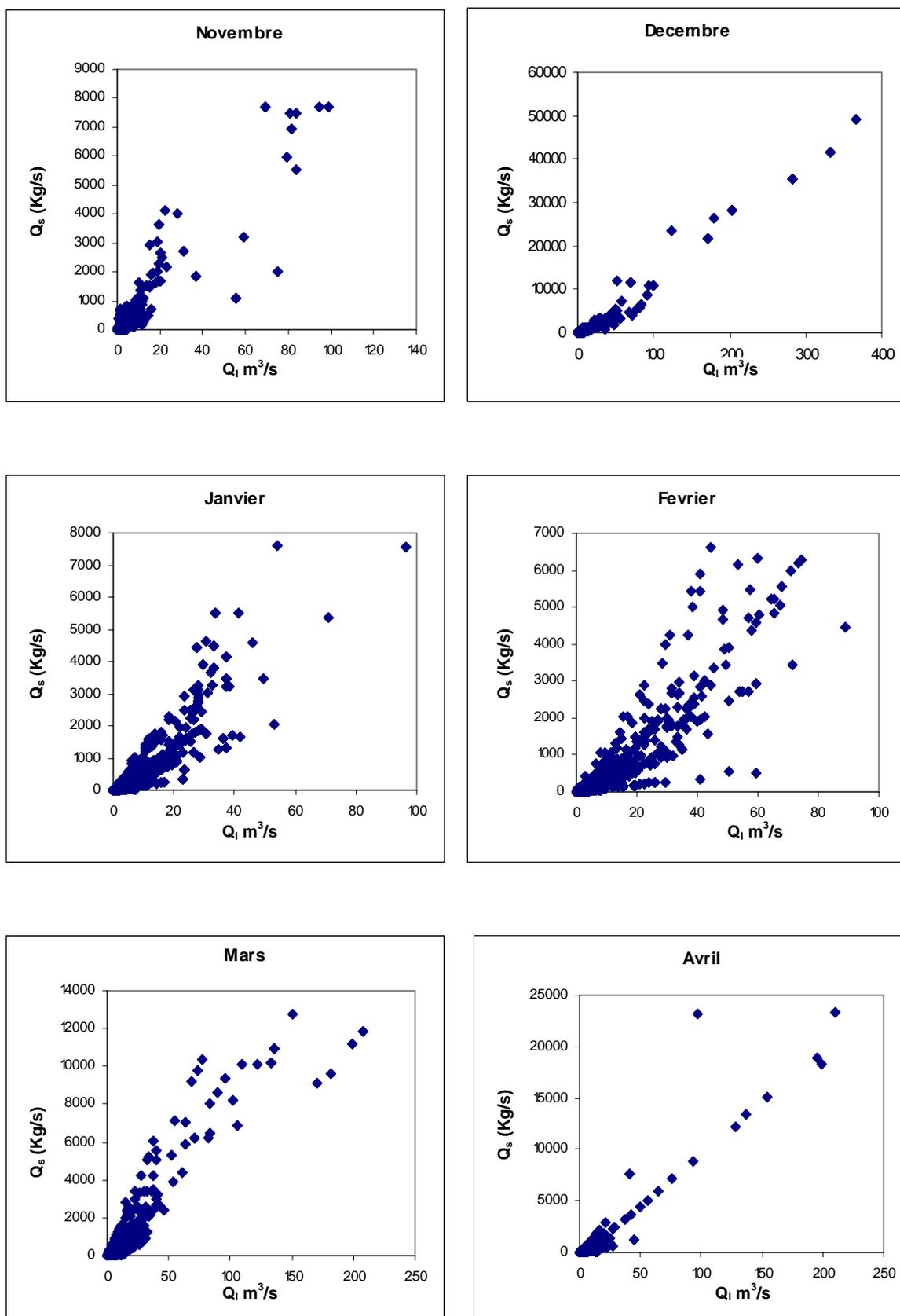


Figure 3.31: Relation débit liquide – débit solide à la station de Djediouia.
(suite)

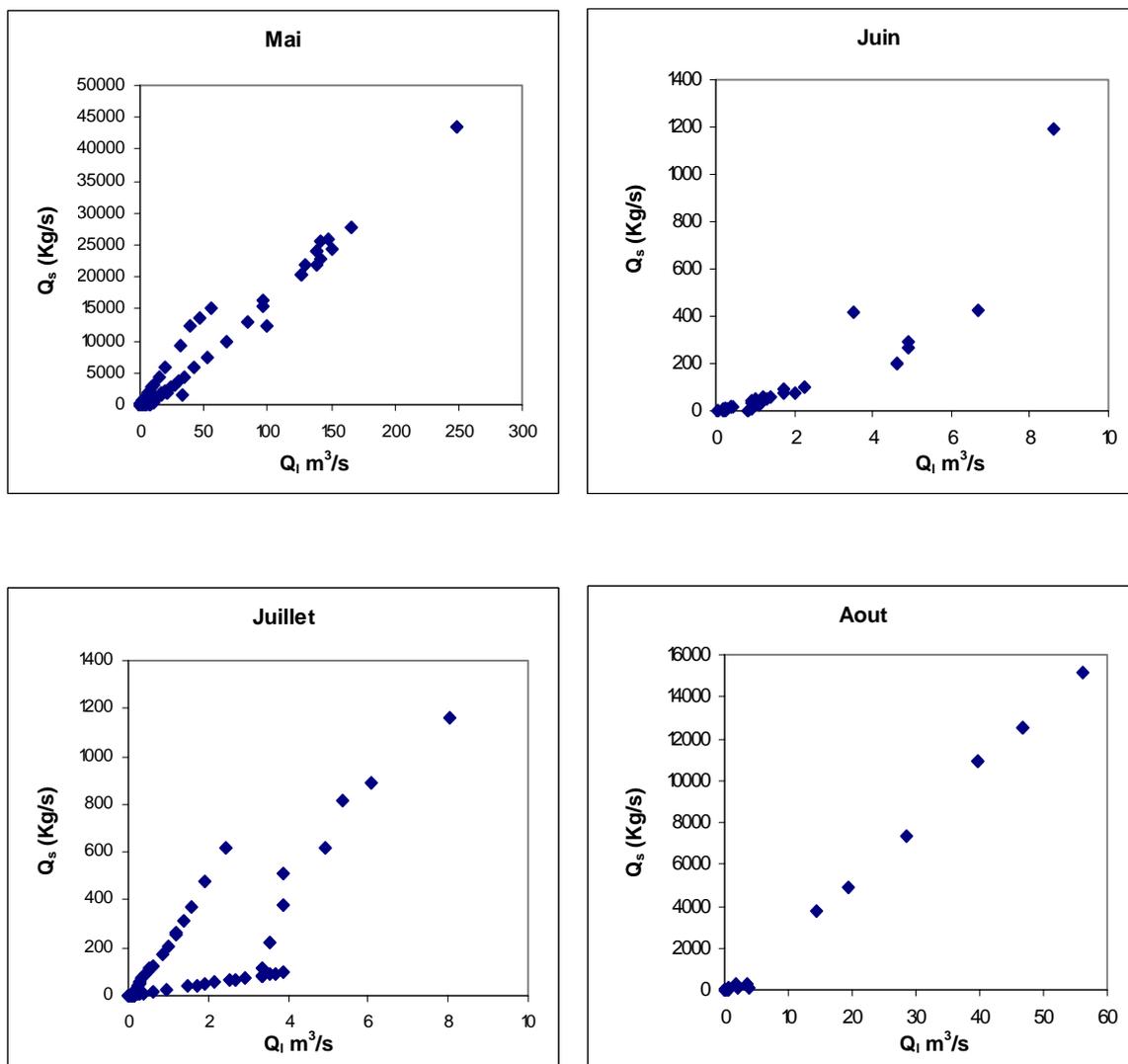


Figure 3.31: Relation débit liquide – débit solide à la station de Djediouia.
(suite et fin)

3.2.14. Relation débit liquide – débit solide à la station de Kef Mahboula
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.50 et les couples (Q_l , Q_s) sont mis en graphe dans la figure 3.32.

Tableau 3.50 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Kef Mahboula.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	108	0,87	0,37	0,88	0,93	0,33	$10,01Q_l^{1,47}$
Octobre	185	0,88	0,30	0,89	0,90	0,31	$9,13Q_l^{1,57}$
Novembre	156	0,69	0,29	0,70	0,88	0,41	$4,79Q_l^{1,59}$
Décembre	92	0,40	0,33	0,63	0,73	0,17	$3,27Q_l^{1,41}$
Janvier	197	0,59	0,47	0,73	0,91	0,43	$3,19Q_l^{1,32}$
Février	233	0,78	0,31	0,91	0,90	0,49	$3,44Q_l^{1,47}$
Mars	313	0,81	0,51	0,83	0,92	0,51	$2,8Q_l^{1,53}$
Avril	157	0,45	0,35	0,49	0,73	0,26	$3,31Q_l^{1,20}$
Mai	150	0,82	0,47	0,83	0,88	0,46	$9,11Q_l^{1,43}$
Juin	31	0,42	0,23	0,48	0,77	0,54	$6,89Q_l^{1,61}$
Juillet	27	0,88	0,56	0,89	0,96	0,54	$8,56Q_l^{1,48}$
Août	24	0,85	0,62	0,89	0,88	0,56	$3,99Q_l^{1,57}$

N : nombre d'observations.

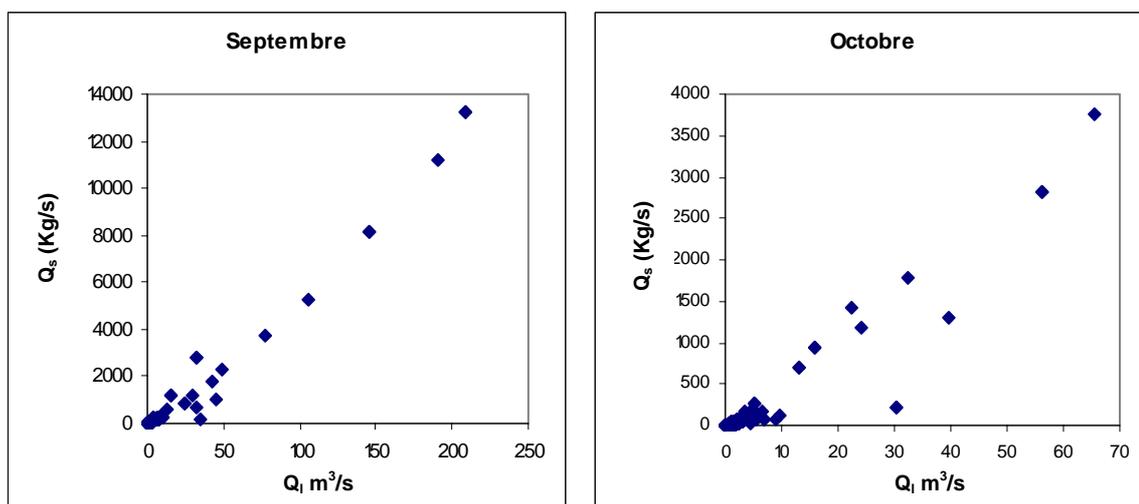


Figure 3.32: Relation débit liquide – débit solide à la station de Kef Mahboula.

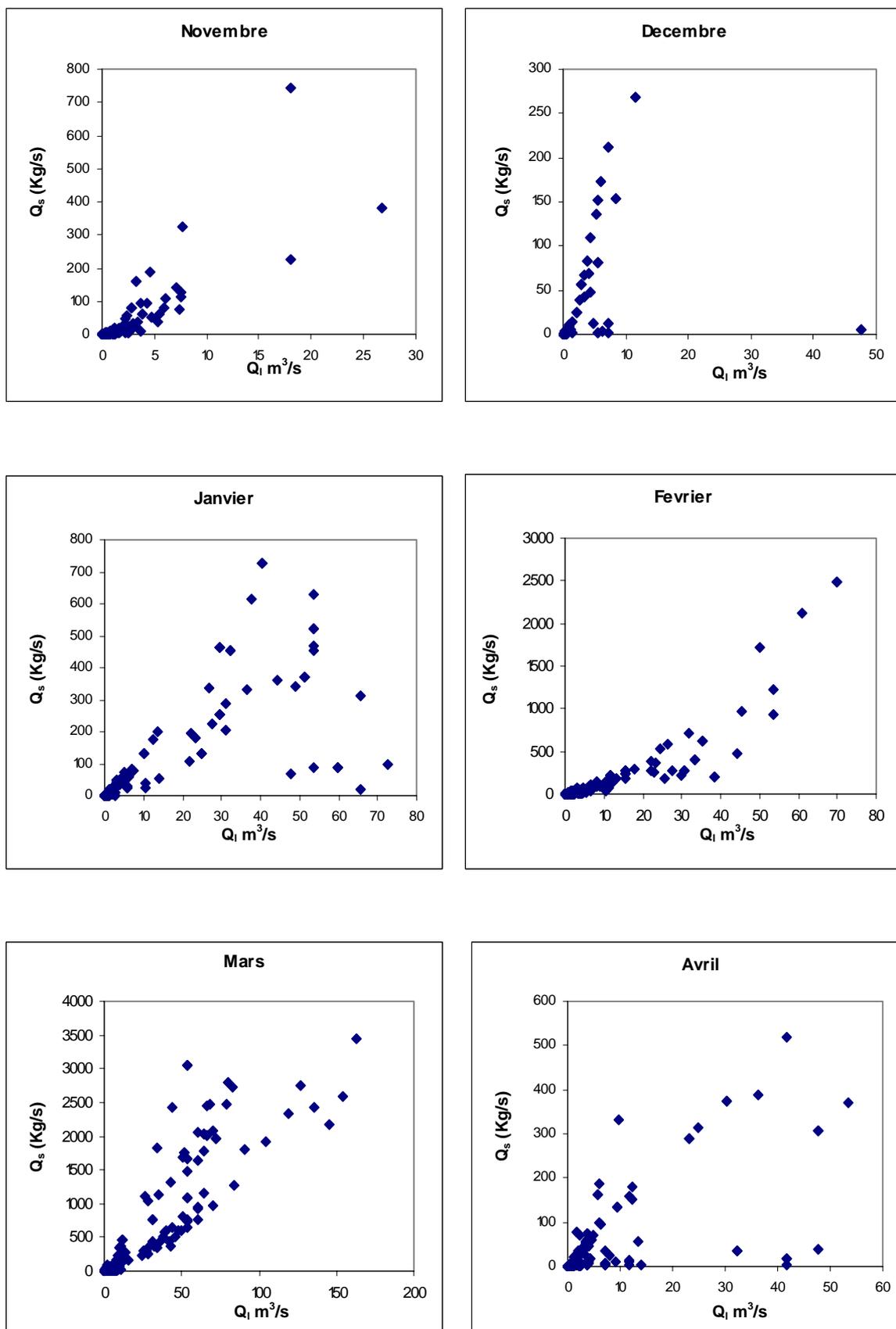


Figure 3.32: Relation débit liquide – débit solide à la station de Kef Mahboula.
(suite)

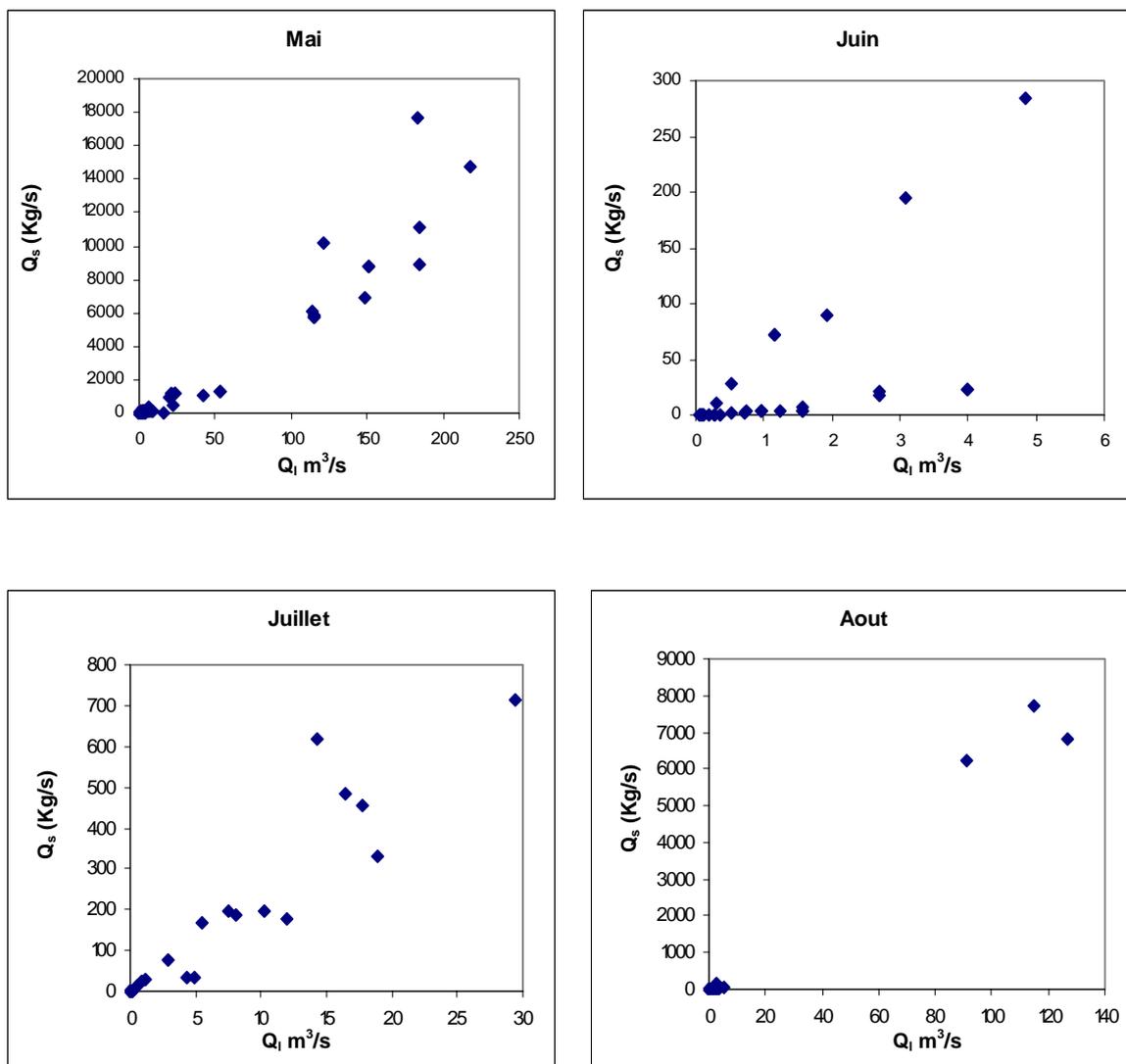


Figure 3.32: Relation débit liquide – débit solide à la station de Kef Mahboula.
(suite et fin)

3.2.15. Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Abk Djillali
(Echelle mensuelle)

Le traitement des données mensuelles a montré que toujours le modèle puissance est acceptable. L'information est expliquée à plus de 70% de variation pour tous les mois (faible couvert végétal), sauf pour le mois d'Avril une explication de 64% de variation est remarquée, cela peut être expliqué par l'apparition du couvert végétal [130].

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.51 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphes dans la figure 3.33.

Tableau 3.51 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Sidi Abk Djillali [130].

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	138	0,93	0,31	0,97	0,81	0,37	$25,13Q_l^{1,51}$
Octobre	246	0,88	0,34	0,91	0,86	0,43	$16,93Q_l^{1,40}$
Novembre	248	0,88	0,18	0,94	0,75	0,28	$17,16Q_l^{1,31}$
Décembre	241	0,81	0,42	0,81	0,76	0,43	$15,80Q_l^{1,46}$
Janvier	287	0,90	0,40	0,91	0,77	0,37	$14,81Q_l^{1,47}$
Février	363	0,59	0,43	0,67	0,76	0,39	$11,38Q_l^{1,54}$
Mars	366	0,83	0,38	0,83	0,80	0,38	$13,20Q_l^{1,35}$
Avril	116	0,94	0,48	0,95	0,64	0,45	$15,80Q_l^{1,50}$
Mai	189	0,94	0,29	0,97	0,83	0,41	$20,86Q_l^{1,41}$
Juin	39	0,88	0,63	0,92	0,78	0,67	$35,72Q_l^{1,98}$
Juillet	49	0,96	0,35	0,99	0,88	0,45	$6,27Q_l^{1,62}$
Août	18	0,90	0,52	0,96	0,92	0,58	$53,69Q_l^{1,99}$

N : nombre d'observations.

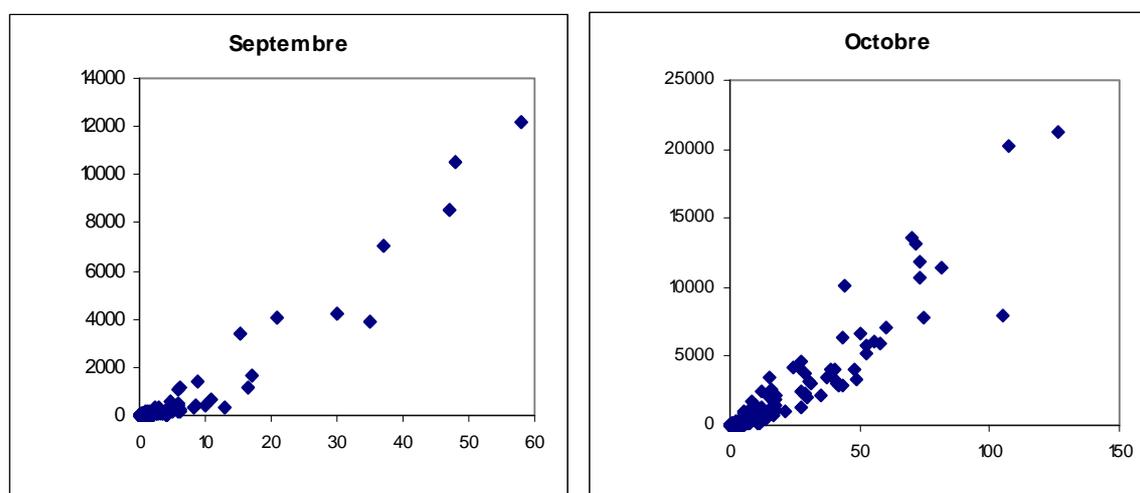


Figure 3.33: Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Abk Djillali [130].

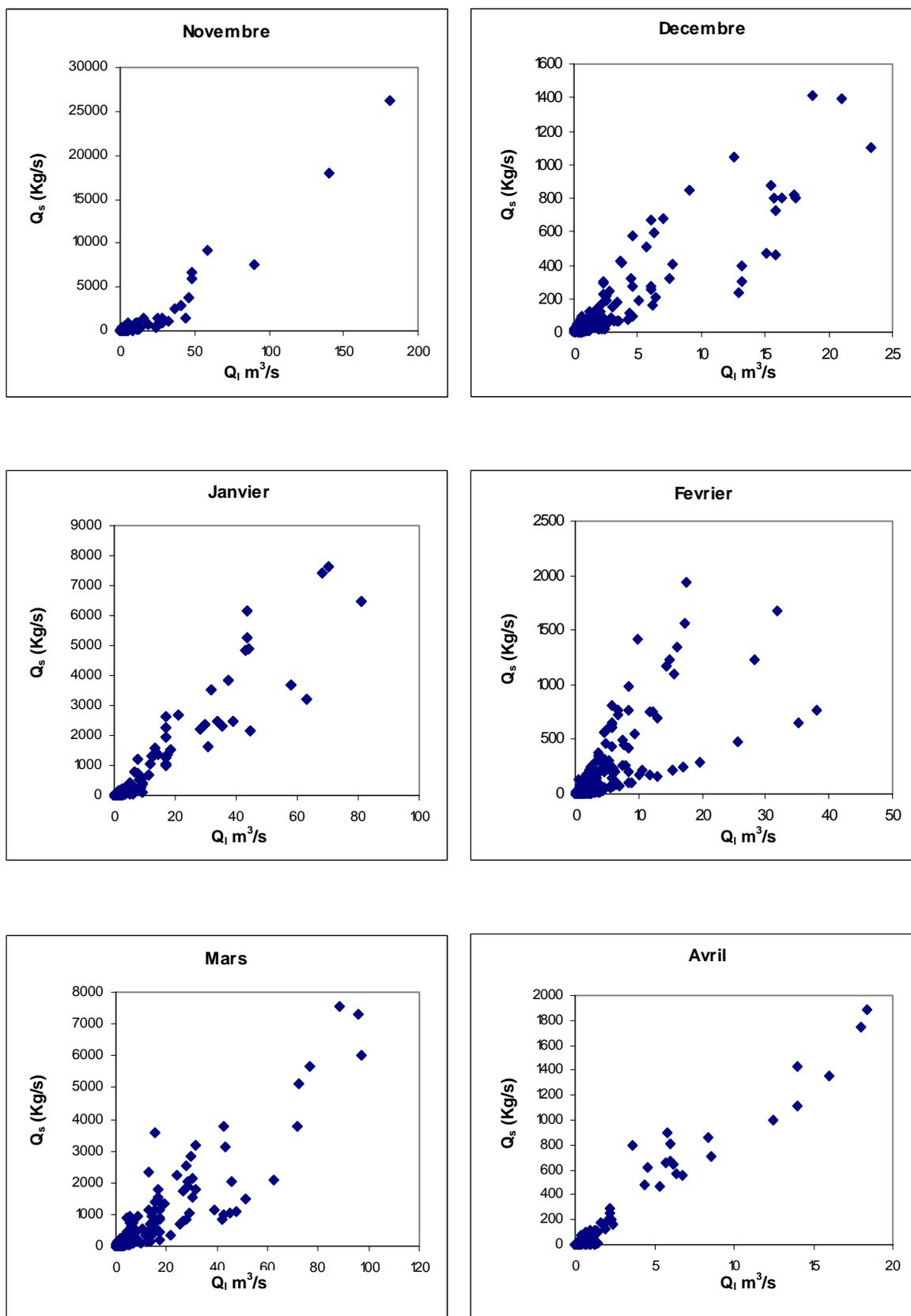


Figure 3.33: Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Abk Djillali (suite) [130].

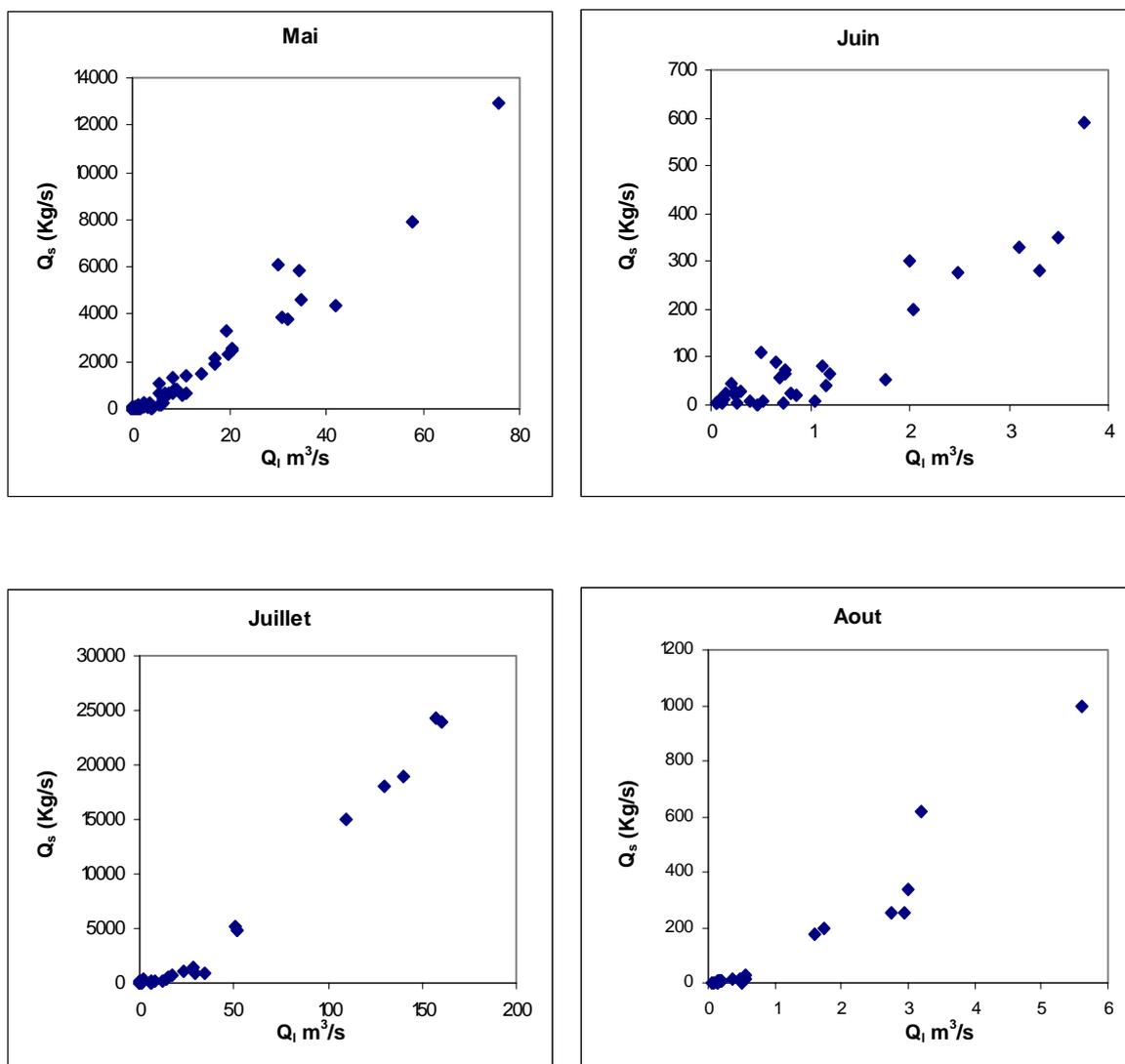


Figure 3.33: Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Abk Djillali (suite et fin) [130].

3.2.16. Relation débit liquide – débit solide à la station de Oued Abtal

(Echelle mensuelle)

Le traitement des données mensuelles a montré que toujours le modèle puissance est acceptable. Les valeurs de R^2 sont en moyenne près de 0,70 [130].

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.52 et les couples (Q_l , Q_s) sont mis en graphe dans la figure 3.34.

Tableau 3.52 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Oued Abtal [130].

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	306	0,59	0,42	0,67	0,86	0,43	$7,96Q_l^{1,45}$
Octobre	541	0,76	0,36	0,77	0,85	0,46	$5,49Q_l^{1,51}$
Novembre	286	0,68	0,34	0,70	0,78	0,48	$4,73Q_l^{1,45}$
Décembre	228	0,55	0,35	0,57	0,70	0,46	$3,10Q_l^{1,58}$
Janvier	268	0,75	0,50	0,75	0,78	0,59	$2,64Q_l^{1,60}$
Février	413	0,90	0,34	0,91	0,82	0,38	$1,94Q_l^{1,61}$
Mars	371	0,76	0,56	0,77	0,79	0,45	$1,84Q_l^{1,63}$
Avril	253	0,70	0,19	0,84	0,62	0,42	$2,57Q_l^{1,46}$
Mai	318	0,85	0,39	0,85	0,68	0,35	$2,97Q_l^{1,48}$
Juin	72	0,98	0,46	0,99	0,78	0,48	$6,38Q_l^{1,53}$
Juillet	70	0,98	0,64	0,99	0,91	0,53	$4,03Q_l^{1,52}$
Août	88	0,97	0,37	0,98	0,86	0,37	$6,84Q_l^{1,60}$

N : nombre d'observations.

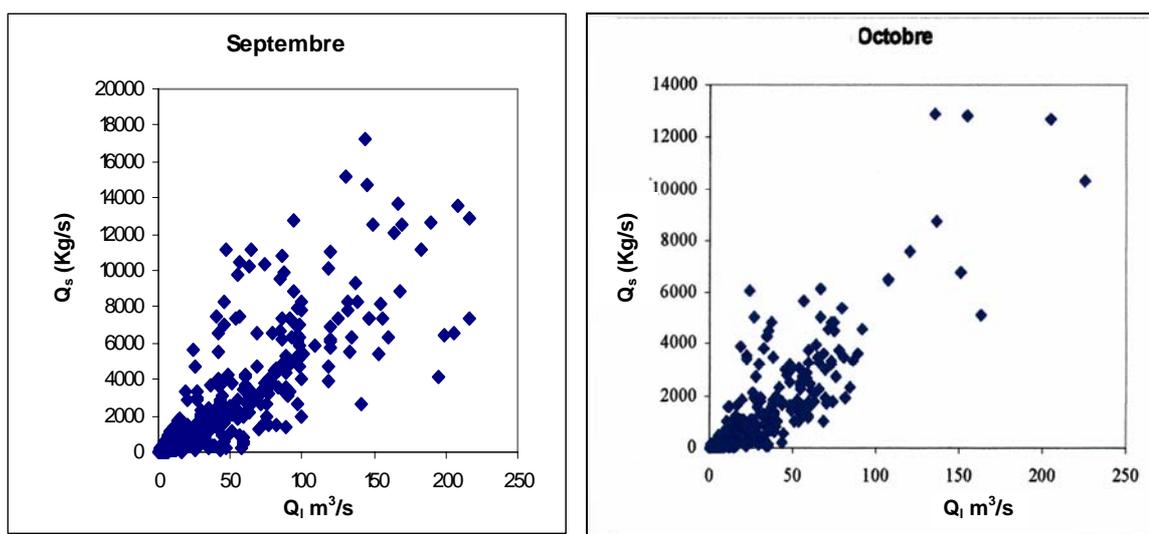


Figure 3.34: Relation débit liquide – débit solide à la station de Oued Abtal [130].

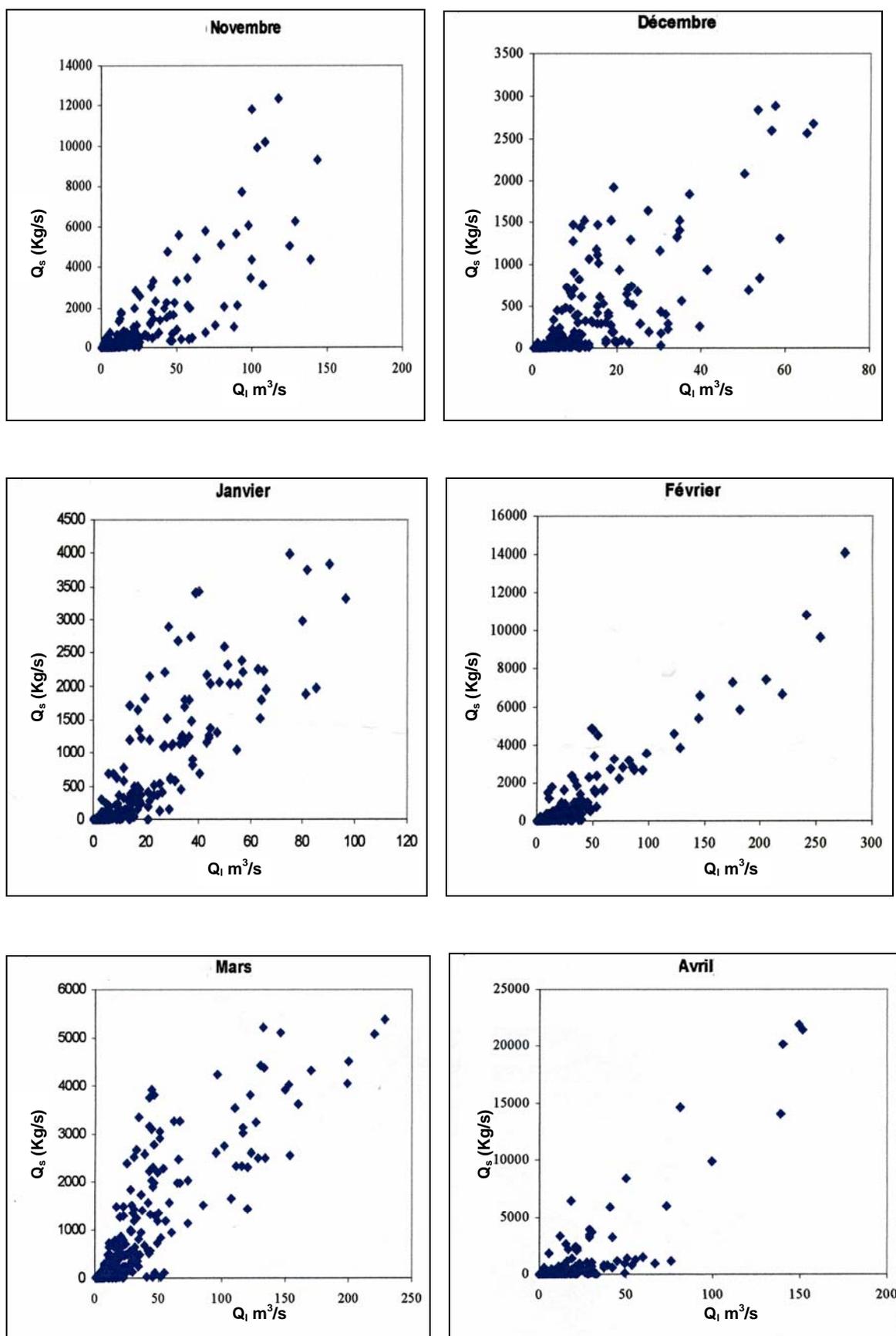


Figure 3.34: Relation débit liquide – débit solide à la station de Oued Abtal (suite) [130].

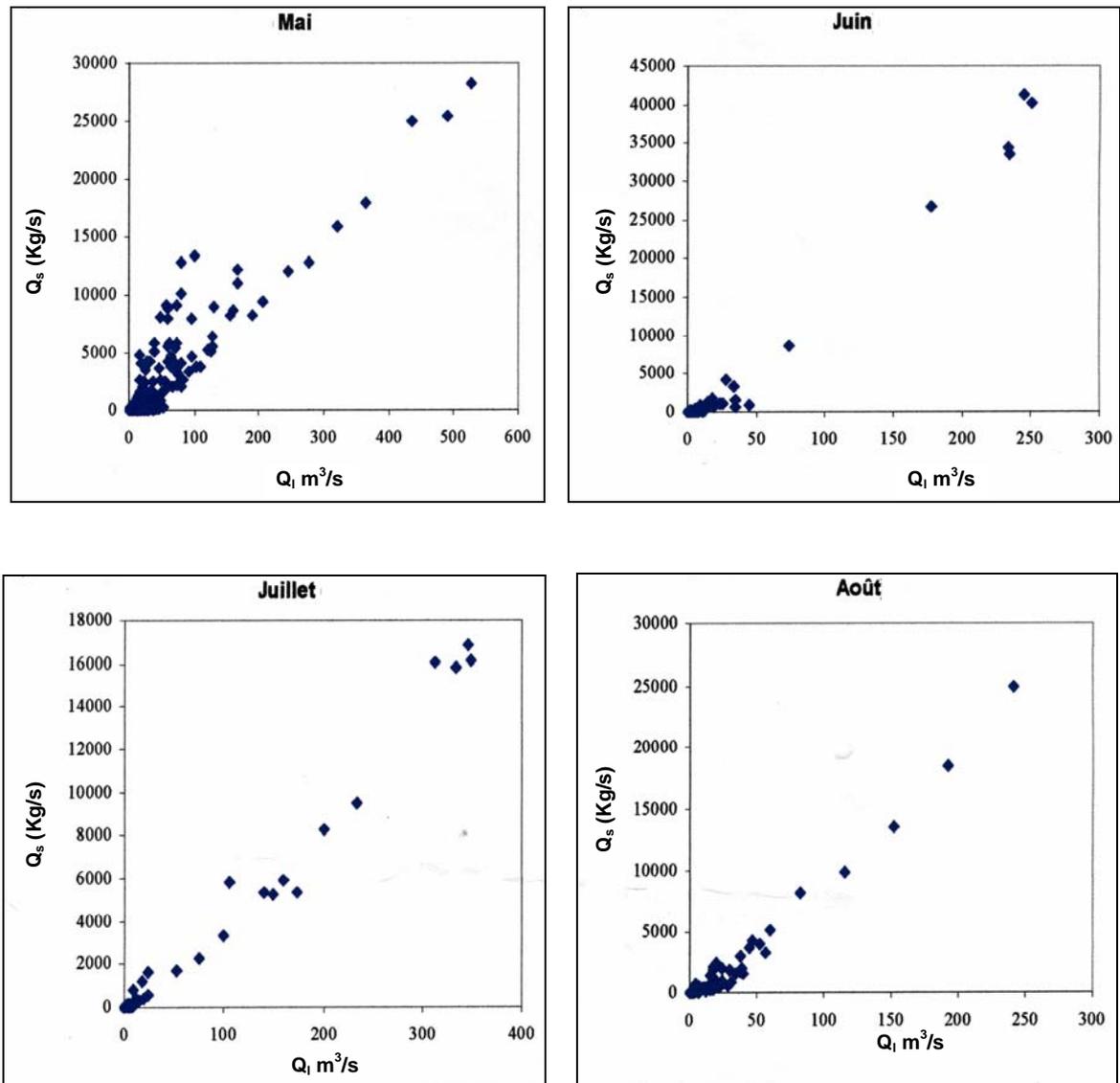


Figure 3.34: Relation débit liquide – débit solide à la station de Oued Abtal (suite et fin) [130].

3.2.17. Relation débit liquide – débit solide à la station de Relizane Amont
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.53 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphes dans la figure 3.35.

Tableau 3.53 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Relizane Amont.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	60	0,89	0,62	0,90	0,88	0,64	$4,71Q_l^{1,70}$
Octobre	85	0,90	0,62	0,90	0,93	0,50	$2,40Q_l^{1,84}$
Novembre	83	0,70	0,47	0,72	0,74	0,38	$7,24Q_l^{1,42}$
Décembre	89	0,85	0,46	0,85	0,86	0,45	$5,43Q_l^{1,58}$
Janvier	87	0,83	0,42	0,87	0,85	0,57	$4,29Q_l^{1,68}$
Février	88	0,87	0,50	0,89	0,86	0,46	$3,46Q_l^{1,77}$
Mars	99	0,85	0,50	0,86	0,84	0,44	$1,42Q_l^{1,96}$
Avril	43	0,84	0,53	0,85	0,89	0,57	$3,63Q_l^{1,71}$
Mai	32	0,63	0,30	0,69	0,71	0,60	$3,15Q_l^{1,80}$
Juin	6	0,41	0,49	0,61	0,65	0,54	$5,07Q_l^{1,43}$
Juillet	17	0,74	0,57	0,77	0,76	0,64	$3,79Q_l^{1,43}$
Août	10	0,63	0,54	0,68	0,74	0,57	$1,48Q_l^{1,92}$

N : nombre d'observations.

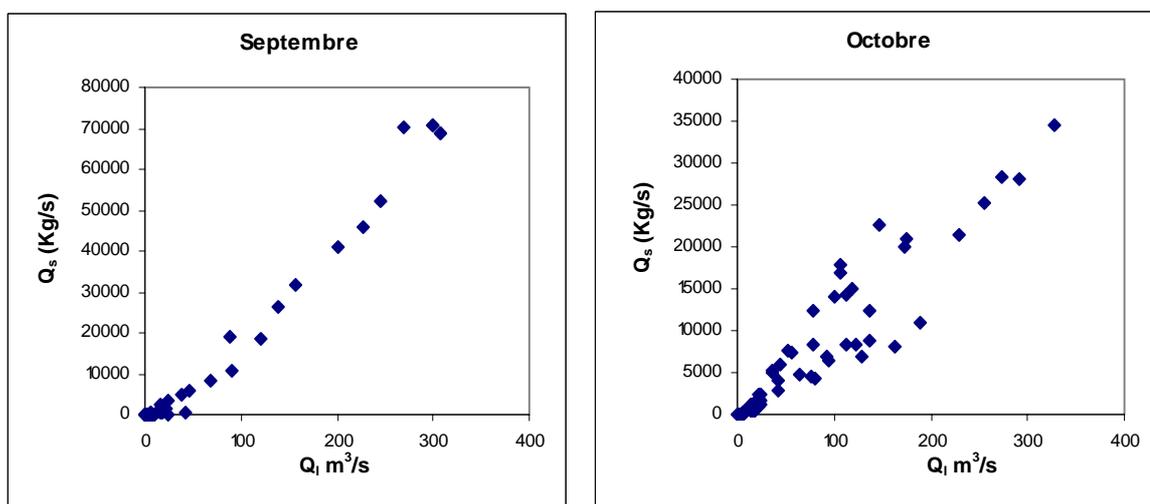


Figure 3.35: Relation débit liquide – débit solide à la station de Relizane Amont.

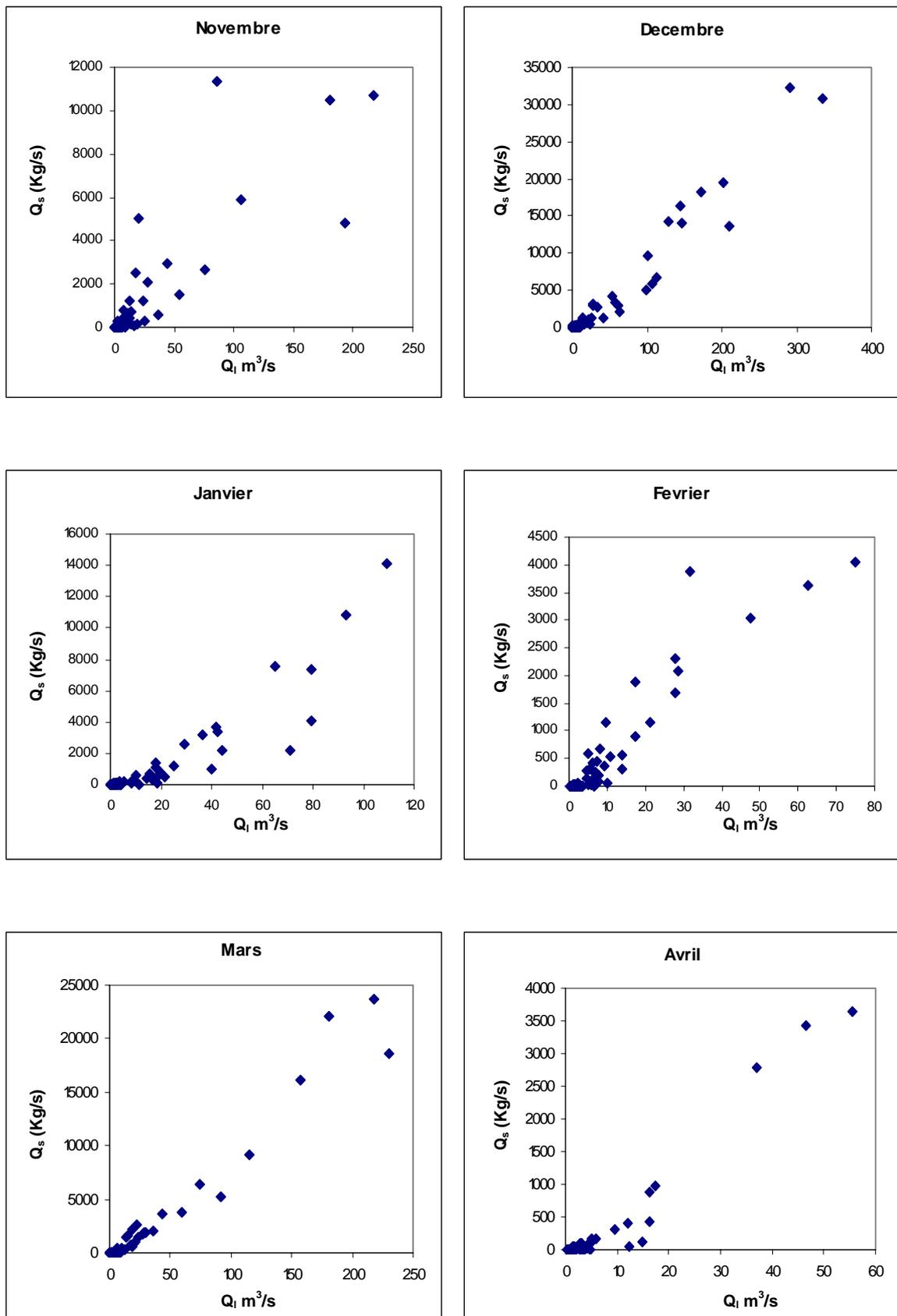


Figure 3.35: Relation débit liquide – débit solide à la station de Relizane Amont.
(suite)

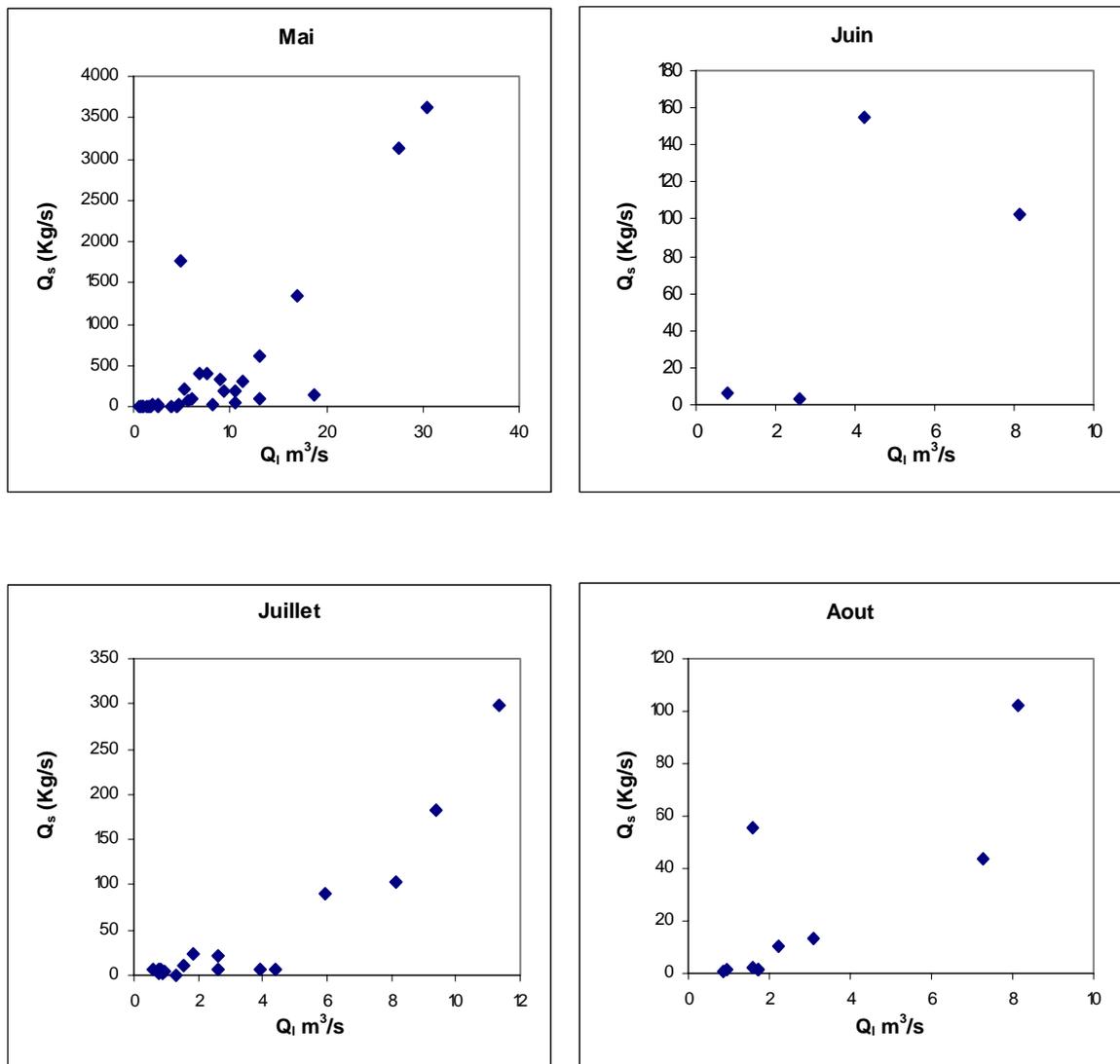


Figure 3.35: Relation débit liquide – débit solide à la station de Relizane Amont.
(suite et fin)

3.2.18. Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Bel Attar
(Echelle mensuelle)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 3.54 et les couples (Ql, Qs) sont mis en graphe dans la figure 3.36.

Tableau 3.54 : Résultats de calculs des différents modèles à la station de Sidi Bel Attar.

Echelle mensuelle	N	Modèle					Modèle retenu $Q_s = f(Q_l)$
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	255	0,76	0,25	0,80	0,87	0,33	$5,57Q_l^{1,62}$
Octobre	690	0,76	0,35	0,77	0,86	0,36	$5,17Q_l^{1,56}$
Novembre	620	0,75	0,34	0,77	0,81	0,33	$3,21Q_l^{1,56}$
Décembre	650	0,84	0,26	0,88	0,89	0,37	$3,30Q_l^{1,36}$
Janvier	869	0,79	0,17	0,80	0,85	0,21	$3,10Q_l^{1,34}$
Février	766	0,83	0,37	0,84	0,80	0,50	$1,83Q_l^{1,43}$
Mars	764	0,80	0,30	0,83	0,81	0,38	$2,43Q_l^{1,35}$
Avril	518	0,64	0,26	0,65	0,78	0,44	$2,24Q_l^{1,31}$
Mai	350	0,47	0,23	0,49	0,73	0,26	$6,06Q_l^{1,10}$
Juin	107	0,10	0,17	0,25	0,52	0,12	$4,97Q_l^{1,20}$
Juillet	40	0,54	0,39	0,59	0,70	0,39	$7,99Q_l^{1,44}$
Août	14	0,73	0,27	0,83	0,85	0,61	$8,89Q_l^{1,39}$

N : nombre d'observations

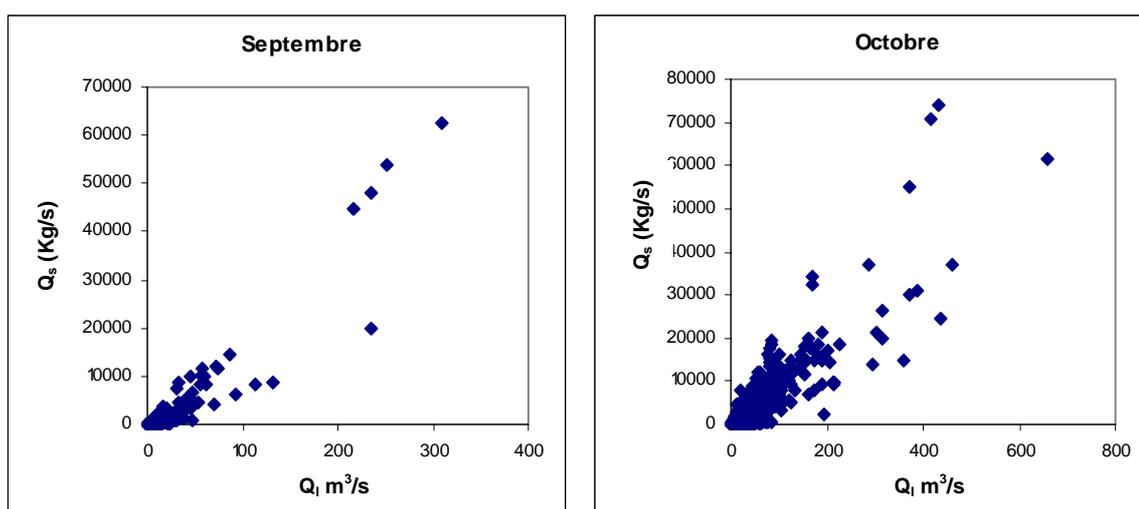


Figure 3.36: Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Bel Attar.

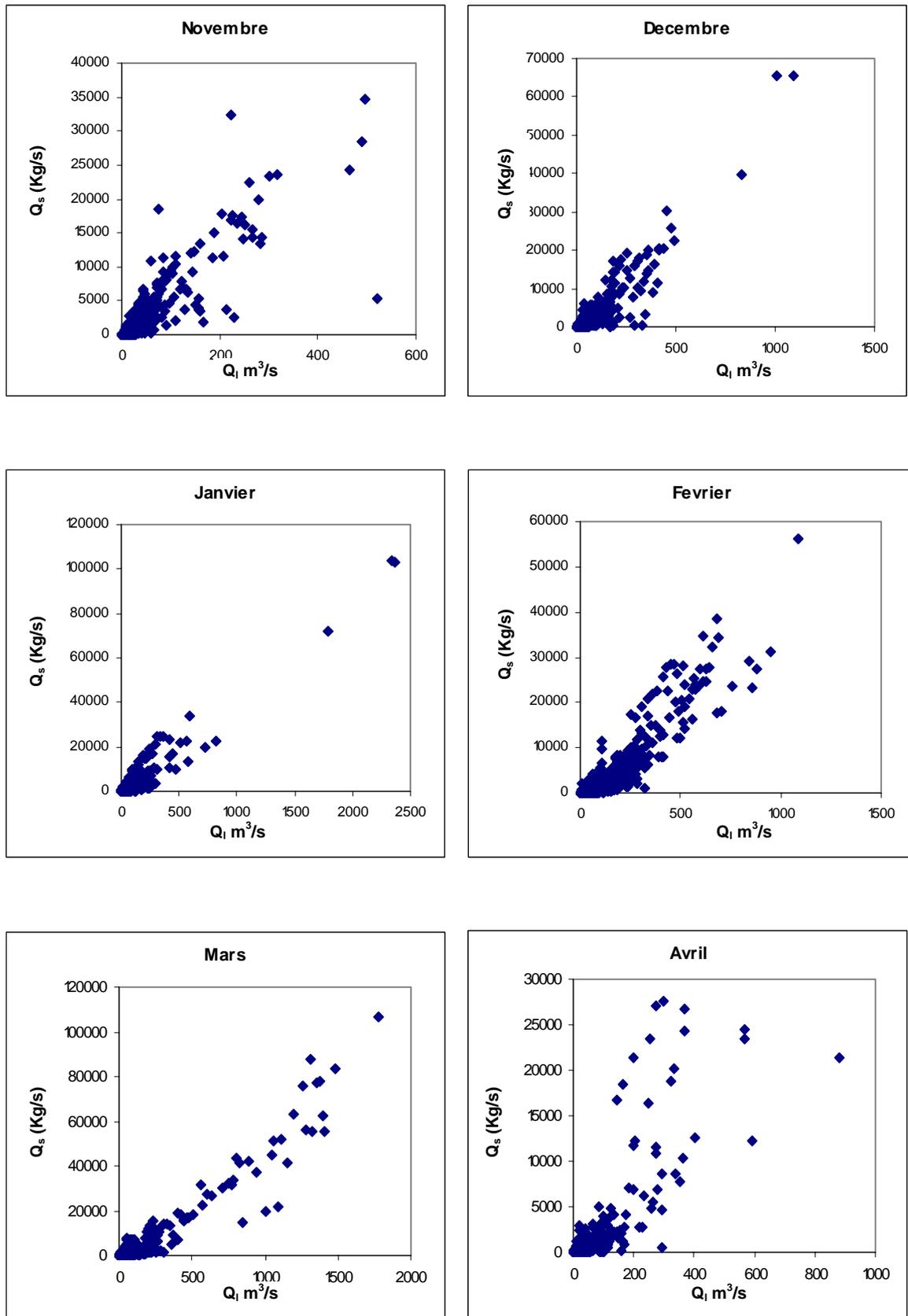


Figure 3.36: Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Bel Attar.
(suite)

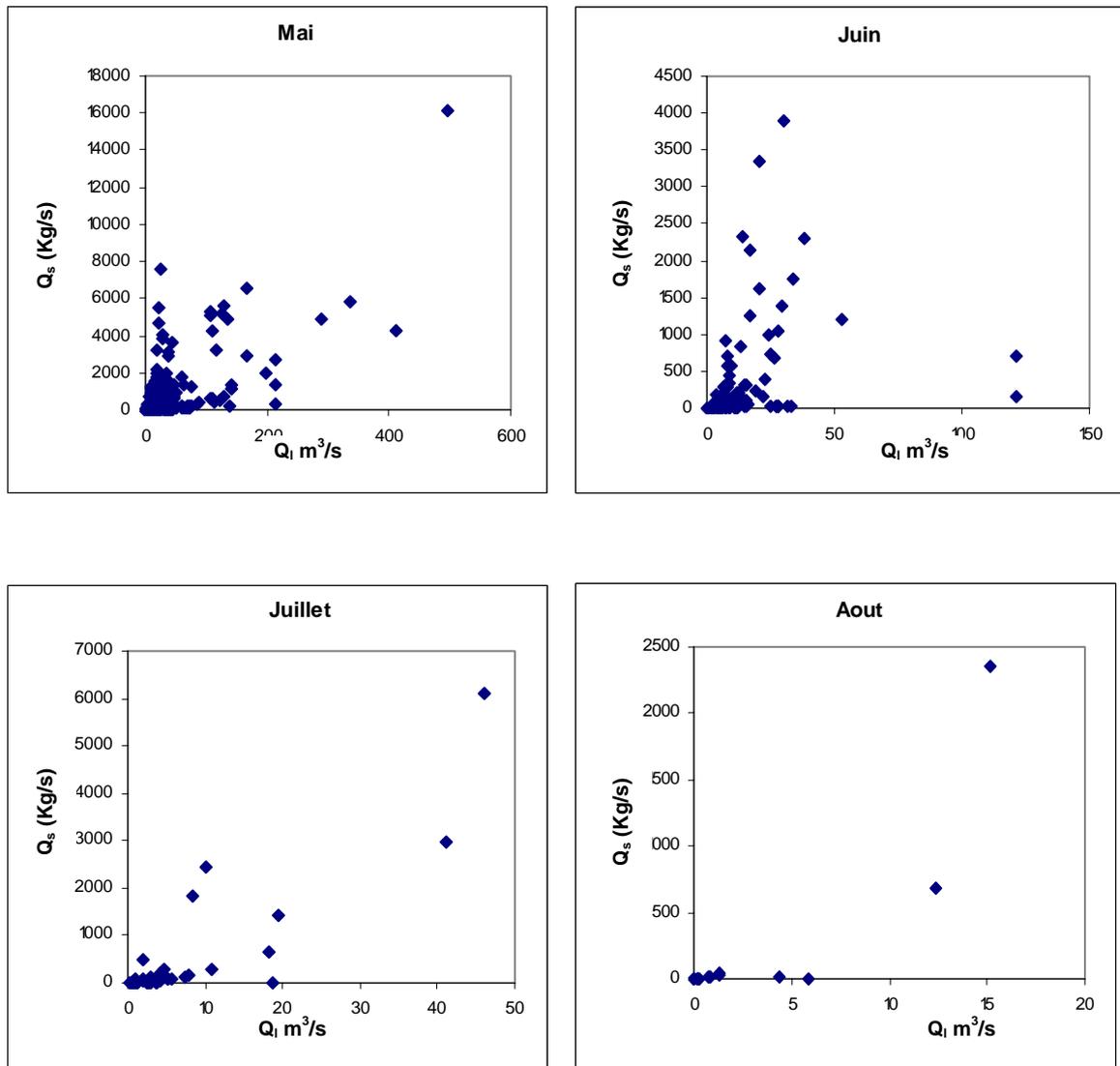


Figure 3.36: Relation débit liquide – débit solide à la station de Sidi Bel Attar.
(suite et fin)

3.3. Conclusion

L'homogénéisation des données par l'approche statistique reste toujours fiable. Les résultats obtenus après analyse de la régression montre que pratiquement tous les modèles retenus expliquent plus de **70%** de la variance. Dans ces circonstances, nous avons essayé de contribuer à une modélisation statistique du transport solide en suspension (échelle mensuelle), afin de pouvoir évaluer les apports solides transités le long de l'Oued Cheliff et de ses principaux affluents pour mieux cerner sa variabilité dans le bassin versant du Cheliff.

Les relations établies servent ainsi pour l'extension des séries courtes, le contrôle des observations et le comblement du manque d'information.

CHAPITRE 4 ELABORATION DE L'ABAQUE « Es- S- Lp »

4.1. Evaluation des Apports Solides

4.1.1. Introduction

La quantité de matière prélevée par le ruissellement sur les versants est généralement estimée à partir du flux solide (Matière en Suspension (MES)). La plupart du temps, dans les cours d'eau, rapportée au bassin versant, elle représente un taux d'érosion net. Parmi les nombreux travaux déjà réalisés sur les transports solides fluviaux et sur l'érosion mécanique continentale, nous pouvons citer ceux de : TERFOUS et al [2] ; CORDOVA et al [43] ; SERRAT et al [47] ; ACHITE et al [50] et [52] ; MEGNOUNIF et al [129] ; KUENEN [148] ; LOPATAIN [149] ; WALLING [150] ; WALLING et al [151] ; BALLAND [152] ; HAIDA et al [153] ; SERRAT [154] ; TOUAIBIA et al [155] ; et FUNG-CHUN et al [156].

En Algérie, l'évaluation des apports solides, à l'échelle du réseau national, est, à ce jour, fondée sur l'analyse des échantillon classiques prélevés des cours d'eaux consolidés au niveau des stations hydrométriques. Ce moyen d'estimation est pratiquement soumis à plusieurs contraintes (instrumentale, accidentelle et même méthodologique...). Toutefois, l'estimation du transport solide, soit elle est faite directement à partir des données observées, soit en développant des modèles reliant le débit solide au débit liquide, et ce, pour la quantification du transport solide (Figure 4.1).

4.1.2. Approche d'évaluation des apports solides dans les stations hydrométriques

La série chronologique des débite instantanés (Kg/s) fournit des données utiles sur le comportement des Oueds. Comme la concentration des matières en suspension totales est en partie liée au débit, cette charge augmente parallèlement à l'accroissement du débit FLEMING [104] et CRAWFORD [157].

$$\boxed{Q_s = a Q_l^b} \dots\dots\dots(4.1)$$

Avec a et b sont des paramètres empiriques sont généralement déterminés par régression linéaire.

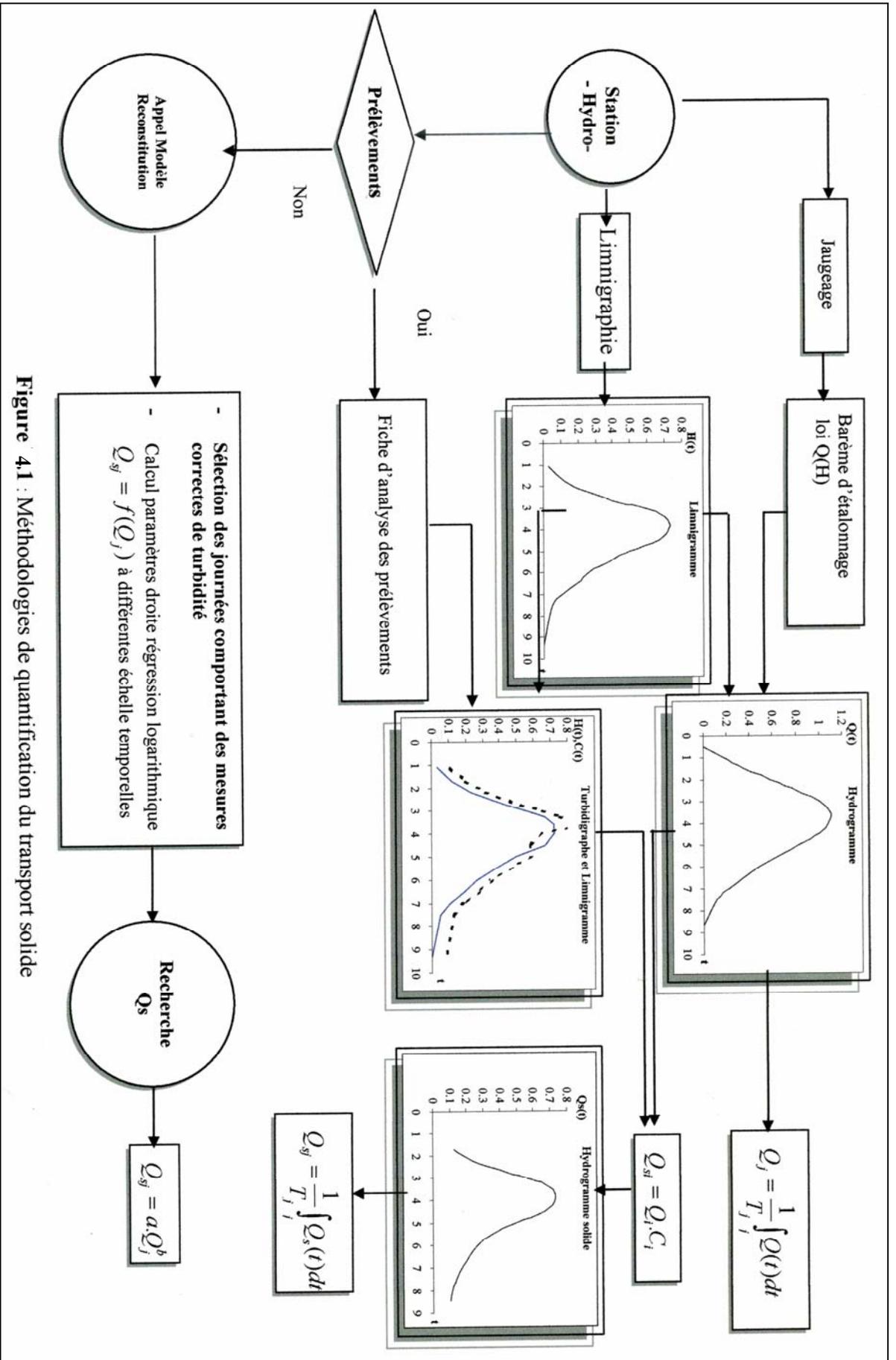


Figure 4.1 : Méthodologies de quantification du transport solide

Nous considérons une série de mesure de concentrations :

$$C_i = (C_1. C_2.....C_i.....C_n) \quad (4.2)$$

Et une série de débits :

$$Q_i = (Q_1. Q_2.....Q_i.....Q_n) \quad (4.3)$$

Généralement, nous disposons beaucoup plus de données de débit que de données de concentrations.

Les méthodes de calcul des flux dans les cours d'eau ont fait l'objet de nombreux travaux, (le choix de la méthode de calcul dépend essentiellement de la fréquence d'échantillonnage et de la qualité des données acquises). Pour ce genre de calcul, nous pouvons distinguer les méthodes statistiques basées sur l'utilisation des moyennes et les méthodes déterministes qui s'appuient sur la relation « débit solide – débit liquide ».

Le fait de quantifier le transport solide au droit des stations hydrométriques avec des données instantanées ou des moyennes, entraîne des résultats très différents les uns des autres. Ainsi, la meilleure méthode de quantifier le transport solide en suspension est de faire une extension des données sur toute la période d'observation à partir des valeurs des hauteurs d'eau instantanées [130]. Le nombre de ces valeurs correspondant au 18 stations hydrométriques est donné par le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Nombre d'enregistrements des hauteurs d'eau instantanées des stations hydrométriques.

N°	Code station	Nom Station	Période de fonctionnement	Nombre d'observation
1	011407	Ghrib Amont	1976-1996	20 793
2	011501	Tamezguida	1987-1994	2 906
3	011514	Djenane Ben Aouadah	1990-2005	41 756
4	011601	Marabout blanc	1990-2004	32 511
5	011702	Arib Cheliff	1968-2004	125 751
6	011715	El-ababssa	1973-2005	35 525
7	011801	Arib Abda	1974-1995	19 372
8	011905	Bir Ouled Tahar	1989-2004	26 411
9	012004	Tickezal	1990-2003	8 045
10	012201	Larbaa Ouled fares	1983-2003	10 448
11	012203	Pontéba Deffluent	1975-2003	26 523
12	012311	Ouled Ben Abk	1985-2003	17 341
13	012701	Djediouia RN4	1974-2002	20 956
14	013001	Kef Mahboula	1965-1995	23 219
15	013401	Sidi Abk Djillali	1970-2000	21 970
16	013402	Oued El Abtal	1970-2000	31 212
17	013510	Relizane Amont	1972-1986	12 532
18	013602	Sidi Bel Attar	1957-2004	43 377

4.1.3. Variabilité spatio – temporelle des apports liquides et solides

Les transports en suspension de Oued Cheliff et de ses affluents présentent des variations spatio-temporelles considérables. Elles sont dues essentiellement au régime pluviométrique, au couvert végétal et à la lithologie. Ainsi, les valeurs maximales des apports solides s'observent au début d'Automne et à la fin du Printemps [52] et [158].

La répartition intra-annuelle et interannuelle des apports liquides et solides du bassin versant de Oued Cheliff est montré dans les tableaux (de 4.2 à 4.37). Généralement, les apports solides minima mensuels sont enregistrés en Été, cette saison est caractérisée par une faible pluviométrie et par conséquent un faible écoulement superficiel. Il est à remarquer cependant que les apports solides minima ne correspondent pas forcément au mois caractérisé par le plus faible apport liquide (Figure 4.2). Le transport solide d'Automne reste le plus élevé, dépassant significativement les autres saisons. Cette variabilité s'explique par la variation du couvert végétal (sols nus) durant l'été et la nature agressive des pluies d'Automne [158] et [159]. Ces facteurs permettant aux premières crues d'Automne de transporter des quantités considérables de sédiments après une longue saison sèche caractérisée par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol par ces dernières. L'énergie produites par les premières pluies ainsi que le faible taux de couverture végétal en cette saison y contribuent.

Tableau 4.2 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Ghrib Amont.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1976-77	79,52	0,960	1987-88	29,19	0,368
1977-78	30,80	0,072	1988-89	32,15	0,336
1978-79	60,92	1,428	1989-90	342,28	8,392
1979-80	170,85	9,062	1990-91	102,25	0,375
1980-81	36,80	0,596	1991-92	377,70	5,420
1981-82	99,14	2,077	1992-93	87,29	0,562
1982-83	79,66	1,158	1993-94	47,40	6,808
1983-84	10,61	0,121	1994-95	25,27	2,288
1984-85	25,18	0,348	1995-96	354,52	3,351
1985-86	184,36	3,891	Moyenne	113,70	2,408
1986-87	98,02	0,547			

Tableau 4.3 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Tamezguida.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1987-88	14,61	0,492	1991-92	19,39	0,573
1988-89	16,42	0,126	1992-93	48,67	0,391
1989-90	7,36	0,018	1993-94	2,48	0,004
1990-91	11,11	0,047	Moyenne	17,15	0,236

Tableau 4.4 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Djenane Ben Ouadah.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1990-91	48,80	0,139	1998-99	75,27	0,280
1991-92	224,77	3,985	1999-00	63,43	0,261
1992-93	28,66	0,069	2000-01	72,11	0,428
1993-94	17,06	0,075	2001-02	29,61	0,151
1994-95	160,09	0,921	2002-03	73,34	0,730
1995-96	153,62	0,860	2003-04	105,11	0,554
1996-97	61,01	0,188	2004-05	86,74	0,283
1997-98	81,39	0,657	Moyenne	85,40	0,639

Tableau 4.5 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Marabout Blanc.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1990-91	24,69	0,150	1998-99	70,68	2,282
1991-92	37,23	1,813	1999-00	21,39	0,334
1992-93	32,49	0,927	2000-01	17,34	1,577
1993-94	3,56	0,046	2001-02	11,38	0,228
1994-95	24,04	6,087	2002-03	24,18	1,708
1995-96	7,58	2,117	2003-04	28,48	0,580
1996-97	0,73	0,169	Moyenne	23,46	1,369
1997-98	24,72	1,153			

Tableau 4.6 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Arib Cheliff.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1968-69	101,46	0,659	1987-88	54,36	0,274
1969-70	506,72	4,332	1988-89	47,84	0,253
1970-71	96,22	0,493	1989-90	27,03	0,088
1971-72	537,57	5,127	1990-91	49,96	0,174
1972-73	488,77	3,845	1991-92	232,82	3,495
1973-74	339,53	4,123	1992-93	18,80	0,033
1974-75	147,64	0,756	1993-94	7,12	0,021
1975-76	232,71	1,204	1994-95	176,80	4,470
1976-77	145,81	0,817	1995-96	114,56	0,806
1977-78	118,44	0,729	1996-97	19,28	0,055
1978-79	177,04	0,849	1997-98	68,01	0,852
1979-80	217,67	5,094	1998-99	80,14	0,398
1980-81	171,43	1,003	1999-00	28,57	0,102
1981-82	128,39	0,767	2000-01	63,70	0,486
1982-83	136,88	2,008	2001-02	20,75	0,272
1983-84	58,79	0,202	2002-03	73,90	1,090
1984-85	98,66	0,374	2003-04	70,75	0,458
1985-86	142,11	0,714	Moyenne	146,19	1,338
1986-87	262,64	1,733			

Tableau 4.7 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station d'El Ababssa.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1973-74	10,60	0,136	1990-91	2,36	0,432
1974-75	11,04	0,125	1991-92	1,17	0,052
1975-76	17,77	0,103	1992-93	0,22	0,021
1976-77	3,89	0,023	1993-94	0,50	0,028
1977-78	3,47	0,027	1994-95	4,33	0,265
1978-79	5,37	0,083	1995-96	4,81	0,224
1979-80	7,04	0,143	1996-97	1,67	0,095
1980-81	3,01	0,013	1997-98	2,66	0,066
1981-82	0,81	0,003	1998-99	1,07	0,005
1982-83	3,40	0,094	1999-00	0,22	0,010
1983-84	2,38	0,057	2000-01	2,98	0,105
1984-85	3,01	0,026	2001-02	0,77	0,020
1985-86	6,46	0,054	2002-03	19,15	0,131
1986-87	7,33	0,178	2003-04	3,45	0,006
1987-88	0,45	0,031	2004-05	6,50	0,056
1988-89	2,07	0,175	Moyenne	4,40	0,0893
1989-90	0,72	0,070			

Tableau 4.8 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Arib Abda.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1974-75	113,40	2,0627	1985-86	52,74	1,0488
1975-76	51,71	1,2636	1986-87	100,89	1,1663
1976-77	132,72	0,8484	1987-88	13,13	0,1332
1977-78	58,27	0,2213	1988-89	46,70	1,8756
1978-79	163,08	2,0159	1989-90	8,10	0,3781
1979-80	136,01	2,4977	1990-91	53,15	1,5913
1980-81	112,83	0,9400	1991-92	93,45	1,3385
1981-82	67,07	0,3910	1992-93	13,90	0,1047
1982-83	83,52	0,4928	1993-94	9,96	0,2872
1983-84	38,77	0,3813	1994-95	55,67	1,7172
1984-85	103,50	1,3034	Moyenne	71,84	1,0504

Tableau 4.9 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Bir Ouled Tahar.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1989-90	32,20	2,318	1997-98	14,50	3,424
1990-91	10,44	0,572	1998-99	15,04	0,679
1991-92	10,41	0,478	1999-00	1,13	0,408
1992-93	2,29	2,026	2000-01	17,23	2,470
1993-94	4,05	5,033	2001-02	2,18	0,478
1994-95	25,98	4,648	2002-03	16,39	2,696
1995-96	10,13	2,676	2003-04	7,93	0,362
1996-97	4,70	2,809	Moyenne	11,64	2,072

Tableau 4.10 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Tickezal.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1990-91	1,73	0,1655	1997-98	1,89	0,4667
1991-92	0,85	0,0704	1998-99	3,05	0,0358
1992-93	0,94	0,2811	1999-00	0,51	0,0088
1993-94	0,75	0,1256	2000-01	3,01	0,7604
1994-95	2,74	0,4362	2001-02	0,32	0,0104
1995-96	3,54	1,0827	2002-03	1,83	0,0572
1996-97	1,43	0,5450	Moyenne	1,74	0,3112

Tableau 4.11 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Larbaa Ouled Fares.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1983-84	4,59	0,406	1994-95	115,43	7,338
1984-85	1,99	0,013	1995-96	6,61	0,039
1985-86	2,27	0,015	1996-97	5,51	0,050
1986-87	24,70	1,440	1997-98	10,78	0,062
1987-88	1,30	0,119	1998-99	7,24	0,059
1988-89	3,65	0,086	1999-00	18,55	0,301
1989-90	2,79	0,051	2000-01	3,50	1,186
1990-91	3,46	0,830	2001-02	5,42	0,766
1991-92	2,16	0,383	2002-03	4,44	0,010
1992-93	1,28	0,032	Moyenne	11,32	0,6614
1993-94	0,68	0,041			

Tableau 4.12 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Pontéba Deffluent.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1975-76	511,03	6,193	1990-91	136,33	0,485
1976-77	426,23	4,839	1991-92	294,34	2,954
1977-78	271,92	2,742	1992-93	18,46	0,124
1978-79	536,60	9,043	1993-94	25,89	0,773
1979-80	347,31	6,320	1994-95	263,84	1,546
1980-81	363,91	3,967	1995-96	224,89	1,498
1981-82	151,80	1,114	1996-97	39,18	5,127
1982-83	282,94	3,279	1997-98	137,87	6,817
1983-84	147,05	0,735	1998-99	226,30	0,440
1984-85	264,70	2,255	1999-00	111,22	1,663
1985-86	377,45	3,472	2000-01	164,58	0,418
1986-87	468,98	4,925	2001-02	43,74	0,883
1987-88	58,70	0,566	2002-03	154,23	0,818
1988-89	511,15	13,870	Moyenne	235,64	3,107
1989-90	37,38	0,130			

Tableau 4.13 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Ouled Ben Abk.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1985-86	62,14	2,6825	1995-96	55,52	1,5570
1986-87	32,30	0,6290	1996-97	36,22	0,7515
1987-88	39,01	0,2911	1997-98	43,25	0,6287
1988-89	46,45	1,4117	1998-99	43,54	0,7866
1989-90	39,76	0,3293	1999-00	16,84	0,0919
1990-91	29,77	1,1232	2000-01	55,60	1,3917
1991-92	37,65	2,5672	2001-02	54,61	0,8334
1992-93	36,18	0,9702	2002-03	25,90	0,7270
1993-94	28,36	0,5950	Moyenne	43,78	1,3081
1994-95	104,93	6,1783			

Tableau 4.14 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Djediouia.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1974-75	29,30	1,245	1989-90	9,46	0,709
1975-76	19,70	0,591	1990-91	9,97	0,245
1976-77	33,10	3,753	1991-92	6,92	0,214
1977-78	13,40	0,341	1992-93	3,66	0,076
1978-79	26,94	6,196	1993-94	16,70	2,283
1979-80	20,50	0,621	1994-95	31,00	5,203
1980-81	29,40	1,103	1995-96	35,00	1,379
1981-82	10,40	0,331	1996-97	15,50	1,437
1982-83	46,00	5,020	1997-98	34,30	5,590
1983-84	7,90	0,544	1998-99	6,46	0,145
1984-85	7,46	0,241	1999-00	2,99	0,082
1985-86	40,10	2,096	2000-01	20,41	1,764
1986-87	31,10	1,905	2001-02	13,31	0,784
1987-88	10,50	0,389	Moyenne	19,13	1,585
1988-89	4,30	0,098			

Tableau 4.15 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Kef Mahboula.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1965-66	18,34	0,0901	1981-82	3,99	0,0112
1966-67	36,43	0,2962	1982-83	5,51	0,0617
1967-68	32,78	0,2904	1983-84	1,76	0,0035
1968-69	13,10	0,0930	1984-85	3,24	0,0180
1969-70	24,69	0,2444	1985-86	13,92	0,1842
1970-71	14,22	0,3036	1986-87	7,80	0,0770
1971-72	53,38	0,6233	1987-88	5,24	0,0601
1972-73	16,88	0,0933	1988-89	9,84	0,1674
1973-74	12,33	0,0643	1989-90	16,59	0,5352
1974-75	7,44	0,0244	1990-91	10,14	0,1025
1975-76	7,31	0,0418	1991-92	8,85	0,3622
1976-77	10,26	0,0713	1992-93	3,21	0,0369
1977-78	9,25	0,0967	1993-94	11,76	0,2498
1978-79	5,29	0,0226	1994-95	18,60	0,5422
1979-80	13,76	0,2230	Moyenne	13,52	0,1693
1980-81	9,74	0,0895			

Tableau 4.16 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Sidi Abk Djillali [130].

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1970-71	7,67	1,640	1986-87	13,57	4,399
1971-72	18,53	3,109	1987-88	7,61	3,947
1972-73	12,71	1,805	1988-89	9,66	4,799
1973-74	10,01	1,600	1989-90	11,42	7,120
1974-75	8,79	0,482	1990-91	17,84	7,720
1975-76	6,55	0,795	1991-92	2,31	2,834
1976-77	7,58	2,117	1992-93	1,85	5,202
1977-78	4,01	0,360	1993-94	5,09	6,944
1978-79	6,04	2,610	1994-95	9,38	5,997
1979-80	6,85	1,838	1995-96	4,31	3,377
1980-81	6,17	1,151	1996-97	1,82	5,604
1981-82	3,47	1,098	1997-98	1,42	2,412
1982-83	7,84	5,596	1998-99	0,90	2,167
1983-84	4,14	2,031	1999-00	0,30	1,948
1984-85	2,16	1,290	Moyenne	6,83	3,140
1985-86	4,99	2,201			

Tableau 4.17 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Oued Abtal [130].

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1970-71	107,41	9,10	1986-87	75,41	11,92
1971-72	297,08	6,25	1987-88	68,50	6,93
1972-73	187,00	7,32	1988-89	43,63	8,40
1973-74	122,01	5,98	1989-90	65,40	17,40
1974-75	96,17	4,60	1990-91	51,50	10,16
1975-76	89,90	3,50	1991-92	15,70	3,00
1976-77	95,72	6,15	1992-93	21,02	5,63
1977-78	70,93	5,10	1993-94	37,77	8,90
1978-79	73,80	9,15	1994-95	64,34	18,50
1979-80	89,55	10,70	1995-96	93,66	11,25
1980-81	110,27	5,05	1996-97	44,37	14,82
1981-82	45,34	3,54	1997-98	101,32	11,60
1982-83	78,32	12,90	1998-99	53,06	6,30
1983-84	27,72	2,08	1999-00	24,34	7,82
1984-85	20,55	3,20	Moyenne	78,62	8,27
1985-86	86,69	10,90			

Tableau 4.18 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Relizane Amont.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1972-73	231,77	6,057	1980-81	87,07	2,288
1973-74	159,31	3,638	1981-82	83,60	0,761
1974-75	131,85	2,430	1982-83	110,19	5,583
1975-76	115,72	1,547	1983-84	69,05	0,929
1976-77	123,33	6,335	1984-85	44,49	0,196
1977-78	62,51	1,371	1985-86	73,23	2,524
1978-79	96,88	4,423	Moyenne	107,06	2,873
1979-80	109,91	2,144			

Tableau 4.19 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide : Station de Sidi Bel Attar

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1957-58	1813,40	61,086	1981-82	247,78	2,395
1958-59	694,91	9,386	1982-83	617,29	17,483
1959-60	2038,53	43,155	1983-84	207,80	2,234
1960-61	1331,86	22,226	1984-85	295,80	3,547
1961-62	551,38	9,617	1985-86	599,10	8,260
1962-63	606,09	8,914	1986-87	674,17	10,180
1963-64	1513,87	56,963	1987-88	141,04	1,627
1964-65	1336,98	23,529	1988-89	191,59	2,096
1965-66	2887,12	76,002	1989-90	74,46	0,556
1966-67	1314,79	18,611	1990-91	216,03	2,090
1967-68	551,00	10,425	1991-92	352,99	5,918
1968-69	963,70	14,258	1992-93	73,27	0,669
1969-70	2014,48	56,273	1993-94	90,84	1,364
1970-71	828,55	8,991	1994-95	366,45	11,439
1971-72	2915,88	50,486	1995-96	516,86	6,798
1972-73	1606,69	28,459	1996-97	188,38	2,739
1973-74	1441,53	21,320	1997-98	397,71	10,799
1974-75	793,17	21,806	1998-99	211,83	2,131
1975-76	1195,60	20,883	1999-00	158,02	1,823
1976-77	775,65	28,717	2000-01	476,91	16,852
1977-78	581,52	6,710	2001-02	318,21	11,816
1978-79	1074,23	25,632	2002-03	486,31	6,060
1979-80	833,81	13,359	2003-04	362,46	3,860
1980-81	734,69	10,636	Moyenne	801,38	16,600

A l'issue de tous les résultats précédents d'évaluation des apports solides au niveau des 18 stations hydrométriques présentes dans le bassin versant du Cheliff, la représentation de leur variation mensuelle avec celle de l'apport liquide est donnée par la figure 4.2.

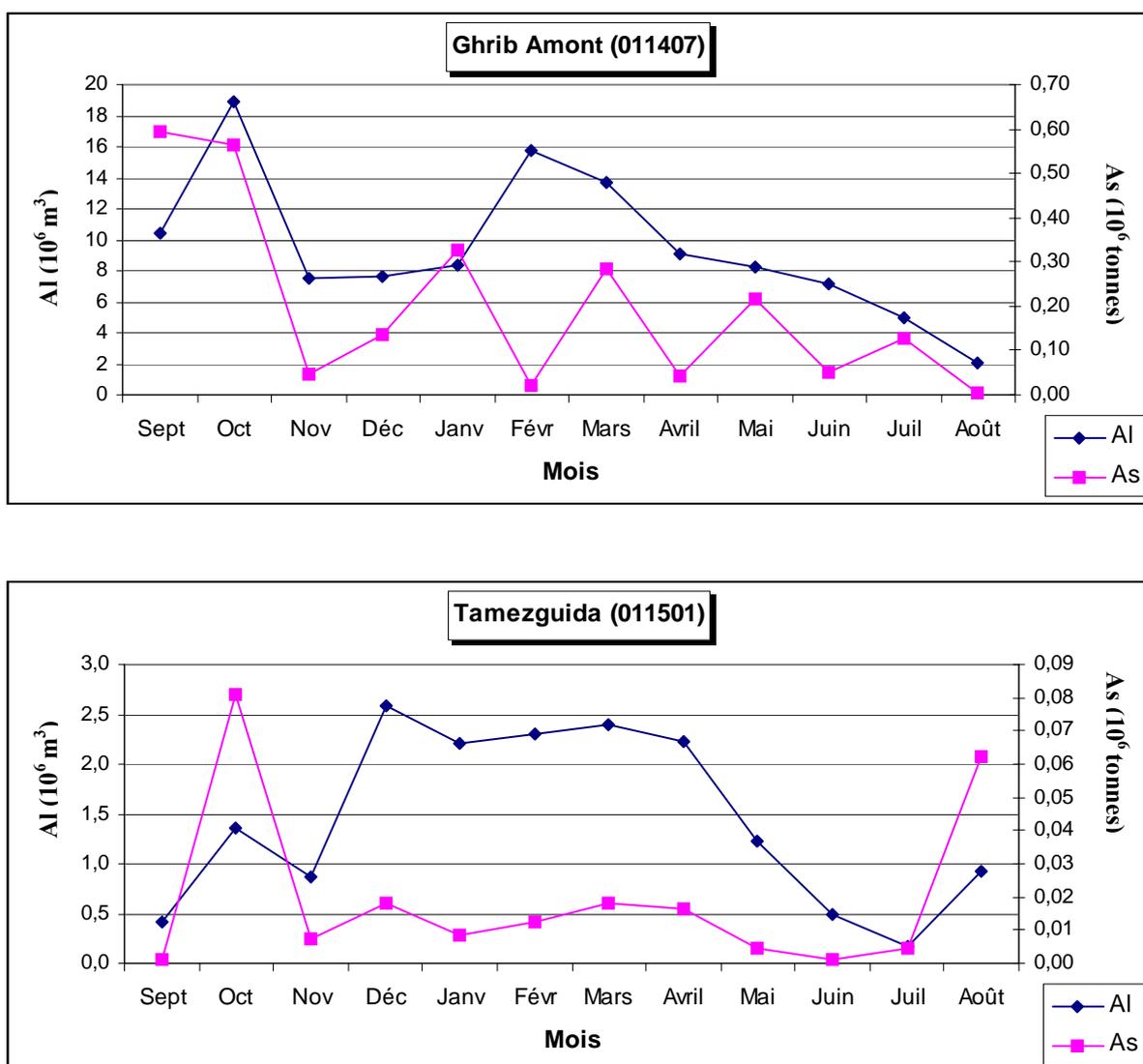


Figure 4.2 : Variabilité des apports liquides et solides dans le bassin versant du Cheliff.

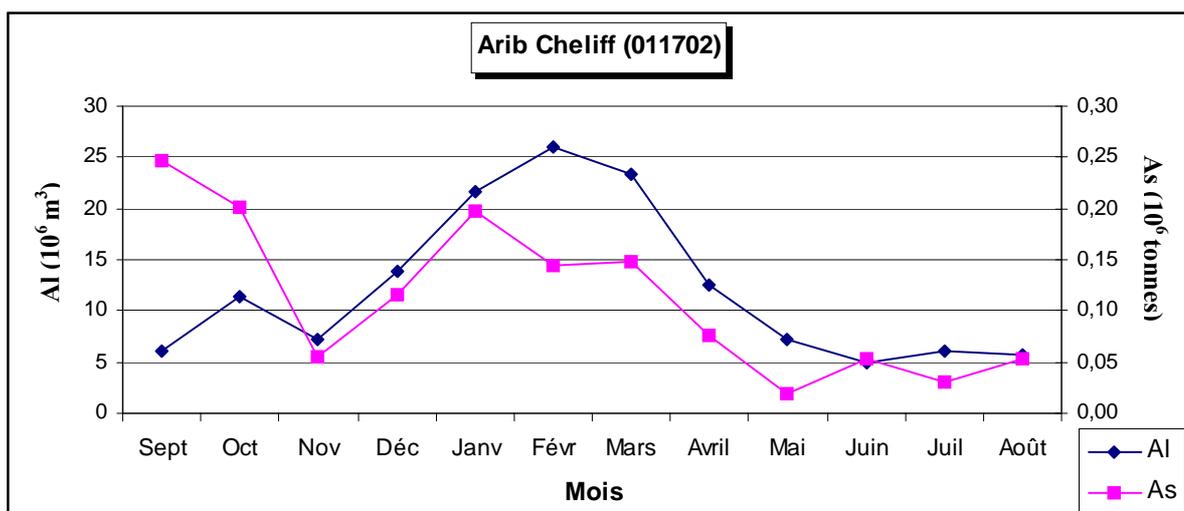
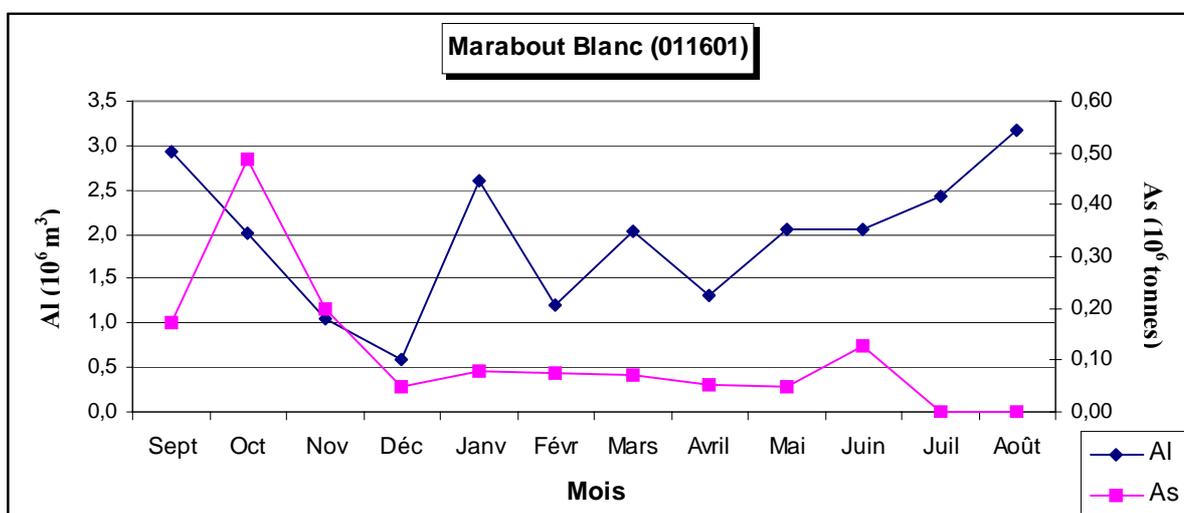
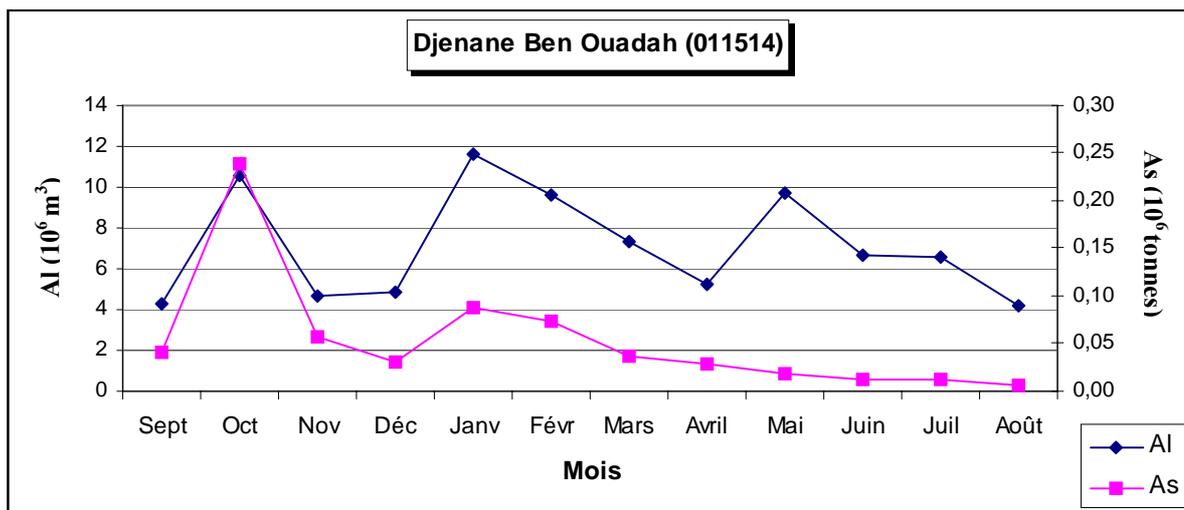


Figure 4.2 : Variabilité des apports liquides et solides dans le bassin versant du Cheliff (suite).

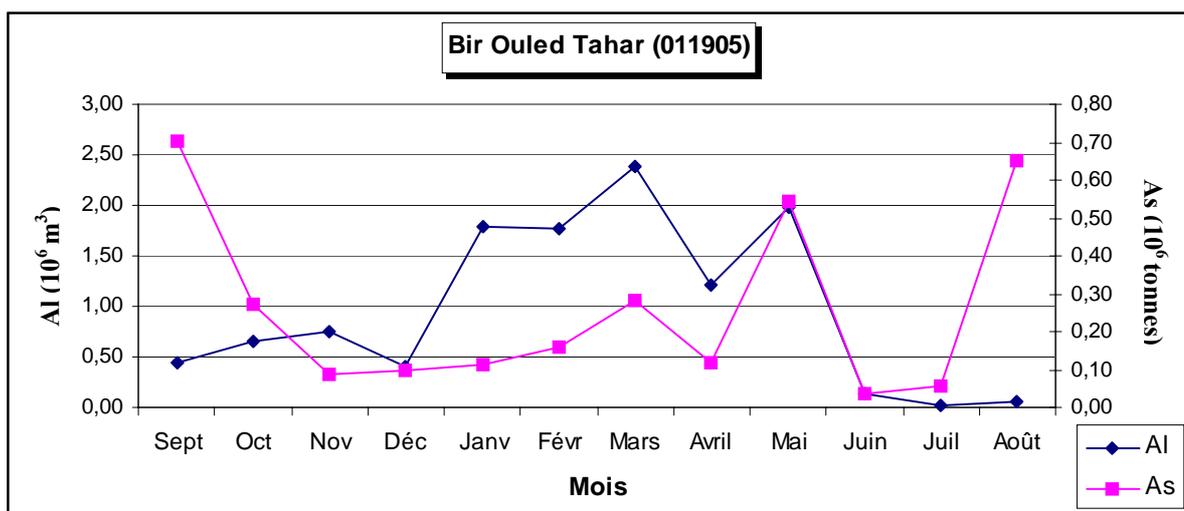
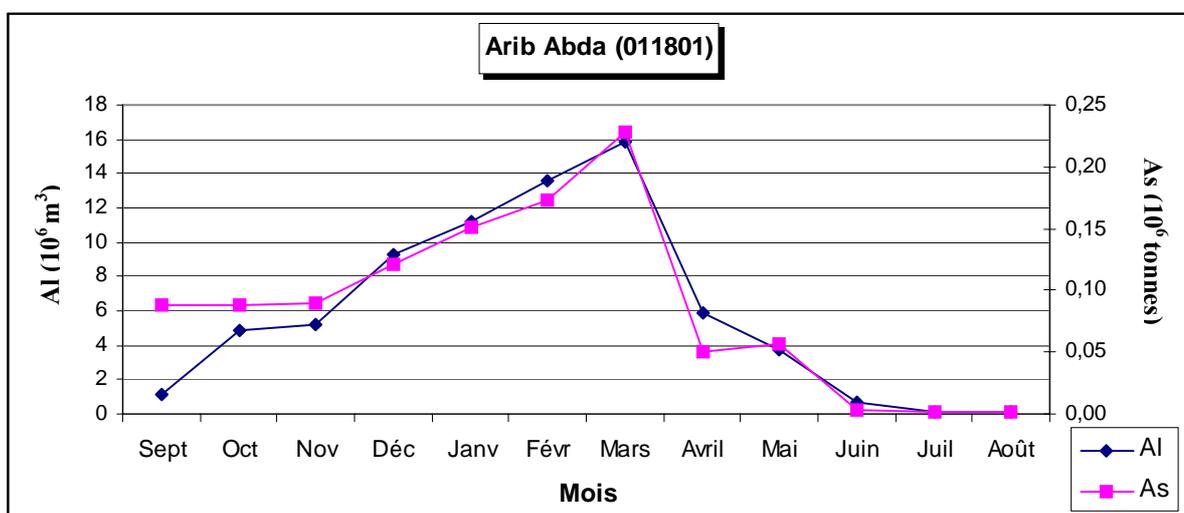
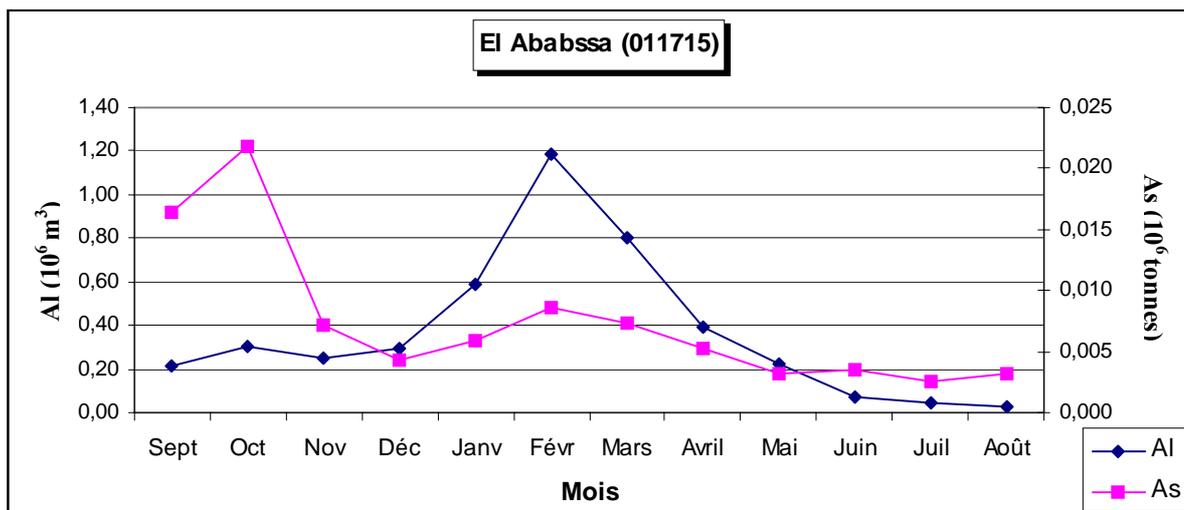


Figure 4.2 : Variabilité des apports liquides et solides dans le bassin versant du Cheliff (suite).

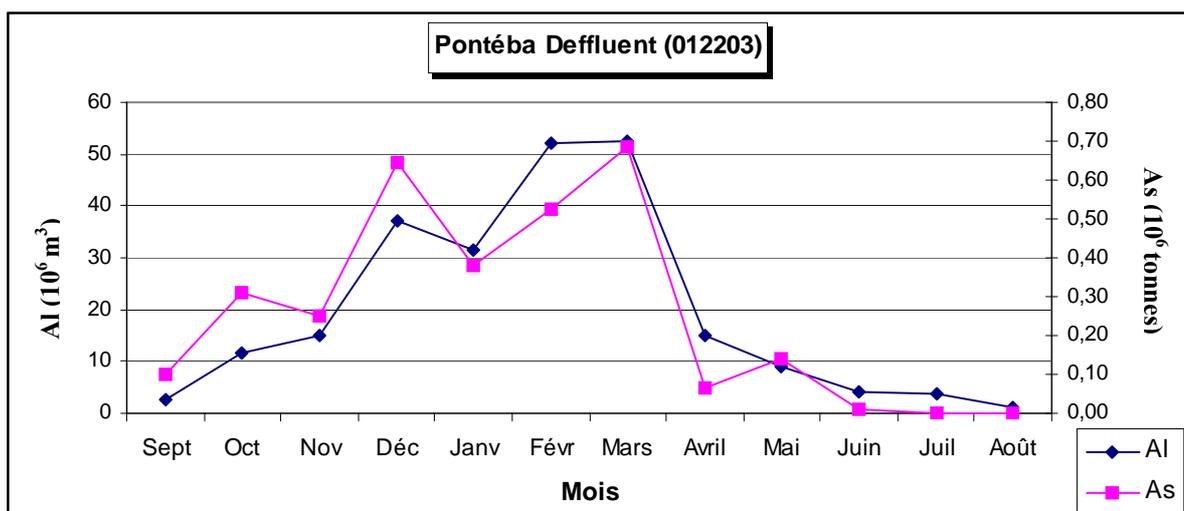
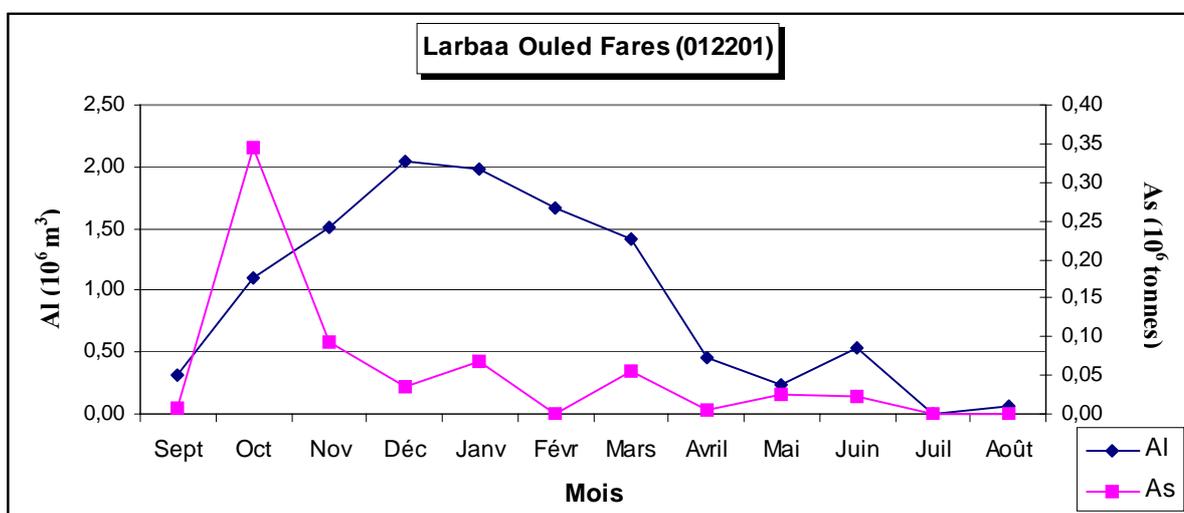
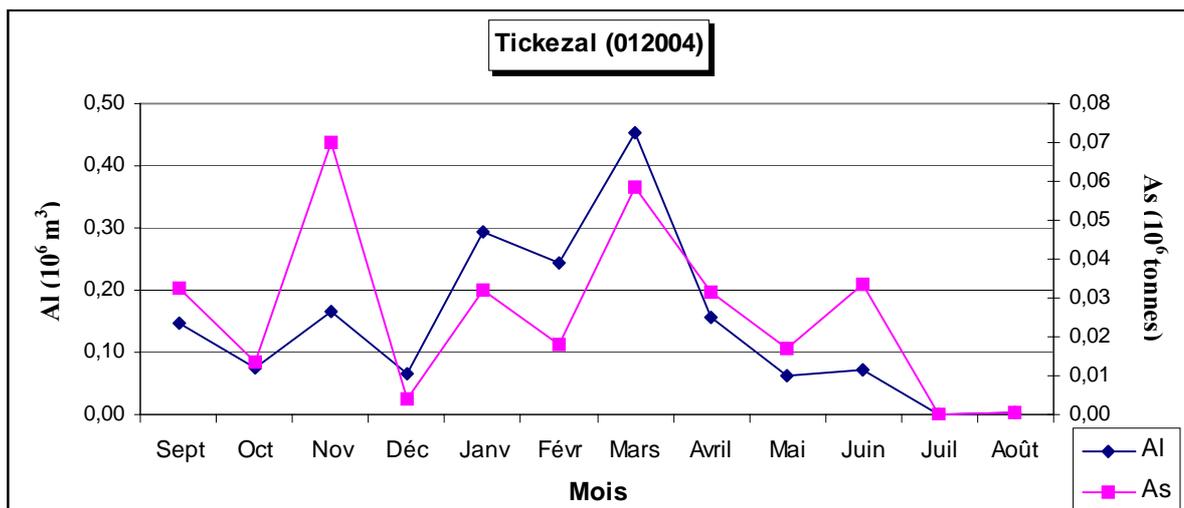


Figure 4.2 : Variabilité des apports liquides et solides dans le bassin versant du Cheliff (suite).

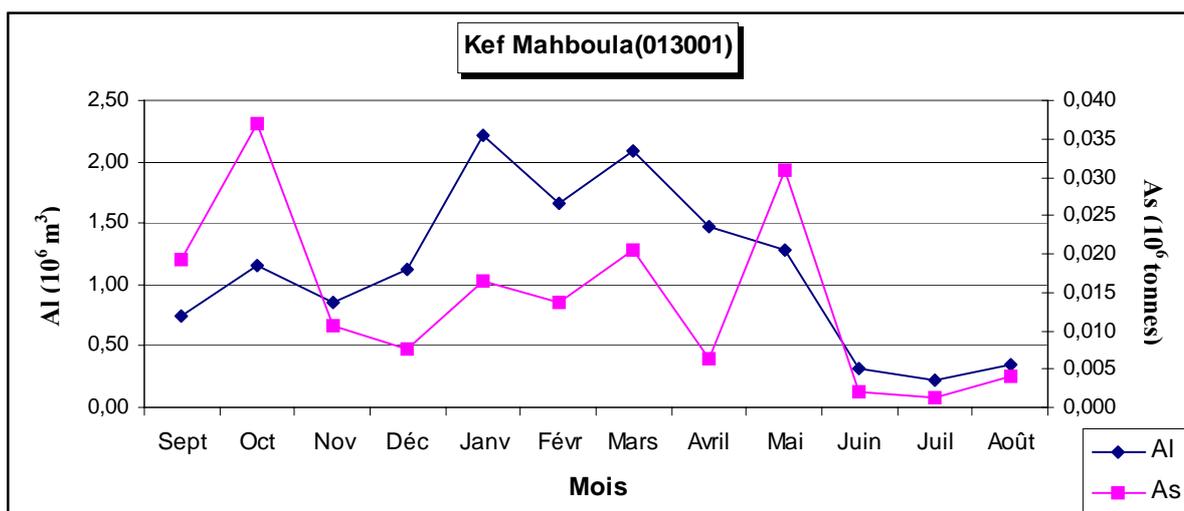
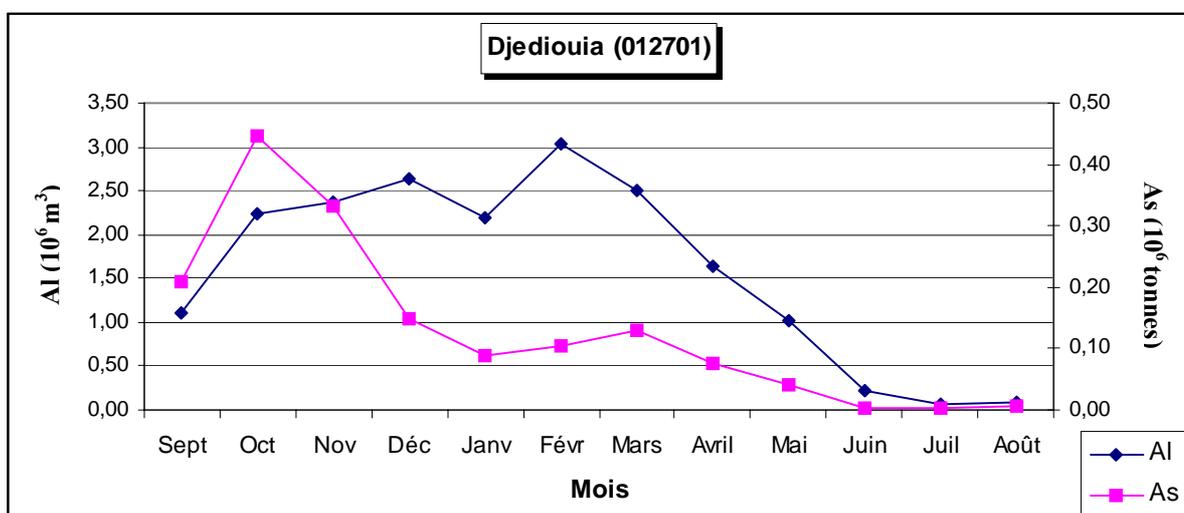
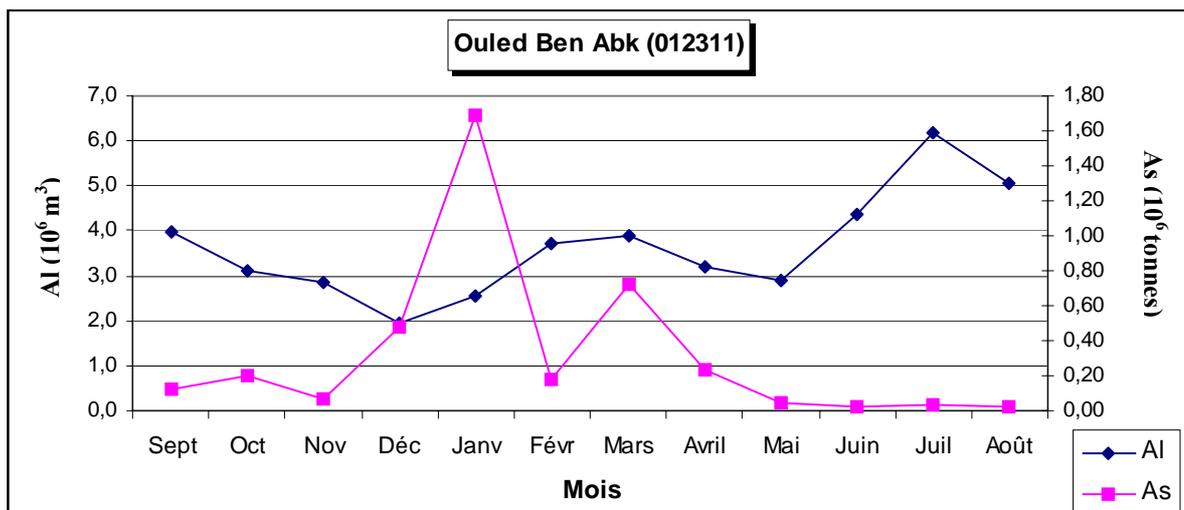


Figure 4.2 : Variabilité des apports liquides et solides dans le bassin versant du Cheliff (suite).

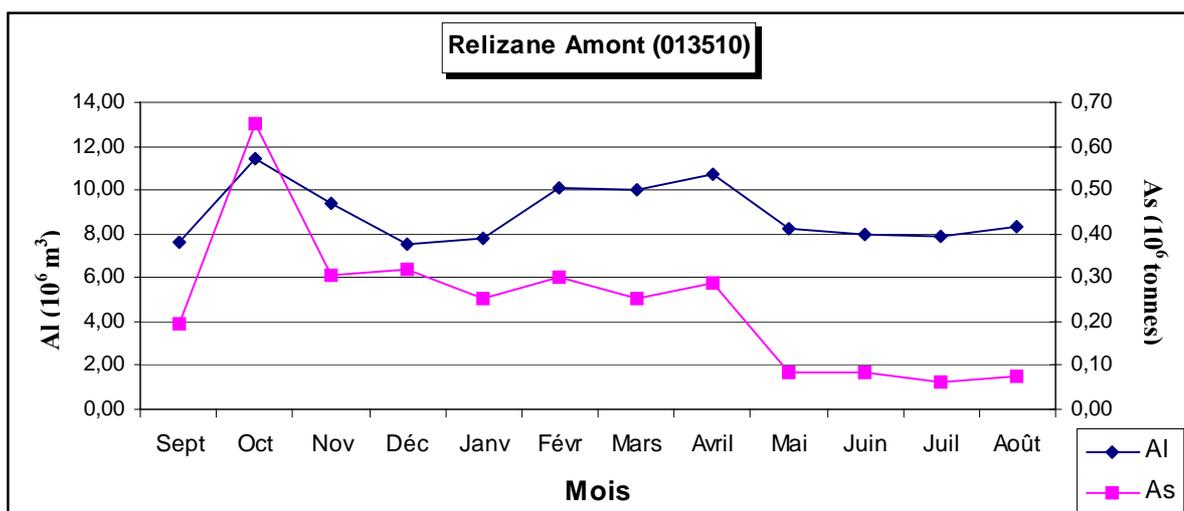
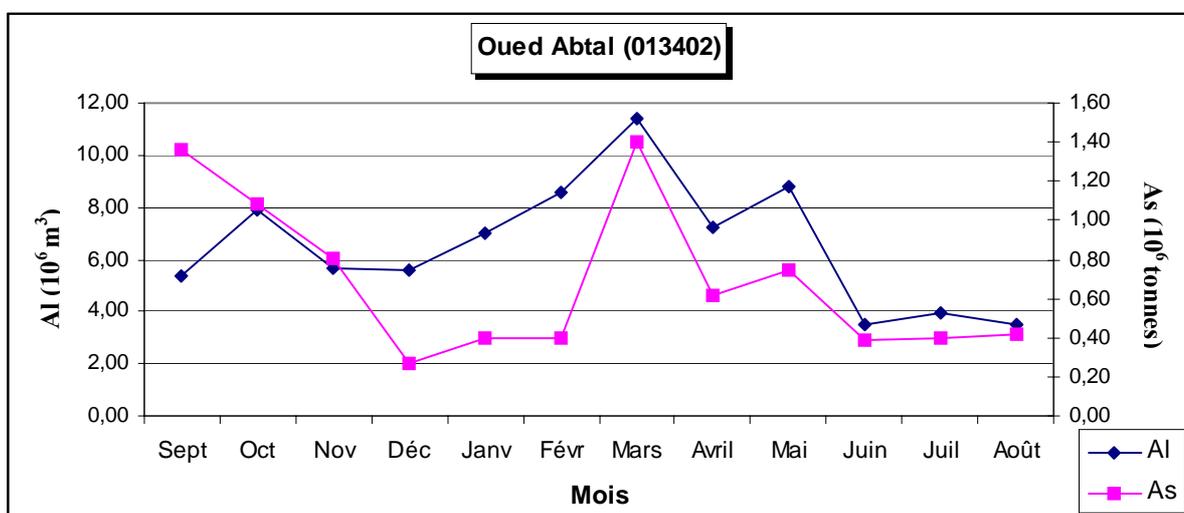
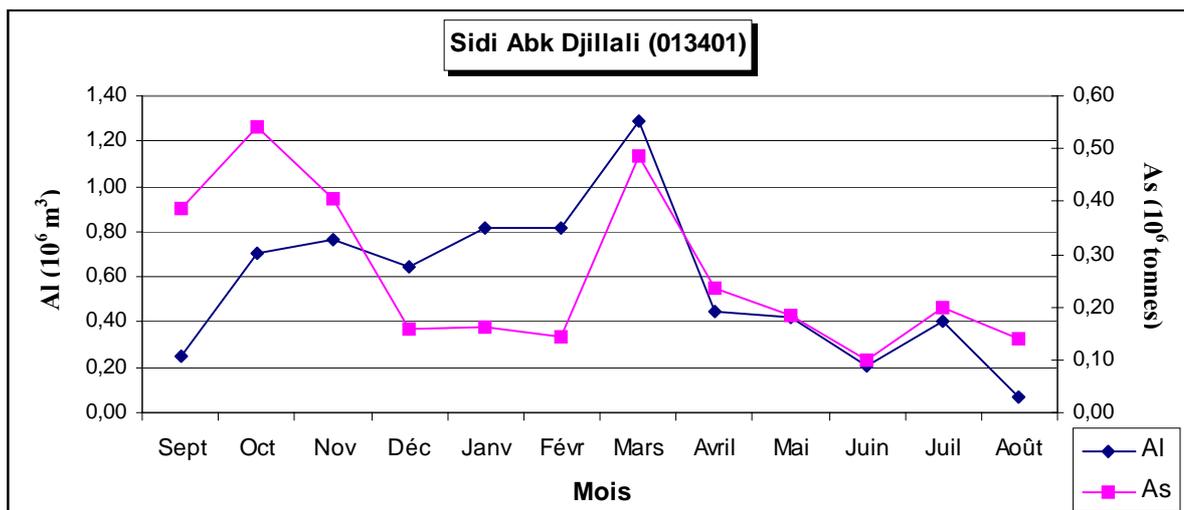


Figure 4.2 : Variabilité des apports liquides et solides dans le bassin versant du Cheliff (suite).

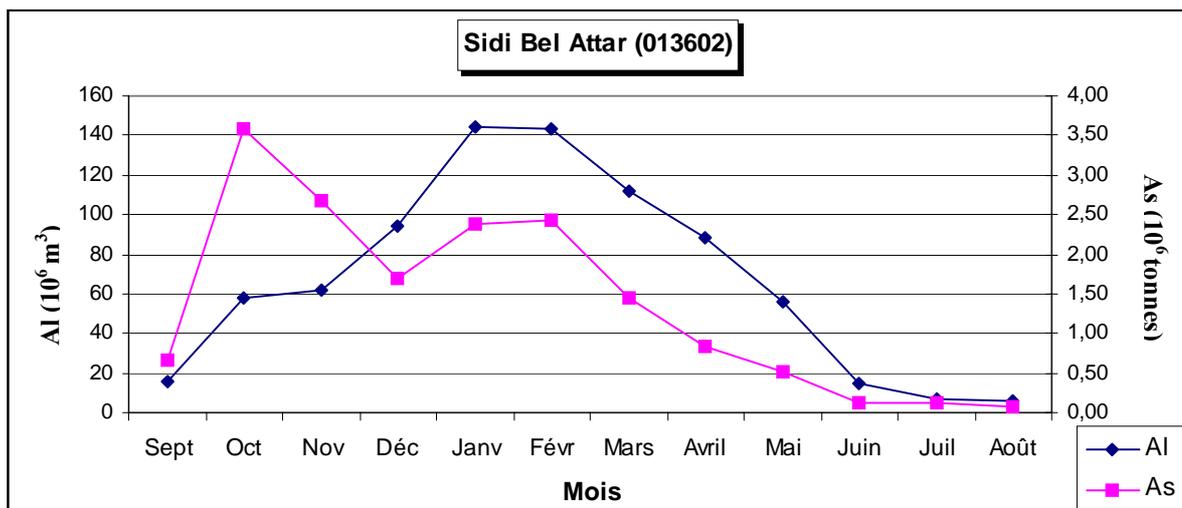


Figure 4.2 : Variabilité des apports liquides et solides dans le bassin versant du Cheliff (suite et fin).

4.2. Analyse multivariée de l'érosion spécifique

4.2.1. Constitution de la banque des données

L'étude de la variation de l'érosion spécifique en fonction d'autres variables nécessite sa connaissance en différents points du réseau d'écoulement du bassin versant de Oued Cheliff. Pour cela, on a été amené à répertorier tous les barrages existants au niveau du bassin ainsi que la majorité des retenues collinaires qui viennent s'ajouter aux résultats de calculs de l'érosion au niveau des 18 stations hydrométriques.

Selon ACHITE [130], les variables explicatives de l'érosion spécifique sont :

- la surface du bassin S_b (Km^2) ;
- le facteur de forme ou l'indice de Gravelius K_c ;
- la densité de drainage D_d (Km / Km^2) ;
- la pente I_m (%) ;
- la pluviométrie P (mm) ;
- la lame d'eau ruisselée L_r (mm) ;
- le coefficient d'écoulement C_e (%) ;
- le couvert végétal C_{veg} (%).

Parmi elles, quatre variables se dégagent vu les valeurs du coefficient de corrélation, à savoir :

- la surface du bassin S_b (Km^2) ;
- la densité de drainage D_d (Km/ Km^2) ;
- le coefficient d'écoulement C_e (%) ;
- le couvert végétal C_{veg} (%).

Pour mieux cerner l'effet de la variation spatial de l'érosion, nous allons procéder à une analyse multivariée afin d'établir un modèle explicatif entre elle et les quatre variables explicatives déduites, les données de base utilisées des 18 stations hydrométriques, des 15 barrages et des 40 retenues collinaires recensées figurent dans les tableaux 4.20 ;4.21 et 4.22 :

Tableau 4.20 : Caractéristiques des bassins versant au droits des stations hydrométriques.

N°	Code	Oued	Es (T/Ha,an)	Sb (Km^2)	Ce %	Dd (Km/Km^2)	Cveg %
1	011407	Cheliff	7,46	1899	14,30	0,895	58
2	011501	Harbil	15,03	157	21,66	0,55	47
3	011514	Cheliff	37,30	455	22,40	0,61	33
4	011601	Deurdeur	8,01	362	10,45	0,54	95
5	011702	Cheliff	6,75	930	5,80	0,53	79
6	011715	Harreza	8,75	102	11,45	0,59	69
7	011801	Abda	38,90	270	37,04	0,46	28
8	011905	Zeddine	71,61	435	39,04	0,71	24
9	012004	Tickezal	23,94	130	4,70	0,80	52
10	012201	Ouarhane	25,23	262	10,77	0,92	35
11	012203	Cheliff	22,50	1290	21,12	0,78	34
12	012311	Sly	10,68	1225	11,72	0,97	55
13	012701	Djediouia	18,98	835	6,66	0,75	37
14	013001	Taht	2,49	680	6,85	0,65	61
15	013401	Haddad	66,81	470	5,56	0,72	33
16	013402	Mina	20,04	4126	7,62	0,60	40
17	013510	Mina	11,13	1075	5,98	0,74	55
18	013602	Cheliff	5,21	4000	4,56	0,65	51

Tableau 4.21 : Caractéristiques des bassins versant au droits des barrages.

N°	Nom du barrage	Oued	Es T/Ha.an	Sb (Km ²)	Ce %	Dd (Km/Km ²)	Cveg %
1	Oued Fodda	Fodda	24*	800	23*	0,90	55
2	Ghrib	Cheliff	7,5*	2800	2,70	0,58	76
3	S,M,B,A	Mina	3,36*	4990	4,00	0,72	45
4	Deurdeur	Deurdeur	23,06*	468	10*	0,58	14
5	Sidi Yacoub	El Ardjen	14,9*	920	17*	0,82	72
6	Gargar	Rhiou	20,62*	2900	16*	0,72	49
7	Bakhadda	Mina	3,12**	1300	17,40	0,62	37
8	Boughzoul	Nahr Ouassel	0,483**	20500	1,90	0,46	44
9	C,Bougarra	Nahr Ouassel	9,92**	454	5,88	0,66	62
10	Dahmouni	Nahr Ouassel	11,32**	530	7,45	0,60	43
11	Harreza	Harreza	29,58**	142	29,65	0,56	10
12	Merdjet Sidi Abed	Cheliff	22,13**	400	36,30	0,58	12
13	Oued Mellouk	Rouina	24,28**	865	15,49	0,92	17
14	Kodiat Rosfa	Fodda	39,21**	440	25,60	0,84	48
15	S,M,B,T	Abda	22**	273	55,05	0,62	46

* Touaibia [76] ;

** A.N.B.T [161].

Tableau 4.22 : Caractéristiques des bassins versant au droits des retenues collinaires.

N°	Wilaya	Nom de la retenue	Es*** (T/Ha,an)	Sb (Km ²)	Ce %	Dd (Km/Km ²)	Cveg %
1	Ain Defla	Oued Berouane	28,09	19,12	11,73	0,436	17
2		Lebouze	37,76	8,74	49,00	0,515	5
3		El Amra	21,33	11,25	41,46	0,770	22
4		Melah	54,70	17,55	10,45	0,892	1
5	Chlef	Sendjas II	27,49	7,64	20,46	0,827	7
6		Oued Nessissa	11,57	7,78	22,75	0,608	5
7		Menassria	6,53	9,65	24,60	0,947	35
8		V,S,A	34,58	6,94	9,80	1,092	5
9		Kaaricha	33,41	4,13	39,00	1,041	13
10		Benairia	30,00	12,00	12,32	0,623	5
11	Mostaganem	Oued Derdoussa	21,00	5,00	32,41	0,290	1
12		Oued Tahar	18,20	8,24	34,13	0,459	1
13		Oued Kerrada	16,04	9,35	26,64	0,364	1
14		Oued Defla	13,64	8,80	25,56	0,416	1
15		Oued Chegga	26,67	4,50	28,00	0,613	1
16		Site N° 3	5,26	14,25	35,85	0,323	37
17		Oued Bouhaman	9,71	10,81	31,20	0,361	18
18	Relizane	Barrouit	27,60	13,20	9,85	0,439	1
19		Tahria	29,01	10,86	11,41	0,504	5
20		Oued Fri	33,33	9,00	10,73	0,943	1
21		Oued Daoussa	9,71	6,80	13,40	0,390	65

22	Médéa	Oued Hadj	25,26	39,20	7,67	0,219	25
23		Oued Hammam	16,79	12,51	9,64	0,404	23
24		Oued Saneg	5,33	16,90	5,43	0,445	45
25		Chaabat Bouassil	29,15	11,58	5,18	0,435	2
26		Oued Nouel	31,14	8,67	5,96	0,663	8
27		Chaabat Mezabia	38,83	6,18	3,52	0,513	50
28		Chaabat BenKadour	21,05	5,70	6,42	0,633	4
29		Chaabat Merkiba	9,53	7,87	6,63	0,408	33
30		chaabat Oum Doud	18,82	6,83	6,24	0,922	3
31		Oued Oudali	20,69	5,80	8,16	0,638	8
32		chaabat Kat	28,23	4,65	6,27	0,544	5
33		Chaabat El Khaneg	28,30	5,30	5,93	0,774	3
34		Oued El Guettar	12,99	6,93	5,96	0,592	8
35		Oued Yazif	19,52	14,60	7,62	0,644	7
36		Oued R'haicha	30,61	7,84	2,31	0,663	6
37		Chaabat Toukerbit	14,47	11,40	14,80	0,439	12
38		Chaabat Louldja	26,35	6,10	13,81	0,590	8
39		Ras El Oued	42,00	2,50	13,77	0,844	8
40		Ouled Sidi Amar	25,25	5,94	2,66	0,227	5

*** A.N.B.T [141].

4.2.2. Recherche d'une relation « Erosion spécifique – variables explicatives »

Afin d'établir un modèle régressif entre l'érosion et les variables explicatives, l'analyse multivariée est effectuée.

La régression pas à pas est effectuée, la non linéarité de la relation entre l'érosion spécifique et les caractéristiques hydromorphométriques étant démontré dans certains travaux, une transformation des données en logarithme est automatique [161].

La régression pas à pas permet d'éliminer à chaque fois la variable la moins corrélée au vu du coefficient de corrélation r et de la statistique F de Fischer Snedecor pour une erreur de première espèce égale à 5% [162].

La matrice des coefficients de corrélation des variables, après transformation en Ln ainsi que les coefficients de régression, de corrélation partielle et multiple des différentes étapes sont présentés dans les tableaux 4.23 à 4.26 respectivement.

Tableau 4.23 : Matrice de corrélation pour le modèle puissance.

Variables	Es	S	Ce	Dd	Cveg
Es (T/ha.an)	1,00				
S (Km ²)	-0,75	1,00			
Ce %	0,05	0,11	1,00		
Dd (Km/ Km ²)	0,82	0,25	0,33	1,00	
Cveg %	-0,55	0,66	0,01	0,12	1,00

Tableau 4.24 : Coefficients de régression, de corrélation partielle et multiple (1^{ère} étape).

Variables	Coefficient de régression	Coefficient de corrélation partielle	Coefficient de corrélation multiple
S	-0,12	-0,39	r = 0,79
Ce	0,07	0,08	
Dd	0,64	0,47	
Cveg	-0,12	-0,21	
terme constant	3,57	-	

* Afin de vérifier la signification (ou non signification) du coefficient de corrélation, la statistique F_{obs} de Snedecor est calculée avec $p-1$ et $n-p-1$ degrés de liberté où n est le nombre d'observations et p le nombre de variables explicatives tel que : $F_{obs} = \frac{(n-p-1)R^2}{p(1-R^2)}$

Avec $n = 73$ et $p = 4$ variables nous avons $F_{obs} = 28,22$ avec 3 et 68 degrés de liberté comparé avec $F_{0,95}$ qui se situe entre les valeurs 3,52 et 1,65, nous constatons alors que la régression à 4 variables est significative, à savoir :

$\ln Es = 3,57 - 0,12 \ln (S) + 0,07 \ln (Ce) + 0,64 \ln (Dd) - 0,12 \ln (Cveg)$; transformé en modèle puissance, nous obtiendrons : $Es = 35,52 S^{-0,12} * Ce^{0,07} * Dd^{0,64} * Cveg^{-0,12}$.

* Après avoir analysé les coefficients de corrélation entre la variable à expliquer et les variables explicatives obtenus dans la 1^{ère} étape, le coefficient d'écoulement présente une faible valeur de ce coefficient, ce dernier est donc à éliminer. Après calculs, les résultats sont résumés dans le tableau 4.25.

Tableau 4.25 : Coefficients de régression, de corrélation partielle et multiple (2^{ème} étape).

Variables	Coefficient de régression	Coefficient de corrélation partielle	Coefficient de corrélation multiple
S	-0,11	-0,29	r = 0,79
Dd	0,65	0,45	
Cveg	-0,13	-0,18	
terme constant	3,40	-	

Le même raisonnement est suivi pour la régression à 3 variables. La condition étant vérifiée c à d : $F_{obs} = 38,18 > F_{0,95}$ qui se trouve entre 3,75 et 1,65, nous amène à conclure que la régression est significative et donne le modèle suivant :

$\ln E_s = 3,40 - 0,11 \ln (S) + 0,65 \ln (Dd) - 0,13 \ln (Cveg)$; qui donne après transformation des logarithmes : $E_s = 30 S^{-0,11} * Dd^{0,65} * Cveg^{-0,13}$.

* Au tour de la variable Cveg d'être éliminée vu son faible coefficient de corrélation, un nouveau modèle de régression apparaît dont les résultats sont résumés dans le tableau 4.26.

Tableau 4.26 : Coefficients de régression, de corrélation partielle et multiple (3^{ème} étape).

Variables	Coefficient de régression	Coefficient de corrélation partielle	Coefficient de corrélation multiple
S	-0,16	-0,50	r = 0,77
Dd	0,68	0,65	
terme constant	3,88	-	

Ainsi, avec $F_{obs} = 50,97 > F_{0,95} = (3,78 \div 1,65)$, la régression à 2 variables explicatives est donc significative. La formulation du modèle est :

$\ln E_s = 3,88 - 0,16 \ln (S) + 0,68 \ln (Dd)$ soit : $E_s = 48,43 S^{-0,16} * Dd^{0,68}$

Remarque : Ce modèle est retenu pour étendre la série d'observations.

Commentaire : contrairement à la surface, le densité de drainage varie en même sens que l'érosion spécifique E_s .

4.2.3. Tracé du variogramme de l'érosion spécifique

Dans le souci d'avoir une meilleure représentativité de l'érosion spécifique sur le bassin versant de Oued Cheliff vu son étendue, l'ajout de 21 exutoires de cours d'eau supplémentaires s'avère nécessaire élevant le nombre d'observations à 94, la situation de ces exutoires supplémentaires, des stations hydrométriques, des barrages et des retenues collinaires est donnée par la figure 4.3.

Ainsi, l'étape suivante consistera à appliquer le troisième modèle régressif du tableau 4.27 à savoir « $Es = 48,43 S^{-0.16} * Dd^{0.68}$ », afin de calculer l'érosion spécifique au bassins non jaugés et d'étendre la série d'observation à 94 valeurs répartis sur l'ensemble du bassin versant de Oued Cheliff. Les caractéristiques des exutoires supplémentaires sont données dans le tableau 4.27.

Tableau 4.27: Caractéristiques des exutoires supplémentaires.

N°	S (Km2)	Li (Km)	Dd (Km/Km2)	Ce %	Cveg %	Es (T/Ha/an)
1	371	253	0,682	4,86	5	14,48
2	385	265	0,688	9,78	5	14,49
3	74	58	0,784	10,04	1	20,61
4	235	113	0,481	2,27	1	12,29
5	185	144	0,778	7,84	1	17,71
6	216	134	0,620	9,41	30	14,81
7	292	156	0,534	3,38	40	12,75
8	337	224,30	0,666	3,67	20	14,47
9	274	134	0,489	4,17	10	12,13
10	106	100	0,943	7,26	15	22,07
11	240	52	0,217	4,24	30	7,12
12	270	130	0,481	5,23	13	12,03
13	185	90	0,486	3,123	1	12,87
14	220	170	0,773	4,52	1	17,14
15	326	154	0,472	7,77	10	11,52
16	213	163	0,765	7,86	30	17,12
17	137	96	0,701	11,67	75	17,30
18	137	87,50	0,639	5,7	25	16,25
19	198	121	0,611	6,66	15	14,86
20	146	135	0,925	9,33	35	20,68
21	88	84	0,955	16,43	60	22,92

Les paramètres statistiques de cette nouvelle série étendue composée de 94 observations répartie en des valeurs observées et des valeurs estimées sont données par le tableau 4.28.

Tableau 4.28 : Paramètre statistiques de la nouvelle série étendue.

Paramètres	Valeur
Moyenne (T/ha,an)	20,45
Ecart type (T/ha,an)	12,47
Coef de variation	0,61
Min (T/ha,an)	0,483
Max (T/ha,an)	71,61

Au vu du tableau, les valeurs de l'érosion spécifique fluctuent entre **0,483 T/ha.an** et **71,61 T/ha.an** avec un coefficient de variation de **0,61**.

La technique du krigeage est utilisée par rapport aux autres méthodes d'interpolation, car elle permet d'utiliser la structure spatiale de la variable pour l'estimation [133]. A prime abord, pour un effet de pépite nul, les données ne s'ajustent à un aucun modèle (linéaire, sphérique, exponentiel ou gaussien). Le calcul des accroissement pour la variogramme a donné les résultats indiqués dans le tableau 4.29.

Tableau 4.29 : Calcul des accroissement du variogramme pour les différents modèles.

Type de modèle	Portée (Km)	Palier	Pépite	Erreur type
Linéaire	130,52	290,36	0	120,89
Sphérique	130,52	290,36	0	108,05
Exponentiel	19,08	225,61	0	47,04
Gaussien	130,52	290,36	0	128,53

D'après le tableau 4.29, nous constatons qu'il y a absence de l'effet pépite sur tous les modèles. L'erreur type la plus faible correspond au modèle exponentiel, celui-ci sera utilisé afin de représenter le variogramme de l'érosion spécifique E_s (T/ha.an) ou bien la fonction $\gamma(\mathbf{h})$, cette répartition a pu être faite avec une distance maximale de 131,32 Km, un pas de 10 Km, une tolérance de 45 et un angle d'Azimut de 10°.

La fonction du modèle exponentiel est la suivante :

$$\gamma(h) = \text{Pépite} + \text{Palier} \left[1 - e^{-\left[\frac{3h}{\text{Portée}}\right]} \right] = 0 + 225,61 \left[1 - e^{-\left[\frac{3h}{19,08}\right]} \right]$$

$$\gamma(h) = 225,61 \left[1 - e^{-\left[\frac{3h}{19,08}\right]} \right] \dots\dots\dots(4.4)$$

La formule 4.4 représente ainsi la fonction finale de la répartition spatiale de l'érosion spécifique **Es** suivant la distance **h** séparant les points de calcul et la figure 4.4 représente son variogramme expérimental ajusté à un modèle exponentiel.

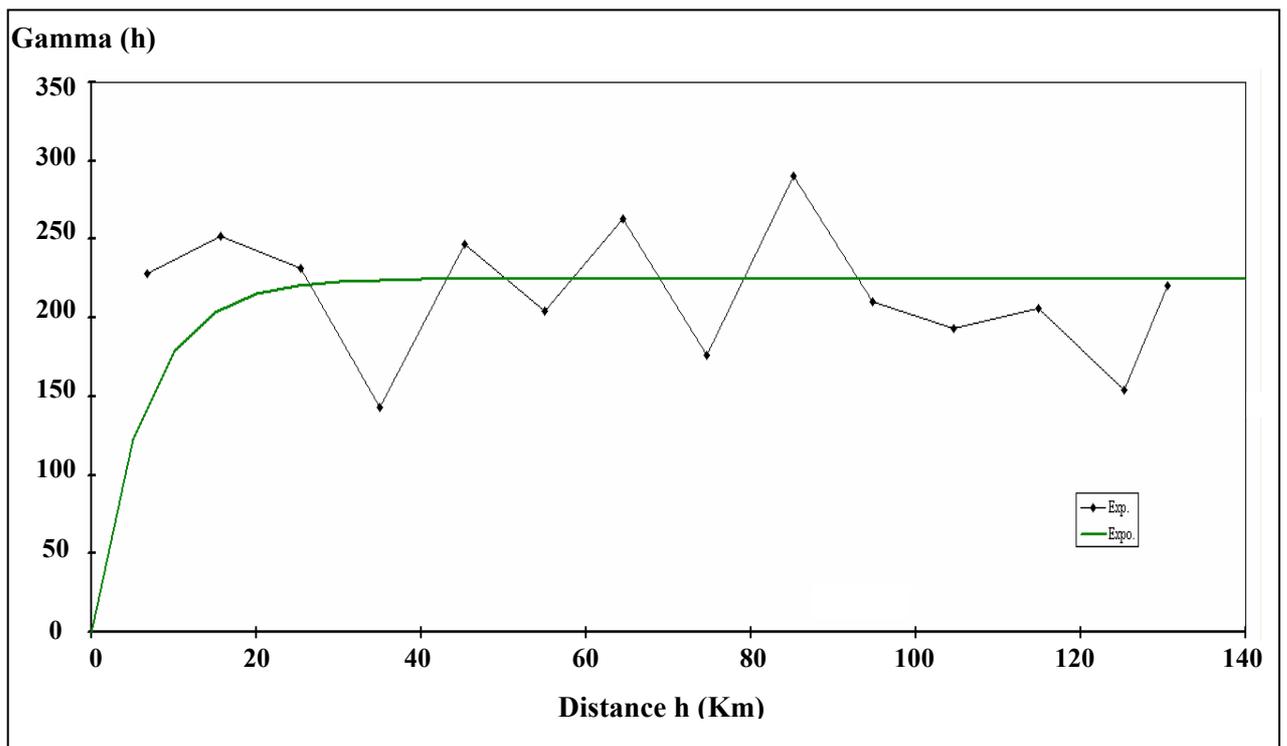


Figure 4.4 : Variogramme de l'érosion spécifique.

4.3. Elaboration de l'abaque « Erosion spécifique- Surface- Lame d'eau Précipitée »

1^{ère} approche

En partant des 94 points de calcul de l'érosion spécifique (stations hydrométriques, barrages, retenues collinaires et exutoires supplémentaires), une 1^{ère} approche est faite et ce en établissant la variation de celle-ci en fonction de la surface. Le résultat obtenu n'est pas acceptable d'une part vu la valeur du coefficient de détermination ($R^2 = 0.43$), d'autre part le point de calcul au niveau du barrage de Boughezoul avec une superficie de 20500 Km² et une érosion de 0.483 T/ha.an laisse paraître que l'effet de surface est très manifeste. La lecture de l'érosion pour une surface donnée (surtout les faibles valeurs) est très imprécise. (figure 4.5)

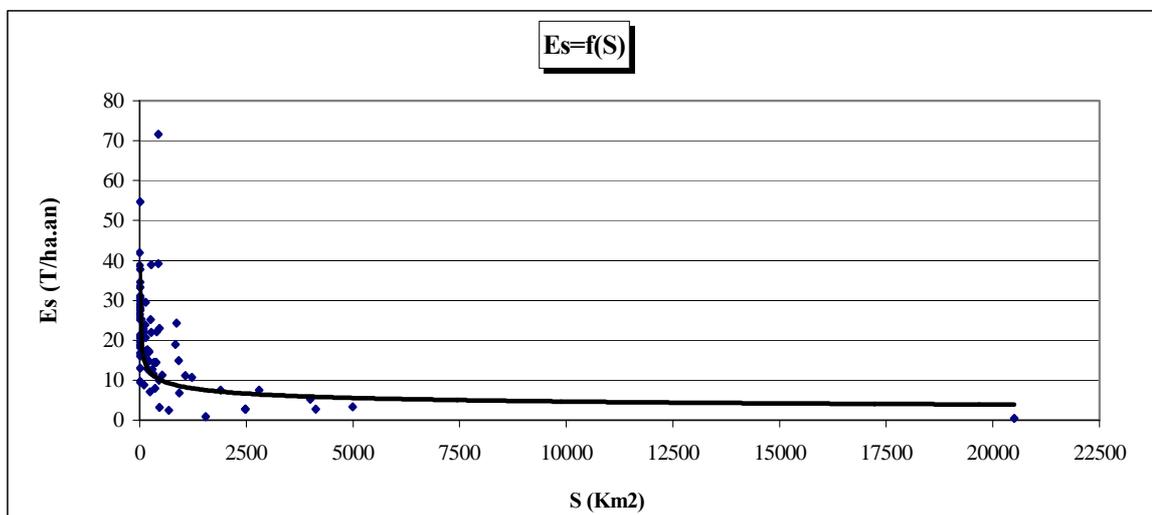


Figure 4.5 : Variation de l'érosion spécifique en fonction de la surface.
(BV de l'Oued Cheliff, 1^{ère} approche).

2^{ème} approche

Cette deuxième approche se résume au même but que la première seulement le point du barrage de Boughezoul est tronqué de la série pour réduire l'effet de surface. Le résultat obtenu est nettement satisfaisant que le premier, le coefficient de détermination R^2 est amélioré à 0,65. D'après la statistique de Fischer et pour (n-1) degré de liberté, $F_{obs} = 169 > F_{0,95} = (4 \div 3,92)$ pour un seuil de confiance de 5%, le résultat de l'approche est donc significatif. Cette variation est donnée par la figure 4.6.

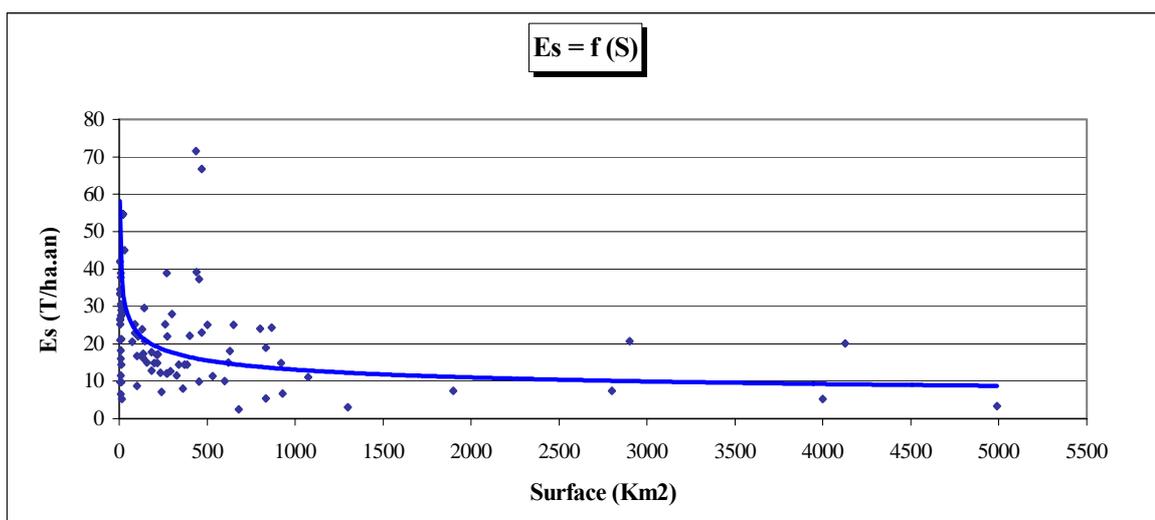


Figure 4.6 : Variation de l'érosion spécifique en fonction de la surface.
(BV de l'Oued Cheliff, 2^{ème} approche).

3^{ème} approche

Elle consiste à étudier la variation de l'érosion spécifique en fonction de la lame d'eau précipitée qui est le facteur déclencheur du phénomène. Les pluies annuelles enregistrées aux différentes stations pluviométriques présentent une variabilité spatio-temporelle assez importante entre les différentes régions du bassin pour que leur influence soit directement observée sur l'érosion (102mm au Sud et 535mm au Nord Est du bassin). En effet, lorsque la lame d'eau précipitée augmente, ceci entraîne une action érosive proportionnelle qui, suivant d'autres paramètres tel que le couvert végétal, la pente, la nature géologique et lithologique du terrain s'accroît ou pas. Le modèle le mieux adapté à cette variation est le modèle exponentiel avec un coefficient de détermination R^2 est de 0.63. Cette variation est illustrée par la figure 4.6.

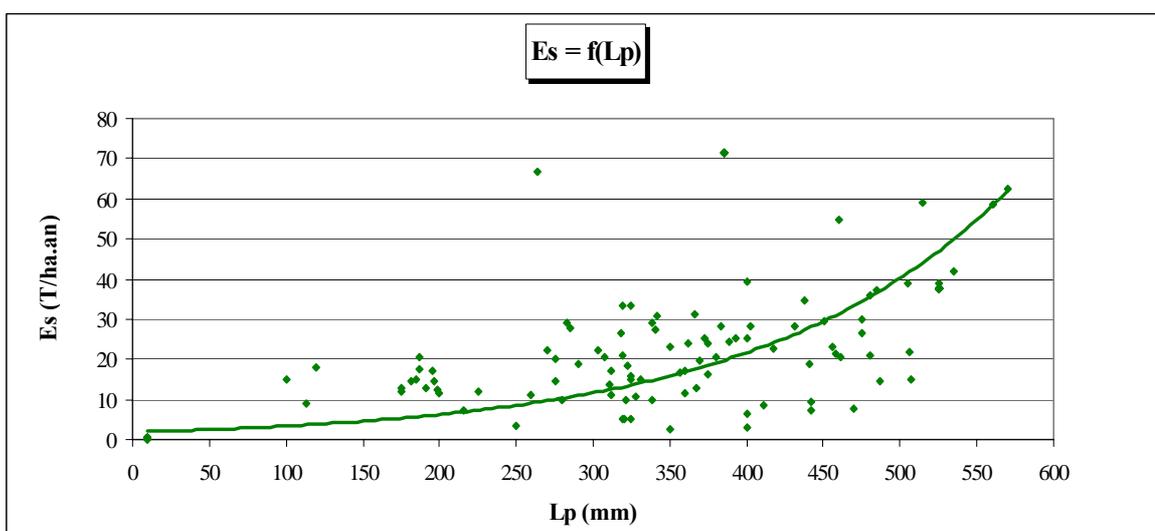


Figure 4.6 : Variation de l'érosion spécifique en fonction de la lame d'eau précipitée

(BV de l'Oued Cheliff).

CONCLUSION

Notre travail, portant sur l'élaboration d'un abaque expliquant la variation de l'érosion spécifique tout au long de Oued Cheliff et de ses principaux affluents en fonction de la surface et de la lame d'eau précipitée, nous a dicté des objectifs que nous nous sommes fixés .

Les transports solides en suspension de l'Oued Cheliff et de ses affluents présentent des variations spatio-temporelles considérables. Elles sont dues essentiellement au régime pluviométrique, à la densité du couvert végétal et à la lithologie. En général, pour toutes les stations les valeurs maximales des apports solides s'observent au début d'automne, à la fin du printemps en majorité, et en cas de fortes crues estivales. Il est à remarquer cependant, que les apports solides minima ne correspondent pas forcément aux mois caractérisés par le plus faible apport liquide. Le transport solide d'automne reste le plus élevé dépassant significativement les autres mois. Cette variabilité s'explique par l'absence du couvert végétal durant les mois d'été (sols nus) et la nature agressive des pluies d'automne. Ces deux facteurs permettent aux premières crues d'automne de transporter des quantités considérables de sédiments après de longs mois secs caractérisés par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol par ces dernières. L'énergie produite par les premières pluies ainsi que le faible taux de couverture végétal en ces mois y contribuent.

L'Oued Cheliff a transporté en moyenne annuellement, à la station de Ghrib Amont (station la plus éloignée de l'exutoire) **2,408** millions de Tonnes correspondant à une érosion spécifique de **7,46** T/ha, à la station de Djenane Ben Ouadah **0,639** millions de Tonnes soit une érosion spécifique de **37,30** T/ha, à la station de Arib Cheliff **1,338** millions de Tonnes soit **6,75** T/ha, à la station de Pontéba Deffluent **3,107** millions de Tonnes soit **22,50** T/ha et à la station de Sidi Bel Attar (située à l'exutoire) **16,60** millions de Tonnes soit **5,21** T/ha. Pour ses principaux affluents, la quantité du transport solide est très variée passant de **0,1693** millions de Tonnes soit une érosion spécifique de **2,49** T/ha à la station de Kef Mahboula située sur Oued Taht à **2,072** millions de Tonnes soit **71,61**

T/ha à la station de Bir Ouled Tahar au niveau de Oued Zeddine. Ces chiffres sont alarmants et montrent l'intérêt d'une lutte efficace contre ce phénomène naturel.

L'action érosive est différente d'un site à un autre. Les principales zones productrices de sédiments se situent dans le haut et moyen Cheliff, ainsi que dans la partie sud de l'Oued Mina. En moyenne, elle varie de **0,483** T/ha.an au droit du barrage de Boughezoul à **71,61** T/ha.an à la station de Bir Ouled Tahar (Oued Zeddine) pour des surfaces respectives de **20500** et **435** Km². Au vu du résultat de la 1^{ère} approche ($R^2 = 0,43$), la variabilité interannuelle de l'érosion en fonction de la surface n'est pas significative car l'effet de "surface" est très manifeste et sa lecture pour une superficie donnée n'est guère précise. Le recours à la 2^{ème} approche améliore la relation, avec un coefficient R^2 de **0.65** le résultat obtenu est appréciable.

Selon MILLIMAN [163], les rivières méditerranéennes font partie de celles où l'apport solide est le plus élevé dans le monde relativement à leur lame d'eau moyenne précipitée, en traçant ainsi la variation de l'érosion spécifique de l'Oued Cheliff en fonction de la lame précipitée (3^{ème} approche) l'analyse de Milliman est donc confirmée car la variabilité du régime d'écoulement (variabilité spatio-temporelle des précipitations) entre les différentes régions du bassin conditionne l'érosion spécifique. Pour des pluies annuelles variant de **102** à **535** mm, l'érosion spécifique varie annuellement de **12,75** et **42** T/ha respectivement. Au droit de la station de Bir Ouled Tahar l'érosion spécifique est estimée à **71,61** T/ha pour une lame précipitée de **385**mm. Ceci est du principalement au couvert végétal, à la lithologie, à la pente et à la taille du bassin. D'une manière générale, l'érosion varie proportionnellement avec le ruissellement en absence du couvert végétal.

Cette étude constitue d'une part une première contribution pour l'élaboration d'un abaque de la variation de l'érosion spécifique en fonction de la surface et de la lame d'eau précipitée du bassin versant de l'Oued Cheliff où l'érosion reste difficilement maîtrisable, et où le manque de jaugeage pose un sérieux obstacle dans la quantification de cette dernière.

REFERENCES

1. Achite, M., "Adaptation du modèle de Tixeront au calcul de l'érosion hydrique en zone semi aride : cas du bassin versant de l'Oued Haddad", Séminaire National sur l'eau , université de Tlemcen , Algérie , (2001) , 132-137.
2. Terfous, A., Meghnoûfi, A. et Bouanani, A., "Détermination des dégradations spécifiques dans trois bassins versants des régions Méditerranéennes Algériennes", Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions, Proceedings of an international symposium held, IAHS Publ, vol. 278, Montpellier, (2003).
3. Hrissanthou, V., "Comparative application of two erosion models to a basin", Hydrological Sciences Journal, vol. 47, n° 2, (2002), 279-292.
4. Malvos, C., Sarrailh, J.M. et Bailly, C., "Etude de la susceptibilité à l'érosion des sols de Madagascar, Expérimentation en parcelles élémentaires", Rapport CENRADERU, Madagascar, (Octobre 1976), 37 p.
5. Wischemeier, W.H. et Smith, D.D., "Predicting Rainfall Erosion Losses", Agricultural Research Service Handbook 537. US Department of Agriculture, (1976).
6. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. and Porter, J.P., "RUSLE: revised universal soils loss equation", Journal Soil and Water Conservation vol. 46, n° 1, (1991), 30-33.
7. Foster, K.G.GR., Weesies, G.A., McCool, DK. and Yoder, D.C., "Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) ", US Departement of Agriculture, Agriculture Hand book 703 USDA: Washington, DC, (1997).
8. Touaibia, B., Dautrebande, S., Gomer, D. et Aidaoui, A., "Approche quantitative de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales : bassin versant de l'Oued Mina", Journal des sciences Hydrologiques vol. 44, n° 6, (1999), 973-986.
9. Wang, Y.C., Zhang, X.B. and Li, S.L., "A study on 137 Cs method used in controlling erosion on the loess mao (round loess mound) and slopes", Bull, Soil Water Conserv, n° 11, (1991), 34-37.

10. Sognon, S., Penven, M.J., Bonte, P. and Muxart, T. "Estimation of sediment yield and soil loss using suspended sediment load and ¹³⁷ Cs measurements on agricultural land", France, (1999), 251-261.
11. Gregory, N., Nagle., James, P., Lassoie., Timothy, J., Fahey., Sherwood, C. and McIntyre., "The use of caesium-137 to estimate agricultural erosion on steep slopes in a tropical watershed ", Hydrological processes, vol. 14, (2000), 957-969.
12. Lawrence, W.M. and Eeltje de Jong., "Using Cesium 137 and landform classification to develop a net soil erosion budget for a small Canadian watershed", CATENA, vol. 18, n° 3-4, (2003), 289-309.
13. Porto, P., Walling, D.E., Ferro, V. and Di Stefano, C., " Validation erosion rate estimates provide by Cesium 137 measurement for two small forested catchments in Calabria southern Italy ", land degrade Develop, vol.14, (2003), 389- 408.
14. Mian, Li., Zhan-bin, Lib., Pu-ling, Liu., Wen –yi Yao., (2005) "Using Cesium-137 technique to study the characteristics of different aspect of soil erosion in the Wind-water. Erosion Crisscross Region on Loess Plateau of China", Applied radiation and isotopes, vol. 62, (2005), 109-113.
15. De Roo, A.P.J., "Modeling Surface Runoff and Soil Erosion in Catchments Using Geographical Information Systems", Netherlands Geographical Studies, Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, (1993), 157 p.
16. Umesh, C.K. and Sanjay, K.J., "Sediment yield estimation using GIS", Journal des sciences hydrologiques , vol. 46, n°6, (1997), 833-844.
17. Manoj, K. Jain., "Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS", Hydrological Science Journal, vol. 45, n°5,(2000), 771-786.
18. Sanjay, K.J. and Goel, M.K., "Assessing the vulnerability to soil erosion of the ukai dam catchments using remote sensing and GIS". Hydrological sciences journal, vol. 47, n°1, (2002), 31-40.
19. Umesch, C.K., Sanjay, K.J. and Kittur, G.R., "Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS", Hydrological science Journal, vol. 47, n°5, (2002), 693-706.

20. Flügel, W.A., Märker, M., Moretti, S., Rodolfi, G. and Sidrochuk, A., "Integrating geographical information systems, remote sensing, ground truthing and modeling approaches for regional erosion classification of semiarid catchments in south Africa", *Hydrological Process*, vol. 17, (2003), 929-942.
21. Najmoddini, N., "Assessment of erosion and sediment yield processes, using remote sensing and GIS: A case study in Rose chai sub-catchment of Orumieh basin", Master Thesis, W, Azabajan, Iran, (2003), 63 p.
22. Veyret, Y., Arnould, P., Bouchot, b., Hoytat, M. et Wicherek, S., "L'érosion des sols en France. Manifestations, Coûts, Remèdes, Cartographie, perspectives de recherches. Bilan bibliographique à partir de travaux récents", Université Paris VII, Travaux du laboratoire de géographie physique, n° 16, (1987), 54 p.
23. Briiggs, D.J., Brignall, P. and Wilkes, A., "Assensing soil erosion risks in the Mediterranean region", the Corine program of the European Community, Van LANEN & BREGHT edition, Publication of the EC, Luxembourg, (1989), 195-200.
24. Dubucq, M., "Identification et cartographie par télédétection des sols érodés : application au Lauragais Toulousain (Sud-Ouest France)", Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, (1989), 247 p.
25. Chezy, P., "Modélisation spatiale de la sensibilité au ruissellement et à l'érosion. Recherche sur la combinaison des données cartographiques du milieu. Région Nord-Pas-de-Calais", DEA de pédologie, Université Paris VI, INRA Orleans, (1990), 47 p.
26. Mabit, L., Bernard, C., Laverdière, M.R. et Wischerek S., "Spatialisation et cartographie des risques érosifs à l'échelle d'un bassin versant agricole par radio-isotope", *Revue études et gestion des sol*, vol. 5, n°3, (1998), 171-180.
27. Touaibia, B. et Achite, M., "Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi aride de l'Algérie septentrionale", *Journal des sciences hydrologiques*, vol. 48, n°2, (2003), 235-242.
28. Syvitski, J.P. et Morehead, M.D., "Estimating river-sediment discharge to the ocean: application to the Eel margin, Northern California", *Marine Geology*, vol. 154, (1999), 13-28.
29. De Roo, A. et Jetten, V., "Calibrating and validating the LISEM model for two datasets from the Netherlands and South Africa", In *Modeling of Soil Erosion by Water on a Catchment Scale*, De Roo APJ edition, vol. 37, Catena, (1999), 521-541.

30. Gangyan, Z., Goel, N.K. and Bhatt, U.K., "Stochastic modeling of the sediment load of the upper Yangtze River (China) ". *Hydrological science Journal*, vol. 47, n°5,(1999), 93-105.
31. Horowitz, A.J., Elrick, K.A. and Smith, J.J., "Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins : methodological considerations as applied to the NASQAN program", *Hydrological Process*, (2001), 1107-1132.
32. Özgurkisi, K., "Daily suspended sediment modeling using a fuzzy differential evolution approach", *Hydrological Sciences Journal*, vol. 49, n°1, (2004), 183-197.
33. Belanger, E. and Vincent, A., "Data assimilation (4D-VAR) to forecast flood in shallow-waters with sediment erosion". *Journal of hydrology*, vol. 300, (2005), 114-125.
34. Demmak, A., "Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale". *Thèse de Doctorat*, Paris, (1982), 323 p.
35. Achite, M. et Touaibia, B., "Analyse multivariée de la variable Erosion spécifique : Cas du bassin versant de l'Oued Mina (Algérie)". *Séminaire International d'hydrologie des zones méditerranéennes*, Montpellier, France, (2000), 119-123.
36. Saidi, A., "Erosion spécifique et prévision de l'envasement", *Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages*, A.N.R.H, Alger, 1-3 Décembre, (1991), 204-221.
37. Lahlou, A., "Envasement des barrages au Maroc", *Edition wallada*, Casablanca, Maroc, (1994), 277 p.
38. Duck, R.W. and McManus, J., "Estimate of bed load and suspended sediment yield derived from reservoir deposit", *Journal of Hydrology*, vol. 159, (1994), 365-373.
39. Kassoul, A., Abdelgader, A., et Belorgey, M., "Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie", *Revue Science Eau*, vol. 10, n°3, (1997), 339-358.
40. De Vente, J., Poesen, J. and Verstraeten, G., "The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the rediction of basin sediment yieldin Spain", *Journal of Hydrology*, vol. 305, (2005), 63-86.
41. Walling, D.E. and Webb, B.W., "The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments. In *Sediments Budgets*, Bordas MP", Wallings, D.E., edition, IAHS Publication, n° 174, IAHS Press: Wallingford, UK, (1988), 337-350.

42. Crawford, C.G., "Estimating mean constituent loads in rivers by the rating-curve and flow duration rating-curve methods", Unpublished PhD dissertation, Indiana University, Bloomington, IN, (1996), 245 p.
43. Cordova, J.R. and Gonzalez, M., "Sediment yield estimation in small watersheds based on stream flow and suspended sediment discharge measurements", *Soil Technology*, vol. 11, (1997), 57-65.
44. Sickingabula, H.M., "Factors controlling variations in suspended sediment concentration for single-valued sediment rating curves, Fraser River, British Columbia, Canada", *Hydrology Process*, vol. 12, (1998), 1869-1894.
45. Horowitz, A.J., "An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations". *Hydrology. Process*, vol. 17, (2003), 3387-3409.
46. Asselman, N.E.M., "Fitting and interpretation of sediment rating curves", *Journal of Hydrology*, vol. 234, (2000), 228-248.
47. Serrat, P., Ludwig, W., Navarro, B. et Blazi, J., "Variabilité spatio-temporelle des flux des matières en suspension d'un fleuve méditerranéen : la têt (France) ", *Science de la terre et des planètes*, vol. 333, Paris, (2001), 389-397.
48. Meybeck, M., Laroche, L., Durr, H.H. and Syvitski, J.P.M., "Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers", *Global and planetary change*, vol. 39, (2003), 65-93.
49. Molière, D.R., Evans, K.G., Saynor, M.J. and Erskine, W.D., "Estimation of suspended sediment loads in a seasonal stream in the wet-dry tropics, Northern Territory, Australia", *Hydrology Process*, vol. 18, (2004), 531-544.
50. Achite, M. et Meddi, M., "Estimation du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Haddad (Nord-Ouest Algérien) ", *Revue sécheresse*, vol. 15, n°4, (2004), 367-373.
51. A.R.C.E., "Rapport de l'Association pour la Recherche sur le Climat et l'Environnement", Oran, Algérie, (2001).
52. Achite, M. et Meddi, M., "Variabilité spatio-temporelle des apports liquides et solides en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'Oued Mina (Nord Ouest Algérien) ", *Revue Science Eau*, vol. 18 (spécial), (2005), 37-56.

53. Meddi, M., "Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie) ", Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur – Starsbourg, (1992), 285 p.
54. Zaibak, I., "Contribution à une approche cartographique de l'érosion spécifique dans le bassin versant de Oued Cheliff", Mémoire de Magister, Ecole Nationale supérieure d'Hydraulique, Blida, Algérie, (2008), 180 p.
55. Saadaoui, M., "Erosion et transport solide en Tunisie. Impact sur l'infrastructure", Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages, A.N.B, Alger, (1994), 18-43.
56. Touaibia, B., "Problématique de l'érosion et ses conséquences". Séminaire spécialisé, Erosion et transport solide, UNESCO, Paris, France, (1996).
57. Ramez, P., "Le transport solide et sa modélisation", Séminaire spécialisé, Erosion et transport solide, UNESCO, Paris, France, (1996).
58. Greco, J., "L'érosion, la défense et la restauration des sols : Reboisement en Algérie", Publication du Ministère de l'Agriculture et de la réforme agraire, (1966).
59. Dutil, P., "Erosion en grande culture, revue technique des agriculteurs dynamiques", France, (1984), 169 p.
60. Touaibia, B., "Quantification du transport solide et de salinité du bassin versant de Oued Deurdeur". Thèse de Magister, INA El-Harrach, Alger, (1986).
61. King, D. et Le Bissonnais, Y., "Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. Exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux limoneux du Nord de l'Europe". C. R. Acad. Agric, vol. 78, n°6, (1992), 91-105.
62. Rey, F., Ballais, J., Marre, A. et Rovéra, G., "Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface", C.R Géoscience, vol. 336, (2004), 991-998.
63. Cosandey, C., Didon-Lescot, J.F. et Martin, C., "Forêt et écoulement : étude des processus responsables des modification du bilan d'écoulement annuel à l'occasion d'une coupe forestière, forêt méditerranéenne", vol. 21, (2000), 154-155.
64. Eimberck, M., "Facteurs d'érodibilité des sols limoneux : réflexions à partir du cas du pays Caux", Cahier ORSTOM série pédologique, vol. 225, n° 1-2, (1990), 81-94.

65. Linsley, R.K.Jr., Kohler Max, A. and Paulhus, J.L.H., "Hydrology for Engineers", McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering, (1975), 508 p.
66. Mahieddine, M., "Quantification et variabilité parcellaire sous simulation de pluie dans le bassin versant de l'Oued Mina", Thèse de Magister, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques, Alger, (1997), 120 p.
67. Leviandier, Th., "Hydrologie appliquée aux petits bassins versants ruraux", CEMAGREF, France, (1989), 540 p.
68. Tixeront, J., "Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie", In : IAHS Publication, vol. 53, (1960), 26-42
69. Fournier, F., "Climat et Erosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques", Presses Universitaires de France, Paris, (1960), 203 p.
70. Lebreton, J.C., "Dynamique fluviale", Editions Eyrolles, Paris, France, (1974).
71. Hug, M., "Mécanique des fluides appliquée", Edition Dunod, Paris, France, (1975), 1195 p.
72. OFEG., "La gestion des ressources en eau", Office Fédérale des Eaux et de la Géologie, Rapport interne, Suisse, (2005).
73. Guillot, J.L., Call, H. et Cortes, J., (1991) "Transport de matières dissoutes et particulaires des andes vers Rio de la Plata par les tributaires Boliviens (Rios Pilcomayo & Bermejo) du Rio Paraguay", Journal des Sciences Hydrologiques, vol. 35, n°6, (1991), 45-58.
74. Reikemann, D., "Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. Mitteilungen Versuchsanstalt für Wassebau", Hydrology and Glaciology, ETH Zurich, vol. 103, (1990).
75. Gomer, D., "Ecoulement et érosion dans les petits bassins versants à sol marneux sous climat méditerranéen". Université Karlsruhe, (1994), 207 p.
76. Touaibia, B., "Manuel Pratique d'Hydrologie", Edition Madani, Blida, Algérie, (2004), 176 p.
77. Pimentel, D.C., Harvey, P., Resosudarmo, K., Sinclair, D., Kurz, M., Crist, L., Fitton, R. et Saffouri, R., "Coût environnemental et économique de l'érosion du sol et bénéfice de la conservation". Journal des Sciences Hydrologiques, vol. 267, (1995), 1117-1123.

78. Morgan, R.P.C., "Erosion du sol dans les pays du Nord de la communauté Européenne. Atelier EIW. Elaboration d'un cadre pour un code de bonnes pratiques agricoles", Bruxelles, (21-22 Mai 1992).
79. Strakhov, N.M.N., "Principals of Lithogenesis", vol. 1, Olivier & Boyd, Edinburgh, UK, (1967).
80. Milliman, J.D. and Meade, R.H., "World wide delivery of river sediment to the oceans", J. Geology, Chicago, vol. 91, n°1, (1983), 1-21.
81. Walling, D.E., "The sediment yield of African rivers. In: Challenges in African Hydrology and water resources", I.A.H.S Publication, vol. 144, (July 1984), 265-283.
82. Heusch, B. et Millies-Lacrois, A., "Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin : application au Maghreb". Mines et géologie, vol. 33, (1971), 21-39.
83. Ghorbal, A. et Claude, J., "Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie : estimation des transports solides", Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters, I.A.H.S. Publication, vol.122, (July 1977), 219-232.
84. Bussiere, M., "L'érosion des sols cultivés en France". Mémoire D.E.S.S., Université de Picardie, (1996), 136 p.
85. Mortatti, J., Probst, J.L. et Ferreire, J.R., "Quantification de l'érosion des sols du bassin vaersnt El Hachef, par le biais du Cesium-137 ,Région de Tanger, Maroc", Bulletin Réseau Erosion, IRD, Montpellier, (1992), 106-118.
86. Restrepo, J.D., Kjerfve, B., Hermelin, M. and Restrepo, J.C., "Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin : the Magdalena River", Journal of hydrology, vol. 316, Colombia, (2006), 231-232.
87. Probst, J.L., "Hydrologie du bassin de la Garonne, modèle de mélange , bilan d'érosion, exportation de phosphates et des nitrates", Thèse 3^e cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, (1983), 148 p.
88. Etchanchu, D., "Géochimie du bassin des eaux de la Garonne, transferts de matière dissoute et particulaires vers l'océan Atlantique". Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, (1988), 156 p.

89. Kattan, Z., Gac, J.Y. and Probst, J.L., "Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin. Estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion". *Journal hydrology*, vol. 92, (1987), 59-76.
90. Gac, J.Y. et Pinta, M., "Bilan de l'érosion et de l'altération en climat tropical humide, estimation de la vitesse d'approfondissement des profiles: étude du bassin versant de l'Ouhman (R.C.A) ", *Cahier ORSTOM, série géologie*, (1973), 83-96.
91. Lô, H., "Le bassin de la Gambie : Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviale en milieu tropical humide africain", Thèse 3^e cycle, Université Nancy II, France, (1984), 356 p.
92. Briquet, J.P., Mahé, G., Bamba, F. et Olivry, J.C., "Changements climatiques récents et modifications du régime hydrologique du fleuve Niger à Koulikoro (Mali)", *IAHS Publications*, vol. 238, (1996), 157-166.
93. Gac, J.Y., "Géochimie du bassin du lac Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation", *Trav et Doc, ORSTOM, Paris 123*, (1980), 251 p.
94. Olivry, J.C., Briquet, J.P., Thiebaut, J.P. et Sigha, N., "Transport de matières sur les grands fleuves des régions intertropicales : les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve de Congo", *Proc. Porto Allegre Symp, IAHS Publication*, vol. 174, (1988), 509-521.
95. Moukolo, N., Laraque, A., Olivry, J.C., et Briquet J.P., "Transport en solution et en suspension par le fleuve Congo (Zaire) et ses principaux affluents de la rive droite", *Journal des Sciences Hydrologie*, V. 38, n°2,(1993), 133-145.
96. Snoussi, M., "Nature, estimation et comparaison des flux de matières issus des bassins versants de l'Addour (France), du Sebou, de Oum-Er-Rbia et du Souss (Maroc). Impact du climat sur les apports fluviaux à l'Océan", *Mémoire Institut Géologie, Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, France*, vol. 22, (1988), 459 p.
97. Snoussi, M., Jouanneau, J.M. et Latouche, C., "Impact du climat sur les apports fluviaux. Etudes comparatives des flux de l'Adour (France), du Sebou et du Souss (Maroc) ", *Bulletin Institut Géologie. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, France*, vol. 46, (1989), 119-126.
98. Talib, E.H., "Envasement du barrage Mohammed V". *Mémoire Ingéniorat. d'Etat, option hydraulique, Maroc*, (1988), 80 p et annexe.

99. Bourouba, M., "Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur (Algérie Oriental) ". Bulletin IRD, vol. 18, Montpellier, France, (1988), 76-97.
100. Magnounif, A., Terfous, A. et Bouanani, A., "Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien)", Revue Science de l'Eau, vol. 16, n°3, (2003), 369-390.
101. Saadaoui, M., "Erosion et transport solide en Tunisie. Impact sur l'infrastructure", Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages, A.N.B, Alger, (1994), 18-43.
102. Liopold, L.B. and Maddock, T.G., "The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implication", Washington D.C.U.S., Geological. Survey, (1953).
103. Wood, P.A., "Controls of variation in suspended sediment concentration", Revue sedimentol, vol. 21, (1977), 437-445.
104. Fleming, G., "Design curves for suspended load estimation", Proc Inst Civ Eng, vol. 43, (1969), 1-9.
105. Mathys, N., Meunier, M. et Guet, C., "Mesures et interprétation du processus d'érosion dans les marnes des Alpes du Sud à l'échelle de la petite ravine", La houille blanche, revue internationale de l'eau, France, (1989), 314 p.
106. Julien, P.Y. and Frenette, M., (1983) "LAVSED-II, A model for predicting suspended load in Northern stream", Department of civil Engineering, Laval University, Quebec, Canada, (1983).
107. Tanguy, J.M., Dhah, G., Frenette, M. et Monadier, P., "Modélisation du transport solide par charriage à l'aide d'un modèle aux éléments finis", La houille blanche, revue internationale de l'eau, France, (1989), 314 p.
108. Rais, S. et Abidi, M., "Prévision du transport solide sur le bassin versant. Application à l'alluvionnement d'une retenue", La houille blanche, revue internationale de l'eau, France, (1989), 314 p.
109. Rogers, R.D. and Schumm, S.A., "The effect of the sparse vegetation cover on erosion and sediment yield", Journal of Hydrology, vol. 123, (1990), 19-24.

110. Djabbouri, S.T., "Hydrology and watershed management". University IRAK, (1988).
111. Probst, J.L., "Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanisme, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années", Mémoire des Sciences Géologiques, Université Louis Pasteur, France, (1992), 161 p.
112. Voght, T. et Gomer, D., "Estimation du ruissellement et des matières en suspension par l'utilisation d'un SIG", Bulletin n° 4, Société Française de photogrammétrie et télédétection, France, (1992).
113. Laouina, A., Chaker, M., Naciri, R. et Nafaa, R., "L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional", Bulletin Association. Géographique Française, Paris, France, (1993), 384-398.
114. Montier, C., Daroussin, J., King, D. et Le Bissonnais, Y., "Cartographie de la vallée de l'aléa, érosion des sols en France", INRA, Orléans, France, (1998).
115. Moukhchane, M., Bouhlassa, S. et Bouaddi, Kh., "Quantification de l'érosion des sols du bassin versant El Hachef, par le biais du Cesium-137 (Région de Tanger, Maroc)", Bulletin Réseau Erosion, IRD, Montpellier, France, (1998), 106-118.
116. Dogan, O. et Kucukcakar, N., "Pertes en sol et en eau sur les terrasses en gradins et détermination des dimensions des terrasses sous les conditions climatiques de l'Anatolie centrale en Turquie", Bulletin Réseau Erosion, vol. 17, IRD, Montpellier, France, (1997).
117. Bergaoui, M., Camus, H. et Nouvelot, J.F., "Essai de modélisation du transport solide sur les micro bassins versants de Tebaga (Tunisie Centrale)", Cahier sécheresse, vol. 9, n°1, (1998), 51-57.
118. Albergel, J., Nasri, N., Boufaraoua, M. et Pepin, Y., "Bilan de l'érosion sur les Petits bassins versants des lacs collinaires de la dorsale Tunisienne", In : Séminaire International hydrologie des Régions Méditerranéennes, PHI-V, Unesco, document techniques en hydrologie, vol. 51, (2000), 63-71.
119. Lienon, G., Mahe, G., Olivry, J., Naah, C.E., Servat, E., Nkamdjou, L.S., Sighomnou, D., Ngoupayou, J.N., Ekodeck, G.E. et Paturel, J.E., "Régimes des flux des matières solides en suspension au Cameroun : revue et synthèse à l'échelle des principaux écosystèmes ; diversité climatique et actions anthropiques", Hydrological Science Journal, vol. 50, n°1, (2005), 111-123.

120. Li, F.C., Angelier, J., Chen, R.F., Hsieh, H.M., Deffontaines, B., Luo, C.R., Wu, T.T. and Lin, M.C., "Estimates of present-day erosion based on sediment transport in rivers : a case study in Taiwan", *C. R. Géosciences*, vol. 337, (2005), 1131-1139.
121. Avendano, Salas C., Sanz Montero, E. and Gomez Montana, J.L., "Sediment yield at Spanish reservoirs and its relationships with the drainage basin area", *Dix neuvième congrès des grands barrages, Commission Internationale de Grands barrages, Florence, Italie, (1997)*, 863-874.
122. Göğüs, M. and Yenner, A.G., "Estimation of sediment transport rates of reservoirs in Turkey", *Dix neuvième congrès des Grands barrages, Commission Internationale de Grands barrages, Florence, Italie, (1997)*, 1265-1276.
123. Van Rampaey, A., Bazoffi, P., Jones, R.J.A. and Montarella, L., "Modeling sediment yields in italian cathchment", *Geo-morphology*, vol. 65, (2005), 157-169.
124. Lahlou, A., "Environmental and socio-economic impacts of erosion and sedimentation in North Africa", In: Walling, D.E., Webb, B.W., edition, *Erosion and sediment yield: Global and regional perspectives, IAHS Publication*, vol. 236, (1996), 491-500.
125. Capolini, J., Piens, S. et Ramana, R., "Prévision des apports des crues et des débits solides. Bassin versant du Cheliff : Oued Rhiou, Sly, Fodda, Deurdeur, Zeddine, Ebda" ,*Etude S E S N 13/12/DH12, Alger, (1969)*.
126. Arabi, M., "Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu méditerranéen à Médéa", *Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, France, (1991)*.
127. Kouri, L., "L'érosion hydraulique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie). Etude des processus et types de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires". *Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, (1993)*, 238 p.
128. Ramdane, M., "Caractéristiques lithologiques des bassins versants des barrages en liaison avec leur sensibilité à l'érosion". *A.N.R.H, Rapport interne- Alger, (1993)*.
129. Megnounif, A., Terfous, A. et Bouanini, A., "Production et transport des matières solides en suspension dans le basin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien) ", *Revue Science de l'Eau*, vol. 16, n°3, (2003), 369-390.

130. Achite, M., "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-Science, Université Des Sciences et de la Technologie d'Oran M.B, Algérie, (2007) 207 p.
131. Ripley, B. D., (1981). "Spatial Statistics", Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, New York, (1981).
132. Cressie, N. A. C., "Statistics for spatial data", Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, Applied Probability and Statistics, Revised reprint of the 1991 edition, A Wiley-Interscience Publication, New York, (1993).
133. Matheron, G., "Les variables régionalisées et leur estimation". Masson, Paris, (1965).
134. Chauvet, P., "Aide Mémoire de géostatistique linéaire", Presse de l'Ecole des Mines, Paris, France, (1999), 150 p.
135. Krige, D.G., "A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand", Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, vol. 52, (1951), 119-139.
136. Bretherton, F.B., Davis, R.E. and Fandry, C.B., "A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73", Deep-Sea Res, vol. 23, (1976), 559-582.
137. Davis, J. C., "Statistics and Data Analysis in Geology", 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, (1986), 289 p.
138. ABH-CZ., "Etude de Développement d'un Plan de Gestion Intégrée des Ressources en Eau de la Région Hydrographique Cheliff-Zahrez", Rapport Interne de l'Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez, Chlef, Algérie, (2006), 145 p.
139. ABH-CZ., "Documentaire sur le Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez", Document Interne de l'Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.. Chlef, Algérie, (2002).
140. A.N.R.H., "Evaluation des Ressources en Eau Souterraines. Région Cheliff-Zahrez", Rapport Interne de l'A.N.R.H Alger, (2002)
141. A.N.B.T., "Inventaire des sites existants, région hydrographique Cheliff-Zahrez", Rapport interne de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts, Alger, (2007), 5 p.

142. ABH-CZ., "Etude de la Protection de Oued Cheliff Contre la Pollution d'Origine Urbaine et Industrielle", Rapport Interne de l'Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez, Chlef, Algérie, (2007), 25 p.
143. Achour, F., "Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en région semi aride : application de méthodologies nouvelles au bassin versant du Cheliff, Algérie", U.F.R des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comte, France, (1997), 261 p.
144. Bennabidate, L., Zian, A., "Etude de la sécheresse hydrologique dans le bassin versant du R'Dom (Maroc Septentrional)", Faculté des Sciences et Techniques Saïss, Université Mohammed Ben Abdallah, Fès, Maroc, (2000), 6p.
145. A.N.R.H., "Données Hydrométriques et Pluviométriques", Document Interne, Direction régionale, A.N.R.H, Blida, Algérie.
146. A.N.R.H., "Données Hydrométriques et Pluviométriques", Document Interne, Direction Générale, A.N.R.H, Alger, Algérie.
147. Duband, D., "Statistiques appliquées en hydrologie. Polycopie de cours de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique", Grenoble, France, (1989), 276 p.
148. Kuenen, Ph.H., "Turbidity currents of high density", 18th International Geological Congress, The geology of sea and oceans floors, London, (1950), 44-52.
149. Lopatain, G.V., "Sediment in the rivers of the URSS", Geografiz, Moscow, (1952), 366 p.
150. Walling, D.E., "Limitations of the rating curve technique for estimation suspended Sediment loads", In: Erosion and solid matter transport in inland waters, IAHS Publication, (July 1977), 34-48, 122 p.
151. Walling, D.E. and Webb, B.W., "The reliability of suspended sediment load data: Erosion and sediment transport measurement, Proceedings of the Florence symposium", IAHS Publication, vol. 133 Florence, Italy, (1981), 177-194.
152. Balland, P., "Utilisation de la relation concentration – débit pour le calcul des matières en suspension en rivière". Physico. Géol, vol. 9, (1984), 5-13.
153. Haida, S., Snoussi, M., Latouche, C. et Probst, J.L., "Géodynamique actuelle du bassin versant de l'Oued Tensit (Maroc) : Erosion mécanique et bilan des transports solides fluviaux". Bulletin Science Géologie, vol. 49, n°1-4, Strasbourg, (1996), 7-23.

154. Serrat, P., "Dynamique sédimentaire actuelle d'un système fluvial méditerranéen : l'Agly (France) ", C.R. Acad. Science, Science de la terre et des planètes, vol. 329, Paris, (1999), 189-196.
155. Touaibia, B., Aidaoui, A., Gomer, D. et Achite, M., "Quantification et variabilité de l'écoulement solide en zone semi aride de l'Algérie du Nord", Revues des sciences hydrologiques, vol. 46, n°1, (2001), 41-53.
157. Crawford, C.G., "Estimation of suspended sediment rating curves and mean suspended sediment load", Journal of hydrology, vol. 129, (1991), 331-348.
158. Meddi, M., "Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie) ", Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur – Starsbourg, (1992), 285 p.
159. Rakoczi, L., "Problems of sediments gauging in gravel- bed rivers", International Association for hydraulic Research, 19 Congress, New-Delhi, India, (1981).
160. A.N.B.T., "Rapport interne de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts sur les derniers levés bathymétriques des barrages du Cheliff", Alger, (2008), 8 p.
161. Achite, M., "Contribution à l'analyse multidimensionnelle de la variable « Transport Solide » Cas du bassin versant de l'Oued Mina (Wilaya de Relizane) ", Mémoire de Magister, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, Blida, Algérie, (1999), 203 p.
162. Dagnelli, P., "Théorie et méthodes statistiques", Applications agronomiques, Presse agronomique de Gembloux, vol. 2, Belgique, (1992), 463 p.
163. Milliman, J.D., "Sediment delivery from Mediterranean rivers: regional, global and temporal perspectives. Fluxes of small and medium-size Mediterranean rivers: Impact on coastal areas", CIESM Workshop, Trogir, Croatia, (29 Mars- 1 Avril 2006), 67-71.