



UNIVERSITE DE BATNA 2 -Mostefa BEN BOULAIID-
INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE



Thèse pour obtenir le diplôme de Doctorat en Sciences

Spécialité : Aménagement du Territoire

**ÉTUDE DES RISQUES MAJEURS ET NIVEAU DE
VULNERABILITÉ DANS LA VALLÉE DE L'OUED
LABIOD (SPATIALISATION ET MODELISATION)**

Présentée par :

Cherif HAOUES

Soutenue le 12/10/2017 devant le jury composé de :

Mr. MAHDI KALLA	Professeur	Université Batna 2	Président
Mme. HADDA DRIDI	Professeur	Université Batna 2	Rapporteur
Mr. MOHAMED SAÏD GUETTOUCHE	Professeur	USTHB	Examineur
Mr. MAKHLOUF BOUTIBA	Professeur	USTHB	Examineur
Mr. SALAH ZERAIB	MCA	Université Batna 2	Examineur
Mr. BRAHIM BOULEMTAFES	MCA	USTHB	Examineur
Mr. THIERRY SAINT-GERAND	Professeur	UCBN (France)	Invité

**ETUDE DES RISQUES MAJEURS ET NIVEAU DE
VULNERABILITE DANS LA VALLEE DE L'OUED
LABIOD (SPATIALISATION ET MODELISATION)**

Cherif HAOUES

Tables des matières

Tables des matières	I
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
Liste des abréviations.....	VII
RESUME.....	VIII
AVANT-PROPOS	1X
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
1. CONCEPTS GENERAUX :	7
2. UTILISATION DES TECHNIQUES NOUVELLES :	15
2.1 Utilisation des SIG :	15
2.2 Utilisation de l'AMC :.....	18
3. EVALUATION DES RISQUES NATURELS:	23
3.1 Evaluation des inondations :	30
3.2 Evaluation de l'érosion des sols :	32
3.3 Illustration des techniques d'évaluation de l'érosion :	39
4. EVALUATION DE LA VULNERABILITE :	48
4.1 L'analyse quantitative :	49
4.2 L'analyse semi-quantitative :	49
4.3 L'analyse qualitative :.....	49
Conclusion :	52
CHAPITRE 2 PRESENTATION DU BASSIN DE RISQUE	53
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :.....	54
2. LA TOPOGRAPHIE :	54
2.1 L'hypsométrie :	56
2.2 La morphométrie :	58
2.2.1 Délimitation de périmètre du bassin versant :.....	58
2.2.2 Indice de Gravelius (kc) :.....	59
2.2.3 Le rectangle équivalent :.....	59
2.3 Les indices de pente :	60
2.3.1 Indice de pente de Roche (<i>IP</i>) :	60
2.3.2 L'indice de pente globale (<i>Ig</i>) :.....	60
2.3.3 L'indice de pente moyenne (<i>Im</i>) :	61
2.3.4 La dénivelée spécifique (<i>DS</i>):	61
3. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE :	63

3.1 Classification des talwegs :	63
3.2 La densité de drainage (Dd) :	63
3.3 Le rapport de confluence (R_b):	63
3.4 Le coefficient de torrentialité (Ct) : est défini comme suit :	64
3.5 La pente moyenne du lit du cours d'eau (Kr) :	64
3.6 Le temps de concentration (TC) Giandotti:	64
3.7 La vitesse d'écoulement (Ve) :	64
4. LA GEOLOGIE:	67
5. LA GEOMORPHOLOGIE :	71
6. LA PEDOLOGIE :	72
7. LE COUVERT VEGETAL :	73
8. LE CLIMAT :	75
8.1 Les précipitations :	75
8.2 Les températures :	80
8.3 Le régime climatique :	81
8.4 Régime des vents :	84
8.5 L'humidité relative :	85
8.6 L'évapotranspiration :	85
8.7 L'évapotranspiration réelle:	87
8.8 Le bilan hydrique :	88
Conclusion :	93
CHAPITRE 3 NIVEAU D'ANTHROPISATION DU BASSIN DE RISQUE	94
Introduction:	95
1. HISTORIQUE:	95
2. LES POTENTIALITES NATURELLES :	96
2.1 Le relief :	96
2.2 Le couvert végétal :	98
3. LES POTENTIALITES HUMAINES :	101
3.1 La répartition spatiale de la population :	101
3.2 Evolution de la population :	101
3.4 Population active, occupée et en chômage:	102
3.5 Le mouvement migratoire :	103
4. LES POTENTIALITES INFRASTRUCTURELLES :	103
4.1 L'habitat:	103
4.2 Les ressources en eau :	105
4.3 Les équipements éducatifs :	106
4.4 Les équipements sanitaires :	106

4.5 Les équipements sportifs :	107
4.6 Les équipements culturels et religieux :	107
4.7 Le réseau routier:	108
5. LES POTENTIALITES ECONOMIQUES :	108
5.1 Le secteur agricole :	108
5.2 L'élevage :	110
<u>5.3 L'industrie :</u>	<u>111</u>
<u>5.4 Le tourisme :</u>	<u>111</u>
<u>5.5 La méthode SWOT :</u>	<u>111</u>
Conclusion :	114
CHAPITRE 4 MODELISATION DES RISQUES.....	115
1. LE RISQUE D'INONDATION :	116
1.1 Le retour d'expérience:	117
1.1.1 Analyse des crues historiques:	117
1.1.2 Reconstitution des débits:	120
1.1.3 Variation du plan d'eau et la vitesse de montée:	121
1.1.4 Analyse fréquentielle:	123
1.1.5 Hydrogramme des crues:	127
1.1.6 La période de retour:	128
1.1.7 Analyse des ruissellements:	128
1.2 Modélisation des crues:	129
1.3 Application du modèle 1D :	132
1.4 Cartographie de l'aléa inondation:	134
1.5 Détermination du niveau de vulnérabilité aux inondations :	134
1.6 Analyse des apports liquides et solides :	138
2. LE RISQUE D'EROSION HYDRIQUE :	142
2.1 Les indicateurs d'érosion :	142
2.2 Cartographie de l'aléa érosion des sols :	143
2.3 Evaluation de l'érosion hydrique :	145
2.3.1 Les données requises:	146
2.3.2 Le modèle LEAM:	147
2.3.3 LE modèle RUSLE:	155
2.4 Intégration de RUSLE dans un SIG combiné avec AHP:	155
3. RESULTATS ET DISCUSSION:	165
4. RECOMMANDATIONS:	169
Conclusion.....	171
CONCLUSION GENERALE.....	172

Liste des tableaux

N°	Titre	page
1.1	Différentes définitions de la vulnérabilité dans le champ de l'évaluation des risques	14
1.2	Echelle de comparaison par paire	23
1.3	L'indice de cohérence aléatoire	23
1.4	Classification génétique simplifiée des aléas naturels	29
1.5	Les méthodes d'évaluation du risque d'inondation	32
1.6	Exemples de facteurs et critères de vulnérabilité	52
2.1	Répartition altimétrique de la zone d'étude	59
2.2	Classification du relief selon l'indice globale de pente et la dénivelée	62
2.3	Classification et longueur des cours d'eau	64
2.4	Classes et catégories de pentes et drainage externe	65
2.5	Les caractéristiques physiques de la zone d'étude	67
2.6	Les types de sols	73
2.7	Répartition du couvert végétal par hectare	74
2.8	Caractéristiques des stations pluviométriques	76
2.9	Estimation des pluies journalières	77
2.10	La méthode de Thiessen	78
2.11	La répartition mensuelle et saisonnière des précipitations	80
2.12	Les températures moyennes mensuelles	80
2.13	Le régime climatique par la méthode d'Euverte	82
2.14	Le régime des vents	85
2.15	L'humidité relative	86
2.16	L'évapotranspiration et l'évapotranspiration	90
2.17	Le bilan hydrique selon Thorntwhaite	92
2.18	Le bilan hydrique selon l'ANRH	93
3.1	La répartition territoriale des surfaces	98
3.2	Répartition et densité de population par commune	101
3.3	Evolution de la population par commune	102
3.4	La population active par commune	103
3.5	Répartition du parc logement par commune	104
3.6	Répartition de l'habitat précaire	105
3.7	Les ressources en eau par commune	106
3.8	Alimentation en eau potable	106
3.9	Etablissements scolaires par commune	107
3.10	Les infrastructures hospitalières	107
3.11	Les équipements sportifs par commune	108
3.12	Les équipements culturels et religieux	108
3.13	Le réseau routier	109
3.14	Répartition de la S.A.U par commune	110
3.15	La production des cultures par commune	111
3.16	Répartition de l'élevage et des équipements agricoles par communes	111
3.17	La production animale par quintaux	112
3.18	La méthode SWOT	114
4.1	Nombre de crues entre 1950 -2016	118
4.2	Les paramètres de la loi log normale	124
4.3	Les paramètres du test Kolmogorov-Smirnov	124
4.4	Les effectifs théoriques et observés	126
4.5	Matrice de zonage des vulnérabilités	136
4.6	Estimation de l'apport liquide et la lame d'eau écoulée	140
4.7	Estimation de l'apport solide spécifique	140
4.8	Variation de la concentration en suspension en fonction du débit liquide	141
4.9	Les classes de pentes	147
4.10	Les propriétés physico-chimiques des échantillons	151
4.11	L'indice cultural	160

4.12	Les pratiques antiérosives	162
4.13	Les pertes en sols par formes d'érosion	163

Liste des figures

N°	Titre	page
1	Les démarches méthodologiques pour l'étude des risques majeurs	4
1.1	La grille d'analyse des risques naturels	11
1.2	Structure des données d'un SIG	19
1.3	Les problématiques de l'agrégation partielle	21
1.4	Structure hiérarchique d'un problème	22
1.5	Nombre de catastrophes naturelles par pays	24
1.6	Les méthodes d'analyse des risques	25
1.7	Les méthodes d'évaluation des risques	25
1.8	Classement des méthodes d'évaluation des risques	26
1.9	Les grandes étapes méthodologiques de l'évaluation des risques	28
1.10	Classification spatio-temporelle des aléas	30
1.11	La dégradation des sols dans le monde	33
1.12	Processus typique d'érosion et de sédimentation dans les bassins versants	34
1.13	Schéma et processus simplifiés des écoulements	35
1.14	L'érosion en nappe	35
1.15	Les stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies	36
1.16	Les principaux types d'érosion hydrique	36
1.17	Les modes de transport des particules	37
1.18	Le diagramme d'Hjulström	37
1.19	Les différentes formes d'érosion en masse	38
1.20	Approches d'évaluation des vulnérabilités	51
2.1	Localisation de la zone d'étude	56
2.2	Profil en long de la vallée Oued LABIOD	57
2.3	MNT et exposition du bassin versant Oued LABIOD	58
2.4	La courbe hypsométrique	59
2.5	Le rectangle équivalent	61
2.6	La carte des pentes	63
2.7	La carte du réseau hydrographique	66
2.8	La perméabilité en fonction de la texture	68
2.9	La géologie du bassin versant Oued LABIOD	69
2.10	Coupe transversale de la lithologie des Aurès	70
2.11	La carte lithologique du bassin de risque	71
2.12	Occupation des sols dans les Aurès	75
2.13	La méthode du double cumul	76
2.14	Ajustement des pluies journalières	77
2.15	Variation des précipitations moyennes annuelles	78
2.16	La pluviométrie dans le bassin versant	79
2.17	Variation des précipitations mensuelles et saisonnières mensuelles	80
2.18	Variation des températures moyennes	81
2.19	Le diagramme ombrothermique	82
2.20	Le diagramme de Martonne	83
2.21	Le climagramme d'Emberger	84
2.22	Vitesse et fréquence des vents	85
2.23	L'évaporation dans le bassin versant	87
2.24	L'abaque de Wundt	89
3.1	Schéma structural des Aurès	98
3.2	La répartition territoriale des surfaces	99
3.3	L'occupation des sols dans les Aurès	101
3.4	Répartition et densité de population	102
3.5	Evolution de la population	102
3.6	La population active par commune	103
3.7	Les tailleurs de pierre	104
3.8	Habitat précaire et pollution	105

3.9	Le réseau routier	109
3.10	Répartition de la S.A.U par commune	110
3.11	Répartition des cultures	111
3.12	Répartition de l'élevage par commune	111
3.13	Quelques sites touristiques	113
4.1	Quelques indicateurs du risque d'inondation	117
4.2	Nombre de crue par an	119
4.3	Nombre de crue par mois et saison	119
4.4	Reconstitution des débits de crues	120
4.5	Variation de la vitesse de montée des eaux	122
4.6	Variation du plan d'eau	122
4.7	Les étapes de l'analyse fréquentielle	123
4.8	Ajustement statistique des débits	125
4.9	Hydrogrammes des crues	127
4.10	Variation de la lame d'eau précipitée et ruisselée	128
4.11	Les modèles hydrauliques	131
4.12	Variation des débits et des vitesses suivant la période de retour	132
4.13	Modélisation 1D dans le sous bassin de M'chouneche	133
4.14	L'aléa inondation à M'chouneche	134
4.15	Intérêt de l'analyse probabiliste pour la prévention du risque d'inondation	135
4.16	La vulnérabilité de M'chouneche aux inondations	136
4.17	Les foyers de pollution hydrique dans le bassin de risque	138
4.18	Apports annuels au droit du barrage Foum El Gherza	139
4.19	Corrélation débit liquide/concentration en suspension	142
4.20	Envasement moyen du barrage Foum El Gherza	142
4.21	Quelques indicateurs d'érosion	144
4.22	L'aléa érosion des sols à l'échelle des sous bassins versants	145
4.23	Le facteur pente « LEAM »	147
4.24	Le facteur érosivité « LEAM »	148
4.25	Nomogramme d'érodibilité des sols	149
4.26	L'échantillonnage des sols	150
4.27	Le facteur érodibilité des sols « LEAM »	152
4.28	L'indice NDVI	153
4.29	Estimation du risque potentiel d'érosion par le modèle <i>LEAM</i>	154
4.30	Intégration de <i>RUSLE</i> dans un SIG combinée avec l'AHP	159
4.31	Le facteur topographique <i>LS</i>	160
4.32	<i>C</i> en fonction de la couverture du sol et de la hauteur de végétation	161
4.33	Pratiques culturales et antiérosives dans le bassin de risque	162
4.34	Pondération et résolution matricielle des critères	163
4.35	Formalisation du modèle <i>RUSLE</i>	164
4.36	Les formes d'érosion à l'échelle des sous bassins versants	167
4.37	Quelques formes d'érosion appréciées sur terrain	168
4.38	Les stratégies de correction torrentielle	169
4.39	Les barrages : a) barrage de consolidation b) barrage de sédimentation	170

Liste des abréviations

AHP	Analytic Hierarchy Process
AMC	Analyse Multi Critère
ANBT	Agence Nationale des Barrages et des Transferts
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ASCE	American Society of Civil Engineers
BNEF	Bureau National d'Etudes Forestières
CAW	Chambre d'Agriculture de Wilaya
CET	Centre d'Enfouissement Technique
CRED	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
DSA	Direction des Services Agricole
DPSB	Direction de Planification et Suivi de Budget
DTP	Direction des Travaux Publics
FAO	Food and Agriculture Organization
FL, NMR, FV	Frédéric Léone, Freddy Vinet et Nancy Meschinnet De Richemond
FNPOS	Fonds National de Péréquation des Œuvres Sociales
IDEES	Identités et Différenciations des Espaces, de l'Environnement et des Sociétés
ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
LSL	Logement Social Locatif
LSP	Logement Social Participatif
LRNAT	Laboratoire des Risques Naturels et Aménagement du Territoire
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation
O C S R E	Ontario Centre for Soil Resource Evaluation
PDAU	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement
REX	Retours d'expérience
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
SAT	Surface Agricole Totale
SAU	Surface Agricole Utilisable
SIG	Système d'information géographique
TOL	Taux d'Occupation par Logement
TSS	Transport Solide Spécifique
UNEP	United Nations Environment Programme
USLE	Universal Soil Loss Equation
UVED	Université Virtuelle Environnement et Développement durable

Résumé

Le bassin versant Oued LABIOD appartient au bassin endoréique de Chott Melrhir (l'est algérien) et s'étend sur plus de 1300 km². De part ses dimensions et ses caractéristiques physico-climatiques, il est vulnérable aux inondations et soumis à une dynamique érosive intense engendrant l'envasement du barrage de Foug El Gherza. Cette étude a pour objectif de réaliser une analyse thématique des risques majeurs d'origine naturelle en mettant l'accent sur les indicateurs de risque pour déterminer la vulnérabilité aux inondations via une analyse objective d'une part et dresser une cartographie du risque érosif en s'appuyant sur une méthode d'analyse multicritère basée sur la formalisation de l'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE) dans un processus d'analyse hiérarchique (AHP) intégrée dans un système d'information géographiques (SIG) d'autre part.

Le résultat constitue un outil d'aide à la décision en matière de prévention des risques majeurs.

Mots clés :

AHP, Oued LABIOD, risques majeurs, SIG, vulnérabilité, outil d'aide à la décision.

Abstract

The LABIOD valley watershed belongs to the endorheic Basin of Chott Melrhir (East of Algeria) and extends more than 1300 km². Through its dimensions and its physical and climatic characteristics, it is vulnerable to floods and submitted to an intense erosion dynamics engendering the mudding of Foug El Gherza. This study has for objective to realize a thematic analysis of the major risks of natural origin by emphasizing the risk indicators to determine the vulnerability to the floods via an objective analysis on one hand and draw up erosion risk map resting on multi-criteria analysis method based on the formalization of the revised universal soil loss equation (RUSLE) in the Analytic Hierarchy Process (AHP) approach integrated into the Geographic information system (GIS).

The result constitutes a decision making tool of major risks prevention.

Keywords:

AHP, decision making tool, GIS, LABIOD valley watershed, major risks, vulnerability.

ملخص

ينتمي حوض وادي الأبيض للحوض الداخلي شط ملغير (شرق الجزائر) حيث يتربع على مساحة 1300 كم². على غرار أبعاده أو خصائصه الفيزيائية و المناخية , فهو ذو قابلية للتعرض للفيضانات و خاضع لديناميكية تعرية شديدة غالبا ما تتسبب في توحل سد فم الخرزة. تهدف هذه الدراسة لإنجاز تحليل موضوعي للأخطار الكبرى الطبيعية اعتمادا على مؤشرات الخطر لتحديد قابلية التعرض للفيضانات من خلال تحليل هادف من جهة و تقديم خريطة خطر التعرية بالاعتماد على طريقة متعددة المعايير بناءا على المعادلة العالمية المراجعة لفقدان التربة (ELSUR) في نظام تحليلي متدرج (AHP) و مدمج في نظام معلومات جغرافي (SIG) من جهة أخرى . النتيجة عبارة عن وسيلة مساعدة اتخاذ القرار في الوقاية من الأخطار الكبرى.

كلمات مفتاحية :

نظام تحليلي متدرج , نظام معلومات جغرافي , وسيلة مساعدة اتخاذ القرار , حوض وادي الأبيض , الأخطار الكبرى , قابلية التعرض للخطر

REMERCIEMENTS

Achever ce travail qui s'inscrit dans le cadre des travaux menés par le laboratoire LRNAT de l'université de BATNA 2 dont une partie s'est déroulée au sein du laboratoire IDEES-CAEN UMR CNRS de l'université de CAEN Basse Normandie (France), me donne l'occasion de témoigner de ma gratitude et de remercier toutes les personnes qui m'ont aidé, soutenu et contribué de près ou de loin pour achever ce travail.

Avant tout, je voudrais exprimer ma vive reconnaissance à ma directrice de thèse Professeur Hadda DRIDI qui malgré ses préoccupations et son état de santé a assuré l'encadrement de ma thèse avec beaucoup d'intérêt, pour sa grande motivation et son appui constant tout au long de cette thèse.

J'adresse également mes sincères remerciements au Professeur Thierry SAIND-GERAND directeur du laboratoire IDESS-CAEN pour son engagement professionnel et ses perpétuels encouragements durant ma formation à l'étranger.

Je ne saurais oublier le Professeur Mahdi KALLA pour son constant soutien et sa contribution dans la réalisation de certaines tâches laborieuses au cours de ce difficile parcours.

Je voudrais remercier aussi Abdelkrim BENSALD maître de conférences à l'université d'ORLEANS, Mohand MEDJKANE Docteur à l'IDEES-CAEN et Abdelkrim DAOUD Professeur à l'université de Sfax pour leurs encouragements et leurs soutiens même de loin.

Je ne saurais oublier de remercier mon beau-frère Azzedine BAHLOUL Ingénieur au CGI Technical Services, Inc. Californie, États-Unis, pour son constant soutien.

Qu'il me soit maintenant permis de remercier les membres du jury notamment Professeur Mohamed Saïd GUETTOUCHE, BOUTIBA Makhlof, Brahim BOULEMFATES et SALAH Zeraïb pour l'intérêt et le temps qu'ils ont bien voulu porter à ce travail.

Je tiens à remercier aussi les institutions et les établissements publics qui m'ont assisté et fourni les données malgré les carences notamment l'ANBT, l'ANRH, la DSA, la DTP, la DPSB et l'INCT.

Je n'oublierai non plus mes parents, mes frères et sœurs, ma femme et mes enfants pour leur soutien moral.

Je ne pourrais oublier de remercier tous ceux qui m'ont soutenu pour finaliser ma thèse.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Depuis des années, on assiste à la manifestation récurrente des risques dans notre quotidien dont les effets ne cessent de s'accroître. Ils peuvent être à la fois avérés, potentiels, émergents ou futurs et s'expliquent différemment, mais avec le temps, d'autres risques apparaissent, et notre aptitude à les gérer change. C'est ainsi que ce sujet s'est imposé comme étant une thématique d'actualité au moment où ses conséquences pèsent lourdement sur l'homme et son environnement. Bien qu'il soit difficile de discerner une tendance sur la répartition des risques naturels ces dernières années, il n'en reste pas moins que le nombre des territoires à risque a nettement augmenté. L'appréhension des interrelations hommes-milieux adoptent dès lors une approche déterministe basée d'une part sur la nature comme étant facteur générateur de risque et d'autre part sur la perception du risque par les sociétés.

La réduction du risque apparaît depuis une dizaine d'années comme une composante essentielle à intégrer dans tous programmes de développement, à travers l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies visant à réduire la vulnérabilité et accroître la résilience des populations (ISDR, 2005).

La gestion du risque est un processus multidisciplinaire qui, à travers des choix politiques locaux soutenus par les instances compétentes, permet et favorise l'engagement actif d'une communauté dans la réduction de sa propre vulnérabilité. Elle porte sur une démarche participative adaptée localement qui essaie de relativiser les changements dans le monde dus aux catastrophes de sorte à écarter toute confusion avec les risques dont la survenance reste étroitement liée avec l'aléa qui l'enclenche.

Depuis 2001, huit mille quatre cent seize catastrophes naturelles ont été recensées dans le monde engendrant 1,18 millions de victimes et plus de 1262 milliards de dollars ⁽¹⁾.

L'impact économique des catastrophes naturelles évoluerait entre 200 et 250 milliards de dollars par an entre 1980 et 2012 avec des dégâts record enregistrés en 2011 (370 milliards de dollars) dus au séisme et tsunami au Japon, inondations à Bangkok en Thaïlande, inondations en Australie et les tornades aux Etats Unis. Seule l'année 2013 rompt cette évolution quasi linéaire ⁽²⁾. Ces dommages sont certainement liés à la démographie mondiale croissante, l'urbanisation galopante et les effets des changements climatiques.

⁽¹⁾ : La Banque mondiale des données, 2015. [http:// search.worldbank.org](http://search.worldbank.org) consulté le 04-01-2014.

⁽²⁾ : Organisation des Nations Unies (ONU), 2015. <http://www.un.org/fr/databases/thematic> consulté le 07-01-2014.

L'Algérie, n'est pas à l'abri de ces catastrophes notamment les inondations, les séismes et surtout la dégradation des sols par érosion hydrique dont les effets restent incontournables et à qui à terme peuvent basculer vers une situation irréversible de désertification. En effet, la vulnérabilité de l'espace algérien ne cessait de s'accroître engendrant la mort de plus de 3457 personnes et d'importants dégâts ⁽³⁾.

Face à ce constat, l'Algérie a adoptée des mesures et des lois dès l'année 85 du 20^{ème} siècle pour la prévention des risques notamment le plan national de prévention des risques naturels et technologiques majeurs, les lois 01-20 et 03-10 relatives respectivement à l'aménagement et au développement durable du territoire et à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable puis, la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable dans la loi 04-20 qui malgré son adoption, reste inapplicable faute de textes d'accompagnement ⁽⁴⁾.

La vallée Oued LABIOD objet de cette étude encoure d'importants enjeux dus aux risques naturels auxquels elle est exposée notamment les crues et les inondations (saisonniers) et la dégradation des sols par érosion hydrique. L'effet combiné des composantes physico-climatiques et sociales du milieu ainsi que l'urbanisation galopante contribuent davantage à l'aggravation des risques entraînant même des risques associés tels que la pollution dans toutes ses formes ou l'envasement du barrage de Foug El Gherza à cause de l'importante charge solide transportée sous l'effet de l'érosion hydrique accentuée par les ruissellements générés lors des épisodes pluvieux en pentes sur des sols meubles et peu couverts.

La modélisation spatio-temporelle des risques permet de déterminer le degré de vulnérabilité de chaque zone pour y orienter des actions préventives appropriées.

Cependant, nous proposons une méthode d'analyse des risques majeurs d'origine naturelle qui constitue un outil de communication et d'aide à la décision adapté aux spécificités d'une zone semi-aride.

Notre choix s'est porté sur la vallée Oued LABIOD parce qu'elle est vulnérable aux risques naturels dont les conséquences pèsent lourdement sur l'homme et son environnement d'une part. D'autre part, parce qu'elle constitue un atelier de recherches intéressant pour diverses disciplines.

Le bassin objet d'étude appartient au grand bassin hydrologique de Chott MELRHIR codé (06) qui s'inscrit dans la partie orientale de l'Atlas Saharien. C'est un bassin endoréique caractérisé par une transition bioclimatique (subhumide, semi-aride, aride), un relief accentué et un réseau hydrographique dompté.

L'étude historique à révélé la vulnérabilité de la zone d'étude aux crues et inondations saisonnières mais aussi à une dynamique érosive engendrant l'envasement du barrage de Foum El Gherza situé en aval.

Cette thèse à pour objectif d'élaborer une analyse thématique et objective des risques majeurs d'origine naturelle via la détermination des zones vulnérables aux inondations d'une part, pour y orienter des solutions appropriées.

D'autre part, elle permet de dresser une cartographie de la dégradation des sols par érosion hydrique via la formalisation combinée de l'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE) et le processus d'analyse hiérarchique (AHP) de l'analyse multicritère (AMC) avec un système d'information géographique (SIG).

C'est une méthode qui à suscité la pondération des critères pris en compte par le modèle dans une approche d'agrégation complète.

Il s'agit de mettre l'accent sur les facteurs déterminants et d'intégrer les techniques nouvelles pour développer un outil de communication et d'aide à la décision en matière de prévention des risques majeurs qui constitue l'un des fondements de la loi 04-20.

La méthodologie suivie repose sur l'utilisation des données de la géomatique pour l'analyse spatio-temporelle des relations causales et des facteurs aggravant le risque (relief, climat, occupation et utilisation des sols, couvert végétal, etc....).

Ces données qui peuvent être analysées avec d'autres types de données (terrain, cartes géologiques et lithologiques, MNT...) et croisées dans un système d'information géographique permettent de définir les zones d'intervention prioritaire (Boukheir et al., 2008 ; Toumi, 2013).

**ETUDE DES RISQUES MAJEURS ET NIVEAU DE VULNERABILITE
DANS LA VALLEE OUED LABIOD**

METHODOLOGIE GENERALE

- Une revue bibliographique incluant les concepts généraux, les méthodes d'évaluation des risques et l'intérêt des SIG et l'AMC dans la géographie des risques ;
- Détermination du bassin de risques à travers sa localisation et ses caractéristiques physico-climatiques et socio-économiques ;
- Evaluation et modélisation des risques récurrents vis à vis des facteurs causaux et des données disponibles;
- Identification et cartographie du niveau de vulnérabilité en matière de prévention des risques.

MATERIELS ET OUTILS

- Données physico-climatiques, hydrogéologiques et socio-économiques ;
- Supports cartographiques : cartes thématiques, MNT ;
- Images satellites : Landsat TM, Aster GDEM ;
- Analyse statistique : Excel, Statistica 13, Stata 13 ;
- Analyse spatiale : ENVI 4.7, Arc gis 10.1, Global Mapper 12, Idrisi selva 17.

ANALYSE THEMATIQUE DES RISQUES

EVALUATION ET MODELISATION

DETERMINATION DE LA VULNERABILITE

INTERPRETATION

VALIDATION

Figure 1. Les démarches méthodologiques pour l'étude des risques majeurs

A partir de la problématique du risque et partant de l'hypothèse d'une inégalité face aux risques et de la vulnérabilité des sociétés comme étant un état dynamique, il nous a semblé évident d'énoncer les questions suivantes :

Qu'est ce qu'un risque et les facteurs qui l'aggravent?

Comment peut-on l'atténuer ?

N'est-il pas temps de passer de la perception à la gestion des risques ?

Afin de répondre à ces questions, nous présenterons une méthodologie d'analyse des risques qui requiert des données spatiotemporelles permettant de tenir compte de manière explicite les facteurs aggravant le risque ce qui a suscité leur pondération afin de déterminer des zones les plus appropriées à la réalité observée. Par ailleurs, des modifications au niveau des principaux indicateurs constituant la formulation de la méthodologie proposée ont-elles une incidence sur les résultats ? L'investigation de ces questions de recherche doit faire appel dans un second temps à l'explicitation des liens entre l'environnement (bassin de risque) et la survenue des risques. Ainsi, la gestion des zones à risque contribue davantage à la réduction de leur vulnérabilité (l'augmentation de la résilience des sociétés). La question principale est donc, quelle est la meilleure méthodologie capable d'estimer avec précision les zones à risque afin de mettre en place des mesures de prévention qui devrait conduire à une réduction de vulnérabilité. La question secondaire est de savoir si cette méthodologie peut être étendue à d'autres espaces géographiquement différents aux conditions locales. Une autre question s'impose par elle-même est de vérifier l'hypothèse d'une inégalité sociale face aux risques en mettant en lumière l'analyse spatio-temporelle du risque et sa mise en relation avec les données socio-économiques.

Notre travail est structuré comme suit :

- Une introduction qui répond à la problématique de départ en énonçant brièvement les territoires à risques et leur vulnérabilité. Elle met l'accent sur les questions de départ, les principales hypothèses et l'objectif de cette recherche.
- Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique sur la thématique de recherche partant des différentes définitions du risque, l'utilisation des techniques nouvelles dans son évaluation notamment les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et l'Analyse Multicritère (AMC) via le processus d'analyse hiérarchique (AHP).

- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du bassin de risque moyennant sa situation géographique, l'occupation des sols et les caractéristiques physico-climatiques.
- Le troisième chapitre illustre le niveau d'anthropisation du bassin de risque par rapport aux potentialités naturelles et socio-économiques du milieu analysé par la méthode SWOT basée sur les atouts, faiblesses, opportunités et menaces dans le bassin en question.
- Le quatrième chapitre est destiné d'une part, à la modélisation du risque d'inondation par un modèle unidimensionnel basé sur la résolution de l'ensemble des équations de Saint Venant fondées sur les équations de Navier et Stokes.
D'autre part, à la modélisation du risque d'érosion hydrique par l'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE) via un processus d'analyse hiérarchique intégré dans un SIG.
Il s'en suit, la détermination du niveau de vulnérabilité du bassin objet d'étude aux risques majeurs qui abouti à un outil d'aide à la décision en matière de gestion des risques.

CHAPITRE 1

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. CONCEPTS GENERAUX :

Faire un retour épistémologique de la discipline permet de comprendre l'évolution de la place de la notion des risques dans les recherches universitaires, de mieux appréhender les concepts qu'elle mobilise et de rendre compte des démarches qu'elle développe (Escaffre, 2014). Reghaezza (2011), a donné une définition synthétique du risque en géographie comme étant la menace qui résulte de l'exposition d'une population ou de biens vulnérables à un processus pouvant représenter un danger». Dans ce volet, nous avons effectué une revue de littérature succincte dans la géographie des risques à travers la consultation des différents travaux et recherches partant de l'expérimentation à la modélisation spatio-temporelle des risques suivi d'une illustration des différentes définitions du risque citées dans la littérature puis, l'énoncée des différentes méthodes d'analyse et d'évaluation portant sur l'intérêt de l'utilisation des techniques nouvelles dans la modélisation. Le risque s'explique différemment, mais avec le temps, de nouveaux risques apparaissent, et notre aptitude à les gérer change.

Le risque, « *risk* » en anglais, signifie la possibilité, probabilité d'un fait, d'un événement considéré comme un mal. C'est aussi un événement dont l'arrivée aléatoire, est susceptible de causer un dommage aux personnes ou aux biens ou aux deux à la fois ⁽⁵⁾. Le risque est un danger éventuel, plus ou moins prévisible, inhérent à une situation ou à une activité. C'est l'éventualité d'un événement futur, incertain ou d'un terme indéterminé, ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage ⁽⁶⁾. C'est aussi un danger éventuel plus ou moins prévisible ⁽⁷⁾. Le concept de risque, prend en compte deux éléments: la probabilité que survienne un élément dangereux et la sévérité de ses conséquences ⁽⁸⁾. Le risque est à la croisée de l'aléa (étymologiquement, le hasard, le jeu de dè) et de la vulnérabilité (Dauphiné ; 2001, 2004).

Le risque et compte tenu de l'état de fait de notre société à risques, est un cout qui s'avère être et s'annonce de plus en plus élevé. C'est le prix du progrès en somme, des avancées technologiques, du degré de précision des prévisions de tout genre, des exigences sociales et économiques, des anticipations sur les événements, réels ou virtuels.

⁽⁵⁾ : Serge Braudo, 1996 : Dictionnaire juridique. <http://www.dictionnaire-juridique.com/serge-braudo.php> consulté le 20-03-2014

⁽⁶⁾ : Centre Nationale de Ressources Textuelles et Lexicales du CNRS. <http://www.cnrtl.fr/> consulté le 13-02-2014

⁽⁷⁾ : Dictionnaire Le Petit Robert, 1996.

⁽⁸⁾ : La Commission européenne. http://ec.europa.eu/index_fr.htm consulté le 11-11-2014

Pris dans sa signification socio-spatiale, dans toute l'acception du terme, aux incidences pluri- et multidisciplinaires, systémiques, aux interactions permanentes, historiques et présentes, entre la nature et la société, aux aspects géopolitiques les plus vastes, le risque est un vrai objet géographique ⁽⁹⁾. Le risque est la combinaison de la probabilité d'un événement d'occurrence redouté (Incident ou accident) et la gravité de ses conséquences sur une cible donnée ⁽¹⁰⁾. C'est un terme qu'on peut utiliser dans tous les domaines ; on peut alors parler de risque naturel, technologique, économique, social ou géopolitique. En géographie des risques, ce dernier est perçu dans un cadre spatial dont on peut distinguer deux types : naturel et technologique. Le risque naturel tel que défini par la communauté scientifique est la probabilité qu'un phénomène naturel destructeur se réalise entraînant des dommages dans une zone donnée. C'est le manquement de l'homme à la nature, dans la mesure où celui-ci a failli, face à elle, déranger le fonctionnement naturel, précipiter le désastre ⁽¹¹⁾.

Triplet (2015), définit le risque naturel comme étant un événement dommageable doté d'une certaine probabilité, conséquence d'un aléa survenant dans un milieu vulnérable.

C'est donc la conjonction de l'aléa et d'un enjeu. Le terme aléa « Hazard » en anglais, s'impose dans la plupart des cas comme à la fois le phénomène naturel potentiellement dangereux et l'expression de ce potentiel sous la forme d'une probabilité dans un endroit donné caractérisé par une période de retour (Léone, Meschinet De Richemond, Vinet, 2010). Quant aux enjeux, ils représentent les personnes et les biens susceptibles d'être affectés directement ou indirectement par le phénomène destructeur mais à des degrés différents traduisant leur vulnérabilité face à l'aléa.

La vulnérabilité, au sens le plus large, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un aléa sur les enjeux.

Dans ce sens, le risque est explicitement lié à la combinaison de ces trois éléments selon la formule classique :

$$\text{Risque} = \text{aléa} * \text{enjeux} * \text{vulnérabilité} \dots\dots\dots (1)$$

Le risque tel que précédemment défini peut prendre des tournures catastrophiques dépassant de loin les capacités de réponse des sociétés qu'on qualifie le plus souvent de risque majeur.

9 ⁽⁹⁾ : Wackermann G., 2004 : Géographie des risques, Paris, Ellipse 2004, 501p.

⁽¹⁰⁾ : Triplet P., 2015 : Dictionnaire de la biodiversité biologique et de la conservation de la nature. ISBN : 978-2-9552171.

⁽¹¹⁾ : Dauphiné A., 2004 : Réflexions préliminaires sur les vulnérabilités analytiques et synthétiques – In : Veyret, Y., Garry, G. et Meschinet de Richemond, N. (dir.): *Risques naturels et aménagement en Europe*, E. Armand Colin, Paris, pp. 68-71

Selon Triplet (2015), le risque majeur est le risque pouvant conduire à des conséquences graves pour les populations exposées, que ce soit en raison de causes naturelles ou liées aux activités humaines. Le risque majeur représente aussi toute menace probable pour l'homme et son environnement pouvant survenir du fait d'aléas naturels exceptionnels et/ou du fait d'activités humaines ⁽¹²⁾. La vision classique qui domine jusqu'à présent et perdure encore met l'accent sur les phénomènes naturels qui causent des catastrophes et menacent l'homme et son environnement. Selon cette vision, l'aléa est au centre du système explicatif du risque. Récemment, les sciences humaines et la géographie des risques s'appuient de plus en plus sur la vulnérabilité dans l'étude des risques.

Les sociétés ne subissent pas les aléas ; elles participent plus ou moins consciemment à la construction des vulnérabilités ⁽¹³⁾. Ces auteurs, au terme de leurs travaux menés sur les aléas naturels et la gestion des risques proposent une grille d'analyse des risques (figure 1.1) qui englobe les composantes du risque. Il s'agit d'un cycle d'identification, d'explication et de spatialisation des composantes du risque et qui finit par caractériser l'expression concrète du risque. Les vulnérabilités sont dues, d'une part, à l'importance des biens exposés (personnes, logements, activités économiques situés en zone à risque) et, d'autre part, à la vulnérabilité organisationnelle ou fonctionnelle des enjeux. L'homme autant qu'acteur, par ces pratiques insouciantes volontaires ou non contribue à la production du risque en s'exposant aux phénomènes naturels. Au vu des causes, les risques naturels représentent la complexité d'une thématique qui émerge et préoccupe les sociétés développées ou en voie de développement.

A cet effet, les risques peuvent être abordés selon une approche scientifique permettant leur évaluation à travers la détermination des facteurs ou indicateurs ayant une influence sur leur apparition. La spatialisation des risques ou des zones à risque permet d'orienter des actions pour les réduire et constitue le point de convergence pour les décideurs. Dans cette optique, la cartographie est d'une importance capitale et se fait à des échelles qui dépendent du risque et son ampleur. L'évolution des relations homme-nature conditionne également la production de risques, à travers les représentations mentales (Schoeneich et Busset-Henchoz, 1998 ; Paulet, 2002).

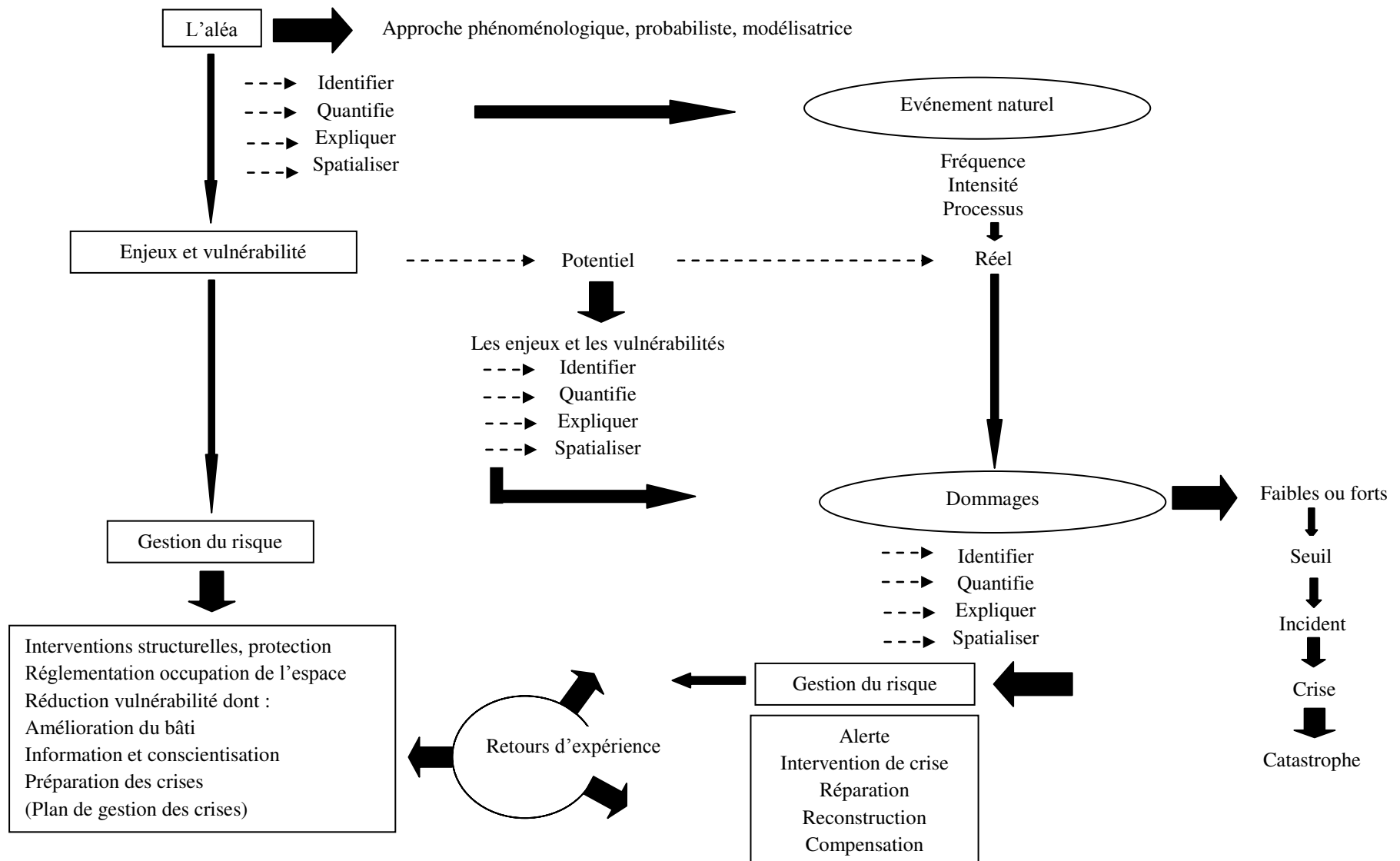


Figure 1. 1 Grille d'analyse des risques naturels (FL, NMR, FV, 2010)

Notons aussi que Leone (1996), à proposé une formulation analytique du risque projetée sur les mouvements de terrain qui reprend le même principe que celui énoncé par Varnes (1984), précurseur en la matière. Il a supposé que le risque spécifique (R_s) peut être encouru par un élément exposé.

$$R_s = fct (P_o, P_a, P_p) * D \dots\dots (1.1)$$

Avec:

P_o : la probabilité d'occurrence du phénomène liée aux facteurs de prédisposition (F_p) et les facteurs aggravants (P_d);

$$P_o = fct (F_p, P_d) \dots\dots (1.2)$$

P_a : la probabilité spatiale pour que le phénomène atteigne l'emplacement de l'élément exposé en supposant qu'il soit présent ($P_p = 1$) à ce moment là P_a est relative par rapport à un autre élément exposé;

P_p : la probabilité temporelle pour que l'élément exposé soit présent au moment où le phénomène l'atteint ;

D : niveau d'endommagement potentiel de l'élément exposé sous l'effet du phénomène pressenti (vulnérabilité).

Les valeurs sont comprises entre 0 et 1 pour chacune des composantes où 0 traduit le risque nul du fait de l'absence d'élément exposé et 1 traduit un risque total. Le risque global (R_g) est la somme des risques spécifiques des éléments exposés. Il est encouru par un ensemble d'éléments exposés et exprimé comme suit :

$$R_g = \sum_i R_s * V_i \dots\dots (1.3)$$

Avec :

R_g : le risque global encouru par un ensemble d'éléments exposés ;

R_s : le risque spécifique encouru par chaque élément exposé ;

V_i : la valeur unitaire initiale de chaque élément exposé ayant le même niveau d'endommagement D .

Il est évident ainsi, de comprendre l'accroissement des enjeux en matière de prévention urgente des risques engageant des actions de protection durables.

Dans ce travail, notre attention se limite aux aléas hydroclimatiques et morphodynamiques.

Dans une démarche de cartographie préventive, il convient de décomposer l'aléa naturel en autant de sous-aléas ou effets induits ou associés ⁽¹³⁾. L'ampleur des effets induits dépend de la vulnérabilité des enjeux et notre aptitude à les protéger. La vulnérabilité, récemment introduite dans l'analyse des risques, constitue actuellement l'élément de base dans leur évaluation. Nombreuses sont les définitions de la vulnérabilité ⁽¹⁴⁾. Les définitions courantes reposent soit sur la vulnérabilité en tant qu'état, soit en tant que conséquence ou même en tant que causes (Tableau 1.1). La définition la plus appropriée à l'analyse des risques est celle « d'une propension à l'endommagement ou au dysfonctionnement de différents éléments exposés (biens, personnes, activités, fonctions, systèmes) constitutif d'un territoire et d'une société donnée » ⁽¹⁵⁾. Dans une approche sociale des Nations Unies, la vulnérabilité renvoie à une prédisposition des populations à être affectées par un événement préjudiciable externe, ou une incapacité de leur part à faire face aux désastres qui pourraient survenir. Au regard des scientifiques, la réduction de la vulnérabilité devient dès lors optimale dans la mesure où les dommages sont totalement compensés par l'homme. La vulnérabilité est donc un état permanent et dynamique qui traduit la complexité du système dans lequel elle s'inscrit et peut être diagnostiquée selon deux approches :

A- Qualitative (analytique, sociogéographique) basée sur l'analyse des facteurs (géographiques, techniques, socio-économiques ou institutionnels) de prédisposition au dommage appréhendés par des indicateurs variables suivant la nature des éléments exposés (enjeux) et l'échelle d'analyse (locale, régionale, nationale) dont l'objectif est de mettre en évidence l'interactions de ces indicateurs en tant que causes directes ou indirectes pour distinguer :

- La vulnérabilité physique ou structurelle (infrastructures, bâti, ouvrages d'art) ;
- La vulnérabilité humaine (morts, blessés, effets sur la santé) ;
- La vulnérabilité sociale (basée sur des approches sociales) ;
- La vulnérabilité environnementale (composantes du milieu naturel) ;
- La vulnérabilité fonctionnelle (fonctions et activités économiques notamment).

Tableau 1.1 : Différentes définitions de la vulnérabilité dans le champ de l'évaluation des risques d'origine naturelle (Leone, 2007)

Définition de la vulnérabilité	Source	Date	Références		
			ETYM	FACT.	METH.
D'institutions impliquées dans la gestion du risque					
The characteristics of person or group in terms of their capacity to anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a natural or man-made hazard	IFRC	1999		X	X
Degré de perte (de 0% à 100%) résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels.	ONUG-DHA	2000			X
The degree to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity.	IPCC	2001	X	X	X
A set of conditions and processes resulting from physical, social, economical and environmental factors, which increase the susceptibility of a community to the impact of hazards. Positive factors, that increase the ability of people and the society they live in, to cope effectively with hazards, that increase their resilience, or that otherwise reduce their susceptibility, are considered as capacities.	ISDR (ONU)	2002		X	
La vulnérabilité définit la mesure dans laquelle un système peut être dégradé ou endommagé par l'évolution du climat. Elle dépend non seulement de la sensibilité, mais aussi de l'adaptabilité du système à de nouvelles conditions climatiques	AGORA 21 (climat)	?	X	X	X
La vulnérabilité indique la fragilité des éléments à risque par rapport à l'occurrence d'un événement. Quantifier la vulnérabilité reviendrait à estimer un coefficient où une valeur de 1 représenterait une vulnérabilité maximale et une valeur 0 une vulnérabilité nulle.	MRM-Genève	?	X		X
La vulnérabilité, c'est l'ignorance des risques, c'est le manque de préparation, de prévention. C'est vivre dans des constructions non adaptées et dans des zones dangereuses. C'est aussi l'immobilisme des institutions politiques et administratives, la non transmission de connaissances, l'absence de formation et d'information. C'est enfin exploiter les ressources naturelles sans en assurer ni le renouvellement et ni le contrôle.	AUI-ONG	?		X	
The extent to which a community, structure, service or geographic area is likely to be damaged or disrupted by the impact of a particular hazard.	USAID-OAS	?	X		
Vulnerability is the susceptibility of resources to negative impacts from hazard events.	NOAA	?	X		

D'auteurs spécialistes du risque					
Caractère vulnérable, qui peut être blessé, frappé par un mal physique	Dict. Robert	1990	X		
Propension variable d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique	D'Ercole	1994	X		
The characteristics of a person or a group in terms of their capacity to anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a natural hazard. It involves a combination of factors that determine the degree to which someone's life and live hood is put at risk by a discrete or identifiable event in nature or society. Vulnerability concept consists of two opposing forces: on one hand, the processes that cause vulnerability that can be observed, on the other hand, the physical exposure to hazards (earthquake, storms, floods, etc). Vulnerability develops then from underlying reasons in the economic, demographic and political spheres into insecure conditions (fragile physical environment, instable local economy, vulnerable groups, lack of state or private precautions) through the so-called dynamic process (e.g., lack of local institutions, under-developed markets, population growth and urbanization)	Blaikie et al.	1994	X	X	
Grandeur pouvant être évaluée par le niveau d'endommagement constaté ou potentiel d'un élément exposé donné, soumis à l'action d'un phénomène déclaré ou pressenti, d'intensité donné	Leone	1996			X
The potential for loss or the capacity to suffer harm from a hazard...can generally be applied to individuals, society, or the environment.	Mitchell & Cutter	1997	X		X
The likelihood that some socially defined group in society will suffer disproportionate death, injury, loss or disruption of livelihood in an extreme event, or face greater than normal difficulties in recovering from a disaster.	Handmer & Wisner	1998			X
Potential for losses or other adverse impacts. People, buildings, ecosystems or human activities threatened with disaster are vulnerable. Essentially, vulnerability refers to the potential for casually, destruction, damage, disruption or other form of loss with respect to a particular element	Alexander	2000			X
The amount of (potential) damage caused to a system by a particular climate-related event or hazard	Jones & Boer	2003			X
As a state that exists within a system before it encounters a hazard event	Allen	2003			
Vulnerability is the degree to which a system, subsystem, or system component is likely to experience harm due to exposure to hazard, either a perturbation or stress/stressor	Turner et al.	2003			X
Vulnerability (in contrast to poverty which is a measure of current status) should involve a predictive quality: it is supposedly a way of conceptualizing what may happen to an identifiable population under conditions of particular risk and hazards. Is the complex set of characteristics that include a person's: initial well-being (health, moral, etc);self protection (asset pattem, income, qualifications, etc); social protection (hazard preparedness by society, building codes, shelters, etc); social and political networks and institutions (social capital, institutional environment, etc)	Cannon et al.	2004		X	
An internal risk factor of the subject or system that is exposed to a hazard and corresponds to its intrinsic predisposition to be affected, or to be susceptible to damage. In other words, vulnerability represents the physical, economic, political or social susceptibility or predisposition of a community to damage in the case of a destabilizing phenomenon of natural or anthropogenic origin	Cardona	2004	X	X	
Propension à l'endommagement ou au dysfonctionnement de différents éléments exposés (biens, personnes, activités, fonctions, systèmes) constitutifs d'un territoire et d'une société donnés	Leone	2007	X		

ETYMO : Référence à l'étymologie du mot ; FACT. : Référence aux facteurs de vulnérabilité ; METH. : Référence à la méthode d'évaluation

B- Quantitative (systémique) qui mesure l'endommagement potentiel en tant qu'indicateur de vulnérabilité. Cet endommagement potentiel est décrit par des courbes, matrices ou même des tableaux qui permettent de simuler les dommages.

L'approche quantitative est largement utilisée dans la simulation des pertes économiques liées aux inondations ou à des séismes et réservée surtout au calcul des dommages directs (destruction de biens ou même dans le cas de pertes humaines). Pour certains experts : « les causes de vulnérabilité face aux événements naturels tiennent davantage aux contraintes quotidiennes qui entourent les victimes qu'à une dimension extraordinaire des aléas naturels » (Wisner et al., 2004 ; Gaillard, 2007). Donc, la réduction des vulnérabilités est l'augmentation de la résilience des sociétés. Le terme de résilience vient du latin « *Resilio* » qui signifie rebondir. La résilience physique mesure la capacité d'un objet à retrouver son état initial après un choc ou une pression continue (Mathieu, 1991). Par rapport à l'écologie, les économistes ont souligné que la résilience pouvait adopter deux formes (Berkes et Folke, 1998). La première, la résilience réactive est semblable à la résilience écologique ou mécanique. La seconde, la résilience proactive, fait référence à deux notions, celles de l'apprentissage et de l'anticipation des sociétés humaines sur le futur (Dauphiné et Provitolo, 2007). Enfin, les tendances lourdes de l'économie et des modes de vie modifient le risque par la production d'enjeux ou de nouvelles vulnérabilités où il est fréquent aussi de se confronter à de multiples aléas naturels générés par la combinaison de leur magnitude, durant un moment donné en un lieu donné. L'évaluation de ces risques associés engage une démarche analytique qui mesure le potentiel d'endommagement par une intensité.

2. UTILISATION DES TECHNIQUES NOUVELLES DANS L'EVALUATION DES RISQUES :

Conformément à l'article 11 de la loi 04-20 qui stipule le droit d'accès à l'information en matière de prévention des risques majeurs, de nombreuses réflexions ont porté sur les sources et les destinataires de cette information qui représente le cadre spatial des données et qui a donné lieu aux Systèmes d'Informations Géographiques.

2.1 Utilisation des SIG :

Le SIG fournit un éclairage sur les accidents qui peuvent faciliter la planification (Levine, 2006), mais il leur manque les mécanismes permettant d'intégrer les préférences du décideur et d'effectuer un choix dans un contexte d'évaluation d'objectifs et de critères conflictuels (Molines, 2001).

La conception d'un Système d'Information Géographique est un processus complexe, qui demande une réflexion poussée et la résolution de nombreux problèmes : de l'étude préliminaire au mode de stockage des données, une suite d'étapes peut être identifiée, de la plus abstraite à la plus technique ⁽¹⁶⁾. Selon Mané (2002), les SIG sont définis comme étant des systèmes informatiques permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. Les SIG sont utilisés pour créer des modèles de simulation pour les eaux de surfaces, l'érosion des sols, la dynamique éolienne des sables...etc. Saint-Gérand (2005), suggère que l'utilisation d'un SIG à des fins d'aide à la décision et de compréhension de la complexité spatiale du risque routier, demande au préalable d'identifier les données nécessaires et leur mode d'organisation au sein de la base de données spatiale. Ces modèles peuvent être couplés aux changements des caractéristiques spectrales du sol qui sont observés par les capteurs des satellites. Les résultats sont un système qui facilite l'identification des indicateurs environnementaux et ses interactions. Ce genre de système de modélisation a déjà marqué un pas très important dans la possibilité de prédiction dépassant ainsi les méthodes traditionnelles ⁽¹⁷⁾. Les SIG sont particulièrement intéressants pour la caractérisation spatio-temporelle et la modélisation des risques. Notons aussi que les SIG ont été utilisés pour des fins de suivis et de gestion des risques naturels. Certains auteurs ont utilisé un SIG, des images satellitaires, la modélisation de l'érosion, et des méthodes de prises de décisions multicritères afin de supporter les procédures de réclamations du foncier pour les mines abandonnées ⁽¹⁸⁾. D'autres chercheurs, ont défini une méthodologie pour l'évaluation des risques d'inondation en intégrant les SIG et la modélisation hydrologique distribuée ⁽¹⁹⁾.

⁽¹⁶⁾: Laurini R. et Milleret Raffort F., 1990: Principles of Geomatic Hypermaps, in 4th International Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, pp. 642–651. In Hajji H., 2009: Gestion des risques naturels une approche fondée sur l'intégration des données. Thèse de doctorat en informatique, INSA Lyon, France, p23.

⁽¹⁷⁾: Lesser M., 2003 : Remote Sensing Monitoring and Assessment Potential for Desertification; An Undergraduate Report Submitted In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Honours Bachelor of Science in Forestry, Faculty of Forestry and the Forest Environment, Lakehead University, 16p in El Bouqdaoui K., 2007: Approche méthodologique de l'évaluation du risque potentiel d'érosion des sols du bassin versant du SROU (moyen Atlas, MAROC) à l'aide de la télédétection et du SIG. Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée, Université Mohammed V, Rabat, 32p.

⁽¹⁸⁾: Hickey R. et Jankowski P., 1997: GIS and environmental decision making to aid smelter reclamation planning, Environment and Planning, A: vol.29, 1997, pp. 5-19.

⁽¹⁹⁾: L. Lanza et F. Siccardi, The role of GIS as a tool for the assessment of food hazard at the regional scale, In A. Carrara; F. Guzzetti, Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic, Netherlands, 1995

L'utilisation d'un SIG à des fins d'aide à la décision et de compréhension de la complexité spatiale du risque routier, demande au préalable d'identifier les données nécessaires et leur mode d'organisation au sein de la base de données spatiale ⁽²⁰⁾.

Les SIG sont aussi un outil précieux pour spatialiser les risques d'érosion en prenant tout à la fois en compte les facteurs et les indicateurs de l'érosion (Mlaouhi, 2003, Tribak et al., 2006). Les SIG par leur capacité de stockage, analyse, modélisation et affichage des données offrent l'opportunité d'évaluer les risques sur de vastes étendues au vu de la disponibilité des données bien sûr (Solberg, 1992 ; Lamachère et Guillet, 1996 ; Dwivedi et al., 1997 ; Kumar et al., 1996, 2008 ; Manche, 2000 ; Bou Kheir et al., 2001 ; Bonnet, 2002 ; Mané, 2002 ; Propeck et al., 2002, 2009 ; Talbi et al., 2002 ; Tidiane et al., 2003 ; Veihe, 2002 ; Saint-Gérard, 2002, 2005 ; Leone, 2006 ; Bensaid, 2006 ; Benslimane, 2008 ; Marzloff et Poesen, 2009 ; Paul-Hus, 2011 ; Guettouche et al., 2011 ; Guettouche et Derias, 2013).

2.1.1 Structuration d'un SIG:

Les systèmes d'information géographique servent à enregistrer des informations spatiales afin qu'elles puissent être efficacement exploitées pour questionner, obtenir rapidement la réponse (requêtes) et s'assurer que les réponses soient dépourvues d'erreurs grossières et facilement mises à jour. Le SIG brièvement illustré dans ce volet représente un sous-ensemble parce qu'on ne peut tout représenter et qu'il faut choisir les entités géographiques pertinentes car il est toujours nécessaire de schématiser la réalité.

Le SIG repose aussi sur un modèle cartographique qui illustre le type d'entité graphique (points, lignes, polygones) par lequel sont représentées les entités géographiques et comment ces entités seront réparties sur différentes couches et un modèle conceptuel qui illustre les différentes entités géographiques ou physiques (lac, route, personne) et les relations qui existent entre ces dernières (appartenance, division).

L'exemple qui suit vise à illustrer simplement les aspects structuraux des SIG afin de donner une vue d'ensemble sur les activités reliées à la structuration ainsi qu'à laisser entrevoir les effets de l'organisation des informations sur les possibilités de requêtes effectuées sur la base de données structurée.

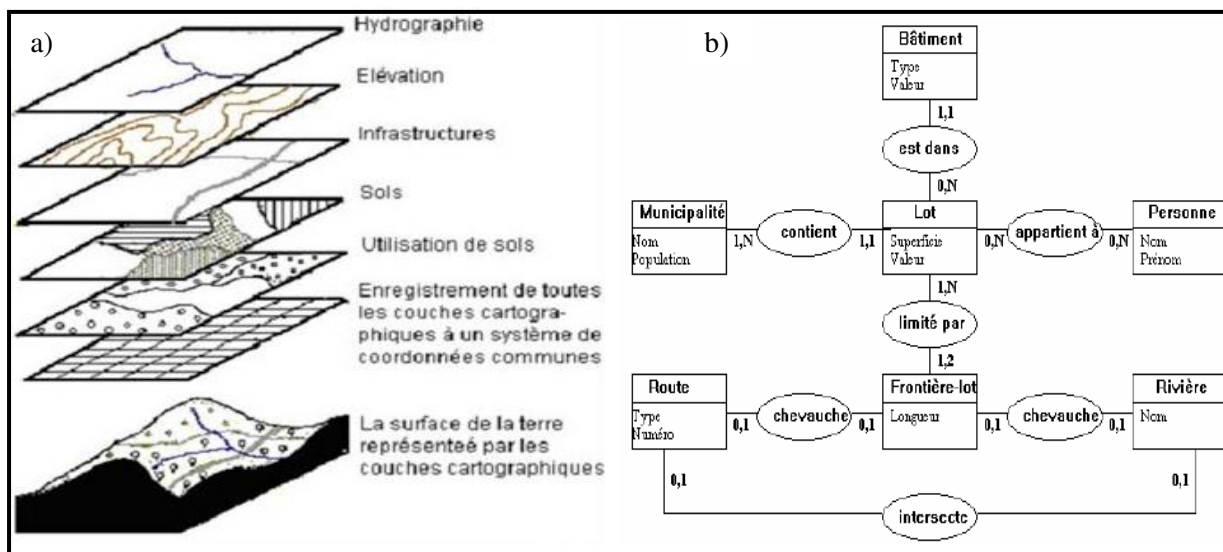


Figure 1.2 Structure des données d'un SIG : a) modèle cartographique ; b) modèle conceptuel

Pour plus de détails, nous conseillons nos aimables lecteurs de consulter « Structures de données appliquées aux SIG » (Saint-Onge, 2005). Toutefois, la technologie actuelle souffre encore de plusieurs lacunes concernant essentiellement l'absence de capacités analytiques capables de supporter la nature multicritère des problèmes spatiaux ⁽²¹⁾.

2.2 Utilisation de l'AMC :

Récemment, le concept d'indicateurs a été introduit dans les méthodes d'évaluation des risques. Ces des variables traduisant l'état d'un phénomène complexe dont l'analyse multicritère est décisive pour combler les imperfections. C'est ainsi, que l'analyse multicritère doit son émergence à la nécessité de disposer d'une aide pour trouver, de façon plus transparente, des compromis dans une situation de choix complexe (Saaty, 1980, 2004 ; Roy, 1985 ; Keeney, 1992 ; Roy and Vanderpooten, 1996 ; Maczewski, 1996, 1999, 2000, 2004, 2006 ; Joerin, 1997 ; Graillet et al., 2001 ; Maczewski et al., 2003 ; Wang et al., 2003 ; Maczewski and Rinner, 2005 ; Laaribi, 2000 ; Bensaid, 2006; Chakhar, 2006 ; Chauviteau et Vinet, 2006 ; Chandio and Bin Matori, 2011). L'AMC à été particulièrement appliqué pour résoudre des problèmes complexes à référence spatiale notamment en aménagement du territoire et l'occupation des sols (Chakar, 2006 ; Koo et O'Connell, 2006 ; Bensaid, 2006). Cependant, les méthodes d'AMC toutes seules sont incapables de tenir compte de tous les aspects des problèmes de décision à référence spatiale.

C'est pourquoi, l'intégration des SIG et de l'AMC constitue une voie privilégiée incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables outils d'aide à la décision (Laaribi, 2000). Chakar (2006), à énuméré plusieurs tentatives dans l'objectif de faire évoluer les SIG vers de vrais outils d'aide à la décision et à conclu que la solution la plus diffusée consiste en l'intégration de différentes techniques et outils de recherche opérationnelle et d'informatique dans le SIG parmi lesquels, l'AMC qui offre à l'évidence plusieurs avantages au niveau de la prise de décision lorsqu'il doit être tenu compte d'intérêts conflictuels. Il a même rappelé qu'avec les approches conventionnelles d'analyse multicritère spatiale (sans utilisation de SIG), la dimension spatiale est totalement dissimulée alors que plusieurs chercheurs (Guitouni et al., 1999, Herwijnen and Van Rietveld, 1999 ; Jiang and Esatman, 2000 ; Jankowski et al., 2001 ; Feick and Hall, 2002 ; Phua and Minowa, 2005 ; Koo and O'Connell, 2006 ; Strager and Rosenberger, 2006) insistent sur l'importance de prendre en compte la distribution géographique des actions, des critères d'évaluation et des paramètres préférentiels.

Malczewski (2006), a répertorié plus de 319 articles concernant l'intégration SIG-AMC jusqu'à 2004. La solution la plus diffusée consiste en l'intégration de différentes techniques et outils de recherche opérationnelle et d'informatique (*computing tools*) dans le SIG.

Parmi ces outils, l'analyse multicritère (AMC) qui offre à l'évidence plusieurs avantages au niveau de la prise de décision lorsqu'il doit être tenu compte d'intérêts conflictuels.

Rappelons aussi que les méthodes multicritères sont nombreuses et présentent certaines limites quant à leur application. L'école américaine (Keeney, 1992) et l'école française (Roy, 1985 ; Roy et Vanderpooten, 1996) constituent les références de base de l'aide multicritère à la décision. Les deux méthodes sont complémentaires parce qu'elles sont adaptées à la résolution des sujets complexes.

2.2.1 L'approche (bottom-up) :

Roy (1985), s'appuyait sur une approche déterminant les conséquences qui résultent des actions entreprises structurées en dimensions puis en axes de signification autour desquels sont construits les critères où il a défini quatre problématiques⁽²²⁾.

Une problématique α liée au choix (sélection) permet de choisir entre une ou plusieurs alternatives dans le même ensemble A .

Une problématique β qui est liée au tri (affectation) permet d'affecter chacune des alternatives d'un ensemble A à un groupe.

Une problématique γ liée au rangement (classement) permet d'ordonner toutes les alternatives d'un ensemble A de la meilleure à la moins bonne et finalement, δ qui est liée à la description et permet de décrire les alternatives et/ou leurs conséquences de façon formalisée.

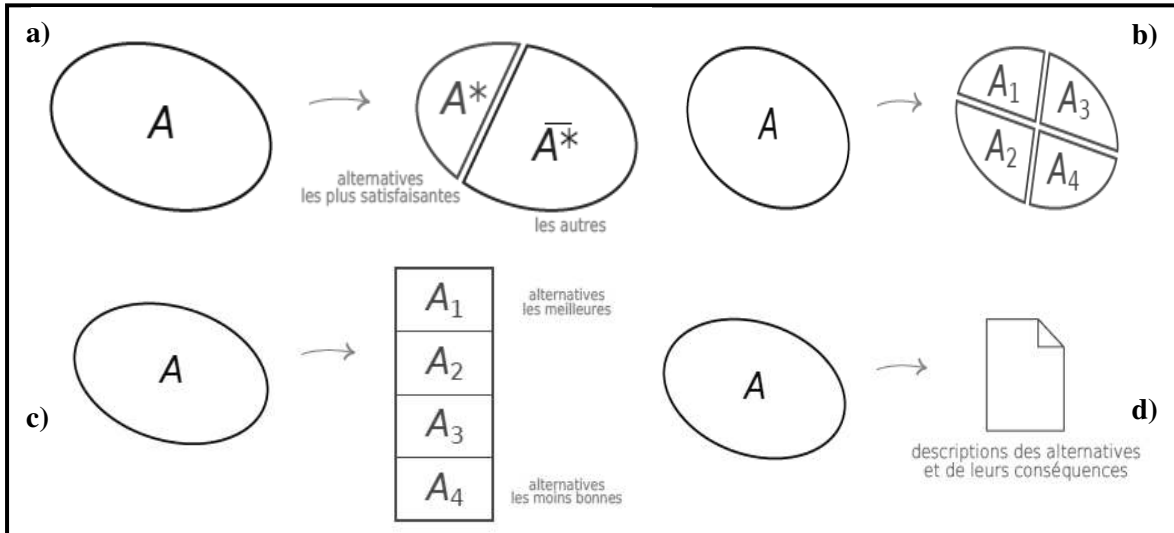


Figure 1.3 Les problématiques de l'agrégation partielle: a) α ; b) β ; c) γ ; d) δ (d'après Bonnal, 2009)

2.2.2 L'approche (top-down) :

Keeney (1992), à proposé une démarche avec une structure hiérarchique dont le premier niveau est l'objectif global qui sera par la suite divisé en sous éléments puis en sous-sous éléments jusqu'au dernier niveau qui sera mesurable (attribut).

Laaribi (2000), à proposé une méthode intermédiaire avec la structure du problème décisionnel en classes de critère en tenant compte des objectifs permettant d'orienter des actions afin de procéder l'agrégation multicritère.

(Saaty, 1980), à proposé la méthode du processus d'analyse hiérarchique (AHP) permettant de résoudre les problèmes complexes en une structure hiérarchique ou en réseau.

C'est une méthode d'agrégation complète rattachée à l'école américaine et fondée sur la comparaison de l'importance relative des critères en référence à l'aptitude pour un objectif défini. Elle est basée sur un ensemble de procédures systématiques pour analyser les problèmes décisionnels complexes. La stratégie de base est de diviser le problème décisionnel en étapes concises et compréhensibles, d'analyser chaque étape et de les intégrer de manière logique pour produire une solution sensée ⁽²³⁾. Cette approche permet aussi de choisir et comparer entre critères par paires d'options préétablies (alternatives).

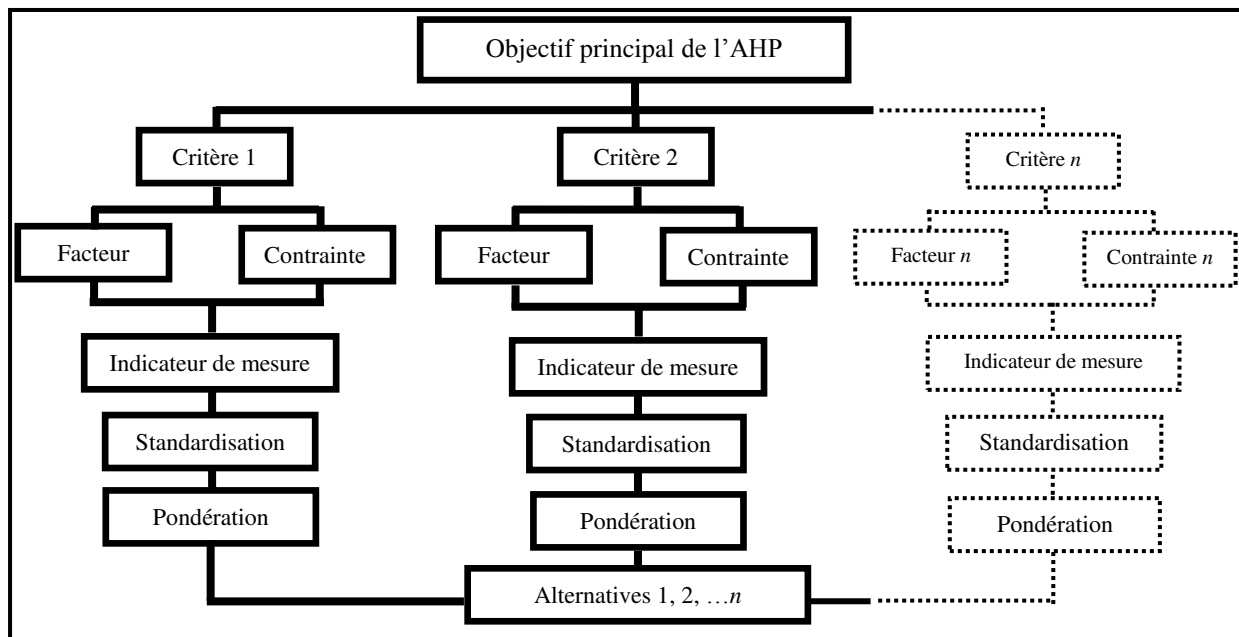


Figure 1.4 Structure hiérarchique d'un problème

L'attribution des poids s'effectue en comparant chacune des paires de critères "facteur-contrainte" en leur assignant un coefficient de pondération pour constituer une matrice de comparaison par paire.

A partir de la matrice carrée résultant d'une évaluation par paire, le calcul des valeurs propres de cette matrice permet d'obtenir le poids de chaque critère en effectuant la somme par colonne puis, la division de chacune des valeurs de la colonne par la somme de celles-ci.

Le calcul de la moyenne de chacune des lignes correspond à la valeur propre de la matrice (le poids) et la standardisation de tous les poids de façon à ce que leur somme soit égale à 1 permet d'agréger l'ensemble des évaluations de chacune des actions.

La fiabilité du résultat consiste à calculer l'indice de cohérence (*IC*) dont l'incohérence potentielle peut venir du fait qu'un critère peut ne pas être jugé de façon cohérente vis à vis d'autres.

Tableau 1.2 : Echelle de comparaison par paire

Valeur numérique	Description
1	Les deux éléments ont une importance égale
3	L'élément en ligne est un peu plus important que celui en colonne
5	L'élément en ligne est un peu plus important que celui en colonne
7	L'élément en ligne est beaucoup plus important que celui en colonne
9	L'élément en ligne est absolument plus important que celui en colonne
1/3	L'élément en ligne est un peu moins important que celui en colonne
1/5	L'élément en ligne est moins important que celui en colonne
1/7	L'élément en ligne est beaucoup moins important que celui en colonne
1/9	L'élément en ligne est absolument moins important que celui en colonne
2, 4, 6, 8	Dans certain cas, on pourra affiner en rajoutant des valeurs intermédiaires.

$$RC = IC / RI \dots\dots\dots (1.4)$$

RI : Indice aléatoire élaboré par Saaty (1980) indiquant le niveau de fiabilité d'une même évaluation effectuée à plusieurs reprises ;

IC : Indice de cohérence qui représente le niveau de fiabilité des jugements ;

RC : Ratio de cohérence défini par Saaty (1980) comme étant le rapport de l'indice de cohérence et de l'indice aléatoire. Il doit être inférieur ou égal à 10% et dans le cas contraire, il est important d'apporter des informations plus fiables.

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \dots\dots\dots (1.5)$$

λ_{max} : valeur propre maximale ;

n : taille de la matrice ;

Tableau 1.3 : L'indice de cohérence aléatoire

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3. EVALUATION DES RISQUES NATURELS:

La gestion de ces risques est aussi une question d'évaluation qui prévoit la survenance aléatoire d'un phénomène naturel et ses effets potentiels dans le temps et dans l'espace mobilisant aussi bien la recherche opérationnelle que fondamentale.

Les catastrophes naturelles sont classées et répertoriées par la base de données internationales OFDA/CRED.

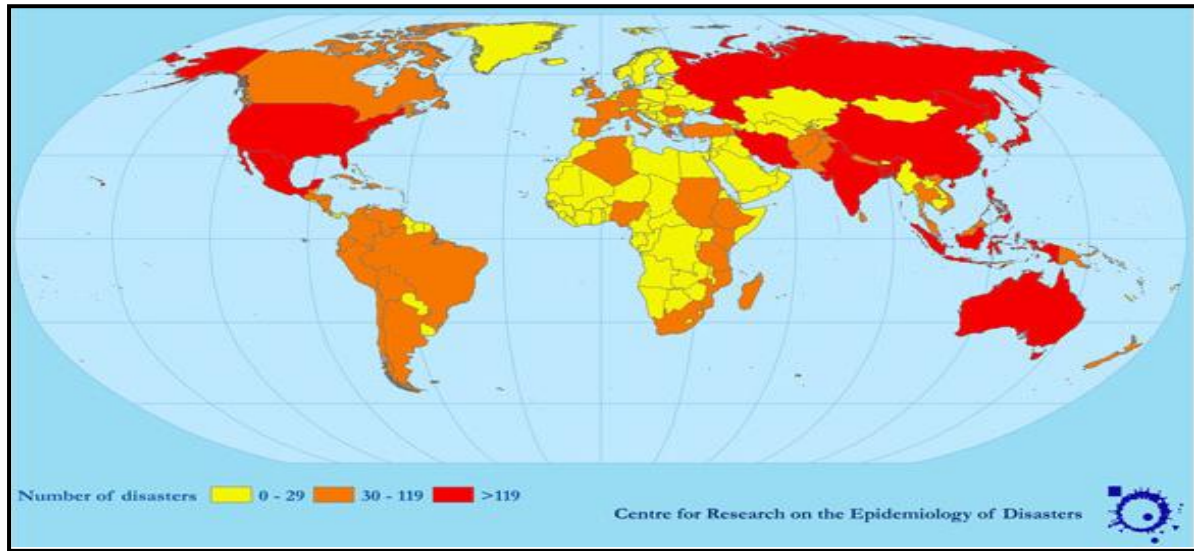


Figure 1.5 Nombre de catastrophes naturelles par pays 1975-2005 (CRED, 2007)

La prépondérance des risques d'origines naturelle dans le monde est en aggravation et les enjeux humains, économiques et environnementaux y sont considérables.

Le niveau de risque y est très élevé dans les pays où le poids démographique est croissant comme dans les pays asiatiques, l'urbanisation est galopante et l'industrialisation est en nette rebondissement induisant des effets incontournables sur l'homme et son environnement.

L'impact économique des risques naturels qui n'épargne aucune portion de la terre est souvent ressenti dans les pays développés où les infrastructures y sont diverses.

L'analyse du risque consiste en l'utilisation systématique d'informations pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque.

Elle repose sur une approche déductive ou démonstrative fondée sur l'analyse des causes et une autre inductive associative basée sur l'observation des enchainements et la modélisation.

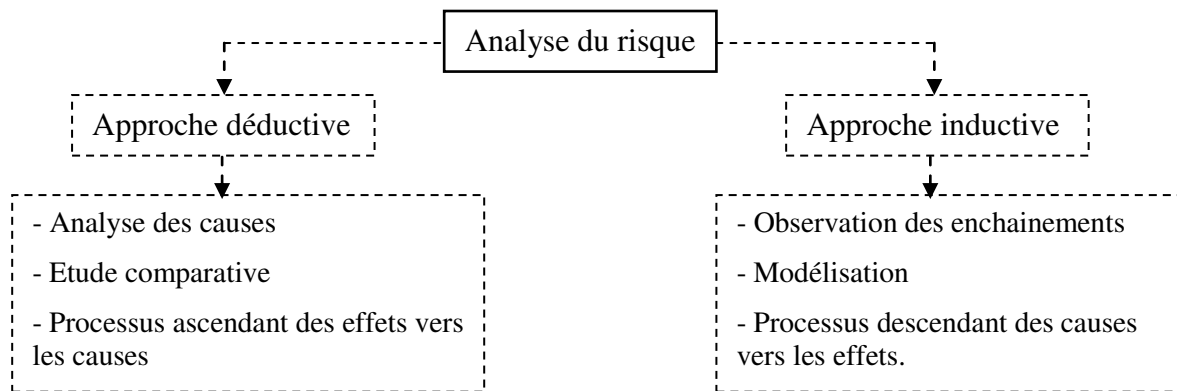


Figure 1.6 Les méthodes d'analyse du risque

L'évaluation des risques est le processus de comparaison des risques estimés avec des critères donnés pour déterminer son importance. Elle est basée sur deux méthodes : quantitative fondée sur des calculs ou qualitative sur la base des jugements d'experts.

Ces deux méthodes peuvent être basées sur des approches probabilistes permettant de distinguer le niveau de risque en fonction de la fréquence des événements et leur gravité en s'appuyant sur le couple (probabilité, gravité) ou déterministes basées sur la gravité en évaluant le maximum des effets (conséquences) lors des catastrophes ou les deux à la fois

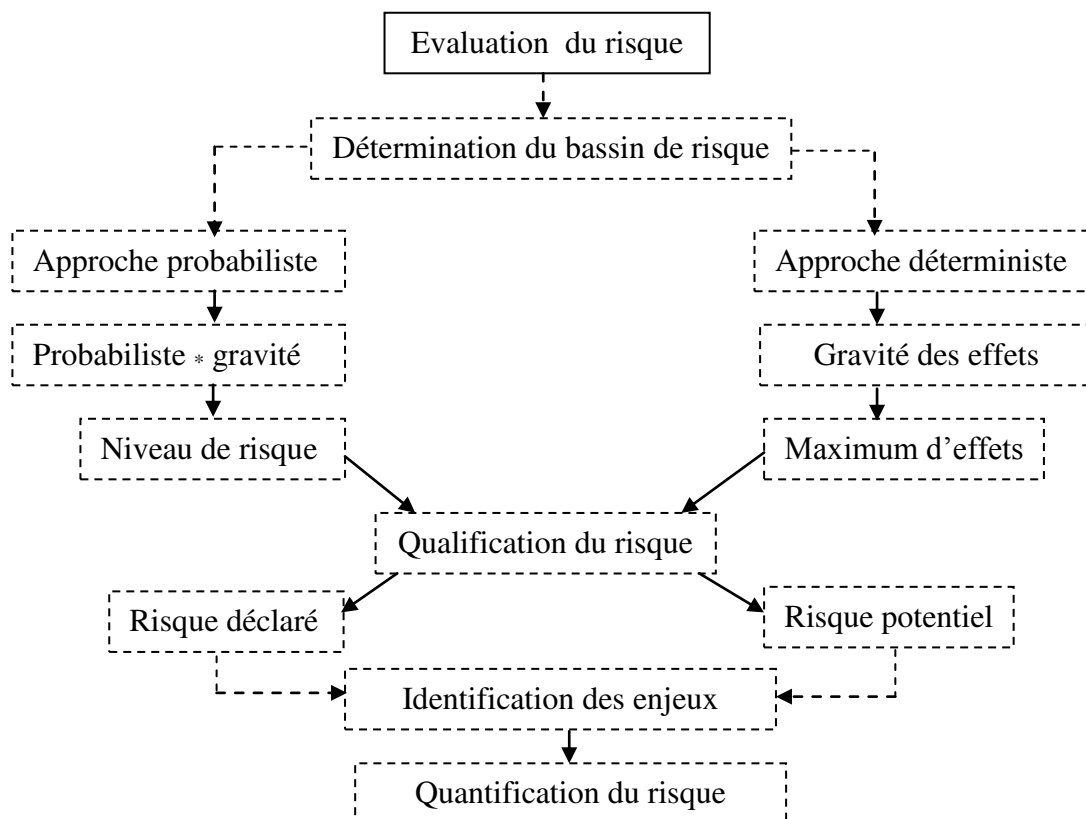


Figure 1.7 Les méthodes d'évaluation du risque

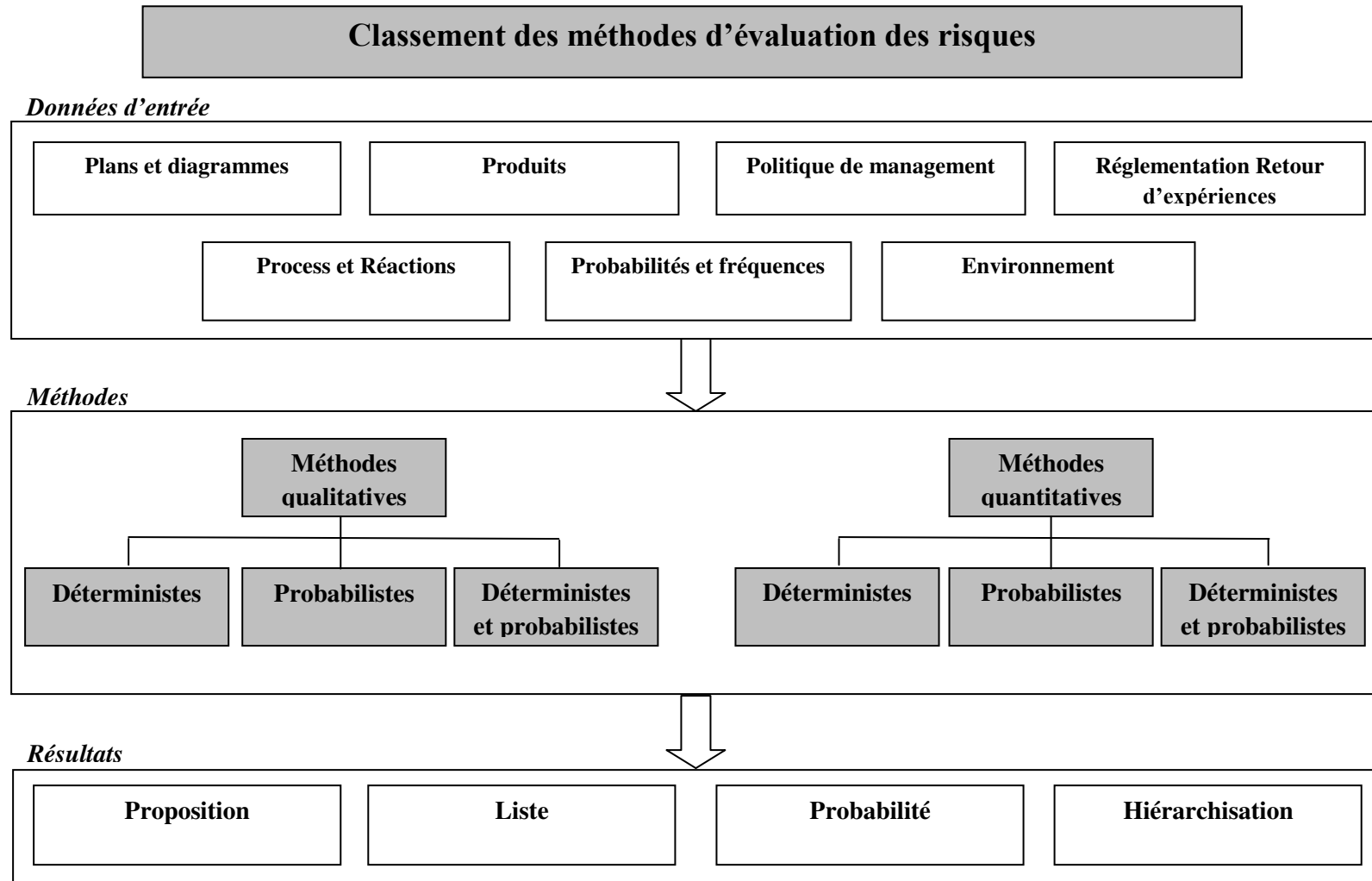


Figure 1.8 Classement des méthodes d'évaluation des risques (D'après Tixier et al., 2002)

Pour Léone, Meschinet De Richemond et Vinet (2010), l'évaluation du risque est basée sur l'observation de terrain, la disponibilité des données et l'intégration des techniques nouvelles. Elle repose en premier lieu sur la détermination de la zone d'étude (bassin de risque), sa description et la retranscription cartographique des phénomènes historiques et actuels puis, la quantification et la cartographie des niveaux d'aléa notamment en déterminant un aléa contre lequel on cherche à se protéger ou à mesurer le risque.

Ensuite, la qualification du risque à travers l'identification et la hiérarchisation des enjeux socio-économiques et humains ainsi que la caractérisation des différentes formes de vulnérabilités (Facteurs, critères, indicateurs) ;

Finalement, la quantification du risque au moyen d'indices ou de pertes potentielles.

L'évaluation des risques et leur cartographie dépendent essentiellement des méthodes et techniques relatives au champ d'application et l'aléa supposé.

Actuellement, la cartographie évolutive issue de la modélisation et l'utilisation des SIG présente beaucoup d'intérêts dans l'évaluation des risques.

NB : Les étapes encadrées peuvent faire l'objet d'une production cartographique.

La cartographie des risques repose sur le type d'aléa naturel, sa durée et ses effets potentiels. Ces cartes de risques, et au vu de leur rôle en matière d'aide à la décision permettent d'attirer le regard des décideurs sur les zones nécessitant une intervention prioritaire par le biais des cartes de vulnérabilité.

L'intégration de ce nouveau concept de vulnérabilité dans l'évaluation des risques requiert des investigations et des analyses, des entretiens avec les différents acteurs et une véritable connaissance des relations entre l'homme et son territoire.

Toutefois, une analyse appropriée aux risques naturels implique une bonne connaissance des aléas naturels ainsi que la durée et l'étendue de leurs effets.

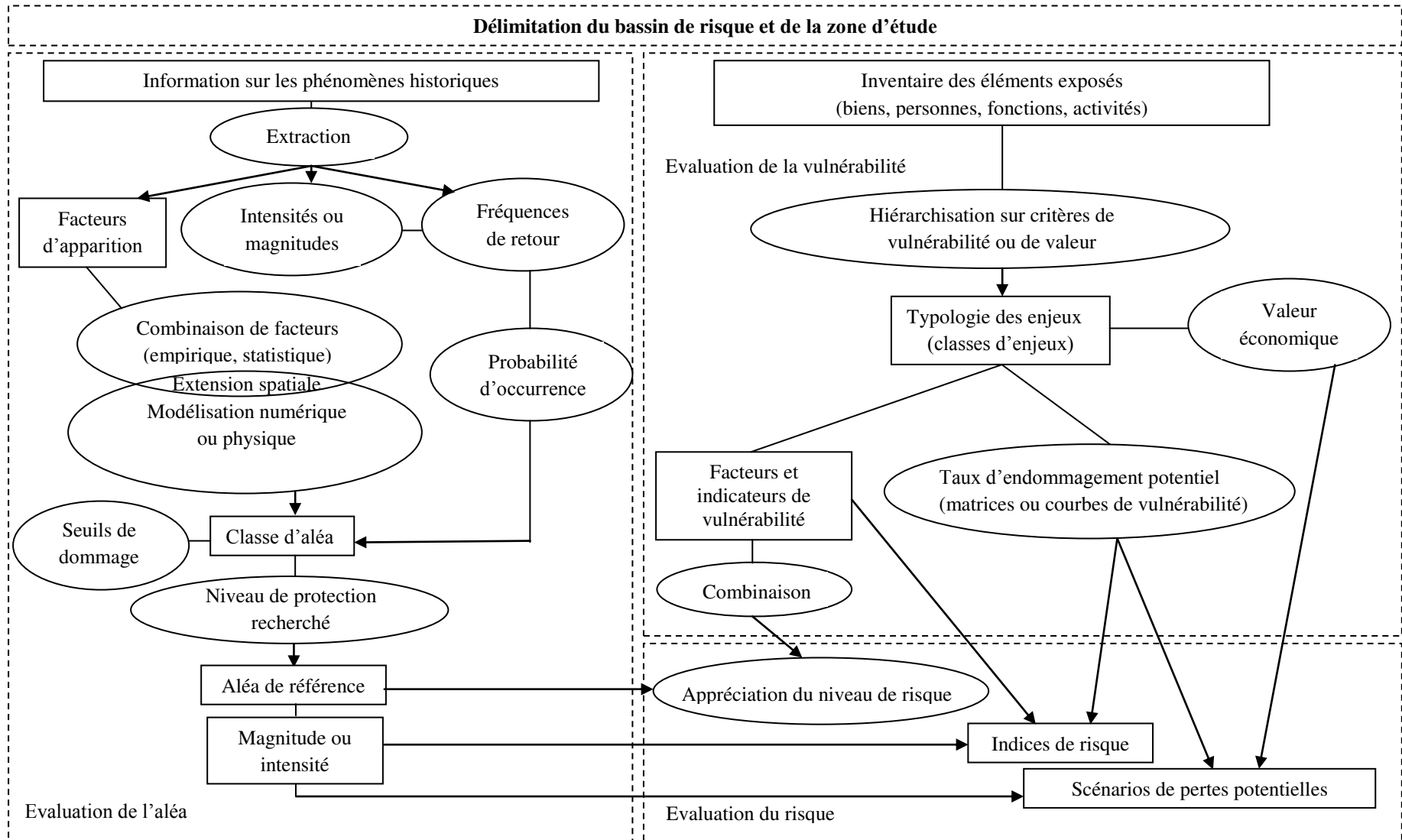


Figure 1.9 Les grandes étapes méthodologiques de l'évaluation des risques d'origine naturelle et leur mise en carte (FL, NMR, FV, 2010)

Les classifications des aléas les plus adoptées en modélisation sont d'ordre génétique basé sur les causes des aléas et leurs variations spatio-temporelles et englobe les phénomènes de la géomorphodynamique (aléa volcanique, aléas liés aux séismes, mouvements de terrain,....) ou spatio-temporelle qui s'appuie en général sur une notion d'échelle liée au temps et l'espace

Tableau 1.4 : Classification génétique simplifiée des aléas naturels

	Naturels directs	Naturels induits ou associés	Technologiques
Aléas climatiques	Vague de froid		
	Vague de chaleur	Incendie de forêt	
	Pluie verglaçante		
	Chute de neige et de grêle		
	Brouillard		
	Tornade		
	Tempête	Submersion marine, inondation, mouvements de terrain, érosion littorale, vent de sable	
	Cyclone		
	Sécheresse	Incendie de forêt, retrait gonflement des argiles	
Aléas hydro-climatiques	Inondation	Coulée de boue, érosion	Rupture de barrage et de la digue, pollution des eaux
	Avalanche de neige		
Aléas morpho-dynamiques	Retrait gonflement des argiles		
	Glissement de terrain	Tsunami, barrage de vallée, onde de submersion, onde de choc	
	Écroulement et chute de bloc		
	Coulée de débris		
	Affaissements et effondrements		
Aléas géodynamiques	Séisme	Tsunami, subsidence, mouvements de terrain, liquéfaction, rupture de faille en surface, effets de site géologiques et topographiques	Rupture de barrage
	Eruption volcanique	Retombée de cendre et de blocs, coulées et dômes de laves, émanation de gaz, coulée pyroclastique, avalanche de débris, tsunami, perturbation climatique	
Aléas extraterrestres	Impact de météorite	Onde de choc, perturbation climatique	

Source : FL, NMR, FV, 2010

Elle va des phénomènes quasi-instantanés (précipitations) à ceux de grande ampleur spatiale (érosion). Les phénomènes imprévisibles comme les séismes font parti des phénomènes instantanés, tandis que les sécheresses ou les crues font parti des phénomènes cumulatifs.

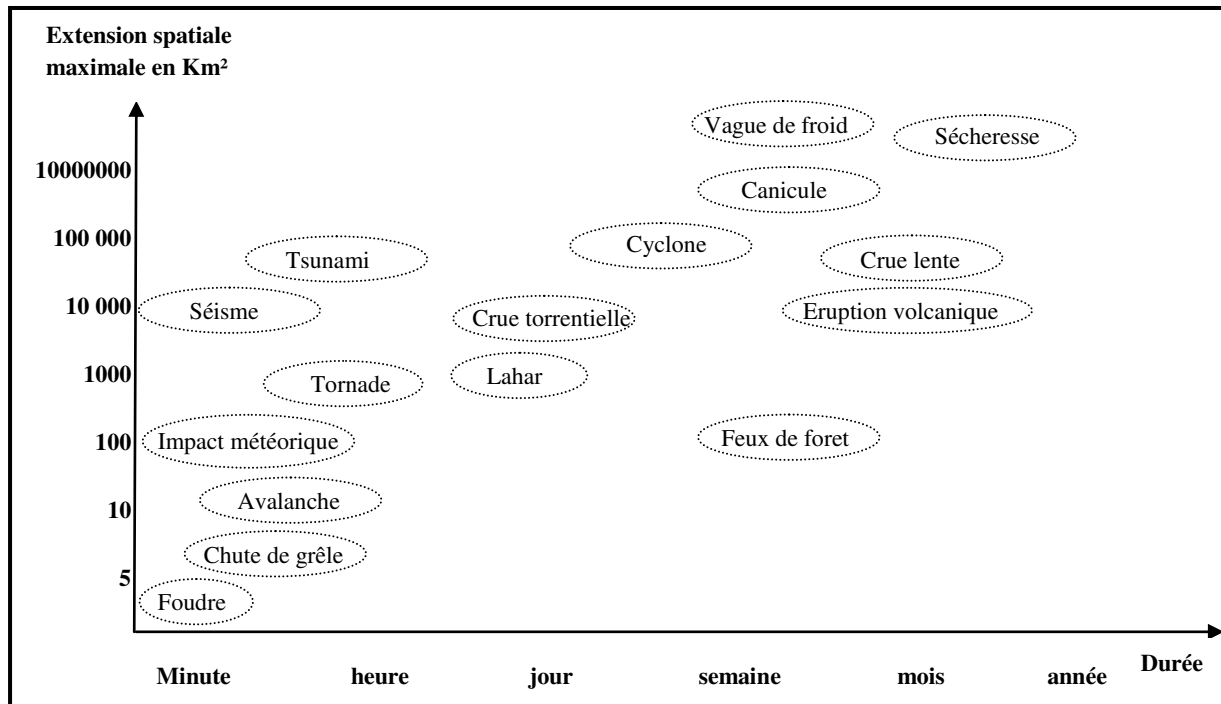


Figure 1.10 Classification spatio-temporelle des aléas (FL, NMR, FV, 2010)

NB : Les différents phénomènes sont caractérisés par leurs valeurs maximales cependant, certains impacts peuvent être plus vastes.

La complexité des phénomènes tient aussi à leurs impacts et conséquences qui peuvent atteindre une dimension universelle. La combinaison de l'intensité, l'extension et la durée du phénomène détermine la gravité de l'aléa.

Par ailleurs, les dommages occasionnés ne sont pas corrélatifs à l'extension du phénomène. Toutefois, la prévention optimale des risques passe inévitablement par une bonne connaissance des aléas à travers leur caractérisation spatio-temporelle.

Contrairement aux phénomènes imprévisibles à caractère aléatoire, il est possible de réduire la vulnérabilité des territoires en renforçant la protection contre les phénomènes prévisibles cumulatifs.

3.1. EVALUATION DES INONDATIONS :

La relation de l'homme aux cours d'eau a connu bien des vicissitudes allant de la répulsion à l'attractivité pour des raisons économiques ou récréatives (Dégardin, 2002 ; Longuépée, 2003). Les inondations figurent parmi les risques naturels les plus récurrents qui touchent en partie ou en totalité, le bassin versant Oued LABIOD et entraînent le plus souvent des dommages considérables. D'après, The International Disaster Database (www.em-dat.net), on constate que les inondations restent le risque le plus répandu dans le monde ces dernières années et représentent 34% des risques qui peuvent survenir.

Elles s'expriment sous différentes formes :

3.1.1 Inondations fluviales ou par débordement direct: qui correspondent «au débordement des eaux hors du lit mineur en zone de plaine à la suite d'une crue dans le lit majeur du cours d'eau» ; le niveau d'eau et le débit d'écoulement du cours d'eau dépassant la normale.

3.1.2 Inondations pluviales ou par accumulation d'eau ruisselée: étant la résultante d'un ruissellement généré par des pluies exceptionnelles ou des orages violents dépassant la capacité d'infiltration du sol ou des réseaux de drainage. Ces inondations peuvent se produire en zone urbanisée, en dehors du lit des cours d'eau proprement dit, quand font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses, l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement.

3.1.3 Inondations par débordement indirect : comme étant la remontée exceptionnelle de l'eau à travers les nappes alluviales, les réseaux d'assainissement ou dans des régions basses.

La crue est une « montée, en générale brève, du niveau d'un cours d'eau jusqu'à un maximum qui redescend en général plus lentement »⁽²⁴⁾.

Aujourd'hui, la distinction des inondations se fait d'une part selon un aspect hydrologique basé sur des modèles hydrauliques qui mettent l'accent sur les zones inondables.

D'autre part, selon un point de vue géographique basé sur la combinaison des différents facteurs (socio-économiques et environnementaux) pour déterminer les zones vulnérables aux inondations. Il est habituel de constater que l'Algérie enregistre un retard par rapport au pays développés en matière d'évaluation du risque d'inondation. C'est pourquoi, il convient de rappeler à travers le tableau ci-contre les différentes recherches menées dans ce sens.

Tableau 1.5 : Les méthodes d'évaluation du risque d'inondation

Approche	Méthode	Avantages	Limites
Historique	Observation de crues récentes ou anciennes et description par les textes ou schémas	Valorisation d'archives : reconstruction d'une chronologie des crues sur un secteur géographique (Benito, Ouarda et al., 2005)	Disponibilité (quantité et répartition spatiale) données d'entrée de calage ou de validation
Modèles déterministes (stochastique)	Equations représentant les lois physiques (coefficients de rugosité des canaux dans les modèles d'écoulement à surface libre)	Simulation de l'écoulement du réseau hydraulique (Terrell and Chaweng, 1993)	Seulement pour étude à grande échelle
Modèles conceptuels (comportement)	Calculent le débit sortant à partir d'un débit entrant et vice versa avec une équation de continuité	Pour les systèmes complexes et hétérogènes dont on ne peut pas, en pratique, connaître toutes leurs caractéristiques physiques et/ou quand les modèles déterministes seraient trop lourds (Perrin, Jeannin et al., 2003)	Empiriquement permet de schématiser de façon simplifiée la réalité. Demande des données complètes
Modèles empiriques	Etablissement des relations directes entre les variables d'entrée et de sortie (souvent par corrélation statistique) de mécanismes internes du système en se basant sur les lois physiques (conservation de la masse, de l'énergie, de la quantité du mouvement)	Simplification de la représentation, le modèle devient une nature intermédiaire et est alors qualifié de conceptuel (more, Fahmy et al., 1993)	Demande des connaissances fondamentales des mécanismes internes et aussi la structure physique du système. Imparfaite ou très compliquée à mettre en œuvre.
Modèles distribués (hydrologique et hydraulique)	Simulation des variables de sortie du système (débit sortant des systèmes hydrauliques par exemple) avec les variables décrivant l'évolution spatiale et temporelle du système (évolution des débits et niveaux d'eau à certains endroits du système)	Réponse aux questions posées par la gestion des inondations : la durée, la hauteur et la vitesse du courant (Nguyen-t 1999 ; Wilson, Bates et al., 2002 ; Ritzema, Lee et al., 2007.	Le développement des modèles hydrauliques est de plus en plus complexe et intéressant grâce aux améliorations en terme de capacité informatique et de disponibilité de données physiques (Horritt and Bates 2002 ; Kane 2006). La validation nécessite l'utilisation d'un grand nombre de données (Kane, 2006)
Télédétection et SIG	Traitement des images satellites avec les données géographiques.	Précision des inondations en temps réel. Détermination indirecte de quelques variables comme le niveau d'eau ou le débit (Smith, Isacks et al., 1995 ; Brakendridge, Tracy et al., 1998 ; Puech and Raclot, 2002)	Nombre insuffisant ou cout élevé des données satellitaires.
AMC	Evaluation de la vulnérabilité aux inondations	Démarche diagnostique (Barroca et al., 2005 ; Chauviteau et Vinet, 2006)	Volume considérable de Données et couteuse

Source : Anh Thuan, 2012

3.2. EVALUATION DE L'ÉROSION DES SOLS :

La dégradation des sols est un phénomène universel et durable dont la manifestation la plus courante s'effectue par érosion qui à terme peut basculer vers une situation irréversible de désertification. L'Algérie avec plus de 50 millions d'hectares de sols menacés par la dégradation dont 14 millions d'hectares en montagne fait partie des territoires les plus vulnérables à l'érosion hydrique. Elle présente un climat méditerranéen caractérisé par des pluies torrentielles irrégulières aussi bien dans l'espace que dans le temps. Ces pluies sont nettement fréquentes en automne lorsque le couvert végétal est absent et le sol, formé de plus de 70% d'argile et limon, se trouve ameubli par les labours, le transport solide atteint ces valeurs maximales (Arabi *et al.*, 1989). L'érosion moyenne varie entre 2000 et 4000 t/km²/an (Demmak, 1982), et le taux d'envasement est supérieur à 15% (Achite *et al.*, 2000).

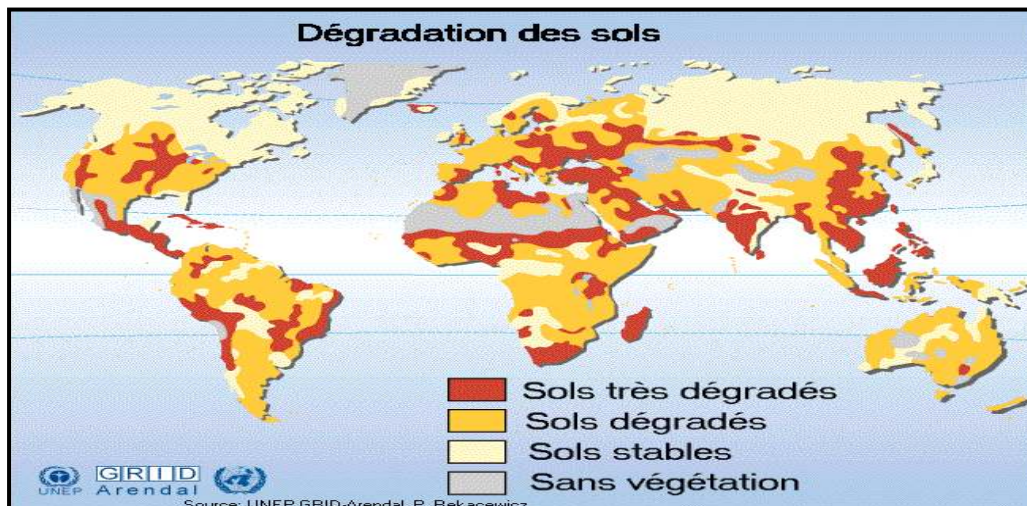


Figure 1.11 La dégradation des sols dans le monde (UNEP, 2009)

L'érosion des bassins versants est très répandue dans la région du Maghreb (Remini, 2011), puisque toutes les conditions sont réunies pour déclencher et développer un tel processus : les irrégularités climatiques, la faible densité du couvert végétale, la nature des sols qui est peu résistante à l'écoulement et la violence des crues. L'action des agents érosifs sur les reliefs conduit à la production et au transport d'une certaine quantité de sédiments qui s'accumulent en aval du bassin versant. Les sols arrachés, transportés et déposés, génèrent un flux de sédiments sur les versants et talwegs, dont la dynamique est encore mal connue ⁽²⁵⁾.

La complexité de l'érosion et son processus, génère du danger car à terme, elle peut se renverser en une situation irréversible de désertification.

3.2.1 Processus et formes d'érosion :

L'érosion est la résultante de triple actions : érosion-transport-accumulation et se manifeste lorsque les forces qui entraînent et transportent les matériaux sont plus importantes que celles qui résistent à leur mouvement.

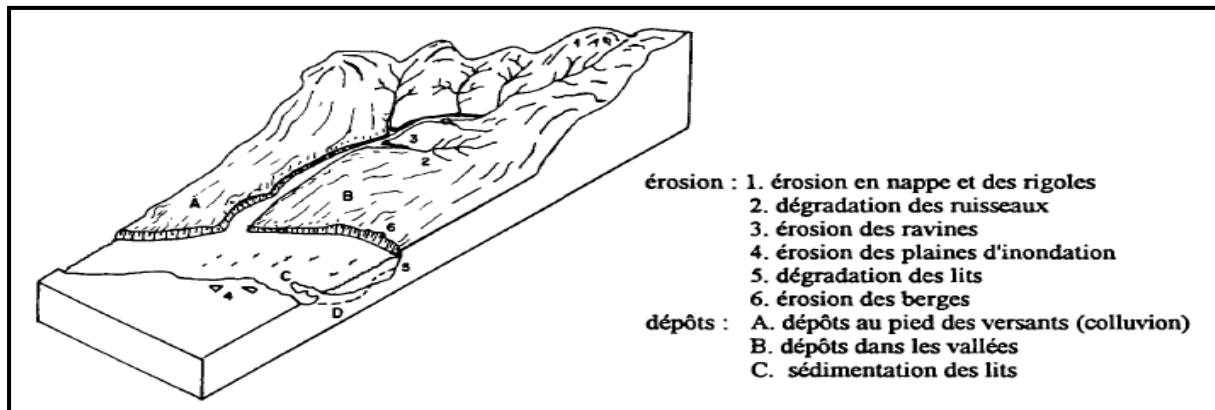


Figure 1.12 Processus typique d'érosion et de sédimentation dans les bassins versants (ASCE, 1970)

C'est l'ablation des particules de surface qui sont transportées en amont par les eaux courantes et accumulées en aval sous forme d'amas de roches détritiques ou alluvions.

Cette trilogie, provoque dans la plupart du temps l'envasement des ouvrages hydrauliques situés en amont faute de quoi, le volume d'eau emmagasiné est trop réduit pour qu'il puisse continuer de fonctionner avec le but dans lequel ils étaient construits.

Comprendre l'érosion, c'est tout d'abord parvenir à imaginer une combinaison de multiples agents qui, dans leur complémentarité, vont provoquer le déclenchement de phénomènes naturels spectaculaire mais hélas souvent catastrophique ⁽²⁶⁾.

L'érosion est un processus naturel dont il est souhaitable de réduire à un niveau acceptable et tolérable. C'est un processus qui déplace et redistribue le sol. Bien que le phénomène se produise graduellement, il est surtout imputable à de fortes pluies en emportant la couche superficielle. La disparition de la totalité ou d'une partie de cette couche diminue sa fertilité, sa capacité d'absorber l'eau et l'air. Les matériaux enlevés peuvent se redéposer un peu plus loin sans grandes conséquences apparentes pour l'environnement mais dans certains cas, elle transporte les matériaux jusqu'aux cours d'eau.

Chaque nouvelle perte de couche arable aggrave les effets de l'érosion, et le sol devient de moins en moins capable de maintenir une productivité optimale, de régulariser et de répartir l'écoulement de l'eau dans l'environnement, ce qui peut être une source d'une pollution diffuse (eutrophisation, contamination des cours d'eau par les pesticides et les engrais, turbidité de l'eau,...etc.). L'érosion hydrique des sols est le volume brut de sédiments détachés par l'impact des gouttes de pluie et/ou arrachés par le ruissellement.

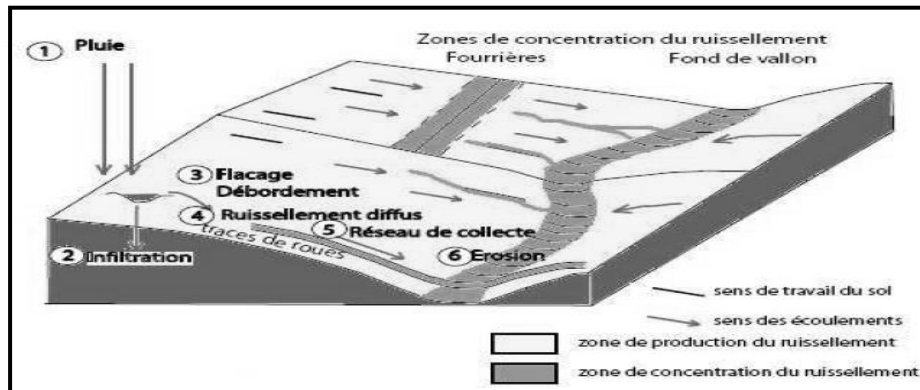


Figure 1.13 Schéma et processus simplifiés des écoulements (d'après Bussièrè, 1996)

Elle se manifeste en nappes (*sheet*) sur la surface pour transporter les sédiments sous l'effet des gouttes de pluie. Les paramètres du sol qui semblent affecter le détachement du sol par effet des gouttes de pluie sont la stabilité et le diamètre des agrégats, la densité apparente, le potentiel matriciel et la force de cisaillement du sol ⁽²⁷⁾.

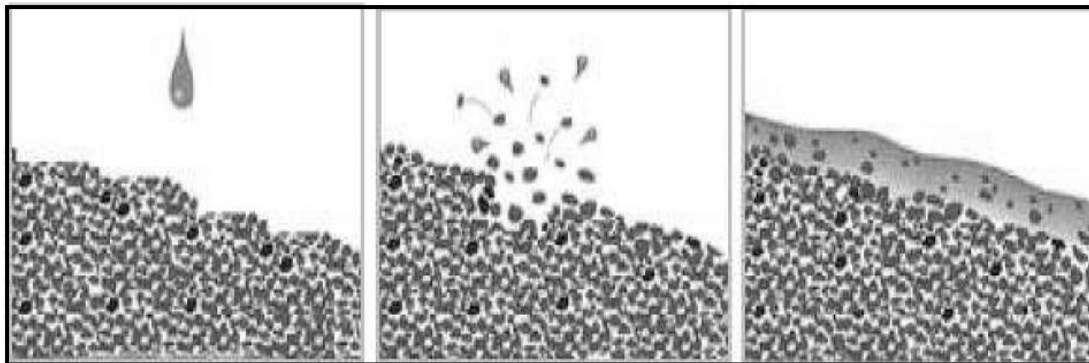


Figure 1.14 L'érosion en nappe (d'après Cheggour, 2008)

L'état d'humidité du sol avant les pluies, sa texture et sa teneur en matière organique ont une influence directe sur l'effet splash qui désagrège les agrégats du sol en éléments qui provoquent la formation d'une croute de battance entraînant la diminution de l'infiltration. Cet état d'imperméabilité en surface génère la stagnation d'eau puis le ruissellement.

La distance moyenne de projection des particules une fois détachées peut atteindre 20 cm.

La capacité d'un fluide à mobiliser et transporter des sédiments dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont sa masse volumique, sa viscosité et sa vitesse. Il est nécessaire de rappeler aussi que la masse volumique de l'eau de mer est d'environ $1,03 \text{ g/cm}^3$, celle de l'eau douce de 1 g/cm^3 , celle de la glace de $0,9 \text{ g/cm}^3$. Par contre, la masse volumique de l'air est très faible environ $0,001 \text{ g/cm}^3$. En ce qui concerne la viscosité, celle de l'air est très faible, celle de la glace est élevée et celle de l'eau est intermédiaire. La concentration des écoulements et l'accélération de la dynamique érosive provoquent l'apparition des rigoles (*rill*) qui poussent en fonction du ruissellement et finissent par constituer les ravines (*gully*) qui peuvent à leur tour déplacer le sol en canaux.

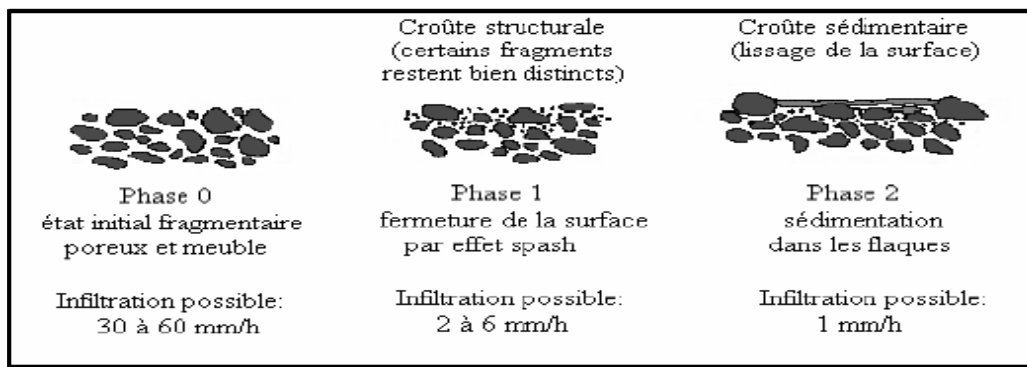


Figure 1.15 Les stades de dégradation du sol sous l'action des pluies (Boffin, 1984)

Les berges, le lit et la plaine d'inondation des cours d'eau constituent de nouvelles sources de sédiments en fonction de leur pouvoir érosif quantifié par leur capacité de transport solide ⁽²⁸⁾.

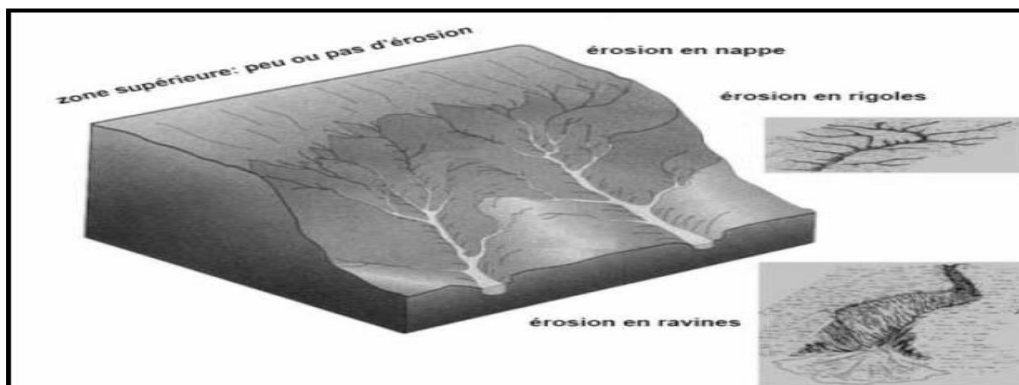


Figure 1.16 Les principaux types d'érosion hydrique (d'après Cheggour, 2008)

La vitesse de l'agent de transport détermine largement le type d'écoulement (laminaire, turbulent).

Dans un écoulement laminaire, les filets d'eau restent parallèles entre eux: ce régime tranquille est réalisé par exemple pour un écoulement d'eau étalé sur de grandes surfaces ainsi que pour des fluides visqueux comme les coulées boueuses.

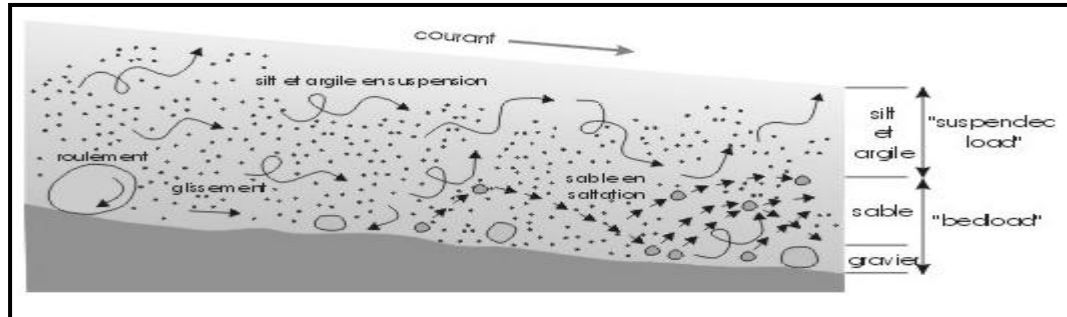


Figure 1.17 Les modes de transport des particules (Boulevain, 2010)

La granulométrie des particules sédimentaires a donc une influence majeure sur leur transport (et sur leur vitesse de sédimentation). Dans un régime turbulent, les filets d'eau se mélangent, forment des tourbillons et ne restent plus parallèles entre eux et parallèles au fond. Ceci a une conséquence importante quant à la capacité d'érosion et de transport.

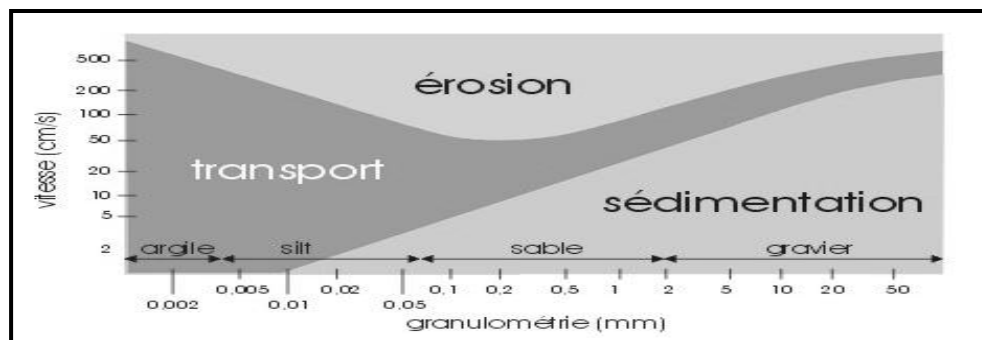


Figure 1.18 Le diagramme d'Hjulström

D'après Hjulström, la courbe représentant l'érosion des particules moyennes à grossières (sable fin à galets) qui dépend de la vitesse du courant nécessaire pour mobiliser des grains augmente avec leur granulométrie. Par contre, les particules fines ont une courbe qui montre une augmentation de la vitesse du courant avec la diminution de la granulométrie.

Ce comportement invraisemblable est la conséquence de la cohésion élevée des particules fines. Quant à la partie inférieure, elle représente la relation entre la granulométrie des particules et la vitesse du courant lors de leur dépôt.

Autrement dit, dès qu'une particule est mise en suspension, elle commence aussitôt à sédimenter et sa vitesse de sédimentation est donnée par la loi de Stokes :

$$V = c * d^2 \dots\dots\dots (1.6)$$

c : est une constante égale à:

$$(r_p - r_f) * g / 18\mu \dots\dots\dots (1.7)$$

V : représente la vitesse de sédimentation ;

μ : la viscosité du fluide ;

r_f : la masse volumique du fluide ;

r_p : la masse volumique de la particule;

d : le diamètre de la particule.

La vitesse de sédimentation augmente en fonction de la taille des grains ce qui signifie que si la vitesse de l'eau diminue, le dépôt des sédiments est alors certain. Les argiles, limons et sables subissent un long transport et ceux un peu plus lourds et dense se sédimentent rapidement (les coulées de boue peuvent transporter des grains beaucoup plus gros que les fluides moins visqueux). Les formes d'érosion traduisent l'efficacité locale de divers processus qui font appel à des sources d'énergie variées et à différents facteurs modifiant leur expression. Alors que l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol, le ravinement aux lignes de drainage du versant, les mouvements de masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique.

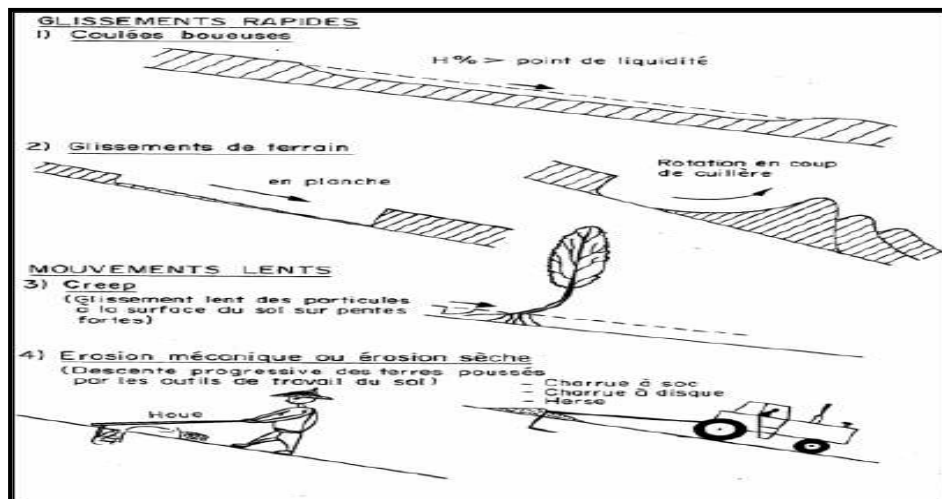


Figure 1.19 Les différentes formes d'érosion en masse (Roose, 1994)

Les phénomènes de mouvement de masse sont très nombreux mais on peut les rassembler en six principaux groupes: les glissements lents, rapides, les versants moutonnés, les coulées boueuses (laves torrentielles), les glissements rotationnels et les formes locales (Roose, 1994).

Leone (1996), a constaté qu'il est délicat de tenter d'en évaluer les effets potentiels et d'aider à la perception du risque inhérent, aussi bien auprès des populations exposées qu'auprès des personnes susceptibles de prendre des décisions en matière de gestion de ce risque.

Il s'agit d'une rupture et d'un déplacement concomitant de matériaux dont le processus est varié et la prévisibilité spatiotemporelle est quasiment difficile.

Les classifications visant à décrire et à déterminer les différents processus de mouvements de terrain ont été fondées sur des critères morphologiques applicables à des régions particulières (Howe, 1909; Reynolds, 1932), sur le contexte *cinématique* ou *dynamique* (Millies-Lacroix, 1981 ; Hutchinson, 1988), sur la *morphologie* et la *géométrie* déterminant le type de matériaux (Varnes, 1978 ; Corominas, 1989 ; Cruden et Varnes, 1996 ; Corominas et Garcia Yagüe, 1997), ou la géotechnique sur la base de la vitesse de déplacement (Nemock *et al.*, 1972 ; Colat et Pilot, 1996 ; Hungr *et al.*, 2001). Dans cette optique, nous allons adopter une classification d'ordre dynamique regroupant les mouvements suivants :

3.2.1.1 Les mouvements lents et continus :

a)- Les affaissements : se traduit par une dépression topographique sans rupture apparente, parfois en cuvette. Ces cavités peuvent être naturelles (résultat d'une dissolution de roches solubles : calcaires, gypses, évaporites), ou bien artificielles (carrières souterraines, galeries de mines).

b)- Les tassements : sont liés à la diminution de volume de certains sols compressibles (vases, tourbes, marnes et argiles peu consistantes) sous l'effet des charges qui leur sont appliquées. Certains sols compressibles peuvent se tasser sous l'effet de surcharges (constructions, remblais) ou en cas d'assèchement (drainage, pompage).

c)- Le fluage : affecte principalement des versants naturels, le mouvement se produit lentement sans modification des efforts appliqués. Ces efforts conduisent à une sollicitation de la structure proche du sol de la rupture, l'état ultime pouvant être soit la stabilisation, soit la rupture.

d)- La solifluxion : est un fluage de la couche superficielle subsaturée en eau et qui se produit généralement sur un sous-sol peu perméable ou imperméable. Elle peut se produire sur des pentes même faibles (5 à 10°) et affecte plus particulièrement les sols à faible cohésion.

e)- Le retrait-gonflement des argiles : les variations de l'humidité des sols argileux produisent des gonflements (période humide) et des tassements (périodes sèches).

f)- Les glissements de terrain : se produisent généralement en situation de forte saturation des sols en eau. Ils peuvent mobiliser des volumes considérables de terrain, qui se déplacent le long d'une surface de rupture et peuvent être plans ou rotationnels.

3.2.1.2 Les mouvements rapides et discontinus :

a)- Les effondrements: la décompression des roches est à l'origine des effondrements.

Les déplacements verticaux instantanés de la surface résultent de la rupture brutale des cavités souterraines naturelles formées du fait de la dissolution des roches (calcaires, gypse, anhydrite, évaporites), par des circulations d'eau souterraine (réseaux karstiques, grottes) ou artificielles (mines, carrières).

b)- Les écroulements et les chutes de blocs : l'évolution des falaises et des versants rocheux engendre des chutes de pierres (volume inférieur à 1 dm³), des chutes de blocs (volume supérieur à 1 dm³) ou des écroulements en masse (volume allant jusqu'à des millions de m³).

c)- Les coulées boueuses : sont caractérisées par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide. Les coulées boueuses se produisent sur des pentes, provoquées par certains glissements avec afflux d'eau.

d)- Les laves torrentielles : les coulées torrentielles se produisent dans le lit des torrents au moment des crues. Il s'agit des écoulements de montagne de fortes pentes qui forment un accroissement du débit solide et du pouvoir érosif (arrachement de berges par une crue ou un ruissellement causé par de fortes pluies).

3.3 Illustration des techniques d'évaluation de l'érosion :

Deux méthodes d'estimation de l'érosion dominent, l'une consiste à effectuer des mesures sur des parcelles expérimentales et l'autre porte sur la mesure des flux liquides et solides à l'exutoire des bassins versants ⁽²⁹⁾. Les méthodes directes sont effectuées sur des versants choisis et équipés d'appareils d'enregistrement qui fournissent des données précises. Elles permettent de distinguer les facteurs qui concourent à l'érosion d'une surface définie.

Les méthodes indirectes sont fondées sur l'analyse des données empiriques et leur intégration dans les lois de la physique.

La variabilité spatio-temporelle des différents facteurs générant les phénomènes complexes relève de la modélisation. Ces facteurs sont intégrés le plus souvent dans un SIG pour simuler la réalité et apporter plus de précision aux décideurs dans leurs projets d'aménagement afin d'entreprendre des actions de protection quant il faut là où il faut. Même si une grande variété de modèles est disponible pour l'estimation du risque d'érosion, la plupart demande beaucoup de données pour leurs paramètres d'entrée si bien que leur application à l'échelle régionale devient difficile ⁽³⁰⁾. Face à ce problème, plusieurs études de quantification de l'érosion à diverses échelles, ont été menées par des chercheurs sur des parcelles d'une centaine de m² ou des micro-bassins de quelques hectares, à de grands bassins versants de quelques milliers de km².

Arabi (1991), a étudié la relation entre l'équation universelle « USLE » et l'érosion des sols sur 15 parcelles expérimentales à Médéa dont le sol varie entre brun calcaire, fersialitique ou des vertisols. Il a constaté que la corrélation entre l'érosion et les facteurs (R) et (LS) n'est pas significative et a trouvé que les vertisols sont plus résistant à l'érosion.

Guettouche (1991), durant la même année s'est appuyé sur le traitement des images SPOT via la télédétection pour cartographier l'érosion dans la même région où il a constaté que la densité du couvert végétal amortit le ruissellement et réduit l'intensité de l'érosion.

Roose et al., (1993), ont mené des travaux sur l'érosion en nappe sous l'effet du ruissellement sur 50 parcelles de 100 m² chacune dans quatre régions caractérisées par la variabilité du climat, de la pente et du relief ainsi que du couvert végétal. Ils ont constaté que la végétation favorise l'infiltration et réduit le ruissellement mais des situations de ruissellements extrêmes ont été enregistrées sur des zones saturées ou dénudées. Toutefois, l'érosion est faible dans les terres cultivées et élevée sur sol nu fersialitique rouge situé sur une pente supérieure à 30%. Ils ont même jugé que la pente n'est pas un facteur important pour le processus érosif.

Kouri et al., (1997), ont étudié l'érosion en ravines dans la région de l'oued Mina située sur sol marneux et ont trouvé que l'érosion en ravines est influencée par le type de marne (verte, grise), la pente, l'exposition des versants et l'occupation du sol ainsi que la forme des ravines. Ils ont même confirmé que les sols marneux sont vulnérables à l'érosion en ravines et les glissements de terrain.

Bourouba (1997), à proposé une équation linéaire pour estimer l'érosion hydrique dans le bassin de la Medjreda. Quant à Meddi et al., (1998), ils ont établi des relations entre la dégradation spécifique, les débits liquides moyens annuels et la superficie des bassins versants afin d'estimer le transport solide au nord de l'Algérie.

Touaïbia et al., (1999), dans leur approche quantitative de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales ont estimé que l'érosion dans les micro-bassins marneux (1000 km²), contribuait à l'envasement de la retenue avec 16 t/ha/an.

En 2003, Touaibia et Achite ont cartographié l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina. Ils se sont basés sur l'Analyse des Composantes Principales (ACP) d'une part et les régressions multiples d'autre part afin de trouver une relation entre la surface et la densité du couvert végétal.

Morsli et al., (2000), dans l'étude de l'effet des systèmes de gestion sur le ruissellement, l'érosion et le stock du carbone au niveau des parcelles expérimentales standards de 100 m² dans les mont Beni-Chougrane puis, dans l'étude de ruissellement et du transport solide sur parcelle expérimentale Morsli et al., (2002), ont constaté que l'évolution du couvert végétal pendant sous pluies simulées et son interaction avec les pratiques culturales influent directement sur le ruissellement et l'érosion. En 2001, Meddi et Morsli ont constaté que les quantités de terre érodée sont fonction des saisons et des épisodes pluvieux. Ils ont trouvé une corrélation entre l'érosion, le ruissellement et les précipitations. Sadiki et al., (2004), ont introduit l'équation universelle « USLE » dans un SIG afin de produire une carte de sensibilité à l'érosion dans le Rif oriental (Maroc). Le résultat est quantitatif d'une part estimé par un taux d'érosion par ruissellement et qualitatif d'autre part déterminant le degré de sensibilité à l'érosion. Pour Bouanani (2005), l'estimation de l'érosion hydrique dans les bassins algériens s'effectue par des modèles linéaires, exponentielles ou polynomiales.

El Garouani et al., (2007), ont étudié l'apport des SIG et de la Télédétection pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata au Maroc où les pertes de sol ont été estimées par l'équation universelle de perte en sol révisée « RUSLE » (Renard et al., 1997) intégré dans l'environnement Idrisi.

EL Boukdaoui (2007), à établi une approche méthodologique d'évaluation du risque potentiel d'érosion des sols dans le bassin versant du Srou (Maroc) à l'aide de la télédétection et du SIG.

Il a mis en œuvre une cartographie d'érosion à l'échelle de sous bassin versant et a évalué aussi la sensibilité du bassin d'étude à la dégradation des sols via des indices de qualité des sols (IQS), de qualité climatique (IQC), de qualité de végétation (IQV) et de sensibilité à la dégradation des sols (ISD).

Cheggour (2008), a effectué des mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans le bassin versant de la Rhéraya (Maroc) et leur spatialisation par des SIG. Elle s'est appuyée sur des indicateurs d'érosion et l'équation universelle de perte en sol d'une part et sur des indicateurs de ruissellement et des mesures de transport solide d'autre part.

Toumi (2013), a étudié l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina en appliquant des techniques nucléaires et la télédétection. Il a effectué une modélisation spatiale de l'érosion par l'équation universelle de perte en sol « USLE » et a suivi l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol d'une part. D'autre part, il a évalué l'érosion par échantillonnage du sol avec le Césium Cs 137.

3.3.1 Les méthodes d'évaluation de l'érosion :

L'évaluation de l'érosion est dominée par des méthodes directes effectuées sur des versants choisis et équipés d'appareils d'enregistrement qui fournissent des données précises et permettent de distinguer les facteurs qui concourent à l'érosion d'une surface définie d'une part. D'autre part, par des méthodes indirectes fondées sur l'analyse des données empiriques et leur intégration dans les lois de la physique.

3.3.1.1 Les méthodes directes :

3.3.1.1.1 Les mesures par simulation de pluie : son principe consiste à produire des pluies artificielles à l'échelle d'un mètre carré à l'aide de simulateurs de pluies de type Swanson ou ORSTOM (Swanson, 1965 ; Asseline et Valentin ; 1978, Asseline, 1979) afin de mesurer le ruissellement et les pertes en terre induits par Barthès et Roose, (2001, 2002).

Cette méthode a été modifiée par Roose et Smolikowski, (1997) en introduisant l'irrigateur à rampe. Il est plus pratique en montagne du fait de sa légèreté mais l'énergie d'arrosage diffère nettement de celle produite par un simulateur de pluie ce qui conditionne la hauteur de chute d'eau à 50 cm seulement. Ils permettent de distinguer que les valeurs obtenues grâce à l'irrigateur à rampe sont deux à quatre fois supérieures à celles obtenues par un simulateur de pluie (Roose et Smolikowski, 1997). Les résultats obtenus sont majorés par rapport à la réalité et présente une certaine limite d'application pour ces méthodes.

3.3.1.1.2 Les mesures des flux liquides et solides à l'exutoire : consiste à effectuer des mesures hydrométriques conjointe de débits liquides et solides ou de matière en suspension (MES) sur plusieurs années (Mabit et al., 2002 ; Cheggour, 2008) dans le but d'estimer le volume de matériau déplacé dans un bassin versant. Son inconvénient est que ces méthodes exigent de longues années d'observations.

3.3.1.1.3 La méthode des piquets : son principe est basé sur un réseau de piquets en fer rond gradués et placés sur le terrain pour quantifier les pertes en sol exprimées en hauteur et déterminées à partir de l'évolution naturelle de la surface mais cette méthode est plutôt connue pour le manque d'informations sur le processus érosif.

3.3.1.1.4 La méthode des pièges (trappes) : comprend la disposition des collecteurs au dessus du sol pour estimer les quantités de sol déplacés et représente certaines limites pour les sols non sableux.

3.3.1.1.5 L'expérimentation de laboratoire : permet d'isoler un processus individuel dans des protocoles assez proches des conditions naturelles (mécanique des roches) et mesurer les paramètres de rupture mais sa précision n'est pas toujours évidente.

3.3.1.1.6 L'utilisation de marqueurs radio actifs : c'est une technique qui a été utilisée Etats Unis (Ritchie et Mchenry, 1990), en Angleterre (Walling et Quine, 1991) et au Maroc (Lahlou, 1997, Benmansour et al., 2000, Nouira et al., 2003, Zouagui, 2012) et en Algérie (Toumi, 2013). Le principe est d'effectuer des prélèvements dans des zones instables et soumises à l'érosion puis comparer les valeurs de l'activité spécifique en ^{137}Cs avec une zone témoin.

Elle permet d'estimer les mouvements des sols à travers la désintégration radioactive.

La redistribution de sédiments peut être déterminée et les taux d'érosion du sol et/ou de dépôt peuvent être calculés (Collins et al., 2010).

3.3.1.2 Les méthodes indirectes :

3.3.1.2.1 L'équation Universelle de perte en sol (USLE) : L'équation USLE de Wischmeier et Smith (1958 ; 1978) reste de loin, le plus utilisé parmi les modèles mathématiques de prédiction de pertes en sol. C'est une recherche menée sur l'érodibilité des sols sur des parcelles expérimentales cultivées en jachère de 22 m de long et 5° (9%) de pente. C'est une fonction multiplicative de cinq facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique dans les milieux cultivés : agressivité climatique, érodibilité des sols, inclinaison et longueur de pente, occupation des sols et pratiques de conservations (Stone & Hilborn, 2000 ; Fistikgu et Harmancioglu, 2002 ; Yue-Qing et al., 2009).

$$E = R * K * L * S * C * P \dots \dots \dots (1.8)$$

Cette méthode permet d'estimer les pertes en sol à moyen terme mais ne prend pas en considération les données interannuelles.

3.3.1.2.2 L'équation universelle de perte en sol modifiée (MUSLE) : Williams (1975) a modifié l'USLE pour prévoir la production d'érosion causée par une seule averse sur la base du volume et le débit de pointe ruisselés. Cette équation a été développée pour quantifier la production d'érosion des bassins versants en associant à l'USLE un taux de restitution de sédiments fonction de la pente. Williams a même remplacé l'érosivité des pluies par un facteur d'énergie propre au ruissellement. Elle est adoptée dans beaucoup de modèles hydro-sédimentologiques pour sa simplicité et la possibilité qu'elle offre pour introduire des modifications (Williams & Berndt, 1977 ; Kinnell, 2001).

3.3.1.2.3 L'équation Universelle de perte en sol révisée (RUSLE) : Renard et al., (1997), ont établi une version révisée de l'USLE sur la base des travaux de Wischmeier et Smith (1958, 1978). Il s'agit d'une équation dans laquelle l'érosion est le produit de l'érosivité des pluies, l'inclinaison et la longueur de la pente, l'érodibilité du sol, la couverture végétale et les mesures de prévention (Engel, 2003 ; El Gourani, 2007 ; Terranova et al., 2009 ; Prasannakumar et al., 2011).

3.3.1.2.4 Le modèle Land Erodibility Assessment Methodology (LEAM) : le modèle Méthodologie pour l'Evaluation de l'Erodibilité des Terres développé par Manrique (1988), est inspiré des travaux de Wischmeier et Smith (1978) dans El Bouqdaoui (2007). Il tient compte de l'érodibilité des sols, l'inclinaison des versants et l'érosivité des pluies. Son principe est simple et pratique pour une estimation du risque potentiel d'érosion des sols et répond fidèlement aux besoins des pays en voie de développement n'ayant pas une base de données riche et suffisante pour étudier l'évolution spatiotemporelle de l'érosion des sols.

L'inconvénient de ce modèle est qu'il néglige le rôle du couvert végétal.

3.3.1.2.5 Le modèle d'évolution des terrains SIBERIA : le modèle SIBERIA développé par Willgoose et Riley (1993, 1998) simule l'évolution géomorphologique d'un terrain soumis à l'érosion fluviale diffuse et le transport de masse. C'est un modèle mathématique qui met l'accent sur la dimension spatiotemporelle de l'hydrologie et le processus d'érosion (Hancock et al., 2008).

3.3.1.2.6 Le modèle MEH-SAFER : est un modèle qui abouti à une carte de vulnérabilité topographique (Ouattara, 2002). Le principe de ce modèle consiste à déterminer le potentiel de ruissellement sur la base des données multi-sources (hydropluviométriques et géoécologiques) puis l'associer à l'esquisse géomorphologique. C'est un Modèle d'Erosion Hydrique adapté au milieu semi-aride de Forte Energie de Relief, développé par une équipe du CARTEL (Tidiane et al., 2003).

3.3.1.2.7 Le modèle Kinematic Runoff and Erosion (KINEROS): est un modèle événementiel basé sur le ruissellement et la quantité de sédiments issus d'un épisode pluvieux dans l'île de Kaho'olawe à Hawaï (Wahlstrom et al., 1999). Selon ce modèle, le bassin versant est représenté par une cascade de parcelles et canaux à partir desquels on peut estimer l'infiltration, le ruissellement et le transport de sédiments par trois algorithmes.

L'algorithme d'infiltration inclut la conductivité hydraulique, la quantité de pluie infiltrée, l'écoulement capillaire net, la porosité et le stock d'eau initial.

$$i = ks^* \frac{\text{Exp}(I/B)}{\text{Exp}(I/B) - 1} \quad \dots\dots (1.9)$$

Où:

$$B = G (\theta_s - \theta_i) \quad \dots\dots (1.10)$$

Avec :

i : capacité d'infiltration ($L.T^{-1}$) ;

Ks : conductivité hydraulique à saturation ;

I : quantité de pluie infiltrée cumulée ;

G : écoulement capillaire net ;

θ_s : la porosité ;

θ_i : le stock initial.

L'algorithme de ruissellement est basé sur la hauteur de la lame d'eau ruisselée, constante liée à la pente, la rugosité hydraulique et le nombre de Reynolds, la ligne d'eau et le coefficient de rugosité de Manning.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + a^{m-1} \frac{\partial h}{\partial t} = q \quad \dots\dots (1.11)$$

q : est le débit d'apport par unité de longueur de l'Oued ;

h : hauteur de la lame d'eau ruisselée ;

a et m : sont des constantes liées à la pente, la rugosité hydraulique et le nombre de Reynolds ;

En appliquant l'équation de Manning on obtient : $a = 1.49 s^{0.5} / n$; $m = 5/3 n$;

s : représente la pente de la ligne d'eau ;

n : le coefficient de rugosité de Manning.

La résolution de cette équation s'effectue en utilisant la méthode des différences finies pour chaque pas de l'événement pluvieux. L'algorithme de transport de sédiments inclut la vitesse d'écoulement, la vitesse de cisaillement, le diamètre des sédiments, la hauteur de l'eau ainsi que la gravité spécifique de sédiments.

$$C_{mx} = \frac{0.05\mu - \mu_0}{g^2 dh (S_s - 1)^2} \dots\dots (1.12)$$

C_{mx} : concentration maximale de sédiments ; μ : vitesse de l'écoulement ; μ_0 : vitesse de cisaillement ; d : diamètre de sédiments ; h : hauteur d'eau ; S_s : gravité spécifique de sédiments. Ce modèle quantitatif permet d'analyser la sensibilité à l'érosion à l'échelle de l'événement pluvieux mais son application reste contrariée par les données exigées (135 mesures de conductivité hydraulique).

3.3.1.2.8 La spatialisation de l'aléa érosion hydrique : Luneau (2004), a mené des travaux qui s'insèrent dans la continuité de la cartographie de sensibilité à l'érosion (Dumas, 2004). L'auteur a défini l'érosion hydrique comme étant la combinaison de la sensibilité des sols et des précipitations. La spatialisation de l'aléa érosion hydrique est une évaluation multicritère développée sur la base de la pondération des critères avant leur sommation. Les critères pris en considération sont l'érodibilité des sols à partir de la carte géologique, le degré de protection du sol à partir de la carte d'occupation des sols, la pente, la surface drainée, la courbure horizontale et la courbure de profil à partir du MNT et la pluviométrie après interpolation par krigeage au pas de 3km. Une fois la standardisation des critères terminée, l'auteur a choisi des poids différents et la pondération s'est faite selon la méthode de (Saaty, 1980) par comparaison par paire où il a proposé deux scénarii : le premier augmente l'influence des précipitations en lui affectant une pondération élevée au même degré que celui de la pente:

scénario1 : (Pente : 0.2644, précipitations : 0.2644, courbure de profil : 0.0486, courbure horizontale : 0.0486, la surface drainée : 0.1152, la géologie : 0.1152, occupation du sol : 0.1152 et les pistes : 0.0284). Scénario 2 : (Pente : 0.3204, précipitations : 0.1359, courbure de profil : 0.0525, courbure horizontale : 0.0525, la surface drainée : 0.1359 la géologie : 0.1359, occupation du sol : 0.1359 et les pistes : 0.0289). Dans les deux scénarii l'aléa érosion se situe entre le niveau faible et fort.

3.3.1.2.9 La cartographie de l'aléa érosion des sols : Batti (2005), s'est intéressé à la cartographie de l'aléa érosion des sols dans les bassins versants situés en amont du lagon Saint-Gilles à l'île de la Réunion. Le principe de cette étude consistait à mettre en cause les pluies extrêmes dans le processus érosif avec une probabilité que l'arrachement et le transport des particules solide se réalise durant cet événement. A cet effet, Batti (2005), a procédé à une analyse des données climatiques pour caractériser la variation spatiotemporelle de l'intensité des pluies extrêmes selon une approche stochastique (Intensité-Durée-Fréquence) en s'appuyant sur la loi Gumbel notamment le Gradex qui représente la variabilité spatio-temporelle des pluies extrêmes et traduit par une régression linéaire multiple inspirée des travaux de Le Bissonnais et al., (2001).

3.3.1.2.10 L'indice Relative Erosion Prediction (REP): Atherton et al., (2005) ont mené des travaux pour la modélisation de l'érosion par ruissellement dans les bassins versants de Fidji en tenant compte de l'impact sur l'habitat marin, et particulièrement sur le récif corallien. Ils ont pu développer l'indice REP qui représente une mesure relative de prédiction de l'érosion des sols. Ce modèle qualitatif est une forme simplifiée du modèle universel USLE décrit ci-dessus. Il a été établi sur la base de la pente, l'occupation et l'érodibilité des sols ainsi que les précipitations absolues ou saisonnières pour comparer l'érosion entre les bassins versants.

$$REP = \text{Slope factor} + \text{soil factor} + \text{rainfall intensity} + \text{rainfall seasonality factor} + \text{land cover factor} \dots\dots\dots (1.13)$$

Un autre indice a été développé lors de cette étude, Watershed Development Index (WDI) qui reflète l'impact des infrastructures sur le bassin versant. Cet indice requiert la densité des routes, le nombre de cours d'eau traversée par les routes par km² et le degré de déforestation. La combinaison des indices (REP, WDI) permet d'obtenir le risque d'érosion sur chaque bassin versant sous forme d'indice de menace composé Composite Threat Index (CTI) (Atherton et al., 2005). Cette étude a permis d'identifier les bassins versants critiques, ceux qui ont besoin de reboisement et des mesures de conservation des sols.

Si les modèles empiriques sont les plus utilisés dans l'évaluation de l'érosion hydrique, il n'en reste pas moins que ceux d'ordre physique sont appropriés à la simulation des divers processus d'érosion notamment ANSWER (Areal Non point Source Watershed Environment) de Beasley *et al.*, (1980) qui simule le processus érosif du détachement à la sédimentation, EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator) de Williams *et al.*, (1984) développé pour mettre en évidence l'influence de l'érosion sur la productivité du sol à long terme et SEMMED (Soil Erosion Model for Mediterranean Areas) de Morgan (1995) a été conçu du côté européen. Ce modèle a été associé aux SIG et à la télédétection. Ces derniers offrent la possibilité d'une analyse spatiale via les données multi sources. Le MNT présente le relief dénudé de couverture naturelle et de constructions, il permet de générer des indices topographiques, dont l'index d'humidité, l'index de l'intensité de l'écoulement et l'index de transports de sédiments (Kumar *et al.*, 2008). En effet, le MNT figure parmi les principaux indicateurs pris en compte dans l'évaluation de l'érosion hydrique particulièrement la pluviométrie, la pente, l'érodibilité et l'occupation des sols. L'importance des indicateurs et leur hiérarchisation dans l'analyse multicritères dépend essentiellement de la réalité appréciée sur terrain et des points de vue des experts.

4. EVALUATION DE LA VULNERABILITE :

Si le risque est la conjonction d'un aléa et des enjeux, la prise en compte de la vulnérabilité comme étant une composante principale à beaucoup tarder pour faire son apparition.

En géographie, les spécialistes de la géographie des risques se sont pour la plupart formés au départ sur les aléas (géo-climatologues, géomorphologues, hydrologues). Ils ont glissé vers une approche plus globale, parfois anthropocentrée de la notion de risque ⁽³¹⁾.

Malgré qu'elle reflète le niveau d'exposition des territoires au risque, la vulnérabilité reste tout de même mal appréhendée du fait qu'elle s'aperçoit sous différents angles.

En général, elle peut être perçue du point de vue social autant que propension à subir ou résister à l'endommagement, ou du point de vue technique, qui mesure l'endommagement (D'Ercole, 1994, 1996 ; Reghezza, 2006). Les approches de la vulnérabilité ont souvent été réductrices dans le sens qu'elle analyse un élément fragile (personnes, biens ou environnement avec des enjeux économiques) ⁽³²⁾.

⁽³¹⁾ : Leone, 2007 : Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes naturelles : Contribution à une évaluation géographique multirisque (mouvements de terrain, séismes, tsunamis...).hal.archives-ouvertes.fr consulté le 10-03-2012

⁽³²⁾ :D'Ercole, 1994 : Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse – *Revue de Géographie Alpine*, N°4, Tome LXXXII, pp. 87–96. Consulté le 11-11-2013.

La vulnérabilité, qui représente un système dont le fonctionnement est dans la ville et à l'extérieur de celle-ci est analysée selon trois démarches différentes (D'Ercole, 1994; Thouret et D'Ercole, 1996 ; Thouret et Léone, 2003) :

4.1 L'analyse quantitative : portant sur les éléments vulnérables conçue comme le pourcentage de ce qui peut être perdu en cas de sinistre ;

4.2 L'analyse semi-quantitative : intégrant à la fois les facteurs de vulnérabilité et les éléments vulnérables débouchant sur une hiérarchisation spatiale et sociale des éléments exposés ;

4.3 L'analyse qualitative : portant sur les facteurs de vulnérabilité (croissance démographique, urbanisation accélérée, modes d'occupation du sol, les facteurs historiques et physico-sociologiques, l'habitat, les ouvrages de protection ou de défense et les rouages institutionnels, organisationnels et politico-administratifs) du système de gestion des risques.

L'analyse de la vulnérabilité par les SIG a été le plus souvent basée sur des éléments structurels (constructions, bâtiments, routes) au vu de leurs exposition aux risques naturels.

La vulnérabilité humaine quant à elle, reste difficilement évaluable à cause de la sectorisation de l'information d'une part et la rareté des études sociales dans les pays en développement.

L'une des premières expériences intégrant la vulnérabilité dans la gestion des risques naturels avait pour objectif une cartographie multirisque dans la Colombie Britannique.

Selon Foster et al., (1988), en plus des tremblements de terres, des inondations, de l'érosion de surface, 14 autres risques ont été étudiés pour estimer les pertes potentielles annuelles en dollars par hectare dans la région de Greater Victoria. La vulnérabilité et la modélisation des volcans ont été intégrées aussi dans la gestion des risques dans la région de Papua en Nouvelle Guinée ⁽³³⁾. L'évaluation de la vulnérabilité telle qu'elle est définie repose sur des variables difficilement généralisables. En effet, Leone (1996) à essayé d'appliquer ce concept à l'évaluation des risques générés par les mouvements de terrain.

Toutefois, la difficulté d'une évaluation de la vulnérabilité réside donc dans l'appréciation de ce que sera le niveau d'endommagement potentiel (*D*) recherché ⁽³⁴⁾.

Leone (2007), et à travers sa longue expérience dans le domaine des risques naturels majeurs à proposé deux approches d'évaluation de la vulnérabilité.

La première est analytique et repose sur l'identification des causes pour mieux expliquer la vulnérabilité. La seconde est purement systémique et repose l'analyse des interactions causes-effets pour modéliser la vulnérabilité.

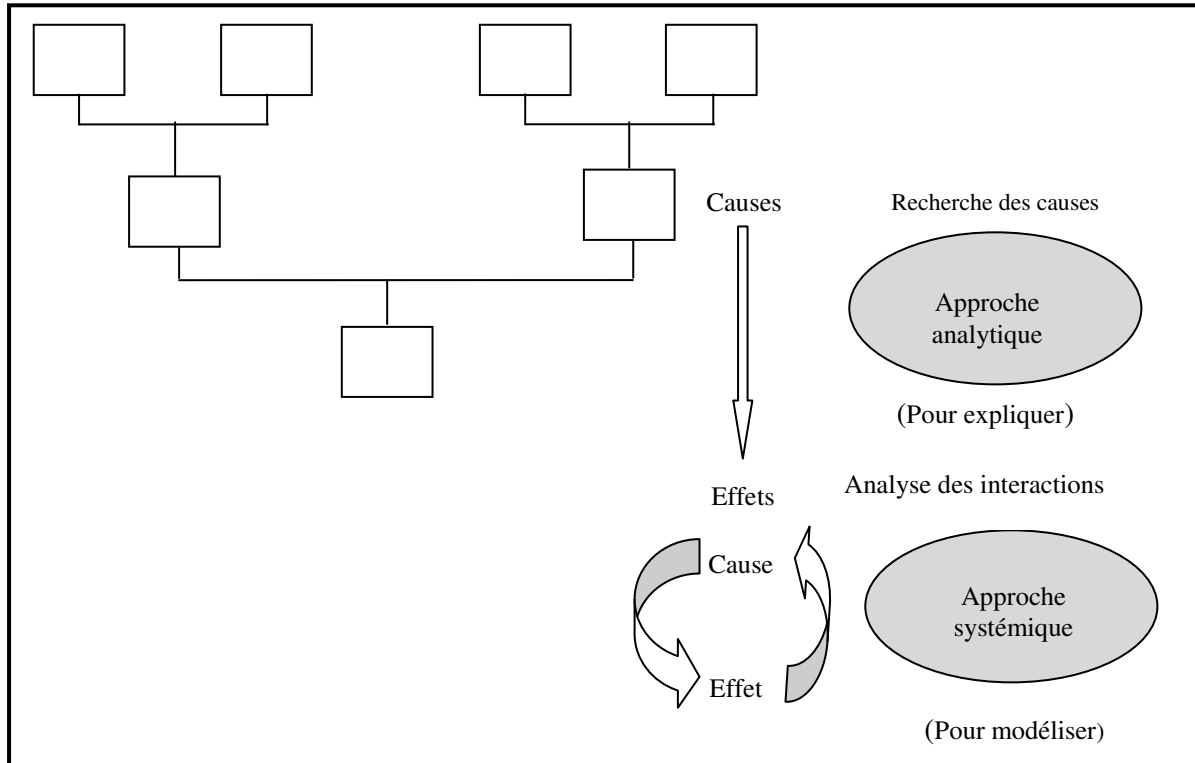


Figure 1.20 Approches d'évaluation des vulnérabilités (Leone, 2007)

L'approche quantitative est largement utilisée dans la simulation des pertes économiques liées aux inondations ou à des séismes et réservée surtout au calcul des dommages directs (destruction de biens ou même dans le cas de pertes humaines).

Les calculs et les grosses bases de données que ces méthodes impliquent reposent généralement sur l'emploi des SIG.

Tableau 1.6 : Exemples de facteurs et critères de vulnérabilité pour différents types d'enjeux en vue d'un diagnostic

Enjeux vulnérables	Principaux critères de vulnérabilité	Type de facteur
vulnérabilité humaine	Représentations du risque (menaces, effets, espaces) Comportements potentiels Connaissance des mesures de protection et de prévention Vécu Résistance physique et mentale Confiance dans les autorités Implantation géographique et la distance au danger Accessibilité Possibilité de fuite Niveau de protection physique	Psycho-sociologique Psycho-sociologique Psycho-sociologique Psycho-sociologique Physiologique et psycho-sociologique Psycho-sociologique Géographique Géographique Géographique Physique
vulnérabilité sociale	Cohésion sociale et solidarité Marginalisation Niveau d'organisation et de préparation Entretien de la mémoire collective Conscience du risque Niveau de corruption Pauvreté Dépendance économique Ségrégation socio-spatiale Continuité des actions Spéculation foncière Accès aux services Niveau d'éducation Poids des traditions Représentation institutionnelle	Socio-culturel Socio-économique Institutionnel et organisationnel Socio-culturel et institutionnel Psycho-sociologique Socio-économique et institutionnel Socio-économique Socio-économique Géographique et Socio-économique Politico-administratif Economique Socio-économique Socio-économique Socio-culturel institutionnel
vulnérabilité structurelle ou physique	Résistance physique Distance du danger Entretien et contrôle	Physique Géographique Politico-administratif
vulnérabilité fonctionnelle	Résistance physique Alternative de fonctionnement (connexité) Capacité de contrôle Dépendance	Physique Géographique Organisationnel Géographique
vulnérabilité territoriale	Taille Isolement géographique (enclavement) Possibilité d'alternatives (ressources et équipements vitaux) Exposition du danger Niveau de dépendance entre réseaux vitaux Croissance urbaine Mobilité géographique Coopération régionale Outils de régulation de l'occupation du sol	Géographique Géographique Géographique et socio-économique Géographique Géographique et organisationnel Socio-économique et géographique Socio-économique et géographique Institutionnel Institutionnel

Source : FL, NMR, FV, 2010

Conclusion :

Le risque est un thème vaste parfois erroné qui nécessite un rappel de quelques concepts généraux très utiles pour décortiquer la problématique de départ d'autant plus que ce dernier est un terme très répondu dans tous les domaines et représente l'éventualité d'un événement futur plus ou moins imprévisible susceptible de produire des dommages tant humains que matériels.

L'évaluation des risques relève de la modélisation via l'apport des techniques nouvelles et requiert un volume considérable de données qui doivent être traité, analysé, stocké et diffusé sous forme de solutions rapides.

C'est pourquoi, l'utilisation des SIG et de l'AMC est d'une aide capitale dans l'aide à la décision tant pour leur capacité de traitement et de stockage d'informations que pour leur rapidité et précision.

La modélisation qui peut être cartographique ou conceptuelle requiert à la fois la connaissance du risque et des facteurs causaux et un volume de données d'entrée dont la qualité permet de trouver des solutions simples, rapides et précises.

A travers cette revue bibliographique, il nous a été possible de distinguer les risques (majeurs) comme étant un événement dommageable issu du manquement de l'homme à la nature, dans la mesure où celui-ci a failli, face à elle, déranger le fonctionnement naturel, précipiter le désastre ou participer plus ou moins consciemment à la construction de vulnérabilités variables dans le temps et dans l'espace.

Cette vulnérabilité peut être diagnostiquée selon une approche analytique basée sur les facteurs de prédisposition au dommage (géographiques, techniques, socio-économiques ou institutionnelle) ou systémique qui mesure l'endommagement potentiel en tant qu'indicateurs de vulnérabilité et qui reste largement utilisée dans la simulation des pertes économiques.

CHAPITRE 2

PRESENTATION DU BASSIN

DE RISQUE

1. Situation géographique :

Le bassin versant *Oued LABIOD* « Ighzar Amellal » en berbère est un bassin endoréique situé dans le massif des Aurès (partie orientale de l'Atlas saharien). Il fait partie du grand bassin hydrologique de Chott Melrhir. Il est composé de trois principaux Oueds : Oued LABIOD, Chenawra et T'kout formant par leur confluence Oued Ghassira qui chemine vers le Sud pour déverser dans Chott Melrhir.

Oued LABIOD est formé par la réunion des torrents descendants des raides pentes de Djebel Chelia culminant à plus de 2320 m et Ichemoul 2100 m. Après avoir traversé le défilé resserré de Tighanimine, il s'encaisse dans les canyons de Ghoufi et les gorges étroites de M'chouneche, puis s'ouvre une voie vers la plaine Saharienne jusqu'aux gorges de Foug el Gherza. Le bassin versant objet d'étude est situé à 60 km au Sud-est de la wilaya de Batna (Est algérien). Il englobe 6 Communes : Ichemoul, Inoughissen, Tighanimine, Arris, Ghassira et T'kout, 4 Daïras dont 3 à BATNA (Arris, Ichemoul et T'kout) et M'chouneche à BISKRA. Il est limité par Ichemoul et Inoughissen au nord et M'chouneche au Sud. Il s'étend de KHENCHELA (Nord-est) jusqu'à BISKRA (Sud-ouest) selon les coordonnées géographiques suivantes : $x_1 = 5^{\circ}54' E$, $y_1 = 34^{\circ}52' N$ et $x_2 = 6^{\circ}35' E$, $y_2 = 35^{\circ}24' N$.

2. La topographie :

Le bassin Oued LABIOD totalise une surface de 1309,12 km² avec une exposition dominante Nord Est (Djebel Zellatou), Sud-ouest (Djebel Taghenechirt) et dont la ligne de partage des eaux lui confère une forme allongée. Le bassin versant est caractérisé aussi par sa dissymétrie, une partie montagneuse au Nord culminant à 2320 m (Djebel Chelia) et une autre basse au Sud (168 m) EL Habel, ce qui génère des pentes longitudinales et transversales le long de son exposition. Concernant les pentes, on constate une série de ruptures qui s'expliquent d'une part par les variations lithologiques et le degré de perméabilité des matériaux d'autre part.

On peut constater aussi une accentuation des pentes entre EL Hamra et Ghassira qui engendrent un encaissement rapide des vitesses d'écoulement et met en évidence la puissance de l'érosion. Il existe une nette relation entre le changement brusque des pentes et l'exposition des versants Nord-est / Sud-ouest due à l'inadaptation du réseau hydrographique avec la structure.

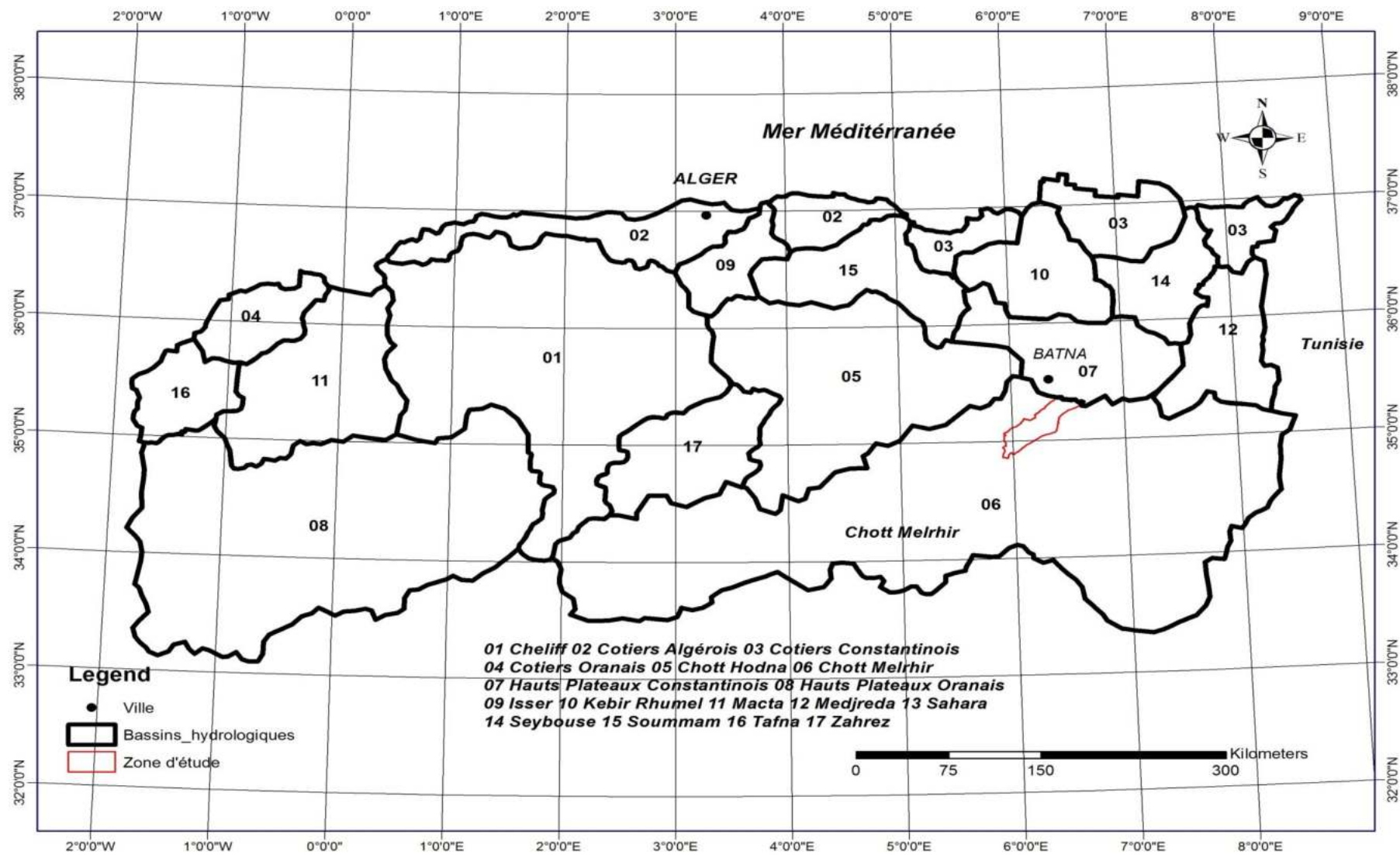


Figure 2.1 Localisation de la zone d'étude

A l'Oued de Zellatou, on constate de très fortes pentes révélant le caractère torrentiel de cet affluent. Les pentes élevées dans la partie amont, ne sont réalisées que sur de brefs secteurs et sont à l'origine des crues exceptionnelles. En revanche, Oued El Attrous (1640 m), présente un profil assez régulier, interrompu par quelques légères ruptures de pentes annonçant les cours d'eau des hautes plaines semi-arides. La partie basse, présente une allure régulière traduisant l'amorce d'équilibre en présence de gros blocs dans le lit de l'Oued soit à cause d'un affleurement rocheux, soit à cause de l'arrivée d'un affluent transportant des matériaux plus gros ce qui traduit l'inexistence d'équilibre permanent.

2.1 L'hypsométrie :

Les altitudes caractéristiques de la zone d'étude sont extraites du MNT et présentées par la courbe hypsométrique.

2.1.1-Altitude maximale :

C'est le point le plus élevé du bassin versant ($H_{max} = 2320$ m).

2.1.2-Altitude minimale :

C'est le point le plus bas du bassin versant ($H_{min} = 168$ m).

2.1.3-Altitude moyenne :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i A_i}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

H_i = Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives.

A_i = Surface entre deux courbes de niveau consécutives.

2.1.4-Altitude $H_{5\%}$: correspondant à 5% de la surface totale du bassin versant soit 1780 m.

2.1.5-Altitude $H_{95\%}$: correspond à 95% de la surface totale du bassin versant soit 260 m.

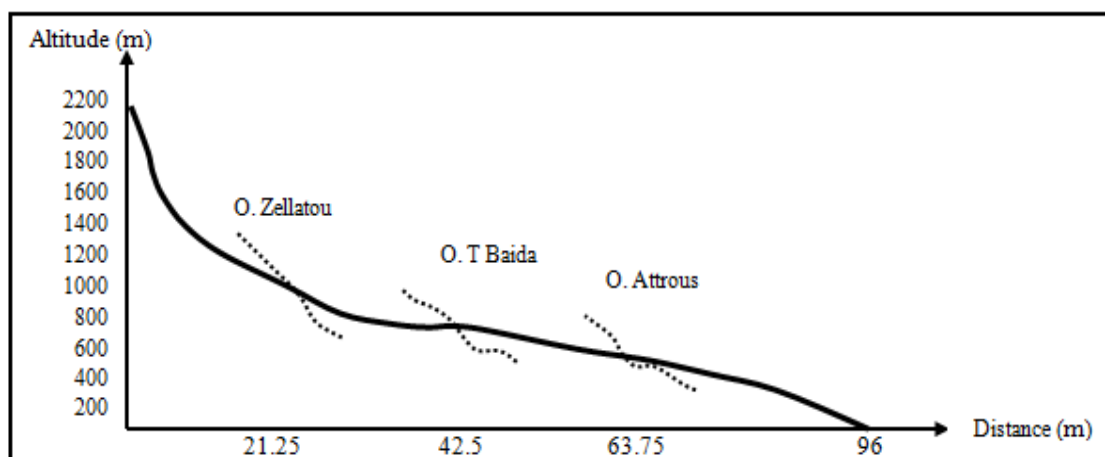


Figure 2.2 Profil en long de la vallée Oued LABIOD

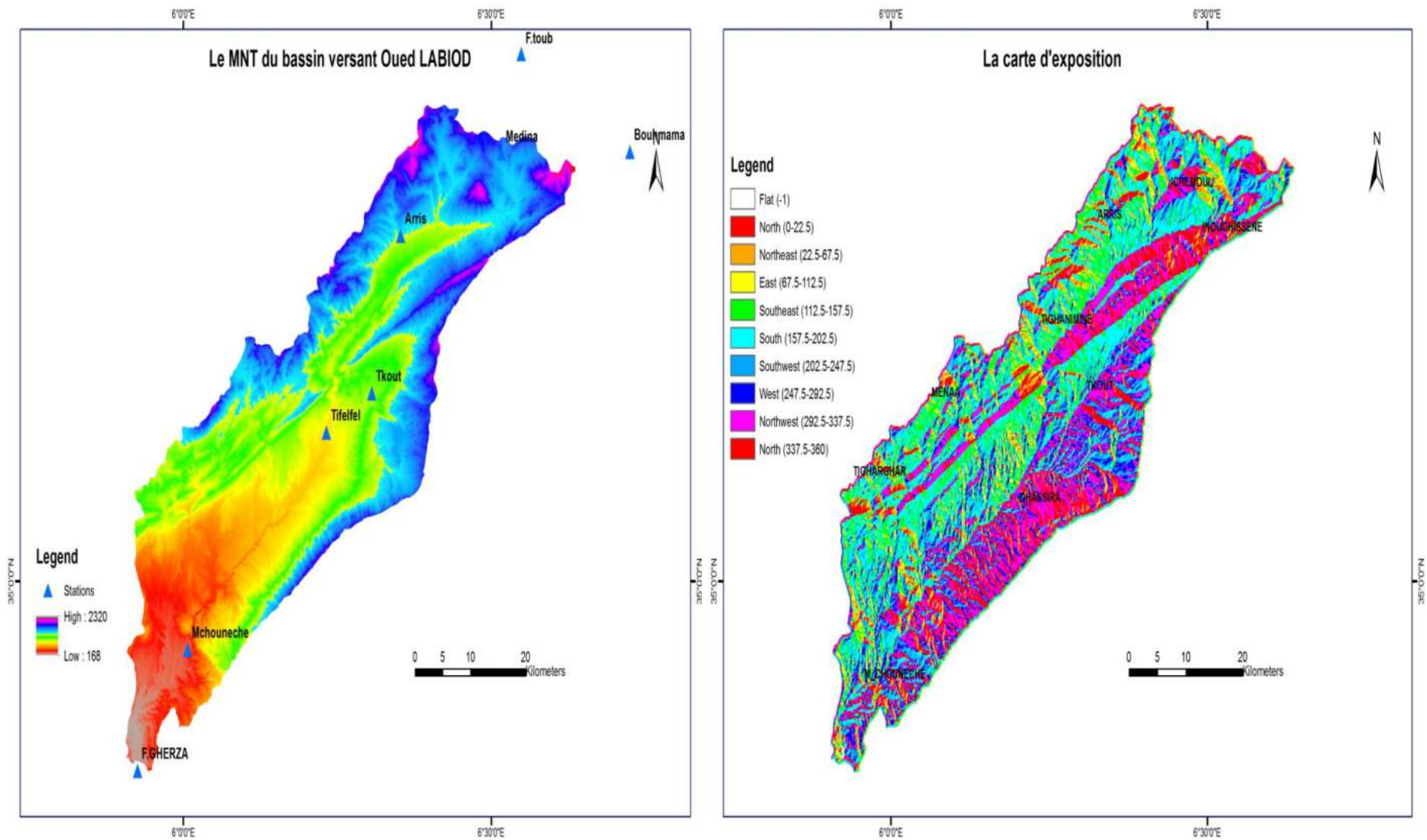


Figure 2.3 MNT et exposition du bassin versant Oued LABIOD

Tableau 2.1: Répartition altimétrique de la zone d'étude

Altitude (m)	ai (km ²)	ai cumulée	ai (%)	ai cumulée (%)
168 - 428	95.57	95.57	7.30	7.30
429 - 629	114.54	210.11	8.75	16.05
630 - 821	121.13	331.24	9.25	25.30
822 - 992	146.52	477.76	11.20	36.50
993 - 1155	151.36	629.12	11.56	48.06
1156 - 1318	152.00	781.12	11.61	59.67
1319 - 1475	163.38	944.50	12.48	72.15
1476 - 1621	171.38	1115.88	13.10	85.25
1622 - 1785	138.99	1254.87	10.61	95.86
1786 - 2320	54.25	1309.12	4.14	100

On constate que la tranche d'altitude entre 168-629 m occupe une surface de 210.11 km² soit 16.5 % de la surface totale du bassin versant, 419 km² pour la tranche entre 800-1155 m soit 32 %, 486.77 km² pour la tranche d'altitude entre 1155-1621m soit 37 % et 193.24 km² soit 14.5 % pour la tranche d'altitude supérieure à 1621 m. Cette répartition altitudinale à sans doute une influence directe sur le régime hydro-climatique du bassin versant et la dynamique fluviale en général.

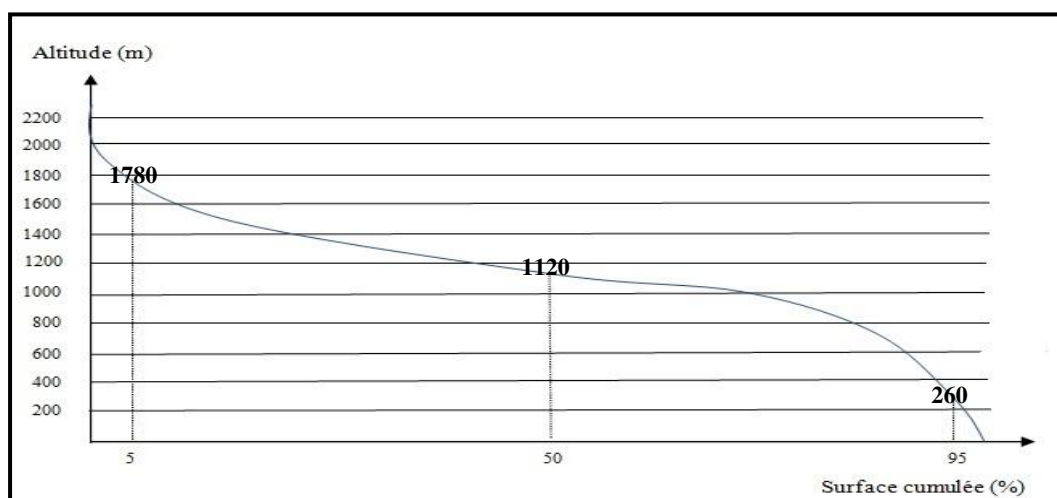


Figure 2.4 La courbe hypsométrique

2.2. La morphométrie :

L'utilisation des différents types de paramètres morphologiques a pour but la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique.

2.2.1 Délimitation de périmètre du bassin versant :

L'exactitude du paramètre (P) dépend de l'échelle, qui s'obtient par planimétrie de surface et curvimétrie de longueurs. C'est deux paramètres sont automatiquement calculés via Arc gis.

A = surface du bassin versant = 1309.12 km².

P = périmètre du bassin versant = 221.6 km.

Sur l'échelle de la carte l'exactitude des limites et du périmètre comporte toujours des erreurs à cause du tracé de la limite topographique portant des sinuosités.

2.2.2 Indice de Gravelius (K_c) :

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et surtout l'allure de l'hydrogramme d'une pluie donnée. Un bassin allongé ne réagit pas si les conditions sont égales, comme un bassin de forme ramassée. Ces caractéristiques sont exprimées par l'indice de compacité de Gravelius. Celui ci est égal au rapport du périmètre du bassin versant stylisé à celui d'un cercle qui aurait la même surface.

K_c = Périmètre du bassin versant / Périmètre du cercle de surface égale au bassin versant

$$A = \pi D^2 / 4 \quad \dots\dots\dots (2.2) \quad \implies \quad D = \sqrt{4A/\pi}$$

$$P = A * D \quad \dots\dots\dots (2.3) \quad \implies \quad P = \pi \sqrt{4A/\pi} = \sqrt{(4A) \pi^2/\pi}$$

$$K_c = P / 2\sqrt{\pi A} = 0.28 * P / \sqrt{A} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$K_c = 1.71 \quad \implies \quad \text{une forme allongée du sous bassin.}$$

2.2.3 Le rectangle équivalent :

C'est la notion introduite pour pouvoir comparer les bassins entre eux du point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement. C'est une transformation purement géométrique où le bassin devient un rectangle de même périmètre. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un de ces côtés.

l : Largeur du rectangle équivalent (km).

L : Longueur du rectangle équivalent (km).

P : Périmètre du bassin versant (km).

A : Surface du bassin versant (km²).

En tenant compte que : $K_c = 0.28 * P / \sqrt{A} \quad \dots\dots\dots (2.5)$

$$P_R = \text{Périmètre du rectangle} = 2(L+l) = K_c * \sqrt{A} / 0.28 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$$A_R = \text{Surface du rectangle} = L * l \quad \implies \quad l = A_R / L \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

En remplaçant l dans (2.6) on aura :

$$P_R = (L^2 + A) / L = K_c * \sqrt{A} / 0.28 = 2L^2 + 2A = K_c * \sqrt{A} / 0.28 * L$$

$$2L^2 * K_c * \sqrt{A} / 0.28 * L + 2A = 0$$

De la résolution du Binôme on aura :

$$L = K * \sqrt{A} / 1.12 \left[1 + \sqrt{1 - (1.12 / K)^2} \right] \dots\dots (2.8)$$

$$l = K * \sqrt{A} / 1.12 \left[1 - \sqrt{1 - (1.12 / K)^2} \right] \dots\dots (2.9)$$

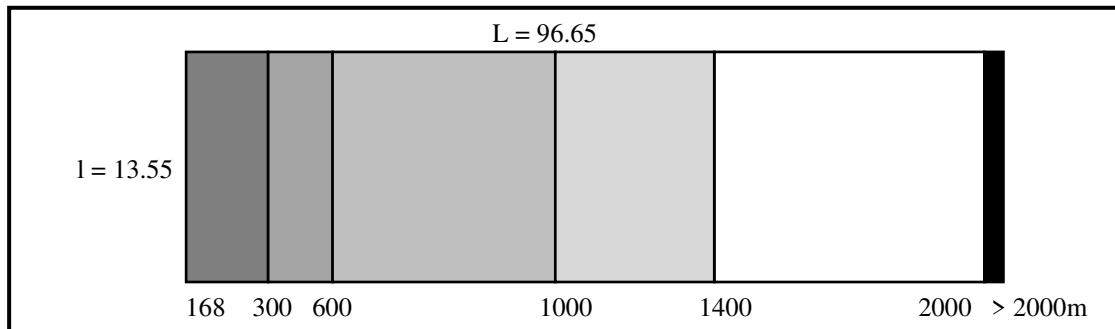


Figure 2.5 Le rectangle équivalent

2.3. Les indices de pente :

Sont les indices rendant compte de l'influence de la pente sur le régime hydrologique du bassin versant.

2.3.1 Indice de pente de Roche (IP) :

IP est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et met en évidence l'influence de la pente sur le ruissellement, il est défini comme suit:

$$IP = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i (J_i * J_{i-1})} \dots\dots\dots (2.10)$$

$J_i * J_{i-1} = di$ (la dénivelée)

$$IP = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i d_i} \dots\dots (2.11)$$

L étant la longueur du rectangle équivalent et A_i la fraction de la surface totale du bassin versant comprise entre J_i et J_{i-1} donnée par la répartition hypsométrique.

2.3.2 L'indice de pente globale (I_g) :

L'indice de pente globale est le rapport entre la dénivelée D ($H_{5\%}$ et $H_{95\%}$) et la longueur du rectangle équivalent L .

$$I_g = D / L \dots\dots\dots (2.12)$$

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots\dots\dots (2.13)$$

Cet indice simple est étroitement corrélé avec l'indice de pente de Roche ($I_g = 0,8 I_p^2$), avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,99.

Tableau 2.2 : Classification du relief selon l'indice globale de pente et la dénivelée

Relief	Classe	I_g	DS (m)
Relief très faible	R ₁	$I_g < 0.002$	< 10
Relief faible	R ₂	$0.002 < I_g < 0.005$	10 < DS < 25
Relief assez faible	R ₃	$0.005 < I_g < 0.01$	30 < DS < 50
Relief modéré	R ₄	$0.01 < I_g < 0.02$	60 < DS < 100
Relief assez fort	R ₅	$0.02 < I_g < 0.05$	110 < DS < 250
Relief fort	R ₆	$0.05 < I_g < 0.1$	260 < DS < 500
Relief très fort	R ₇	$0.1 < I_g$	DS > 500

Source : ORSTOM

2.3.3 L'indice de pente moyenne (I_m) :

C'est le rapport entre la dénivelée totale du bassin versant et la longueur des courbes de niveau L avec la surface du bassin versant.

$$I_m = D * L / \sqrt{A} \dots\dots\dots (2.14)$$

D : équidistance entre deux courbes de niveau (m)

L : longueur des courbes de niveau (km)

A : surface du bassin versant (km²)

Apparemment, la pente est très importante ce qui influence directement le temps de parcours du ruissellement et la vitesse d'écoulement.

La classe de pente de la FAO indique le relief ou la pente d'une association de sols qui est dominant. A cet effet, trois classes sont utilisées : terrain plat à légèrement accidenté dont la pente varie entre 0 et 8 %, terrain ondulé à colliné où la pente dominante varie entre 8 et 30 % et terrain fortement raviné à montagneux avec des pentes dominantes de plus de 30 %⁽³⁵⁾.

2.3.4 La dénivelée spécifique (DS):

$$Ds = I_g * \sqrt{A} \dots\dots\dots (2.15)$$

D'après la classification de l'ORSTOM, le relief est très fort.

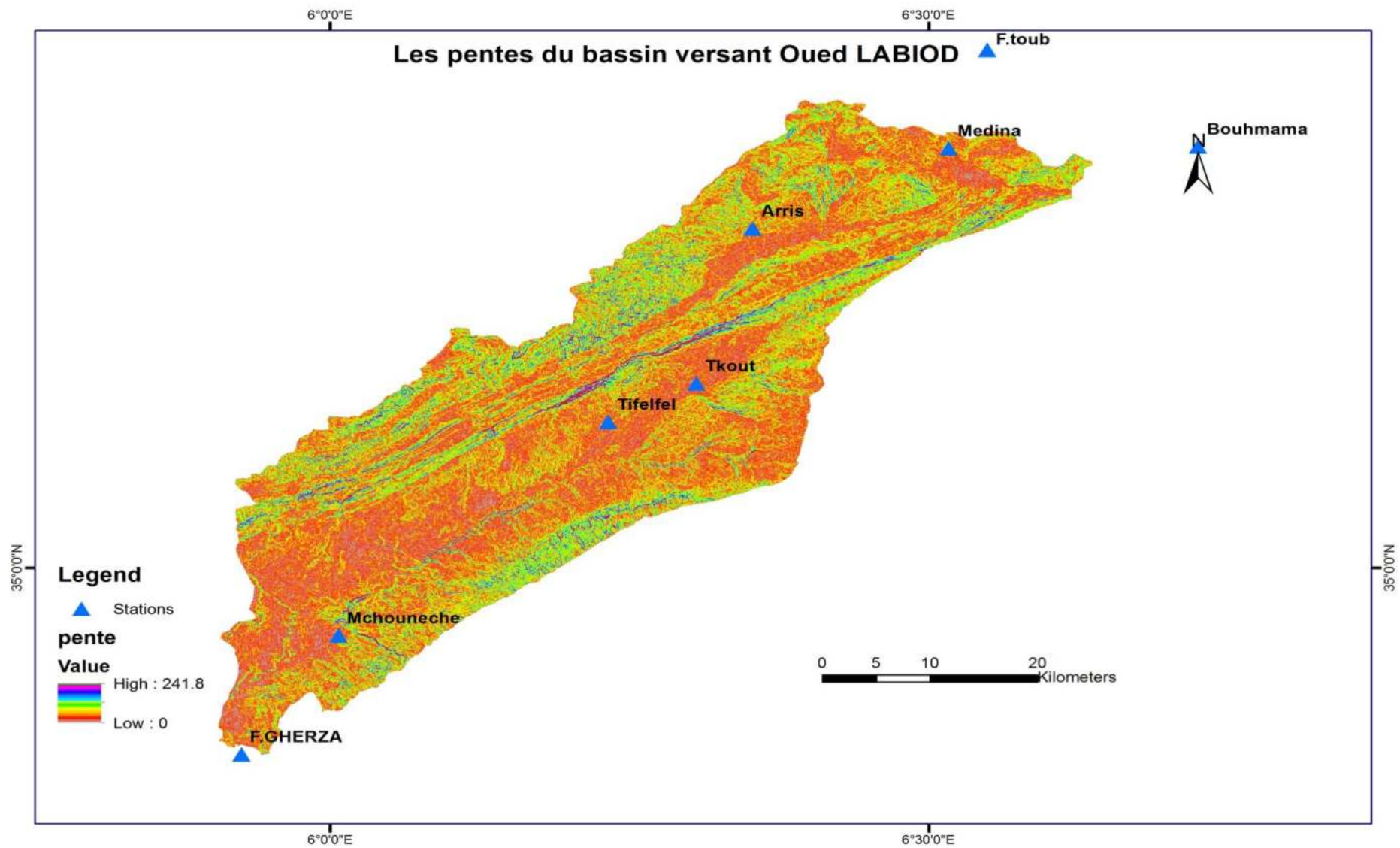


Figure 2.6 La carte des pentes

3. Le réseau hydrographique :

3.1 Classification des talwegs :

Le réseau hydrographique de la zone d'étude a été classé selon Strahler où chaque cours d'eau reçoit un chiffre fonction de son importance.

La classification adoptée attribue à tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent l'ordre 1.

Le cours d'eau d'ordre $x+1$ est le résultat de tout tronçon de talweg formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre x et un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur ne change pas son ordre.

Tableau 2.3 : Classification et longueur des cours d'eau

Ordre	Nombre	Longueur (km)
1	870	894.84
2	432	454.52
3	174	160.20
4	109	81.45
5	111	68.30
6	1	26.56

3.2 La densité de drainage (Dd) :

Elle est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tout ordre à la surface drainée soit :

$$Dd = L/A \dots\dots\dots (2.16)$$

L : Longueur du cours d'eau (km).

A : Surface du bassin versant (km²).

3.3 Le rapport de confluence (R_b):

Sur la base de la classification des cours d'eau, différentes lois ont été établi:

$$R_b = N_x / N_{x+1} \dots\dots\dots (2.17)$$

R_b : rapport de confluence des cours d'eau

N_x : nombre de cours d'eau d'ordre x

N_{x+1} : nombre de cours d'eau d'ordre $x+1$

$$R_L = L_x / L_{x-1} \dots\dots\dots (2.18)$$

R_L : rapport des longueurs des cours d'eau

L_x : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre x

L_{x-1} : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre $x-1$.

Tableau 2.4 : Classes et catégories de pentes et drainage externe

Bornes des classes			Catégorie de pente (Curtis et al., 1965)	Type de drainage (Sys et al., 1961)
Pourcent	Degré	Grade		
1	0°34'	0.64	Faible	Lent
9	5°11'	5.76	Moyenne	Moyen
25	13°59'	15.54	Assez forte	Rapide
49	26°06'	29.00	Forte	Rapide
100	45°00'	50.00	Très forte	Rapide
275	70°00'	77.77	Abrupte	Très rapide

Source : Emberger et al., (1983)

3.4 Le coefficient de torrentialité (C_t) : est défini comme suit :

$$C_t = F_1 * Dd \dots\dots\dots (2.19)$$

$$F_1 = N_1 / A \dots\dots\dots (2.20)$$

N_1 : Nombre de talweg d'ordre 1 ;

A : Surface du bassin versant (km²) ;

Dd : Densité de drainage (km/km²).

3.5. La pente moyenne du lit du cours d'eau (K_r) :

La pente moyenne du cours d'eau a été calculée a partir de l'équation suivante :

$$K_r = H_{max} - H_{min} / 10 * L \dots\dots\dots (2.21)$$

K_r : pente du cours d'eau du bassin (%) ;

H_{max} : hauteur maximum (m) ;

H_{min} : hauteur minimum (m) ;

L : longueur du cours d'eau (m).

3.6. Le temps de concentration (T_c) Giandotti:

C'est le temps que met une particule d'eau tombant sur le point le plus éloigné de l'exutoire.

$$T_c = 4 * \sqrt{A} + 1.5 * L_c / 0.8 * \sqrt{H} \dots\dots\dots (2.22)$$

T_c : temps de concentration (heure) ;

A : superficie du bassin versant (km²) ;

L_c : longueur du talweg principal (km) ;

H : altitude moyenne du bassin versant (m).

3.7. La vitesse d'écoulement (V_e) :

$$V_e = L / T_c \dots\dots\dots (2.23)$$

V_e : vitesse d'écoulement (m/s) ;

L : longueur du talweg principal (m) ;

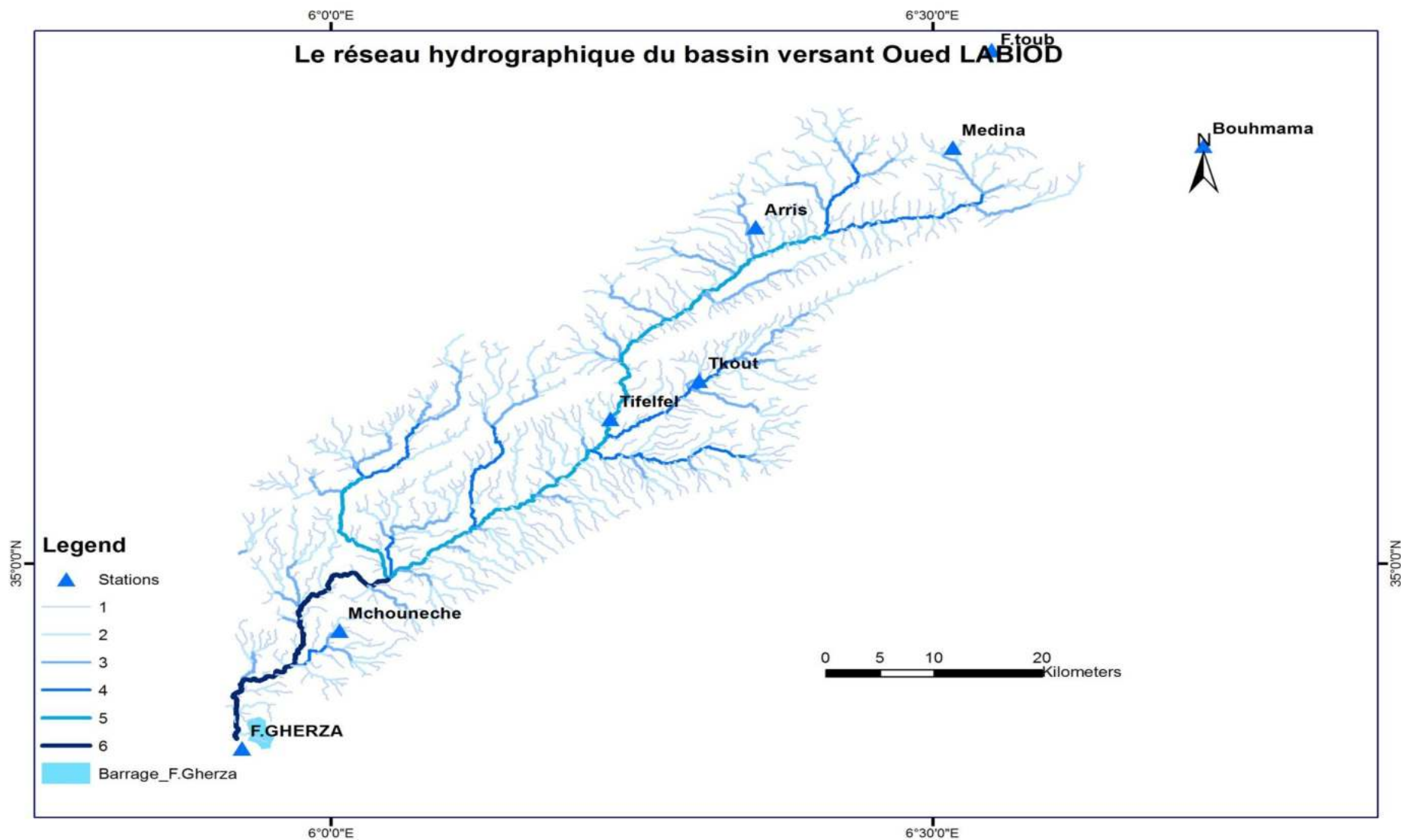


Figure 2.7 La carte du réseau hydrographique

Tableau 2.5 : Les caractéristiques physiques de la zone d'étude

Désignation	Symbole	Unité	Valeur
La surface	A	Km ²	1309.12
Le périmètre	P	Km	221.60
L'altitude maximale	H_{max}	m	2326
L'altitude moyenne	H_{moy}	m	1380
L'altitude minimale	H_{min}	m	168
L'altitude égale à 5% du BV	$H_{5\%}$	m	1780
L'altitude égale à 50% du BV	$H_{50\%}$	m	1155
L'altitude égale à 95% du BV	$H_{95\%}$	m	260
L'indice de compacité	Kc	/	1.71
L'indice de pente de Roche	Ip	m/km ²	1.96
L'indice de pente moyenne	Im	m/km	9.11
L'indice de pente globale	Ig	m/km	16.20
Longueur du talweg principal	Lc	Km	96.65
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	96.65
Largeur du rectangle équivalent	l	Km	13.55
La densité de drainage	Dd	Km/km ²	1.30
La dénivelée spécifique	Ds	/	586.11
Le rapport de confluence	R_b	/	2.01
Le rapport des longueurs	R_L	/	0.51
Le coefficient de torrentialité	Ct	/	0.85
La pente moyenne du lit du cours d'eau	Kr	%	12
Le temps de concentration	Tc	h	10
La vitesse d'écoulement	Ve	m/s	2.68

Les résultats des caractéristiques morphométriques du bassin objet d'étude montrent que le réseau hydrographique est dompté et très développé avec une densité de drainage assez importante en amont.

Le coefficient de torrentialité est assez élevé vu le nombre considérable de talwegs de premier ordre ainsi que les sinuosités qu'ils forment depuis la source.

Quant au temps de concentration, il signifie qu'une particule d'eau en amont doit parcourir un environ 10 heures pour arriver à l'exutoire.

Ce long trajet est justifié par la forme allongée du bassin versant d'une part dont le talweg principal est égal à 96.65 km et la complexité des chenaux de premier ordre des torrents qui acheminent vers le cours d'eau principal d'autre part traversant différentes structures et formations.

4. La géologie:

La géologie d'un bassin versant est un facteur très important dans le régime des cours d'eau qui le drainent. En période de crue, les volumes écoulés seront d'autant plus grands que le bassin sera plus imperméable ⁽³⁶⁾. L'étude géologique a le plus souvent pour objet de classer les matériaux selon leur résistance et leur perméabilité. Celle-ci intervient directement sur la réponse hydrologique du bassin versant.

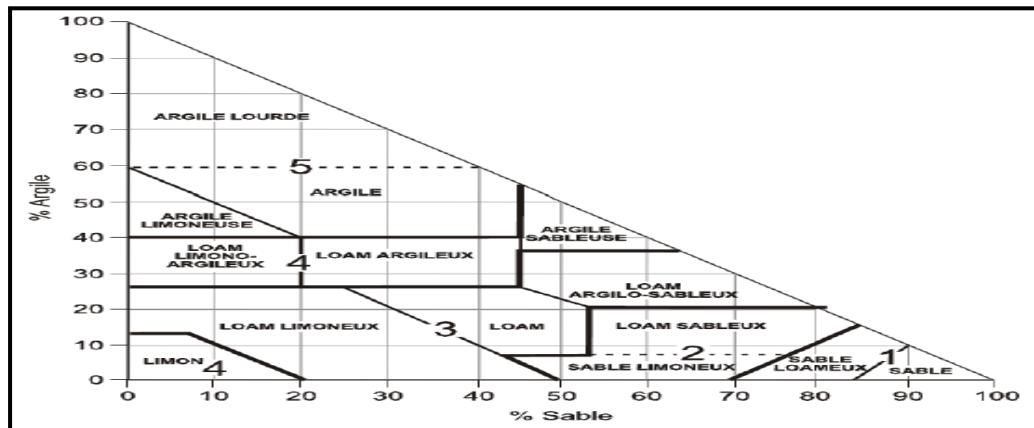
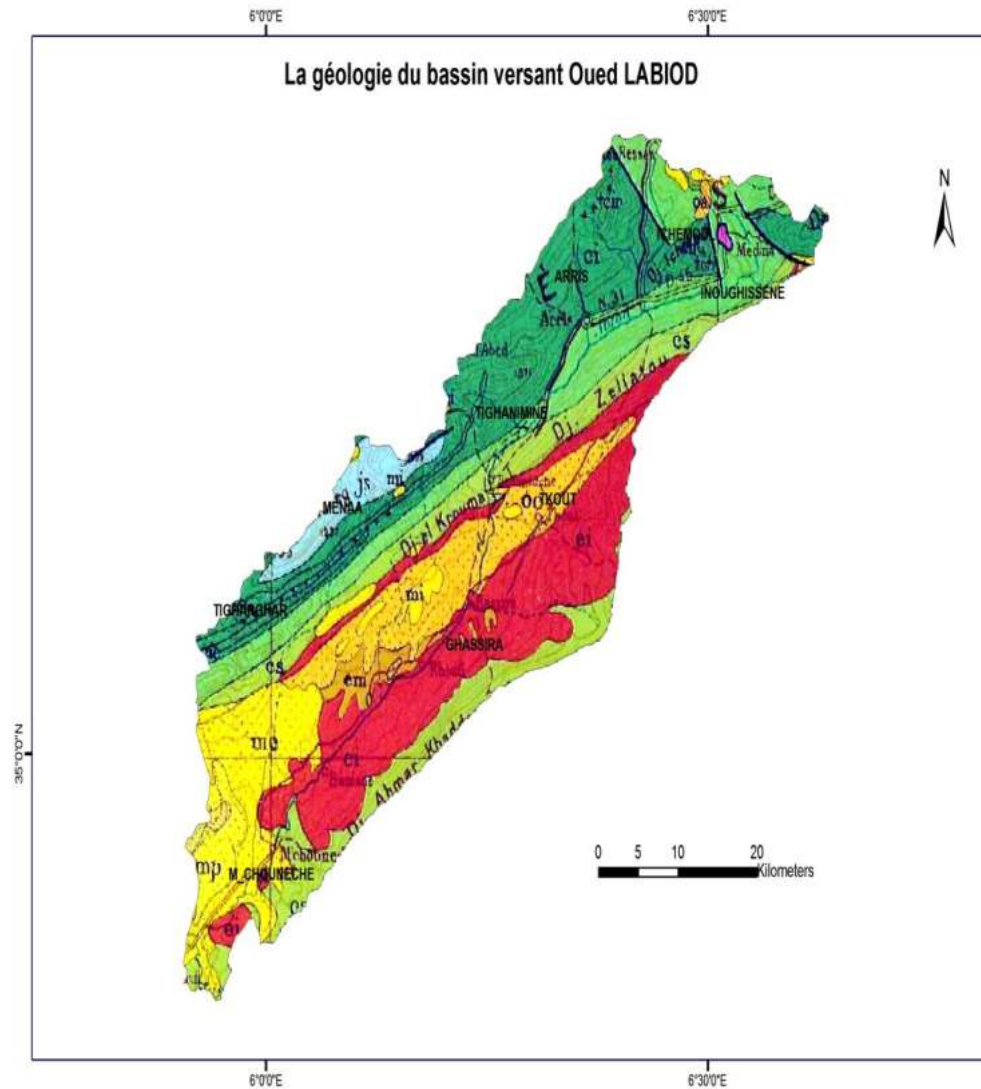


Figure 2.8 La perméabilité en fonction de la texture (D'après O C S R E, 1993)

La géologie apporte aussi beaucoup d'indications sur l'érodibilité du matériau rocheux, indispensable à l'évaluation de l'érosion des sols, le transport solide, et l'envasement des barrages. Le bassin versant Oued LABIOD s'inscrit dans l'évolution générale de l'Atlas Saharien et du massif des Aurès en particulier. Les formations essentielles appartiennent au Crétacé et l'Eocène sous forme d'alternance de calcaire et marne avec quelques grès sur une épaisseur de 8000 m environ. Ces formations sont fortement ployées en série d'anticlinaux (Djebel Lahmar Kheddou, Djebel Azreg) et synclinaux (Ghassira) d'exposition générale Nord-est / Sud-ouest. Cette première série lithologique est surmontée en discordance par des formations plus récentes appartenant essentiellement au Miocène et au Pliocène caractérisées par des conglomérats, des argiles et des sables au Sud. La répartition lithologique montre aussi des zones à érodibilité moyenne à forte au nord et d'autres à érodibilité faible à moyenne au sud favorisée par le ruissellement diffus qui engendre une érosion plus ou moins importante. Quant à la tectonique, on peut dire que le massif des Aurès est caractérisé par une structure simple constituée généralement par le synclinal de Ghassira qui est le plus important des Aurès et prend naissance au Sud-est du bassin de Loutaya.



qt	Quaternaire continental: alluvions, vrgs, terrasses	
qm	Quaternaire marin: plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent	
qC	Calabrien: grès marine et formations dunaires associées	
qV	Villafranchien: calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges	
pV	Pliocène continental et Villafranchien non séparés (pV)	
pc	Pliocène continental: psaltingues, calcaires lacustres	
p	Pliocène marin (conglomérats, marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaires subordonnées)	
mp	Pontien (équivalent du mc)	
ms	Miocène terminal marin et lagunaire: couches à Tripoli, marnes à gypse	
mm	Miocène supérieur marin: calcaires grès, argiles	
mc	me Miocène continental antépontien	
mi	Miocène inférieur marin (Burdigalien)	
oa	Aquitainien continental (pouvant inclure localement la base du Burdigalien)	
oc	Oligocène continental (pouvant inclure localement l'Éocène sup. continental)	
o	Oligocène marin incluant localement l'Éocène supérieur)	
em	Éocène moyen marin	
ec	Éocène moyen et inférieur continental	
ei	Éocène inférieur marin	
es	Crétacé supérieur marin	
esc	Crétacé supérieur continental	
esm	Crétacé supérieur marin non subdivisé	
em	Crétacé moyen (marin ou lagunaire)	
en	divisé éventuellement en: et Turonien	
en	Cénomannien	
e	Crétacé marin non subdivisé	
ci	Crétacé inférieur (Vraconien à Berriasien)	
ci	ci ₁ - faciès marins normaux	
ci	ci ₂ - faciès ou subfaciès continentaux ou lagunaires	
ci	ci ₃	
js ₃	jc Jurassique sup. et moyen	js ₃ Portlandien et Kimmeridgien (pouvant inclure localement le Berriasien)
js ₂	jms Jurassique sup. et moyen marins non séparés	js ₂ Lusitanien
js ₁		js ₁ Oxfordien et Callovien
jm	jm Jurassique moyen (pouvant inclure localement l'Aalénien supérieur)	
t	Trias marin ou lagunaire	

Figure 2.9 La géologie du bassin versant Oued LABIOD (d'après Laffitte, Royer, Termier 1952)

Sa partie inférieure est occupée par des poudingues Paléocène que l'érosion quaternaire a mis en relief dégageant à leur périphérie les sables du Pontien, dans le bas synclinal notamment au nord de M'chounèche où affleurent les sables et les argiles du Pontien qui sont conservés dans des ravins entaillés dans les calcaires de Maestrichtien conservant ainsi un réseau hydrographique. Le synclinal est effacé par un repli anticlinal très net et recoupé perpendiculairement par Oued LABIOD en gorges très étroites et profondes. Contrairement au nord, le flanc Sud-ouest est faillé ce qui affecte les grès du Pontien à la partie Nord-est de l'anticlinal sur la rive droite de Oued LABIOD. A la sortie des gorges, les grès et les argiles du Pontien sont presque relevés à la verticale, une conséquence de ces plissements transversaux a été le creusement des gorges de Tighanimine sur l'emplacement des anticlinaux. Le synclinal dans sa partie nord-ouest est très régulier, ses bords sont formés par les calcaires Maestrichtiens qui constituent les crêtes de Lahmar kheddou. Le centre est occupé par le Nummulitique (marnes, calcaires marins) à la base et par des couches rougeâtres Lutésiennes et surtout post Lutésiennes au sommet. Cet ensemble est recouvert de Miocène marin au Sud de T'kout. Le synclinal est affecté par un léger repli anticlinal au nord, l'axe s'abaisse rapidement vers le mont Chélia (2326 m) suite à un accident. Il butte contre le Crétacé inférieur en une faille provoquant une dénivellation d'environ 500 m. Le bassin de risque est constitué d'une série puissante de rides parallèles, orientée Nord-est/ Sud-ouest. Ces plis serrés, dessinent de longues arêtes rectilignes, faites de crêtes séparées par des vallées profondes et parallèles, entre lesquelles se sont enfoncés les Oueds : Abdi, LABIOD, El Arab, El kantara.

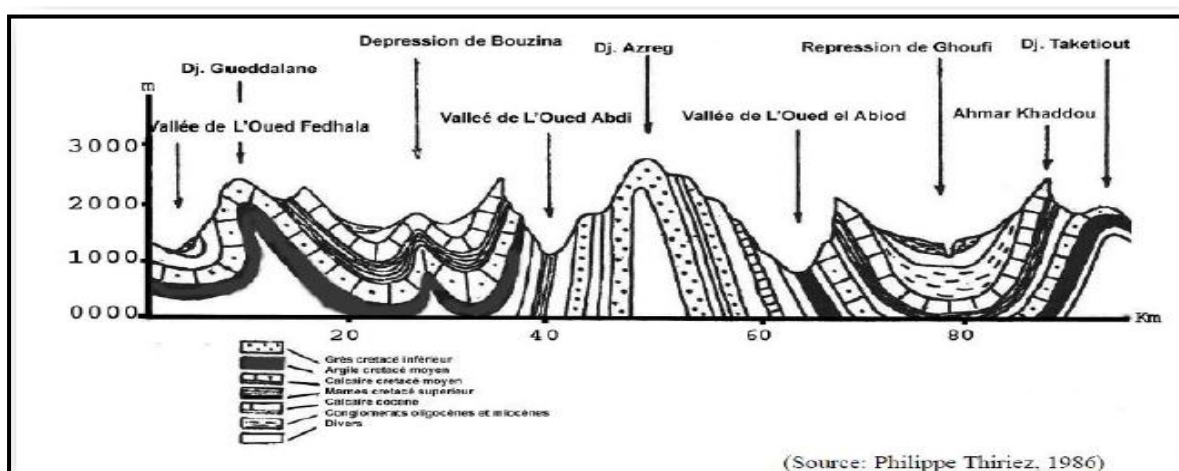


Figure 2.10 Coupe transversale de la lithologie des Aurès

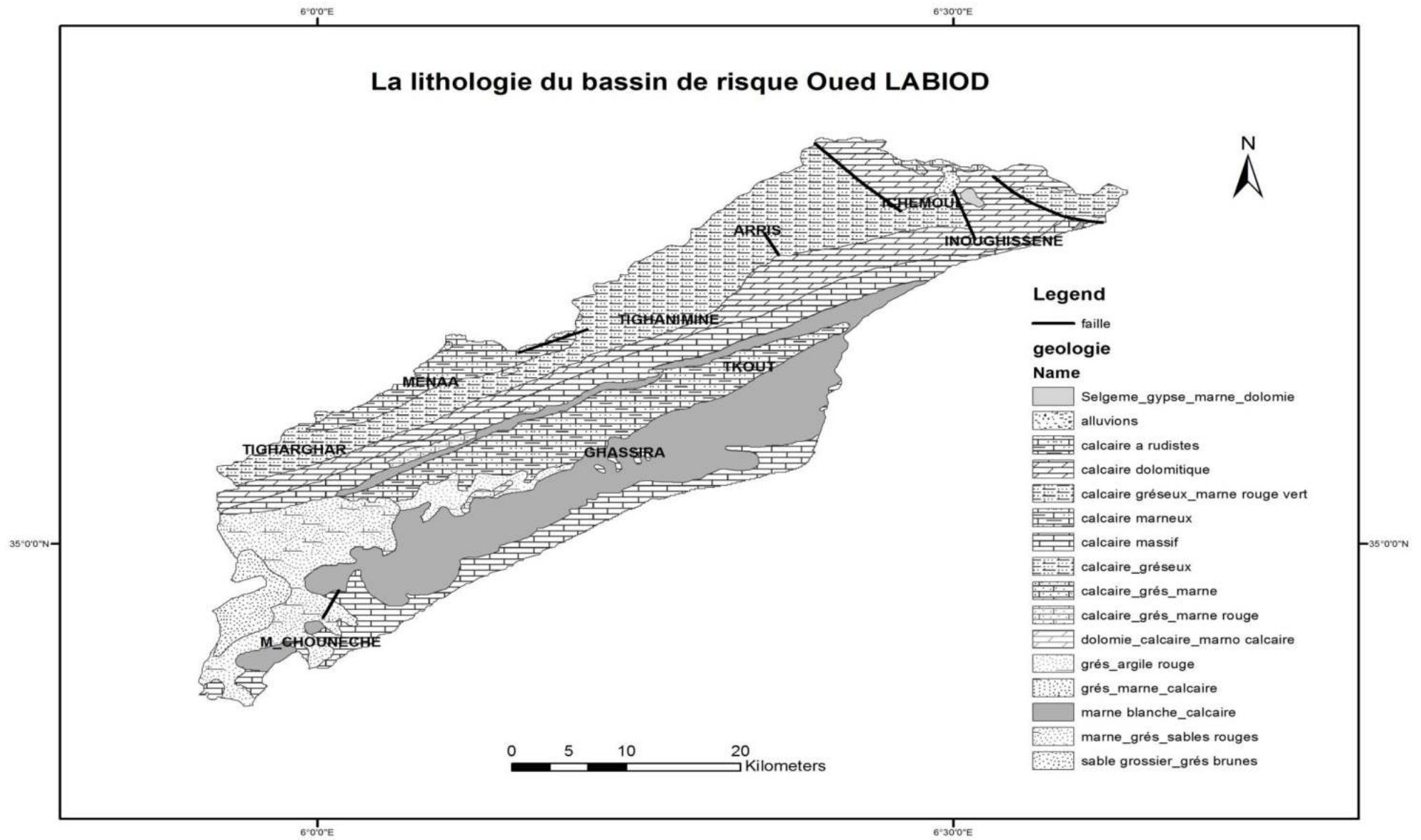


Figure 2.11 La carte lithologique du bassin de risque

5. La géomorphologie :

L'étude géomorphologique est indispensable à la compréhension et l'interprétation des processus dynamiques. Les rares études menées dans la zone d'étude nous ont conduit à nous appuyés sur la carte géomorphologique de Djebel Chélia (Ballais, 1981).

De manière générale, le bassin de risque s'inscrit dans l'évolution générale de l'Atlas Saharien avec une exposition Sud-ouest Nord-est.

Les petites dénivellations de Chott Melrhir le long des glacis limoneux constituent le niveau de base et la partie méridionale est occupée par des poudingues Paléocène (marnes blanches, calcaires) mis en relief par l'érosion. Les ravins entaillés dans les calcaires et la marne crayeuse du Maestrichtien constituent les crêtes de Lahmar Kheddou.

Le réseau hydrographique dompté est confiné par un bourrelet anticlinal apparent recoupé perpendiculairement par Oued LABIOD en gorges étroites à Tighanimine et canyons profonds à Ghoufi témoignant d'un long processus érosif dans la région.

L'aval, est essentiellement constitué de ravins sableux-argileux du Pontien qui favorisent la sédimentation des matériaux transportés. Les terrasses d'origine alluviales sont les plus répandues dans le bassin de risque. Elles y sont peu développées en altitude et facilement distinctes à proximité des piémonts. Les terrasses alluviales sont principalement constituées de galets, cailloux, sable. Les terrasses étagées sont appréciées un peu plus en aval où la basse terrasse est souvent cultivée.

L'érosion hydrique qui s'exerce sur le fond du lit par creusement via une érosion verticale ou sur les rives de l'Oued par sapement des berges via une érosion latérale engendre l'élargissement du lit et la formation des méandres.

Le lit majeur de l'oued LABIOD est restreint en amont et très vaste en aval avec une largeur variable entre 6 et 25 m. Il est essentiellement constitué de galets, cailloux et sable.

Le lit mineur est occupé par des matériaux transportés et roulés par les eaux. Il est facilement modifiable du fait qu'il est toujours exploité par l'homme et constitué de galets, graviers et des cailloutis.

Les méandres sont des formes sinueuses qui résultent de l'accélération et la concentration de l'érosivité sur la rive concave d'attaque contrairement à la rive convexe où l'oued y dépose sa charge ce qui a donné naissance au canyon de Ghoufi après un long processus érosif.

6. La pédologie :

D'après Djebaili et al., 1983 ; Halitim, 1988 ; Kadi hanifi, 1998, la zone d'étude est caractérisée par l'association de sols minéraux bruts et de sols peu évolués non climatique d'érosion selon la classification Française des sols ⁽³⁷⁾. Ces types de sols Lithosoliques qui appartiennent au groupe d'érosion sont répartis le long du synclinal de Ghassira. Ils sont répartis principalement sur les sommets d'Inoughissen, Arris, Tighanimine, Djebel Zellatou, Djebel Ahmar Kheddou où l'érosion hydrique est intense. Ces sols sont répartis aussi dans les forêts et matorrals sur roches dures (grès, calcaire) avec l'association de sols peu évolués d'érosion (Régosoliques, Calcomagnésiques) sur roches tendres (marne, calcaire marneux).

Cette alternance est omni présente au niveau de T'kout, Khanguet Media, Ras el Borj et les sols minéraux brutes d'apport alluvial dans les lits des Oueds caillouteux. Il est à noter aussi que les sols peu évolués Humifères (lithocalciques, Bankers de sols Calcomagnésiques carbonatés, sols à mull et des sols bruns forestiers), sont généralement des sols d'origine colluviale sur les piémonts et les glacis ou d'origine alluviale dans les lits des Oueds et les zones d'épandage (Médina, M'chounèche).

Tableau 2.6: Les types de sols

Classe	Groupe	Sous groupe	Famille
Sols minéraux bruts	d'érosion	Lithosols	roches dures
		Régosols	roches tendres
Sols peu évolués non climatiques	d'érosion	Lithosols	roches dures
Sols minéraux d'apport	d'apport	Alluvial	matériaux fins

Source : Duchaufour, 1977

D'après la classification Française des sols établie par Duchaufour (1977), on constate que le bassin versant Oued LABIOD est marqué par une nette dominance de sols minéraux bruts et peu évolués d'érosion traduisant l'alternance des roches dures et tendres tout au long de la vallée Oued LABIOD.

7. Le couvert végétal :

La forêt dans le bassin d'étude s'est réduite en superficie et s'est appauvrie en biomasse et en biodiversité.

Il y a une trentaine d'années, les terres forestières de la région étaient estimées à des milliers d'hectares, avec des centaines d'hectares couverts effectivement de forêts.

L'évaluation récente des ressources forestières estime qu'il existe près de 300000 hectares de superficies forestières.

Le taux annuel de déforestation entre 1990 et 2001 a été de l'ordre de 114000 ha.

Tableau 2.7: Répartition du couvert végétal par hectare

Type d'occupation	Formes végétales	Surface (ha)
Forêt domaniale Aurès	Le Cèdre (Cedrus), le chêne vert (Quercus ilex), le pin d'Alep (Pinus halepensis), le Genévrier oxycèdre - Genévrier de Phénicie (Juniperus oxycedrus - Juniperus Phoenicea)	10141.78
		3930.12
		712.50
		4829.00
		372.10
		4699.07
Forêt domaniale Beni Oudjana	Le Cèdre	372.10
Forêt domaniale Beni Bouslimane	Maquis de chêne vert et Pin d'Alep clair	5441.07
Parcours	Alfa	4783.18
Prairies		20.00
Terres improductives		2770.065
Arboriculture	Arbres fruitiers, pommiers	2283.00
Céréaliculture	Blé, orge	12200.00
Cultures maraichères	Oignon, ail, pomme de terre	787.00

Source : District des forêts Arris, 2009

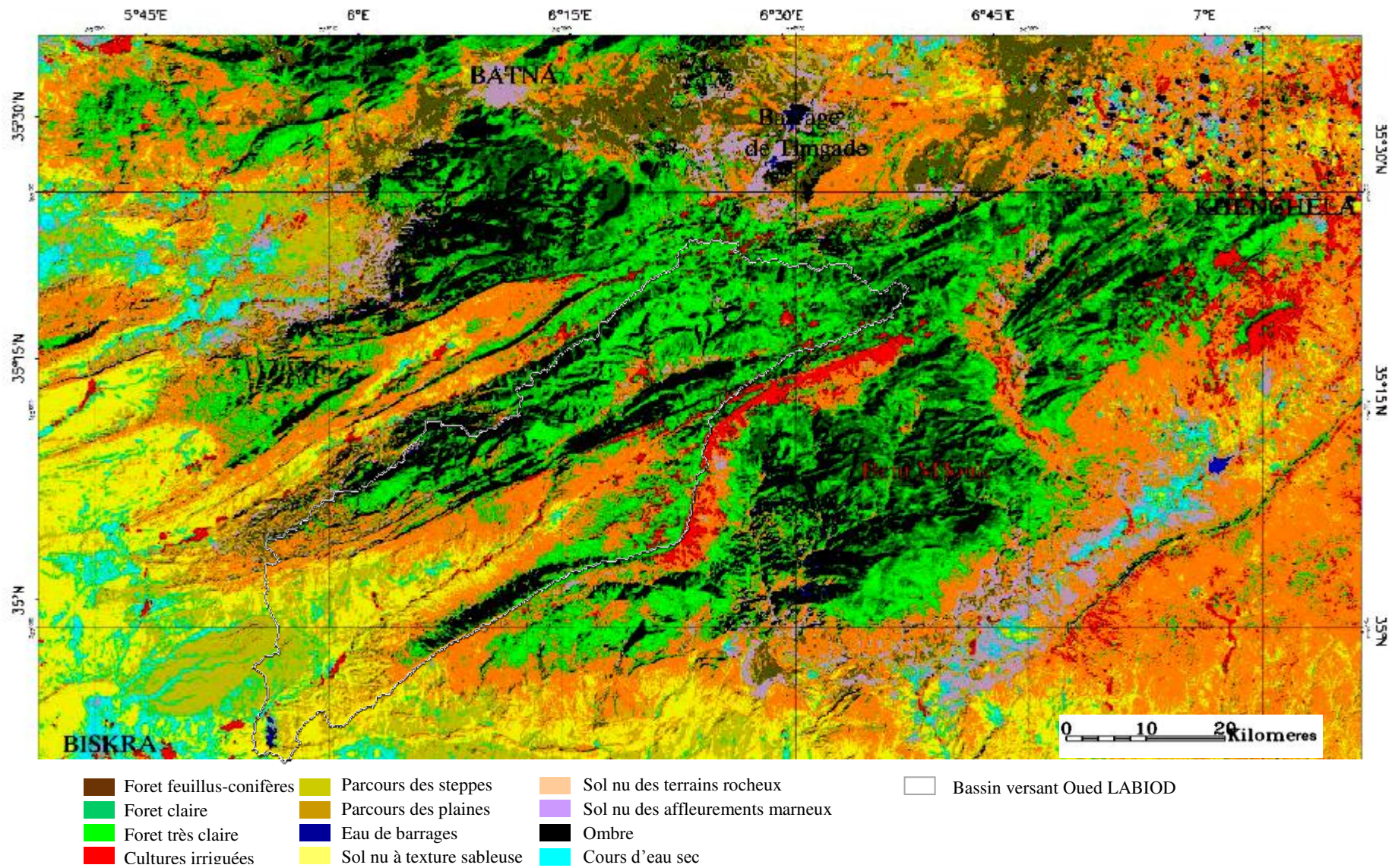


Figure 2.12 Occupation des sols dans les Aurès (d'après Benmessaoud, 2011)

8. Le climat :

8.1. Les précipitations :

L'étude des précipitations est d'une importance capitale pour la détermination du régime climatiques. Les précipitations dans le bassin de risque sont caractérisées par un double gradient latitudinal et altitudinal. Le bassin versant Oued LABIOD est équipé de 5 stations pluviométriques et une station hydrométrique.

Les données pluviométriques recueillies auprès des l'ANRH ont fait l'objet d'une longue phase de traitement et d'homogénéisation notamment par comblement des lacunes en raison des conditions d'insécurité durant les années 90 ou des changements apportés aux stations de mesure (déplacement de l'appareil, changement d'observateur,...)

Tableau 2.8 : Caractéristiques des stations pluviométriques

Station	Code	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Medina	061503	6°31'02'' E	35°19'46'' N	1451
Arris	061504	6°21'11'' E	35°15'59'' N	1100
T'kout	061505	6°18'22'' E	35°08'42'' N	980
M'chouneche	061506	6°00'25'' E	34°56'49'' N	330
Tifelfel	061511	6°13'57'' E	35°06'53'' N	740
Foum El Gherza	061601	5°55'33'' E	34°51'12'' N	100

Source : ANRH, 2008

Pour la correction des séries on à eu recours à la méthode du double cumul qui consiste à corriger les pluies cumulées d'une station (B) jugée hétérogène à partir d'une station de référence (A) homogène.

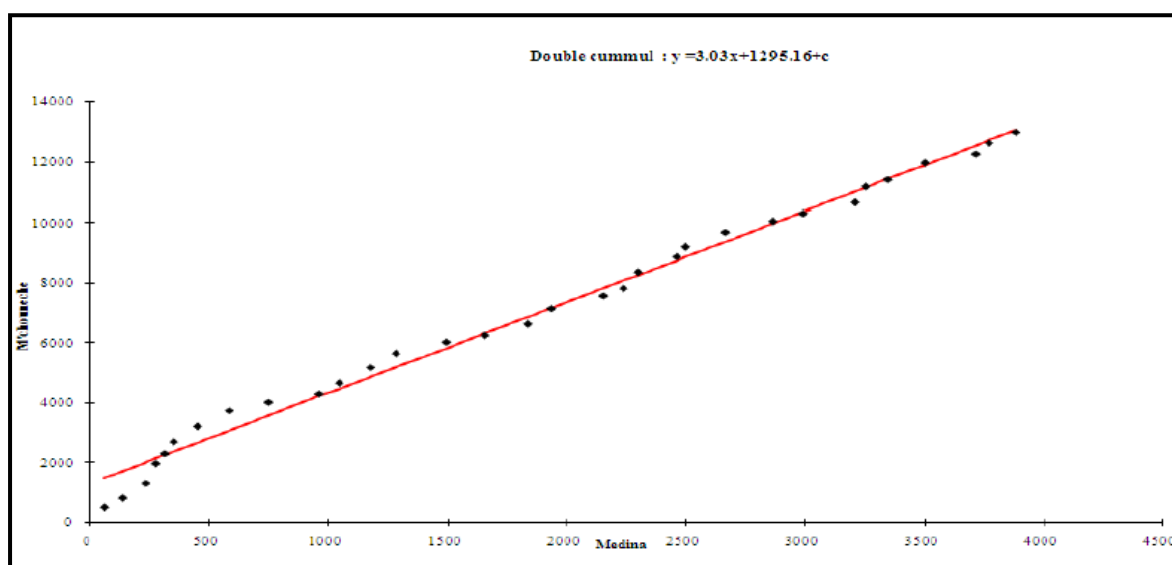


Figure 2.13 La méthode du double cumul

8.1.1 Etude statistique des précipitations journalières :

8.1.1.1 Estimation des pluies journalières maximales :

Les pluies journalières ont été estimées après ajustement aux lois statistiques dont la loi de Gumbel semble la mieux appropriée via le logiciel Statistica 13.

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \dots\dots (3.24)$$

$F(x)$: fréquence au non dépassement (FND) ; $F = (fND + fD) = 1$;

α, x_0 : coefficients d'ajustement ;

Par changement de variable on obtient : $y = \alpha(x - x_0) \dots\dots\dots (2.25)$

$$x = 1/\alpha y + x_0 \dots\dots\dots (2.26)$$

$\mu = \alpha(x - x_0)$; $x = 1/\alpha * \mu + x_0$; $1/\alpha = 0.780 * \delta$ et $x_0 = x - 0.577 / \alpha$;

X : la moyenne de l'échantillon = $\Sigma x_i / N$; δ : L'écart type = $\sqrt{\delta^2} = \Sigma (x_i - x)^2 / N - 1$;

Cv : coefficient de variation = δ / x ; μ : La variable réduite de GUMBEL = $\alpha(x - x_0)$;

f : la fréquence = $1 - 0.5 / N$.

$$x = 1/\alpha y + x_0 \dots\dots\dots (2.27)$$

$$y = - [Ln (-Ln (F(x)))] \dots\dots\dots (2.28)$$

Tableau 2.9 : Estimation des pluies journalières

Station	Fréquence	Temps de retour	Y	$P_{j,max}$
Médina	0.8	5	1.5	63.87
	0.9	10	2.25	84.92
	0.99	100	4.55	161.83
F.Gherza	0.8	5	1.5	40.41
	0.9	10	2.25	50.21
	0.99	100	4.55	86.00

Source : Auteur

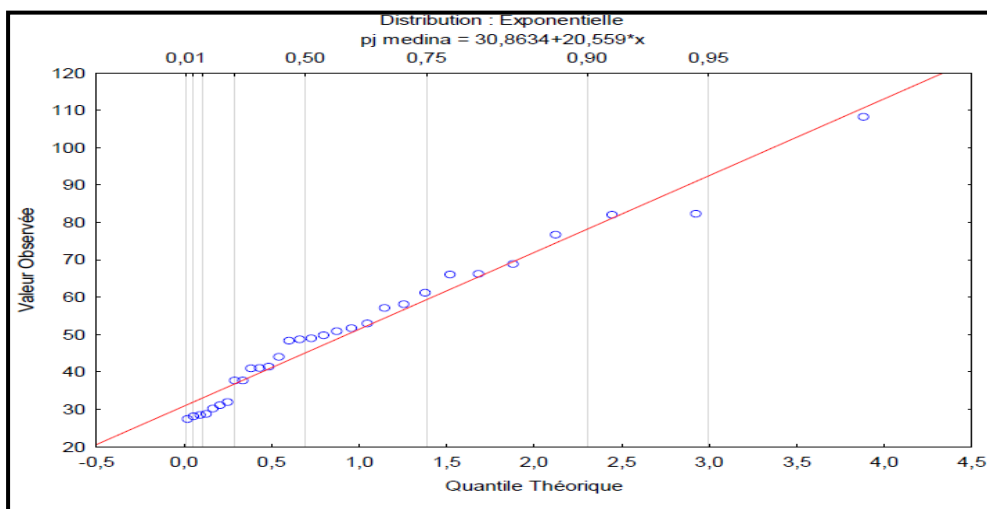


Figure 2.14 Ajustement des Pluies journalières de Medina

8.1.1.2 Les pluies annuelles moyennes :

On dispose des données concernant les 4 stations pluviométriques dont le fonctionnement date de 1970/1971.

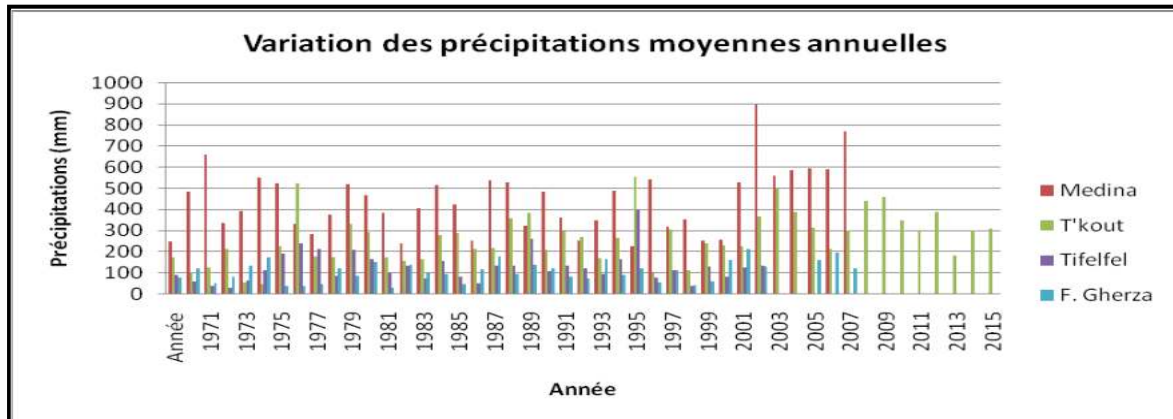


Figure 2.15 Variation des précipitations moyennes annuelles

8.1.1.2.1 Calcul de la pluie moyenne annuelle sur l'ensemble du B.V:

8.1.1.2.1.1 La méthode arithmétique :

$$P = \Sigma P_i / N \dots\dots\dots (2.29)$$

P : pluie moyenne sur l'ensemble du bassin versant (mm).

P_i : hauteur de pluie moyenne d'une station donnée (mm).

N : nombre de station.

$$P = 232 \text{ mm.}$$

8.1.1.2.1.2 La méthode de Thiessen :

$$P = \Sigma P_i * S_i / S \dots\dots\dots (2.30)$$

P : pluie moyenne sur l'ensemble du bassin versant (mm) ;

P_i : hauteur de pluie moyenne d'une station donnée (mm) ;

S_i : surface partielle couverte par la station (km²) ;

S : surface du bassin versant (km²).

Tableau 2.10 : La méthode de Thiessen

Station	P_i	S_i	$P_i * S_i$	$P_i * S_i / S$
Medina	417.00	372.17	155194.89	118.54
T'kout	260.10	206.00	53560.00	40.91
Tifelfel	153.00	354.56	54247.68	41.43
M'chounèche	121.70	376.38	45541.98	3.47
Total				235.68

Source : Auteur

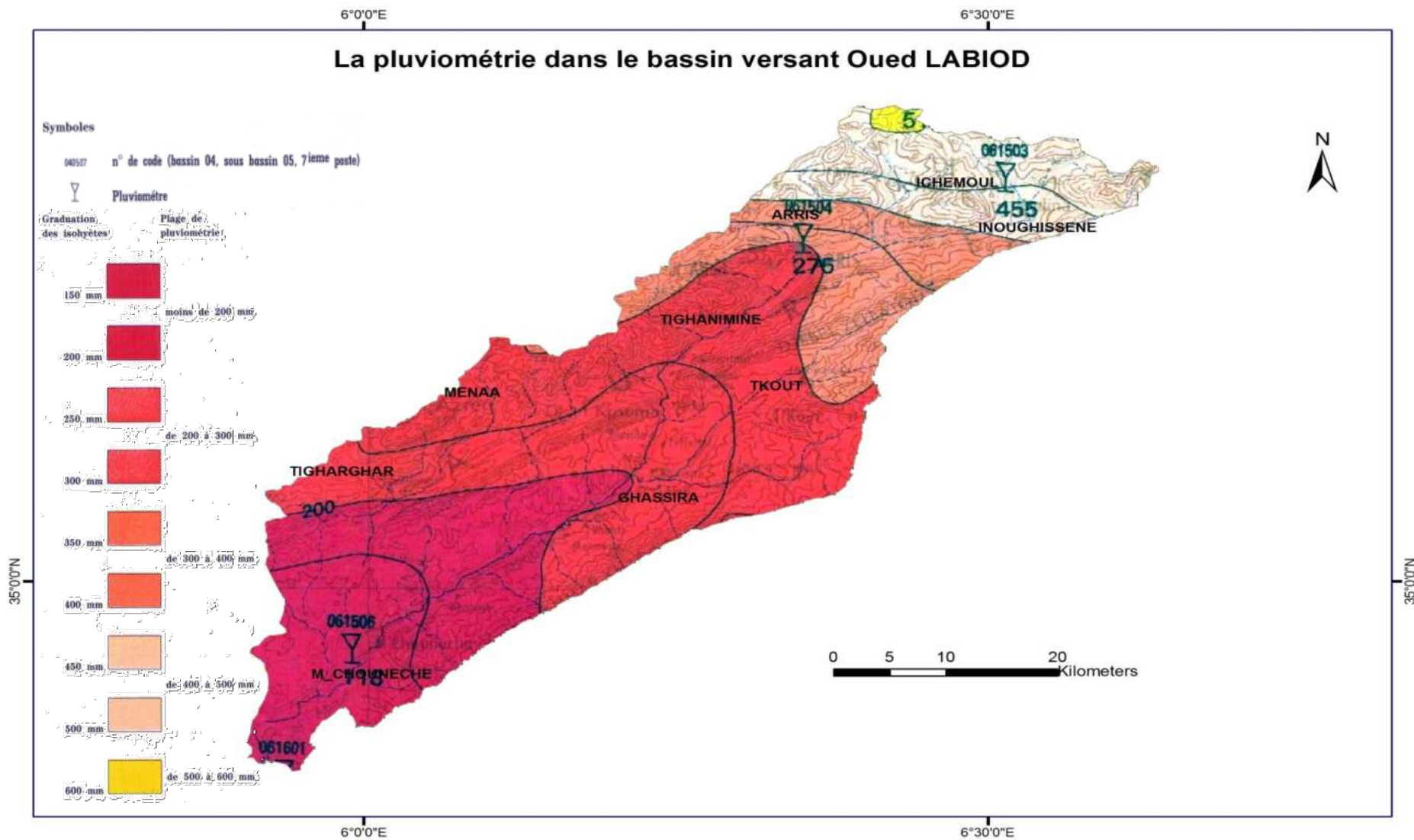


Figure 2.16 La pluviométrie dans le bassin versant Oued LABIOD

Tableau 2.11 : La répartition mensuelle et saisonnière des précipitations

Station	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Total
	sep	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mar.	avr	mai	Jun	juil.	aou	
Medina 1971-2015	48.05	38.4	42.1	37.7	36.11	29.14	40.16	39.21	39.8	25.4	8.5	32.6	417.4
	128.62			103.0			119.0			66.5			
T'kout 1971-2007	31.2	26.0	26.4	22.0	20.5	19.2	23.6	23.1	25.7	18.0	7.2	17.2	260.1
	83.6			61.6			72.4			42.6			
Tifefel 1974-2006	17.7	16.3	15.0	11.5	11.1	15.8	13.3	16.2	12.4	7.0	1.9	14.5	153.0
	49.09			38.5			42.0			42.6			
Mchou 1973-1979	9.2	13.4	13.0	14.4	11.4	10.3	19.0	13.4	9.5	4.2	1.3	2.5	121.7
	35.5			36.0			41.6			8.0			
F.Gherza 1970-2007	10.3	9.5	16.0	8.1	11.6	9.6	13.2	11.5	7.4	4.6	0.5	3.7	106.1
	35.8			29.4			31.9			8.8			

Source : ANRH, 2015

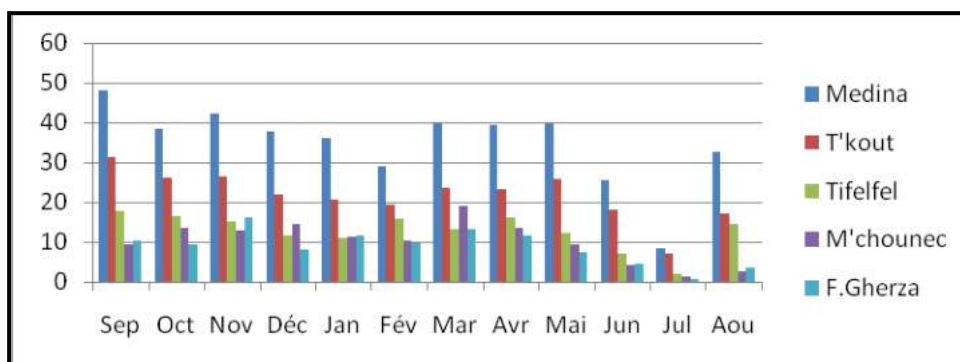


Figure 2.17 Variation des précipitations mensuelles et saisonnières

8.2. Les températures :

En raison du manque de données et l'irrégularité de fonctionnement des stations, nous nous sommes appuyés sur les données de la direction des services agricoles (DSA).

Tableau 2.12 : Les températures moyennes mensuelles

Mois	Médina 1971/1991	T'kout 1969/2007	M'chounèche 1971/1991
Septembre	20.25	24.40	28.50
Octobre	15.00	18.70	22.30
Novembre	9.90	13.10	16.20
Décembre	5.75	8.80	11.90
Janvier	5.35	8.50	11.60
Février	6.55	10.10	13.70
Mars	8.80	12.30	15.70
Avril	13.15	16.50	19.80
Mai	15.80	20.20	24.60
Juin	22.30	25.80	29.20
Juillet	24.60	29.10	33.50
Aout	23.65	28.20	32.80

Source : DSA, 2008

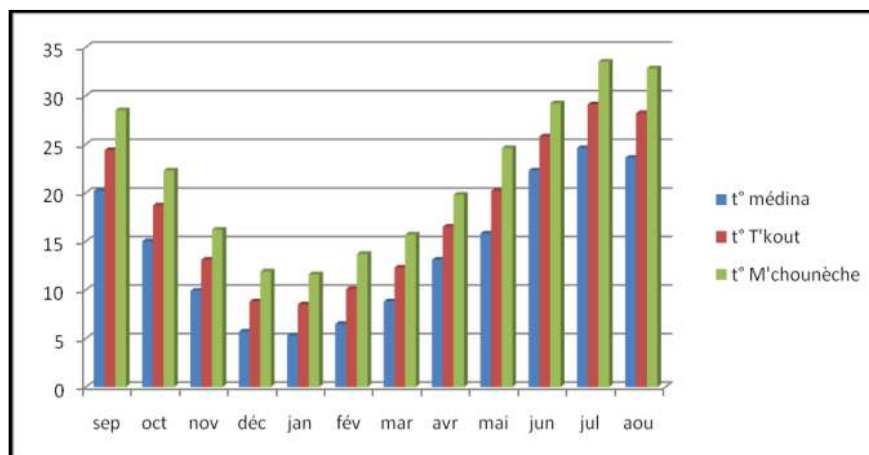


Figure 2.18 Variation des températures moyennes mensuelles

Au vu des données disponibles à l'ANRH Biskra, on constate que les stations de Medina et T'kout enregistrent valeur des minimales durant les mois de décembre, janvier et février pendant que le cycle végétatif est freiné par la neige ou la grêle. Les valeurs maximales quant à elles coïncident avec les mois de juin, juillet et août où les précipitations sont rares.

Tandis qu'à M'chounèche, on constate des fluctuations assez nettes pendant l'hiver et l'été reflétant un régime climatique spécifique dans cette région.

8.3 Le régime climatique :

La détermination du régime climatique est d'une importance capitale pour toute étude hydro-climatologique. Pour déterminer le régime climatique du bassin de risque nous nous sommes appuyés sur plusieurs méthodes en fonction des précipitations et des températures des stations de Médina, T'kout et M'chounèche.

8.3.1 La méthode d'Euverte :

Elle consiste à déterminer le régime climatique en fonction du rapport entre les précipitations moyennes annuelles et la température moyenne de la même période.

P : précipitations moyennes annuelles (mm) ;

T : température moyenne annuelle (°C) ;

$P/T < 1$: régime très sec ;

$1 < P/T < 2$: régime sec ;

$2 < P/T < 3$: régime subhumide ;

$P/T > 3$: régime humide.

Tableau 2.13 : Le régime climatique par la méthode d'Euverte

Mois		sep.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	jun.	juil.	aou.	Total
Medina	P	48.5	38.4	42.2	37.4	36.1	29.1	40.1	39.2	39.8	25.4	8.6	32.6	417.4
	T° C	20.2	15.0	9.9	5.7	5.3	6.5	8.8	13.1	15.8	22.3	24.6	23.6	161.9
	P/T	2.4	2.5	4.2	6.5	6.7	4.4	4.5	2.9	2.5	1.1	0.3	1.4	2.5
T'kout	P	31.2	26.0	26.4	22.0	20.5	19.2	23.6	23.1	25.7	18.0	7.2	17.2	260.1
	T° C	24.4	18.7	13.1	8.8	8.5	10.1	12.3	16.5	20.2	25.8	29.1	28.2	215.7
	P/T	1.2	1.4	2.0	2.5	2.4	1.9	1.92	1.4	1.27	1.15	0.2	0.61	1.2
M'chouneche	P	9.2	13.4	13.0	14.6	11.4	10.3	19.0	13.4	9.5	4.2	1.2	2.5	121.7
	T° C	28.5	22.3	16.2	11.9	11.6	13.7	15.7	19.8	24.6	29.2	33.5	32.8	259.8
	P/T	0.3	0.6	0.8	1.2	0.9	0.7	1.2	0.7	0.4	0.1	0.0	0.0	0.4

Source : ANRH, 2015

D'après la méthode d'Euverte, on constate que le bassin de risque est caractérisé par 3 régimes climatiques :

Subhumide en amont, sec dans le bassin moyen et très sec en aval.

8.3.2 Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls :

D'après Gaussen et Bagnouls, on peut distinguer le régime climatique en se référant aux périodes sèches et humides déterminées par la relation entre les précipitations moyennes en (mm) et le double des températures enregistrées durant la même période $P \leq 2T$.

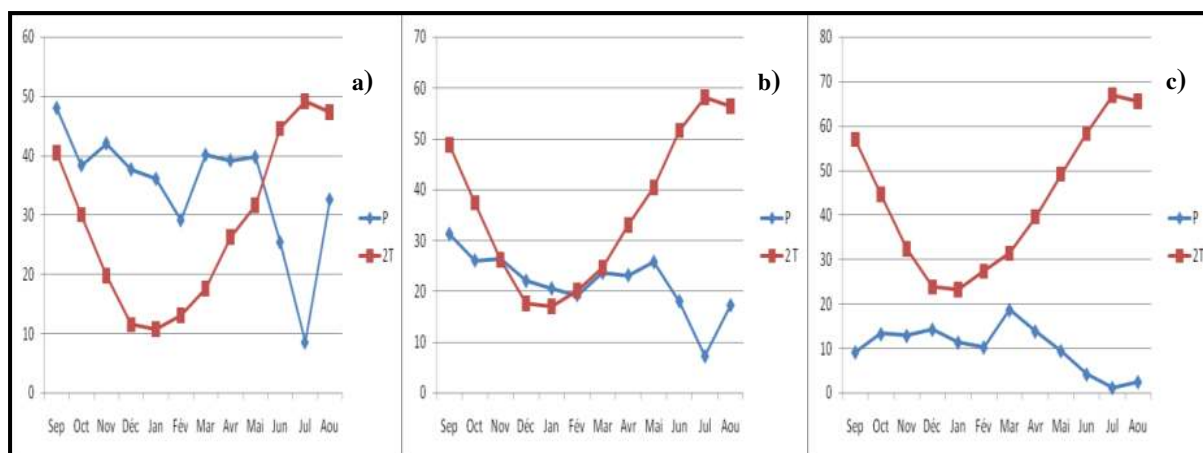


Figure 2.19 Le diagramme ombrothermique : a) Médina, b) T'kout, c) M'chouneche

D'après le diagramme de Gaussen, on constate que la zone amont est caractérisée par une période humide de 8 mois ce qui signifie qu'elle est la plus arrosée par rapport à l'ensemble du bassin versant. Le bassin moyen est caractérisé par une période humide de 4 mois seulement ce qui entrave le cycle végétatif et l'aval est plutôt sec toute l'année.

8.3.3. L'indice d'aridité de Martonne:

Il est défini pour déterminer le type de climat comme suit :

$$A = P / (T + 10) \dots\dots\dots (2.31)$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

$30 > A > 20$ climat tempéré ; $20 > A > 10$ climat semi-aride ; $10 > A > 7.5$ climat steppique ;

$7.5 > A > 5$ climat désertique et $A < 5$ climat hyperaride

$A_{\text{Médina}} = 17.21$, $A_{\text{T'kout}} = 9.21$ et $A_{\text{M'chouneche}} = 3.84$.

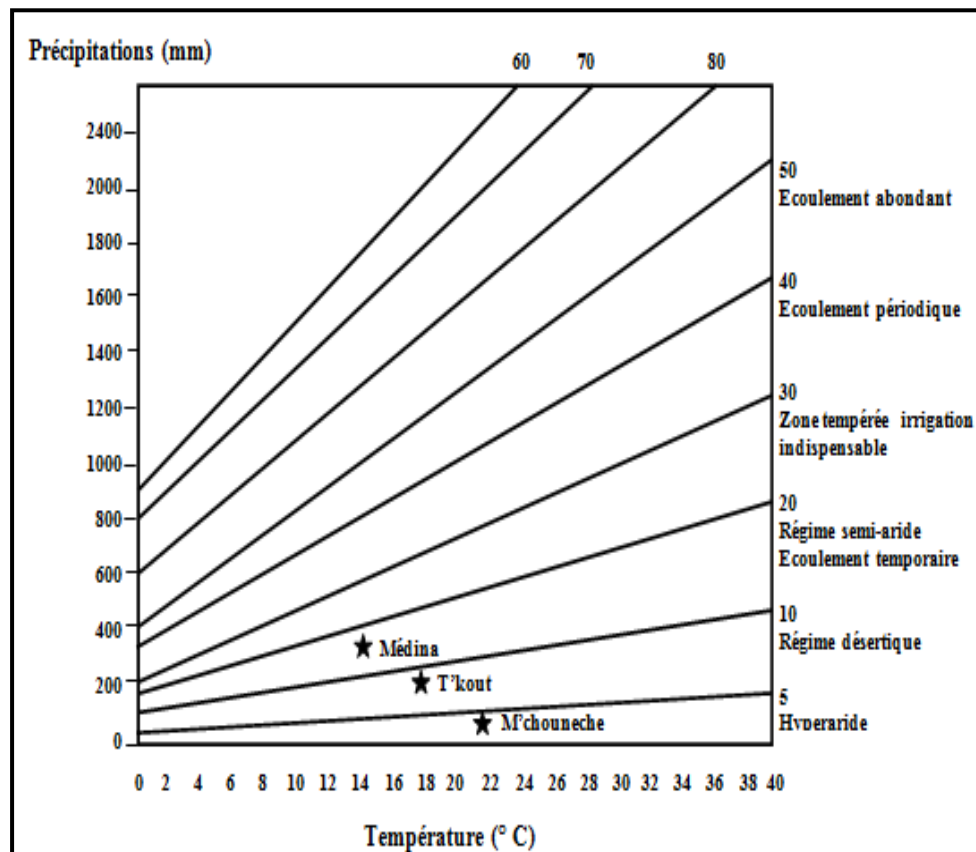


Figure 2.20 Le diagramme de Martonne

8.3.4. Le quotient pluviométrique d’Emberger:

Il est spécifique au climat méditerranéen et représente le rapport entre les précipitations et les températures moyennes annuelles (Emberger, 1930). Il est déterminé par la formule Stewart (1969) :

$$Q = 3.43 \times P / (M - m) \dots\dots\dots (2.32) \text{ où :}$$

- Q : quotient pluviométrique en mm / °C,
- 3,43 : constante relative à la région (Algérie-Maroc).
- M : température maximale du mois le plus chaud en °C.
- m : température minimale du mois le plus froid en °C.
- P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

Le quotient d’Emberger calculé pour les 3 stations est comme suit:

Medina = 78.23 ; T’kout = 43.30 ; M’chounèche = 19.06

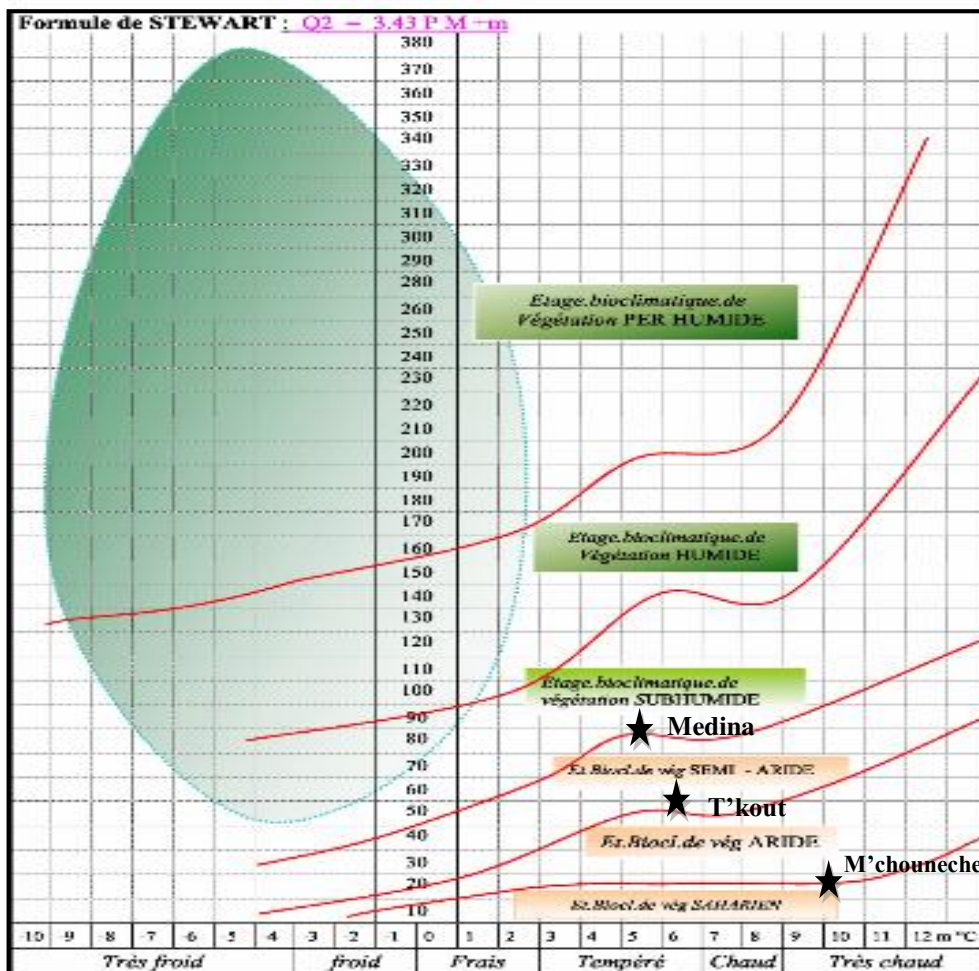


Figure 2.21 Le climagramme d’Emberger

8.4. Régime des vents :

Du fait de l'absence totale de station anémométrique dans le bassin versant, on s'est basé sur les travaux de Seltzer indiquant la vitesse et la période de passage.

Tableau 2.14 : Le régime des vents

Mois	Direction	Vitesse (m/s)	Fréquence (jour)
Septembre	N	3.9	8.1
Octobre	NO	4.4	11.1
Novembre	NO	4.1	9.7
Décembre	NE	4.5	11.6
Janvier	NE	4.5	13.7
Février	NE	5.2	13.7
Mars	NE	4.6	12.2
Avril	E	4.4	11.0
Mai	SE	4.2	9.6
Juin	SE	4.0	8.1
Juillet	SO	4.0	9.0
Aout	SO	4.2	10.3

La direction Nord-est susceptible d'être porteuse de pluies est dominante par rapport aux autres directions, elle est fréquente durant les mois de décembre, janvier, février et mars avec une fréquence de 12 à 14 jours par an. Ceci s'explique par l'effet de l'exposition sur la répartition des précipitations et la direction des vents.

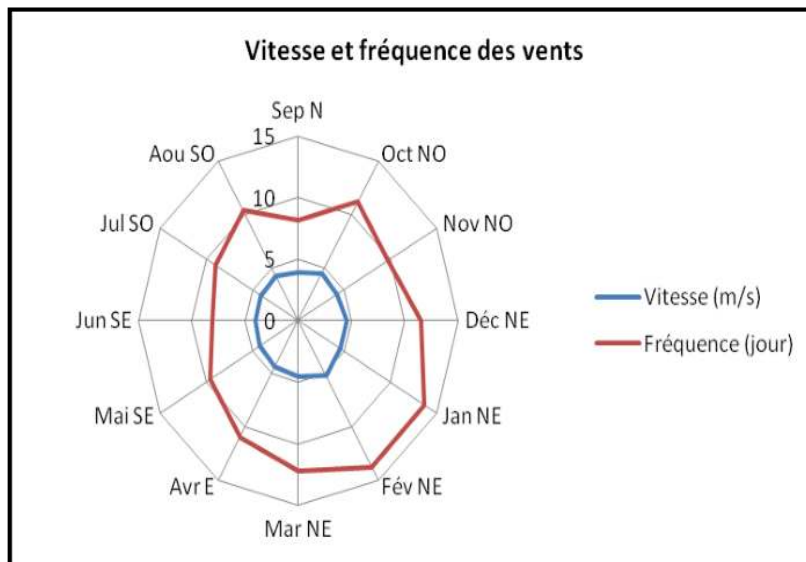


Figure 2.22 Vitesse et fréquence des vents

6.5. L'humidité relative :

Pour ce paramètre, nous avons eu recours aux stations de Batna et Biskra pour montrer l'écart d'humidité relative lors d'une transition climatique.

Tableau 2.15: L'humidité relative

Mois	Station BATNA			Station BISKRA			BV
	7h	13 h	18 h	7h	13 h	18 h	
Sep	7	2	5	0	4	2	2
Oct	2	4	8	4	5	6	6
Nov	9	2	9	9	9	3	3
Déc	8	6	1	2	2	5	5
Jan	5	6	0	2	4	2	2
Fév	6	5	0	8	0	6	6
Mar	2	4	2	7	2	6	6
Avr	9	4	5	7	2	2	2
Mai	4	9	4	2	7	8	8
Jun	0	2	1	6	7	3	3
Jul	5	2	3	8	5	2	2
Aou	9	3	4	7	9	2	2

Source : ANBT, 2008

L'humidité relative varie dans l'espace et dans le temps d'un bassin versant à un autre.

En effet, elle est élevée dans les microclimats humides et réduite à sa plus simple expression dans les régions sèches.

8.6. L'évapotranspiration :

C'est à partir des observations expérimentales que certains chercheurs ont établi des lois pour estimer l'ETP comme Thornthwaite, Turc ou Blaney et Criddle.

8.6.1-Formule de THORNTHWAITE :

$$ETP = 16 * (10 * T / I)^a \dots\dots\dots (2.33)$$

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en cm/mois avec 12 h d'ensoleillement.

T : Température moyenne mensuelle en C° ;

I : Indice thermique annuel égal à la somme des 12 indices mensuels ;

i : Indice thermique mensuel tiré d'abaque.

$$I = \sum i = (0.09 * T)^{1.5} \dots\dots\dots (2.34)$$

a : indice dépendant de la température ; $a = 1.6 / 100 * I + 0.5 \dots\dots\dots (2.35)$

8.6.2-Formule de TURC :

$$ETP = 0.40 * (I_g + 50) * t / t + 15 \dots\dots\dots (2.36)$$

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/mois) ;

I_g : Radiation solaire globale du mois considéré (cal /cm² /joule) ;

t : Température moyenne mensuelle (°C).

8.6.3 La méthode de Blaney et Cridlle :

Blaney et Cridlle ont proposé de lier l'ETP à la température par une formule linéaire :

$$ETP = k [p (0,46 t + 8,13)] \dots\dots\dots (2.37)$$

p : rapport de la durée théorique d'insolation du mois à la durée d'insolation de l'année ;

t : température mensuelle (°C) ;

k : coefficient d'ajustement variable avec les cultures et la région.

8.6.4 La méthode de l'A.N.R.H :

La cartographie des ETP de l'Algérie (ANRH, 2002) est un outil supplémentaire qui permet d'éviter de faire recours à des calculs par le biais des formules empiriques.

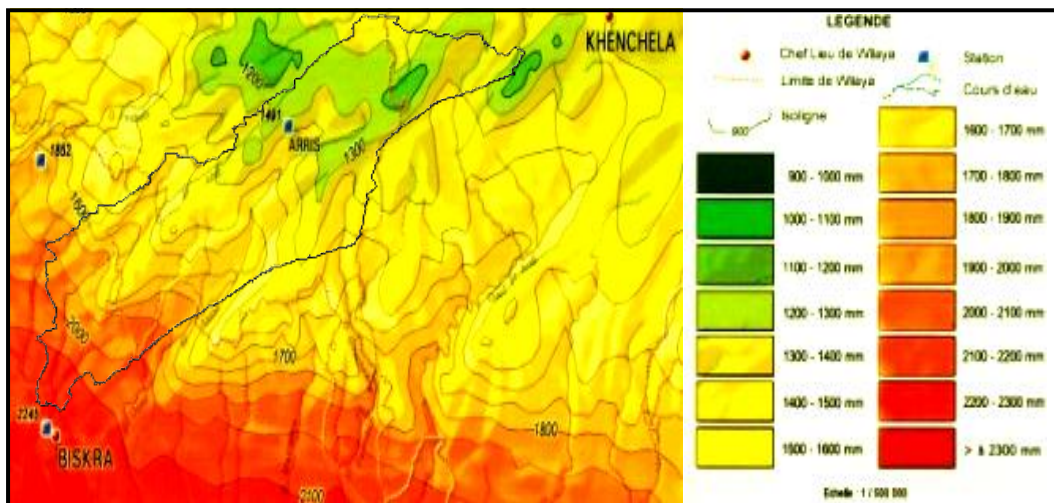


Figure 2.23 L'évapotranspiration dans le bassin de risque (ANRH, 2002)

Elle offre l'avantage de connaître en tout point de l'espace les valeurs mensuelles et annuelles moyennes de l'évapotranspiration potentielle (Mebarki, 2005).

$$ETP_{ANRH} = Kr * Km * (H - 187) * (0,032 * t + 0,077) \dots\dots\dots (2.38)$$

K_m : coefficient correctif mensuel compris entre 0,90 et 1,22 ;

K_r : coefficient correctif régional issu de la carte d'isolignes variant entre 0,85 et 1,25 ;

H : durée théorique des jours du mois (heure/mois) variable avec la latitude.

L'écart enregistré varie d'une méthode à l'autre et il est expliqué par les moyennes thermiques et la radiation solaire très accusées. La méthode de Thornthwaite est prise en considération dans cette étude vu ses valeurs assez représentatives. Notons aussi qu'il serait plus juste de travailler au pas journalier pour dégager l'excédent réel parce que l'évapotranspiration est toujours déficitaires au pas annuel quelque soit la méthode.

8.7. L'évapotranspiration réelle:

8.7.1 La méthode de Turc :

Turc (1953), à établi la formule suivante pour estimer l'évapotranspiration réelle :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{0.5} \dots\dots (2.39)$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3 \dots\dots\dots (2.40)$$

T : Température moyenne annuelle (° C).

8.7.2 La méthode de Wundt :

C'est une méthode déductive de l'évapotranspiration réelle par projection de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles sur l'abaque de Wundt (1937), modifié par Coutagne (1942).

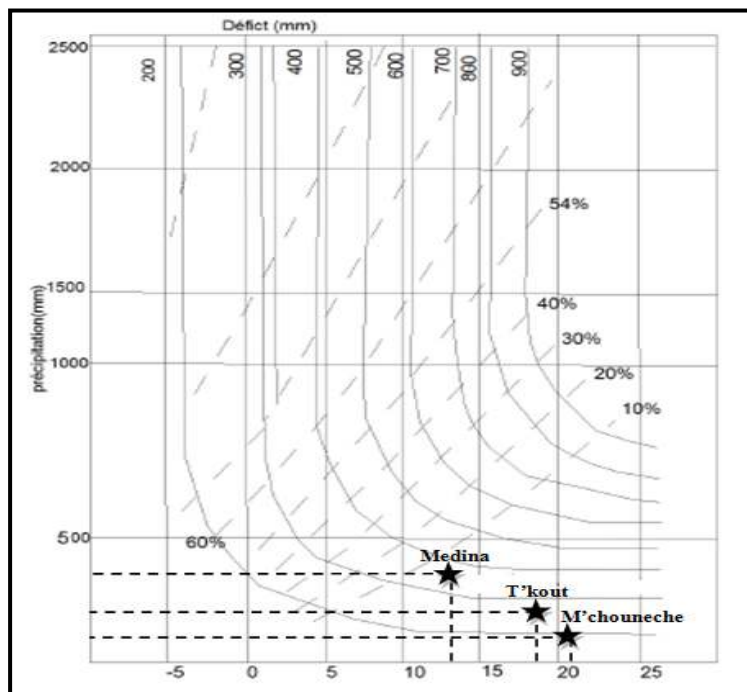


Figure 2.24 L'abaque de Wundt

8.8. Le bilan hydrique :

On applique la formule universelle :

$$P = ETR + (R + I + \Delta RFU) = ETR + P_{eff} \dots \dots (2.41)$$

P : précipitations annuelles en (mm) ;

ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;

R : ruissellement de surface en (mm) ;

I : l'infiltration en (mm) ;

ΔRFU : variation de la réserve facilement utilisable (mm) ;

P_{eff} : pluie efficace (mm).

Autrement dit, si $P \geq ETP$ durant un mois de l'année, $ETR = ETP$ et le surplus ($P - ETP$) est utilisé pour alimenter la RFU .

Si $P < ETP$, signifie vraisemblablement que : $ETR = P$ et la $RFU = 0$

Par contre, Si $ETR < ETP$ cela veut dire qu'il y a un déficit agricole Da .

8.8.1 Le ruissellement :

Le ruissellement a été calculé en fonction des précipitations et de l'évapotranspiration selon la méthode de Tixeront et Berkaloff (1960).

$$R = P^3 / 3 * E^2 \dots \dots \dots (2.42)$$

R : Ruissellement (mm) ;

P : précipitations moyennes annuelles (mm) ;

E : Evapotranspiration moyenne annuelle (mm).

Le ruissellement à Medina est estimé à 9.84 % des précipitations, 1.73 % à T'kout et 0.24 % à M'chouneche.

8.8.2 L'infiltration:

L'infiltration est estimée à partir de la formule générale du bilan hydrique :

$$I = P - (ETR + R) \dots \dots \dots (2.43)$$

Pour la validation des résultats, nous nous sommes appuyés sur les équations suivantes:

$$P = \sum ETR + \sum EX \dots \dots (2.44)$$

$$ETP = \sum ETR + \sum Da \dots \dots (2.45)$$

Tableau 2.16 : L'évapotranspiration et l'évapotranspiration réelle

Station	Mois												
Medina	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total
P	48.5	38.4	42.2	37.4	36.1	29.1	40.1	39.2	39.8	25.4	8.6	32.6	417.4
T	20.2	15.0	9.9	5.7	5.3	6.5	8.8	13.1	15.8	22.3	24.6	23.6	161.9
ETP_{Thornthwaite}	109.7	81.2	51.6	33.0	31.9	36.7	56.3	82.2	105.7	139.2	153.1	139.9	1020.9
ETP_{Turc}	117.7	78.1	48.5	27.9	29.2	41.4	63.7	97.3	120.6	158.5	297.3	143.5	1224.2
ETP_{Blaney criddle}	124.1	100.5	61.8	47.4	48.3	53.8	86.3	88.5	128.0	152.8	164.1	139.1	1194.9
ETP_{ANRH}	106.8	74.3	43.5	25.0	23.8	28.5	60.3	95.3	179.3	210.4	235.9	183.6	1267.0
ETR_{Turc}													382.93
T'kout													
P	31.2	26.0	26.4	22.0	20.5	19.2	23.6	23.1	25.7	18.0	7.2	17.2	260.1
T	24.4	18.7	13.1	8.8	8.5	10.1	12.3	16.5	20.2	25.8	29.1	28.2	215.7
ETP_{Thornthwaite}	125.7	92.9	59.6	41.0	40.6	46.5	70.5	93.2	124.3	155.3	176.2	161.5	1187.6
ETP_{Turc}	104.0	89.0	67.3	52.9	52.8	57.4	75.8	91.9	109.9	121.1	128.2	121.1	1071.9
ETP_{Blaney criddle}	133.8	111.9	68.9	54.0	54.9	61.7	97.7	97.0	144.8	166.2	181.6	168.0	1340.9
ETP_{ANRH}	128.7	93.0	57.8	38.5	38.1	44.1	84.6	120.0	162.9	159.9	183.2	162.5	1278.8
ETR_{Turc}													265.40
M'chouneche													
P	9.2	13.4	13.0	14.6	11.4	10.3	19.0	13.4	9.5	4.2	1.2	2.5	121.7
T	28.5	22.3	16.2	11.9	11.6	13.7	15.7	19.8	24.6	29.2	33.5	32.8	259.8
ETP_{Thornthwaite}	149.9	109.4	70.4	50.5	50.3	57.7	80.6	108.6	149.9	179.2	210.1	195.4	1412.5
ETP_{Turc}	130.3	102.7	49.9	54.9	63.8	73.3	108.6	145.4	217.7	187.0	212.2	174.7	1519.8
ETP_{Blaney criddle}	124.0	52.6	78.5	67.8	68.7	71.2	89.9	105.1	130.1	143.2	159.1	149.6	1240.2
ETP_{ANRH}	150.0	110.5	71.2	51.7	50.4	59.5	107.5	143.4	197.8	275.5	321.2	296.6	1764.5
ETR_{Turc}													128.10

Source : Auteur

L'infiltration est estimée à 3.65% des précipitations à Medina, 22.48% à T'kout et nulle à M'chounèche.

Autrement dit, les ruissellements produits en amont du bassin versant sont considérés comme générateurs de risque.

En effet, en présence d'autres facteurs comme la pente et l'état d'humidité du sol, il peut générer des inondations ou même déclencher le processus érosif à travers l'augmentation de sa capacité à charrier des éléments plus importants.

Toutefois, le bilan hydrique calculé par différentes méthodes ne dégage aucun excédent du fait de l'importante évapotranspiration dans la zone d'étude d'une part et la compensation annuelle des valeurs d'autre part liée à la transition climatique.

L'évapotranspiration affiche des valeurs élevées qui se répercutent directement sur le bilan hydrique souvent déficitaire en raison de la péjoration des précipitations.

Il est à noter aussi que l'estimation de l'évapotranspiration au pas annuel ne permet en aucun cas de dégager le surplus d'eau et seule une estimation au pas journalier permettrait de dégager un excédent réel.

Le bilan hydrique calculé par les méthodes de Thornthwaite et de l'ANRH semble plus équilibré du fait qu'il reflète les caractéristiques d'une zone semi-aride.

Tableau 2.17 : Le bilan hydrique selon Thorntwhaite

Station	Mois												
	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total
Medina													
P	48.5	38.4	42.2	37.4	36.1	29.1	40.1	39.2	39.8	25.4	8.6	32.6	417.4
ETP	109.7	81.2	51.6	33.0	31.9	36.7	56.3	82.2	105.7	139.2	153.1	139.9	1020.5
RFU	0.0	0.0	15.6	4.4	25.1	15.1	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.5
ETR	48.5	38.4	42.2	33.0	31.9	29.1	40.1	39.2	39.8	25.4	8.6	32.6	408.8
Da	61.2	42.8	9.4	0.0	0.0	7.6	10.2	42.4	65.9	113.8	144.5	107.3	605.1
R													23.2
I													8.6
T'kout													
P	31.2	26.0	26.4	22.0	20.5	19.2	23.6	23.1	25.7	18.0	7.2	17.2	260.1
ETP	125.7	92.9	59.6	41.0	40.6	46.5	70.5	93.2	124.3	155.3	176.2	161.5	1187.6
RFU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	31.2	26.0	26.4	22.0	20.5	19.2	23.6	23.1	25.7	18.0	7.2	17.2	260.1
Da	94.5	66.5	33.2	19.0	20.1	27.3	46.9	70.1	98.6	137.3	169.0	144.3	926.8
R													4.1
I													53.0
M'Chounèche													
P	9.2	13.4	13.0	14.6	11.4	10.3	19.0	13.4	9.5	4.2	1.2	2.5	121.7
ETP	149.9	109.4	70.4	50.5	50.3	57.7	80.6	108.6	149.9	179.2	210.1	195.4	1412.5
RFU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	9.2	13.4	13.0	14.6	11.4	10.3	19.0	13.4	9.5	4.2	1.2	2.5	121.7
Da	140.7	96.0	57.4	35.9	38.9	47.4	61.6	95.2	140.4	175.0	208.9	192.9	1290.3
R													0.3
I													0.0

Source : Haoues, 2014

Tableau 2.18: Le bilan hydrique selon l'ANRH

Station	Mois												Total
	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	
Medina													
P	48.5	38.4	42.2	37.4	36.1	29.1	40.1	39.2	39.8	25.4	8.6	32.6	417.4
T	20.2	15.0	9.9	5.7	5.3	6.5	8.8	13.1	15.8	22.3	24.6	23.6	161.9
ETP	106.8	74.3	43.5	25.0	23.8	28.5	60.2	95.3	179.3	210.4	235.9	183.6	1267.0
RFU	0.0	0.0	0.0	12.4	12.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.3
ETR	48.5	38.4	42.2	25.0	23.8	28.5	40.1	39.2	39.8	25.4	8.6	32.6	415.9
D	58.3	35.9	1.3	0.0	0.0	0.0	20.1	56.1	139.5	185.0	227.3	151.0	874.5
R													15.1
I													1.5
T'kout													
P	31.2	26.0	26.4	22.0	20.5	19.2	23.6	23.1	25.7	18.0	7.2	17.2	260.1
T	24.4	18.7	13.1	8.8	8.5	10.1	12.3	16.5	20.2	25.8	29.1	28.2	215.7
ETP	128.7	93.0	57.8	38.5	38.1	44.1	84.6	120.0	162.9	159.9	183.2	167.5	1278.8
RFU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	31.2	26.0	26.4	22.0	20.5	19.2	23.6	23.1	25.7	18.0	7.2	17.2	260.1
D	91.5	67.0	31.4	16.5	17.6	24.9	61.0	96.9	137.2	141.9	176.0	150.3	1012.2
R													3.5
I													0.0
M'Chounèche													
P	9.2	13.4	13.0	14.6	11.4	10.3	19.0	13.4	9.5	4.2	1.2	2.5	121.7
T	28.5	22.3	16.2	11.9	11.6	13.7	15.7	19.8	24.6	29.2	33.5	32.8	259.8
ETP	150.0	110.5	71.2	51.7	50.4	59.5	107.5	143.4	197.8	275.5	321.2	296.6	1764.5
RFU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	9.2	13.4	13.0	14.6	11.4	10.3	19.0	13.4	9.5	4.2	1.2	2.5	121.7
D	140.8	97.1	58.2	43.1	39.0	49.2	88.5	130.0	188.3	271.3	320.0	294.1	1719.6
R													0.2
I													0.0

Source : Haoues, 2014

Conclusion :

Le bassin de risque objet d'étude fait partie des plus grands bassins versant de Chott Melrhir avec plus de 1300 km².

De part ses potentialités naturelles et ses caractéristiques physico-climatiques, il est vulnérable aux risques naturels dont l'ampleur ne cessait d'accroître.

En effet, les conditions topo-paysagères et la transition climatique dans laquelle il s'inscrit contribuent davantage dans l'aggravation des risques notamment les inondations et la dégradation des sols par érosion hydrique par ruissellement diffus sur les pentes.

De plus, le bilan hydrique estimé ne dégage aucun excédent du fait de l'importante évapotranspiration d'une part et la compensation annuelle des valeurs d'autre part.

Il est à noter aussi que l'estimation de l'évapotranspiration au pas annuel ne permet pas de dégager le surplus d'eau, seule une estimation au pas journalier permettrait de dégager un excédent réel pour mieux évaluer les risques encourus.

CHAPITRE 3

NIVEAU D'ANTHROPISATION

DU BASSIN DE RISQUE

Introduction:

L'étude du bassin de risque autant qu'espace géographique requiert l'analyse de ses différentes potentialités ainsi que son degré d'anthropisation. L'impact signifie une action brutale qui s'exerce de l'extérieur de l'objet considéré d'où « Anthropisation » ne veut donc pas dire forcément « dégradation ou destruction » car les interventions des sociétés humaines ne sont pas toujours brutales et destructrices (Bertrand & Bertrand, 2002).

1 Historique de la région:

L'histoire des Aurès en général et le bassin de risque en particulier est très lointaine qui datait des Numides et les civilisations qui se succédèrent après notamment les Phéniciens, Vandales, Romains, Byzantins, Ottomans et Colonisation Française.

Entre 880 et 146 avant J.C bien que l'Afrique du nord soit occupée par les Phéniciens et les Berbères, la région des Aurès semblait leur échapper en raison de l'absence d'indicateurs d'existence. A l'encontre des Phéniciens, les Romains construiraient une forteresse dans la région entre 146 avant J.C et 341 après J.C. au vu de sa situation stratégique.

A l'époque des Ottomans entre 1525 et 1830, la région était soumise à l'autorité du Bey de Constantine durant laquelle la tribu d'Ouled Daoud s'implanta dans les Mechtas et les décheras d'Arris.

En 1844, une colonne sous les ordres du colonel Buttafoco arriva à l'entrée est de l'actuelle BATNA et c'est Le Duc d'Aumale, qui la décréta comme camp militaire.

En 1860, un autre Décret fit de Batna une commune de 5 990 habitants dont 1 947 français, 647 juifs et 2 739 autochtones.

En 1885, Batna est érigée en Sous préfecture, siège de subdivision militaire du Département de Constantine. En 1916, lors du soulèvement des Ouled Soltane autour de Mac Mahon l'actuelle Ain Touta. La répression durera jusqu'à 1917, appuyée par une escadrille d'avions, l'artillerie et des troupes venues de Tunisie.

Depuis, Batna fut le centre d'attraction administratif et commercial des colons Espagnols et Italiens. A cette époque, la commune d'Arris s'établi à T'kout en 1918 puis s'implanta à Arris en 1924.

En 1949, BATNA dépassa les 25.000 habitants alors que les révoltes se succédèrent, jusqu'au jour où on entonna le chant de la révolution en une mémorable journée du 1^{er} Novembre 1954.

L'armée coloniale renforcée par, les chasseurs d'Afrique, la légion Sénégalaise, les parachutistes, l'artillerie, les blindés et l'aviation, essaya en vain de contrôler les maquis qui prenaient peu à peu de l'extension. En ville l'état d'urgence s'installa et la répression fut de plus en plus brutale dans les camps de torture (Le Camp, le Fortin, la Ferme Rouge).

En 1956, Batna devint le chef lieu du département des Aurès jusqu'à l'indépendance. Elle avait comme sous préfectures : Biskra, Tebessa, Khenchela, Corneille (Merouana) et Arris qui est située à une soixantaine de kilomètres au sud-est du chef lieu de la Wilaya.

Avec une population de 34692 habitants, Arris occupe actuellement le 5^{ème} rang selon l'effectif de population parmi les 61 communes de la wilaya et représente 42% de la population totale du bassin de risque. Elle s'étend sur 151.78 Km² de surface et limitée par Oued Taga au nord, Tighanimine au sud, Foug Toub à l'est, Ichemoul et Thniet El Abed à l'ouest.

2. Les potentialités naturelles :

2.1 Le relief :

D'après Guiraud (1973), le bassin de risque est caractérisé par une série d'anticlinal (Djebel Ahmar Khaddou et Djebel Azreg) et synclinal (Ghassira) d'exposition sud-ouest/ nord-est.

Djebel Azreg (1937m) qui s'étend sur environ 60 km de la plaine de Loutaya au sud-ouest à Medina au nord-est est formé principalement de dolomies (Portlandien) découpées par érosion en roches ruiniformes et de marnes et calcaire marneux (Kimeridjien supérieur).

Les calcaires et marnes noires (Maestrichtien et Campanien) sont situés au nord à Djebel Zellatou (1944m) et les calcaires massifs et marnes blanches (Paléocène) sont situés à Djebel Arhane (1978m). L'asymétrie de Djebel Lahmar Kheddou (1925m) à été exagérée par l'érosion et le cœur de cet anticlinal est formé par un noyau de calcaires draconiens affleurant près de Kebach et entouré de toutes parts par la barre calcaire Cénomaniens (Ballais, 1981).

Quant à Djebel Ichemoul situé à 2066m et constitué essentiellement de Grès mélangés avec des marnes rouges et vertes ainsi que des calcaires gréseux et dolomies (Albien, Aptien et Barrémien), il est coupé en cassures encadrant la plaine de Medina qui est occupée par des marnes (Cénomaniens) et du sel gemme (Trias).

Le synclinal de Ghassira comporte des calcaires massifs, marnes blanches et calcaires constituant la série sédimentaire la plus complète du massif des Aurès.

Dans le bas synclinal affleurent les sables et argiles (Pontien) alors que le centre est occupé par les marnes blanches avec bancs de calcaires gypseux ou calcaires à gypses et marnes noires (Lutétien) et des calcaires, marnes, grès et des sables (Miocène inférieur).

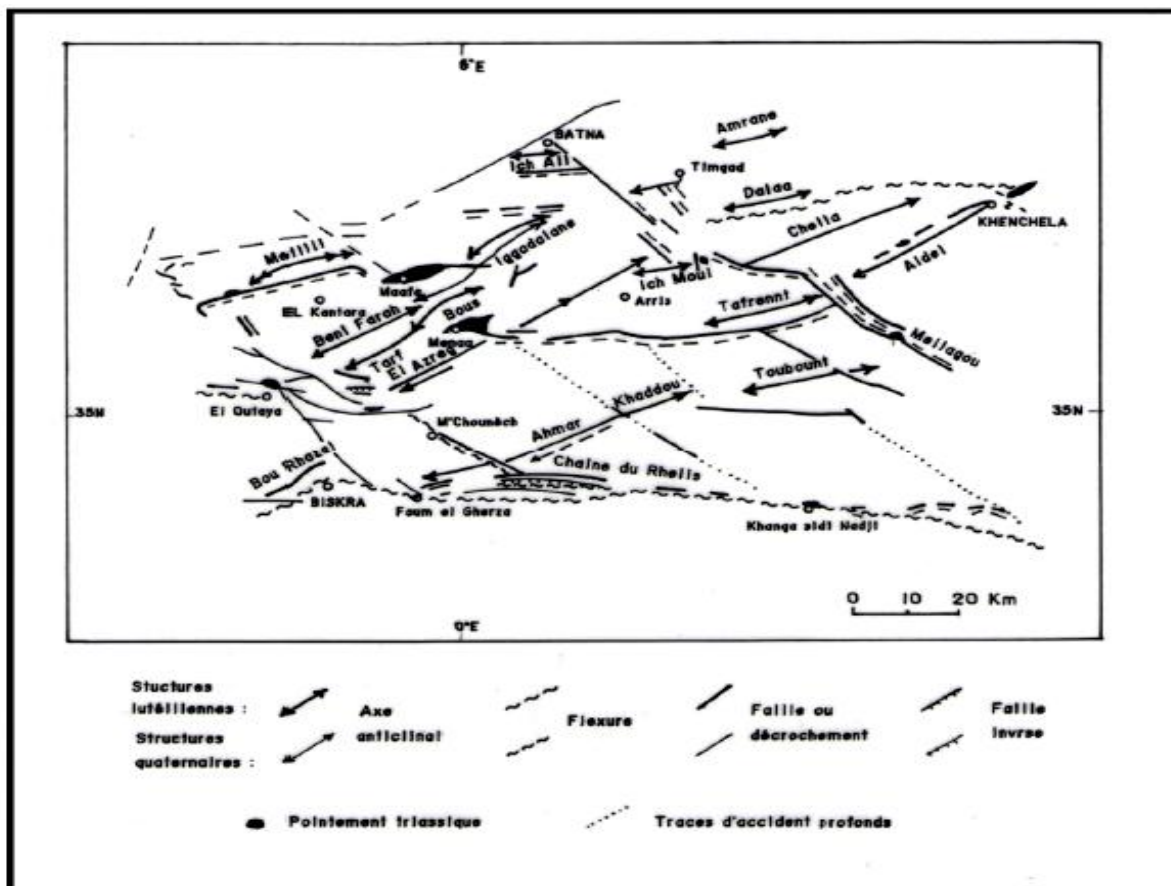


Figure 3.1 schéma structural des Aurès (d'après R. Guiraud, 1973)

La répartition territoriale des surfaces reflète le caractère montagnard de la plupart des communes ce qui a suscité une anthropisation croissante du bassin de risque moyennant l'occupation des montagnes et l'exploitation des terroirs.

Tableau 3.1 : La répartition territoriale des surfaces par commune

Commune	Surface (km ²)	Montagnes (%)	Collines (%)	Plaines (%)	Autres (%)
Arris	151.78	30	25	40	5
Ichemoul	123.67	60	20	15	5
Inoughissen	72.77	40	20	25	15
Tighanimine	127.24	60	15	20	5
Tkout	185.37	32	25	23	20
Ghassira	234.53	15	35	32	18

Source : DSA, 2014

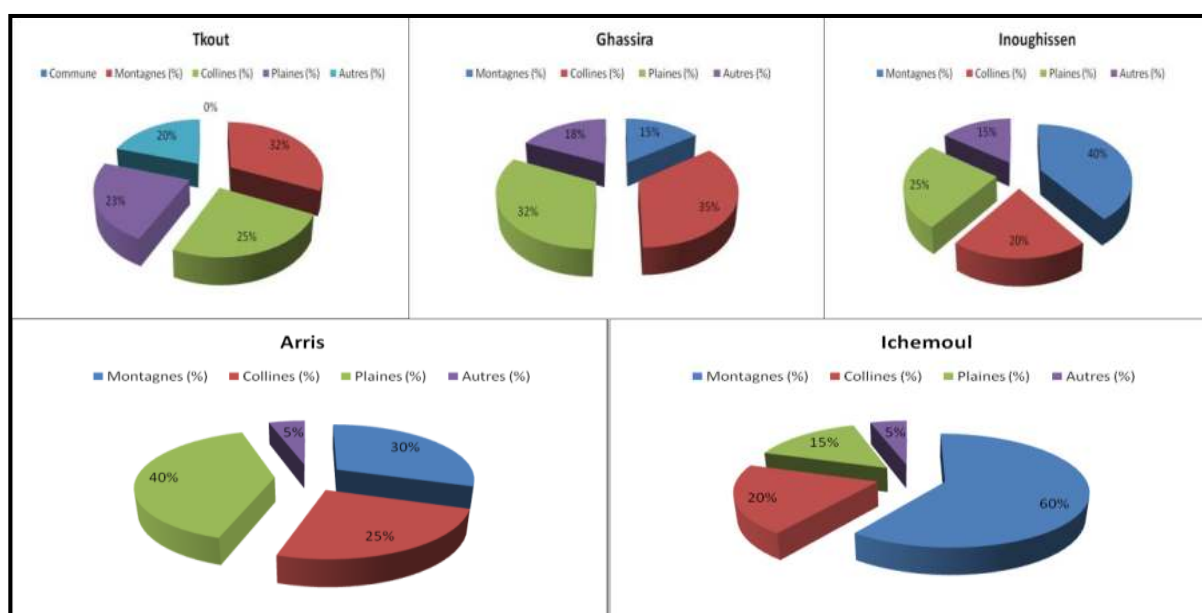


Figure 3.2 La répartition territoriale par commune

D'après la figure ci-dessus, on constate que 39.5 % de la surface totale est occupée par des montagnes, 23.4 % par des collines, 25.8 % par des plaines et 11.3 % par des zones éparses. Cette répartition territoriale s'est directement répercutée sur le mode de vie de la population autochtone et son activité.

2.2 Le couvert végétal :

D'après Cote (1971), le bassin de risque est caractérisé par une transition bioclimatique interprétée par une végétation diversifiée en étages qui commencent par les pelouses d'altitude situées entre Ichemoul et Chelia. « *Il est formé de garrigues à xérophytes épineux en coussinets, bas, hémisphériques, aux remuscles innombrables, ramifiés, intrigués à épines vulnérantes à feuilles réduites ou nulles* » (Quezel, 1957).

2.2.1 Les pelouses d'altitude (l'Alpage) : d'après Meharzi (2010), ce premier étage d'environ 30 000 ha est composé d'*Erinacea pungens*, *Bupleurum Spinosum*, *Alyssum spinosum*, *Erinacea anthyllis* qui se répartit surtout sur le Djebel Ahmar Kheddou où les calcaires dominent.

2.2.2 Le cèdre (*Cedrus Atlantica*) : se répond à plus de 1900 m d'altitude et occupe environ 4500 ha dont 2/3 sont situés à Chelia et moins encore à Djebel Azreg.

D'après Abdessamad (1981), cet étage correspond aux forêts « claires à clairsemées où le sol est plus ou moins dégradé ».

2.2.3 Le Pin d'Alep (Pinus Halpensis) : occupe les terrains calcaires dolomitiques sur Djebel Azreg et recouvre à peine la moitié de la strate arbustive.

2.2.4 Le chêne vert (Quercus Ilex) : est un arbre très robuste à tronc court et racines profondes qu'on peut trouver en plaines ou en montagnes occupant environ 10 000 hectares.

2.2.5 Le genévrier de Phénicie (Guneperus phoenicia) : est un arbuste de 4 à 5 mètres à tronc droit et racines très développées et profondes.

2.2.6 Le maquis : est dense, parfois dégradé et représente une association végétale broussailleuse où l'on peut parfois difficilement pénétrer. Il couvre une surface d'environ 50 000 hectares et englobe l'extrême sud de la forêt de Beni Mloul jusqu'aux forêts de djebel Ahmar Kheddou qui reprend sur tout le flanc du Djebel Azreg.

2.2.7 La steppe : couvre de vastes surfaces jusqu'au piémont sud de Lahmar Kheddou tandis que le versant sud-est de Djebel Azreg est occupé par des oasis dispersées.

« Plus au sud contrebas du géosystème précédent, nous retrouvons plutôt la steppe à Artemisia herba alba qui colonise beaucoup plus les sols limoneux et argileux » (Ballais, 1981).

2.2.8 Les labours : sont pratiqués à la place des steppes et des maquis dans les Aurès.

D'après Cote (1971), malgré le sédentarisme qui dominait l'Aurasien, la transhumance a été toujours pratiquée et reste quand même interne au massif.

Parallèlement à l'élevage, il pratique la culture de la terre notamment les cultures sèches qui : *«montent le plus haut, évitant la roche en place pour les accumulations limoneuses des poljés, des dépressions entre les bourrelets de solifluxion, des vallons en U et les lobes en coulées boueuses » (Ballais, 1981).*

Ces cultures se font donc dans des secteurs plus élevés, puis en contrebas où elles occupent les glacis et les replats ainsi que les terrasses des oueds.

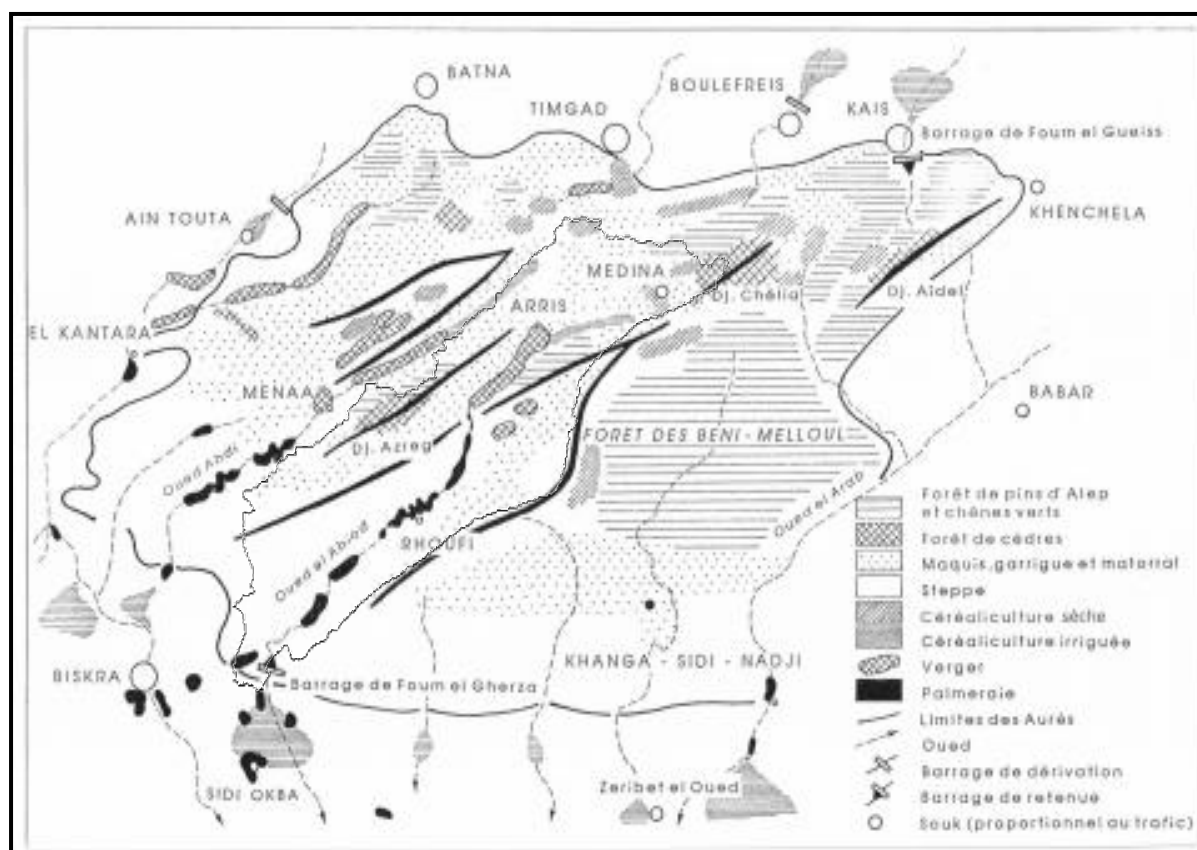


Figure 3.3 L'occupation des sols dans les Aurès (D'après Cote, 1971)

3. Les potentialités humaines :

3.1. La répartition spatiale de la population :

La répartition de la population est souvent maitrisée par les conditions naturelles et climatiques qui obligent la population autochtone d'occuper les montagnes d'une part pour des raisons de sécurité contre les invasions extérieures et d'autre part par mesure de protection contre les inondations.

Tableau 3.2 : Répartition et densité de population par commune

Commune	Population totale	Surface (km ²)	Population 2010				Densité (hab/km ²)
			féminine	%	masculine	%	
Arris	34692	151,78	17445	50.29	17247	49.71	229
Tighanimine	4397	127,24	2184	49.66	2213	50.34	35
T'kout	11536	185,37	5693	49.35	5843	50.65	62
Ghassira	7933	234,53	3854	48.59	4079	51.41	34
Ichemoul	10516	123,67	5279	50.20	5237	49.80	85
Inoughissen	3522	72,77	1672	47.47	1850	52.53	48
M'chounèche	10986	504.40	5452	49.63	5534	50.36	22
Total	82683	1399.76	41579		42003		

Source : DPSB, 2014

La densité de population est élevée au niveau d'Arris parce qu'elle est mieux équipée par rapport aux autres communes et les services offerts y sont meilleurs (santé, éducation, transport, emploi,...).

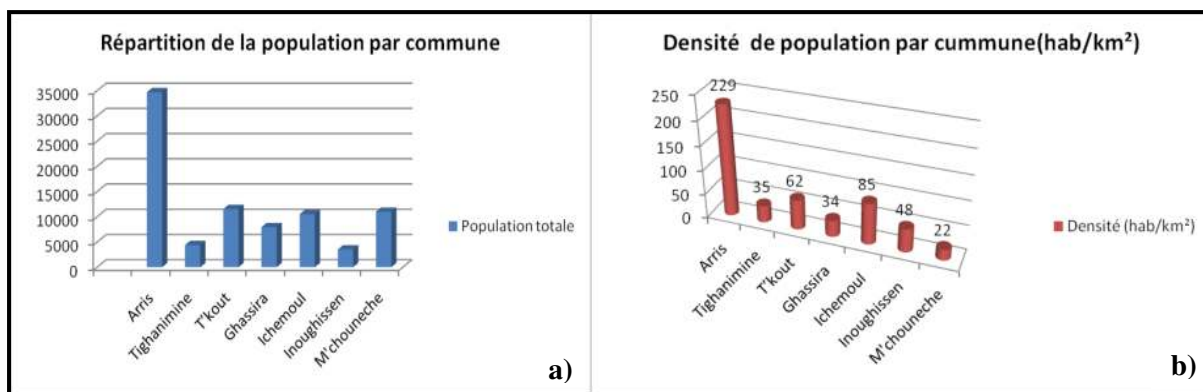


Figure 3.4 La population par commune : a) répartition, b) densité

3.2. Evolution de la population :

L'évolution de la population est liée au taux d'accroissement d'une part et l'excédent naturel d'autre part. Le faible taux d'accroissement (0.9%) à Inoughissen malgré un excédent naturel positif est dû certainement au mouvement migratoire.

Tableau 3.3 : Evolution de la population

Commune	Pop. 2008	Population 2014	Taux d'accroissement	Naissances		Décès		Excédent naturel	Mariage	Divorce
				M	F	M	F			
Arris	24607	34692	1.41	776	757	87	76	1370	327	41
Ichemoul	9887	10516	1.06	32	22	13	21	20	115	09
Inoughissen	3919	3522	0.90	6	10	1	3	12	52	03
Tighanimine	3787	4397	1.16	7	5	4	6	2	59	01
T'kout	10629	11536	1.08	11	15	21	20	-15	119	13
Ghassira	6546	7933	1.21	8	9	5	4	8	93	07
M'chouneche	10156	10986	1.08	/	/	/	/	/	/	/
Total	59375	72576	/	843	818	131	130	1397	765	74

Source : Monographie de Batna, 2014

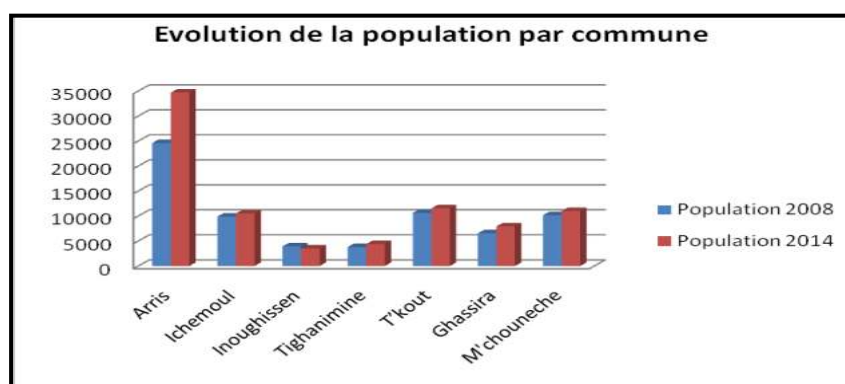


Figure 3.5 Evolution de la population

Cette tendance permet à Arris de se positionner au 5^{ème} rang au niveau de la wilaya selon la taille de population, T'kout 31^{ème}, Ichemoul 34^{ème}, Ghassira 43^{ème}, Tighanimine 52^{ème} et Inoughissen 55^{ème} par rapport aux 61 communes que compte BATNA.

3.4. Population active, occupée et en chômage:

Les conditions d'emplois sont régies par les potentialités agricoles de chaque commune ainsi que la situation géographique dont certaines sont victimes comme T'kout.

Tableau 3.4: La population active, occupée et en chômage par commune

Commune	Population active	Population occupée	Population en chômage	Ouvriers permanents	Ouvriers saisonniers
Arris	7618	6406	1212	3388	315
Tighanimine	1064	857	207	1742	73
T'kout	2840	2230	609	513	650
Ghassira	1726	1356	370	416	440
Ichemoul	2837	2346	488	3326	790
Inoughissen	1143	984	158	2783	142
Total	17228	14179	3044	12168	2410

Source : CAW, 2014

D'après le tableau ci-dessus, on constate que la population active représente 23% de la population contre 17% pour la population en chômage dont Arris et T'kout enregistrent les taux les plus élevés.

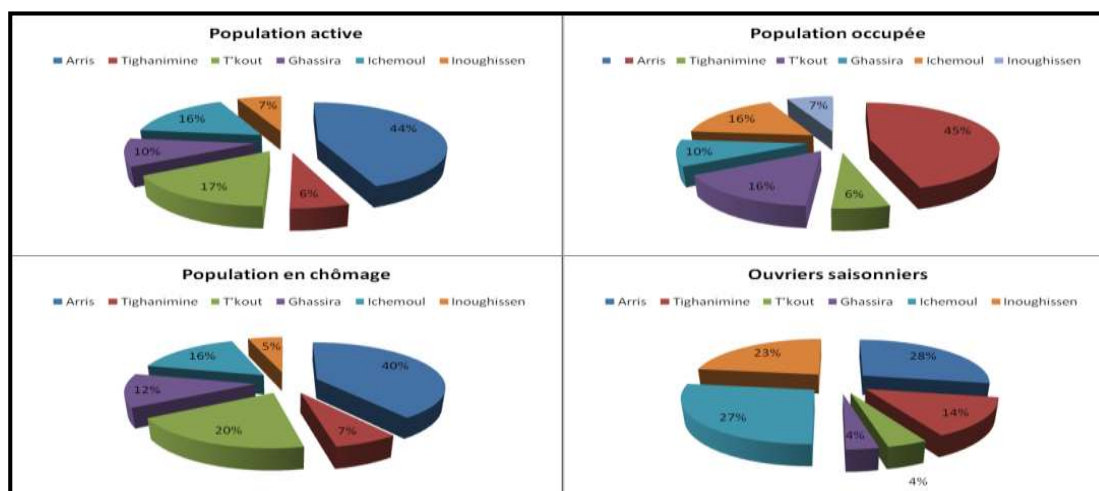


Figure 3.6 La population active par commune

Il est à noter que le chômage a poussé les jeunes de T'kout à exercer des métiers durs comme la taille de pierre qui ne cesse de dicter ces règles en faisant passer le nombre de victime de la silicose à 138 et plus de 400 sont à un stade avancé de la maladie.



Figure 3.7 Les tailleurs de pierre

3.5. Le mouvement migratoire :

Les mouvements migratoires sont enregistrés à l'intérieur des communes, entre communes et vers des wilayas limitrophes. La commune d'Arris a enregistré un solde migratoire de (+ 2.83) pour le chef lieu contre (+ 8.05) pour les zones éparses, soit une moyenne de 1285 habitants reçus. Ces mouvements prennent la direction du centre urbain d'Arris qui offre des possibilités de travail, des commodités et services meilleurs avec une facilité de transport en raison des lignes desservies. Actuellement, Arris connaît un mouvement migratoire moins important (+ 0.31) soit 508 habitants reçus en raison de la saturation en matière de services d'une part et la migration extérieure (vers d'autres wilayas) à la recherche d'une vie meilleure d'autre part.

4. Les potentialités infrastructurelles :

4.1. L'habitat:

Le parc logement dans le bassin de risque a connu un rebondissement ces dernières années dans tous les programmes proposés par l'état LSL (Logement Social Locatif), FNPOS (Fonds National de Péréquation des Œuvres Sociales), LSP (Logement Social Participatif) et Rural.

Tableau 3.5 : Répartition du parc logement par programme et par commune

Commune	Population 31/12/2014	Livraison 2014							
		LSL	FNPOS	Astreint	LSP	Promo	Rural	Total	TOL
Arris	34 692	145	/	/	86	/	140	371	5.09
Tighanimine	4 397	0	/	/	0	/	77	77	3.75
T'kout	11 536	40	/	/	0	/	92	132	3.51
Ghassira	7 933	0	/	/	0	/	116	116	3.74
Ichemoul	10 516	0	/	/	0	/	159	159	3.55
Inoughissen	3 522	0	/	/	0	/	65	65	2.66
M'chouneche	10986	/	/	/	/	/	/	/	/

Source : Monographie de Batna, 2014

D'après le tableau ci-dessus, on constate que le TOL (Taux d'occupation par logement) varie entre 2.66 et 5.09%. Le TOL le plus élevé est enregistré à Arris et dépasse la moyenne nationale (4.65%) reflétant ainsi un déficit en logement. En effet, Arris bénéficie de 371 logements seulement dans les programmes (LSL, LSP et rural) alors que l'effectif de population ne cessait d'accroître (34692 habitants jusqu'à fin 2014). Dans les autres communes les programmes LSL et LSP sont quasi absents au privilège du logement rural qui maintient toujours les traditions et le mode de vie conservatrice d'une part et en raison de l'attachement de la population autochtone à ses terres d'autre part.

Tableau 3.6 : Répartition de l'habitat précaire par commune

Commune	Parc de logement 31/12/2014	Nombre de logement précaire	Taux de logement précaire (%)
Arris	6819	193	2.83
Tighanimine	1172	10	0.85
T'kout	3283	0	0
Ghassira	2122	0	0
Ichemoul	2964	108	3.64
Inoughissen	1555	23	1.48
M'chouneche	2060	154	7.47

Source : Monographie de Batna, 2014

Le déficit en logement enregistré au niveau de toutes les communes a favorisé l'apparition croissante de l'habitat précaire et insalubre qui pèsent lourdement sur l'environnement.

En effet, l'évacuation des rejets domestiques et sanitaires ne cesse d'endurer le calvaire de la population à cause des raccordements anarchiques dont les principaux collecteurs déversent directement dans l'Oued LABIOD. Il est à noter aussi que la région enregistre un manque de centres d'enfouissement technique (CET) où elle exploite un seul CET d'une capacité de 80000 m³ qui desserve Arris et Tighanimine.



Figure 3.8 Habitat précaire et pollution

4.2 Les ressources en eau :

Le bassin versant Oued LABIOD est doté d'une nappe phréatique bien exploitée avec des forages, des puits, des sources d'eau et une retenue collinaire au niveau d'Ichemoul d'une capacité de 0.2 Hm³ afin de parvenir à satisfaire les différents besoins en eau.

Tableau 3.7: Les ressources en eau par commune

Commune	Ouvrages hydrauliques				
	Retenue	forage	puits	Sources d'eau	Irrigation (ha)
Arris	/	10	338	38	29 gouttes à goutte
Tighanimine	/	56	311	25	44 gouttes à goutte
T'kout	/	24	158	50	27 gouttes à goutte
Ghassira	/	07	80	06	13 gouttes à goutte
Ichemoul	01	07	32	/	/
Inoughissen	/	04	120	04	03 gouttes à goutte
M'chouneche	/	06	/	13	/

Source DSA, 2013

Malgré les potentialités hydriques du bassin de risque, la dotation en eau potable est encore déficitaire. Elle varie entre 80 et 150 l/j/h sachant que la dotation moyenne établie par l'OMS est 250 l/j/h contre 170 l/j/h au niveau national.

Tableau 3.8: Alimentation en eau potable par commune

Commune	Population Totale (hab)	besoins en eaux (m3/j)	Dotation (l/j/h)	Longueur du réseau		Assainissement	
				Adduction	Distribution	Linéaire (MI)	Raccordement (%)
Arris	34692	5204	80	27338	47698	51689	98
Tighanimine	4397	660	142	8777	53170	26882	94
T'kout	11536	1730	150	21785	50200	46056	98
Ghassira	7933	1190	150	10000	90016	53355	98
Ichemoul	10516	1577	92	14905	49171	18291	94
Inoughissen	3522	528	99	1640	18874	26647	96
M'chouneche	10986	2100	155	/	/	45503	99

Source : Monographie de Batna, 2014

De plus, les raccords aléatoires et anarchiques causés par l'habitat précaire posent de gros problèmes quant à l'évacuation hygiénique surtout lorsque les principaux collecteurs sont situés au niveau des rues principales où les eaux usées sont directement évacuées dans l'Oued LABIOD.

4.3. Les équipements éducatifs :

Les effectifs scolarisés dans les différents cycles d'enseignement dans les six communes s'organisent comme suit : 6477 élèves dans le primaire, 4534 dans le moyen, 3379 dans le secondaire et 332 dans les centres de formation professionnelle.

Tableau 3.9: Etablissements scolaires et effectifs par commune

Commune	Etablissements primaires		Etablissements moyens		Etablissements secondaires		Centre de formation professionnelle	
	Nombre	Effectifs	Nombre	effectifs	Nombre	Effectifs	Nombre	Effectif
Arris	14	2587	04	2040	02	2059	01	214
Tighanimine	04	463	01	342	00	00	/	/
T'kout	08	1364	01	758	01	530	01	118
Ghassira	05	617	01	380	01	223	/	/
Ichemoul	11	1228	02	835	01	567	/	/
Inoughissen	02	218	01	179	00	00	/	/
M'chouneche	07	/	01	/	01	/	01	/

Source : Monographie de Batna, 2014

4.4. Les équipements sanitaires :

La plupart des communes enregistrent encore un déficit en matière d'infrastructures hospitalières ce qui oblige beaucoup d'entre eux à se déplacer jusqu'au CHU de BATNA situé à plus 90 km dans les cas d'urgences. Le cas le plus concret est celui des tailleurs de pierre de T'kout qui souffrent de la Silicose (maladie pulmonaire) provoquée par l'inhalation des poussières de silice (SiO₂) et leurs familles dont le calvaire perdure encore en l'absence de service spécialisé en pneumo-phthisiologie malgré les promesses du ministre de la santé et la réforme hospitalière d'ouvrir un hôpital à T'kout en 2017 avec un service de pneumologie bien équipé.

Tableau 3.10: Les infrastructures hospitalières par commune

COMMUNES	Population	Structures Extrahospitalière				
		EPH	EPSP	CPMI	Polycliniques	Salle de soins
Arris	34 692	02	01	02	03	05
Tighanimine	4 397	/	/	/	/	06
T'kout	11 536	/	/	01	01	06
Ghassira	7 933	/	/	/	/	06
Ichemoul	10 516	/	/	01	01	08
Inoughissene	3 522	/	/	/	/	04
M'chouneche	10986	01	01	/	/	03

Source : Monographie de Batna, 2014

4.5. Les équipements sportifs :

La plupart des communes enregistrent un recul en matière d'équipements sportifs ce qui prive les jeunes de pratiquer certaines disciplines sportives.

Tableau 3.11: Les équipements sportifs par commune

COMMUNES	Stade OMS		Stade F/B		Salle OMS		C S P		T. Combiné		Aire de Jeux		Centre regroupement	
	Ex	E/C	Ex	E/C	Ex	E/C	Ex	E/C	Ex	E/C	Ex	E/C	Ex	E/C
Arris			1		1		1		8					1
Tighanimine														
Ichemoul									1		1			
Inoughissen							1		4		1			
T'kout									2		1			
Ghassira											1			
M'chouneche					1				1		1			

Source : Monographie de Batna, 2014

Le déficit en équipements sportifs comme le montre le tableau ci-dessus a suscité les jeunes de pratiquer leur sport de loisir dans des lieux ouverts en pleine nature notamment en montagne.

4.6. Les équipements culturels et religieux :

Les six communes sont dotées de plusieurs lieux de cultes (mosquées, écoles coraniques) par rapport aux équipements culturels. Cette tendance reflète d'une part le niveau de croyance élevé de la population qui s'attache aux valeurs propres de l'Islam.

D'autre part, la fréquentation des lieux de culte acquiert le respect de tous et permet d'acquérir des connaissances religieuses et scientifiques aussi.

Tableau 3.12: Les équipements culturels et religieux par commune

Communes	Bibliothèque	Centre culturel	Salle de lecture	Mosquées		Ecoles Coraniques	
	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Capacité	Nombre	Capacité
Arris	01	01		18	11000	/	/
Tighanimine			01	08	2300	/	/
T'kout				15	6000	/	/
Ghassira				11	3350	/	/
Ichemoul				11	4500	01	200
Inoughissen			01	09	2800	/	/
M'chouneche		01		01	/	01	/

Source : Direction de la culture, 2014

4.7. Le réseau routier:

Le réseau routier est un facteur de désenclavement et de fixation de la population d'une part et de développement d'autre part. Le réseau routier du bassin de risque assure la liaison entre plusieurs communes voir même la wilaya de Biskra. Il est structuré sur 166.3 km dont 100 km de route nationale (RN 31) et 68km de chemins de wilaya (CW 5, CW 45 et CW 172).

Tableau 3.13 : Le réseau routier

Désignation	Longueur (Km)	Revêtement (%)	Etat	Liaison
RN 31	100.100	100	Bon	Batna-Arris-Biskra
CW 5	16.00	100	Bon	Ghassira-T'kout-Chemora
CW 45	25.60	100	Moyen	Arris-Medina-Touffana
CW 172	24.60	100	Moyen	Ain Tinn-Medina-Bouhmama

Source : Monographie de Batna, 2014

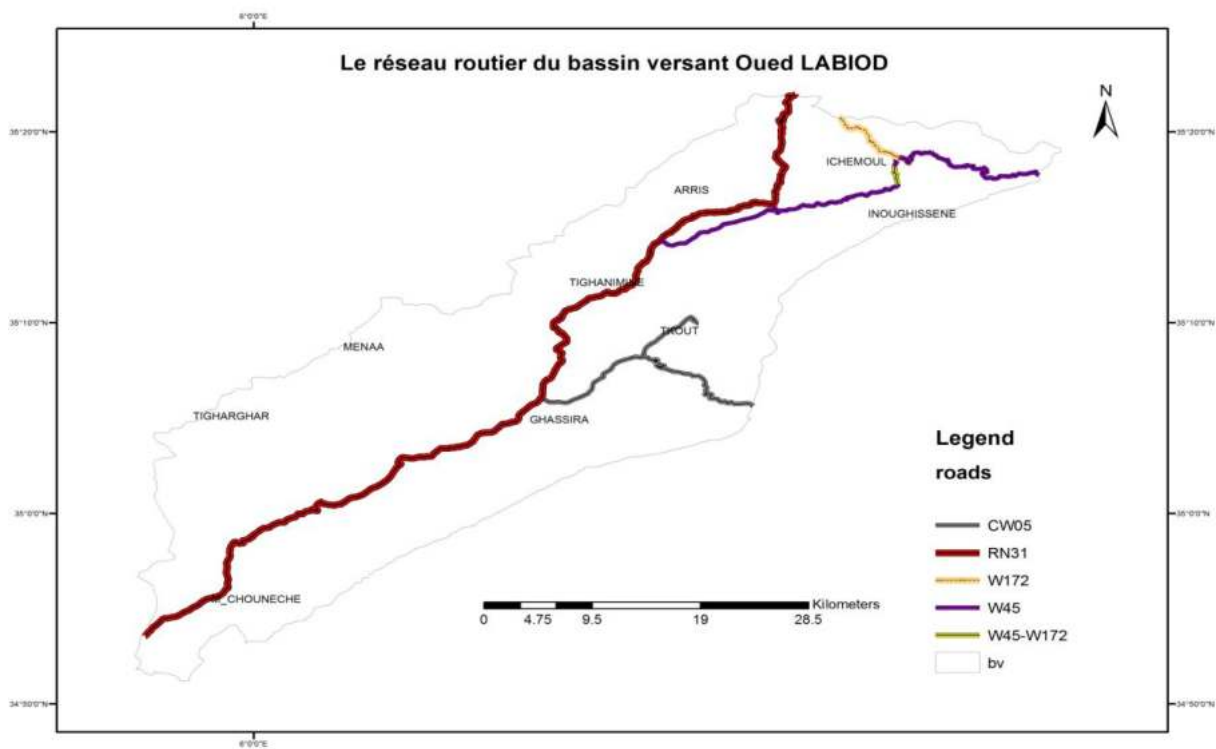


Figure 3.9 Le réseau routier du bassin de risque

5. Les potentialités économiques :

Il s'agit ici, de mettre en évidence les activités dominantes et leur répartition par commune dans le bassin de risque.

5. 1. Le secteur agricole :

La surface agricole est estimée à 6466 ha soit 42.60% de la surface totale, dont 659 ha sont irrigués soit 10.19 % localisés principalement dans la vallée de L'Oued LABIOD.

Cette dernière est limitée en raison des irrégularités dans les ressources en eau, les difficultés de mettre les terres en production (pentes fortes, terrain gelé,...) favorisant ainsi l'apparition de cultures bien adaptées de type arboricultures (le pommier).

Tableau 3.14 : Répartition de la S.A.U par commune

Commune	SAT (ha)	SAU (ha)	SAU irriguée	SAU ha/hab	SAU irriguée/hab	Parcours
Arris	9726	6466	760	0.20	0.02	2500
Tighanimine	5776	3626	293	0.84	0.06	900
T'kout	9360	3480	352	0.30	0.03	3276
Ghassira	15066	3649	247	0.47	0.03	9721
Ichemoul	7559	6617	942	0.63	0.09	/
Inoughissen	3360	2422	460	0.69	0.13	478
M'chouneche	37807	2712	190	0.25	0.017	35095

Source : DSA, 2014

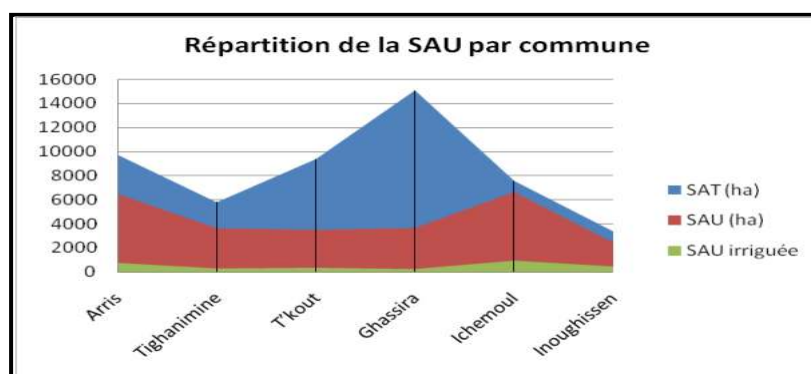


Figure 3.10 Répartition de la S.A.U par commune

D'après la figure ci-dessus, on constate que la SAU représente 50% de la SAT dont 13% seulement est consacrée à la SAU irriguée. Cette tendance reflète une situation déficitaire en eau d'irrigation d'une part. D'autre part l'orientation des cultures à des pratiques ne suscitant pas assez d'eau.

Tableau 3.15 : La production des cultures par quintaux

Commune	Céréaliculture	Arboriculture	Cultures maraichères
Arris	15590	184756	14959
Ichemoul	13770	20627	6576
Inoughissen	5466	19404	16362
T'kout	390	54541	22805
Tighanimine	2700	95798	12423
Ghassira	280	25639	22059
Total	38196	400765	95184

Source : DSA, 2014

La culture dominante dans le bassin de risque est l'arboriculture notamment le pommier, le poirier, et l'abricotier qui sont très convoités par le marché national et international.

En effet, elle représente près de 75% de la production totale contre 17.80% pour les cultures maraichères et 7.20% pour la céréaliculture.

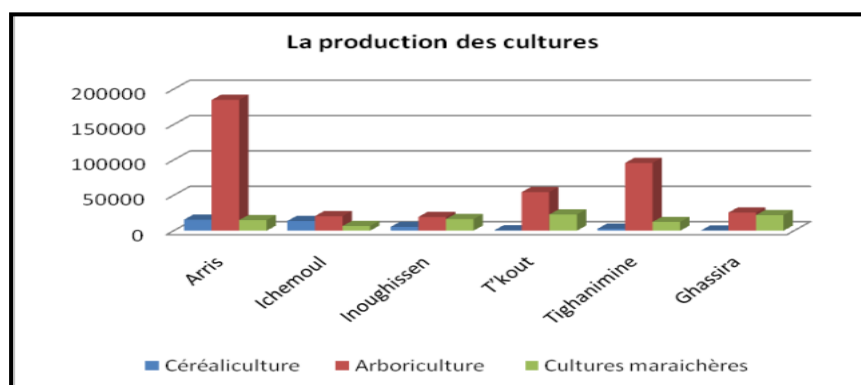


Figure 3.11 Répartition des cultures par commune

5. 2. L'élevage :

Dans la zone d'étude, l'importance en matière d'élevage pratiqué est donnée aux caprins en premier lieu, les ovins puis les bovins. Cette tendance est favorisée par le pacage en forêt.

Tableau 3.16 : Répartition de l'élevage et des équipements agricoles par communes

Commune	élevage			infrastructures		machinismes	
	ovins	bovins	caprins	poulaillers	étables	tracteurs	engins de récolte
Arris	12625	283	11651	68	/	44	14
Ichemoul	11698	154	11741	111	/	92	08
Inoughissen	5251	18	12913	07	/	18	03
T'kout	6243	00	14	22	/	13	04
Tighanimine	2816	08	7549	01	/	08	/
Ghassira	6788	00	16	05	/	05	/
M'chouneche	2040	12	1814	/	/	/	/
Total	47441	475	45698	214	/	180	29

Source : DSA, 2014

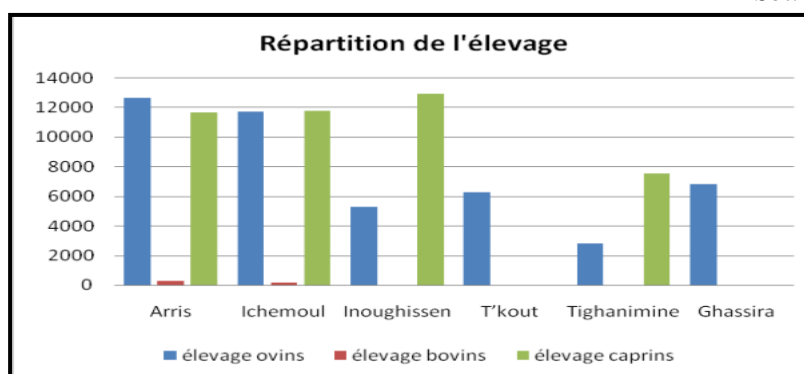


Figure 3.12 Répartition de l'élevage par commune

Cette répartition de l'élevage par commune s'est directement répercutée sur la production animale qui couvre une partie du marché local et régional. Les productions laitières sont dominantes avec 18606161 litres/an puis, la viande blanche avec 29423 quintaux et la viande rouge avec 17422 quintaux. Le bassin de risque est connu aussi pour sa production en miel (21282 quintaux) largement convoité par le marché national pour sa grande qualité.

Tableau 3.17 : La production animale par communes

Commune	Lait (l)	Viande rouge (q)	Viande blanche (q)	Œufs (u)	Miel (q)	Laine (q)
Arris	3 559 429	2 042	5 869	/	3 912	1 027
Ichemoul	11 944 427	7 576	16 224	27 255	360	21 400
Inoughissen	771 767	646	2 950	631	10 620	/
T'kout	349 789	3 172	2 951	/	1 050	3 404
Tighanimine	1 593 475	416	588	/	3 840	428
Ghassira	387 274	3 570	841	/	1 500	3 624
M'chouneche	/	485	130	/	/	/
Total	18606161	17907	29553	27886	21282	29883

Source : DSA, 2014

5.3 L'industrie :

Bien que l'agriculture soit le secteur dominant, il n'en reste pas moins qu'Arris est la seule commune dotée d'une zone industrielle (ZI) à Dechra El Hamra. Elle est étalée sur 90 hectares et équipée d'une minoterie semoulerie (ERIAD), six carrières de concassage de pierres et autres graviers ainsi qu'une filiale de teinture (SONITEX) société nationale de l'industrie textile à la sortie sud d'Arris mais qui à malheureusement baissé le rideau.

Dans les autres communes l'artisanat fait unanimité mais devienne de moins en moins pratiquée en raison des modestes revenus. A par la bijouterie qui est très rentable, les autres activités sont poussées à l'abandon comme la tapisserie dont deux unités sont gérées par la SOPABA (société de produits artisanaux de Batna) ainsi que Baniane.

5.4 Le tourisme :

C'est l'un des secteurs les plus attractif dans la région qui à été convoitée par des touristes nationaux et étrangers notamment les balcons de Ghoufi, les gorges de Tighanimine, la station thermale Ouled Aicha à Tighanimine, le col de Baali, la maison de Meddour Azoui. Au sud, c'est vers les palmeraies de M'chounèche, le musée de Si El HAOUES, la grotte de Taourirt, la dechra d'Ifren Naythzaouk, le site de Oueldja, la tour de Toukhrabet ou encore Bouhenane que les touristes préfèrent visiter.

Le bassin de risque connaît actuellement l'expansion de quatre (04) sites touristiques : Arris, Ghoufi, Ichemoul (Dechra Ouled Moussa) et M'chouneche précisément à Oueldja (Fedj Zegaa). L'expansion du site touristique d'Arris est étalée sur 770 ha, 393 ha pour Ghoufi, 100 ha pour Ichemoul et 10.04 ha M'chouneche.

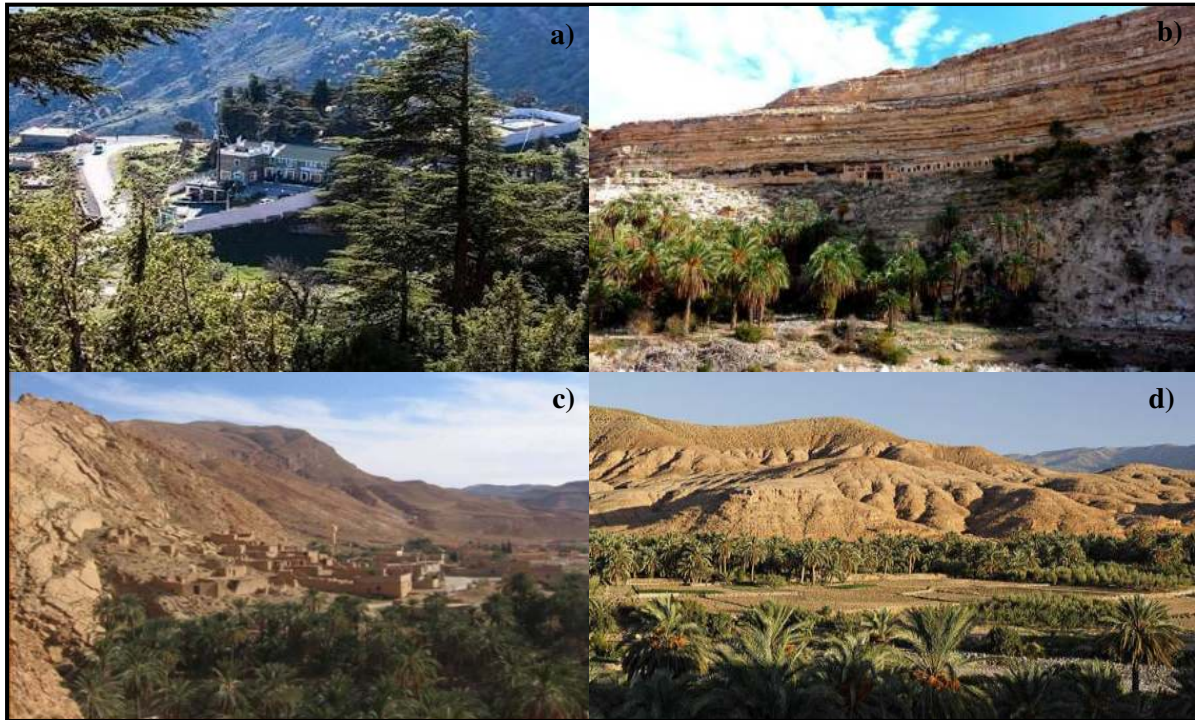


Figure 3.13 Quelques sites touristiques : a) : Forêt de Chelia, b) : Balcons de Ghoufi, c) : Dechra Ifren Naythzaouk, d) : Palmeraies de M'chouneche

5.5 Analyse du bassin versant selon la méthode SWOT :

Si les potentialités naturelles et touristiques n'ont pas réussi à désenclaver la région, l'absence d'une volonté politique de développement des zones de montagnes à contribué davantage dans cette situation.

Afin de déterminer une stratégie de développement via un outil d'analyse pertinent, il convient de faire appelle à la méthode SWOT en prenant en considération les facteurs des approches internes et externes basées sur les atouts, faiblesses, opportunités et menaces présentes dans le bassin versant en question.

Malgré la visualisation rapide d'un manque de stratégie de développement, la distinction entre ce qui est interne et externe par cet outil n'est pas toujours évidente surtout à l'échelle d'un grand bassin versant étalé sur 3 wilayas (Khenchela, Batna et Biskra).

Tableau 3.18 : La méthode SWOT Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Atouts, Faiblesses, Opportunités, Menaces)

SWOT	APPROCHE INTERNE		APPROCHE EXTERNE	
	STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
O.LABIOD				
BASSIN VERSANT OUED LABIOD	<p>Diversité et complémentarité du milieu physique, variétés des paysages (montagnes, collines, plaines) ; Bonne adaptation du patrimoine biologique, faune, flore aux conditions climatiques et édaphiques (facteurs extrêmes liés au sol) ; Faible exposition aux risques sismiques ; Diversité climatique ; Réseau hydrographique dense. Diversité paysagère : montagnes, collines, plaines ; Important potentiel touristique ; Nappes phréatiques bien exploitées, Potentialités en eaux minérales (Baniane) ; Potentialités en eaux de surface (Oued LABIOD). 42.60% des terres sont affectées à l'agriculture ; Un potentiel sol diversifié ; Important potentiel végétal sous forme d'étages qui commencent par les pelouses d'altitude 30000 ha ; Diversification des formations végétales (Pin d'Alp et Cèdre 4500 ha, Chêne vert 10000 ha, genévrier) ; Un paysage paradisiaque qui reflète la transition bioclimatique entre la forêt et la palmeraie. Évolution de la population entre (1998-2014) de 59375 habitants à 72576 habitants avec une baisse du taux de mortalité ; Taux de chômage très élevé (17.6%) par rapport à 23 % de population active ; Un réseau routier qui assure la mobilité des personnes ; Une bonne couverture en infrastructures énergétiques (électricité-gaz), postes et TIC ;</p>	<p>Insuffisance dans la protection et la mise en valeur des milieux montagnards ; Faible prise de conscience des enjeux et des risques encourus par la population ; Dégradation de l'écosystème forestier et accélération de l'érosion hydrique ; Recrudescence des crues ; Impacts des unités polluantes (carrières, zone industrielle) ; Raccordement anarchique de l'assainissement et déversement des eaux usées dans l'oued LABIOD ; Utilisation d'engrais et pesticides pour améliorer la production des arbres fruitiers ; Carence en CET (Centre d'Enfouissement Technique). Faibles dotations en eau potable ; Raccordement anarchique du réseau d'assainissement ; Pollution des eaux superficielles avec des eaux usées ; Absence de traitement préalable des rejets ; Association des sols minéraux bruts et sols peu évolués non climatique d'érosion ; Surfaces irriguées peu importantes (10% de la SAU) ; Rendements faibles des terres à cause des aléas climatiques. Importantes formations arbustives (maquis : 50000 ha) ; Domination du pin d'Alp sur les formations arborescentes ; Manque de travaux de régénération et de reforestation ; Faible valorisation du patrimoine forestier. Faible taux d'accroissement (1.12%) par rapport à la moyenne nationale (2.15%) ; Domination de l'agriculture sur les autres secteurs ; Déficience en équipements socio-éducatifs, sanitaires, culturels et de loisirs notamment en zone de montagnes ; Réseaux d'assainissement à renforcer.</p>	<p>Promouvoir le développement des zones montagneuses notamment en matière de tourisme ; Revaloriser les sites naturels ; Engager la sauvegarde et la protection du patrimoine ; Mobilisation des ressources hydriques superficielles ; Moderniser le réseau d'assainissement ; Optimiser industrielles polluantes ; Délocaliser les carrières des zones peuplées et à l'abri des vents ; Réaliser des stations d'épuration des eaux usées ; CET pour des déchets ménagers et industriels. Réalisation des retenues collinaires et amélioration du réseau d'assainissement ; Sensibilisation sur la pollution ; Envisager des stations d'épuration et de traitement des eaux usées. Perspectives d'accroître les surfaces irriguées en mobilisant les eaux de surface ; Valorisation des terres en zones de montagnes (arboriculture et maraichage) Perspectives de régénération et de reforestation prometteuse ; Valorisation du patrimoine sylvicole (activités en zones montagnards) ; Circuits touristiques en forêts. Développement des villes de montagne pour une réparation équilibrée de la population ; Prise en charge des besoins sociaux de la population ; Renforcer le stockage des eaux superficielles pour améliorer la dotation en AEP ; Moderniser les réseaux (d'assainissement).</p>	<p>Conséquences de plus en plus lourdes à causes des crues saisonnières et la dégradation des sols par érosion hydrique ; Aggravation des impacts environnementaux à cause de l'urbanisation galopante en l'absence d'une politique de développement durable ; Dégradation des zones de montagne ; Exploitation excessive des terres agricoles et amplification de l'exode rural ; Pollution des oueds et contamination des cultures irriguées ; Risque d'inondation et de dégradation des sols par érosion hydrique ; Croissance des besoins en eaux potable et d'irrigation ; Épuisement et pollution des eaux souterraines ; Accroissement des maladies liées à la mauvaise qualité de l'eau (MTH). Dégradation et pertes des sols ; Érosion importante dans les zones à relief accidenté ; des zones steppiques. Déboisement et coupe illicite des arbres ; Les défrichements ; L'érosion hydrique. Important mouvement migratoire et demande sociale croissante ; Exercice de métiers durs (taille de pierre) ; Le manque d'infrastructures de liaison en zones montagneuses accentue l'enclavement ; Pollution des eaux.</p>

Conclusion :

Malgré les potentialités dont bénéficie le bassin objet d'étude, les interventions humaines sont souvent irrationnelles et destructrices.

En effet, le besoin croissant en matière d'eau potable, logement, emploi ou le déficit en équipements sanitaires, éducatifs, sportifs et socioculturels a suscité des interventions irrationnelles allant jusqu'à la dégradation de l'environnement et l'épuisement des ressources.

Le déficit en logement a engendré l'apparition de l'habitat précaire qui ne cesse d'amplifier les risques environnementaux notamment la pollution hydrique au niveau de l'Oued LABIOD.

Les surfaces agricoles utilisables qui constituent les principales ressources de la population autochtone et qui occupent 50 % de la surface agricole totale sont dégradées d'une part, par le surpâturage exercé par 93614 têtes de bétails dont 45698 caprins qui s'attaquent même à la partie supérieure des arbres.

D'autre part, la dominance de l'arboriculture qui représente 75 % des surfaces agricoles utilisables a induit l'utilisation d'engrais et pesticides afin d'accroître la production qui couvre une grande partie du marché national et international.

Le chômage a contribué davantage dans la situation dramatique des tailleurs de pierre qui vivent désormais la psychose de savoir qui sera la prochaine victime.

Le secteur touristique dont l'épanouissement est entravé par le manque de services a connu lui aussi une dégradation du patrimoine qui a été mal conservé voire même pillé ou volontairement dégradés par la population pour construire des maisons.

A cet égard, on peut dire que l'homme agit négativement sur son milieu de vie beaucoup plus qu'il ne s'y intègre dont l'impact de cette « Anthropisation » est plutôt destructeur.

CHAPITRE 4
MODELISATION DES
RISQUES

1- Le risque d'inondation :

Actuellement, le concept d'indicateur de risque a été introduit dans les méthodes d'évaluation à titre prédictif afin d'appréhender le niveau des risques. Dans cette optique, nous avons effectué une analyse historique des crues dans le bassin de risque sur la base des données de l'ANBT (Agence Nationale des Barrages et des Transferts) au site du barrage de Foum el Gherza jusqu'à 2016 suivie d'enquêtes sur terrain. La vulnérabilité du bassin de risque Oued LABIOD aux inondations n'est pas un phénomène nouveau. Elle est liée d'une part à l'occupation anarchique de la plaine inondable par l'homme et l'implantation de ses activités. D'autre part, à la dynamique fluviale assistée par le caractère torrentiel des précipitations qui ont contribué au façonnement du tracé de l'oued notamment le canyon de Ghoufi et les gorges de Tighanimine.



Figure 4.1 Quelques indicateurs du risque d'inondation (HAOUES, 2016)

1.1 Le retour d'expérience:

1.1.1 Analyse des crues historiques :

Le retour d'expérience (REX) consiste à rechercher les causes, à tenter de reconstituer le déroulement d'un événement catastrophique pour en tirer les enseignements en terme de gestion de crise. Le REX permet de recueillir les informations des personnes qui étaient sur le terrain pour distinguer la qualité des pratiques au moment de la crise.

L'analyse des crues dans le bassin de risque à été effectué durant la période entre 1950-2016 au pas annuel, mensuel et saisonnier.

Tableau 4.1 : Nombre de crues entre 1950 - 2016

Année	Nombre de crues	Année	Nombre de crues	Année	Nombre de crues
1950/1951	5	1971/1972	6	1992/1993	4
1951/1952	13	1972/1973	6	1993/1994	5
1952/1953	9	1973/1974	2	1994/1995	7
1953/1954	7	1974/1975	1	1995/1996	13
1954/1955	8	1975/1976	6	1996/1997	2
1955/1956	8	1976/1977	8	1997/1998	9
1956/1957	3	1977/1978	3	1998/1999	3
1957/1958	8	1978/1979	5	1999/2000	4
1958/1959	9	1979/1980	8	2000/2001	5
1959/1960	14	1980/1981	11	2001/2002	6
1960/1961	6	1981/1982	9	2002/2003	7
1961/1962	7	1982/1983	10	2003/2004	9
1962/1963	11	1983/1984	4	2004/2005	14
1963/1964	18	1984/1985	6	2005/2006	6
1964/1965	5	1985/1986	5	2006/2007	2
1965/1966	2	1986/1987	3	2007/2008	2
1966/1967	5	1987/1988	2	2008/2009	17
1967/1968	8	1988/1989	6	2009/2010	2
1968/1969	4	1989/1990	15	2010/2011	3
1969/1970	13	1990/1991	2	2014/2015	1
1970/1971	1	1991/1992	5	2015/2016	2

Source : ANBT, 2016

D'après le tableau ci-dessus, on constate le bassin de risque Oued LABIOD enregistre en moyenne 6.5 crues/an. Cette tendance à été rompue pendant les années (1951/1952, 1959/1960, 1969/1970, 1995/1996 et 2004/2005) durant lesquels le nombre de crue à doublé avec un nombre record enregistré en 1963/1964 avec 18 événements et 2008/2009 avec 17.

Cette prépondérance des crues dans le bassin de risque traduit sa vulnérabilité aux inondations.

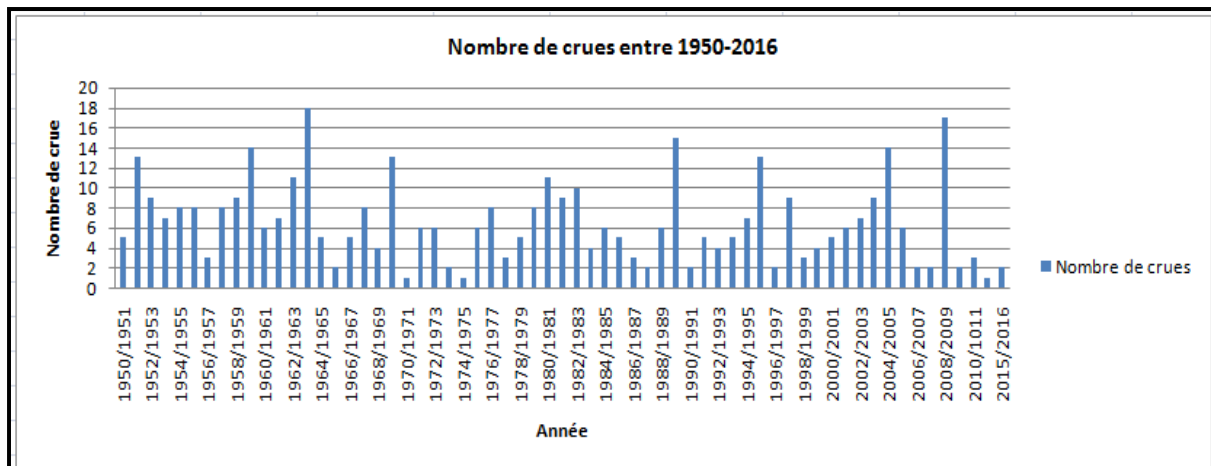


Figure 4.2 Nombre de crues par an entre 1950/2016

L’analyse des crues au pas saisonnier dévoile le caractère automnal et printanier des crues dans le bassin de risque Oued LABIOD qui est ressenti par le nombre d’événements enregistrés (158 en automne) et (119 en printemps) contre 68 événements en hiver et 64 en été.

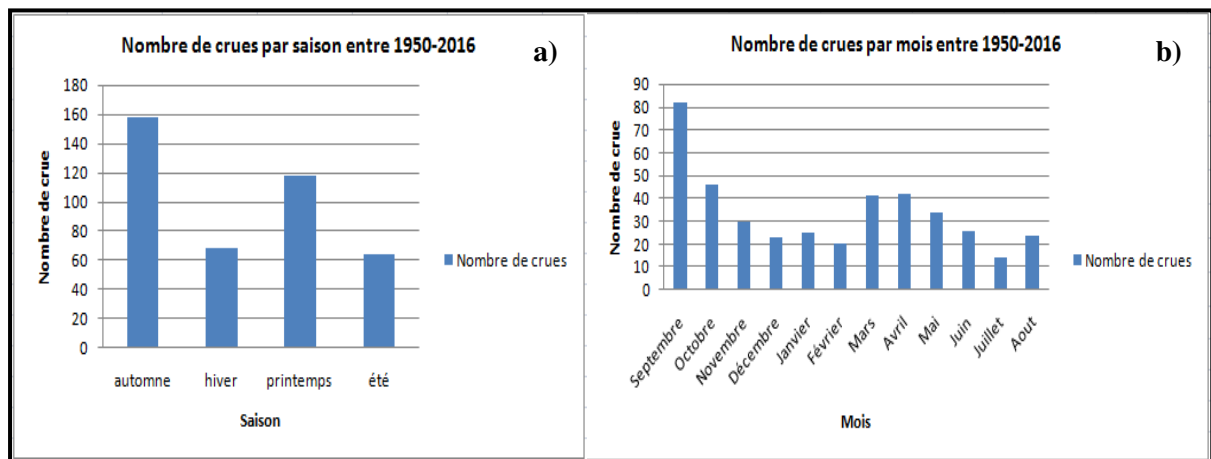


Figure 4.3 Nombre de crues entre 1950-2016: a) par saison, b) par mois

Au pas mensuel, on constate que les crues sont plus fréquentes au mois de septembre avec 82 événements, contre 47 au mois d’octobre, 42 aux mois de mars et avril et 35 pour mai. Les mois de décembre, janvier et février censées êtres plus arrosés, enregistrent respectivement 23, 25 et 20 événements seulement contre 26 au mois de juin et 24 pour Aout.

1.1.2 Reconstitution des débits de crues :

Pour la reconstitution des débits moyens et maximums instantanés des crues historiques dans le bassin de risque Oued LABIOD durant la période 1950-2016, nous nous sommes référés aux données de l'Agence Nationale des barrages et des transferts (ANBT, 2016).

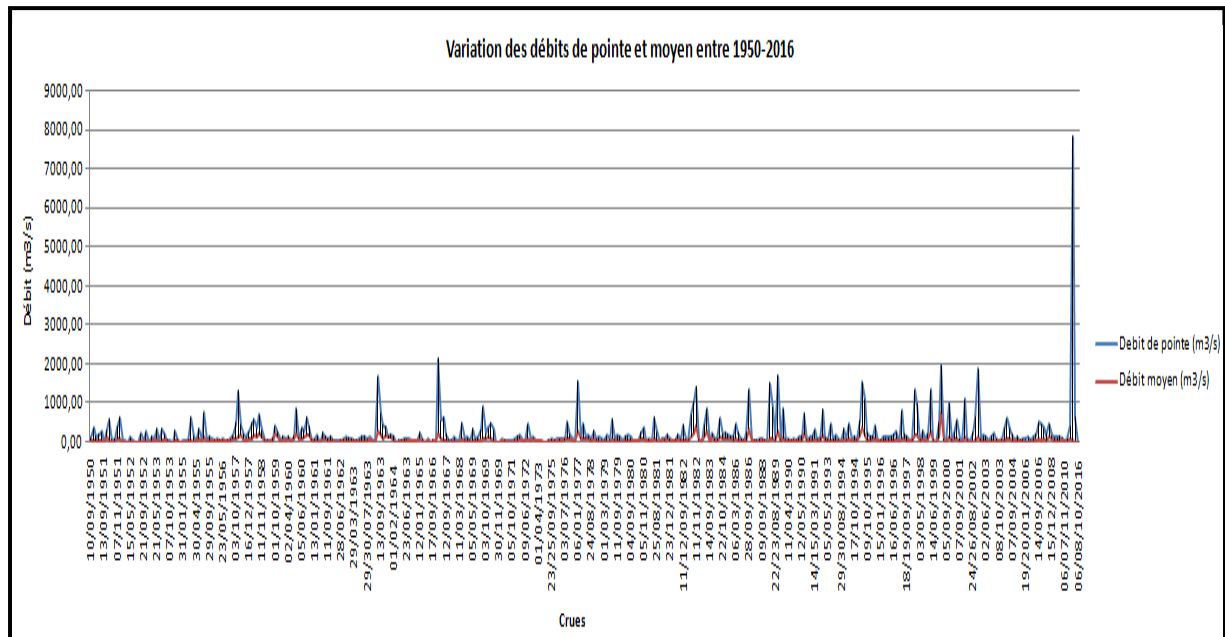


Figure 4.4 Reconstitution des débits de crues entre 1950/2016

L'analyse des crues historiques a permis de constater que les débits moyens journaliers et maximums instantanés enregistrés sont soumis à une variabilité spatiotemporelle.

La moyenne des débits journaliers enregistrés entre 1950-2016 est $187.53 \text{ m}^3/\text{s}$ mais seules les crues du 09 mai 2000, du 28 au 31 octobre 2011 et du 24 au 25 mars 2015 rompent cette tendance enregistrant respectivement $760 \text{ m}^3/\text{s}$, $975.06 \text{ m}^3/\text{s}$ et $633.33 \text{ m}^3/\text{s}$.

Parallèlement, la moyenne des débits maximums instantanés durant la même période est $874.20 \text{ m}^3/\text{s}$ avec des débits exceptionnels enregistrés lors des crues du 12 septembre 1967 avec $2150 \text{ m}^3/\text{s}$ et la crue du 28 au 31 octobre 2011 avec $7826.90 \text{ m}^3/\text{s}$. Au vu de l'étendue des crues historiques sur 376 observations, il nous a semblé juste d'analyser succinctement leurs débits et prépondérance à différents pas de temps. Le premier constat est que crues entre 1950-1983 ont été observées en automne durant les mois d'octobre et novembre avec 17 événements enregistrant des débits de pointe variables entre $1310.33 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la crue du 04/10/1957, $2151.98 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la crue du 10 au 11/10/1962 et $1410.28 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la crue du 11/11/1982.

Les crues entre 1984-1995 ont été observées aux mois d'avril et mai (09 crues) contre 10 entre septembre et novembre ce qui leur confère un caractère automnale et printanier à la fois. En effet, la crue du 28/09/1986 à enregistré un débit de pointe de 1339.56 m³/s, la crue du 03/04/1989 à enregistré 1524.86 m³/s, celle du 31-08 au 01/09/1989 à enregistré 1706.69 m³/s et 1540.14 m³/s lors de la crue du 22/04/1995.

Durant la période entre 1995-2002, la prépondérance des crues est printanière et automnale (07 crues) pour chaque saison contre deux crues survenues durant l'été et l'hiver.

La crue du 24/09/1995 à enregistré un débit de pointe de 1100 m³/s, la crue du 07/11/1997 à enregistré 1340 m³/s, la crue du 02/05/1999 à enregistré 1346 m³/s, la crue du 09/05/2000 à enregistré 1985 m³/s, la crue du 27/08/2000 à enregistré 1010.36 m³/s et la crue du 30/08 au 01/10/2001 à enregistré 1109.76 m³/s.

Entre 2002-2016, les crues ont été plutôt automnales avec 21 événements contre 08 au printemps, 07 en été et 06 en hiver. La crue du 09-10/10/2002 à enregistré un débit de pointe de 649 m³/s, la crue du 17/01/2003 à enregistré 1881.21 m³/s, la crue du 28-29/03/2004 à enregistré 608.42 m³/s, la crue du 03-05/05/2006 à enregistré 3106 m³/s, la crue du 14/09/2006 à enregistré 514.3 m³/s, la crue du 01/07/2008 à enregistré 479 m³/s, la crue du 01/11/2008 à enregistré 474 m³/s, la crue de 15-16/03/2011 à enregistré 413 m³/s, la crue du 28-31/10/2011 à enregistré 7827 m³/s, celle du 24 au 25/03/2015 à enregistré 633.33 m³/s et la crue du 06 au 08/10/2016 à enregistré 11.27 m³/s

1.1.3 Variation du plan d'eau et la vitesse de montée :

La vitesse moyenne de montée des eaux durant la période entre 1950-2016 est 17.47cm/h.

Les crues du 17/01/2003, 01/07/2008, 15/07/2008, 01/11/2008 et 15/12/2008 ont enregistrées des vitesses supérieures à la moyenne avec 25.27cm/h pour la crue de 2003 et 23 cm/h, 22.67cm/h, 27cm/h et 19.25cm/h respectivement pour les crues de 2008. Il paraît aussi que les dernières crues survenues du 28 au 31/10/2011, du 24 au 25/03/2015 et du 06 au 08/10/2016 ont enregistré des vitesses de montée plus lentes avec respectivement 4.74, 3.88 et 0.24 cm/h.

Les crues de 2008 ont connu une vitesse de montée plus rapide en raison de l'état d'humidité des sols soutenu par la succession d'événements pluvieux générateurs de crues.

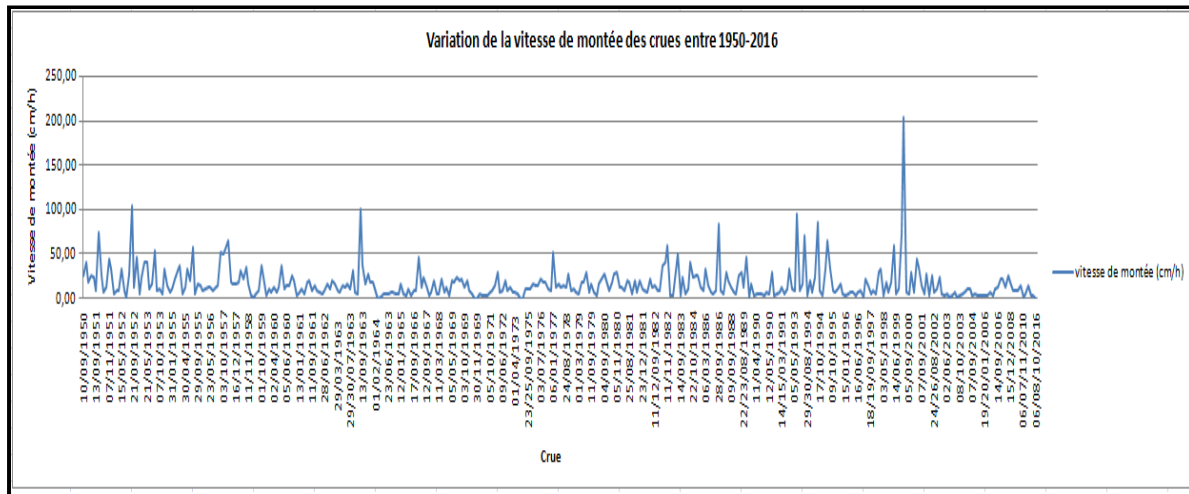


Figure 4.5 Variation de la vitesse de montée des eaux (2002-2016)

Parallèlement, le plan d'eau moyen durant la même période est 1.18 m et 3.29 m lors de la crue de 2003, 1.97 m, 0.90 m et 0.30 m lors des crues de 2008 contre 3.69 m lors de la crue du 28 au 31/10/2011, 0.69 m lors de la crue du 24 au 25/03/2015 et 0.65 m lors de la crue du 60 au 08/10/2016.

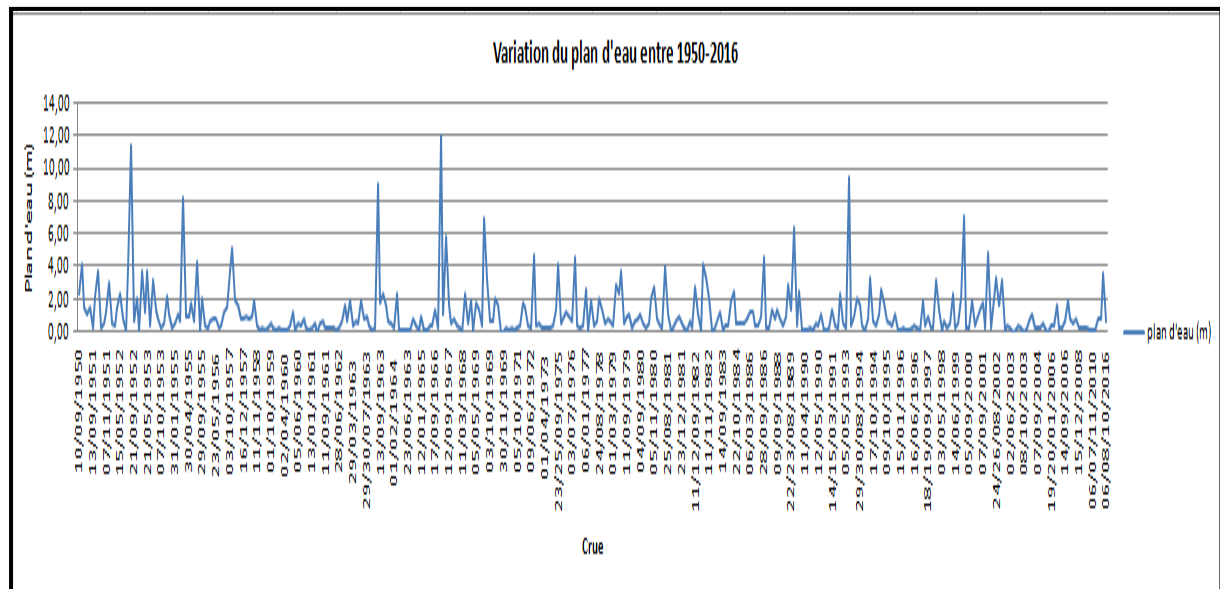


Figure 4.6 Variation du plan d'eau entre 1950-2016

1.1.4 Analyse fréquentielle des débits :

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus hydrologique, afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

Elle fait appel à diverses étapes schématisées très simplement selon le diagramme ci-contre dont le choix du modèle est une décision de recourir à ce dernier et non une hypothèse expérimentalement contrôlable.

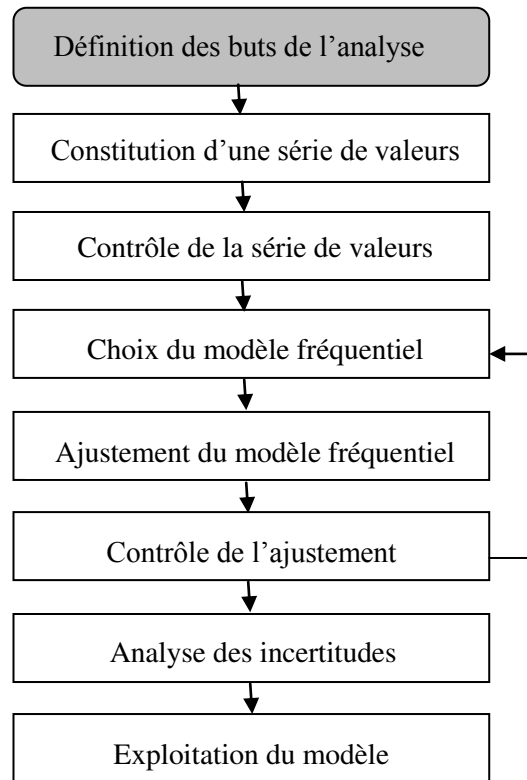


Figure 4.7 Les étapes de l'analyse fréquentielle

Ce pendant, nous n'avons aucune indication quant à la taille suffisante de l'échantillon mais affranchir l'hypothèse d'indépendance est possible. Rappelons que les débits max ont été ajustés avec différentes lois de distribution statistiques (voir annexes) dont la loi log-normale semble la plus appropriée à l'échantillon en question. C'est une loi d'effet proportionnel dont la variable x est la résultante d'effets multiplicatifs en valeurs naturelles qui deviennent additifs en logarithme des paramètres u et σ qui admet une fonction de répartition :

$$f(x, u, \sigma) = \frac{1}{x \sigma \sqrt{2 \Pi}} \exp \left[-\left(\frac{\ln x - u}{2 \sigma^2} \right)^2 \right] = \frac{1}{x} f_x(\ln(x); u, \sigma) \dots \dots (4.1)$$

Où :

u : est le logarithme de la moyenne géométrique des observations $u = x - x_0 / \sigma$;

σ : est la variance des logarithmes des observations.

Posons $y = a \log x + b$; étant y la variable log normale réduite Galton :

$$F(x) : \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} a \log x + b - \frac{y^2}{e^2} dy \dots\dots (4.2)$$

$$u_x : \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(y) - \frac{y^2}{e^2} dy \dots\dots (4.3)$$

Or : $x = e^{\frac{y-b}{a}}$

$$u_x : \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(y) - \frac{y^2}{e^2} + \frac{y-b}{a} dy \dots\dots (4.4)$$

Les paramètres de la loi log normale testée sur 376 observations via le logiciel XLSTAT sont comme suit :

Tableau 4.2: Les paramètres de la loi log normale

Paramètre	Valeur
μ	4.86
σ	1.23
\bar{u}	267.17
δ	515.48
Asymétrie	9.12
Aplatissement	122.1

Etant donné que le coefficient d'asymétrie $\gamma_1 > 0$ et le coefficient d'aplatissement $\gamma_2 > 0$, on peut dire que la distribution est dissymétrique à gauche et la répartition est moins aplatie que la densité normale. Les tests d'adéquation d'un modèle de distribution Kolmogorov-Smirnov ou Khi carré (χ^2) vérifient l'ajustement du modèle pour la partie centrale de la distribution des observations.

Tableau 4.3: Les paramètres du test Kolmogorov-Smirnov

Paramètre	Valeur
D	0.047
P-value	0.36
α	0.05

Le test du Khi (χ^2) est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse H_0 selon laquelle les données observées sont engendrées par un modèle faisant intervenir une loi de probabilité.

Les hypothèses à confronter, H_0 et H_1 , étant identifiées, leur validité est soumise à l'épreuve à l'aide d'un test d'hypothèses qui permet, sur la base des données observées et avec des risques d'erreur déterminés, d'accepter ou de refuser une hypothèse statistique.

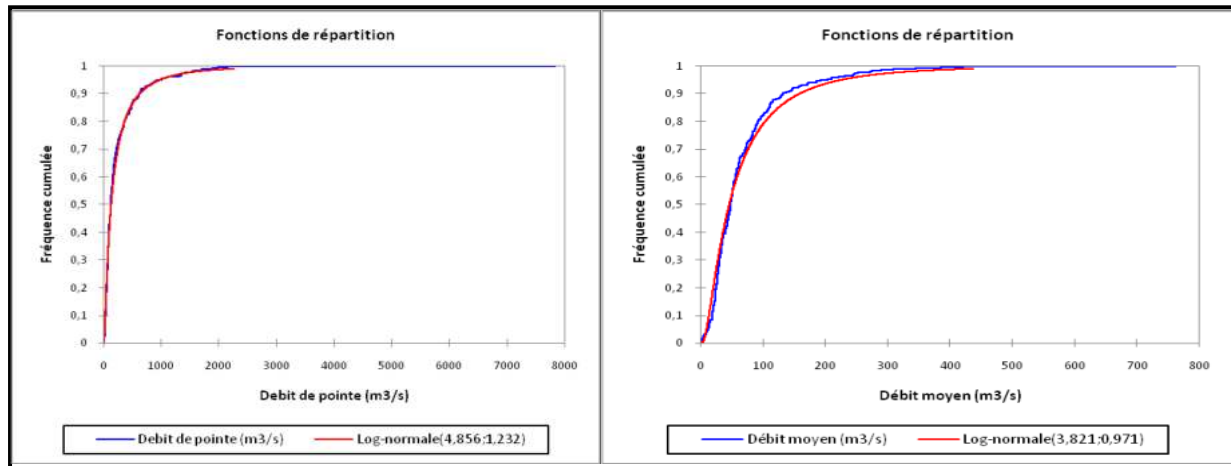


Figure 4.8 Ajustement des débits aux lois statistiques (1950-2016)

On définit une fonction discriminante Dn qui constitue une mesure normalisée de l'écart entre les valeurs théoriques déduites du modèle et les valeurs observées dans l'échantillon.

Lorsque H_0 n'est pas vraie, les valeurs de Dn augmentent et lorsque H_0 est vraie, Dn suit, au moins asymptotiquement, une loi du χ^2 de Pearson à v degrés de liberté.

La région critique du test est donc constituée des grandes valeurs de Dn .

Le risque α étant donné, on note $\chi_{1-\alpha}^2$ le fractile d'ordre $1-\alpha$ de la loi du χ^2 de Pearson à v degrés de liberté défini comme suit :

$$P(Dn \geq \chi_{1-\alpha}^2) = \alpha.$$

On note d la valeur observée de Dn dans l'échantillon, et on compare la valeur de d à $\chi_{1-\alpha}^2$.

Lorsque l'approximation par la loi du χ^2 de Pearson à v degrés de liberté est valable, cette comparaison définit la règle de décision suivante, appelée test asymptotique de niveau α :

Si $d < \chi_{1-\alpha}^2$, on considère que l'écart est dû au hasard de l'échantillonnage et qu'il n'est pas significatif : on accepte H_0 .

Si $d \geq \chi_{1-\alpha}^2$, on considère que l'écart observé est trop important pour être attribué aux seules fluctuations d'échantillonnage et qu'il révèle l'inadéquation du modèle : on refuse H_0 .

Pour la validité de l'approximation par la loi du Khi-deux avec un nombre correct de degrés de liberté, tous ces effectifs théoriques doivent, en général, être supérieurs à 5.

Pour chaque indice i de 1 à k , on note N_i le nombre d'observations appartenant à la classe C_i : c'est l'effectif empirique ou observé de la classe C_i .

Avec ces notations, la variable représente une mesure normalisée de l'écart global entre les valeurs théoriques et les valeurs observées:

$$D = \sum_{i=1}^{i=k} \frac{(N_i - n p_i)^2}{n p_i} \dots\dots\dots (4.5)$$

Tableau 4.4: Les effectifs théoriques et observées

Classe	Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Distribution	χ^2
1	0,000	790,000	350	349,600	0,000
2	790,000	1580,000	20	18,569	0,110
3	1580,000	2370,000	5	4,452	0,068
4	2370,000	3160,000	0	1,625	1,625
5	3160,000	3950,000	0	0,735	0,735
6	3950,000	4740,000	0	0,380	0,380
7	4740,000	5530,000	0	0,215	0,215
8	5530,000	6320,000	0	0,130	0,120
9	6320,000	7110,000	0	0,083	0,083
10	7110,000	7900,000	1	0,055	16,101

$n p_i$ étant la valeur théorique de l'effectif de la classe i sur n observations ;

N_i étant le nombre d'observations de classe i .

Pour tout indice i de 1 à k , $\frac{(N_i - n p_i)^2}{n p_i}$ est l'écart individuel de la classe C_i .

On démontre alors que D_n suit asymptotiquement une loi (χ^2) à v degrés de liberté, avec :

$$v = k - r - 1,$$

r étant le nombre de paramètres estimés de la loi théorique.

On considère que l'approximation par la loi du Khi-carré est satisfaisante si $n \geq 30$ et si tous les effectifs théoriques sont supérieurs ou égaux à 5. Si les effectifs des classes extrêmes sont inférieurs à 5, il faut procéder à des regroupements de classes. Etant donné que χ^2 observé = 19.45 > 14 on doit rejeter l'hypothèse H_0 . Il nous a semblé juste de vérifier l'hypothèse H_0 avec le test de Kolmogorov-Smirnov aussi dont la valeur ($p = 36\%$) > au niveau de signification ($\alpha = 5\%$) ce qui signifie que l'hypothèse H_0 ne doit pas être rejetée.

1.1.5 Hydrogrammes des crues :

La réponse hydrologique du bassin de risque est représentée par un hydrogramme qui varie d'une crue à une autre. Elle est conditionnée par la quantité et la durée des précipitations, l'occupation et l'état d'humidité des sols et la morphométrie du bassin versant.

A cet égard, nous avons reconstitué l'hydrogramme d'une crue printanière et autre automnale survenue respectivement du 03 au 05/05/2006 et du 28 au 31/10/2011 afin de déterminer les caractéristiques de chaque crue.

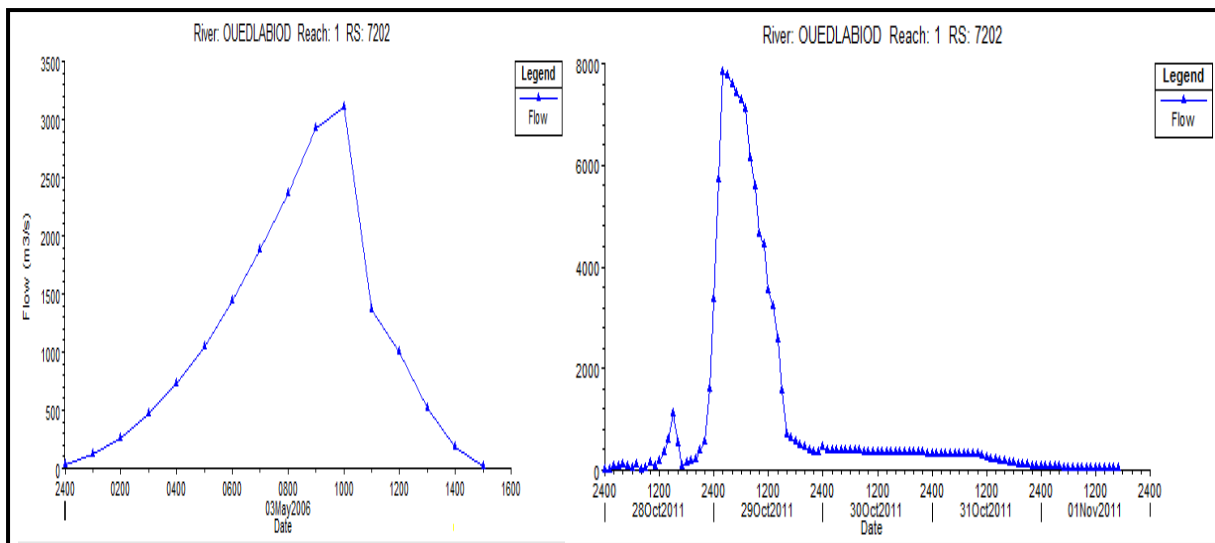


Figure 4.9 Hydrogrammes des crues 03/05/2006 et 28-31/10/2011

D'après les hydrogrammes ci-dessus, on constate que le temps de montée correspondant à la concentration de la crue printanière est 11 heures contre 31 heures pour la crue automnale.

En effet, le temps de montée de la crue printanière est plus rapide en raison de l'humidité des sols causé par la succession des crues survenues le 19-20/01/2006 (82.47 m³/s), le 23/02/2006 (127.13 m³/s) et du 26 au 27/04/2006 (55.70 m³/s) et 3106 m³/s pour la crue du 03 au 05/05/2006. La succession des crues en 04 mois a permis aux sols de conserver d'importantes quantités d'eau qui dépassent la capacité d'infiltration des sols réduisant ainsi le temps de réponse hydrologique du bassin de risque et favorisant l'apparition rapide des ruissellements. Il est à signaler que l'année 2006 a connue d'autres crues le 18/07/2006 (127.1 m³/s) et 14/09/2006 (514.29 m³/s). Par ailleurs, la crue automnale a été devancée par une crue survenue le 15-16/03/2011 ce qui signifie que la réponse hydrologique du bassin de risque était plus lente en raison du temps que prennent les eaux précipitées pour s'infiltrer aux sols, les saturer puis apparaitre en surface sous forme de ruissellements.

1.1.6 La période de retour :

La caractérisation statistique de la distribution des événements peut parfois ne pas suffire pour déterminer l'aléa probable en un lieu donné et sa période de retour. Ceci est vrai notamment si l'aléa est délocalisé, c'est-à-dire soumis à une variabilité spatiale.

On appelle temps de retour l'intervalle de temps moyen T séparant des événements de fréquence au non dépassement F.

$$T(x) = 1 / (1-F(x)) \dots\dots\dots (4.6)$$

Etant donné que la crue de référence prise en compte par le plan de prévention du risque d'inondation PPRi est centennale (100 ans), $T = 1 / (1 - 0.99) = 100$ ans.

La crue de référence prise en compte dans ce travail est celle du 28 au 31 octobre 2011.

1.1.7 Analyse des ruissellements :

L'analyse de la lame d'eau précipitée et ruisselée entre 1950-2015 a révélé que la plupart des crues historiques ont été générées par des ruissellements > 50 mm/24 h (107 mm/24h lors de la crue du 28 au 31 octobre 2011). Le coefficient de ruissellement (Cr) estimé au droit du barrage Foug El Gherza ne représente en aucun cas les ruissellements générés en amont et doit être utilisé à l'échelle des sous bassins où les ruissellements sont soumis à une variabilité spatiale liée au bilan hydrique de chaque étage bioclimatique (semi-aride à aride).

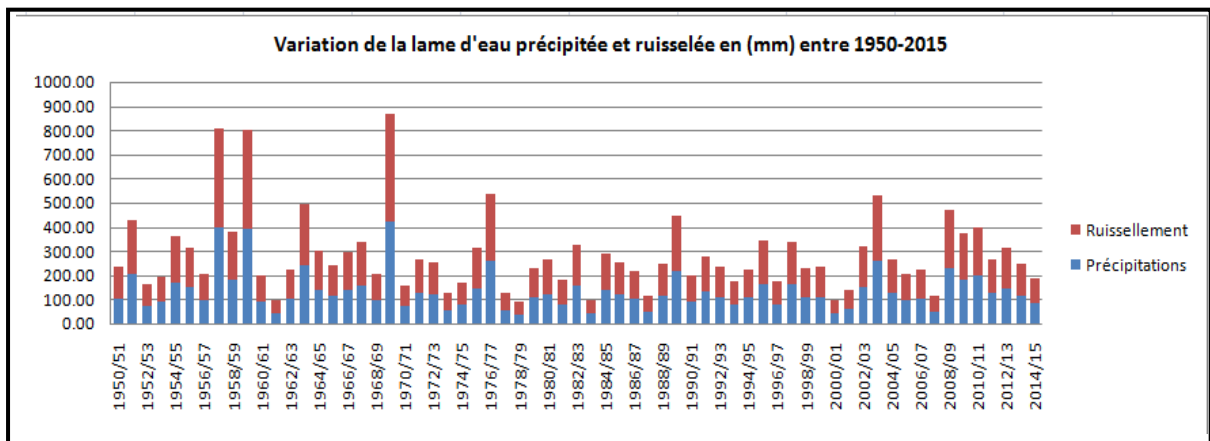


Figure 4.10 Variation de la lame d'eau précipitée et ruisselée entre 1950-2015

La moyenne de lame d'eau précipitée durant la même période est 133.62 mm qui n'a cessé de diminuer depuis la mise en eau du barrage en 1950 (104.50 mm) jusqu'à 86.55 mm en 2015. La lame d'eau maximale a été enregistrée en 1969-1970 avec 424 mm/an et la lame d'eau minimale sur la même période a été enregistrée en 1978-1979 avec 36.50 mm.

1.2 Modélisation des crues :

L'objectif de ce volet est d'élaborer un modèle réaliste des crues à l'aval de l'Oued LABIOD en raison de l'absence des données hydrométriques en amont d'une part et la complexité du relief qui entrave la modélisation des crues d'autre part.

Afin de parvenir à nos objectifs nous avons choisi le modèle hydraulique unidimensionnel qui ne prend pas en considération les variations hydrauliques dues aux changements de forme de la section transversale.

Le principe consiste à modéliser les crues en fonction des débits correspondants au droit du barrage Foum el Gherza à l'aide du logiciel HEC-RAS.

HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*) ou (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est développé en Californie et permet d'analyser les débits dans le lit des rivières, déterminer les zones inondables et simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux.

Le fondement de calcul pour le régime à écoulements transitoires est basé sur la résolution de l'ensemble dynamique des équations d'Adhémar Jean-Claude Barré de Saint-Venant (1848), fondées sur les équations de Navier Stokes par la méthode des différences finies:

$$B \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial(Av)}{\partial x} - q = 0 \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} + i_f - i_o + \frac{q}{gA} (v - u_x) = 0 \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

Où l'équation (4.7) décrit la conservation de masse et (4.8) le mouvement dynamique de Newton.

t : est le temps; x : l'abscisse le long du canal; y : la profondeur d'écoulement ; v : la vitesse d'écoulement, A et B : respectivement la surface de la section en travers et la largeur;

g : l'accélération de la pesanteur; q : le débit entrant latéral par unité de longueur;

u_x : la vitesse du flux entrant latéral dans la direction x; i_f : la pente de la ligne d'énergie;

i_o = la pente du fond du canal.

Avec $K = A^{5/3} / nP^{2/3}$

K: coefficient de Manning-Streickler fonction du type de canal ;

n : indice de rugosité de Manning.

L'équation (4.8) peut être réécrite sur la base de la formule de Chézy:

$$Q = C.A.\sqrt{Ri_f} \dots\dots\dots (4.9)$$

Où :

C : coefficient de Chézy;

R : rayon hydraulique (rapport entre le périmètre et la section mouillés),

Dans le régime permanent la relation hauteur-débit est montrée par trois types d'ondes en l'absence de débit latéral entrant (Weinmann et Laurenson, 1979):

$$Q = Q_0 \sqrt{1 - \frac{1}{i_0} \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g i_0} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g i_0} \frac{\partial v}{\partial t}} \dots\dots\dots (4.10)$$

Il est à signaler que la résolution de l'onde cinématique est la plus simple, celle de l'onde dynamique est la plus complète pour décrire les écoulements à surface libre et celle diffusante est variable selon le degré de simplification.

En remplaçant les variables d'inertie $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x}$ le débit latéral entrant dans (4.7) et (4.8) et en simplifiant les facteurs multiplicatifs des dérivées partielles y et q on obtient :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \dots\dots\dots (4.11)$$

C et D représentent respectivement les paramètres de transfert et d'atténuation d'écoulement. Il est à signaler que le grand enjeu de la modélisation reste dans les mesures nécessaires sur terrain et l'estimation spatiotemporelles des paramètres hydrauliques tels que le débit, la hauteur d'eau et la vitesse ainsi que leur interpolation/extrapolation via les outils mathématiques.

Le choix du modèle hydraulique dépend essentiellement des critères suivants :

- La qualité et la quantité des données d'entrée (MNT, occupation des sols);
- Les variables hydrauliques à estimer (débit, hauteur d'eau, vitesse);
- La complexité du site (bassin versant, échelle).

Selon Mancini (2008), les modèles peuvent être présentées en 3 catégories selon leur dimension spatiale:

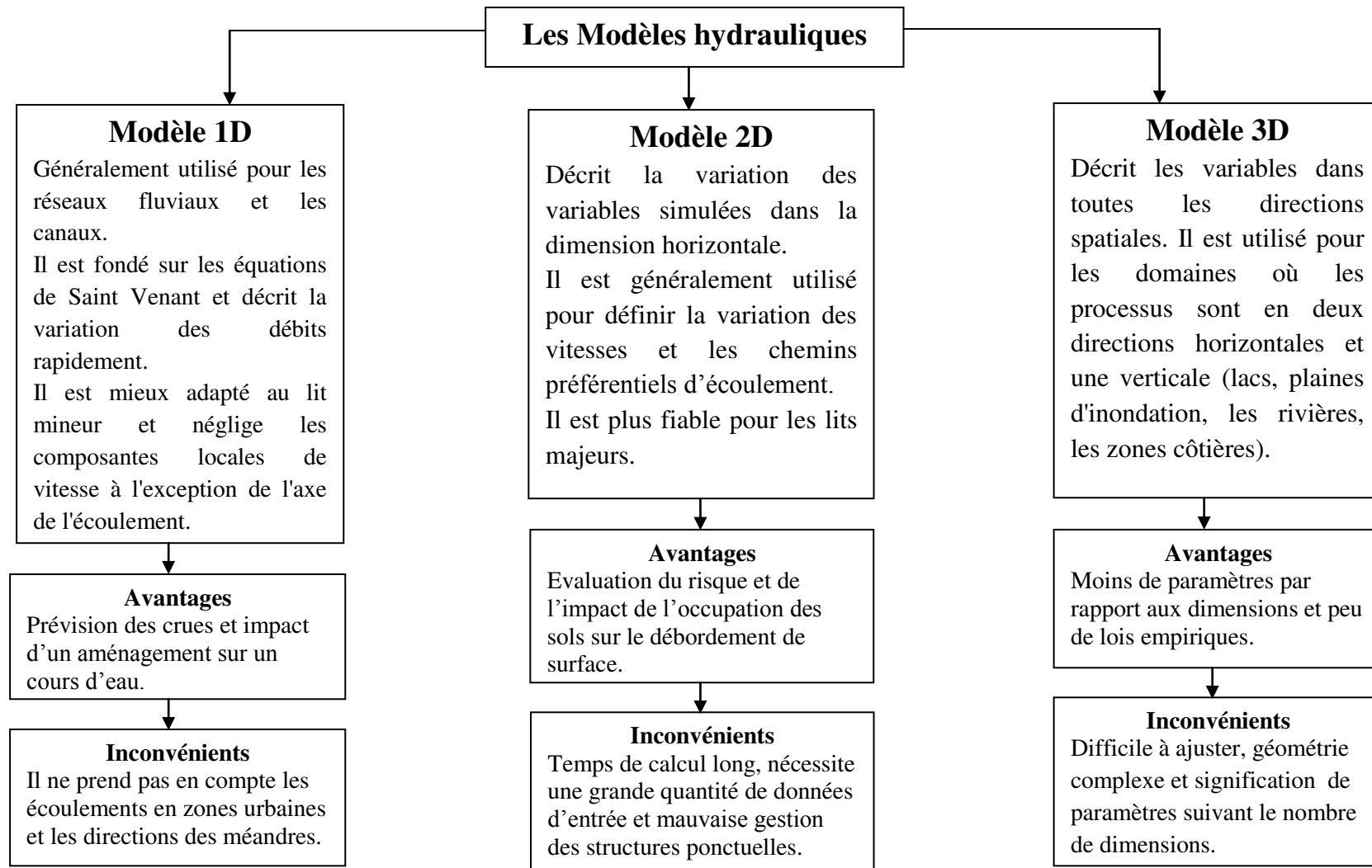


Figure 4.11 Les modèles hydrauliques

1.3 Application du modèle 1D via HEC Géo-Ras :

HEC-Ras est très utile grâce à son interface Geo-Ras exploitable sur ArcGis dont les données d'entrée requises sont la géométrie de l'oued, les sections transversales, la topographie issue du MNT, le réseau des drains (Flowpaths) et l'occupation du sol (Land Use).

Après avoir digitalisé toutes les données, elles ont été éventuellement exportées et manipulées avec HEC-Ras suivant les étapes ci-contre :

- Geometric data (donnée géométrique): dont le principe est d'analyser les valeurs topographiques et les coefficients de Manning des sections déjà produites ;
 - Steady Flow data (régime permanent ou stationnaire): consiste à créer des scénarios fonction des périodes de retour et des débits fréquentiels correspondants ;
- Dans ce travail nous avons choisi trois périodes de retour 10 ans, 50ans, 100ans.

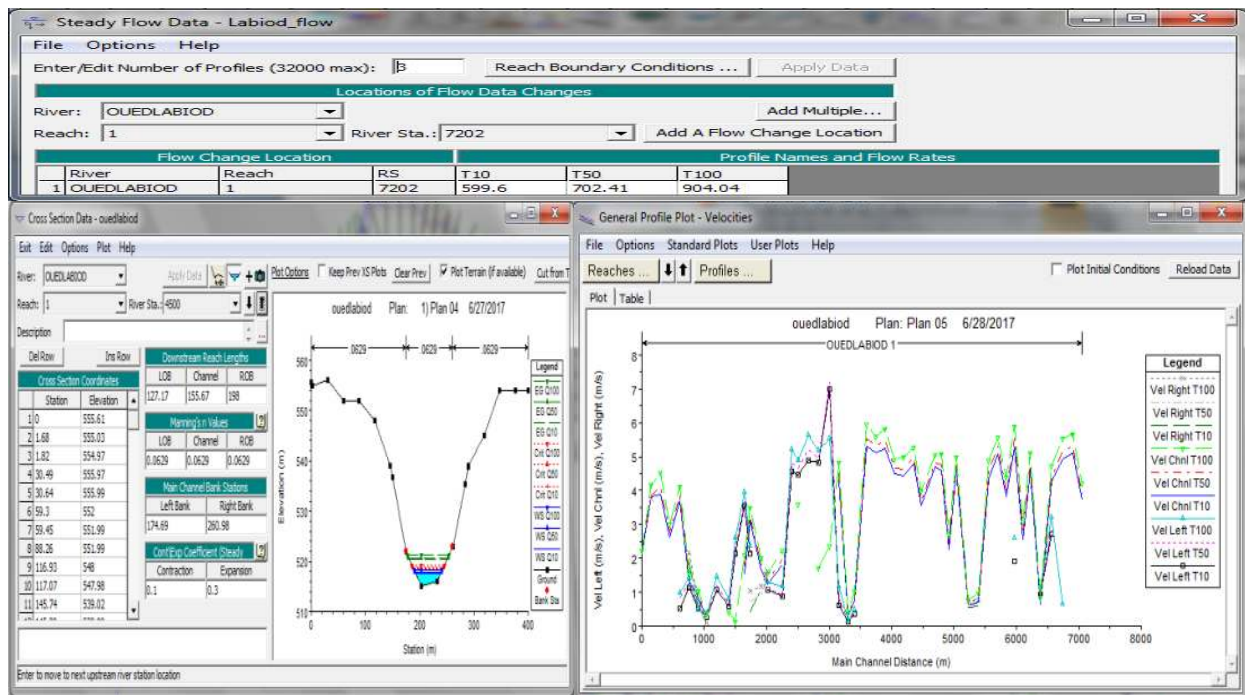


Figure 4.12 Variation des débits et des vitesses suivant la période de retour

- Unsteady flow data (régime transitoire) : cette étape est consacrée à la simulation de la variation des crues aux pas de temps choisis;
- Run: consiste à calculer le modèle notamment la surface mouillée et la vitesse de propagation des crues sur les différentes sections ;
- Après la visualisation du modèle, il est importé en format ArcGis où les différentes couches sont extraites grâce à la fonctionnalité Ras Mapping de Hec Georas.

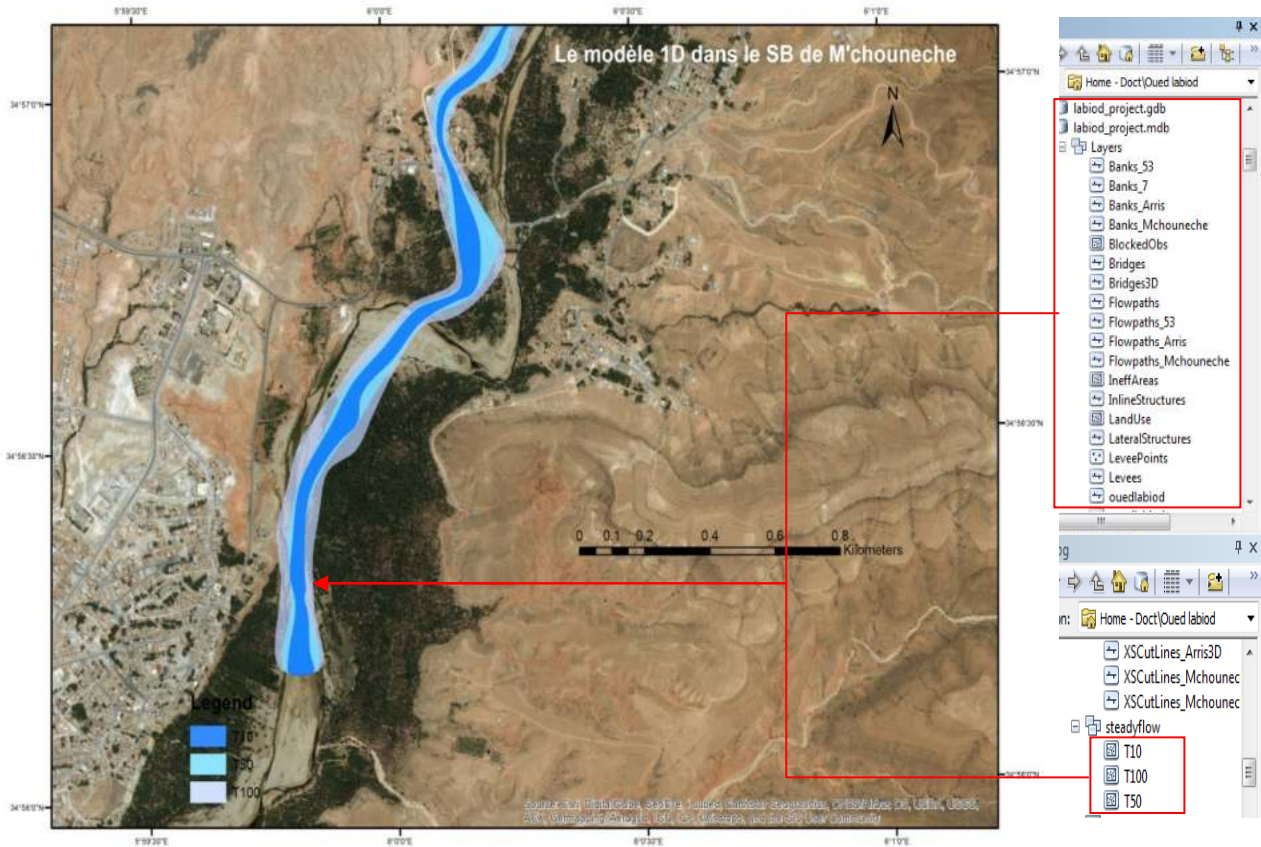


Figure 4.13 Modélisation 1D dans le sous bassin de M'chouneche

Afin de tester les performances du modèle élaboré, une procédure de contrôle a été appliquée pour le sous bassin en question à partir des débits. Les fonctions objectives utilisées dans ce sens sont le coefficient de détermination, les moindres carrés, etc. Le critère couramment employé est celui de Nash et Sutcliffe (1970), basé sur la somme des erreurs quadratiques:

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{calc,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2} \dots\dots\dots (4.12)$$

- $Q_{obs,i}$: débits observés au pas de temps i ;
- $Q_{calc,i}$: débits simulés au pas de temps i ;
- Q : moyenne des débits observés sur la même période ;
- n : Nombre total de pas de temps de la période d'étude.

La valeur du critère de Nash est insatisfaisante (0.36) et explique un décalage du modèle par rapport à la réalité. Par ailleurs, le critère a tendance à accorder une grande importance aux écarts entre les débits des crues sans pour autant être précis car le modèle ne prend pas en considération les directions des méandres.

1.4 Cartographie de l'aléa inondation :

La détermination du niveau d'aléa à l'échelle du bassin versant objet d'étude est peu précise et ne peut être que qualitative. Son établissement consiste à déterminer les niveaux de risque vis-à-vis la fréquence et l'intensité des événements. L'aléa faible est peu récurrent, l'aléa moyen est moyennement récurrent et l'aléa fort très récurrent.

À une échelle locale, le milieu physique a pu être modifié et il faut en tenir compte de l'urbanisation rapide ayant conduit à une imperméabilisation partielle du bassin de risque en modifiant considérablement le bilan hydrologique de ce dernier et en conséquence sa réponse à tout événement pluviométrique.

Il s'en suit que les données statistiques sur l'aléa inondation, datant de la période précédant cette urbanisation, ne seront pas directement utilisables.

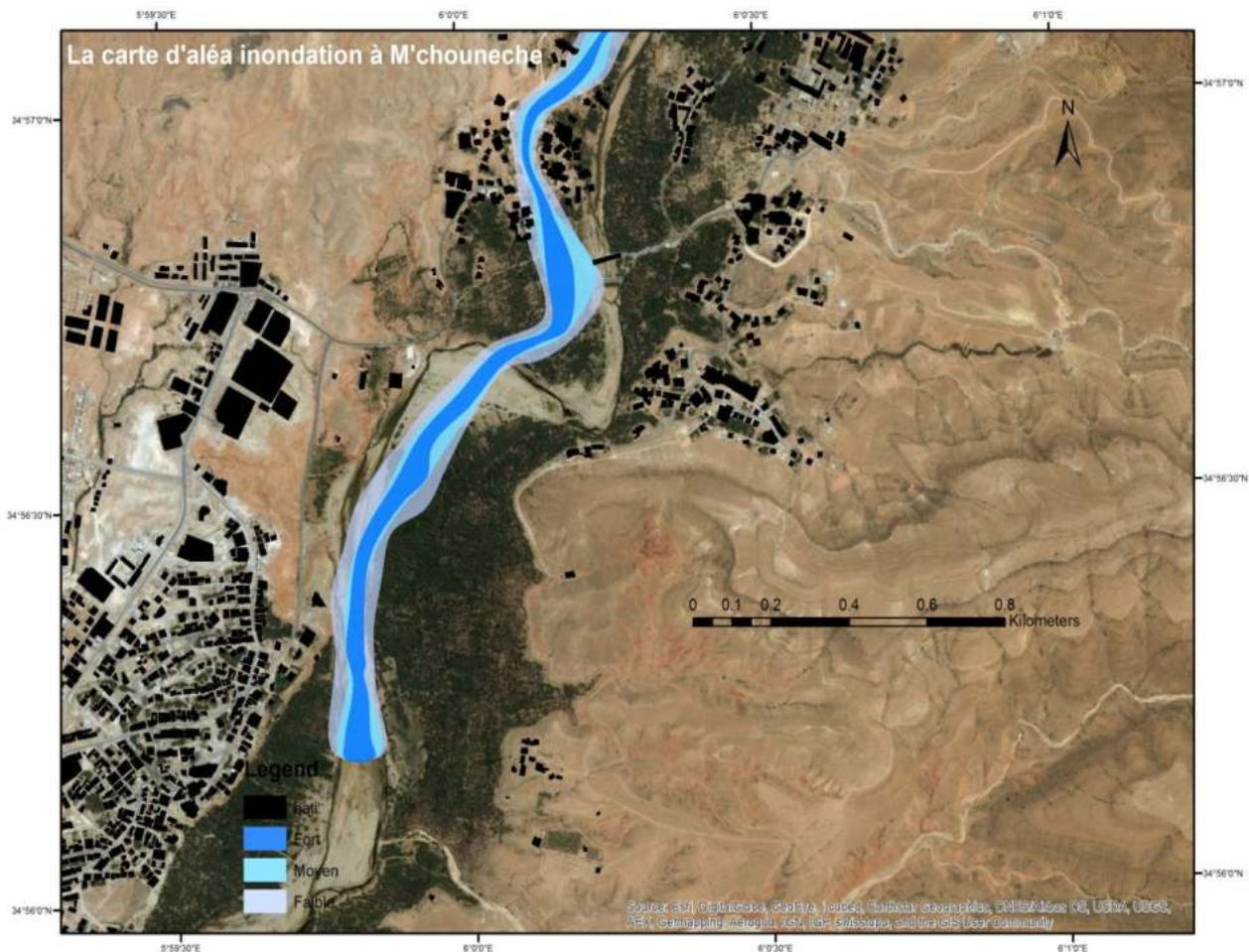


Figure 4.14 L'aléa inondation à M'chouneche

1.5 Détermination du niveau de vulnérabilité aux inondations :

La détermination de la vulnérabilité traduit le degré de perte infligée aux éléments exposés par l'occurrence d'une crue. Il s'agit en premier lieu de mesurer l'occupation des sols via les documents d'urbanisme en vigueur (POS) où un contrôle de terrain est nécessaire.

Elle a été établie sur la base de plusieurs tentatives d'évaluation de vulnérabilité dans le milieu urbain (Provitolo, 2002, 2006 ; Rufat, 2007, 2009 ; Kazmierczak et Cavani, 2011) et qui s'appuyaient généralement sur la densité résidentielle dans le milieu urbain.

Leone (2007), a signalé la rareté des études complètes de la vulnérabilité d'autant plus que d'autres travaux ont mis l'accent sur la vulnérabilité territoriale malgré les déficiences qu'elles présentent (Combe, 2007 ; Renard et Chapon, 2010).

Si les méthodes d'analyse de vulnérabilité aux inondations ont été conduites selon des constats : humains, économiques et fonctionnels (Barroca et al., 2005 ; Beck, 2006 ; Chauviteau et Vinet, 2006 ; Soto et Renard, 2013), la carte de vulnérabilité aux inondations détermine de manière objective les pertes infligées aux éléments exposés par l'occurrence des crues. Il est à noter que la qualification des inondations en fréquence d'occurrence (période de retour) est utile pour chacun des grands volets d'intervention.

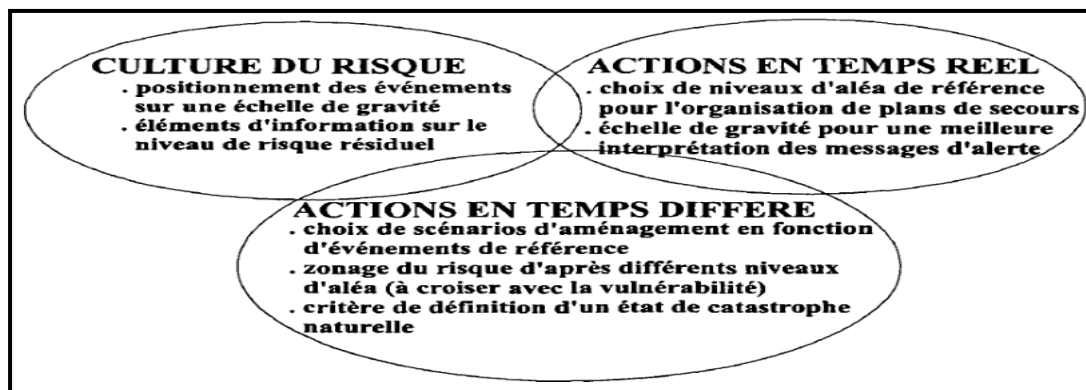


Figure 4.15 Intérêt de l'analyse probabiliste pour la prévention du risque d'inondation

De ce fait, la détermination de la vulnérabilité de M'chouneche aux inondations a été conduite sur la base des enjeux pouvant être affectés par la fréquence des crues : une forte vulnérabilité concerne l'habitat collectif ou individuel dense, les activités de toute nature et les équipements collectifs.

Une vulnérabilité moyenne concerne l'habitat individuel moins dense et une faible vulnérabilité pour les activités de loisirs et les espaces agricoles.

Tableau 4.5 : Matrice de zonage de la vulnérabilité

		Vulnérabilité		
		Faible	Moyenne	Forte
Risque	Faible			
	Moyen			
	Fort			

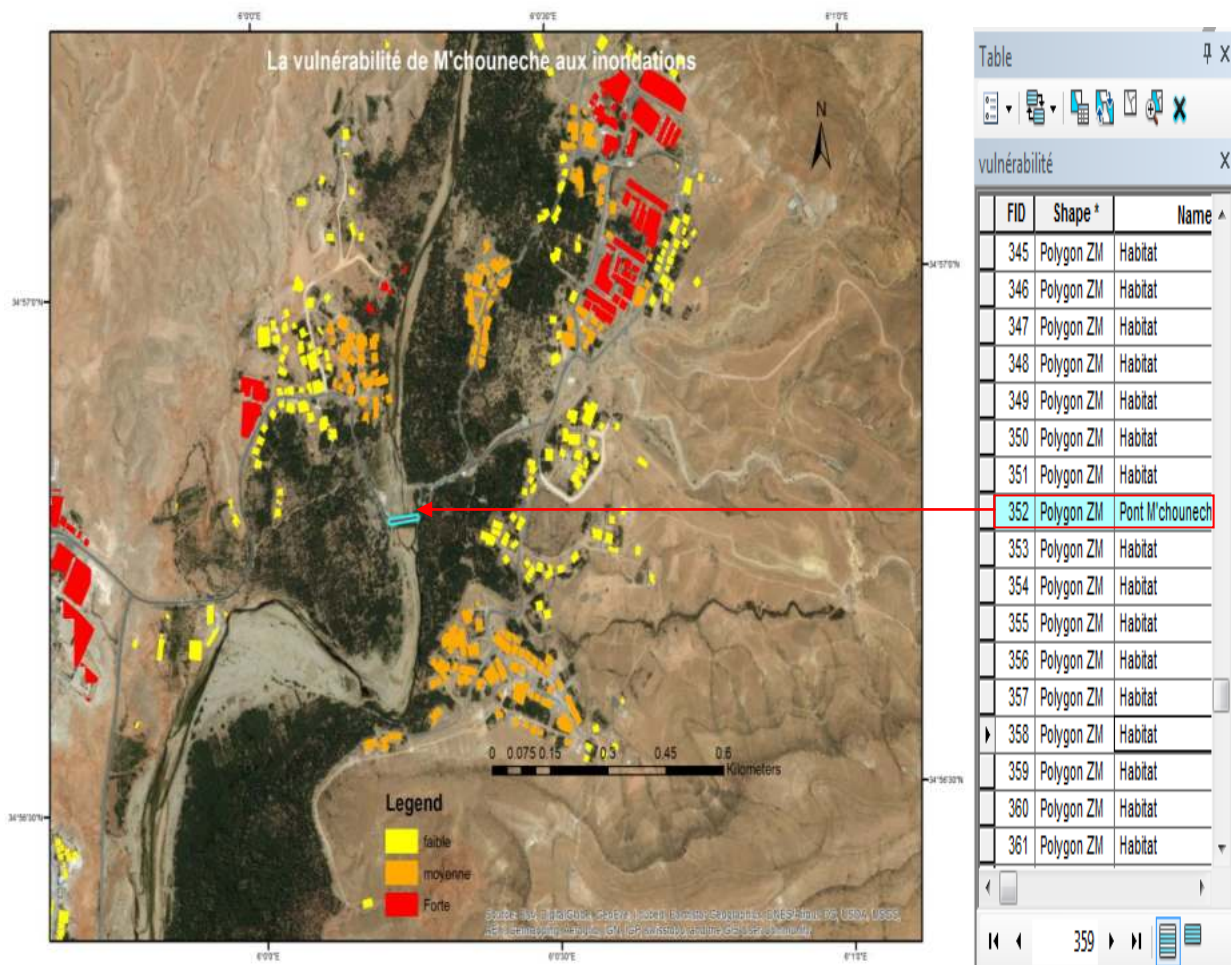


Figure 4.16 La vulnérabilité de M'chouneche aux inondations

Le résultat affiche le niveau de vulnérabilité aux inondations en aval du bassin versant et met la lumière sur la conscientisation de tous les acteurs du territoire sur la perception du risque en fonction des éléments vulnérables.

En vue de consolider cette démarche il nous a été opportun d'effectuer des enquêtes de terrain qui ont permis de constater que la vulnérabilité environnementale du bassin en question causée par la pollution hydrique ne cessait d'accroître ces dernières années.

Elle a été écartée dans ce volet en raison de la difficulté liée à son évaluation dans la mesure où aucune étude n'a été menée sur cet axe et l'absence d'une volonté politique d'y trouver un remède.

La pollution hydrique causée par l'évacuation des eaux usées et industrielles dans la vallée de l'Oued LABIOD constitue aussi l'un des risques majeurs pris en charge par des dispositifs de prévention tel que stipule l'article 10 de la loi 04-20 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Cette situation alarmante a été soulevée il y a plus de 15 ans par les citoyens et les autorités locales en demandant aux services compétents notamment la direction des ressources hydrauliques de la wilaya d'ouvrir une enquête afin d'éviter une pollution environnementale aux conséquences incontournables.

Les actions entreprises dans ce sens concernaient l'épuration des eaux usées depuis Inoughissen jusqu'à la localité de kef laârous (commune de Ghassira) en envisageant d'opérer trois autres stations de collecte des rejets et d'épuration des eaux à moyen et long terme.

La première station est destinée à la collecte des rejets dans la partie amont du bassin de risque notamment Ichemoul et Inoughissen.

La seconde au niveau d'El hadjadj, Arris et Tighanimine et la troisième sera implantée à la limite entre Ghassira et T'kout.

Concrètement, le problème qui se pose actuellement n'est pas dans la réalisation du projet en question qui peut prohiber le dépérissement des arbres fruitiers qui constituent le moyen de subsistance de la population autochtone mais dans l'intérêt portant l'étude d'impact et de danger imposés par le règlement en vigueur?

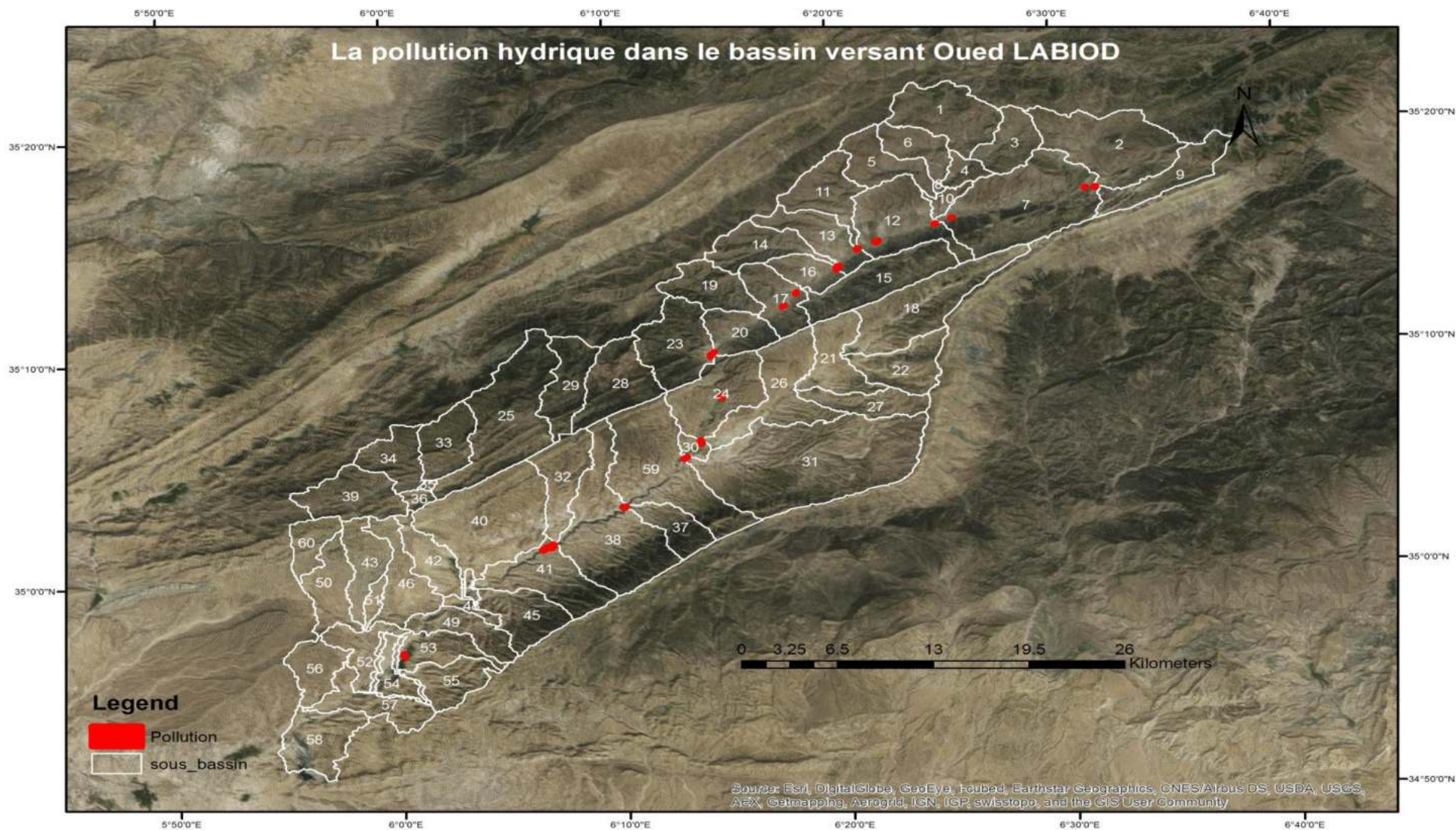


Figure 4.17 Les foyers de pollution hydrique dans le bassin de risque Oued LABIOD

1.6 Analyse des apports liquides et solides :

1.6.1. Apports liquides:

D’après Mebarki (2004), le débit moyen annuel du bassin de risque Oued LABIOD enregistré à la station hydrométrique de M’chounèche est 0.48 m³/s soit un apport liquide de 15.13 Hm³ et une lame d’eau écoulée de 11.56 mm.

L’apport annuel à été estimé sur la base des données hydrométriques de l’ANBT au droit du barrage Foum El Gherza durant la période entre (1924-2015).

L’apport liquide et la lame d’eau écoulée ont été estimés sur la base des équations empiriques suivantes:

$$A = Q * N \dots\dots\dots (4.13)$$

A : apport annuel (hm³) ;

Q : débit moyen annuel (m³/s) ;

N : nombre de seconde dans l’année (31536000s).

$$Le = A / S * 10^{-3} \dots\dots\dots (4.14)$$

Le : lame d’eau écoulée (mm) ;

S : surface du bassin versant (km²) ;

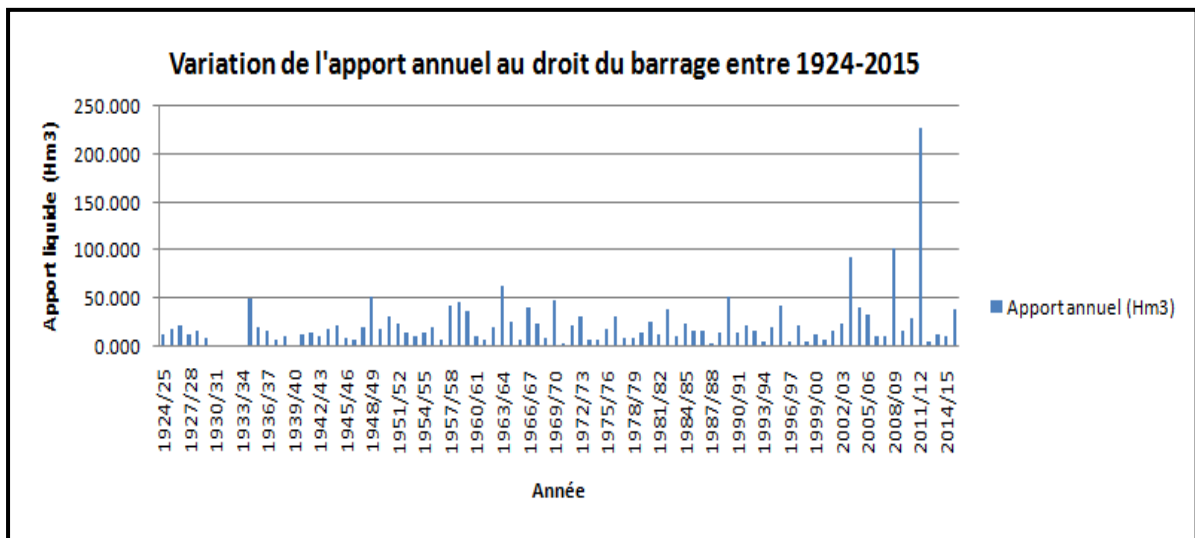


Figure 4.18 Apports annuels au droit du barrage Foum El Gherza entre 1924-2015

L’apport liquide dans le bassin de risque Oued LABIOD durant la période 1924-2015 est estimé à 24.44 Hm³ avec un débit moyen de 0.77 m³/s et une lame d’eau écoulée de 18.67 mm augmentant respectivement de 9.31 Hm³, 0.29 m³/s et 7.11 mm par rapport à 2004.

Tableau 4.6 Estimation de l'apport liquide et la lame d'eau écoulée

Méthode	Apports liquides (Hm ³)	Lame écoulée (mm)
ANRH	27.90	21.31
Adjel-Smail	24.80	18.14
Sogreah	47.08	35.96

L'apport liquide et la lame d'eau estimés par la méthode de Sogreah semblent un peu exagérés par rapport aux spécificités du bassin de risque et la capacité du barrage Foum El Gherza (47 Hm³).

Par ailleurs, les méthodes de l'ANRH et Adjel-Smail semblent plus raisonnables et similaires à l'analyse de l'apport annuel au droit du barrage entre 1924-2015. Il est à noter que ces valeurs doivent être prises avec la plus grande prudence en raison de la forte évaporation dans le bassin de risque et l'acheminement de l'Oued LABIOD dans des Sebchas en aval.

1.6.2 Apports solides :

Le volume de matières transportées communément appelé « transport solide », s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs ...) se trouvant dans les cours d'eau, et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension, soit par déplacement sur le fond du lit du fait des forces liées au courant. Les éléments à granulométrie variée (limons jusqu'aux graviers) peuvent aller jusqu'aux gros blocs lorsque la puissance de la lame d'eau ruisselée dépasse un certain seuil sont transportés par ruissellement direct qui résulte de l'action érosive dans le bassin de risque.

L'estimation de l'apport solide à compris le calcul du transport solide spécifique (TSS) exprimé en (t/km²/an) par les méthodes suivantes:

Tableau 4.7 Estimation de l'apport solide spécifique

Méthode	TSS (t/km ² /an)
Sami : $A = P^2 / (293 + 2.2S^{0.5})$ A : apport solide spécifique (t/km ² /an) ; P : pluie moyenne du bassin versant (mm) ; S : surface du bassin versant (km ²).	160.22
Tixeront : $A = 92 * R^{0.21}$ R : lame d'eau ruisselée (mm).	177.72
A.N.R.H : $TSS = 26.62 * IL + 5.07 * IP + 9.77 * Tc + 59.35$ IL : indice lithologique égale à la surface des formations marneuses et argileuses du Crétacé supérieur et du tertiaire en (%) = 25% ; IP : indice d'érosivité (produit du (%) des averses > 30 mm par leurs fréquence) = 1.71	172.37

L'estimation du débit solide spécifique varie d'une méthode à une autre mais les écarts sont peu importants. Les méthodes de l'ANRH et Tixeront semblent plus appropriées à notre bassin de risque étant donné qu'elles ont déjà été testées sur des bassins versants algériens.

Il nous a semblé juste d'estimer les débits solides à partir du débit liquide et la concentration en suspension (Kg/m^3) sur la base des données de l'ANBT entre (1968-2009).

Tableau 4.8 : Variation de la concentration en suspension en fonction du débit liquide

Année	Ql (m^3/s)	C (Kg/m^3)	Année	Ql (m^3/s)	C (Kg/m^3)
1968-1969	0.400	240.000	1989-1990	0.280	990.000
1969-1970	1.808	1010.500	1990-1991	0.174	110.000
1970-1971	0.117	401.500	1991-1992	0.112	92.700
1971-1972	0.686	387.250	1992-1993	0.136	637.500
1972-1973	1.037	877.500	1993-1994	0.978	61.840
1973-1974	0.280	52.500	1994-1995	0.670	913.280
1974-1975	0.420	345.800	1995-1996	1.350	347.670
1975-1976	0.570	135.090	1996-1997	0.190	319.570
1976-1977	1.250	868.272	1997-1998	0.690	303.560
1977-1978	0.250	195.68	1998-1999	0.190	287.630
1978-1979	0.230	39.370	1999-2000	0.440	267.160
1979-1980	0.690	669.360	2000-2001	0.250	263.590
1980-1981	0.570	1170.240	2001-2002	0.510	249.800
1981-1982	0.150	304.490	2002-2003	0.760	226.600
1982-1983	0.270	638.980	2003-2004	2.960	158.890
1983-1984	0.080	158.270	2004-2005	1.290	81.710
1984-1985	0.080	272.940	2005-2006	1.040	39.300
1985-1986	0.290	359.140	2006-2007	0.350	13.900
1986-1987	0.347	356.140	2007-2008	0.330	01.440
1987-1988	0.112	60.010	2008-2009	3.230	63.440
1988-1989	0.280	175.400	Moyenne	0.630	345.070

Source : ANBT, 2011

D'après la figure ci-dessous, on constate que la concentration en suspension accroît avec le débit liquide jusqu'à ce que l'énergie véhiculée par ce dernier ne soit plus capable de transporter les matières en suspension (MES). Cette forte concentration de matières en suspension reflète la dynamique érosive dans le bassin de risque qui cause l'envasement du barrage Foug El Gherza situé en aval.

$$Q_s = Q_l * C \dots\dots\dots (4.15)$$

Q_s : débit solide en suspension ($\text{Kg/m}^3/\text{s}$) ;

Q_l : débit liquide (m^3/s) ;

C : concentration en suspensions (Kg/m^3).

$$Q_s = 217.40 \text{ Kg/m}^3/\text{s}$$

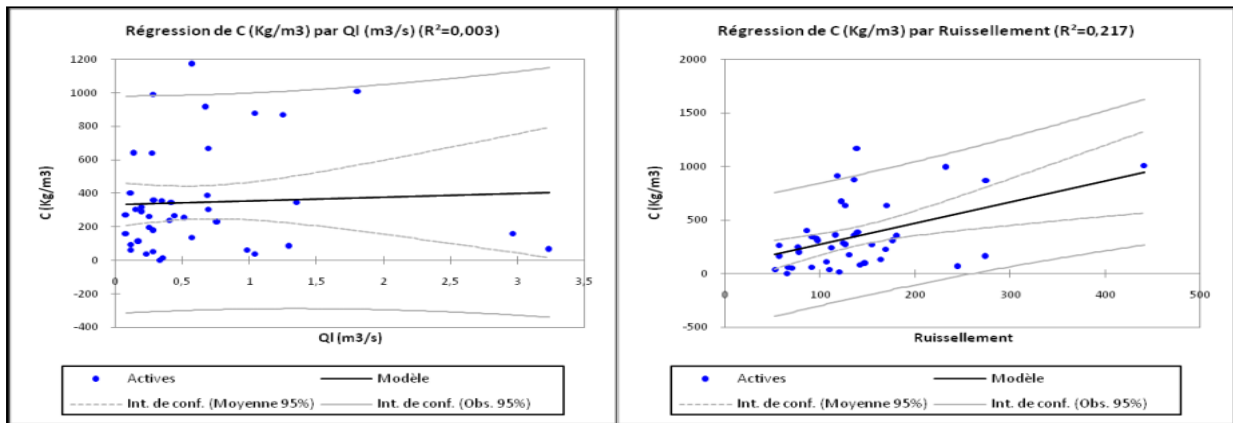


Figure 4.19 Corrélation débit liquide, ruissellement et concentration en suspension (1968-2009)

On constate que la corrélation ruissellement/concentration en suspension est plus significative par rapport au débit liquide ce qui montre le rôle des ruissellements dans la dynamique érosive dans le bassin de risque. La dégradation spécifique est environ 263.59 t/km²/an qui pèsent lourdement sur le barrage Foum El Gherza et cause son envasement.

En effet, Remini et al., (2009) ont constaté que le barrage Foum El Gherza qui est doté d'une capacité totale de 47 Hm³ est envasé à 70% soit 32.9 Hm³ de débit solide.

Par ailleurs, l'ANBT (2015) a constaté que la capacité du barrage est à son plus bas niveau avec 24.33% seulement contre 75.67% d'envasement soit 35.56 Hm³ de débit solide.

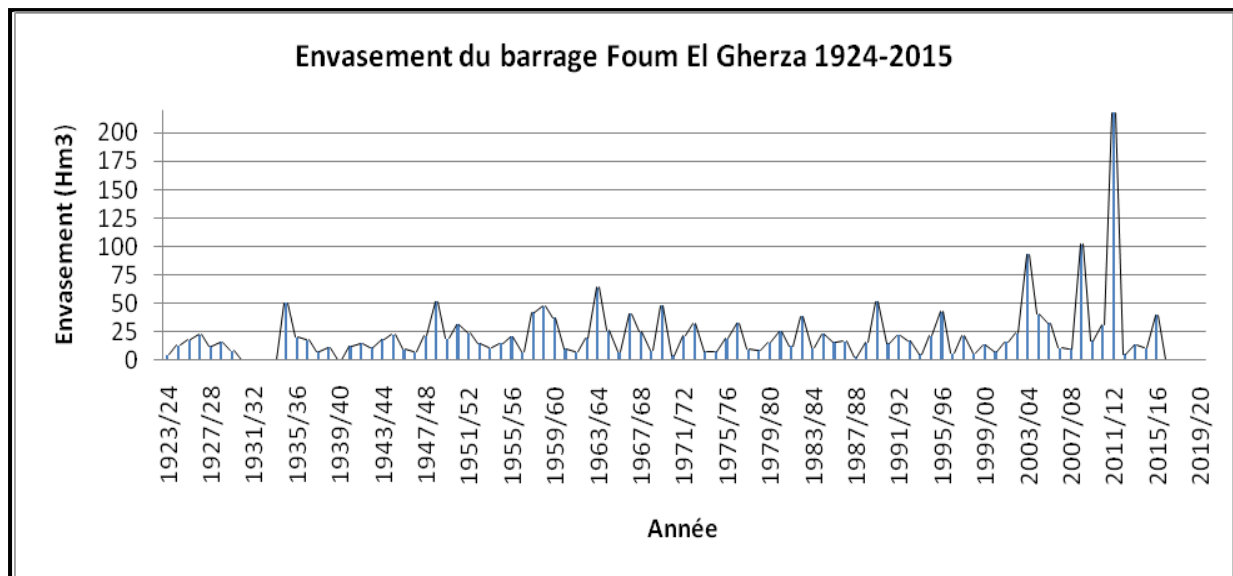


Figure 4.20 Envasement moyen du barrage Foum El Gherza en Hm³/an

Cette situation alarmante a suscité des opérations de dragage qui ont permis de dévaser le barrage de 6.76 Hm³ jusqu'au 30/11/2016.

2. Le risque d'érosion hydrique :

L'Algérie comme la plupart des pays magrébins encourt le risque de dégradation des sols par érosion hydrique car sur plus de 50 millions d'hectares de sols menacés, 14 millions d'hectares sont vulnérables à l'érosion hydrique en montagne. L'érosion moyenne en Algérie varie entre 2000 et 4000 t/km²/an (Demmak, 1982) et le taux d'envasement des barrages est supérieur à 15% (Achite et al., 2000). Le bassin en question est de plus en plus vulnérable à l'érosion hydrique à cause des ruissellements engendrés par les averses torrentielles qui dévalent les pentes fermes. Ces pluies sont nettement fréquentes en automne lorsque le couvert végétal est absent et le sol, formé de plus de 70% d'argile et limon, se trouve ameubli par les labours et le transport solide atteint ces valeurs maximales (Arabi et al., 1989).

Cette situation alarmante de perte en sols concerne non seulement la diminution des surfaces de terres fertiles et cultivables mais la dégradation de la qualité des eaux aussi.

L'envasement du barrage de Foug El Gherza à 75.67 % selon l'ANBT (2015) est directement lié à la dynamique érosive dans le bassin de risque. L'évaluation de ces pertes en sols a suscité l'identification des facteurs causaux moyennant la recherche d'indicateurs susceptibles d'aggraver ou diminuer l'érosion des sols.

2.1 Les indicateurs d'érosion :

L'analyse des composantes du bassin en question et les enquêtes de terrain ont permis d'identifier les indicateurs suivants :

2.1.1 Le climat : est soumis à une variabilité spatiale : semi-aride en amont et aride en aval.

2.1.2 Le sol : est dominé par des sols peu évolués non climatique d'érosion avec l'alternance des calcaires et des marnes sur un substratum érodable et surmontée par des formations récentes (conglomérats, argiles et sables).

2.1.3 Les pentes : plus de 47% de la surface du bassin de risque est occupée par des pentes longitudinales > 25% qui favorisent les ruissellements.

2.1.4 Le couvert végétal : le bassin de risque est caractérisé par une transition bioclimatique interprétée par une végétation diversifiée en étages (foret, maquis, steppe, parcours).

2.1.5 La modification du tracé de l'Oued: les gorges de Tighanimine et le canyon de Ghoufi témoignent d'un long processus érosif dans la région.

2.1.6 L'envasement du barrage : les particules détachées puis transportées par ruissellement ont tendance à se déposer sur les dépressions notamment au niveau du barrage Foug El Gherza.



Figure 4.21 Quelques indicateurs d'érosion (HAOUES, 2016)

2.2 Cartographie de l'aléa érosion des sols :

La cartographie de l'aléa érosion hydrique a suscité un géotraitement sous Arcgis des données requises sur la base du MNT du bassin de risque.

Alors que l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol et le ravinement aux lignes de drainage des versants, les mouvements de masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique. Au vu du long processus érosif et sa complexité, les autres formes d'érosion en masses n'ont pu être cartographiées.

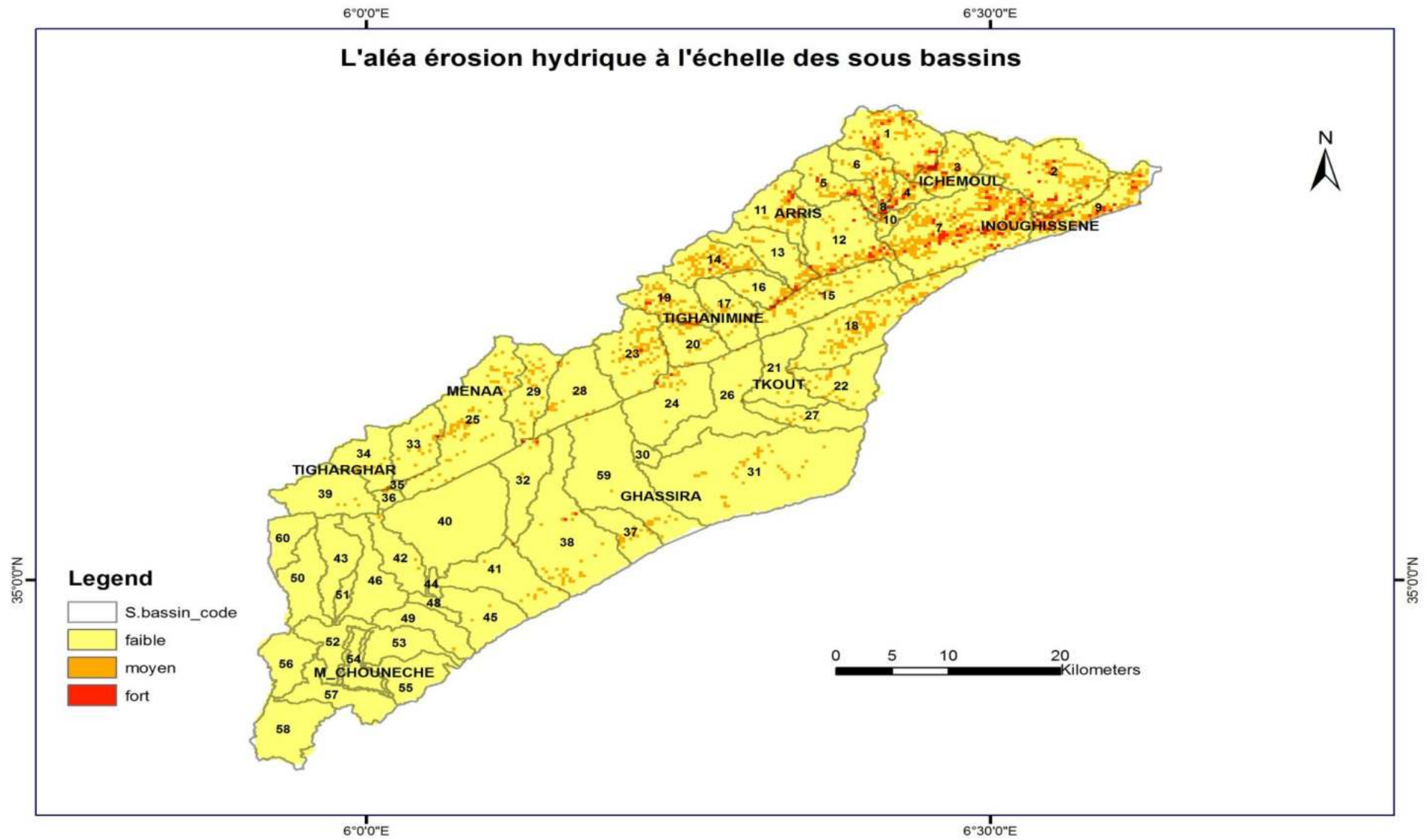


Figure 4.22 L'aléa érosion des sols à l'échelle des sous bassins

2.3 Evaluation de l'érosion hydrique :

L'évaluation des pertes en sols est un exercice difficile du fait de la variabilité spatiotemporelle des facteurs qui l'enclenche.

En effet, la prévisibilité temporelle de l'érosion des sols à l'échelle du bassin versant est quasi impossible à réaliser avec précision mais sa prévisibilité spatiale peut être plus facile à établir moyennant les outils de la géomatique via une analyse multicritère combinée avec un SIG. L'évaluation des pertes en sol par érosion hydrique connaît un grand élan à l'échelle internationale (Angima et al., 2003 ; Hoyos, 2005 ; Xu et al., 2005 ; Yuksel et al., 2008 ; Yueqing et al., 2009 ; Prasannkumar et al., 2011).

A l'échelle régionale les modèles utilisés inclut USLE-RUSLE, WEPP, SEMMED, ANSWERS, LISEM, EUROSEL, SLEMSA, SWAT, SWRRB et AGNPS où chaque modèle à ses propres caractéristiques et champs d'application (Boggs et al., 2001 ; Lee, 2004 ; Lu et al., 2004 ; Lim et al., 2005 ; Dabral et al., 2008 ; Tian et al., 2009 ; Prasannkumar et al., 2011).

La modélisation des pertes en sol à été effectuée sur la base des modèles « LEAM » et « RUSLE » qui semblent plus appropriés à notre bassin de risque en l'absence d'une base de données suffisamment riche pour tester d'autres modèles.

De plus, ces modèles restent de loin les plus utilisés à l'échelle universelle pour la facilité de les appliquer sur des espaces distincts.

2.3.1 Les données requises:

La modélisation de l'érosion hydrique requiert des données qui ont fait l'objet d'un traitement, numérisation, interpolation puis, intégration dans un SIG sous forme de couche d'information.

- Le modèle numérique de terrain (MNT) dont à été dérivée la carte des pentes, d'exposition, direction et accumulation des flux et les sous bassins.
- Images satellites Landsat 5 TM de 30 m de résolution : canaux vert, rouge et proche infrarouge dont à été extrait l'indice de végétation normalisé (NDVI)
- La carte géologique des Aurès au 1 /650000 (Lafitte, 1939);
- L'échantillonnage des sols;
- Les données pluviométriques ;

2.3.2 Le modèle « LEAM » :

Land Erodibility Assessment Methodology (Méthodologie pour l'Evaluation de l'Erodibilité des Terres) développé par Manrique (1988), tient compte de l'érodibilité des sols, l'inclinaison des versants et l'érosivité des pluies mais néglige complètement le rôle du couvert végétal. Son principe est inspiré de l'équation universelle de Wischmeier (1978), pour l'estimation du risque potentiel d'érosion des sols et répond fidèlement aux besoins des pays en développement n'ayant pas une base de données suffisamment riche pour étudier l'évolution spatiotemporelle de l'érosion des sols.

2.3.2.1 La pente :

Les pentes influent directe sur les ruissellements et ont été dérivées du MNT du bassin de risque. Les classes de pentes ont été établies sur la base des travaux d'El Bouqdaoui (2007), qui a montré que l'érosion devient active à partir d'une pente supérieure à 3%.

Tableau 4.9 : Les classes de pentes

Facteur pente	Pente (%)	Classe	Surface (%)	Surface (Km ²)
P1	0 - 5	faible	4.12	53.94
P2	6 - 15	moyenne	23.38	306.07
P3	16 - 25	forte	25.12	328.85
P4	> 25	très forte	47.38	620.26

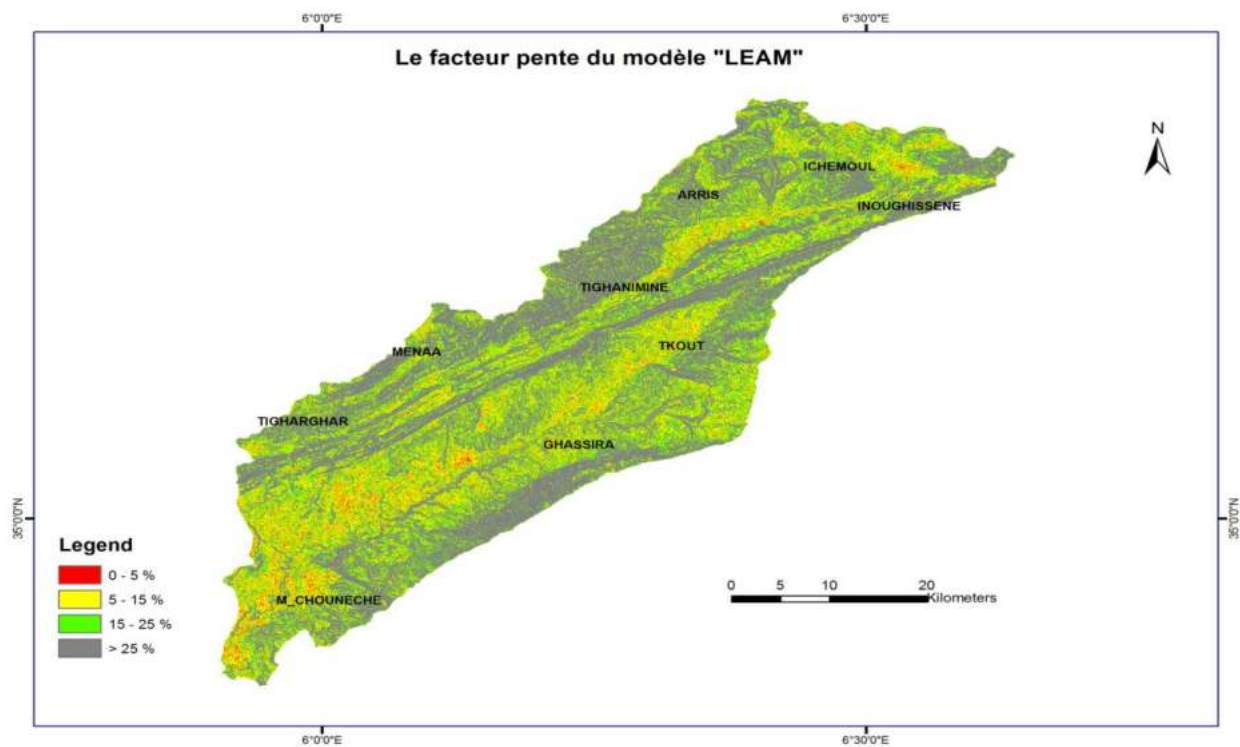


Figure 4.23 Le facteur pente

D’après la figure (4.23), on constate que les pentes > 25% représentent 47.38% de la surface totale du bassin de risque. Les pentes entre (15-25 %) occupent 25.12 % de la surface totale, les pentes entre (5-15%) occupent 23.38% tandis que les pentes < 5% occupent 4.12 % seulement de la surface totale. Cette répartition des pentes favorise l’apparition des ruissellements dans le bassin de risque ce qui accroît sa vulnérabilité à l’érosion hydrique.

2.3.2.2 L’érosivité des pluies (R):

L’érosivité des pluies (MJ/.mm/ha.H.an) a été estimée sur la base des données pluviométriques (plus de 30 années d’observations) par l’équation de Wischmeier (1978).

Les données ont faits l’objet d’une correction puis, interpolées spatialement sous arc gis10.1 à travers IDW (Inverse Distance Weighted).

$$R = (K * C)^n \dots\dots\dots (4.16)$$

K et *n* étant des coefficients dépendants du climat (*K*= 0.751; *n* = 0.80 pour le semi-aride)

$$C = h_1 * h_{24} * H \dots\dots\dots (4.17)$$

*h*₁, *h*₂₄ et *H* étant respectivement la hauteur des pluies tombées en une heure, 24 heures et la moyenne annuelle en (cm).

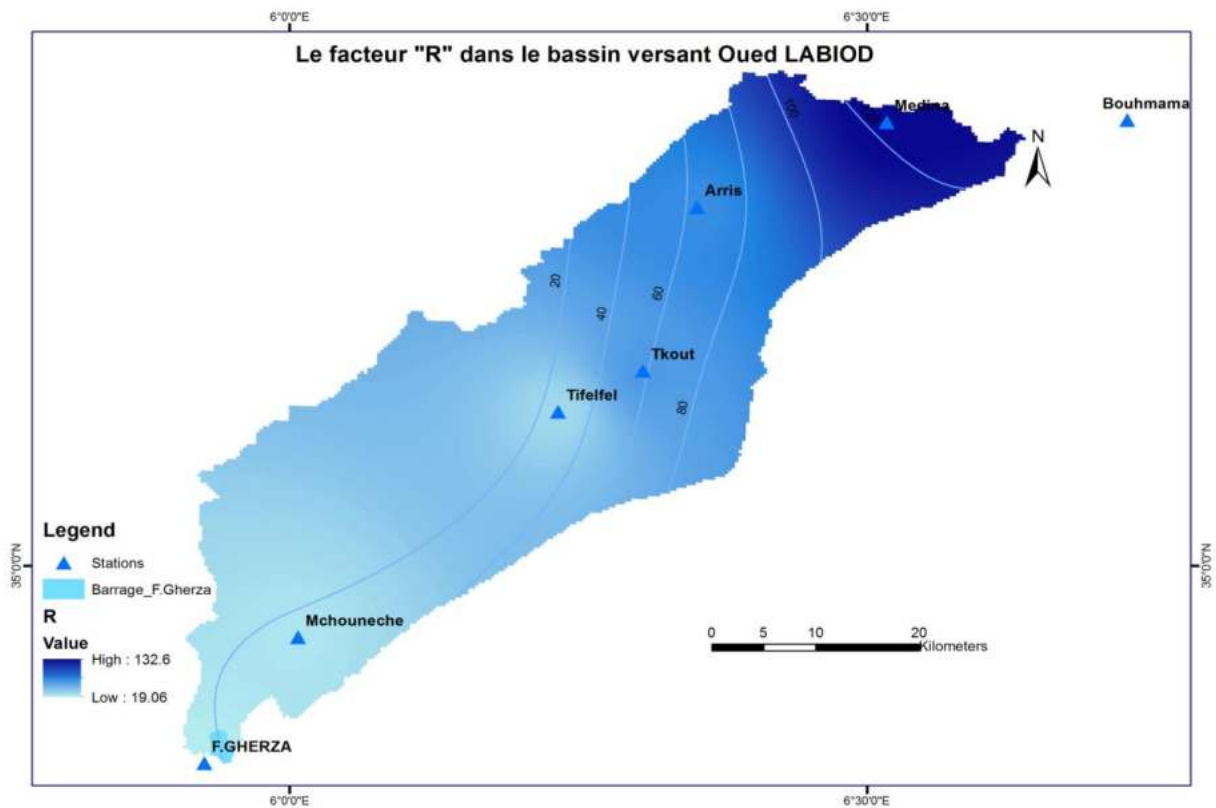


Figure 4.24 Le facteur d’érosivité des pluies R

D’après la figure ci-dessus, on constate que les fluctuations de l’érosivité (R) sont soumises à une variabilité spatiale. En effet, 55.87% de la surface totale affiche une érosivité faible en aval et une partie du bassin moyen, 30.56 % une érosivité moyenne dans le bassin moyen et 13.57% une érosivité forte en amont.

2.3.2.3 L’érodibilité des sols (K):

La susceptibilité des sols au détachement sous l’effet de l’eau est déterminée expérimentalement sous des conditions standard sur différents types de sols par Wischmeier & Smith (1978), puis Foster et al., (1981), qui ont développé une équation de nomogramme pour le calcul de l’érodibilité des sols en t.ha.H/ha.MJ.mm :

$$100 K = 2,1 * M^{1,14} * 10^{-4} * (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3) \dots\dots\dots (4.18)$$

M = facteur granulométrique = (% limon + % sable fin)* (100 - % argile) ;

a = matière organique (%);

b = code de la structure du sol (granulaire très fine : 1; granulaire fine : 2; granulaire moyenne et grossière : 3; en bloc ou massive : 4);

c = code de la perméabilité (rapide : 1 (6-20 in/h); modéré à rapide : 2 (2-6 in/h); modérée : 3 (0.6-2 in/h); lente à modérée : 4 (0.2-0.6 in/h); lente : 5 (0.06-0.2 in/h);

très lente : 6 (< 0.06 in/h) où 1 inch = 25.4 mm.

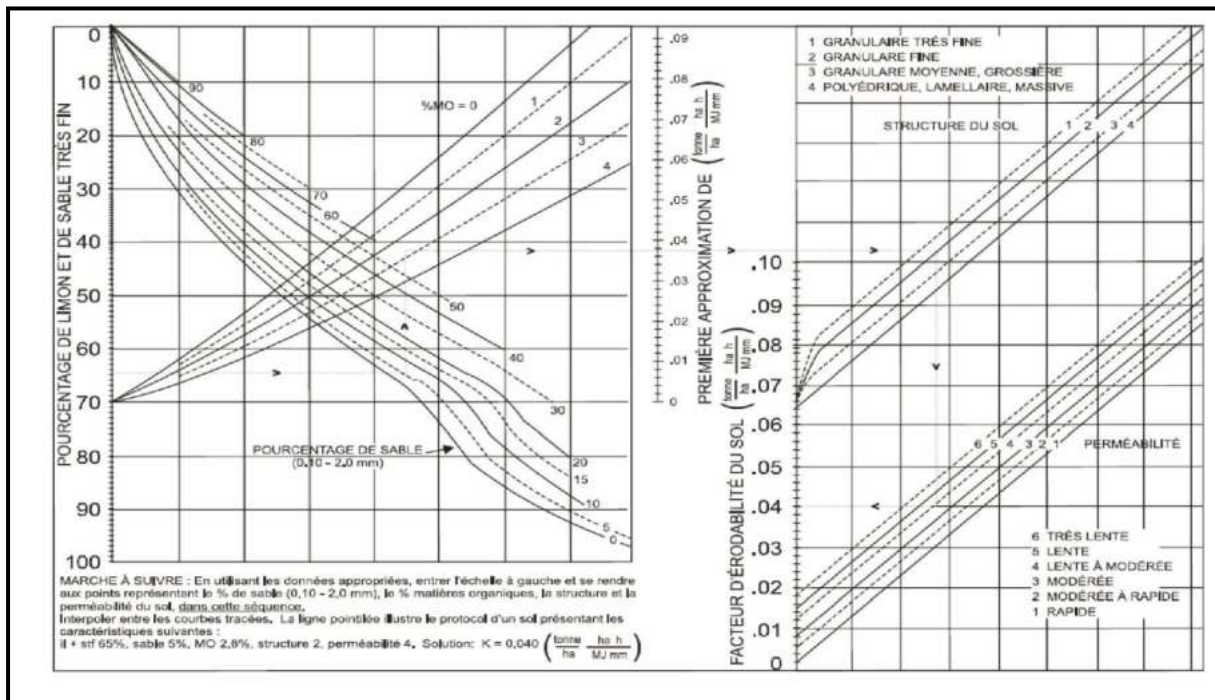


Figure 4.25 Nomogramme d’érodibilité des sols (Wischmeier et Smith, 1978 ; Foster et al., 1981)

En l'absence de carte pédologique de la région, l'évaluation de l'érodibilité des sols a été effectuée d'une part sur la base des travaux de Djebaili et al., (1983) ; Halitim, (1988) et Kadihanifi, (1998). D'autre part, par une analyse physico-chimique de l'horizon A (0-20cm) des formations meubles pouvant être mobilisées par l'érosion ⁽³⁸⁾.

Le bassin de risque est caractérisé par l'association de sols minéraux bruts réfutés le long du synclinal de Ghassira et des sols peu évolués non climatique d'érosion (Lithosoliques) répondus sur les sommets d'Inoughissen, Arris, Tighanimine, Djebel Zellatou, Djebel Ahmar Kheddou. Les sols peu évolués d'érosion (Régosoliques, Calcomagnésiques) sont répondus sur des roches marneuses ou calcaire-marneuses au niveau de T'kout, Khanguet Media et Ras el Borj. Quant aux sols minéraux bruts d'apport alluvial, ils sont réfutés dans les lits des Oueds caillouteux et les glacis. Ceux d'origine fluviale sont répondus dans les lits des Oueds et les zones d'épandage (Médina, M'chounèche).

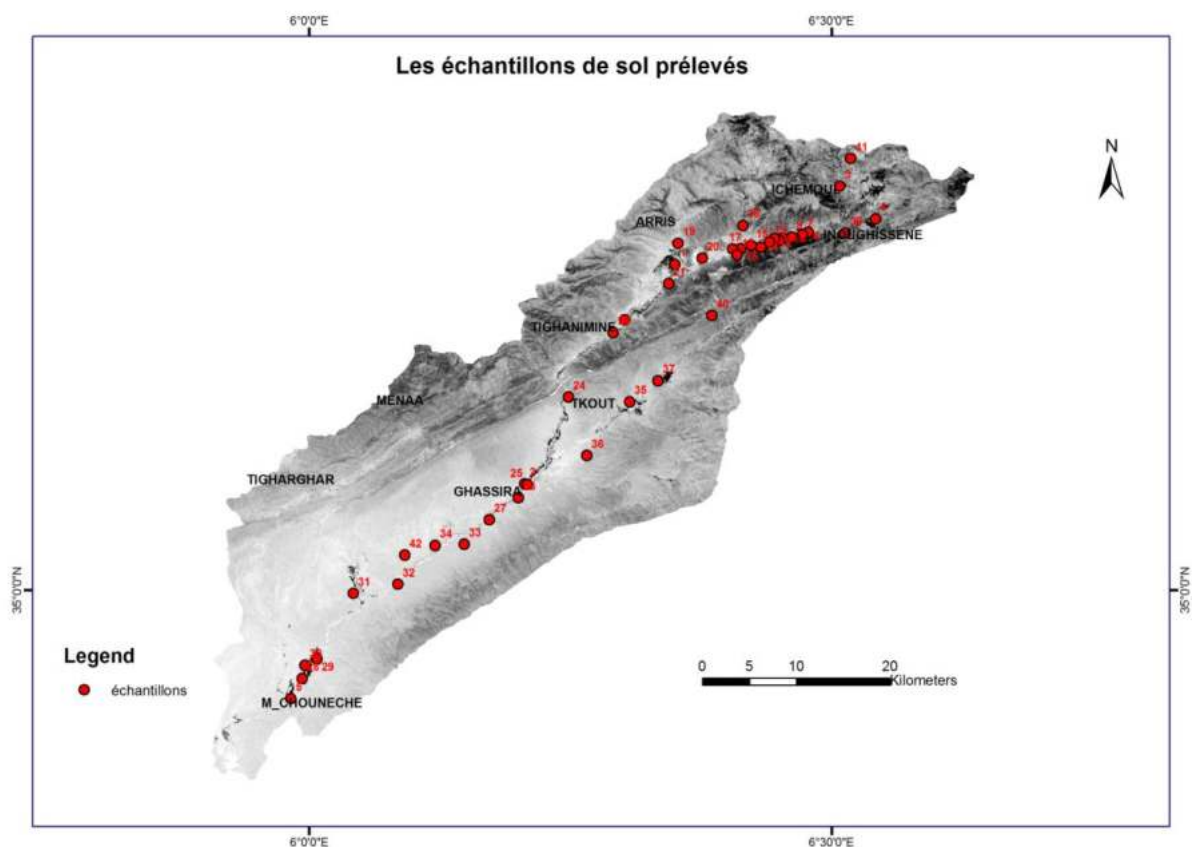


Figure 4.26 L'échantillonnage des sols

Tableau 4.10 : Les propriétés physico-chimiques des échantillons

Echantillons	Horizon	Argile (%)	Limon (%)	S F (%)	S G (%)	Texture	Mo (%)	PH
1	20 Cm	41.5	37.7	16.8	4.0	A	3.75	8.46
2	20 Cm	38.7	53.4	7.4	0.5	AL	2.30	8.55
3	20 Cm	34.5	50.7	8.9	5.9	AL	2.10	7.37
4	20 Cm	23.1	45.6	10.4	20.9	LA	1.98	8.56
5	20 Cm	20.7	31.0	40.2	8.1	L	1.76	8.15
6	20 Cm	40.3	41.6	13.2	4.9	LA	1.61	8.65
7	20 Cm	42.4	31.7	10.1	15.8	A	2.72	8.85
8	20 Cm	41.8	41.1	13.1	4.0	AL	1.74	8.50
9	20 Cm	38.9	46.7	8.3	5.1	LA	1.34	8.46
10	20 Cm	38.5	51.2	7.7	2.6	LA	1.83	8.44
11	20 Cm	31.3	35.4	27.2	6.1	LAS	3.02	7.90
12	20 Cm	26.9	32.8	23.9	16.4	LS	1.57	7.68
13	20 Cm	18.1	26.3	41.5	14.1	S	2.75	7.90
14	20 Cm	30.7	35.2	29.1	5.0	AL	2.95	7.65
15	20 Cm	33.5	44.3	12.2	10.0	AL	2.24	8.50
16	20 Cm	45.6	42.0	11.3	1.1	LA	1.98	8.33
17	20 Cm	47.9	41.4	10.5	0.2	AL	3.44	7.51
18	20 Cm	52.8	31.6	15.2	0.4	AL	4.56	8.89
19	20 Cm	46.3	36.4	12.0	5.3	AL	5.75	7.20
20	20 Cm	42.1	40.0	16.4	1.5	AL	3.21	8.35
21	20 Cm	49.4	23.7	20.2	6.7	ALS	6.33	8.65
22	20 Cm	35.8	36.6	23.9	3.7	LAS	3.86	8.23
23	20 Cm	28.2	25.1	41.6	5.1	SAL	2.45	7.79
24	20 Cm	29.9	27.5	43.2	0.6	SAL	2.29	7.48
25	20 Cm	32.7	33.8	30.4	3.1	SLA	1.89	7.94

L'analyse granulométrique des sols a été effectuée sur la base des échantillons prélevés de zones homogènes.

Au vu des différentes embuches rencontrées lors des prélèvements des échantillons liées essentiellement au manque de moyens, choix de la zone de prélèvement ou le temps imparti pour couvrir une grande portion du bassin de risque, environ 1/3 des échantillons à été écarté en raison d'une mauvaise conservation (sacs troués, échantillons ventilés, étiquetages perdus). Il est à signaler que certains échantillons ont été écartés à cause de la forte teneur en matière organique découverte sur ces derniers faute de destruction par l'eau oxygénée, réactif de dispersion expiré (l'hexamétaphosphate de sodium $\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{P}_6$) ou à cause des fertilisants et pesticides utilisés par les paysans pour accroître la production des arbres fruitiers qui couvre une grande part du marché national et étranger.

Le pH a été mesuré par la méthode électrométrique moyennant un pH mètre à électrode de verre.

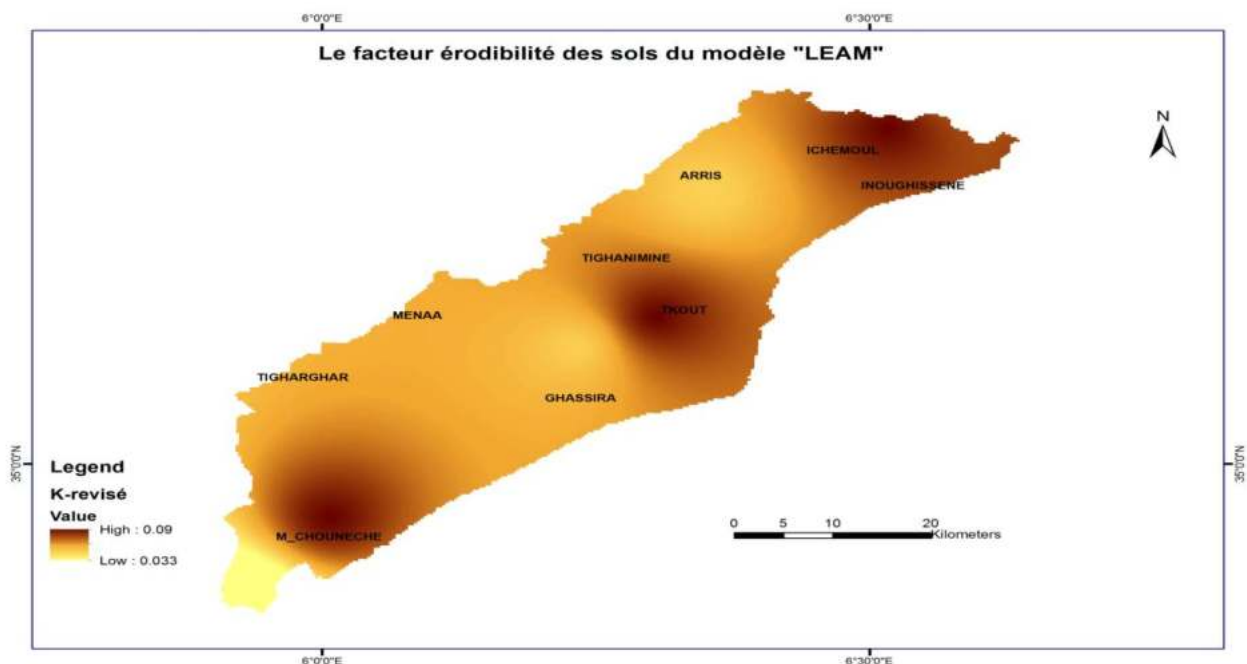


Figure 4.27 Le facteur érodibilité des sols

D'après Lavoie et Nolin (1997), les niveaux de vulnérabilité à l'érosion hydrique à partir de l'érodibilité sont déterminés selon les seuils suivants:

Négligeable à partir de 0.03 t.ha.H/ha.MJ.mm;

Modéré entre 0.039 et 0.053 t.ha.H/ha.MJ.mm;

Élevé à partir de 0.066 t.ha.H/ha.MJ.mm.

D'après la carte d'érodibilité, 35.45% de surface totale du bassin de risque représente une érodibilité élevée, 62.66% une érodibilité moyenne et 1.89 % seulement représente une érodibilité négligeable.

Après avoir caractérisé les différents paramètres du modèle *LEAM*, nous avons essayé de lui apporter une modification en intégrant le paramètre couvert végétal afin de déterminer son rôle dans le processus érosif.

Ce dernier a été remplacé par l'indice NDVI « Normalized Difference Vegetation Index » qui représente la différence de réflectance spectrale entre la bande proche infra rouge et le canal visible rouge.

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R) \dots\dots\dots (4.19)$$

Les données requises pour déterminer l'NDVI sont extraites des images satellites Landsat 5 TM prises le 27 septembre 2007 corrigées et calibrées en réflectance.

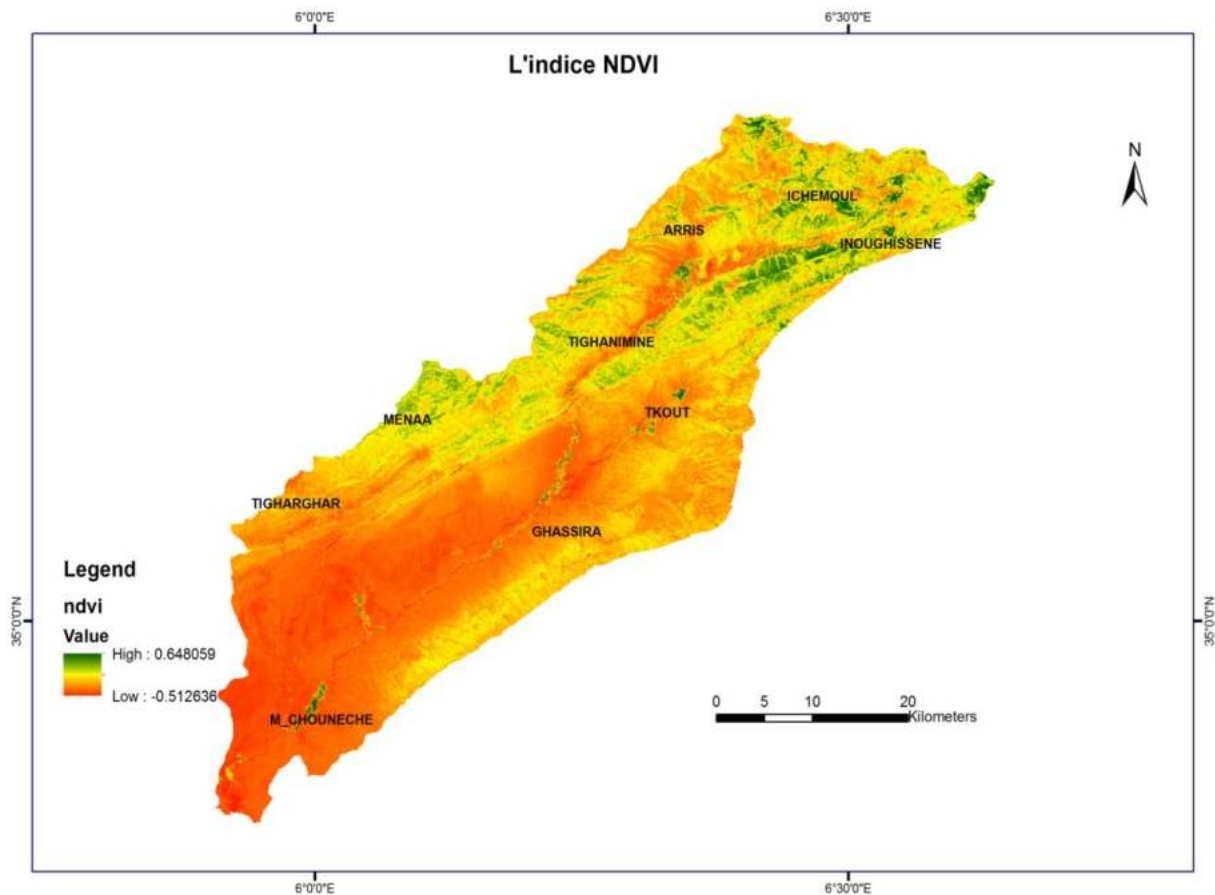


Figure 4.28 L'indice NDVI « LEAM »

La comparaison entre les modèles *LEAM* et *LEAM* modifié a permis de constater que la surface représentant un risque potentiel fort par *LEAM* occupe 6.94% de la surface totale du bassin de risque Oued LABIOD contre 5.31% par *LEAM* modifié.

Le risque potentiel moyen occupe 27.71% de la surface totale du bassin de risque par *LEAM* contre 24.18% par *LEAM* modifié et 65.35% de la surface totale représente un risque potentiel faible par *LEAM* contre 70.51% par *LEAM* modifié.

De ce fait, on constate que le risque potentiel d'érosion estimé par *LEAM* modifié est inférieur par rapport à celui estimé par le modèle élaboré par Manrique (1988).

La surface attribuée au risque potentiel fort passe de 90.72 km² à 69.51 km² et la surface du risque potentiel moyen passe de 295.3 km² à 316.5 km² et de 855.51 km² pour le risque potentiel faible à 923.1 km².

Donc, le couvert végétal joue un rôle très important dans l'atténuation du risque érosif.

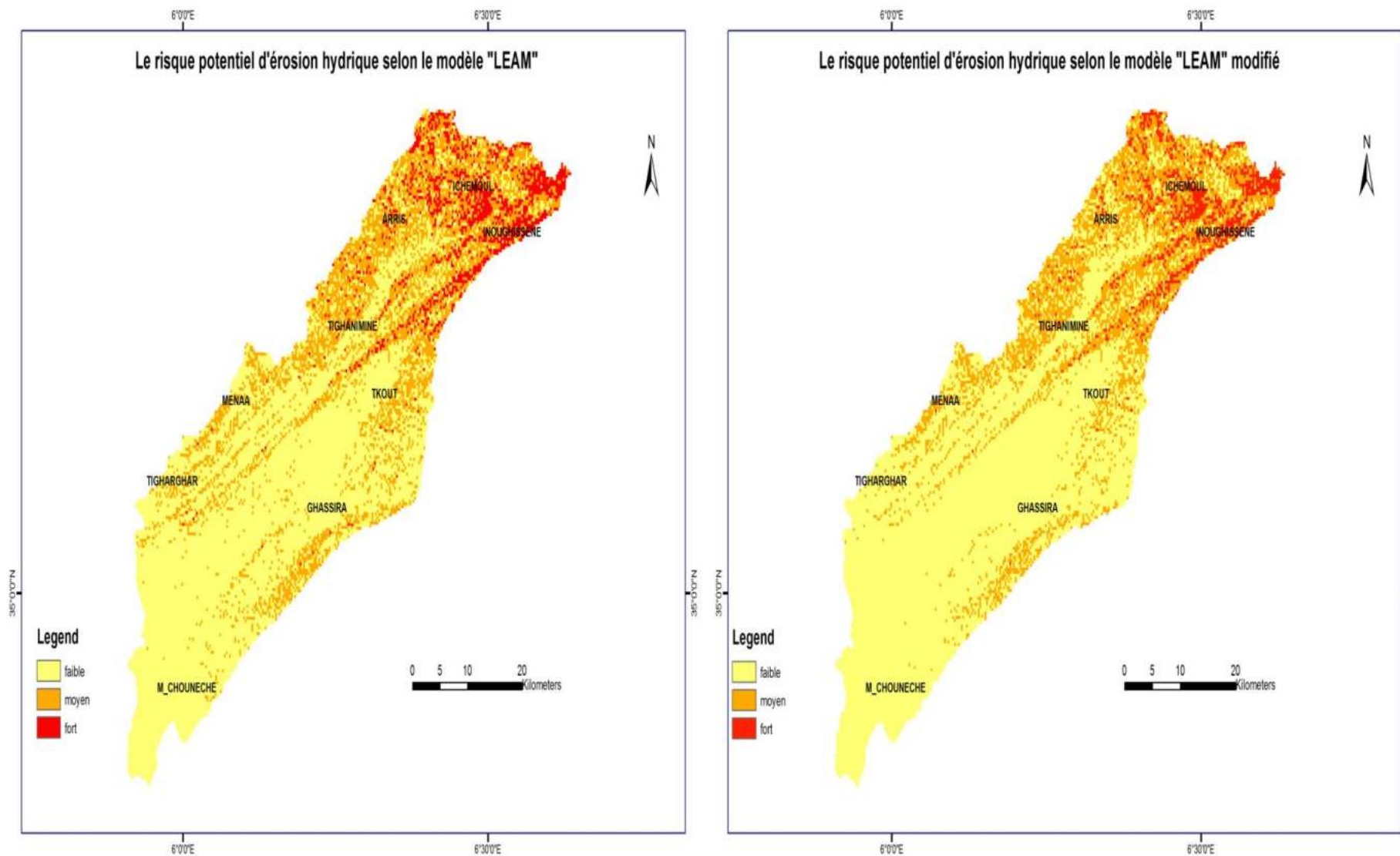


Figure 4.29 Estimation du risque potentiel d'érosion par le modèle LEAM

2.3.3 Le modèle « **RUSLE** » :

Revised Universal Soil Loss Equation de Renard et al., (1997), permet la prédiction des pertes en sol à moyen terme. Il a été choisi parce qu'il reste de loin le modèle le plus utilisé dans le monde pour sa facilité. Sa combinaison avec le SIG permet de spatialiser les pertes en sol avec précision sur des zones étendues. (Millward and Mersey, 1999 ; Wang et al., 2003 ; Lu et al., 2004 ; Jasrotia and Singh, 2006 ; Krishna Bahadur, 2009 ; Prasannkumar et al., 2011).

C'est une fonction multiplicative de cinq facteurs : l'agressivité des pluies, l'érodibilité du sol, l'inclinaison et la longueur de la pente, les pratiques culturales et les pratiques antiérosives.

$$A = R * K * LS * C * P \dots\dots (1.8)^*$$

A : taux annuel de perte en sol en tonne/acre/an, en unités Américaines qu'il suffit de multiplier par 2.47 pour la conversion au système international (SI) : 1 hectare = 2.47 acre ;

R : facteur de l'érosivité des pluies ; il correspond à la moyenne annuelle des sommes des produits de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité en 30 mn consécutives ; il est exprimé en MJ.mm / ha.H.an ;

K : l'érodibilité des sols qui dépend de la granularité, la quantité de matière organique, la perméabilité et la structure du sol. Il est exprimé en t.ha.H / ha.MJ.mm ;

LS : facteur représentant l'inclinaison (*S* en %) et la longueur de pente (*L* en m) ;

C : facteur qui représente l'effet de la couverture végétale (sans dimension comme LS) ;

P : rapport qui tient compte des techniques culturales antiérosives (sans dimension).

2.4 Intégration de **RUSLE** dans un SIG combiné avec **AHP**:

L'application de **RUSLE** sur le bassin de risque requiert l'intégration des paramètres pris en compte par le modèle dans un SIG combiné avec l'**AHP**.

Le modèle développé permet de dresser des cartes thématiques relatives à chaque critère dont la combinaison permet d'élaborer une carte synthétique des pertes en sols à moyen terme.

Le résultat est à la fois quantitatif reflétant le taux des pertes en sols exprimé en t/ ha/ an et qualitatif traduisant le niveau de vulnérabilité du bassin de risque Oued LABIOD à l'érosion hydrique. Le modèle développé constitue un moyen plus sûr et pratique pour l'aide à la décision en matière de prévention des risques. Ce modèle permet de mettre en œuvre l'interaction et l'articulation spatio-temporelle des facteurs d'érosion et offre l'opportunité de déterminer les zones vulnérables avec précision.

Bien que l'AHP soit basée sur des calculs complexes reposant sur l'algèbre matricielle, son application avec le logiciel Idrisi Selva ou Arcgis reste relativement facile et permet d'automatiser rapidement la résolution matricielle. Le poids des facteurs est attribué après concertation avec les experts en fonction des alternatives préétablis indiquant l'importance relative de chaque facteur par rapport à tous les autres. Il est à noter aussi qu'aucune contrainte n'a été prise dans cette démarche.

Par ailleurs, la standardisation des facteurs a été établie sur la base de la logique floue (Fuzzy logic) et la pondération des facteurs et leur agrégation complète via la résolution matricielle de Saaty (1980).

Les nouvelles fonctionnalités d'Arcgis10.1 dans l'opérateur (Fuzzy membership) ont été introduites dans la modélisation spatiale du risque d'érosion pour standardiser les critères dans la même échelle afin de les mesurer d'une part et de convertir la description sémantique du risque d'érosion hydrique en modèle numérique de prédiction spatiale d'autre part.

RUSLE est représenté par des couches d'informations au format raster extraites des images satellites multi-bandes Landsat TM de 30 m de résolution.

Les données relatives à chaque critère ont fait l'objet d'une longue opération de collecte, traitement et calibrage dans le but de combler les lacunes d'une part et éviter les effets atmosphériques sur les images satellites lors du captage d'autre part.

2.4.1 L'estimation du facteur d'agressivité climatique (R) :

L'estimation du facteur R nécessite la connaissance des énergies cinétiques (E_c) et de l'intensité moyenne sur 30 minutes (I_{30}) des gouttes de pluie de chaque averse.

Elles sont données par la formule empirique de Wischmeier & Smith (1978) :

$$R = K * E_c * I_{30} \dots\dots\dots (4.20)$$

E_c : énergie cinétique totale de la pluie MJ/h ;

I_{30} : intensité maximale de pluie en 30 minutes mm/ h ;

K : étant un coefficient dépendant du système d'unités de mesure.

Certains auteurs (Roose, 1977 ; Arnoldus 1980 ; Rango & Arnoldus, 1987) ont développé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer R en évaluant l'agressivité climatique sur un épisode pluvieux de durée déterminée.

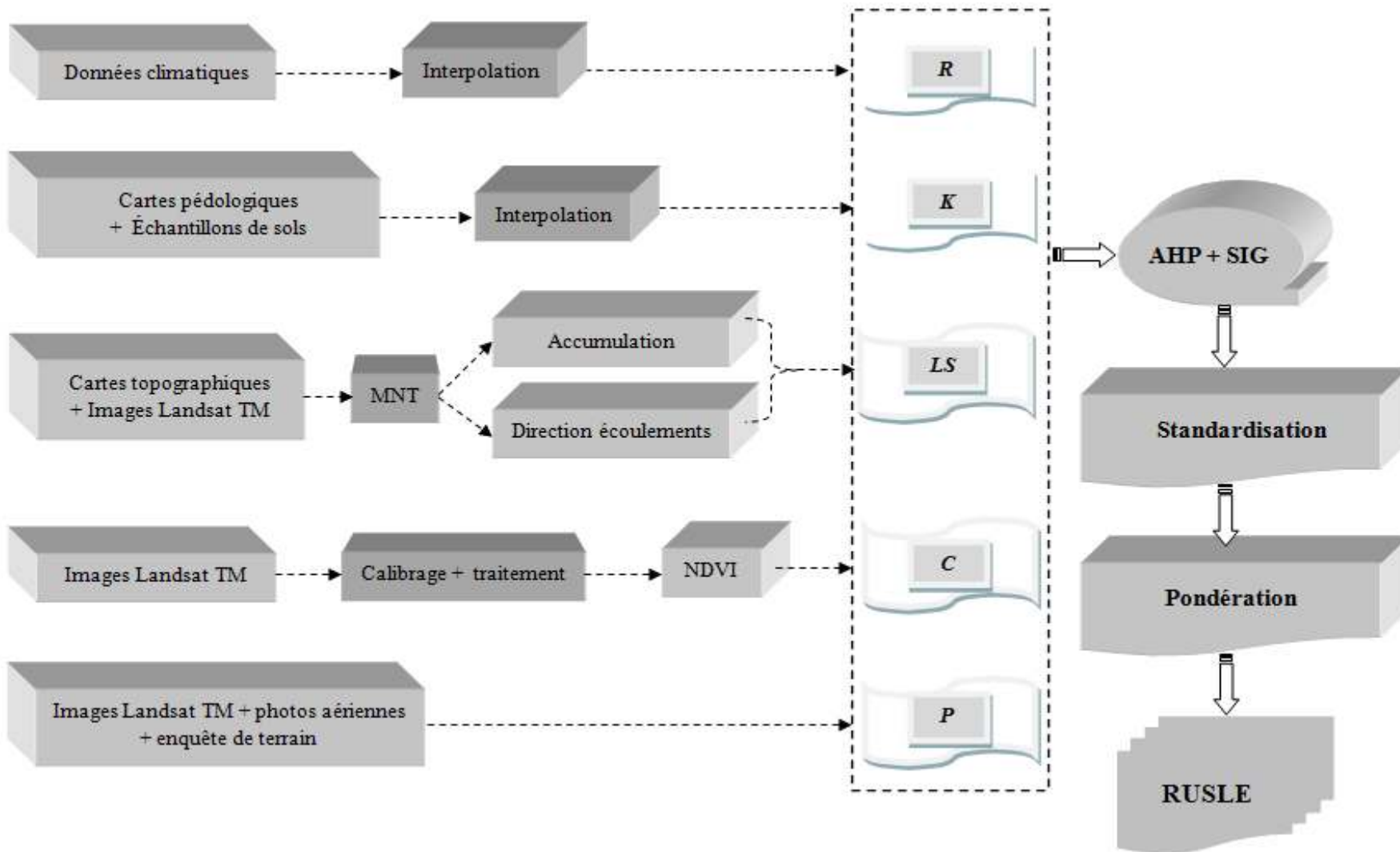


Figure 4.30 Intégration du modèle RUSLE dans un SIG combiné avec l'AHP

L'indice R a été estimé par l'équation (4.16) sur la base des données pluviométriques des différentes stations de l'Agence National des Ressources Hydriques (ANRH) étalées sur plus de 30 années d'observations puis pondéré sous arc gis10.1 à travers l'interpolation spatiale IDW (Inverse Distance Weighted) de Spatial Analyst Tools.

Les valeurs de R suivent un gradient altitudinal et varient entre 19 et 132 MJ.mm/ha.H.an.

Les valeurs élevées sont enregistrées en amont du bassin de risque qui est plus arrosé et les faibles valeurs sont enregistrées en aval où les pluies sont rares.

2.4.2 L'estimation du facteur d'érodabilité (K):

L'érodabilité des sols a été déjà estimée dans le modèle *LEAM* sur la base d'une analyse physico-chimique des échantillons de sols prélevés de zones homogènes.

La première étape a compris le séchage, puis le tamisage des échantillons avant analyse.

L'analyse physique a été effectuée par la méthode de la pipette de Robinson (1922), afin de déterminer la fraction fine en suspension (MES) avant la sédimentation après tamisage et séchage à l'étuve Argiles ($< 2 \mu\text{m}$), limons fins ($2 - 20 \mu\text{m}$), limons grossiers ($20 - 50 \mu\text{m}$), sables fins ($50 - 200 \mu\text{m}$), sables grossiers ($200 - 2000 \mu\text{m}$).

Cette analyse a révélé qu'à l'amont du bassin de risque se répendent des sols calcaires marneux à texture Argilo-limoneuse fine mettant en évidence la possibilité de développement des fissures profondes qui favorisent le départ des ravines à Limono-argileuse moyennement riche en matière organique et sensible à la battance et la production des ruissellements.

En aval, les sols correspondent à une texture Limono sableuse qui représente un risque de compactage en raison de leur mauvaise perméabilité.

L'analyse chimique a permis de déterminer le PH qui varie entre 7.37 et 8.85.

La perméabilité du sol, a été estimée sur la base de l'infiltration déjà calculée dans le bilan hydrique et selon laquelle une faible infiltration signifie une perméabilité lente et inversement.

L'érodabilité des sols, a été calculée sur la base des paramètres précédemment développés, qui ont été pondéré sous arc gis10.1 de la même façon que l'érosivité des pluies.

Le résultat a été divisé par 7.59 pour passer au système international (SI).

L'estimation de K a révélé que l'érodabilité du bassin de risque à l'érosion varie entre faible (0.034) en aval et élevée (0.089) en amont.

2.4.3 L'estimation du facteur topographique (LS) :

Le facteur LS est considéré comme un facteur d'accélération de l'érosion hydrique. Il est calculé à partir de l'équation de Wischmeier & Smith (1978) :

$$LS = (\lambda / 22, 13)^m * (65.41 \sin^2\theta + 4.56 \sin\theta + 0,065) \dots\dots\dots (4.21)$$

λ : correspond à la longueur de la pente du site en mètres ;

θ : correspond à l'inclinaison de la pente en degrés ;

m : correspond à un coefficient lié au rapport entre l'érosion en rigoles et l'érosion en inter rigoles. Il est égal à 0,5 si la pente est > 5%.

LS peut être calculé aussi en couplant les méthodes McCool et al., 1989 ; Liu et al., 1994.

$$L = (\lambda / 22, 13)^\beta \dots\dots\dots (5.15)$$

Avec:

$$\beta = \frac{(\sin\theta / 0.0896) / [3 * (\sin\theta)^{0.8} + 0.56]}{1 + (\sin\theta / 0.0896) / [3 * (\sin\theta)^{0.8} + 0.56]} \dots\dots\dots (4.22)$$

LS a été calculé à partir de l'équation Moore & Burch (1986), basée sur les données du modèle numérique d'altitude MNA.

$$LS = (\text{Accumulation des flux} * \text{taille du pixel} / 22.13)^{0.5} * (\sin \beta / 0.0896)^{1.3} \dots\dots\dots (4.23)$$

L'accumulation des écoulements * taille du pixel = λ

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin\theta + 0.03 & \text{si } \theta < 5^\circ \\ 16.8 \sin\theta - 0.5 & \text{si } 5^\circ < \theta < 10^\circ \\ 21.9 \sin\theta - 0.96 & \text{si } \theta \geq 10 \end{cases} \dots\dots\dots (4.24)$$

LS varie entre 0 et 192.5 et reflète l'influence de l'inclinaison et la longueur des pentes sur le processus érosif étant donné que le modèle est une fonction multiplicative.

2.4.4 L'estimation du facteur topographique (C) :

Le facteur C à été déterminé dans plusieurs recherches à partir des travaux de Wischmeier & Smith (1978), qui donnent des valeurs préétablies pour les forêts, les matorrals et les pâturages. Les tableaux établis aux Etats-Unis se basent sur la hauteur de la végétation et l'indice de recouvrement mais la distinction des terrains cultivés est basée sur le type de cultures et les rotations culturales.

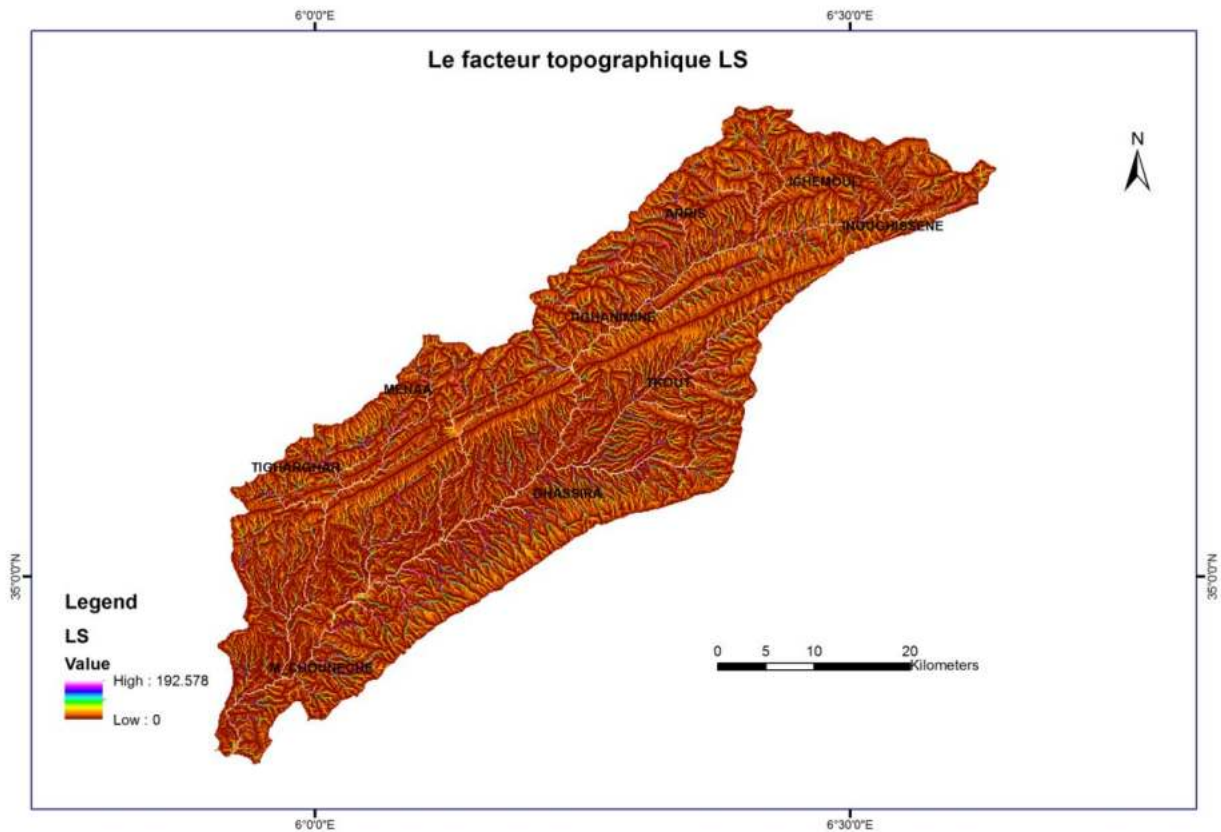


Figure 4.31 Le facteur topographique LS

Dans le présent modèle, *C* a été remplacé par l'indice *NDVI* « Normalized Difference Vegetation Index » qui représente la différence de réflectance spectrale entre la bande proche infra rouge et le rouge visible afin de déterminer le rôle du couvert végétal dans le processus érosif.

Tableau 4.11 : L'indice cultural

Type de couvert végétal	<i>C</i>
Foret dense, reboisement dense	0.001- 0.058
Foret moyennement dense	0.13
Matorral dégradé, parcours dense	0.17
Reboisement clair	0.18
Matorral clair, parcours dense, surface bâtie	0.20
Matorral très dégradé	0.22
Mosaïque de culture	0.50
Céréaliculture ou foret dégradée	0.70
Sol nu	1

Source: Wischmeier & Smith, 1978

De Jong et al., (1994), ont révisé l'équation établie la même année par De Jong pour estimer C-USLE sur la base de l'NDVI.

$$C = 0.431 - 0.805 * NDVI \dots\dots\dots (4.25)$$

Cette équation présente une corrélation moyenne dont les valeurs de C sont faibles (< 0.43) par rapport à la présence du couvert végétal traduite par sa hauteur.

Gutman & Ignatov (1998), ont proposé une équation pour calculer C-USLE à partir des valeurs de l'indice NDVI.

$$C = 1 - \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \dots\dots\dots (4.26)$$

Des valeurs significatives allant jusqu'à 0.65 ont justifié à plus d'un titre le remplacement du facteur C par l'indice NDVI dans le modèle *RUSLE*.

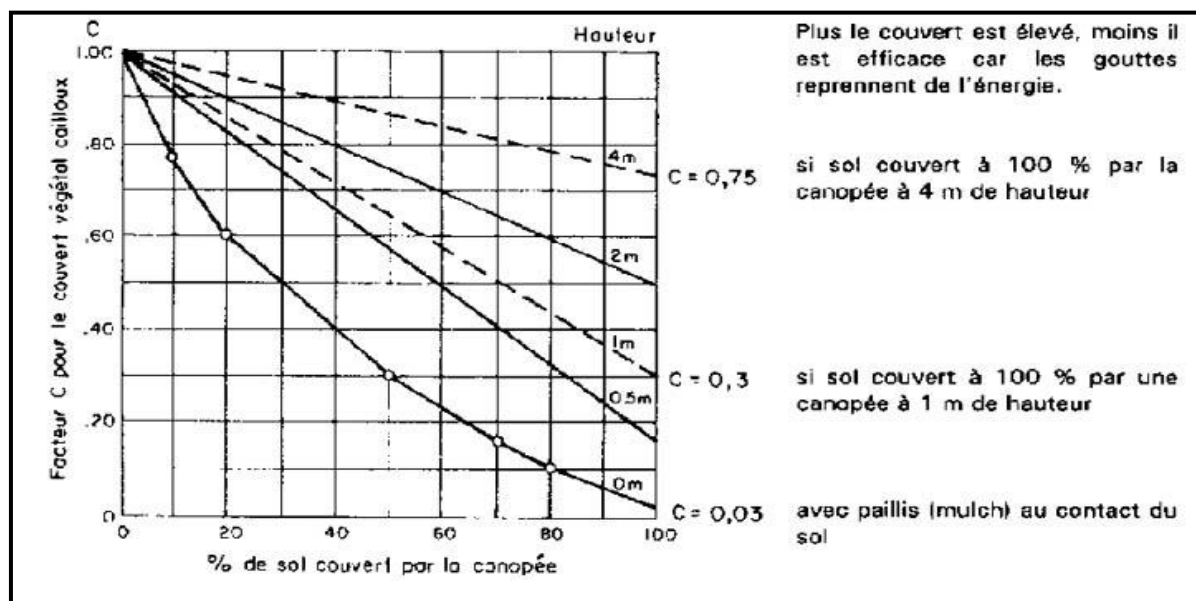


Figure 4.32 C en fonction de la couverture du sol et de la hauteur de végétation (Roose, 1994)

2.4.5 L'estimation des pratiques antiérosives (P) :

Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses et les reboisements en banquettes sont les pratiques les plus efficaces pour la conservation des sols.

D'après Wischmeier & Smith (1978), P à des valeurs inférieures ou égales à 1 selon la pente.

La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques précédemment citées n'est utilisée.

Dans le bassin de risque, les cultures irriguées sont réparties de part et d'autre la vallée Oued LABIOD (Medina, inoughissen, Arris, M'chouneche) et les labours sont rarement parallèles aux courbes de niveau. Dans le but de mesurer et comparer les critères entre eux, les facteurs pris en compte par le modèle sont standardisés entre 0 et 1 avec l'opérateur Fuzzy membership de la fonction Overlay.

Tableau 4.12 : Les pratiques antiérosives P

Pratiques antiérosives	Pente (%)	Longueur	P
Culture en courbe de niveau	1 à 8	61 à 122 m	0.5
Culture en courbe de niveau	9 à 12	36 m	0.6
Culture en courbe de niveau	13 à 16	24 m	0.7
Culture en courbe de niveau	17 à 20	18 m	0.8
Culture en courbe de niveau	21 à 25	15 m	0.9
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	1 à 8	30 à 40 m	0.25 à 0.5
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	9 à 16	24 m	0.3 à 0.6
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	17 à 25	15 m	0.4 à 0.9

D'après Wischmeier et Smith (1978)



Figure 4.33 Pratiques culturales et antiérosives dans le bassin de risque

La combinaison de *RUSLE* et l'*AHP* requiert la pondération des facteurs et leur agrégation par résolution matricielle effectuée automatiquement via le logiciel Idrisi Selva et Arcgis 10.1.

Les poids attribués à chaque critère après résolution matricielle sont comme suit :

Alternative 1 : $R= 0.4000$, $K= 0.1494$, $LS= 0.0731$, $NDVI= 0.1350$ et $P = 0.2424$.

Alternative 2 : $R= 0.325$, $K= 0.122$, $LS= 0.325$, $NDVI= 0.138$, $P = 0.09$.

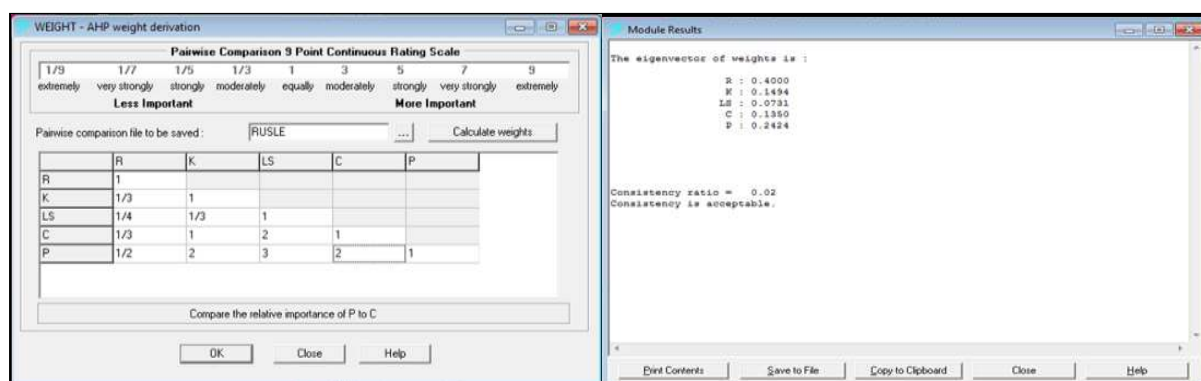


Figure 4.34 Pondération et résolution matricielle des critères

La résolution matricielle a permis de constater que $CR = 2\%$ ($< 10\%$) ce qui signifie que les jugements préétablis avec les experts sont acceptables et les valeurs de la comparaison par paire n'ont pas besoin d'être reconsidérées.

De ce fait, l'évaluation de la dégradation des sols par érosion hydrique dans le bassin de risque est à la fois quantitative traduite par le taux des pertes en sols à moyen terme qui varie entre 0 et 348.81 t/ha/an et qualitative interprétée par le niveau de vulnérabilité du bassin de risque à l'érosion hydrique (faible, moyen, fort).

A partir de la classification de la dégradation des sols par érosion hydrique établie par la FAO, PNUD et l'UNESCO (1980), on constate que la vulnérabilité du bassin de risque Oued LABIOD à l'érosion hydrique varie entre faible (< 10 t/ha/an soit 0.6 mm/an) et très élevée (> 200 t/ha/an soit > 13.3 mm/an).

D'après Roose (1994), l'estimation des pertes en sol en tonne par hectare par an permet de déterminer le type d'érosion des sols.

Dans cette optique, le bassin de risque Oued LABIOD est soumis à une dominante érosion en nappes dont le développement conduit à la formation de rigoles et ravines.

Tableau 4.13 : Les pertes en sol par formes d'érosion

Type d'érosion	Perte du sol
Erosion en nappe	1 t/ha/an
Erosion en rigole	10 t/ha/an
Erosion en ravine	100 t/ha/an
Erosion en badlands	1 000 t/ha/an
Sapement des berges	10 000 t/ha/an

Source : Roose, 1994

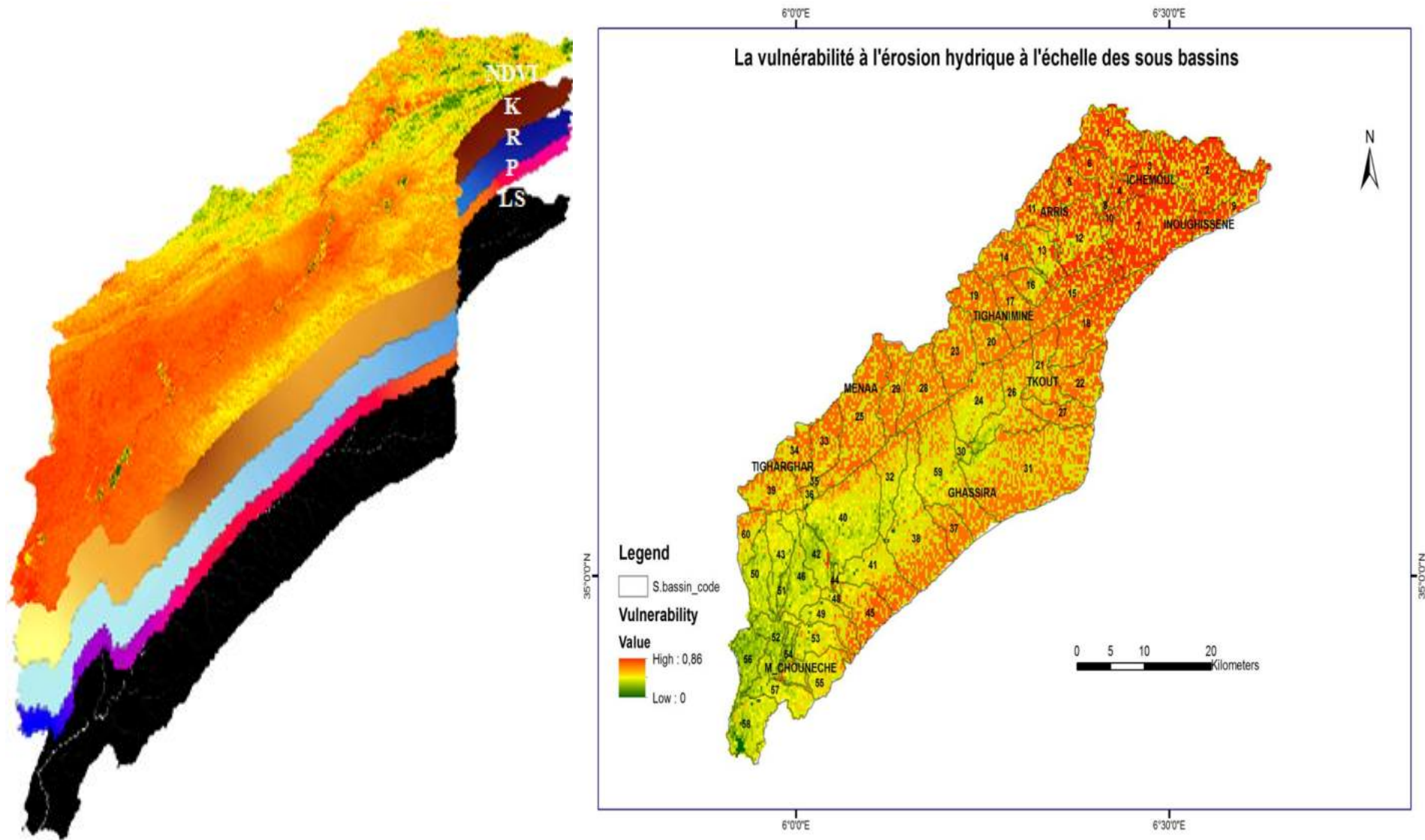


Figure 4.35 Formalisation du modèle RUSLE standardisé

3. Résultats et discussion:

L'analyse des crues historiques entre 1950-2016 a révélé que le bassin versant Oued LABIOD est vulnérable aux crues automnales (159 événements) et printanières (119) générées par des ruissellements > 50 mm/24h. Bien que le modèle unidimensionnel (1D) élaboré simule la variation des crues aux pas de temps choisis et estime la surface mouillée et la vitesse de propagation, il n'en reste pas moins qu'il représente une certaine limite quant au relief accidenté traduite par le faible contrôle de performance (Nash et Sutcliffe = 0.36).

La modélisation du risque d'érosion hydrique par *LEAM* et *RUSLE* est à la fois qualitative interprétée par le niveau de risque et quantitative traduite par le taux des pertes en sols exprimé en t/ha/an. L'intégration de l'*NDVI* dans *LEAM* pour déterminer le rôle du couvert végétal dans l'atténuation du risque potentiel d'érosion a été traduite par le pourcentage de surfaces affectées soit 5.31% de la surface totale représente un risque potentiel fort, 24.18% représente un risque potentiel moyen et 70.51% représente un faible risque potentiel d'érosion hydrique. Par ailleurs, la prédiction des pertes en sol par *RUSLE* combiné avec *AHP* a permis d'établir une modélisation précise de l'érosion hydrique qui a abouti à la détermination de son niveau de vulnérabilité en fonction du taux de perte en sol à moyen terme.

On peut y constater que la vulnérabilité du bassin de risque à l'érosion hydrique est faible en aval (zone de dépôt) et très forte en amont (zone d'érosion) environ 348.81 t/ha/an soit plus de 13 mm/an de sol érodé. Etant donné que la genèse des sols est estimée à environ 0.1 mm/an, les pertes en sol dans le bassin de risque affirment une situation alarmante de dégradation.

La forte vulnérabilité à l'érosion hydrique en amont est liée d'une part aux ruissellements engendrés par les précipitations abondantes qui dévalent les formations marneuses meubles et peu perméables sur des pentes très fortes dont le développement engendre l'érosion en rigoles par ruissellements diffus qui s'étalent en ravines profondes avec la concentration des ruissellements. D'autre part, au surpâturage exercé par plus de 93614 têtes de bétails dont 45698 chèvres ou l'exploitation excessive des terres fertiles et l'utilisation d'engrais chimiques et pesticides pour accroître la production des pommiers contribuent davantage dans la dégradation des sols et la qualité des eaux.

Toutefois, la faible vulnérabilité traduit la parfaite adaptation de l'homme avec son milieu par observations directes sans connaissance de la dynamique fluviale.

D'autre part, ces zones sont moins arrosées par rapport à l'amont et les ruissellements n'ont plus les mêmes effets sur les replats où les pentes y sont plus faibles (< 5 %) et les matériaux ont tendance à se déposer dans les dépressions.

D'après Renard et al., (1997), la concavité aval est contrairement aux sommets, une zone de dépôts de sédiments et non une zone d'érosion.

La prédiction des pertes en sols par érosion en nappe est traduite par un faible taux d'érosion qui évolue par concentration des ruissellements en rigoles ou en ravines profondes sur des versants cultivés ce qui causent des crues impressionnantes.

D'après McGillivray & Donovan (2007), les zones où la pente est inférieure à 11% (5°) sont considérées comme des zones de dépôts contrairement à celles où la pente est supérieure à 45% (20°) qui constituent des zones d'érosion.

Les quantités de sols érodés et transportés par ruissellement finissent par se déposer dans les concavités aval du bassin de risque Oued LABIOD contribuant ainsi à l'envasement du barrage de Foum El Gherza.

Ce barrage combiné voûte-poids mis en service depuis 1950, d'une capacité totale de 47 Hm³ et destiné essentiellement à l'irrigation et la production d'électricité connaît actuellement une diminution du volume d'eau passant de 14.1 à 11.4 Hm³ entre 2009-2015 soit 24% seulement de la capacité totale du barrage par rapport au volume solide en suspension qui n'a cessé d'accroître durant la même période de 32.9 à 35.6 Hm³ soit un taux d'envasement du barrage de 75%.

Cette vulnérabilité croissante du bassin de risque à l'érosion hydrique exige des interventions prioritaires dans les zones sensibles moyennant des mesures correctives rapides.

La cartographie du risque d'érosion hydrique a consisté en la superposition des cartes d'aléa et de vulnérabilité à l'échelle des sous bassins pour y orienter des interventions appropriées avec une priorité d'intervention pour les sous bassins dont le niveau de risque est fort.

Afin de vérifier la précision de cette démarche, le bassin de risque a fait l'objet d'enquêtes de terrain pour comparer les résultats obtenus avec la réalité du terrain.

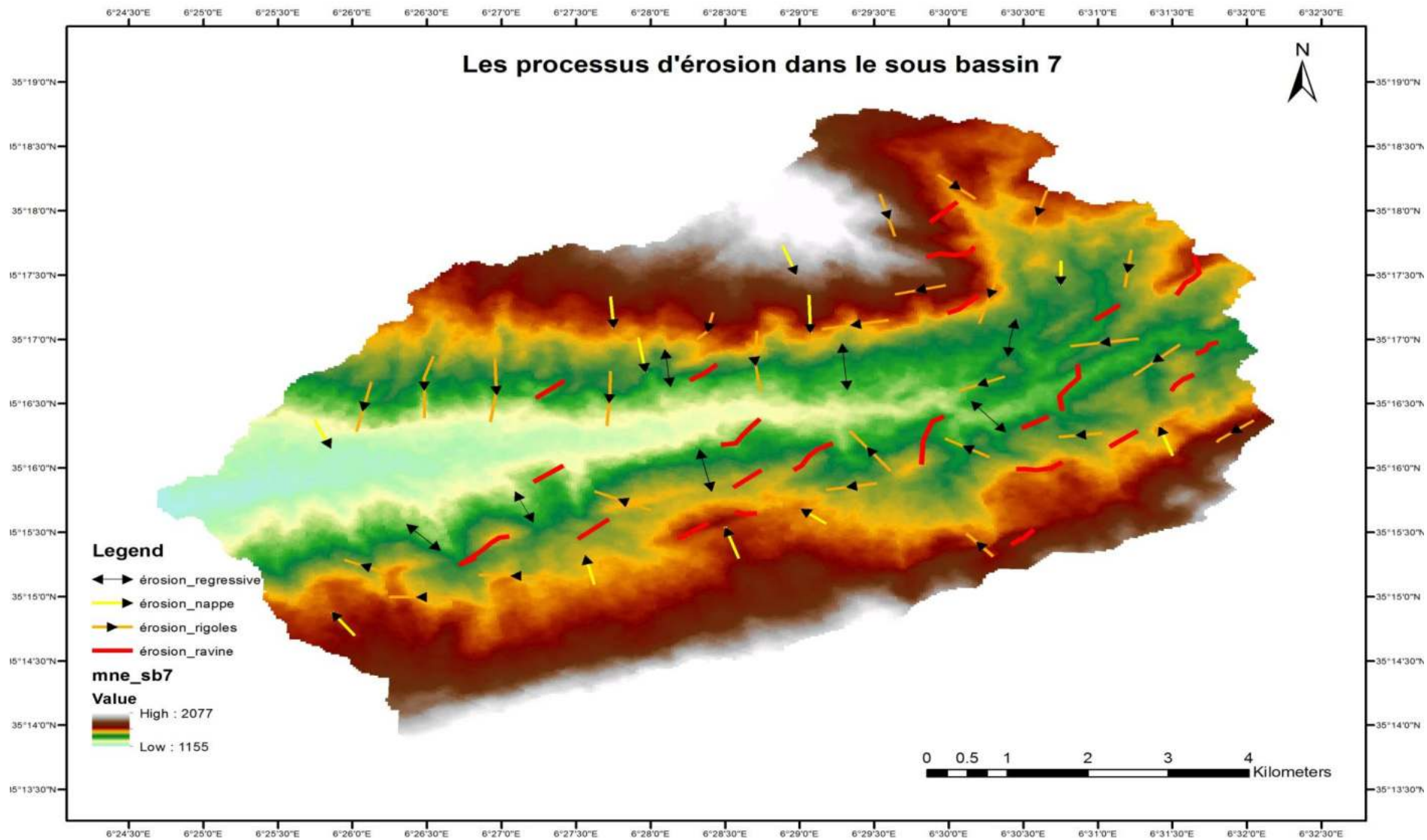


Figure 4.36 Les processus d'érosion à l'échelle du sous bassin versant

Les enquêtes entreprises sur terrain nous ont permises de constater d'autres formes de dégradation des sols par érosion régressive au niveau d'Inoughissen, Ghassira et Tighanimine voir même de l'érosion en masses comme les éboulements ou les glissements en planche.



Figure 4.37 Quelques formes de dégradation appréciées sur terrain (HAOUES, 2016)

4. *Recommandations :*

Compte tenu des enseignements tirés, les risques récurrents dans le bassin de l'oued LABIOD sont liés aux interactions climatiques, morphodynamiques et humaines.

C'est pourquoi, nous recommandons une série de mesures « structurelles » de prévention à la source dont l'objectif est imposé par le niveau de vulnérabilité.

En premier lieu, il est recommandé de fixer les berges par revêtement en recouvrant la partie meuble et érodable des berges par des matériaux résistant à l'érosion (remblais, galets) et par implantation de végétations herbacées ou arbres fruitiers qui peuvent constituer une ossature de défense pour les terrains meubles. Ce type d'aménagement permet non seulement de régénérer le couvert végétal mais d'atténuer les ruissellements et le transport solide.

Par ailleurs, sa mise en place est le plus souvent précédée par des seuils en pierres sèches pour freiner le développement des ravinelements.

En second lieu, nous recommandons une correction torrentielle qui dépend principalement de la configuration du bassin versant notamment en matière de production de sédiment.

A cet effet, on peut distinguer des torrents à affouillement dans lesquels la limitation de la production locale de matériaux est possible moyennant une stabilisation des terrains dans le cadre de la protection active ou la mise en place de travaux de protection passive dans la mesure où on ne peut pas espérer contrôler le mécanisme de production.

Ce type d'intervention est orienté à la partie amont notamment les sous bassins versants :

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10.

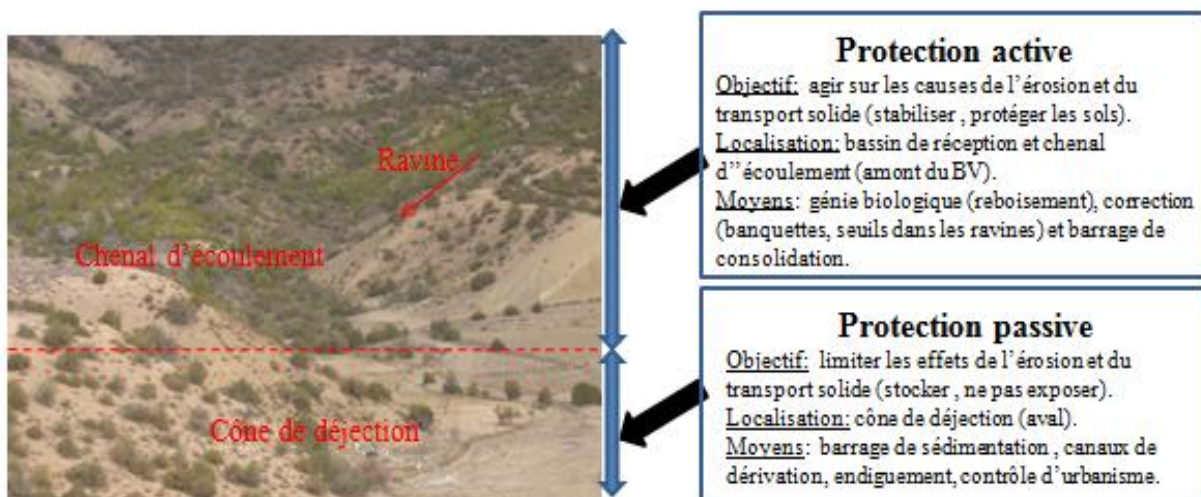


Figure 4.40 Les stratégies de correction torrentielle (d'après UVED, 2006)

Enfin, le choix d'une stratégie de protection dépend également des objectifs de gestion dont les travaux de protection active constituent des aménagements à plus long terme.

Si leur efficacité peut ne pas être immédiate, ces aménagements, sous réserve d'entretien adapté, sont supposés être plus durables dans la mesure où les causes des phénomènes sont variables dans le temps et dans l'espace.

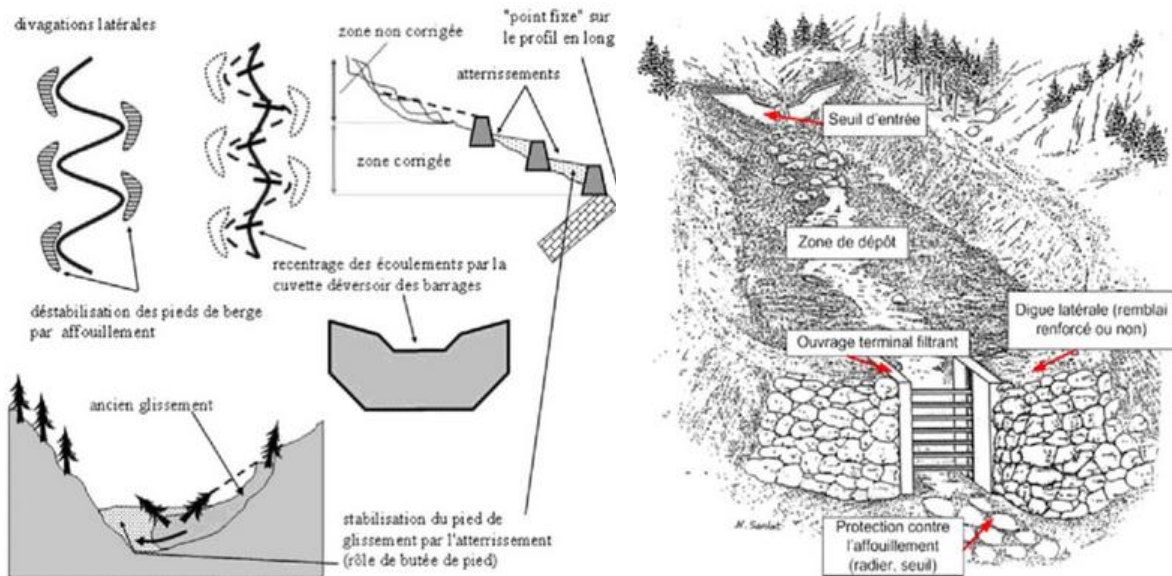


Figure 4.41 Les barrages : a) barrage de consolidation b) barrage de sédimentation (UVED, 2006)

Ce type d'intervention active est orienté au synclinal de Ghassira et l'aval du bassin versant notamment les sous bassins 38, 41, 44, 53 et 54.

Il est à signaler qu'un petit barrage est en cours de réalisation dans le sous bassin de M'chouneche (53) mais l'objectif est d'autant plus écrêteur de crues que collecteur de sédiments qui envasent le barrage de Foum el Gherza.

Conclusion :

Compte tenu de ce qui vient d'être entrepris, le bassin versant Oued LABIOD est de plus en plus fragilisé par des risques majeurs d'origine naturelle comme les crues et l'érosion hydrique et d'origine anthropique notamment la pollution hydrique.

L'augmentation du débit moyen en 2015 à $0.77 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau écoulée à 18.67 mm par rapport à $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$ et 7.11 mm enregistrés en 2004 reflète une variation temporelle des facteurs générateurs des crues et d'action érosive.

De plus, cette croissante tendance à une influence directe sur l'apport solide en accélérant davantage l'envasement du barrage de Foum El Gherza (75%).

Si la pollution hydrique est difficile à quantifier dans l'état actuel des connaissances, la modélisation des risques naturels est conditionnée par la disponibilité et la qualité des données.

Les modèles qualitatifs et quantitatifs développés sont d'une aide capitale pour l'aide à la décision en matière de gestion des risques majeurs dans les zones montagneuses.

Ils ont permis d'orienter une série de mesures « structurelles » de prévention à la source afin de réduire ces risques.

CONCLUSION GENERALE

Au début de cette thèse, nous avons pour ambition d'étudier les risques majeurs dans le bassin versant Oued LABIOD afin de déterminer son niveau de vulnérabilité.

Notre travail a été fondé sur la recherche d'une part et l'expérience d'autre part qui a abouti à la détermination du niveau de vulnérabilité du bassin objet d'étude aux risques majeurs moyennant une modélisation adaptée au contexte local.

Au terme de cet exercice, il convient d'en rappeler les grandes orientations qui ont fait le détour pluridisciplinaire. Les premières constatations sont liées à nos objectifs qui se sont limités à trouver des réponses simples à la problématique de départ et qu'un travail important reste à accomplir pour les réaliser tous.

Notre travail s'est focalisé sur un environnement dont la vulnérabilité aux risques naturels majeurs ne cessait d'accroître tant par les crues que par l'érosion hydrique qui engendre l'envasement du barrage de Foug El Gherza.

L'objectif que nous nous étions fixé était d'une part, de fournir un support cartographique d'aide à la décision en matière de prévention des risques majeurs dans le bassin de risque et d'autre part, déterminer son niveau de vulnérabilité vis-à-vis ces risques pour y orienter des interventions appropriées. Ce but nous a conduits à réaliser une analyse spatiale des risques récurrents moyennant l'interférence des indicateurs de risque pour identifier les secteurs les plus vulnérables. Il nous a été opportun dans un premier temps de modéliser le risque d'inondation via le modèle unidimensionnel (1D) basé sur la résolution de l'ensemble des équations de Saint Venant par la méthode des différences finies.

Malgré que le modèle hydraulique élaboré sur la base des débits fréquents a permis d'identifier les niveaux d'aléa et de vulnérabilité de la partie aval du bassin versant aux crues, il présente certaines limites de validation notamment la faible signification de performance (0.36) du critère de Nash et Sutcliffe (1970) et la négligence de la direction des méandres.

Dans un second temps, il nous a été possible d'élaborer des modèles de prédiction des pertes en sols par érosion hydrique à l'échelle des sous bassins versants via un processus d'analyse hiérarchique (AHP) intégré dans un (SIG). Cette méthode peut s'appliquer à tous types d'aléa, et de manière générale à toute évaluation d'un phénomène dépendant de plusieurs facteurs (Saby, 1998).

Il nous a été possible d'estimer le risque potentiel d'érosion à travers le modèle *LEAM* adapté aux données disponibles dont nous avons apporté une modification afin de déterminer l'importance du couvert végétal dans la réduction de la dégradation des sols par érosion hydrique. Toutefois, la difficulté liée à l'évaluation précise du risque érosif par rapport aux limites que présente l'équation universelle de pertes en sol nous a conduit à sa modélisation via *RUSLE* combiné avec *AHP*. Il s'agit d'un modèle qualitatif illustrant le degré de sensibilité à l'érosion hydrique et quantitatif à travers le taux d'érosion exprimé en tonne par hectare par an dont l'élaboration a suscité la standardisation des critères pris en compte par le modèle et leur pondération sur la base de la logique floue dans un SIG. Les poids attribués aux différents critères ont été longtemps discutés avec les experts au vu de leur variabilité spatio-temporelle d'une part et la complexité du processus érosif d'autre part. Le modèle développé sans contraintes nous a permis de distinguer le niveau de vulnérabilité du bassin de risque à l'érosion hydrique qui pèse lourdement sur l'envasement du barrage Foug El Gherza. La superposition des cartes d'aléa et de vulnérabilité a mis la lumière sur le risque d'érosion qui est soumis à une variabilité spatiotemporelle liée essentiellement à la transition bioclimatique qui caractérise le bassin en question. A la lumière de ce qui a été entrepris, il nous a été possible de proposer des recommandations sous forme d'actions de prévention dont l'efficacité peut ne pas être immédiate sous réserve de moyens adaptés mais supposés être durables dans la mesure où les causes des phénomènes sont variables dans le temps et dans l'espace. Le résultat, constitue un outil de communication et d'aide à la décision en matière de prévention des risques majeurs dans le bassin de risque Oued LABIOD pour y orienter des actions de protection appropriées et rapides vis-à-vis le niveau de vulnérabilité. Finalement, il nous a été possible aussi d'en tirer certaines perspectives thématiques relatives au choix du sujet en envisageant d'aborder à l'avenir un seul risque majeur au lieu de plusieurs à l'échelle d'un grand bassin versant tant que la disponibilité des données et leur mise à jour reste un exercice très onéreux et qui suscite dans l'avenir un partenariat avec les services compétents moyennant des budgets adaptés à la recherche. Sur le plan méthodologique, on peut envisager des tâches ultérieures qui pourraient consolider ce travail afin de préciser ou lever l'ambiguïté sur certains résultats en adoptant des échelles opérationnelles qui tiennent compte des spécificités de chaque espace.

BIBLIOGRAPHIE

A

Ait Fora A., 1995 : Modélisation spatiale de l'érosion hydrique dans un bassin versant du Rif marocain : validation de l'approche géomatique par la sédimentologie, les traceurs radioactifs et la susceptibilité magnétique des sédiments. Thèse de PhD, Université de Sherbrooke, Québec, Canada.

Achite M., Meddi M., 2005 : Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride, cas du bassin versant de l'oued Mina (Nord ouest algérien). *Revue des sciences de l'eau* 18/spécial, 37-56.

Al Karkouri J., 2003 : Dégradation du milieu naturel dans le bassin de Beni Boufrah (Rif central-Maroc) : analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et modélisation spatiale. Thèse d'Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Lett. Rabat, 392 p.

Angima SD., Stott DE., O'Neill MK., Ong CK., Weesies GA., 2003: Soil erosion prediction using RUSLE for Central Kenyan highland conditions. *Agric Ecosyst Environ* 97(1-3):295-308.

Anh Thuan Luong 2012 : Évaluation des risques d'inondations dans le bassin du fleuve HUONG, province de THUA TH IEN HUE, centre du VIETNAM. Thèse de doctorat en Sciences de l'environnement, Université du Québec à MONTRÉAL. P-46.

Arnold, J.G. & Fohrer, N., 2005: SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling. *Hydrological Processes*, 19-3, 563-572.

Arnoldus H.M.J., 1980: Methodologie used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, *Bulletin F.A.O.*, 34.

ASCE, 1970: American Society of Civil Engineers. <http://www.asce.org/templates/2-column-pb>.

Asseline J., Valentin C., 1978 : Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM XV* 4, 321-349.

Asseline J., 1979 : Le simulateur de pluie en 1997 (type ORSTOM, Asseline-Valentin) : adaptations aux zones semi-arides et de montagne. In: DE NONI GEORGES (ED.), LAMACHERE JEAN-MARIE (ED.), ROOSE ERIC (ED.). *Erosion en montagnes semi-arides et méditerranéennes. Bulletin - Réseau Erosion*, 1997, p. 272-281 multigr. *Erosion en Montagnes Semi-Arides et Méditerranéennes : Journées du Réseau Erosion*, 13, Villeneuve de Berg (FRA), 1996/09/24-27.

Asseline J., Casenave A., Valentin Ch., 1985 : Techniques d'étude hydrodynamique : La simulation de pluie. In : *Eau et développement agricole*. Adiopodoumé : ORSTOM, 1985, p. Swanson N.P. (1965). Rotating boom rainfall simulator. *Trans. ASAE* 8(1):71-72.

Atherton J., Olson D., Farley L. and Qauqau I., 2005: Watershed Assessment for Halthy Reefs and Fisheries, Final Report to the United States Department of State. In *Wildlife Conservation Society-South Pacific*, <http://wcsfiji.com/LinkClick.aspx?fileticket=QhrgOesPgpM%3D&tabid=3428>.

B

Bagnouls F. et Gausson H., 1957 : Les climats biologiques et leur classification. *Annales de géographie*, 355 : 193-220.

Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. & Huete, A.R., 1995: A Review of Vegetation Indices. *Remote Sensing Reviews*, 13, 95-120.

Barré de Saint-Venant, A.J.C., 1848 : Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes. Paris.

Barroca B., 2002 : Risque et vulnérabilités territoriales « les inondations en milieu urbain » ; Thèse de Doctorat de l'Université de Marne-La Vallée.

Barroca B., Hubert G., Diab Y., Bonin O., Pottier N., 2004 : « le diagnostic territorial, un outil de gestion négociée du risque d'inondation », *Actes des 22èmes rencontres universitaires de Génie Civil*, Marne la Vallée, 3-4 juin 2004. Cdrom.

Barthès B., Roose E., 2001 : La stabilité de l'agrégation, un indicateur de la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion : validation à plusieurs échelles. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*. Volume 10, Numéro 3, 185-93.

Barthès B., Roose E., 2002: Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47: 133–149.

Batti A., 2005 : Spatialisation des pluies extrêmes et cartographie de l'aléa érosion des sols dans les bassins en amont du lagon St-Gilles. Stage de master, Institut de recherche et développement, Nouméa, 55 p.

Beck E., Glatron S., 2006 : La vulnérabilité socio-spatiale des citadins aux risques majeurs. Mulhouse face aux risques industriel et sismique. Actes colloque SAGEO 2006, Strasbourg, 11-13 septembre 2006.

Beinat E. and Nijkamp P., 1998: Land-use management and the path toward sustainability. In E. Beinat and P. Nijkamp, editors, *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*, pages 1–13. Kluwer, 1998.

Benaicha A. et al., 2013 : Quantification des transports solides et de l'envasement du barrage de Foug El Gherza (Biskra).

Benkhaled A., Rezgui Z., Sakhraoui F., 2013: Floods in Abiod Wadi Analysis of database Larhyss *Journal* 14:179-191.

Benmansour M., Ibn Majah M., Marah H., Marfak T. and Walling D.E., 2000: Use of the ¹³⁷Cs technique in soil erosion in Morocco - Case study of the Zitouna basin in the north. *Proceeding of an international Symposium on Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrients, Water and Soil management*. IAEA/FAO, p.308-315.

Bensaid A., 2006: SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Thèse de doctorat Université Joseph Fourier Grenoble (France).

Benslimane M., Hamimedi A., El Zerey W., Khaldi A., Medebal K., 2008: Analyse et suivi du phénomène de désertification en Algérie du Nord. *Vertigo, la revue en sciences de l'environnement*. 8(3) :1-9.

Berkes F. et Folke C. (éd.) 1998: *Linking Social and Ecological Systems. Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*, Cambridge, Cambridge University Press.

Bertrand G. & Bertrand C., 2002 : *Une géographie traversière : l'environnement à travers territoires et temporalité*. Paris : ARGUMENTS, 311 p.

Besson G., 2007 : Protection contre le risque des inondations. Thèse Doctorat. Institut national polytechnique de Grenoble.

Bhuyan S.J., Kalita P.K., Jansen K.A., and Barnes P.L., 2002: Soil loss predictions with three erosion simulation models. *Environmental Modelling and Software* 17, 137-146.

Boardman J., 2006: Soil erosion science (Reflections on the limitations of current approaches). *Catena* 68 (2006) 73 – 86. www.elsevier.com/locate/catena.

Boggs G., Devonport C., Evans K., Puig P., 2001: GIS-based rapid assessment of erosion risk in a small catchment in the wet/dry tropics of Australia. *Land Degrad Dev* 12:417–434

Boiffin J., 1984 : La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies, Thèse pour le titre de Docteur ingénieur, Sciences Agronomiques, INA-PG, Paris Grignon, 320 + annexes p.

Bonnet E., 2002 : Risques industriels : évaluation des vulnérabilités territoriales. Le Havre : Université du Havre, thèse de doctorat de géographie, 341 p.

Bouanani A., 2005 : Hydrologie, transport solide et modélisation, Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). Thèse de doctorat en géologie appliquée. Option Hydrogéologie, département d'hydraulique, Université de Tlemcen, 250 p.

Bou Kheir R., Girard M.C., Khawlie M. et Abadallah C., 2001 : Érosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique. *Étude et Gestion des Sols*, vol. 8, n° 4, p. 231-245.

Boukheir R., Cerdo O., et Abdallah C., 2006: Regional soil erosion risk mapping in Lebanon; *Geomorphology journal*, 13 pages.

Boulvain F., 2010 : Pétrologie sédimentaire. Des roches aux processus. Ellipses (Technosup), Paris, 259 pp. <http://www2.ulg.ac.be/geolsed/processus/processus.htm>.

Brabant P., 1992 : *La dégradation des terres en Afrique*. Afrique contemporaine, 161. Paris : Documentation française, p.90-103.

C

Chakar S., 2006 : Cartographie décisionnelle Multicritère : Formalisation et implémentation informatique. Thèse de doctorat en informatique, université paris Dauphine, 300 p.

Chandio I. & Bin Matori A., 2011: *GIS-based Multi-criteria Decision Analysis of Land Suitability for Hillside Development*, International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 2, No. 6, December 2011.

Chebbani R., Djilli K., Roose E., 1999 : Étude des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. Algérie. Bulletin Réseau Erosion. 19.85-95.

Cheggour A., 2008 : Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des SIG. Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc. Thèse de doctorat en géologie appliquée à la prospection des ressources d'énergie fossiles. Université Cadi AYYAD. Semlalia. Marrakech. Maroc.

Chauviteau C. et Vinet F., 2006: La vulnérabilité des établissements recevant du public et des entreprises face aux inondations : une méthode d'analyse appliquée dans le bassin de l'Orb (Hérault). <https://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles-eat/pdf/DG2006-PUB00020054.pdf>

Collins A.L., Zhang Y., Walling D.E., Grenfell S.E., Smith P., 2010: Tracing sediment loss from eroding farm tracks using a geochemical fingerprinting procedure combining local and genetic algorithm optimisation. *Science of The Total Environment*, 408(22), pp. 5461–5471.

D

Dabral PP., Baithuri N., Pandey A., 2008: Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resour Manag* 22:1783–1798.

Dauphiné A., 2004 : Risques et catastrophes : Observer, Spatialiser, Comprendre, Gérer, Paris, Armand Colin, 276 p.

Dauphiné A., 2004 : Réflexions préliminaires sur les vulnérabilités analytiques et synthétiques – In : Veyret, Y., Garry, G. et Meschinot de Richemond, N. (dir.): *Risques naturels et aménagement en Europe*, E. Armand Colin, Paris, pp. 68-71.

Dauphiné A., Provitolo D., 2007 : La résilience : un concept pour la gestion des risques. *Annales de géographie* n° 654, p 115-125.

Demmak A., 1982 : Etude sur l'érosion et le transport solide. Thèse de doctorat ingénieur, Université de Paris 6, France.

D'Ercole R., 1991 : Vulnérabilité des populations face au risque volcanique. *Le cas de la région du volcan Cotopaxi (Equateur)* – Thèse de doctorat, spécialité Géographie –Aménagement, Université Joseph Fourier, Grenoble, 459 p.

D'Ercole R., 1994 : Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse – *Revue de Géographie Alpine*, N°4, Tome LXXXII, pp. 87–96.

D'Ercole R., 1996 : De l'évaluation à la gestion des risques : la vulnérabilité en question – *Pangea* (Revue du CIFEG, Orléans), n° 25, pp. 5–12.

D'Ercole R., 2002 : Forces et faiblesses de la gestion des risques au Japon : une réflexion à partir de la crise liée à l'éruption du volcan Usu (Hokkaido) de 2000 – *Annales de Géographie*, n°627–628, pp.524–548.

D'Ercole R. & Metzger P., 2000 : La vulnérabilité de Quito (Equateur) face à l'activité du Guagua Pichincha. Les premières leçons d'une crise volcanique durable – *Cahiers Savoisiens de Géographie*, n°1, p. 39–52.

D'Ercole. R. & Metzger, P., 2004 : *La vulnerabilidad del distrito metropolitano de Quito* – Ed. IRD & Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 496 p.

Dhman L., Merzouk A., Sabir M. & Fenjiro I., 1997 : Cartographie des pertes en terre dues à l'érosion hydrique par utilisation d'un système d'information géographique et des images satellites. Cas du bassin versant de Telata. *Atelier de travail sur la modélisation de l'érosion hydrique par « RUSLE »*. Marrakech, 24-28 mars 1997, 52-65.

Diodato N., 2004: *Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime*; *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(1), pp. 103-107.

De Jong, S.M., 1994: *Application of reflective remote sensing for land degradation studies in Mediterranean environment*. *Nederlandse geografische studies* 177.

De Jong, S.M., S.M., Brouwer, L.C. & Riezebos, H. Th., 1998: *Erosion hazard assessment in the Peyne catchment, France*. Working paper DeMON-2 project. Dept. Physical Geography, Utrecht University.

Dumas J., 1964 : Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques *O.R.S.T.O.M. Tunis*, sér. Pédologie, 3, 307-333.

Dumas P., 2004 : Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et S.I.G. pour une gestion intégrée, Application en Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, Orléans, 402 p.

Dwivedi R. S., Ravi Sankar T., Venkataratnam L., Karale R. L., Senchaudhary S., Bhaumik K. R. and Mukharjee K. K., 1997: The inventory and monitoring of eroded lands using remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 18, n° 1, p. 107-119.

E

El Bouqdaoui K., Ezzine H., Emran A. et Zahraoui M., 2005 : Approche Ethodologique Par Télédétection Et Sig Pour L'évaluation Du Risque Potentiel D'érosion Du Bassin Versant De L'oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Workshop International Télédétection et Systèmes d'Information Géographique "Information Spatiale et Développement Durable"*. 14 au 16 novembre 2005, Rabat, Maroc.

El Garouani A., Merzouk A. et Ozer A., 2003 : Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique au pré-Rif marocain. *Hydrology of die Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003). IAHS Publ. no. 278. 2003.*

El Garouani A., Chen H., Lewis L., Tribak A., Abahrour M., 2007: Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc). *Acte des JSIRAUF, Hanoi, 6-9.*

Engel B., 2003: Estimating Soil Erosion Using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) *Using ArcView.* 7 page.

Escaffre E., 2014 : « Les sociétés face aux risques » : présentation, analyse et mise en œuvre de ce sujet d'étude en classe de seconde bac professionnel. Master métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation Lettres – histoire – géographie. P 6-48.

F

FAO, PNUD, UNESCO, 1980 : *Méthode provisoire pour l'évaluation des la dégradation des sols.* FAO, 88 pp.

Faure H., 2004 : Aménagements de protection contre les inondations en France. Thèses Doctorat – (2004).

Feick R.D. and Hall B.G., 2002: Balacing consensus and conflict with a GIS-based multiparticipant, multi-criteria decision support tool. *GeoJournal*, 53 :391–406, 2002.

Ferro V., Porto P. & Yu B., 1999: *A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia;* Hydrological Science, Journal des Sciences Hydrologiques, 44, (1), pp. 3-24.

Fistikoglu O. et Harmancioglu N.B., 2002: Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion. *Water Resources Management* 16: 447–467.

Flanagan D.C., Laflen J.M., Nearing M.A., and Norton L.D., 1998: The USDA Water Erosion Prediction Project (WEPP) model. In: Experience with Soil Erosion Models. Universitat fur Bodenkultur Wien, Vienna, pp, 53-62.

Flax Lisa K. et al., 2002: “Community vulnerability assessment tool methodology”, *Natural Hazard Review*, volume 3, nov. 2002.

Foster H. D. et Lafond G., 1988: Multiple hazard mapping: A technique for reducing loss and injury, in L.R.G. Martin; G. Lafond, Risk Assesment And Management: Emergency Planning Perspectives, University of Waterloo Press, Waterloo, 1988, pp. 3-19.

G

GavrilocS., 1992 : Étude générale de la petite et moyenne hydraulique agricole de l'Algérie du Nord. Détermination des potentialités globales par zone homogène. *Érosion. Mission 1*, Dossier 2, vol 3. A. Enhyd-Energoprojekt, Ministère de l'Equipement et du Logement, Alger.

Gendreau N., 1999 : « La méthode inondabilité », dans HUBERT G., LEDOUX B., *Le coût du risque... L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*, Paris, Presses de l'ENPC, pp. 123-127, 1999.

Gerits J.J.P., De Lima J.L.M.P et Van Den Broek T.M.W., 1990: Overland flow and erosion, in *Process Studies in Hillslope Hydrology*, édité par M.G. Anderson et T.P. Burt, 173-214, John Wiley & Sons Ltd, Angleterre. in Lajili, 1999.

Glémarec Y., 2001 : Définition d'indicateurs d'environnement pour le développement durable des hautes terres tropicales. Etude de cas de la province de Thai Nguyen au Viet Nam. Thèse de doctorat de l'Université Denis Diderot, Paris 7, 164p.

Graillot D., Londiche H., Dechomets R., Batton-Hubert M., 2001 : *Analyse multicritère spatiale pour l'identification de la vulnérabilité aux inondations*, Ecole Normale Supérieure des Mines de Saint Etienne, 12 p., 2001.

Goward, S.N., Markham, B., Dye, D.G., Dulaney, W. & Yang, J., 1991: Normalized Difference Vegetation Index Measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. *Remote Sensing of Environment*, 35, 257-277.

Guettouche, M.S 1988 : Perspective de l'application de l'équation dite "Universelle" de perte de sol Wischmeier en Algérie. Analyse théorique TST.USTHB, Alger, 49 P.

Guettouche, M. S., 1991 : Cartographie de l'érosion par télédétection satellitaire appliquée à la zone de Médéa. Thèse de doctorat, sciences de la terre.

Guettouche, M. S., 1991 : Essai d'une cartographie de l'érosion des sols par télédétection satellitaire SPOT. *Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages*, Alger.

Guettouche, M. S. et al., 2011: A Fire Risk Modelling and Spatialization by GIS. *Journal of Geographic Information System* Vol.3 No.3, July 29, 2011.

Guettouche, M. S., Derias A., 2013: Modelling of Environment Vulnerability to Forests Fires and Assessment by GIS Application on the Forests of Djelfa (Algeria). *Journal of Geographic Information System* Vol.5 No.1, February 21, 2013.

Guitouni A., Martel J. M. and Vincke Ph., 1999 : Un cadre de référence pour le choix d'une procédure d'agrégation multicritère. Document de Travail 1999-013, Centre de recherche sur l'aide à l'évaluation et à la décision dans les organisations (CRAEDO), Faculté des Sciences de l'Administration, Université Laval, 1999b. 24 pages.

Gutman, G., Ignatov, A., 1998: The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *International Journal of Remote Sensing* 19 (8), 1533-1543.

H

Hancock G. R., Lowry J. B. C., Moliere D. R. and Evans K. G., 2008: An evaluation of an enhanced soil erosion and landscape evolution model: a case study assessment of the former Nabarlek

uranium mine, Northern Territory, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, n° 33, p. 2045-2063.

Henensal P., 1986 : L'érosion externe des sols par l'eau. Approche quantitative et mécanismes. Rapport de recherches Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, n° 138, 75 p.

Herwijnen M. and van Rietveld P., 1999: Multicriteria decision-making and analysis: A geographic information sciences approach, chapter spatial dimensions in multicriteria analysis, pages 77–99. Ashgate, New York, 1999.

Hickey R., 2000: Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography*, v. 29, no.1, pp.1 - 8.

Hostache R., 2006 : Analyse d'images satellitaires d'inondation pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique. Thèse de Doctorat, Ecole nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêt- Montpellier.

Hoyos N., 2005: Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena* 63(1):85–108

Huet P. et al., 2003 : Retour d'expérience des crues de septembre 2002 dans les départements du Gard, de l'Hérault, du Vaucluse, des Bouches du Rhône, de l'Ardèche et de la Drôme. Rapport IGE (Inspection Générale de l'Environnement), 133p. Plus annexes A et B., juin 2003. <http://www.environnement.gouv.fr/infoprati/Publications/publi-ige.htm>.

J

Jankowski P., Andrienko N. and Andrienko G., 2001: Map-centered exploratory approach to multiple criteria spatial decision making. *International Journal of Geographical Information Science*, 15(2) :101–127, 2001.

Jasrotia AS., Singh R., 2006: Modeling runoff and soil erosion in a catchment area, using the GIS, in the Himalayan region, India. *Environ Geol* 51:29–37.

Jiang H. and Esatman J.R., 2000: Applications of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2) :173–184, 2000.

Joerin F., 1997 : Décider sur le territoire, Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère. Thèse de doctorat, École polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 220 p.

Julie B., 2006 : Analyse fréquentielle multi variée de la pointe du volume et de la durée de la crue. Thèse doctorat- Faculté des sciences et génie Université Laval Québec.

K

Keeney R.L., 1992: Valued-focused thinking (A path to creative decision). Harvard University Press, Cambridge, USA, 1992.

King C., Delront G., 1993: Spatial assessment of erosion: contribution of remote sensing, a review. *Remote Sensing Review*; 7: 223-32.

Kinnell P.I.A., 2001: Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. *Soil and Tillage Research*. 58:11-17.

Koo B.K. and O'Connell P.E., 2006: An integrated modelling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution: 1. Framework and methodology. *International Journal of Science of the Total Environment*, 359:1–16, 2006.

Kouri L., Vogt H., et Gomer D., 1997 : Analyse des processus d'érosion hydrique linéaire en terrain marneux, bassin de l'Oued Mina, Tell oranais, Algérie. *ORSTOM Bulletin Réseau Erosion* 17 : 64-73.

Krishna B. KC., 2009: Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and GIS: a case of the Upper Nam Wa watershed, Nan Province, Thailand. *Environ Geol* 57:695–705.

Kumar A. B., Dwivedi R. S. and Tiwari K.N., 1996: The effects of image scale on delimitation of eroded land using remote sensing data. *Journal International of Remote Sensing*, vol. 17, n° 11, p. 2135-2143.

Kumar S., Kumar A., Saha S. K. and Kumar A., 2008: Stereo Cartosat-1 Satellite Remote Sensing Data in Assessing Topographic Potential of Soil Erosion. *Journal Indian Social Remote Sensing*, vol. 36, p. 159-165.

L

Laaribi A., 2000 : *SIG* and analyse multicritère. Hermès Sciences Publications, Paris, 2000.

Laborde J., 2000 : *Eléments d'hydrologie de surface*. Editions CNRS.

Laganier R., Scarwell H.J., 2003 : Risques hydrologiques et territoires. *Questions de Géographie : les Risques*, ouvrage collectif coordonné par MORINIAUX V., Editions du Temps, Questions de Géographie, pp. 106-137, 2003

Lahlou Y., 1997 : Erosion dans le bassin versant du barrage sidi Driss: Méthodologie d'approche et quantification (cas du bassin versant Masser). Diplôme d'Etudes Supérieures. Fac. Sc. Rabat (Maroc), 161p.

Lajili L., 1999 : L'érosion hydrique en zone semi-aride tunisienne : modélisation, estimation des paramètres et application à l'aménagement anti-érosif. Thèse de doctorat, université GENT.215p.

Lamachère J. M. et Guillet F., 1996 : Télédétection, états de surface et cartographie des risques d'érosion en zone soudano-sahélienne (Bassin versant de Samniwéogo, province du Yatenga, Burkina Faso, *Réseau Érosion*, vol. 16, p. 375-390.

Laouina A., Nafaa R., Chaker M., 2000: Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de ksar el kebir, Maroc. *Bulletin Réseau Erosion*.19.p18.

Le Bissonnais Y., Dubreuil N., Daroussin J., Gorce M., 2004 : Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale. Exemple du département de l'Aisne", *Étude et Gestion des Sols*, vol. 11, 3, 307-321.

Lee S., 2004: Soil erosion assessment and its verification using the universal soil loss equation and geographic information system: a case study at Boun, Korea. *Environ Geol* 45:457–465.

Leguedois S., Planchon O. et Legout C., 2005: Splash projection distance for aggregated soils: theory and experiments. *Soil Science Society of America Journal* 69, 30-37.

Levine N., 2006: Crime mapping and the Crimestat program, *Geographical Analysis*, Vol.38, No.1, 41-56.

Lim K.J., Myung Sagong M., Engel B.A., Tang Z., Choi J., Kim K., 2005: GIS-based sediment assessment tool. *Catena* 64:61–80

Liu, B.Y., Nearing, M.A., Risse, L.M., 1994: Slope gradient effects on soil loss for steep slopes. *Transactions of ASAE* 37 (6), 1835–1840.

Liu, B.Y., Xie, Y., Zhang, K.L., 2001: Soil Erosion Prediction Model. China Science and Technology Press, Beijing, pp. 163–200 (in Chinese).

Lu D., Li G., Valladares G.S., Batistella M., 2004: Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degrad Dev* 15:499–512.

Luneau G., 2006 : La spatialisation de l'aléa érosion des sols en Nouvelle-Calédonie. Stage de master 2, Université de Toulouse, Toulouse, 75 p.

M

Mabit L., Laverdière M. R., Bernard C., 2002 : L'érosion hydrique : méthodes et études de cas dans le Nord de la France. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*. Volume 11, Numéro 3, 195-206.

Mahrezi, M. K., 2010 : Forêts, géosystème et dynamique du milieu : Le cas de l'Aurès. Thèse de doctorat en aménagement du territoire, option géographie physique. Université des frères Mentouri – Constantine.

Malczewski J., 1996: A GIS-based approach to multiple criteria group decision making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8):955–971, 1996.

Malczewski J., 1999: GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, New York, 1999.

Malczewski J., 2000: On the use of weighted linear combination method in raster GIS: Common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1):5–22, 2000.

Malczewski J., Chapman T., Flegel C., Walters D., Shrubsole D., and Healy M.A., 2003: Gis multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA) : Case study of developing watershed management strategies. *Environment and Planning A*, 35:1769–1784, 2003.

Malczewski J., 2004: GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62:3–65, 2004.

Malczewski J. and Rinner C., 2005: Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: A case study of residential quality evaluation. *Journal of Geographical Systems*, 7:249–468, 2005.

Malczewski J., 2006: A GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7) :703–726, 2006.

Mané L., 2002 : La télédétection et les SIG : Outils pour le Suivi-Evaluation à la Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta et Vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémé (SAED St-Louis/SENEGAL), BSA Ingegnerie. (éditeur) : Télédétection, Cartographie et Systèmes d'Informations Géographiques au service du développement, Actes du séminaire régional, Nouakchott, 4p.

Manche Y., 2000 : Analyse spatiale et mise en place de système d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de montagnes face aux risques naturels. Thèse en géographie. Université Joseph Fourier-Grenoble I. p176.

Mancini M., 2008: Parametrizzazione del modello muskingum-cuge per stati successivi di moto permanente. Tesi di Laurea, *Politecnico di Milano*.

Manrique L.A., 1988: Land Erodibility Assessment Methodology (LEAM), using soil survey data based on soil taxonomy. University of Hawaii, Editorial and publication shop, Honolulu, Hawaii USA, 28p.

Mathieu J.P. (1991) : Dictionnaire de physique, Paris, Masson, 567 p.

Mazour M., 2004 : Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser – Tlemcen”, *Thèse de Doctorat D'Etat*, Université de Tlemcen, 184, 131 pp.

McCool, D.K., Brown, L.C., Foster, G.R., et al., 1989: Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of ASAE* 32 (5), 1571–1576.

McGillivray C.M.I & Donovan S.K., 2007: *A Relative Potential Erosion Detection (PED) model for the upper Buff Bay catchment*, parish of Portland, Jamaica: A Geographical Information System application; *Scripta Geologica*, Special Issue, 6, pp.1-202.

Mebarki A., 2004 : Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Université Mentouri –Constantine.

Mebarki A., 2006 : *Quantification et Cartographie Automatique des Bilans Hydrologiques en Zone Semi-aride: Les Bassins de l'Algérie orientale*, 14th International Soil Conservation Organization Conference, Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, p 1-5.

Meddi M., , Khaldi A. et Meddi H., 1998: Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes (Proceedings of a symposium held at Vienna, July 1998). *IAHS Publ.* no. 249.

Millward AA., Mersey JE., 1999: Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena* 38(2):109–129.

Mlaouhi A., 2003 : Climat et érosion par ravinement dans les bassins versants des oueds Maïz et Redjel (Haffouz) Tunisie centrale. *Thèse de doctorat*, Univ. Aix-Marseille I, 2003, 221 p.

Molines G., 2001: L'information géographique. SEDES, volume 65 Issue 2 pp. 178-184.

Morschel J. et Fox D., 2004 : Une méthode de cartographie du risque érosif: application aux collines du Terrefort lauragais ; mappemonde 76 (4-2004).

Morsli, B., Halitim A., Roose E., 2000: Effet des systèmes de gestion Sur le ruissellement, l'érosion et le stock du Carbone dans les monts de beni-chougrane, Algerie. *Bulletin de l'ORSTOM* 18.

Morsli B., Meddi M., Boukhari A., 2002 : Etude de ruissellement et du transport solide sur parcelle expérimentale. Utilisation de la simulation des pluies. *Actes du Séminaire sur la gestion de l'eau. Univ. Mascara Algérie*, 2002 : 80-88.

Moore I. & Burch G., 1986: *Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation*; Soil Science Society of America Journal, 50, pp. 1294-1298.

N

Nasir A., Uchida K. et Ashraf M., 2006: Estimation of Soil Erosion by Using RUSLE and GIS for Small Mountainous Watersheds in Pakistan. *Pakistan Journal of Water Resources, Vol.10(1) January-June 2006/11*.

Nearing M. A., Foster G. R., Lane L. J. and Finkner S. C., 1989: A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. *Transactions of the ASAE*, vol. 32, p. 1587-1593.

Nouira A., Sayouty E.H. and Benmansour M., 2003: Use of ¹³⁷Cs technique for soil erosion study at (Casablanca region) agricultural land in Morocco. *Journal of Environmental Radioactivity*, n 68, p. 11-26.

O

Ouattara T., 2002 : Modélisation de l'érosion hydrique en milieu semi-aride de forte énergie de relief à partir de données de télédétection : application à la Bolivie. Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 170 p.

P

Payet E., Dumas P., et Pennober G., 2011 : Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du Sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. *Revue vertigo*, Volume 11 n°3, décembre 2011.

Phua M.H. and Minowa M., 2005: A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: A case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. *Landscape and Urban Planning*, 71(2-4):207-222, 2005.

Prasannakumar V., Vijith H., S.Abinod, Geetha N., 2011: Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers* 3(2) (2012) 209-215.

Propeck-Z. E., Ravenel L., Saint-Gérard Th., 2002: Cartographie des risqué technologiques majeurs: nouvelles perspectives avec les SIG. Mappemonde n° 65 (1-2002), p. 17-21. <http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/M102/Propeck-Ravenel.pdf>

Propeck-Z. E., Saint-Gérard T., Bonnet E., 2007: Probabilités, risques et gestion territorial: champs d'action des PPRT. Géocarrefour vol. 82, n° 1-2, p. 65-76. <http://geocarrefour.revues.org/index1473.html>

Propeck-Z. E., Saint-Gérard T., Bonnet E., 2009: Nouvelles techniques ergonomiques de la cartographie des risques industriels. Mappemende 96 (2009.4) <http://mappemonde.mgm.fr/num24/articles/art09402.html>

R

Rebillard P., Dallemand J. F., Reichert P., Lichtenegger J. et Souissi A., 1992 : Utilisation de données micro-ondes et optiques pour la cartographie de l'utilisation du sol en Tunisie centrale. *Photo-interprétation*, n° 92-1, p. 37-39.

Reghaezza-Zitt M., 2011 : La France dans ses territoires, Armand Colin, Paris, 244 p.

Remini B., 2000 : L'envasement des barrages en Bull Réseau érosion, vol. 20, 165-171.

Remini B., Avenard J., Kettab A., 2003 : Envasement des barrages. Les Editions CEDOC.

Remini B., Hallouche W., 2005 : Prévission de l'envasement des barrages du Maghreb. Larhyss journal, 4 : 69-80.

Remini B., Hallouche W., Achour B., 2009 : L'Algérie : Plus d'un siècle de désenvasement des barrages. L'état des ressources en eau du Maghreb en 2009. UNESCO. p: 123-142.

Renard K.G. & Freimund J.R., 1994: *Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE*; Journal of Hydrology, 174, pp. 287-306.

Renard K. G., Foster G. R., Weesies G. A., McCool D. K. and Yoder D. C., 1997: Predicting soil erosion by water-a-guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, Handbook, 404 p.

Renou C., 2007: Axe IV-GIS Curare. Interfaçage SIG. Compte-rendu d'activités 2006. P 7-34.

Rezgui Z., 2013 : Caractérisation des crues d'oued Labiod au droit de la retenue du barrage de Foum el Gherza Biskra. Université Mohamed Khider Biskra, Algérie.

Ritchie, J.C. and J.R, Mchenry, 1990: Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. J Environ Qual 1990; 19: 215-33.

Robinson, G. W., 1922: *A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions*. Jour. Agr. Sci. 12: [3061-321, illus.

Rondeaux, G., Steven, M. & Baret, F., 1996: Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 55, 95-107.

Roose E., 1987 : *Evolution des Stratégies de lutte antiérosive en Algérie*, Bulletin 7 Réseau Erosion: 91-96.

Roose E., 1994 : FAO. Bulletin pédologique de la FAO 70. Division de la mise en valeur des terres et des eaux.<http://www.fao.org/docrep/t1765e/t1765e01.htm>

Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R., Mazour M., Morsli B., 1996 : Recherches sur la réduction des risques d'érosion par la GCES en moyenne montagne méditerranéenne algérienne", *Ch. Orstom, Seri. Pédol.*, vol XXXVIII, no 2, 289-307.

Roose E, Smolikowski B., 1997 : Comparaison de trois techniques de mesure de l'infiltration sur fortes pentes : monocylindre et 2 simulateurs de pluies. Application à un versant de la vallée de Godim au Cap Vert. *Bull Réseau Erosion*. Montpellier : ORSTOM, 17: 282-296.

Roose E., De Noni G., Lamachère J.M., 1998 : L'érosion à l'ORSTOM: 40 ans de recherches multidisciplinaires. Bulletin Réseau Erosion, 1998, p. 54-66.

Roose E., De Noni G., 2004: Research on water erosion in Africa. Review and perspectives. Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 15, Number 1, 121-9.

Roqueplo P., 1997 : *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique*. Paris : INRA éditions. 111 p.

Roux H., 2004 : Estimation de paramètres en hydraulique fluviale, à partir de données caractéristiques de l'imagerie aérienne. Thèse Doctorat. INP Toulouse.

Roy B., 1985 : Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Economica, Paris, 1985.

Roy B. and Vanderpooten D., 1996: The European school of MCDM: Emergence, basic features and current works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 5(1):22-38, 1996.

S

Saaty T.L., 1980: The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York, 1980.

Saaty T. L., 2004: Mathematical Methods of Operations Research (Dover Publications, Mineola, 2004), pp. 415-447.

Saby N., 1998: Application à la cartographie de l'aléa érosif sur une zone du sillon inter-andin (bassin de Quito-Equateur). Mémoire de fin d'études. Ecole nationale supérieure agronomique de Rennes.

Sadiki A., Bouhlassa S., Auajjar J., Faleh A. et Macaire J., 2004 : Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : *cas du bassin versant de l'oued Boussouab*. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 2004, n°26, p. 69-79.

Saint-Gérand T., 2002 : « SIG : Structures conceptuelles pour l'analyse spatiale ». Thèse d'HDR, Université de Rouen.

Saint-Gérand T., 2005 : Comprendre pour mesurer ou mesurer pour comprendre ? HBDS : une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel. In GUERMOND Y., dir.,

Modélisation en géographie : déterminismes et complexités. Paris : Hermès science publications, coll. « IGET, série Aménagement et gestion du territoire », 389 p. ISBN : 2-7462-1132-7.

St-Onge, B., 2005 : Structures des données appliquées aux SIG. Notes de cours 116 p. Département de géographie Université du Québec à Montréal

Scarwell, H.J et Laganier, R., 2004 : *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires.* Presses Universitaires du Septentrion, 81 p.

Schoeneich P. & Busset–Henchoz M.C., 1998 : Les Ormonans et les Leysenouds face aux risques naturels. Représentation des risques naturels et stratégies d'occupation du territoire dans la vallée des Ormonts (Préalpes vaudoises) – In : *Rapport final PNR 31*, 228p, 62 fig. et photos, Vdf Hochschulverlag, EPF Zurich, Suisse.

Sogreah, 1983 : Erosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique. Rap. Proj. RAB/80/011/PNUD.

Solberg R., 1992: Monitoring soil erosion in agricultural fields by ERS-1 SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 5, p. 1356-1359.

SONATRACH, 2000 : *Etude hydrogéologique de la vallée d'Oued El Abiod.* Division opérations, Hassi Messaoud (Aurès, W Batna) p 44.

Strager M.P. and Rosenberger S. R.S., 2006: Incorporating stakeholder preferences for land conservation : Weights and measures in spatial MCA. *Ecological Economics*, 57(4) :627–639, 2006.

Stone R.P., & Hilborn D., 2000: Equation universelle des pertes en terre (USLE).Soil Erosion. *Water Resources Management* 16: 447–467, 2002.

T

Taabni M. &Kouti A., 1993 : *Stratégies de conservation, mise en oeuvre et réaction du milieu et des paysages dans l'Ouest algérien*, Bulletin Réseau Erosion, 13: 215-329.

Talbi O., Mendas A., Bensaid A., Trache M. A., 2002 : Mise en place d'un système d'information géographique pour le suivi et la quantification de l'érosion hydrique: application au bassin versant de l'Isser (Tlemcen)", *Sécheresse*, vol. 13, no 3, 175-179.

Talon A., Boissier D., Peyras L., 2009: Etude de la sûreté de fonctionnement d'un aménagement hydraulique de génie civil : application à des ouvrages de protection contre les inondations de la ville de Nîmes.

Tappin R G R, Van Duivendijk J e, Haque M., 1998: The design and construction of the jamuna, Bridge in Bangladesh Dans: Parc Institution of Civil Engineers, Londres.

Terranova O., Antronico L., Coscarelli R., Iaquina P., 2009: Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). *Geomorphology journal* 112 (2009) 228–245. www.elsevier.com/locate/geomorph.

Tian YC., Zhou YM., Wu BF., Zhou WF., 2009: Risk assessment of water soil erosion in upper basin of Miyun Reservoir, Beijing, China. *Environ Geol* 57:937–942

Tidiane O., Dubois J. M. M. et Hugh Q., 2003 : MEH-SAFER : Un nouveau modèle d'érosion hydrique pour les milieux semi-arides de forte énergie à partir d'images multisources et de données auxiliaires. *Téledétection*, vol. 3., n° 2-3-4, p. 151-163.

Tixeront, J. 1960 : Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. In IAHS Publications. 53 : 26-42.

Tixier et al., 2002: Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Volume 15, Issue 4, July 2002, Pages 291–303.

Thouret J.C. & D'Ercole R., 1996 : Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales – *Cahiers des Sciences humaines*, 32 (2), pp. 407–422.

Thouret J.C. & Leone F., 2003 : Aléas, vulnérabilités et gestion des risques naturels – In : Questions de Géographie. Les Risques (V. Moriniaux, dir.) – Editions Du Temps, Paris, pp. 37–70.

Touaïbia B., 2000 : Erosion-Transport solide-Envasement des barrages. Cas du bassin versant de l'oued Mina. Thèse de doctorat. INA. Algérie.

Touazi M., Laborde J.P., 2004 : Modélisation Pluie- Débit à l'échelle annuelle en Algérie du Nord. *Revue des Sciences de l'Eau*.17/4 :503-516.

Toumi S., 2013 : Application des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse de doctorat en hydraulique. Ecole nationale supérieure d'hydraulique.

Tribak A., EL Garouani A., Etabhrou M. 2006 : Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans un espace montagnard marocain : cas du sous bassin versant de l'Oued Tleta, Prérif oriental. In : *ISCO* - Marrakech:1-10.

V

Van Leeuwen W.J.D. & Sammons G., 2003: *Seasonal Land Degradation Risk Assessment for Arizona*; Proceedings of the 30th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Honolulu, Hawaii November 10-14, pp 378.

Veyret Y., Reghezza M., 2006: Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité. *Annales des Mines, Responsabilité et Environnement* n° 43.

Vrieling A., 2005: Satellite remote sensing for water erosion assesement ;*Catena*, 17 pages.

W

Wahlstrom E., Loague K., and Kyriakidis P., 1999: Insular Scale Hydrologic Response: Kaho'olawe, Hawaii. Hydrologic response: Kaho'olawe, Hwaii. *Journal of Environmental Quality*, vol, 28, p. 481-492.

Walling D.E. and Quine T.A., 1991: Use of Cs-137 measurements to investigate soil erosion on arable fields in the UK: potential applications and limitations. *J Sil Sci* 1991 ; 42 ; 147-65.

Walling D.E. and Quine T.A., 1993: Use of Caesium as a tracer of Erosion and Sedimentation : Handbook for the application of the Caesium -137 Technique. Dep. Of Geography, University of Exeter.

Wang G., Gertner G., Fang S., Anderson AB., 2003: Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogramm Eng Remote Sens* 69:889–898.

Weinmann, P.E., and Laurenson, E.M., 1979: "Approximate flood routing methods: A review." *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol.105, HY12, Dec, 1979, 1521-1536.

Williams J.R., Berndt H.D., 1977: Sediment yield predicting based on watershed hydrology. *Trans. Am Soc Agric Eng* 20(6): 1100-1104.

Wischmeier W.H. & Smith D.D., 1978: *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*; The USDA Agricultural Handbook No. 53.

X

Xu Y., Zhou Q., Li S., 2005: An analysis on spatial–temporal distribution of rainfall erosivity in Guizhou Province. *Bull Soil Water Conserv* 4:11–14

Y

Yue-Qing X., Jian P., and Xiao-mei S., 2009: Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China. *Erosion Geology*, vol. 56, p. 1643-1652.

Yue-qing X., Jian P., Xiao-mei S., 2009: Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao river watershed, Guizhou Province, China. *Environ Geol* 56:1643–1652

Yuksel A., Gundogan R., Akay AE., 2008: Using the remote sensing and GIS technology for erosion risk mapping of Kartalkaya Dam watershed in Kahramanmaras, Turkey. *Sensors* 8:4851–4865

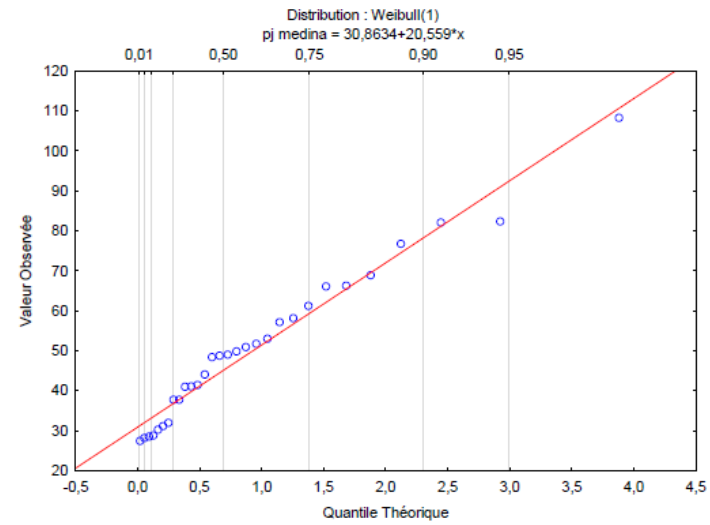
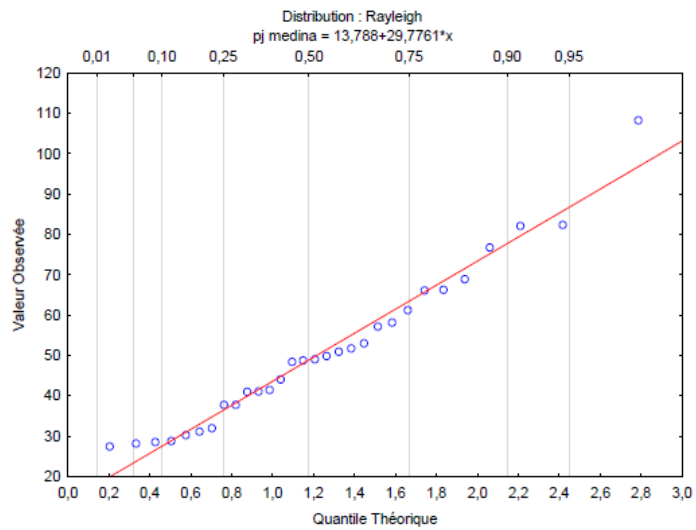
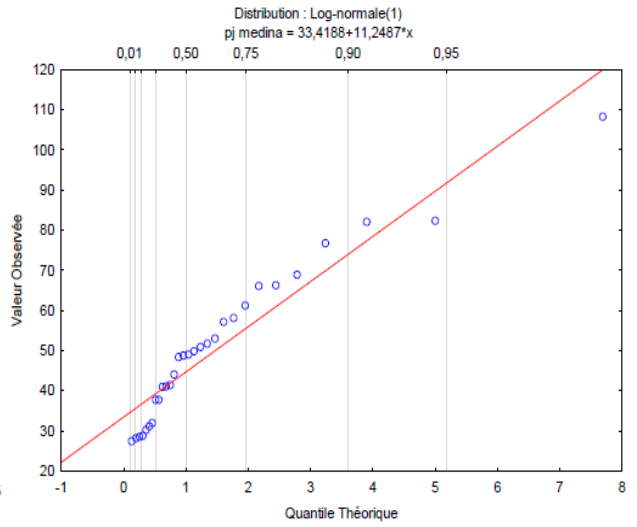
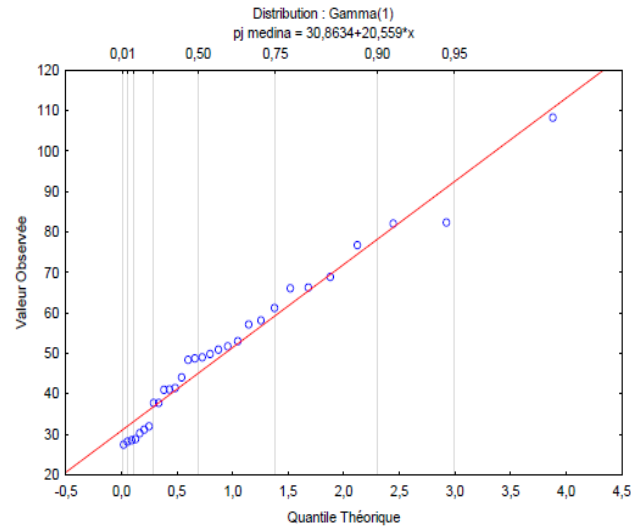
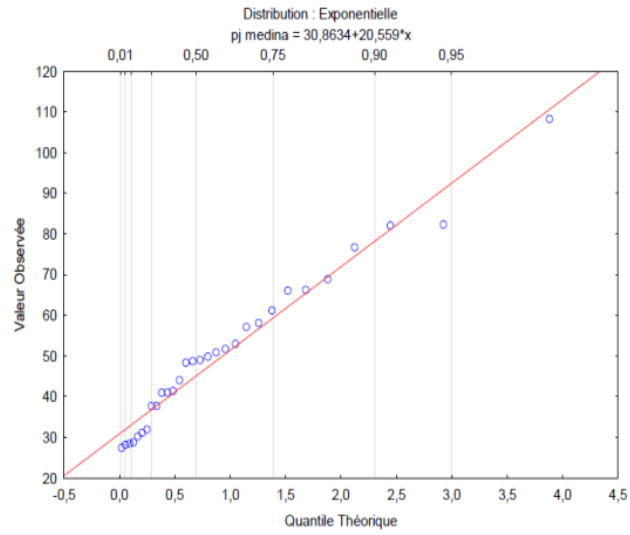
Z

Zouagui A., 2010 : Application des techniques isotopiques (¹³⁷Cs) à l'estimation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Moulay Bouchta, Rif occidental, Maroc. Mémoire de 3ème cycle, ENFI. 81 pp.

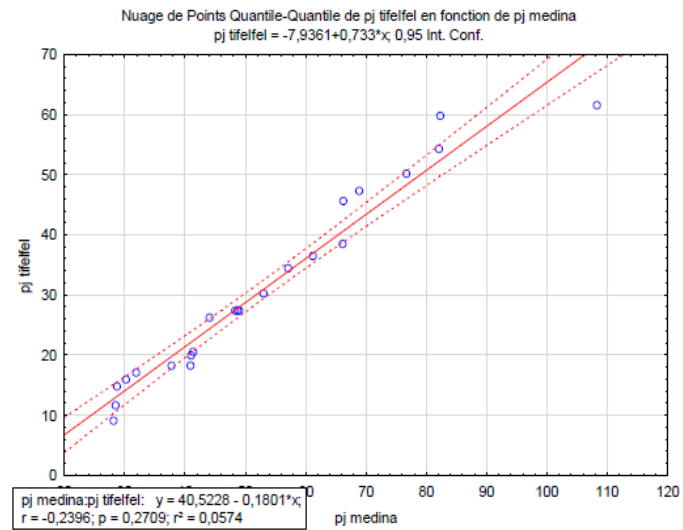
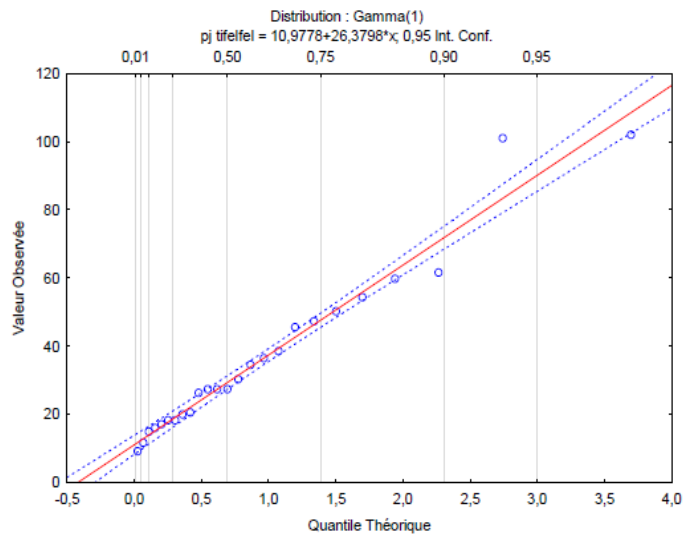
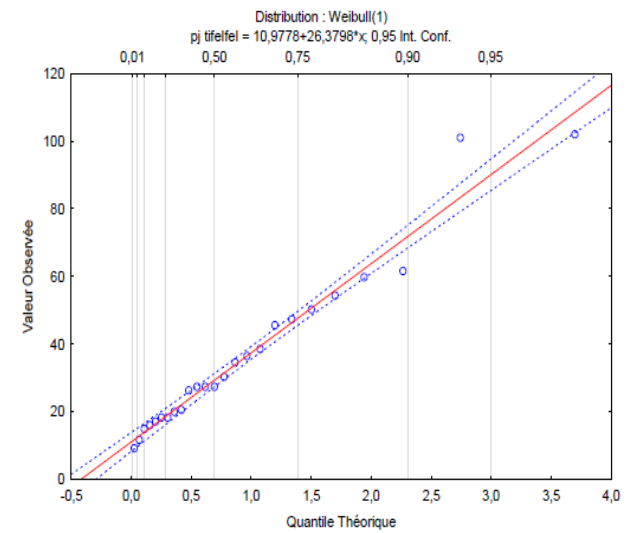
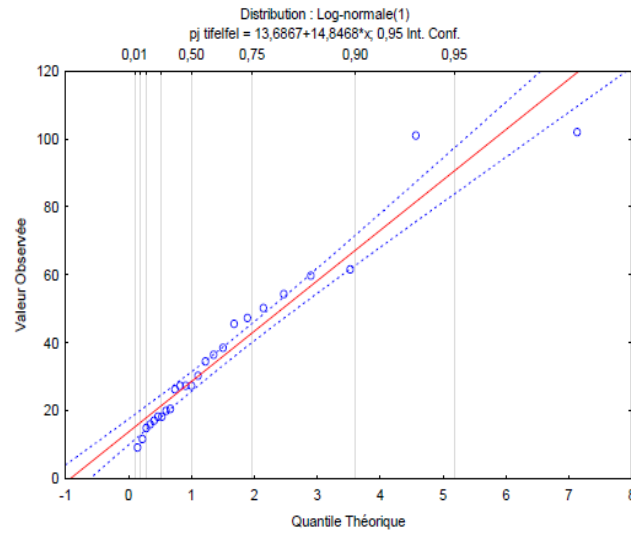
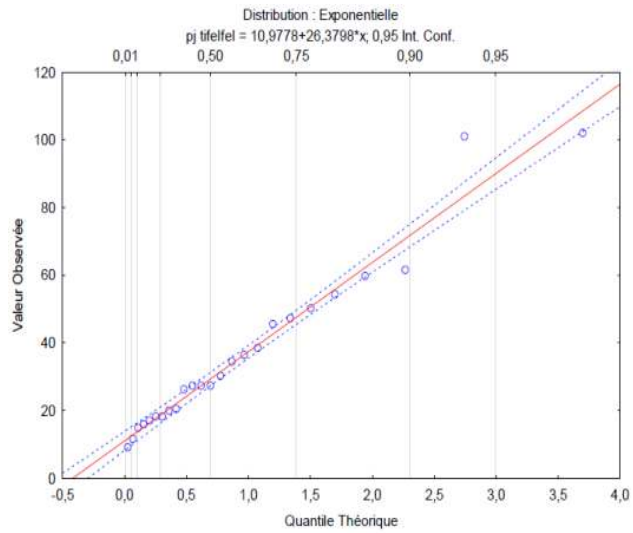
Zouagui A. et al., 2012 : Application de la technique de ¹³⁷Cs à l'estimation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Moulay Bouchta, Rif occidental, Maroc. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (2012) 1:53-58.

ANNEXES

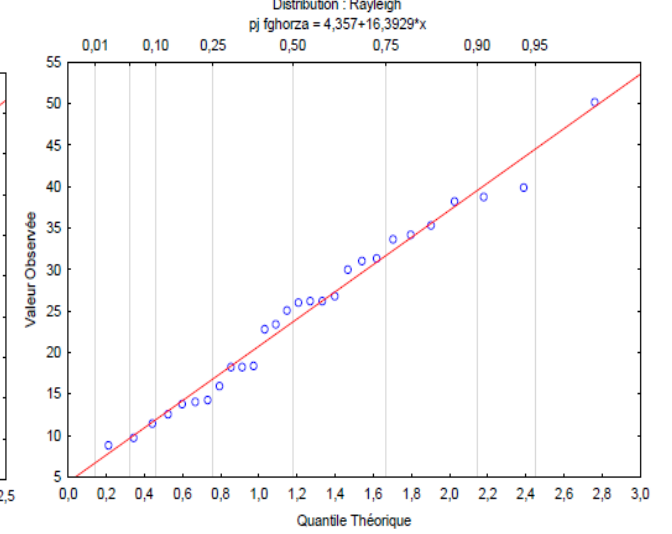
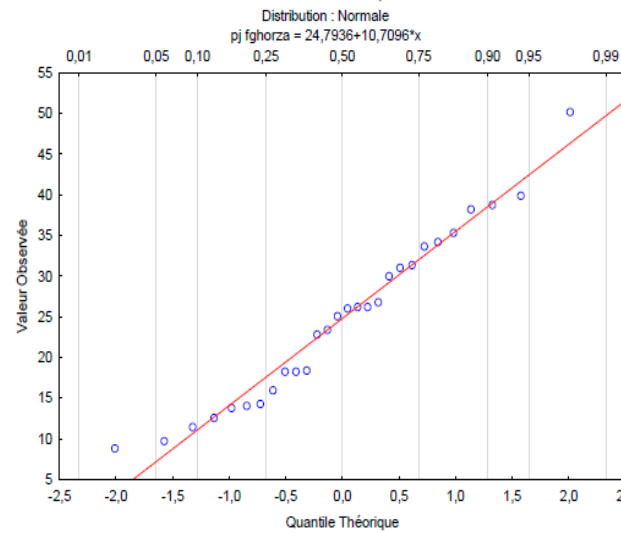
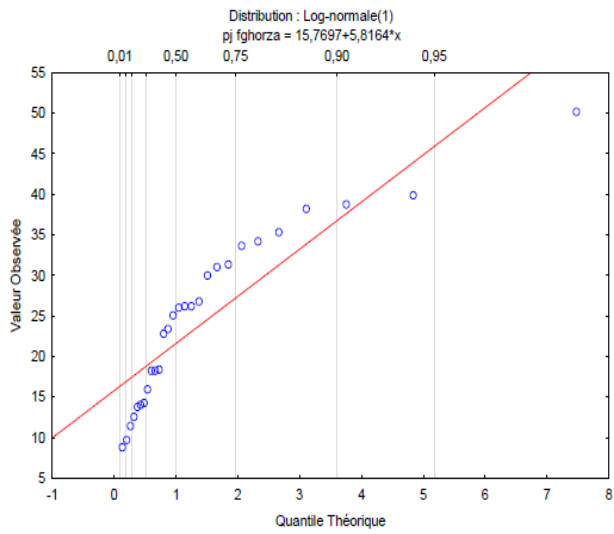
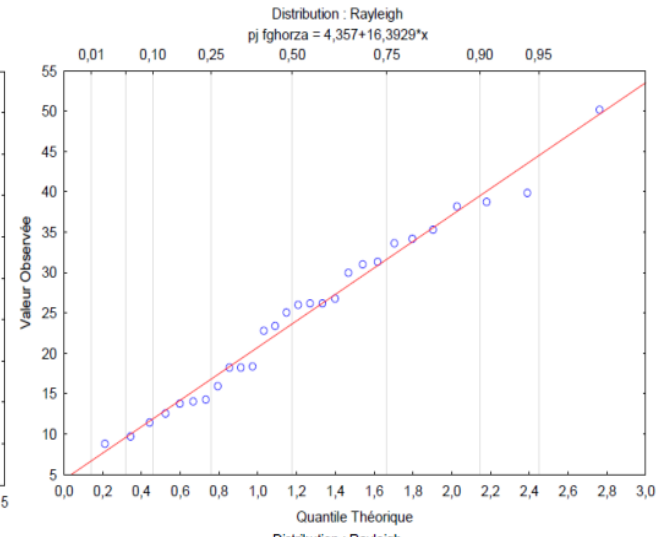
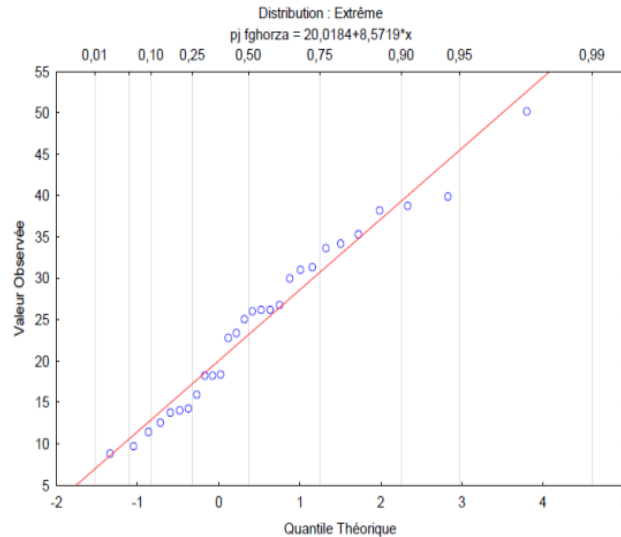
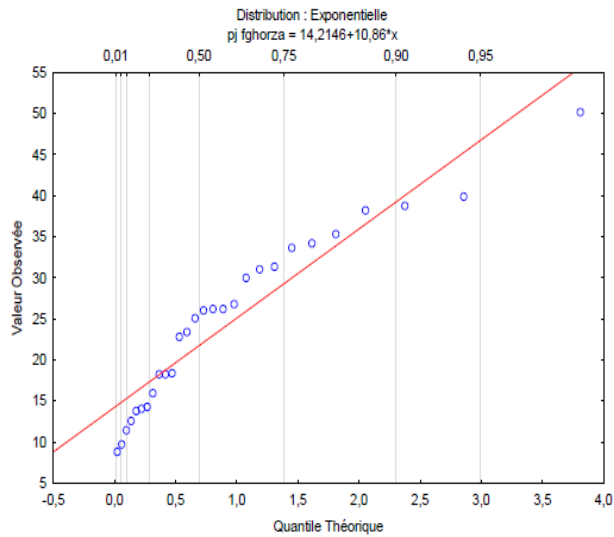
ANNEXES 1 : AJUSTEMENT DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES DE MEDINA AUX DIFFERENTES LOIS STATISTIQUES



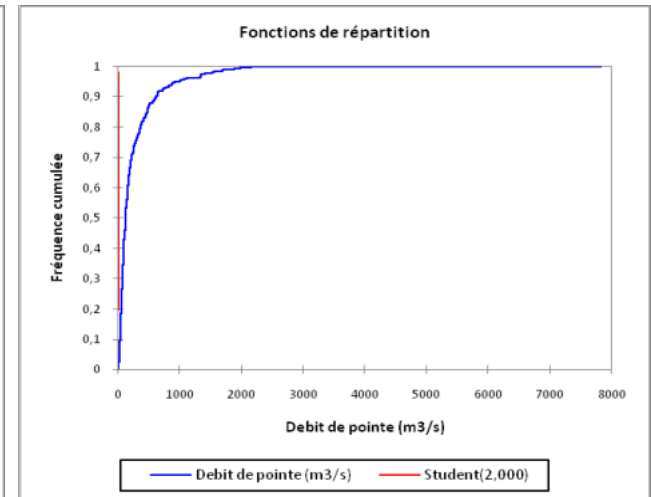
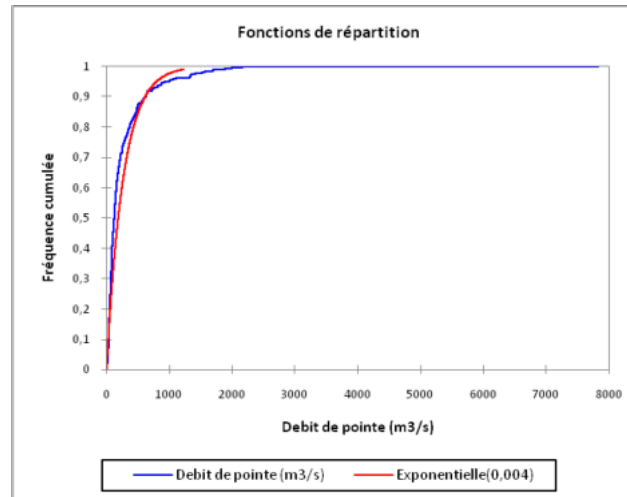
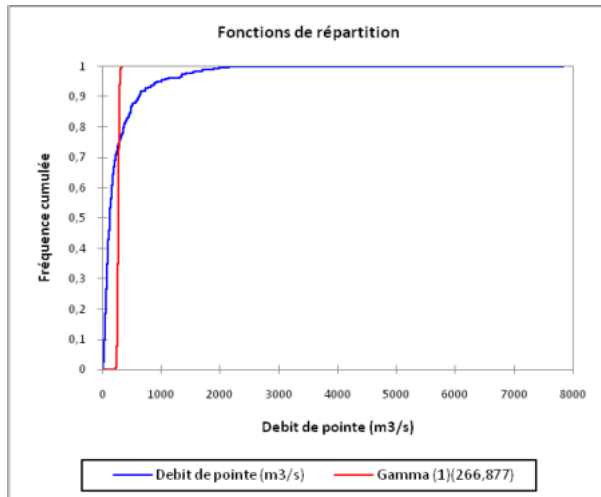
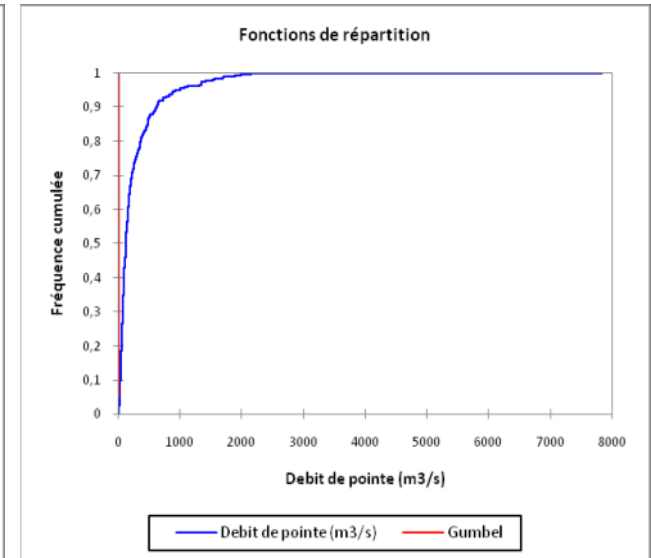
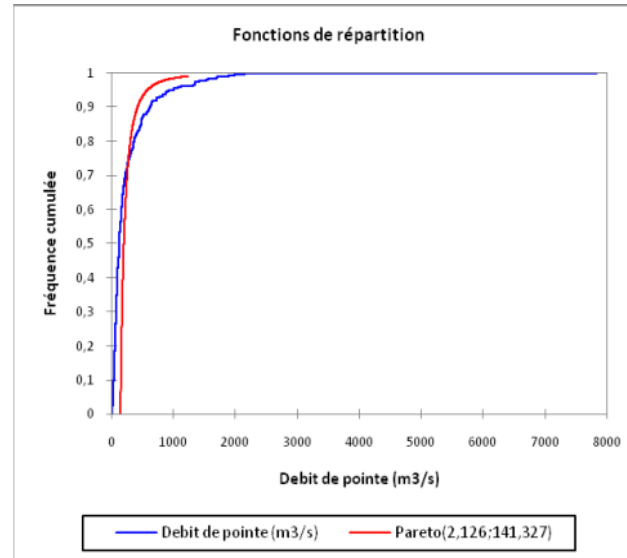
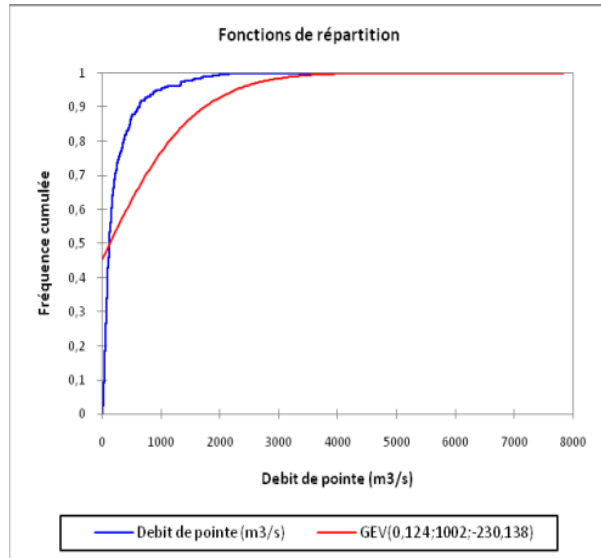
ANNEXES 2 : AJUSTEMENT DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES DE TIFELFEL AUX DIFFERENTES LOIS STATISTIQUES



ANNEXES 3 : AJUSTEMENT DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES DE FOUM EL GHERZA AUX DIFFERENTES LOIS STATISTIQUES



ANNEXES 4 : AJUSTEMENT DES DEBITS MAX DE FOU M EL GHERZA AUX DIFFERENTES LOIS STATISTIQUES



ANNEXES 5 : LES PARAMETRES DE BLANEY ET CRIDLE POUR CALCULER L'EVAPOTRANSPIRATION

Mois	Latitude nord					Latitude sud			
	50 °	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°
Janvier	5.94	6.76	7.29	7.75	8.13	8.49	8.86	9.28	9.70
Février	6.35	6.75	7.05	7.31	7.53	7.73	7.92	8.13	8.39
Mars	8.23	8.32	8.37	8.41	8.45	8.49	8.52	8.57	8.59
Avril	9.22	8.93	8.71	8.52	8.36	8.21	8.07	7.89	7.69
Mai	10.70	10.01	9.56	9.16	8.81	8.49	8.19	7.84	7.45
Juin	10.93	10.07	9.49	9.01	8.60	8.21	7.81	7.40	6.95
Juillet	10.97	10.21	9.66	9.25	8.85	8.49	8.13	7.75	7.29
Aout	10.03	9.54	9.21	8.94	8.71	8.49	8.27	8.04	7.76
Septembre	8.46	8.39	8.34	8.29	8.25	8.21	8.18	8.13	8.08
Octobre	7.45	7.76	7.99	8.17	8.33	8.49	8.62	8.78	8.99
Novembre	6.08	6.73	7.20	7.57	7.92	8.21	8.53	8.87	9.25
Décembre	5.64	6.53	7.13	7.62	8.06	8.49	8.90	9.32	9.86

Cultures	Valeur de K	
	Zone côtière	Zone aride
Cultures maraichères	0.60	
Tomates	0.70	
Haricots	0.60	0.70
Pomme de terre	0.65	0.75
Betteraves à sucre	0.65	0.75
Maïs	0.75	0.85
Blé, orge, avoine	0.75	0.85
Sorghos	0.70	
Luzerne	0.80	0.85
Trèfle blanc	0.80	0.85
Pâturages	0.75	
Arbres fruitiers à feuilles caduques	0.60	0.70
Citrons	0.50	0.65

ANNEXES 6 : ABAQUE DE CORRECTION DE L'ETP EN FONCTION DE LA LATITUDE

<i>Lat. N</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
<i>0</i>	<i>1.04</i>	<i>0.94</i>	<i>1.04</i>	<i>1.01</i>	<i>1.04</i>	<i>1.01</i>	<i>1.04</i>	<i>1.04</i>	<i>1.01</i>	<i>1.04</i>	<i>1.01</i>	<i>1.04</i>
<i>5</i>	<i>1.02</i>	<i>0.93</i>	<i>1.03</i>	<i>1.02</i>	<i>1.05</i>	<i>1.03</i>	<i>1.06</i>	<i>1.05</i>	<i>1.01</i>	<i>1.03</i>	<i>0.99</i>	<i>1.02</i>
<i>10</i>	<i>1.00</i>	<i>0.91</i>	<i>1.03</i>	<i>1.03</i>	<i>1.08</i>	<i>1.06</i>	<i>1.08</i>	<i>1.07</i>	<i>1.02</i>	<i>1.02</i>	<i>0.98</i>	<i>0.99</i>
<i>15</i>	<i>0.97</i>	<i>0.91</i>	<i>1.03</i>	<i>1.04</i>	<i>1.11</i>	<i>1.08</i>	<i>1.12</i>	<i>1.08</i>	<i>1.02</i>	<i>1.01</i>	<i>0.95</i>	<i>0.97</i>
<i>20</i>	<i>0.95</i>	<i>0.90</i>	<i>1.03</i>	<i>1.05</i>	<i>1.13</i>	<i>1.11</i>	<i>1.14</i>	<i>1.11</i>	<i>1.02</i>	<i>1.00</i>	<i>0.93</i>	<i>0.94</i>
<i>25</i>	<i>0.93</i>	<i>0.89</i>	<i>1.03</i>	<i>1.06</i>	<i>1.15</i>	<i>1.14</i>	<i>1.17</i>	<i>1.12</i>	<i>1.02</i>	<i>0.99</i>	<i>0.91</i>	<i>0.91</i>
<i>26</i>	<i>0.92</i>	<i>0.88</i>	<i>1.03</i>	<i>1.06</i>	<i>1.15</i>	<i>1.15</i>	<i>1.17</i>	<i>1.12</i>	<i>1.02</i>	<i>0.99</i>	<i>0.91</i>	<i>0.91</i>
<i>27</i>	<i>0.92</i>	<i>0.88</i>	<i>1.03</i>	<i>1.07</i>	<i>1.16</i>	<i>1.15</i>	<i>1.18</i>	<i>1.13</i>	<i>1.02</i>	<i>0.99</i>	<i>0.90</i>	<i>0.90</i>
<i>28</i>	<i>0.91</i>	<i>0.88</i>	<i>1.03</i>	<i>1.07</i>	<i>1.16</i>	<i>1.16</i>	<i>1.18</i>	<i>1.13</i>	<i>1.02</i>	<i>0.98</i>	<i>0.90</i>	<i>0.90</i>
<i>29</i>	<i>0.91</i>	<i>0.87</i>	<i>1.03</i>	<i>1.07</i>	<i>1.17</i>	<i>1.16</i>	<i>1.19</i>	<i>1.13</i>	<i>1.03</i>	<i>0.98</i>	<i>0.90</i>	<i>0.89</i>
<i>30</i>	<i>0.90</i>	<i>0.87</i>	<i>1.03</i>	<i>1.08</i>	<i>1.18</i>	<i>1.17</i>	<i>1.20</i>	<i>1.14</i>	<i>1.03</i>	<i>0.98</i>	<i>0.89</i>	<i>0.88</i>
<i>31</i>	<i>0.90</i>	<i>0.87</i>	<i>1.03</i>	<i>1.08</i>	<i>1.18</i>	<i>1.18</i>	<i>1.20</i>	<i>1.14</i>	<i>1.03</i>	<i>0.98</i>	<i>0.89</i>	<i>0.88</i>
<i>32</i>	<i>0.89</i>	<i>0.86</i>	<i>1.03</i>	<i>1.08</i>	<i>1.19</i>	<i>1.19</i>	<i>1.21</i>	<i>1.15</i>	<i>1.03</i>	<i>0.98</i>	<i>0.88</i>	<i>0.87</i>
<i>33</i>	<i>0.88</i>	<i>0.86</i>	<i>1.03</i>	<i>1.09</i>	<i>1.19</i>	<i>1.20</i>	<i>1.22</i>	<i>1.15</i>	<i>1.03</i>	<i>0.97</i>	<i>0.88</i>	<i>0.86</i>
<i>34</i>	<i>0.88</i>	<i>0.85</i>	<i>1.03</i>	<i>1.09</i>	<i>1.20</i>	<i>1.20</i>	<i>1.22</i>	<i>1.16</i>	<i>1.03</i>	<i>0.97</i>	<i>0.87</i>	<i>0.86</i>
<i>35</i>	<i>0.87</i>	<i>0.85</i>	<i>1.03</i>	<i>1.09</i>	<i>1.21</i>	<i>1.21</i>	<i>1.23</i>	<i>1.16</i>	<i>1.03</i>	<i>0.97</i>	<i>0.86</i>	<i>0.85</i>
<i>36</i>	<i>0.87</i>	<i>0.85</i>	<i>1.03</i>	<i>1.10</i>	<i>1.21</i>	<i>1.22</i>	<i>1.24</i>	<i>1.16</i>	<i>1.03</i>	<i>0.97</i>	<i>0.86</i>	<i>0.84</i>
<i>37</i>	<i>0.86</i>	<i>0.84</i>	<i>1.03</i>	<i>1.10</i>	<i>1.22</i>	<i>1.23</i>	<i>1.25</i>	<i>1.17</i>	<i>1.03</i>	<i>0.97</i>	<i>0.85</i>	<i>0.83</i>
<i>38</i>	<i>0.85</i>	<i>0.84</i>	<i>1.03</i>	<i>1.10</i>	<i>1.23</i>	<i>1.24</i>	<i>1.25</i>	<i>1.17</i>	<i>1.04</i>	<i>0.96</i>	<i>0.84</i>	<i>0.83</i>
<i>39</i>	<i>0.85</i>	<i>0.84</i>	<i>1.03</i>	<i>1.11</i>	<i>1.23</i>	<i>1.24</i>	<i>1.26</i>	<i>1.18</i>	<i>1.04</i>	<i>0.96</i>	<i>0.84</i>	<i>0.82</i>
<i>40</i>	<i>0.84</i>	<i>0.83</i>	<i>1.03</i>	<i>1.11</i>	<i>1.24</i>	<i>1.25</i>	<i>1.27</i>	<i>1.18</i>	<i>1.04</i>	<i>0.96</i>	<i>0.83</i>	<i>0.81</i>
<i>41</i>	<i>0.83</i>	<i>0.83</i>	<i>1.03</i>	<i>1.11</i>	<i>1.25</i>	<i>1.26</i>	<i>1.27</i>	<i>1.19</i>	<i>1.04</i>	<i>0.96</i>	<i>0.82</i>	<i>0.80</i>
<i>42</i>	<i>0.82</i>	<i>0.83</i>	<i>1.03</i>	<i>1.12</i>	<i>1.26</i>	<i>1.27</i>	<i>1.28</i>	<i>1.19</i>	<i>1.04</i>	<i>0.95</i>	<i>0.82</i>	<i>0.79</i>
<i>43</i>	<i>0.81</i>	<i>0.82</i>	<i>1.02</i>	<i>1.12</i>	<i>1.26</i>	<i>1.28</i>	<i>1.29</i>	<i>1.20</i>	<i>1.04</i>	<i>0.95</i>	<i>0.81</i>	<i>0.77</i>
<i>44</i>	<i>0.81</i>	<i>0.82</i>	<i>1.02</i>	<i>1.13</i>	<i>1.27</i>	<i>1.29</i>	<i>1.30</i>	<i>1.20</i>	<i>1.04</i>	<i>0.95</i>	<i>0.80</i>	<i>0.76</i>
<i>45</i>	<i>0.80</i>	<i>0.81</i>	<i>1.02</i>	<i>1.13</i>	<i>1.28</i>	<i>1.29</i>	<i>1.31</i>	<i>1.21</i>	<i>1.04</i>	<i>0.94</i>	<i>0.79</i>	<i>0.75</i>
<i>46</i>	<i>0.79</i>	<i>0.81</i>	<i>1.02</i>	<i>1.13</i>	<i>1.29</i>	<i>1.31</i>	<i>1.32</i>	<i>1.22</i>	<i>1.04</i>	<i>0.94</i>	<i>0.79</i>	<i>0.74</i>
<i>47</i>	<i>0.77</i>	<i>0.80</i>	<i>1.02</i>	<i>1.14</i>	<i>1.30</i>	<i>1.32</i>	<i>1.33</i>	<i>1.22</i>	<i>1.04</i>	<i>0.93</i>	<i>0.78</i>	<i>0.73</i>
<i>48</i>	<i>0.76</i>	<i>0.80</i>	<i>1.02</i>	<i>1.14</i>	<i>1.31</i>	<i>1.33</i>	<i>1.34</i>	<i>1.23</i>	<i>1.05</i>	<i>0.93</i>	<i>0.77</i>	<i>0.72</i>
<i>49</i>	<i>0.75</i>	<i>0.79</i>	<i>1.02</i>	<i>1.14</i>	<i>1.32</i>	<i>1.34</i>	<i>1.35</i>	<i>1.24</i>	<i>1.05</i>	<i>0.92</i>	<i>0.76</i>	<i>0.71</i>
<i>50</i>	<i>0.74</i>	<i>0.78</i>	<i>1.02</i>	<i>1.15</i>	<i>1.33</i>	<i>1.36</i>	<i>1.37</i>	<i>1.25</i>	<i>1.06</i>	<i>0.92</i>	<i>0.76</i>	<i>0.70</i>

<i>Lat. S</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
<i>5</i>	<i>1.06</i>	<i>0.95</i>	<i>1.04</i>	<i>1.00</i>	<i>1.02</i>	<i>0.99</i>	<i>1.02</i>	<i>1.03</i>	<i>1.00</i>	<i>1.05</i>	<i>1.03</i>	<i>1.06</i>
<i>10</i>	<i>1.08</i>	<i>0.97</i>	<i>1.05</i>	<i>0.99</i>	<i>1.01</i>	<i>0.96</i>	<i>1.00</i>	<i>1.01</i>	<i>1.00</i>	<i>1.06</i>	<i>1.05</i>	<i>1.10</i>
<i>15</i>	<i>1.12</i>	<i>0.98</i>	<i>1.05</i>	<i>0.98</i>	<i>0.98</i>	<i>0.94</i>	<i>0.97</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.07</i>	<i>1.07</i>	<i>1.12</i>
<i>20</i>	<i>1.14</i>	<i>1.00</i>	<i>1.05</i>	<i>0.97</i>	<i>0.96</i>	<i>0.91</i>	<i>0.95</i>	<i>1.99</i>	<i>1.00</i>	<i>1.08</i>	<i>1.09</i>	<i>1.15</i>
<i>25</i>	<i>1.17</i>	<i>1.01</i>	<i>1.05</i>	<i>0.96</i>	<i>0.94</i>	<i>0.88</i>	<i>0.93</i>	<i>0.98</i>	<i>1.00</i>	<i>1.10</i>	<i>1.11</i>	<i>1.18</i>
<i>30</i>	<i>1.20</i>	<i>1.03</i>	<i>1.06</i>	<i>0.95</i>	<i>0.92</i>	<i>0.85</i>	<i>0.90</i>	<i>0.96</i>	<i>1.00</i>	<i>1.12</i>	<i>1.14</i>	<i>1.21</i>
<i>35</i>	<i>1.23</i>	<i>1.04</i>	<i>1.06</i>	<i>0.94</i>	<i>0.89</i>	<i>0.82</i>	<i>0.87</i>	<i>0.94</i>	<i>1.00</i>	<i>1.13</i>	<i>1.17</i>	<i>1.25</i>
<i>40</i>	<i>1.27</i>	<i>1.06</i>	<i>1.07</i>	<i>0.93</i>	<i>0.86</i>	<i>0.78</i>	<i>0.84</i>	<i>0.92</i>	<i>1.00</i>	<i>1.15</i>	<i>1.20</i>	<i>1.29</i>
<i>42</i>	<i>1.28</i>	<i>1.07</i>	<i>1.07</i>	<i>0.92</i>	<i>0.85</i>	<i>0.76</i>	<i>0.82</i>	<i>0.92</i>	<i>1.00</i>	<i>1.16</i>	<i>1.22</i>	<i>1.31</i>
<i>44</i>	<i>1.30</i>	<i>1.08</i>	<i>1.07</i>	<i>0.92</i>	<i>0.83</i>	<i>0.74</i>	<i>0.81</i>	<i>0.91</i>	<i>0.99</i>	<i>1.17</i>	<i>1.23</i>	<i>1.33</i>
<i>46</i>	<i>1.32</i>	<i>1.10</i>	<i>1.07</i>	<i>0.91</i>	<i>0.82</i>	<i>0.72</i>	<i>0.79</i>	<i>0.90</i>	<i>0.99</i>	<i>1.17</i>	<i>1.25</i>	<i>1.35</i>
<i>48</i>	<i>1.34</i>	<i>1.11</i>	<i>1.08</i>	<i>0.90</i>	<i>0.80</i>	<i>0.70</i>	<i>0.76</i>	<i>0.89</i>	<i>0.99</i>	<i>1.18</i>	<i>1.27</i>	<i>1.37</i>
<i>50</i>	<i>1.37</i>	<i>1.12</i>	<i>1.08</i>	<i>0.89</i>	<i>0.77</i>	<i>0.67</i>	<i>0.74</i>	<i>0.88</i>	<i>0.99</i>	<i>1.19</i>	<i>1.29</i>	<i>1.41</i>

ANNEXES 7: LES PRINCIPALES ECHELLES DE MAGNITUDE ET D'INTENSITE POUR CARACTERISER LES ALEAS DOMMAGEABLES

Aléa	Appellation	Critères principaux	Nombre de niveaux	Source principale
Echelle de magnitude pure (paramètres physiques)				
Séismes	Échelle de magnitude locale (MI) de Richter et variante Gutenberg (MS)	Amplitude maximale des ondes de surface	Ouverte	Richter, 1935 ; Gutenberg & Richter, 1936 ; Gutenberg, 1945 Gutenberg & Richter, 1956
	Échelle de magnitude des ondes de volume (Mb) de Gutenberg et Richter	Amplitude maximale des ondes de volume	Ouverte	
	Échelle de magnitude de moment de Kanamori (Mw)	Moment sismique	Ouverte	Kanamori, 1977
Vents forts	Échelle de Beaufort (tempêtes)	Vitesse du vent à 10 m de hauteur et divers effets en mer et à terre	12	Meadena, 2007 ;
	Échelle de Douglas (état de la mer)	Hauteur moyenne des vagues	10	http://www.meteofrance.com
	Échelle de TORRO (T-scale) (tornades)	Vitesse du vent	12	http://www.wmo.ch
	Échelle Australienne (cyclones tropicaux)	Vitesse maximale du vent (3 secondes)	5	http://www.torro.org.uk Crowder, 1995
Tsunami	Échelle de Iida	Hauteur maximale du runup	7	Iida, 1963
	Échelle de Murty & Loomis	Énergie potentielle	?	Murty & Loomis, 1980
	Échelle d'Hatori	Amplitude de l'onde et distance du Séisme	?	Hatori, 1986
	Échelle d'Abe	Amplitude de l'onde et distance du séisme	?	Abe, 1981
Grêle	Échelle de TORRO (grêle)	Diamètre des grêlons et dommages	11	Webb et al, 2001 et http://www.torro.org.uk
Mouvements de terrain	Échelles de Leone (tous types de mouvements)	Multicritères	Variable	Leone, 1996
	Échelle de Mouroux et al. (gonflement-retrait)	Mouvement différentiel unitaire	?	Mouroux et al, 1988
Éruption volcanique	Indice d'explosivité volcanique (VEI)	Volume des tephra et hauteur du panache éruptif	9	Newhall & Self, 1982
Impact de météorite	Échelle de Turin	Énergie cinétique et probabilité de collision	10	Binzel, 1999 et 2004
Échelles mixtes (paramètres physiques et dommages)				
Vents forts	Échelle de Fujita (tornades)	Vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur et dommages	13 (6 utilisés)	Fujita, 1981
	Échelle de Fujita améliorée (EF) (tornades)	Vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur et dommages	13 (5 utilisés)	http://www.spc.noaa.gov/efscale
	Échelle de Saffir-Simpson (cyclones)	Vitesse moyenne du vent et dommages	5	Simpson et al, 1981
Avalanche	Échelle d'intensité des avalanches	Divers critères physiques et dommages sur les infrastructures	?	http://www.arena.org
Incendie de forêt	Échelle du CEMAGREF	Vitesse de progression et dommages divers	6	http://www.cemagref.fr
Multi-aléas	Échelles du MEDD	Paramètres physiques et dommages divers	5	GSC et al., 2002 et Chiroiu, 2004
Échelles d'intensité pure (dommages)				
Séismes	Échelle Mercalli modifiée (MM)	Dommages divers dont dommages aux bâtiments	12	Wood & Neumann, 1931
	Échelle Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK)	Dommages divers dont dommages aux bâtiments	12	Sponheuer et al, 1964
	Échelle Macrosismique Européenne (EMS-98)	Dommages divers dont dommages aux bâtiments	12 (5 pour bâti)	Grünthal, 1998
	Échelle Japan Meteorological Agency	Dommages divers dont dommages aux bâtiments	7	http://www.jma.go.jp

	(JMA ou Shindo) Échelle HAZUS	Dommmages aux infrastructures, aux réseaux et aux personnes	Variable	FEMA, 1999
	Échelle de Rossi-Forel	Dommmages divers dont dommmages aux bâtiments	10	Tiedemann, 1992
Vents forts	Échelle de Leicester et al.	Dommmages aux bâtiments résidentiels	10	Leicester & Reardon G, 1976
Tsunami	Échelle "macro-tsunami" de Leone	Dommmages aux bâtiments	6	Leone et al, 2007
	Échelle de Sieberg	Dommmages divers	6	Sieberg, 1927
	Échelle de Soloviev	Dommmages divers	7	Soloviev, 1970
	Échelle d'Ambraseys	Dommmages divers	6	Ambraseys, 1962
	Échelle de Shuto	Dommmages divers	?	Shuto, 1991
	Échelle de Papadopoulos & Imamura	Dommmages divers	12	Papadopoulos & Imamura, 2001
Mouvements de terrain	Échelle de Leone (tous types de mouvements)	Dommmages aux bâtiments, réseaux, biens, fonctions et personnes	Variable	Leone, 1996
	Échelle DRM (tous types de mouvements)	Dommmages aux bâtiments	5	DRM, 1990
	Échelle du NHRC (glissements)	Dommmages aux bâtiments	?	NHRC, 1999
	Échelle du BRED (subsidence)	Dommmages aux murs	6	BRED, 1981
	Échelle de Mouroux et al. (gonflement-retrait)	Dommmages aux bâtiments	?	Mouroux et al, 1988
	Échelle d'Alexander (glissements de terrain)	Dommmages aux bâtiments	7	Alexander, 1988
	Échelle de Zihri (effondrement de cavités)	Dommmages divers (multi-dimensionnelle)	variable	Zihri, 2004
Éruption volcanique	Échelle de Baxter et al. (coulées pyroclastiques, Montserrat)	Dommmages aux bâtiments	6	Baxter et al., 2005
	Échelle d'intensité des phénomènes éruptifs du BRGM	Dommmages aux infrastructures	4	Stieltjes & Mirgon, 1998
Multi-aléas (catastrophes)	Échelle des catastrophes de Bradford	Pertes humaines	?	Keller, 1989 in Zihri, 2004
	New Damage Index	Dommmages aux bâtiments	4	Blong, 2003

Sources : FL, NMR, FV, 2010

ANNEXES 9: CARACTERISATION GRANULOMETRIQUES ET ANALYSES DE SOLS



ANNEXES 10: PROTOCOLE DE CARACTERISATION GRANULOMETRIQUE

L'analyse granulométrique à été effectuée suivant le protocole suivant:

I. La pesée : on pèse 10 g de sol fin, puis le séché à l'étuve ;

II. Destruction de la matière organique et dispersion totale: en ajoutant environ 25 ml de pyrophosphate de sodium et de l'eau distillée ;

III. Le prélèvement : est effectué selon la profondeur (suivant la température de l'air ambiante) dans une allonge au bout d'un temps de chute donné après agitation ;

Prélèvement 1: une fois après 1 min 35 de repos, un prélèvement de la fraction contenant : Argile (A) + Limon fin (Lf) + Limon grossier (Lg) ;

Prélèvement 2: une fois après 5 min de repos, un prélèvement de la fraction : Argile + Limon fin (A + Lf) ;

Prélèvement 3: une fois après 6 ou 7 heures de repos, un prélèvement de la fraction : Argile (A) ;

IV. Le Tamisage : pour récupérer les deux catégories de sables (fins et grossiers 50 à 2000 μm) on recueille le contenu de l'allonge sur deux tamis (0,05 mm) ;

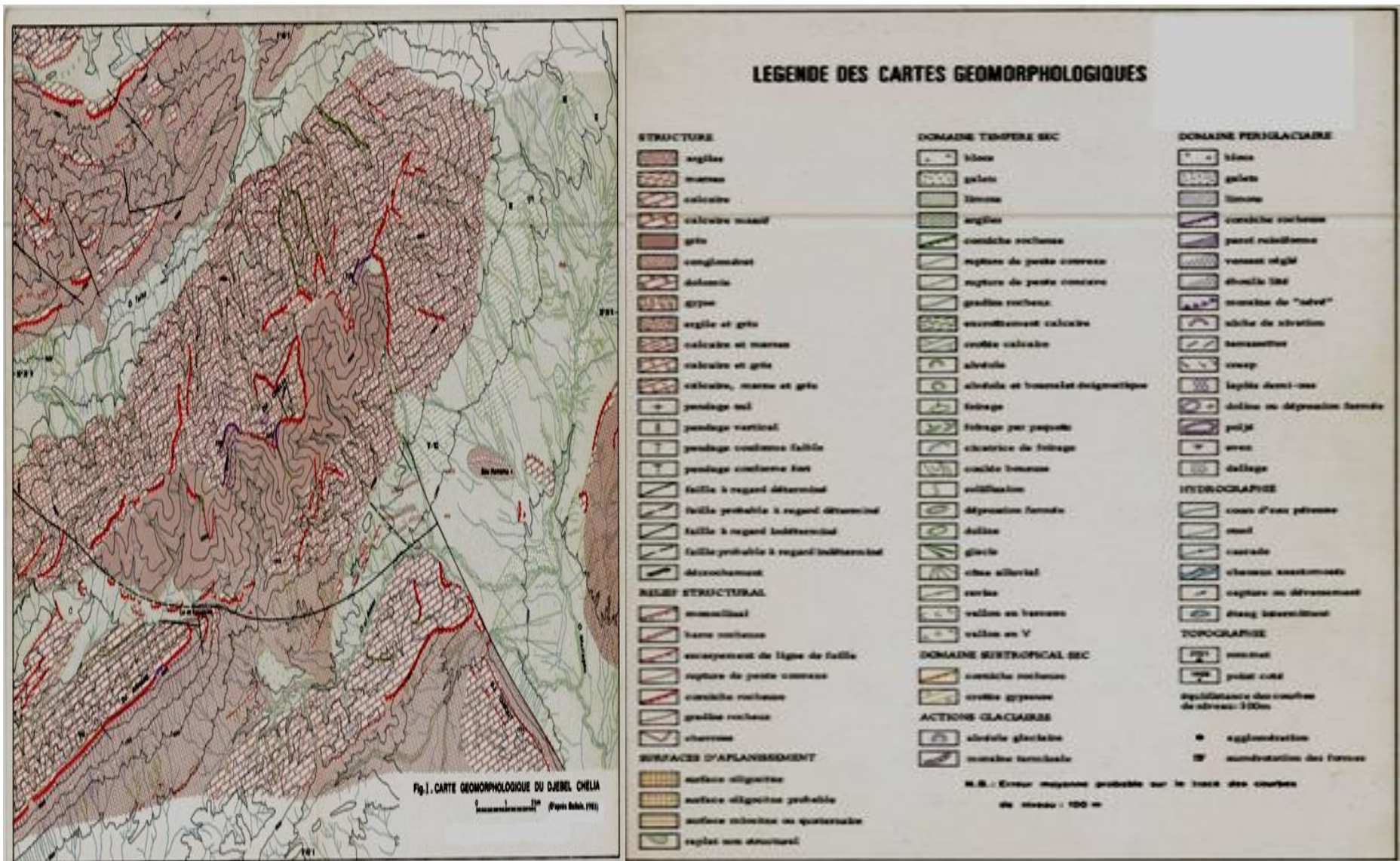
V. Après, on fait un lavage sous robinet pour éliminer toute particule inférieure à 0,05 mm ;

VI. Ensuite, le contenu des 2 tamis est transvasé dans des capsules à l'aide d'un jet de pissette d'eau distillée ;

VII. On met à l'étuve à 105°C puis on pèse le contenu des capsules.

VIII. Le classement des sols étudiés est réalisé selon le triangle de texture de sol (Soil Survey Staff, 1998).

ANNEXES 11: LA GEOMORPHOLOGIE DE DJEBEL CHELIA D'APRES (BALLAIS, 1981)



ANNEXES 12: LES PARAMETRES DE MODELISATION HYDRAULIQUE

Cross Section Output

File Type Options Help

River: OUEDLABIOD Profile: T10
 Reach 1 RS: 7202 Plan: Plan 05

Plan: Plan 05 OUEDLABIOD 1 RS: 7202 Profile: T10		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	702.23	Wt. n-Val.		0.035	
Vel Head (m)	0.71	Reach Len. (m)	166.31	152.12	116.54
W.S. Elev (m)	701.53	Flow Area (m2)		161.07	
Crit W.S. (m)	701.53	Area (m2)		161.07	
E.G. Slope (m/m)	0.010858	Flow (m3/s)		599.60	
Q Total (m3/s)	599.60	Top Width (m)		115.95	
Top Width (m)	115.95	Avg. Vel. (m/s)		3.72	
Vel Total (m/s)	3.72	Hydr. Depth (m)		1.39	
Max Chl Dpth (m)	1.81	Conv. (m3/s)		5754.2	
Conv. Total (m3/s)	5754.2	Wetted Per. (m)		116.20	
Length Wtd. (m)	152.12	Shear (N/m2)		147.60	
Min Ch El (m)	699.72	Stream Power (N/m s)		549.43	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)	769.42	1661.22	212.08
Frcn Loss (m)	1.49	Cum SA (1000 m2)	153.37	471.56	66.14
C & E Loss (m)	0.06				

Errors, Warnings and Notes

Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Warning: During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program defaulted to critical depth.

Select Profile

Cross Section Output

File Type Options Help

River: OUEDLABIOD Profile: T100
 Reach 1 RS: 7202 Plan: Plan 05

Plan: Plan 05 OUEDLABIOD 1 RS: 7202 Profile: T100		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	702.88	Wt. n-Val.		0.035	
Vel Head (m)	0.90	Reach Len. (m)	166.31	152.12	116.54
W.S. Elev (m)	701.98	Flow Area (m2)		215.32	
Crit W.S. (m)	701.98	Area (m2)		215.32	
E.G. Slope (m/m)	0.010011	Flow (m3/s)		904.04	
Q Total (m3/s)	904.04	Top Width (m)		121.66	
Top Width (m)	121.66	Avg. Vel. (m/s)		4.20	
Vel Total (m/s)	4.20	Hydr. Depth (m)		1.77	
Max Chl Dpth (m)	2.26	Conv. (m3/s)		9035.3	
Conv. Total (m3/s)	9035.3	Wetted Per. (m)		122.02	
Length Wtd. (m)	152.12	Shear (N/m2)		173.24	
Min Ch El (m)	699.72	Stream Power (N/m s)		727.38	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)	888.81	2024.75	264.29
Frcn Loss (m)	1.39	Cum SA (1000 m2)	168.78	519.15	77.98
C & E Loss (m)	0.07				

Errors, Warnings and Notes

Warning: The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.

Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.

Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Select Profile

Cross Section Output

File Type Options Help

River: OUEDLABIOD Profile: T50
 Reach 1 RS: 7202 Plan: Plan 05

Plan: Plan 05 OUEDLABIOD 1 RS: 7202 Profile: T50		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	702.46	Wt. n-Val.		0.035	
Vel Head (m)	0.78	Reach Len. (m)	166.31	152.12	116.54
W.S. Elev (m)	701.69	Flow Area (m2)		180.11	
Crit W.S. (m)	701.69	Area (m2)		180.11	
E.G. Slope (m/m)	0.010514	Flow (m3/s)		702.41	
Q Total (m3/s)	702.41	Top Width (m)		117.98	
Top Width (m)	117.98	Avg. Vel. (m/s)		3.90	
Vel Total (m/s)	3.90	Hydr. Depth (m)		1.53	
Max Chl Dpth (m)	1.97	Conv. (m3/s)		6850.4	
Conv. Total (m3/s)	6850.4	Wetted Per. (m)		118.28	
Length Wtd. (m)	152.12	Shear (N/m2)		157.00	
Min Ch El (m)	699.72	Stream Power (N/m s)		612.29	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)	811.42	1787.93	230.98
Frcn Loss (m)	1.45	Cum SA (1000 m2)	158.84	488.11	71.39
C & E Loss (m)	0.07				

Errors, Warnings and Notes

Warning: The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.

Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.

Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Select Profile

Profile Output Table - Standard Table 1

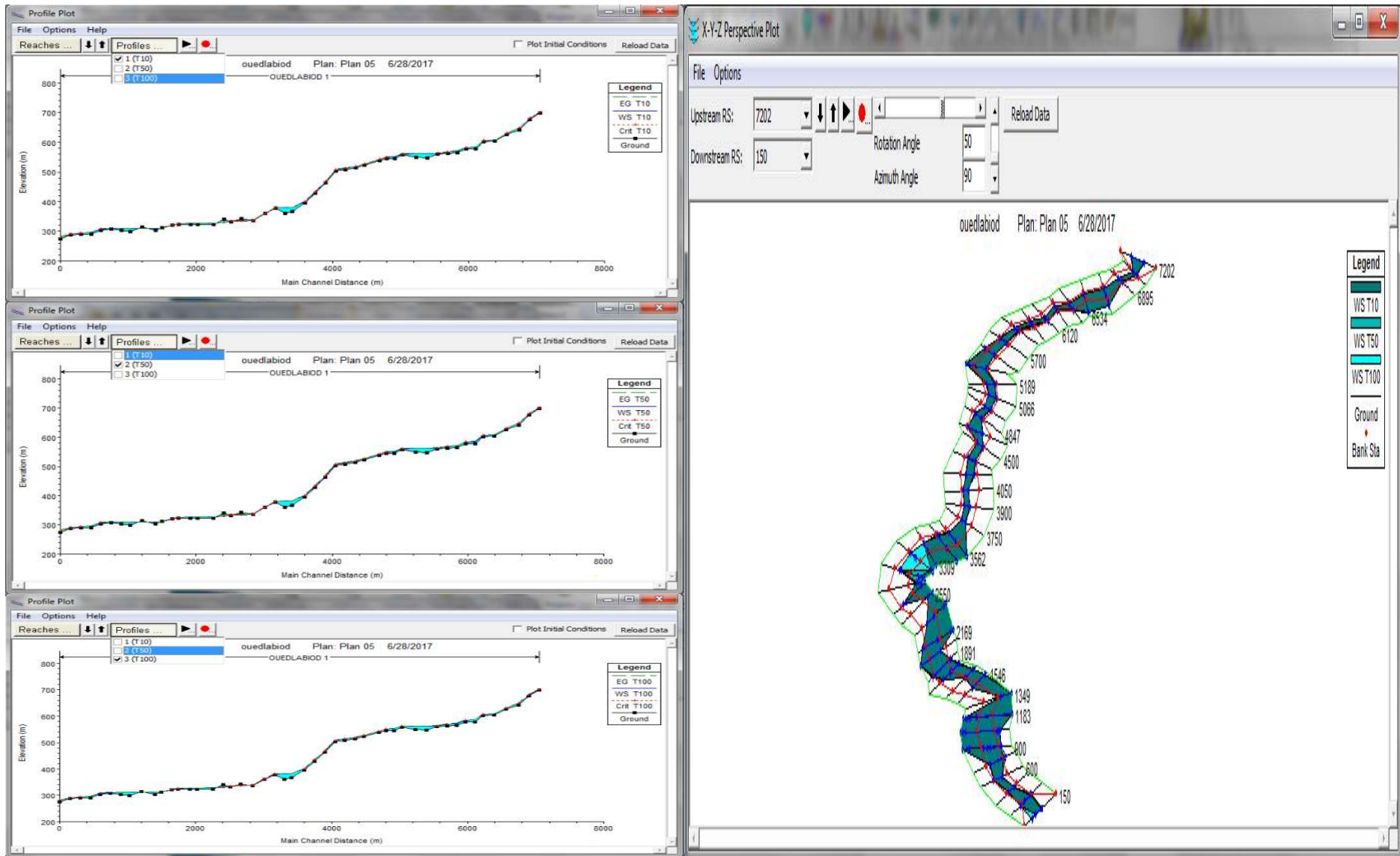
File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 05 River: OUEDLABIOD Reach: 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)
1	7202	T10	599.60	699.72	701.53	701.53	702.23	0.010858	3.72	161.07	115.95
1	7202	T50	702.41	699.72	701.69	701.69	702.46	0.010514	3.90	180.11	117.98
1	7202	T100	904.04	699.72	701.98	701.98	702.88	0.010011	4.20	215.32	121.66
1	7050	T10	599.60	676.02	680.62	680.62	681.95	0.008920	5.10	117.52	44.44
1	7050	T50	702.41	676.02	680.95	680.95	682.39	0.008671	5.32	132.13	45.92
1	7050	T100	904.04	676.02	681.52	681.52	683.16	0.008337	5.68	159.23	48.53
1	6895	T10	599.60	642.81	647.80	647.80	649.04	0.018492	4.93	121.65	49.39
1	6895	T50	702.41	642.81	648.10	648.10	649.45	0.017932	5.14	136.74	50.85
1	6895	T100	904.04	642.81	648.62	648.62	650.17	0.017121	5.53	163.58	53.35
1	6711	T10	599.60	626.70	629.94	629.94	630.81	0.007821	4.27	149.16	87.36
1	6711	T50	702.41	626.70	630.17	630.17	631.09	0.007446	4.40	169.87	91.46
1	6711	T100	904.04	626.70	630.52	630.52	631.58	0.007463	4.74	203.26	97.71
1	6534	T10	599.60	604.34	607.55		607.59	0.000387	0.64	687.05	174.70
1	6534	T50	702.41	604.34	607.91		607.96	0.000406	0.71	750.33	176.04
1	6534	T100	904.04	604.34	608.55		608.61	0.000436	0.83	863.53	178.42
1	6378	T10	599.60	603.05	606.27	606.27	607.34	0.007668	4.58	130.91	61.22
1	6378	T50	702.41	603.05	606.53	606.53	607.69	0.007475	4.77	147.11	63.37
1	6378	T100	904.04	603.05	606.99	606.99	608.32	0.007237	5.11	176.94	67.16

Total flow in cross section.

ANNEXES 13: VISUALISATION DU MODELE 1D POUR DIFFERENTES PERIODES DE RETOUR



Résumé

Le bassin versant Oued LABIOD appartient au bassin endoréique de Chott Melrhir (l'est algérien) et s'étend sur plus de 1300 km². De part ses dimensions et ses caractéristiques physico-climatiques, il est vulnérable aux inondations et soumis à une dynamique érosive intense engendrant l'envasement du barrage de Foum El Gherza. Cette étude a pour objectif de réaliser une analyse thématique des risques majeurs d'origine naturelle en mettant l'accent sur les indicateurs de risque pour déterminer la vulnérabilité aux inondations via une analyse objective d'une part et dresser une cartographie du risque érosif en s'appuyant sur une méthode d'analyse multicritère basée sur la formalisation de l'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE) dans un processus d'analyse hiérarchique (AHP) intégrée dans un système d'information géographiques (SIG) d'autre part. Le résultat constitue un outil d'aide à la décision en matière de prévention des risques majeurs.

Mots clés :

AHP, Oued LABIOD, risques majeurs, SIG, vulnérabilité, outil d'aide à la décision.

Abstract

The LABIOD valley watershed belongs to the endorheic Basin of Chott Melrhir (East of Algeria) and extends more than 1300 km². Through its dimensions and its physical and climatic characteristics, it is vulnerable to floods and submitted to an intense erosion dynamics engendering the mudding of Foum El Gherza. This study has for objective to realize a thematic analysis of the major risks of natural origin by emphasizing the risk indicators to determine the vulnerability to the floods via an objective analysis on one hand and draw up erosion risk map resting on multi-criteria analysis method based on the formalization of the revised universal soil loss equation (RUSLE) in the Analytic Hierarchy Process (AHP) approach integrated into the Geographic information system (GIS). The result constitutes a decision making tool of major risks prevention.

Keywords:

AHP, decision making tool, GIS, LABIOD valley watershed, major risks, vulnerability.

ملخص

ينتمي حوض وادي الأبيض للحوض الداخلي شط ملغبر (شرق الجزائر) حيث يتربع على مساحة 1300 كم². على غرار أبعاده أو خصائصه الفيزيائية و المناخية , فهو ذو قابلية للتعرض للفيضانات و خاضع لديناميكية تعرية شديدة غالبا ما تتسبب في توحل سد فم الغرزة. تهدف هذه الدراسة لإنجاز تحليل موضوعي للأخطار الكبرى الطبيعية اعتمادا على مؤشرات الخطر لتحديد قابلية التعرض للفيضانات من خلال تحليل هادف من جهة و تقديم خريطة خطر التعرية بالاعتماد على طريقة متعددة المعايير بناءا على المعادلة العالمية المراجعة لفقدان التربة (ELSUR) في نظام تحليلي متدرج (AHP) و مدمج في نظام معلومات جغرافي (SIG) من جهة أخرى. النتيجة عبارة عن وسيلة مساعدة اتخاذ القرار في الوقاية من الأخطار الكبرى.

كلمات مفتاحية :

نظام تحليلي متدرج , نظام معلومات جغرافي , وسيلة مساعدة اتخاذ القرار , حوض وادي الأبيض , الأخطار الكبرى , قابلية التعرض للخطر