



**Ministère de l'enseignement supérieur
Et de la recherche scientifique**

UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département d'hydraulique

MEMOIRE

Présente pour l'obtention du diplôme

MASTER

FILIERE : HYDRAULIQUE

Option : Ouvrages hydrauliques et aménagement

THEME

**Analyse et cartographie de l'érosion
hydrique dans le bassin versant du Hodna**

Propose et dirige par :

De M.HASBAIA
fatiha

présenté par :

Bendjeddou

Promotion : 2012/2013

Remerciements

*Je rends ma profonde gratitude à dieu qui m'a aidé
à réaliser ce modeste travail.*

*Je tiendrais à présenter mes égards à mes
père et mère qui, avec volontiers,
ne s'étaient point arrêtés de me conforter dans
mon travail de recherche*

*Vertueusement, je rendrais grâce à Monsieur
Hasbaia Mahmoud de son
efficace contribution et sa poursuite
minutieuse dès le début de la
réalisation de mon mémoire,
jusques et y compris son achèvement.*

*En fin Je tiens à remercier tous ceux qui
m'ont participé de près ou de loin à l'élaboration
de ce travail.*

Remerciement	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
I. Introduction générale	1
Chapitre I : généralités sur le bassin versant du Hodna	
I.1 Introduction	2
I.2 Situation géographique du bassin	2
I.3 Relief	3
I.3.1 Les montagnes	4
I.3.2 Le piémont	4
I.3.3 La plaine	4
I.3.4 Chott El Hodna	4
I.4 Climat	5
I.4.1 Bioclimat	5
I.4.2 La pluviométrie	6
I.4.3 La température	6
I.5 Le couvert végétal	7
I.5.1 Les terres de culture	8
I.5.2 Les forêts	8
I.6 Réseau hydrographique	9
I.7 Géologie	10
I.9 Hydrogéologie	12
I.10 Conclusion	13
Chapitre II : Morphométrie du bassin versant du Hodna	
II.1 Introduction	14
II.2 Les caractéristiques morphométriques	14
II.2.1 La surface	14
II.2.2 Le périmètre	14
II.2.3 Indice de compacité de Gravelius	15
II.2.4 Rectangle équivalent	15
II.3 Caractéristiques des altitudes	17
II.3.1 Les courbes hypsométriques	17
II.2.2 Les altitudes maximales et minimales	20
II.2.3 L'altitude moyenne	20
II.2.4 La dénivelée simple	21
II.6 Indice de pente globale I_g	21
II.7 La pente moyenne	22
II.8 Caractéristiques du réseau hydrographique	23
II.8.1 La densité de drainage D_d	23
II.9 Temps de concentration	24
II.9 vitesse de ruissellement	25
Chapitre III : Généralités sur l'érosion hydrique	
III.1 Introduction	26
III.2 L'érosion hydrique	26
III.3 Formes de l'érosion hydrique	26
III.3.1 L'érosion en nappe ou aréolaire ou laminaire	26
III.3.2 L'érosion linéaire	27
III.3.2.1 Les formes de l'érosion par ravines	28
III.3.2.1.1 Forme V	29

III.3.2.1.2	Forme U	29
III.3.2.1.3	L'érosion en tunnel	30
III.4	Les facteurs d'érosion	32
III.4.1	Le Climat	32
III.4.2	Le sol	32
III.4.3	La végétation	32
III.4.4	La pente	33
III.4.5	L'homme	33
III.5	L'érosion dans les pays du Maghreb	36
III.5.1	En Algérie	36
III.5.3.2	au Maroc	36
III.5.3.3	en Tunisie	37
Chapitre IV : Généralités et méthodes de définition de la sensibilité		
IV.1	Introduction	38
IV.2	Présentation du modèle	38
IV.2.1	Les modèles empiriques	39
IV.2.2	Les Modèle à base physique	41
IV.3	Les analyses spatiales	41
IV.4	Définition de la méthodologie	42
Les critères		43
IV.5.1	La pente	43
IV.5.2	Le climat	43
IV.5.3	L'occupation du sol	43
IV.5.4	La géologie	44
Chapitre V:Cartographie des données disponibles à l'aide d'un SIG		
V.1	Introduction	45
V.2	La sensibilité du bassin versant du Hodna à l'érosion hydrique	45
V.2.1	Topographie	45
V.2.2	Géologie	47
V.2.3	L'occupation du sol	51
V.2.4	La pluie	55
Chapitre VI : approche multicritère du bassin Hodna		
VI .1	Introduction	59
VI .2	Définition	59
VI.3	Analyse multicritère	59
VI.4	Résultats	67
VI.5	Discussion	69
Chapitre VII : Moyens de lutte		
VII.1	Introduction	70
VII.2	Conséquences sur la parcelle	70
VII.3	Moyens de lutte	71
VII.4	Les conséquences de l'érosion hydrique en Algérie sont dramatiques	72
VII.5	Les moyens de lutte utilisés surtout en Algérie	72
VII.5.1	Moyens de lutte contre l'érosion et l'envasement des barrages	72
VII.6	Matière organique et érosion	75
Conclusion générale		76
Bibliographie		
Annexes		

Tableau I.1	Caractéristiques et écoulement du bassin du Hodna	10
Tableau II.1	Les paramètres morphométriques des sous bassins du Hodna	16
Tableau II.2	Les paramètres morphométriques des sous bassins hydrographiques du Hodna	17
Tableau II.3	Répartition des surfaces en fonction des altitudes du sous bassin El ham	18
Tableau II.4	Répartition des surfaces en fonction des altitudes du sous bassin du k'sob	19
Tableau II.4	Altitudes moyennes, maximales et minimales des sous-bassins du Hodna	20
Tableau II.5	La dénivelée simple des sous bassins du Hodna	21
Tableau II.6	Pente moyenne, et globale des sous-bassins du Hodna	22
Tableau II.5	Le temps de concentration des sous bassins du Hodna	24
Tableau II.6	Vitesse de ruissellement des sous-bassins du Hodna	25
Tableau III.1	Comparaison entre les différents types d'érosion	31
Tableau V. 2	Exemple de critères pris en compte dans les analyses spatiales	42
Tableau V.1	Classe des pentes et indices attribués	45
Tableau V.2	paramètres des stations pluviométriques du Hodna	55
Tableau VI.1	Les classes de sensibilité	69
Tableau VI.1	Classification des paramètres selon leur influence sur la vulnérabilité	60
Tableau VI.2	Caractéristiques de l'indice IVS	61
Tableau VI.3	Ordre et surface de l'aléa d'érosion	67

Figure I.1	Situation géographique du bassin versant Hodna	3
Figure I.2	Carte bioclimatique de l'Algérie (Meddour)	5
Figure I.4	Carte couvert végétal de l'Algérie de Nord	7
Figure II.1	Les sous-bassins du Bassin Versant du Hodna	14
Figure II.2	La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant de El Ham	18
Figure II.3	La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant de L'ksob	19
Figure. III.1	L'érosion en nappe (Boussaâda)	27
Figure. III.2	Griffe	28
Figure. III.3	L'effet de l'érosion avec faible couverture végétale	34
Figure. III.4	L'érosion dans un oued	34
Figure. III.5	Processus de pente	35
Figure. III.6	L'effet de l'érosion	35
Figure. III.7	L'effet de l'érosion	35
Figure V.1	Sensibilité à l'érosion du bassin versant du Hodna en fonction des valeurs des pentes	46
Figure V.2	La carte géologique	48
Figure V.3	Sensibilité à l'érosion hydrique du bassin versant du Hodna en fonction de la géologie	49
Figure V.4	Carte de couverture végétale	52
Figure V.5:	Sensibilité à l'érosion du bassin versant du Hodna en fonction du couvert végétal	53
Figure V.6	La carte pluies journalières maximales du Hodna	56
Figure V.7	Sensibilité à l'érosion du bassin versant du Hodna en fonction des pluies journalières maximales	57
Figure VI.1	Carte indicielle liée aux pentes	62
Figure VI.2	Carte indicielle liée à la pluviométrie	63

Figure VI.3 Carte indicielle liée à la géologie	64
Figure VI.4 Carte indicielle liée à la couverture végétale	65
Figure VI.4 La carte des valeurs de l'indice IVS	66
Figure VI.5 La carte de la sensibilité à l'érosion hydrique du bassin versant Hodna	68
Figure VII.1 Les moyens de lutte	71
Figure VII.2 Sed de dérivation	73
Figure VII.3 Sed de dérivation	73
Figure VII.4 Moyen de lutte	73
Figure VII.5 Moyen de lutte	73
Figure VII.6 Protection des rives	74
Figure VII.7 Protection des rives	74

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Depuis des siècles, les géographes ont considéré la zone des bassins Méditerranéens comme très sensible à l'érosion sous toutes ses formes, notre pays (l'Algérie) donc n'est pas à l'abri de ce phénomène, il est parmi les pays les plus menacés par l'érosion hydrique. Cette situation se dégrade davantage d'année en année, notamment dans les régions du Sud, et les vulnérabilités en la matière ne font que s'accroître.

Ce phénomène peut parfois prendre des tournures catastrophiques, connaissez que l'Algérie perd chaque année 120 millions de tonnes de terre, soit 40 000 ha des terres cultivables ; et la quantité des sédiments déposés dans les barrages ne cesse d'augmenter, passant de 484 millions de m³ en 1996 à 700 millions de m³ en 2000. À l'heure actuelle, les 52 grands barrages du pays reçoivent annuellement 32 millions de m³ de sédiments, ce qui réduit de 0,6 % par an leur capacité de stockage estimée à 5,2 milliards de m³.

Notre région d'étude qu'elle est située au cœur des steppes algériennes, le Hodna constitue une entité naturelle bien individualisée, une cuvette de 26000 Km² divisée en 8 bassins hydrographiques et entourée de massifs montagneux assez élevés. Cette vaste zone est relativement pauvre en sol, en ressources végétales et en eau de surface.

Le grand bassin du Hodna est équipé de 7 stations hydrométriques seulement et qui ne sont pas toutes en bon état, dans notre étude nous contribuons à l'étude d'analyse de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique avec une approche multicritère dans le bassin du Hodna.

Pour effectuer notre étude on a commencé d'abord dans la première partie par un aperçu général, puis en détaillant la morphométrie du bassin versant du Hodna, l'étude bibliographique sur l'érosion hydrique c'est le titre de la deuxième partie avec quelques généralités. La troisième phase se résume à une cartographie des facteurs influant sur l'érosion hydrique, suivie par la carte de sensibilité, en utilisant un système d'information géographique (SIG). Dans la dernière section, on présente les conséquences de l'érosion et on propose les moyens et les aménagements utilisés pour diminuer ou limiter le risque d'érosion hydrique.

On peut définir la carte comme un outil indispensable dans une démarche de lutte contre l'érosion. Elle permet de disposer d'une vue d'ensemble des zones menacées et de localiser les secteurs nécessitant une intervention prioritaire dans une perspective de gestion durable des sols.

CHPITRE I

I.1 Introduction

- ✓ Historiquement Ibn Khaldûn qui évoque El Hodna et ses espaces de la manière suivante : région El Hodna (bi-l- \square u \square na بالحسنى (\square o \square na), Magra , N'gaous et M'sila comme villages du Hodna.(Ibn Khaldûn, 2000-2001 : IV p, 35, 46, 588)
- ✓ Hodna signifie (plaines entourée de montagnes) (F.A.O. 1971)
- ✓ Hodna signifie la brassée :

La plaine du Hodna est enserrée dans un cadre montagneux, le mot désigné pour ses habitants une région aux caractères précis : ce sont les plaines situées à l'Est et au Nord d'un vaste Sebkhha plaines.

C'est une région steppique située au sud des hauts plateaux ayant pour capitale M'sila cette dernière située au Sud- Est à 248 km d'Alger elle est occupée la région centrale du territoire algérien , située à une altitude de 441 m, elle couvre près de 18.175 km²,avec 1,094,000 habitants jusqu'au (31/12/2010) et limitée au Nord par les wilayas de Sétif , BBA , et Bouira , à l'Est Batna , à l'Ouest Médéa, au Sud- Est Biskra , au Sud et au Sud Ouest Djelfa.

Les coordonnées géographiques sont :

Ø Longitude : 04°30'.

Ø Latitude : 35°40'.

I.2. Situation géographique du bassin versant Hodna

L'un des plus vastes ensembles des zones arides et steppiques qu'ils existent dans le monde, Le bassin versant du Hodna c'est un bassin endoréique, situé au cœur de la steppe Algérienne, il est parmi les 5 premiers bassins versants de l'Algérie, avec une superficie de 25920 km² divisée en 8 bassins hydrographiques, on trouve le bassin entre deux séries de montagnes au Sud et au Nord Atlas tellienne et saharien, organise le bassin autour d'une cuvette fermée a 400 m d'altitude et d'une superficie de 1155km² dite Chott , est éloigné des rivages de la méditerranée par 150 km. Il est limité au Nord-Est par les montagnes de Bibans et le plateau Sétifien, au Nord- Ouest par les hautes plaines Algéroises, tandis qu'au Sud-Ouest les monts de Boussaâda, terminaison des monts des Ouleds Naïl.

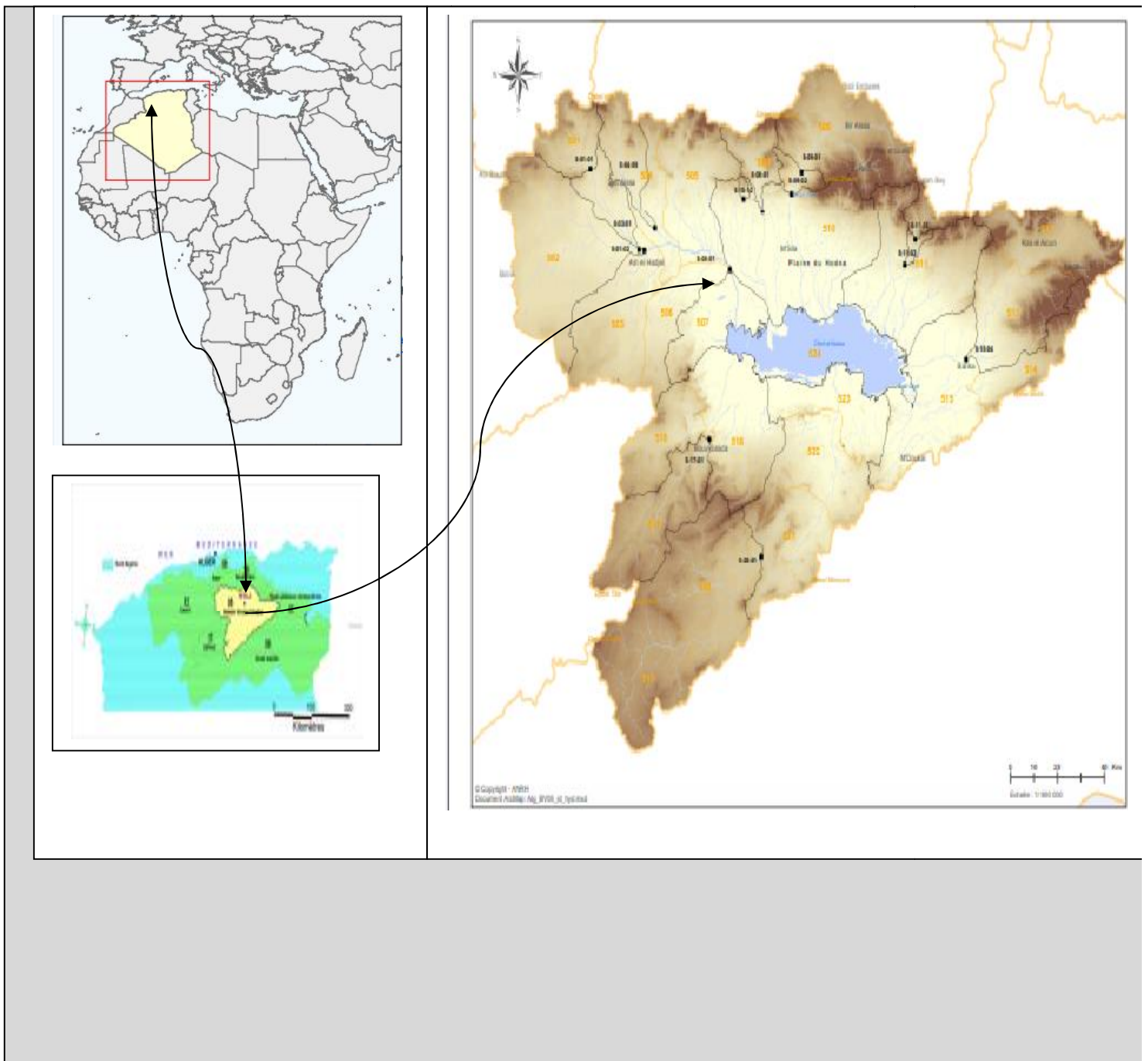


Figure I.1 situation géographique du bassin versant Hodna

I.3 Relief

Le relief est le visage de la terre, résulte d'un ensemble de plusieurs facteurs et particulièrement par l'évolution géologique et par l'action de l'érosion à une grande échelle (des milliers ou des millions d'années). (Belagoune. 2012)

Les reliefs du Hodna se composent de deux ensembles nettement différenciés : le cadre montagneux des deux atlas et le bassin Hodnéenn compris entre ceux-ci. C'est ce dernier qui constitue la véritable région du Hodna.

I.3.1 Les montagnes

Au Nord et à l'Est les limites sont très nettes où le contact avec le massif de Ouennougha, les monts du Hodna et du Belezma se fait toujours par une rupture marquée.

Cette barrière forme un véritable écran montagneux dont l'altitude varie entre 1400 et 2000 m (dj Maadid 1863 m, dj Tachrirt 1902 m et dj Tichao 2141 m) et par leur vigueur, ces reliefs comme on le verra plus loin, jouent un rôle important de point de vue hydrologique et climatique en réduisant les influences maritimes.

Au Sud et à l'Ouest, le cadre montagneux est nettement plus confus et d'altitude plus élevée et correspond à la retombée Nord de l'Atlas saharien il est représenté dans sa version Nord-Est et Nord Ouest par Djebel Fernane 1675 m Djebel Tsegna.

I.3.2 Le piémont

Appelé **Djerr**, entre 500 à 700 m transition entre la montagne et la plaine allongée Ouest- Est.

Au Nord, il est assez large et se constitue en forme de grands paliers correspondant à des niveaux de glaciaires qui sont profondément entaillés par une série d'Oueds qui descendent des djebels septentrionaux. Le piémont Sud, beaucoup moins étendu, est plat et encombré d'accumulation de sable.

I.3.3 La plaine

Proprement dite définie assez exactement par la courbe de niveau 500 m et couvre les deux tiers du Hodna. Elle s'étale jusqu'aux abords de chott qui occupe le centre du bassin.

Il faut, là également, distinguer la plaine du Nord et de l'Est et celle du Sud appelé **Rmel**.

Au Sud, **Le rmel** offre un paysage d'étendue sablonneuse, plate avec souvent des champs de dunes de quelques mètres de hauteur. Le sable est accumulé soit en masse informe, soit en de petits massifs allongés de véritables dunes vives appelées **erg** qui marquent en partie les bonnes terres et le chott.

I.3.4 Chott El Hodna (Sebkha)

Appelé aussi la « niche des oiseaux migrateurs », Vaste surface d'épandage des eaux de crues 1150 km², situées au cœur de bassin Hodna de forme presque elliptique se trouve au centre de la plaine.

C'est une étendue argileuse, absolument plane et fortement salée où toute végétation est absente.

I.4 Climat :

Hodna est une steppe plus chaude et plus sèche que les hautes steppes de l'Algérois et de l'Oranie. Sa position au fond d'une cuvette lui vaut une sécheresse et une pluviométrie capricieuse qui préfigurent le Sahara.

La situation géographique nous donne une année climatique partagée entre deux grandes saisons : une saison fraîche et relativement humide de novembre à avril et une saison chaude et sèche de mai à octobre.

I.4.1 Bioclimat

D'une manière générale

- Ø Aride sub désertique ou l'aride inférieur : au niveau du chott et la zone de Rmel .ce climat caractérisée par une sécheresse presque continuelle de 11 à 12 mois secs et d'une faible précipitation.
- Ø Sub aride ou l'aride moyen : il correspond à une grande partie de la plaine Hodnéenne il couvre le piémont et la plaine au nord de la sebkha avec 5 à 9 mois secs.
- Ø semi aride ou l'aride supérieur existant dans la zone des montagnes de l'atlas tellienne (monts du Hodna, massif des Belezma) et le bassin amont de oued l'ksob situé sur les hautes plaines Sétifiennes ainsi que les monts des Ouled nail au Sud- Est du Boussaâda.

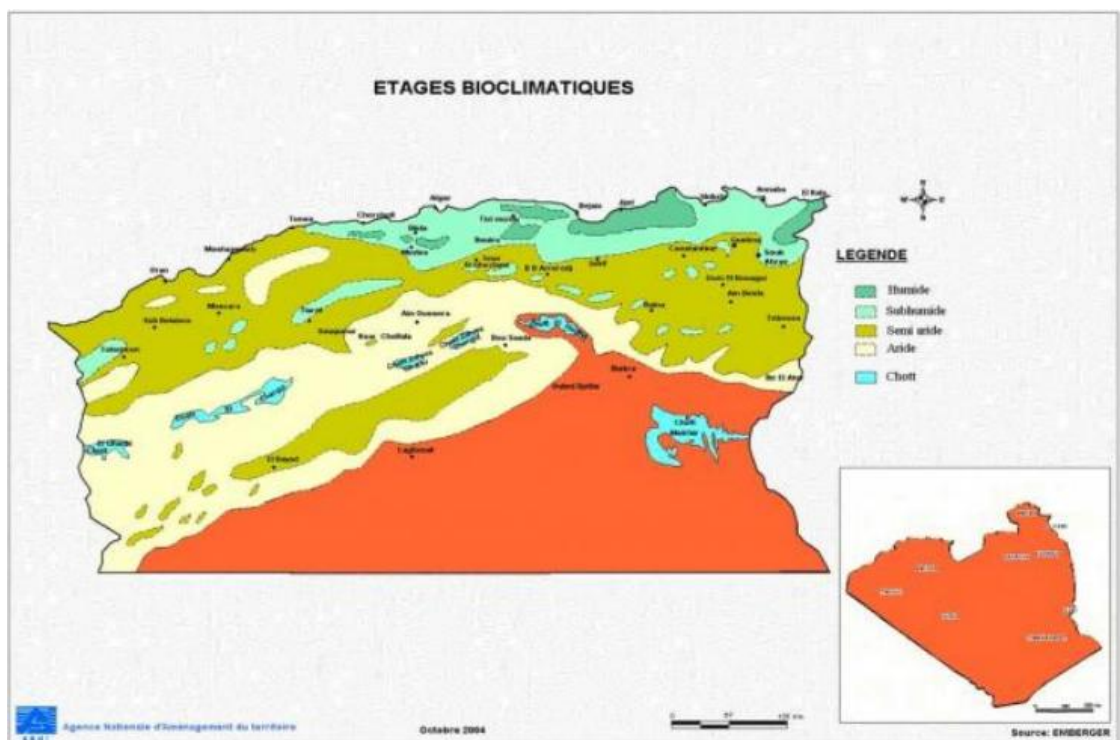


Figure I.2 Carte bioclimatique de l'Algérie (Meddour)

I.4.2 La pluviométrie

Le paramètre climatique hydrologique essentiel dans le fonctionnement d'un bassin versant, dans la région Hodna, le régime des écoulements est fortement lié aux précipitations, Leur intensité, leur continuité et leur périodicité et même sont origine d'écoulement, de sa localisation et de sa violence. (kerdoud .S 2006)

La tranche d'eau reçue varie de 500 à 600 mm environ sur les hautes plateaux hodnéenne, tandis que elle est variée entre 200 à 400 mm et moins de 200mm au niveau de la zone du rmel et chott l'Hodna.

I.4.3 Température

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographique, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement annuel et saisonnier. (Bouanani.A 2004).

Les valeurs thermiques de continentalité du Hodna, le gradient thermique annuelle est élevé 0,75°C pour une augmentation de 100 mètre para port au gradient moyen admis en Algérie qui est de 0.55°C tous les 100 m maximale Varié entre 24°C et 27°C en plaine, entre 19 et 21 dans les hautes plateaux, minimal entre 9 °C et 12°C en plaine, 6°C et 9 en altitude.

L'étude des températures minimales et maximales introduit des nuances dans le régime thermique du Hodna.

I.5 Le couvert végétal

L'occupation végétale a une influence sur la rapidité du ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin versant. elle est jouée un rôle primordial dans la protection du sol, avec un patronage mécanique directe sur l'écoulement pour diminuer la force des eaux et en favorisant leur infiltration.(Belagoune. 2012)

Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement.

Le couvert végétal se caractérise par une zonalité très nette de direction nord-sud constituant parfait révélateur des nuances bioclimatique et la variété morpho- pédologique.

Sur les versant montagneuse, les groupements forestiers tell que le pin d'Alp (pinus halepensis) domine avec quelques chênes verts et rarement des cèdres(cedrus atlantica) sur les sommets.

Dans l'ensemble de la cuvette Hodnéenne, les groupements steppiques couvrent la plus grande superficie suivant le bioclimat et la nature des sols, on peut distinguer les steppes fraîches et les steppes chaudes.

Sur les glacis à encroûtement calcaire du piémont le couvert végétal est l'armoise blanche (*artemisia herba alba*) associée au chobrouk (*noaea mucronata*)

A l'aval du piémont, dans la plaines proprement dite, le paysage végétal est toujours la steppe, mais avec des espèces adaptées à la salure comme *Artiplexe halimus* (guetaf)

An passant de la plaine vers le chott, les groupements végétaux deviennent hiperhalophiles. Pour disparaître complètement dans la sebkha.

La région de Rmel comporte une végétation psammophiles telles que le drinn (*Aristida punens*) l'arta (*calligonum comosum*) et le rtem (*retama- retam*) en association avec d'autres groupements ou l'on retrouve l'alfa (*stipa tenacissima*) l'armoise l'ousara (*salsola vermiculata*) Fait l'important, l'alfa ne forme dans le bassin du Hodna que de très maigres peuplements sans commune mesure avec ceux des hautes steppes sud oranaises elle couvre près de tiers de la superficie de la région

L'alfa est une espèce qui craint la sècheresse et qui exige un hiver froid ou frais ce qui n'est pas le cas dans le Hodna qui reste un bassin surchauffé.

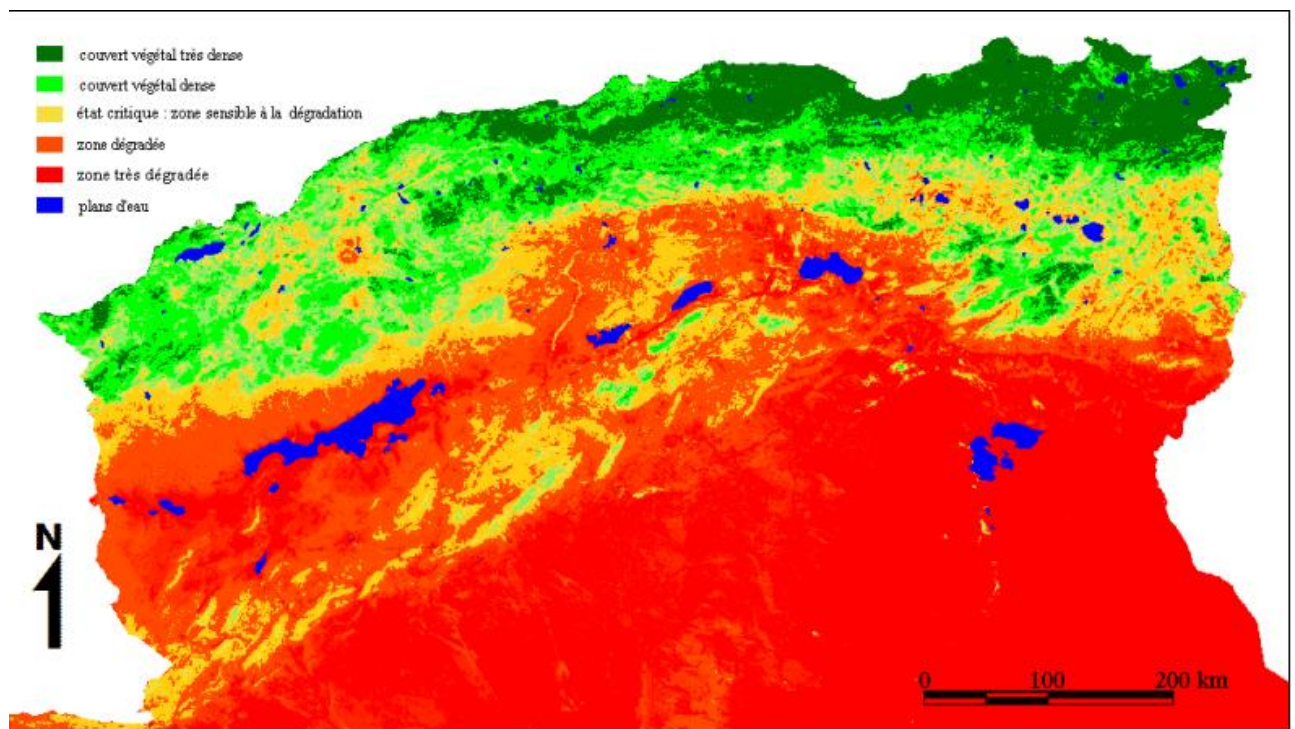


Figure I.4 Carte couvert végétal de l'Algérie de Nord (Benslimane et al 2008)

I.5.1 Les terres de culture : subdivisées en trois catégories

les terres haï : c-t-d vivifiables au moyen de barrages construits sur les principaux Oueds (K'sob, Selmane, Barika.....). ces terres sont partagées entre les individus qui ont pris part aux travaux des barrages

les terres Djelf (limoneuses) sont labourables comme les terres haï mais elles ne sont arrosées que par les eaux détournées de leur cours (**faïd**) au moment des crues, grâce à de petits ouvrages de canalisation construits dans les environs immédiats. Elles ne jouissent donc que d'inondations irrégulières contrairement aux premières qui sont irrigables toute l'année.

Les terres hamada : pierreuses et trop élevées pour que les crues puissent les atteindre, sont affectées au parcours.

I.5.2 Les forêts

Les Forêts couvrent 188 566 ha, soit 7,7% de sa surface globale du Hodna

Djbel om saad 33,566 ha

Mjadel 21,277 ha

Driaât 16,935 ha

Ouennougha 1,500 ha

El Sfi 4,855 ha (CDF)

I.6 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents, permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire). (Blagoune.)

Le réseau hydrographique est tout diversifié, mais il se distingue par sa dégradation et le régime des oueds Hodnéens se caractérise aussi par l'existence d'un grand nombre d'années sèche entrecoupé par un petit nombre d'année humide avec crues violentes.

L'irrégularité, la faiblesse des étiages et l'ampleur des crues réduisent considérablement l'intérêt des eaux de surface pour l'agriculture, la plus grande partie des volumes annuels coule au moment des crues, ensuite pendant le reste de l'hiver et il n'en reste guère pour les mois secs qui sont ceux au cours desquels l'agriculture est demandeuse.

Pour la majorité, ce sont des Oueds à écoulement temporaire. On peut citer d'Ouest en Est les oueds suivants:

Oued Elham, dont le bassin présente 1/5 ou 1/6 de la totalité du bassin hydrologique du Hodna, oued Targa, l'un de ses affluents est particulièrement salé, surtout pendant l'étiage (50 g/l résidu sec).

Le régime de cet oued est permanent:

*Oued Lougmane dont le régime est permanent

*Oued Ennafida. le régime est temporaire

*Oued Nakrar dont le régime est temporaire

*Oued Barika sur lequel existe un barrage de dérivation. Cet oued draine les monts du Belazema, son régime est permanent.

*Oued Bitam dont le régime est temporaire. Par contre dans la zone Sud du chott Hodna.

il n'existe que deux oueds importants:

*Oued Boussaâda et son affluent Maitar. Son régime est temporaire

*Oued Mellah ou oued M'cif plus en aval, rejoint le chott à l'ouest de Guelalia.

Au Nord, les oueds prennent naissance au mont du Hodna et s'acheminent vers le Chott, sur les formations lithologiques des plaines et hautes plaines.

La période des sécheresses étant longue, ces oueds restent longtemps à sec.

Tous les oueds, permanents ou non, ont des crues secondaires et fortes, les eaux se déversant dans le chott sont estimées à 150 hm³ par an pour une année moyennement pluvieuse

Les oueds les plus importants sont centrés au Nord et à l'Est de chott : Oued El ham, Oued Ksob, Oued Barika Oued Maitar qui débouche dans la plaine à Boussaâda, et Oued M'cif qui jette dans le chott près de Guellalia ; ils sont variés d'une année à l'autre, Tableau I.1

Tableau I.1 caractéristiques et écoulement du bassin du Hodna

SOUS-Bassins du Hodna	caractéristiques				Écoulement(en million en m ³)		
	Surface km ²	Altitude moyenne (m)	Pluvio-moyenne annuel (mm)	Température Moyenne annuelle C°	Écoulement moyen annuel	Hypothèse d'utilisation agriculture	Écoulement au chott
Leham	6400	710	292	16.2	62	34	28
Mellah	4200	950	251	14.7	33	10	23
Maiter	2800	950	300	14.5	33	20	13
Ksob	2400	870	343	15.8	57	47	10
Barika	2100	920	345	15	54	30	24
Roumana	1450	670	290	16.5	9	6	3
Mdoukal	1100	520	180	17.6	1	1	0
Lougman	1000	650	255	16.7	10	3	7
Boutaleb	1000	750	320	16	17	4	13
Selmane	1000	770	330	15.8	23	6	17
Bitam	1000	735	245	16.1	12	10	2
Soubella	4007	790	335	15.7	12	2	10

(FAO1975)

I.7 Géologie

I.7.1 Le Primaire

Les formations géologiques du paléozoïque sont absentes dans cette région. Toutefois, au Nord de celle-ci ont été observés des niveaux de formations allochtones qui comportent des copeaux provenant du socle primaire (roches sédimentaires, éruptives et métamorphiques).

I.7.2 Le Secondaire

I.7.2.1 Trias :

Le Trias est absent dans cette zone d'étude, les affleurements triasiques sont soit pseudo-diapiriques (Boussaâda), soit jalonnant les contacts anormaux (Ouled Tebbane, Boutaleb

I.7.2.2 Jurassique :

généralement il est occupé la partie centrale et orientale des monts du Hodna ,dogger formé de calcaire et marno-calcaire au niveau de Djebel Soubella, Kimméridgien de calcaire et de marne au niveau de Ouled Tebbane Djebel Boutaleb et dj soubella,sud de chott El Hodna

I.7.2.3 Crétacé

Le cadre montagneux est constitué principalement par des formations crétacées, on note la présence d'un Crétacé inférieur à la base calcaires dolomitiques surmontés par des grès, environ (Dj Boutaleb, faciès argilo gréseux et dolomitique environ Dj Mâadid et d'un Crétacé supérieur. marnes noirâtres et verdâtres à l'Est des monts du Hodna, faciès calcaro-marneux Au niveau de Oued L' ksob

I.7.3 Le tertiaire

I.7.3.1 Paléogène

Il occupe le plan méridional des monts du Hodna d'âge

- § Paléocène (marne noire),
- § Eocène (calcaire marneuse, calcaire à selis, marne argileux)
- § Oligocène (gréseux- argileuse)

I.7.3.2 Néogène

- § Représenté par Miocène inférieur
- § Pliocène

I.7.4 Le Quaternaire

En discordance sur le mio-pliocène, cinq niveaux de glacis ont été reconnus : le mouloyen Q5, le salétien Q4, le tensiftien Q2 le soltanien Q1 et le rharbien et actuel Q0.

Q3 pose problème parce qu'il ne correspond pas aux descriptions de ce milieu dans les autres régions de Maghreb (faciès limoneux rougeâtres). Cependant R.Guiraud ne rejette pas l'hypothèse de son existence mis confondus avec les deux niveaux qui l'encadrent (le salétien et le tensiftien).

Les glacis généralement étagée et emboîtés, avec des apports fins limono argileux, occupent la plus grande surface dans les zones arrosées et bien drainées situées au Nord et à l'Est du Chott. Par contre au sud et à l'Ouest de ce dernier, les glacis anciens superposés et masqués par les rapports sableux récents et actuels.

I.7.4.1 Les niveaux supérieurs

Les niveaux de quaternaire ancien et moyen se présentent sous forme de glacis d'érosion qui se sont développés au pied de reliefs en une série de surfaces aplanies ,emboîtées et couronnées de croutes ou d'encroutement calcaro- gypseux.

Dans la zone Nord (Djerr) ces formations quaternaires ont été attaquées et le sont encore par une érosion linéaire assez violente ; aussi ne subsiste il de ces niveaux que des lambeaux sous forme lanières reposent sur les marnes pliocène érodées en bads-lands. la zone sud (LeRmel), les

niveaux les plus anciens n'existent pas sauf au sud de Mdoukal et autour de djebel Mtlili, les niveaux moyens sont présents sous forme de cônes très grossiers et d'éboulis de piémonts qui ceinturent les principaux reliefs

I.7.4.2 Quaternaire récent (soltano-rhabiennes)

Ces formations se présentent sous forme de très grands épandages et de systèmes de cônes a matériaux fins qui s'étalent jusqu'aux abords de la sebkha. Elles couvrent une très vaste superficie dans la zone nord de chott ; au sud elles sont beaucoup plus réduites du fait de la prédominance des matériaux éoliens, principalement sableux.

I.8 Tectonique

Le Haodna est un vieux fossé de subsidence dont l'origine remonte à une période d'activité tectonique bien connue : celle des plissements pyrénéens(ou plissements éocènes datés du lutécien supérieur)le bassin est pour ses grands traits, issu de cette période .

Suite à ce plissement, s'accumulent dans la dépression des dépôts continentaux (produits de démolition des chaînes pyrénéennes de l'Eocène et de l'Oligocène. dès le début du Miocène, la mer burdigalienne envahit la quasi de totalité du bassin épisode marin dure jusqu'à la fin du Miocène.

A partir de cette période et durant tout le pliocène, la cuvette Hodnéenne se remplit d'une importante couche de dépôts provenant essentiellement des reliefs qui l'entourent s'est le remblaiement continental mio-pliocène

Au cours de quaternaire ancien , les dépôts mio-pliocène sont modérément plissés par une tectonique qui ne s'est pas encore stabilisée donnant naissance aux collines du nord ouest les formations quaternaires se développent ensuite a partir des produits de démolition de ces collines et des reliefs du pourtour créant des surfaces large et inclinées, borées au sud par la sebkha que l'on peut observer aujourd'hui .

I.9 Hydrogéologie

Le bassin du Hodna renferme un certain nombre de formations aquifères réparties sur plusieurs étages allant du jurassique au quaternaire.

Leur structure est maintenant assez bien connue, l'analyse du remplissage hodnéenne peut se résumer en deux grands ensembles de réservoirs qui se superposent :

- ✓ La nappe du remplissage mio-pliocène en profondeur ,
- ✓ L'aquifère superficiel constitué par les formations détritiques du quaternaire.

La nappe la mieux connue est celle de remplissage mio-pliocène, elle est en charge et devient artésienne au centre de la cuvette.

Dans la zone Nord est Est, elle est située dans les conglomérats et grès de mio pliocène.

A cet aquifère s'ajoutent à l'Est les calcaires et dolomies du Turonien et Cénomaniens supérieurs. Ils sont à l'origine de nombreuses sources dans la région de Ngaous, au pied de monts de Belezma.

Dans la zone Sud, les principaux aquifères sont constitués par les formations conglomératiques ou sableuses du tertiaire continental de Boussaâda.

*La nappe captive se situe à une profondeur variant entre 150 et 250 m, elle est exploitée depuis longtemps. Elle est peut-être chargée en sel.

*La nappe phréatique se trouve à une profondeur supérieure à 40 m dans la partie haute des plaines du Hodna ou sont exploitées près de la sebkha elle ou moins de 3 m de surface mais leur utilisation est très souvent limitée par la salinité des eaux (jusqu'à 280 g/l de résidu sec) et des terres.

I.10 conclusion

Le bassin Hodna est situé à l'extrême des hauts-plateaux s'étend sur 220 km de long et 90 km de large, est coincé entre deux formations montagneuses atteignant 1800 à 1900 m d'altitude au Nord et 600 m à 900 m au sud. C'est un bassin fermé qu'il assure par au moins 22 cours d'eau principaux, auxquels il faut ajouter des sources d'eau douce. Le régime hydrologique du Hodna est lié au régime pluviométrique caractérisé par fortes irrégularités, la majorité des cours d'eau n'ont pas de débits pérennes, à l'exception de quelques oueds comme oued Lougmane, Elham, Ksob, Selmane, Berhoum et Soubella, se trouvent localisées dans la partie septentrionale de la région les eaux profondes (nappe captive et phréatique) sont localisées sur le pourtour de chott elle sont naturellement constantes et de bonne qualité.

La végétation est présentée par des taches forestières (formation à base de pins d'Alp et de chênes verts) au niveau des montagnes, alfa et surtout l'armoïse au niveau de la steppe.

CHAPITRE II

II.1 Introduction

Un bassin versant est une portion de territoire délimitée par des lignes de crête, dont les eaux alimentent un exutoire commun. La ligne séparant deux bassins versants adjacents est une ligne de partage des eaux. Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal.

Chaque bassin versant se caractérise par différents paramètres géométriques (surface, pente),

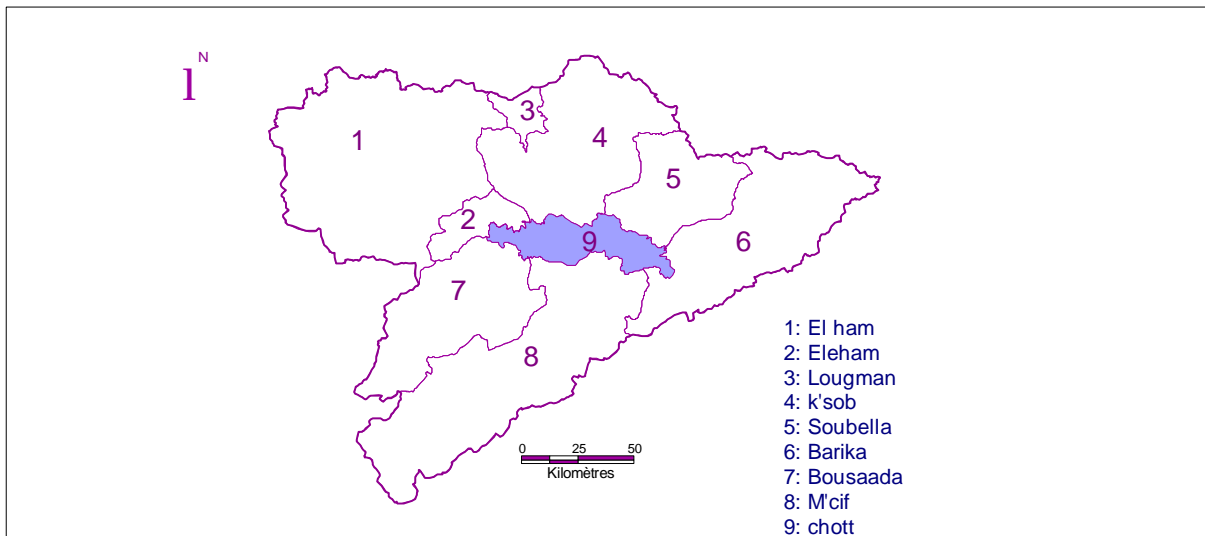


Figure II.1 Les sous-bassins du Bassin Versant du Hodna

II.2 Les caractéristiques morphométriques du Hodna

II.2.1 La surface

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. En calant la carte de tous les bassins de l'Algérie, la surface (A) exprimée en km^2 , peut être déterminée à l'aide d'un planimètre ou par les techniques de digitalisation (Par exemple les logiciels : MapInfo – Surfer – Mapscan – Covadis.)

Pour notre cas, les surfaces des sous-bassins du Hodna ont été mesurées en utilisant le logiciel MapInfo 2008

II.2.2 Le Périmètre

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant, il est exprimé en km. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Le périmètre peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par des logiciels cités précédemment.

Pour notre cas, les périmètres ont été mesurés grâce au logiciel MapInfo 2008 (Tableau II.1)

II.2.3 Indice de compacité de Gravelius

L'indice de compacité (K_G) renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin. Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il s'exprime par la formule suivante (ROCHE, 1963) :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{p \cdot A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots \text{II.1}$$

Avec :

K_G : Indice de compacité de Gravelius

P : Périmètre stylisé en km du bassin versant

A : Superficie du bassin versant en km^2

* Lorsque K_G est proche de 1 le bassin versant est de forme quasiment circulaire

* Lorsque le K_G supérieur à 1 bassin versant est de forme allongée.

Un bassin versant circulaire est mieux drainé qu'un bassin allongé.

$K_G = 1$	forme d'un cercle
$K_G = 1.12$	forme d'un carré
$K_G > 1.12$	forme d'un rectangle

II.2.4 Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux cotés du rectangle Équivalent. Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes ROCHE (1963) (Tableau II.1)

Tableau II.1 : Les paramètres morphométriques des sous bassins du Hodna

Les sous bassins (selon ANRH)	Périmètre (km)	Surface (km ²)	Sous bassins hydrographique
El ham	169,549	798,189	El ham
Sbissebe	223,333	1868,94	
Guernini	166,855	1061,25	
Djenane	176,911	848,929	
Terga	166,43	1042,63	
El kars	155,443	566,749	
El leham	152,954	638,549	Eleham
Lougman	105,18	337,302	Lougman
K'sob	200,669	1453,58	K'sob
M'sila	241,95	2187,02	
Soubella	217,674	1883,7	Soubella
Barika amont	175,084	899,256	Barika
Barika aval	161,76	1001,23	
Berriohe	171,85	521,946	
Bitham-Barika	232,069	1400,93	
Maitar amont	133,3	658,935	Boussaâda
Bousaada	192,528	1024,83	
Maitar aval	194,842	1269,61	
Ain arich	157,081	1117,31	M'cif
Chair amont	202,044	1579,22	
Chair aval	159,187	869,881	
M'cif amont	179,068	969,885	
M'cif aval	183,164	785,049	
Chott	273,129	1154,23	

Selon l'Agence National des Rousseurs Hydraulique, ce bassin est divisé en 23 sous bassins, mais en examinant ce découpage, on observe qu'il ne repose pas uniquement sur les critères purement hydrologiques, sinon comment peut on expliquer le découpage d'un bassin d'un même cours d'eau en deux ou plusieurs sous bassins. La seule explication qu'on peut avancer, c'est que ce découpage repose, en plus des critères hydrologiques sur les sites potentiels pour projeter des retenues d'eau, ou même, pour installer des équipements hydrométriques. Si on suit les talwegs des principaux cours d'eau on peut regrouper ces 23 sous bassins (sans compter le Chott El-Hodna) en 08 grands sous-bassins uniquement (Figure II.1) ces derniers ont le même cours d'eau, le même exutoire ou la même zone de rejet. Les nouveaux grands sous-bassins sont présentés dans le (tableau II.2)

Tableau II.2: Les paramètres morphométriques des sous bassins hydrographiques du Hodna

Sous bassin	Périmètre (km)	Surface (km ²)	Kg	L (km)	l (km)
El ham	417,760	6186,678	1,498	173,153	40,304
El eham	152,954	638,549	1,707	66,938	10,761
Lougumane	105,180	337,302	1,615	45,113	8,434
K'sob	344,270	3640,600	1,609	147,444	27,852
Soubella	217,674	1838,700	1,432	87,925	25,589
Barika	405,110	3823,362	1,848	181,488	23,763
Boussaâda	303,200	2953,675	1,573	128,639	25,900
M'cif	481,120	5321,345	1,860	215,914	27,800

II.3 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)

II.3.1 Les courbes hypsométriques

Cette courbe donne la surface S (en km² ou en % de la surface totale) où les altitudes sont supérieures à une cote h donnée. Cette courbe est établie en planimètres pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante. On utilise le modèle numérique de terrain (MNT) pour déterminer les altitudes et les courbes de niveau (Figure II.2).

Pour présenter la courbe hypsométrique, on mesure les surfaces entre chaque deux courbes de niveaux successives du bassin versant avec la digitalisation en utilisant le logiciel Mapinfo. On détermine les pourcentages de ces surfaces, ces dernières exprimées en pourcentage cumulées en se référant à surface totale sont portées en abscisse de la courbe hypsométrique, en ordonnée on rapporte les altitudes moyenne entre chaque deux courbes. Cette courbe est présentée dans (Figure

II.2) et le résultat dans le Tableau II.3 et Annexe, et les courbes hypsométriques du bassin versant sont données dans les figures II.2, II.3 et Annexe.

Tableau II.3 : Répartition des surfaces en fonction des altitudes du sous bassin El ham

Altitude(m)	Hmoy	Surface partielle		Surface cumulée		Si* Hmoy
		Si en km ²	%	Si en km ²	%	
1600 - 1818,1	1709,05	12,33	0,1992985	12,33	0,1992985	21072,5865
1400 -1600	1500	34,624	0,55965216	46,954	0,75895065	51936
1200-1400	1300	61,255	0,99010781	108,209	1,74905846	79631,5
1000-1200	1100	417,157	6,74280311	525,366	8,49186157	458872,7
800-1000	900	1122,218	18,1392018	1647,584	26,6310634	1009996,2
600-800	700	2952,923	47,7301793	4600,507	74,3612427	2067046,1
422-600	511	1586,193	25,6387573	6186,7	100	810544,623
		6186,7				4499099,71

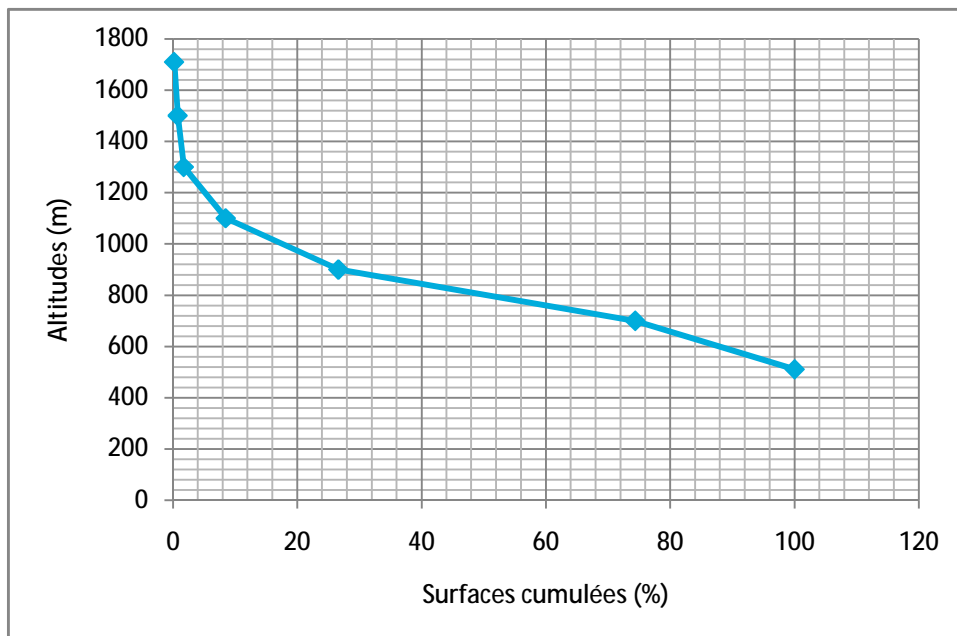


Figure II.2 La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant de El Ham

Tableau II.4 : Répartition des surfaces en fonction des altitudes du sous bassin du k'sob

Altitude(m)	Hmoy	Surface partielle		Surface cumulée		Si* Hmoy
		Si en km ²	%	Si en km ²	%	
1600-1882	1741	46,34	1,2728741	46,34	1,2728741	80677,94
1400-1600	1500	164,61	4,52153228	210,95	5,79440639	246915
1200-1400	1300	214,35	5,8877981	425,3	11,6822045	278655
1000-1200	1100	481,46	13,2248158	906,76	24,9070203	529606
800-1000	900	655,77	18,0127892	1562,53	42,9198095	590193
600-800	700	451,55	12,4032434	2014,08	55,3230529	316085
400-600	500	1437,5	39,4854666	3451,58	94,8085195	718750
366-400	383	189	5,19148048	3640,58	100	72387
		3640,58				2833268,94

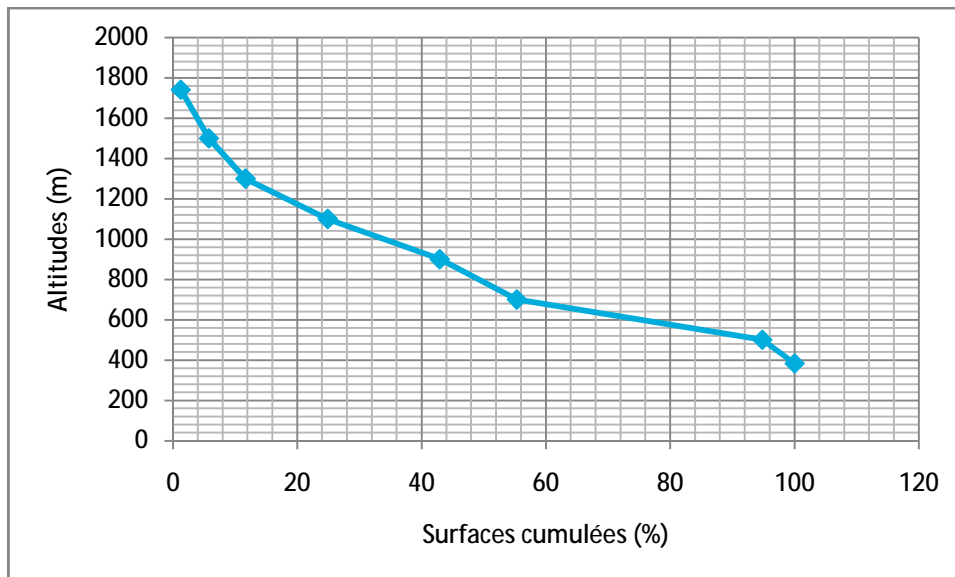


Figure II.3 La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant du k'sob

II.2.3.2 Les altitudes maximales et minimales

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevée du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement, à l'exutoire. Les valeurs des altitudes maximales et minimales des sous bassins du bassin versant du Hodna dans sont présentées dans le Tableau II.3

II.2.3.3 L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique (Tableau II.4) Elle est définie comme suit:

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A}$$

..... II.2

Avec:

Hmoy :altitude moyenne du bassin [m];

Ai : aire comprise entre deux courbes de niveau [km2];

hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m]

Tableau II.4 : Altitudes moyennes, maximales et minimales des sous-bassins du Hodna

Sous bassin	Hmin	Hmax	Hmoy
El ham	422	1818,1	727,22
Eleham	377	1239	575,51
Lougman	533	1713	916,45
K'sob	366	1882	778,24
Soubella	375	1862	762,61
Barika	200	2200	774,93
Boussaâda	400	1600	763,76
M'cif	400	1600	811,82

II.2.3 La dénivelée simple

On définit la dénivelée D comme étant la différence de cot entre H_{5%} et H_{95%}. Celles-ci sont lues sur la courbe hypsométrique.

D=H_{5%}-H_{95%}II.3

H: altitude

Tableau II.5 : La dénivelée simple des sous bassins du Hodna

Sous bassin	D(m)
El ham	620
Eleham	515
Lougman	840
K'sob	1030
Soubella	985
Barika	1160
Boussaâda	670
M'cif	695

II.4 Indice de pente globale I_g

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, il a été proposé par Laborde, un indice encore plus simple c'est la pente globale défini comme suit :

$$I_g = D/L \dots\dots\dots II.4$$

où:

D : la dénivelée ($H_{5\%} - H_{95\%}$) définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique.

L : la longueur du rectangle équivalent.

Cet indice, très facile à calculer, est très utilisé, Il sert comme la base des classifications (O.R.S.T.O.M.) des bassins versants.

$1g < 0,002$	Relief très faible
$0,002 < 1g < 0,005$	Relief faible
$0,005 < 1g < 0,01$	Relief assez faible
$0,01 < 1g < 0,02$	Relief modéré
$0,02 < 1g < 0,05$	Relief assez fort
$0,05 < 1g < 0,1$	Relief fort
$0,10 < 1g$	Relief très fort

$$I_g = D / L \dots\dots\dots II.4$$

Où

I_g : indice globale de Roche

D : dénivelée totale (m).

$$D = H_{95} - H_5 \text{ (m)}$$

II.5 La pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration t et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante:

$$i_m = \frac{D.L}{A} \dots\dots\dots II.5$$

L : longueur totale de courbes de niveau [km],

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m],

A : surface du bassin versant [km²]

Tableau II.6 : pente moyenne, et globale des sous-bassins du Hodna

Sous bassin	$I_m(\%)$	I_g
El ham	7,19	0,0067
Eleham	5,45	0,0079
Lougman	12,16	0,014
k'sob	11,19	0,007
Soubella	10,68	0,012
Barika	11,67	0,011
Boussaâda	14,49	0,008
M'cif	23,29	0,006

II.6 Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. La définition d'un cours d'eau est difficile à donner avec

précision, en particulier pour les cours d'eau temporaires. Selon le support cartographique utilisé, on étudiera le réseau avec plus ou moins de détails: en photographie aérienne, on pourra déceler des thalwegs de très faibles extensions.

II.6.1 La densité de drainage D_d

Elle se définit (Horton) par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \dots\dots\dots \text{II.6}$$

Avec :

D_d : densité de drainage [km/km^2].

L_i : longueur de cours d'eau [km]. A : surface du bassin versant [km^2].

La densité de drainage dépend de la géologie, des caractéristiques topographiques du bassin versant et dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques.

En pratique, les valeurs de la densité de drainage varient de 3 à 4 pour l'écoulement très limité et se trouve centralisé; elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration.

II.7 Temps de concentration

Le temps de concentration t_c des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum des durées nécessaires à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier (Figure II.3)

Il est composé de trois termes différents t_h : Temps d'humectation : Temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle. t_r : Temps de ruissellement ou d'écoulement : Temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur). t_a : Temps d'acheminement: Temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Parmi plusieurs formules proposées dans la littérature, on utilise la formule de Giandotti, donnée comme suit :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{II.7})$$

Où : L_p : longueur du talweg principal

A : surface du bassin versant (km^2).

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

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

Tableau II.5 : Le temps de concentration des sous bassins du Hodna

Les sous bassins	Les oueds	Tc (Giandotti) (heures)
El ham	El ham	35,71
El leham	El leham	5,94
Lougman	Lougman	8,88
k'sob	L'Ksob	18,09
	Enafida	7,41
Soubella	Soubella	8,88
	Djezzar	8,35
Barika	Barika	18,9
	Mazouz	11,22
Boussaâda	Boussaâda	11,9
	Maiter	14,28
M'cif	M'cif	29,8

II.8 vitesse de ruissellement

Elle est donnée par la formule suivante

$$V_r = \frac{L_p}{T_c} \dots\dots\dots (II.8)$$

Lp : Longueur du talweg principal en Km.

Tc : Temps de concentration en heure.

Tableau II.6 : Vitesse de ruissellement des sous-bassins du Hodna

Les sous bassins	les oueds	Vr (km/h)
El ham	El ham	3,44
El leham	El leham	3,76
Lougman	Lougman	5,59
k'sob	L'Ksob	3,75
	Enafida	5,79
Soubella	Soubella	3,28
	Djezzar	4,94
Barika	Barika	4,22
	Mazouz	5,87
Boussaâda	Boussaâda	4,27
	Maiter	4,86
M'cif	M'cif	4,31

CHPITE III

III.1 Introduction

Le monde souffre actuellement plus que jamais, de phénomène de l'érosion, en particulier dans les zones arides et semi-arides. L'Afrique du Nord pâtit dans de nombreux pays des graves problèmes environnementaux contribuent au trouble de notre planète.

Aujourd'hui, l'érosion est l'un de ces problèmes qui résulte de la sévérité des conditions climatiques et de la mauvaise utilisation des ressources naturelles .

III.2 L'érosion hydrique

L'érosion hydrique est un phénomène complexe par son caractère irrégulier, aléatoire et par sa discontinuité spatio-temporelle. En raison de son ampleur et son agressivité, elle constitue une contrainte majeure au développement de l'agriculture et à la promotion des activités rurales. Ce phénomène, est caractéristique dans la région du Maghreb dont les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées. L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol

III.3 Formes de l'érosion hydrique

III.3.1 L'érosion en nappe ou aréolaire ou laminaire "sheet erosion"

C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Cette érosion en nappe entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface, autrement dit c'est une forme d'érosion diffuse. De ce fait, elle est peu visible d'une année à l'autre.

L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois :

- ✓ de l'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement,
- ✓ de l'énergie des pluies qui détachent les particules susceptibles de migrer
- ✓ de la durée des pluies et/ou de l'humidité avant les pluies.

Lorsqu'il y a l'érosion en nappe, le déplacement des particules se fait d'abord par effet "splash" à courte distance et ensuite par le ruissellement en nappe. La battance des gouttes de pluie envoie des gouttelettes et des particules dans toutes les directions. En fait, ce n'est qu'après formation des flaques et débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à l'autre, que naît le ruissellement en nappe. Celui-ci s'étalant à la surface du sol gardera une faible vitesse même sur des pentes de 5 à 10 % à cause de la rugosité du sol (mottes, herbes, feuilles, racines, cailloux, etc...) qui l'empêchent de dépasser la vitesse limite de 25 cm/seconde.



Figure. III.1 l'érosion en nappe (Boussaâda)

III.3.2 L'érosion linéaire (micro-channel ou Rill Erosion)

Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme d'abord des flaques; ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau et lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 25 cm par seconde d'après Hjulström (1935), ils acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace par des lignes d'écoulement. Cette énergie n'est plus dispersée sur l'ensemble de la surface du sol, mais elle se concentre sur des lignes de plus forte pente. L'érosion linéaire est donc un indice que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie cinétique capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses: non seulement des argiles et des limons comme l'érosion en nappe sélective, mais des graviers ou des cailloux et même des blocs.

L'érosion linéaire est exprimée par tous les creusements linéaires qui entaillent la surface du sol suivant diverses formes et dimensions (griffes, rigoles, ravines, etc.). En fait, L'érosion linéaire apparaît lorsque le ruissellement en nappe s'organise, il creuse des formes de plus en plus profondes. On parle de griffes lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur,

de rigoles lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur mais sont encore effaçables par les techniques culturales. En effet, sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.



Figure. III.2 Griffe

III.3.2.1 Les formes de l'érosion par ravines

On parle de nappe ravinante lorsque les creux ne dépassent pas 10 à 20 cm mais que leur largeur atteint plusieurs mètres et enfin, de ravines lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 30 cm) et en particulier, lorsqu'ils ne sont plus effaçables par les techniques culturales. A l'intérieur des ravines on peut encore distinguer des petites ravines dont le lit est encore encombré de végétation herbacée et surtout arbustive et qu'on pourra fixer rapidement par des méthodes biologiques. Par contre, dans des grandes ravines qui peuvent s'étaler sur plusieurs kilomètres, le canal central comporte des blocs rocheux, témoins d'un charriage important et d'une certaine torrencialité. La ravine est une rigole approfondie où se concentrent les filets d'eau.

La rigole se transforme en ravine lorsque sa profondeur interdit son nivellement par des simples instruments aratoires. En d'autres termes, Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion linéaire. Il y en a trois processus de ravinement.

III.3.2.1.1 Forme v

Dans la nature, on observe le plus souvent des ravines en forme de **V** qui s'impriment dans un matériau homogène, plus ou moins meuble, sablo-argileux; argileux, marneux ou schisteux. Les versants de ces ravines évoluent par altération de la roche: en saison froide par alternance de gelées et de soleil, en saison chaude, par alternance de périodes sèches et d'averses. On observe en milieu méditerranéen une altération des marnes et des schistes qui peut atteindre 4 à 10 mm par an. L'enfoncement a lieu lors des averses exceptionnelles. Une à deux averses par an suffisent pour dégager toutes les particules accumulées durant l'année au fond de la ravine et pour entailler le fond de la ravine par abrasion des matériaux que le ruissellement charrie.

Au cours des saisons intermédiaires, les matériaux fins accumulés sur les versants par altération des roches, glissent jusqu'au fond de la ravine, d'une part suite à l'impact des gouttes de pluies, et d'autre part par formation de petites rigoles secondaires ou le plus souvent par glissement en masse des particules saturées par l'eau. La pente d'équilibre des versants étant largement dépassée, aucune végétation ne peut s'y installer. La lutte antiérosive va donc s'attacher à stopper le surcreusement du fond de la ravine et à rétablir la pente d'équilibre sur les versants.

III.3.2.1.2 Forme U

Un deuxième type de ravines en **U** s'observe fréquemment dans la nature sur des matériaux hétérogènes. Soit elles ont un fond constitué de matériaux très résistants: lors des crues exceptionnelles le canal va donc s'élargir latéralement par effondrement. Soit, la couche de résistance se trouve en surface, le ruissellement creuse alors profondément le matériau jusqu'à atteindre une nappe d'eau temporaire ou permanente qui va exercer une poussée latérale sur le bas du versant jusqu'à ce que celui-ci s'effondre (sapement de berges). Ici également il sera nécessaire de fixer le fond de la ravine, de retenir les sédiments jusqu'à obtenir une pente d'équilibre des versants. Dans les terrains de grande culture du bassin parisien, on peut aussi trouver des ravines en U emboîtées, développées dans des limons de cohésion croissante depuis le lit de semence, la zone labourée et la semelle de labour dans l'horizon B tassé non travaillé.

III.3.2.1.3 L'érosion en tunnel

Il existe une troisième forme de ravinement encore plus difficile à traiter: l'érosion en tunnel (tunneling). Elle peut se développer sur des pentes faibles, dans un matériau fissuré en surface, soit sur des sols riches en argiles gonflantes (vertisols, sols bruns tropicaux, etc...), soit sur des marnes riches en gypse ou en d'autres minéraux solubles (fréquent dans le bassin méditerranéen). Lors des orages de fin de saison sèche, les eaux pénètrent dans ces sols fissurés jusqu'à la roche altérée, ruissellent dans ces fissures jusqu'en bas de pente où elles peuvent former des ravines régressives.

Les fissures du sol dans lesquelles s'engouffre le ruissellement hypodermique vont se transformer progressivement en tunnels, lesquels s'effondrent et forment des ravines régressives qui peuvent progresser de quelques dizaines de mètres au cours des grosses averses. Seul, le labour en sec peut colmater ces fissures et forcer l'eau à mouiller toute la masse de sol sans s'infiltrer préférentiellement dans les méga porosités.

Tableau III.1 Comparaison entre les différents types d'érosion

Formes de dégradation et d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu et conséquences (d'après Roose, 1994)			
Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes	Les causes : différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu	Les conséquences : sélectivité de l'érosion et des dépôts
Erosion mécanique sèche Forme : creeping	Gravité et poussée par les outils de travail du sol	- fonction de l'intensité du travail du sol, c'est-à-dire de la fréquence des travaux et du type d'outil - fonction de la pente et de la cohésion du terrain	Sélectivité Erosion: 0 Dépôt: 0
Erosion en nappe Forme: nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation, "demoiselle coiffée", microfalaie	Battance des gouttes de pluie	- le couvert végétal, - la pente, - le sol, - les techniques et structures antiérosives	Sélectivité Erosion: + + Dépôt: + +
Erosion linéaire Formes: griffes, rigoles, ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse au carré $1/2MV^2 = 1/2MGH$	- la vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité, - le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration, - résistance du profil du sol et des racines	Sélectivité Erosion: 0 Dépôt: + +

III.4 Les facteurs d'érosion

III.4.1 Climat

Le climat est un facteur important, qui influe sur l'érosion hydrique, surtout la pluie qui se produisent souvent durant la saison froide, où 90% des précipitations entre Septembre et Mars pendant la saison des pluies en hiver fréquent garder le sol saturé, provoquant l'écoulement de l'eau, même avec des pluies de faible intensité, les orages au cours du printemps et de l'été, qui se caractérise par la violence et une forte intensité localement.

Le plus grave est les fortes pluies après une longue sécheresse, les températures élevées permettent d'assécher et de fissurer le sol ce qui augmente sa vulnérabilité à l'érosion et il ya peu de végétation pour protéger la surface du sol, alors les premières pluies de la saison humide sont plus érosives que celles de la fin de saison quand la végétation est mieux établie.

III.4.2 Le sol.

Il est caractérisé par son type, sa texture et son état. En saison sèche l'humidité du sol est presque nulle, dans cet état le sol perd toute sa cohésion, il présente a cet effet une texture détachée des grains. Ce qui favorisera l'érosion hydrique lors des premières pluies. Il influe de même sur le ruissellement par ses capacités d'infiltration et de rétention.

III.4.3 La végétation

Un principe simple, plus un sol est couvert, plus ce couvert est dense et permanent Elle est de loin le facteur le plus important. La végétation vivante protège la surface du sol de l'impact des gouttes de pluie et des flux de ruissellement. , et donc du détachement par le splash ; les tiges et troncs forment des obstacles qui ralentissent la vitesse du ruissellement, ce qui réduit le détachement par le ruissellement ainsi que sa capacité de transport. Les racines forment un réseau près de la surface qui tient le sol en place, augmentant ainsi sa résistance au détachement. Les feuilles mortes et débris végétaux protègent la surface de l'impact des gouttes, ralentissent le ruissellement, et ajoutent de la matière organique au sol, ce qui le rend plus résistant à l'érosion et contribuent à limiter ces effets

En résultante des facteurs 4 et 5, la combinaison « sol peu couvert-pente forte » est particulièrement défavorable en matière d'érosion hydrique

III.4.4 La pente

Elle est liée à de nombreux autres facteurs, de telle sorte qu'on doit observer ce facteur avec beaucoup de précautions. Seuls seront donnés quelques exemples de paradoxes :

- les versants pentus ont souvent été préservés du défrichement pour usage agricole et sont mieux protégés par la couverture végétale ;
- les versants pentus peuvent être constitués de roches particulièrement résistantes à l'érosion

III.4.5 L'homme

L'homme qui, par maladresse et par des pratiques inadaptées sur les versants, est le facteur principal conditionnant l'intensité de l'érosion. Les défrichements qu'il opère sur les forêts et les parcours naturels, le surpâturage, la mise en culture sans précaution des terres tendres en pente, les labours mécanisés dans le sens des grandes pentes et la non restitution au sol de ses éléments nutritifs enlevés par les cultures facilitent le ruissellement et par conséquent l'érosion et ses effets indésirables pour l'environnement et pour l'économie.

Quelques photos sur l'effet de l'érosion dans la région de Boussaâda



Figure. III.3 L'effet de l'érosion avec faible couverture végétale



Figure. III.4 L'érosion dans un oued



Figure. III.5 Processus de pente



Figure. III.6 L'effet de l'érosion



Figure. III.7 L'effet de l'érosion

III.5 L'érosion dans les pays du Maghreb

L'érosion est un des processus majeurs de la dégradation des sols à l'origine d'une perte annuelle de 25 milliards de tonnes de sol à l'échelle mondiale. Une perte de sol supérieure à une tonne par hectare et par an est considérée comme irréversible sur une période de 50 à 100 ans.

En Afrique, au nord de l'équateur 11,6 % de la superficie totale sont touchés par l'érosion Hydrique (F.A.O, 1983).

Parmi les pays plus menacés de risque d'érosion se sont les pays du Maghreb, à cause de la situation géographique dans un étage bioclimatique aride à semi-aride.

III.5.1 En Algérie

Bien que l'érosion hydrique a été étudiée pendant de longues années, cela n'a pas empêché que beaucoup de choses restent inconnues, les problèmes déterminants de l'érosion sont multiples. L'érodibilité des sols et comme elle peut varier sous différentes conditions.

L'érosion hydrique affecte 28 % des terres de l'Algérie du Nord. Ce sont les terres à fortes pentes des massifs telliens qui sont les plus touchées. L'érosion se manifeste par la formation de rigoles et de ravines sur tout le versant avec affleurement de la roche-mère et une évolution en bad-lands (Hadjiat, 1997)

L'érosion hydrique constitue en Algérie un phénomène très grave qui affecte durement le patrimoine foncier. Elle touche 45% des zones telliennes soit 12 millions d'hectares cultivables. Ce phénomène devient encore plus grave si l'on sait que 85% des surfaces cultivables, sont situées dans les zones les plus sensibles à l'érosion (Chibanni, R. et al.1999).

Les deux agents principaux de l'érosion hydrique sont les précipitations et le ruissellement superficiel. Toutefois un grand nombre de facteurs (intensité et agressivité des précipitations, caractéristiques du sol, pentes et longueur de pente, le couvert végétal et l'état hydrique initial) et de mécanismes affectent la relation "chute de pluie – ruissellement- entraînement des terres".

III.5.3.2 L'érosion au Maroc

L'érosion hydraulique se développe rapidement dans le Nord du Maroc. La chaîne montagneuse rifaine qui ne couvre que 6% du territoire, produit plus de 60% des sédiments qui sont détachés de la couche arable des terres et jetés dans l'Océan atlantique et la Méditerranée.

La perte en sol annuelle par hectare est de 20 à 60 tonnes selon la pluviosité.

Le remplacement des éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore et potassium) perdus chaque année par l'appauvrissement des sols par l'érosion coûterait au paysan rifain plus de 700 dirhams/ha.(Abdelaziz L. MERZOUK) Au Maroc Sur 22 bassins versants environ 74% sont hautement menacés par l'érosion hydrique.

100 millions de tonnes de perte de sol Diminution de 50 millions de m³ de capacité de stockage (Dr Asmae Nouira).

III.5.3.3 L'érosion en Tunisie

En Tunisie, l'irrégularité climatique, la torrencialité des écoulements, la faible densité du couvert végétal et la sur exploitation des terres sont particulièrement favorables à l'accélération du phénomène de l'érosion hydrique qui menace gravement les potentialités en eau et en sols du pays. En effet, environ 325000 ha de sol sont fortement affectés par l'érosion et 986000 ha sont moyennement érodés (LAAJILI GHEZAL et al . 1998). Ces chiffres peuvent être vus à la hausse si on intègre la détérioration de la qualité chimique de nos sols dans les plaines et les périmètres irrigués, dont les effets ont pour conséquence l'augmentation de l'érosion hydrique aussi bien qu'éolienne.

En l'absence d'aménagement antiérosif, les sédiments entraînés par les eaux de ruissellement atteignent les retenues des barrages. Ils provoquent ainsi leur envasement, limitent leur capacité de stockage et réduisent leur durée de vie. En moyenne 25,3 millions de m³ de sédiments se déposent chaque année dans les retenues des barrages. Devant l'irrégularité et la complexité des processus d'érosion-transport-sédimentation et en vue d'une gestion (pub291).

CHPITRE IV

IV.1 Introduction

L'érosion des sols est un processus naturel et se distinguent habituellement selon la nature de l'agent en cause : érosion hydrique, éolienne, glacière, fluviale, marine (ou littorale), anthropique, etc. (Soutter et al., 2007). Le processus d'érosion peut être lent et inaperçu, ou il peut prendre des proportions alarmantes, entraînant une grande perte de sol arable. Le lessivage de la terre arable peut résulter en une réduction du potentiel de production, en une réduction de la qualité de l'eau de surface et en l'encrassement des réseaux de drainage (Arnold et al., 1989).

IV.2 Présentation du modèle

De nombreux modèles existent pour évaluer les risques d'érosion (Wischmeier and Smith, 1958 ; Bonn et al., 1994 ; Kirkby, 1995 ; Thornes et al 1996 ; De Jong and Riezebos, 1997 ; Quinton, 1997 ; Ozden, 1958 ; etc.

Pour représenter un système complexe, nous utilisons le modèle, celui-ci est une abstraction de la réalité, qui décrit le processus, les facteurs contrôlant ce processus sont dépendants de l'objectif original du modèle.

L'érosion hydrique est un processus de modèles d'érosion qu'ils étaient d'abord empiriques, pour l'élaboration d'équations mesurant la perte de sol en s'appuyant sur un grand nombre d'observations.

Afin de déterminer les phénomènes d'érosion ont été adaptés à ces différents modèles depuis ces 20 dernières années pour être appliqués dans SIG.

IV.3 Etude bibliographique des modèles d'érosion couplés au SIG

On peut citer deux classes des modèles. Les modèles empiriques et les modèles à base physique.

IV.3.1 Les modèles empiriques

Ce sont les modèles les plus simples, et n'ont pas besoin de beaucoup de données, La plupart de ces modèles sont calqués sur l'équation universelle de perte de sols (USLE : Universal Soil Loss Equation) définie par Wischmeier et Smith (1958).

Ce modèle empirique établi à partir du traitement statistique des résultats de nombreuses mesures en parcelles expérimental es menées sur plus de 20 ans exprime les pertes en sol comme le produit de différents facteurs selon la formule :

$$A = R * K * S * L * C * P$$

A : est la perte de sol due à l'érosion et constatée par unité de surface pendant une période de temps déterminée. A est exprimé dans les mêmes unités que K.

R : est appelé facteur pluie ou indice d'érosivité (rainfall factor). Il a été défini comme le produit de l'énergie de la pluie par son intensité maximum en 30 minutes. Il peut aussi être considéré comme l'indice moyen annuel d'érosion par la pluie. Ainsi on a été dressées des cartes d'érosion hydraulique pour le sud-est des Etats-Unis. Deux seuils empiriques ont été adoptés aux Etats-Unis, l'un associé à une hauteur de pluie de 12,7mm au-dessous

Duquel on ne considère pas les précipitations en considérant que leur indice d'érosivité est faible, et l'autre qui retient les pluies de 6,35 mm tombées en 15 minutes donc d'intensité supérieure à 25,4mm/h sur une période de 15 minutes

K : est appelé le facteur sol et caractérise l'érodabilité de ce sol (soil erodibility factor). Elle peut être définie comme la susceptibilité du sol à l'érosion et est établie par rapport à une parcelle standard, évaluée en tenant compte de la texture, de la teneur en matière organique, de la structure et de la perméabilité du sol sans tenir compte du couvert végétal et des pratiques culturales. Il a été établi après le travail sur 8 sols limoneux et varie de 0,58 à 1,12T/ha suivant les types de sol rencontrés. Pour le calculer, on utilise des abaques prévus à cet effet.

S * L Le facteur pente et déclivité tient compte à la fois de la longueur de la pente (L) et de son inclinaison (S). Dans la pratique, les deux facteurs de pente, L et S sont combinés en un seul facteur topographique qui permet d'évaluer globalement l'influence de la pente sur la vitesse de l'érosion. Des formules, tables et abaques permettent de quantifier les valeurs du facteur topographique.

C : Le facteur de couverture végétale est défini dans l'USLE comme le rapport entre la perte de sol d'une parcelle cultivée dans des conditions définies et la perte de sol correspondante d'une parcelle cultivée en jachère nue continue. C'est une mesure de l'efficacité relative des systèmes de gestion des sols et des cultures dans la prévention ou la réduction de la perte de sol. La valeur du facteur C est conditionnée par plusieurs variables et leur interaction nécessite des renseignements sur la voûte de verdure (feuilles et branches qui interceptent les gouttes de pluie et dissipent une partie de leur force érosive), la couverture végétale (résidus de culture et végétation vivante sur la surface du sol), la biomasse du sol (toute la matière végétale dans le sol; les résidus aident à améliorer l'écoulement de l'eau dans le sol et la capacité de rétention du sol) le travail du sol (type, période et fréquence de travail du sol ce qui influe sur la porosité, la rugosité de surface et la compaction du sol). Chaque variable est traitée comme un sous facteur

et C'est le produit de ceux ci. Des tables fournissent les valeurs des facteurs C pour les principales cultures et rotations pratiquées aux Etats-Unis (Wischmeier et Smith, 1978). Dans une rotation triennale traitée classiquement, la valeur du facteur C'est essentiellement contrôlée par les ameublissements, les traces de passage d'outils, l'évolution du couvert au cours du cycle végétatif de s cultures et après celles ci, par la quantité de résidus laissés en surface.

P : le facteur des pratiques de soutien (ou pratiques culturales anti-érosives) est une mesure des effets des pratiques visant à modifier le profil, la pente ou la direction de l'écoulement du Ruissellement en surface et à réduire ainsi l'érosion. On y trouve la culture en pente transversale, la culture en courbes de niveau, la culture en bandes alternées, l'aménagement de terrasses et l'aménagement de voies d'eau gazonnées. C'est le rapport de la perte de sol observée sur le terrain étudié travaillé mécaniquement d'une certaine façon et protégé contre l'érosion d'une certaine façon avec celle qui aurait lieu si le terrain était labour fréquemment dans le sens de la plus grande pente (suivant les pratiques et suivant la pente, il peut varier de 0,25 à 0,45).

L'équation a été réactualisée en 1978 et a été rendue plus accessible aux utilisateurs grâce notamment à des tableaux de données ainsi qu'à des graphes rendant son utilisation plus conviviale. Avec cette équation, les services américains de l'agriculture peuvent établir des tolérances ou des valeurs seuils de perte de terre pour des sols ou des systèmes culturaux donnés. Le poids des différents facteurs a été évalué à partir du traitement statistique d'un grand nombre de mesures réalisées sur un grand nombre d'années sur des parcelles standardisées de dimensions réduites.

Si une utilisation appropriée des paramètres de l'équation permet d'avoir une idée de la quantité moyenne de terre exportée pour différents types d'occupation du sol, cette équation a ses limites, liées aux hypothèses de base et à ses objectifs.

Parmi les avantages de Ce modèle, s'adapte facilement avec les applications dans le logiciel SIG.

L'échelle spatiale est utilisée dans ce type de modèle.

Les résultats de ce modèle sont rarement validés, et le manque de mesures de l'échelle spatiale et temporelle est l'un des inconvénients de ce modèle.

IV.3.2 Les Modèles à base physique :

Ces modèles sont la synthèse de chacun des composants qui influent sur le processus d'érosion.

La simulation continue de l'érosion peut être donnée par ces modèles.

Ces modèles présentent l'inconvénient de nécessiter de nombreux paramètres liés à chaque processus, car ils ont une organisation en différents sous modèles relatifs à l'hydrologie, l'hydraulique, la météorologie et la mécanique des sols.

Les modèles travaillant à partir d'événements requièrent moins de données que les modèles à simulation continue. **Bertrand, (2009)**

IV.4 Les analyses spatiales

Certains auteurs ont fait le choix de réaliser une analyse spatiale plutôt que d'appliquer des modèles d'érosion. C'est le cas par exemple de C. Latulippe, R. Bou Kheir, ou encore S. Brochot (Latulippe, 1995, Bou Kheir *et al.*, 2008, Brochot, 2000).

L'avantage de cette méthode est qu'il est possible de faire une analyse à toutes les échelles temporelles et spatiales, en fonction des données disponibles. Les fonctionnalités des logiciels SIG ne sont pas spécifiquement conçues pour modéliser les processus d'érosion, mais s'y prêtent très bien, en particulier les outils de superposition, d'extraction, de calculs de paramètres morphométriques ou encore l'algèbre spatiale. D'autre part, le résultat de ce type d'analyse peut être directement visualisé sous forme de cartographie.

Les analyses réalisées dans les références bibliographiques étudiées utilisent ces outils ainsi que des statistiques pour évaluer l'érosion des sols, notamment, des analyses de corrélation, analyses en composantes principales ou encore des méthodes statistiques de pondération des critères. Leurs démarches ne diffèrent pas, seuls les outils et les données utilisées sont différents.

Certains de ces critères se retrouvent dans les méthodes d'analyse spatiale présentées ci dessous. D'autres tels que l'évapotranspiration, et la conductivité hydraulique des sols sont des paramètres pour lesquels il est difficile d'obtenir des données. D'autre part, certains paramètres nécessitent un calage, alors que d'autres tels ceux qui sont présentés dans le tableau suivant n'en nécessitent pas.

Tableau (V. 2) : Exemple de critères pris en compte dans les analyses spatiales des travaux de Brochot, 2000, Torkashvand, 2008, Soti, 2002, Latulippe, Peiry, 1996, Bou Kheir *et al.*, 2008

	Brochot, 2000	Torkashva nd, 2008	Soti, 2002	Latulippe, Peiry, 1996	Bou Kheir, <i>et al.</i> , 2008
Topographie	X	x	x	x	x
Couverture végétale	X	x	x	x	
Lithologies et formations superficielles	X	x	x	x	
Occupation du sol		x	x		x
Critères morphométriques (densité de drainage, et ratio de relief)				x	
Sensibilité à l'érosion des roches		x			
Présence de glissement de terrains	X				
Erosivité des pluies					x
Infiltration					x
Erodibilité des sols					x

Source : Bertrand, 2009

IV.5 Définition de la méthodologie :

Pour déterminer la sensibilité à l'érosion hydrique et du forçage hydro-climatique dans le bassin versant de hodna , la méthodologie adoptée sera dirigé par l'analyse spatiale est présentée dans la partie suivante

La sensibilité du bassin versant du hodna sera évaluée par une analyse multicritère couplant les critères couramment utilisés dans les différents modèles présentés précédemment, tel que : la topographie, géologie, couvert végétal.

Chacun des critères est considéré indépendamment, sous forme d'un jeu de données raster, et pour chaque critère les pixels sont hiérarchisés en fonction de leur sensibilité potentielle. Les méthodes spécifiques à chaque jeu de données seront détaillées par la suite. Une fois que des classes de sensibilité sont définies pour chaque jeu de données, il faut fixer un poids à chacun des critères, et à chaque classe de sensibilité.

Les caractéristiques hydro-climatiques inhérentes au bassin versant du Hodna ne seront pas étudiées dans le détail. Une interprétation des précipitations journalières maximales interannuelles pour les différentes stations pluviométriques du bassin.

Enfin le couplage des deux parties permettra de répondre à la problématique, Le résultat présenté sous forme cartographique, montrera un ensemble de bassins dont les caractéristiques de sensibilité à l'érosion, de forçage hydro – climatique.

Les critères

Les critères à prendre en compte dans l'analyse spatiale ont été déterminés par une analyse bibliographique des différents modèles existants couplés à des SIG. Il s'agit de :

- ✓ Critère topographique : La pente
- ✓ Critère géologique
- ✓ Critère d'occupation du sol : couvert végétal
- ✓ Critère climatique : les pluies journalières maximales

IV.5.1 La pente

L'inclinaison de la pente est sûrement l'aspect topographique le plus important. Elle joue moins sur des très courtes pentes (quelques mètres) que sur des pentes plus longues puisque le ruissellement a besoin d'une certaine distance pour atteindre sa vitesse d'écoulement maximale. Le débit, et surtout la vitesse d'écoulement, détermine à quel moment une rigole va se creuser

IV.5.2 Le climat

Le climat joue un rôle déterminant dans le risque d'érosion hydrique des sols, surtout La pluie est le facteur principal de l'érosion hydrique, et son érosivité dépend essentiellement de sa hauteur et de son intensité.

Cette dernière est une caractéristique importante de la pluie : d'une part, elle joue sur le débit du ruissellement, et donc sur le détachement et la capacité de transport de l'écoulement ; d'autre part, elle influence directement le détachement du sol par le splash. Puisque les gouttes de pluie à forte intensité ont tendance à être plus grosses que les gouttes de pluie à faible intensité.

IV.5.3 L'occupation du sol

L'occupation du sol est un critère important à prendre en compte pour évaluer la sensibilité à l'érosion. Les différents types d'occupation ont des réponses variables au phénomène d'érosion. La couverture végétale des sols joue également un rôle important quant à leur sensibilité à l'érosion. Plus le couvert végétal est dense, plus les sols sont protégés contre l'entraînement. En effet, la végétation protège le sol des processus érosifs. L'interception de la pluie par les plantes diminue le pouvoir érosif direct des pluies, et réduit le volume d'eau qui atteint le sol. Les débris des plantes sur le sol jouent également un rôle protecteur. Cette influence du couvert végétal peut s'avérer importante.

IV.5.4 La géologie

L'objectif de l'étude géologique du terrain est souvent classé matériaux selon leur résistance et perméabilité; celle-ci intervient de façon directe sur la réponse du B.V. lors des crues ou le soutien qu'elle apporte aux débits d'étiage par les nappes souterraines, de plus, elle apporte beaucoup d'indications sur l'érodibilité du matériau rocheux, indispensables à L'évaluation de l'érosion, le transport solide, et l'envasement du barrage

CHAPITRE V

V.1 Introduction

Le sol est un capital, l'homme en tire des revenus. Ce capital doit être protégé pour pouvoir toujours produire ; s'il est déjà dégradé, il doit être restauré. (Institut National des Sols, de L'irrigation et du Drainage 2006)

La sensibilité à l'érosion hydrique dépend de certains facteurs (la pente, le couvert végétal, la géologie, et la pluie), le risque d'érosion hydrique en présence de tous ces facteurs devient une menace plus que jamais.

Pour déterminer la sensibilité du sol à l'érosion hydrique, nous avons opter dans le cadre de notre étude pour un modèle qualitatif, afin de nous permettre de répartir une pondération différente pour chaque facteur.

V.2 La sensibilité du bassin versant du Hodna à l'érosion hydrique

V.2.1 Topographie

La pente topographique joue un rôle important sur la vitesse du ruissellement, et d'autant plus que la longueur de parcours est importante (accumulation progressive des flux). La combinaison « longueur-pente » d'une parcelle est donc un paramètre incontournable du problème érosif : une parcelle longue mais de pente moyenne peut être globalement aussi sensible à l'érosion qu'une parcelle plus courte sur pente forte (Sylvia et al 2006)

Donc L'influence de la pente est complexe. Le plus souvent, l'érosion augmente avec la pente.

A l'aide d'un modèle numérique de terrain MNT du Hodna, en utilisant les logiciels du SIG : MapInfo 2008 et Vertical Mapper 3.0, on a généré une carte des pentes de Hodna qui a été subdivisée en quatre classes, selon la sensibilité à l'érosion, on distingue :

0-5% : sensibilité faible (plaines et terrasses)

5-10% : sensibilité moyenne (sol mince cultivé)

10-20% : sensibilité forte (haut piémont)

>20% : (absence de sol, sommets des montagnes)

Tableau V.1 Classe des pentes et indices attribués

Classes %	Indice attribué
0-5%	1
5-10%	2
10-20%	3
>20%	4

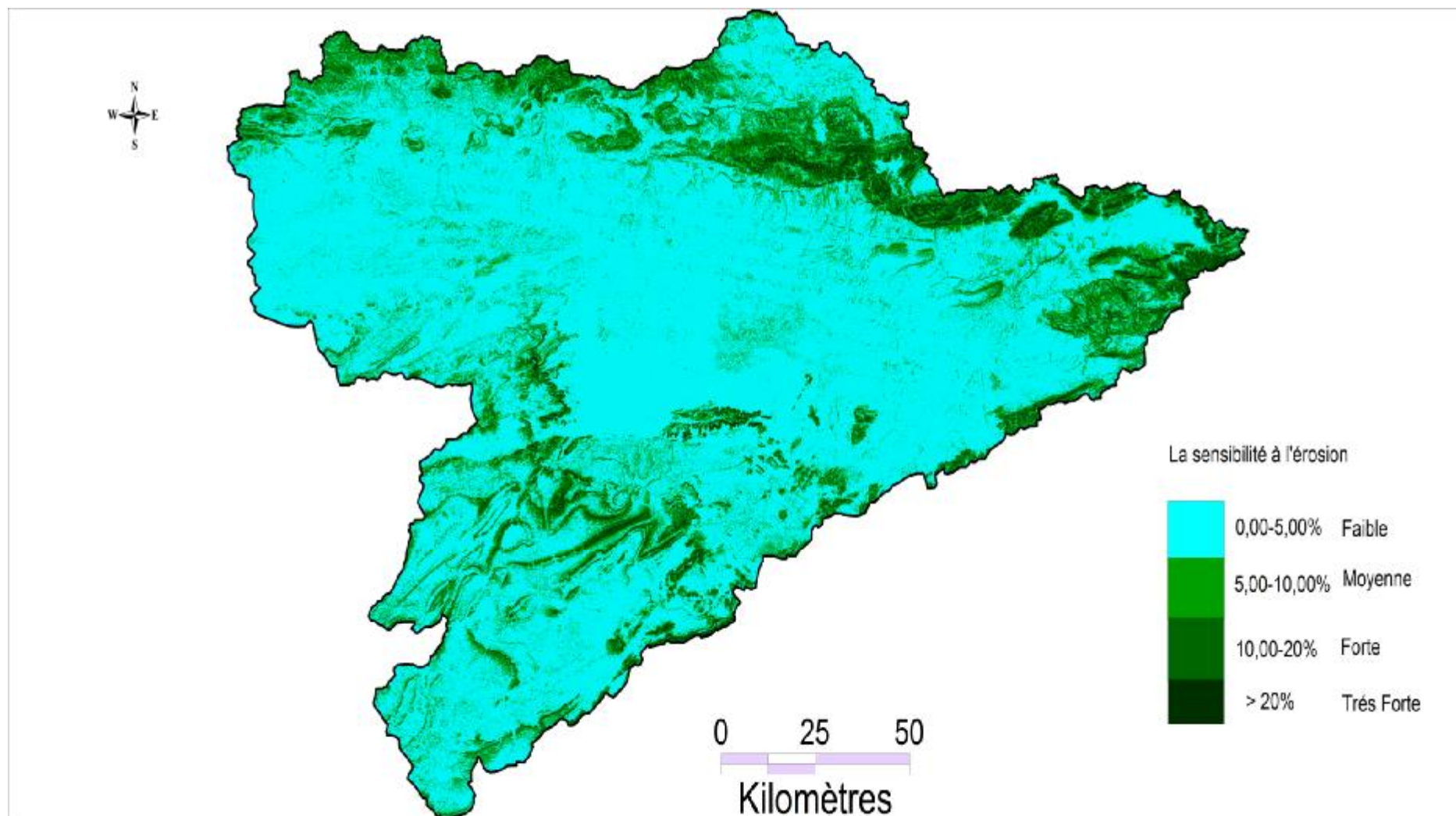


Figure V.1 Sensibilité à l'érosion du bassin versant du Hodna en fonction des valeurs des pentes

L'examen de la carte (Figure V.1) montre que, selon le critère de pente : la zone Nord du Hodna en particulier le sous bassin du K'sob dans sa partie sud et de l'extrême nord, le Nord Est, l'Ouest et des zones au sud du Hodna montrent une forte sensibilité à l'érosion hydrique, le reste de la surface du Hodna oscille entre une moyenne à faible sensibilité

V.2.2 Géologie

L'étude géologique du terrain a le plus souvent pour objet de classer les matériaux selon leur résistance et plus ou moins leur perméabilité.

Il s'agira de mettre en relief la résistance des roches contre les agents d'érosion connus : eau, gel, vent, etc...en classant les substratums selon leur degré de résistance tel que reconnu par les différents spécialistes en la matière. La carte géologique utilisée pour la classification a été calée sur Map info.

Les roches ou substratums sont identifiés et classés en fonction de leur appartenance aux différents âges géologiques comme suit :

Classe résistante (faible sensibilité) :

Les calcaires massifs du crétacé supérieur (Crétacé supérieur marin)

Roches cristallines et métamorphiques : (Trias marin ou lagunaire)

Calcaires du jurassique inférieur et supérieur (Jurassique supérieur et moyen)

Miocène, Pontien, Eocène

Classe assez résistante (moyenne sensibilité) :

Oligocène marin

Aquitaniens continentaux

Classe faible résistante (forte sensibilité) :

Crétacé inférieur (faciès récifaux normaux)

Crétacé inférieur (faciès récifaux ou subrécifaux)

Alluvions actuelles

Dunes récentes

Quaternaire continental

Pliocène continental (poudingues, calcaires lacustres)

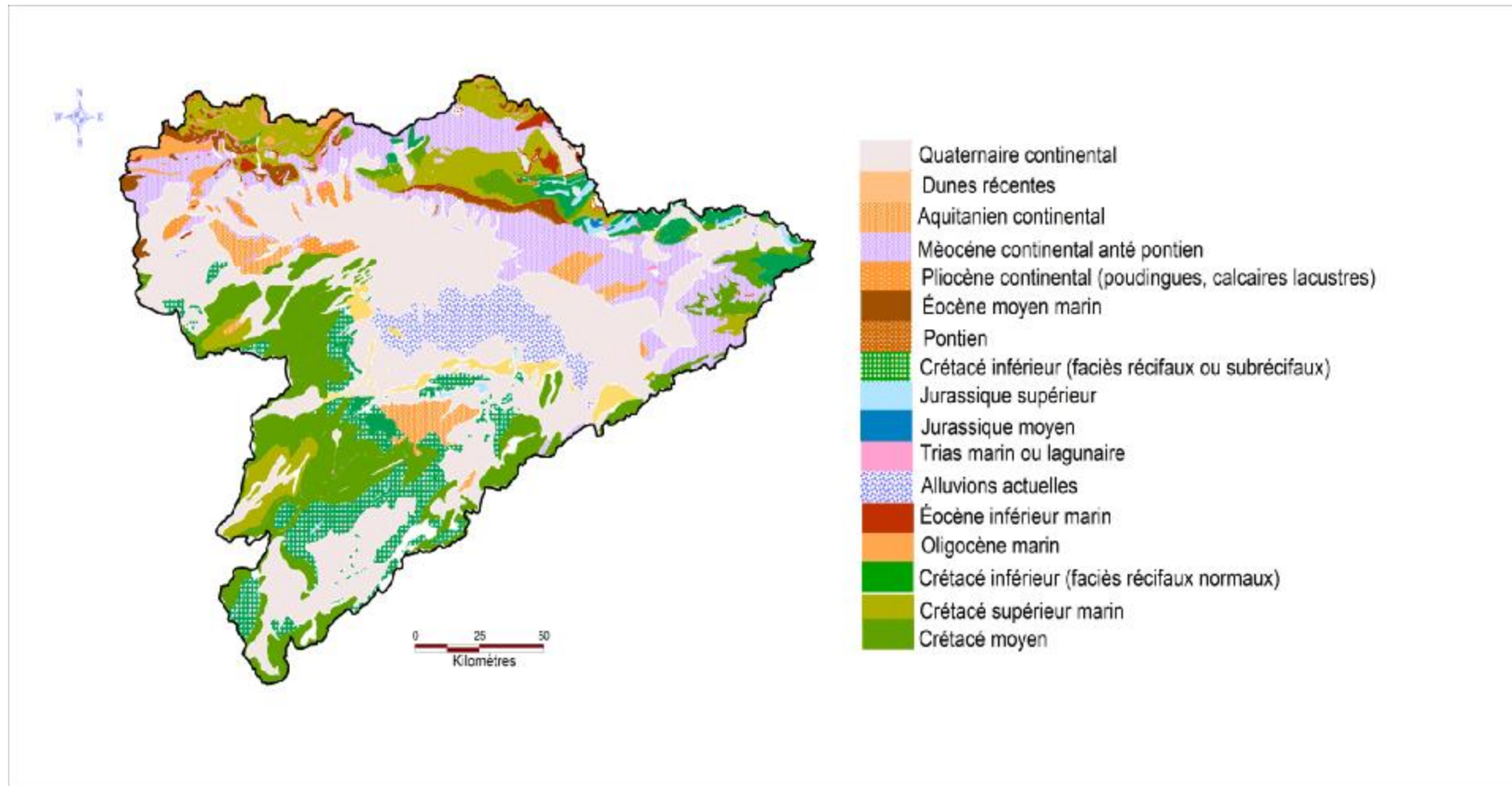


Figure V.2 la carte géologique du Hodna

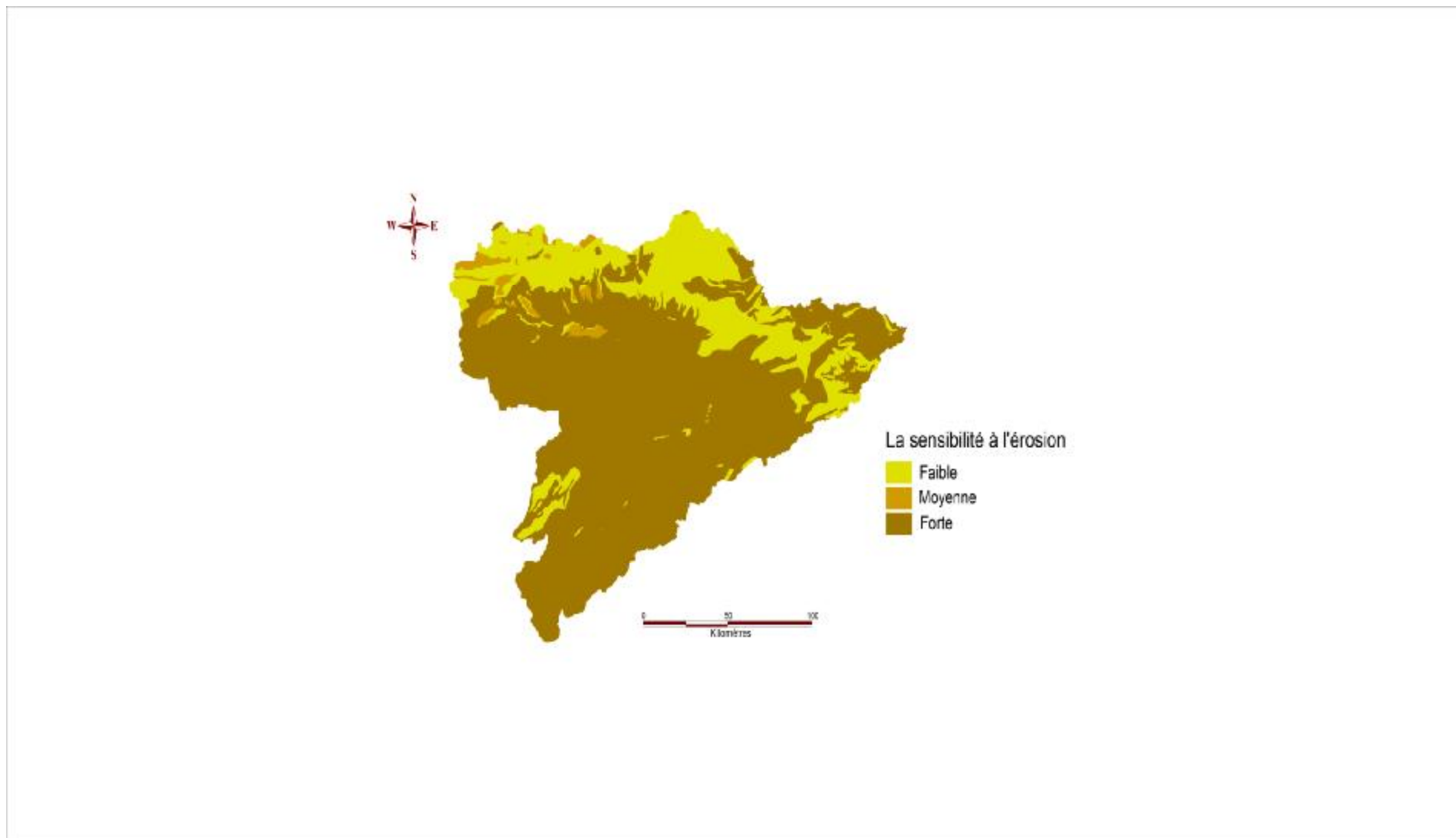


Figure V.3 Sensibilité à l'érosion hydrique du bassin versant du Hodna en fonction de la géologie

L'analyse de la carte (Figure V.2) géologique nous permet d'observer une érodibilité faible à moyenne au Nord et en particulier dans partie sud du sous bassin de K'sob ., Tout le sud et le centre du Hodna avec quelques taches (presque tout le reste du bassin hodnienne) peut être classé comme zone à forte sensibilisé à l'érosion.

V.2.3 L'occupation du sol :

Les données d'occupation du sol ont été numérisées à partir d'une carte en papier à échelle de 1/100000 de la wilaya de M'sila et des autres cartes de la région steppique, réalisée par HCDS (Haut Commissariat au Développement des Steppes) en Juin 2010. On obtient la carte numérique d'occupation du sol, après le scannage de la carte papier. La carte ainsi obtenue est superposée sur la zone d'étude après calage, on digitalise par la suite cette carte en se référant aux différentes formations végétales à l'aide MapInfo 8.0.

La cartographie de la formation végétale permet d'identifier 4 classes de sensibilité du sol à l'érosion hydrique.

▼ Faible sensibilité

Dans cette classe on rassemble les plans d'eau, les routes, les zones urbaines, et les forêts aussi

▼ Moyenne sensibilité

Il s'agit d'un ensemble d'unités assez différentes mais formant des paysages contrastés avec une alternance de prairies. Cette diversité est un facteur limitant le ruissellement par rapport aux espaces ouverts comme les régions de grandes cultures ; ainsi les défrichements

▼ Forte sensibilité

Cette classe regroupe les grandes cultures qui représentent : les céréales, oléagineux, et fourrages à cause de la fertilité des sols arables, les matorrals, sol nu, steppe de dégradation.

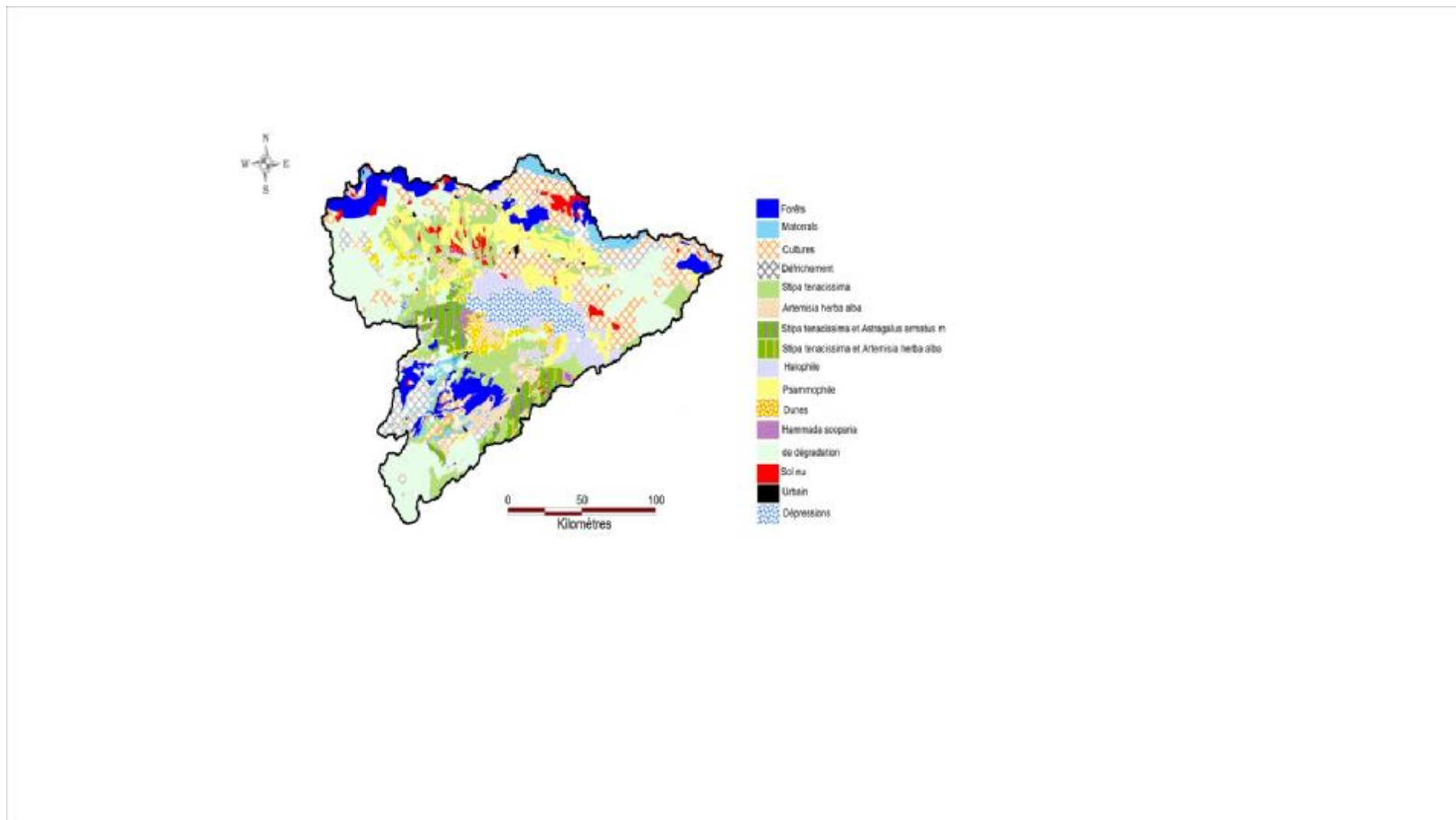


Figure V.4 Carte de couverture végétale

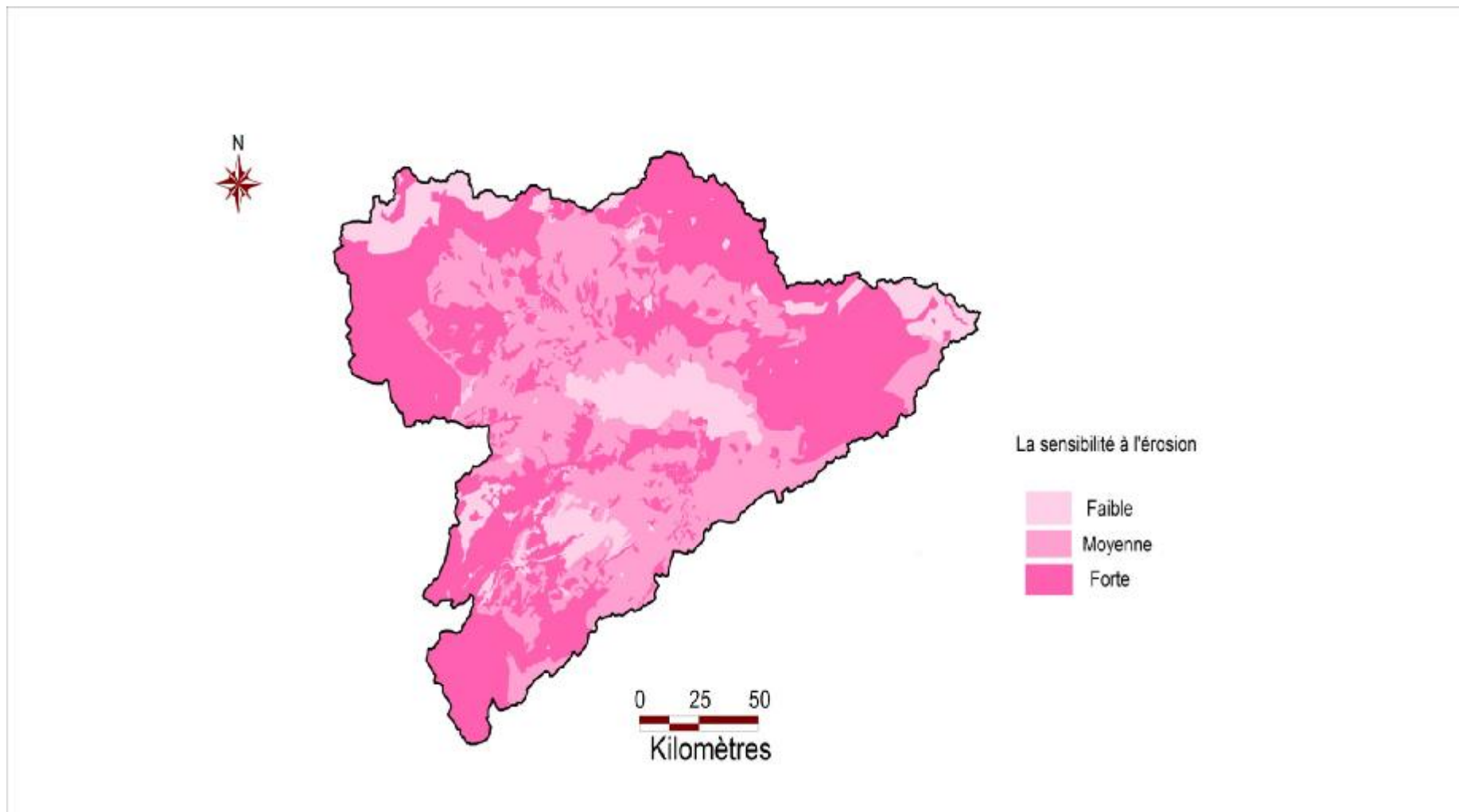


Figure V.5: Sensibilité à l'érosion du bassin versant du Hodna en fonction du couvert végétal

A partir de la carte végétale examinée (Figure V.3) on observe que la majorité des zones sont à moyenne et à forte sensibilité, une alternance de prairies. Une érodibilité faible est observée au Nord avec quelques zones au sud.

La pluie :

Le bassin versant du Hodna est équipé de 21 stations pluviométriques fiables, le traitement de leur données nous permet d'étudier le régime de pluie du Hodna à différentes périodes de retour, il nous permet également de cartographier la distribution spatiale des différents types de pluie, en particulier la carte de la pluie maximale journalière. C'est cette dernière carte qu'on utilise pour identifier les différentes classes de sensibilité du Hodna à l'érosion selon le facteur pluie.

Les données des stations pluviométriques utilisées dans cette étude, ainsi que leurs données sont récapitulent dans le tableau (V.2).

Tableau V.2 : paramètres des stations pluviométriques du Hodna

CODE	Nom de station	Latitude	Longitude	Altitude	Durée d'observations	P M int AN Max j
01 01	Ain Nessissa	583,25	290,35	680	39	22,97
01 02	Chellalat El Adaoura	565,707	293,479	917,04	25	27,44
03 01	Ain El Hadjel	607,1	264,6	545	31	/
05 02		618,15	274,65	532	29	22,55
07 01	Chellal Hodnet O. M'sila	618, 291	274 ,161	538,54	28	19,03
07 02	Ain Kherrmane	631,2	240,45	500	28	26,17
07 03	Rocade Sud	642, 281	258, 487	427,21	28	18,13
08 02	El Haourane M.F.	654, 180	294, 809	820,79	30	25,06
09 01	Medjez	673,35	289,65	636	27	25,06
09 04	Bordj Ghdir	698,4	292,2	1054	36	31,91
09 05	B.B.A	685,8	309,95	922	36	29,27
09 06	Madjana.La	677,75	316,2	1042	42	29,68
10 05	K'sob Barrage	668,45	282,1	580	29	24,24
10 09	Tarmount	643	281,3	602	31	21,23
11 11	Sidi Ouadah	721,5	268,75	720	39	29,35
12 01	Merouana	790,75	263,65	1000	40	33,71
13 05	Attouta Barrage	744,85	236,6	471	40	22,62
13 06	N'gaous	764,1	255,1	750	37	31,37
17 03	Slim	594,9	178,2	1080	33	24,71
18 01	Baniou	649,35	236,7	416	28	18,41
20 03	Ain El Melh	634,05	173,05	956	18	26,52

La carte de pluie maximale journalière de tout le bassin du Hodna, développée par interpolation de Krigeage en utilisant le logiciel est présentée à la (Figure V.4), cette carte permet l'identification de trois classes de sensibilité selon la répartition des pluies maximale journalière comme suit :

Sensibilité faible pour $P_j \text{ max} < 24 \text{ mm}$

Sensibilité moyenne pour $24 < P_j \text{ max} < 28 \text{ mm}$

Sensibilité forte pour $P_j \text{ max} > 28$

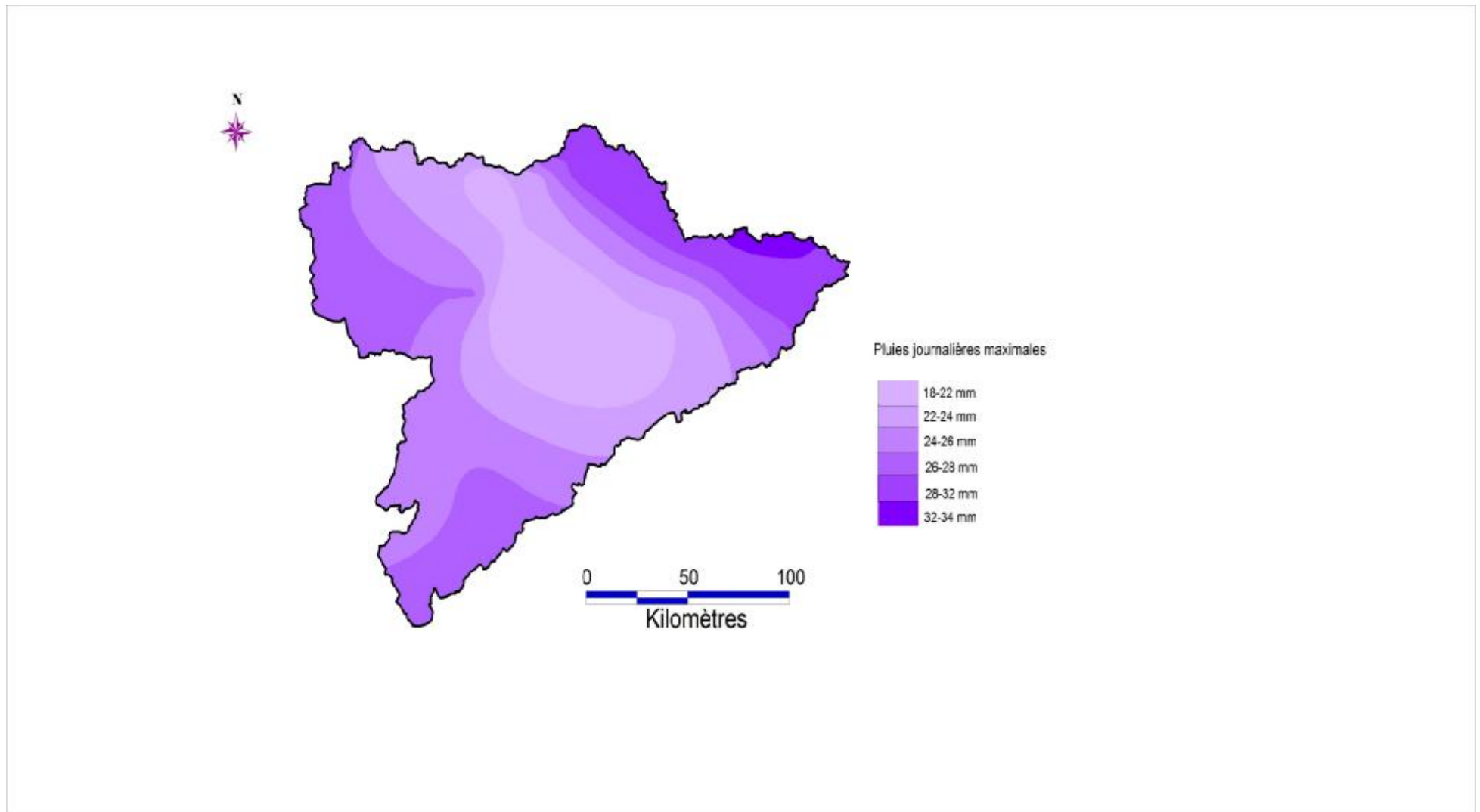


Figure V.6 La carte pluies journalières maximales du Hodna

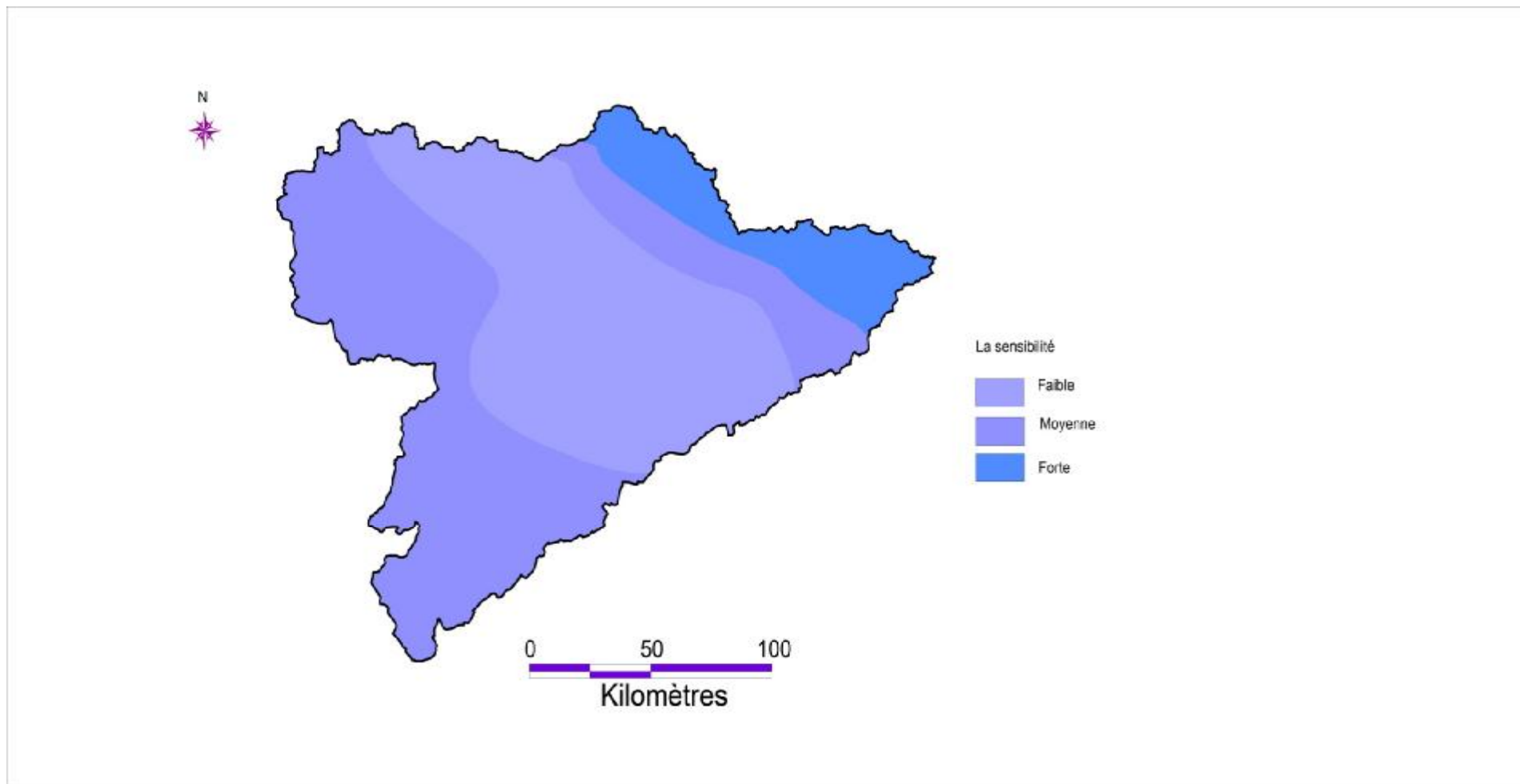


Figure V.7 Sensibilité à l'érosion du bassin versant du Hodna en fonction des pluies journalières maximales

La carte de pluie obtenue, montre la tendance de l'augmentation des pluies avec l'altitude. Dans les deux régions montagneuses au sud, et surtout au nord du bassin, elle est plus importante impliquant une forte sensibilité à l'érosion hydrique, par contre, au milieu du Hodna (zone presque plate), c'est plutôt le contraire, la pluie a la tendance de diminuer, ce qui explique la faible sensibilité. La classe moyenne se trouve entre les deux classes forte et faible.

CHPITRE VI

VI.1 Introduction

Depuis quelques années, les méthodes de calcul des pertes de sol sont associées aux SIG et à la télédétection. Il est vrai, qu'avec ces méthodes modernes, on découvre progressivement l'intérêt de la spatialisation des méthodes de calcul des pertes de sol, de la cartographie pour représenter les résultats des pertes de sol sur de grandes étendues et de la création de scénarios pour les interventions humaines sur le milieu (Bonn, 1998). Dans notre zone d'étude, le paysage est un peu complexe : il se compose d'une mosaïque d'unités de paysage, dont chaque groupe d'unités peut réagir différemment aux actions érosives de l'eau. La cartographie de l'érosion hydrique à l'aide d'une de ces méthodes de pertes de sol reste très difficile et demande de lourds investissements, sans compter sur la carence des données pluviométriques à cause de l'insuffisance de stations climatiques dans le secteur d'étude.

VI.2 Définition

Le terme multicritère englobe à la fois une notion de variables et une notion d'échelle.

Ce type de validation est nécessaire afin de vérifier que le modèle restitue bien le fonctionnement général du bassin versant (Dunn, 1983 ; O'connell et Todini, 1996 ; Beven, 2000). ce chapitre a pour objet l'analyse et la cartographie de la vulnérabilité à l'érosion à l'échelle d'un bassin versant en multipliant les différents critères influençant l'érosion hydrique.

VI.3 Analyse multicritère :

On peut dresser les cartes indicielles numérisée fondée sur la relation entre les différents éléments à travers l'approche systémique qui est basée aussi sur une approche multicritères possédant une influence sur le phénomène d'érosion (lithologie, pluviométrie, topographie, couvert végétal...) permettant de déterminer le niveau de sensibilité dans ce bassin semi-aride.

Le modèle consiste à diviser le bassin versant objet d'étude en unités systémiques (pixels) de 6 km² chacune, de sorte qu'elles servent d'indicateurs de vulnérabilité.

Les unités sont codées de 0 à 3 suivant le degré de sensibilité et le paramètre d'évaluation.

Tableau VI.1 Les classes de sensibilité

Classes (x)	sensibilité
1	Faible
2	Moyenne
3	Forte

Seules les valeurs du plus grand ordre sont prises en considération dans cette évaluation pour mieux localiser l'aléa.

Tableau VI.1 Classification des paramètres selon leur influence sur la vulnérabilité

Couvert végétal	Classe (X)	géologie	Classe (X)	Pjmax (mm)	Classe (X)	Pente (%)	Classe (X)
zones urbaines Forêts	1	Crétacé supérieur marin trias marin jurassique supérieur et jurassique moyen Miocène Pontien Éocène	1	<24	1	0-5	1
prairies	2	oligocène marin Aquitaniens continental	2	24-28	2	5-10%	2
Grandes cultures les matorrals Défrichements sol nu steppe de dégradation	3	1crétacé inférieur (faciès récifaux normaux) 2crétacé inférieur (faciès récifaux ou subrécifaux) 3alluvions actuelles 4 dunes récentes 5quaternaire continental 6 pliocène continental	3	>28	3	>20	3

Les paramètres qui serviront dans cette approche sont classés selon leur poids d'impact sur l'aléa (PI) codé de 1 à 4 et la sensibilité (X) codée de 1 à 3

Le produit du poids d'impact et la vulnérabilité n'est tout autre que l'indice de sensibilité systémique (IVS).

Tableau VI.2 caractéristiques de l'indice IVS

Paramètre	Poids d'impact (PI)	Classe (X)	Indice de vulnérabilité systémique (IVS)
Couvert végétal	4	x	IVS = 4X
géologie	3	x	IVS = 3X
pluviométrie	2	x	IVS = 2X
penne	1	x	IVS = 1X

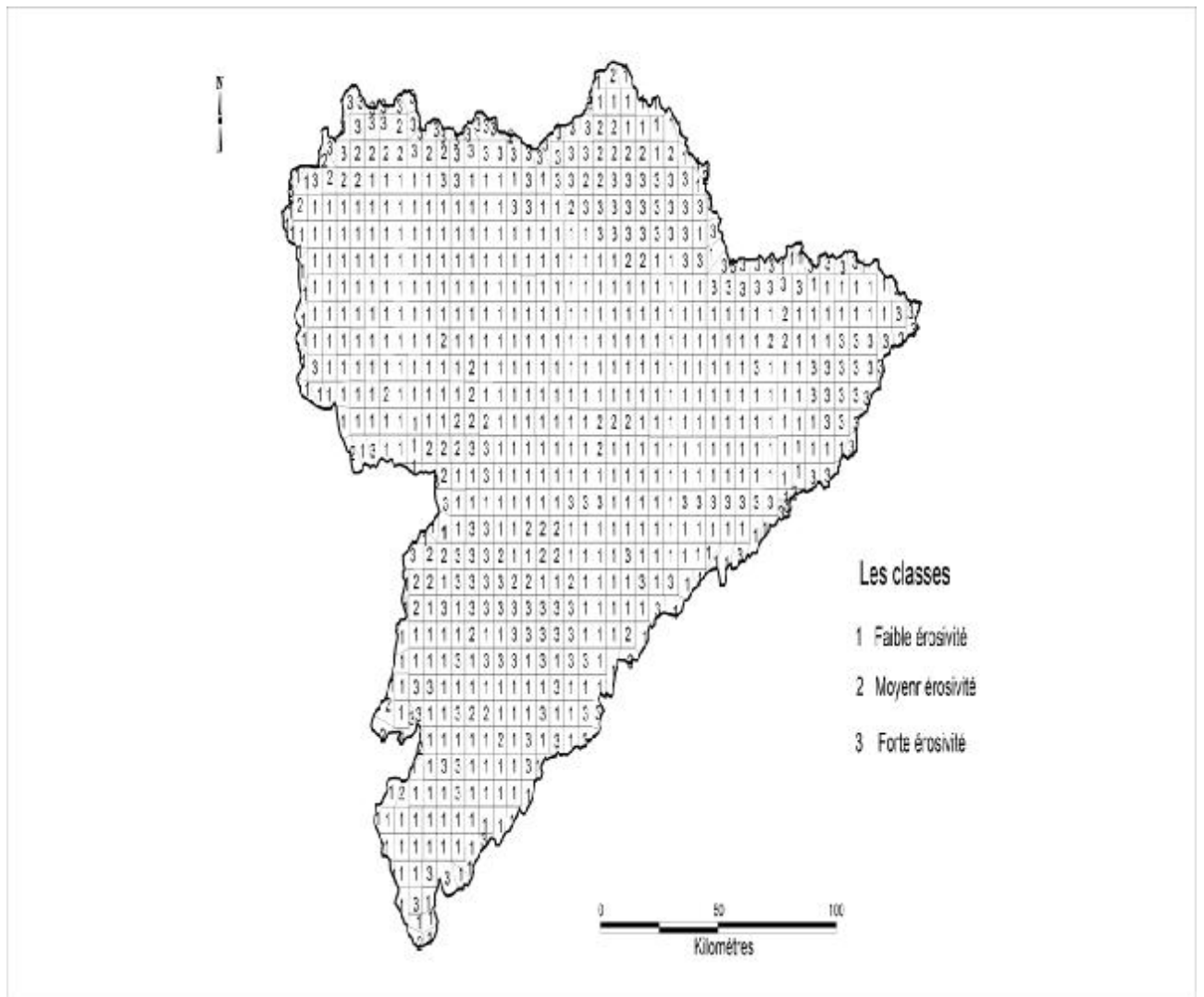


Figure VI.1 Carte indicielle liée aux pentes

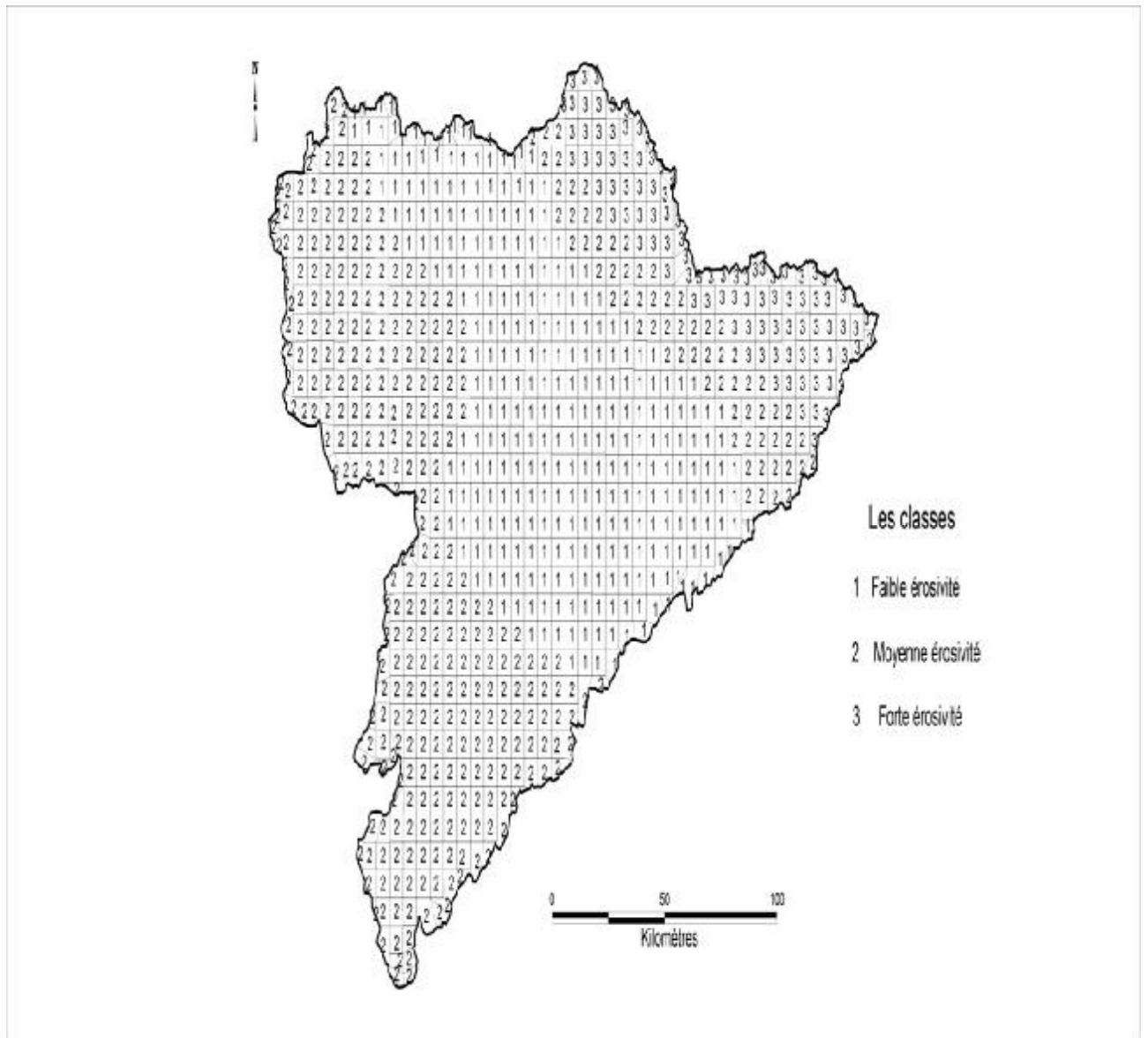


Figure VI.2 Carte indicielle liée à la pluviométrie

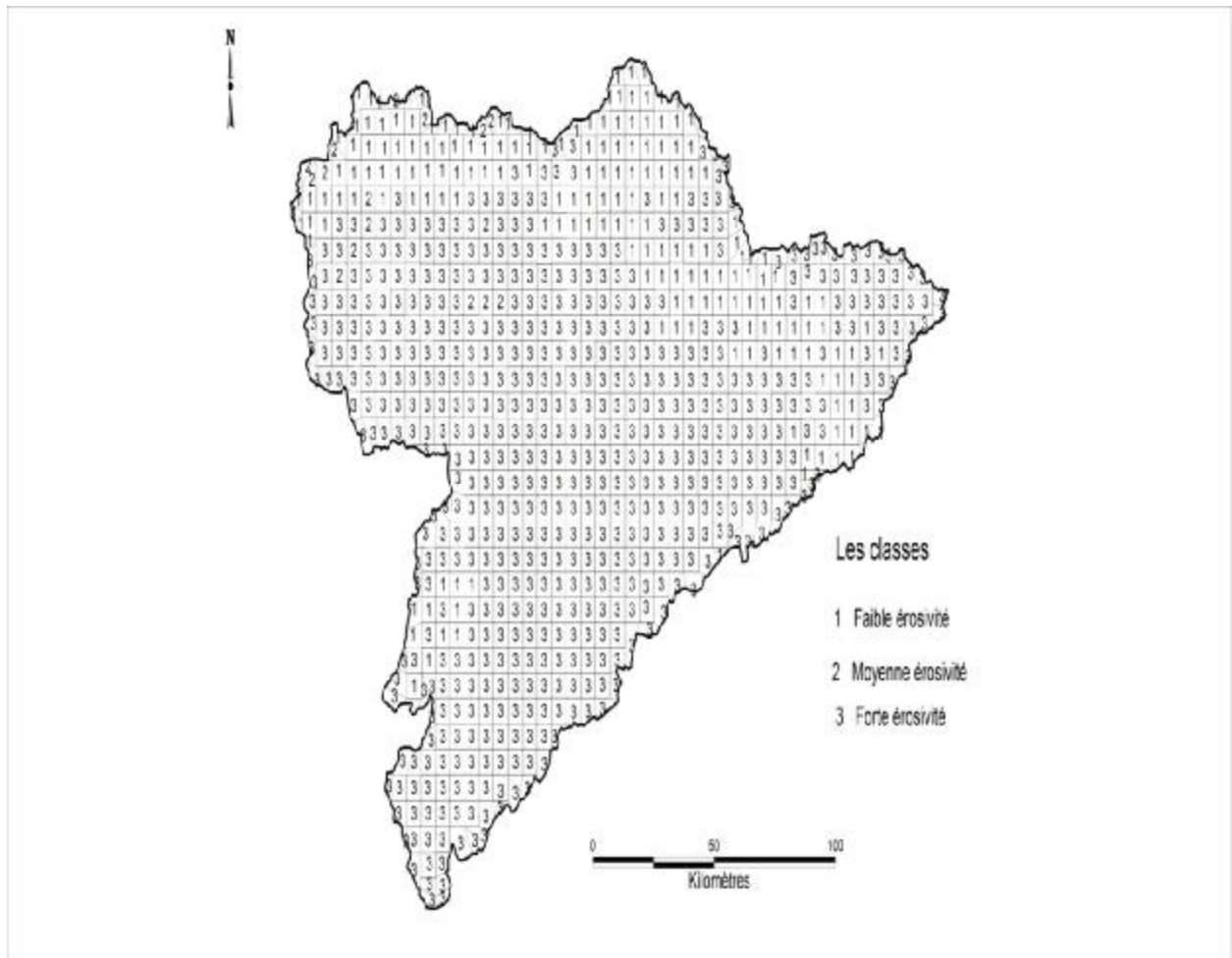


Figure VI.3 Carte indicielle liée à la géologie

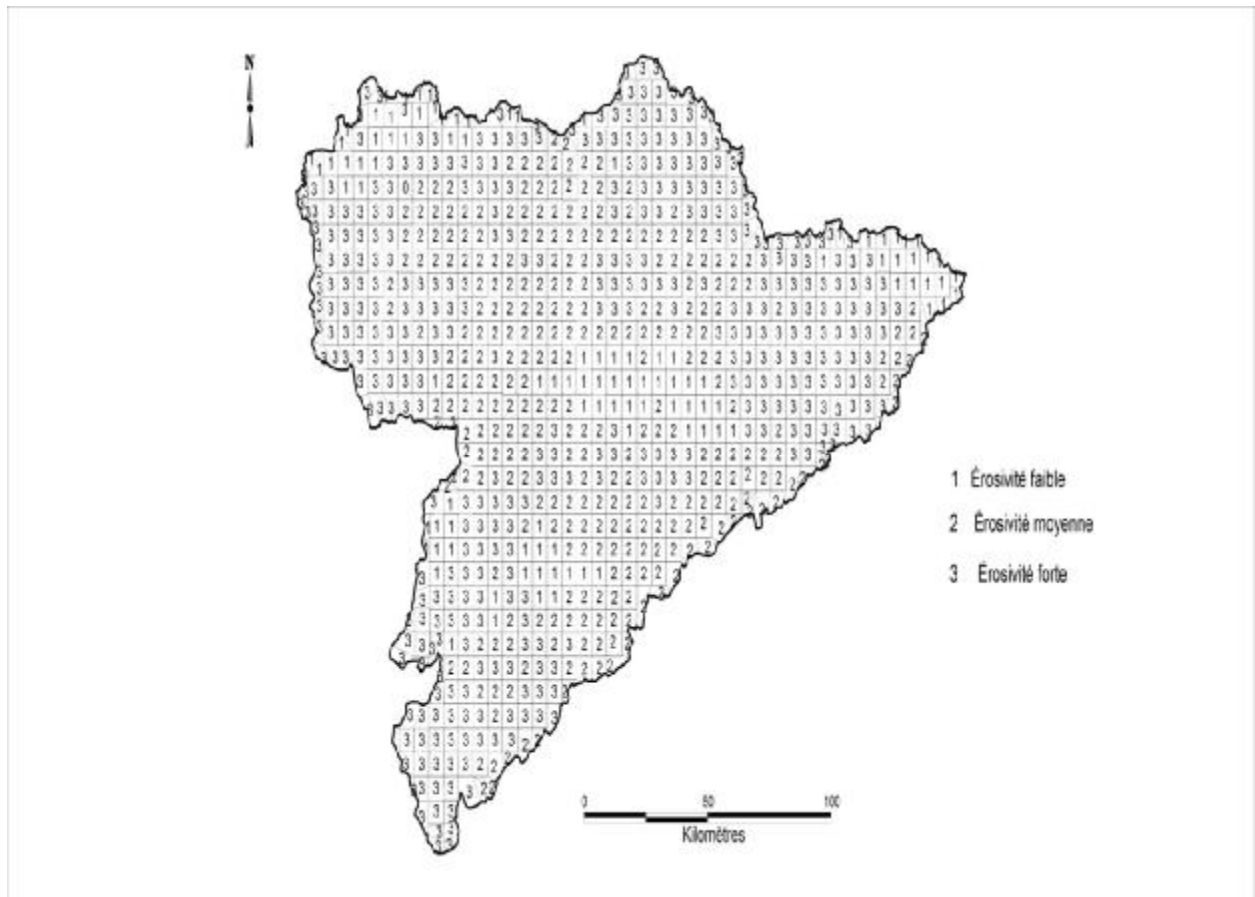


Figure VI.4 Carte indicielle liée à la couverture végétale

Une fois le codage des unités systémiques est fini, on passe au triage par ordre à fin de dresser une carte avec des zones homogènes.

Le résultat final de cette évaluation est représenté dans la carte suivante :

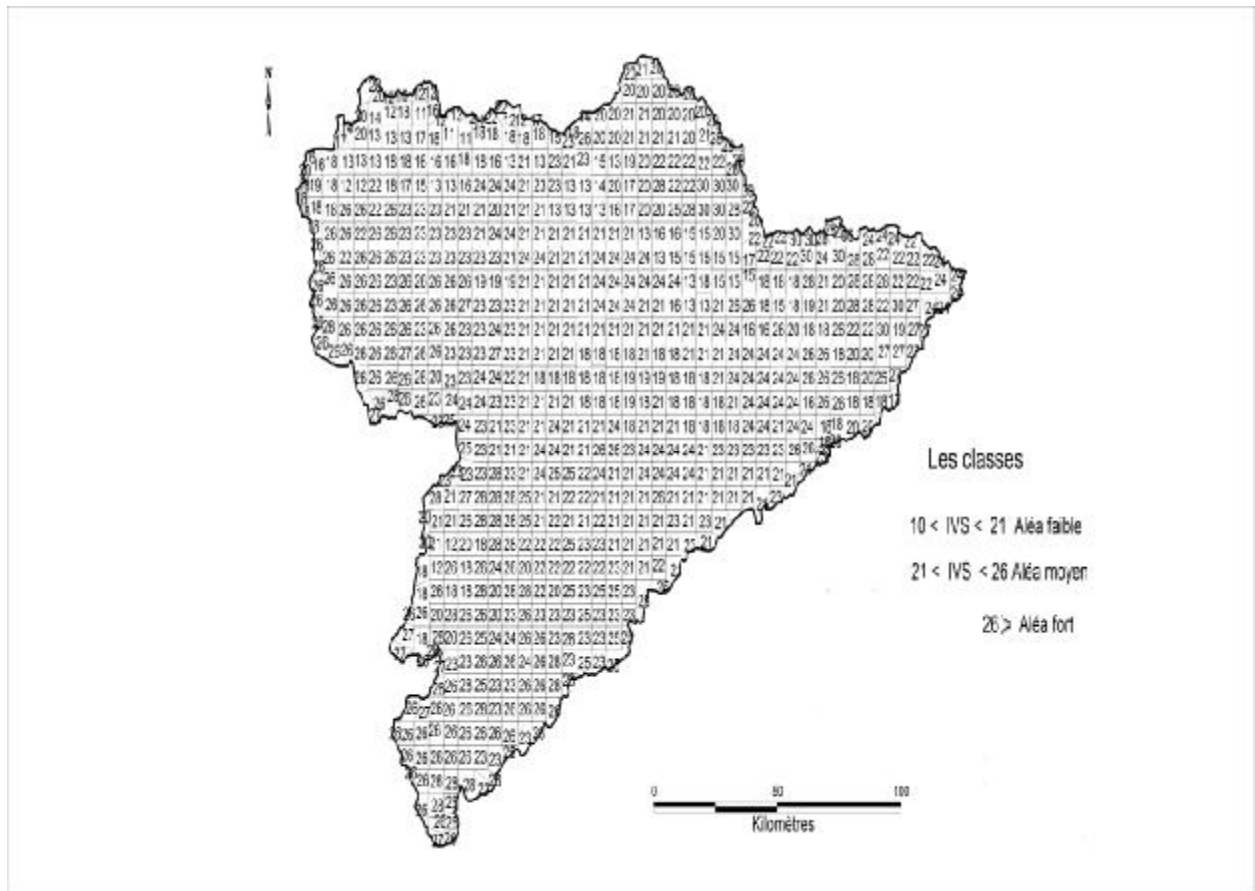


Figure VI.4 La carte des valeurs de l'indice IVS

Résultats:

Le résultat est un document qui constitue un outil d'aide à la décision en termes de gestion et de protection des ressources naturelle, où IVS est classé comme suit :

$10 < IVS < 21$ (aléa faible).

$21 < IVS < 26$ (aléa moyen).

$IVS > 26$ (aléa fort).

Donc, il est possible, pour un lieu donné du B.V d'obtenir une estimation du risque d'érosion En se référant à l'ordre et la surface de l'aléa d'érosion

Tableau VI.3 Ordre et surface de l'aléa d'érosion

Ordre	Surface %	Aléa
1	16,79	Faible
2	57,76	Moyenne
3	25,44	Forte

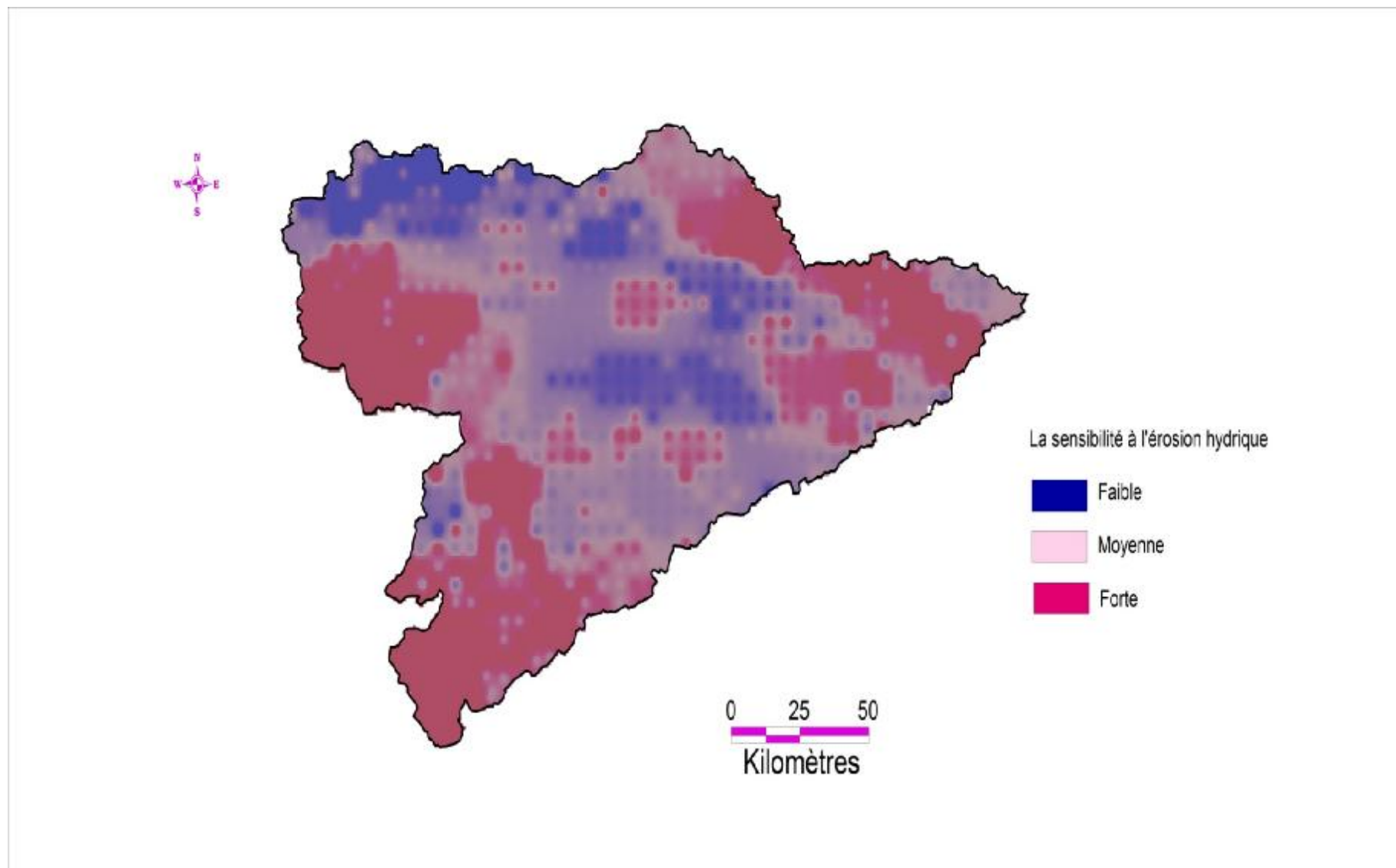


Figure VI.5 La carte de la sensibilité à l'érosion hydrique du bassin versant Hodna

Discussion

Le présent modèle a été élaboré à partir d'une classification de la sensibilité à l'érosion.

Celle-ci varie entre faible et très forte. Les valeurs obtenues, malgré leur apparente hétérogénéité, présentent une structure spatiale définie par la localisation topo-paysagère dans laquelle elles s'inscrivent. L'analyse de la carte obtenue (figure ?) montre que les zones les plus sensibles à l'érosion hydrique se localisent dans les zones Sud, Ouest, à cause de la présence de steppe de dégradation avec (25,44%).

Le Nord-Est (théoriquement bien couvert) sont d'une part dues essentiellement à la dégradation de la forêt qui a connu des changements significatifs du fait des défrichements et des incendies ces dernières années, et de l'autre au maintien des espèces forestières résistantes. Le reste du bassin varie de faible (16,79%) à moyenne sensibilité (57,76%). Ces résultats s'expliquent par le fait que l'indice IVS est influencé par les paramètres précédemment décrits sans tenir compte d'autres paramètres tels que l'exposition et l'anthropisation difficilement chiffrables.

Il est clair que la sensibilité et l'érodibilité du bassin obéi à l'interaction de ces différents facteurs et leurs articulation dans l'espace et le temps. Le modèle cartographique élaboré a été testé et il reflète la réalité du terrain.

CAPITRE VII

VII.1 Introduction

Sur le long terme, la perte en productivité du sol est le problème le plus grave. La ressource ne se remplace pas et les gains dans d'autres domaines ne remplacent pas la superficie perdue chaque année.

Ce problème est particulièrement grave dans les pays pauvres qui n'ont pas les moyens de mettre en place des systèmes de gestion à la hauteur des défis. Que vaut la perte d'1 cm de terre sur 10 ans Il est aujourd'hui très difficile de chiffrer la valeur de la perte en terre. De plus, conserver le sol représente un gain sur le long terme, alors que dresser la liste des problèmes hors-sites représente un gain immédiat.

VII.2 Conséquences sur la parcelle

A court terme, l'érosion hydrique peut se traduire par :




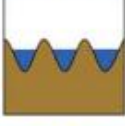
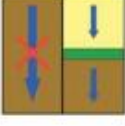


- ✓ des pertes de rendements dues au déracinement des cultures ou au recouvrement de plantules dans les zones de dépôt de sédiments. En termes économiques, cette forme de dégât est probablement la plus importante pour l'agriculteur
- ✓ des pertes en terre ainsi que des pertes en matière organique et en éléments nutritifs (azote, phosphore,...), substances qui doivent être remplacées ;
- ✓ la formation de replats boueux, de nombreuses rigoles et de ravines ce qui constitue une gêne indéniable pour la mécanisation.

A moyen et long terme, l'érosion hydrique se traduit par :

- ✓ la perte de matière organique et d'éléments nutritifs et la mise à nu de couches du sol moins fertiles qui peuvent conduire à une baisse de rendement des cultures
- ✓ une réduction du volume de sol explorable par les racines et de la réserve utile en eau et en éléments nutritifs pour des sols peu profonds ou des sols présentant, à faible profondeur, des propriétés défavorables (forte charge caillouteuse, acidité).

VII.3 : Moyens de lutte

Figure VII.1 Les moyens de lutte

Symbole	Principes
	Protéger le sol contre l'impact érosif des gouttes de pluie
	Maintenir ou augmenter la résistance du sol au détachement
	Augmenter la capacité d'infiltration du sol
	Augmenter la rétention superficielle d'eau à la surface du sol
	Réduire les volumes d'eau de ruissellement en limitant les longueurs de pente
	Ralentir les eaux de ruissellement
	Conduire les eaux de ruissellement sans provoquer d'érosion

La prévention d'abord Il faut commencer à domestiquer l'eau à l'instant où la goutte de pluie tombe sur le sol. Il faut faire la même chose pour l'érosion éolienne. Il faut donc briser la force de la goutte de pluie : c'est le rôle essentiel des plantes, des arbres, de leurs feuilles et de leurs racines. Ensuite, il faut domestiquer l'eau dès qu'elle commence à courir, au niveau des exploitations agricoles par des terrasses sur les sols en pente, des petits barrages (seuils) en pierres sèches, maçonnerie, grillage ou embranchée le long des ravins et des petits ruisseaux. Au niveau d'un petit bassin versant ou d'une communauté, il faut aller jusqu'à l'édification de lacs et de barrages colinéaires.

Enfin il faut compléter par : Sur les terres de cultures en pente : le travail le long des courbes de niveau et la disposition des cultures en bandes alternées sur les versants, la fertilisation correcte

et le respect des techniques agronomiques modernes constituent la règle élémentaire de conservation des sols

- § Dans les pacages et parcours en pente : la construction des banquettes de niveau, terrasses et barrages de ravins, la rotation des pâturages et la mise en défens;
- § Sur les pentes excessives où les terres sont trop dégradées : Le reboisement en terrasses forestières, toujours selon les courbes de niveau et la correction de torrents;
- § Contre l'érosion éolienne et l'ensablement : les palissades et les brise-vents vivants (Plantations) ou inertes (Tôles perforées, grillage, branchage, pierres sèches...etc.) sont assez efficaces.

En Algérie, la dégradation et la perte des sols sont très avancées et chaque année des quantités importantes de sol sont perdues emportées par les eaux et le vent. Il faut savoir ces phénomènes, les causes, les conséquences, et les moyens de lutte pour la stopper et remédier.

VII.4 Les conséquences de l'érosion hydrique en Algérie sont dramatiques :

Nous pouvons citer parmi eux:

- Réduction de la production agricole (pertes en sol agricole)
- Une dégradation spécifique dépassant les 5000 t/km²/an
- Une quantité de 120 millions de tonnes de sédiments rejeté en mer chaque année par les bassins tributaires de la méditerranée (Demmak, 1982)
- Un exode rural important
- Un rehaussement des lits des oueds provoquant par la suite des inondations, menace les voies de communication et les ouvrages d'arts,...
- L'envasement précoce des barrages en exploitation.

VII.5 Les moyens de lutte utilisés surtout en Algérie sont :

-Le reboisement, la restauration des sols, l'implantation des banquettes, la création des petit barrages (retenues collinaires), la plantation des cultures suivant les lignes de niveau, la plantation des végétations à longue tiges dans les oueds.

VII.5.1 Moyens de lutte contre l'érosion et l'envasement des barrages :

Il a signalé qu'un programme spécial de lutte contre l'érosion a été lancé par les services des forêts. Une superficie de 1,5 millions d'hectares sera traitée d'ici 2010, à un rythme de 6700 ha par an (Djezizi, 1998).

Pour l'envasement des barrages, plusieurs dispositifs ont été mis en place pour lutter contre ce phénomène (méthodes de chasses, soutirage par courant de densité et dragage).

Quelques photos sur les moyens de lutte



Figure VII.2 Sed de dérivation



Figure VII.3 Sed de dérivation



Figure VII.4 Moyen de lutte



Figure VII.5 Moyen de lutte



Figure VII.6 Protection des rives



Figure VII.7 Protection des rives

VII.6 Matière organique et érosion

La matière organique joue un rôle de ciment dans la formation des agrégats, ce qui permet une meilleure résistance au détachement. Bien que l'humus dans son ensemble contribue également à stabiliser les agrégats du sol, l'effet le plus marqué provient de différentes substances (sucres, cellulose, etc.) libérées lors de la décomposition de matières organiques fraîches ainsi que des hyphes de champignons qui se développent au dépend de ces matières. Cet effet se marque dans les semaines (sucres) et les mois (cellulose, hyphes) qui suivent l'incorporation des matières fraîches. Il est surtout recherché dans les premiers centimètres du sol, directement exposés aux agents climatiques. L'incorporation superficielle des résidus de cultures, de couverts hivernaux ou d'apports organiques externes est donc à préférer à un enfouissement plus profond qui dilue plus fortement l'apport de matière organique.

Aux doses habituelles, l'apport de matières organiques fraîches modifie peu le taux d'humus à court terme mais son impact positif sur la résistance du sol au détachement est immédiat. Ce sont aussi les apports réguliers de matières organiques qui permettent de maintenir le taux d'humus à long terme, ce qui est essentiel notamment pour les sols sensibles à l'érosion tels que les sols limoneux.

Conclusion

Le bassin versant du Hodna, c'est le 5^{ème} bassin de l'Algérie avec une surface de 26000 km² environ. C'est un bassin endoréique situé au centre de l'Algérie, à l'extrême des hauts- plateaux. Il est caractérisé par un climat semi-aride capricieux, marqué par une irrégularité spatiotemporelle de tous les paramètres climatologiques, avec un réseau hydrographique est tout diversifié. Le bassin est divisé en 22 sous-bassins selon l'ANRH, dont la précipitation moyenne interannuelle est d'environ 228 mm et la température moyenne est de 18 C°.

La végétation est présentée par des taches forestières (formation a base de pins d'Alp et de chênes verts) au niveau des montagnes, alfa et surtout l'armoïse au niveau de la steppe.

L'érosion et quelles que soient les causes, les conséquences est souvent désastreuses avec des pertes en sol agricole et envasement précoce des barrages en exploitation.

La méthodologie fondée sur l'analyse multicritères est utilisée dans ce travail pour la cartographie de notre étude en particulier les données concernées à la topographie, la géologie, l'occupation du sol, et les précipitations.

A partir de la carte des pentes on montre que la majorité des zones du bassin présentent une faible sensibilité à l'érosion hydrique par contre, la zone nord et quelques taches au sud varient entre forte à moyenne sensibilité.

L'examen de la carte géologique nous donne une faible à moyenne érodibilité au nord, le reste du bassin est supposé dans la classe à forte sensibilité.

Pour le critère d'occupation du sol, la plus grande superficie du bassin se répartie entre forte à moyenne sensibilité, les zones à faible sensibilité se trouvent au nord avec quelques spots au sud. Sans oublier la pluie maximale journalière, une forte sensibilité aux zones montagneuses du sud et du nord, la faible sensibilité est observée au centre du bassin, et le reste du bassin est en moyenne sensibilité.

L'examen de la dernière carte montre que les zones les plus sensibles à l'érosion hydrique se localisent dans les zones Sud, Ouest, à cause de la présence de steppe de dégradation.

HCDS : Haut-commissariat au développement de la steppe

DGF : Direction Générale Des Forêts

ACHITE M., TOUAIBIA B. et OUILLOON S. ,2006 : Erosion hydrique en Algérie du Nord: Ampleur, Conséquences & Perspectives, 14th International Soil Conservation Organisation Conférences.

Bertrand M., 2009 : Caractérisation du fonctionnement hydro - sédimentaire du bassin versant de l 'Arc en Maurienne Mise en place d'un Système d'Information Géographique, analyse spatiale et segmentation de l'espace, Rapport de stage Master 2 SIG et Gestion de l'Espace, Université Jean Monnet - ENISE – Saint Etienne, p55

Bouanani A. (2004) : Hydrologie, Transport solide et modélisation, Eude quelque sous bassins de la Tafna. Thèse de doctorat en en Géologie appliquée : Option hydrogéologie, université ABOUBEKR BELKAID Tlemcen, p.69

Chibbani R., Djilli K., Roose E., 1999. Étude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. *Bull. ORSTOM*, Rés. Eros., 19, 85-95.

Demmak A., 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Th. Docteur-Ingénieur Univ. Paris, France.

HEDJAZI A. (2009) : Quantification des apports liquides et solides de l'Oued El-ham. Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique : option hydraulique urbaine, *Université de m'sila*.

UICN : Union Mondiale pour la Nature ,programme pour l'Afrique du Nord, projet Éducation et Conservation de la biodiversité

BELAGOUNE F.(2012) : Etude et modilisation des crues des cours d'eaux en milieu semi aride, cas des grands Bassins 5,6,7 en vue de l'obtention du diplôme de magister en hydraulique option aménagement hydraulique en zones arides, université de KASDI MERBAH Ouargla,

Kerdoud S. (2006) : Le bassin versant de Beni Haroun, eau et pollution

MEDDOUR.R (2010) : Exemple des groupements forestiers et

Preforestiers de la kabylie djurdjurenne , en vue de l'obtention du titre de

docteur d'état en sciences :option foresterie agronomiques, université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU

Salim Sebhi .1989 Mutation du monde rural Algérien, Le Hodna

Sylvia Dautrebande, Hélène Cordonnier. (2006), Lutter contre l'érosion des terres

Éric **Roose**, Mohamed **Sabir**, Mourad **Arabi**, Boutkhil **Morsli** et Mohamed **Mazour Gabriel Étienne Aké**, Boyossoro **Hélène Kouadio**, Miessan **Germain Adja**, Jean-Baptiste **Ettien**, **Kôkôh Rose Effebe** et Jean **Biémi**. 2013 Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire), *Physio-Géologique*, CÔTE D'IVOIRE.

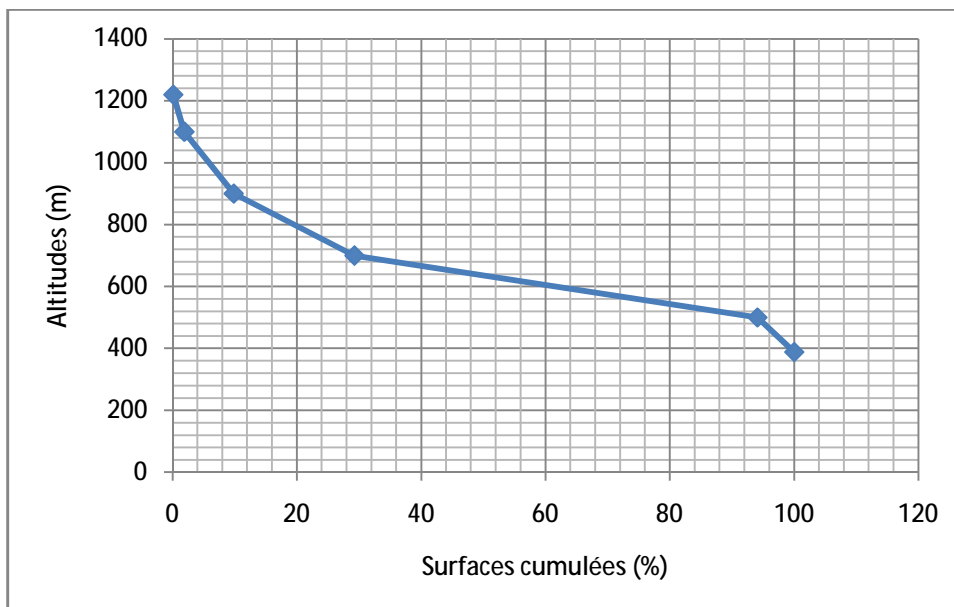
Amroune .A (2008) : Mémoire en vue l'obtention de diplôme de magister en Hydraulique, Option mobilisation des ressources hydriques et son impact sur l'environnement, hydrologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de M'sila , zone nord occidentale du bassin du Hodna ,université HADJ LAKHDAR , BATNA .

Francis MACARY (1) – Denis BERVILLE. (2006) , : bilan des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement, Université Mont ai gne Bordeaux III

Haoues Cherif.(2008) : Evaluation par analyse multicritères du risque d'érosion dans la vallée de l'Oued Labiod (Approche systémique), Mémoire de fin d'étude, En vue de l'obtention de diplôme de Magister en aménagement du territoire, Option : Dynamique des milieux physiques et risques naturels, Université colonel El Hadj Lakhdar de Batna

Répartition des surfaces en fonction des altitudes de sous bassin Eleham

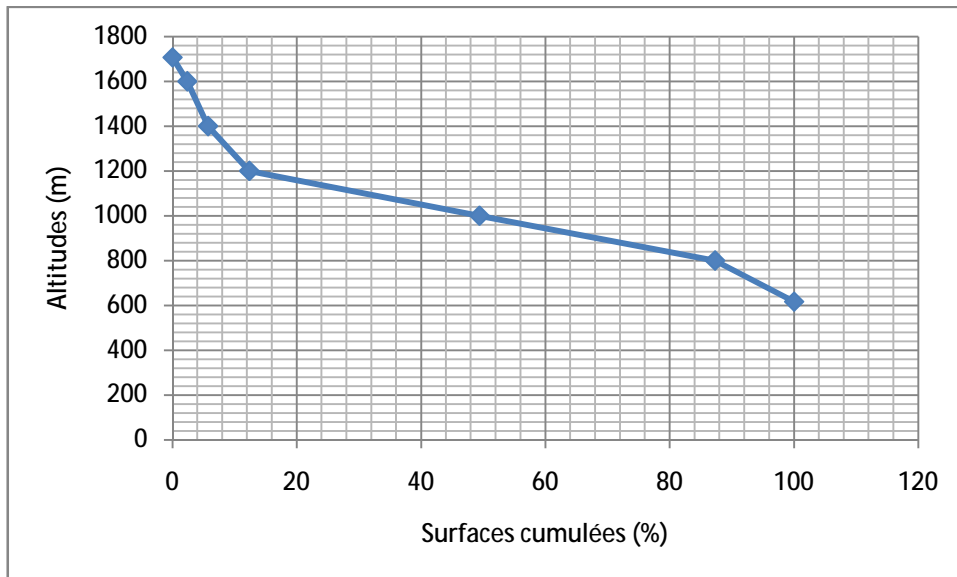
Altitude(m)	Hmoy	Surface partielle		Surface cumulée		Si* Hmoy
		Si en km ²	%	Si en km ²	%	
1239-1200	1219,5	0,775	0,12136873	0,775	0,12136873	945,1125
1200-1000	1100	11,315	1,7719834	12,09	1,89335213	12446,5
1000-800	900	50,689	7,9381411	62,779	9,83149323	45620,1
800-600	700	124,068	19,4296453	186,847	29,2611385	86847,6
600-400	500	413,89	64,8171639	600,737	94,078302	206945
400-377	388,5	37,813	5,9216976	638,55	100	14690,3505
		638,55				367494,663



La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant Eleham

Répartition des surfaces en fonction des altitudes de sous bassin logmane

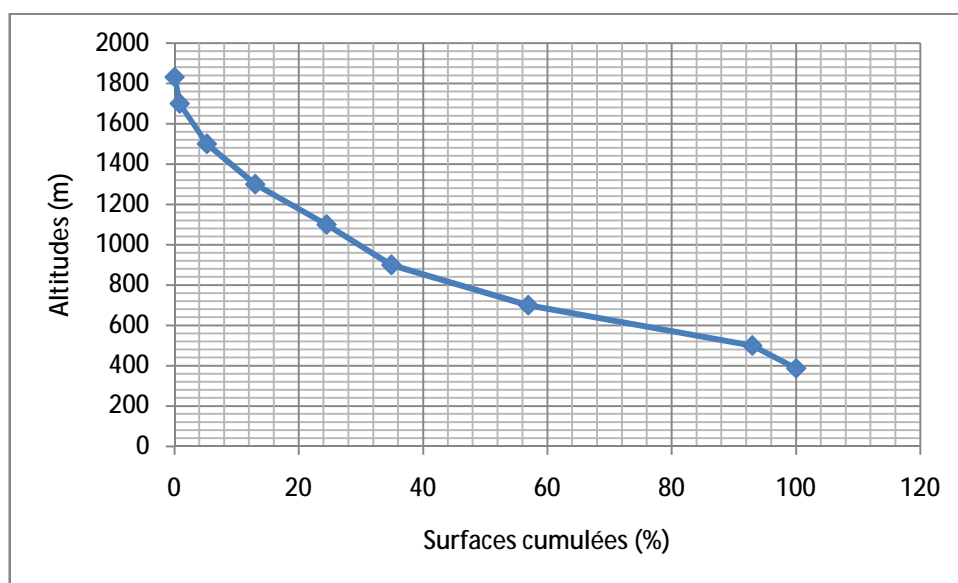
Altitude(m)	Hmoy	Surface partielle		Surface cumulée		Si* Hmoy
		Si en km ²	%	Si en km ²	%	
1713-1700	1706,5	0,0955	0,02831307	0,0955	0,02831307	162,97075
1700-1500	1600	7,962	2,36050993	8,0575	2,38882301	12739,2
1500-1300	1400	11,28	3,34420397	19,3375	5,73302698	15792
1300-1100	1200	22,371	6,63237474	41,7085	12,3654017	26845,2
1100-900	1000	124,91	37,0323154	166,6185	12,3654017	124910
900-700	800	127,76	37,8772606	294,3785	49,3977172	102208
700-533	616,5	42,9215	12,7250222	337,3	87,2749778	26461,1048
		337,3			100	309118,476



La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant sous bassin versant logmane

Répartition des surfaces en fonction des altitudes de sous bassin soubella

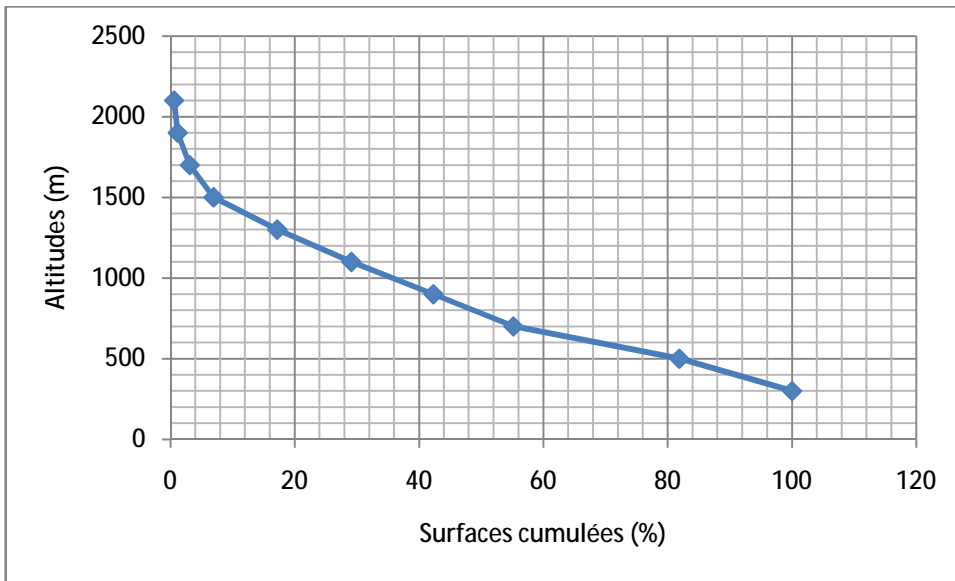
Altitude(m)	Hmoy	Surface partielle		Surface cumulée		Si* Hmoy
		Si en km ²	%	Si en km ²	%	
1862-1800	1831	0,192	0,01044216	0,192	0,01044216	351,552
1800-1600	1700	15,07	0,8196008	15,262	0,83004297	25619
1600-1400	1500	80,5	4,37809322	95,762	5,20813618	120750
1400-1200	1300	142,9	7,77669005	238,752	12,9848262	185887
1200-1000	1100	210,94	11,4722358	449,692	24,4570621	232034
1000-800	900	191,85	10,4340023	641,542	34,8910643	172665
800-600	700	404,858	22,018708	1046,4	56,909773	283400,6
600-400	500	662,7	36,0417686	1709,1	92,9515419	331350
400-375	387	129,6	7,04845815	1838,7	100	50155,2
		1838,7				1402212,35



La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant sous bassin versant soubella

Répartition des surfaces en fonction des altitudes de sous bassin Barika

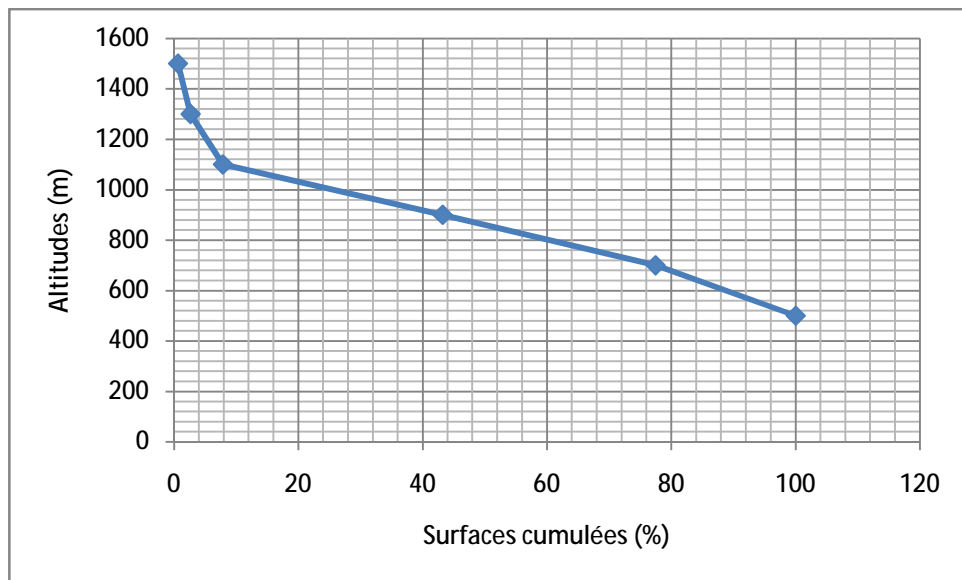
Altitude(m)	Hmoy	Surface partielle		Surface cumulée		Si* Hmoy
		Si en km ²	%	Si en km ²	%	
2200-2000	2100	22,821	0,59687713	22,821	0,59687713	47924,1
2000-1800	1900	21,81	0,57043469	44,631	1,16731182	41439
1800-1600	1700	74,02	1,93597322	118,651	3,10328503	125834
1600-1400	1500	147,14	3,84840718	265,791	6,95169221	220710
1400-1200	1300	391,15	10,2304232	656,941	17,1821154	508495
1200-1000	1100	456,35	11,9357117	1113,291	29,1178271	501985
1000-800	900	504,16	13,1861694	1617,451	42,3039964	453744
800-600	700	492,359	12,8775174	2109,81	55,1815138	344651,3
600-400	500	1020,11	26,680703	3129,92	81,8622169	510055
600-400	500	1020,11	26,680703	3129,92	81,8622169	510055
400-200	300	693,48	18,1377831	3823,4	100	208044
		3823,4				2962881,4



La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant sous bassin versant Barika

Répartition des surfaces en fonction des altitudes de sous bassin Boussaâda

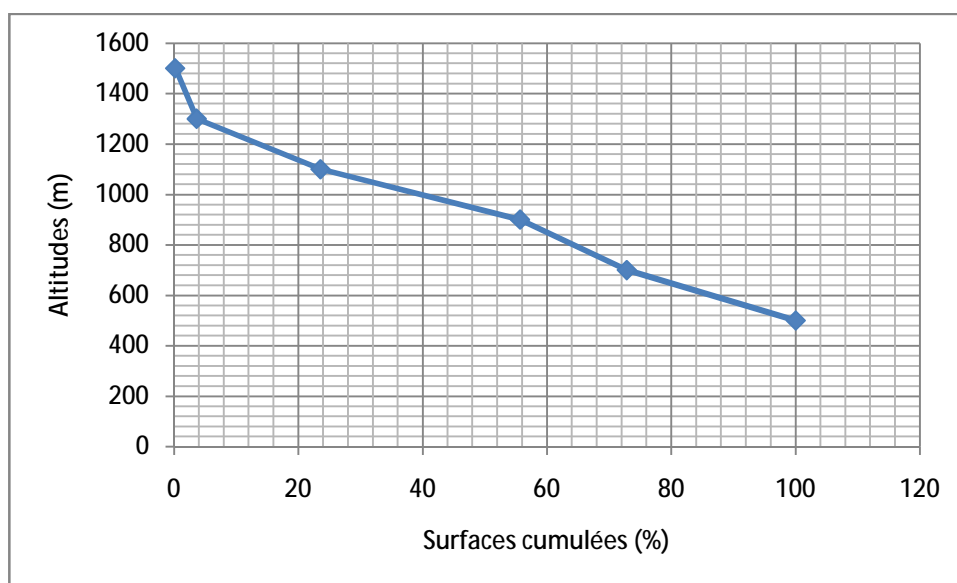
Altitude(m)	Hmoy	Surface partielle		Surface cumulée		Si* Hmoy
		Si en km ²	%	Si en km ²	%	
1600-1400	1500	19,46	0,65883468	19,46	0,65883468	29190
1400-1200	1300	59,45	2,0127298	78,91	2,67156448	77285
1200-1000	1100	153,62	5,20093442	232,53	7,8724989	168982
1000-800	900	1043,73	35,3363578	1276,26	43,2088567	939357
800-600	700	1011,98	34,2614348	2288,24	77,4702915	708386
600-400	500	665,46	22,5297085	2953,7	100	332730
		2953,7				2255930



La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant sous bassin versant Boussaâda

Répartition des surfaces en fonction des altitudes de sous bassin M'cif

Altitude(m)	Hmoy	Surface partielle		Surface cumulée		Si* Hmoy
		Si en km ²	%	Si en km ²	%	
1600-1400	1500	19,46	0,65883468	19,46	0,65883468	29190
1400-1200	1300	59,45	2,0127298	78,91	2,67156448	77285
1200-1000	1100	1059,219	19,9052675	1253,56	23,5574014	1165140,9
1000-800	900	1708,897	32,1142766	2962,457	55,671678	1538007,3
800-600	700	913,22	17,1615959	3875,677	72,8332738	639254
600-400	500	1445,623	27,1667262	5321,3	100	722811,5



La courbe hypsométrique du sous Bassin Versant sous bassin versant M'cif

ملخص

يقع حوض الحضنة في مستوى مناخي متفاوت بين القاحل وشبه القاحل، حيث تبلغ مساحته حوالي 26000 كلومترا مربعا هذا الموقع طرح مشاكل خطيرة تؤثر على الطبيعة، في هذه الدراسة، نسلط الضوء على الانجراف المائي وهو ظاهرة طبيعية ضرورية لتغيير المناظر الطبيعية وتغير التضاريس. الهدف من هذه الدراسة هو تحليل ورسم خرائط حساسية حوض الحضنة للانجراف، بالاعتماد على نهج متعدد المعايير لمختلف العناصر، ومن الواضح أن حساسية الحوض تخضع للتفاعل بين هذه العوامل والإفصاح عنها في المكان والزمان، ورسم الخرائط على أساس نظام المعلومات الجغرافية. ومن خلال فحص الخرائط التي تم الحصول عليها والتي تراعي أماكن الانجراف وتقع في المناطق الجنوبية والغربية و الشمال شرقية للحوض. وتبين هذه النتائج بما لا يدعو للشك ان الانجراف اصبح تهديدا حقيقيا على المنطقة، ومكافحة هذه الظاهرة، هو المطلوب خاصة مع تغير المناخ.

Résumé

Le grand bassin versant du Hodna, située dans un étage bioclimatique varié entre l'aride et semi aride, avec une superficie 26000 km² environ, cette situation pose des problèmes sérieux sur la nature. Cette étude, a pour objet l'analyse et la cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique du bassin versant du Hodna par une approche multicritères des différents éléments liés au phénomène. L'examen des cartes obtenues montre que les zones sensibles à l'érosion hydrique se localisent dans les zones Sud, Ouest et Nord-Est du bassin. Ces résultats montrent notamment sans doute que l'érosion hydrique est devenu une véritable menace sur la région.

Abstract

The large basin of Hodna is located in a bioclimatic varied between arid and semi-arid, with an area about 26,000 km², this poses serious problems affecting the nature, In this study, we highlight on water erosion, it is an essential natural phenomenon of changing landscapes and landforms change. This study concerns the multicriteria analysis and mapping of susceptibility to water erosion watershed Hodna. The examination of the obtained maps show that sensitive to water erosion areas is located in the southern areas, West and North-East Basin. These results show that the water erosion has become a real threat to the region