



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Application des directives du PAP/CAR et des outils SIG pour l'évaluation de l'érosion hydrique et la définition des facteurs causaux dans la partie aval du bassin versant de l'Oued Amzaz

Présenté par:

Haytam Mesrar

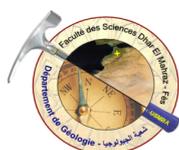
Encadré par:

- Prof. Abdelhamid Sadiki (FSDM)
- Prof. Raouf Jabrane (FSTFès)
- Mr H. BOUALI, Ingénieur d'Etat, Chef du bureau des projets et suivi des Eaux et Forêts

Soutenu Le 26 Juin 2010 devant le jury composé de:

Prof. EL GAROUANI Abdelkader :	Président
Prof. SADIKI Abdelhamid :	Co-Encadrant
Mr. BOUALI :	Co-Encadrant
Prof. RAIS NAOUAL :	Examineur
Prof. LAHRACH Abderrahim :	Examineur
Prof. BENAABIDATE Lahcen :	Examineur
Prof. Ali FALLEH :	Examineur
Prof. Jabrane Raouf :	Encadrant

Stage effectué à : FSDM. Fès. DEFLCD .Taza.





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: Haytam Mesrar

Année Universitaire : 2009/2010

Titre: Application des directives du PAP/CAR et des outils SIG pour l'évaluation de l'érosion hydrique et la définition des facteurs causaux dans la partie aval du bassin versant de l'Oued Amzaz

Résumé

Le bassin versant de l'Oued Amzaz, occupe une position médiane à l'intérieur de l'Ouergha. L'un des critères qui vient étayer le choix de l'Amzaz, c'est le fait que les débits de l'Oued Ouergha les plus élevés sont enregistrés après la confluence de l'oued Amzaz. Le bassin versant de ce dernier est étalé sur une superficie de 38 720 hectares et il connaît continuellement une érosion extrême. Cela est lié à l'interaction de plusieurs facteurs naturels tels que la quantité et l'agressivité des précipitations, la présence des fortes pentes, la densité faible du couvert végétal et surtout la dominance des roches tendres. Le bassin versant de l'Oued Amzaz n'a pas échappé à l'intervention humaine qui rend le milieu très vulnérable à l'érosion par le défrichement et la dégradation du couvert végétal et par les techniques agricoles utilisées qui sont souvent inadéquates.

La méthode PAP/CAR a été choisie afin d'étudier le phénomène dans sa globalité. Cette méthode constitue un ensemble de directives émises par le PNUD pour la formulation d'un programme de lutte antiérosives, basé sur trois approches. La première approche consiste à réaliser différentes cartes thématiques et définir les facteurs prépondérants de l'érosion. La deuxième se penche sur la description des formes et des processus de l'érosion. Alors que la dernière porte sur l'intégration et la définition des degrés du risque d'érosion.

La superficie de l'érosion en nappe modérée se limite à 409 ha. Elle se manifeste par une variation de coloration des sols. L'érosion en nappe s'est renforcé au point de devenir dégradante et s'est transformée en érosion décapante notamment à Jbel Outka sur une superficie de 2938 ha. Le décapage est lié surtout au défrichement des forêts. L'érosion en rigole et les ravines affectent une superficie de 761 ha. Les formes les plus fréquentes d'érosion sont les ravins profonds et moyennement profonds. Ces ravins ont une superficie de 3135 ha. L'analyse des bases de données a montré que 63 % de la superficie totale connaît une érosion extrême.

L'application des directives PAP/CAR s'est avéré très utile quant à l'étude et la définition des facteurs et des degrés de l'érosion. En plus de la souplesse de la méthode, il y a la pertinence des résultats. L'utilisation des Outils SIG a donné son fruit, notamment par rapport à la réalisation et la superposition des cartes thématiques, à la rapidité d'exécution des travaux cartographiques, et au traitement des bases de données.

Les tendances générales de l'érosion obtenues, ont permis de délimiter des zones où les processus d'érosion sont très importants et risquent d'atteindre des stades irréversibles. Par conséquent, ces zones sensibles nécessitent une intervention spéciale et urgente qui peut être préventive ou corrective.

Mots clés:

Bassin versant, Oued Amzaz, Oued Ouergha, PAP/CAR, Erosion en nappe, Erosion en rigole, Erosion en ravins, décapage, cartes thématiques, facteurs de l'érosion, tendance de l'érosion, SIG.

Table des matières

<i>Table des matières</i>	<i>i</i>
<i>Dédicace</i>	<i>iii</i>
<i>Avant propos</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>v</i>
<i>Liste des figures (suite)</i>	<i>vi</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>vii</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>viii</i>
.....	<i>ix</i>
<i>Résumé</i>	<i>x</i>
<i>Abstract</i>	<i>xi</i>
<i>Resumen</i>	<i>xii</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
<i>Partie I.</i>	<i>4</i>
<i>Problématique, cadre général du bassin versant d'Amzaz et méthodologie d'étude.</i>	<i>4</i>
<i>Chapitre I. Problématique</i>	<i>5</i>
I-1. Problématique de l'érosion hydrique dans les pays Méditerranéens.....	<i>5</i>
I-2. Problématique de l'érosion hydrique dans le BV d'OURGHA et critères de choix du bassin versant d'Amzaz.....	<i>6</i>
<i>Chapitre II. Cadre général du bassin versant de l'oued Amzaz</i>	<i>10</i>
II-I. Caractéristiques du bassin versant de l'Oued Amzaz	<i>10</i>
II-1-1. Aire et périmètre	<i>11</i>
II-1-2. Indice de compacité (Forme).....	<i>11</i>
II-1-3. Caractéristiques topographiques du bassin versant de l'Oued Amzaz.....	<i>12</i>
II-1-4 Réseau hydrographique	<i>18</i>
II-1-5. Les précipitations	<i>21</i>
II-1-6. Les températures :	<i>23</i>
II-1-7. Aperçu sur la géologie et la lithologie du bassin versant de l'Oued Amzaz	<i>24</i>
II-1-8. Couverture végétale	<i>29</i>
II-1-9. Facteur humain.....	<i>33</i>
<i>Chapitre III. Méthodologie, Présentation du PAP/CAR</i>	<i>38</i>
III-I. Contexte et antécédent	<i>38</i>
III-2. Schéma méthodologique général	<i>39</i>
<i>Partie II :</i>	<i>43</i>
<i>Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR</i>	<i>43</i>
<i>Chapitre IV. Approche prédictive</i>	<i>44</i>
IV-I- Elaboration de la carte d'érodibilité.....	<i>44</i>
IV-I-1- Réalisation de la carte des pentes	<i>44</i>
IV-I-2 Réalisation de la carte des lithofaciès	<i>48</i>
IV-1-3 Réalisation de la carte d'érodibilité.....	<i>52</i>
IV-II. Elaboration de la carte de protection des sols	<i>57</i>
IV-II-1. Réalisation de la carte d'occupation des sols	<i>57</i>

IV-II-2. Réalisation de la carte de densité de recouvrement	61
IV-II-3. Elaboration de la carte de protection des sols.....	64
IV-III. Elaboration de la carte des états érosifs	68
IV-IV. Définition des facteurs causaux de l'érosion	72
Chapitre V. Approche descriptive	75
V-1. Erosion en nappes.....	75
V-2. Erosion en rigoles, en ravines et en ravins.....	76
V-3. Les mouvements de masses.....	77
V-4. Erosion par les cours d'eau.....	80
V-5. Carte des formes de l'érosion	81
Chapitre VI : Approche intégration	84
VI-I. Réalisation de la carte consolidé d'érosion PAP/CAR.....	84
VI-II. Comparaison de la carte consolidé PAP/CAR et USLE (DREFLCD. 1994).....	85
VI-III. Tendances générales de l'érosion et types de maintenances.....	87
VI-III-1. Tendances de l'érosion.....	87
VI-III-2. Types de maintenance.....	88
VI-4 Comparaison des résultats avec d'autres bassins versants du Rif.....	93
Conclusion générale.....	96
Références bibliographiques	98

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma chère maman L'Kajja Aziza, à mon père L'Kajj Mohammed,

À mes sœurs, Najlae, Kajar, Boutaina et Ghita,

À mes frères, Oussama et Ayman

À toute ma famille.

&

À toutes les nuits blanches que j'ai passé devant mon écran

Avant propos

Avant d'exposer les résultats de mon projet sur l'érosion hydrique, je veux exprimer ma reconnaissance au terme de ce modeste travail, à tous ceux qui ont participé à sa réalisation.

Ma sincère reconnaissance et ma vive gratitude s'adresse à mes encadrants **M. Abdalhamid Sadiki** et **M. Jabrane Raouf**. Pour la qualité de l'encadrement, pour les conseils pertinentes, pour le temps qui m'ont consacré, pour les discussions fructueuses, pour les remarques et les critiques constructifs et pour la confiance qui m'ont fait.

Je tiens à remercier **M. Ochkif Jamal** et **M Boussawi** de la Direction régional des Eaux et Forêts du Nord-Est Taza pour le stage qu'ils m'ont offert. Je remercie également M. BOUALI Hassan, Ingénieur d'Etat, chef du bureau des projets et suivi des Eaux et Forêts pour l'encadrement et toute l'aide qu'il m'a accordée pendant ce stage.

Je tiens à remercier du fond du cœur mon chef de master M. **Ben Aabidate Lahcen** pour les chances qui ma données, et pour la qualité de la formation Hydrologie de surface et qualité des eaux.

Je tiens à remercié tout le staff HSQE : **M Alouan** (Que dieu ai pitié de son âme). **M. Lahrach Abdrrahim**, **Mme Raiss**, **M. Hassani**, **M. Deraz**, **Mme Benjloune**, **Mme Fadil**, **Mme Sefrioui**, **M. Assouik**, **M. Alilo**, **M. Khalil**, **M. Boukir**, **M. Tkhissi**, **M. Dridri**, **M. Tribek**, et **M. chtiwi**...

Je tiens à remercier **M. Ben Yahya Saad** et **M. Hamzaoui Omar** pour leurs préceptes qui servent partout et pour la formation Génie Géologique.

Je tiens à remercier **M Ali Falih** pour toutes les consignes pertinentes afin mené à bien mon projet, ainsi que pour les cartes de références et la documentation PAP/CAR.

Je tiens à remercier tout mes amis pour leur soutient et leur aide :

Jamal Chaouan ,**Faiçal Merzouk**, **Hicham Mastass** , **Fatima Zahra El Halloui**, **Driss Ghazali**, **Abderahmane el Youbi**, **Mohamed Mtérha**, **Said Tsouli**, **Mustapha Sebaoui**, **Abderahman Soual**, **Issam Gamoussi**, **Mouhssin Fadil**, **Moid Hajaj**, **Omar Filali**, **Salma Aissaoui**, **Juan Martín Sitjá y Balbastro**, **Ana Enid Vargas**, **Le Minh Ngoc**, **averyl buckley** , **Margarida Pinto da Fonseca**, **Andrea licciardi**, **Mohamed Ariki**, **Nadali Cher**, **Gergi Ivanov**, **Lynessa Moodley**, **Yayeh Desalegn**, **Dave Carthy**, **Munirah Zulkifli**, **Florian Hofman**, **David de Vleechouwer**, **Marte Kristine** ...

Liste des figures

Figure I-1 : Etat de la dégradation dans les pays méditerranéens	6
Figure I-2 : Localisation du bassin et des sous-bassins versant de l'OUERGHA dans le contexte du Rif	9
Figure II-3 : Situation du bassin versant de l'Oued Amzaz dans le contexte de l'Ourgha	10
Figure II-4 : Exemple d'indice de compacité	11
Figure II-5 : MNT et pourcentage de superficie en fonction des classes	14
Figure II-6 : Interprétation de la courbe hypsométrique	15
Figure II-7 : Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la superficie	16
Figure II-8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Amzaz	17
Figure II-9 : Profil en long de l'Oued Amzaz	18
Figure II-10 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Amzaz	20
Figure II-11 : Distribution des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Amzaz	22
Figure II-12 : Régime thermique moyen mensuel à Ourtzagh	23
(Courbe des maxima, minima et moyens)	23
Figure II-13 : Carte géologique du Rif	25
Figure II-14 : Carte géologique et lithologie du bassin versant de l'Oued Amzaz	28
Figure II-15 : Types de végétaux au niveau de Galaz et Bni Bouzoulat	29
Figure II-16 : Variation de la densité du couvert végétal en fonction de la pluviométrie.	30
Figure II-17 : Variation de la couverture végétale en fonction de l'altitude	30
Figure II-18 : Occupation des sols du bassin versant de l'oued Amzez	32
Figure II-19 : Reboisement au niveau de Galaz et défrichement au niveau de Lmchaa Lfouki	33
Figure II-20 : Carte des recensements 2004	35
Figure III-21 : Schéma méthodologique PAP/CAR	42
Figure IV-22: Courbe des fréquences cumulées des pourcentages des surfaces des pentes du bassin versant de l'Oued Amzaz	46
Figure IV-23 : Histogramme de fréquences des surfaces des pentes en (ha) du bassin versant de l'Oued Amzaz	46
Figure IV-24 : Carte des pentes selon les classes propres au PAP/CAR	47
Figure IV-25 : Histogramme des fréquences des surfaces en fonction des classes lithologiques.	49
Figure IV-26 : courbe des fréquences cumulées	49
Figure IV-27: Carte des lithofaciès	51
Figure IV-28: Réalisation de la carte d'érodibilité	52
Figure IV-29: Courbe des fréquences cumulées de l'érodibilité du bassin versant de l'Oued Amzaz	54
Figure IV-30 : Histogramme de fréquences des superficies en fonction des classes d'érodibilité.	54
Figure IV-31 : Carte d'érodibilité	56
Figure IV-32 : Comparaison entre image spot 2010 et la carte des eaux et forêt 1994	57
Figure IV-33 : Carte d'occupation des sols	59
Figure IV-34 : Fréquences des classes d'occupation en fonction des superficies en ha	60
Figure IV-35 : Carte de densité de recouvrement	61
Figure IV-36 : histogramme des classes de degré de couvert en fonction des superficies	62
Figure IV-37 : Courbe de fréquence des superficies cumulée du degré de couverture	63
Figure IV-38 : Schéma d'élaboration de la carte de protection des sols	64
Figure IV-39 : Histogramme des fréquences des classes de degré de protection en fonction des superficies	65
Figure IV-40 : courbe des fréquences cumulées des degrés de protection	66
Figure IV-41 : Carte de protection des sols	67
Figure IV-42 : séquence de la réalisation de la carte des états érosifs	68
Figure IV-43 : Histogramme des classes de degré d'érosion en fonction des superficies	69
Figure IV-44 : courbe des fréquences cumulées des degrés d'érosion	70
Figure IV-45 : Carte des états érosifs	71
Figure IV-46 : Histogramme des pourcentages de fréquences des facteurs de l'érosion	74
Figure V-47 : localisation des de l'érosion en nappe au niveau de Ain Nkoub (Galaz)	75
Figure V-48(A et B) : Rigoles et ravin au niveau de Tizighan et Bab Chraka	76
Figure V-49 : Glissement au niveau de la route Galaz-Bab Chraka.	77
Figure V-50 : Processus de fissuration de l'Huilerie de L' Mchaa	78
Figure V-51 : le glissement coulé de Bou Afia.	79
Figure V-52 : Effondrement au niveau d'Ain N' Koub	79
Figure V-53: Erosion par le cours d'eau d'Amzaz au niveau de Galaz	80

Liste des figures (suite)

<i>Figure V-54 : Histogramme de fréquence en fonction des superficies relatives</i>	81
<i>Figure V-55 : Carte des formes de l'érosion</i>	83
<i>Figure VI-56 : réalisation de la carte consolidée PAP/CAR</i>	84
<i>Figure VI-57 : Comparaison entre la carte des états érosifs et la carte USLE</i>	86
<i>Figure VI-58 : Exemple de l'évaluation de la tendance de l'érosion</i>	87
<i>Figure VI-59 : Reboisement au niveau de Bou Oulid</i>	88
<i>Figure VI-60 : Seuils en gabion défaillant au niveau du pont de Galaz</i>	89
<i>Figure VI-61 : Carte de localisation des seuils en gabion au niveau d'Azaghar (Sidi El Makhfi)</i>	92
<i>Figure VI-62 : Sahla : Carte des états érosifs (PAP/CAR)</i>	95
<i>Bou Souab : Carte des pertes en terre (USLE)</i>	95
<i>L'Oued Tlata : Carte des pertes en terre (USLE)</i>	95

Liste des tableaux

<i>Tableau II-1 : Tableau de fréquences et des pourcentages cumulés au dessus de la limite inférieure</i>	15
<i>Tableau II-2 : Données climatiques disponibles dans les stations du bassin versant ou qui lui sont voisines</i>	21
<i>Tableau II-3 : Moyenne de températures à Ourtzagh entre 1984 et 1990</i>	23
<i>Tableau IV-4 : Classes de pentes</i>	45
<i>Tableau IV-5 : Superficies, fréquences et fréquences cumulées en fonction des classes des pentes</i>	45
<i>Tableau IV-6 : Classes de lithofaciès</i>	48
<i>Tableau IV-7 : Classe de lithofaciès en fonction des superficies des pourcentages et des pourcentages cumulés</i>	48
<i>Tableau IV-8 : Degrés d'érodibilité</i>	53
<i>Tableau IV-9 : Classe d'érodibilité</i>	53
<i>Tableau IV-10 : Table de données relative à l'érodibilité</i>	53
<i>Tableau IV-11 : Table des classes de superficie et de des pourcentages des superficies des différentes occupations des sols</i>	60
<i>Tableau IV-12 : Classe superficie et pourcentage de superficie du degré de couvert végétal</i>	62
<i>Tableau IV-13 : Matrice d'occupation du sol vs couvert végétal et degré de protection</i>	65
<i>Tableau IV-14 : Table de données relatives au degré de protection</i>	65
<i>Tableau IV-15 : Matrice: Degré de protection des sols vs. Degré d'érodibilité</i>	68
<i>Tableau IV-16 : Table de données relatives au degré d'érosion</i>	69
<i>Tableau IV-16 : Table de données relative aux différentes classes d'états érosifs</i>	72
<i>Tableau V-17 : Superficies relatives des formes d'érosion</i>	81
<i>Tableau VI-18 : Valeurs des pertes en terre dans certains bassins versant du Rif</i>	94

Liste des abréviations

D.R.E.F.C.S.Taza : Direction régionale des eaux et forêt de la région de Taza

PAP/CAR : Programme d'Actions Prioritaires du Centre d'activités Régionales

ICONA : Institut national de conservation de la nature

CEMAGREF : Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement. France

FAO: Food and alimentation organisation

PAM : Plan d'action pour le méditerrané

ACSAD : le centre arabe d'étude des zones désertiques.

DGCONA : direction générale de conservation de la nature

MNT : Modèle numérique de terrain

PNUD : Programme des nations unis pour le développement.

ملخص

يحتل الحوض المائي لواد أمزاز موقعا متوسطيا داخل حوض الماء ورغة، حيث يعتبر الصبيب المرتفع المسجل بعد تلاقي واد أمزاز وواد ورغة المعيار الأساسي الذي قامت عليه هذه الدراسة، تمثل المساحة الإجمالية لواد أمزاز 38720 هكتار، في حين تتميز معظم الأراضي بتعرية مفرطة نظرا لتداخل عدة عوامل ككمية التساقطات، وجود منحدرات شديدة، إضافة إلى نقص في الغطاء النباتي وسيادة جلية للصخور اللينة.

إلى كل هذه العوامل الطبيعية نضيف العامل البشري، حيث أن التدخلات البشرية تساهم بشكل كبير في التعرية والمتمثلة في تجريد الغطاء النباتي واستعمال التقنيات الفلاحية الغير المناسبة.

تعتمد الدراسة منهج برنامج النشاط الأولي/ مركز النشاط الجهوي الذي يركز على ثلاث مقاربات أصدرت من قبل برنامج الأمم المتحدة للتنمية في إطار برنامج لمحاربة التعرية، وهي إعداد مختلف الخرائط الموضوعية، تحديد عوامل التعرية، وصف أشكال التعرية وتحديد درجات خطرها.

مكنت الدراسة من تحديد مساحة التعرية بالفرشة في حدود 409 هكتار وتتجلى في تغير لون التربة. تزداد حدة التعرية لتصبح تجريدية بمنطقة جبل اودكة حيث تمتد على مساحة 2938 هكتار. هذا التجريد هو نتيجة لاستنزاف الغطاء النباتي وبالتالي النقص من المساحة الغابوية، في حين تبلغ المساحة التي تتعرض للتعرية بفعل السيول المتوسطة العمق والعميقة 3135 هكتار. أظهرت دراسة وتحليل قواعد المعطيات أن 63% من مساحة الحوض المائي لحوض أمزاز تعرف تعرية قصوى .

أثبت تطبيق توجيهات برنامج النشاط الأولي/ مركز النشاط الجهوي فعاليته في دراسة وتحديد عوامل ودرجات التعرية، بالإضافة إلى مرونة الطريقة نذكر جودة النتائج. كما مكن استعمال وسائل نظام المعلومات الجغرافي من تراكب الخرائط وتنفيذ سريع للأشغال الخرائطية ومعالجة قواعد المعطيات.

الميولات العامة للتعرية مكنت من تحديد المناطق التي تعرف تعرية مفرطة والتي من الممكن أن تصل إلى مراحل متقدمة. هذه المناطق الحساسة تحتاج تدخلات خاصة سريعة للحد من الظاهرة بكيفية وقائية وتصحيحية.

كلمات المفتاح:

— حوض الماء، واد أمزاز، واد ورغة، برنامج النشاط الأولي/ مركز النشاط الجهوي، الخرائط الموضوعية، التعرية بالفرشة، التعرية بالسيول، التجريد، نظام المعلومات الجغرافي، ميولات التعرية.

Résumé

Le bassin versant de l'Oued Amzaz, occupe une position médiane à l'intérieur de l'Ouergha. L'un des critères qui vient étayer le choix d'Amzaz, c'est le fait que les débits de l'Oued Ouergha les plus élevés sont enregistrés après la confluence de l'oued Amzaz. Le bassin versant de ce dernier est étalé sur une superficie de 38720 hectares et il connaît continuellement une érosion extrême. Cela est lié à l'interaction de plusieurs facteurs naturels tels que la quantité et l'agressivité des précipitations, la présence des pentes fortes, la densité faible du couvert végétal et surtout la dominance des roches tendres. Le bassin versant de l'Oued Amzaz n'a pas échappé à l'intervention humaine qui rend le milieu très vulnérable à l'érosion par le défrichement et la dégradation du couvert végétal et par les techniques agricoles utilisées qui sont souvent inadéquates.

La méthode PAP/CAR a été choisie afin d'étudier le phénomène dans sa globalité. Cette méthode constitue un ensemble de directives émises par le PNUD pour la formulation d'un programme de lutte antiérosives, basé sur trois approches. La première approche consiste à réaliser différentes cartes thématiques et définir les facteurs prépondérants de l'érosion. La deuxième se penche sur la description des formes et des processus de l'érosion. Alors que la dernière porte sur l'intégration et la définition des degrés du risque d'érosion.

La superficie de l'érosion en nappe modérée se limite à 409 ha. Elle se manifeste par une variation de coloration des sols. L'érosion en nappe s'est renforcé au point de devenir dégradante et s'est transformée en érosion décapante notamment à Jbel Outka sur une superficie de 2938 ha. Le décapage est lié surtout au défrichement des forêts. L'érosion en rigole et les ravines affectent une superficie de 761 ha. Les formes les plus fréquentes d'érosion sont les ravins profonds et moyennement profonds. Ces ravins ont une superficie de 3135 ha. L'analyse des bases de données a montré que 63 % de la superficie totale connaît une érosion extrême.

L'application des directives PAP/CAR s'est avéré très utile quant à l'étude et la définition des facteurs et des degrés de l'érosion. En plus de la souplesse de la méthode, il y a la pertinence des résultats. L'utilisation des outils SIG a donné son fruit, notamment en rapport avec la réalisation et la superposition des cartes thématiques, la rapidité d'exécution des travaux cartographiques, et le traitement des bases de données.

Les tendances générales de l'érosion obtenues, ont permis de délimiter des zones où les processus d'érosion sont très importants et risquent d'atteindre des stades irréversibles. Par conséquent, ces zones sensibles nécessitent une intervention spéciale et urgente qui peut être préventive ou corrective.

Mots clés:

Bassin versant, Oued Amzaz, Oued Ouergha, PAP/CAR, Erosion en nappe, Erosion en rigole, Erosion en ravain, décapage, cartes thématiques, facteurs de l'érosion, tendance de l'érosion, SIG.

Abstract

Oued AMZAZ watershed occupies a central position within the watershed Oued Ouergha. One of the criteria that underpin the choice of Oued AMZAZ is the fact that the highest flows of the Oued Ouergha take place after the confluence of AMZAZ. The latter basin spreads over an area of 38720 hectares and it constantly experiences extreme erosion. This is the result of the interaction of several natural factors such as quantity and aggressiveness of rainfall, the presence of steep slopes, low density of vegetation and especially the dominance of soft rock. Oued AMZAZ watershed has not escaped human intervention, which makes the area highly vulnerable to erosion by vegetation cover's clearing and degradation. Further, the farming techniques used are often inadequate.

The PAP /RAC method has been used to study the phenomenon in its entirety. This method constitutes a set of guidelines, issued by UNDP for the formulation of a program to combat erosion control, and is based on three approaches. The first approach seeks to create different thematic maps and determine leading factors of erosion. The second focuses on the description of forms and processes of erosion. The last approach investigates the integration and definition of degrees of erosion risk.

The area of moderate sheet erosion is limited to 409 ha. It is manifested by a change in soil colour. Sheet erosion has grown stronger to become degrading and turned into extreme erosion including in Jbel Outka over an area of 2938 ha. Scouring is mainly associated with forest clearing. Rill erosion and gullies affect an area of 761 ha. The most common forms of erosion are deep and moderately deep gullies. These ravines are over an area of 3135 ha. Database analysis showed that 63% of the total area is experiencing extreme erosion.

The application of PAP/RAC directives has proven valuable for the study and definition of factors and degrees of erosion, so much so that in addition to the flexibility of the method, there is the relevance of results. Using GIS Tools has been fruitful, particularly in relation to the implementation and overlay of thematic maps, speed of mapping execution, and processing of databases.

The general trends of erosion obtained allow the pointing out of areas where erosion processes are very important and may reach irreversible stages. Thus, these sensitive areas require special and urgent intervention, be it preventive or corrective.

Keys words:

Watershed, Oued AMZAZ, watershed Oued Ouergha, PAP /RAC, Sheet erosion, extreme erosion, Rill erosion, factors and degrees of erosion, trends of erosion, GIS.

Resumen

La cuenca del Rio Amzaz ocupa una posición central en el interior del Rio Ouergha. Uno de los principales criterios para la elección del Amzaz es el hecho de que los mayores flujos del Oued Ouergha son registrados luego de la confluencia con el Oued Azmaz. La cuenca de este último se extiende sobre una superficie de 38720 ha. afectada por una erosión extrema. Esta condición se asocia sobre todo con la interacción de numerosos factores naturales como las precipitaciones, la presencia de pendientes pronunciadas, una baja densidad de cobertura vegetal y sobre todo la predominancia de rocas blandas. La cuenca de Oued Amzaz no escapó a la intervención humana que hace el entorno muy vulnerable a la erosión, la remoción en masa, la degradación de la cobertura vegetal y el cultivo con técnicas raramente adecuadas.

Para estudiar el fenómeno en su conjunto, se eligió el método PAP/CAR que establece las directrices emitidas por la PNUD para la formulación de un programa de lucha contra la erosión basado en tres enfoques: el primero, consiste en la realización de diferentes mapas temáticos, la definición de estados de erosión y la determinación de los factores principales que la causan; el segundo, es el estudio y la descripción de las geoformas y procesos de erosión; y la tercera, se centra en la integración y la definición del grado de riesgo de erosión.

Incluyendo todos los procesos de erosión. La erosión moderada (en manto) es la erosión de nappa que es muy localizada (409 ha.); se manifiesta simplemente por una variación de la coloración de los suelos. Este efecto tiene un componente muy degradante que tomó gran magnitud y se transformó en erosión extractiva de suelos sobre una superficie de 2938 ha. especialmente en Jbel Outka. Esto tuvo lugar sobre todo a la tala de los bosques. Los arroyos y quebradas ocupan una superficie de 761 ha. Las geoformas más frecuentes son los barrancos profundos y moderadamente profundos, que pueden alcanzar hasta 3135 ha. Del análisis de la base de datos se desprende que el 63% de la superficie total presenta una erosión extrema,

La aplicación de las directrices PAP/CAR fue muy útil en el estudio y la definición de los factores y grados de erosión. Además de la flexibilidad del método hay una pertinencia de los resultados. La utilización de herramientas SIG dio sus frutos, especialmente en lo que concierne a la realización y superposición de mapas temáticos y la rapidez de la ejecución de los trabajos cartográficos y del tratamiento de base de datos.

Las tendencias generales de la erosión obtenidas permitieron delimitar zonas donde los procesos erosivos son importantes y pueden llegar a ser irreversibles y que necesiten en consecuencia, de intervenciones urgentes y especiales preventivas o correctivas.

Palabras clave:

La cuenca, Rio Amzaz, Rio Ouergha, PAP/CAR, mapas temáticos, estados de erosión, integración, grado de erosión, tendencias de la erosión, SIG.

Introduction générale

Les milieux naturels marocains ont subi au cours des dernières décennies des dégradations importantes liées en premier lieu au développement des populations et à la pression qu'elles ont exercée sur les ressources naturelles. L'un des aspects de cette dégradation réside dans l'érosion hydrique des sols qui s'est accélérée d'une façon alarmante.

Ce phénomène naturel ou accéléré dépend d'un certain nombre de facteurs naturels (intensité des précipitations, topographie, érodibilité des sols...) et anthropiques (cultures sur pentes fortes, élevages intensifs, infrastructures routières...).

L'érosion hydrique accélérée est liée à un ruissellement excessif provoqué par des pratiques humaines qui déstabilisent et fragilisent le sol, le surpâturage, le défrichement des forêts pour la satisfaction des besoins domestiques et pour l'accroissement des terrains agricoles ainsi que les pratiques culturales non adéquates qui peuvent causer des problèmes économiques et environnementaux.

Ce fléau qui pèse lourdement sur notre société a de graves conséquences de différents points de vue. D'un point de vue économique, les pertes sont importantes et ils sont estimées en milliards de DH (Dégradation de l'Infrastructure routière, des ouvrages d'art et de la productivité des terrains agricoles de pâturage ou forestier), Du côté humain la situation est catastrophique et très inquiétante (appauvrissement et exode rural vers les villes ou vers l'étranger). D'un point de vue écologique, c'est surtout une dégradation des milieux qui s'exprime par une diminution de la diversité biologique et une perte de la productivité. Ces trois composantes à savoir économique, humaine et environnementale sont intimement liées, et un déséquilibre au sein d'une seule composante peut entraîner la déféctuosité de tout le système. On est donc amené à choisir une méthode qui va permettre de mettre en relation les différentes composantes pour tirer des hypothèses concernant l'état des sols vis-à-vis des processus naturel de dégradation et des activités humaines. Lorsque l'on aborde le thème de l'érosion des sols et de la dégradation des terres, il est important de considérer les quatre facteurs physiques de base qui conditionnent le régime érosif, à savoir : l'agressivité du climat particulièrement des précipitations, l'érodibilité des sols, la topographie (la raideur des pentes) et la nature et densité du couvert végétale. Ces quatre facteurs vont constituer le socle sur le quelle on va se baser pour définir les zones qui présente un risque, le type de risque et comment gérer ce risque.

Introduction générale

L'objectif du travail est d'étudier les processus de l'érosion hydrique et d'évaluer par une méthode très récente spéciale aux pays de la méditerranée, le comportement du ruissellement et son action néfaste sur les propriétés bénéfiques du sol.

La méthode qu'on a adoptée est celle du PAP/CAR (Programme d'Actions Prioritaires du Centre d'activités Régionales) qui est un ensemble de directives pour la formulation d'un programme de lutte antiérosive. Dans le cadre du plan d'action pour la méditerranée (PAM), de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

Pour hiérarchiser le bassin versant en fonction de la vulnérabilité à l'érosion hydrique, la méthode se base sur la cartographie de certains facteurs de l'érosion en s'appuyant pour chaque facteur sur le paramètre qui le contrôle. La pente avec la lithologie et la proportion de recouvrement avec le type du couvert végétal. Le résultat sera comparé avec la carte de l'érosion réelle.

Le travail est présenté en deux parties contenant chacune trois chapitres.

- La première porte sur la problématique, la présentation du terrain d'étude et de la méthodologie

Le premier chapitre détaille les problèmes causés par l'érosion dans les pays méditerranéenne, vu que le PAP/CAR est propre à ces pays, puis dans le bassin de l'Ourgha dont l'Oued Amzaz est l'un des principaux affluents.

Le second chapitre concerne la présentation du cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz (situation, morphologie, climat, géologie et couvert végétal).

Le troisième chapitre est consacré à la méthodologie adoptée.

- La deuxième partie quand à elle est consacré à l'application des directives PAP/CAR net aux résultats

Le quatrième chapitre concerne l'approche prédictive par la cartographie thématique

Le cinquième chapitre porte sur l'approche descriptive ou sont décrits toutes les formes et tous les processus d'érosion rencontrés dans le bassin versant.

Introduction générale

Le sixième chapitre consiste en l'intégration des deux approches pour élaborer la carte consolidée de l'érosion et d'évoquer les résultats de la composante de mesure qui a été réalisé en 1994 par la DREFT. Dans ce chapitre sont développés aussi les discussions des résultats et les comparaisons avec d'autres méthodes et d'autres bassins versants voisins. On présentera enfin les tendances générales de l'érosion et quelques types d'intervention et de maintenance.

Partie I.

Problématique, cadre général du bassin versant d'Amzaz et méthodologie d'étude.

Chapitre I. Problématique

L'érosion du sol par l'eau est l'un des plus grands problèmes de l'environnement et vu que les directives PAP/CAR sont propres au pays méditerranéens on va mettre en relief le phénomène de l'érosion hydrique dans le contexte de la méditerranée avant de détailler la problématique dans les bassins versants de l'Ouergha et Amzaz en incluant les critères de choix de la zone étudiée.

I-1. Problématique de l'érosion hydrique dans les pays Méditerranéens

La problématique de l'érosion hydrique dans les pays méditerranéens (Figure I-1) est le résultat d'une interaction longue et intense entre les activités humaines et le milieu naturel donnant ainsi naissance à une érosion grave dont l'évaluation de l'ampleur du phénomène est difficile. En Espagne 57% des bassins méditerranéens accusent des taux d'érosion supérieur à 12 t/ha/an dont 25,700 Km² enregistrent des taux intenses, plus de 50 t/ha/an (ICONA. 1997). En France et notamment dans le bassin versant de Bléne, situé entre Digne et Draix (Alpes maritime, France) les recherches de la CEMAGREF (1998) montrent que deux petits bassin, l'un entièrement couvert de plantations artificielles et l'autre comportant des terres dénudées, présentent des taux d'érosion de 0,01 t/ha/an et 30 t/ha/an. En Turquie 22,3% des terres sont gravement érodées (Topraksu Koyisler, 1981). En Tunisie 120000 Km² sur 164000 Km² est directement menacés vu l'irrégularité des précipitations et le relief montagneux. En Italie (Gazzolo et Bassi 1996) indiquent que l'érosion est de 0,15 mm/an, la plus élevée étant à Marecchia et Savio avec une perte de 1,4 mm/an (environ 25 t/ha/an), l'explication de cette situation selon eux peut être trouvée dans des sols particulièrement érodible et soumis à une culture extrêmement intensive. En Albanie le fleuve Drini à une charge de sédiments en suspension la plus élevée pour l'ensemble du bassin méditerranéen 1,082 t/ha/an. En Syrie, Liban et Palestine, l'érosion éolienne se combine avec l'érosion hydrique qui excède parfois 50 t/ha/an (FAO/PNUE/UNESCO, 1980). En Egypte l'érosion pluvial est nulle à négligeable mais dans certaines zones désertiques (erg); sur une bande étroite bordant le delta du Nil et sur la côte égyptienne occidentale, elle peut mobiliser plus de 200 t/ha/an. En Libye l'érosion pluviale est modérée dans la bordure de la mer (Jbel Akkdhar et Jbel Nefhusa), alors que d'autres parties sont sujettes à une érosion éolienne généralisée.

Au Maroc des relevés de la sédimentation effectués dans six réservoirs se trouvant dans divers bassins versants ont montré que l'érosion varie de 2 à 59 t/ha/an, l'envasement des barrages par les sédiments provoque la diminution de leur capacité de l'ordre de 75 millions de m³/an, la capacité totale perdue actuellement par les barrage est près de un milliard de m³, équivalente à la

Problématique

retenue de 5 barrages existants, équivalente aussi à la quantité d'eau nécessaire pour irriguer 5000 à 6000 ha/an (A.E.F.C.S in Sadiki 2005). Cette situation est due principalement à un régime climatique caractérisée par des périodes de pluies abondantes sous forme d'averses intenses suivies de longues périodes sèches, à la présence des sols hautement érodables à cause de leur faible structure, leur faible développement (faible épaisseur et taux bas de matières organiques) ainsi qu'à un relief accidenté présentant des pentes raides et des paysages très divers.

Socio économiquement, on assiste dans la région méditerranéenne à une perte considérable de forêts et de végétation naturelle dues aux incendies fréquents, à la dégradation des ouvrages de conservation des sols et des eaux, au surpâturage et à la surexploitation des terres agricoles. Cette pression intense exercée sur les milieux naturels provoque une dégradation grandissante des paysages en général, et des ressources en sols en particulier.

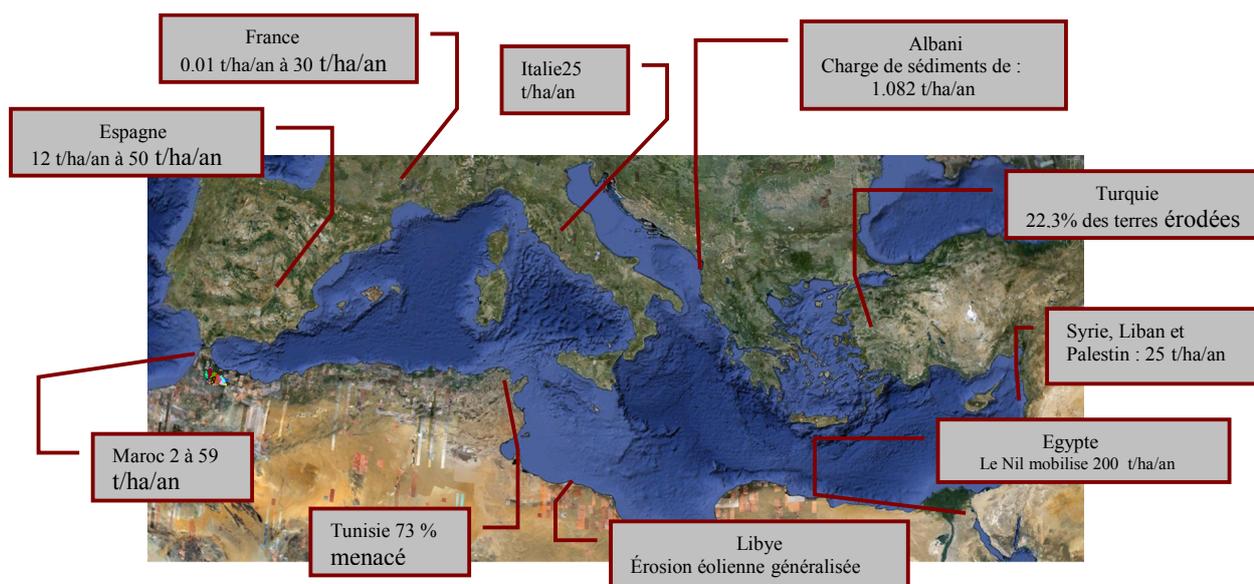


Figure I-1 : Etat de la dégradation dans les pays méditerranéens

I-2. Problématique de l'érosion hydrique dans le BV d'OURGHA et critères de choix du bassin versant d'Amzaz

Le bassin versant de l'Oued Ouergha, en amont du barrage El Wahda, couvre une superficie de 6140 Km² sur le versant Atlantique du Rif. Il est divisé en 16 sous-bassins, recouvrant les affluents de la rive droite et les bassins intermédiaires du cours principale de l'Ouergha (Fig. I.2). Le climat méditerranéen à étés secs et hivers pluvieux. La pluviométrie est très irrégulière d'une année sur l'autre. La moyenne des précipitations est 973mm, elle varie de 500 mm aux extrémités

Problématique

Est et Sud à 1700 mm dans la zone montagneuse centrale. Les précipitations augmentent avec l'altitude et diminuent dans la partie orientale.

La lithologie est assez tendre avec une dominante de marnes et de schistes (flysch). Combinée avec une topographie accidentée aux fortes pentes.

La répartition du couvert végétal montre une très grande proportion de la zone cultivée (69 %) et une part relativement faible des forêts (11%) essentiellement au nord, les matorrals et les parcours occupant 18 % de la superficie.

La très forte densité de population (100 hab/km²) entraîne une surexploitation de ce milieu, originellement et jusqu'à il y a peu de temps essentiellement forestier, avec un très fort développement des cultures

La pression sur le couvert végétal pérenne se fait :

- par défrichage notamment dans la zone de culture du cannabis,
- par la récolte de feuillage pour les animaux,
- par la récolte de bois de feu. -

Les cultures sur pentes fortes sont de faible productivité et l'érosion contraint souvent au bout de quelques années à l'abandon de ces parcelles.

Toutes ces conditions conduisent à une érosion très élevée qui se traduit par de faibles épaisseurs de sol et par un transport solide important à l'exutoire du bassin versant.

Le bassin versant de l'Oued Amzaz et une image à plus petite échelle du bassin versant de l'ouergha. Il est considéré par D.R.E.F.C.S.Taza, (1995) comme étant un bassin forestier avec plus de 10 % de forêts naturelle soumi à un très fort taux de défrichage pour des mises en culture, notamment de cannabis. Par ailleurs le ramassage du bois de feu et l'utilisation des ressources fourragères, entraînent une dégradation très marquée des forêts naturelles et du matorral. Les niveaux de protection des sols et de la couverture végétale sont faibles à moyen. L'hydrologie est marquée par des étiages très faibles et des crues importantes en hiver et au printemps, l'Ourgha à M'Jara a un débit annuel moyen de 88 m³/s, un étiage caractéristique de 1,8 m³/s et il a en moyen 2 crues de plus de 1000 m³/an, selon la direction des eaux et foret (1994) le bassin versant de l'Oued

Problématique

Amzaz a des apports en sédiment relativement faibles malgré la forte pluviosité car la lithologie est un peu plus résistante et la couverture végétale assure une assez bonne protection (DEFCS 1995).

La question qui se pose à ce niveau est : quelle est le devenir de cette couverture et de ses terres avec une population qui ne cesse pas d'augmenter ?

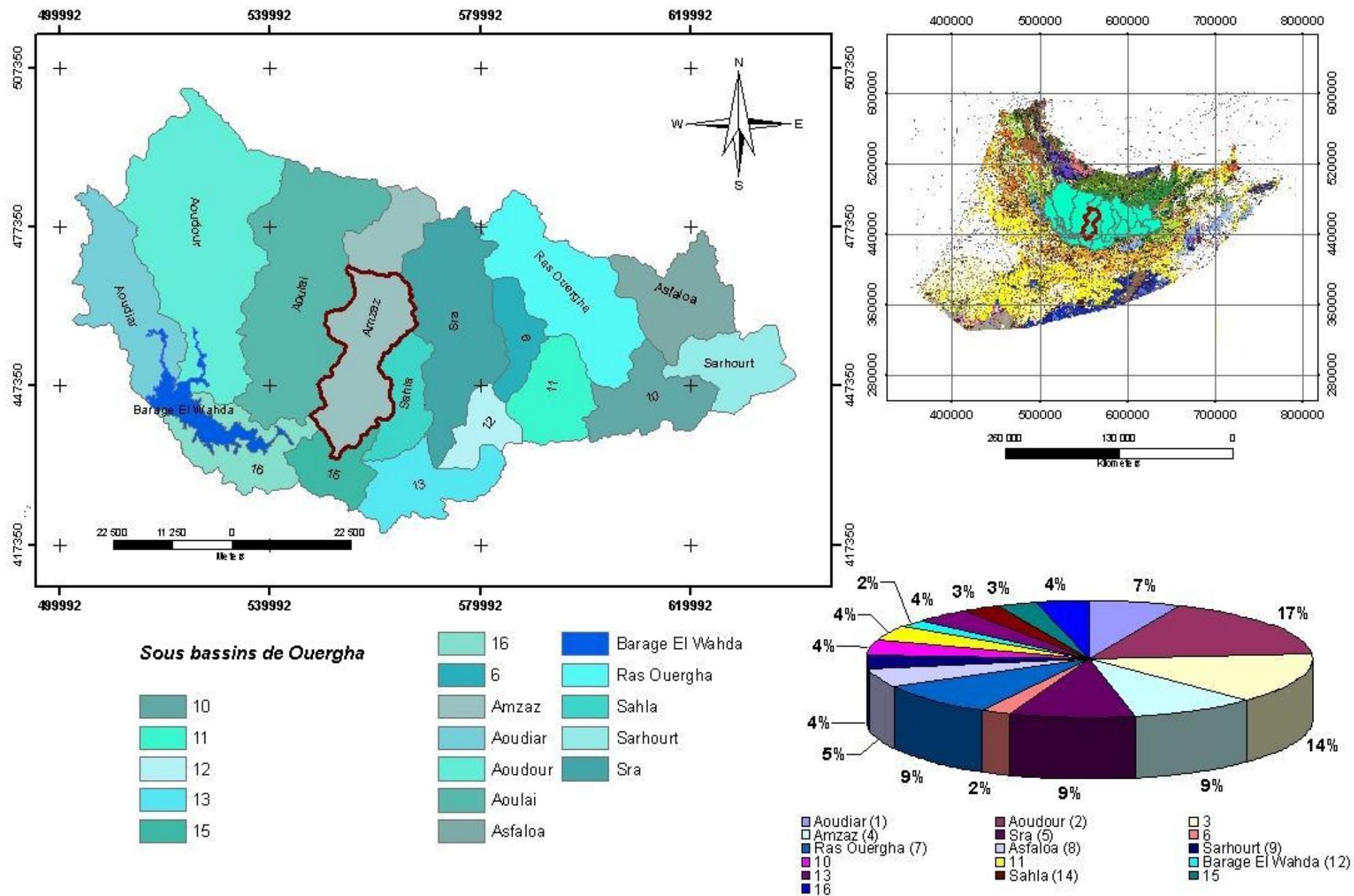


Figure I-2 : Localisation du bassin et des sous-bassins versant de l'OUERGHA dans le contexte du Rif

Chapitre II. Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

Dans la présentation du cadre générale du bassin versant de l'Oued Amzaz, on va développer surtout les paramètres qui ne vont pas être traité ultérieurement comme facteurs d'érosion par la méthode PAP/CAR. Pour la morphologie on s'intéressera à l'altitude et au réseau hydrographique. En ce qui concerne le climat c'est surtout la pluviométrie et la température des stations les plus proches qui seront traitées. On passera en revue la géologie de la zone d'étude et les types de couvert végétale, et on finira par l'étude d'un facteur qui ne cesse de rendre la dégradation de plus en plus alarmante ; le facteur anthropique.

II-I. Caractéristiques du bassin versant de l'Oued Amzaz

Introduction

Situé sur le versant Atlantique du Rif, le bassin versant de l'Oued Amzaz, occupent une position médian à l'intérieur du bassin versant de l'Ouergha (Fig. II-3), limité au NE par le bassin versant de l'Oued Sra, au SE par le bassin versant de l'Oued Sahela , à l'W par le bassin versant de l'Oued Aoulai , au S, c'est la confluence avec l'Oued Ouergha, la limite N est la ligne de partage des eau situer au niveau du Jbel Lmarasfeld et jbel Isoûla. Il couvre une superficie de 387,20 Km².

Administrativement, la zone d'étude dépend de la région de Taza-Al Hoceïma et couvre 7 communes, la commune de Oulad Daoud dans la partie la plus aval, en allant vers l'amont on trouve la commune de Galaz, El Bibane, Timzgana, Sidi El Makhfi pour arriver plus au nord à la commune de Ratba et celle de Tamsouat.

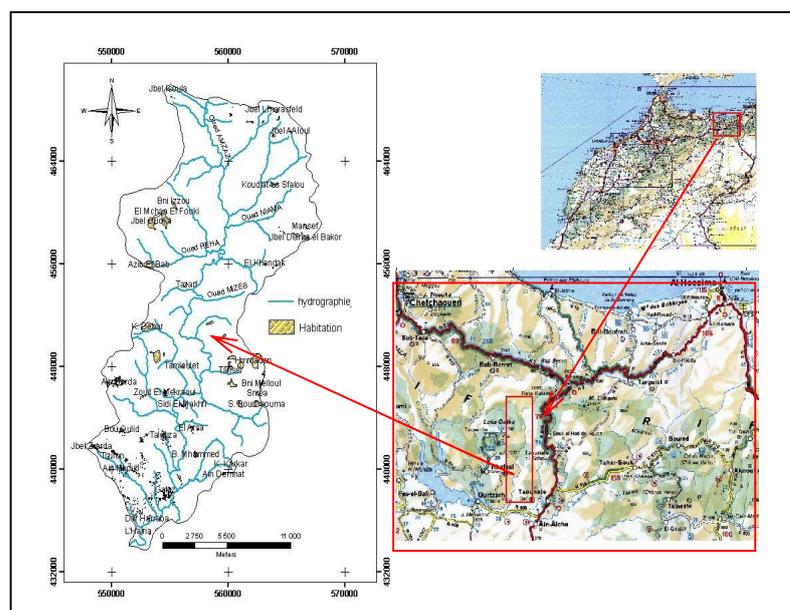


Figure II-3 : Situation du bassin versant de l'Oued Amzaz dans le contexte de l'Ouergha

II-1-1. Aire et périmètre

La superficie d'un bassin versant ainsi que son périmètre jouent un rôle primordial dans les études des bassins versants. Leur influence se manifeste dans la nature de la relation entre le débit et le temps, donc un petit bassin versant réagit très vite à une averse, pour Amzaz il s'étale sur une superficie de 387,20 Km² et un périmètre de 112,44 Km, en comparaison avec les bassins versants voisins il possède une superficie et un périmètre moyennes mais qui en tenant compte d'autres facteurs peut favoriser l'érosion.

II-1-2. Indice de compacité (Forme)

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant d'une part et de renseigner sur la rapidité de la concentration des écoulements est l'indice de Gravelius. C'est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de surface de même périmètre. Le bassin est considéré comme bien drainé si son indice de compacité tend vers 1. La figure II-4 correspond à des exemples de forme en fonction de leur indice de compacité.

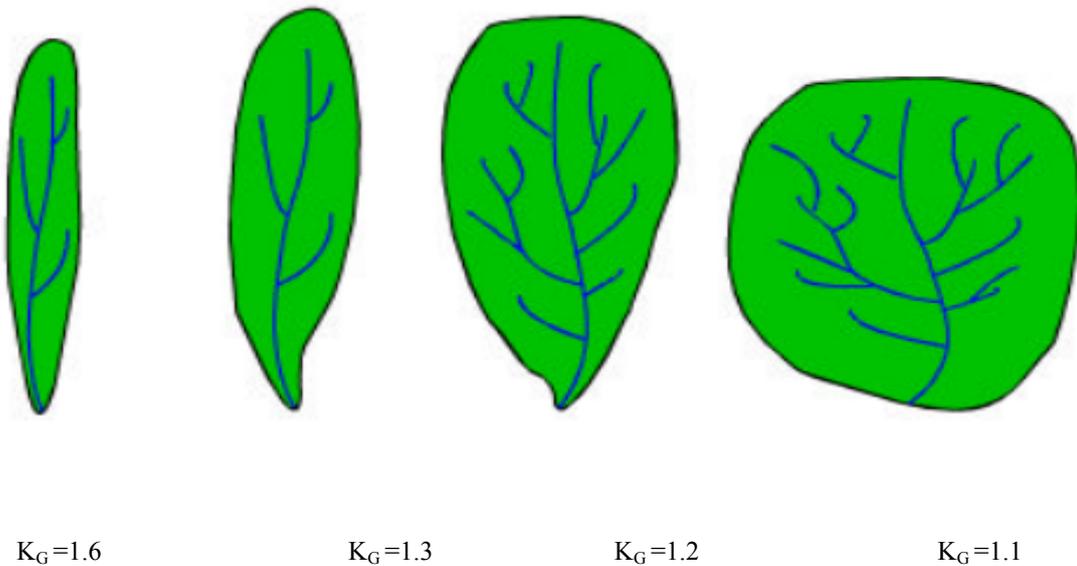


Figure II-4 : Exemple d'indice de compacité

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0,28 \frac{112,44}{\sqrt{387,20}} = 1,59$$

Le bassin d'Amzaz a un indice de compacité égale à 1.59. Sa forme est allongée en couloir. Cela témoigne d'un faible drainage ce qui va minimiser le temps de rassemblement des eaux et diminuer les charges transportées par l'eau. Mais cela peut aussi être en faveur de l'érosion car cette forme montre une faible largeur donc de courts temps d'arrivée des sédiments arrachés des bassins versants plus courts.

II-1-3. Caractéristiques topographiques du bassin versant de l'Oued Amzaz

II-1-3-1. Le Relief

Une altitude moyenne de 1010 m avec un sommet à 1820 m et un exutoire à 220 m. Trois zones d'altitudes peuvent être distinguées dans le bassin versant de l'Oued Amzaz, une partie amont avec un grand nombre de sommets d'altitudes élevées, notamment le jbel Lmasfeld à 1820 m et jbel Isfoûla à 1020 m ainsi que le jbel l'Ouedka avec une altitude de 1450 m, cette partie très accidentée témoigne d'une forte dynamique. Le passage rapide des altitudes hautes (1630 m) aux altitudes basses (230 m) qui se fait généralement sur de courtes distances (± 14 Km), avec de telles conditions on peut dire que dans cette partie l'ablation l'emporte sur l'accumulation. Au niveau de la deuxième partie qui commence à une latitude de 455 000 m on remarque un équilibre paisible entre les altitudes du côté de jbel Beni Ounnai à l'W (970 m) et au sommet de Bellouta à l'E (1030 m), cette partie peut être considérée comme un canal qui va jouer le rôle d'intermédiaire entre la partie amont et la partie aval qui quand elle commence à une latitude de 449 000 m, caractérisé par des altitudes faibles notamment à Sidi el Makhfi (230 m) et à Galaz (375 m) en comparaison avec le reste du bassin, qui vu sa morphologie douce peut être un emplacement adéquat pour la mise en place de la charge transportée (Fig.II-6).

Afin de compléter les observations, et pour mieux comprendre les variations d'altitudes au sein du bassin versant de l'Oued Amzaz, on va appliquer une méthode statistique (1) qui permet grâce à un histogramme et une courbe hypsométrique de traduire la répartition des altitudes à l'intérieur de la zone d'étude et permet en outre de déterminer les altitudes caractéristiques.

La méthode consiste à calculer les pourcentages des surfaces en fonction des altitudes, puis le calcul des pourcentages au-dessus des cumulées (Tabl. II-1). L'interprétation de la courbe hypsométrique se fait sur la base des recherches récentes qui ont montré l'aspect générale des courbes selon l'état d'érosion d'un bassin versant. Pour les bassins versants jeunes, la superficie est faible par rapport au changement d'altitude, ce qui caractérise des versants abrupts, Les vieux bassins présentent l'inverse, une plaine douce près d'un cours d'eau où l'altitude varie peu malgré

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

une superficie importante (Figure II-5). En ce qui concerne le bassin versant de l'Oued Amzaz, on a commencé par le calcul des surfaces en fonction des altitudes, puis les pourcentages des surface cumulées.

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

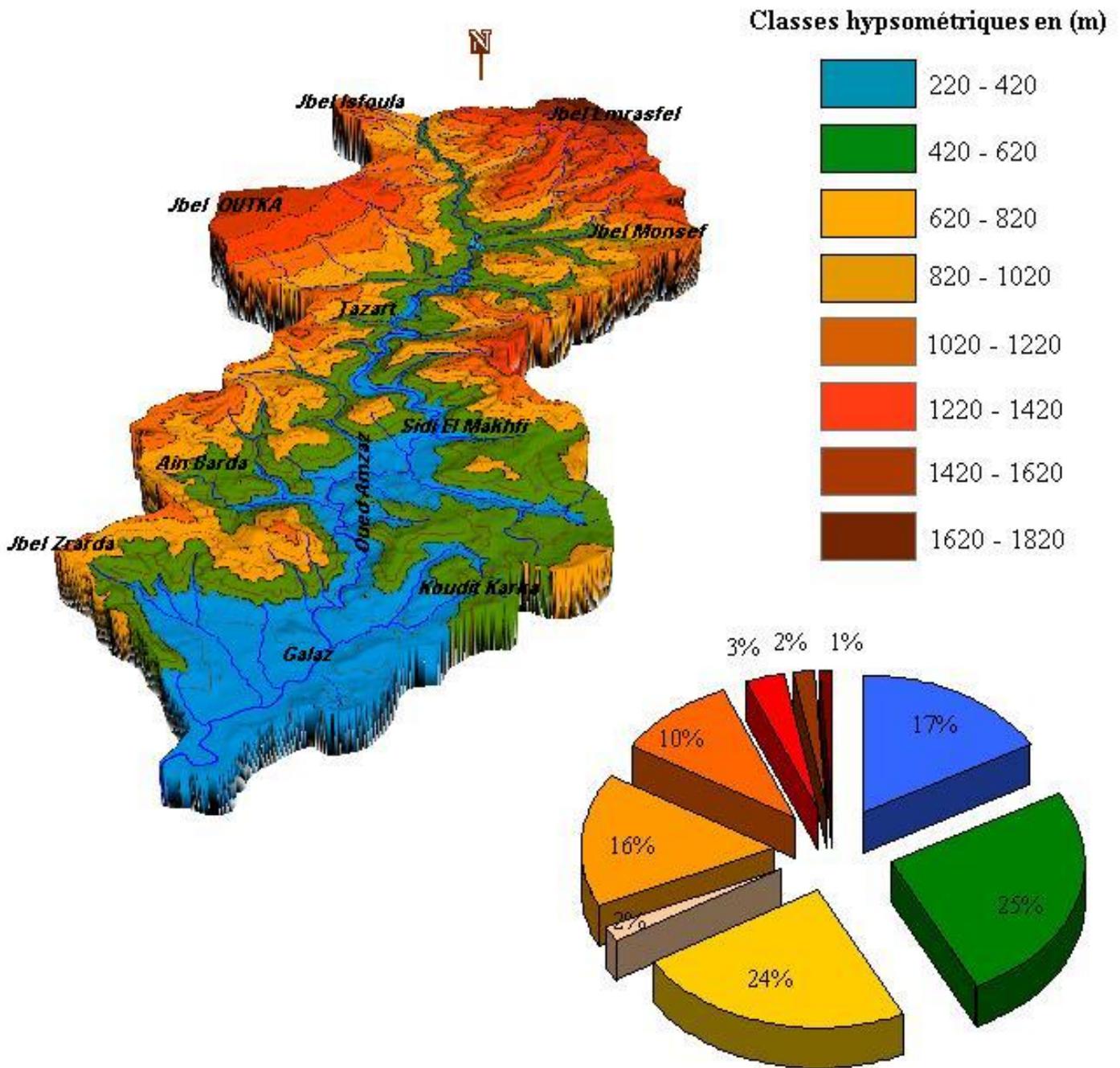


Figure II-5 : MNT et pourcentage de superficie en fonction des classes

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

Classes d'altitudes en (m)	Surface en (ha)	% du totale	% au-dessus de la limite inférieure
220 - 420	6453.44	17%	100
420 - 620	10072.50	25%	83
620 - 820	9131.42	24%	58
820 - 1020	702.41	2%	34
1020 - 1220	6125.41	16%	32
1020 - 1220	3853.29	10%	16
1220 - 1420	1274.04	3%	6
1420 - 1620	684.63	2%	3
1620 - 1820	425.06	1%	1

Tableau II-1 : Tableau de fréquences et des pourcentages cumulés au dessus de la limite inférieure

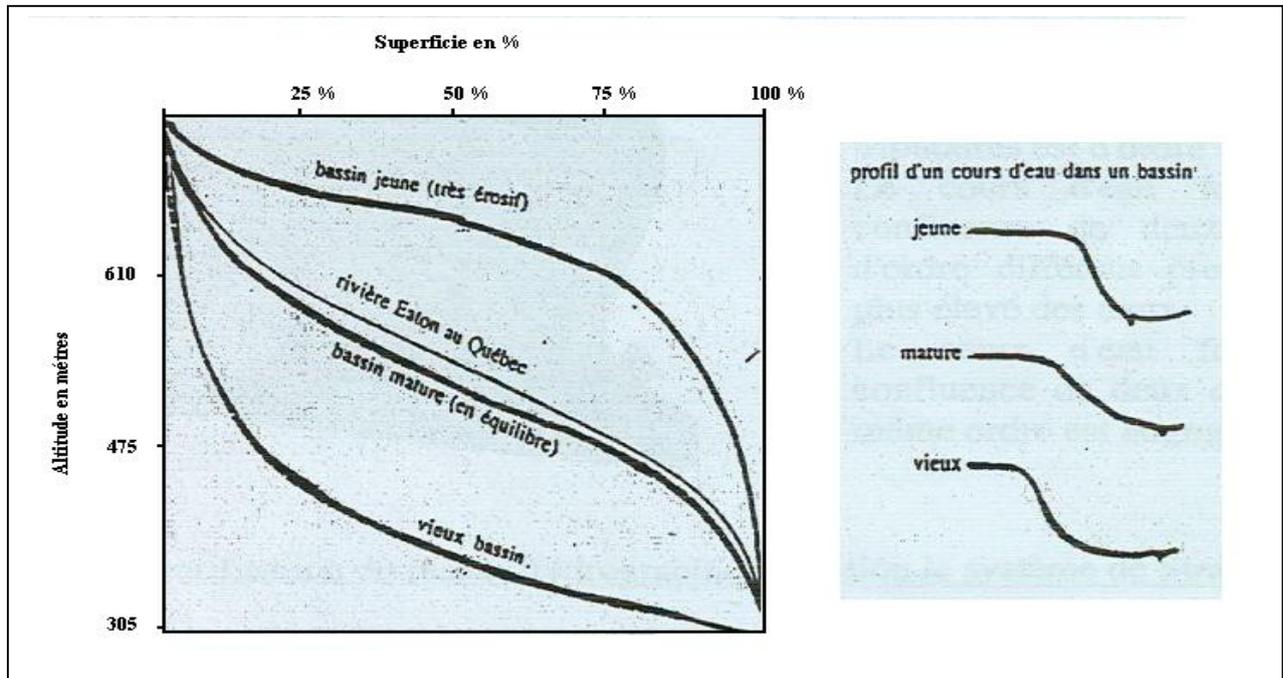


Figure II-6 : Interprétation de la courbe hypsométrique

Toutes ces données en été réparti sur un graphique (Fig. II-7) qui va permettre de dégager les différentes caractéristiques :

Altitude la plus fréquente :

Elle correspond au maximum de l'histogramme des fréquences altimétriques en d'autres termes c'est l'altitude de la plus grande surface élémentaire comprise entre deux courbe de niveau successives. Au niveau d'Amzaz , l'altitude la plus fréquente est celle de la classe (600-800c) avec une superficie de 11737 ha localiser dans la partie médian et aval du bassin.

Altitude de fréquence ½ (la médiane) :

Correspond au point d'ordonnée 50% de la courbe hypsométrique pour notre bassin la classe médiane est 620-820.

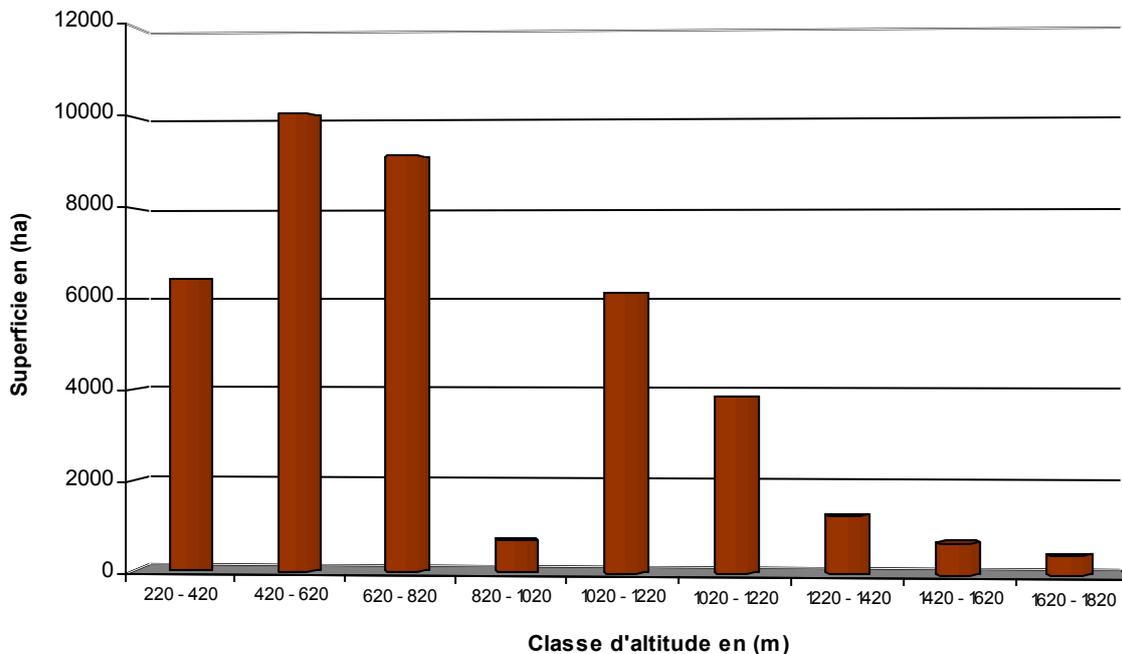


Figure II-7 : Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la superficie

Interprétation de l'aspect de la courbe hypsométrique

A partir de l'analyse de l'aspect de la courbe (Fig.II-8) est en comparaison avec la classification citée plus haut, On peut dire qu'on est en présence d'un vieux bassin mature en voie de dégradation dans lequel la superficie est faible par rapport au changement d'altitude.

En résumé l'analyse de la carte et de la courbe hypsométrique confirme qu'en est en présence

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

bassin où les différences d'altitudes sont très marquées, ce qui va rendre facile les circulations des eaux à l'intérieur du bassin et par conséquent des pertes en terre plus grande.

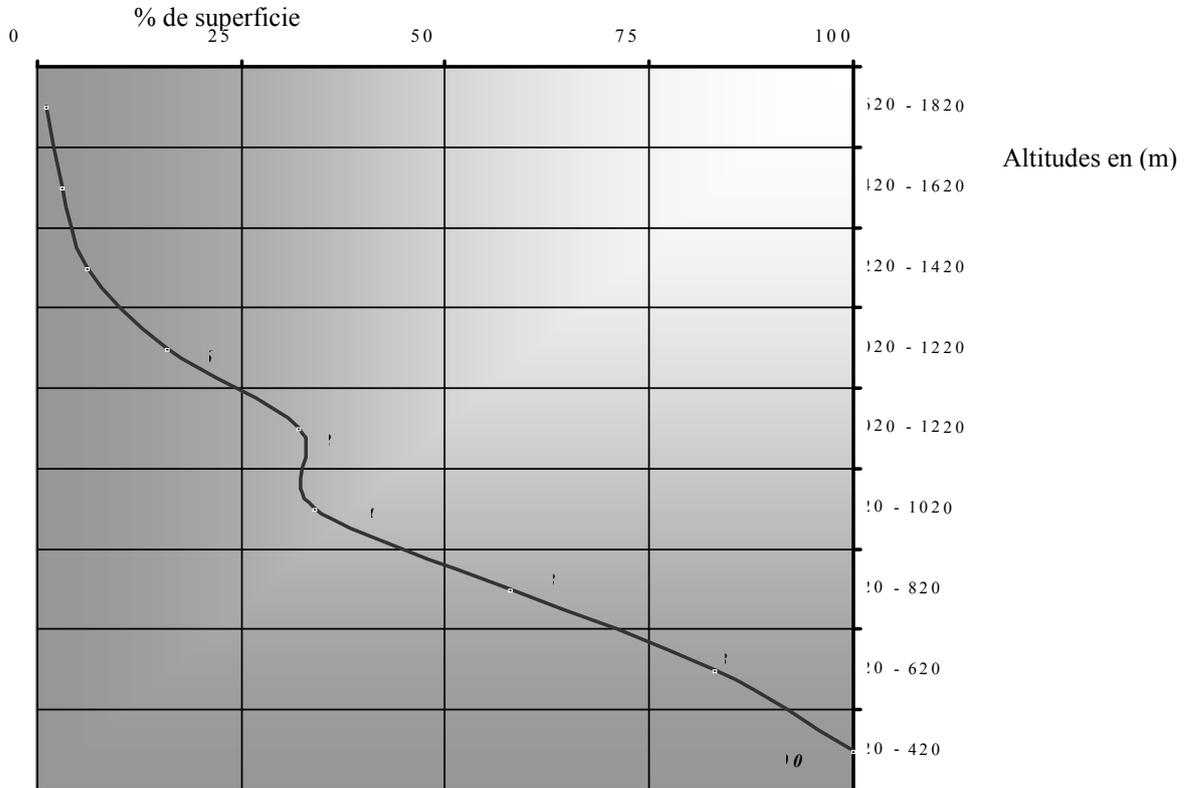


Figure II-8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Amzaz

II-1-3-2. La pente hydrographique ou profile en long du cours d'eau

Le profile en long du cours d'eau est le graphique représentant les différentes élévations du fond du cours d'eau en fonction de la distance à l'exutoire, la valorisation de cette caractéristique est très intéressante car elle permet d'une part de donner une idée sur la vitesse de l'eau dans le chenal, d'autre part permet de mettre en évidence les zones de grande et de faible pente et par conséquence les zones de grande ou de faible vitesse d'eau. La vitesse de l'eau agit directement sur la vitesse de transport et d'arrachement, cette pente est exprimée en (m/Km).pour le bassin de l'Oued Amzaz en a distinguer trois partie la parties : la plus amont jusqu'à une latitude de 455000 m, une partie médiane jusqu'à une latitude de 449000 m et une troisième partie qui est la plus en aval (Fig. II-9).

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

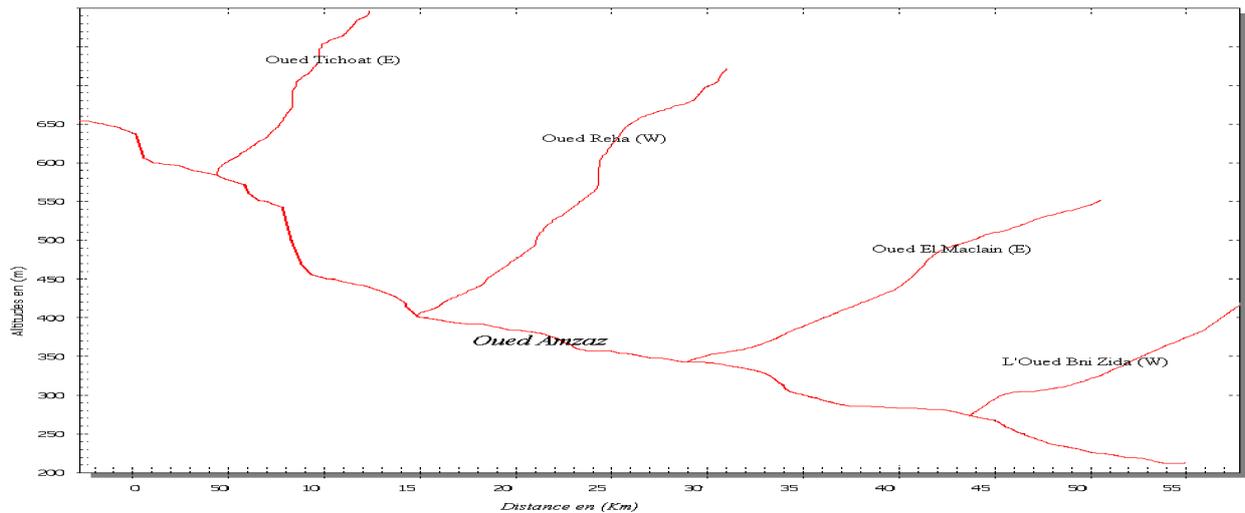


Figure II-9 : Profil en long de l'Oued Amzaz

A partir du profil, on peut déduire que l'amont est caractérisé par une pente forte avec irrégularités qui dépasse pas 800 m/Km donc pour cette partie la vitesse des eaux va être rapide. Dans la partie médiane les dénivellations ne sont très marquées et les changements peuvent aller jusqu'à 300 m/Km. A ce niveau, l'écoulement des eaux sera freiné par les obstacles géographiques. Pour la partie médiane, elle peut être favorable à la sédimentation de la charge transportée ou une partie de cette dernière. En ce qui concerne la partie aval, elle reçoit ce qui reste de la charge transportée vu sa pente qui ne dépasse pas les 30 m/Km. En comparant les différents profils des cours d'eau secondaires, on remarque que la longueur de la pente diminue de l'amont à l'aval. On peut donc dire qu'en est en présence de trois types de cours d'eau : la partie amont est la plus jeune, la partie intermédiaire est mature, enfin la partie aval qui est la plus vieille (la plus érodée et aplanie).

II-1-4 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Amzez est complexe parfois dendritique parfois parallèle montrant une forte densité et une dynamique importante.

Au niveau de l'Oued Reha situé sur la vallée de jbel Oudka les affluents dessinent des lignes parallèles. On peut remarquer ce parallélisme aussi au niveau de l'Oued Ain Koub et L'Oued Beni Ziad, sur le versant W en remarque que le réseau adopte une structure dendritique (Fig. II-10). Le type de réseau est liée d'habitude au type de climat précisément à la quantité de précipitations, peut être que les versants E sont plus arrosés que les versants W ou peut être que la différence d'altitude et la variabilité de la pente hydrographique joue un rôle dans cette distribution.

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Amzaz est complexe parfois dendritique parfois parallèle montrant une forte densité et une dynamique importante.

II-I-5. Les précipitations

Les données disponibles (Tabl. II-2) sur les précipitations proviennent de l'Administration des Eaux et Forêts à partir du plan d'aménagement anti-érosif du bassin versant de l'oued Ouergha (1996) il montre que plus en monte en latitude et en altitude la quantité des précipitations augmente, les valeurs minimales sont ceux des station situé en avale (Ain Aicha et Galaz avec 580 et 600 mm respectivement). En amont la quantité enregistrée augmente pour atteindre 1020 mm à Ketama.

Station	précipitations annuelles moyens (mm)	Longitude X	Latitude Y	Altitude
Bab ouender	826	579800	440100	310
Pont de sker	784	572900	441900	320
Touanate	784	569400	438000	668
Rhafsai	897	542550	445630	150
Galez	600	555400	439750	230
Ain aicha	580	565000	429100	250
Oudka	970	515000	460900	1500
Sidi El Makhfi	650	556600	445800	290
Ketama	1020	595700	472200	2100

Tableau II-2 : Donnés climatiques disponibles dans les stations du bassin versant ou qui lui sont voisines

Pour rendre l'interprétation des précipitations plus simple, on a réalisé la carte des isohyètes qui a été construit par la méthode de Thiessen qui considère qu'il existe un gradient de précipitations progressif entre les différentes stations (Fig. II-11). D'après cette dernière en remarque que le gradient pluviométrique augmente de l'aval vers l'amont.

La variation spatiale observée peut être causée par différents facteurs tels que l'altitude, l'orientation des reliefs et la continentalité. Laouina. (1990, in Sadiki. 2005) explique ce phénomène sur le versant oriental du Rif, par l'effet Foehn; Les masses d'air d'ouest et de NW s'assèchent après leur descente sur les versants atlantiques du Rif. La plus part des perturbations d'ouest qui donnent des précipitations importantes sur la façade ouest du Rif ne donnent que de maigres pluies sur le versant exposé à l'est.

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

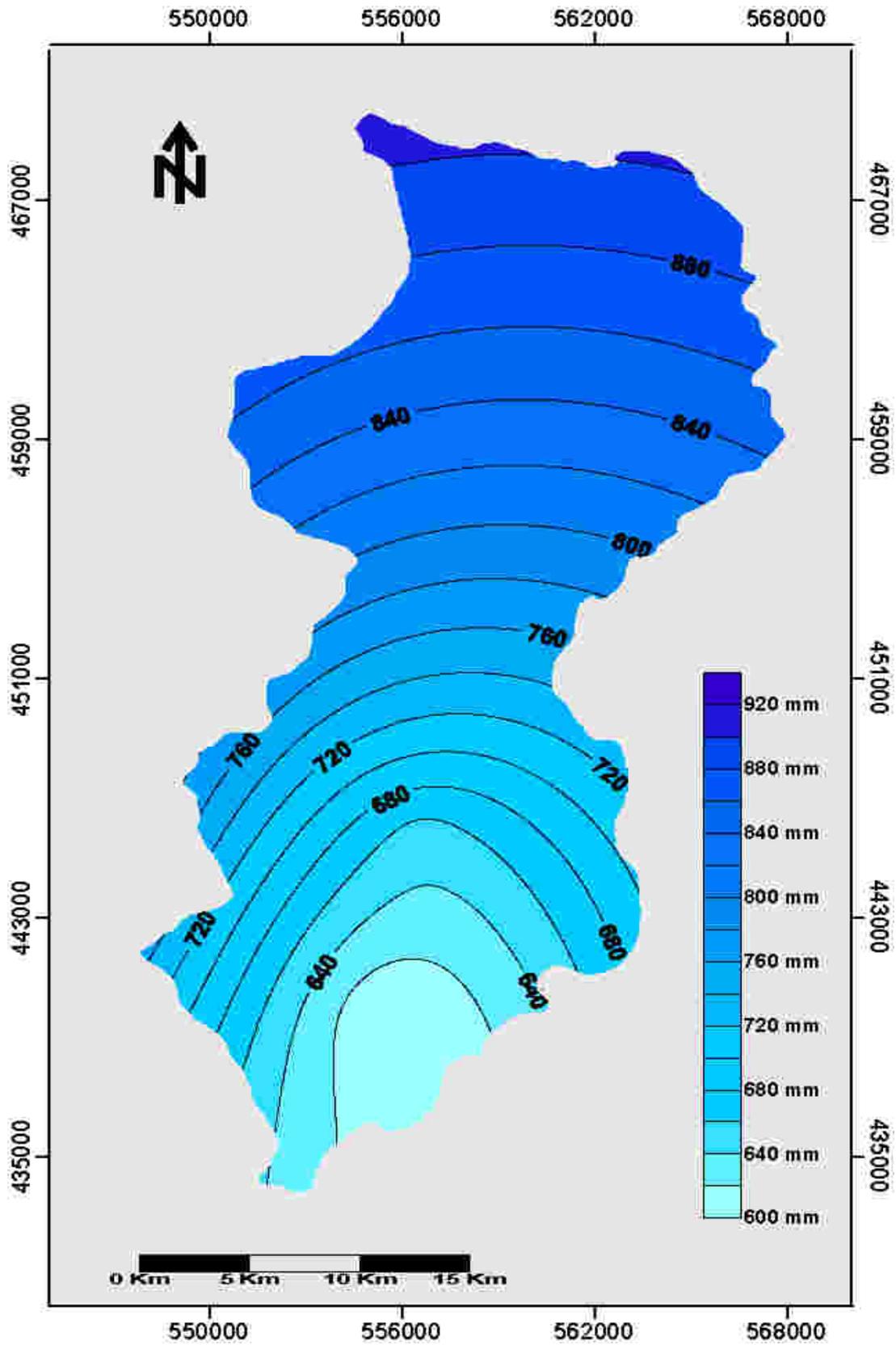


Figure II-11: Distribution des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Amzaz

II-I-6. Les températures :

Les données disponibles de température sont ceux de la station de Ouertzagh (Tab.II-3), situé à 12 Km de la commune de Galaz, montre que La température moyenne est élevée, elle peut aller jusqu'à 29 °C. L'amplitude des écarts des températures moyennes maxima est de l'ordre de 11°C en hiver et dépasse 16°C en été. Les hivers sont relativement rigoureux. En décembre et janvier, sont enregistrés régulièrement quelques minima journaliers entre 0 et -2°C (exceptionnellement -5 ou -6°C). L'été, les températures s'élèvent chaque année à plusieurs reprises au-dessus de 40°C. Cet écart thermique influence fortement l'état d'un sol. Car l'alternance de saisons sèche et humides rend les sols, riche en argiles gonflantes, très vulnérable et facile à éroder (contraction et apparition des fentes de dessiccation en été, dilatation et gonflement en hivers).

	sept	oct	nov	déc	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août
Max	36	27	21	17	17	18	21	22	26	32	37	37
Min	19	15	10	7	6	8	9	11	14	17	20	21
Moy	27	21	16	12	11	13	15	16	20	25	28	29

Tableau II-3 : Moyenne de températures à Ourtzagh entre 1984 et 1990

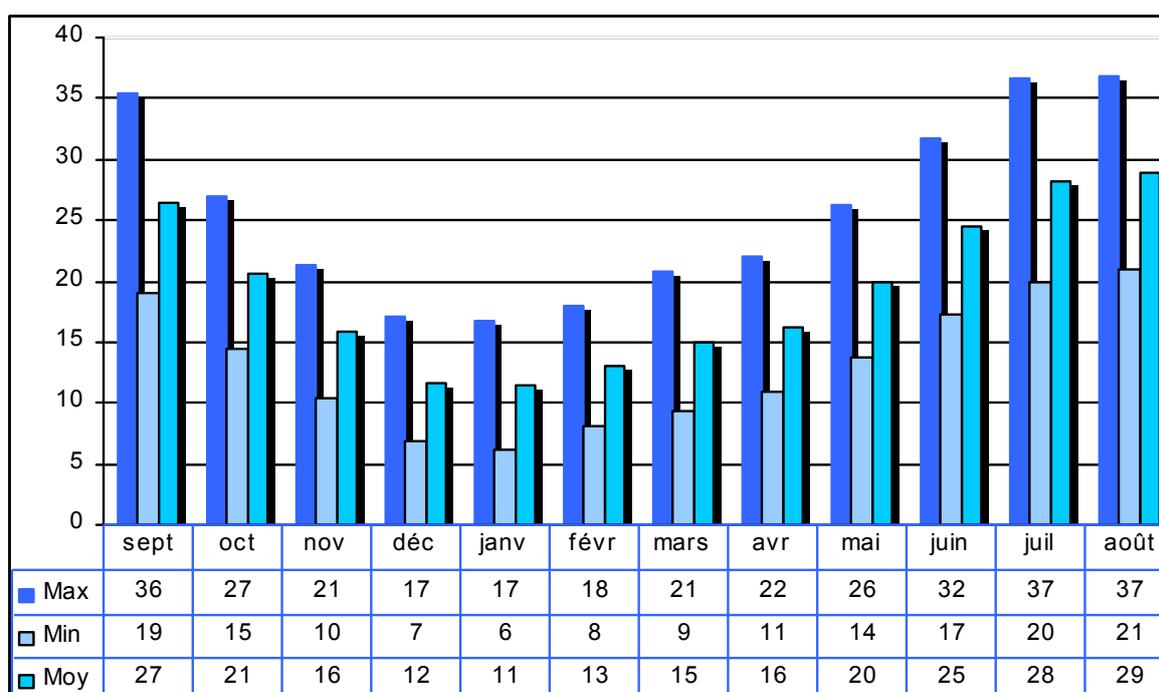


Figure II-12 : Régime thermique moyen mensuel à Ourtzagh
(Courbe des maxima, minima et moyens)

II-I-7. Aperçu sur la géologie et la lithologie du bassin versant de l'Oued Amzaz.

II-I-7-1. Géologie de la chaîne du Rif

La chaîne rifaine appartient au système des chaînes alpines de la Méditerranée occidentale (Fig II-13), elle se prolonge vers l'Est dans le tell algérien avec lequel elle forme les maghrébides (Auboin et Debelmas, 1980 ; Durant et Delga, 1980 ; In Frizon et *al.* 1991). Dans cette orogénèse, on distingue du Nord au Sud trois grands domaines: les zones internes ; les zones externes et les rides sud rifaines.

Les zones internes (Dorsale calcaire, Ghomarides paléozoïques, Sebtides métamorphiques), font partie d'un Terrain d'Alboran qui se prolonge au-delà du détroit de Gibraltar dans les Cordillères bétiques (Malaguides, Alpujarrides). Ces zones qui forment le socle de la mer d'Alboran sont communes aux deux chaînes (Frizon et *al.* 1991). Elles sont constituées d'un empilement de nappes où deux grands ensembles litholo-structuraux sont distingués ; le complexe Sebtide et le complexe Ghomaride auquel associé la dorsale calcaire (Didon et *al.*, 1973). L'articulation entre le domaine externe et interne montre un dispositif structural particulier : les Ghomarides et la dorsale calcaire sont verticalisés et reposent sur les unités externes (Favre, 1995).

Le domaine externe représente la marge téthysiène du continent africain. Ces séries sédimentaires d'âge Cénozoïque sont subdivisées en trois unités : les unités intrarifaines mésorifaines et prérifaines. Il est considéré depuis longtemps (Suter, 1967), comme un empilement de nappe de charriage à vergence Sud ; nappes des flyschs situées entre les zones internes au Nord et les unités intrarifaines de Tanger-Kétama au Sud (Suter, 1980) ; nappe de Senhadja (Hottinger et Suter, 1961) ; nappe d'Ouazzane (Suter, 1967) ; nappe de Tamsamani et nappe d'Aknoul. Les structures développées au jurassique subirent une inversion tectonique dès le crétacé, où les failles normales jurassiques ont joué en chevauchement, ensuite elles sont reprises en décrochements NE-SW et NW-SE (Asebry et *al.* 1987). Des observations récentes, lithostratigraphiques et tectoniques, effectuées dans le rif central montrent que les affleurements jurassiques, situés dans le secteur méridional du domaine subrifain, comme le cœur d'anticlinaux qui sont parautochtones et dont la structuration tortoniène s'est achevée par le jeu de chevauchement au cours du Messinien (Asebry et *al.* ,1992).

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

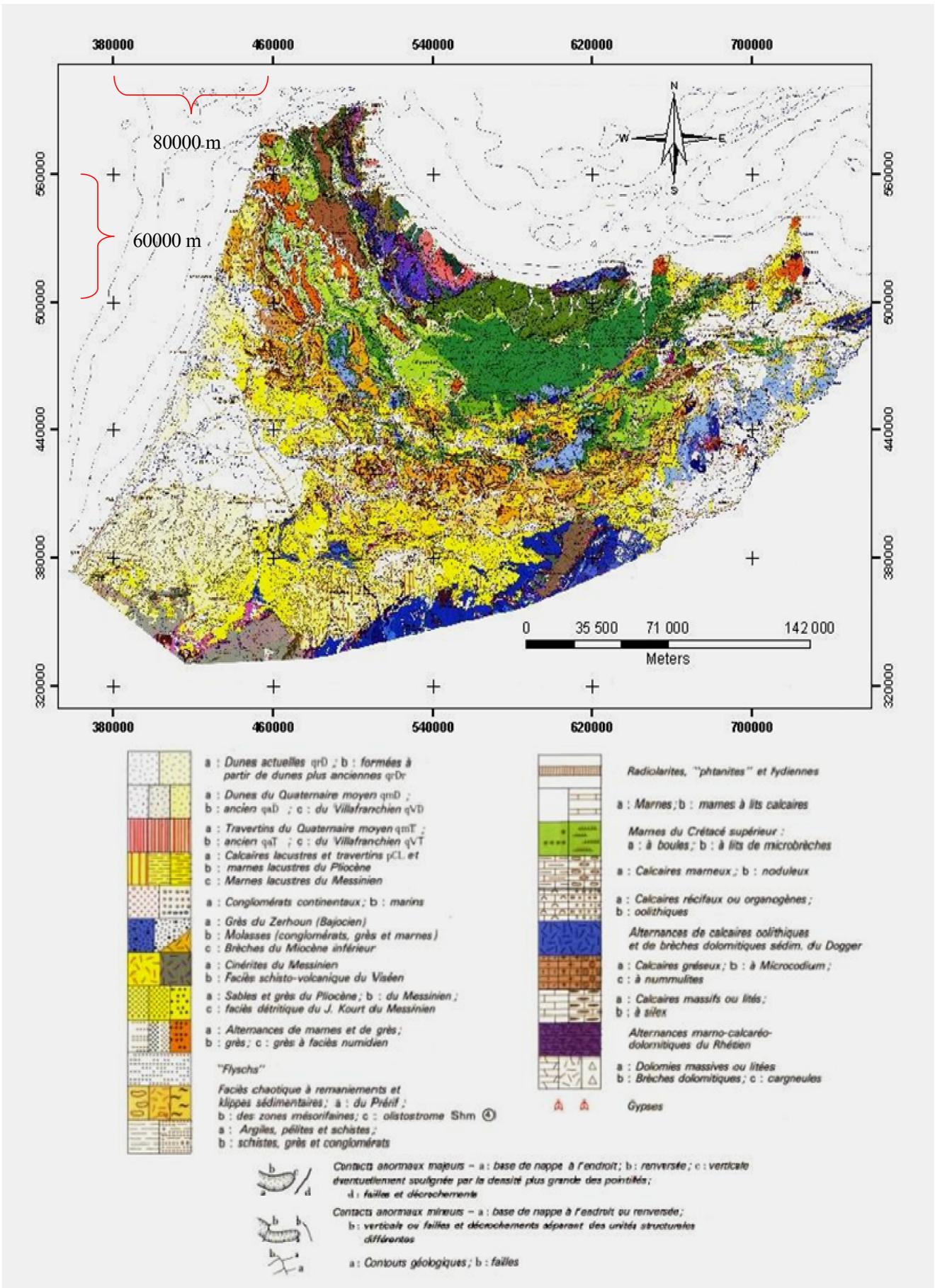


Figure II-13 : Extrait de la carte géologique du Maroc (1951)

II-I-7-2 Aperçu sur la géologie et la lithologie du bassin versant de l'Oued Amzaz

Trois ensembles d'unités morpho-structurales sont distingués dans le bassin versant de l'Oued Amzaz substrat dans notre bassin (Fig. II-14). De l'amont vers l'aval on distingue; les formations post- orogéniques. Les unités intra rifaines, les unités méso-rifaines,

II-I-7-2-1. Les dépôts post-nappe :

Les dépôts post-nappe correspondent à des formations autochtones du Miocène déposées pendant la transgression tortonien. Ils sont formés par des sédiments grossiers conglomératiques à la base. Au sud de Taounate cette formation molassique montre un pendage fort vers le SE justifiant ainsi une déformation tectonique récente. Ces formations deviennent plus fines en haut donnant des grès puis une série épaisse des marnes argileuses bleues. Ces formations marneuses sont surmontées par des roches sédimentaires continentales déposées dans deux systèmes distincts

Structuralement, il s'agit d'un ensemble de bassins de subsidence qui se sont mis en place au Tortonien suite à un effondrement de la partie nord de la chaîne Moyen Atlasique et qui ont formé des bras de mer dans la région.. Le plus important de ces bras de mer est celui du Sillon Sud-rifain. Dans la région d'étude, deux bassins de ce type sont séparés par la ride Mésorifaine de Taounate, le bassin de Taounate au sud situé entre Aïn Aïcha et la partie Sud de la ville de Taounate et celui de Tahar Souk au nord.

II-I-7-2-1. Zone Intra-Rifaine :

Cette zone formée par deux nappes de charriage; les unités de Ketama et de Tanger. Ce sont des formations mobiles, para-autochtones constituées par des éléments allant du trias jusqu'au Tortonien inférieur.

a. Unité de Ketama :

Affleure essentiellement dans le rif oriental, mais elle touche la patrie amont du bassin versant de l'Oued Amzazelle comporte un flysch schisto-gréseux du Crétacé inférieur épais de quelques kilomètres.

b. Unité de Tanger :

Affleure dans la partie occidentale du rif, elle est considérée comme la couverture plus au moins décollée, de l'unité de Ketama, elle est formée par un crétacé moyen et par un crétacé supérieur de schistes et de calcaires.

N.B : les nappes rifaines constituent la couverture décollée des unités de Ketama-Tanger.

II-I-7-2-3. Zone Méso-Rifaine :

Les terrains de cette unité sont constitués dans la zone d'étude par les marnes surmontées par une formation molassique composée de conglomérat et de grés.

II-I-7-3. Lithologie

Le type de faciès lithologique renseigne sur le degré d'érodibilité des formations géologiques, cela dépend de plusieurs facteurs tels que, la texture et la structure.

Au niveau du bassin versant de l'Oued Amzaz les faciès les plus représentatifs sont les flyschs à bancs de calcschistes du crétaé moyen et les flyschs noirs à bancs de grés siliceux avec un pourcentage de 36 % et 26 % respectivement localisé surtout dans la partie amont du bassin. Dans la partie aval, ce sont surtout les flyschs marneux et les marnes massives avec 16 % de la surface total, les basses terrasses à éléments fins, les argiles salifères, les argiles rouges ne dépasse pas 5% et sont localisées surtout dans la partie aval.

II-I-7-4. Tectonique :

Le Rif est découpé en blocs crustaux séparés par des failles actives. L'unité Intra- Rifaine de Ketama-Tanger est chevauchée vers le nord par des nappes de flyschs et elle-même chevauche vers le sud des unités méso-rifaines (Andrieux, 1971).

Le méso-rif est constitué par des séries jurassico-crétacées (Suter Marçais, 1966). Ses unités sont souvent en position structurale anticlinale qui correspond à des fenêtres en position d'autochtone relatif sous les nappes rifaines (ou d'origine Intra-Rifaine).

La nappe rifaine d'Ouezzane est une nappe de glissement qui a été mise en place jusque dans le Prérif externe.

Ce canevas structural est responsable en grande partie de l'orientation du réseau hydrographique de la région.

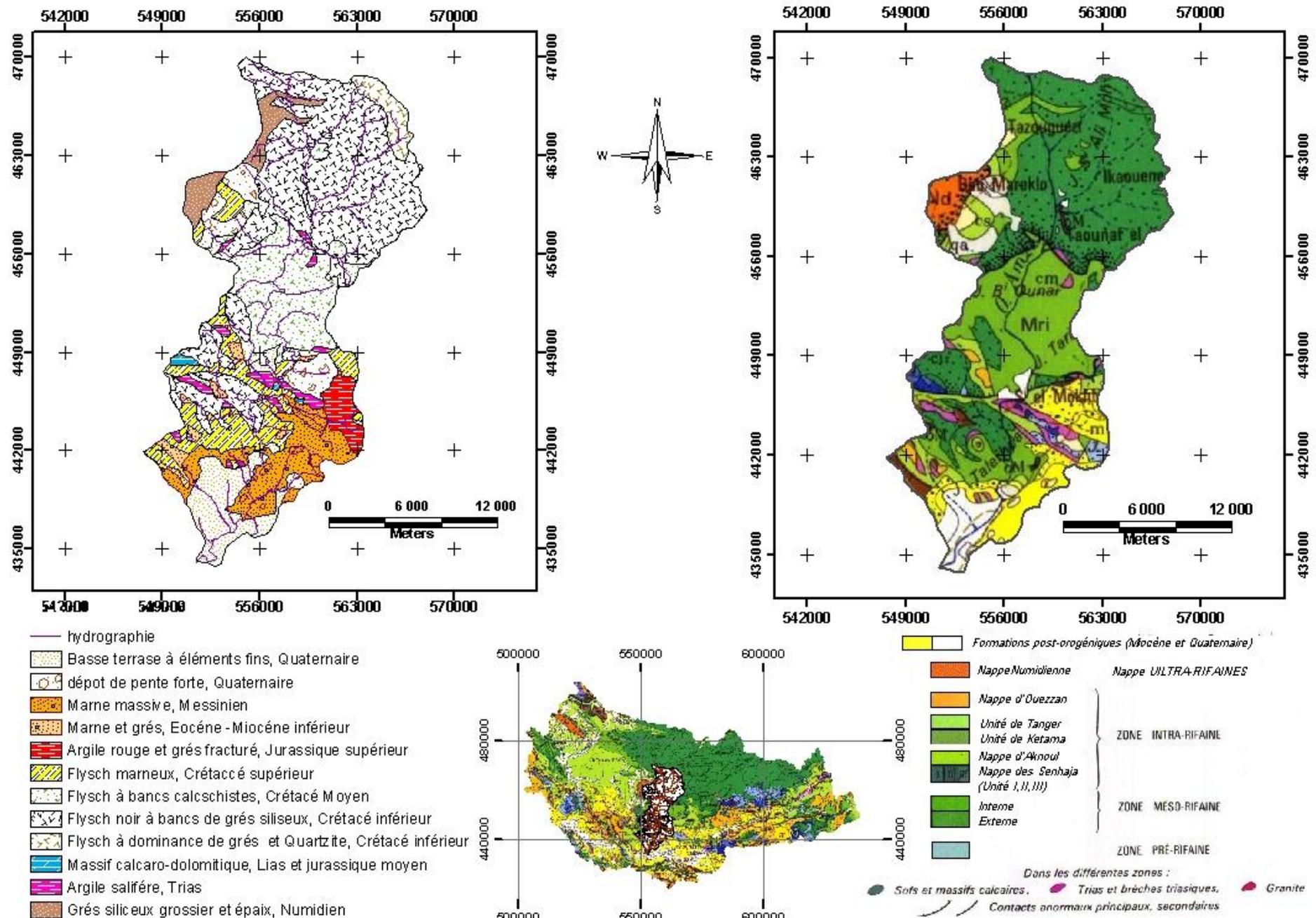


Figure II-14 : Carte géologique et lithologie du bassin versant de l'Oued Amzaz

II-I-8. Couverture végétale

Un couvert végétal est d'autant plus efficace pour réduire l'érosion qu'il dissipe l'énergie de l'impact des gouttes de pluies, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et maintient une bonne porosité à la surface du sol (Roose, 1996 in Sabir 2007). La taille, le type, et la densité du couvert végétal déterminent le degré de protection que peut conférer ce facteur au sol. Pour mieux comprendre l'influence de ce dernier, on va commencer par un aperçu sur la végétation naturelle (répartition et densité) puis en va différencier les zones de culture, d'arboriculture et les différents types de matorral et de forêt.

II-I-8-1. Végétation naturelle

Le bassin versant de l'oued Amzaz comporte une variété importante d'espèces végétales, au niveau de la partie aval c'est surtout un matorral de pistachiers (*pistacia lentiscus*), des figuiers, des figuiers de barbarie, avec des reboisements d'oliviers (*Olea europea*) et d'Eucalyptus (Fig II-15). Au niveau de la partie amont on trouve du chêne vert du chêne liège et des cèdres par endroit.



Route : Galaz – SIDI EL Makhfi



Bni bouzoulat

Figure II-15 : Types de végétaux au niveau de Galaz et Bni Bouzoulat

On remarque aussi au niveau du bassin versant de l'Oued Amzaz que la couverture végétale naturelle est liée d'une part au climat. Car la densité s'accroît parallèlement aux

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

volumes pluviométriques Les peuplements sont d'autant plus clairs que l'on s'approche des zones à faible pluviométrie (Fig.II-16).



Galaz (faible pluviométrie)

Outka (forte pluviométrie)

Figure II-16 : Variation de la densité du couvert végétal en fonction de la pluviométrie.

En peut remarquer aussi que dans la même zone pluviométrique la densité des peuplements augmentent par exemple au niveau du sous bassin versant de l'Oued Bin Ziad (commune de Galaz) le couvert végétale devient de plus en plus dense lorsque l'altitude augmente (Fig.II-17)

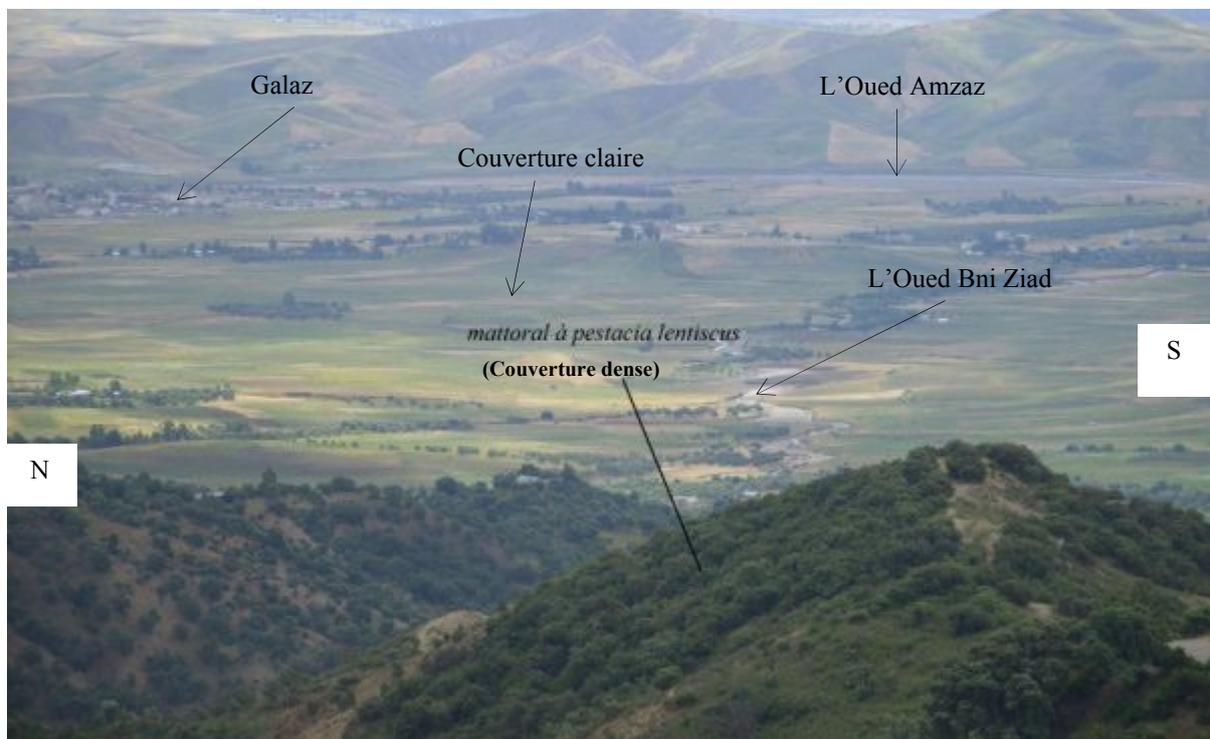


Figure II-17 : Variation de la couverture végétale en fonction de l'altitude

En résumé on peut dire que les facteurs qui déterminent la densité du couvert végétale sont liés aux conditions climatiques qui dépendent à leur tour de la latitude, l'altitude et de l'exposition des versants mais les défrichements et les reboisements peuvent perturber cette organisation bioclimatique.

II-I-8-2. Occupation des sols

La carte d'occupation des sols (Fig.II-18) est réalisée sur la base de la carte de végétation (AEFCS 1994) rectifié par interprétation d'image satellitaire. Après analyse de la base de données, on a remarqué que les reboisements clair sur matorral à couvert clair, les matorrals à couvert clair ainsi que les arboricultures représente 47 % de la superficie d'Amzaz, ils sont localisés surtout dans la partie aval et médiane. Les cultures en sec (bour) ne dépassent pas 8 %. Les arboricultures denses et diffuses et les forêts sont localisées là où l'altitude est élevée et ne dépasse pas 16 % de la superficie du bassin. Au niveau de la partie l'amont, notamment à jbel Lmrasfeld et jbel Manséf, ce sont les matorrals et culture ainsi que les cultures sous peuplement para forestier, montrant un couvert très dégradé.

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

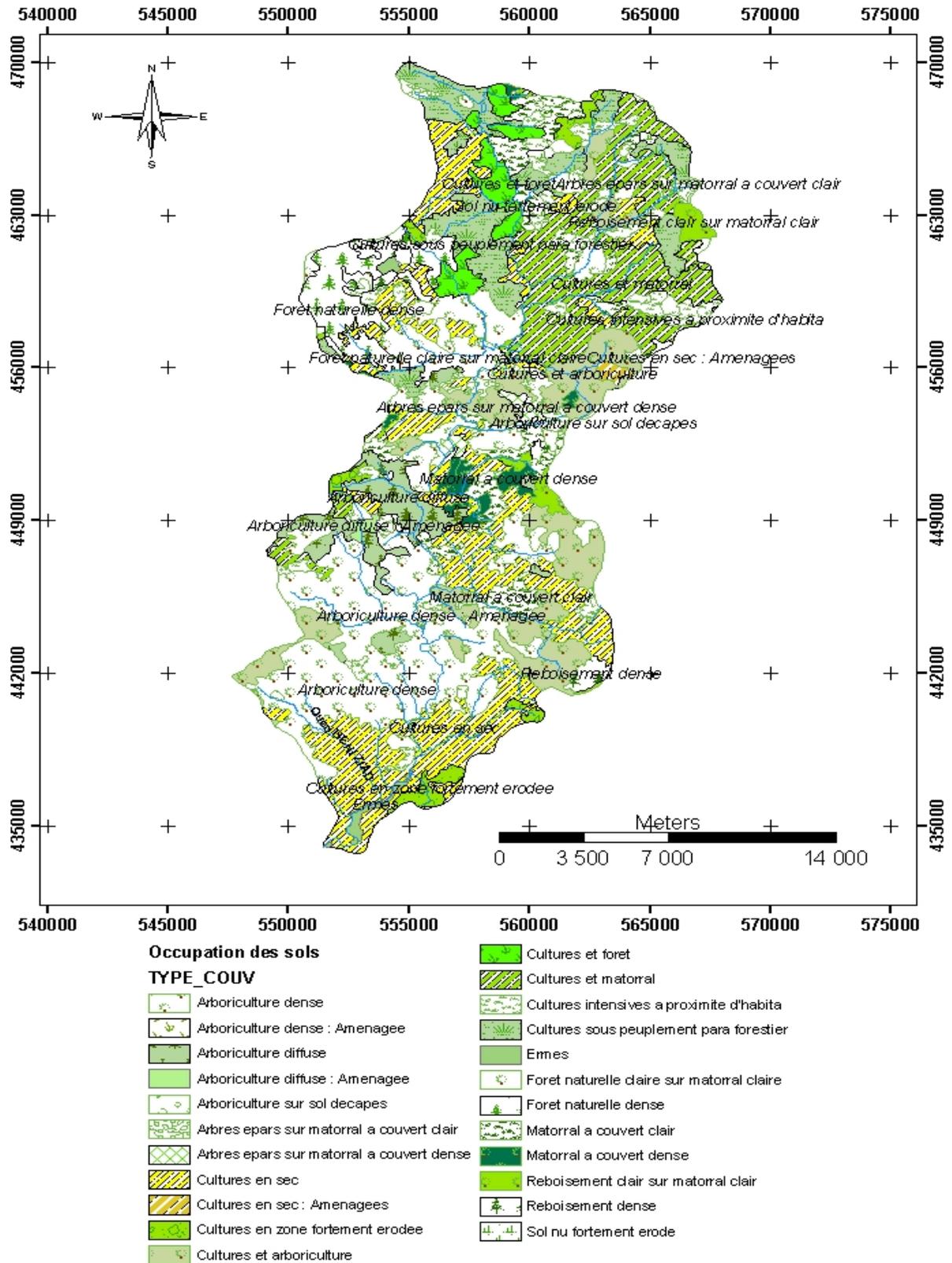


Figure II-18 : Occupation des sols du bassin versant de l'oued Amzaz

II-I-9. Facteur humain

Un facteur qui ne cesse pas d'accélérer l'activité des agents de l'érosion, le facteur anthropique. Les activités humain rarement adéquate (défrichement, sylvipastoralisme, construction de route et d'ouvrage d'art, laboure perpendiculaire au courbe de niveau, piétinement...); rend le sol de plus en plus vulnérable à l'érosion. La compréhension de la répartition dans le temps et dans l'espace des populations ainsi que leurs activités s'avère très importante dans l'étude du diagnostic de l'érosion. Cela permettra de chercher avec la contribution des populations des méthodes agricoles plus adéquates en faveur d'un développement durable tout en conservant un milieu stable et protégé.

La comparaison des recensements 2004 tiré de la commune de Galaz (Fig.II-20) avec celle des Eaux et Forêts (AEFCS 1994) montre que la population au niveau du bassin versant de l'Oued Amzaz à triplé et avec elle la dégradation a peut être plus que triplé. Les densités les plus forte se trouvent dans le S notamment à la commune de Galaz où la population s'élève à 18471 habitants, plus on avance vers le nord, la densité devient de plus en plus faible. On a remarqué que malgré la faible densité des populations le niveau de dégradation et plus élevé notamment à Outka et à Lmchaa Lfouki situé plus au N par comparaison avec la colline de Galaz situé à l'aval (Fig. II-19),. Donc on peut dire que ce n'est pas la densité qui pose problème mais les activités de la population qui mérite plus d'intension, car au niveau de la partie aval il y a des reboisements au contraire dans la partie amont ce sont surtout des défrichements pour mise en culture.



Galaz



Outka - Lmchaa Lfouki

Figure II-19 : Reboisement au niveau de Galaz et défrichement au niveau de Lmchaa Lfouki

.les cultures dominantes dans le bassin versant de l'Oued Amzaz sont les céréales (Blé dur et tendre, Orge) avec légumineuses (fèves, lentilles, pois, orobe). Des versants sont aménagés en terrasses pour des maraîchages irrigués (pomme de terre, oignon, tomate, melon, carotte...). L'arboriculture fruitière est très développée avec l'olivier et le figuier notamment dans la partie aval. L'élevage joue un rôle important dans le développement des populations de la zone d'étude, mais les parcours sont toujours dégradés vu la pression exercée. Les bovins sont surtout développés dans les zones de grande culture et dans les douars irrigués, les équidés sont présent pratiquement dans toutes les exploitations et servent pour le transport. Cela favorise le tassement des sols et par conséquence une mauvaise gestion de ce cheptel peut rendre le sol mal protégé.

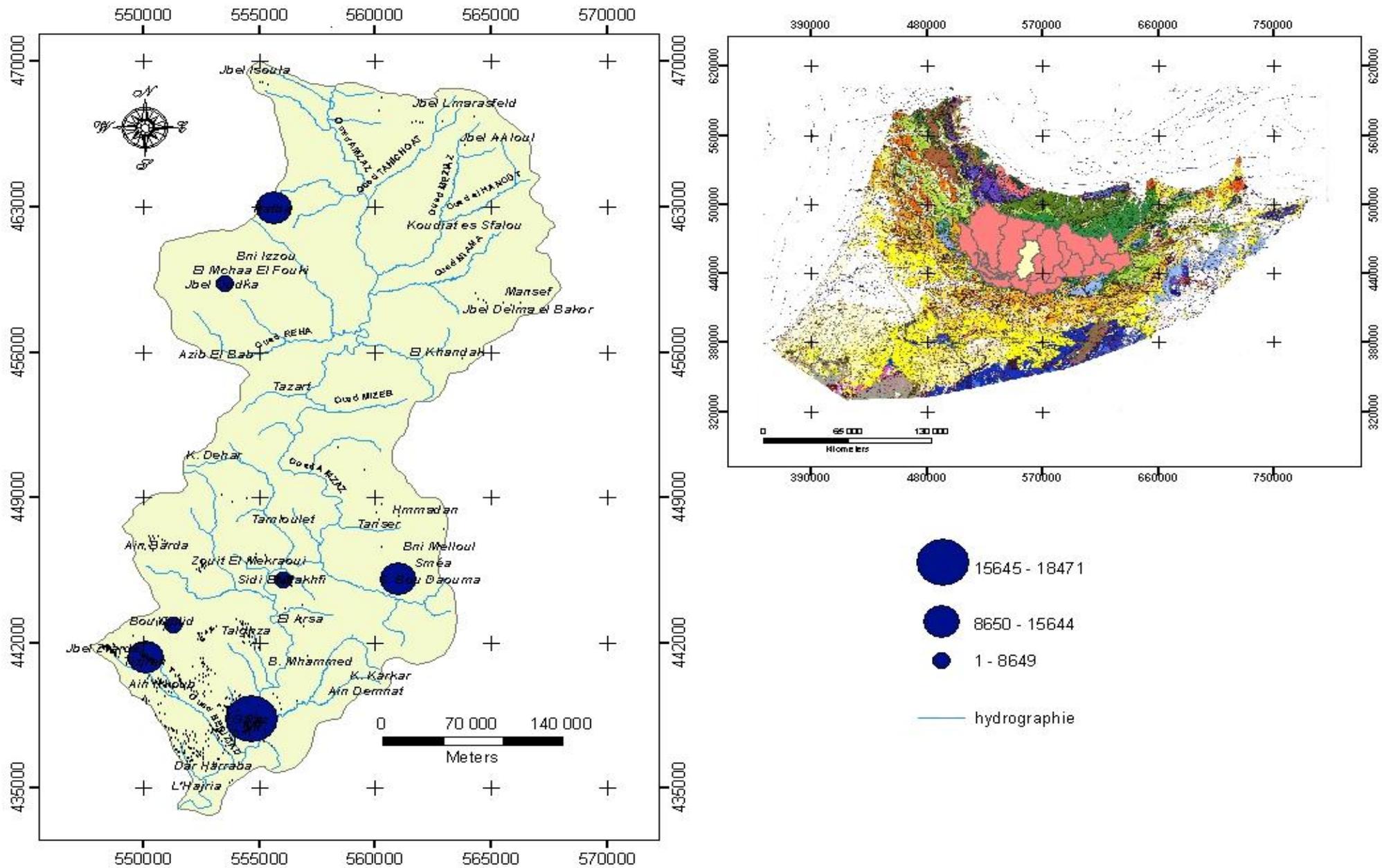


Figure II-20 : Carte des recensements 2004

Conclusion

Les facteurs de l'érosion sont intimement liées et interdépendants mais les différentes caractéristiques morphologique, géologique et bioclimatique du bassin versant de l'Oued Amzaz peuvent expliquer la dynamique érosive qui règne dans ce secteur.

Du point de vue morphologique le bassin d'Amzaz étalé sur une superficie de 387,20 Km² à un indice de forme de 1,59 (Forme en couloir) témoignant d'un rassemblement rapide des eaux et par conséquent une vitesse d'arrachement rapide.

En ce qui concerne le relief, on note une altitude moyenne de 1020 m avec un sommet à 1820 m et un exutoire 220 m, ainsi l'analyse de la courbe hypsométrique a montré que Amzaz appartient à la catégorie des bassins matures ce qui veut dire en voie de dégradation.

En ce qui concerne la pente hydrographique, on a remarqué qu'au niveau de la partie aval la pente ne dépasse pas 30 m/km, alors qu'à l'amont elle peut atteindre 800 m/km, cette différence peut témoigner de la présence d'une zone de production amont et une zone d'accumulation aval. Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Amzaz est complexe parfois dendritique parfois parallèle montrant une forte densité et une dynamique importante.

Du point de vue climatique, la disposition des reliefs joue un grand rôle dans la différenciation des milieux climatiques. La présence au nord et l'ouest des montagnes d'altitudes relativement élevées qui forment des barrières face aux influences atlantiques et méditerranéennes. Il est par contre ouvert vers le sud, ce qui favorise les influences du climat aride. Cette situation se manifeste par des quantités d'eaux qui augmentent de l'aval vers l'amont. Cela va rendre la situation de plus en plus grave vu que là où la pente est forte les précipitations sont élevées.

Les faciès lithologique quand à eux montre une grande friabilité avec une dominance des faciès flyshoïdes et marneux ce qui favorisera l'érosion

En ce qui concerne le couvert végétal, il montre dans la plupart des cas des matorrals très dégradés et des forêts défrichées.

Le bassin versant de l'Oued Amzaz n'a pas échappé à l'action anthropique, on remarque une très forte intensité liée surtout à l'accroissement démographique et aux différentes activités des populations.

Cadre général du bassin versant de l'Oued Amzaz

L'interdépendance des facteurs de l'érosion est à l'origine d'un comportement complexe dans le bassin versant de l'Oued Amzaz, c'est pour cela on a choisie la méthode qui va d'une part nous renseigner sur les zones de grande vulnérabilité, ainsi que les facteurs déterminant qui ont donné naissance à cette vulnérabilité.

Chapitre III. Méthodologie, Présentation du PAP/CAR

III-I. Contexte et antécédent

Les processus d'érosion des sols dans les régions méditerranéennes ont de graves conséquences sur le rendement des ressources et sur l'environnement. La fragilité des terres, une population en constante augmentation et une nécessité d'augmenter la productivité, associées à une pollution accrue, imposent une analyse et une évaluation intégrées des phénomènes d'érosion.

La cartographie et la mesure de l'érosion dans les zones affectées fournissent des bases à la conception et à la mise en œuvre des programmes de lutte antiérosive et de gestion des sols. Vue cette situation le centre d'activités régionales pour le programme d'actions prioritaires (PAP/CAR), agissant dans le cadre du plan d'action pour la méditerranée (PAM) du PNUE, a entrepris depuis 1984 une action prioritaire intitulée "**Promotion de la protection des sols en tant que composante essentielle de la protection de l'environnement dans les zones côtières méditerranéennes**". Presque tous les pays méditerranéens, la FAO et le centre arabe d'étude des zones arides et des terres sèches (ACSAD) - Damas, ont pris une part active dans ce programme. A la suite d'une phase d'enquête, le PAP, la FAO et l'ACSDA ont formulé une proposition d'un projet de coopération en matière de cartographie et de mesure de l'érosion (Athènes, 1987). Par la suite, le projet, a été défini et l'Espagne a offert d'accueillir le projet. Les autorités ont désigné l'institut national de conservation de la nature - ICONA (actuellement Direction générale de la conservation de la nature - DGCONA) à Madrid comme institution d'accueil du projet, tandis que la FAO a accepté d'y contribuer en fournissant son appui scientifique et professionnel. Par la suite, le projet a été subdivisé en deux composantes, une composante de cartographie et une composante de mesure. Pour la composante cartographique, elle a été réalisée par le PAP, la DGCONA et la FAO, en collaboration avec l'Espagne, la Tunisie et la Turquie, elle a été close fin 1992 (pour la zone de Vallcebre en 1995 - 1996). Pour la composante de mesure, réalisée depuis 1993 jusqu'en 1996. Les résultats de ces activités ainsi que les méthodologies développées ont été discutés lors des séminaires notamment à Barcelone, juillet 1996. Les deux textes qui portent sur les deux composantes ont été présentés, discutés lors d'un atelier de travail organisé à Barcelone du 13 au 16 octobre 1996. Les études, les suggestions et les commentaires faits lors de l'atelier ont été pris en compte lors de la rédaction du texte final des directives.

La justification de cette méthode repose sur le fait de la nécessité ressentie d'une présentation graphique des paysages et de la dynamique géomorphologique, c'est-à-dire d'une

cartographie systématique à utiliser comme outil aussi bien descriptif que d'étude thématique. Ce schéma consolidé est mis en parallèle avec des études de terrain des analyses cartographiques et de la photo-interprétation, afin de mettre en valeur les contraintes spécifiques et représentatives de l'érosion locale.

III-2. Schéma méthodologique général

La méthode PAP/CAR sert à identifier, décrire et mesurer les processus dynamiques. Incluant les situations extrêmes telles que la dégradation irréversible d'une part, et les zones stables non affectées, d'autre part. Bien sur le degré d'érosion est un indicateur majeur de la durabilité d'un schéma d'aménagement, donc la cartographie de l'érosion s'avère un outil fondamental pour connaître la répartition et l'ampleur géographique du phénomène, ainsi que pour la caractérisation qualitative et quantitative. Ce schéma de cartographie et de mesure de l'érosion (Fig. III-21) est fondé sur la base de deux composantes: Cartographie et Mesure. En ce qui concerne la première composante, elle est fondée sur la base de trois approches, la première est prédictive, consistant à identifier, évaluer et intégrer tous les paramètres physiques, tels la pente, la lithologie, le couvert végétal, dans le but de tirer des hypothèses préliminaire concernant le risque d'érosion. L'objectif de cette phase est le traitement de données selon une séquence de 7 opérations:

- Opérations 1 et 2: Elaboration de la carte des classes des pentes et la carte lithologique.
- Opération 3 : Carte d'érodibilité par superposition des cartes des pentes et des lithofaciès.
- Opération 4 et 5: Elaboration des cartes d'occupation du sol et de couvert végétal.
- Opération 6 : Carte de protection des sols par superposition des cartes d'occupation du sol et de couvert végétal.
- Opération 7 : Carte des états érosifs par superposition des cartes d'érodibilité et de protection des sols.

La seconde phase est descriptive. Elle consiste à décrire et à évaluer qualitativement les processus actuels et actifs, elle est réalisée par l'observation directe et le contrôle sur le terrain, en utilisant la carte prédictive des états érosifs comme canevas cartographique et thématique de référence, afin de mettre en valeur les contraintes spécifiques et représentatives de l'érosion. Cette approche fournit la vérité du terrain et permet soit de consolider, soit de rectifier les diagnostics

concernant l'érosion active et potentielle. la procédure combinée d'observation de terrain et l'identification des processus se fait en trois opérations:

- Opération 1: Définition des degrés de risque (Potentiel d'érosion)
- Opération 2: Identification et définition des processus d'érosion prédominants
- Opération 3: Identification des particularités locales, tels les facteurs causaux du risque d'érosion

pour les milieux stable, les processus d'érosion associés et, et leur tendances principales évolutives.

La troisième phase c'est la carte finale qui est une carte qualitative, combinant les données descriptives et prédictives, et contenant les informations complètes sur les différents aspects des phénomènes d'érosion.

La deuxième composante est conçu compte tenu des caractères hydrologiques et géoécologiques des zones méditerranéennes, notamment, les petites dimensions des unités géoécologique uniformes, la diversité de la géologie et de la topographie (pentes abruptes et micro-climats contrastés suivant l'orientation), l'utilisation très ancienne des terres par l'homme (végétation dégradée, micro-topographie modifiée, réseau de ravins dues à l'intervention humaine) et les brefs épisodes de pluies intenses qui peuvent être précédés et suivis de longues périodes de sécheresse.

Les paramètres à tenir en compte selon le PAP/CAR sont : Le taux d'érosion, le taux d'apport de sédiments, l'efficacité de piégeage et la capacité de transport.

- Pour la technologie, ils ont convenu que la meilleure solution consiste à choisir des instruments de mesure faisant appel à la technique digitale électronique la plus moderne,

- Pour la durée, une phase initiale de 3 ans au maximum pour la sélection des sites, l'acquisition des instruments et la mise en place de tout le dispositif de mesure,

Sur le bassin versant de l'oued Amzaz, on n'a ni le temps ni les moyennes pour mettre en œuvre ces mesures, donc pour cette partie, on va se baser sur les résultats d'une étude qui a été faite par la direction des eaux et foret et qui utilise le modèle de Wischmeier et Smith 1978 (USLE) qui permet de quantifier les zones d'érosion en nappe et en rigole. Etant donné les conditions limites d'utilisation du modèle, notamment pour l'inclinaison et la longueur de pente, l'intérêt des résultats

Méthodologie et présentation du PAP/CAR

du modèle ne tient pas tant à la valeur dans l'absolu qu'à la comparaison avec la méthode consolidée.

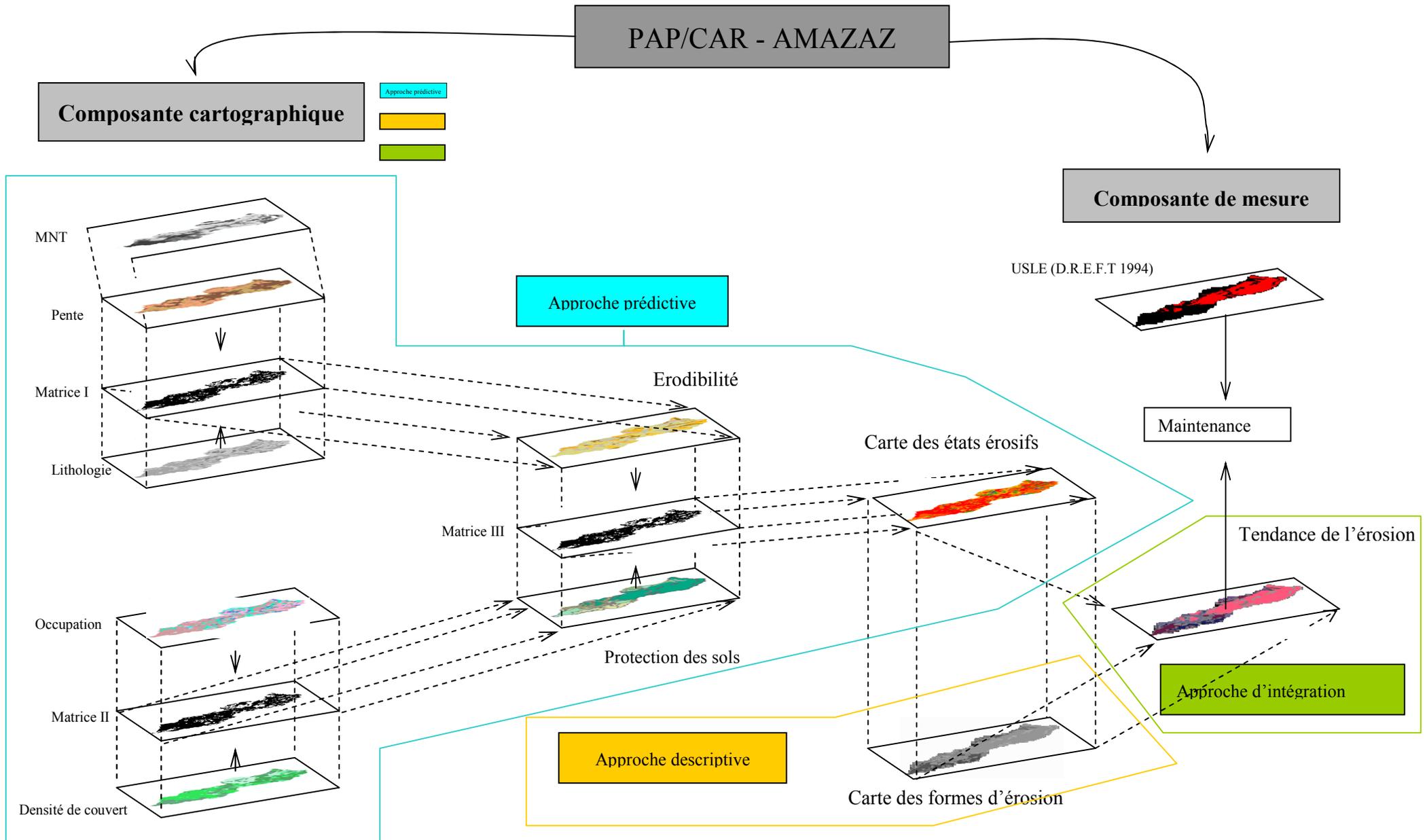


Figure III-21 : Schéma méthodologique PAP/CAR

Partie II :

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

Chapitre IV. Approche prédictive

Introduction

L'approche prédictive consiste à cartographier, évaluer et intégrer tous les paramètres fondamentaux, tels la pente, la lithologie, le couvert végétal, dans le but de réaliser une carte des tendances générales de l'érosion, d'une part, d'autre part tirer les hypothèses préliminaires concernant le risque d'érosion.

La séquence d'opérations commence par la réalisation de la carte d'érodibilité qui est le résultat de la superposition de la carte des pentes et celle des lithofaciès puis la carte de protection des sols qui résulte de la superposition de la carte d'occupation des sols et de la densité de recouvrement, et enfin la carte des états érosifs qui est le produit final de la superposition de la carte d'érodibilité et de la carte des degrés de protection des sols.

IV-I- Elaboration de la carte d'érodibilité

La carte d'érodibilité présente la combinaison de la prédisposition d'un substrat à fournir du matériel meuble mobilisable pour l'érosion et le paramètre qui favorise son évacuation du profil à savoir le degré de la pente. Autrement dit, on superpose la vitesse d'altération et d'ameublissement d'un substrat avec l'inclinaison de la topographie qui va contrôler les quantités des éléments préparés pour le départ et celles des éléments qui vont contribuer au développement du sol.

Pour l'élaboration de la carte d'érodibilité, commençons par expliquer les étapes de réalisation de la carte des pentes puis, celle des lithofaciès. La superposition de ses derniers va constituer la carte d'érodibilité, qui est une combinaison des entités de chaque carte, la combinaison à nécessité la réalisation d'un algorithme qui permet de combiner les valeurs de la carte des pentes et de la carte des lithofaciès pour faire sortir le degré d'érodibilité suivant les classes propres aux directives PAP\CAR.

IV-I-1- Réalisation de la carte des pentes

Pour la réalisation de la carte des pentes (Fig.IV-22), on a utilisé le SIG pour découper le MNT du Maroc de résolution 30m de coté de pixel et pour classifier les pentes suivant les classes voulues. La démarche commence par une délimitation de la zone d'étude, après on superpose le polygone résultant sur le MNT et grâce à l'extension \ extraction \ Masque on obtient un MNT délimité suivant les coordonnées du bassin d'étude, après, et afin de réaliser la carte avec les classes propres

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

aux directives PAP/CAR (Tableau IV-4), on a utilisé l'extension `spatial analyst \ slope\` qui permet de diviser le terrain en polygones de classes différentes. Pour le calcul des surfaces de chaque classe, on a utilisé l'utilitaire de calcul des surfaces qui après une transformation du fichier Raster en un fichier vectoriel de rassembler les classes de pentes dans des polygones.

Classe	Type de pente
1.	Nulle à faible (0-3%)
2.	Modérée (3%-12%)
3.	Abrupte (12%-20%)
4.	Très abrupte (20%-35%)
5.	Extrême (>35%)

Tableau IV-4 : Classes de pentes

A partir de l'analyse de la base de données de la carte des pentes on a calculé les superficies relatives à chaque portion (Tabl. IV-5). Les résultats obtenus montrent un pourcentage de 30% et de 38% pour les classes 4 et 5 respectivement. Les pentes faibles et modérées représentent un pourcentage de 2% et 12%. Ainsi l'analyse de la courbe de fréquence (Fig.IV-23) montre une médiane située au niveau de la classe 4 (20 – 35) ce qui confirme que plus de 60% de la zone d'étude montre une pente forte.

Donc Notre bassin témoigne d'un relief très accidenté, ce qui va rendre l'activité des eaux d'écoulement plus forte, L'ablation va nettement l'emporter sur l'accumulation vu que l'inclinaison de moins de 3% occupe seulement 2% du bassin versant et que sur 68% de la surface du bassin elle est supérieure à 20%.

Classe	Code	Superficie en (ha)	fréquence cumulée	%	%cumulé
0 - 3	1	888.73	888.73	2	2
3 - 12	2	4564.59	5453.32	12	14
12 - 20	3	7018.69	12472.01	18	32
20 - 35	4	11697.29	24169.31	30	62
> 35	5	14554.19	38723.49	38	100
Totale		38721.39			

Tableau IV-5 : Superficies, fréquences et fréquences cumulées en fonction des classes des pentes

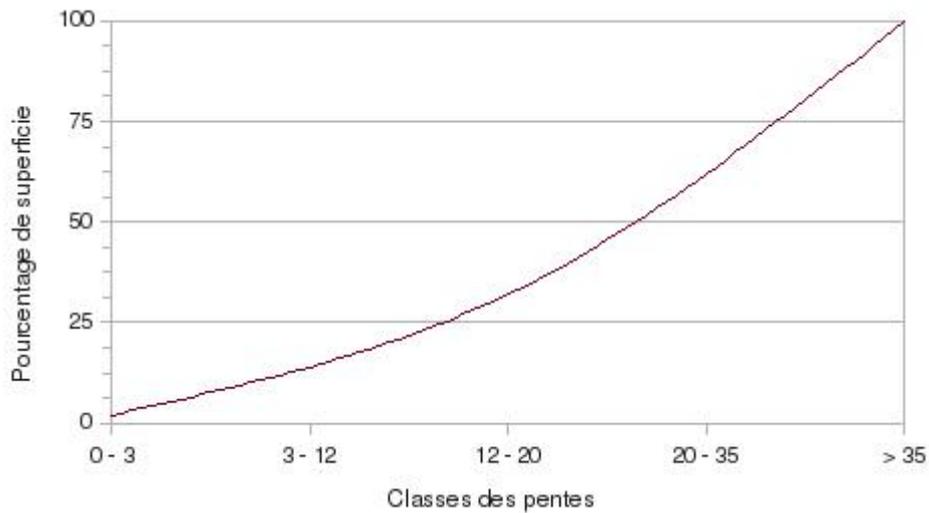


Figure IV-22: Courbe des fréquences cumulées des pourcentages des surfaces des pentes du bassin versant de l'Oued Amzaz

La répartition des surfaces des différentes classes de pentes (Fig. IV-22) montre un ordre au sein du bassin versant de l'Oued Amzaz, car elle augmente avec l'accroissement du degré de pente. Cet ordre n'est pas respecté d'après ce que montre la carte des pentes (Fig. IV-24). Sur le versant gauche de la vallée, notamment à jbel Lamsfarld et jbel Aloul l'inclinaison de pente est forte (>35 %), à la différence du versant droit notamment à jbel Isfoula et jbel Oudka où la pente est très abrupte. Plus en aval on remarque l'inverse car cette fois c'est le versant gauche qui a une pente faible en comparaison avec le versant droit. Cette différence peut être liée soit à la géologie du terrain soit à une forte activité des eaux. Les pentes les plus faibles figurent dans la partie la plus aval notamment à Galaz, Dar Hraba et L'Hajria.

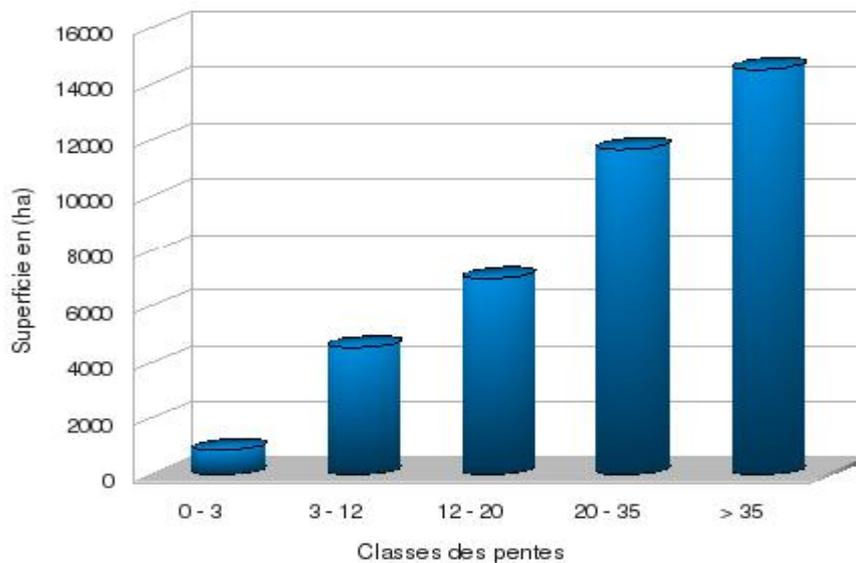


Figure IV-23 : Histogramme de fréquences des surfaces des pentes en (ha) du bassin versant de l'Oued Amzaz

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

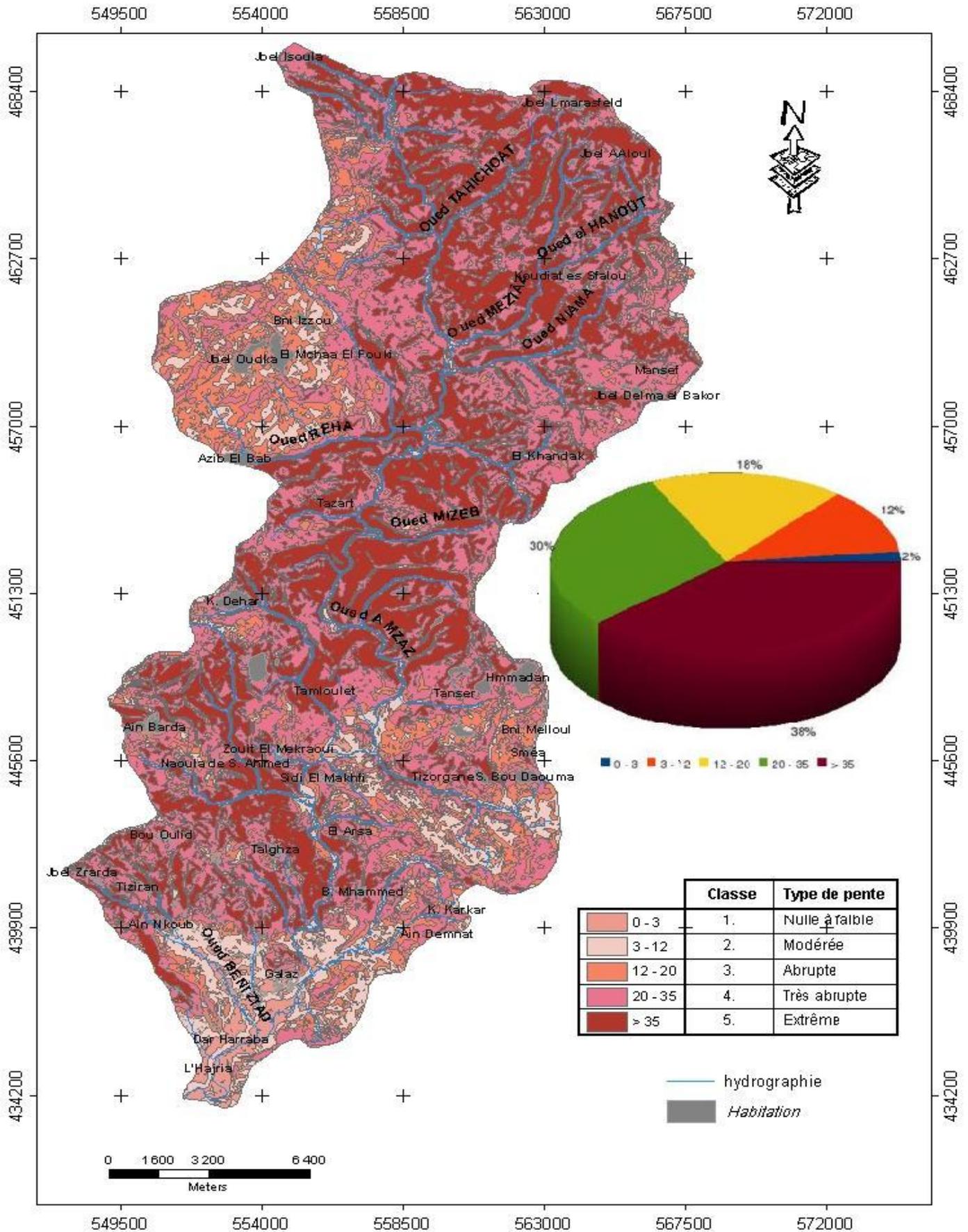


Figure IV-24 : Carte des pentes selon les classes propres au PAP/CAR

IV-I-2 Réalisation de la carte des lithofaciès

La carte des lithofaciès a été réalisée sur la base de la carte du Plan d'Aménagement Anti-érosif du Bassin versant de L'Ouergha en amont du barrage Al Wahda, Cette carte est préparée à partir des données géologiques, lithologiques et pédologiques; elle identifie les différents types de roches ou de sédiments/sols de surface, classés selon leur degré relatif de cohésion et de résistance mécanique et technique à l'érosion. (Tab. IV-6).

Classes de lithofaciès	Type de matériel
1(a)	Roches compactes non altérées, conglomérats fortement cimentés, croûtes, affleurements de grès ferrugineux (calcaires massifs, sols fortement rocheux, roches ignées ou éruptives, sols localement encroûtés).
2(b)	Roches fracturés modérément altérés ou sols très compactés et cohésifs.
3(c)	Roches ou sols/sédimentaires faiblement ou modérément compactés (ardoise, schiste, marne, etc.).
4(d)	Roches et/ou sols peu résistants ou fortement/profondément altérés (marne, gypse, ardoise argileuse, etc.).
5(e)	Sédiment ou sol meuble, non cohésif et matériel détritique.

Tableau IV-6 : Classes de lithofaciès

Le traitement de la base de donnée a permet la réalisation du tableau 7, dans lequel figure les pourcentages des superficies ainsi que les surfaces cumulées des différentes classes de lithofaciès.

Code	Classe litho	Superficie en (ha)	surface cumulée	%	% cumulée
1(a)	1	2685	2685	4	4
2(b)	2	20610	23295	56	60
3(c)	3	4431	27726	12	72
4(d)	4	5801	33527	15	87
5(e)	5	5211	38738	13	100
	Total	38738			

Tableau IV-7 : Classe de lithofaciès en fonction des superficies des pourcentages et des pourcentages cumulés

L'histogramme des fréquences des surfaces (Fig. IV-25), montre que la classe des Roches fracturés ou modérément altérés ou sols cohésifs très compactés (1b), représente 56 % des terrains du bassin versant de l'Oued Amzaz. Pour les classes 3(c), 4(d) et 5 (e) ils ne dépassent pas 15 %. La classe qui représente la plus faible superficie est celle des Roches compactes non altérées et

conglomérats fortement cimentés (1a). Tout ces données montre que notre bassin témoigne d'une lithologie qui ne va pas résister longtemps face aux contraintes naturelle et surtout anthropiques.

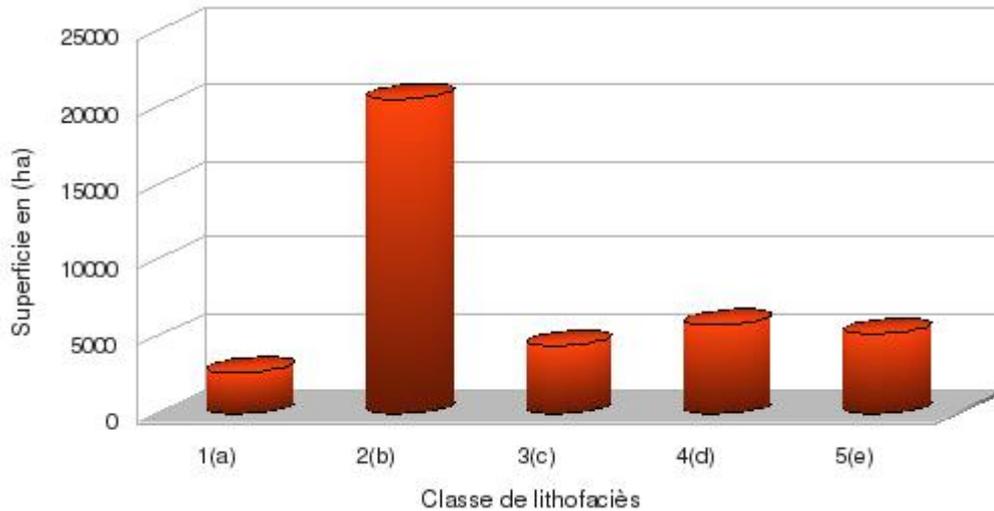


Figure IV-25 : Histogramme des fréquences des surfaces en fonction des classes lithologiques.

La courbe des fréquences cumulées (Fig. IV-26) montre une médiane située sur la classe 1, est bien sur la médiane sert à diviser la série étudiée en deux parties. L'analyse de cette courbe permet de confirmer que plus de 50% des terrains sont de faible résistance mécanique.

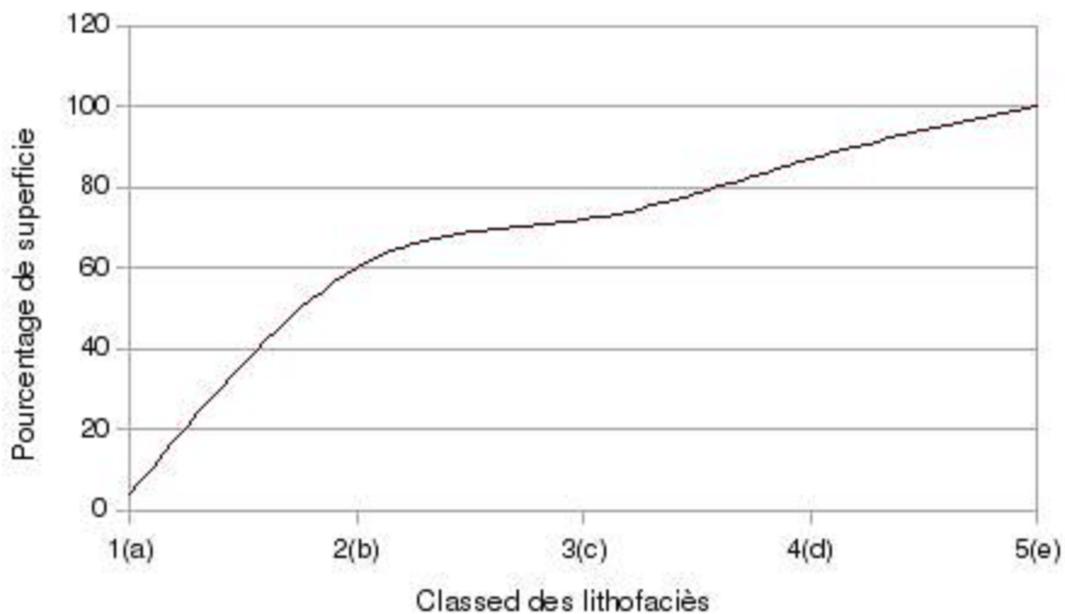


Figure IV-26 : courbe des fréquences cumulées

La répartition des classes de lithofaciès sur le terrain (Fig. IV-27) montre que les Roches fracturés ou modérément altérés et les sols cohésifs, sont localisés surtout dans la partie NE du bassin versant là où l'altitude est élevée et la pente est forte, cela peut nous renseigner sur le devenir de ces substrats vue que plus la pente est forte, plus la vitesse de l'écoulement est forte. (1) l'inclinaison forte de la pente dans la partie amont notamment à jbel Lmarasfeld, jbel Aloul et jbel Delma serait à l'origine de ce sol peu évolué ou de ces roches fracturés ou modérément altérés car sur pente forte les produits d'altération sont constamment évacués par l'érosion qui ne laisse que l'horizon C du sol constitué par la roche fracturée, par les fragments grossiers des roches et peu de particules fines piégées dans les poches protégés de la gravité et de l'écoulement ou fixées le réseau racinaire des végétaux.

Sur ces zones la quantité de matériaux érodés sera relativement faible, elle dépendra des quantités mobilisables donc de la vitesse d'altération et d'ameublissement des affleurements rocheux. Ces zones ont donc été rangées dans une classe peu érodable fournissant peu de matériaux. Pour la partie aval ces surtout les sédiments ou sols meubles, non cohésif et matériels détritiques.

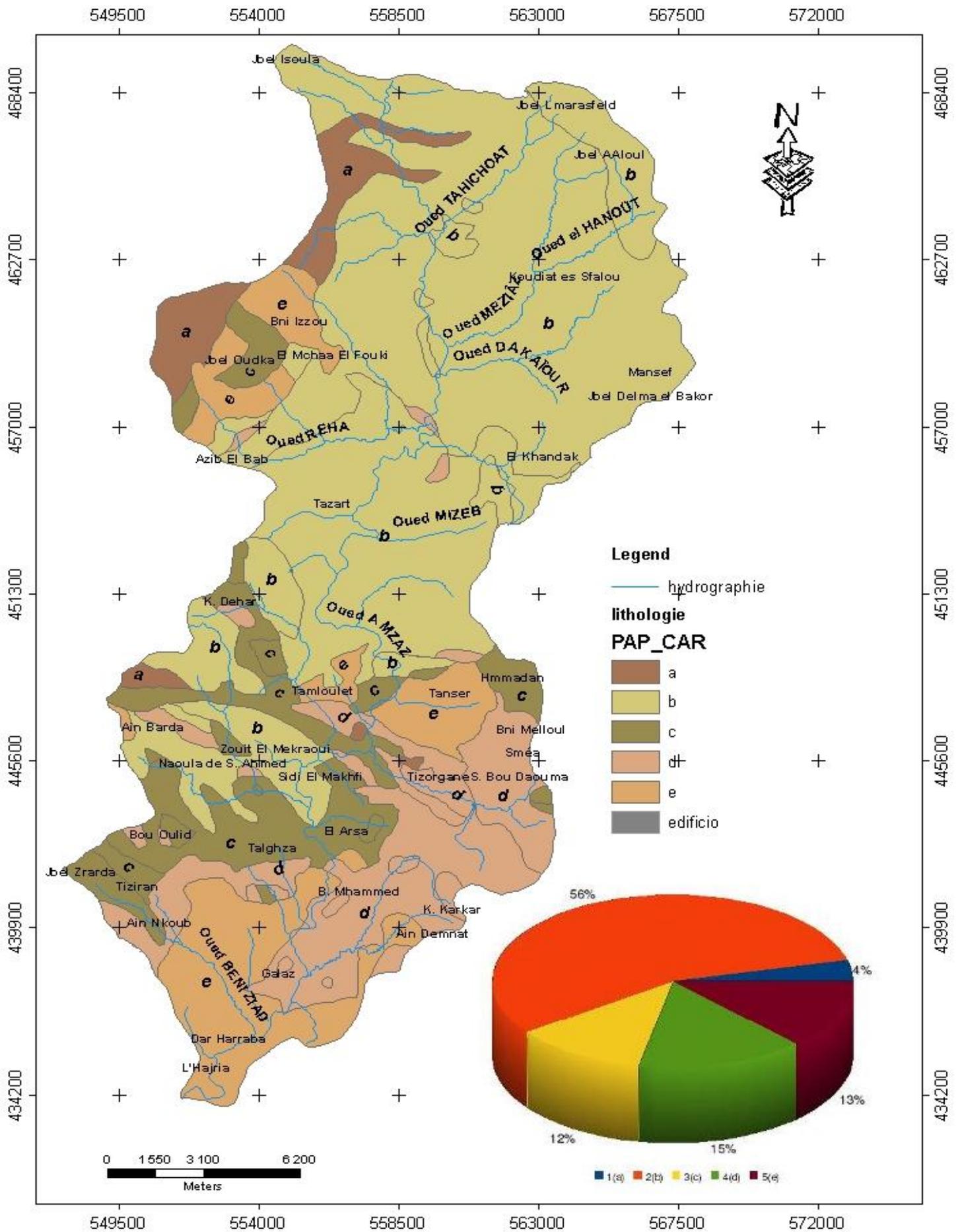


Figure IV-27: Carte des lithofaciés

IV-1-3 Réalisation de la carte d'érodibilité

La carte de l'érodibilité est le résultat de la superposition de la carte des pentes et de la carte des lithofaciès. Les polygones résultant de la superposition des deux cartes de référence sont classés selon la matrice montrée au tableau 8, cette dernière a pour objectif d'hierarchiser le terrain selon le degré d'érodibilité (Tab. IV-9). Le problème qui se pose est la classification de la base de données selon les directives propres au PAP/CAR. Avec plus de 12600 polygones. Le tri manuel peut conduire à d'énormes erreurs et peut aussi gaspiller beaucoup de temps. Pour cela on a créé un algorithme sous forme d'ensemble d'instructions, qui va permettre la fusion des deux colonnes et faire sortir le degré d'érodibilité relatif à chaque polygone (Fig IV-28).

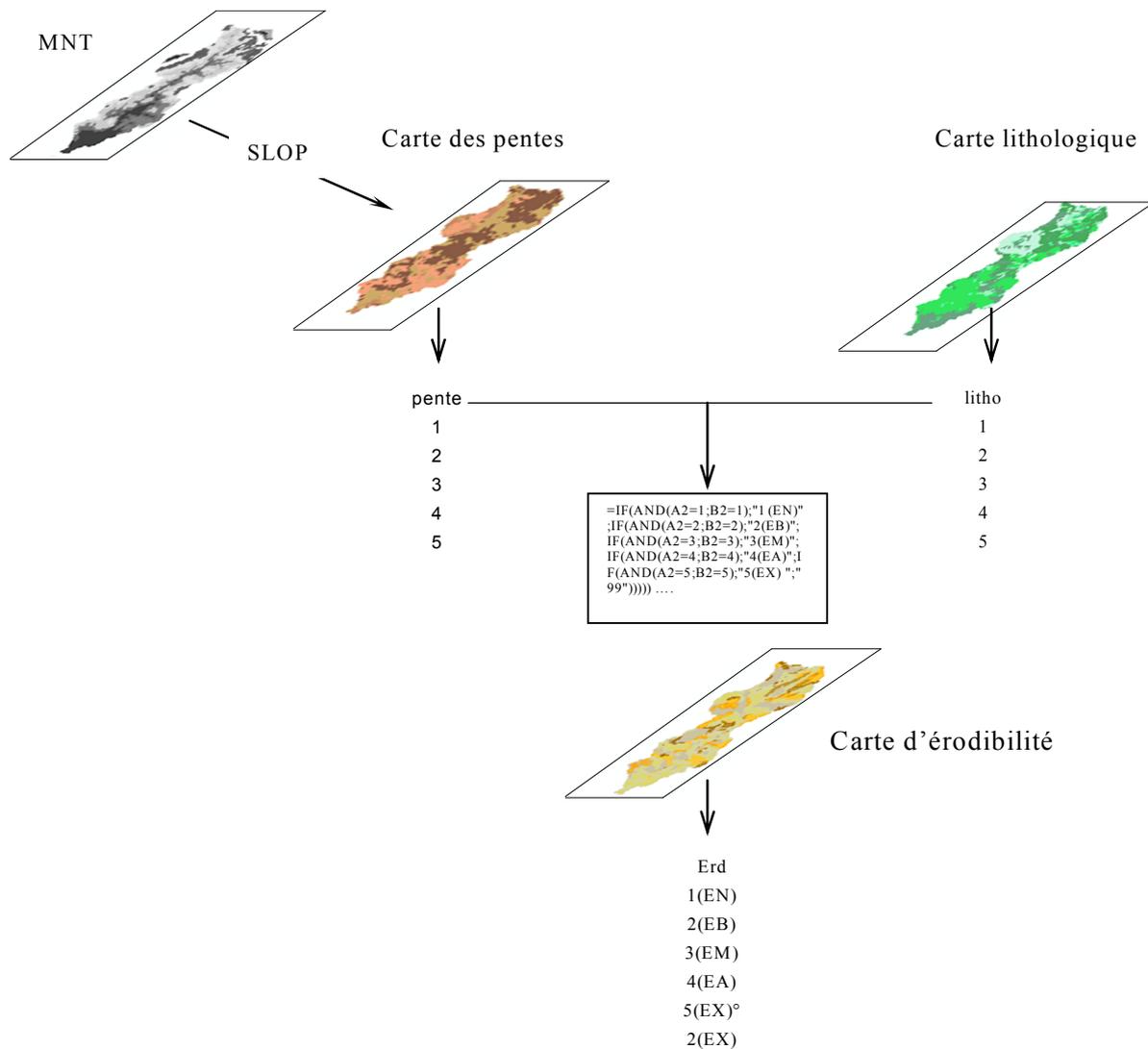


Figure IV-28: Réalisation de la carte d'érodibilité

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

Classes de pentes :	Classes de lithofaciés :				
	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)
1	1(EN)	1(EN)	1(EN)	1(EN)	2(EB)
2	1(EN)	1(EN)	2(EB)	3(EM)	3(EM)
3	2(EB)	2(EB)	3(EM)	4(EA)	4(EA)
4	3(EM)	3(EM)	4(EA)	5(EX)	5(EX)
5	4(EA)	4(EA)	5(EX)	5(EX)	5(EX)

Tableau IV-8 : Degrés d'érodibilité

Classe :	Erodibilité :
1	Faible (EN)
2	Modérée (EB)
3	Moyenne (EM)
4	Forte (EA)
5	Extrême (EX)

Tableau IV-9 : Classe d'érodibilité

Le résultat du traitement de la base de données de l'érodibilité (Tab. IV-10) nous a permis de dégager plusieurs informations notamment sur en ce qui concerne les superficies relatives à chaque classe

Classe d'érodibilité	Superficie en (ha)	% de superficie	%cumulé
1(EN)	1778.61	5.00	5
2(EB)	4161.29	11.00	16
3(EM)	12864.63	33.00	49
4(EA)	7048.05	18.00	67
5(EX)	12883.52	33.00	100
	Total	38736.10	

Tableau IV-10 : Table de données relative à l'érodibilité

La courbe des pourcentages des fréquences cumulées (Fig IV-29) a montré un certain équilibre au sein du bassin versant de l'Oued Amzaz, vu que la médiane divise la série en deux parties presque égale, 49% des terrains sont faiblement à moyennement érodible et 51% des terrains présente une érodibilité moyenne à extrême. Cet équilibre peut être expliqué par les corrections dont la matrice fait objet, par exemple des pentes forte couplé avec des terrains résistants donne un terrain moyennement érodible et vis versa.

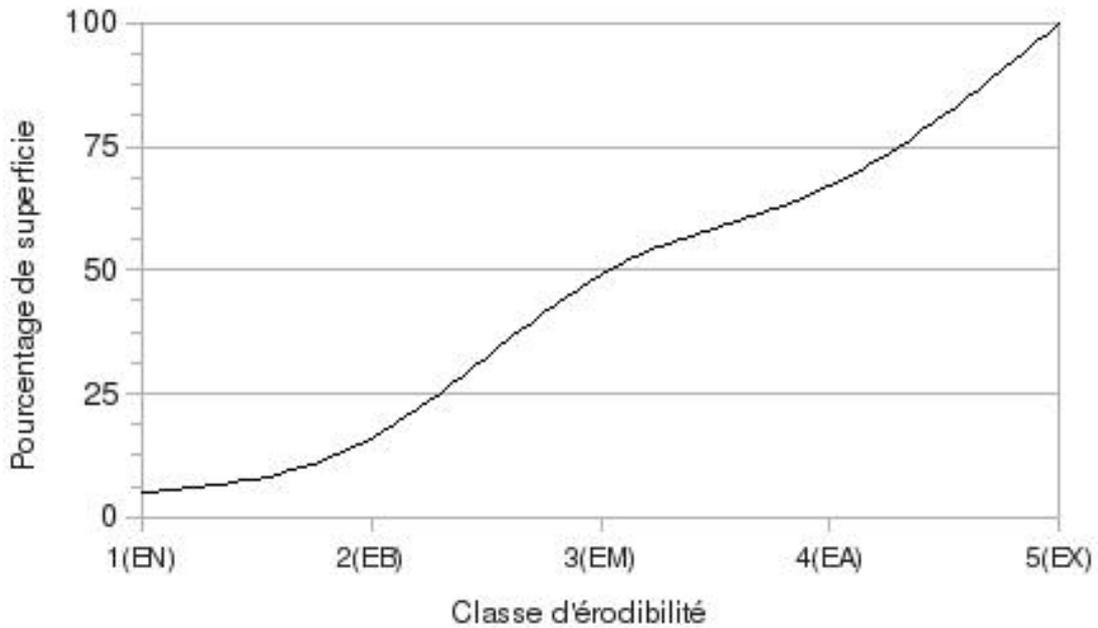


Figure IV-29: Courbe des fréquences cumulées de l'érodibilité du bassin versant de l'Oued Amzaz

L'histogramme (Fig.IV-30) quant à lui, montre que les superficies les plus représentatives sont ceux appartenants aux classes 3(EM) et 5(EX) d'érodibilité moyenne et extrême respectivement avec des surfaces qui dépassent 12000 ha, pour les classes d'érodibilité faible et modérée elle ne dépasse pas 4000 ha. Cela aura de grave répercussion à long terme si la qualité de protection est faible.

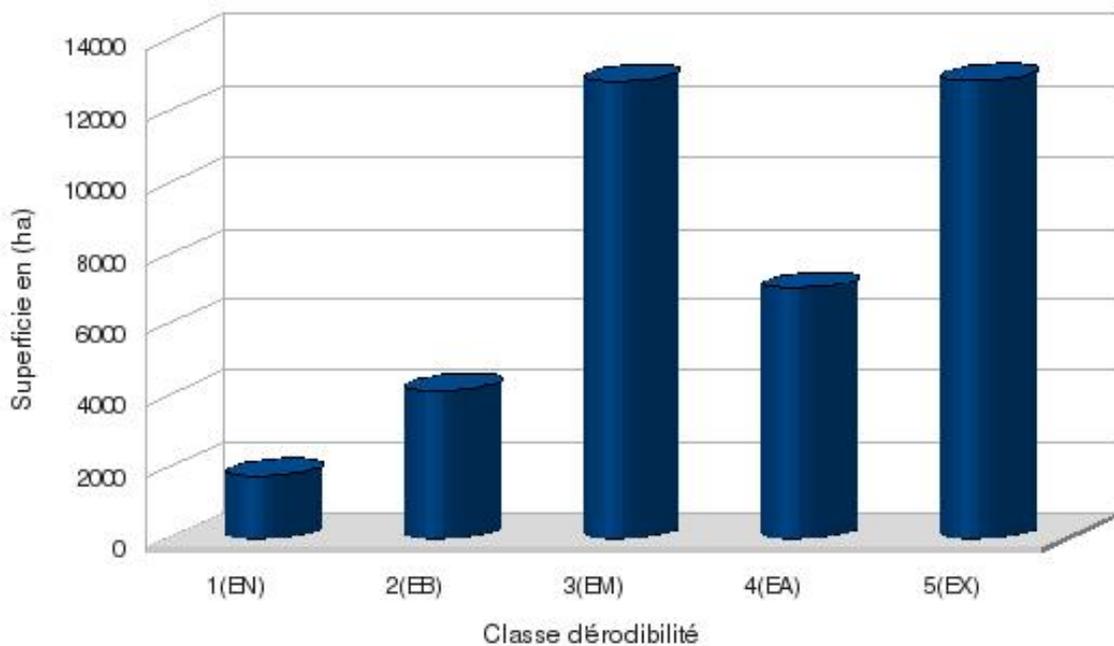


Figure IV-30 : Histogramme de fréquences des superficies en fonction des classes d'érodibilité.

La répartition des différentes classes d'érodibilité comme le montre la figure IV-29, suit en quelque sorte le canevas dessiné dans les cartes des pentes et des lithofaciès, là où la pente est forte et/ou le terrain est de faible résistance, l'érodibilité est toujours extrême. Cela peut être observé au niveau de la partie amont à jbel Lmrassfeld, jbel Aloul, et jbel Delma d'El Bakour, à ce niveau malgré les lithofaciès plus au moins résistants en remarque que la présence des pentes fortes rend cette partie de plus en plus érodable. Au contraire dans le versant droit, notamment à jbel Isfoula et jbel Outka la situation est moins inquiétante car les classes d'érodibilité qui dominent sont soit faible soit modérée. Dans ce secteur les faciès montrent une résistance faible mais des pentes modérées cela a mis cette partie dans les classes modérée à moyenne. On peut donc expliquer cette répartition par la présence de pente modérée qui a atténué le degré d'érodibilité.

Au niveau de la partie aval en remarque l'inverse sur le versant gauche le caractère fort de l'érosion est dû à une combinaison d'une pente modérée à abrupt avec une classe de lithofaciès modérément érodable à la différence de la partie amont car avec le même degré de pente en remarque que le niveau d'érodibilité peut atteindre des classes supérieures si le lithofaciès est peu à faiblement résistant. En ce qui concerne le versant droit, la situation est très délicate notamment à Tizighan, Bab Chraka, Bou Oulid et Ain Barda, là où le degré d'érodibilité est extrême, est liée à une forte pente et un faciès de faible résistance.

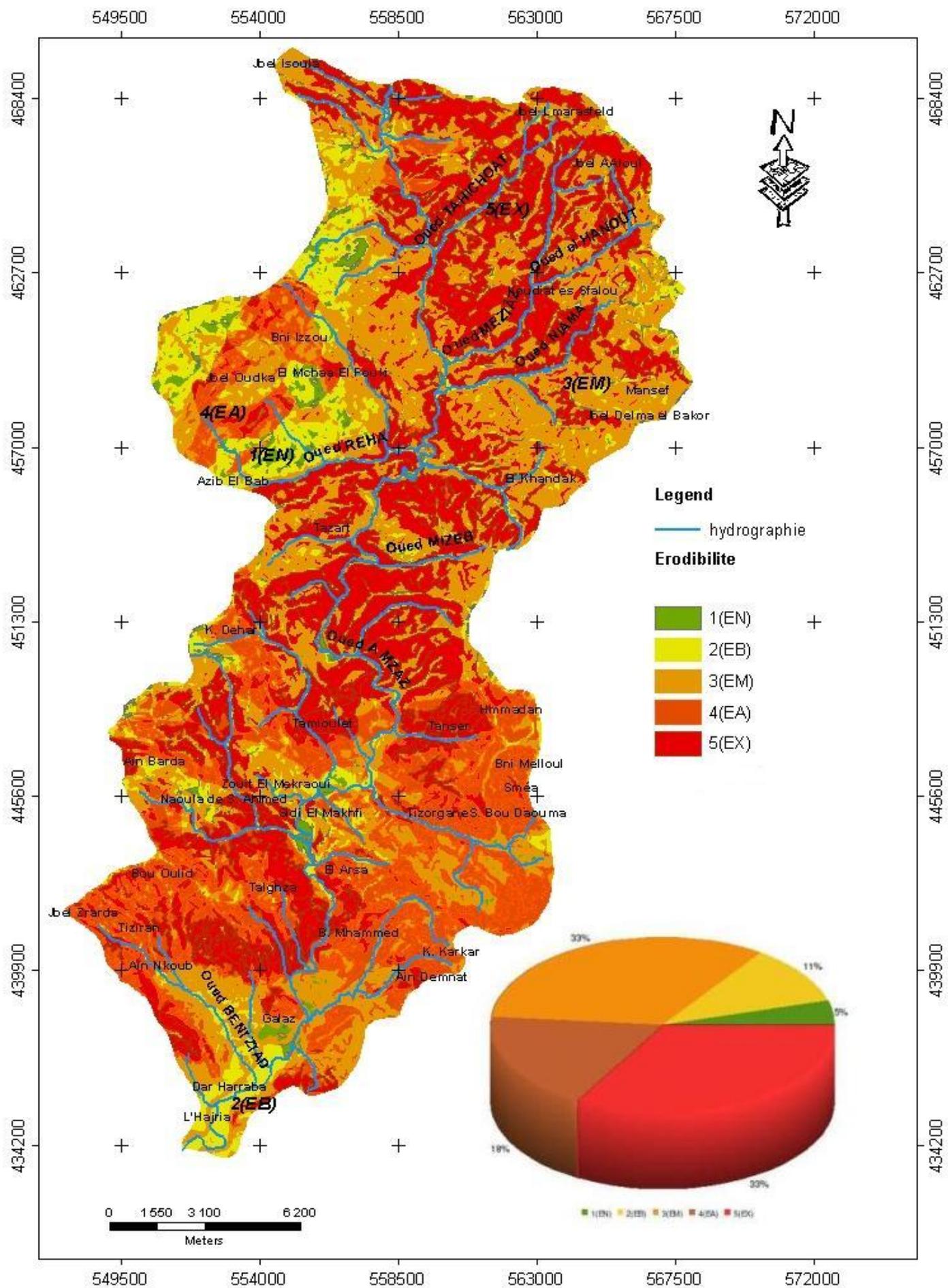


Figure IV-31 : Carte d'érodibilité

IV-II. Elaboration de la carte de protection des sols

La carte de protection des sols est réalisée à partir de la superposition de la carte d'occupation des sols et celle des proportions de recouvrement par le couvert végétal. En ce qui concerne la première, elle a pour objectif de diviser le terrain en polygones selon le type de couvert végétal (matorral claire ou dense, forêt, reboisement ...) ou de culture (arboriculture, culture sèche, culture intensive maraîchage ...). La seconde quand à elle, tient compte de la densité du couvert végétal. Elle a pour objectif de corriger la carte d'occupation des sols. La matrice qui va permettre cette superposition ne peut pas être appliquée ailleurs car elle est adaptée aux conditions bioclimatique méditerranéenne, la réalisation de cette matrice a fait objet de plusieurs années d'étude de corrélation et d'atelier. Le rôle essentiel que joue cette matrice est qu'elle permet de tenir compte des différentes dégradations du couvert dans le temps et dans l'espace comme le montre la figure 32. Une image spot 2010 montre une dégradation total au niveau du jbel Outka alors que cette partie été considéré par les Eaux et Forêts en 1994 comme étant une forêt dense (AEFCS, 1994).

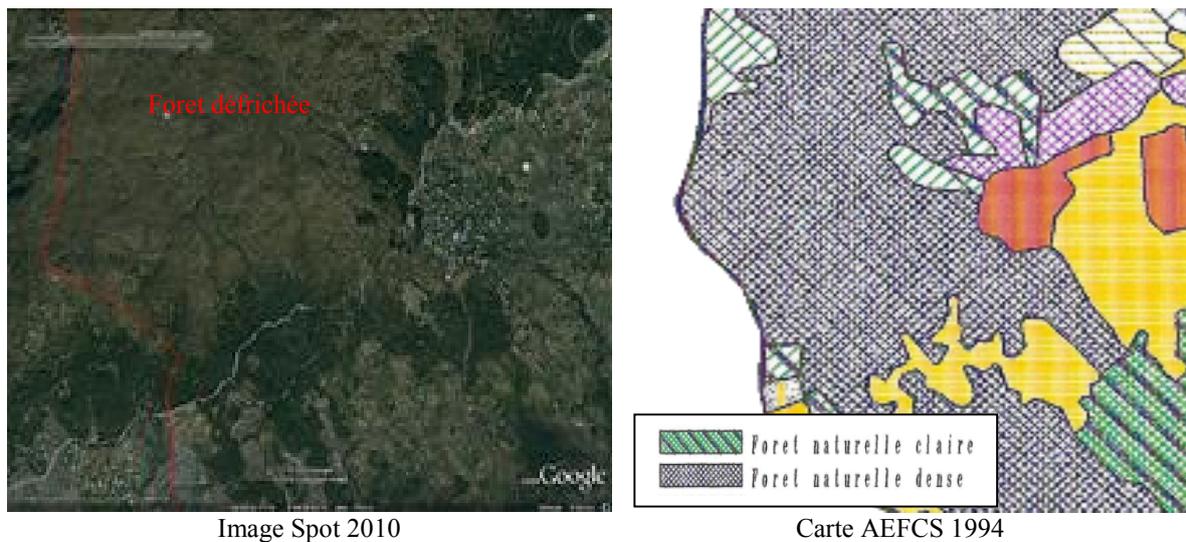


Figure IV-32 : Comparaison entre image spot 2010 et la carte des eaux et forêt 1994

IV-II-1. Réalisation de la carte d'occupation des sols

La carte d'occupation des sols (Fig. IV-33) est réalisée sur la base de la carte de végétation (AEFCS 1994). Après calage et digitalisation des polygones selon le type de couvert végétal

La répartition des différents types d'occupation des sols (Fig. IV-31) montre que la partie amont comporte presque tous les types d'occupation mais la forêt et les arbustes denses sont les plus

représentées. Cela peut être expliqué par la quantité d'eau que reçoit cette partie. On remarque aussi la présence de la culture sèche et des irrigations faiblement représentées qui témoignent d'une destruction de la forêt au profit des cultures. Au niveau de la partie médiane on remarque la présence des arboricultures clairsemés et les cultures en ligne, la partie aval montre deux types de couvet, le premier et formé d'arboriculture telle que les oliviers, les amandiers ainsi que d'autres arbres fruitiers et les vignobles.

A partir de cette répartition on peut dire que la partie amont est mieux protégée par présence marquée de forêts naturelle que la partie aval. Il reste à vérifier une fois la superposition est faite avec la carte de la densité de couverture.

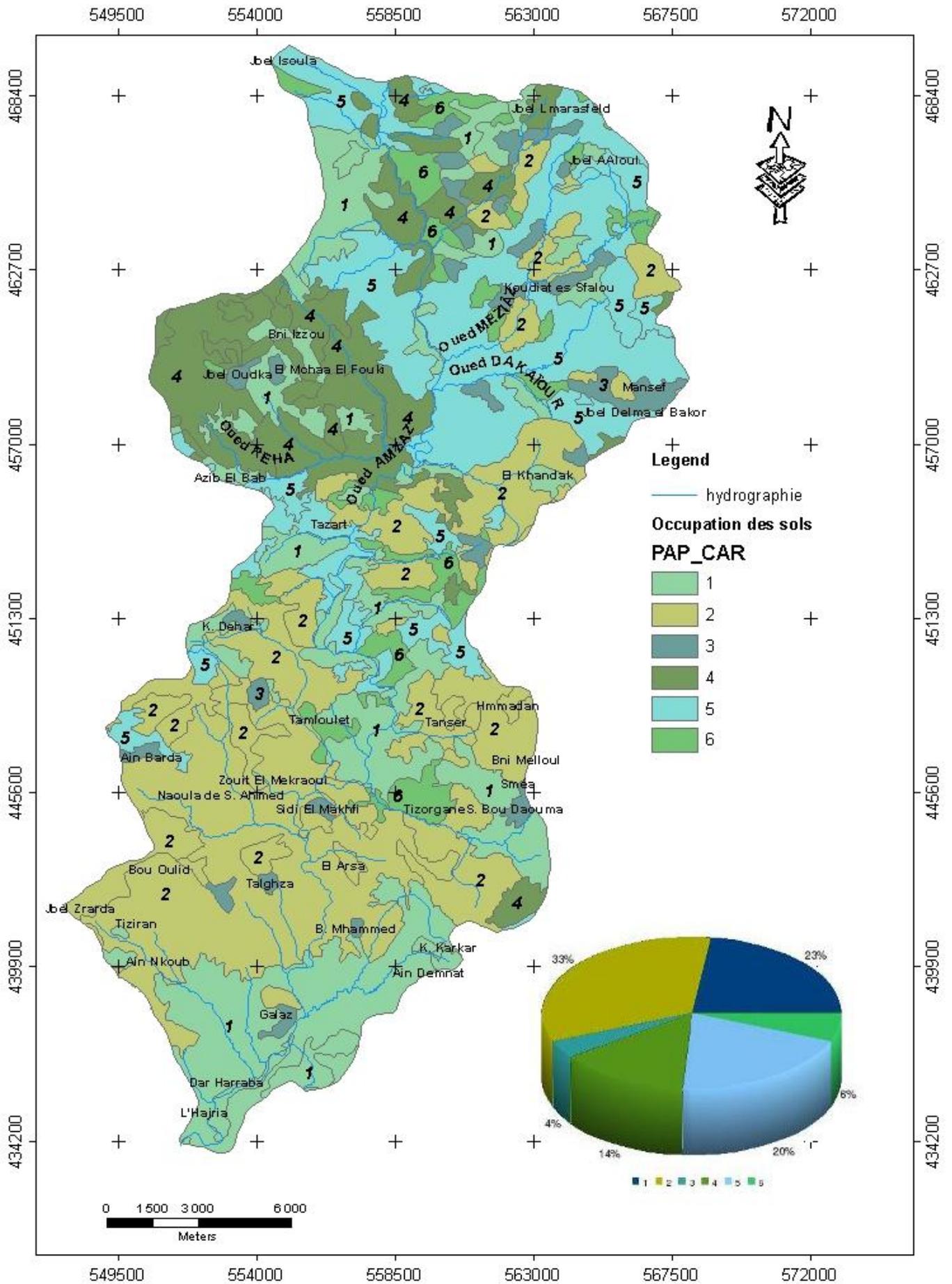


Figure IV-33 : Carte d'occupation des sols

L'analyse spatiale de la carte permet de montrer les répartitions des types d'occupations des sols dans le bassin versant (Tab. IV-11).

Classe	Occupation du sol	Superficie en (ha)	%_Superficie
1	Culture sèche (herbacée)	8895	23
2	Culture en ligne (arbres fruitiers, vignobles)	13041	33
3	Irrigation	1563	4
4	Forêts	5221	14
5	Arbustes denses	7881	20
6	Arbustes clairsemés, pâturages	2120	6
Total		38720	

Tableau IV-11 : Table des classes de superficie et de des pourcentages des superficies des différentes occupations des sols

La table de données permet de dégager plusieurs informations concernant les pourcentages des superficies (Fig.IV-34). On remarque que la classe la plus rencontrée est celle des cultures en lignes (arbre fruitiers, vignobles) avec 13041 ha ce qui veut dire 33 % de la superficie total. Les cultures sèches et les arbustes denses sont moyennement représentés avec des surfaces de 8895 ha et 1563 ha respectivement. Le pourcentage de des surfaces ne dépasse pas 23 %. La forêt est étalée sur une surface de 5221 ha et ne représente que 14 % de la superficie total. Les maraichages irrigués et les arbustes clairsemés, qui ne dépassent pas 6% avec des superficies de 1120 ha et 1536 ha respectivement.

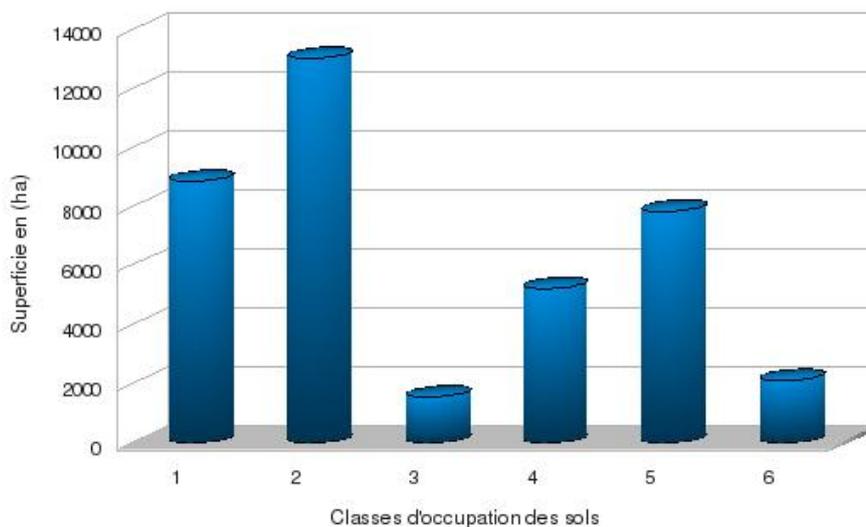


Fig. IV-34 : Fréquences des classes d'occupation en fonction des superficies en ha

IV-II-2. Réalisation de la carte de densité de recouvrement

La carte de la densité de recouvrement (Fig IV-35) a été réalisée à partir d'un navigateur satellitaire qui permet la digitalisation in situ des différents thèmes voulus. Le résultat est une cartographie du bassin versant de l'Oued Amzez en polygones selon la densité de recouvrement.

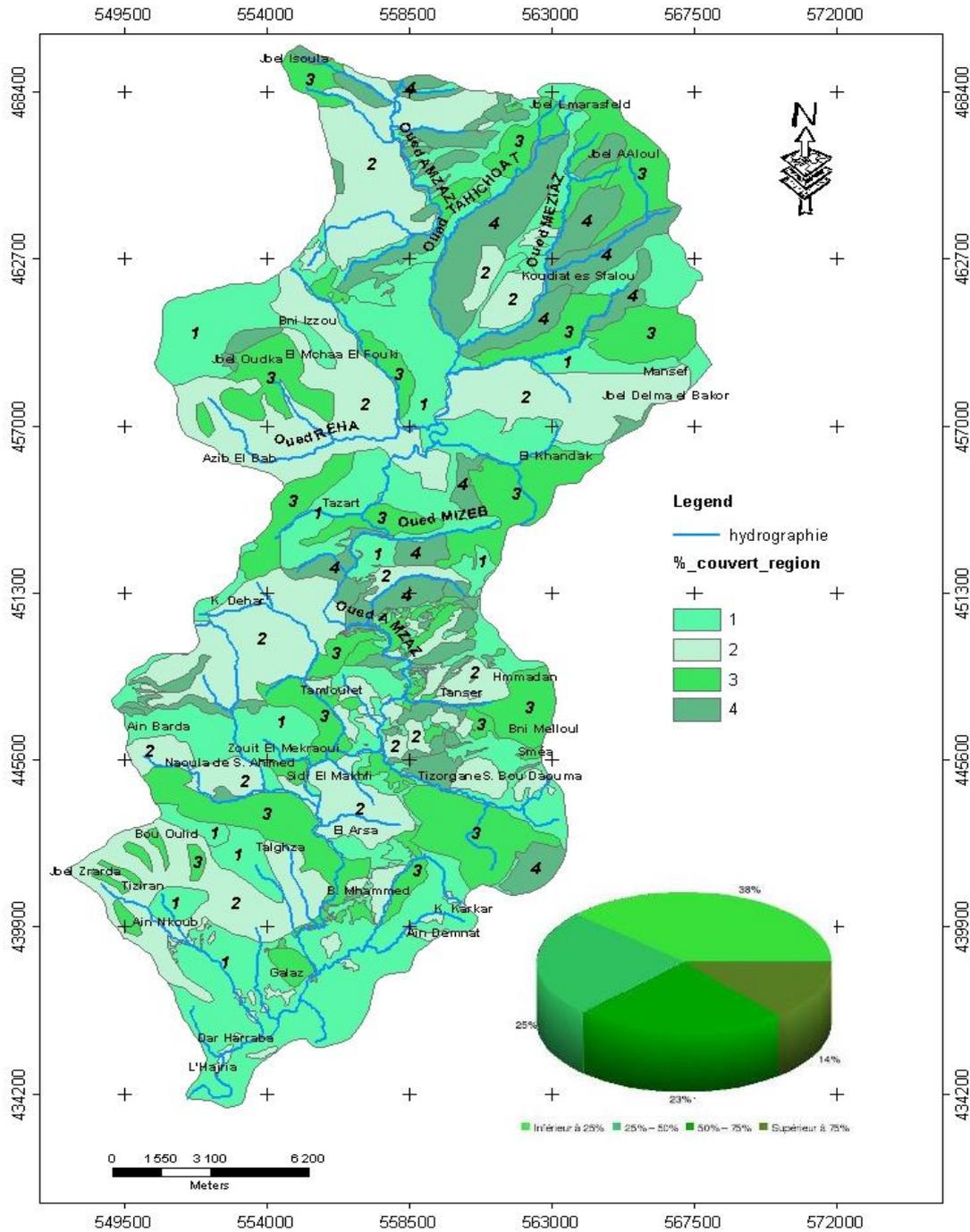


Figure IV-35 : Carte de densité de recouvrement

L'idée ici, c'est d'une part corriger la carte d'occupation des sols, d'autre part tenir compte d'un facteur qui joue un rôle clé, dans le maintien de la résistance des sols, car plus le couvert végétal est dense plus forte est la protection du sol, et plus faible est l'action des pluies.

Le tableau 12 montre le résultat du traitement de la base de données relative à la densité de recouvrement, (Tab. IV-12, Fig. IV-36)

Classe	Degré de couvert végétal	Superficie en (ha)	% de Superficie	Superficie cumulée
1	Inférieur à 25%	14619	38	38
2	25% – 50%	9713	25	63
3	50% – 75%	9079	23	86
4	Supérieur à 75%	5308	14	100
	Total	38719.73		

Tableau IV-12 : Classe superficie et pourcentage de superficie du degré de couvert végétal

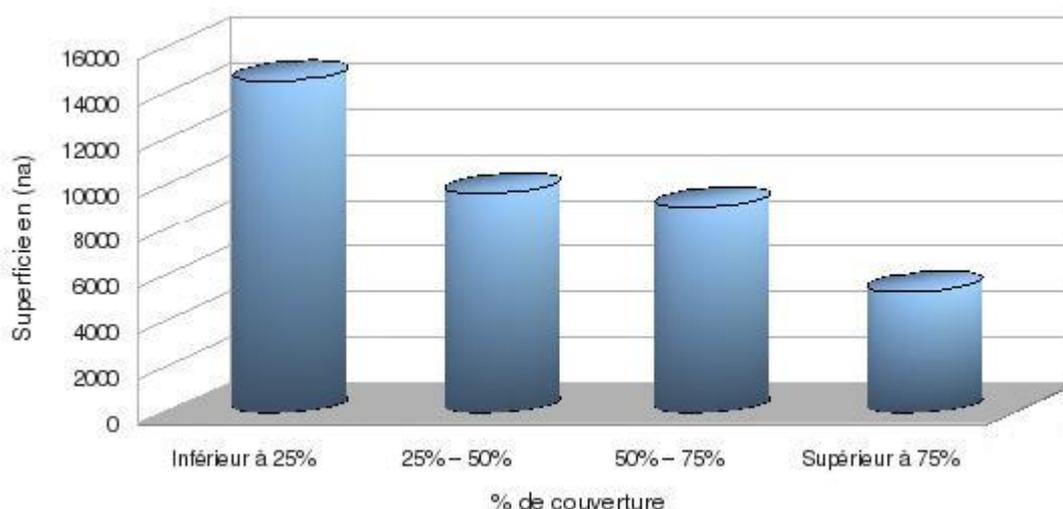


Figure IV-36 : histogramme des classes de degré de couvert en fonction des superficies

La valeur la plus fréquente est la classe 1 (< 25 %) avec 38 % de la superficie totale. Les classes 2 et 3 ne dépassent pas 25 % avec des surfaces de 9713 ha et 9079 ha respectivement. La valeur la moins représentée est la classe 4 (> 75%) avec un pourcentage de 14 %. Tenant compte de la courbe des fréquences (Fig. IV-37), en remarque qu'elle confirme que plus de 63 % de la superficie du terrain présente une faible densité de couverture. Donc le sol va être d'autant plus vulnérable. Autre contrainte à signaler c'est que ce qui reste de la couverture dense subie une forte dégradation notamment au profit des surfaces agricoles.

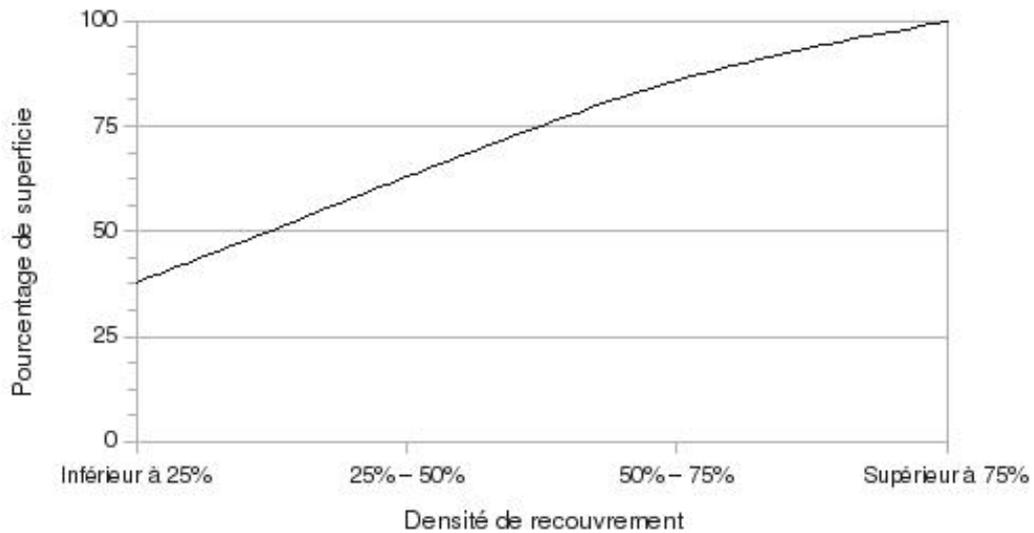


Figure IV-37 : Courbe de fréquence des superficies cumulée du degré de couverture

La répartition de ces classes au sein du bassin versant de l'Oued Amzaz (Fig. IV-35) montre que les densités faibles sont présente dans presque tout le bassin, les parties amont et médiane montre une faible superficie des densités fortes. D'après la carte d'occupation des sols, cette partie montre une forte densité, cette situation et due surtout aux défrichements, incendies et au surpâturage.

La partie aval marque la présence des classes faibles (1 et 2) avec quelque zones de la classe 3.

A partir de ces informations, compte tenu du facteur densité de couvert végétal on peut dire que le bassin versant de l'Oued Amzaz présente une très faible protection d'où une grande vulnérabilité à l'érosion.

IV-II-3. Elaboration de la carte de protection des sols

L'élaboration de la carte de degrés de protection des sols comme montre la figure IV-38 est faite par la superposition de la carte d'occupation des sols et la carte de densité de recouvrement. Les degrés de protection des sols sont obtenus grâce à l'application de la matrice présentée dans le tableau IV-13. À cette étape nous étions amenés aussi à réaliser un algorithme qui va permettre d'automatiser la démarche et de faire sortir le degré de protection voulue selon les classes d'occupation des sols et du pourcentage de recouvrement. L'objet de cette carte est d'hierarchiser le bassin de l'Oued Amzaz en polygones selon le degré de protection. L'utilité de cette étape s'avère nécessaire dans la mesure où elle permet de détecter les zones à faible ou à forte protection et par conséquence les zones noires qui nécessitent des interventions urgentes et rapide par le reboisement pour fixer et stabiliser le sol.

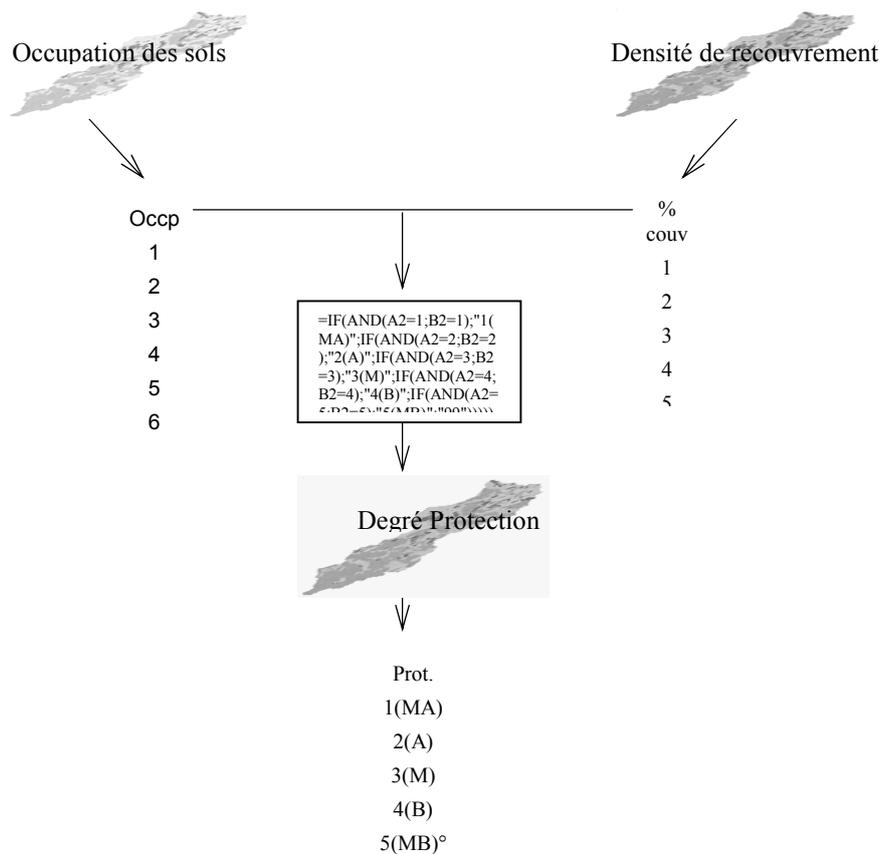


Figure IV-38 : Schéma d'élaboration de la carte de protection des sols

Occupation du sol	Couvert végétal			
	1	2	3	4
1	5(MB)	5(MB)	4(B)	4(B)
2	5(MB)	5(MB)	4(B)	3(M)
3	3(M)	2(A)	1(MA)	1(MA)
4	4(B)	3(M)	2(A)	1(MA)
5	5(MB)	4(B)	3(M)	2(A)
6	5(MB)	4(B)	3(M)	2(A)

Degré de protection du sol

1. Très élevée (MA)
2. Elevée (A)
3. Moyen (M)
4. Faible (B)
5. Très faible (MB)

Tableau IV-13 : Matrice d'occupation du sol vs couvert végétal et degré de protection

Le traitement de la base de données a permis de dériver le tableau IV-14, à partir duquel on a réalisé le graphique (Fig. IV-39), qui montre que le bassin versant de l'Oued Amzaz est très mal protégé. La valeur la plus fréquente est celle de la classe 5, avec une superficie de 17606 ha ce qui fait 46 % de la superficie total du bassin. Pour les autres classes les valeurs des superficies décroît du degré le plus faible au degré le plus fort, donc on peut dire que au niveau de l'Oued Amzaz plus grande est la superficie, plus faible est la protection.

Classe	Degré de protection	Superficie en (ha)	% Superficie	% cumulé
1 (MA)	Très élevé (MA)	1515	4	4
2 (A)	Elevé (A)	3508	9	13
3 (M)	Moyen (M)	6351	16	29
4 (B)	Faible (B)	9758	25	54
5 (MB)	Très faible (MB)	17606	46	100
	Total	38738		

Tableau IV-14 : Table de données relatives au degré de protection

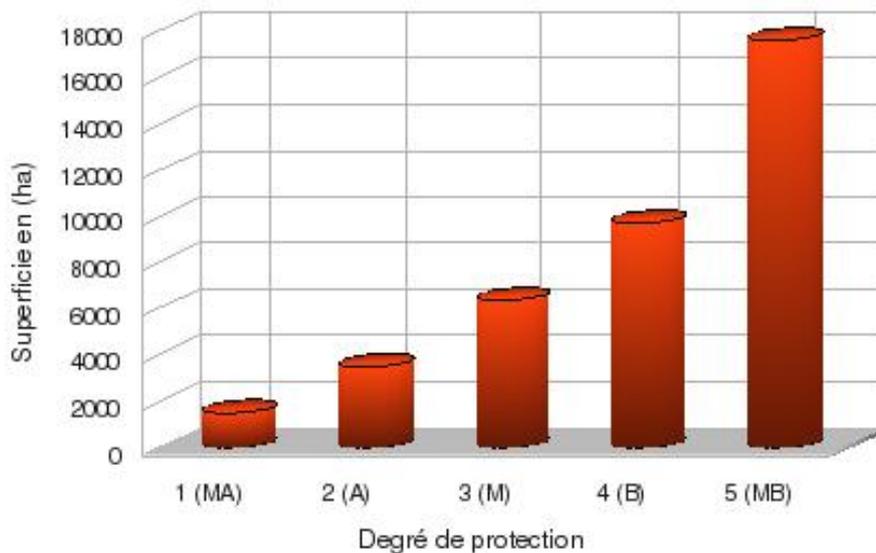


Figure IV-39 : Histogramme des fréquences des classes de degré de protection en fonction des superficies

Pour la courbe des fréquences cumulées (Fig. IV-40), elle montre que plus que 71 % de la superficie total se situe à un degré de protection faible à très faible.

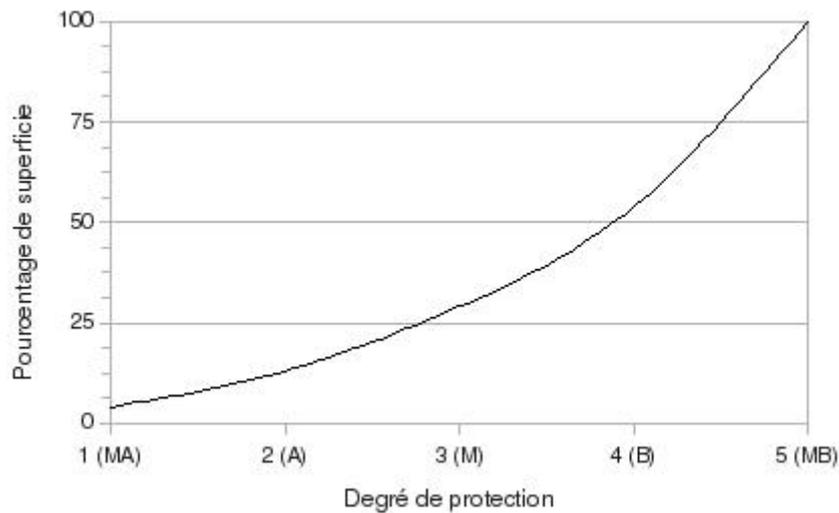


Figure IV-40 : courbe des fréquences cumulées des degrés de protection

La répartition des classes de protection du sol (Fig. IV-41) montre que les zones de très faible protection se trouvent partout dans le bassin, surtout la partie aval, les zones de protection élevée sont rarement rencontrées et ils sont localisés dans la partie amont. Autre chose à signaler c'est qu'au niveau de jbel Outka on a montré par spot et par observation sur le terrain que la dégradation et le défrichement sont très marqués. Mais d'après la matrice appliqué cette zone montre une protection élevé, cela peut être expliqué par la résistance que confère les racines bien sur cela ne va pas durer longtemps. Donc on peut dire que la matrice est réalisée afin de s'adapter avec les changements et la dégradation que peut subir le couvert végétal dans le temps et dans l'espace.

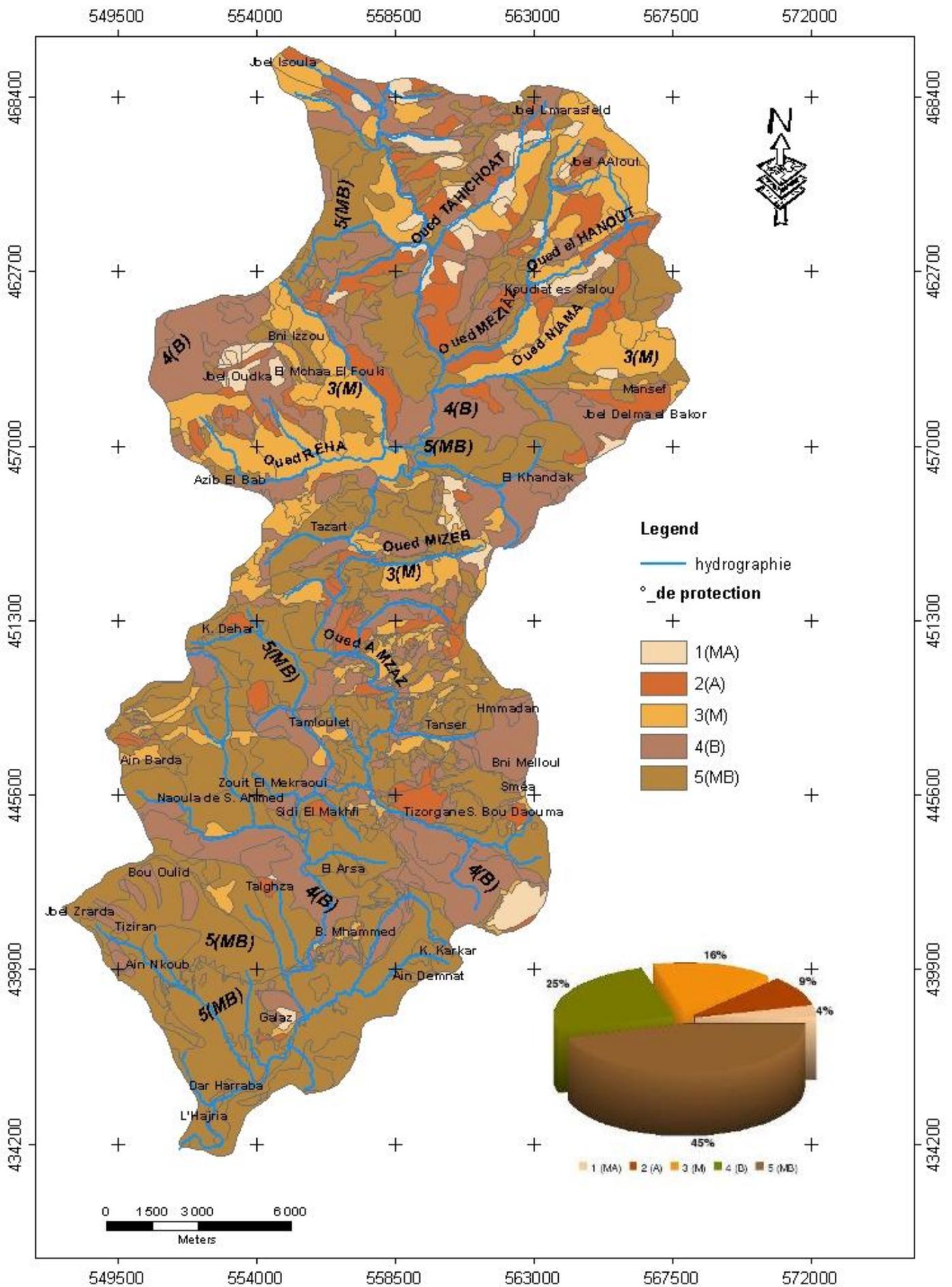


Figure IV-41 : Carte de protection des sols

IV-III. Elaboration de la carte des états érosifs

La carte des états érosifs est réalisée à partir de la superposition de la carte d'érodibilité et celle de la protection des sols (Fig.IV-42), les polygones résultant vont être classés selon la matrice (Tab IV-15)

Degré de protection des sols	Degré d'érodibilité				
	1(EN)	2(EB)	3(EM)	4(EA)	5(EX)
1(MA)	1	1	1	2	2
2(A)	1	1	2	3	4
3(M)	1	2	3	4	4
4(B)	2	3	3	5	5
5(MB)	2	3	4	5	5

Légende (codification) des états érosifs:

- 5. très élevé
- 4. élevé
- 3. notable
- 2. faible
- 1. très faible

Tableau IV-15 : Matrice: Degré de protection des sols vs. Degré d'érodibilité

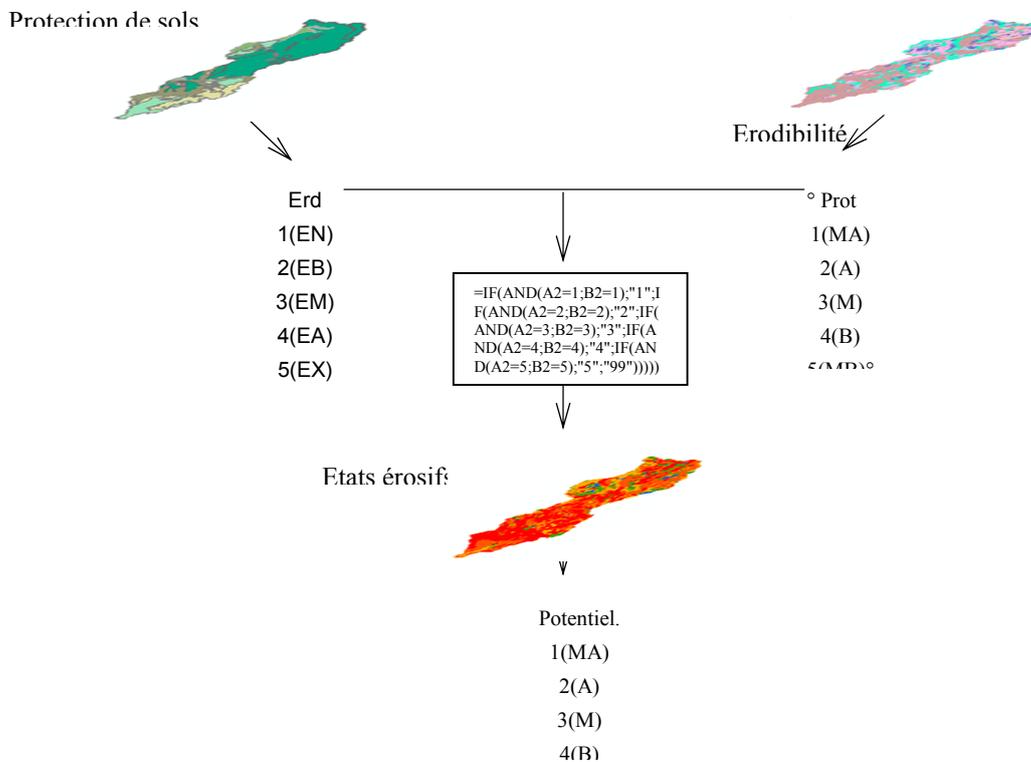


Figure IV-42 : séquence de la réalisation de la carte des états érosifs

Le traitement de la base de données a abouti à la réalisation du tableau 16 qui montre les classes en fonction des superficies, pourcentage de superficie et superficies cumulées, à partir de ce tableau on a réalisé l'histogramme des fréquences (Fig IV-43) qui montre que la classe la plus représentative est celle de l'érosion élevée avec 14114 ha. En ce qui concerne la classe du degré d'érosion élevée, il elle représente 10458 ha ce qui fait 27 % de la superficie total. La classe des degrés notable représente 8684 ha. Les classes d'érosion faible est très faible ne dépassent pas les 10 %. Cela montre que le bassin versant de l'Oued Amzaz représente une grande superficie très vulnérable à l'érosion. Cela aura beaucoup de répercussion sur la productivité des sols et par conséquence la qualité de vie des populations de la région.

Classe	Degré d'érosion	Superficie en (ha)	% Superficie	% cumulé
1	très faible	1528	4	4
2	faible	3937	10	14
3	notable	8684	22	36
4	élevé	10458	27	63
5	très élevé	14114	37	100
	Total	38721		

Tableau IV-16 : Table de données relatives au degré d'érosion

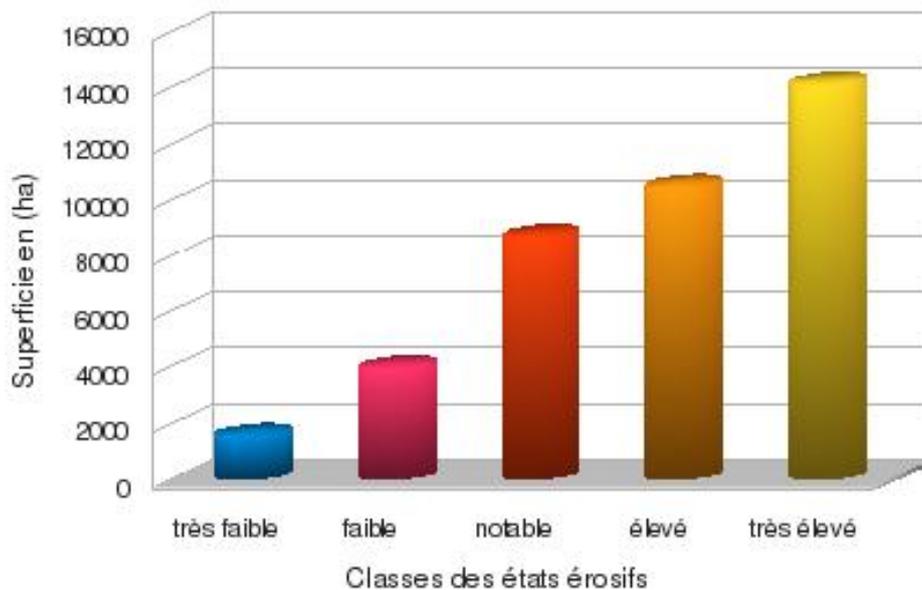


Figure IV-43 : Histogramme des classes de degré d'érosion en fonction des superficies

La courbe des fréquences cumulées (Fig. IV-44) confirme que plus que la moitié de la superficie du bassin versant de l'Oued Amzaz présente une érosion élevée à très élevée.

Cela peut être expliqué par l'interaction de plusieurs facteurs tels que la pente, la lithologie, le couvert végétal, et surtout le facteur humain qui ne cesse de dégrader l'environnement et de rendre les milieux naturels de plus en plus vulnérables à l'érosion.

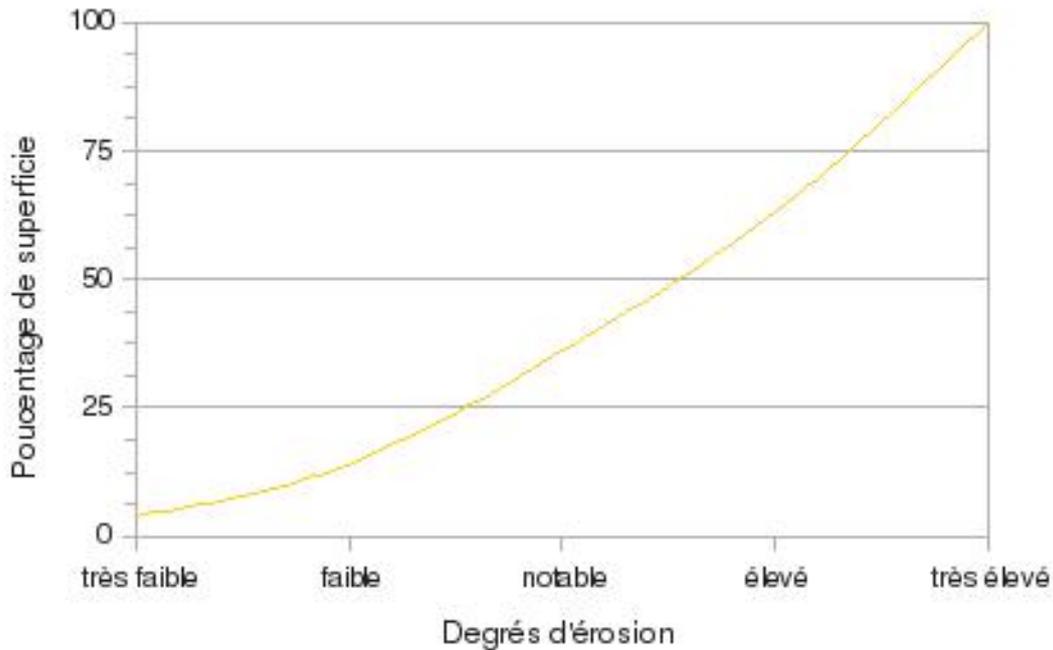


Figure IV-44 : courbe des fréquences cumulées des degrés d'érosion

La répartition de ces superficies sur la carte des états érosifs (Fig. IV-45) montre que les zones les plus érodées se situent à la partie aval notamment dans le sous-bassin versant de l'Oued Bni Ziad et celui de Tanser situé sur la partie Est. Ailleurs l'érosion très élevée suit le schéma que dessine le réseau hydrographique avec des différences notamment dans les régions situées à l'amont, par exemple au niveau de l'Oued Thichouat et l'Oued Mziez en remarque que l'érosion prend de l'ampleur d'un côté des oueds alors que de l'autre côté elle est moins grave, cela est expliqué par la présence d'un couvert végétal dense sur la partie moins érodée. On remarque aussi que les zones qui s'échappent à l'érosion très élevée sont affectées par une érosion élevée, localisée surtout dans la partie amont, notamment à jbel Lmrassfeld, jbel Aloul et le jbel Manséf. Au niveau du jbel Outka l'érosion est notable pour l'instant. Mais si on tient compte du facteur humain, on remarque aussi que là où les populations vivent coïncident avec les zones d'érosion élevée avec des petites localités qui se développent tenant compte du composant sol. En ce qui concerne l'érosion faible ils se manifestent dans des zones réduites notamment dans les parties amont là où le couvert végétal est dense.

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

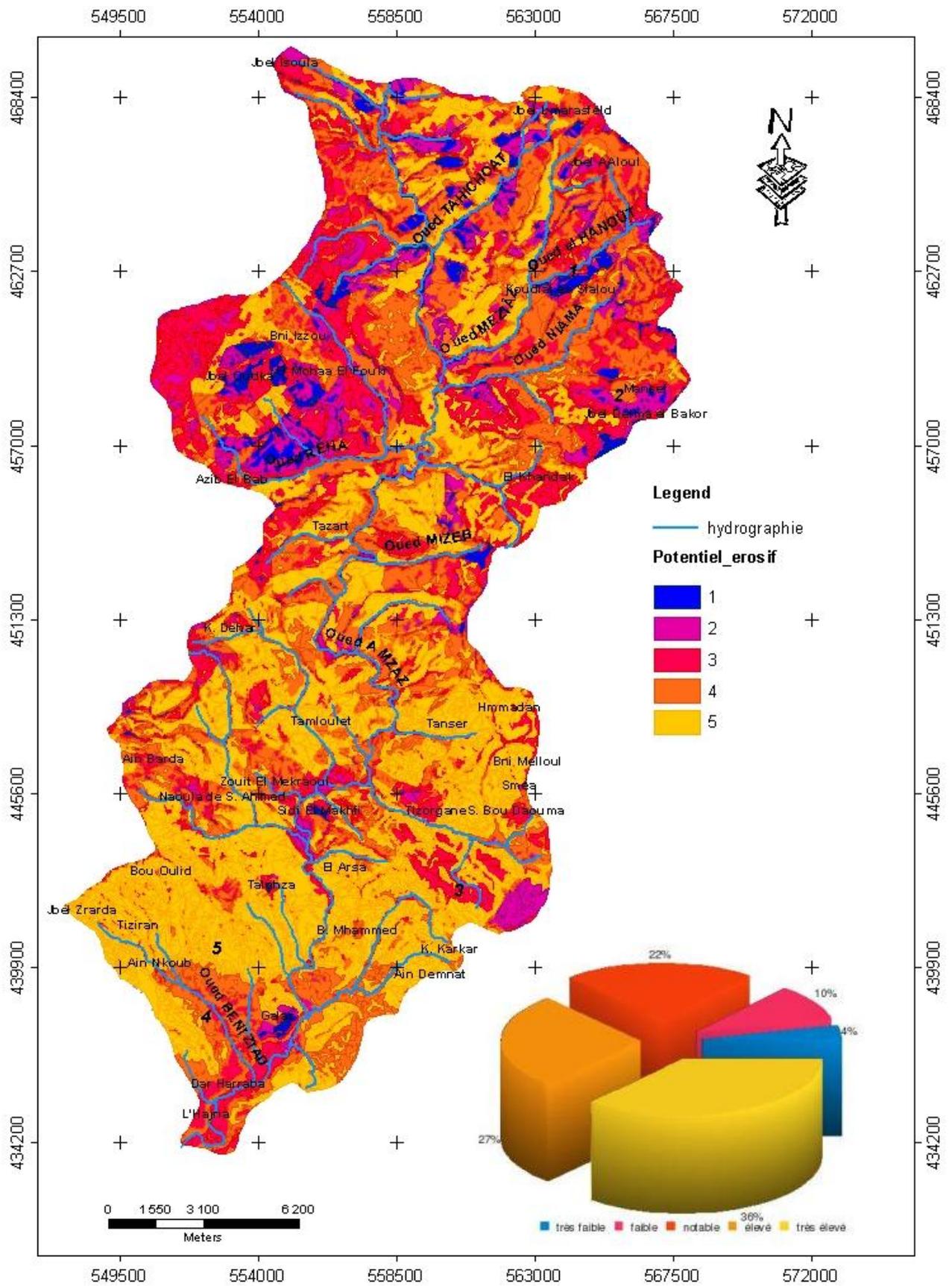


Figure IV-45 : Carte des états érosifs

IV-IV. Définition des facteurs causaux de l'érosion

D'après les facteurs étudiés précédemment on peut dire que le bassin versant de l'Oued Amzaz est dans un état très grave, 63 % des surfaces montre une érosion très élevée à élevée. Le reste, se sont des petites parcelles moins érodées. A ce niveau et grâce à l'application des directives PAP/CAR, qui porte sur la phase prédictive, on peut délimiter les zones où l'influence de l'érosion est très marquée. Les classes d'érosion obtenues sont les résultats de la superposition de plusieurs facteurs. Chaque facteur a contribué par une valeur afin de donner un terme aux différents degrés d'érosion. Pour cela on a pensé à creuser profondément à l'intérieure de la base de données relative aux degrés de l'érosion pour tirer les facteurs clé responsables de donner un terme à cette classification.

La méthode adoptée consiste à filtrer pour chaque facteur d'érosion les pourcentages de ces surfaces à l'intérieur de chaque classe. Le tableau IV-16 montre les pourcentages tirés après traitement de la base de données.

Faible				Modérée				Moyenne			
litho1	pent1	occp1	%co1	litho2	pent2	occp2	%co2	litho3	pent3	occp3	%co3
15	24	0	22	11	21	17	25	0	6	18	58
68	26	20	27	61	20	17	25	59	10	18	18
12	35	20	26	9	20	16	25	17	36	14	19
4	25	21	25	16	20	17	25	14	36	18	5
1	0	20	0	3	19	17	0	10	12	18	0
0	0	19	0	0	0	16	0	0	0	14	0
Forte				Extrême							
litho4	pent4	occp4	%co4	litho5	pent5	occp5	%co5				
3	0	58	39	1	0	57	37				
64	11	15	26	35	0	31	37				
7	13	1	16	20	55	0	23				
10	38	6	19	26	17	2	3				
14	38	16	0	18	28	7	0				
0	0	4	0	0	0	3	0				

Tableau IV-16 : Table de données relative aux différentes classes d'états érosifs

La répartition de ces classes a été résumée sur un seul graphique (Fig. IV-46) ils montrent les pourcentages avec lesquels chaque facteurs participe. L'ensemble de ces facteurs correspond à un état érosif.

Pour la classe qui présente un degré d'érosion très élevé, elle représente 37 % de la superficie, à l'intérieur de ces 37 %. Pour la pente en remarque que la classe qui règne et celle situé entre 12 % et 20 %, la lithologie et représenté par les faciès les moins résistant notamment les faciès moyennement à fortement modéré. Pour la couverture végétale, le pourcentage le plus élevée est attribué aux cultures sèches. La densité de couverture est quasi absente vue que la classe la plus représentative ne dépasse pas 25 %. La remarque la plus intéressante à ce niveau, c'est la présence de la pente modérée avec un fort pourcentage. Logiquement on doit trouver des pentes extrême au niveau de cette partie, Ce n'est pas le cas, donc une forte pente n'implique pas une érosion très élevé car la lithologie friable, La présence des cultures sèches, et une très faible densité de recouvrement ont joué un rôle prépondérant pour que cette partie qui présente un degré d'érosion très élevé.

Pour le degré fort, il représente 27 % de la superficie total du bassin, les facteurs les plus pondérant à ce niveau sont la lithologie dont la classe la plus représentative et celle des roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altéré, et les cultures sèches. On remarque aussi que la densité de la couverture est devenue plus importante par rapport à la classe d'érosion extrême. Mais le changement le plus parlant c'est celui de la pente car on remarque que les classes des pentes devient de plus en plus forte, mais leur effet n'apparaît pas, cela peut être expliqué par l'apparition des classes de forte densité de couverture.

En ce qui concerne la classe d'érosion notable, elle représente 22 % de la surface totale. Dans cette classe c'est la densité de couverture qui prend l'ampleur. Le problème c'est qu'il participe avec surtout le degré le plus faible (>25 %). On peut donc dire ici que la densité de couverture joue surtout le rôle de stabilisateur et non pas protecteur, en ce qui concerne la pente, elle n'a pas connue un grand changement, sauf que la classe 5 à diminuer et la classe 3 a pris le relais.

Pour les classes qui présentent un degré d'érosion faible et très faible, en remarque que les facteurs densité, occupation des sols et pente sont plus au moins constants, est représentent des faibles pourcentages. Au contraire la classe lithologique des sols cohésifs fracturés ou modérément altérés confirme que là où elle existe il y a une érosion faible.

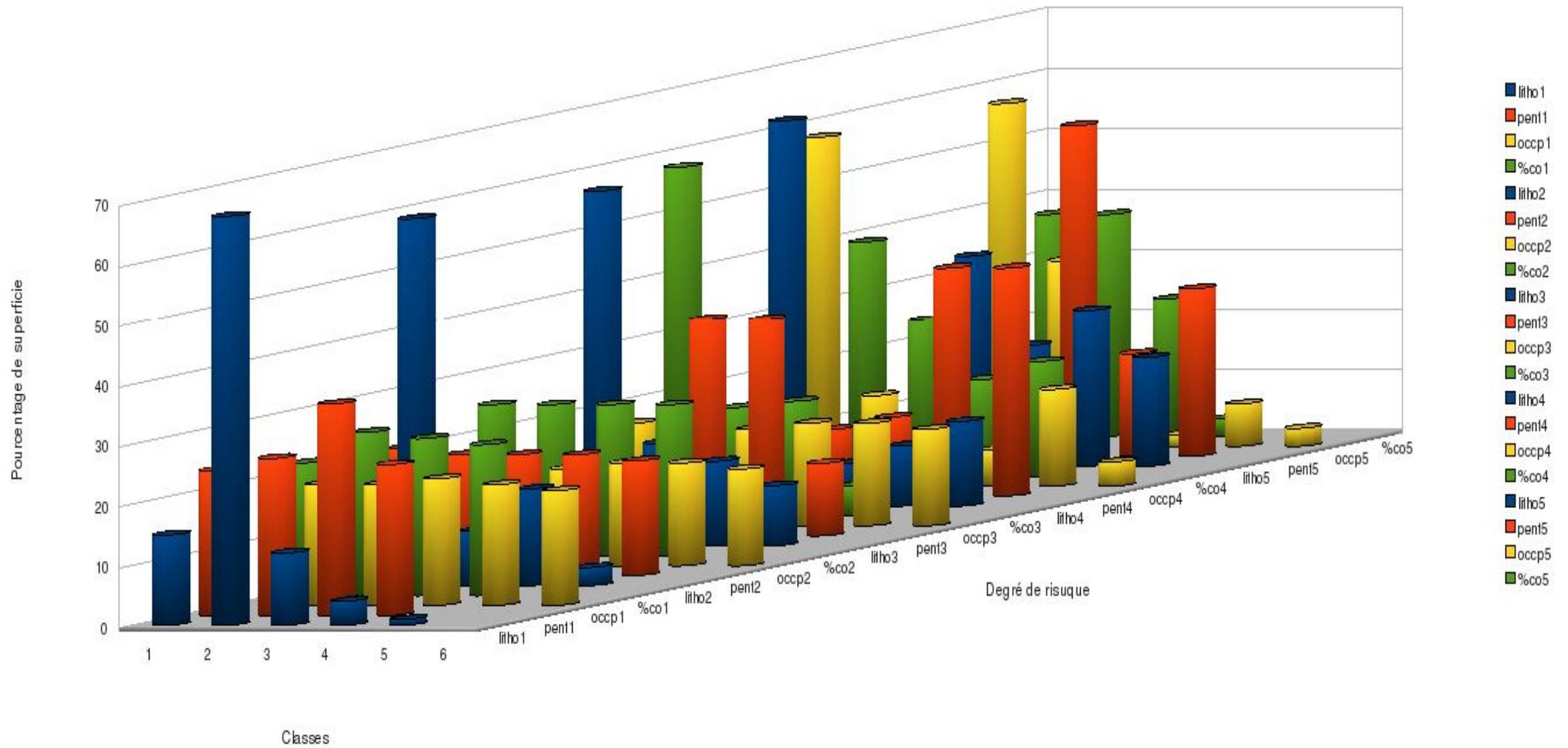


Figure IV-46 : Histogramme des pourcentages de fréquences des facteurs de l'érosion

Chapitre V. Approche descriptive

Cette partie a fait l'objet d'une sortie de terrain, le but a été d'une part l'observation et l'étude des différentes formes et processus de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Amzaz, d'autre part de vérifier les données cartographiées à partir des images satellites et des cartes de la phase prédictive.

V-1. Erosion en nappes

Dans la partie aval notamment le sous bassin versant de l'Oued Bni Ziad, l'érosion en nappe (Fig.V-47) est localisée là où la pente est faible notamment au niveau d'Ain Nkoube. Elle se manifeste par des plages de couleur claire qui montrent que le sol est peu développé et que la quantité des éléments nutritifs essentiels à la croissance des végétaux est très faible. Les parcelles qui montrent des couleurs sombres témoignent d'un sol riche en substances utiles. La superficie de cette forme au niveau du bassin versant de l'Oued Amzaz est très réduite. Cela est dû au pourcentage élevé des pentes fortes. Son danger réside dans le fait qu'elle passe inaperçue tout en évacuant la matrice fine et en solution ce qui appauvrit le sol.

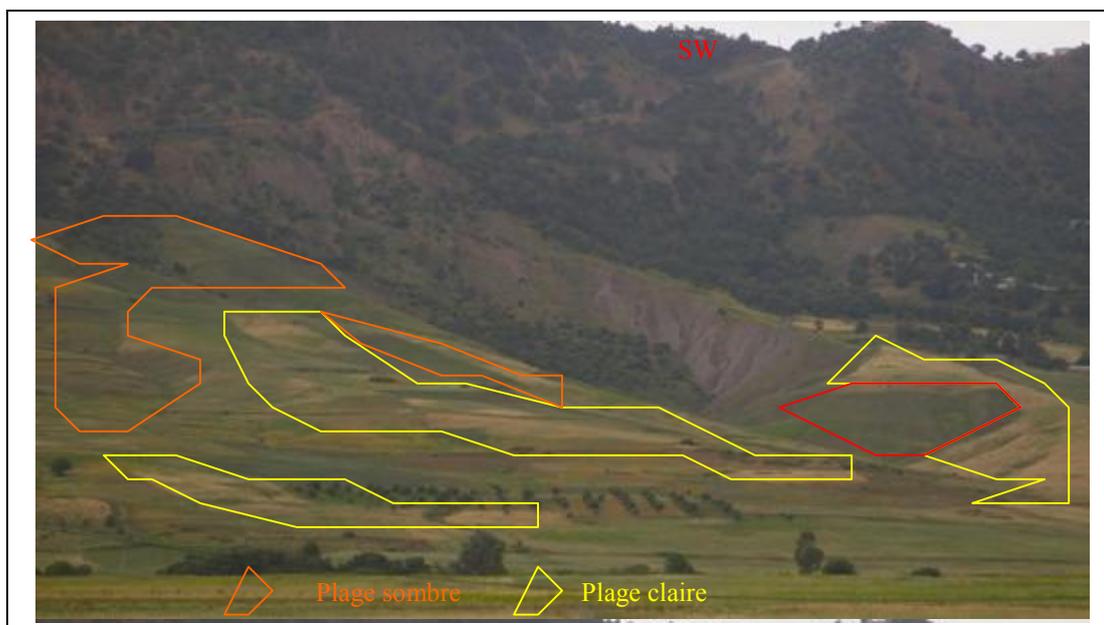
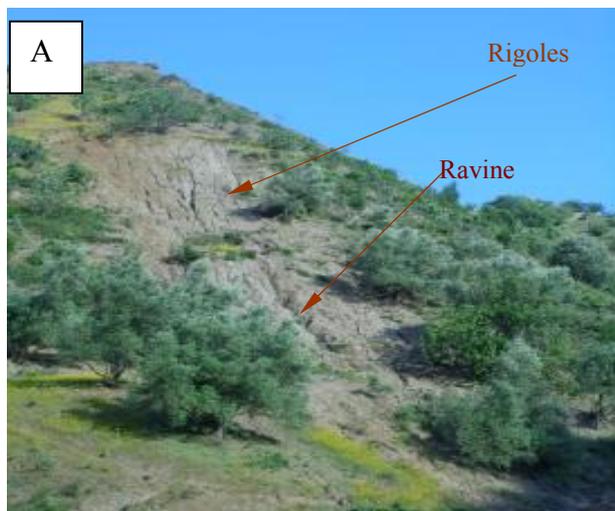


Figure V-47 : localisation des de l'érosion en nappe au niveau de Ain Nkoube (Galaz)

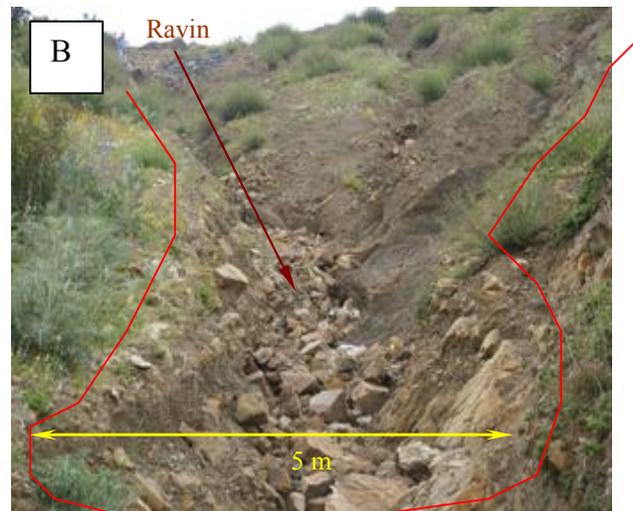
V-2. Erosion en rigoles, en ravines et en ravins

Les formes linéaires de l'érosion (Fig V-48) correspondent aux formes les plus rencontrées dans le bassin versant de l'Oued Amzaz. La figure (V-48.A), montre au niveau de Bou Oulid que l'érosion en rigole a pris l'ampleur et a évolué en érosion en ravines, au niveau de la route Bab-Chraka – Bou Oulid on remarque que le ravinement prend de plus en plus de l'ampleur.

Ces formes se développent 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, ils acquièrent une énergie qui va creuser des incisions qui vont concentrer le ruissellement et 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 qui témoigne que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie 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, mais des graviers ou des cailloux et des blocs (Fig V-48.B), lorsqu'il sera organisé en ravins.



Rigoles au niveau de Bou Oulid



Ravin au niveau de la route Baba Chraka-Bou Oulid

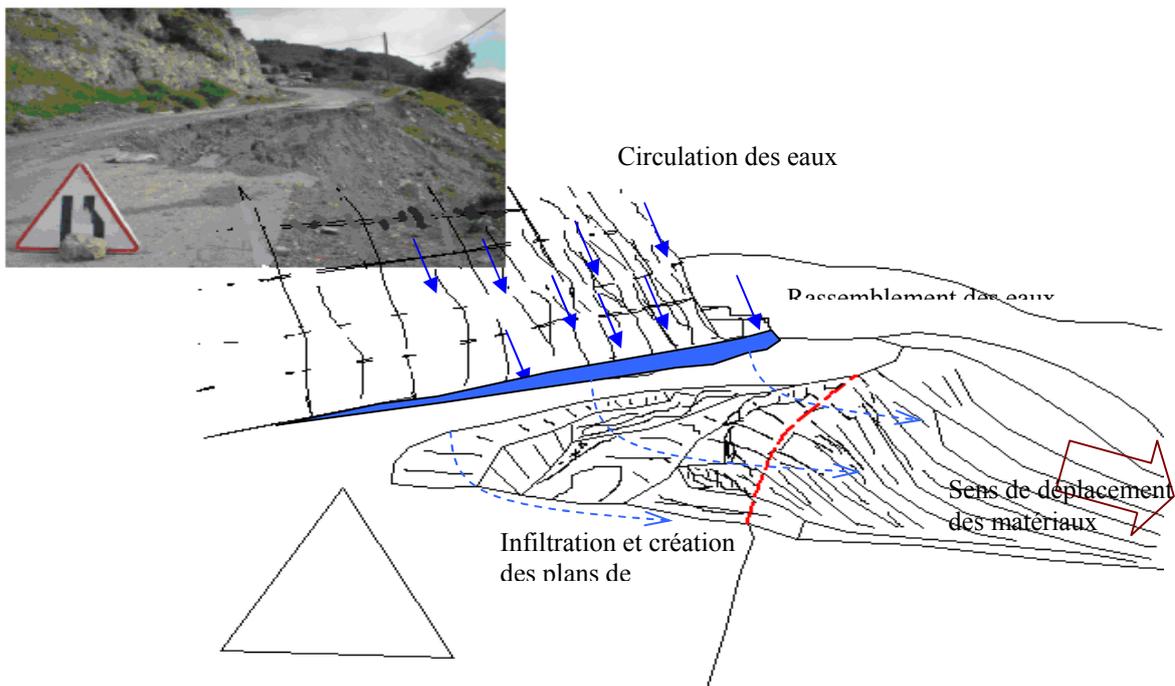
Figure V-48(A et B) : Rigoles et ravin au niveau de Tizighan et Bab Chraka

V-3. Les mouvements de masses

Les mouvements de masse qui affectent la surface du bassin versant de l'oued Amzaz sont surtout des mouvements de solifluxion car les faciès dominants sont les schistes et les marnes. La cause des mouvements de masse est à rechercher dans le déséquilibre de la couverture pédologique provoqué par le stockage de l'eau dans les espaces interstitiels et le déséquilibre provoqué par les changements géographiques apportés par le facteur humain.

Ce déséquilibre peut se manifester progressivement sur un ou plusieurs plans de glissement suite à l'humectation. Ces glissements sont responsables de l'instabilité qui affecte l'infrastructure humaine. C'est le cas de la route Galaz – Bab Chraka, et le projet d'une huilerie à Outka qui n'a pas pu voir le jour décrit plus bas.

Au niveau de la route (Fig. V-49) Le facteur qui a favorisé le déséquilibre est l'aménagement de la route par la création d'une plate forme avec un fossé en amont. Le désordre s'est manifesté par le changement de la dynamique du milieu a fin de rétablir l'équilibre, La cause de ce glissement est liée au fait que les eaux qui arrivent de l'amont, s'accumulent dans le fossé de la route et s'infiltrent dans le socle graveleux, perméable de la route et imbibent en profondeur le substrat en dessous qui devient instable favorisé en ceci par le passage répété des véhicules. Ces conditions ont provoqué le déplacement d'une grande quantité de matériaux, qui ont atteint leur limite de plasticité, et glissé sous forme de glissement rotationnel sous l'effet de la gravité, ce glissement qui a causé d'énormes dégâts économiques et humains.



Au niveau de l'huilerie de l'Mchaa, un projet qui n'a pas pu voir le jour, on remarque que le dépassement des limites de plasticité et de liquidité du matériau combiné au poids de la construction sont la cause de ce désastre (Fig. V-50).

Une période pluvieuse a provoqué l'imbibition du sol et du substrat marneux en profondeur et les a rendus très plastiques. Le poids et la position de la fondation se sont combinés pour appliquer une force sur le substrat imbibé et chasser l'eau des espaces interstitielle de façon irrégulière et fait tasser le sol au niveau des zones où les forces sont les plus intenses. Ceci a déséquilibré le support de la construction et des fissures sont apparues dans les murs. L'huilerie est devenue par conséquence inutilisable.

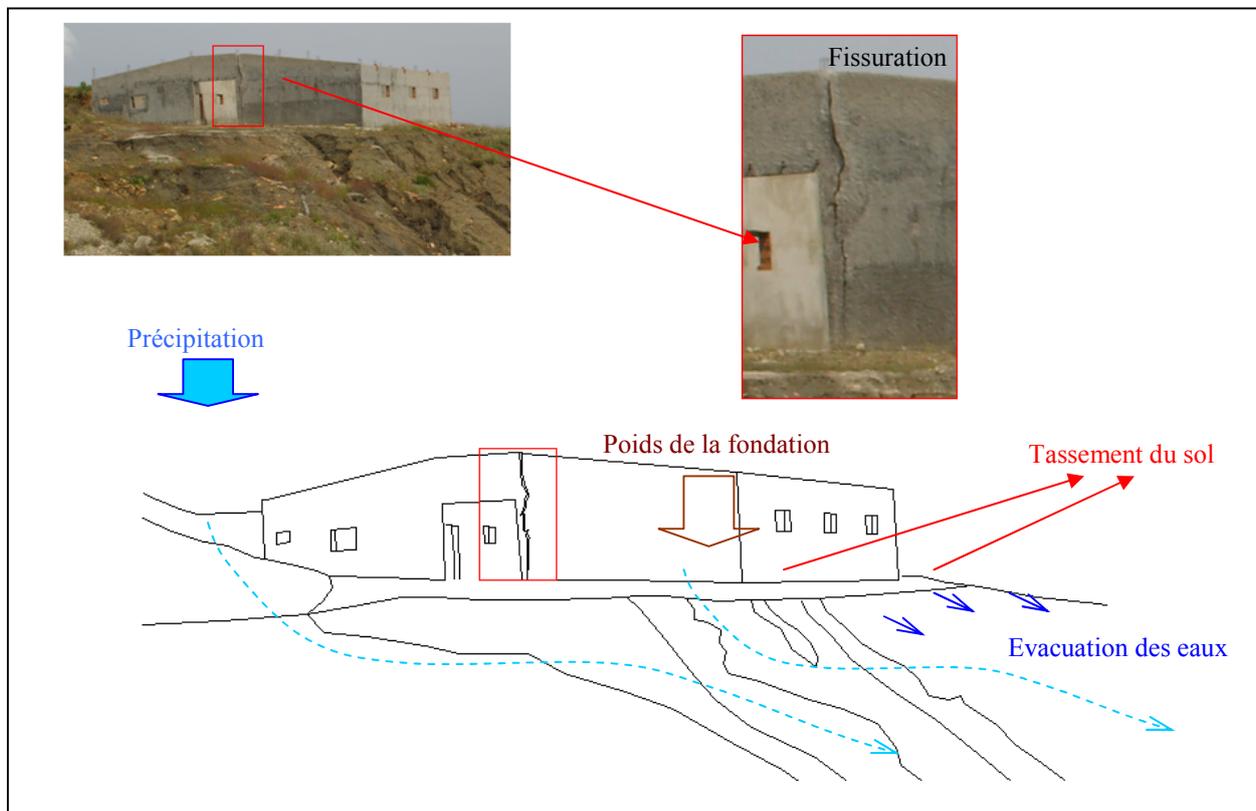


Figure V-50 : Processus de fissuration de l'Huilerie de L' Mchaa

Au niveau de Bab Chraka (Fig.V-51) un glissement sous forme de coulée boueuse a provoqué la perte de plus de 20 oliviers. Selon des témoins il s'est manifesté après des précipitations qui ont duré plus de 18 h avec des quantités d'eau jamais vues auparavant. La cause de ce comportement est liée surtout à friabilité du substrat en plus de l'agressivité des pluies et la pente raide de ce flanc de ravin. La forte humectation a provoqué le déplacement d'une masse assez importante de sol, qui a coulé en masse suivant le talweg, la coulée a parcouru plus de 40 m avant de se stabiliser et de s'arrêter après avoir détruit tout sur son chemin (Olivier, Amandier, Figuier...).

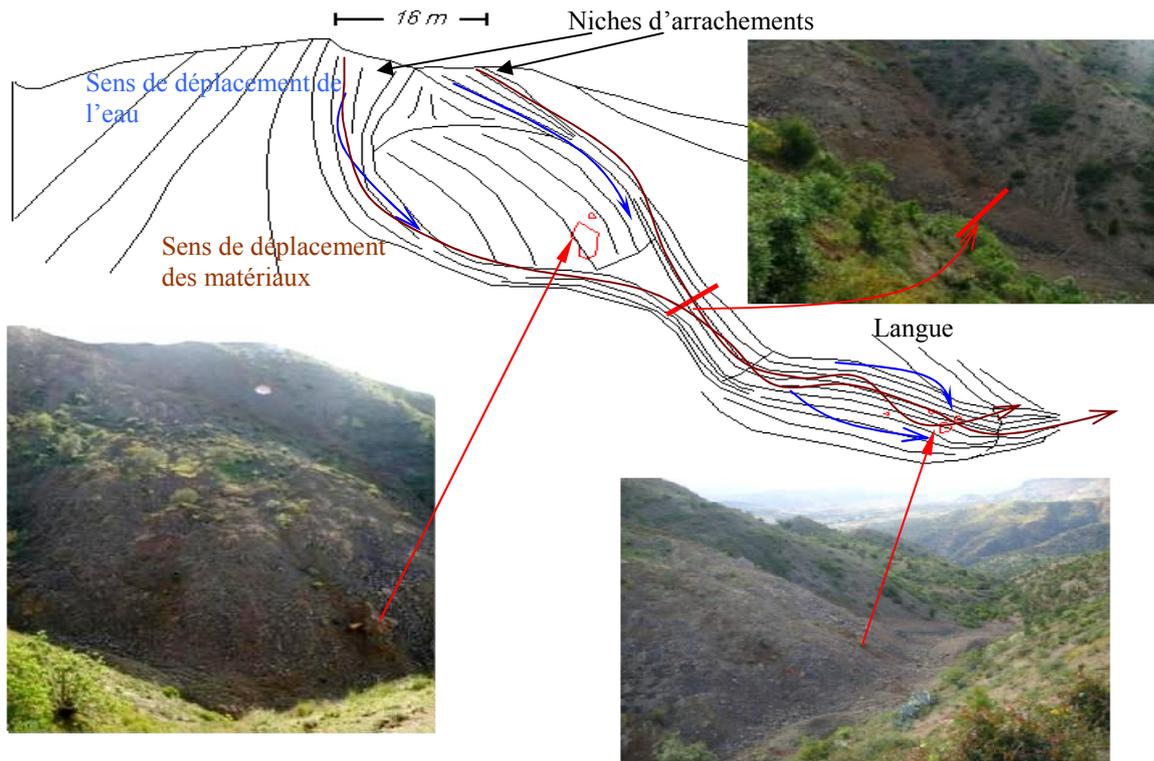


Figure V-51 : le glissement coulé de Bou Afia.

Les effondrements (Fig. V-52) se sont des formes observées au niveau des versants très humides. Il s'agit d'un phénomène d'érosion interne qui affecte principalement les terrains marneux et argileux. Cela consiste en un entraînement des particules (d'abord assez fines) dans la masse de sol du fait de circulations hypodermique rapides d'eau interstitielle. Le terrain est alors localement soustrait en profondeur d'une partie de sa matrice fine, ce qui crée une diminution de la densité du sol et provoque des effondrements qui peuvent avoir des dimensions métriques. Lorsque la taille de ces vides devient trop importante, des effondrements brutaux de terrain peuvent localement survenir entraînant souvent des désordres en surface.



Figure V-52 : Effondrement au niveau d'Ain N' Koub

V-4. Erosion par les cours d'eau

L'érosion par les cours d'eau est liée surtout à la turbulence des eaux courantes qui accomplit le travail érosif des cours d'eau. La turbulence est généralement active lors des crues spasmodiques et soudaines. L'érosion peut se manifester par le sapement des berges éboulement et ablation des fonds des chenaux. La figure V-53 montre que l'eau s'attaque surtout à la matrice fine ainsi les roches les plus résistant se retrouvent en position de porte-à-faux de ce fait elles tombent par graviter. Autre chose à signaler c'est que la capacité du cours d'eau à transporter sa charge de sédiments dépend de la vitesse du courant et son énergie. Un chenal est considéré en équilibre lorsque toute l'énergie du courant est dépensée dans le transport des sédiments.

Bien souvent les conditions d'équilibre ne sont pas réunies et la différence entre les apports de sédiments et la compétence du cours d'eau est la cause soit d'une érosion ou d'un dépôt (Coque 1977, sundborg1986 in Sadiki 2005). Si la charge en sédiments est faible par rapport à la capacité de transport du cours d'eau, l'énergie disponible est utilisée pour l'érosion des berges et du fond du lit.

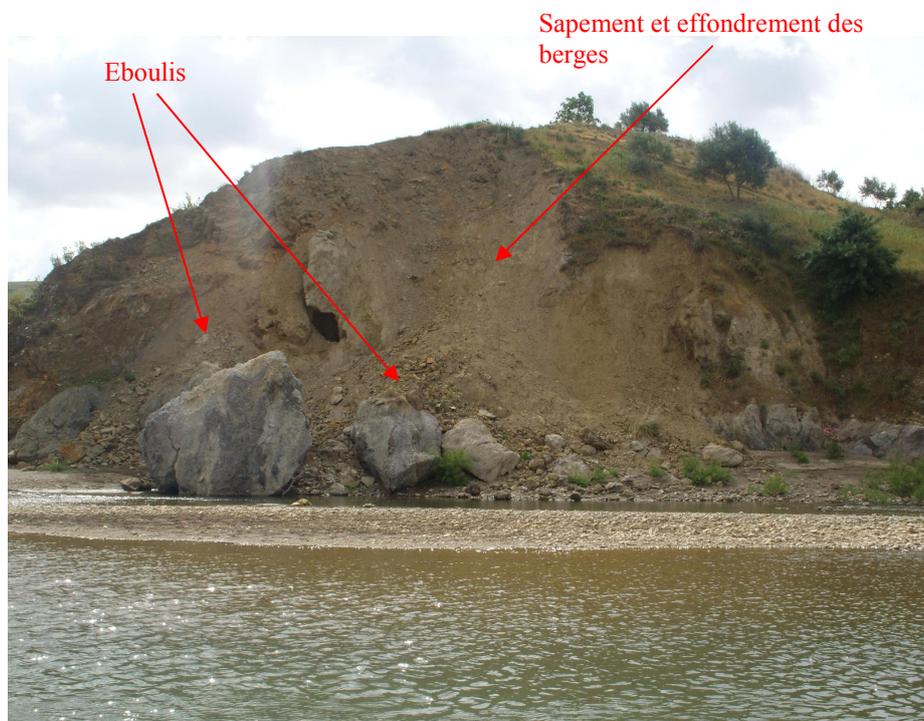


Figure V-53: Erosion par le cours d'eau d'Amzaz au niveau de Galaz

V-5. Carte des formes de l'érosion

La carte des formes de l'érosion est réalisée sur la base de la carte (AECF 1994), rectifiée au moyen d'un navigateur satellitaire, et surtout par les observations de terrain. L'analyse de cette carte montre que les formes d'érosion ont cru et se sont multipliées, car dans la plupart des cas, les formes anciennes ont pris de l'ampleur, on a identifié certaines formes qui ne figure pas dans la carte (AECF 1994), tels que des zones de forêts denses sur la carte défrichées récemment au profit des cultures ont subi un décapage de sol très visible.

Le tableau V-17 et la figure 54 résume l'analyse spatiale de la base de données de la carte des formes d'érosion avec, dans la première colonne, les abréviations descriptives des formes utilisées pour les directives du PAP/CAR. Les ravins profonds avec tassement des bordures représentent 3135 ha, le décapage occupe la seconde place avec 2938 ha, pour les ravins moyennement profonds et les badlands ne dépassent pas 2725 ha, le reste sont des formes très localisées et ne dépassent pas 760 ha.

Légende	Formes d'érosions	Superficie en (ha)
CX	Zone a Bad-Lands	2630
C4	Ravins profonds avec tassement des bordures	3135
C3	Ravins moyennement profonds	2725
M1	Solifluxion/éboulis de gravite localises	200
D2	Rigoles et ravinements superficiels	761
L3	Décapage	2938
W1	zones périodiquement inondées et/ou alluvionnées	143
L2	Erosion en nappe	109

Tableau V-17 : Superficies relatives des formes d'érosion

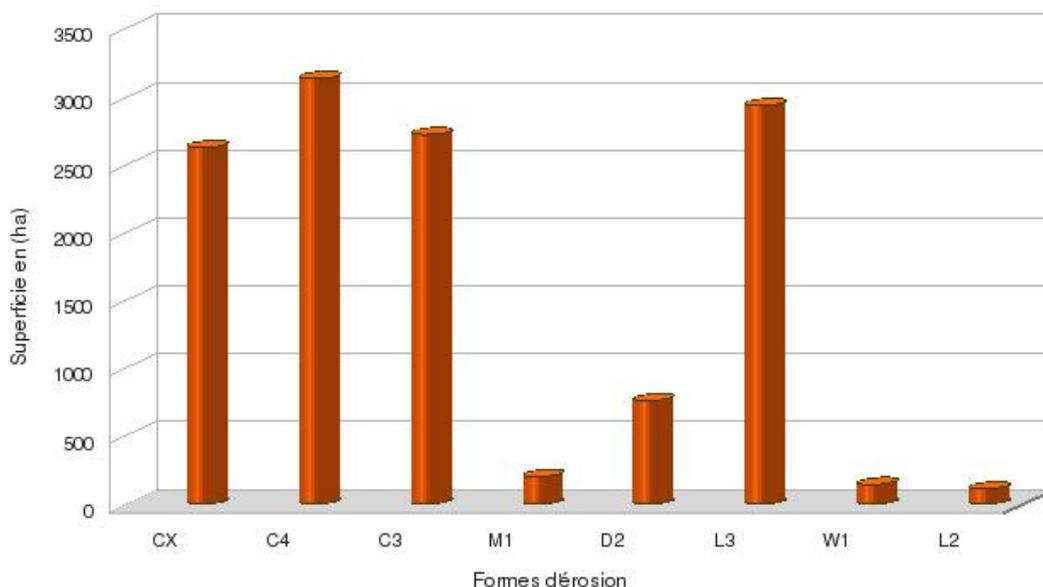
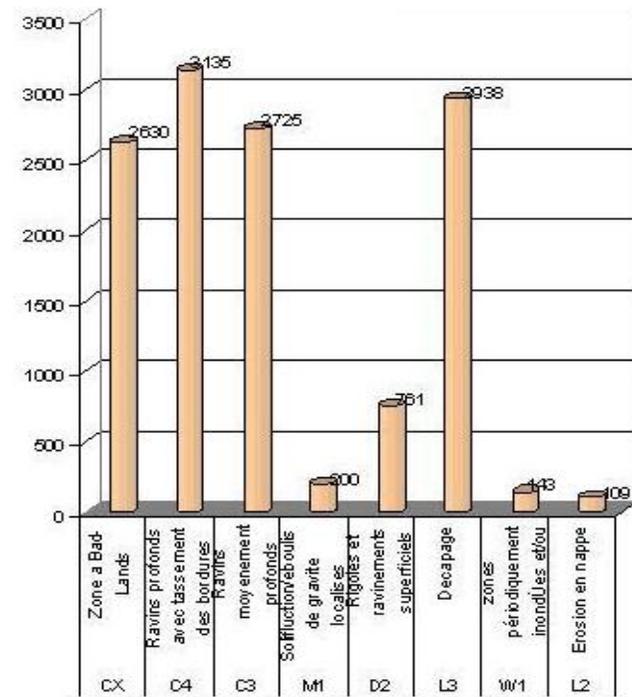
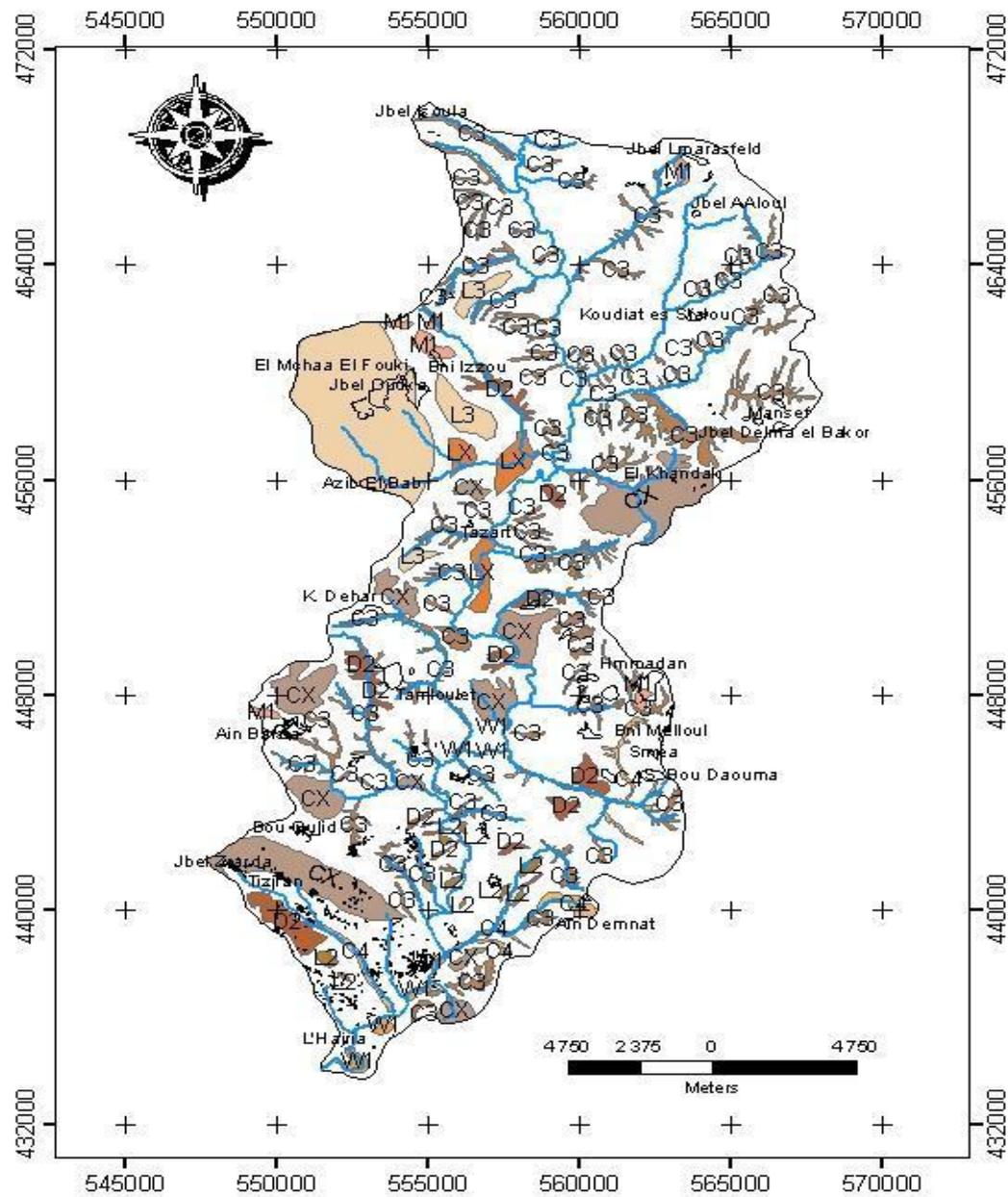


Figure V-54 : Histogramme de fréquence en fonction des superficies relatives

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

La répartition de ces formes dans le bassin versant de l'Oued Amzaz (Fig.V-55), montre que la forme la plus représentée au niveau de la partie amont, et les ravins moyennement profonds et les éboulis, cela est expliqué par la forte pente au niveau de cette zone. Au niveau du Jbel Outka la situation à changé car on assiste actuellement à un très fort décapage, la partie aval notamment à Sidi El Makhfi et Galaz, les formes les plus représentées sont les Bad-lands, les rigoles et les ravinements, cela est expliqué par la vulnérabilité du terrain et les pratiques humains Oqui multiplie cette dernière.



Legende

- L3, Decapage
- L2, Erosion en nappe
- C3, Ravins moyennement profonds
- C4, Ravins profonds avec tassement des bordures
- CX, Zone à Bad-Lands
- D2, Rigoles et ravinements superficiels
- L2, Erosion en nappe
- M1, Solifluction/éboulis de gravite localises
- W1, zones périodiquement inondées et/ou alluvionnées

Figure V-55 : Carte des formes de l'érosion

Chapitre VI : Approche intégration

Cette approche, se présente en quatre parties, la première consiste à réaliser La carte consolidée PAP/CAR, la seconde va être consacrée à la comparaison des données issues de la carte des états érosifs et de la carte réaliser par la DREFT (1994), la troisième ce sont les tendances générales de l'érosion et des exemples de maintenance en fonction de ces dernières. Enfin on comparera nos résultats avec ceux des bassins voisins.

VI-I. Réalisation de la carte consolidé d'érosion PAP/CAR

C'est une carte qualitative (Fig.VI-56), qui combine les données des approches descriptives et prédictives et contient des informations complètes sur les différents aspects des phénomènes d'érosion.

La carte a été réalisée par la superposition des cartes des états érosifs obtenues par la cartographie thématique et la carte des formes d'érosion obtenue par cartographie directe des formes d'érosion sur le terrain ou par les images satellites.

La carte des états érosifs a été utilisée comme canevas cartographique de référence. La superposition a permis de fournir une grille d'unités homogènes pouvant être affectées par une grande variété de processus d'érosion.

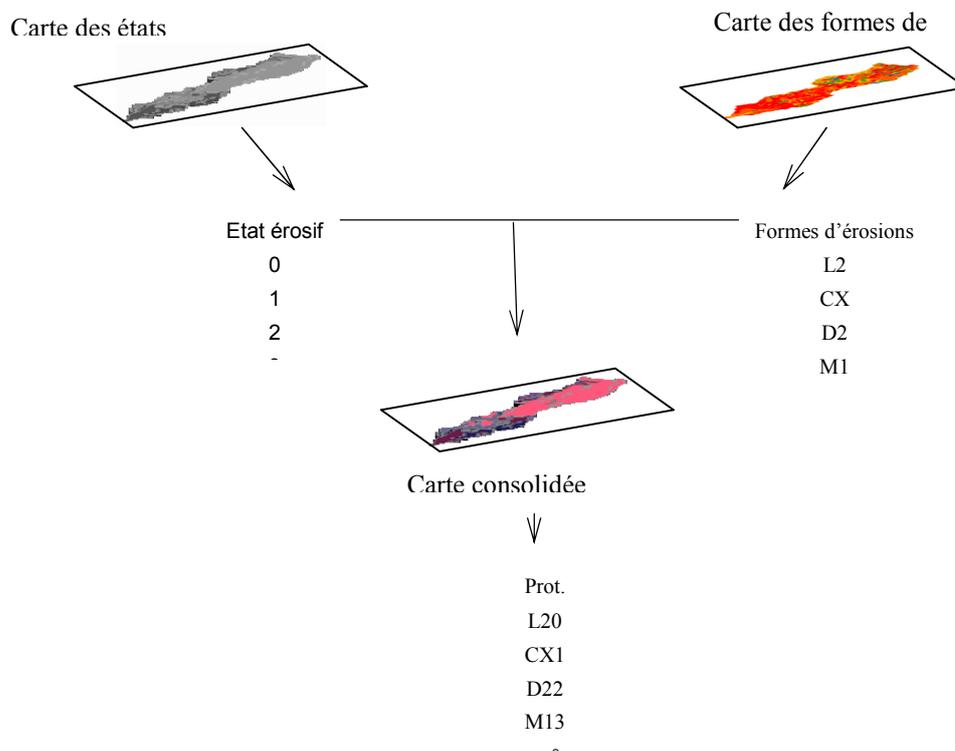


Figure VI-56 : réalisation de la carte consolidée PAP/CAR

La carte consolidée PAP/CAR (voir carte pliée) montre que les ravins moyennement profonds coïncident avec des zones où le degré d'état érosif est faible à moyen, notamment à jbel Aloul, lamrasfeld. Ces zones s'étalent sur une surface de 2725 ha, la présence de ces formes peut être liée à la pente forte et l'agressivité des pluies, malgré ces conditions cette partie n'atteint pas un degré extrême d'érosion. Cela peut être expliqué par la présence d'une densité forte de couverture végétale.

Dans la partie médiane en remarque la présence de toutes les formes : les rigoles et ravinements, situé surtout sur les versants. Les Bad-lands et le décapage caractérisent cette partie, notamment à Bab El Khandak et à Jbel Outka. A ce niveau les activités humaines et l'agressivité climatique liée à un substrat de faible résistance mécanique peuvent être à l'origine de cette situation.

La partie avale est marquée par la présence de l'érosion en nappe localisé là où la pente est faible notamment à Ain N'koub. Les zones périodiquement inondées situées à Galaz et à Lhajria localisées surtout sur les berges de l'Oued Amzaz posent beaucoup de problèmes lors des crues à cause des sapements des berges.

Les bad-lands sont liés surtout à des terrains de forte pente et une densité de couverture faible. en ce qui concerne le degré d'état érosif, la partie avale montre un degré fort à extrême. La liaison des états prédictives et descriptive témoigne que cette zone est très vulnérable à l'érosion.

VI-II. Comparaison de la carte consolidé PAP/CAR et USLE (DREFLCD. 1994)

La composante de mesure correspond à des résultats quantitatifs de l'érosion par différentes méthode (USLE de Wischmeier et Smith, Le radio-isotope Césium 137, le modèle sédimentologique...) pour appuyer la résultats du PAP/CAR.

La composante de mesure qu'on a utilisée est l'USLE de Wischmeier effectué par la DREFT 1994. Le travail de la DEFRT s'est basé sur deux analyses :

L'analyse des débits solides à l'exutoire qui renseigne sur la contribution au comblement de la retenue du barrage El Wahda. Il a montré que le bassin versant de l'Oued Amzaz participe avec 30 à 35 t/ha. Une valeur énorme par rapport aux autres bassins.

Le modèle de Wischmeier permet de quantifier l'érosion en nappe et en rigole. Ce modèle a montré des résultats de perte en terre énormes qui peuvent aller jusqu'à 400 t/ha/an à Amzaz.

L'intérêt des résultats du modèle va porter sur la comparaison relative des différentes zones et la localisation des principales sources de sédiments. L'intégration de ces deux sources de données (USLE et débits solides) a permis d'hierarchiser la gravité de l'érosion en trois classes : forte, moyenne et faible.

La figure VI-57 montre la répartition des classes dans le bassin versant de l'Oued Amzaz selon DREFT (1994). En comparaison avec la carte des états érosifs (PAP/CAR), on remarque que les zones à érosion forte sont pratiquement confondues avec celles dictées par le PAP/CAR 'Extrême'. Au niveau de la partie aval, la situation est légèrement différente, car l'érosion extrême a pris de l'ampleur par rapport à celle décrite sur la même zone dans le travail de la DREFT. La même chose est observable au niveau du Jbel Outka le décapage est devenu beaucoup plus actif.

Ce modèle (USLE) a été élaboré aux Etats-Unis à partir de plusieurs milliers de parcelles. Les conditions d'utilisation de ce modèle dans un pays autre doivent être considérées avec beaucoup de prudence sauf si elles ont été appliquées sur une surface restreinte où on peut maîtriser les conditions standard. Leur application sur de vastes bassins versants est sujette à discussion dans de nombreux pays surtout par les professionnels (Ingénieurs des Eaux et Forêts au Maroc).

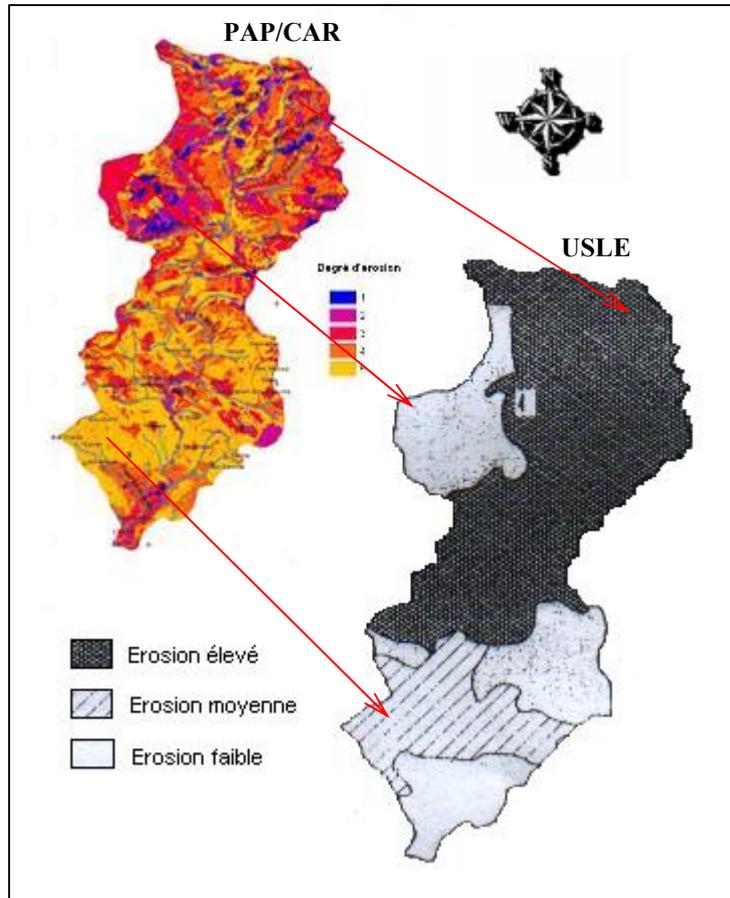


Figure VI-57 : Comparaison entre la carte des états érosifs et la carte USLE

VI-III. Tendances générales de l'érosion et types de maintenances.

VI-III-1. Tendances de l'érosion

La description et la cartographie de l'érosion réelle sont nécessaires et très utiles car c'est au moyen des observations de terrain qu'on va déterminer la tendance de l'érosion. Les données fournies par la cartographie prédictive vont nous aider à situer les zones où le risque est élevé. Du couplage des données prédictives et descriptives vont résulter des zones d'érosion potentielle qui seront indiquées par des codes. Le diagnostic final d'érosion va se présenter avec des symboles uniques et intégrés propres aux directives du PAP/CAR. Ces symboles comme montre l'exemple (Fig.VI-58) vont nous aider connaître les tendances d'expansion de l'érosion et par conséquent les zones qui nécessitent des interventions rapides.

Les zones pour les quelles on va déterminer les tendances sont surtout celles qui ont été visitées lors de la sortie de terrain car ce sont elles qui ont été décrites en détaille. On ne peut pas affecter un degré de tendance sans étudier les facteurs qui accélère ou freinent la dégradation, notamment les activités qui fragilise ou stabilise le milieu naturel.

Evaluation de la tendance d'érosion pour tous les milieux **instables**, affectés par l'érosion, à exprimer par un indice complémentaire (de 0 à 3) au symbole des **unités instables** identifiées:

- 0: Tendance à la **stabilisation**, à la **régression** ou à la **limitation de l'expansion spatiale** du processus d'érosion
- 1: Tendance localisée à l'**expansion** ou à l'**intensification**
- 2: Tendance généralisée à l'**expansion** ou à l'**intensification**
- 3: Tendance de la **dégradation généralisée** vers une **situation irréversible**

Exemple:

- L = érosion en nappe
- L 1 = érosion en nappe localisée
- L 2 = érosion en nappe dominante
- L23 = érosion en nappe dominante avec tendance à la généralisation et à une situation irréversible.

Figure VI-58 : Exemple de l'évaluation de la tendance de l'érosion

Pour la définition des symboles d'intégration dans le bassin versant de l'Oued Amzaz, on va commencer par le sous bassin de Bni Ziad (commune de Galaz, environs de Douar Bou Oulid). La tendance du ravinement a diminué grâce aux efforts menés par la DEFRT, notamment les reboisements (Fig. VI-59) au niveau de Bou Oulid. Cette région connaît à l'heure actuelle un stade moyennement avancé de ravinements. Le reboisement lui permet une certaine stabilisation. Elle va

être codée C30 dans la carte consolidée, ce qui veut dire, ravinement dominant avec tendance à la stabilisation ou à la régression



Fig. VI-59 : Reboisement au niveau de Bou Oulid

A Azaghar, au niveau du versant droit de Sidi El Mekhfi, la situation est très grave. Les Badlands, codé CX, coïncident avec la classe 3 des tendances de l'érosion. Dans cette région les aménagements humains (multiplication des constructions et des routes) a pris l'essor et on assiste à des perturbations énormes de la dynamique des écoulements. Cette partie est classée comme étant des Badlands dominant avec tendance à la généralisation. C'est une zone où l'intervention des pouvoirs publics est une urgence c'est pourquoi dans le plan d'aménagement anti-érosif de la zone réalisé par la DREFLCD de Taza (2010) prévoit un programme pour aménager cette zone.

Vers l'amont et notamment à Azib el Bab, Outka et Lmchaa Lfouki, la carte des formes d'érosion montre une classe L3 (Décapage) or la carte des états érosifs montre que le degré d'érosion est faible à notable, donc cette zone va être codée L32 : Décapage avec tendance à l'expansion et à l'intensification et à la généralisation.

La définition des tendances générale de l'érosion s'avère très nécessaire quant à la détection des zones qui nécessitent une intervention rapide. Le poids de cette étape se fait ressentir lors de la prise de décision. Car on peut juger le type de maintenance adéquat à appliquer sans perte de temps.

VI-III-2. Types de maintenance

Cette partie a pour objectif d'aller jusqu'au bout pour montrer l'utilité des directives PAP/CAR. Vu qu'on est arrivé à définir les tendances de l'érosion ainsi que les facteurs causaux du

risque, on peut essayer de définir le type de maintenance et de lutte adéquat selon les tendances générales de l'érosion.

L'objectif principal de la maintenance est tout d'abord l'optimisation de la productivité du sol et d'assurer sa durabilité en maintenant son érosion en dessous du seuil de tolérance face aux différents agents de l'érosion. Elle se présente en deux volés :

La maintenance corrective : c'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance ou la dégradation d'un bien (Glissements de route ou terrains agricoles...). Ces activités comportent notamment la localisation et le diagnostic de la défaillance puis, sa remise en état avec ou sans modification pour un bon fonctionnement. Selon l'état de la tendance générale de l'érosion on distingue la maintenance palliative qui représente les activités de la maintenance corrective destinées à permettre à un ouvrage d'accomplir provisoirement une mission. La maintenance curative quant à elle représente les activités de maintenance corrective ayant pour objectif de rétablir une route par exemple et lui permet d'accomplir sa fonction l'exemple le plus parlant de ce type de maintenance sont les travaux de la DEFRT au niveau de Galaz. La figure VI-60 montre des seuils en gabion ayant pour objectif de rétablir l'équilibre, mais vu le manque de caractère permanent des réparations, des modifications ou des aménagements ayant pour objet de supprimer la défaillance, ou peut être, vu le mauvais calcul du degré du risque (force du courant lors des crues), ces ouvrages ne vont pas résister à l'agressivité de l'érosion par sapement des berges et les coûts vont de venir de plus en plus énorme.



Figure VI-60 : Seuils en gabion défaillant au niveau du pont de Galaz

De la même façon la maintenance préventive est la maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation. L'un des principaux types de la maintenance

préventive est subordonné à l'analyse de la surveillance de l'évolution des paramètres de dégradation (pente, lithologie, densité de recouvrement, occupation des sols et facteur humain). Cela va permettre de planifier les interventions en fonction des états érosifs et des tendances de l'érosion. Le plan d'aménagement réalisé par la DREFT (2010), qui montre un plan prévisionnel de lutte anti-érosive d'Azaghar (Fig.VI-61), une zone qualifiée par le PAP/CAR comme étant des Badlands avec tendance à la généralisation. Le PAP/CARC vient donc confirmer l'étude faites par les ingénieurs de la DREFT pour la réalisation de ce plan vu la situation et les tendances vers lequel évolue la région d'Azaghar.

Exemple d'étude technique pour l'intervention afin de stabiliser des ravins qui tendent vers la généralisation (badlands). IL s'agit de la préparation des dossiers de base et les termes de références pour la réalisation de la composante « Infrastructure anti-érosif » proposée par les DREFLCD de Taza, Al Hoceima et Taounate.

Le site ou périmètre ciblé par cette action anti-érosive est visité sur les lieux en vue de ressortir les arguments de sa priorité, les mesures techniques à entreprendre et leurs dimensionnements.

- Site de Azaghar :

- Description de l'action et du site:

Le projet consiste à la construction d'ouvrages (Seuils) en gabion pierres sèches au niveau du réseau hydrographique (ravins) tel indiqué dans la carte de localisation des ouvrages (Fig. 58) visant les objectifs généraux inscrits dans le cadre de l'aménagement du bassin versant Ouergha et d'autres spécifiques au site en question à savoir:

- Protection des et conservation des eaux et sols contre l'érosion hydrique ;
- Protection du barrage Al Wahda contre l'envasement ;
- Atténuation des dégâts causés par le ruissellement torrentiel au niveau des infrastructures avale ;
- Protection des habitations et des terrains de cultures situés en aval du site à traiter contre les crues torrentielles et le charriage solide ;

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

- Atténuation de la pente hydraulique pour Stabiliser l'érosion ravinante et faciliter l'installation de la végétation au niveau réseau hydrographique ;

- Superficie à traitée : 85 ha ;

- Longueur à traitée : 4,4 km ;

- Volume de l'action : 494.5 m³ de gabion pierre sèche ;

Le site à traiter présente les caractéristiques suivantes :

- Terrains de culture (20%) ;

- Terrain domanial faisant partie du périmètre de reboisement de Azaghar sur 100 ha réalisé dans le cadre du contrat programme 2009-2010 (80%) ;

- Pente moyenne du terrain: 60 % ;

- Pente moyenne hydraulique: 30 %,

Site accessible par VTT (équidés)

La Pierre spécifique à la construction des gabions est rare localement. Elle doit être transportée vers les lieux sur une distance de l'ordre de 10 à 15 Km.

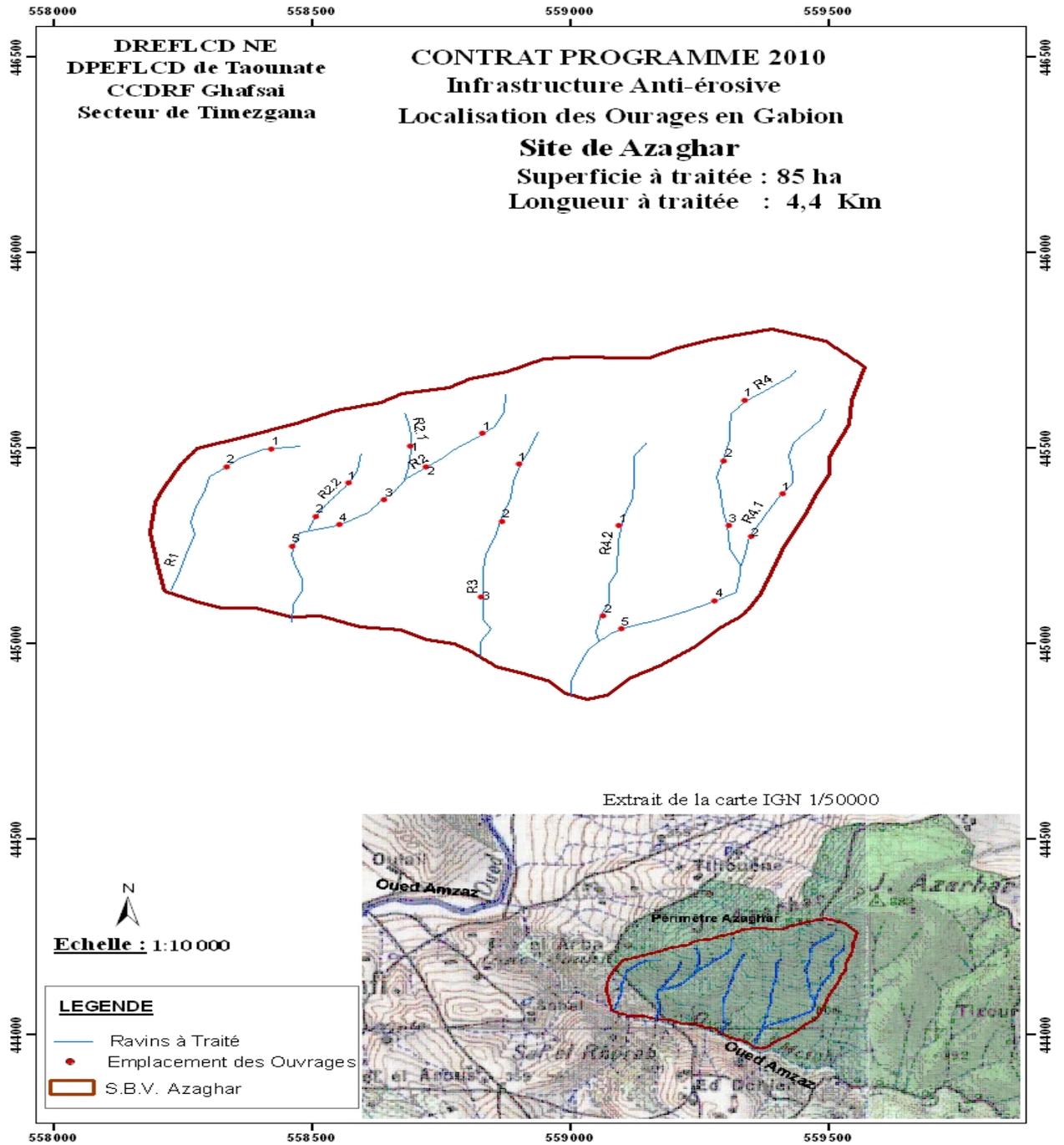


Figure VI-61 : Carte de localisation des seuils en gabion au niveau d'Azaghar (Sidi El Makhfi)

VI-4 Comparaison des résultats avec d'autres bassins versants du Rif

L'idée de cette partie est de comparer les résultats issus de l'étude du bassin versant de l'Oued Amzaz avec d'autres études faites dans le Rif afin de situer notre bassin dans le contexte globale du Rif. On va commencer par le bassin versant de l'Oued Sahla (116 Km²) séparé par le bassin versant de l'Oued Amzaz par la ligne de crête SE. Du point de vue qualitatif l'étude géomorphologique des formes et des processus de l'érosion réelle (phase descriptive) montre que presque 80% de la surface subit une érosion faible en nappe et moins de 20% de la surface subit une érosion forte surtout des ravinements moyennement profonds et des ravinements généralisés. La phase descriptive a montré que plus de 70% des surfaces d'érosion élevées à très élevées coïncident avec des zones où l'érosion réelle est surtout des ravins moyennement profonds et des ravinements généralisés, (Mastass. 2008).

En ce qui concerne les pertes en terre et d'après les débits solides enregistré par la DREFT (1994) on remarque que le bassin de l'Oued Amzaz présente des pertes en terre de 30 à 35 t/ha/an, alors que le bassin de l'Oued Sahla ne dépasse pas 20 t/ha, cela est due à la densité de couvert végétal qui est assez forte dans ce dernier. En comparant ces données on remarque que les mêmes paramètres qui contrôlent l'érosion au niveau des deux bassins sont pratiquement les mêmes à l'exception de la densité de couverture qui rend le bassin d'Amzaz plus sensible à l'érosion.

Le tableau VI-18 et la figure VI-62 montrent quelques données relatives aux pertes en terre dans le Rif et le Prérif notamment dans les bassins versants des oueds Ouargha et son affluent Merkat, Aknoul, Bousouab et l'Oued Tlata. La valeur de perte en terre la plus élevée est celle du bassin versant de l'Ouargha, cela est du surtout à la friabilité des roches, l'agressivité des pluies. Au niveau de Merkat, les mesures de la susceptibilité magnétique ont permis d'identifier deux milieux de point de vue qualitatif, un milieu instable source de sédiments et un milieu stable caractérisé par une pédogenèse avancée. Cela peut être observé dans le bassin versant de l'Oued Amzaz, notamment dans les zones amont là où la roche saine subit un fort décapage, par contre au niveau de la partie aval l'accumulation l'emporte sur l'arrachement. Cette situation est liée aussi à la pente qui est généralement accidentée en amont, alors que l'aval présente des pentes plus douces. Pour le bassin versant de Bou Souab. Sadiki A. (2005) a montré que plus forte est la pente, plus grandes sont les pertes en terre, au niveau d'Amzaz et notamment à Outka on a montré que le degré de décapage est fort, donc en présence d'une pente forte la situation va devenir de plus en plus grave.

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

Au niveau de L'Oued Tlata, les zones de faible érosion (<7 t/ha/an) sont surtout là où dominant le matorral à base de chêne vert et d'Olivier (Grouani. 2008), donc les reboisements en Olivier peuvent être de bon stabilisateur, ce qui nous pousse à leur conférer une tendance érosive régressive, l'érosion élevée atteint 250 t/ha/an.

A partir de la comparaison faite, on peut dire que les facteurs qui régissent l'érosion sont presque les mêmes dans tout le Rif ; des pentes généralement forte, des roches tendres et un couvert en voie de disparition. En ce qui concerne les méthodes utilisées on remarque que tout les auteurs qui ont utilisé l'USLE, considère ces résultats comme étant complémentaire, vue les chiffres énormes de perte en terre. Les auteurs ne paraissent pas faire pleinement confiance aux valeurs obtenues. Ils les utilisent surtout pour appuyer les résultats issus d'autres techniques. L'étude PAP/CAR du bassin versant de l'Oued Amzaz et de l'Oued Sahla ont montré que les zones de degré extrême d'érosion coïncident avec des zones classé par l'USLE comme étant à érosion élevée. La pertinence des résultats de la méthode PAP/CAR montre que les matrices sont adaptées aux conditions méditerranéennes car elle tient compte même des petites parcelles. Pour la durée et le coût de la réalisation, on remarque que le PAP/CAR, vu la souplesse de ses directives, permet de gagner du temps et de l'argent.

Bassin versant	Localisation	Pertes en sol (t/ha/an)	Auteurs
Ouargha	Rif et Prérif central	98	A.E.F.C.S. (1995)
Merkat	Prérif central	77	Faleh (2003)
Bou Souab	Rif-Prérif-Avant pays	>23	Sadiki (2005)
L'Oued Tlata	Prérif oriental	250	El Garouani (2008)
Sahla	Rif central	10	Mastass (2008)

Tableau VI-18 : Valeurs des pertes en terre dans certains bassins versant du Rif

Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

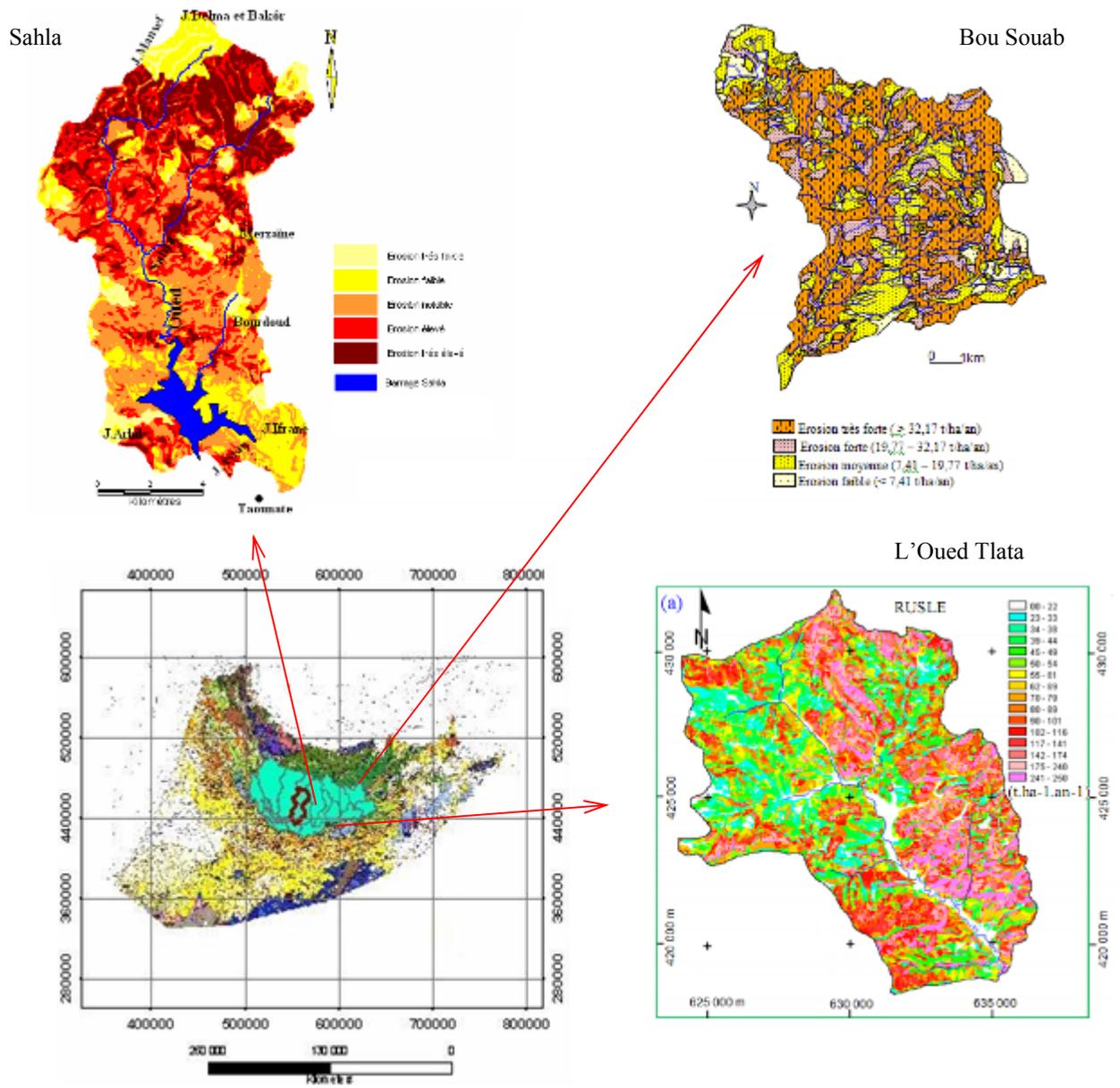


Figure VI-62 : Sahla : Carte des états érosifs (PAP/CAR)
 Bou Souab : Carte des pertes en terre (USLE)
 L'Oued Tlata : Carte des pertes en terre (USLE)

Conclusion générale

La quasi-totalité des terrains du bassin versant de l'Oued Amzaz, ont subi des perturbations remarquables. La dégradation des ressources naturelles (perte en sol, dégradation du couvert végétale, diminution et pollution des ressources en eau...) est due non seulement à certains effets naturels, mais aussi aux différentes interventions de l'homme, en fonction de l'ampleur et de l'action des groupements humains sur ce milieu.

Les environnements forestiers au niveau de la partie amont notamment à Jbel Outka, sont fortement touchés par ces phénomènes de dégradation, leur régression s'est remarquablement accélérée sous la pression de la démographie.

Les terres défrichées, souvent soumise à l'action de l'araire et autre engins, et au surpâturage, s'appauvrissent et s'érodent rapidement ce qui abouti à une baisse de la production agricole, forestière et pastorale.

La cartographie et l'estimation de l'érosion hydrique au moyen de la méthode consolidée PAP/CAR basée sur les facteurs naturels (pente, couvert végétal et lithologie) a permis d'hierarchiser le bassin versant de l'oued Amzaz en parcelle en fonction du degré du risque érosif.

La carte de l'approche prédictive fournit des informations sur l'état actuel de la dégradation des sols en se basant sur les degré d'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique. La carte fait ressortir cinq états, 4 % des terrains présentent une faible prédisposition à l'érosion hydrique, l'érosion notable représente 22 %, 10 % pour les terrains à érosion moyenne, Les états d'érosion élevée et extrême représentent 27 % et 37 % respectivement.

L'approche descriptive a montré que cette dégradation se manifeste par différents processus de l'érosion hydrique. On assiste à une perte de sol de différentes manières :

L'érosion en nappe et le décapage. C'est une érosion qui est inaperçue mais qui est la plus dangereuse car elle emporte les particules nutritives essentielles pour le développement de la végétation (3400 ha).

L'érosion en rigole et ravines qui si elles apparaissent en automne dans les sols labourés après chaque averse importante sont effacées par les labours (plus de 6000 ha) mais si elles apparaissent sur des terrains non exploitables évoluent généralement en formes plus importantes.

Conclusion générale

L'érosion en ravins se fait au dépend des terrains de culture et peuvent évoluer en ravinement généralisé (2630 ha).

Les mouvements de masse sont liés à des événements pluvieux exceptionnels mais leur déclenchement est souvent provoqué par une intervention humaine. On a assisté ces deux dernières années (2008-09 et 2009-10) au déclenchement de plusieurs glissements de terrains de différentes dimensions dans le Rif.

La superposition de la cartographie prédictive et descriptive a permis de montrer les tendances globales de l'évolution superficielle des sols du bassin versant ainsi on a pu faire sortir la coïncidence de certains états très dégradés avec des formes d'érosion spectaculaires et d'autres états plus stables avec des formes d'érosion mineurs ou carrément des zones stables. Elle montre aussi les tendances aggravantes pour certaines zones ou des tendances de régression de la dégradation pour d'autre.

Devant les menaces de dégradation qui pèsent sur les ressources naturelles et l'infrastructure du bassin versant et par conséquent sur la qualité de vie des habitants de point de vue économique et social, il s'avère nécessaire d'intervenir pour lutter contre l'érosion selon une approche globale et novatrice qui permettra de concilier entre les besoins importants d'une population, qui ne cesse de s'accroître et les potentialités limitées des ressources naturelles qui s'appauvrissent du fait de leur surexploitation combinée à un mauvais usage.

Références bibliographiques

ANDRIEUX J. (1971) - La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. *Notes et mem. Du serv. Géol. Maroc*, 235, 155p.

ASEBRY L., BOURGOIS J., DE LUCA P. & BUTTERLIN J., (1992).- Importance d'une tectonique de distension pliocène dans le rif central (Maroc : la nappe de Ketama existe-t-elle ?, *J. African Earth. Sci.*, 15, 49-57.

ASEBRY L., DE LUCA P., BOURGOIS J., & CHOTIN P., (1987).- Résédimentations d'âge Sémonien dans le rif central (Maroc) : Conséquence sur les divisions paléogéographiques et structurale de la chaîne, *J. African Earth. Sci.*, 6, 9-17.

CEMAGREF. (1988). Les bassins versants expérimentaux de Draix. Grenoble.

Didon J., Durand Dulga M., & Kornprobst J., (1973) – Homologie géologique entre les deux rives du détroit de Gibraltar. *Bull. Soc. Géol. France*, 8, t.17, 77-105.

EL GAROUANI, A. (2007). cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du sig idrisi au nord-est du maroc. Fes: FSTF.

FALEH A. (2003). exploitation des mesures magnétiques dans l'étude de l'état de stabilité des sols: cas des bassins-versants Abdelali et Markat (pré-rif-maroc), *papeles de geografia* issn: 0213-1781, 38; pp. 27-40.

FAO. (1981). Arid zone hydrology for agricultural development FAO Irrigation & Drainage. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO-UNEP-UNESCO. (1980). A provisional methodology for soil degradation assessment. Rome: FAO.

FAVRE Ph. (1995) – Analyse quantitative du rifting et de la relaxation thermique de la partie occidentale de la marge transformante nord-africaine : le Rif externe (Maroc). Comparaison avec la structure actuelle de la chaîne. *Geodinamica Acta* (Paris), 8, 2, 59-81

FRIZON D. ; ANDRIEUX J. & GUEZOU J-C. (1991) – Cinématique des chevauchements néogènes dans l'arc bético-rifain : discussion sur le modèle géodynamique. *Bull. Soc. Géol. France*, t. 162, 4, 611-626.

GAZZOLO. (1966). Carta delle isolinee di ugual erosione in Italia. In: Contributo allo studio del grado di erodibilità dei terreni costituenti i bacini montani dei corsi d'acqua italiani.

GIORDANO. (1989). Analyse et corrélation des cartes existantes d'érosion du sol dans les zones côtières méditerranéennes. Malaga, Espagne: PAP.

ICONA. (1982). *Paisajes erosivos en el Sureste Espanol. Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion.*

MASTAS. H. (2008). *Estimation de l'érosion potentielle par la méthode PAP/CAR et Quantification de l'érosion hydrique par l'équation universelle de pertes en sol (USLE) intégrée dans un SIG dans le bassin versant du barrage Sahla, Rif central, Maroc*

PAP/CAR (1998) : *Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. PAP-8/PP/GL.1. Split, Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO.. pp xii+72.*

PNUE. (1995). *Directives concernant la gestion intégrée des régions littorales, avec une référence particulière au bassin méditerranéen. Croatie.*

SABIR M. (2007). *Utilisations des terres et risques de ruissellement et d'érosion dans les montagnes au Maroc*

SADIKI, A. (2005). *Estimation des taux d'érosion et de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de Boussouab, Maroc nord oriental : Application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope ¹³⁷Cs et de la susceptibilité magnétique. Oujeda: faculté des sciences.*

SUTER G. (1980) – *Carte géologique de la chaîne rifaine. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. N°245.*

SUTER G., 1967.- *Note explicative de la carte géologique du rif, région de moyen Ouarrha (feuille de taounate, Aïn Aïcha, tissa) au /50000ème. Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 166 bis.*

TOPRAKSU K. (1981). *Erosion map of Turkey Harita Mdrıgnde Hazınranmis ve Basılmıstır.*

Carte consolidée PAP/CAR du bassin versant de L'Oued Amzaz

