

**UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI
FACULTE DES SCIENCES
TETOUAN**

MEMOIRE

**Pour l'obtention du
Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies
(DESA)**

De

Biodiversité: Evaluation et conservation

Par

Mlle Loubna AGHZAR.

**APPROCHE A L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE DU
PAYSAGE DE L'AVAL DE OUED LAOU ENTRE
1958, 1966 ET 1994**

Soutenu et présenté publiquement le... Vendredi 10 novembre 2006.....
devant la commission d'examen constituée de

L. TAIQUI	Département de Biologie. FST – UAE	Président
CH. DARRAZ	Département de Géologie. FST – UAE	Examineur
M. YOUNI IDRISSE	Département de Géographie. FLSH – UAE	Examineur

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail.

A

Mes chers parents,

*En témoignage de mon grand amour et de ma reconnaissance pour
tous les sacrifices qu'il m'ont consentis.*

Ma soeur Nadia,

Mes frères Adil, Hicham, Abdel Mounaim, Mohamed,

En témoignage de ma grande affection et mon grand attachement.

Tous les miens proches et amis.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé à la Faculté des Sciences de Tétouan sous la direction du Monsieur le Professeur Lahcen TAIQUI, Professeur Habilité de l'Université Abdelmalek Essaâdi de Tétouan. Il a bénéficié du soutien du projet MED-CORE (ICA3-2001-10028) de l'Union Européenne.

Au début, il m'est très agréable d'exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé scientifiquement, matériellement et moralement à réaliser ce mémoire.

J'exprime aussi ma gratitude, la plus profonde à Monsieur le Professeur Lahcen TAIQUI, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Tétouan qui a bien voulu me confier ce sujet, en m'acceptant au sein de son équipe du Laboratoire de La Biologie végétale et qui a assuré l'encadrement de ce travail, j'adresse mes vifs remerciements. Malgré ses nombreuses occupations, il est toujours disponible à me guider et à me prodiguer les conseils judicieux. Le respect et l'admiration que je lui porte ne sont pas protocolaires et je m'estime très honorée de faire partie de ses étudiants.

Mes sincères remerciements vont à Monsieur le Professeur Mohammed ATER, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des sciences de Tétouan, et Responsable du DESA de Biodiversité : Evaluation et Conservation.

Mes chaleureux remerciements s'adressent à Monsieur le Professeur Abdenbi BENDRISS, Professeur de l'Enseignement supérieur à la Faculté des Sciences de Tétouan dont la serviabilité et la sympathie sont reconnues par tout le monde. Q'il trouve ici le témoignage de mon profond et sincère respect.

Je tiens à remercier vivement Messieurs les membres du jury qui ont accepté d'examiner mon travail malgré leurs nombreuses responsabilités, Monsieur Chakib DARRAZ, Professeur assistant à la Faculté des Sciences de Tétouan, et Monsieur Mohamed YOUNI IDRISSE, Professeur assistant à la Faculté des Lettres de Tétouan.

Je remercie sincèrement tous mes enseignants de DESA : Biodiversité : évaluation et conservation.

Je voudrais également exprimer ma vive gratitude aux Messieurs : Eduardo Seva Román, Joaquin Martín Martín, et Carlos Martín Cantarino, Professeurs titulaires à l'Université d'Alicante de m'avoir bien accueilli et dirigé pendant le Stage d'initiation au SIG que j'ai effectué au Laboratoire de Cartographie Environnementale de l'Université d'Alicante.

Je suis en dette envers Monsieur José Emilio Martínez Pérez du Laboratoire de Cartographie Environnementale de l'Université d'Alicante pour les ouvrages et les références qu'il m'a fournis avec générosité.

Je ne voudrais pas oublier l'ensemble de mes collègues du DESA BEC, avec qui j'ai passé d'agréables moments durant ces deux dernières années.

Tout ma sympathie et mon amitié sincère vont à mes très chères amies et sœurs, Soumaya EL HARTITI, Fatima AHNOUCH et Ouidad FAHMI.

Résumé :

Il s'agit dans ce mémoire d'une étude diachronique de l'évolution du paysage de Oued Laou, réalisée à partir des photographies aériennes datant de 1958, 1966 et 1992-1994. Ce paysage est constitué par la plaine littorale et les reliefs schisteux paléozoïques qui l'entourent. Ses caractéristiques physiques et humaines indiquent qu'il s'agit d'un territoire riche en ressources hydriques et édaphiques et qui connaît une importante croissance démographique.

Les classes d'usages du sol qui ont été considérées varient entre différents types d'agriculture et couverture végétale naturelle plus au moins dégradée. Les changements sont estimés par tabulations croisées du système d'information géographique Idrisi. Ils montrent une importante dynamique entre cultures, forêt et matorrals. Entre 1958 et 1994, sur une surface de 108 km², un envahissement du paysage par l'agriculture extensive s'est produit avec un taux de +29.6 ha/an. A l'opposé, la déforestation et la réduction de la couverture naturelle a enregistré un taux de -30.7 ha/an. Au niveau de la plaine, l'urbanisation s'est étendue à raison de +1 ha/an sur la plage, les terres agricoles fertiles et sur le lit de la rivière.

Parallèlement à ces changements d'usages, la structure du paysage a connu des modifications caractérisées par une augmentation de la fragmentation et une réduction de la complexité des formes des espaces forestiers.

La comparaison des l'occupation agricole et de la couverture forestière en fonction de la topographie montre que l'expansion des défrichements affecte toutes les altitudes, pentes et orientations. Plus que la moitié des cultures extensives occupent des pentes très fortes et escarpées.

Mots clés : Structure du paysage, Evolution du paysage, Oued Laou, SIG.

SOMMAIRE :

INTRODUCTION -----	1
Chapitre I : DESCRIPTION DE L'AIRE D'ETUDE -----	4
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE-----	4
2. CARACTERISTIQUES DU SITE-----	7
2.1. Milieu physique-----	7
2.1.1. Sol et géologie-----	7
2.1.2. Topographie-----	9
2.1.3. Climatologie-----	12
2.1.4. Hydrologie-----	15
2.1.5. Couverture végétale-----	17
2.2. Milieu humain	19
Chapitre II : MATERIEL ET METHODES -----	21
1. TRANSFORMATION DES INFORMATIONS DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE EN UNE BASE DE DONNEES GEOREFERENCIEES-----	23
1.1. Digitalisation par le scanner-----	23
1.2. Géoréférenciation-----	24
1.3. Digitalisation sur écran-----	24
1.4. Traitement des fichiers vectoriels-----	24
1.5. Rastérisation des données vectorielles-----	24
1.6. Elaboration du modèle digital du terrain-----	25
2. ANALYSE DE LA STRUCTURE ET DYNAMIQUE DES USAGES DU SOL DU PAYSAGE AU NIVEAU DE LA PLAINE DE OUED LAOU A PARTIR DE LA PHOTOGRAPHIE AERIENNE-----	25
2.1. Géoréférenciation des photographies aériennes-----	25
2.2. Elaboration des cartes des usages du sol-----	25
2.3. Quantification de l'évolution du paysage-----	26

3. CARACTERISATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA STRUCTURE DU PAYSAGE-----	26
3.1. Nombre de taches-----	26
3.2. Connectivité, contiguïté ou juxtaposition (indice IJI)-----	27
3.3. Dimension fractale du rapport périmètre-surface (indice PAFRAC)-----	27
4. ANALYSE DES RELATIONS SPATIALES ENTRE USAGES FORESTIER, AGRICOLE ET FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX-----	28
Chapitre III : RESULTATS -----	29
1. DYNAMIQUE DU CHANGEMENT DES USAGES DU SOL-----	30
2. CHANGEMENT SPATIOTEMPOREL DE L'OCCUPATION DU SOL -----	35
3. CHANGEMENT DE STRUCTURE DE PAYSAGE-----	37
3.1. Nombre de taches-----	37
3.2. Connectivité (indice IJI)-----	38
3.3. Dimension fractale du périmètre surface (indice PAFRAC)-----	39
4. FORET, AGRICULTURE ET TOPOGRAPHIE-----	41
4.1. Altitude-----	41
4.2. Pente-----	42
4.3. Orientation-----	42
CONCLUSION GENERALE -----	43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES -----	45

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le paysage est un espace géographique dynamique composé d'écosystèmes en interaction (écosystèmes terrestres, aquatiques et/ou urbains). Les écosystèmes sont des ensembles dynamiques d'organismes vivants (plantes, animaux et microorganismes) qui interagissent entre eux et avec le milieu (sol, climat, eau, lumière) dans lequel ils vivent.

La structure du paysage résulte d'interactions entre phénomènes écologiques et interventions humaines (présentes et passées). Au cours des dernières décennies, l'urbanisation et l'intensification de l'agriculture ont porté de graves atteintes aux écosystèmes terrestres et aquatiques. Par conséquent, le paysage a connu des mutations profondes qui sont la résultante spatiale des interactions Homme/Nature.

La dynamique spatio-temporelle des composantes biologiques, physiques et sociales des paysages humanisés et naturels, est étudiée par l'écologie du paysage. Les projets en matière d'écologie du paysage couvrent une large gamme de questions qui va de l'analyse des risques écologiques à l'étude de la biodiversité en passant par le développement de stratégies de gestion et d'aménagement de l'espace socialement acceptables et l'observation de l'attitude du public face aux changements du paysage.

Les études récentes portant sur l'évolution du paysage ont mis en évidence les variations de l'occupation du sol depuis la Préhistoire récente et le rôle croissant des sociétés humaines dans ces changements. Il a été montré que la déforestation a joué un rôle important dans la dégradation et la perturbation de plusieurs écosystèmes forestiers (Metzger, 1998 ; Pirnat, 2000 ; Gaston *et al.*, 2004 ; Venema *et al.*, 2005). D'autres études ont soulevé l'implication du problème de réchauffement climatique global de la planète dans la déstabilisation des écosystèmes (Luterbacher *et al.*, 2004 ; Julliard *et al.*, 2004). Par ailleurs, l'agression de l'environnement est lié à d'autres causes telles que les changements climatiques (Thomas *et al.*, 2004 ; Pearson *et al.*, 2005) et la surexploitation (Pauly *et al.*, 1998 ; Pauly *et al.*, 2003).

Dans les pays du sud de la Méditerranée, la désertification est un problème majeur à cause de l'aridité et de l'intensité de l'exploitation humaine (Puigdefabregas, 1992 ; 1994). Au Maroc, on estime que le taux de déforestation est de 33.000 ha/an (P.A.N., 2001). Les effets de cette dynamique de déforestation et surexploitation sont multi scalaires car ils affectent le fonctionnement écologique local (érosion du sol, perte de biodiversité) et global (altération de méta-stabilité écologique).

Dans ce mémoire, la problématique de la déforestation dégradation est traitée à l'échelle du paysage de la plaine de Oued Laou, qui est un paysage agroforestier. L'étude comporte deux étapes. La première étape consiste à élaborer une base de données géoréférencées sur le paysage littoral de Oued Laou. La deuxième étape comporte l'analyse des patrons de changement du paysage au niveau de la plaine de Oued Laou. Sur la base de photos aériennes des années 1958, 1966 et 1994 et à l'aide d'outils d'analyse spatiale (SIG), les changements de l'utilisation du sol de la zone d'étude ont été identifiés et ensuite représentés par des cartes et des matrices de transition. la structure du paysage a été caractérisée en utilisant différents indices de complexité et connectivité. Cette caractérisation a été établie en trois temps pour évaluer la dynamique des structures du paysage.

CHAPITRE I

DESCRIPTION DE L'AIRE D'ETUDE

CHAPITRE I

DESCRIPTION DE L'AIRE D'ETUDE

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La plaine de Oued Laou se trouve comprise entre l'extrême sud-est de la Province de Tétouan et l'extrême nord-ouest de la Province de Chefchaouen ; la limite entre les deux provinces est matérialisée par l'Oued Laou.

La Zone d'étude est située au niveau de la partie inférieure du bassin hydrographique de Oued Laou (Fig1) ; entre la prise du barrage Koudiat Kourrirene, Jbel Boussaidouna, Jbal Mahfoura, Jbel Sidi Rahmoune et la Méditerranée. Dans ces limites, le secteur étudié a une superficie de 108 km². Il est parcouru par la rivière dite Laou et des petits cours d'eau tels que Ifrane n'Ali et Oued Tasseft.

Les coordonnées géographiques (système Lambert) de la zone d'étude sont les suivantes : Longitude 516.7-530.0 km ; Latitude 530.0-544.0 km. Le village de Oued Laou est situé à 48 km au Sud-est de la ville de Tétouan, son accès principal est à partir de celle-ci à travers la route secondaire n° 608.

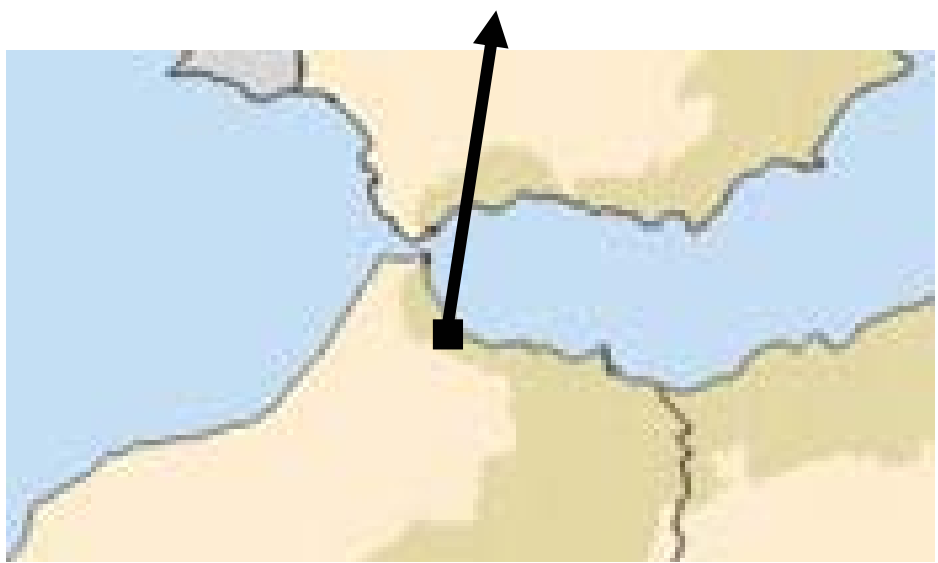
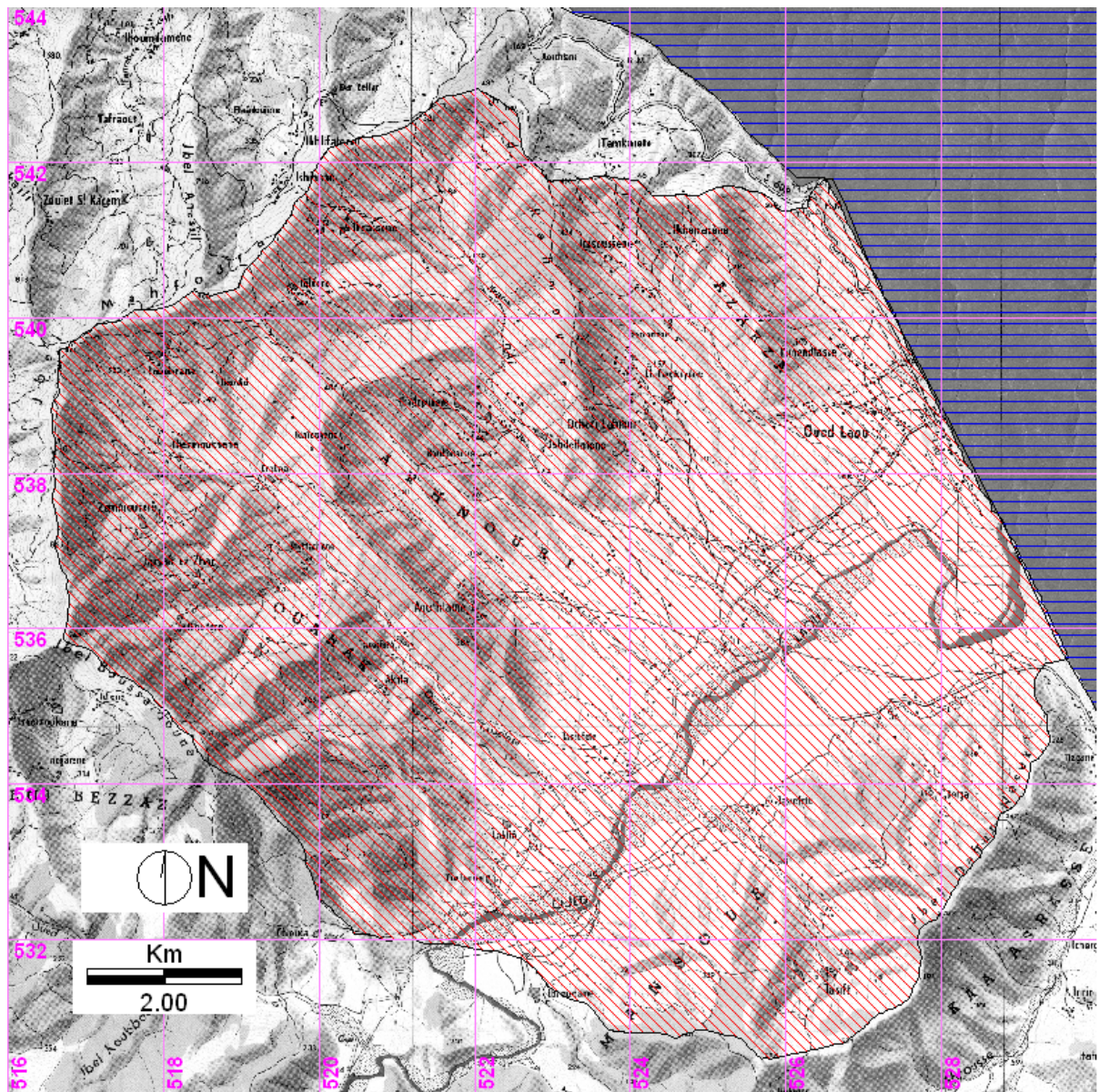


Fig. 1. Localisation de la plaine de Oued Laou et limites de la zone d'étude. Coordonnées Lambert Nord-Maroc.

2. CARACTERISTIQUES DU SITE

2.1. Milieu physique :

2.1.1. Sol et géologie :

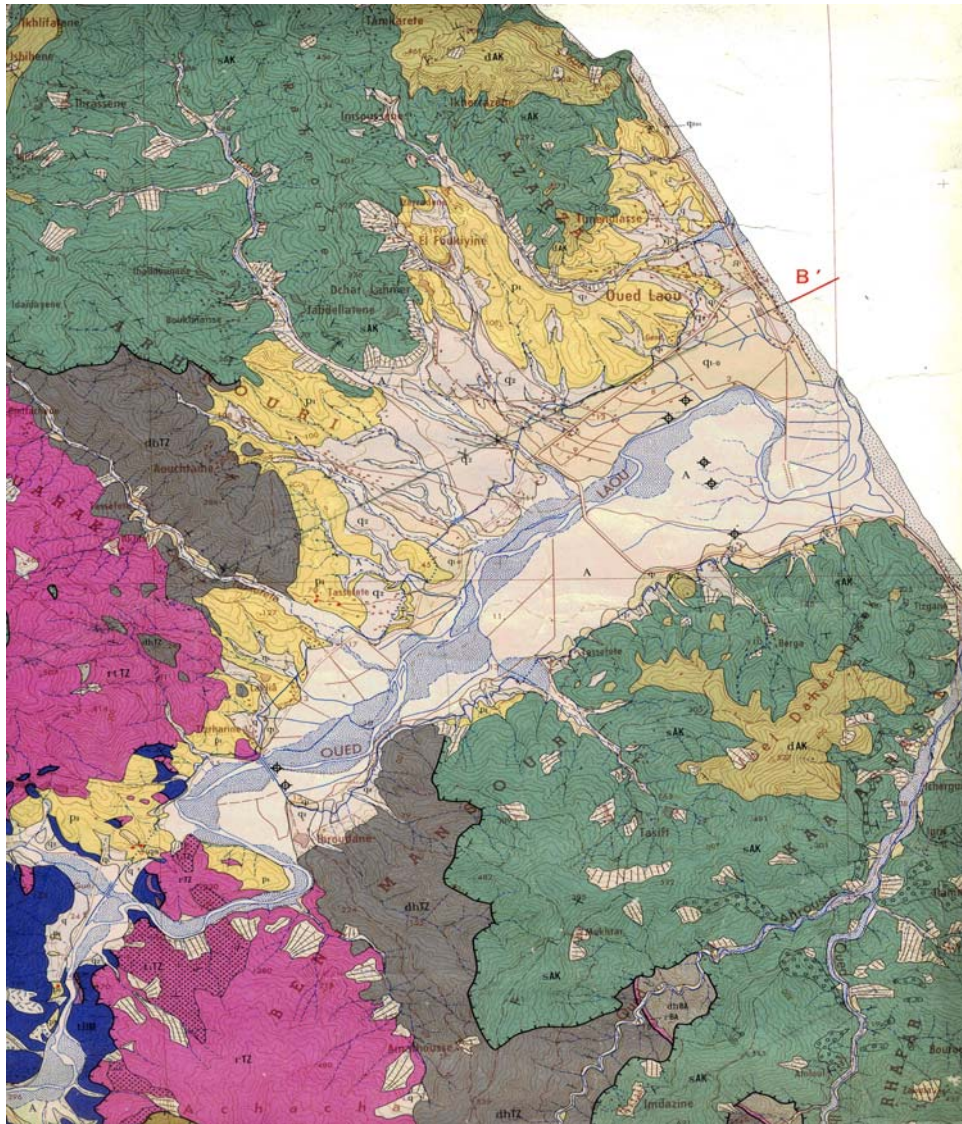
La plaine de Oued Laou est une vieille vallée intra montagneuse. Dans cette vallée, les failles de distension ont permis l'entrée de la mer au début du Pliocène jusqu'à 20 km au sud-ouest de la côte actuelle. Cette transgression a été accompagnée par un ravinement du substratum. Il y a eu un énorme dépôt de marnes et marnes sableuses affleurant sous forme de collines à environ 100 et 130 m d'altitude et se localisant au nord et nord-ouest de la plaine.

La sédimentation dans la plaine est souvent de type alluviale, en fonction des crues et des divers épisodes pluvieux pendant lesquelles l'Oued a changé plusieurs fois de lit (Beudet et Maurer, 1961). Ce phénomène est accentué par les mouvements récents du Plio-Quaternaire. exhaussements de la Dorsale calcaire et affaissement des plaines alluviales (Nold *et al.*, 1981).

Les terres du sol et sous sol présentent un aspect rougeâtre ; ils sont apparemment formés par les entraînements des pentes de terrains limitrophes (schistes du Paléozoïque) et mélangés avec des alluvions. Les sols de la plaine sont appropriés pour la culture en irrigation, même si celle-ci est fortement conditionnée par la topographie.

D'après Kornprobts & Wiildi (1975), dans la vallée de l'Oued Laou, on rencontre la série stratigraphique qui commence par les marnes bleues plastiques du Pliocène inférieur puis les conglomérats plus ou moins cimentés par des argiles et alluvions du plio-quaternaire. Le contact de ces dépôts avec les alentours se fait, dans la limite NW de la plaine, par des terrasses rouges et des cailloutis à matrice sableuse du Tensiftien et du Soltanien. Dans le reste le contact se fait directement sur les schistes du Silurien ou les marnes du Pliocène.

La grande partie des reliefs qui bordent la plaine sont formés de schistes argileux siluriens laissant apparaître des affleurements gréseux dévoniens (Fig. 2). Vers l'intérieur, ces schistes de l'Unité d'Akaïli sont succédés par des matériaux schisteux à grès rutilants et à horizons conglomératiques de l'Unité de Tizirène.



- sAK: Schistes argileux luisants et conglomérats à galets de quartz. Silurien. Unité d'Akaïli.
- dAK : Grès grossiers à débris de plantes et calcaires noirs contournés. Dévonien.
- rTZ : Schistes et grès rutilants.
- dhTZ : Schistes et grey wackes horizons conglomératiques.
- Pi : Marnes et sables à intercalations conglomératiques, brèche de pente.
- q₂ : Tensiftien (terrasse rouge, cailloutis à matrice sableuse).
- q_{i-o} : Soltanien à rharbien.

Fig. 2. Carte géologique de l'aval de Oued Laou.

Extrait de la feuille de Talambote Echelle 1 /50 000

2.1.2. Topographie:

La description topographique de la zone d'étude est restituée à partir du modèle digital du terrain (Fig. 3) et des cartes de pentes (Fig. 4) et des orientations (Fig. 5) qui en sont issues et qui ont été développés dans le cadre de ce travail.

- **Altitude :**

L'élévation du terrain s'étale du niveau de la mer à 960m au niveau du Jbel Boussaidouna. Elle s'élève de plus en plus au fur et à mesure qu'on s'éloigne du lit de la rivière Laou et de ses petits affluents. Les terrains qui ont une élévation faible et moyenne (<450 m) occupent environ 85% de la superficie de la zone d'étude. Les altitudes supérieures à 450 m occupent à peine 15% du terrain. Ces différences d'altitude s'opèrent sur une distance réduite de quelques kilomètres (largeur maximale égale à 15 km) et donnent lieu à un paysage de plaine fortement contrasté par rapport à ses bordures escarpées.

- **Pente :**

La pente a été répartie en 6 classes : pentes inférieures à 3%, pente entre 3 et 10%, pente entre 10 et 20%, pente entre 20 et 30%, pente entre 30 et 50% et pente supérieure à 50%. Ces différentes classes occupent respectivement 19.08%, 8.44%, 7.68%, 13.13%, 30.14% et 21.50% de la surface de la zone étudiée. Cela signifie que les pentes faibles et douces à modérées (<20%) occupent seulement 35% du territoire. La plus grande partie de la zone d'étude, soit 65% de la superficie totale, présente des pentes très fortes et escarpées.

- **Orientation :**

Deux grandes orientations prédominent la plaine : les orientations nord (1302.49 ha) et nord-est (1984.64 ha) occupent 30.4 % et les orientations à l'est (1996.87 ha) et sud-est (1515.80 ha) concernent 32.5% de la plaine.

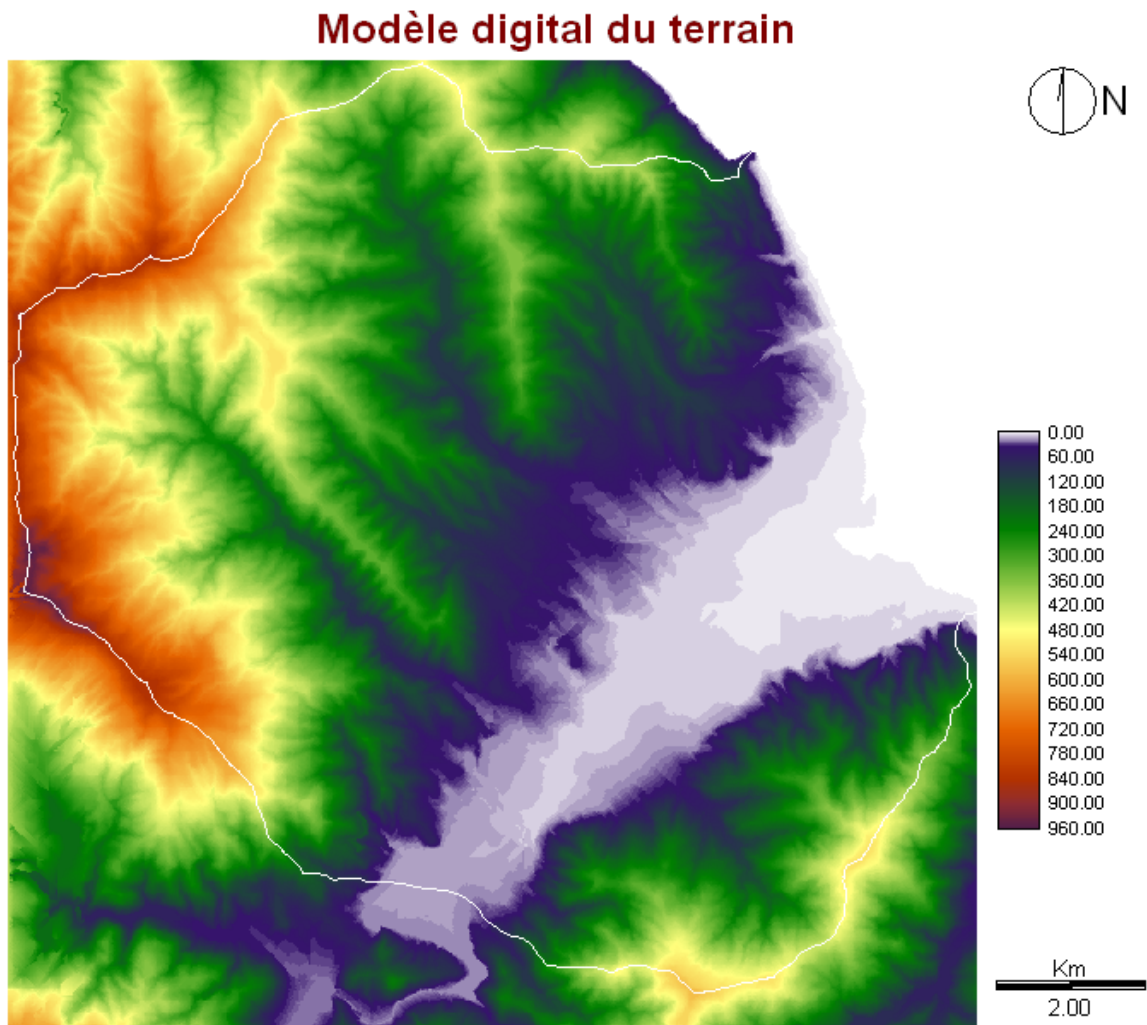


Fig. 3. Carte des altitudes élaborée à partir de Model digital du terrain. de la zone. d'étude. Le trait blanc marque la limite de la zone d'étude.

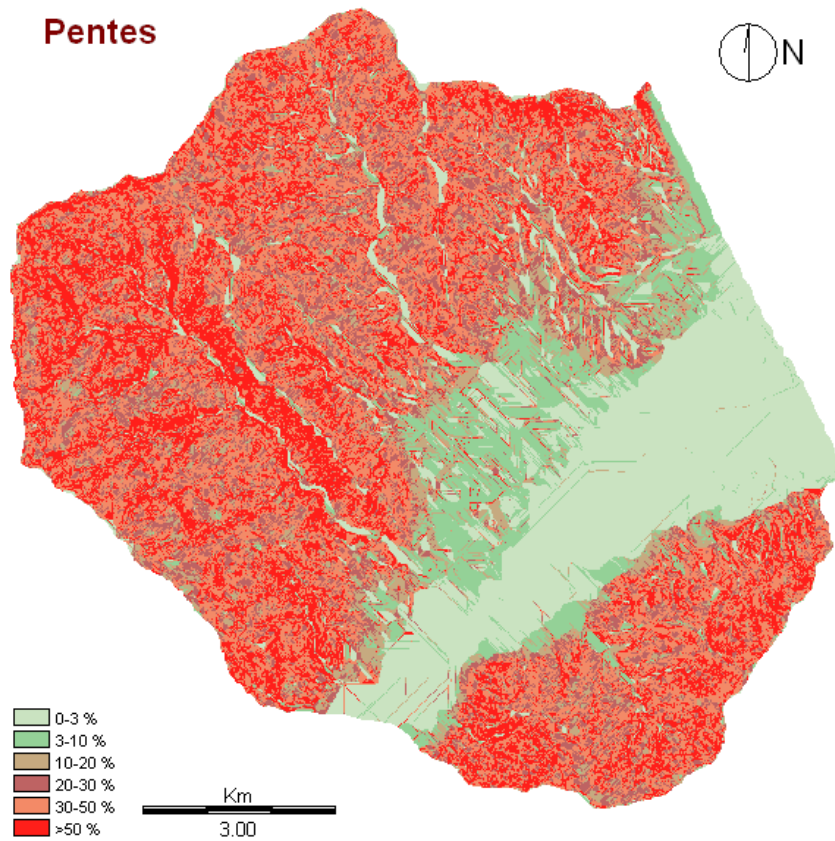


Fig. 4. Carte des pentes de l'aval de Oued Laou.

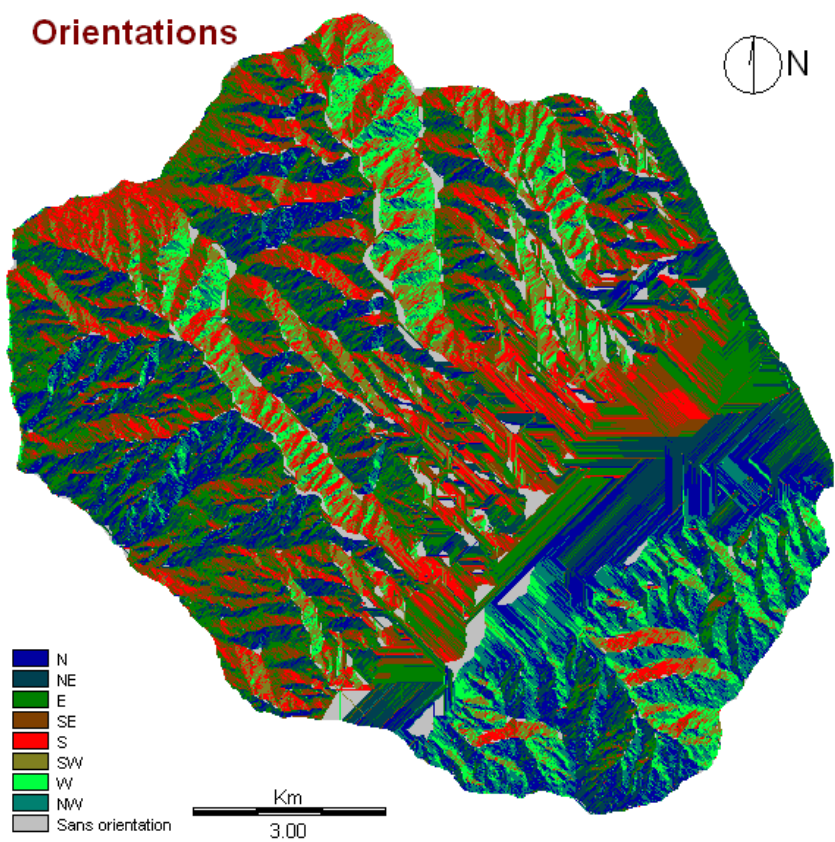


Fig. 5. Carte des orientations de l'aval de Oued Laou.

2.1.3. Climatologie :

Oued Laou fait partie du Rif occidental qui constitue la région la plus arrosée du Maroc. Cependant, à cause de sa position à l'abri des influences atlantiques et de ses basses altitudes, la plaine de Oued Laou est caractérisé par une ambiance relativement sèche et chaude.

En fait, la station météorologique de Oued Laou marque le passage du bioclimat subhumide au bioclimat semi-aride sur le littoral méditerranéen marocain. Située à 30 m d'altitude, cette station reçoit une moyenne de précipitations P égale à 464.5 mm/an avec une température minimale moyenne du mois le plus froid, m, égale à 8.6°C et une température maximale moyenne du mois le plus chaud, M, égale à 28.9°C. Ces données donnent lieu à un coefficient pluviothermique Q_2 égal à 78.4 $\{Q_2 = 2000 * P / [(M+m+546.4) * (M-m)]\}$. Cela correspond, sur le climagramme d'Emberger, à un bioclimat semi-aride à hiver chaud.

En considérant les moyennes mensuelles des températures et des précipitations, le diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Oued Laou (Fig. 6) permet d'apprécier la durée de la saison de xéricité qui s'étale sur six mois de Mai à Octobre. Cela reflète une longue période annuelle de sécheresse au niveau des basses altitudes de la plaine de Oued Laou.

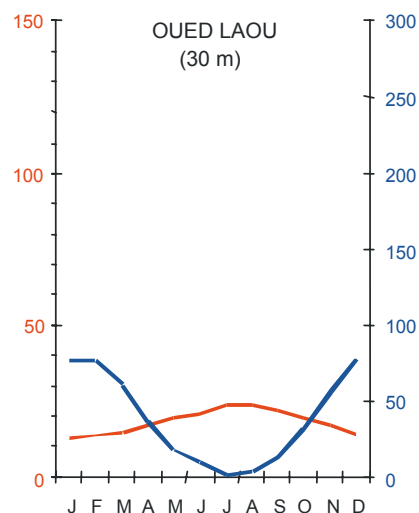


Fig. 6. Diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Oued Laou. En bleu et échelle droite : précipitations moyennes mensuelles en mm ; en rouge et échelle gauche : températures moyennes mensuelles en °C. Les mois en abscisses.

Cependant, en considérant l'amplitude altitudinale de la zone d'étude (qui va de 0 à 960 m), ces variables climatiques sont susceptibles de donner lieu à une variation bioclimatique importante. Le modèle de variation spatiale de la pluviométrie développé par INYPSA (1999) illustre la variation des précipitations en fonction de l'altitude (Fig. 7).

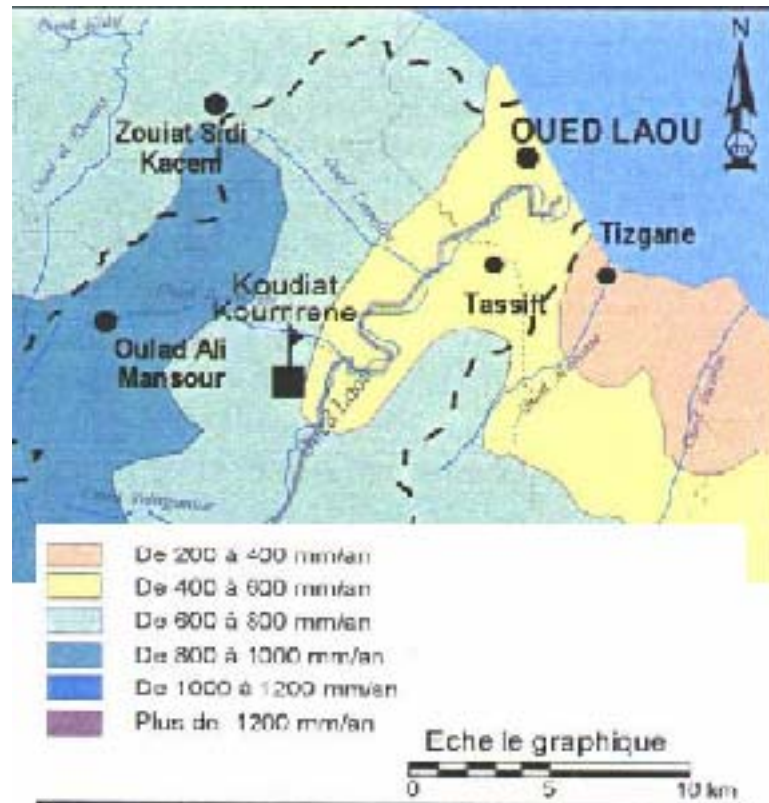


Fig. 7. Carte de distribution des précipitations. Extrait d'INYPSA (1999).

Pour avoir une idée sur la variation du bioclimat en fonction de l'altitude, on a utilisé les données climatiques disponibles des stations météorologiques du bassin hydrographique de Oued Laou (Tableau 1). Ces stations, plus ou moins étagées en altitude du littoral de Oued Laou vers le sud, permettent, malgré leur nombre réduit, de construire des modèles linéaires approximatifs de variation des précipitations et des températures (Tableau 2).

	Altitude (m)	P (mm/an)	M (°C)	m (°C)
Ali Thelat	250	681.1	31.9	6.1
Bab Taza	880	1482.2	32.5	2.5
Chaouen ville	630	949.4	33.1	5.9
Talambot	350	699.2	30.2	5.7
Oued Laou	30	464.5	28.9	8.6

Tableau 1. Données météorologiques de quelques stations du bassin de Oued Laou (Benabid, 1982)

Les modèles obtenus par simple corrélation linéaire ont des coefficients de corrélation satisfaisants. Le coefficient de corrélation le plus significatif est celui des précipitations ($R^2 = 0.93$) ; il correspond à un modèle d'augmentation linéaire des précipitations à raison de +113.55 mm par 100 mètres. Cela signifie qu'au sommet le plus élevé de la zone d'étude (960 m), les précipitations moyennes annuelles peuvent atteindre plus de 1400 mm. Quant à la variation des température minimales du mois le plus froid, le gradient de diminution de m est sensiblement égal à $-0.6^\circ\text{C}/100$ m d'altitude ($R^2 = 0.83$). Cela donne un hiver tempéré à frais ($m < 3^\circ\text{C}$) au niveau des sommets de la zone d'étude à altitudes supérieures à 900 m. Par ailleurs, le modèle du gradient des températures maximales du mois le plus chaud a un coefficient de corrélation relativement faible ($R^2 = 0.64$) et une variation légère de l'ordre de $+0.42^\circ\text{C}/100$ m d'altitude.

L'utilisation de ces estimations pour le calcul de Q_2 permet d'établir un modèle de variation spatiale du bioclimat en fonction de l'altitude. Dans la zone d'étude, le bioclimat varie du semi-aride chaud au niveau du littoral au subhumide tempéré et même frais aux altitudes supérieures à 900 m. En fonction du relief, on peut constater que c'est le semi-aride chaud qui domine la plaine en pénétrant dans les vallons à basses altitudes. Il est succédé en altitude par le subhumide chaud. L'extension du bioclimat humide tempéré est réduite aux limites occidentales de la zone d'étude.

Variable	Modèle linéaire	Coefficient de corrélation R^2
P (mm/an)	$369.27 + 1.1355 \cdot \text{Altitude}$	0.93
m ($^\circ\text{C}$)	$8.3122 - 0.006 \cdot \text{Altitude}$	0.83
M ($^\circ\text{C}$)	$29.535 + 0.0042 \cdot \text{Altitude}$	0.64

Tableau 2. Modèles linéaires de variation climatique dans la région de Oued Laou.

2.1.4. Hydrologie :

Le principal cours d'eau dans la plaine est l'Oued Laou qui prend naissance au pied de Jbel Lakraâ (2159 m) et qui parcourt une distance d'environ 70 Km jusqu'à déboucher dans la Méditerranée. En traversant la plaine littorale, cette rivière est alimentée par les eaux superficielles des cours d'eau temporaires de la zone d'étude (principalement Oued Tasseft et Oued Ifrane n°Ali) (Fig. 8).

Grâce aux grandes quantités de précipitations reçues aux sommets du bassin de Oued Laou (Lakraâ, Tissouka, Tazaot, Khezana, Soukna, Bouhachem), la plaine de Oued Laou est continuellement alimentée en eaux douces. Cette alimentation est à la fois superficielle et souterraine. C'est cette ressource hydrique qui constitue la principale richesse naturelle de la zone d'étude. L'aquifère alluvial de la plaine Oued Laou possède en fait une longueur maximale de 10 km et une largeur maximale de 1.5 km dans son embouchure, couvrant ainsi une superficie totale d'environ 1800 ha. Il s'agit d'un aquifère assez homogène formé d'une seule couche à nappe libre. Il constitue une réserve précieuse d'un volume hydrique total compris entre 70 et 100 hm³/an dont à peine 0.1 hm³/an sont prélevées pour les différents usages de la plaine et de la ville de Oued Laou. A l'opposé, l'utilisation des fertilisants en agriculture et l'inexistence d'un réseau urbain d'assainissement entraînent une pollution significative au niveau de la ville (doses de nitrates supérieures aux normes admissibles).

Les apports de l'oued sont contrôlés d'une manière continue à son entrée au niveau de la plaine par la station Koudiat Kourrirene. Pourtant, à cause du caractère torrentiel des pluies méditerranéennes et de la topographie du bassin hydrographique, les crues et les inondations sont fréquentes au niveau de la plaine de Oued Laou. La période des crues s'étend sur 4 mois, de novembre à février avec un maximum pendant le mois de décembre, correspondant au mois le plus pluvieux de l'année (RKIOUAK. ,1996).

Réseau hydrique

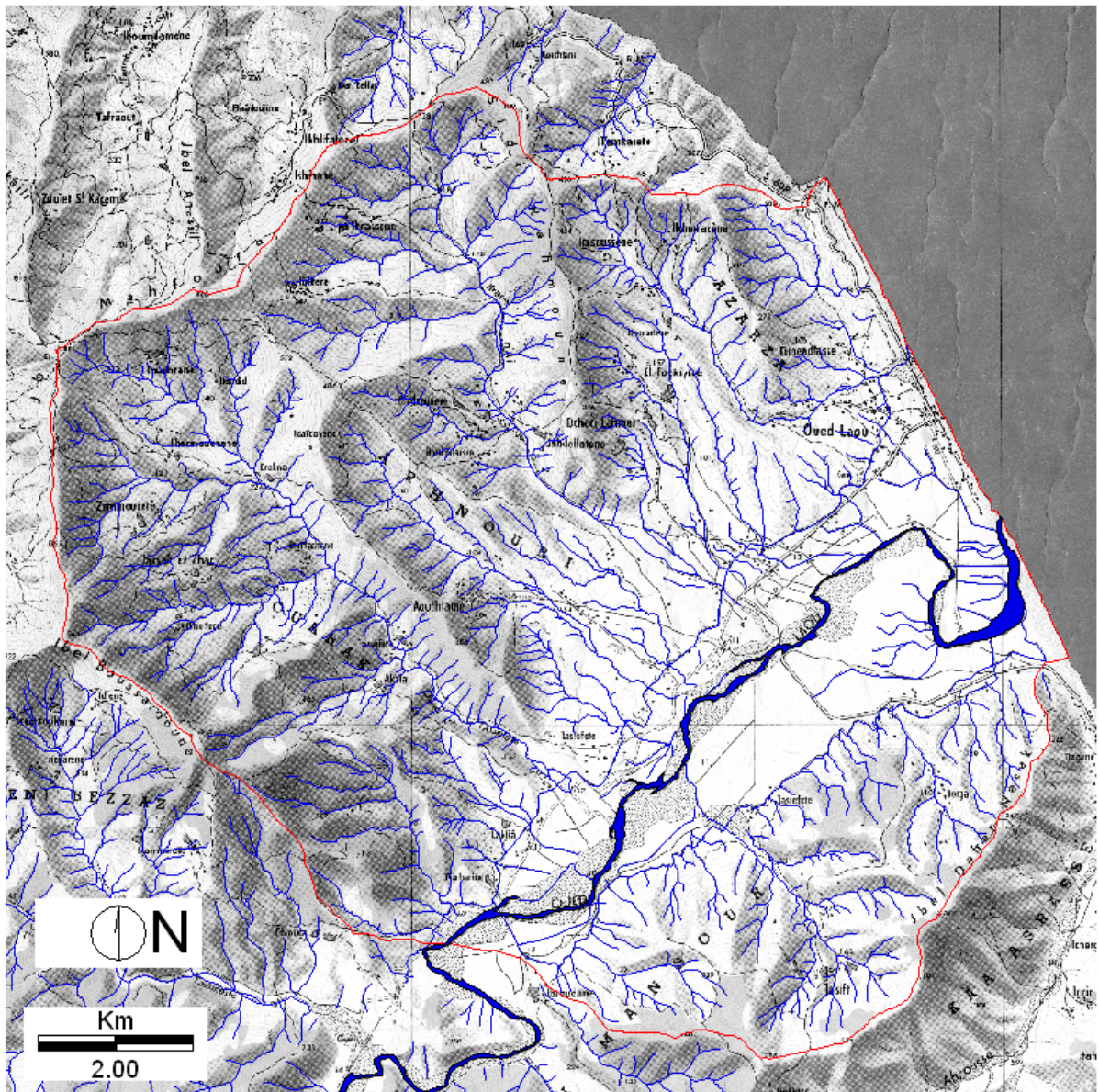


Fig. 8. Le réseau hydrique dans l'aval de Oued Laou.

2.1.5. Couverture végétale :

Au niveau de la plaine, à cause de la dominance agricole, la couverture végétale est réduite à quelques îlots de végétation riparienne. Au niveau des collines qui bordent la plaine, elle est essentiellement représentée par des matorrals plus ou moins hauts et denses ; la forêt naturelle occupe une faible superficie.

En se basant sur les données relatives aux fragments forestiers rémanents et aux sites maraboutiques, on peut dire que les forêts climaciques de la zone d'étude sont représentées par l'oléastraie, la tétraclinaie, la cocciféraie et la subéraie de basse altitude (TAIQUI L., comm. pers.). En se basant sur les travaux de BENABID (1982), on peut dire que ces forêts correspondent respectivement aux associations forestières suivantes : *Tamo communis* – *Oleatum sylvestris*, *Calycotomo intermediae* – *Tetraclinetum articulatae*, *Rusco hypophyllae* – *Quercetum cocciferae* et *Myrto communis* – *Quercetum suberis*. Les conditions climatiques et édaphiques qui contrôlent la répartition de ces associations permettent de conclure que les forêts potentielles de la zone d'étude auraient la distribution suivante :

- ❖ l'oléastraie est susceptible d'occuper tous les sols argileux ou marneux, en particulier au niveau de la plaine et des terrains à pente faible où s'accumulent les sédiments quaternaires ;
- ❖ indépendamment de leur nature chimique, les sols secs et peu développés des terrains en pente sont colonisables par la tétraclinaie dans tous les endroits dominés par les ambiances bioclimatiques semi-aride et parfois même subhumide chaudes ;
- ❖ la subéraie peut occuper tous les terrains siliceux paléozoïques de la zone d'étude et particulièrement ceux situés sous bioclimat subhumide ou humide chauds et tempérés. Dans le subhumide chaud, la tétraclinaie est favorisée dans les endroits les plus ensoleillés ;
- ❖ la cocciféraie, indifférente aux variations climatiques et édaphiques qui existent dans la zone étudiée, ne domine que dans des situations particulières où toutes les autres formations sont exclues sous l'effet du stress dû au vent. Elle forme le climax dans les zones exposées aux vents violents, au niveau des crêtes et des cols des petites montagnes de la zone d'étude.

A ces forêts naturelles on peut ajouter certaines ripisylves plus ou moins éparpillées sur le réseau hydrique de la zone étudiée. Les arbres remarquables dans ces ripisylves sont *Tamarix africana*, *Populus nigra*, *Populus alba* accompagnés de saule et de laurier rose. Dans tous les cas, à l'heure actuelle, ces différentes forêts naturelles sont réduites à l'état de témoins. La zone d'étude est largement dominée par les usages agricoles. La plus grande partie de la couverture naturelle persistante est constituée de matorrals issus de différentes formes de dégradation. Ces matorrals sont de hauteur et de recouvrement variés. En fonction de leur physionomie, on peut les subdiviser en deux classes générales :

- ❖ Les matorrals clairs sont les plus dégradés, les plus étendus et les plus pauvres. Les espèces les plus communes sont *Cistus crispus*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus albidus*, *Lavandula stoechas*, *Globularia alypum*, *Calycotome villosa* et *Pistacia lentiscus*. En plus des herbacées telles que *Hyparrhenia sinaica* et d'autres ligneux bas, ces matorrals sont parfois pénétrés par des individus bas et isolés de *Tetraclinis articulata*, *Olea europaea* var. *sylvestris* ou *Quercus coccifera*. Difficilement attribuables à une série ou à une autre, ces matorrals clairs témoignent d'une dégradation poussée et d'un pâturage excessif. Parfois, ces matorrals surgissent sur des terrains de cultures abandonnées.
- ❖ Les matorrals denses ont par contre une couverture plus importante et sont souvent plus riches et plus développés en hauteur. Les espèces structurantes sont surtout *Tetraclinis articulata*, *Pistacia lentiscus*, *Erica arborea* et *Calycotome villosa*. Elles dominent parfois un manteau de végétation méditerranéenne impénétrable où plusieurs lianes, telles que *Smilax aspera*, *Lonicera implexa* et *Clematis cirrhosa*, jouent un rôle important. En fonction du cortège floristique, des interactions possibles avec le milieu et entre les espèces dominantes, ces matorrals sont relativement plus faciles à rattacher à l'une des séries de végétation climacique décrites plus haut.

2.2. Milieu humain :

Administrativement, la Municipalité de Oued Laou occupe la frange littorale au nord de la rive gauche de la rivière. Elle est relayée vers l'intérieur par la Commune rurale Beni Said. Sur la rive droite, le territoire appartient à la Commune rurale Tassift, à l'exception d'une frange littorale dépendant de la Commune rurale Tizigane. Les territoires des deux dernières communes s'étendent au sud à l'extérieur de la zone d'étude.

Les données des recensements de la population de deux collectivités locales de la rive gauche de la rivière donnent une idée sur la croissance démographique dans la zone d'étude. La Municipalité de Oued Laou et la CR Beni Said passent de 14900 habitants en 1994 à 16600 habitants en 2004 ; soit un taux d'accroissement de 1.08%.

Selon le recensement de 2004, on peut donc dire que, au niveau de la rive gauche (3/4 de la superficie de la zone d'étude), la densité de la population est d'environ 205 habitants par km². Cette population est essentiellement concentrée au niveau du centre urbain. En 2004, on a recensé 8383 habitants et 1722 ménages dans la Municipalité de Oued Laou. Ce chiffre se double pendant la période estivale (le camping de Oued Laou accueille à lui seul environ 3000 personnes pendant l'été).

A l'extérieur du centre urbain, la population est dispersée dans de petits hameaux ou douars. La taille et la distance entre les douars sont variables. Pour l'ensemble de la zone d'étude, le nombre de douars s'élève à 24 dont 20 font partie de la CR Beni Said.

Collectivité locale	1994		2004		Taux d'accroissement
	Population	Ménages	Population	Ménages	
OUED LAOU	7575	1317	8383	1722	1.02
BNI SAID	7331	1150	8219	1422	1.15
TASSIFT	6517	962	8139	1193	2.25
TIZIGANE	9604	1495	11711	1883	2.00

Tableau 3. Population des collectivités locales de la zone d'étude entre 1994 et 2004.

La croissance démographique au niveau de la municipalité ne signifie pas une régression du caractère rural de la plaine de Oued Laou. La plus grande partie de la population du village et de la plaine exercent l'agriculture et l'élevage. En plus, les principales activités de la zone sont la pêche et le tourisme. L'industrie est pratiquement inexistante.

L'exploitation agricole est de petite parcelle en régime de propriété, avec participation de tous les membres de la famille dans les labours agricoles. Les fertilisants utilisés sont les engrais minéraux et les fumiers de fermes. Les cultures pratiquées dans la plaine sont variées (céréales, maraîchages, plantes fourragères). En relation avec l'élevage (bovin en particulier), les cultures fourragères occupent de plus en plus une place prépondérante. En dehors de la plaine, l'agriculture est largement extensive. La culture des céréales est majoritaire et l'élevage est surtout caprin.

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé :

- ❖ un ordinateur PC (Pentium IV) ;
- ❖ un scanner (Epson GT-10000+) ;
- ❖ le logiciel Idrisi qui est un SIG de type raster ;
- ❖ la carte topographique 1/50.000^e de Talambote, publiée en 1970.
- ❖ Les photos aériennes des années 1958,1966 et 1994 (une partie de la zone a été couverte par un vol de 1992)
- ❖ Un stéréoscope.

L'étude comporte deux parties :

- Dans la première partie, on a développé une base de données géoréférencées sur le paysage littoral de Oued Laou contenant la topographie, le réseau hydrique, la voirie, l'habitat humain. Toutes ces données sont issues de la feuille topographique 1/50.000^e de Talambote, publiée en 1970.
- Dans la deuxième partie, on a fait l'analyse des structures et des changements du paysage au niveau de la plaine de Oued Laou, en se basant sur les photos aériennes rectifiées des années 1958,1966 et 1994 et l'analyse des relations spatio-temporelles entre usages et facteurs environnementaux.

1. TRANSFORMATION DES INFORMATIONS DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE EN UNE BASE DE DONNÉES GÉORÉFÉRENCIÉES

C'est un processus d'introduction des données à l'ordinateur, suivi par leur projection dans un système de référence géographique. La carte topographique utilisée est la feuille de Talambote à 1/50.000.

1.1. Digitalisation par le scanner :

C'est la numérisation de la carte topographique à travers un scanner (Fig. 9). Les paramètres de réglage du scanner que nous avons utilisés sont les suivants : luminosité 10, contraste 30 et résolution 600. Ces paramètres permettent la saisie d'une image très détaillée et d'une qualité satisfaisante. L'image est enregistrée sous un format 'bmp' dans le répertoire de travail. Le module **Import** est ensuite utilisé pour importer l'image numérisée au format du SIG Idrisi.

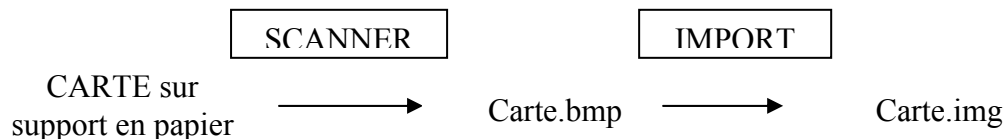


Fig. 9. Numérisation et importation des données cartographiques au SIG.

1.2. Géoréférenciation :

C'est l'application d'un système de coordonnées géographiques à l'image importée. C'est une étape fondamentale puisque toute l'importance du SIG réside dans le fait de pouvoir traiter différentes couches d'information thématique ayant les mêmes références géographiques. Dans le SIG Idrisi, on utilise le module **Resample** pour transformer les coordonnées de l'image importée aux coordonnées spatiales Lambert (Projection conique conforme de Lambert Nord-Maroc). Ce module nécessite l'élaboration préalable d'un fichier de correspondance.

Au cours de cette opération, le module **Resample** permet de préciser l'extension géographique (en latitude et longitude) et la résolution (taille des pixels) à adopter dans la zone d'étude. Dans notre cas, les coordonnées géographiques (système Lambert) de la zone d'étude sont les suivantes : Longitude 516.7-530.0 km ; Latitude 530.0-544.0 km. La résolution adoptée est de 5 mètres.

1.3. Digitalisation sur écran :

La carte topographique numérisée et géoréférencée possède plusieurs types d'informations qui ne peuvent pas être utilisées directement. Le SIG Idrisi permet de digitaliser par un traçage manuel sur l'écran, en utilisant la souris. Cette technique a été appliquée, de façon séparée, pour digitaliser les courbes de niveau d'altitude (équidistance 20 m), le réseau hydrique, la voirie, les noyaux d'habitat humain et la végétation naturelle. Les données ainsi digitalisées sont enregistrées dans des fichiers vectoriels.

La digitalisation sur écran en utilisant la souris est une étape très laborieuse. Etant donné que la qualité du traçage manuel dépend, entre autres, de la précision des éléments visualisés, nous avons appliqué un même grossissement en découpant la zone à digitaliser en plusieurs scènes de 2km*2km. Ces scènes sont alors traitées avec un grossissement adéquat pour l'ensemble du travail.

1.4. Traitement des fichiers vectoriels :

Les fichiers vectoriels obtenus représentent des fragments de la zone d'étude (digitalisés par scène) et peuvent contenir des erreurs. Pour pouvoir regrouper les différents fragments en un seul fichier couvrant toute la zone et pour pouvoir corriger les erreurs éventuelles, nous avons utilisé le Logiciel **Tosca2.1.2** de traitement des données vectorielles.

1.5. Rastérisation des données vectorielles :

Les fichiers vectoriels sont convertis au format Raster pour pouvoir effectuer les analyses dans le SIG Idrisi. On utilise pour cela les modules **Lineras** pour la rastérisation des fichiers de lignes (courbes des altitudes, lignes de la voirie, réseau hydrique) et **Polyras** pour les polygones (polygones des forêts). Les images obtenues possèdent toutes les mêmes paramètres d'extension et de résolution dans le système de référence utilisé.

1.6. Elaboration du modèle digital du terrain :

A partir des courbes de niveau rastérisées, le module **Intercon** permet l'interpolation des altitudes et l'élaboration du modèle digital du terrain (MDT). Ce dernier est utilisé pour le calcul des pentes et des orientations géographiques, en employant le module **Surface**.

2. ANALYSE DE LA STRUCTURE ET DYNAMIQUE DES USAGES DU SOL AU NIVEAU DE LA PLAINE DE OUED LAOU A PARTIR DE LA PHOTOGRAPHIE AERIENNES

2.1. Géoréférenciation des photographies aériennes:

La première étape consiste alors à projeter les images digitalisées (par un scanner) dans le système de référence géographique utilisé dans les cartes topographiques du Maroc (projection canonique conforme Lambert). On utilise pour cela une série de points de correspondance (entre photographies aériennes et cartes topographiques) identifiés sur les réseaux des voies de communication et cours d'eau. Ces données sont ensuite soumises au programme **Resample** du SIG Idrisi pour réaliser la géoréférenciation et corriger les distorsions avec une erreur inférieure à 5 m. Les images obtenues ont une résolution de 25 m². Elles sont groupées selon leurs coordonnées pour élaborer des orthophotogrammes.

2.2. Elaboration des cartes des usages du sol :

Les cartes des usages du sol de la plaine de Oued Laou sont élaborées à partir des orthophotogrammes de 1958, 1966 et 1994. Onze types d'usages sont reconnus, les forêts, les matorrals denses, les matorrals clairs, la végétation dunaire, l'agriculture irriguée, l'agriculture bour, les noyaux urbains, les noyaux humains, la rivière, le lit de la rivière, et la plage .

La photo-interprétation stéréoscopique ou directe sur écran a été établie à partir de la série photographique de 1966 qui est la plus détaillée. La carte préliminaire ainsi obtenue a été digitalisée pour servir de référence. La visualisation de cette carte de référence superposée sur l'orthophotogramme de 1966 permet la délimitation des classes d'usages sur écran. Des fichiers vectoriels sont ainsi établis par classe et sont rectifiés en fonction des changements

observés dans les orthophotogrammes de 1958 et 1994. Ces fichiers sont ensuite rastérisés pour élaborer les cartes d'usages du sol à analyser dans le S.I.G.

2.3. Quantification de l'évolution du paysage :

Les changements dans le temps ont été évalués en examinant les variations des superficies et en dressant des matrices croisées par combinaison de cartes d'usages prises dans des temps différents. L'indice de conformité K (indice KIA ou Kappa) est utilisé pour une évaluation des classes affectées et de la nature des changements qu'elles ont reçu. Les cartes combinées servent en plus de localiser et typifier les changements observés. Les proportions de transition entre usages qui en sont déduites permettent de dresser un schéma détaillé des changements en cours. Ces analyses descriptives des dynamiques sont présentées pour les 11 classes selon trois périodes prises de forme séparée : 1958-1966, 1966-1994 et 1958-1994.

3. CARACTERISATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA STRUCTURE DU PAYSAGE

Les indices du patron spatial sont utilisés pour décrire la structure du paysage. Ils permettent de caractériser différents aspects de la surface, densité, forme, configuration, bordure, isolation, connectivité et diversité des taches au niveau des classes d'usages et au niveau du paysage. Ces indices de structure reflètent et affectent les processus de fonctionnement écologique au niveau du paysage (Turner, 1989).

Dans ce mémoire, on a choisit d'appliquer les indices suivants : Nombre de taches (NP), Connectivité (IJI), et Dimension fractale de périmètre surface (PAFRAC). Ces indices sont calculés en utilisant le logiciel FRAGSTATS©. Ces différents indices ont été appliqués au paysage de 1958, 1966 et 1994. Les résultats sont alors interprétés en fonction du temps.

3.1. Nombre de taches :

$$NP = n_i$$

Où

n_i = nombre de taches de la classe d'usage i du paysage.

Au niveau de la totalité du paysage, $NP=N$. N est le nombre total de taches dans le paysage.

$NP \geq 1$, sans limite et sans unité.

Le nombre de taches d'une classe d'usage particulière est une simple mesure de l'effectif des subdivisions ou fragments séparés de la classe d'usage. Il traduit la fragmentation et ne donne pas d'information sur l'aire, la distribution, ou la densité des taches.

3.2. Connectivité, contiguïté ou juxtaposition (indice *IJI*) :

$$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_k}{\sum_{k=1}^m e_k} \right) \ln \left(\frac{e_k}{\sum_{k=1}^m e_k} \right) \right]}{\ln(m-1)} \quad (100)$$

m = nombre de tache des classes d'usage du paysage incluant les bordures du paysage si ils sont présents.

L'unité de l'indice est le pourcentage : $0 < IJI \leq 100$.

IJI approche à 0 si les taches de la classe considérée sont adjacentes à un seul autre type de taches et le nombre de types d'usages est élevé. *IJI*=100 quand la tache d'usage est adjacente à la totalité des taches des autres classes d'usages. *IJI* considère la totalité des taches des classes d'usage présentes dans l'image, y compris les bordures si elles sont présents.

3.3. Dimension fractale du rapport périmètre-surface (indice *PAFRAC*) :

$$PAFRAC = \frac{\frac{2}{\left[n_i \sum_{i=1}^n (\ln p_{ij} \ln a_{ij}) \right] - \left[\left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right) \right]}}{\left(n_i \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right)^2}$$

a_{ij} = La surface en m^2 de la tache ij .

p_{ij} = Périmètre en m de la tache ij .

n_i = nombre de taches du paysage

$1 \leq PAFRAC \leq 2$. L'indice PAFRAC est sans unité.

PFRAC est égal à 2 divisé par la pente de régression linéaire entre le logarithme de surface de tache et le logarithme du périmètre de tache. Cet indice est important parce qu'il reflète la complexité de la forme à travers un rang d'échelles spatiales (dimensions des taches).

4. ANALYSE DES RELATIONS SPATIALES ENTRE USAGES DU SOL ET FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Les taches forestières présentes en 1994 sont analysées par rapport aux terrains des cultures bour et en fonction des variables topographiques. Pour cela, à partir du modèle digital du terrain, les cartes des altitudes, des pentes et des orientations sont élaborées et reclassées. Les classes considérées sont les suivantes :

- Altitude : [0,50[, [50,150[: [150,300[, [300,450[, [450,600[, > 600m :
- Pente : La pente a été considérée en fonction des zones suivantes: Zone à pente inférieure à 3%, zone à pente douce entre 3 et 10%, zone à pente modérée entre 10 et 20 %, zone à pente forte entre 20 et 30%, zone à pente très forte entre 30 et 50% et zone à pente escarpée supérieure à 50 %.
- Orientation : Le territoire a été subdivisé en neuf classes : les orientations nord, nord-est, est, sud-est, sud, sud-ouest, ouest et nord-ouest et les terrains plats.

Trois cartes sont ainsi obtenues. Elles sont superposées à la carte des forêts et agriculture bour en utilisant le module **Overlay**. Les cartes issues de la superposition servent pour le calcul des surfaces en employant le module **Area**. Les résultats sont ensuite transférés à une feuille de calcul pour le calcul des pourcentages de surfaces occupées par la forêt ou l'agriculture bour en fonction des unités de classification topographique.

CHAPITRE III

RESULTATS

RESULTATS

1. DYNAMIQUE GENERALE DES USAGES ET COUVERTURES DU SOL

Trois cartes des usages du sol ont été élaborées à partir des orthophotogrammes de 1958, 1966 et 1994. On peut remarquer la zone étudiée est traversée par la rivière et la plaine (Fig. 9-10-11). De part et d'autre, l'agriculture bour domine de plus en plus entre 1958 et 1994. D'importantes taches de forêt et de matorral dense se réduisent considérablement et tendent à disparaître en 1994.

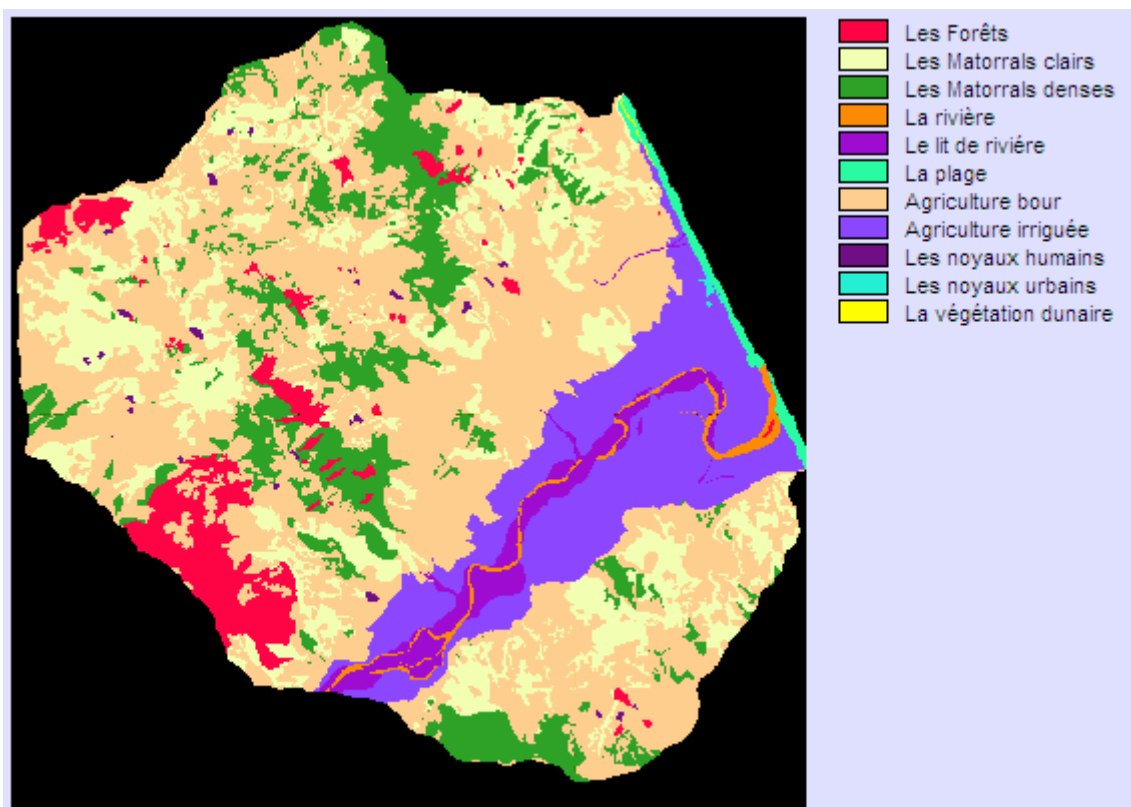


Fig. 10. Répartition des usages du sol dans l'aval de Oued Laou en 1958 .

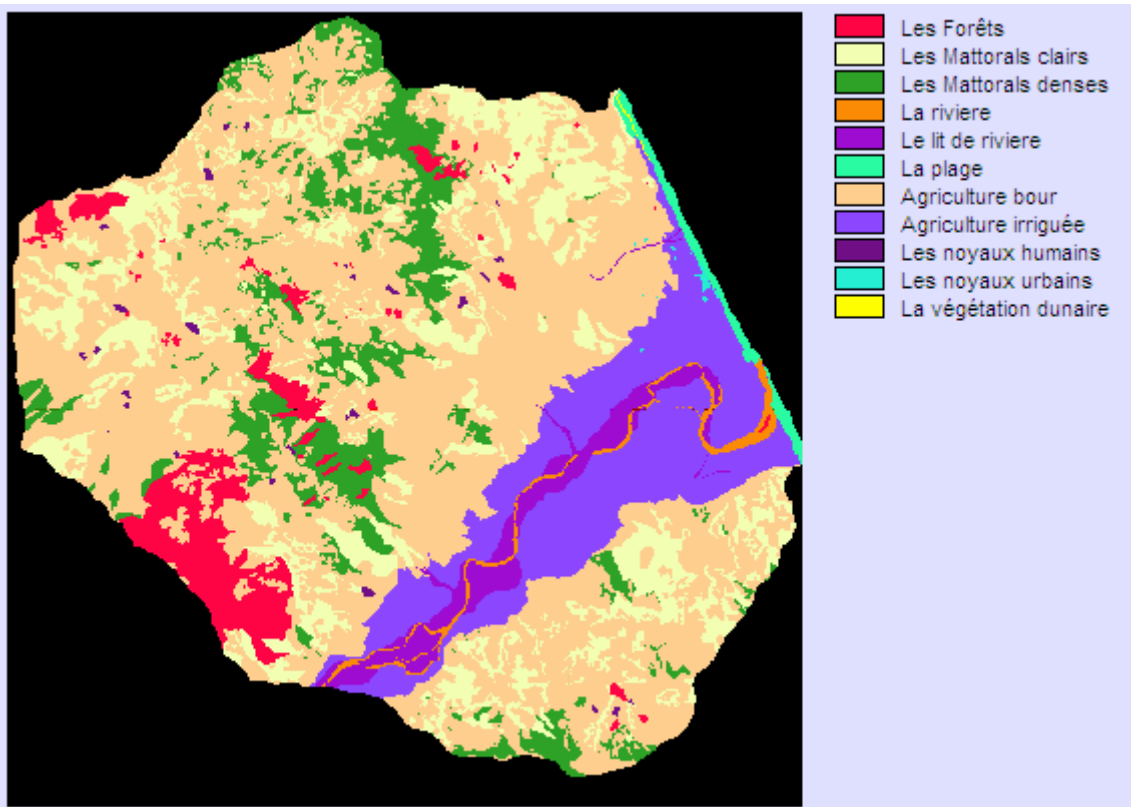


Fig. 11. Répartition des usages du sol dans l'aval de Oued Laou en 1966.

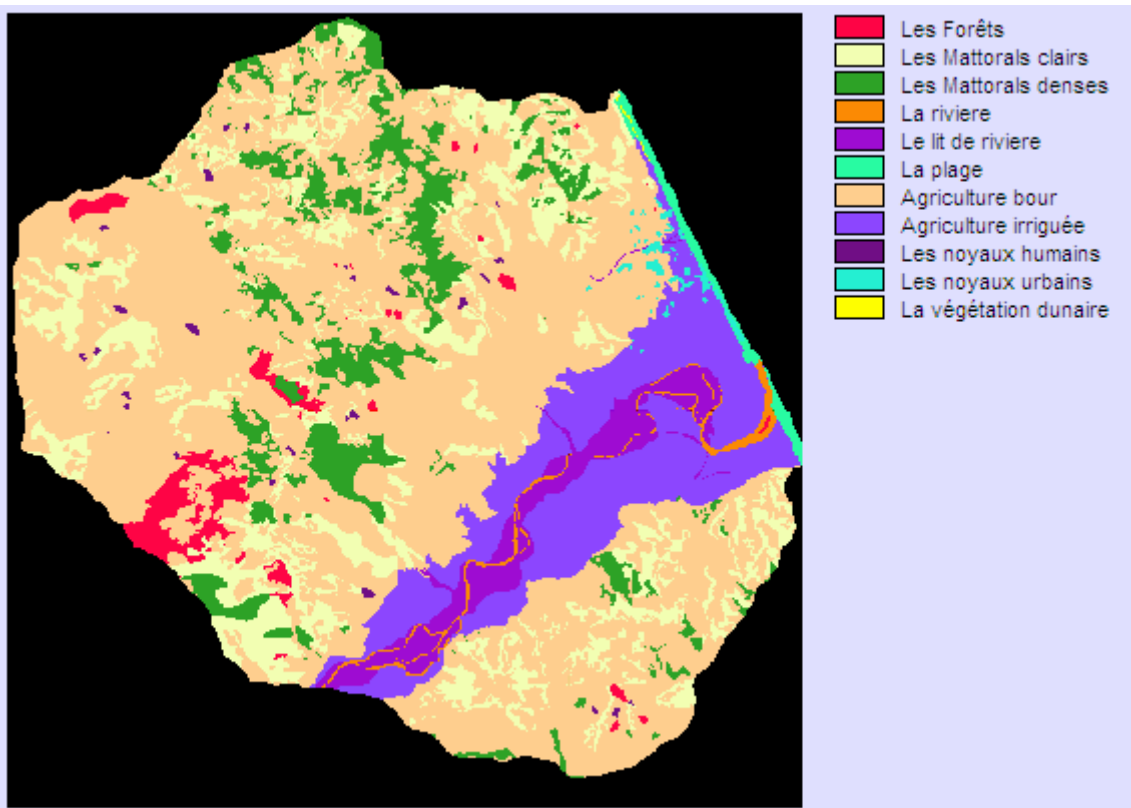


Fig. 12. Répartition des usages du sol dans l'aval de Oued Laou en 1994.

L'indice de conformité entre les images des trois temps indique un haut niveau de conformité. Entre 1966 et 1994, KIA=0.9318 indique une très haute conformité. Cependant, entre 1958 et 1994, KIA=0.8377, ce qui signifie une accumulation relativement importante de changements.

Classe d'usage	1958		1966		1994		Changement		
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	1958-66	1966-94	1958-94
Forêts	586.88	5.43	562.8	5.20	237.36	2.19	-0.22	-3.01	-3.23
Matorrals clairs	1939.01	17.94	1676.09	15.50	1590.77	14.71	-2.43	-0.78	-3.22
Matorrals denses	1273.90	11.78	1011.70	9.36	867.57	8.02	-2.42	-1.33	-3.75
Rivière	98.80	0.91	99.39	0.91	89.09	0.82	0.005	-0.09	-0.08
Lit de rivière	289.98	2.68	305.96	2.83	388.35	3.59	0.14	0.76	0.91
Plage	88.45	0.81	88.34	0.81	80.64	0.74	-0.001	-0.07	-0.07
Agriculture bour	5096.51	47.15	5644.86	52.22	6163.23	57.02	5.07	4.79	9.86
Agriculture irriguée	1394.35	12.90	1376.96	12.74	1314.06	12.15	-0.16	-0.58	-0.74
Noyaux humains	30.50	0.28	30.50	0.28	30.50	0.28	0	0	0
Noyaux urbains	6.92	0.06	8.72	0.08	44.14	0.40	0.01	0.32	0.34
Végétation dunaire	2.38	0.02	2.38	0.02	1.99	0.01	0	-0.003	-0.003
Total	10807.75	100	10807.75	100	10807.75	100			

Tableau. 4. Changements des pourcentages des superficies occupées par les usages du sol dans la plaine de Oued Laou en 1958, 1966 et 1994.

Les superficies des différents usages du sol et couvertures végétales ainsi que leurs pourcentages de changement dans le temps sont reportés sur le Tableau 4. Avec environ 50% de la surface de la plaine de Oued Laou, l'agriculture bour représente le type d'usage le plus étendu. Cette superficie agricole bour a augmenté de 5096.51 ha en 1958 (47.15% de la plaine), à 5644.86 ha en 1966 (52.22 %) et à 6163.23 ha en 1994 (57.02 %). Les couvertures forestières se sont réduites de 586.88 ha en 1958 (5.43 % de la surface totale de la plaine) à 562.80 ha en 1966 (5.20 %) et à 237.36 ha (2.19 %) en 1994.

Les matorrals clairs se sont réduits également de 1939.01 ha (17.94%) en 1958 à 1676.09 (15.50 %) en 1966 et à 1590.77 ha (14.71 %) en 1994. Les matorrals denses n'ont pas échappé à cette tendance, 2.42 % de matorrals dense est éliminé en 1966 et 3.75% en 1994.

La surface de la rivière a connu une petite augmentation de 98,80 ha en 1958 à 99.39 ha en 1966 ; cette surface a diminué en 1994 jusqu'à 80.64 ha. Les lits de rivière nus apparaissent sur une aire croissante de 289.98 ha en 1958 à 305.96 ha en 1966 et à 388.35 en 1994. Quant à la plage, elle a enregistré une baisse de 88.45 ha en 1958 à 88.34 en 1966 et 80.64 en 1994. L'agriculture irriguée occupant moins de superficie par rapport à l'agriculture bour a connu une dynamique régressive de 1394.35 ha en 1958 à 1376.96 ha en 1966 et à 1314.06 ha en 1994. En ce qui concerne les noyaux humains, la superficie est restée fixe entre 1958, 1966 et 1994 (0.28 ha). Quant aux zones urbaines, on note une augmentation de la superficie de 6.92 ha en 1958 à 8.72 ha en 1966 et 44.14 ha en 1994. La végétation dunaire n'a pas changé entre 1958 et 1966 (2.38 ha) mais a diminué à 1.99 ha en 1994.

L'ensemble de ces changements de superficies est caractérisé par une dynamique générale de conversion et dégradation des espaces forestiers et de la végétation naturelle (matorrals clairs et matorrals denses). Cette dynamique générale de régression de la végétation naturelle s'accompagne d'une expansion accélérée des superficies agricoles surtout bour. Cette accélération des défrichement s'est produite en grande partie durant la période 1958-1966 (Tableau 5).

La représentation graphique des taux de changement annuel de superficie des usages (Fig. 13) montre une régression nette de la couverture végétale naturelle et de l'agriculture irriguée. Cette régression atteint des taux très élevés pour les matorrals durant les 8 premières années de la série (-32.8 ha/an pour le matorral dense et -32.9 ha/an pour le matorral clair). Dans le cas de la forêt, c'est la période 1966-94 qui a connu un taux de déforestation plus important (-11.6 ha/an). Les défrichements sont représentés par l'extension de l'agriculture bour. Cette extension s'est produite à un taux de +68.5 ha/an entre 1958 et 1966 puis elle a connu un ralentissement en diminuant à 18.5 ha/an entre 1966 et 1994. Par ailleurs, si le changement positif de la superficie du lit de la rivière est lié à la dynamique des crues, l'accroissement de la superficie urbaine traduit la croissance démographique du village de Oued Laou. A l'opposé de cet accroissement, les superficies de la plage et des cultures irriguées sont décroissantes.

	1958-66	1966-94	1958-94
Agriculture bour	68.54	18.51	29.63
Lit de rivière	2.00	2.94	2.73
Noyaux urbains	0.23	1.27	1.03
Rivière	0.07	-0.37	-0.27
Noyaux ruraux	0.00	0.00	0.00
Végétation dunaire	0.00	-0.01	-0.01
Plage	-0.01	-0.28	-0.22
Agriculture irriguée	-2.17	-2.25	-2.23
Forêts	-3.01	-11.62	-9.71
Matorrals denses	-32.78	-5.15	-11.29
Matorrals clairs	-32.87	-3.05	-9.67

Tableau 5. Taux de changement annuel de superficie (ha/an) des usages du sol de la plaine de Oued Laou durant les périodes 1958-1966, 1966-1994 et 1958-1994.

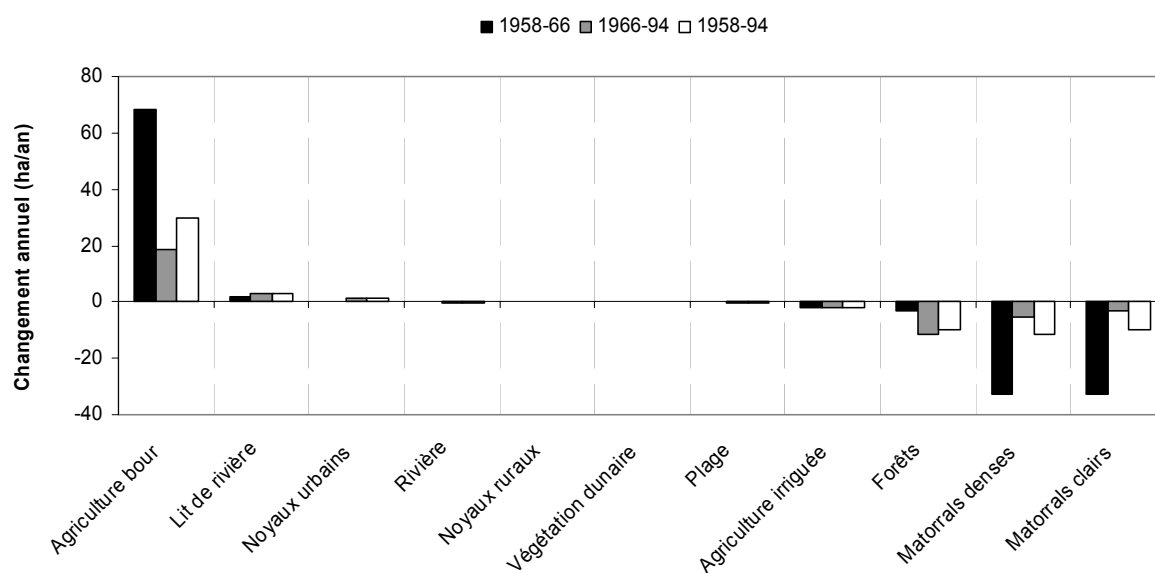


Fig. 13. Taux de changement annuel de superficie (ha/an) des usages du sol de la plaine de Oued Laou durant les périodes 1958-1966, 1966-1994 et 1958-1994.

2. ANALYSE DES TRANSITIONS ENTRE USAGES ET COUVERTURES DU SOL

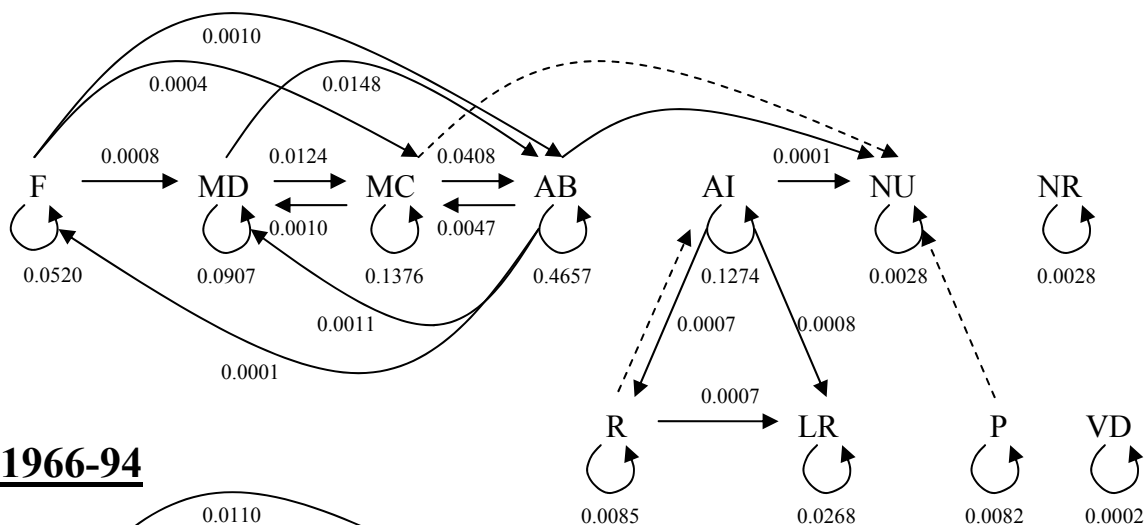
D'après la Figure 14, on remarque que les transitions sont plus variées pendant la période 1966-94 par rapport à 1958-66. Cette variation se répète lorsqu'on considère la période totale 1958-94. La simplicité des transitions de la période 1958-66 fait apparaître une dynamique végétation naturelle – agriculture bour d'une part et une dynamique rivière – irrigation d'autre part. Ces deux dynamiques séparées forment des boucles isolées qui se rejoignent au profit du noyau urbain. La plage, la végétation dunaire et les noyaux humains ruraux sont stables et pratiquement sans transitions avec le reste des usages.

La boucle de transitions végétation naturelle – agriculture bour traduit les dynamiques en cours au niveau de la zone montagnaise. Les transitions de dégradation de la forêt pour donner des matorrals ou sa conversion en agriculture bour se sont accentuées pendant la période 1966-94. A l'opposé, les proportions des transitions de récupération de la forêt ou du matorral à partir de l'agriculture bour ont diminué. On note que dans les deux périodes, toutes les transitions sont possibles à l'intérieur de cette boucle à l'exception de l'évolution du matorral dense à la forêt. Par ailleurs, on note que pour les trois périodes, les terrains irrigués forment une boucle de transition avec la rivière et son lit. Il s'agit d'une dynamique liée aux inondations. Généralement, ces transitions au niveau de la plaine indiquent une certaine permutation spatiale qui ne profite pas à un usage concret mais il y a un équilibre.

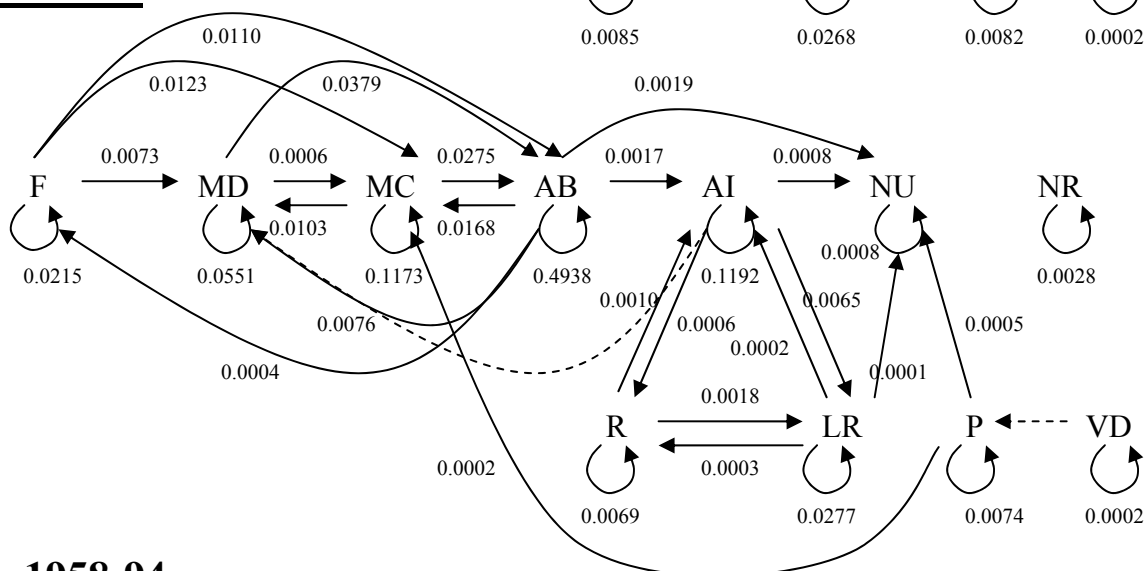
Ce schéma général est maintenu en 1966-94 mais de nouveaux événements se sont produits. Ces événements sont les suivants : une proportion des cultures à sec est irriguée, une proportion du lit de la rivière d'une part et de la plage d'autre part sont urbanisées, la plage cède du terrain au matorral clair et la végétation dunaire tend à disparaître.

En ce qui concerne le noyau urbain, on note que plusieurs usages contribuent à son extension, sans que l'urbanisation cède la place à d'autres usages. Pour la période 1958-66, le taux d'urbanisation était faible mais il s'est produit au détriment de l'agriculture bour, de l'agriculture irriguée et des matorrals clairs. Pour 1966-94, l'urbanisation a été relativement plus active ; les usages qui y ont contribué sont l'agriculture bour, l'agriculture irriguée, le lit de la rivière et une partie de la plage. Pour l'ensemble de la période 1958-94 le graphique montre que les usages qui ont contribué le plus dans l'urbanisation sont l'agriculture bour, l'Agriculture irriguée et la plage.

1958-66



1966-94



1958-94

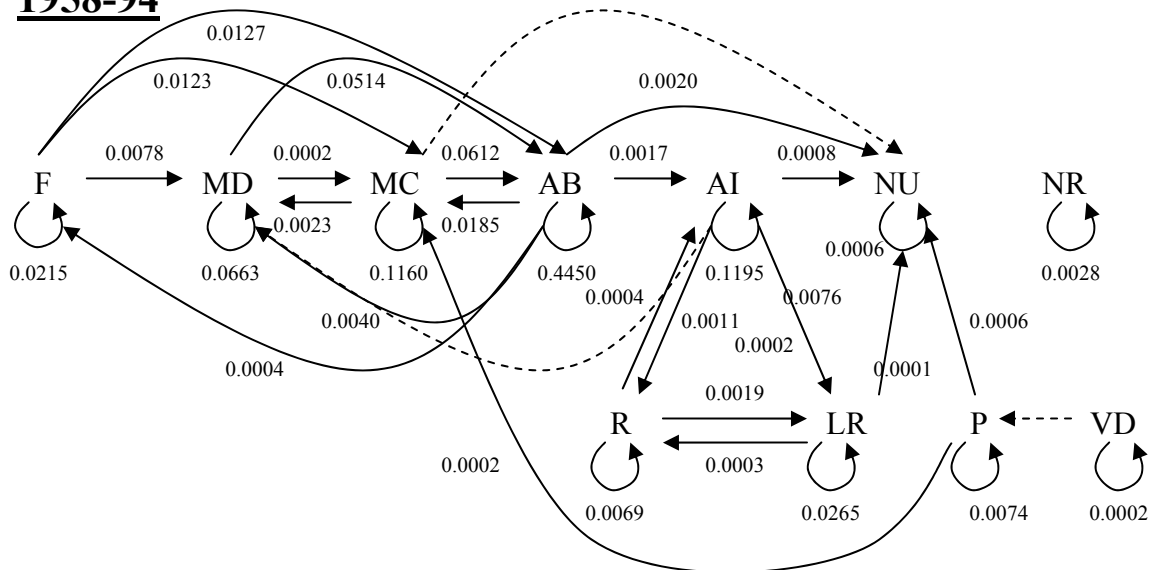


Fig. 14. Proportions de transition entre usages et couvertures du sol dans la plaine de Oued Laou pour les périodes 1958-1966, 1966-1994 et 1958-1994. F : forêt, MD : matorral dense, MC : matorral clair, AB : agriculture bour, AI : agriculture irriguée, NU : Noyaux urbains, NR : noyaux ruraux, R : rivière, LR : lit de rivière, P : plage, VD : végétation dunnaire. En pointillées : proportions de transition inférieures à 0.0001.

3. CHANGEMENT DE STRUCTURE DU PAYSAGE :

3.1. Nombre de taches :

L'agriculture bour et les matorrals denses et clairs présentent un nombre de taches élevé par rapport aux autres classes d'usage du sol (fig. 15). Ces usages occupent en fait une superficie du terrain beaucoup plus importante que les autres usages. Quant aux autres usages, la variation du nombre de taches est faible à l'exception des noyaux urbains.

Le nombre de taches de l'usage agriculture bour a régressé avec le temps. En 1958, on a 233 taches, alors qu'en 1994 le nombre de taches a diminué jusqu'à 152. De même pour le matorral dense, il y a une baisse du nombre de taches de 207 en 1958 à 180 taches en 1994. Par contre au niveau du matorral clair, le nombre de taches a augmenté de 155 en 1958 à 249 en 1994.

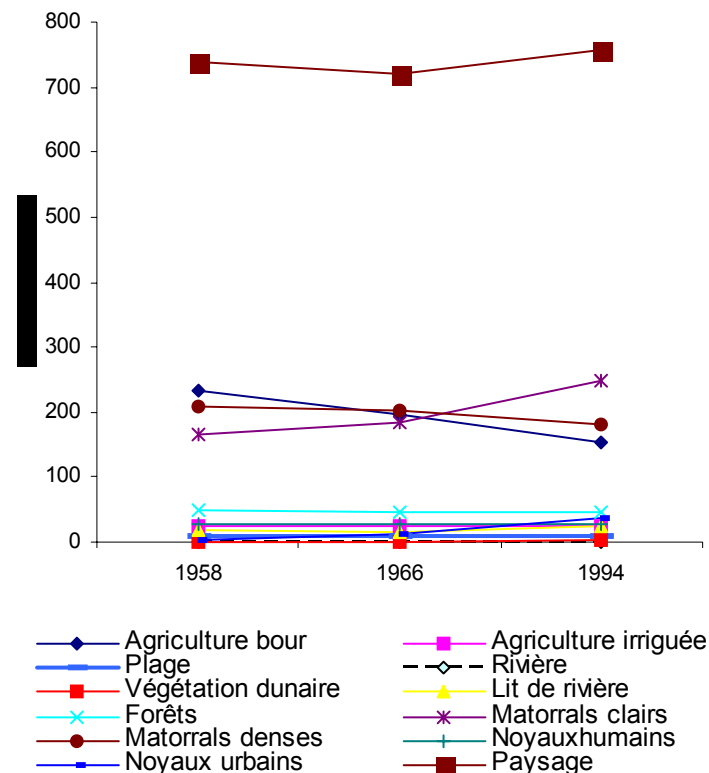


Fig. 15. Evolution de l'indice NP le long de la période étudiée.

De 1958 à 1994 le nombre de taches de l'agriculture bour a diminué alors que la superficie de cet usage augmente. Cela signifie qu'il y a diminution de la fragmentation de l'agriculture extensive au cours du temps grâce à l'augmentation de la connectivité entre les parcelles de cultures qui deviennent de plus en plus continues. Dans le cas des matorrals denses, la réduction du nombre de taches parallèlement à la diminution de la superficie totale de ce type de couverture indique la disparition complète de certaines taches. L'augmentation du nombre de taches du matorral dense alors que la superficie diminue signifie que les matorrals clairs sont de plus en plus réduits en surface et de plus en plus fragmentés.

Pour l'ensemble du paysage, le nombre de taches a légèrement régressé de 739 en 1958 à 719 en 1966, mais en 1994 le nombre a augmenté jusqu'à 756 taches. Donc on peut conclure que le paysage a connu une fragmentation importante dans la période 1966-1994.

3.2. Connectivité (indice IJI) :

Pour les forêts, on note une diminution progressive de l'indice de connectivité de 38.89% en 1958 à 38.25% en 1966 et 30.7% en 1994 (fig. 16). Pour les matorrals clairs et denses, la connectivité diminue légèrement entre 1958 et 1966 puis elle augmente en 1994. Pour l'agriculture bour elle est plus au moins stable entre les trois temps, l'agriculture irriguée a augmentée de 61.7% en 1958 à 63.6% en 1994. Pour les noyaux urbains on note une augmentation considérable au cours de temps de l'indice de connectivité de 20.2% en 1958 à 46% en 1994.

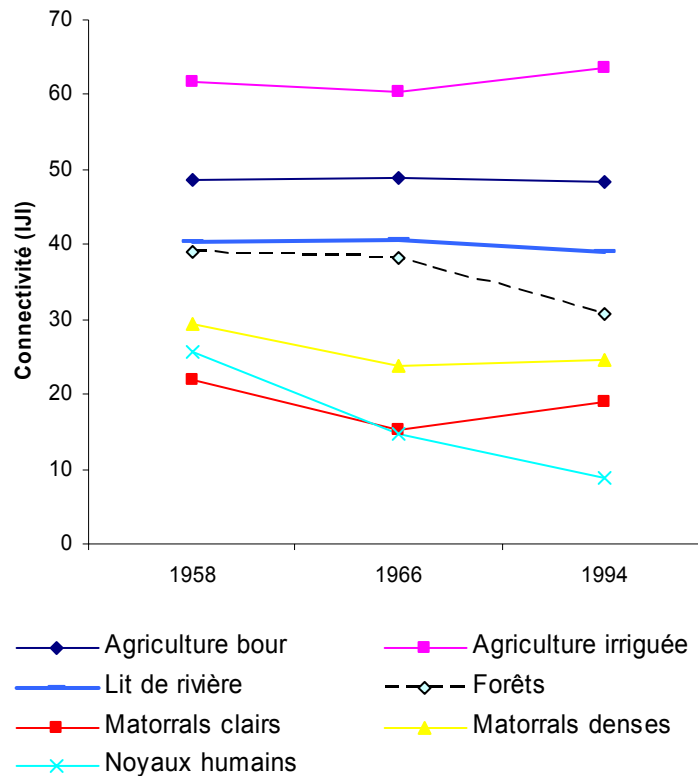


Fig. 16. Evolution de la connectivité des classes d'usages pour les différentes années d'étude.

3.3. Dimension fractale du périmètre surface (indice PAFRAC) :

Pour les forêts, l'indice de dimension fractale a connu une baisse importante de 1966 à 1994 (fig. 17). Cela suggère que non seulement il y a régression de la superficie forestière, la complexité de la forme et de bordure des forêts a diminué au cours du temps. Pour les matorrals clairs, on note une augmentation en 1966 puis une diminution en 1994. Dans le cas des matorrals denses, la valeur de l'indice est presque stable. Pour l'agriculture irriguée, l'indice est resté stable entre 1958-1966 mais il a augmenté en 1994, quant au lit de rivière entre 1958 et 1966 l'indice a connu une augmentation puis une baisse en 1994. Pour les Noyaux urbains la valeur de l'indice est restée stable. La dimension fractale élevée des matorrals clairs et des noyaux ruraux par rapport à l'agriculture irriguée et bour s'explique par le fait que la complexité du forme et de bordure des Matorrals clairs et des Noyaux ruraux est plus grande que celle de l'Agriculture Irriguée et bour.

Pour la totalité du paysage, la dimension fractale n'a pas changé de façon significative.

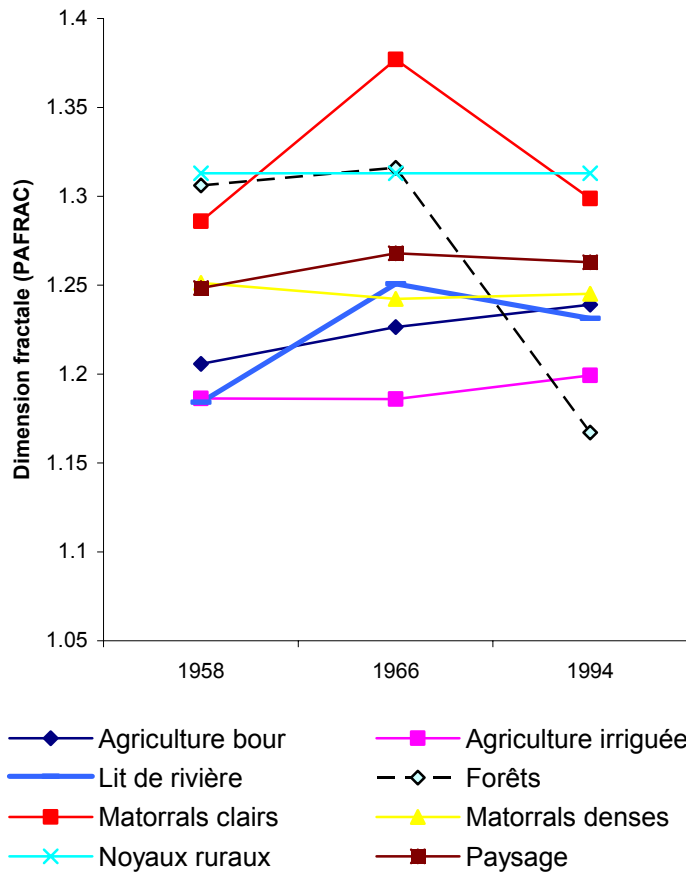


Fig. 17. Evolution de l'indice de dimension fractale pour les classes d'usages dans le paysage de la plaine de Oued Laou, entre 1958, 1966 et 1994.

4. FORÊT, AGRICULTURE ET TOPOGRAPHIE :

En se basant sur une série des photos aériennes géoréférencées et associées en une mosaïque de l'année 1994, et les cartes classées des pentes, des orientations et des altitudes, on a eu les résultats présentés sur le tableau.

		Forêt		Agriculture bour	
		Hectares	% par classe	Hectares	% par classe
Altitude (m)	[0,50[	2.08	0.87	907.83	14.72
	[50,150[	16.80	7.08	1449.25	23.51
	[150,300[	32.70	13.77	1562.68	25.35
	[300,450[	46.96	19.78	1105.60	17.93
	[450,600[	40.44	17.03	594.13	9.36
	>600	98.35	41.43	543.71	8.82
Pente (%)	[0,3[	7.42	3.12	352.67	5.72
	[3,10[	6.40	2.69	614.56	9.97
	[10,20[	15.97	6.72	605.06	9.81
	[20,30[	44.37	18.69	991.09	16.08
	[30,50[	96.13	40.50	2139.68	34.71
	>50	67.04	28.24	1460.14	23.69
Orientation	Sans	5.85	2.46	236.40	3.83
	Nord	34.93	14.71	694.73	11.27
	Nord-est	50.18	21.14	1039.33	16.86
	Est	56.12	23.64	1063.90	17.26
	Sud-est	51.18	21.56	861.79	13.98
	Sud	22.53	9.49	740.46	12.01
	Sud -ouest	7.23	3.04	578.75	9.39
	Ouest	2.02	0.85	462.47	7.50
	Nord-ouest	7.27	3.06	485.34	7.87

Tableau 6. Couverture forestière en fonction de l'altitude, de la pente et de l'orientation géographique du terrain.

4.1. Altitude :

En comparaison avec les terrains non forestiers (Tableau 7) essentiellement occupées par l'agriculture, on peut constater que les forêts sont presque absentes à des altitudes très basses inférieurs à 50 m. Mais au fur et à mesure que l'altitude augmente le pourcentage de terrain occupé par la Forêt augmente. La plus grande partie des forêts (41.43%) se réfugient

aux altitudes supérieure à 600m. La dominance des usages agricole diminue au niveau des hautes altitudes ; la plus grande partie des terrains d'agriculture four est située dans les altitudes intermédiaires entre 50 et 300 m.

4.2. Pente :

Au niveau des pentes faibles, la présence de la forêt est limitée. Mais plus la pente augmente, plus les surfaces occupées par la forêt sont importantes : 3.12% à pente faibles, 6.72% à pentes moyennes et 40.50% à pentes fortes. Au niveau des pentes fortes qui doivent théoriquement être réservées aux usages forestiers, on note une présence considérable de l'agriculture (2139.68 ha, soit 34.71% des cultures non irriguées).

4.3. Orientation :

Les surfaces forestières sont réparties de façon relativement homogène au niveau des différentes orientations, avec un pourcentage élevé dans les orientations vers l'est, le sud-est et le nord-est.

CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'analyse diachronique de la cartographie thématique de l'occupation des sols, déduite des photographies aériennes, est fondamentale pour évaluer l'évolution et l'état actuel du territoire et pour définir les politiques futures de son aménagement. Grâce aux Systèmes d'Information Géographique, cette analyse peut être intégrée aux différentes données du milieu physique et humain pour comprendre les dynamiques actuelles et leurs relations et conséquences écologiques. Cela fait du SIG un outil très puissant dans l'évaluation et la gestion du territoire.

Les résultats relatifs à l'étude diachronique du paysage de Oued Laou montrent qu'au sein de ce paysage littoral l'agriculture fourragère est le type d'usage le plus étendu et le plus envahissant (de 47.15% en 1958 à 57.02% en 1994). Cette extension s'accompagne d'une dynamique générale de conversion et dégradation des espaces forestiers et de la végétation naturelles (matorrals clairs et matorrals dense). Si au niveau de la zone montagneuse le phénomène de défrichement est sévère, un autre phénomène envahit la plaine. L'urbanisation substitue les terrains agricoles, notamment les terres fertiles irriguées, grignote la plage et atteint le lit de la rivière.

Les indices de la structure spatiale montrent que la structure du paysage a subi des changements importants. Ces changements se traduisent par une augmentation de la fragmentation.

En comparaison avec les terrains non forestiers essentiellement occupés par l'agriculture, les Forêts sont presque absentes à des altitudes très basses inférieures à 50m. Au niveau des faibles pentes la présence de la Forêt est limitée alors que plus que la moitié des cultures extensives occupent des pentes très fortes et escarpées.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEAUDET G. & MAURER G.**, (1961). Dépôts et morphogenèse quaternaires dans la vallée inférieure de l'Oued Laou. *Notes Soc.Geogr.Rabat*. **15** : 12-25.
- BENABID A.**, 1982. *Etudes phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc)*. Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille III.
- GASTON K. J., BLACKBURN T. M. & KLEIN GOLDEWIJK K.**, 2003, « Habitat conversion and global avian biodiversity loss ». *Royal Society for the Protection of Birds, London* **270**: 1293-1300.
- INYP.SA.**, 1999. Programme opérationnelle INTERREG II Espagne-Maroc, Programme coordonné d'aménagement, récupération et amélioration du bassin versant de l'Oued Laou (MAROC), Vol. 1: Analyse de la situation actuelle, Maroc, 204 pp.
- JULLIARD R., JIGUET F. & COUVET D.**, 2004, « Common birds facing global changes : what makes a species at risk ? », *Global Change Biology* **10**: 148-154.
- KORNPROBST J & WILDI W.**, 1975 Carte géologique du Rif Talembot. Echelle 1/50 000. Feuille NI-30-XIX-2d. *Notes et Mém. Serv. Géol. Rabat*. **290**.
- LUTERBACHER J., DIESTRICH D., XOPLAKI E., GROSJEAN M. & WANNER H.**, 2004, European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. *Science* **303**: 1499-1503.
- METZGER J.P.**, 1998 Changement de la structure du paysage et richesse spécifique des fragments forestiers dans le sud-est du Brésil, *C.R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la vie* **321** : 319-333.
- NOLD M., UTTINGER J. & WILDI W.**,(1981).Géologie de la Dorsale Calcaire entre Tétaoun et Assifane (Rif interne, Maroc). *Notes et Mém.Serv.Géol.Rabat* **300**: 1-250.
- P.A.N. (M.A.D.RE.F.)**, 2001. Programme d'Action National de Lutte contre la Désertification. Document Principal. <http://www.sommetjohannesburg.org/pays/maroc.html>.
- PAULY D., CHRISTENSEN V., DALSGAARD J., FROSSE R. & TORRES F.**, 1998, Fishing down marine food webs. *Science* **279**: 860-862.
- PAULY D., CHRISTENSEN V., GUENETTE G. et al.**, 2003, Towards sustainability in world fisheries. *Nature* **418**: 689-694.

PEARSON R.G., DAWSON, P.T., 2005 Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. *Biological Conservation* **123**: 389-401.

PIRNAT J., 2000, Conservation and management of forest patches and corridors in suburban landscapes. *Landscape and Urban Planning* **52**: 135-143.

PUIGDEFABREGAS J.,1992, Mitos y perspectivas sobre la desertificación. *Ecosistemas* **3**: 18-22.

PUIGDEFABREGAS J., 1994, Desertificación: Una perspectivas sobre la cuenca Mediterránea. *Fronteras de la Ciencia y la tecnología* **3**: 15-19.

RKIOUAK., 1996. Etude hydrogéologique et simulation mathématique de l'aquifère de l'Oued Laou. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Abdelmalek Essaâdi, Faculté des sciences, Tétouan.

THOMAS C. D., CAMERON A., GREEN R. E., BAKKENES M. et al., 2004. Extinction risk from climate change, *Nature* **427**: 145-148.

VENEMA H. D., P. H. CALAMAI, P. FIEGUTH., 2005, Forest structure optimization using evolutionary programming and landscape ecology metrics. *European Journal of Operational Research* **164**: 423-439.