

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mustapha Ben Boulaid Batna2
Institut des Sciences de la Terre et de L'univers
Département de Géographie et Aménagement du Territoire



THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat LMD
Spécialité : Géomatique pour la maîtrise du territoire

Par CHAKALI Ahmed Nadjib

Sujet :

**La Géoprospective territoriale et son application sur le développement
en zone de montagne Oued El Arabe.**

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Dr. BOUHATA Rabah	MCA	U. Batna 2	Président
Dr. ZERAIB Salah	MCA	U. Batna 2	Promoteur
Dr. AKAKBA Ahmed	MCA	U. Batna 2	Examineur
Dr. TEBBI Fatima Zahra	MCA	U. Batna 2	Examineur
Dr. BOUSMAHA Ahmed	MCA	U. Oum El Bouaghi	Examineur
Dr. BOULKAIBAT Aissa	MCA	U. Oum El Bouaghi	Examineur

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

الحمد لله ذو الفضل و الكرم

Les travaux synthétisés dans ce document n'auraient jamais existé sans le concours de nombreuses personnes, c'est pour cette raison que je tiens à vous faire savoir que j'aurais tout aussi bien pu réaliser une thèse sur le sujet des remerciements... il y a tant de personnes à qui je voudrais témoigner officiellement ma gratitude... tous ceux qui m'ont accompagné et soutenu jusqu'ici... C'est donc avec un grand plaisir que je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué aux résultats présentés dans ce mémoire,

En premier lieu, je tiens à remercier Monsieur "**ZERAIB SALAH**" qui assure la direction de mes recherches au sein de l'université de Batna2 pour sa patience, sa disponibilité, la pertinence de ses conseils, son recul scientifique et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie autant tous les membres du jury qui ont accepté de s'intéresser à mes travaux et pour m'apporter leurs jugements d'experts :

En premier lieu, c'est un remerciement propre que je le communiquai au « **DR. BOUHATA RABEH** » d'avoir accepté de présider la soutenance de ma thèse ainsi que pour sa conduite tout au long de notre parcours académique durant les 5 ans.

J'exprime mes sincères remerciements à mon enseignant « **Dr. AKAKBA AHMED** » qui nous a embarrassés par sa gentillesse et ses bonnes manières, et qui a eu un grand mérite dans notre formation académique.

Je n'oublierais jamais les conseils et les directives de « **Dr. TEBBI FATIMA ZOHRA** » à laquelle je formule toutes les phrases de reconnaissances et d'avoue, je vous dise aussi Madame que sans vos Cours je ne publier jamais mon article.

Tout ma reconnaissance au « **DR. BOUSSMAHA** » d'avoir admis de mettre ses bénéfiques critiques et reproches sur les feuilles de notre thèse.

En fin, c'est à « **Dr. BOULKAIBAT AISSA** » que j'adresse un chaleureux remerciement pour les précieuses remarques dont il a accepté de nous les faire parts.

Je tiens également à associer à ces remerciements toute l'équipe pédagogique qui nous ont assuré les cours théoriques durant les deux premières années : (Pr.Kalla, Pr.Lamamra , Pr.Dridi , Pr.Guettouche , Pr.Boutaiba , Dr.Naffissa) sans oublier mes collègues dans le même cursus : M^r Taibi Brahim, M^{me}.Ajroud, M^{me}Douhha et M^{elle}Belamana.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

- Mr. Hachi Abderrahmane Ben Salem, amis et frère et co-auteur dans tous mes travaux.
- Dr. Mouissa Habib, mon instituteur et mon exemple, j'apprends avec lui les choses de la vie.
- Pr. DJAMAL CHAAOUAN de l'université Pluridisciplinaire de Taza au Maroc.
- Pr. Maria Olmedo Camacho de L'université de Granada en Espagne.
- L'équipe IEEE.GRSS Algerian Chapter.
- L'équipe de « L'Association Algérienne des sciences de la terre et de télédétection » plus particulièrement Chaouli.M, Omrani.R, Pr. Daamouche.
- L'équipe du centre national des techniques spatiale CNTS d'Arzew.

Dédicaces

Je dédier ce modeste travail a :

A mes Parents... « Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être... ». Que ce modeste travail... soit l'expression des douaas que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières. Que Dieu vous préserve santé et longue vie.

A ma Femme... « Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études »

A mon frère Tayeb ... « Ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter ... »

À mes filles... bien-aimées ...en signe d'amour pour elles et en retour des moments où elles ont enduré le stress de mes études...

A mes Sœurs... Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements, je dédier un remerciement spécial pour ma petite sœur Amani ...

A toute la famille Chakali, Hassani, Laagoune, Bederina, Abdelmalek, Rebih, Rahal

A tous mes Amis... de la cité Universitaire, de mon Quartier, du Vendredi, de la mosquée,

A tous qui ont su me supporter en toute circonstance.

Introduction

Etant donné comme un canal particulier de prospective, la géoprospective est apparue de la convergence entre la géographie, la modélisation et la prospective (1). Elle vise à fournir une meilleure base pour l'intégration des territoires dans le processus d'exploration du futur et leur admettre d'imaginer leur avenir(2), de le construire (3) à travers la correction de l'action présente par l'utilisation de diverses méthodes. Cette approche va au-delà de la prise en compte de la dimension spatiale comme un simple support pour rendre les futurs possibles des territoires. Trois domaines de recherche ont contribué à son émergence : la modélisation d'accompagnement, la prospective et la modélisation des changements d'occupation et d'usage des sols(4,5).

Dans cette travail, nous présentons les grandes axes de la géoprospective par la modélisation spatiotemporelle de l'occupation et de l'usage du sol et nous parcourons par la suite les différentes étapes de traitement des images satellitaires jusqu'à la validation des modèles utilisés(6–9). Plusieurs originalités sont introduites entre les lignes de ce travail pour assister à obtenir les résultats les plus fines en utilisant des récentes théories et logiciels telles que la plateforme en nuage « Google Earth Engine »(10,11), le module « Land Change Modeler intégré sous TerrSet »(12,13), et la méthode de classification supervisée « Support Vector Machine »(14,15), d'autres anciennes techniques sont aussi appelées dans la partie de calibrage des modèles et vérification de précision telles que la logique floue pour la standardisation (16), la chaîne de Markov pour le calcul de transition, le CA Markov pour la modélisation et le perceptron multi couches (MLP) pour l'élaboration des cartes d'aptitudes (17) ainsi que l'Automate Cellulaire (AC) et l'Analyse Multi Critères (AMC), pour la validation nous avons utilisé le fameux indice de Kappa pour valider les trois classifications 1987/2008/2019 (18), et la courbe de ROC (Receiving Operator Caractéristique) pour la validation de la partie modélisation (19,20).

A travers cette diversité de méthodes nous essayons d'illustrer le comment et le pourquoi indispensables pour intégrer le territoire et plus principalement d'une région montagneuse dans le processus d'exploration du futur, allant au-delà d'une simple fonction de support illustratif jusqu'à ramener le devenirs possibles qui se synthétise dans le concept « futurible », ce mot a engendré la question du « Quand ? » comme une troisième dimension qui s'ajoutera aux fonctions d'un géographe qui s'attache habituellement à deux questions primordiales pour élever sa réflexion « la question du « OU ? » et la question du « Pourquoi ? »(21).

Mais, Pourquoi demande-t'en cette dimension temporelle pour analyser une dimension purement spatiale ?

Toute entité dans notre univers réel, dont les entités géographiques font partie, évoluent dans deux dimensions Temps et Espace(21), ces deux concepts essentiels étroitement liés aux entités et aux

Introduction

divers processus dans lesquels elles sont impliquées, donc le rôle d'un géographe s'articule dans l'adaptation des actions présente pour façonner le futur.

À travers cette question, nous examinerons notre passé et nous essayerons d'évoquer notre futurible, ou plutôt de le construire d'une manière qui réponde le mieux à nos exigences présents en préservons les besoins des générations futures, ainsi que cette vision va permettre à nous et nos acteurs locaux de remanier, voire de corriger nos actions actuels pour conquérir un avenir de liberté, de pouvoir et de volonté(5,22).

Pour cette étude, Nous avons choisis un territoire fragilisé, marginalisé et topographiquement accidenté(23), serré entre des chênes et sommet montagneuses, caractérisée par un perspective paysagère effrayante et des parcs naturels classé nationale, axée par une vallée permanent en amant nommer Oued El Arabe qui se jette jusqu'à son exutoire à Chott Melghir.

Pour cela, nous nous somme reculer sur une partie théorique aux différents concepts enveloppant notre sujet à travers les qu'elle nous fixons le doigt sur la convergence implicite entre « prospective et géographie »(1), « territoire et montagne » « mutation spatiale et facteur déterminants », ensuite, un passage est obligatoire sur les la nature des théories et des modèles employées, des scripts pratiqués et les plateformes dont nous allons réaliser ce travail.

Un portrait bien détailler sur notre zone d'étude « sous-bassin versant de Oued El Arabe coté 0618 », sur laquelle nous défaisons ses spécificités spatiales et environnementales. Dans le reste de ce chapitre nous reconduisons les plus importantes étapes pratiques que nous les avons exercées pour obtenir les résultats qui répondent le mieux à notre perspective.

Nous commençons la deuxième partie de cette étude par un chapitre dédié à la classification supervisée des images Landsat utilisée, l'algorithme Support Vector Machine est favorisé pour cette tâche motivée par les résultats fines qu'a démontré par rapport à deux autre algorithme (Maximum Likelihood et Neural Networks).

Le chapitre suivant est consacré à la phase d'élaboration des cartes d'aptitudes essentiels pour le l'excusions du CA-Markov, cette phase nécessite l'intégration des facteurs déterminants les changements subissent dans l'espace et dans le temps sur le sous bassin de Oued El Arabe. Une fois que ces facteurs déterminés et validés nous les intégrons sous le MLP pour obtenir le potentiel de transition de chaque classe thématique comme résultat individuel et la carte de souhaitabilité (Aptitudes) comme résultats globale.

L'outil « Validate » est appelé pour l'approbation du modèle CA-Markov et l'évaluation de la carte modélisée par rapport à une carte de référence qui représente la réalité de la même date. Le module VALIDER propose une analyse statistique complète qui répond simultanément à deux questions importantes. Dans quelle mesure une paire de cartes concorde-t-elle en termes de quantité de cellules

Introduction

dans chaque catégorie ? Dans quelle mesure une paire de cartes concorde-t-elle en ce qui concerne l'emplacement des cellules dans chaque catégorie ?

Une fois le modèle est jugé valable et apte, la modélisation peut être exécuté à un terme prospectivement long ou court selon la problématique traitée. Dans le cas de notre travail, nous avons fait le choix de projeter le scénario tendanciel de deux dates en deux termes différents 2030 et 2040 et par cette projection le sixième et le dernier chapitre fera clos.

Les six chapitres remembrant ce travail comptent 77 Figure et 19 tableaux portant les détails des données acquissent ou remportées depuis les différents calculs, applications et cartographies.

Ce travail a pour fin d'accomplir quatre principaux objectifs :

- Le premier objectif est d'identifier l'approche de modélisation prospective qui est privilégiées selon les échelles spatiales considérées et les démarches de modélisation en montagne.
- Le second objectif est de suivre les changements d'occupation et d'usage du sol à plusieurs échelles spatiales et temporelles
- Le troisième objectif est de produire des scénarios prospectifs spatialisés à deux échelles temporelles différents.

Une Conclusion générale est le produit ultime pour dénouer une problématique qui traite dans son bas-fond d'éclairer l'apport d'un modèle géospatiale aux démarches prospectives pour but de donner une marge de manœuvre et des alliés mobilisables à une échelle élargie pour relever les défis environnementaux pour une zone montagneuse fragmenté et fragilisé, nous récapitulons dedans les grands axes, les principaux résultats et quelques recommandation que nous les avons juger nécessaires pour un future projet pareil.

Problématique :

Ce travail de modélisation pose un certain nombre de problèmes méthodologiques, parmi lesquels la détermination des facteurs qui motivent ces changements, le choix des outils, des méthodes et des variables permettant de décrire les changements passés observés et les changements à venir, la prise en compte d'informations incomplètes et imprécises. La réponse à ces interrogations est notre clé pour produire des méthodes valides et extrapolables qui servent à la géoprospective de notre territoire. Alors...

Peut 'on anticiper une image proche du réel du futurible d'un territoire montagneux ?

Quel moyen et quelle méthode nous y avons besoin pour l'exécution ?

Première Partie

« CADRE THEORIQUE »

La prospective n'a pas pour objet de prédire l'avenir, de nous le dévoiler comme s'il s'agissait d'une chose déjà faite, mais de nous aider à le construire. Elle nous invite donc à le considérer comme à faire...

Hugues De Jouvenel

Chapitre I

« SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE »

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique sur la géoprospective

1. La convergence implicite entre géographie et prospective :

La Géoprospective, la dynamique d'un territoire donnée dans l'espace et dans le temps ou bien la modélisation prospective de l'occupation et l'utilisation des sols (1,3,4,6), ce sont des concepts communément employés pour décrire un champ de recherche récemment apparu, ce n'est qu'au début du XXI^e siècle qu'on se croise au premier usage du terme géoprospective pour qualifier les démarches de recherche en géographie appliquée qui servent à explorer le futurible d'un espace à moyen, et/ou long terme(2), cette démarche qui a pour fin d'éclairer les décisions et les actions présentes des acteurs locaux dans le flux d'une gestion durable et efficaces des territoires, cette néologisme qui va permettre l'esquisse de la carte du demain en regardant au loin et de loin(24), n'a pas seulement pour objective de prédire l'avenir et de nous le dévoiler comme s'il s'agissait d'un déterminisme, mais aussi de nous emmener à le construire nous-même en mettant la main sur le plaie et en diminuant l'impact négative des ordonnances et des décisions irresponsables et irréfléchies(25). En récapitulant ce passage, nous pouvons dire que la géoprospective est de repenser l'être et l'agir collectif pour conjuguer l'espace dans le futur.

Le défi actuel de la géoprospective est d'intégrer les nouvelles technologies y compris le SIG, le GPS en plus des nouvelles approches de modélisation et de traitement géostatistiques dont la mise en œuvre de l'analyse thématique rétrospective, présentes et prévisionnelle(7).

À cet égard, un lien peut être établi entre les différentes théories et littératures de prospection spatiale, les divers échelles de travail, et les méthodes de calculs avancée choisis(26).

2. Approches Modélisatrices :

Une brève présentation critique des principales approches modélisatrices nous paraît nécessaire à plusieurs égards, Au cours de ces dernières années, nombreux techniques sont apparu dans le domaine de la géomatique, ces techniques qui ont permet par la suite d'engendrer des méga données numérisée et prête à l'application pour le traitement et la représentation des données spatiales, en contrepartie, D'autre part, il est devenu nécessaire de accompagner le rythme de cette technologie avec de nouveaux mécanismes spécialement dédié à la géographie grâce auxquels il est possible d'analyser, de traiter, d'afficher et de sauvegarder la donnée acquis (5), raison par la quel la Géomatique a trouvé naissance pour répondre au besoin des spécialiste en matière d'analyse spatiale, de traitements des données géographiques, de modélisation et projection des scénarios...etc.

2.1. La modélisation en géographie :

Une brève présentation critique des principales approches modélisatrices nous paraît nécessaire à plusieurs égards. La modélisation spatiale est une démarche qui s'inscrit dans l'émergence d'un nouveau paradigme géographique qui se développe à partir des années 1930 ou nous avons à consulter « la théorie de localisation » dans les travaux de Weber et Von Thünen qui nous ont servis à nos jours les principaux directive de la géographie économique et de l'économie spatiale(7,27), après quelque dizaines d'années et plus précisément en 1970 que l'analyse spatiale vit la lumière et devint une des sciences suprêmes de l'homme, c'est l'appontement pour dégager des opinion, des modèles et aussi des lois qui peuvent être généralisée(28).

Plusieurs domaines sont proches du mot « modélisation », en géographie elle est considérée comme un instrument heuristique qui sert à comprendre les structures et les dynamiques des objets spatiales, et non pas un instrument de généralisation ou de simplification de l'information, nous pouvons rajouter que modélisation dans le domaine de la géographie est une approches nomothétique pour la représentation formelle et épurée du réel ou d'un système de relations pour des fins d'interprétation(29).

2.2. La modélisation de l'occupation et de l'utilisation du sol :

La modélisation ouvre la voie à des recherches riches de nombreuses virtualités, sur le plan fondamental ou appliqué, elle offre ainsi la possibilité de simuler les dynamiques spatio-temporelles à partir de la cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol (LULC). Même si l'avenir est incertain, (LUCC) nous permettre de l'explorer et d'évaluer l'influence de dynamiques d'usage du sol et de stratégies de gestion des espaces à différentes échelles spatiales sur l'occupation du sol(22), les cartes de LULC seront eux même sujet pour servir à d'autres études t'elles que la modélisation. Au cours des dernières années, de nombreux outils et méthodes se sont développés afin de mieux comprendre, appréhender et projeter les changements futurs d'occupation et d'usage du sol à différentes échelles spatio-temporelles.

L'utilisation de modèles dynamiques et spatialement explicites est devenue une approche populaire pour analyser et projeter les changements futurs de LUCC. Ces outils de modélisation se basent sur des approches méthodologiques variées. Elles sont généralement fondées sur un objectif spécifique(4,6,7), à savoir la reproduction de l'organisation spatiale du paysage (appelé modèle de type pattern-based) ou la simulation de processus de changements (appelé modèle de type process-based), qui dépendent généralement de l'étendue spatiale de la zone d'étude(13,30).

Avant de parler du rapport entre la modélisation spatiale (géoprospective) et la cartographie de LULC, nous devrions déterminer la différence entre occupation et l'utilisation du sol.

3. L'occupation et l'utilisation du sol (LULC) :

3.1. Interaction entre l'occupation et l'utilisation du sol :

L'occupation et l'utilisation du sol (LULC) ont été considérés comme un sujet de recherche important pour les changements environnementaux mondiaux et le développement durable. En tant qu'élément important du développement durable mondial, (31). L'occupation du sol fait référence aux attributs biophysiques de la surface de la Terre, tandis que l'utilisation des sols fait référence au but ou à l'intention de l'homme appliqué à ces attributs. De nombreuses études antérieures se sont concentrées sur la révélation des effets du LULC(13,31,32).

En reprenant nous pouvons dire que l'occupation du sol est la description physique de l'espace ou la couverture (bio) physique observée du surface de la terre, plus simplement c'est l'unité qui couvre la terre actuellement, Cette description permet de distinguer différentes catégories biophysiques essentiellement, des zones de végétation (arbres, buissons, champs, pelouses), sol nu (même s'il s'agit d'un manque de couvert), surfaces dures (roches, bâtiments) et zones humides et plans d'eau (nappes et cours d'eau, zones humides)(33,34).

Pour l'utilisation des sols, différentes approches sont proposées dans la littérature. Deux « écoles » principales peuvent être distingué ; L'occupation du sol en termes de *dimension fonctionnelle* correspond à la description des zones selon la finalité socio-économique : (les zones utilisées à des fins résidentielles, industrielles ou commerciales, à des fins agricoles ou forestières, à des fins récréatives ou de conservation, etc.), il peut être possible de déduire l'utilisation des terres à partir de la couverture terrestre et inversement. Une autre approche, dite *séquentielle*, a été particulièrement développé à des fins agricoles. La définition est une série d'opérations sur terre, effectuées par l'homme, avec l'intention d'obtenir des produits et / ou des avantages en utilisant les ressources foncières(34,35).

3.2. L'usage de la cartographie de LULC :

L'usage de la cartographie de LULC de plus en plus solliciter, avec cela l'importance de données exactes, significatives et actuelles sur LULC pour soutenir ces modèles augmente(36). Elle se poursuit à une échelle croissante en raison de la croissance sans précédent de la population humaine qui augmente le besoin en nourriture et de terre.

L'harmonisation des données d'occupation des sols concerne l'intégration des données spatiales et doit donc prendre en compte les concepts de données adoptés et les aspects spatiaux, temporels, sémantiques et qualitatifs des données.

Les classes d'occupation des sols et d'occupation des sols représentent des unités analytiques, qui permettent d'établir un lien entre les activités humaines, les impacts environnementaux et la dimension spatiale.

3.3. Les modèles de simulation de l'évolution de l'occupation du sol :

Les modèles de simulation de l'évolution de l'occupation du sol De multiples modèles ont été développés pour produire des simulations de l'évolution de l'utilisation des sols (37–40) dans une synthèse non exhaustive, en distinguant sept grandes catégories de modèles, qui se recoupent pour partie : les modèles mathématiques basés sur Affectation « floue » Affectation « dure » Probabilité Gradient de pente (41,42) ; les modèles systémiques(43); ceux fondés sur des techniques statistiques telles que des régressions(44,45) ; les modèles experts(46) ; les modèles d'évolution, reposant sur les réseaux neuronaux(47) ; les modèles cellulaires qui comprennent les automates cellulaires(48,49) et les champs de Markov(50) ; Les modèles multi-agents(51) . Enfin, certains modèles sont dits hybrides car ils combinent deux ou plusieurs de ces catégories de modèles. Un des plus connus est le modèle CLUE qui combine des techniques statistiques avec des modèles cellulaires(52).

Ces différents modèles peuvent être à leur tour classés en fonction de leur approche d'analyse : - l'approche non approximative comprend les modèles d'approche « dure », de type empirique, mécaniste et systémique. -l'approche approximative comprend les modèles intégrant le flou, l'imprécision et l'incertain dans leur processus de modélisation.

3.3.1. Les modèles reposant sur une approche « dure » :

3.3.1.1. Les modèles mathématiques :

Ils sont basés sur une ou plusieurs équations qui recherchent une solution d'équilibre (41,42). Ils reposent sur l'élaboration d'une ou plusieurs équations mathématiques pour simuler un phénomène étudié, pour modéliser le niveau de complexité des changements d'occupation du sol, ces modèles sont généralement combinés avec d'autres techniques modélisatrices. Citons ici l'exemple d'un modèle de fonction logistique réalisé pour modéliser un processus de déforestation(53).

Faisant partie de la famille des modèles empiriques, ils s'appuient sur la formule suivante :

$$dD/dt = rD[(F - D)/F]$$

Avec : dD qui représente la croissance de la déforestation à travers le temps

F qui exprime le niveau de mesure de déforestation en fonction de sa densité D et de son taux de croissance r .

3.3.1.2. Les modèles statistiques :

Ils sont communément utilisés en modélisation de l'évolution de l'occupation du sol(44,45). Ils servent à l'identification explicite des causes des changements de couverture végétale des sols en utilisant par exemple des analyses multivariées des contributions exogènes possibles (critère physique, économique, ...) afin de dériver de manière empirique le rythme et le niveau du changement.

La modélisation avec des approches statistiques nécessite de déterminer a priori le meilleur type de modèle qui permettra d'expliquer le jeu de donnée considéré ; les paramètres du modèle (ex : significativité et importance de l'effet des variables) sont ensuite estimés à partir des données.

Plusieurs approches statistiques existantes telles que les techniques de classification ou les modèles de régression(54) ont été adaptées aux particularités des données environnementales et d'observation, aboutissant à de nouvelles approches plus robustes. Dans le même temps, l'essor des outils informatiques a permis le développement d'un vaste panel d'algorithmes de modélisation basés sur des processus d'apprentissage.

3.3.1.3. Les modèles (connexionniste) des réseaux neuronaux :

Un réseau de neurones est « une méthode de calcul inspirée par les études du cerveau humain et des systèmes nerveux. Il se compose d'éléments de traitement interconnectés (neurones) travaillant conjointement pour résoudre un problème spécifique »(47,55). Les réseaux de neurones sont organisés en couches composées d'un certain nombre de neurones interconnectés qui contiennent une fonction d'activation (Figure 1)

Des entrées sont présentées au réseau par l'intermédiaire de la couche d'entrée, qui les communique aux couches cachées où le traitement s'effectue en utilisant des connexions pondérées. Puis, les couches cachées transmettent la réponse à la couche de sortie. Un des aspects originaux des réseaux de neurones est son approche inductive qui permet de partir des conclusions pour déterminer les prémisses de règle.

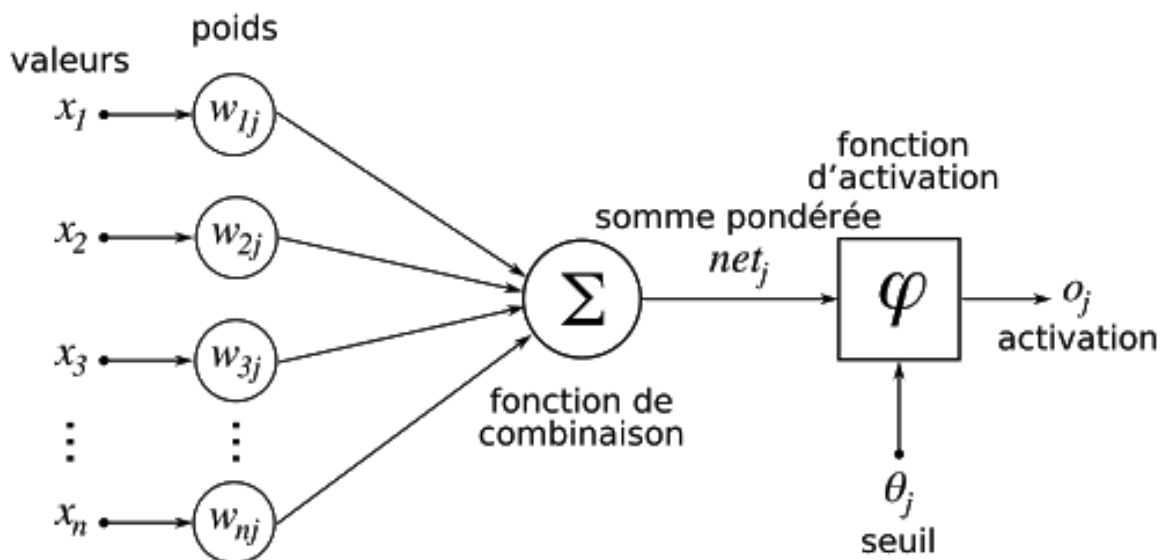


Figure 1: Organisation d'un réseau de neurones(55)

3.3.1.4. Les modèles d'apprentissage de type (machine Learning) :

Les méthodes d'apprentissage, au contraire, partent du principe que le processus qui sous-tend le jeu de donnée est trop complexe pour être déterminé a priori. Elles utilisent un algorithme pour comprendre la relation entre les prédicteurs (ex : variables environnementales) et la variable à expliquer (ex : occurrence d'une espèce), sur la base de l'analyse des variables en entrées et des sorties possibles du processus. Elles en déduisent ensuite le meilleur modèle permettant d'expliquer le jeu de donnée considéré(56) pour une introduction intéressante sur les méthodes d'apprentissage). Le tableau 1 présente une synthèse des méthodes de modélisation les plus couramment utilisées depuis les années 1990 avec leurs principales caractéristiques. Il existe plusieurs autres synthèses décrivant et/ou comparant différentes méthodes de modélisation(57–60).

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique sur l'approche conceptuelle de la géoprospective

Tableau 1 : Synthèse des approches les plus couramment utilisées pour la modélisation spatialisée

Logiciel : les exemples entre parenthèses correspondent à des logiciels « génériques » existants, Données : P = présence, P/A = présence/absence, Ab = abondance, Variables : Cont = continues, Cat =

Concept	Technique de modélisation	Nom du modèle	Logiciel ou application spécifique	Type de données d'observation	Types de variables environnementales	Exemples d'échelles d'application	Référence principale	Pays d'origine
Maximum d'entropie	Maximum d'entropie	Maxent	Maxent	P	Cont/Cat/Inter	Mondiale ; Continentale	Phillips et al., 2006	USA
Techniques d'ordination	Indice de distance géométrique moyenne	Ecological Niche Factor Analysis	Biomapper	P	Cont	Nationale ; Régionale ; Cantonale	Hirzel et al., 2002	Suisse
	CCA / RDA/ ACP	/	Non (ex : R ¹ ; CANOCO ²)	P/A	Cont/Cat	Nationale	Ter Braak, 1986, 1987	Pays-Bas
Enveloppe environnementale	Réseaux de neurones	SPECIES	Stuttgart Neural Network Simulator	P/A	Cont/Cat	Européenne ; nationale	Pearson et al., 2002	Royaume-Uni
	Arbres de classification	BIOCLIM (+ adaptations : HABITAT ; SRE)	Bioclim	P, P/A	Cont	Continentale ; Nationale	Busby 1991, Nix 1986 ; Walker & Cocks, 1991	Australie
	Indices de similarité multivariés (métrique de Gower)	DOMAIN	Domain	P, P/A	Cont	Nationale ; Régionale	Carpenter et al., 1993	Australie
	"Boîtes" écologiques	Parallel-epiped model (PED)	Non	P/classes	Cat	Régionale	/	/
Distance de Mahalanobis	Mahalanobis distance	/	Non (ex : ArcView, MATLAB)	P	Cont/ binaires (0/1)	Nationale	Farber & Kadmon, 2003 ; Shao & Halpin, 1995	USA
Régression	Régression pondérée	/	Non	P/A	Cont	Européenne	/	/
	Modèles linéaires généralisés/Modèles additifs généralisés	GLMs / GAMs et adaptations : Multivariate adaptive regression splines (MARS)	Non (ex : R ¹)	P/A	Cont/Cat/Inter	Régionale	ex: Guisan et al., 2002, Pearce & Ferrier, 2000; Friedman 1991	/
	Régression logistique							
Algorithme génétique	Algorithme génétique	GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Production)	GARP Modelling System / Desktop GARP	P, P/A, Ab	Cont/Cat	Nationale	Stockwell & Noble, 1991	USA
Techniques de classifications (règles de décision)	Analyse discriminante linéaire ou mixte	/	Non (ex : R ¹)	P/A	Cont/Cat		Fisher, 1936	USA
	Combinaison d'arbres de régression et de "boosting"*	Boosted regression tree (BRT) / generalized boosted models	Non (ex : R ¹)	P/A	Cont/Cat/Inter	Nationale	Ridgeway, 1999	USA
	Processus de classification dichotomique	Arbres de classification (CART+adaptations: SIMPLE, Randomforest) ou arbres de régression	CART, S-Plus (RPART)	P, P/A, Ab	Cont/Cat/Inter	Européenne ; Régionale	Breiman et al. 1984; Moore et al., 1991; Breiman, 2001	USA
Analyse multicritère	Croisement de couches pondérées ou non dans un SIG	/	Non, logiciel SIG	P/A/aucune	Cont/Cat	Régionale	ex : Moffet & Sarkar, 2006	?
Théorème de Bayes	Statistiques bayésiennes	/	Non (ex : ArcView, ArcWofE)	P/classes	Cont/Cat/Ordinales	Locale ; Nationale	Bonham-Carter et al., 1989 ; Aspinall, 1992	Canada
Géostatistiques	Krigeage	/	Non (ex : ArcGIS, R ¹)	P	/	Nationale		/

catégorielles, Inter = possibilité prise en compte interactions entre les variables.

Source : (7)

3.3.1.5. Les analyses multicritères :

Les analyses multicritères engendrent une catégorie de méthodes unique, de type approche « experte ». Elles ont des champs d'application très diversifiés. Elles ont en particulier été largement développées dans le cas de la prise de décision impliquant différents acteurs aux objectifs différents, pour faciliter l'obtention d'un consensus(61).

Les analyses multicritères ont été relativement peu utilisées pour la modélisation de la distribution d'espèces ou d'habitats. Pourtant, elles peuvent constituer une manière très simple et directe de modéliser une distribution, bien qu'avec une précision spatiale moindre que les approches précédentes. Dans ce cas, la décision à prendre est de savoir si l'espèce est présente ou non en un lieu donné, éventuellement avec différents niveaux de fiabilité (ex : probabilité faible, moyenne, forte)(62). Chaque critère correspond à une couche SIG représentant une variable environnementale spatialisée, potentiellement structurante pour la distribution de l'espèce étudiée. Des connaissances d'expert permettent de définir pour chaque variable quelles sont les plages de valeurs favorables ou non à l'espèce. Ces critères peuvent être pondérés ou non en fonction de leur importance pour expliquer la présence de l'espèce. La modélisation se fait ensuite par croisement des couches géographiques dans un SIG, avec différentes techniques possibles de croisement des informations telles que l'addition de rasters booléens(63), l'intersection de rasters reclassifiés(64) ou des statistiques bayésiennes(65). L'espèce est alors considérée comme présente dans les secteurs combinant l'ensemble des conditions qui lui sont favorables, on parle souvent d'indice d'habitat favorable (habitat suitability index) (66).

3.3.2. Les modèles reposant sur une approche « approximative » :

3.3.2.1. Les champs de Markov (Li et Reynolds, 1997) :

La théorie des chaînes de Markov a pour objectif de prendre les décisions optimales dans un monde incertain. Les processus de changement sont ici simulés à l'aide de techniques stochastiques linéaires, c'est-à-dire que la mise en place du modèle est contrôlée par des variables aléatoires qui ne peuvent être exprimées que de façon probabiliste. Les chaînes de Markov étudient ainsi à partir de probabilités, le processus d'évolution d'un ensemble d'états évoluant dans le domaine spatial, temporel ou de la fréquence. Un processus d'évolution est dit markovien si la probabilité d'observation de l'état est tributaire d'un nombre fini de ses voisins, qu'ils soient de type spatial ou temporel. Si l'état constaté à l'instant « T » ne dépend que de l'état précédent, il est identifié alors comme étant un modèle de premier ordre. S'il dépend de plusieurs états antécédents, on parlera dans ce cas d'un modèle markovien d'ordre supérieur(17). Les paramètres d'entrée du modèle sont donc les probabilités de transition entre deux états qui peuvent être analysées statistiquement à partir d'un échantillonnage de données. Les types de changement identifiés entre les

états doivent donc être les plus précis possibles pour une estimation correcte des éléments composant la matrice. Des modifications peuvent être apportées aux chaînes de Markov en y intégrant des mesures de probabilités, générant ainsi des chaînes de Markov cachées. Le HMM (Hidden Markov Model) permet alors de représenter deux processus stochastiques, le premier gérant le second (67).

4. Techniques de classification :

Le terme classification est universellement utilisé par les scientifiques avec une signification historiquement liée à la classification des organismes, suivant une vieille tradition aristotélicienne. Cependant, le terme classification est ambigu car il recouvre deux sens principaux :

- Le sens d'établir une classification de tous les objets de l'univers du discours U (répondant à l'instruction : classer les objets) résultant en une classification de tous les objets, le produit final étant l'organisation de sous-classes de U.
- Le sens d'utiliser la classification ainsi établie pour décider du statut de membre objets individuels (répondant à l'instruction : classer l'objet X).

Cette identification est ce que la communauté de la télédétection appelle la classification.

La définition standard largement utilisée de la classification (68) (69) est : « l'ordre ou la disposition des organismes en groupes ou ensembles sur la base de leurs relations ».

Cette définition a été étendue à des questions plus générales où le terme organismes est remplacé par le terme objets. Il correspond au processus d'établissement d'une classification de tous les objets mais ne couvrent pas expressément le processus d'identification ni la dénomination des groupes et les règles régissant application de ces noms. De plus, le terme relation, tel qu'il est utilisé en biologie, recouvre deux types de relations : affinités en termes de similitude jugées par les caractères des organismes (appelées phénétiques relation) et les relations par ascendance (appelée relation phylétique), qui n'ont pas l'équivalence dans notre domaine d'investigation.

Le terme classification est souvent associé à la notion d'apprentissage. En effet on associe souvent l'action de classer à celle d'apprendre à classer. **Selon Michie et al** (70). qui ont un point de vue axé apprentissage, le terme classification peut avoir deux significations bien distinctes. La classification peut être l'action de regrouper en différentes catégories des objets ayant certains points communs ou faisant partie d'un même concept, on parle alors de problème de clustering et d'apprentissage non supervisé. Cependant la classification peut aussi correspondre à l'action d'affecter d'objets à des catégories prédéfinies, on parle dans ce cas de problème d'affectation et d'apprentissage supervisé. L'apprentissage non supervisé consiste donc à découvrir des catégories d'objets (ou clusters) alors que l'apprentissage supervisé consiste à mettre à jour une fonction d'affectation d'objets à des catégories et à l'utiliser en vue de d'affecter de nouveaux objets. Il convient de noter que la notion

d'apprentissage n'est pas nécessairement présente dans les méthodes de classification. Nous parlerons d'apprentissage lorsque des points d'apprentissage sont utilisés pour construire soit une fonction d'affectation soit un des catégories.

4.1. Clustering et apprentissage non supervisé :

Ce problème consiste à regrouper des objets afin de construire des catégories. On utilise pour cela un ensemble d'exemples, appelé ensemble d'apprentissage, constitués d'objets dont on ne connaît pas l'appartenance aux catégories (aspect non supervisé). On parle aussi de problème de regroupement ou de clustering. Dans ce type de problème les catégories sont des ensembles d'objets. Les méthodes résolvant ce type de problème peuvent permettre de construire/découvrir les catégories, elles sont à rapprocher de la problématique de la typologie(68).

On utilisera ce type de méthode dans deux cas :

- tout d'abord lorsque le décideur n'est pas capable de spécifier les catégories, on pourra vouloir trouver les catégories naturelles qui forment les points d'apprentissage. Il sera aussi possible d'utiliser de telles méthodes pour typer chaque catégorie par des points de référence.

Dans la classification non-supervisée nous rencontrons plus souvent deux méthodes :

« Isodata » et « KMeans ».

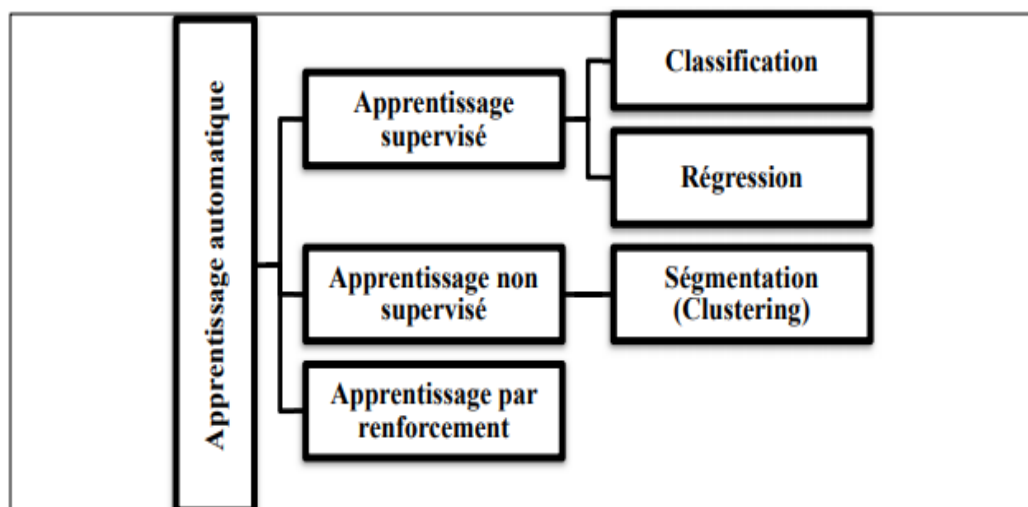


Figure 2:Les grandes classes d'apprentissage automatique

4.2. Classification et apprentissage supervisé :

Ce problème consiste à la mise à jour d'une fonction d'affectation à des catégories prédéfinies. Pour cela on utilise un ensemble d'apprentissage constitué d'objets dont l'affectation est connue (donnée par un superviseur). Les catégories sont alors des étiquettes que l'on peut mettre sur les objets à classer. On utilisera des méthodes résolvant ce type de problème lorsque le décideur disposera d'un ensemble d'apprentissage d'objets déjà affectés. Elles seront notamment utiles pour les problèmes d'évaluation subjectives(71) où le décideur appréhende mal le lien entre les données objectives et la

perception subjective qui leur été associée. Il est alors difficile pour celui-ci de fixer les paramètres d'un modèle tels des seuils ou des coefficients d'importance de critères(72).

4.3.1. Exemples des algorithmes d'apprentissage supervisé :

4.3.1.1. La méthode des K plus proches voisins :

En abrégé KNN, du mot Anglais « **K-Nearest Neighbors** », est un algorithme de reconnaissance des formes qui peut être utilisé autant pour la classification que pour la régression(73). C'est l'une des techniques non paramétriques fréquemment utilisée en prédiction financière non linéaire. Cette préférence est due principalement à deux raisons :

- premièrement, la simplicité algorithmique de la méthode comparée aux autres méthodes globales telles que les réseaux de neurones ou les algorithmes génétiques.
- deuxièmement, la méthode KNN a démontré empiriquement une importante capacité de prédiction. L'idée de la méthode est de prédire le futur d'une série temporelle en analysant comment elle a évolué dans une situation similaire dans le passé. Ainsi, pour faire une prédiction on prend les données historiques les plus récentes disponibles et on cherche parmi ces données, les K plus proches instances appelés aussi les K plus proches vecteurs(16,73).

4.3.1.2. La régression logistique :

La régression logistique est un modèle prédictif qui cherche à trouver des associations entre un vecteur de variables explicatives aléatoires, de nature numérique ou catégoriques, (x_1, x_2, \dots, x_k) , et une variable dépendante catégorique binaire ou multinomiale Y. Il s'agit tout simplement une transformation non linéaire de la régression linéaire, où on cherche à prédire une classe à la place d'une valeur numérique continue. Pour ce faire, on utilise une fonction logistique appelé aussi 'Sigmoide', pour retourner les probabilités qui sont utilisées pour séparer les classes à prédire. Exemple : si la probabilité générée par une régression logistique, pour prédire la tendance d'un titre, est supérieure à 0.5, alors la tendance prédite sera haussière, si non, elle est baissière(74).

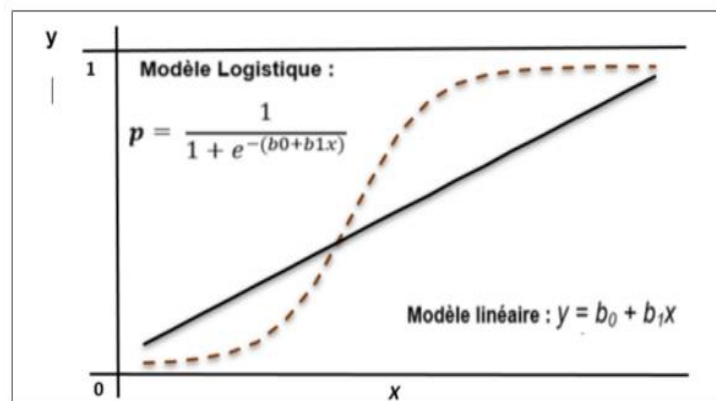


Figure 3: Comparaison entre une régression linéaire et une régression logistique(75)

4.3.1.3. Les machines à support vectoriel :

Les SVMs sont une famille d'algorithmes d'apprentissage automatique qui permettent de résoudre des problèmes tant de classification que de régression ou de détection d'anomalie. Ils sont connus pour leurs solides garanties théoriques, leur grande flexibilité ainsi que leur simplicité d'utilisation même sans grande connaissance de data Mining. Les SVMs ont été développés dans les années 1990. Comme le montre la figure ci-dessous, leur principe est simple : ils ont pour but de séparer les données en classes à l'aide d'une frontière aussi « simple » que possible, de telle façon que la distance entre les différents groupes de données et la frontière qui les sépare soit maximale. Cette distance est aussi appelée « marge » et les SVMs sont ainsi qualifiés de « séparateurs à vaste marge », les « vecteurs de support » étant les données les plus proches de la frontière.(Figure4)

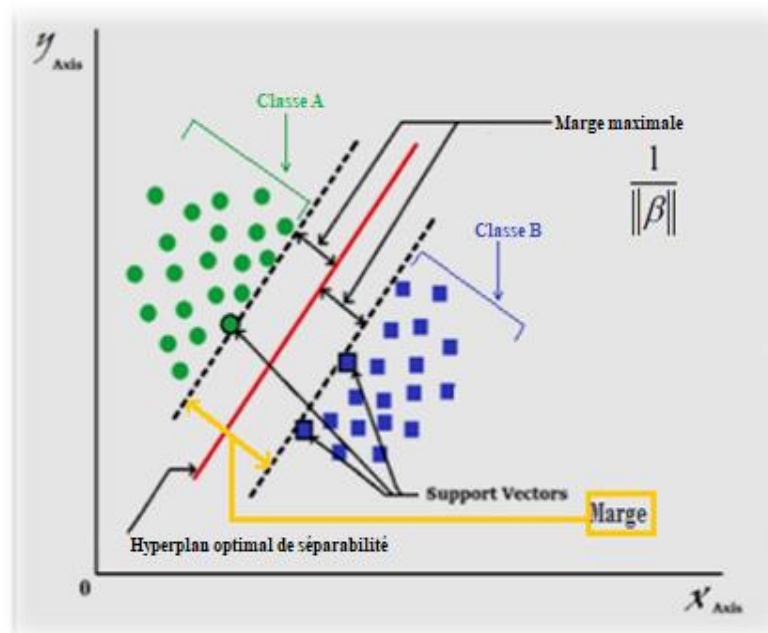


Figure 4:Classification des données par Support Vector Machine (SVM) (source : travail personnel)

Dans cet espace à deux dimensions, la « frontière » est la droite Rouge, les « vecteurs de support » sont les points entourés (les plus proche de la frontière) et la « marge jaune » est la distance entre la frontière le bleue et vert.

Cette notion de frontière suppose que les données soient linéairement séparables, ce qui est rarement le cas. Pour y pallier, les SVMs reposent souvent sur l'utilisation de « noyaux ». Ces fonctions mathématiques permettent de séparer les données en les projetant dans un espace caractéristique (un espace vectoriel de plus grande dimension, (voir figure 6). La technique de maximisation de marge permet, quant à elle, de garantir une meilleure robustesse face au bruit – et donc un modèle plus généralisable.

Enfin, selon les données, la performance des SVMs est en général de même ordre voire supérieure à celle d'un réseau de neurones ou d'un modèle de mélanges gaussiens, à l'exception de certains

cas notables comme la classification d'images. Il a aussi été montré qu'en utilisant un noyau RBF, les SVMs deviennent un « approximateur universel », c'est à dire qu'avec suffisamment de données, l'algorithme peut toujours trouver la meilleure frontière possible pour séparer deux classes (à condition que cette frontière existe)(14,15,73,76).

- Le maximum de vraisemblance (MLE) est l'une des approches de classification les plus appliquées pour la cartographie de l'occupation / utilisation des sols pour assurer une meilleur une robustesse et précision élevée. De nombreux travaux ont été effectués afin de comparer entre la classification SVM (Support Vector Machine) et MLE, la plupart des résultats indiquent que SVM était plus précis que MLE, et ils recommandent également d'utiliser SVM dans les classifications d'utilisation / couverture du sol (LULC)(14,14,15,77).

4.3.2. Les niveaux d'incertitude :

La masse de plus en plus importante d'informations diverses et variées liée, entre autres, au fort développement de l'informatique (et donc des possibilités accrues de traiter et stocker l'information) génère de nouvelles perspectives en géographie. Elle pose également de nouvelles difficultés de gestion et de traçabilité des contenus informationnels qui font l'objet aujourd'hui de nombreuses recherches et débats (organisation des bases de données, mise aux normes internationales des métadonnées, gestion et utilisation des « mémoires environnementales » ...). Il est maintenant reconnu que les informations spatialisées (issues de la télédétection, SIG, contrôles terrain...) sont rarement, voire jamais totalement exactes(78) . On trouvera toujours des divergences significatives entre la réalité et sa représentation, car la réalité est incorporée dans un type de format de donnée rigide où sont au mieux estimées les propriétés des unités spatiales.

Plusieurs éléments incertains sont à prendre en compte dans une donnée spatialisée : la localisation géographique, la précision de l'attribut, sa cohérence logique. Or ces données spatiales sont de plus en plus intégrées dans les processus de modélisation environnementale. Leur précision informative, leur impact sur les modèles et leurs résultats deviennent ainsi un challenge important et fait l'objet de nombreux travaux de recherche (79,80). Les méthodes utilisées pour estimer l'incertitude et sa propagation sont généralement d'ordre statistiques et géostatistiques(80,81) et s'appliquent aussi bien à des problèmes de classification d'images satellites qu'à des modélisations complexes d'évolution d'occupation du sol.

Différents niveaux d'analyse sont appliqués et sont présentés de façons schématiques et simplifiées sur la figure (04). Concernant les données d'entrée, plusieurs solutions existent pour estimer l'incertitude. La plus simple consiste à ne prendre en compte que les données les plus fiables possibles afin de minimiser la propagation des erreurs. La deuxième consiste à pondérer chaque donnée d'entrée en fonction de leur fiabilité mesurée au préalable par des modèles statistiques. Le

modèle peut être également entaché d'incertitude étroitement liée à son paramétrage. Sa fiabilité dépend donc du modélisateur et de son niveau de complexité. Associée aux caractéristiques propres du modèle, la propagation de l'incertitude des données d'entrée peut aussi être mesurée par diverses simulations d'ordre statistique(80)

L'incertitude des résultats dépend des données d'entrée et du modèle utilisé. L'estimation devient problématique et ne peut être mesurée qu'avec une confrontation avec la réalité afin d'estimer leur vraisemblance.

Mesurer l'incertitude et surtout ses conséquences dans un processus de modélisation requiert des méthodes d'analyse lourdes et parfois très compliquées à mettre en place. C'est pourquoi ce genre d'analyse reste rare en géographie. Par ailleurs, si ces analyses permettent de quantifier et de mesurer l'impact de la propagation de l'incertitude sur les prises de décision, elle ne l'intègre pas dans le processus de modélisation même. Or cette gestion de l'incertitude s'avère parfois indispensable dans certains cas comme celui de la modélisation de l'évolution de l'occupation du sol, où le caractère même du phénomène est incertain. Une solution possible consiste alors à utiliser des modèles intégrant l'incertitude dans leur infrastructure. C'est le cas des systèmes experts qui, de par leur nature, sont capables de gérer l'incertitude à différents niveaux du processus de modélisation.

5. Simulation, Scenario et géoprospective :

Parmi les outils de prospection spatiale, figurent l'élaboration de scénarios prospectifs de l'espace. La dimension historique est importante dans ce sens puisque la prospective est aussi une « maîtrise conjugquée de la mémoire et de l'imagination »(24), qui doit permettre d'éviter la reproduction des erreurs architecturales du passé, en matière d'aménagement et d'urbanisme.

Certains auteurs font une distinction entre les termes modélisation et simulation. Cette dernière étant liée, soit à la dimension temporelle qu'implique l'idée d'étudier le comportement d'un modèle durant une période de temps donnée, soit à l'idée de prévision de l'état du modèle (extrapolation)(82), définit la simulation ainsi : « La simulation consiste à faire évoluer une abstraction d'un système au cours du temps afin d'aider à comprendre le fonctionnement et le comportement de ce système et à appréhender certaines de ses caractéristiques dynamiques dans l'objectif d'évaluer différentes décisions. »

6. Donnée Utilisées Pour La Cartographie

- Un Bref Aperçu :

Après un aperçu au premier chapitre sur les concepts clés ainsi qu'au lien de rapprochement entre autres, ce chapitre est dédié à nous faire présenter les différents outils utilisés pour l'analyse, la cartographie, les méthodes et les techniques de pointe en matière d'acquisition de données, de prétraitement, d'interprétation d'images et d'évaluation de la précision pour la caractérisation et la cartographie de LULC.

6.1. Choix de techniques utilisées :

Les techniques de télédétection peuvent être classées selon les domaines du spectre électromagnétique, le nombre de bandes spectrales, les largeurs de bandes spectrales et sur la base de la source d'énergie. Lorsque les systèmes de télédétection dépendent de sources naturelles d'énergie, tels que le rayonnement entrant du soleil ou le rayonnement émis par la surface de la Terre, la télédétection est classée comme une télédétection passive. Lorsque des impulsions d'énergie requises pour la télédétection sont générés par le capteur lui-même, la télédétection est appelée télédétection active.

6.1.1. Télédétection passive :

La télédétection traditionnelle est une télédétection passive qui s'appuie sur le soleil comme source d'énergie. L'usage des systèmes passifs de télédétection, sont limités à la portion ensoleillée du jour. Les premières images étaient en noir et blanc (échelle de gris) et acquises seulement dans la partie visible du spectre dans une bande panchromatique large. Avec l'avancement technologique des caméras, des images en couleur multi-bandes et des images prises dans le proche infrarouge pourraient être acquises(83).

Cela a permis la prise d'image par capteur en plusieurs bandes multispectrales. La télédétection multispectrale et hyperspectral peut s'étendre sur les domaines du visible, infrarouge et l'infrarouge thermique. Toutefois, la télédétection dans le domaine de l'infrarouge thermique a été précédemment limitée au mode de bande unique large puisque les capteurs premiers n'étaient pas assez puissants pour enregistrer le signal faible émis par la surface de la Terre. Actuellement, la technologie des capteurs a progressé dans la mesure où si l'on intègre le signal sur une très grande surface (rayon allant de 7 à 25 km), nous pouvons capter l'énergie émise par la surface de la Terre, même dans les régions de longueur d'onde à micro-ondes, ce qui rend la télédétection hyperfréquences passive possible(84).

6.1.2. Télédétection active :

L'impulsion de l'énergie produite pour la télédétection active est généralement effectuée à une fréquence spécifique, soit une longueur d'onde spécifique. La télédétection LiDAR (Light Detection

And Ranging) opère plusieurs longueurs d'onde spécifiques dictées par celles des différents lasers disponibles, dont le vert ou le proche infrarouge. Bien que généralement ces systèmes fournissent des données de haute qualité de points, les systèmes les plus récents fournissent également des images d'intensité dans la gamme du proche infrarouge du spectre électromagnétique(85).

Les systèmes aéroportés LiDAR peuvent acquérir des données altimétriques de haute densité à partir desquelles des modèles altimétriques numériques sont générés(86).

Le Radar à Synthétique d'ouverture ou en Anglais « Synthetic Aperture Radar » (SAR) est une autre classe de télédétection active où l'imagerie est réalisée dans la partie micro-ondes du spectre électromagnétique. En principe, le système SAR, mesure le temps et l'ampleur du signal rétrodiffusé du sol à l'antenne du radar. Les images radar peuvent être acquises à tout moment de la journée et dans toutes les conditions météorologiques (y compris les conditions défavorables). Les images radar donnent un avantage énorme en particulier pour des applications dans les régions géographiques qui ont de fréquents problèmes de la couverture nuageuse et dans les régions polaires où il en trouve de longues périodes d'obscurité(87).

6.2. Traitements Et Prétraitements En Télédétection Spatiale

6.2.1. Prétraitements :

- **Correction géométrique :**

Le concept de base de ce prétraitement est de localiser chaque pixel de l'image dans un système de coordonnées terrain et de rééchantillonner l'image dans une grille uniforme. La correction géométrique est nécessaire pour éliminer ou réduire les effets de distorsions non systématiques ou aléatoires présents dans les données de télédétection. Ces distorsions sont les variations d'attitude et de l'altitude de capteurs. La correction géométrique est possible grâce à l'utilisation des points de contrôle au sol (Ground Control Points (GCPs)) obtenus d'une carte, image ou de données GPS ((88)). Les intersections de route en forme de "X" s'avèrent d'excellents points de référence particulièrement en planimétrie (Begin *et al.*, 1988). La correction peut se faire par deux grandes méthodes : la correction par la méthode polynomiale et la correction par les méthodes photogrammétriques. Une revue bibliographique assez détaillée sur ces méthodes est donnée par Caloz et Collet (2001)(89–91).

La précision et la qualité de la correction géométrique sont très importantes dans les études qui font appel à des séries temporelles de données de télédétection. Selon Stow (1999)(92), les erreurs de la correction géométrique conduisent à une surestimation de changement réel. L'erreur géométrique est exprimée en erreur quadratique moyenne (RMSE), ce qui représente une mesure de l'écart des valeurs de coordonnées de l'image référence et ceux de l'image à corriger. Plusieurs auteurs recommandent une valeur maximale tolérable de RMSE égale à 0,5 pixels (90,93).

- **Correction radiométrique et normalisation :**

L'observation de la terre à partir des capteurs satellitaires permet d'avoir une vue synoptique d'une région du globe terrestre ou d'un phénomène de façon répétitive. Or la variation des conditions d'éclairement solaire, la diffusion atmosphérique, l'absorption atmosphérique donnant des différences assez importantes au niveau des données de télédétection. Ces variations constituent une limite très sévère pour les études multi-temporelles. Cela rend difficile de comparer les indices spectraux de végétations entre différentes dates ou différentes régions(94). La technique la plus utilisée pour la correction radiométrique est la normalisation radiométrique en utilisant des valeurs relatives à des cibles pseudo-invariantes (95,96). Les cibles pseudo-invariantes (toiture de bâtis, intersection des routes, eau profonde) sont des surfaces censées exprimer des comptes numériques proches d'une image à l'autre. Un autre type de normalisation est proposé par égalisation d'histogramme des deux images (image à corriger en fonction d'une image référence). L'algorithme «*histogram matching*» produit une table de conversion ou bien une «*Look Up Table* » *LUT* avec laquelle il sera possible de créer de nouvelles bandes pour l'image à corriger(97).

6.2.2. Traitements :

- **Composition colorée :**

La composition colorée est le traitement le plus connu dans le monde du traitement d'image. Elle permet l'affichage des images satellitaires selon une synthèse chromatique des trois couleurs additives (rouge, vert et bleu), chacune associée à un canal de l'image. L'opérateur choisit en fonction de ses préoccupations les canaux auxquels les couleurs seront attribuées(96,98). Cette synthèse permet d'obtenir une image couleur appelée composition colorée en «fausses couleurs»(8).

- **Transformations Spectrales En Télédétection :**

Les chercheurs ont proposé diverses approches et de nombreux indices allant de relations simples entre bandes spectrales jusqu'à des combinaisons complexes. Selon Caloz (99) un indice spectral se définit comme une variable synthétique, numérique qui caractérise l'intensité ou l'extension d'un phénomène trop complexe pour être décomposé en un nombre maîtrisable de paramètres. Il est possible de rassembler ces transformations sous trois catégories de traitements : les indices proprement dits, la transformation en composantes principales et le modèle «*Tasseled Cap* ». Ces deux dernières font partie d'une famille de traitements plus générale qui sont les transformations orthogonales. Nous exposons dans les sections suivantes les indices de végétations, les indices d'eaux, la transformation *Tasseled Cap* et l'analyse en composante principale (ACP).

- **Transformation en indice de végétations :**

Le rayonnement électromagnétique réfléchi par la surface de la terre et enregistré par un capteur satellitaire ou aéroporté fournit des informations très pertinentes sur les propriétés du sol et de l'eau et sur les caractéristiques de la végétation (99,100). Les techniques de traitement d'images de télédétection sont destinées à transformer ces données électromagnétiques en une information cartographique interprétable. Dans le domaine des applications et de la recherche en télédétection spatiale une quarantaine d'indices de végétation ont été développés au cours des deux dernières décennies (100) Chronologiquement, l'annexe 1 présente une récapitulation faite par Bannari *et al.*, (1995) (99,100) de la quasi-totalité des indices de végétation qui existent dans la littérature scientifique.

Selon Caloz et Collet (2001)(89), les végétaux présentent une faible réflectance dans le bleu; la bande correspondante est donc de peu d'intérêt (Figure 8)(89). La réflectance dans le vert est plus élevée et traduit des propriétés discriminantes pour les végétaux. Malgré cet avantage, peu d'indices ont été élaborés à partir de la bande verte, probablement à cause de sa dépendance à l'égard des conditions atmosphériques (89). Les bandes rouges (R) et proches infrarouge (PIR) présentent un intérêt majeur vu la divergence dans le comportement de la végétation dans ces deux bandes (Figure 9)(89). La première coïncide avec une forte absorption du rayonnement, la deuxième, au contraire, offre une réflectance élevée. Il en résulte un écart important entre ces deux niveaux. Des combinaisons de ces deux bandes sont donc susceptibles de produire de bonnes capacités discriminantes et révéler des propriétés particulières des végétaux.

Les indices NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) et TSARVI (*Transformed Soil Atmospherically Resistant Végétation Index*) sont retenus pour la discrimination des pixels de végétation, le choix de ces deux indices a été justifié pour le cas du NDVI de sa grande popularité et usage, néanmoins que le deuxième choix du second qui nouvellement générer pour sa robustesse et ses résultat très fines par rapport à l'NDVI(100), c'est dans ce sens que nous avons exécuté une analyse comparative entre les résultat conquises après la mise en œuvre de ces deux indices.

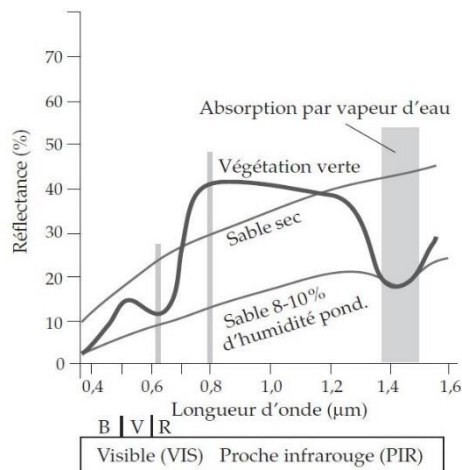


Figure 6: Particularités de la réflectance des végétaux et des sols

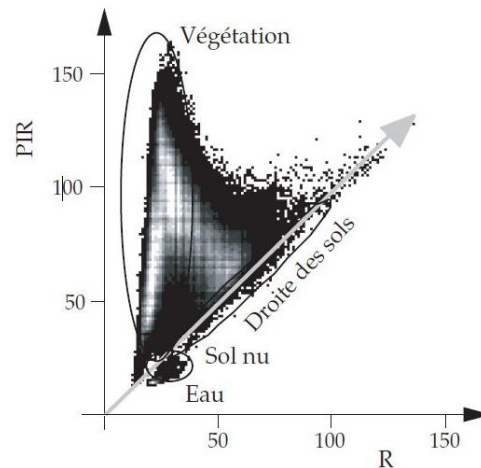


Figure 5: Scatterogramme des bandes R – PIR d'une image TM de Landsat

$$NDVI = ((PIR - R)) / ((PIR + R))$$

Equation 1: Normalized Difference Vegetation Index

$$TSARVI = (a_{(R, B)} (PIR - a_{(R, B)} RB - b_{(R, B)})) / (RB + a_{(R, B)} PIR - a_{(R, B)} b_{(R, B)} + 0,08 (1 + a_{(R, B)}^2))$$

Equation 2: Transformed Soil Atmospherically Resistant Vegetation Index

- **Transformation en indice d'eaux :**

La cartographie des eaux de surface d'un SBV engendre un élément clé pour étudier et modéliser la dynamique spatiale d'un territoire donnée, l'eau est l'épreuve de transition entre les objets de la surface terrestres, comme exemple ; s'il est confirmé que l'homme joigne les sources hydriques en tout sort, nous avons qu'affirmé que certains effets sur l'écosystème vont l'accompagner dans sa nouvelle aire de vis t'elles que (l'urbanisation, déboisement, extension des surfaces agriculture...etc).

L'examen de l'exactitude de la classification pour la cartographie thématique des zones aquatiques est très précieux et décisive pour tous les modes de transition spatiale, cette logique nous amène d'appliquer deux indices d'eaux basés sur deux principes différents, le croisement des deux résultats sera disculpé par une validation terrain.

Pour l'extraction automatique et précise des eaux de surface (ruisseaux, rivières, lacs, barrages... etc.), Nous avons croisé les résultats des deux indices d'eau différents avec l'objectif d'améliorer plus de précision, « Automatic Water Extraction Index (AWEI) » et « The Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) ».

Le premier indice « AWEI » est basé sur la suppression du bruit de classification de l'ombre et d'autres surfaces sombres non aquatiques. Il diminue également les caractéristiques des zones bâties qui sont souvent corrélées à l'eau libre dans d'autres indices(101,102). Le second « MNDWI » est un modèle dont nous pouvons améliorer la différenciation entre le sol et l'eau, et peut également diminuer l'interférence des objets artificiels, nous pouvons même obtenir des frontières précises d'objets aquatiques en régions hybrides(103).

$$AWEI = 4x (Green - SWIR) - [(0.25x NIR) + (2.75xSWIR)]$$

$$MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$$

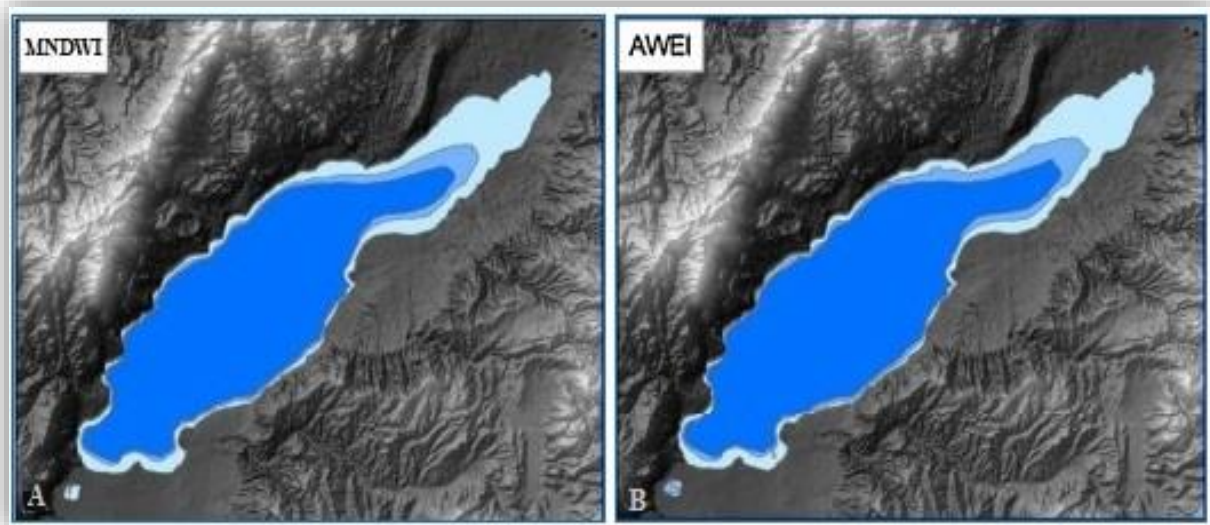


Figure 7:Exemple de comparaison entre les deux indices d'eau (AWEI et MNDWI)

- **La transformation *Tasseled Cap* (TC) :**

La transformation *Tasseled Cap* (TC) a été inventé par Kauth et Thomas (1976) pour la première fois comme une transformation de données du capteur TM de Landsat(104). Plusieurs œuvres de mise à jour de cette transformation ont été menus par Crist et Cicone (1984) et Crist (1985) pour utiliser les données TM de Landsat(105). Elle permet de donner des informations sur la brillance (*Brightness*) des sols, la verdure (*Greenness*) de la végétation et l'humidité (*Wetness*) du sol et/ou la végétation, ce qui donne un avantage dans les analyses multi-temporelles. Selon Caloz et Collet (2001), le *Tasseled Cap* représente une épreuve captivante d'assimiler les informations thématiques extraites de l'image dans un modèle homogène de l'évolution de la couverture végétale(106).

De manière simpliste, le TC est une échelle d'analyse issue principalement par une analyse en composantes principales qui transforme les 6 bandes TM (Thematic Mapper) du satellite Landsat à trois composantes (3 Bandes) de caractéristiques connues (TB = brillance, TG = verdure et TW =

l'humidité). La première composante (TB) est simplement la somme de toutes les valeurs des six bandes TM ce qui donne une bande sensible aux propriétés physiques qui affectent la réflectance totale (par exemple, les différences de tailles de particules de sol). La deuxième composante (TG), c'est la différence entre la somme des bandes du visible (TM 1, 2 et 3) et la bande du proche infrarouge (TM 4). Ce qui répond à la combinaison de l'absorption élevée de la chlorophylle dans les bandes visibles et de réflectance élevée de la structure des feuilles dans la bande proche infrarouge. La troisième composante (TW) est la différence entre la somme des bandes visibles et proche infrarouge (TM 1, 2, 3, et 4) et les bandes infrarouges moyennes (bandes TM 5 et 7) pour déterminer la quantité d'humidité détenue par la végétation ou le sol. Car les bandes infrarouges moyennes sont les plus sensibles à l'humidité du sol et des plantes(107).

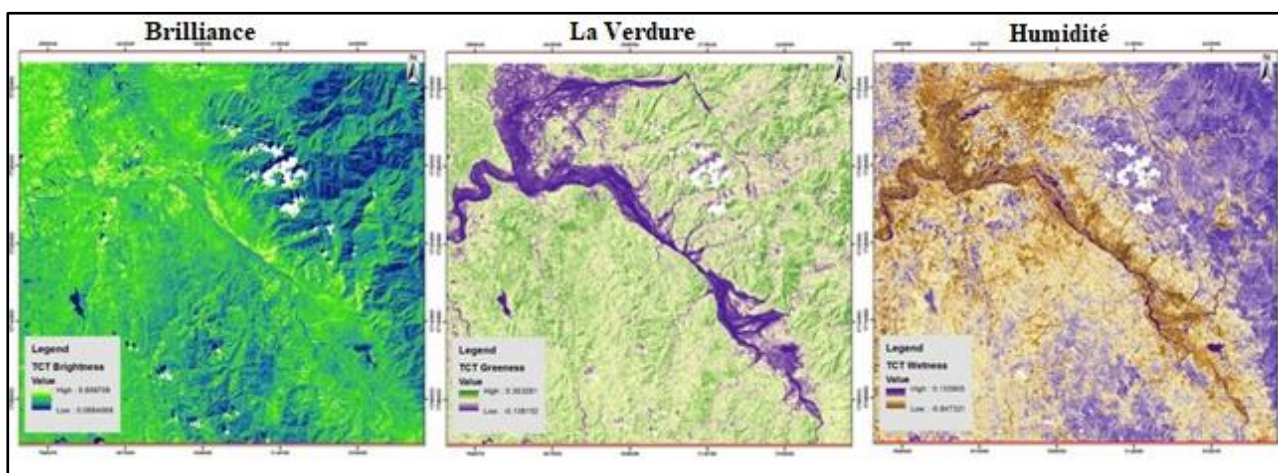


Figure 8: Transformation Tasseled CAP sur une Image Landsat 8

« Oued El Arabe, Un formidable paysage Montagneux fragilisé, et marginalisé »

Chapitre II

« LES GRANDS TRAITES PHYSIQUES D'UNE REGION CONTRASTEE

CHAPITRE II : Les grands traits physiques de Oued El Arabe :

Préambule :

La montagne fait souvent rêver, parfois peur. Espace et écosystème à la fois somptueux, rude et fragile, cependant, de sérieuses divergences socio-économiques existent dans les régions montagnards (108). Ces besoins et particularités de la montagne ont doté vers l'approbation d'un champ d'étude dédié au développement des champs et de l'espace dans les zones montagneuses qui permet la mise en œuvre de politiques publiques adaptées à la vie montagnarde ainsi à la recherche d'un équilibre entre développement territorial et protection de l'espace (108).

Les espaces montagnards représentent donc des zones à forts enjeux environnementaux, économiques, sociaux voire culturels. Les changements d'occupation et d'usage du sol qui s'y tiennent, qu'ils soient d'origine anthropiques ou anthropozoïque, ont engendré, au cours des dernières décennies, des dynamiques significatives suite aux défrichement et abatage massive, d'étalement urbain poussé par l'accroissement humaine accélérer, en parallèle c'est l'ensablement ,la désertification et plusieurs autres critères qui ravagent et concours le temps pour un annoncé la désintégration et la destruction absolu du sol et du potentiel naturelle.

Oued El Arabe, est une région montagneuse par excellence, de son coté, elle souffre de cette anarchie spatiale accumulé par l'homme et ses cheptels d'un côté, et par les différents dommages naturels du second côté.

Le Sous Bassin versant (SBV) d'Oued el Arabe coté en code 0618 (Figure10), est l'un des affluents principaux du grande bassin hydrogéologique fermé de Chott-Melghir codé n°(06) (Figure12), il prend sa source à quelques kilomètres de Khenchela au sud-ouest, au djebel Tafrent, par 02 bras ayant 25 à 30 km de longueur et qui enserrent en l'isolant complètement du massif de l'Aurès, la montagne la plus à son périmètre est connue sous le nom de djebel Djahfa. Cette hauteur (1.719 m) se termine par une table entourée de précipices portant les ruines d'une Guelaa qu'on dit avoir été construite par la fille de la « Kahina ». Cette montagne, bastio nord-est de tout le massif des 'Aurès était probablement la roche qui du temps des Romains portait spécialement le nom « *Aurasius* » qui est réservé jusqu'à notre jours par le nom « Aurès » et qui se prononce en arabe comme « Awras ». Dans le versant sud-ouest de Djahfa on trouve des sources importantes d'Aîn Zitoun et d'Aîn Bou Madjeur au pied de la montagne est celle d'Aîn Hania. Le Djahfa était peut-être le Tumar de Procope que d'autres placent au-dessous de Djemina.

C'est surtout à partir du confluent de Oued Tamagra et de Oued Hatiba que Oued El Arab commence à serrer de près à l'est le massif de l'Aurès(23), La crête du djebel Cherchar se maintient à une altitude moyenne de 1.400 à 1.500m et domine d'environ 500m le fond de la vallée (23). Le point culminant est au Kef Ali en Nas (1.878 m) Le cours de l'oued El Arab se rapproche peu à peu des

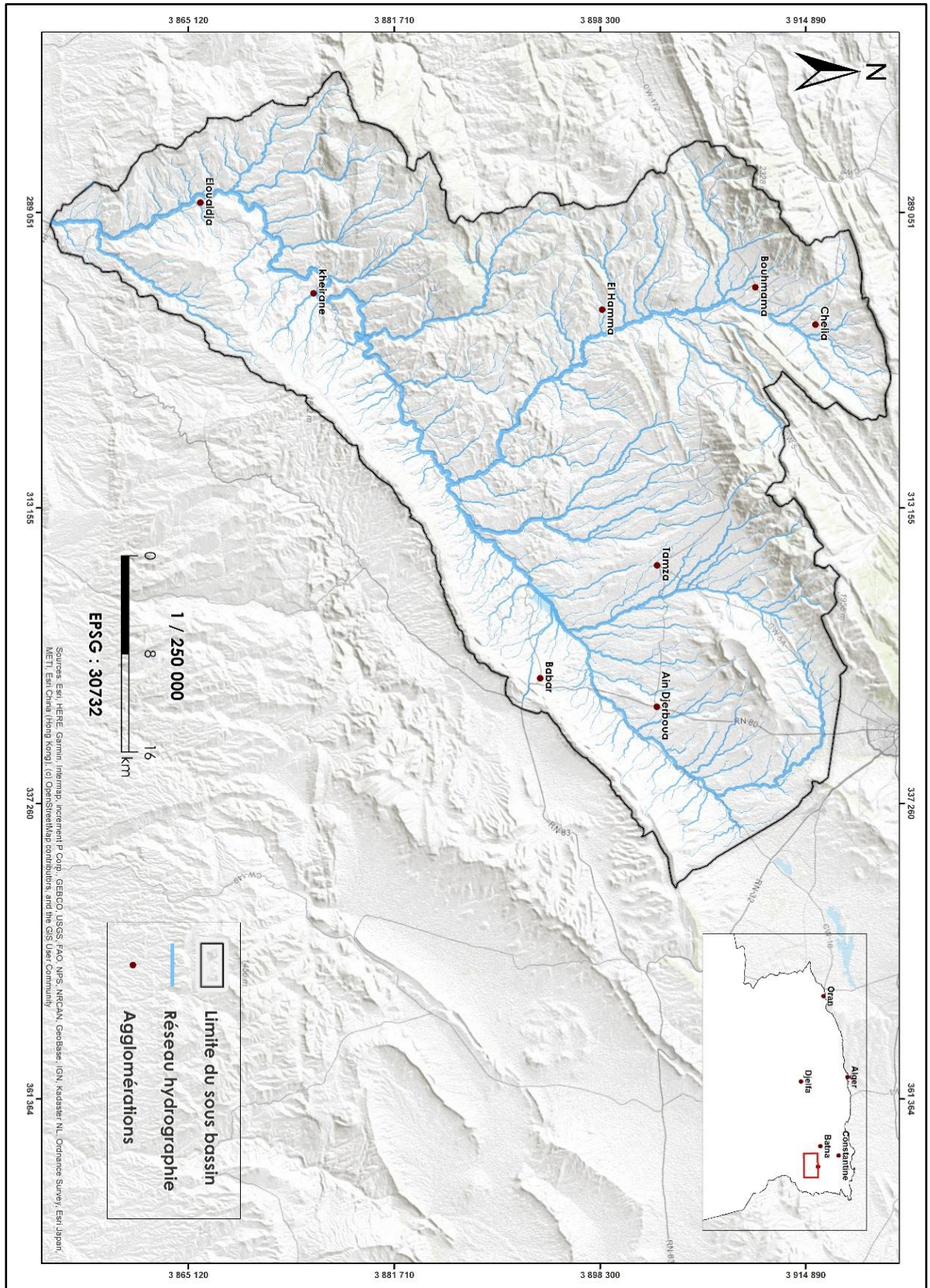
montagnes et depuis la plaine de Bled Kalas el Trab où il se grossit à droite d'un de ses principaux affluents(23) Mellagou, il entre dans un profond défilé . C'est alors qu'il prend le nom d'oued El Arabe. (Il avait pris au confluent de l'oued Tamagra et de l'oued el Hatiba, jusqu'au Bled Kalas « *el Trab le nom d'oued El Abiod* »(23,109).

Son cours devient très rapide et c'est ainsi qu'entre Kheirane et Ouldja la différence de niveau est de 338 m alors que la distance entre ces 02 points n'est que de 13,2 km. La pente moyenne du fleuve est donc de 0,033 m par mètre. La vallée est étroite et encaissée ; les flancs sont escarpés et dépourvus de terre végétale. L'étendue cultivable est forcément restreinte et peu susceptible d'extension. Les indigènes ont concentré leurs efforts sur le fond de la vallée, dans le lit même du fleuve ; dans les parties les plus larges ils ont fait des plantations de palmiers.

D'une vision panoramique et paysagère, la vallée de Oued El Arabe se caractérise Un milieu physique diversifier par les paysages telliens sur les zones de haute montagne, bien arrosées et bien boisées à paysages verdoyants et domine la partie amont de Monts des Aurès et d'un paysages de hautes plaines sur les hautes plaines céréalières semi-arides et que ce concentre pour basse vallée et en dernier un paysages steppiques et sahariens composés de monts totalement dénudés et érodés à savoir Néménchas à l'est et les oasis de Siar, Khirane et El Ouldja et même sur la basses plaines El Meita (110).



Figure 9:Photo Panoramique de la Mont de Chélia en période hivernal



Le tableau n°2 présente les principales caractéristiques morphométriques et hydrographiques du bassin endoréique Chott-Melghir (Tableau 2)(source : (111).

Tableau 2: Caractéristiques morphométriques et hydrographiques du BV Hydrographique Chott-Melghir

Indices	S	P	K _c	L	Hmax	Hmin	Hmoy	H _{50%}	H _{5%}	H _{95%}	Ip	Ds	Lp	Dd	Ddp	Ddt	Ct	Tc	
Unité	km ²	km	-	km	m						-	m	km	km /km ²			-	h	
C. M	El Hai St,	1170	150	1,23	52,9	2150	520	1209	-	-	-	0,16	-	66	-	-	-	-	11,23
	El Hai Br,	1559	216	1,53	90,84	2150	350	1068	1100	1750	500	1,29	531,3	82	4,22	-	-	21,7	13,11
	El Abiod St,	1050	160	1,38	63,5	2326	295	1410	1170	1780	380	2,42	715,0	85	4,7	-	-	39,9	9,62
	El Abiod Br,	1320	218	1,68	95,12	2326	150	1154	1220	1806	415	1,75	427,1	93	3,47	-	-	25,2	11,24
	El Arab St,	2083	258	1,58	110,08	2326	190	1054	1120	1600	570	1,15	280,3	123	4,8	-	-	36,4	15,61
	El Arab Br,	567	95	1,12	23,81	2326	900	1172	1225	1630	940	5,81	690	51	4,8	-	-	34,89	13,02
	Chéria	810	161	1,58	68,71	1712	986	1189	1165	1370	1085	2,86	118,05	55	2,46	-	-		17,23

S : superficie ; P : périmètre ; K_c : coefficient de compacité ; L : longueur du rectangle équivalent ; Hmin : altitude minima ; Hmax : altitude maxima ; Hmoy : altitude moyenne ; Ip : indice de pente de Roche ; Ds : Dénivelée spécifique ; Lp: longueur du thalweg principal ; Dd : densité de drainage ; Ddp : densité de drainage permanent ; Dpt : densité de drainage temporaire ; Ct : coefficient de torrentialité ; Tc : Temps de concentration.

Oued El Arabe est le résultat de la confluence de l'Oued Mellagou et de l'Oued El Abiod qui prennent leurs sources respectivement au Djebel Chélia et au Djebel Aïdel. Son tracé à l'Est, est la limite exacte du massif qui le délimite des monts des Nememchas. Il draine pratiquement tout le flanc est du massif. Son écoulement permanent qui a justifié d'ailleurs la construction du barrage de Babar, irrigue une série d'Oasis notamment après la sortie du massif. Nous pouvons citer entre autres Kheirane, Khenguet Sidi Nadji, Zéribet El-Oued. Plus au Sud à 150 Km environs de ses sources.

C'est après avoir raconté ces événements, que nous pouvons parler du milieu physique de notre zone d'étude et ses alentours. Oued El Arabe est Comme tous les Oueds qui se dirigent vers le Sud, son débit diminue au fur et à mesure que nous nous dirigeons vers le Sud.

Depuis cette description nous pouvons voir clairement la résistance et la force du biotope juste à côté de la beauté panoramique du paysage, Ces unités physiques qui entraînent une certaine force, doit sa forte personnalité à son unité physique et à son puissant relief. Ses sommets aux formes lourdes et aplanies dominant de profondes dépressions, orientées du Sud-Ouest au Nord-Est, et des vallées étroites, parfois coupées en gorges. Et les belles forêts de cèdres du Kef Mahmel et surtout du Chelia et de l'Aïdel s'étagent entre 1600 et 2000 mètres, mais se trouvent toutes sur le versant Nord ; ce qui marque bien l'opposition entre le versant Nord (pluies suffisantes, réseau de courts torrents) et le versant Sud (irrigation obligatoire pour la culture, longues vallées)(112).

1. Délimitation de la zone d'étude :

La SBV de Oued El Arabe est située à l'Est Algérien dans les confins Est de l'Atlas Saharien et plus précisément dans la partie orientale des Aurès, serré entre deux chaînes montagneuse, L'Aurès et

les Nemencha. Il couvre une superficie de 567Km² environ (y compris les zones d'habitat). Il est entouré par plusieurs chaînes et plaines montagneuses Dj Chenntgomma, Dj Aidel, au Nord-Ouest et Djebel Tadelist, Djebel Bouzendag à l'Est et Sud –Est. Géographiquement le SBV de l'Oued El Arabe se circonscrit entre les méridiens de longitudes 6°55' et 7°13' Est et les parallèles de latitude 35°10' et 35°22' Nord (Projection WGS84).

2. Le bassin endoréique :

Le bassin versant de Chott Melghir couvre une superficie de 68750 km², soit 3,4% de la surface du bassin saharien, il s'étend entre les chaînes de l'Atlas saharien (Aurès, Nemencha et les monts de Batna) au nord, jusqu'à la dépression du Sahara septentrional. L'endoréisme est le caractère principal du bassin. Ce dernier compte trente (30) sous bassins, il est drainé par un chevelu hydrographique d'une longueur de 37822 km d'oueds, coulant vers les zones de dépression, et dont le plus important est celui de Chott Melghir. Les principaux oueds sont ceux qui drainent les versants sud des Aurès : Oued El Haï (140 km), Oued El Abiod (152 km), Oued el Arabe (170 km) et l'Oued Djedi (500 km) qui reçoit les eaux de la partie occidentale du Djebel Amour en avant de la ville de Laghouat et traverse toute la région située à l'ouest du méridien de Biskra. Ainsi doit-on considérer le Chott Melghir, est récepteur non seulement des eaux de la chaîne saharienne du Nord, mais aussi des eaux sahariennes de l'Oued Igharghar(113,114).

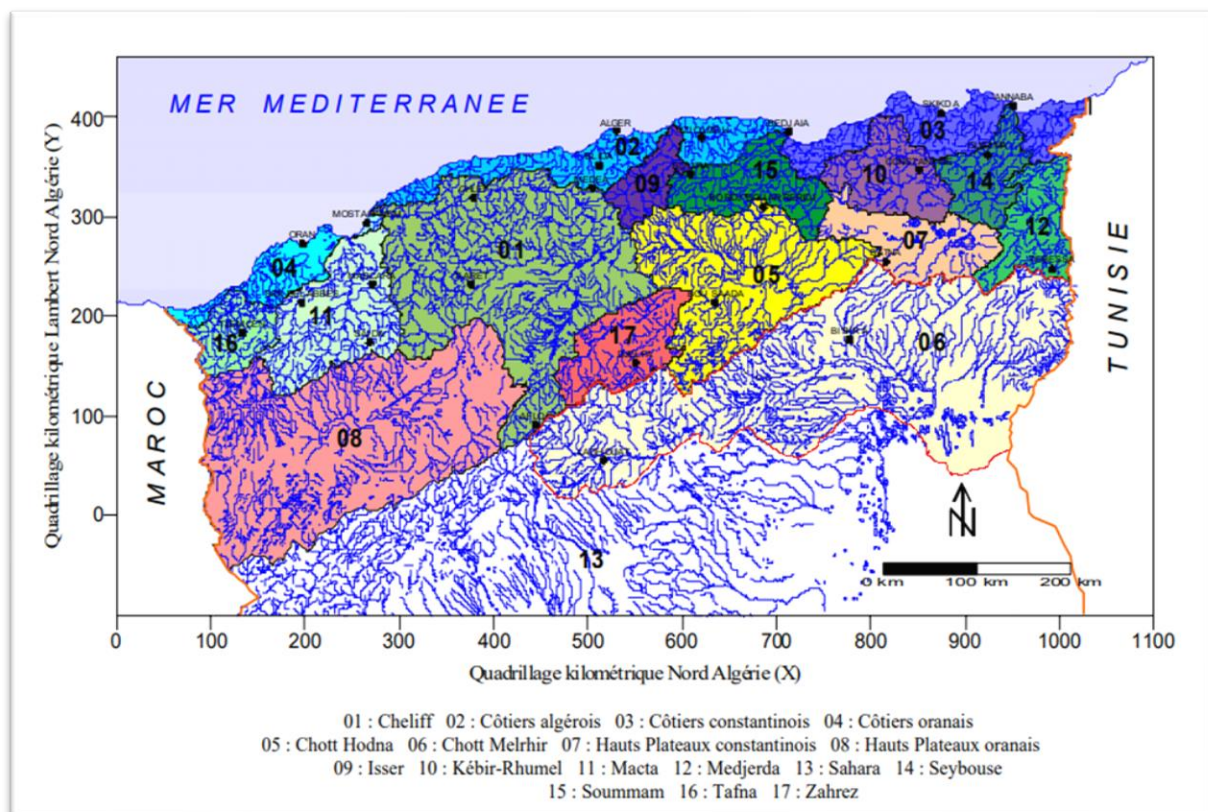


Figure 11: Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord et situation du SBV 06

Tableau 3: Liste des codes et des superficies en Km2 des SBV intégrer dans Chott-Melghir

Code du sous bassin	Nom du sous bassin	Superficie du sous bassin
06 01	Oued Mzi Amont	2068
06 02	Oued Mzi Aval	2336
06 03	Oued Messaad	1819
06 04	Oued Djedi Fedj	3696
06 05	Oued Tadmit	1768
06 06	Oued Demmed	2401
06 07	Oued Djedi Djorf	2471
06 08	Oued Djedi Douiba	3470
06 09	Oued Djedi Kebb	1445
06 10	Oued Melh ouzene	2426
06 11	Oued Salsou Abiod	2119
06 12	Oued El Hai Biskra	2056
06 13	Oued Djemorah	696
06 14	Oued Djedi Biskra	1750
06 15	Oued El Abiod	1320
06 16	Oued Bir Az Atrous	2300
06 17	Oued Dermoun	791
06 18	Oued El arab	2105
06 19	Oued Zeribet	1435
06 20	Oued Derradj	1393
06 21	Oued Djedida	1591
06 22	Oued Beggour Mitta	2383
06 23	Oued Cheria	1110
06 24	Oued Halail	622
06 25	Oued Mechra	2400
06 26	Oued Soukies	746
06 27	Oued Horchane	1037
06 28	Oued Oum El Ksob	2085
06 29	Oued Ittel	6700
06 30	Chott Melghir	10140

Source (111)

3. La Géologie :

3.1. Description stratigraphique :

3.1.1. Le quaternaire

Le quaternaire peut être observé au niveau de plusieurs endroits de la région :

- **Les éboulis à blocs** : Ils sont présents sur les massifs montagneux de l'anticlinal de Khenchela, du synclinal du Djebel Aurès et du Djebel Chettaïa, où ils occupent les pieds des corniches calcaires ou gréseuses.

- **Les alluvions récentes ou actuelles** : Elles sont rencontrées principalement aux environs de Beghaï et sur les lits de quelques oueds. Elles sont constituées de sables, de graviers, ainsi que de limons gris avec de gros galets émoussés : calcaires ou gréseux(110).

- **Les Alluvions anciennes et le quaternaire indéterminé** : Ces formations sont localisées dans les zones basses de la bordure septentrionale. Elles correspondent à des alluvions anciennes que l'on retrouve dans les vallées et les plaines à pente nulle ou très faible et sur lesquelles des sols bruns se sont développés(110).

3.1.2. Le tertiaire post-miocène :

Elle est constituée en général d'argiles silteuses beiges et rouges, avec une perméabilité faible à moyenne

- **Le tertiaire ante miocène** : Principalement éocène, le tertiaire affleure au niveau de la partie centre-est et la partie sud de la wilaya. Il est constitué essentiellement de grès, dont la perméabilité est moyenne.

- **Le crétacé supérieur** : (Cénomaniens- Daniens). Il occupe la partie ouest de la vallée (piémonts de l'Aurès), ainsi que la partie sud-est de ces mêmes monts. Il est constitué de calcaire et de calcaire marneux.

- **Le crétacé inférieur** : (Albiens- Barrémiens). Cette formation n'affleure qu'en de rares endroits. On la retrouve au niveau des crêtes du djebel Chélia, ainsi qu'au nord de la commune d'Ensiha.

4. Aperçue sur la Lithologie de la vallée de Oued El Arabe :

Les couches lithologiques dominantes de ce bassin sont essentiellement composées de calcaires récifaux et de marno-calcaires du Crétacé moyen (Turonien, Cénomaniens). Ces formations résistantes occupent la partie occidentale du bassin qui est protégée par une couverture végétale relativement dense (Djebels Fourhel, Taourirt, et Toubout). Les marnes et les calcaires avec lentilles de gypse, formations peu résistantes d'âge Crétacé supérieur, longent le bassin sur sa partie orientale (Djebel Chechar, Tardjelt, Tadelist, Djahfa, et Tadinart). Au nord-ouest, les calcaires marneuses du Crétacé inférieur de Djebels Chélia et Aidel, affleurent. Le nord-est est occupé surtout par les alluvions et les terrasses du Quaternaire (galets, gravier, blocs avec des sables, et limon). Les formations de l'Eocène inférieur (calcaire et gypse) sont assez peu représentées dans le bassin, elles affleurent au Djebel Bergua et Khanguet Sidi Nadji dans le sud-est, et à Djebel Chetara dans le nord-est. Enfin, les lambeaux de terrains triasiques (sel gemme, couches gypso-salines) affleurent à Djebels Aidel, et près du confluent des Oueds El Abiod et Melaguou. (111)

Tableau 4:Les formations lithologiques du bassin

Formations	Surface (km²)	Surface (%)
Marnes	75	13.22
Calcaires	56	09.87
Grés	15	02.64
Marno-Calcaires	40	07.05
Alluvions	381	67.20

Source :(115)

5. Aperçue pédologique :

Des études précurseurs sur cette zone d'étude ont permis de cerner d'une manière assez générale les principales classes de sols rencontrés au niveau de la vallée. Le pédologue DURAND J. H, a réalisé en 1954 une monographie qui décrit dans son cœur une description bien détaillée des sols en Algérie (116), depuis cette monographie nous avons pu dénombrer les six classes de sols qui dominent notre zone d'étude,)

5.1. Les sols calcaires humifères :

Ils sont rencontrés sur les monts et les piémonts de l'Aurès, à une altitude comprise entre 1 000 et 1500 mètres.

5.2. Les sols insaturés humifères :

Ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitude) de l'Aurès. Ils sont occupés par les forêts.

5.3. Les sols calciques :

Ces sols sont rencontrés sur les bas piémonts, et sur les hautes plaines. Ils s'étendent à l'Est jusqu'à Aïn Touila et au Sud jusqu'à Babar en partant de Khenchela.

5.3. Les sols éoliens d'ablation :

Ces sols sont rencontrés au Sud de la vallée, sur les piémonts des monts Nementchas, dont l'altitude est située entre 200 et 500 mètres(116).

5.4. Les sols éoliens d'accumulation :

Ils sont localisés uniquement dans la zone sud de la vallée, près du chott Melghir (Sols sablonneux).

5.5. Les sols alluviaux basiques :

Ces sols sont localisés sur des zones de changement de pente, c'est à dire les zones où la pente devient plus douce. On les rencontre principalement dans les plaines entourant les dépressions (au niveau des vallées encaissées de Babar, de Bouhmama)

5.6. Les sols salins ou solontchak :

Ces sols caractérisant les dépressions, ils sont rencontrés au niveau des zones d'accumulation. ils sont le résultat d'une hydrologie à écoulement endoréique ou de la présence de roches triasique (gypse : roche saline).

5.7. Les roches mères :

Ces roches, résultat d'une érosion intense due à une conjugaison de facteurs négatifs (relief montagneux, intensité des pluies, substratum tendre et à une absence de couvert végétal pérenne) affleurent notamment les monts des Nementchas.

6. Le Relief :

Le relief est généralement très lourd, les sommets sont constitués par des dômes arrondis, Vu dans son ensemble, la zone d'étude se présente comme un puissant toit à double pente, dissymétrique, ride et parallèle. Cette série montagneuse orientée Nord- Est / Sud-Ouest (Orientation typique de la chaîne Atlasique), porte à 2200 - 2300 m ses crêtes sommitales qui se mets des deux bords de l'Oued (Mehmel, Chélia, Aidel). Au Nord de cette ligne de crête le retombé rapide en 10 ou 20 Km établit la jonction avec les hautes plaines situées à 900 m d'altitude entre Batna et Khenchela. Au Sud, un long versant mène en 50 ou 60 Km au piémont saharien, sis à 100 m d'altitude. Ces plis serrés dessinent de longues arêtes rectilignes, faites de crêtes étroites et séparées par de profondes vallées.

6.1. Répartition des altitudes et courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique est obtenue en portant sur l'axe des ordonnés les Altitudes et sur l'axe des abscisses l'aire partielle du Bassin ou la surface qui se trouve au-dessus des côtés d'altitude portée en ordonnée, elle nous a fourni une vue synthétique de la pente du SBV, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du SBV en fonction de son altitude.

Les fréquences altimétriques sont présentées dans le tableau (5) et par la courbe hypsométrique de la figure (12). Ces représentations montrent l'importance et la distribution de chaque tranche d'altitude dans notre bassin. Nous pouvons discriminer que plus de deux tiers soit 70.6% de la surface du SBV se situent entre les classes (1000m et 1400m), ainsi que 13.14 % de la surface totale se trouvent à une altitude supérieure à 1400 m(115).

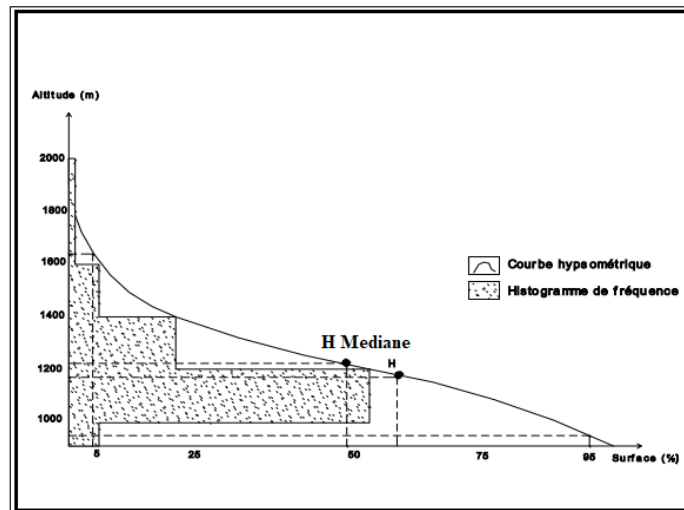


Figure 12: Courbe Hypsométrique du SBV de Oued El Arabe

Source : (111)

Tableau 5: Répartition de l'altitude en fonction de la surface

Altitude en mètre	Surface Partielle		Surface cumulée	
	Km ²	%	Km ²	%
>2000	1,00	0,1724971	1,00	0,1724971
1900-2000	5,70	0,9832333	6,70	1,1557304
1800-1900	9,80	1,6904713	16,50	2,8462016
1700-1800	11,70	2,0182157	28,20	4,8644173
1600-1700	14,20	2,4494584	42,40	7,3138757
1500-1600	15,20	2,6219554	57,60	9,9358311
1400-1500	18,50	3,1911957	76,10	13,127027
1300-1400	44,72	7,7140689	120,82	20,841096
1200-1300	80,00	13,799765	200,82	34,640861
1100-1200	140,40	24,218588	341,22	58,859449
1000-1100	196,60	33,912923	537,82	92,772373
<1000	41,90	7,2276271	579,72	100
	579,72	100		

A la lumière de ces chiffres d'altitude nous pouvons calculer l'altitude moyenne comme suite :

- **Indice de pente moyenne I_m :**

$$I_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{S}}$$

H_{max} : Altitude maximale observée sur le bassin versant ; $H_{max}=2326$ m

H_{min} : Altitude minimale observée sur le bassin versant ; $H_{min}=900$ m

S : surface du bassin versant ; $S=567$ km

Application numérique :

$$Im = \frac{2380 - 900}{\sqrt{579.72}}$$

$$Im = 61.47 \text{ m/Km}^2$$

5.1.1. La pente :

Sur la base de la grille retenue par le MATET pour le classement des zones de montagnes, 4 classes regroupent la zone de Oued El Arabe. Cette grille, qui tient compte de l'utilisation souhaitable des terres, préconise 04 classes

- **Classe 1** : pente comprise entre 0 et 3,5% : C'est une classe à topographie relativement très favorable à l'intensification agricole (mécanisation et irrigation) et à la réalisation d'infrastructures techniques, sociales et économiques à moindre coût, car facilement accessible et ne nécessitant pas d'aménagements particuliers. Cette classe correspond aux hautes plaines du Nord, les vallées et les replats, ainsi que la basse cuvette du Sahara, elle occupe une superficie de (19507.077Ha).
- **Classe 2** : pente comprise entre 3 et 12,5% : Cette classe présente une pente modérée. Moyennant des techniques et mesures antiérosives, elle est favorable au développement d'une agriculture intensive à semi intensive (selon l'intensité de la pente). Sur les sols à structure géologique plus ou moins stable, c'est aussi une classe favorable à la réalisation d'infrastructures techniques, sociales et économiques, mais avec coûts légèrement plus onéreux qu'en classe 1. Elle correspond généralement aux terres de bas piémonts, où l'agriculture reste possible et où l'écoulement des eaux (ruissellement) est important, elle occupe une superficie de (81471.599Ha).
- **Classe 3** : pente comprise entre 12,5 et 25% : Cette classe présente une pente relativement importante. Au plan agricole, l'utilisation souhaitable des terres relevant de cette classe doit privilégier l'arboriculture fruitière et autres cultures pérennes fixatrices du sol au détriment des cultures annuelles et notamment les grandes cultures, dont les travaux du sol favorisent l'érosion et accélèrent son processus. Elle correspond aux piémonts à utilisation agro-sylvo-pastorale. L'écoulement des eaux est très important, et cause souvent des dégâts considérables aux sols cultivés (érosion) elle occupe une superficie de (61446.758 Ha).
- **Classe 4** : pente supérieure à 25% C'est une classe qui présente une pente excessivement marquée, constituant de ce fait une contrainte majeure pour la pratique des activités agricoles et un handicap pour la réalisation des infrastructures socioéconomiques. A ce titre, l'occupation du sol au

niveau de cette classe doit privilégier la sylviculture. Elle correspond en général aux territoires de haute montagne, elle occupe une superficie de (47385.213 Ha).

6.2. La chaîne de partage des eaux ;

Entre le versant saharien et la plaine des Sbakhs :

Cette chaîne est marquée de l'Ouest vers l'Est par :

- Le djebel Ich Ali (1810 m) dont le sommet est à environ 7 km au Sud de Batna, le djebel Assière (1835 m), le Drâa Ben Chibane (1944 m) et le Ras Tafsart (1981 m).
- La partie du djebel Mahmel située au Nord d'Aïounet El -Amar (2214 m) continue sous le nom de Kef Mahmel, le djebel Iddert (1901 m) et le Ras El Keriane (1948m).
- Le Theniet Aïn Youb et le Theniet El Kadir (1645 m) sentiers venant de Foum Toub dans la plaine de Médina et le djebel Tedfedjir (1715m)(114).
- Le djebel Chéliah ou Chélia : Le soulèvement de ce massif important, le plus élevé de l'Algérie de Nord (2328 m) a eu lieu suivant un axe Ouest –Est. Son point le plus élevé est le Ras Kalthoum.
- La grande chaîne de partage se continue ensuite par : Le djebel Fournal (1700 m) et le djebel Taferoust (1592 m).
- Un col dont l'altitude ne dépasse pas 1250 m du Nord à Aïn Cheroui, celui du Sud à Henchir Etouan et fait communiquer la grande route de Batna à Khenchela avec Bouhamama (vallée de Mellagou).
- Le Kef Gâam (1656 m), le djebel Aourès (1551 m), Le Chorf Nourris et le Tizzi Nourris où passe la route de Khenchela au col de Tizougatine par Oued Tamza, le djebel Pharaoun (2094 m), Le Kef Tifkressa (1947 m), Le Ras Chabor (1216 m) qui domine Khenchela(114).

6.3. Le versant Saharien :

L'Atlas saharien -dernier bourrelet montagneux qui borde les hauts plateaux- est une unité physique décomposer en chaînons dissymétriques isolés, orientés du sud-ouest au nord-est, et se rapprochant peu à peu d'ouest en est de l'Atlas tellien. Ces chaînes atlasiques, incluent les puissants reliefs de l'Aurès-Nememcha, dont les sommets aux formes lourdes, dominant de profondes dépressions. Ces dernières sont marquées par des vallées étroites, parfois coupées par des gorges qui montrent une adaptation partielle de l'hydrographie à la structure.

Il se présente comme une zone de transition entre deux domaines distincts, aussi bien du point de vue géomorphologique, que géologique : Le domaine atlasique et montagneux du nord, et le domaine des plaines sahariennes qui se trouvent au sud. Dans ce secteur, le massif de l'Aurès-Nememcha plonge littéralement en cascades et en escarpements accidentés et abrupts, vers la dépression saharienne qui n'atteint pas les 150 m d'altitudes. Le chott Melghir qui constitue le point le plus bas de l'Algérie (-30 m d'altitude), reçoit les eaux des oueds drainant les versant sud

des Aurès-Nememcha, et l'Oued Djedi qui reçoit les eaux de la partie occidentale de Dj. Amour en amont de Laghouat. Ces chaînes de montagnes qui se détachent de la chaîne de partage des eaux et séparent les unes des autres. Les différents cours d'eau du versant saharien.

Entre la haute vallée d'Oued El-Kantara et la haute vallée d'Oued Fedhala ; les chaînes de Titougelt (1583 m).

- Entre Oued Fedhala et Oued Larbâa : les monts des Ouled Fedhala.

- Entre Oued Larbâa et Bouzina massif de Malou.

- Entre Oued Bouzina et Oued Abdi le massif du Mahmel 2321 m.

- Chaîne séparative entre Oued Abdi et Oued El Abiod : Cette chaîne prend naissance au Theniet Gabel Ressisse par le djebel Bouteleghmine (2178 m).

- Entre Oued El Abiod et la vallée d'Oued Cheneoura : le massif du Zellatou.

- Entre Oued El Abiod et les affluents d'Oued El Arabe le massif du djebel Ahmar Khaddou.

- Chaîne bordière d'El Guerguit. Cette chaîne porte le nom générique d'El Guerguit(114).

6.4. Versant de la plaine des Sbakhs :

Les principaux sommets sont :

- Sur la rive gauche de Oued Foug El Gueiss en partant du Theniet El Fedj : le Kef Mabrou, le Ras Ichouferratou (1470 m), le Ras Ifertassine (1303 m), le Ras Tournia, le Kef Achachoua (1176 m)

- Entre Oued Foug El Gueiss et Oued Mouskettou, le djebel Tiskatine orienté Ouest Est formant à l'Ouest le défilé de Foug El Gueiss et à l'Est celui de Foug Tizout.

- Le prolongement Nord du djebel Aourès.

- Le djebel Pharaoun qui se prolonge par le Kef El Abiod (1815m), le djebel Guelàa (1621 m) et le djebel Akar sur le Foug Tafist, dernier défilé à quelques kilomètres de Khenchela que traverse la route Batna- Khenchela. Il se prolonge de l'autre côté par la montagne isolée du djebel El Mennchar(23).

7. Contexte Climatique : "une disparité amont-aval"

En montagne, les changements d'occupation et d'usage du sol sont dépendants de facteurs régionaux tels que le climat (variations des températures et des précipitations).

Caractérisée par un climat majoritairement méditerranéen semi-aride supérieur à hiver doux, le SBV 0618 reçoit près de 350 mm de pluie par an et son déficit hydrique climatique annuel s'élève à plus de 680mm.

7.1. Changement du climat en montagne ;

Domage naturel ou économique ? :

Les milieux de montagne sont particulièrement sensibles aux changements climatiques(117), il est très vulnérable aux changements de la température et au taux de précipitation, ce qui le renvoie parmi les écosystème les plus rapidement touché sur la globalité du géosystème (végétation, roches, sols, débits de rivières et oueds...nombreux frappes de dégradation(118). La disponibilité en eau risque d'être réduite, avec des conséquences qui se feront sentir bien au-delà des régions de montagne(119)

En fait, si 12 % de la population mondiale vit dans les montagnes, elle vit en grande majorité dans les pays en développement marginalisés (physiquement et économiquement), de sorte que toute modification des conditions environnementales peut avoir un impact sur la pauvreté et la sécurité alimentaire, alors nous saisissons que le changement climatique est susceptible de provoquer davantage de catastrophes naturelles et économiques au même coup, d'autant plus que dans de nombreuses zones de montagne, les niveaux de pauvreté sont plus élevés et l'insuffisance alimentaire plus répandue que dans les basses terres(120,121).

La disponibilité en l'eau est une question cruciale dans les montagnes où l'activité agricole reste la principale source de revenus économiques. L'arboriculture et la céréaliculture sont les piliers majeurs de l'économie locale du nord vers le sud respectivement, ces deux cultures sont exigeantes en eau, cette eau qui est à sa place menacer directement par la variabilité climatique à cause du réchauffement climatique qui limite la durée de la saison froide, et la diminution du volume de neige dans la montagne.

7.2. Précipitations :

Les données de précipitation ont été tiré depuis la station météorologique de Babar (1987/2019) : Nous pouvons voire clairement que le SBV de Oued El Arabe est divisé ont deux période Sèche et Humide.

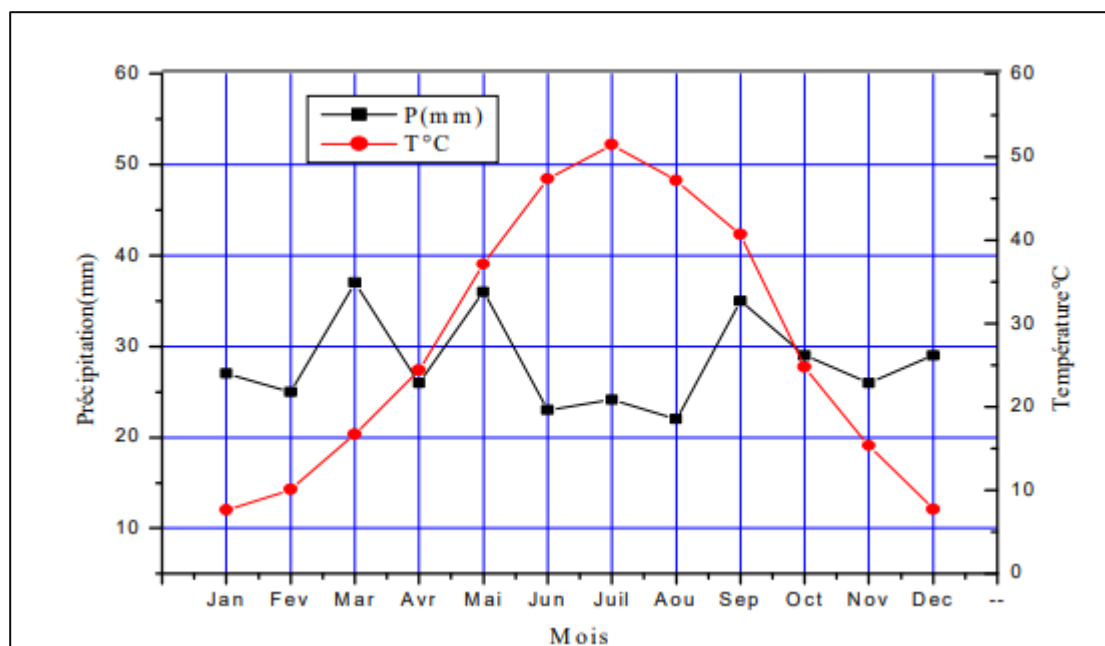


Figure 13: Courbe Ombrothermique de Gaussien

Source :(115)

7.3. Les températures :

La température est l'un des éléments principaux du climat qui influe sur tout le développement et la répartition spatiale de la végétation. Ce sont les Température extrêmes qui ont une influence marquée sur la végétation

Selon le Tab n° (05), on peut constater que la température Moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois d'Août dans toutes les stations et dépasse 25,8 °c, par contre la moyenne la plus basse arrive jusqu'à 6°c à Babar et à Kais au mois de Janvier. Il en résulte, du Tableau n° (06) que l'écart des températures mensuelles saisonnières et annuelles est grand et non constant.

Tableau 6:Températures maximales et Températures minimales du SBV (1987 -2019)

Mois \ Station	Babar			Kais			EL. Hamma		
	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min
S	21,40	29,40	13,40	25,00	32,00	18,00	19,80	26,80	14,80
O	13,80	21,80	05,80	19,00	25,00	13,00	16,00	23,00	09,00
N	11,90	19,90	03,90	13,00	21,00	05,00	10,30	18,80	02,80
D	06,10	11,10	01,10	06,00	11,00	01,00	09,60	14,60	04,60
J	06,00	11,00	01,00	06,00	11,00	01,00	07,00	12,00	02,00
F	07,10	12,60	05,50	07,00	13,00	01,00	07,80	13,80	01,80
M	10,8	18,80	02,80	10,00	18,00	02,00	10,50	18,50	02,50
A	13,2	22,20	04,20	14,00	22,00	06,00	13,10	22,10	04,10
M	19,00	29,00	09,00	18,00	27,00	09,00	18,50	28,50	08,50
J	24,50	34,50	14,50	26,00	37,00	15,00	23,30	24,30	12,30
J	17,60	27,60	07,60	30,00	40,00	20,00	26,60	26,60	16,60
A	26,70	35,70	17,70	32,00	41,00	23,00	25,82	34,30	16,30
Moyen	14,94	22,80	07,20	14,16	24,83	09,40	15,40	22,75	07,95

Source : ONM (Algerie)

8. La couverture végétale :

La couverture végétale est un facteur déterminant pour le contrôle, le suivi et l'analyse de la dynamique spatiale, elle joue un rôle très important dans la protection des sols. Pour plus de précision nous avons utilisé la cartographie numérique pour distinguer les différentes unités composantes du couvert végétale dans la zone d'étude.

Dans la deuxième partie de ce travail (Chapitre VIII). Nous avons rassemblé et classé les quatre catégories selon leurs classifications nature :

- Végétation Forestière.
- Végétation Steppique.
- Végétation des terres cultivées.
- Végétation de palmeraies.

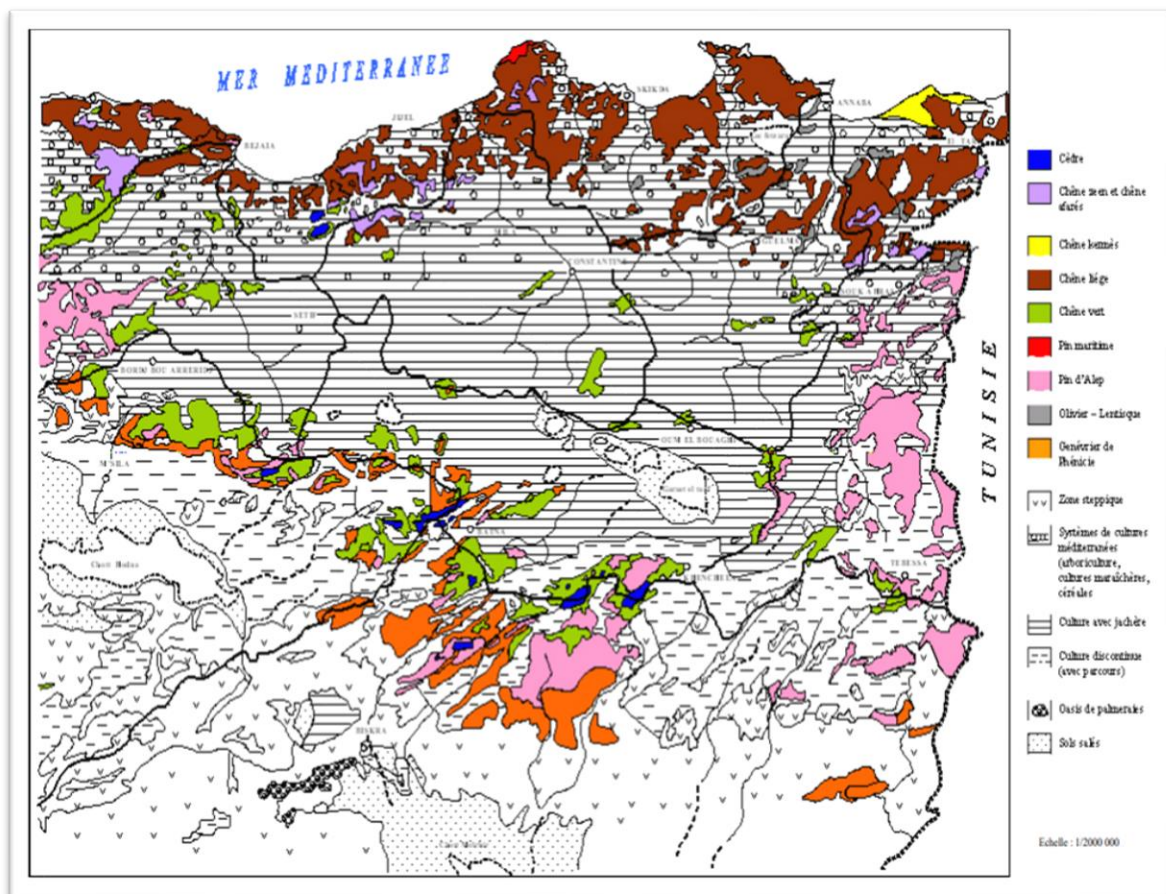


Figure 14: Couverture végétale de l'Est algérien (d'après carte internationale du tapis)

8.1. Végétation Forestière :

La répartition géographique de la couverture forestière de la Oued El Arabe-Aurès fait ressortir des nuances régionales importantes. La Forêt reste étroitement liée aux conditions orographiques et climatiques, en particulier. Avec sa faible extension en termes de surfaces et sa discontinuité. Les forêts des hautes montagnes des Aurès nous offrent les belles forêts de chêne liège (*Quercus suber*), dont le taux de recouvrement est de 70%, 40% et 35% respectivement(111).

Le climat continental des hautes plaines défini par un étage bioclimatique semi-aride frais, marque durement la végétation de l'extrême nord de l'Oued El Arabe. Seuls quelques lambeaux de forêts à Chêne verts (*quercus ilex*) de 10 à 15m et de pins d'Alep (*Pinus halepensis*) qui touche les 25m d'hauteur, sont localisés sur les massifs calcaires et marno-calcaires.

Les plus importants forets que nous avons à les saisir sont :

Massif de Bellezma, beni Fedhala, Z'gag, Bou Arif et l'Aurès. Ce dernier qui considérer comme un patrimoine forestier est constitué de formations végétales issues essentiellement des peuplements naturels à base de pin d'Alep, chêne vert, Genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), et Cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica*)(111).

Les versants nord des Aurès portent des belles Cédraies qui couvrant les sommets des grands anticlinaux (Djebels Chélia, Lazreg, Ichemoul, Zgag et Belezma). Ces Cédraies présentent 66% de la surface de celle de l'ensemble du pays.

Au total, le couvert forestier de la région d'étude se trouve à différents niveaux de dégradation et de défrichage, ce qui est le fait de fréquents incendies et d'une forte pression humaine exercée durant plusieurs décennies, en particulier l'effet dévastateur dû à l'époque coloniale (chauffage, surpâturage). Actuellement, la sécheresse prolongée a aggravé la situation et en certains terrains le couvert forestier a cédé la place à l'installation d'espèces steppiques (*Artemisia vulgaris*) et l'alfa (*Stipa tenacissima*)(111).

8.2. Les Parcours Steppique :

Les steppes algériennes, situées entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud couvrent une superficie globale de 20 millions d'hectares. Elles sont limitées au Nord par l'isohyète 400 mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et au Sud, par l'isohyète 100 mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (122) (123) (Figure20).

Formées principalement des nappes alfatières (environ 07.05 % de la surface totale) qui se situent aux piedmonts Nord-Ouest des montagnes Dj.Aidel, Dj.Chenntegomma. En distingue deux principales Strates (Arbuste et plante pérenne) et des espèces principales : Alfa, Armoise. Elles jouent un rôle prépondérant au niveau du secteur de l'élevage extensif.

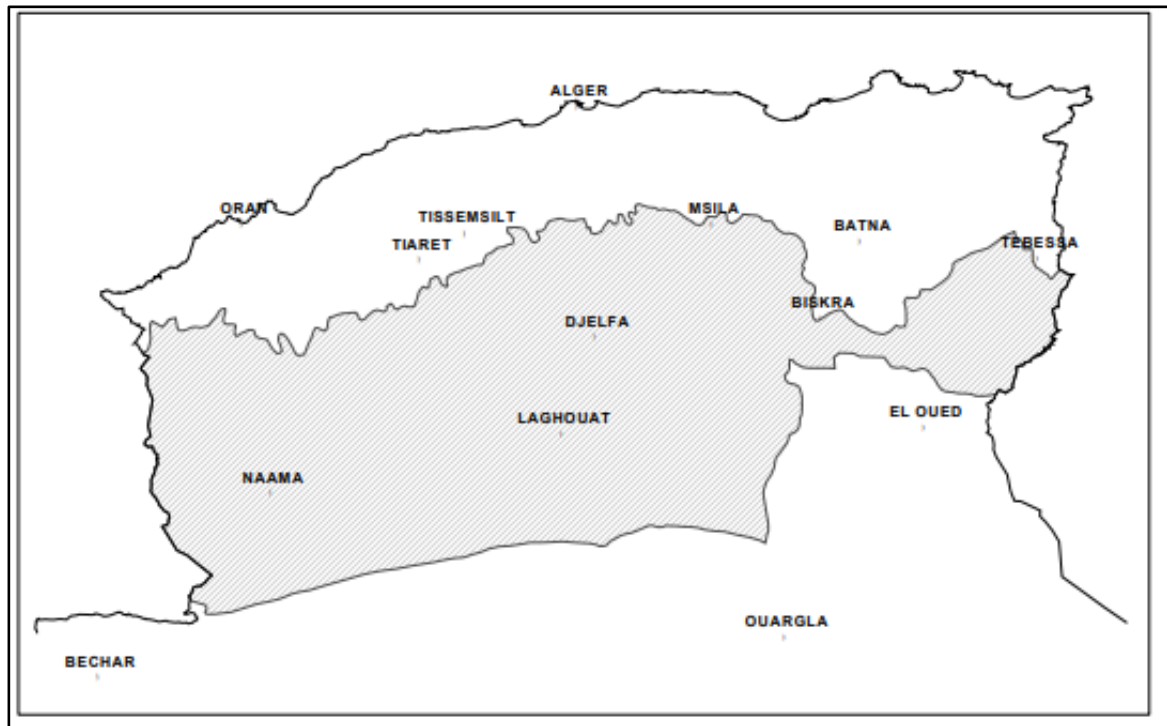


Figure 15: Délimitation de la steppe Algérienne.

Source : (124)



Figure 16: Steppe à alfa sur sol cailloutis

8.3. Les Terres Cultivées :

La superficie agricole totale, représentant presque quatre pour cent de la superficie totale de Oued El Arabe, est la zone d'activité agricole, comprenant :

- Cultures herbacées et céréalicultures.
- Terres au repos.
- Plantations fruitières (Arboriculture).

9. Les Principales agglomérations d'Oued El Arabe :

Le tableau suivant démontre les principales agglomérations, qui se jettent le long de la vallée d'Oued el arabe :

Tableau 7: Evolution de la population dans les principales agglomérations de Oued El Arabe

Agglomération	Wilaya	Superficie en Km2	Nbr Hab 1987	Nbr Hab 2008	Nbr Hab 2019
Babar	Khenchela	320	16469	34 844	40920
Tamza	Khenchela	385	6233	9172	9940
Bouhmama	Khenchela	1288	7354	10 614	12881
Chelia	Khenchela	152	1951	4 953	5990
Kheirane	Khenchela	400	4354	5 752	7845
El Oueldja	Khenchela	366	2128	3 124	4056
Ennsigha	Khenchela	163	5689	9 257	11230
Khanget Sidi Nadji	Biskra	81	2765	3 040	3467
Total			46943	80756	96329
Taux d'accroissement			1.71		1.195

Source : RGP 1987/2008 + Estimations individuel

Depuis les données collectées nous avons su que les communes raccordées au SBV ont enregistré un taux d'accroissement de 1.71% entre 1987 et 2008 (20ans) et un taux de 1.195 % pour la deuxième période 2008 et 2019 (10ans).

Nous pouvons voir clairement que l'accroissement dans la première période est amplement élevé, beaucoup de prétextes peuvent rentrer en justification. Toutefois certaines communes ont enregistré des taux d'accroissement faibles résultant de plusieurs facteurs défavorables : population totale trop dispersée, dotation faible en équipement et proximité des agglomérations attractives, nous citons comme exemple (Tamza qui connue un taux d'accroissement négative (-0.38) pour la période 1987/2008, et Khangat Sidi Nadji qui a aussi supporté un taux négatif pour la même période (0.8%). Généralement le taux d'accroissement des populations agglomérée est nettement plus élevé par rapport aux populations éparses (7), ce phénomène ne pourra s'expliquer que par l'exode rural massive de la population à cause de sous équipement du milieu rurale et le manque de l'activité économique, même que la dernière décennie on observe un retournement de phénomène en raisonnement des programmes de développement rurale hypothéqué par l'Etat pendant cette intervalle tel que (Plan National de Développement Agricole et Rural)(7).

Huit communes constituent dans l'ensemble notre zone d'étude avec presque 100000 habitants dont la plupart se trouve dans des zones éparses.

10. Apport de la Géoprospective dans le territoire d'Oued El Arabe :

Afin de répondre aux enjeux du développement territorial accéléré par l'accroissement urbain dans le sous bassin versant de Oued EL Arabe, il est devenu incontournable de revenir aux méthodes aussi rigoureuses qui permettent d'entrevoir les changements futurs, le recours à des méthodes telle que l'approche prospective spatiale est inéluctable (125,126). Elle propose cependant des ouvertures, des pistes sur l'image de ce demain. Il est question de construire, grâce à l'analyse du passé et des dynamiques actuelles, un socle d'hypothèses pertinentes considérées un regard sur l'avenir destiné à éclairer l'action présente. Ainsi, l'analyse du passé et du présent n'est pas la seule condition à l'explication du futur, dans la mesure où le futur est imprimé dans le présent.

Autrement dit, le SBV 0618 très diversifié dans son climat, dans sa couverture terrestre, dans sa Topographie, il déploie ainsi des divers potentialités Touristiques, Hydriques, Forestier, qui ouvre un champ de développement vers son avenir conditionné par une vision riche des situations et des évolutions quantitatives de ses espaces pour pouvoir repérer ou construire des tendances lourdes de long terme. La gestion prospective permet donc de se libérer des incertitudes pour inventer l'avenir. Libérée des contraintes dues au changement

la prospective a pour objet de repérer, identifier, quantifier, et analyser les irrégularités spatiales sur une durée de 31 ans rétrospective et 20 prospectives, en totale nous analysons la dynamique spatiotemporelle et les différentes transitions subies dans le SBV sur une durée de 51 ans.

*La seule route qui mène un pays vers le développement, c'est celle qui est
construite par un peuple responsable ».* Erick Ngongo

II-Deuxième Partie

Matériels et Méthodes

**« Reconstitution des trajectoires de la
dynamique spatiale pour une
modélisation prospective »**

La carte d'occupation du sol produite par télédétection est une image des occupations du sol qui s'élabore sur la base d'une spatio-carte ou d'une image brute.

Coq, 2007

Chapitre III

« CARTOGRAPHIE D'OCCUPATION ET D'USAGE DU SOL PAR L'ALGORITHME SUPPORT VECTOR MACHINE »

CHAPITRE III : Cartographie d'occupation et d'usage du sol par l'Algorithme Support Vector Machine

1. softwares et de mise en œuvre :

1.1. Plateformes de travail :

La mise en œuvre a été menée en premier lieu sous « Google Earth Engine (GEE) », une plate-forme en Cloud et en ligne nouvellement générée pour l'acquisition et le traitement des données de télédétection, le choix est justifié par la combinaison qui le disposent des multiples catalogues de plusieurs pétaoctets d'images satellitaires et d'ensembles de données géospatiales avec des capacités d'analyse à l'échelle planétaire, ce qui va nous permettre de détecter les changements, de cartographier les tendances, de quantifier les différences et les transitions et par la suite de modéliser les scénarios tendanciels futurs.

Le deuxième est un logiciel géospatial appelé « TerrSet » de CLARCK LABS, il est intégré pour la surveillance et la modélisation du système terrestre pour le développement durable. Le système TerrSet intègre les outils d'analyse IDRISI GIS et de traitement d'image IDRISI ainsi qu'une constellation d'applications verticales. TerrSet offre l'ensemble le plus complet d'outils géospatiaux de l'industrie dans un seul package abordable. Le module LCM appliqué dans ce travail est intégré dans LCM.

Le Land Change Modeler (LCM) sert à projeter les changements spatiotemporels de territoire en se basant sur les changements rétrospectifs de la couverture terrestre pour modéliser empiriquement la relation entre les transitions de la couverture terrestre et les variables explicatives, cette rétrovision permettra par la suite de cartographier les futurs scénarios de changement. Par la passerelle du LCM nous allons produire les quantités des changements et même plusieurs autres traitements dont nous avons besoin pour mettre au point ce travail.

L'autre logiciel utilisé est l'ARCGIS, il nous a permis d'organiser, de finaliser les travaux de mise en page, et de préparer le produit final « l'output ».

1.2. L'algorithme de classification :

Support Vector machines (SVMs) est l'un des algorithmes de classification générés en 1990 par Vladimir Vapnik (127), c'est une reproduction de l'apprentissage automatique qui est un domaine d'étude de l'intelligence artificielle

En tant que techniques d'apprentissage supervisé statistique non paramétrique, les SVM visent à résoudre les problèmes de discrimination (à quelle classe appartient un échantillon) et de régression (prédire la valeur numérique d'une variable). La base théorique du SVM est de maximiser la marge ou plutôt la distance entre les points et les lignes, ce procédé permettra de trouver l'hyperplan(128).

2. Données utilisées :

2.1. Choix des images Satellitaires :

Pour analyser les dynamiques d'utilisation et d'occupation du sol sur un gradient temporel satisfaisant (32 ans), nous avons besoin de trois images à échelle temporelle différent, la sélection de ces images satellitaires est une étape cruciale et doit répondre à un certain nombre de critères liés au choix de vecteurs et capteurs afin d'éviter les erreurs physiques :

2.1.1. Le coût d'acquisition :

A l'ensemble de ces critères techniques s'ajoutent des critères plutôt « organisationnels », tels que le coût d'acquisition de l'image. Celui-ci dépend de plusieurs facteurs : la qualité du demandeur (institutionnels, privés...), la disponibilité de l'image (image d'archives ou image à programmer), le niveau de priorité de la demande (ex. demande d'acquisition urgente pour gérer une crise).

Pour cette étude, nous avons choisi de travailler sous l'archive Landsat qu'il est gratuit comme premier critère et que ses images répandent aux attentes de l'étude(129).

2.1.2. Résolution spatiale :

Lors de l'utilisation de la télédétection dans l'analyse de la dynamique spatiale, il faut peser les avantages, coûts et le niveau de la précision recherchée par rapport aux avantages de l'inventaire traditionnel. Si la télédétection est considérée comme bénéfique, le choix des données de télédétection à employer requiert une certaine pertinence pour déterminer les différents types de résolutions (spatiales, spectrales, radiométriques et temporelles) les plus ajustés pour l'estimation des caractéristiques par télédétection.

Entre une image en basse résolution spatiale (1 pixel = 1 km²) et une image en très haute résolution (1 pixel < 1 m²), le choix dépend de la taille minimale des objets à identifier et de l'échelle de production cartographique visée(129).

La prospection de la dynamique des Systèmes territoriaux ne peut se faire sans le tri et la catégorisation des objets constitutives, la zone d'étude objet de ce travail s'étale à une échelle très étendue et très complexe, d'autant plus une différenciation des tailles des unités physiques est distincte ; (Unité Urbain qui varie entre 80m et 1000m², et le sol nu qui devance parfois des dizaines de Km² de surface continue). Tout territoire appartient, en effet, à plusieurs systèmes de niveaux et d'échelles différents

Alors, l'usage d'une résolution spatiale haute (30m x 30m) est une solution affectueuse comme clef d'entrée dans la complexité du territoire.

La Figure (18) représente la variance des unités paysagère en fonction de différentes résolutions spatiale et leurs physionomies.

-Zone Urbain (a) -Paysage Rurale (c) -Massif forestier (e)

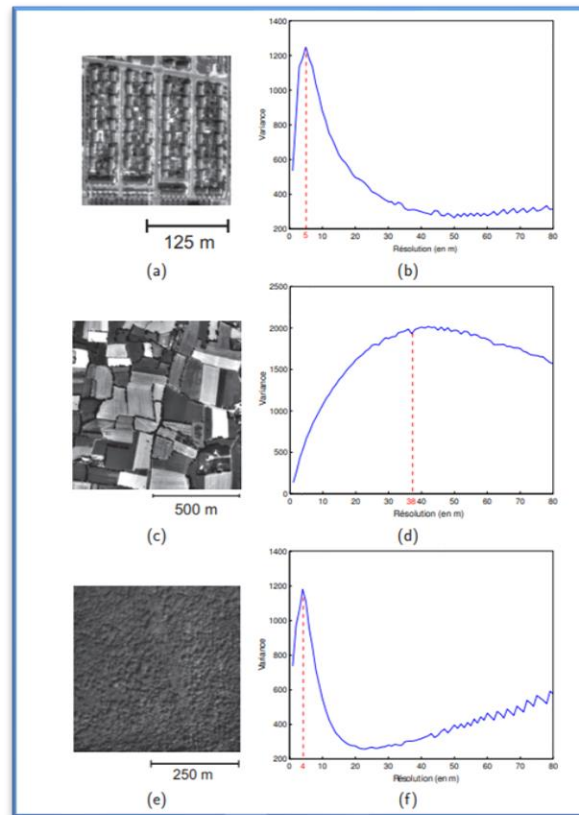


Figure 17: Variance des unités paysagère en fonction de différentes résolutions spatiale

Source :(130)

2.1.3. Résolution Spectrale :

Chaque objet ayant sa propre réflectance, les bandes spectrales du visible (bleu, vert, rouge) seront largement utilisées dans ce travail pour visualiser la présence de l'eau, celles du proche infrarouge pour cartographier la végétation, celles de l'infrarouge moyen pour étudier la composition des sols.

La résolution spectrale est d'autant plus élevée que le nombre de canaux ou bandes spectrales est important. Ainsi, un capteur panchromatique contient un seul canal à large spectre et possède donc une faible résolution spectrale. À l'inverse, les capteurs hyperspectraux, qui disposent d'un nombre important – supérieur à une centaine – de canaux sensibles à des intervalles de longueurs d'ondes très étroits, sont dits à très haute résolution spectrale (THRS). Dans le cadre de ce travail, nous nous intéresserons aux données de télédétection à THRS les plus courantes, qui sont acquises à de hautes résolutions spectrales(129).

2.1.4. Résolution Temporelle :

En plus de la résolution spatiale, spectrale et radiométrique, il faut saisir aussi que les satellites Landsat livrent régulièrement des séries chronologiques répétitives d'images et sur et sur tous les terrains chaque 16 jours.

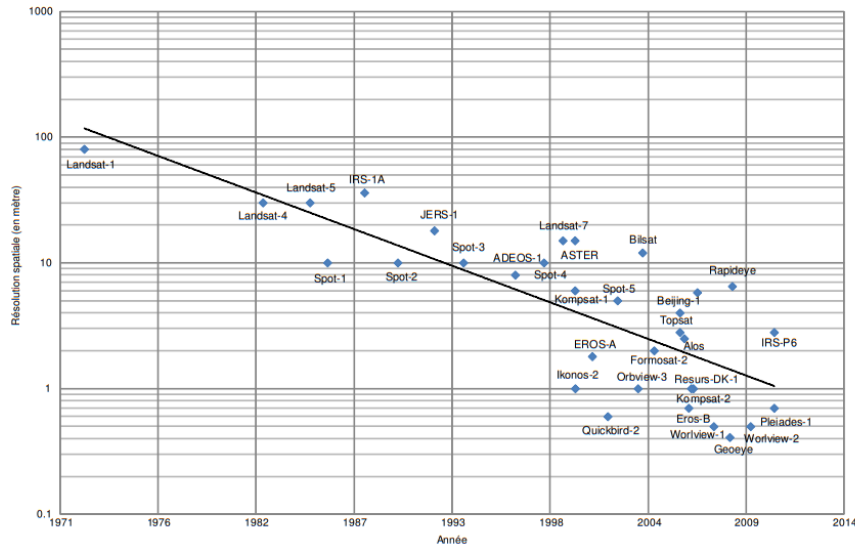


Figure 18: Evolution de la résolution spectrale des satellites Landsat depuis 1971

2.1.5. Acquisition des images :

Trois images Landsat ont été utilisées pour la réalisation du projet spatiotemporel (Tableau7). Les données multispectrales sont associées aux bandes des capteurs Thematic Mapper TM, Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) et Operational Land Imager (OLI) de Landsat respectivement pour l'image 1987, 2008, et 2019. Ce choix a été imposé par la période printanière, la présence du nuage sur les scènes de la zone d'étude et la disponibilité des données de recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) qui coïncide avec ces dates (1987,2008), pour le cas de l'année 2019 le RGPH n'est plus comme prévue chaque dix ans et il est reporté jusqu'au 2021, ce décalage nous a nécessairement orienté à saisir les statistiques approuvées estimées par l'Office Nationale des Statistiques (ONS) pour l'année 2019.

Tableau 8:Caractéristiques des images satellitaires utilisées

SATELLITE/SENSOR	PATH/RAW	DATE	RS (m)	Bandes	Projection
Landsat 5/ TM	193/36	09/02/1987	30 x 30	1 2 3 4 5 7	UTM(WGS84-N32)
Landsat 7/ ETM+	193/36	24/02/2008	30 x 30	1 2 3 4 5 7	
Landsat 8 /OLI	193/36	05/03/2019	30 x 30	1 2 3 4 5 7 8 9	

Grâce aux archives d'images haute résolution Landsat accessibles depuis GEE et depuis une simple requête, l'acquisition de l'image de la zone d'étude est devenue plus simple et plus facile, pour cela il faut sélectionner :

- Région d'intérêt (ROI) comme point de coordonnées.
- Choisissez le capteur (MSS / TM / ETM + / OLI).
- Sélectionnez la forme d'image (Raw / Réflectance de surface / Réflectance du haut de l'atmosphère (TOA)).
- Date d'intérêt (DOI) comme date d'intervalle.
- Filtre de couverture nuageuse.
- Sélectionnez les bandes.

Principalement, nous devons acquérir l'image la plus récente qui couvre toute la zone d'étude, puis choisir l'image avec un pourcentage minimum de couverture nuageuse, pour cela nous avons utilisé les coordonnées Path / Raw de la scène. Ces conditions sont mises sur l'interface GEE sous la forme du script suivant (131):

```
var image = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR")
  .filterDate('2019-02-01', '2019-04-30')
  .select(['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B7'])
  .sort('CLOUD_COVER')
  .filter(ee.Filter.eq('WRS_PATH', 193))
  .filter(ee.Filter.eq('WRS_ROW', 36))
  .map(function(img) {
    //Rescale to 0-1
    {
      var out = img.divide(10000);
      return out;
    }
  }).first();
print(image);
```

Figure 19: Scripte nécessaire pour l'acquisition des images filtrées

Les corrections radiométriques dues à l'atmosphère ont pour but de corriger certaines variations de la distribution des données causées par le décalage temporel dans l'acquisition des images. En effet, les facteurs comme l'angle d'élévation du soleil, la distance terre-soleil, la calibration des capteurs, les conditions atmosphériques et la géométrie de visée affectent la valeur numérique des pixels(132).

2.2. Les transformations et les indices spectraux :

Nous l'avons utilisé dans cette étude pour mieux gérer le Big Data véhiculer. Grâce à cet indice nous avons pu transformer nos variables corrélées en variables non corrélées ce qui nous a permis de réduire son nombre et en même temps de rendre les informations diffusées moins redondantes.

Nous avons procédé à l'application des transformations PCA dont nous avons obtenus plusieurs paquets de données selon leurs corrélations, la 1^e composante principale (91,93% de l'information), 5.8% de l'information est cumulées dans les deux PCA 2^e et 3^e.

L'utilisation des PCA est en fonction des objectifs. Pour le cas de notre projet, l'analyse spatio-temporelle et d'une durée qui dépasse (10ans), ce qui signifie que la plus grande masse des changements a été détectés sur les premières PCA 1,2 et 3 (Figure 20).

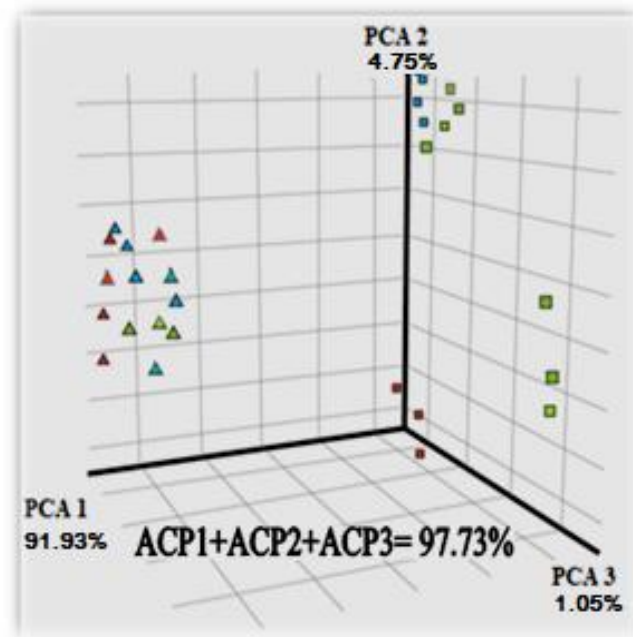


Figure 20: pourcentage d'information des trois premiers ACP (cas de l'année 1987)

Source : Calcul et dessin personnel

Dans le côté parallèle, 5 indices spectraux ont été utilisés pour une meilleure discrimination des pixels les uns des autres à savoir ; Le NDVI et MNDWI pour la végétation, Le NDBI pour l'urbain, Le MNWI et AWEI pour les eaux de surfaces. Pourcentage de l'information contenu dans chaque composante principale pour les trois images Landsat

Le processus d'exécution n'est toujours pas plus difficile que les commandes précédentes sous GEE. La transformation Tasseled Cap, c'est un indice orthogonal basé sur le calcul des taux de la luminosité, la verdure et l'humidité, nous l'avons superposé sur le croisement déjà réalisé entre les deux indices de végétation le NDVI et le TSARVI.

2.3. Zones d'entraînement et Points de validation :

les échantillons que nous nous avons introduites au hasard sur les images acquises, nous les jugeons au préalable significatives visuellement en fonction de leurs coordonnées apparentes (à l'œil physique), la superposition des indices mathématiques telles que (NDVI, MNDWI, AWEI, NDBI...) est utilisée dans ce stade pour enlever les ambiguïtés et les erreurs glissées produites d'une visualisation manuelle et assurer une meilleure distinction ; en particulier entre les catégories

Chapitre III : Cartographie d'occupation et d'usage du sol par l'Algorithme Support Vector Machine congéniques et assimilées et une visualisation fine de l'image, chaque index produit un masque qui se superpose à l'image brute.

Pour évaluer la précision d'un classificateur, un paquet d'échantillons a été collecté l'ors des sorties terrain, nous rappelons que seule la classification de l'image 2019 qui pourras être mesuré par ces points, pour les images antérieures nous utilisons l'image 2019 pour comme calque de vérification. La figure 21 nous expose la méthode de collection des échantillons à partir de GEE, la procédure est très simple et ne demande que la distribution des points ou la sélections des polygones juste après la superposition des indices mathématiques et l'application des transformations spectraux.

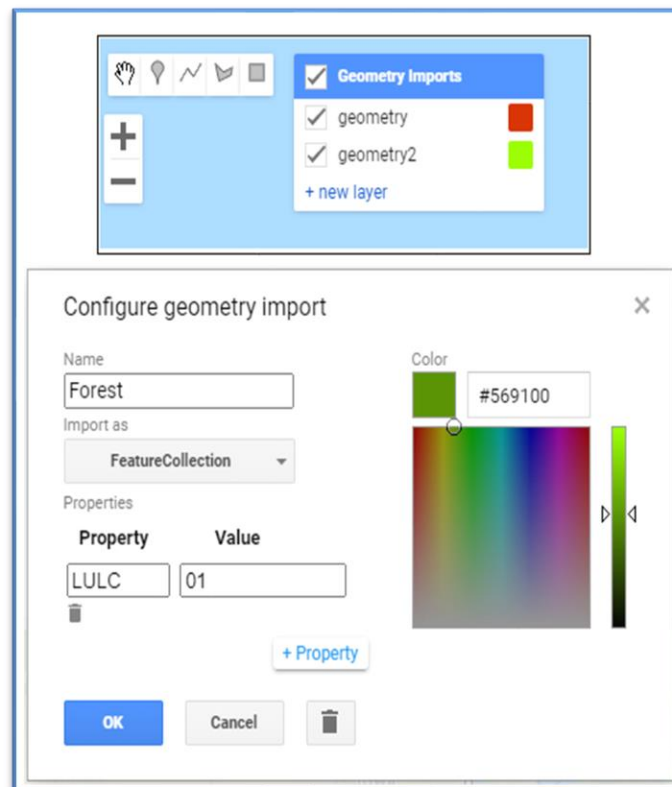


Figure 21: collection des sites d'entraînement sous GEE

Source : capture d'écran sur TerrSet

Maintenant que nous avons créé les points et les étiquettes, et que nous avons finalisé la sélection des échantillons avec l'outil « Sample région », nous introduisons cette commande qui va nous permettre d'unir les points sous deux couches différentes ; à savoir la couche d'entraînement et la couche de validation, cette commande va nous permettre aussi d'extraction de la réflectance dans les bandes désignées pour chacun des points que les avons créés.


```
// Sample the input imagery to get a FeatureCollection of training data.  
var training = composite.select(bands).sampleRegions({  
  collection: newfc,  
  properties: ['landcover'],  
  scale: 30  
});
```

Figure 22: Assemblage des sites d'entrainement

3. Méthodes de travail pour la classification dirigée (Supervisée) :

3.1. Reconnaissance de terrain :

Afin d'identifier de manière optimale les creux de la zone d'étude, des missions de reconnaissance ont été organisées pour une durée de quatre jours pour chaque sortie (Trois sorties) en vue de s'imprégner des réalités écologiques de l'exploitation du bas-fond. La démarche utilisée consiste :

- Identifier les limites des parcelles juxtaposées ou amalgamées.
- Enlever les ambiguïtés.
- Collecter un paquet d'échantillonnage oscillant en forme de points GPS, ces points qui vont servir par la suite à la validation des classifications. Le nombre d'échantillons se différencie vis-à-vis de la niche écologique et la surface de l'unité.

Nous rappelons que tous ces paramètres ont été reportés sur une fiche d'identification et ont permis de caractériser le type d'utilisation du sol ainsi que d'assembler une masse de données très utilisée pour le traitement, l'analyse, la validation et la modélisation.

Les principaux problèmes à noter lors de cette exploration sont la collecte puis la gestion des big data collectées sur les sites visités. Ajoutez à cela l'éloignement des sites les uns des autres (2100) et la nature hétérogène des environnements et du paysage (forêt, Sahara, Chott, sol nue...) et même du climat (aride, semi-aride, subhumide) rendent les choses plus complexes.

Ces points récoltés sur le terrain seront utilisés comme témoins pour la validation et la revue de classement. Un deuxième paquet d'échantillonnage sera implanté en utilisant l'image satellite comme guide. Ce paquet est utilisé pour le classifieur d'apprentissage automatique (SVMs).

A noter que le nombre d'échantillons prélevés sur site (données de validation) est bien moins important que le nombre de points sélectionnés en utilisant l'image satellite comme guide (données d'apprentissage) (Tableau 9).

Tableau 9: informations sur les échantillons collectés

	Data Using	Samples	Data type
Data Extraction	learning data	1186 (81%)	GPS points + polygon
	Validation Data	219 (19%)	GPS points

3.2. Classes thématiques appliquées pour la classification :

La démarche suivie pour la classification comporte certaines étapes initialisées par une définition des classes d'occupation du sol que l'on souhaite rechercher dans l'image. Le choix des classes s'est fait, suite à plusieurs campagnes de terrain réalisées sur le site d'étude en Mars 2019. Lors de ces campagnes, nous avons utilisé un GPS portatif, et des cartes qui couvrent la zone d'étude en forme de papier.

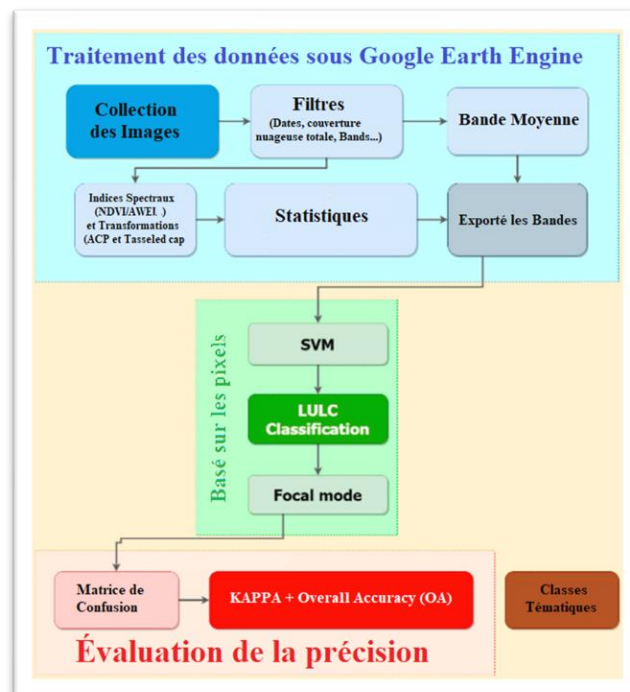


Figure 23: Processus De traitement des données sous GEE

Neuf classes thématiques issues de plusieurs bases d'information géographique ont été assemblées au cours des traitements, afin de discriminer des différentes composantes environnementales dont les signatures spectrales sont proches (Tableau 10). A ces niveaux de traitement, le nombre d'objets à identifier et leur hétérogénéité sont très élevés, ce qui complique les procédures d'extraction. Le recours à des informations auxiliaires provenant de différentes sources s'impose donc.

La hiérarchie des classes est la base de connaissance pour la classification des objets d'image. Elle comprend l'ensemble de toutes les classes avec leur reproduction spécifique quant à distinguer des classes adéquates.

Tableau 10: Principaux classes thématiques au SBV de Oued El Arabe

ID	Classe thématique	Description
1	Urbain	Agglomérations, Routes et infrastructures artificielles
2	Foret	Maquis, forêt dense ou peu dense, Forêt naturelle ou reboisement (artificiel)
3	Eau de surface	Barrage, cours d'eau, Oueds permanant, lac...
4	Arboriculture	Palmiers, arbres fruitiers,
5	Céréaliculture	Labours, Champs de blé ou d'orge...etc
6	Culture Maraichère	Culture de végétaux à usage alimentaire, horticulture, jardinage
7	Steppe	Parcours de : chaméphytes, crassulussantes, psamophite et halophytes.
8	Matorral Alfa	La partie de transition entre la forêt naturelle et la steppe, arbuste (Juniperus phénicea et Juniperus Oxycedrus).
9	Sol nu	Roches et pierre, Cordon dunaires ou sable, Affleurement, et sols dénudés non urbanisé.

3.3. Traitement d'images :

Google Earth Engine a en effet la capacité d'effectuer tous les niveaux de traitements nécessaires sur une image satellitaire (cités dans la précédemment sur la partie théoriques), il peut résoudre les plus importants problèmes liés à la cartographie de la couverture terrestre de vastes zones. Selon TAMIMINIA ET COLL le GEE à simplifier l'accès aux outils de télédétection pour les experts et les non-experts(10), cette assortiment d'outils nous a permet de contourner les problèmes les plus connues l'ors d'une correction radiométrique.

Pour les corrections géométriques, les images Landsat sont assimilées sous USGS (United States Geological Survey) en trois sélections différentes, elles produisent des données en 3 niveaux (catégories) pour chaque satellite :

Niveau 1 (T1) -Données qui répondent aux exigences de qualité géométrique et radiométrique

Niveau 2 (T2) -Données qui ne répondent pas aux exigences de niveau 1

Temps réel (RT) -Données qui n'ont pas encore été évaluées (cela prend jusqu'à un mois).

Dans ce travail, nous avons préféré de travailler avec des images en mode « Surface Reflectance Tier 1 » ; Cet ensemble de données correspond à la réflectance de surface corrigée du point de vue atmosphérique des capteurs. Ces images contiennent 5 bandes visibles et proche infrarouge (VNIR) et 2 bandes infrarouges à ondes courtes (SWIR) traitées à une réflectance de surface orthorectifiée, et deux bandes infrarouges thermiques (TIR) traitées à une température de luminosité orthorectifiée.

3.3.1. Application des indices et les transformations orthogonales :

- **Transformations Tasseled cap et ACP :**

Comme nous l'avons invoquée dans la partie théorique, nous avons sollicité deux indices de transformation à savoir (ACP et le Tasseled cap).

Afin d'examiner les relations entre ces derniers. La transformation Tasseled Cap représente un cas particulier lié à l'analyse des composants principaux, qui transforme les données d'image en un nouveau système de coordonnées, avec un nouvel ensemble d'axes orthogonaux.

L'axe principal (la luminosité) est un dérivé statistique. Il est calculé en tant que total pondéré des réflectances pour l'ensemble des canaux spectraux et tient compte de la variabilité la plus importante dans l'image. La luminosité est associée aux sols nus ou partiellement recouverts, ainsi que des fonctions naturelles et résultant d'une intervention humaine (béton, asphalte, gravier, affleurements rocheux, etc.) et autres zones nues. A l'orthogonale par rapport à la première composante, la deuxième (la couverture végétale) correspond à la végétation. La troisième, l'humidité, est à l'orthogonale par rapport aux deux premières ; elle est associée à l'humidité du sol, à l'eau et à d'autres éléments associés.(106)

Les résultats obtenus après l'application des deux transformations ACP et Tasseled cap ont donné avantages de réduire la redondance entre les bandes utilisées.

L'idée maîtresse de la transformation *Tasseled Cap* est de représenter, dans un système orthogonal dont le premier axe se confond avec la droite des sols, les variables descriptives de la végétation, en d'autres termes, l'état phénologique : la végétation verte pour la phase de croissance et le jaunissement pour l'état sénescent (Figure24).

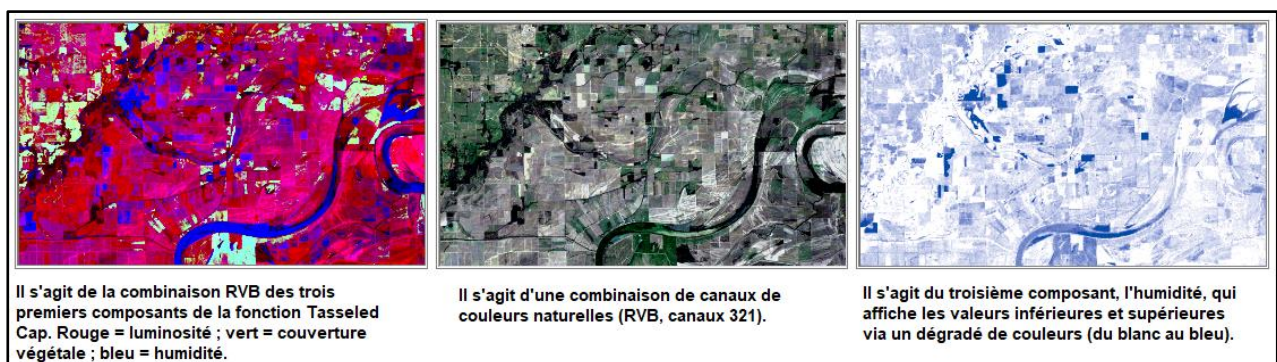


Figure 24:Exemple d'une transformation Tasseled Cap

Source : (133)

3.4. Fractionnement l'ensemble des données par l'hyperplan sous GEE :

La méthode SVM a été lancée avec un ensemble de données, l'objectif est de repérer l'hyperplan qui peut fractionner les ensembles de données en un certain nombre de classes, car le but de SVM est de trouver l'hyperplan de séparation optimal. De plus, l'algorithme SVM a besoin d'une fonction de noyau adéquate pour établir les hyper-plans avec exactitude et minimiser les erreurs de classification. La phase la plus nécessaire de la technique SVM est le type de noyau utilisé. La fonctionnalité du SVM dépend principalement de la taille du noyau, et la similitude d'une surface lisse dépend de la densité du noyau plus significative. Pour les données satellitaires hyper-spectrales simulées et concrètes, le SVM génétiquement optimisé utilisant les vecteurs de support présente les meilleures performances. La fonction principale de SVM est de trouver la limite optimale, ce qui augmentera la séparation entre les vecteurs de support entiers. Le calcul du Kernel, Le noyau RBF et la fonction polynomiale ont été réalisés avec un simple scripte éditer sur Google Earth Engine. Le GEE nous offre l'opportunité de faire appel à l'algorithme SVM ainsi que d'exécuter tous les calculs nécessaires pour l'application de l'algorithme Support Vector Machine via un simple code :

```
// Create an SVM classifier with custom parameters.
var classifier = ee.Classifier.svm({
  kernelType: 'RBF',
  gamma: 0.5,
  cost: 10
});

// Train the classifier.
var trained = classifier.train(training, 'class', bands);

// Classify the image.
var classified = image.classify(trained);

// Create a palette to display the classes.
var palette = ['00FF00', 'DD0000'];

// Display the classification result and the input image.
//Map.addLayer(image, {bands: ['VV', 'VH'], max: 0.5, gamma: 2});
//Map.addLayer(classified, {min: 0, max: 10, palette: palette}, 'Isrice');
Map.setCenter(105.96999, 20.90339, 7);
//Map.centerObject(image, 10);
Map.addLayer(image, {bands: ['VV', 'VH'], max: 0.4}, 'image');
Map.addLayer(classified, {min: 0, max: 1, palette: ['00FF00', 'DD0000']},
  'classification');
```

Figure 25: Commande pour exécuter la classification supervisée avec l'algorithme SVM

3.5. Évaluation de la performance de l'algorithme de classification :

L'évaluation de l'exactitude est une étape importante pour l'évaluation du résultat de la classification, puisque les résultats obtenus sont le produit qui sera exploité par la suite dans l'entièreté des processus à savoir (l'analyses de la dynamique, la modélisation, les scénarios...etc).

Dans ce travail, nous avons fixé le taux de 81% comme niveau minimum de précision pour valider la classification la jugé utilisable, ce jugement est recommandé par différents auteurs (18,134–136).

Une matrice de confusion (ou matrice d'erreur) [65], est un carré tableau de nombres disposés en lignes et en colonnes, qui exprime le nombre d'unités d'échantillonnage (c'est-à-dire, pixels, Groupes de pixels, ou polygones) affectés à une catégorie particulière par rapport à la catégorie réelle, comme vérifié sur terrain. Une matrice d'erreur est largement utilisée pour la précision de la classification, pour dériver une série de statistiques descriptives et analytiques. Plusieurs études ont expliqué, en détail, les significations et les méthodes de calcul pour la précision globale (OA), et coefficient kappa.

3.5.1. Le kappa de Cohen pour mesurer la performance :

Le kappa de Cohen est une métrique souvent utilisée pour évaluer l'accord entre deux évaluateurs. Il peut également être utilisé pour évaluer les performances d'un modèle de classification(137).

Comment Le Kappa pourrait-il aider à évaluer les performances de notre classificateur ?

Le Kappa met en évidence la comparaison de la précision observée avec la précision attendue (aléatoire), Le calcul de la précision observée et de la précision attendue fait partie intégrante de la compréhension de la statistique kappa, et il est plus facilement illustré par l'utilisation d'une matrice de confusion, et « évaluateur » est le classificateur d'apprentissage automatique utilisé pour effectuer la classification. Dans la Matrice de confusion les colonnes reflètent la vérité terrain et les lignes reflètent les classifications des classificateurs d'apprentissage automatique (Figure 26).

La précision observée est simplement le nombre d'instances qui ont été classées correctement dans toute la matrice de confusion. Pour calculer la précision observée, nous ajoutons simplement le nombre d'instances que le classificateur d'apprentissage automatique a accepté avec l'étiquette de vérité terrain, et nous divisons par le nombre total d'instances(136).

Dans le cadre de notre problématique, la matrice de confusion C est défini comme suite :

$$\begin{bmatrix} c_{11} & \dots & \dots & c_{1l} & \dots & \dots & c_{1K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{l1} & \dots & \dots & c_{ll} & \dots & \dots & c_{lK} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{K1} & \dots & \dots & c_{Kl} & \dots & \dots & c_{KK} \end{bmatrix}$$

Figure 26: fonctionnement d'une matrice de confusion

Le coefficient c_{ij} donne le nombre d'occurrences d'échantillons test appartenant à la classe i et prédit classe j par le classifieur. Les échantillons test correctement prédits par l'algorithme de classification sont sur la diagonale de la matrice de confusion (coefficients c_{ii}).

Il existe de nombreuses façons pour examiner l'exactitude thématique d'une classification. La matrice d'erreur nous permet de calculer nombreuses mesures de précision t'elles que :

- Les erreurs de commissions et d'émissions.
- Précision de l'utilisateur et du producteur.
- Les indices de précision globale.
- Statistiques de précision (Kappa).

Le procédé métrique le plus simple utilisé pour la mesure de précision est pour la création de la matrice de confusion dans le cas d'une analyse spatiotemporelle est « Overall Accuracy (OA) » qui est calculé comme le nombre d'échantillons test correctement prédits divisé par le nombre total d'échantillons test :

Le coefficient Kappa qui doit en théorie s'affranchir du taux de bonnes classifications dû à l'aléatoire :

Équation 1: Indice de Kappa

$$\text{Kappa} = \frac{\text{OA} - p_h}{1 - p_h},$$

Avec

$$p_h = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^K \left(\sum_{j=1}^K c_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^K c_{ji} \right)$$

Le référentiel de Landis and Koch (138) présente une interprétation du coefficient Kappa en fonction de sa valeur, présentée par le Tableau suivant (Tableau 11)

Tableau 11:Référentiel pour interpréter la valeur de l'indice de Kappa

Interprétation	Valeur de Kappa
Excellente	1.0 --- 0.81
Bonne	0.80 --- 0.61
Faible	0.60 --- 0.41
Négligeable	0.40 --- 0.20
Mauvaise	<0.00

Source : (138)

En outre, nous avons que deux autres classifications avec deux autres algorithmes (Maximum Likelihood et Neural Network) ont fait objet d'essai pour fin de comparaison avec l'algorithme SVM, le tableau suivant démontre les Précisions de classification obtenues pour chaque classification des trois la même image (TM/ETM/OLI) : (Tableau12)

Tableau 12:Précisions de classification obtenues avec différents classificateurs

Classificateur Utilisé	Valeur Kappa		
	1987	2008	2019
Maximum Likelihood	0.82	0.86	0.86
Neural Network	0.81	0.88	0.90
Support Vector Machine	0.84	0.91	0.96

3.5.2. Matrice de confusion :

Une matrice de confusion ou matrice d'erreurs comme l'en trouve dans certains écrits, est le compte pratique qui nous permet d'identifier les erreurs de la classification. Il existe deux types d'erreurs en classification : les erreurs de commission et les erreurs d'omission

4. Recueil des cartes trois classifiées :

La classification dans une recherche pareil est la tâche la plus précieuse, nous devrions y concentrer et vérifier à plusieurs reprises et échelles l'exactitude des données avant de les employer pour fin de minimiser l'incertitude et l'erreur. Dans la première étape de travail nous avons présenté les axes principaux pour la cartographie des trois cartes d'occupation du sol pour les trois années 1987/2008/2019.

Trois cartes d'occupation du sol pour trois dates différentes raccordées par leurs statistiques détailler sont le résultat final de ce chapitre, l'Algorithme SVM fut sollicité pour se procéder et le travail a été mener sur la plateforme GEE puis exporté sur le software ESRI-ARCGIS pour la mise en page. La validation et la mesure de précision de la cartographie est une étape que nous nous somme tenue compte pour déterrer les résultats les plus fins possibles qui pourront perfectionnées par la suite le reste de tous les travaux t'elles que la détection des changements, le potentiel de transition et la modélisation géoprospective.

Cette étape de validation permet d'identifier les sources d'erreur puis de les corriger et de vérifier à nouveau jusqu'à l'obtention des résultats satisfaisantes, elle permet par la suite d'améliorer la qualité de l'information sur la carte.

La matrice d'erreurs ou matrice de confusion est le premier pont qui nous a permet de quantifier en cellule (pixel) la confusion entre une classe et une autre et même entre les classes elles même.

Pour la validation, l'indice de Kappa a été appliqués dans notre travail, les valeurs obtenues sont affichées précédemment (Tableau12).

Pour obtenir une bonne classification, il est nécessaire de vérifier que nos classes sont correctement discriminées. L'évaluation ou l'étude de la séparabilité des classes est une opération qui permet de vérifier si deux classes thématiques sont bien séparées spectralement. Pour ce faire, un test de séparabilité doit être effectué. Dans le cas présent, ce test a été réalisé en utilisant l'indice de Jeffries-Matusita(139).

Equation : Formule de la distance de Jeffries-Matusita(139)

$$Jm(i,j) = 2(1 - e^{-B_{i,j}t})$$

Avec

$$B = 1 + \frac{1}{8} (m_i - m_j)^t \left(\frac{c_i - c_j}{2} \right)^t (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \text{Ln} \left\{ \frac{c_i - c_j}{2} / \frac{dy}{|c_i|_{\frac{1}{2}} c_j^{\frac{1}{2}}} \right\}$$

m_i et m_j : vecteur moyens des classes i et j et c_i et c_j les matrices de covariance entre ces deux classes.

En analysant la séparabilité des paires entre les classes, il est possible de conclure que notre ROI sélectionné dévoile une bonne séparabilité, comme le montre le tableau 13 (la plupart des valeurs sont supérieures à 1,9).

Tableau 13:Indice de séparabilité entre les classes

Landsat Image	Indice de Séparabilité
TM (1987)	1.255
	1.992
	1.995
ETM+ (2008)	1.750
	1.999
	1.999
Landsat OLI 8 (2019)	1.854
	1.999
	1.999

Le seul cas qui ne remplit pas les bonnes exigences de séparabilité est l'image TM(1987), nous justifions ce fait par la faible résolution spatiale de l'image TM et les techniques classiques anciennes utilisées par rapporte aux techniques modernes (140). D'autres justifications seront bien développées dans la partie discussion.

La minime confusion qu'à détériorer nos chiffres est justifiée par la confusion enregistrée entre la partie de transition entre le foret et le matorral ainsi qu'a entre la classe sol nue et l'urbain. On constate clairement que la précision des résultats s'améliore progressivement au fil des années, c'est-à-dire que les classes thématiques sont mieux séparées dans les années les plus récentes.

4.1. Cartographie de l'occupation du sol pour les trois année 1981/2008/2019 :

Malgré les légères confusions, mais les résultats Kappa obtenues nous ont permis de cartographie trois cartes d'occupation du sol pour les trois années de notre étude, ces classifications demeurent excellentes nous permettent de quantifier les surfaces occupées pour chaque classe et par la suite d'évaluer l'évolution des changements de l'occupation de la zone d'étude. (Figure 27,28,29) (Tableau14).

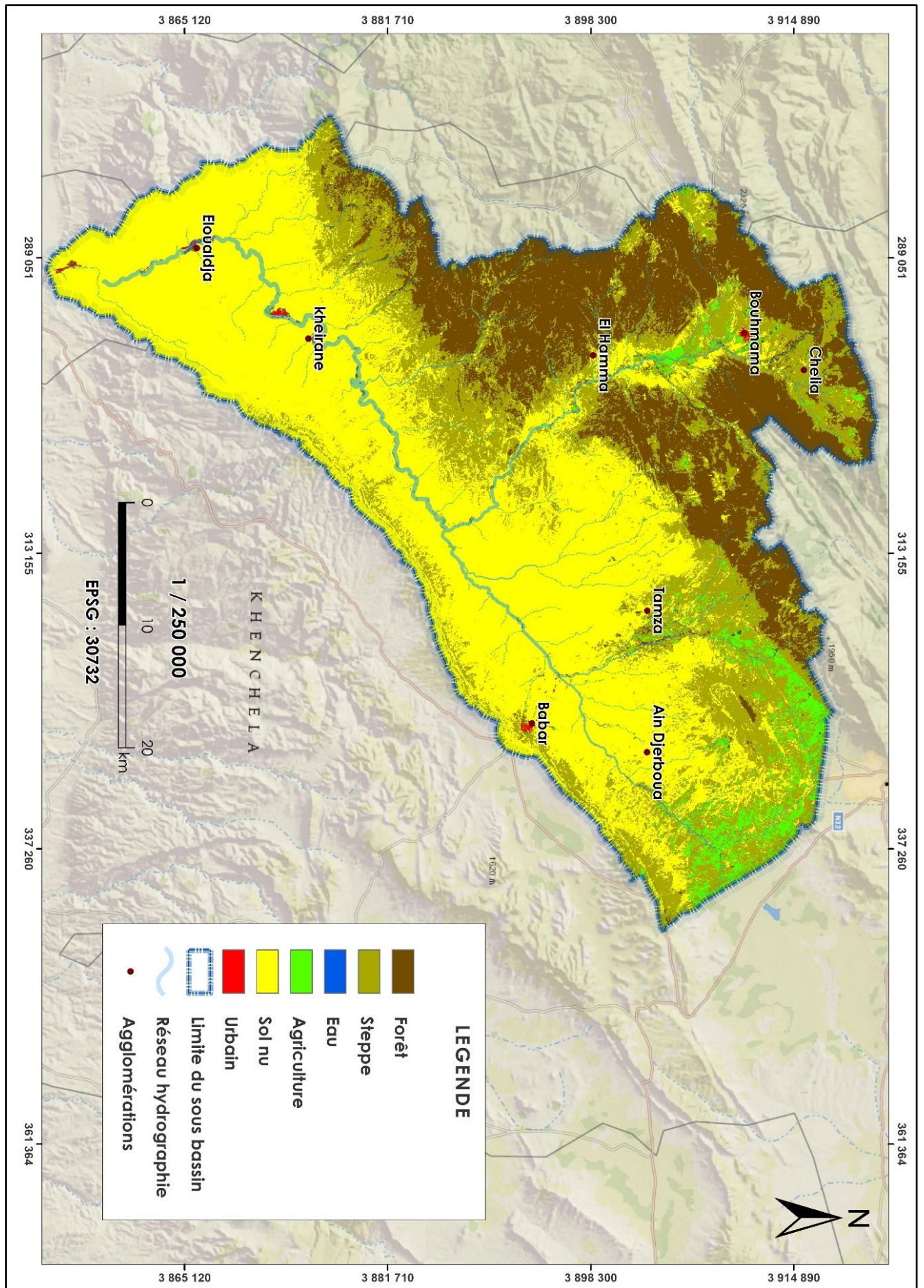


Figure 27: Carte d'occupation du Sol de l'année 1987

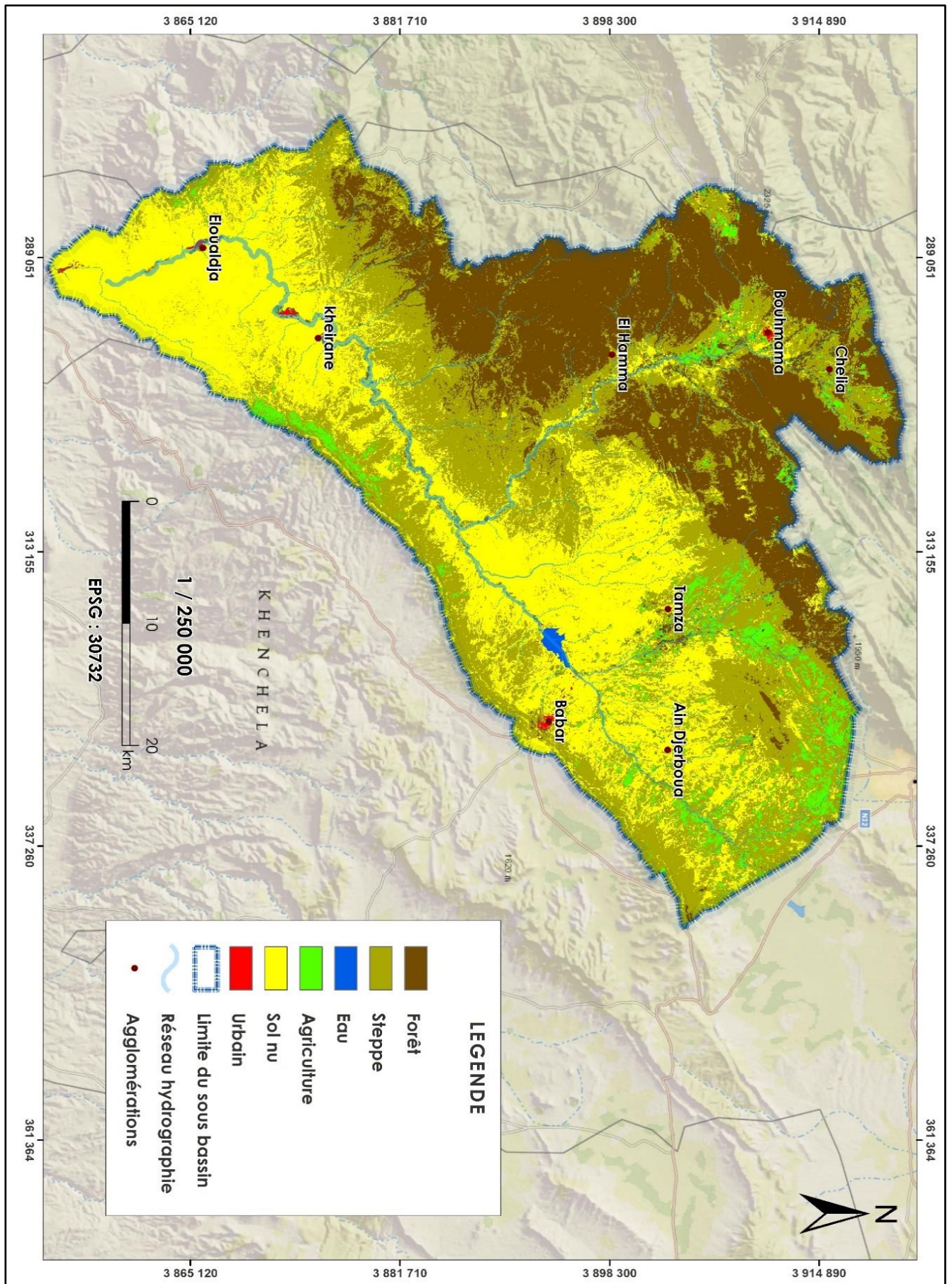


Figure 28: Carte d'occupation du Sol de l'année 2008

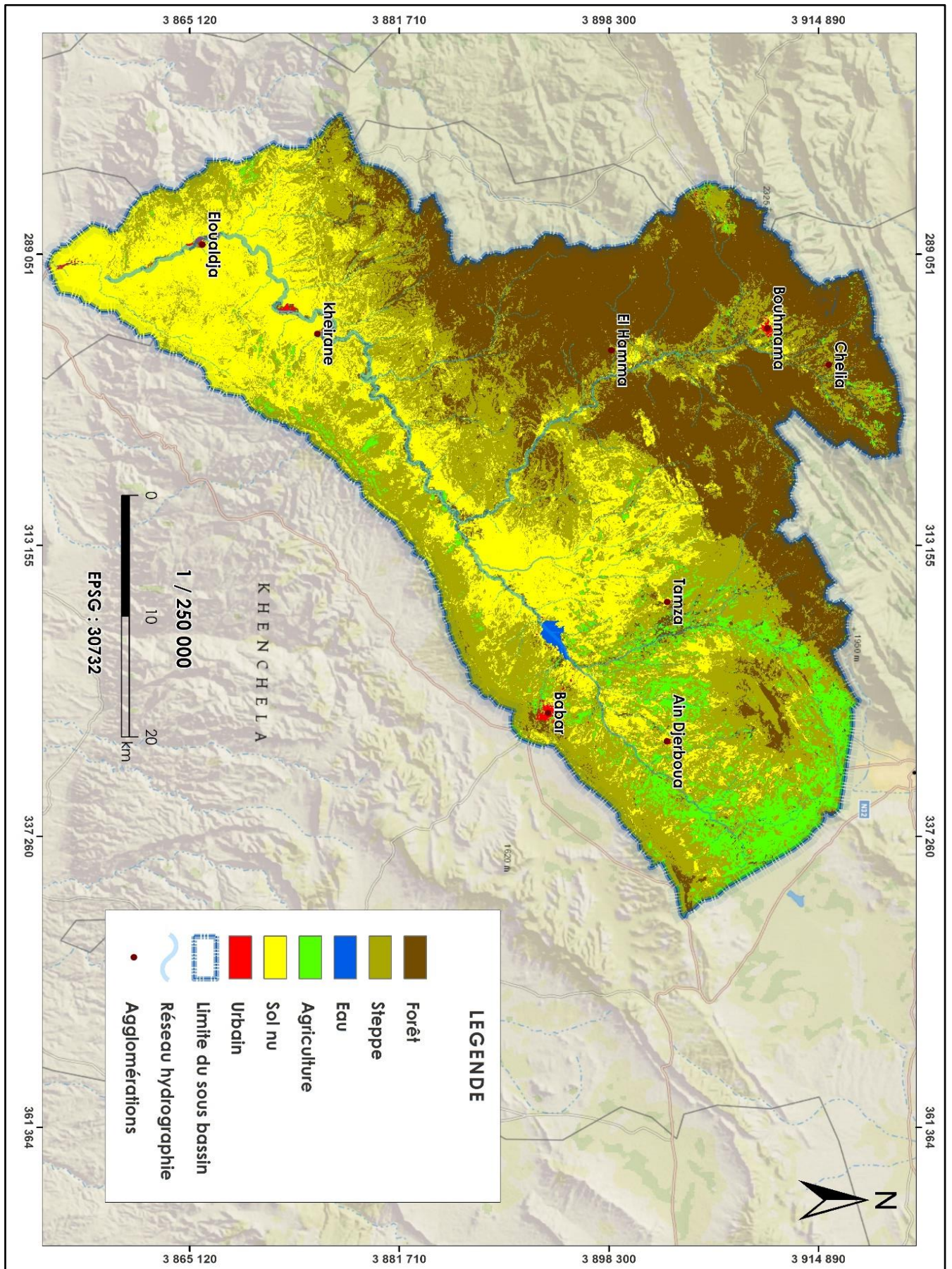


Figure 29: Carte d'occupation du Sol de l'année 2019

Chapitre IV

« SUIVIE DE L'ÉVOLUTION SPATIOTEMPORELLE DU SBV D'OUED EL ARABE »

CHAPITRE IV : Suivre de l'évolution Spatiotemporelle du SBV d'Oued El Arabe

1. comprendre la dynamique spatio-temporelle :

Les changements du territoire sont des processus très complexes liés aux facteurs naturels et aux activités humaines souvent difficile à analyser (141),

L'approche de détection des changements la plus utilisée pour l'analyse, le suivi et évaluation en chiffre est bien la comparaison de classifications fournies en vue qu'elle est simple et qu'elle fournit l'information détaillée du changement. Autrement dit, elle permet de répondre à la question « D'où viennent les changements ? ». De plus, elle facilite la préparation des cartes de changement (97). C'est la raison pour laquelle on voulait mettre en œuvre cette méthode,

Pour une analyse crédible de ce processus, nous avons étudié les changements spatio-temporels pour une période allant de 1987 jusqu'au 2008 (20ans) suivie par une période de 11ans allant de 2008 jusqu'au 2019. Elle assigne d'abord des classes et détecte ensuite le changement. L'évaluation de changement est faite sur une base de pixel-par-pixel à l'aide d'un tableau de statistiques faisant appel à une matrice de changement. Les colonnes de la matrice représentent la superficie de chaque classe de l'année la plus récente alors que les lignes représentant celle de l'année antérieure. L'analyse des matrices nous donne l'évolution spatio-temporelle de changement.

Une matrice de transition de LUCC peut refléter le processus de transformation dynamique entre les neuf classes qui construisent notre zone d'étude.

2. Softwares et de mise en œuvre :

Pour produire la cartographie des changements spatio-temporels sur Oued El Arabe durant les deux périodes (1987 au 2008 et 2008 au 2019), nous avons fait appel au module Land Change Modeler pour la durabilité écologique qui est intégré sur TerrSet et développé par IDRISI Selva (Figure 30). Le module nous a permis de mieux comprendre les fonctions des systèmes d'utilisation et d'occupation des sols. Ces modèles vont nous permettre également par la suite de prédire les changements futurs possibles de l'utilisation de LULC sous différents scénarios(41,142).

Le panneau d'analyse des changements fournit une évaluation rapide du changement quantitatif en représentation graphique des gains et des pertes par catégories de couverture terrestre. Une deuxième option, la variation nette, montre le résultat de la prise des zones de couverture terrestre antérieures, en ajoutant les gains et ensuite en soustrayant les pertes. La troisième option consiste à examiner la contribution aux changements vécus par une seule couverture terrestre(142).

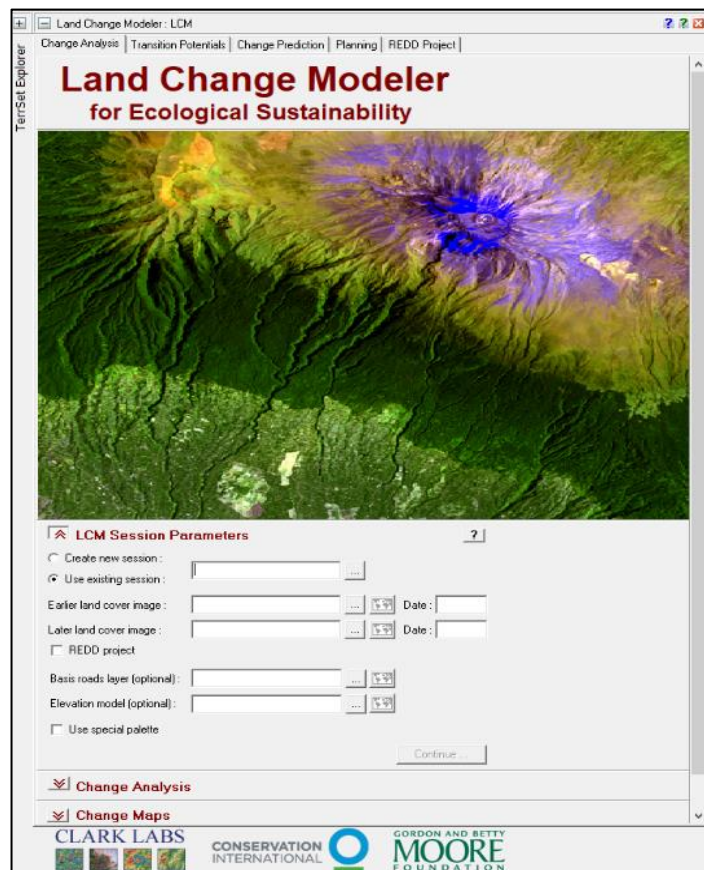


Figure 30: Interface du module LCM sous TerrSet

L'analyse a été réalisée entre les paires d'images Landsat de l'année (1987/2008) (2008/2019). En conséquence, les transitions et les échanges qui ont eu lieu entre les diverses catégories d'utilisation / occupation des sols au cours des années ont été obtenues à la fois sur une carte et forme graphique. Toutes les catégories d'occupation du sol ont été utilisées en hectare par unité, les transitions inférieures à 100Ha ont été ignorées. Le classement croisé a trouvé son plus dans l'analyse des changements de couverture terrestre (tabulation croisée). La corrélation croisée se fait entre deux cartes qualitatives de deux dates différentes qui vise les mêmes fonctionnalités (142). Le but de comparer deux images classifiées est d'examiner si les zones appartiennent à la même classe aux deux dates différentes. (Figure31, 32).

The screenshot displays the Land Change Modeler (LCM) software interface. The main window is titled "Land Change Modeler for Ecological Sustainability". The interface is divided into several panels:

- Top Panel:** Contains a file explorer showing a list of files and folders, including "D:\SBV\61\LCM (2)\1", "Exchanges entre steppe et forêt.rst", "Features.rst", "Landing_Valefile_1987_2008.rst", and various "landcov_predic_2019.rst" files.
- Left Panel:** Contains a metadata table for the selected file.
- Right Panel:** Contains the "LCM Session Parameters" dialog box, which is currently open. It shows options for creating a new session or using an existing one, with fields for "Landcover_1987_new", "Landcover_2008_new", "Date: 1987", and "Date: 2008".
- Bottom Panel:** Contains the "Change Analysis" section, which includes a bar chart titled "Gains and losses between 1987 and 2008". The chart shows the net change in hectares for various categories: Steppe (positive), Sol (positive), Forêt (positive), Agriculture (positive), Eau (positive), and Urbain (negative).

A blue arrow points from the "LCM Session Parameters" dialog box to the "Change Analysis" section, indicating the flow of data or the sequence of operations.

Property	Value
Name	Exchanges entre steppe et forêt
File format	IDRISI Raster A1
File title	Exchanges between Steppe and Forêt
Data type	Byte
File type	Binary
Columns	2220
Rows	2258
Ref. system	Utm_32n
Ref. units	Meters
Unit dst	1.0000000
Min. X	277480.5371176
Max. X	344080.5371176
Min. Y	3953967.5102151
Max. Y	3921607.5102151
Post-r error	Unknown
Y Resolution	Unknown
X Resolution	Unknown
Min. value	0
Max. value	2
Display/min	0
Display/max	2
Value units	Crossclassification categories

Figure 31: Interface LCM et lancement d'analyse des changements

L'analyse diachronique de l'occupation des sols est utilisée pour l'évaluation quantitative de cette dynamique de 1987 à 2008 et de 2008 à 2019.

Quant à exposer les mutations de chaque catégorie d'occupation du sol au cours du temps, nous avons utilisé une série de transformations ensemblistes ; la relation entre la même catégorie à deux dates nous permet de différencier les zones stables, les zones de régression et les zones de progression de cette catégorie.

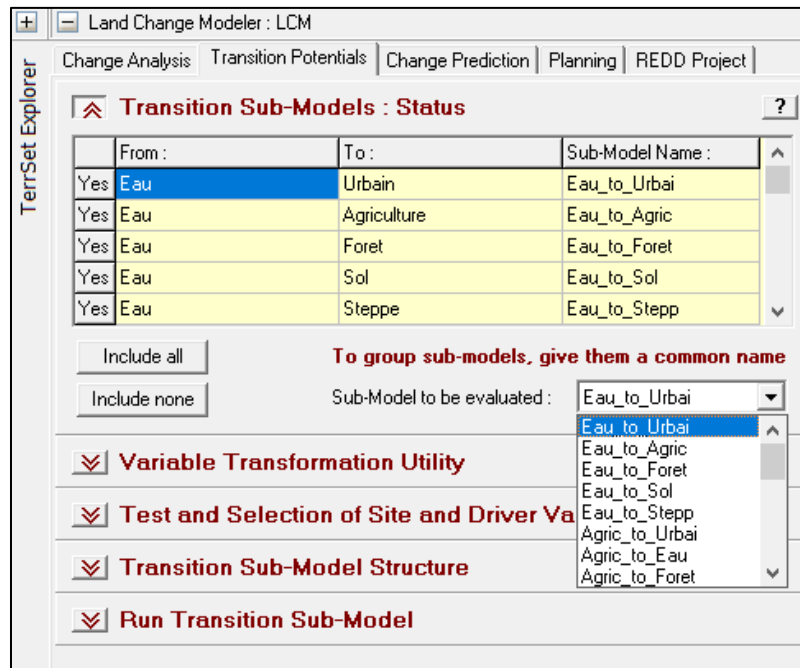


Figure 32: Modèle de transition sous TerrSet

La comparaison de classifications est l'une des approches les plus adaptées à la détection des changements spatiotemporels de fait qu'elle démontre une simplicité aux usagers et qu'elle mène à l'extraction des résultats précis et détaillés du changement pour chaque pixel. Autrement dit, elle permet de répondre à la question « D'où viennent les changements ? » (7,143). De plus, elle facilite la préparation des cartes de changement. C'est la raison pour laquelle on voulait mettre en œuvre cette méthode. Le principe de cette méthode est basé sur la classification de deux scènes acquises à des dates différentes. Elle assigne d'abord des classes et détecte ensuite le changement. L'évaluation de changement est faite sur une base de pixel-par-pixel à l'aide d'un tableau de statistiques faisant appel à une matrice de changement. Les colonnes de la matrice représentent la superficie de chaque classe de l'année plus récente alors que les lignes représentent celle de l'année antérieure. L'analyse des matrices nous donne l'évolution spatio-temporelle de changement.

D'après l'interprétation des mutations spatiales durant les deux périodes, les taux de changement des surfaces ont été calculés pour les catégories citées. Les valeurs positives (Gains) représentent un progrès sur la surface de la catégorie pendant la période analysée et les valeurs négatives (pertes) indiquent la perte de surface d'une catégorie entre les deux dates. Nous pouvons rajouter une

troisième valeur ; c'est la valeur des catégories dont les surface non subit aucun changement (persistance), ce sont les catégories relativement stables entre les deux dates.

3. Evolution Spatio-temporelle du SBV 0618 :

3.1 Etat de l'occupation des sols du bassin versant de Oued El Arabe :

Les figures 33 et 34 et le Tableau 14 présentent la répartition de l'occupation du sol du SBV 0618 sur trois différentes dates 1987/2008/2019. Nous pouvons distinguer que quatre classes thématiques dominant le territoire à savoir ;

Si nous prenons l'année la plus récente (2019) comme référence juste pour une analyse en termes de thème, nous distinguons que :

- La steppe domine plus du un tiers du territoire avec une superficie de 80714,79Ha soit 38,47% de la superficie totale du territoire, une remarque à saisir que la steppe a encaissé un avantage de surfaces importantes, ce qui lui a permis de garder sa position comme première classe dominant durant les deux période 2008 et 2019 alors qu'elle été en deuxième position sur l'année 1987.
- Le Sol nu, deuxième classe dominant sur les deux périodes 2008 et 2019, il couvre presque le un quart de la surface intégrale avec une superficie de 53446,59Ha soit 25,47%.
- Le Bois ou les terres forestières couvrent 29,20% de la surface l'équivalent de 61263.9Ha, elle est à son tour profité d'un rang en avant par rapport aux deux autres années 1987 et 2008.
- L'Agriculture qui garde toujours sa quatrième place avec une surface progressive sur l'échelle espace et temps, elle couvre 6.35% de la surface totale l'équivalent de 13323,24Ha dont une dominance de l'Arboriculture estivale (Pommier, Olivier, poirier...) au nord, et au sud c'est la céréaliculture hivernale (blé, orge...), les cultures sous serre et le palmier cultures au sud et sur les deux bords du Oueds.
- Les deux autres classes (l'Eau et l'Urbain) sont minimales en termes de surface mais primaires en termes de décision et d'orientation de la dynamique de l'espace.

L'analyse de ces tableaux graphiques subséquents permettre d'étudier la transformation spatiale dans le sous bassin versant de Oued El arabe.

Tableau 14: Répartition spatiale des six classes composantes durant les trois années

Value	Classe	Surface Ha 1987		Surface Ha 2008		Surface Ha 2019	
1	Urbain	278,73	0,13%	380,61	0,18%	477,18	0,23%
2	Eau	142,2	0,07%	563,31	0,27%	613,71	0,29%
3	Agriculture	6292,53	3,00%	7983,36	3,80%	13323,24	6,35%
4	Foret	43544,34	20,75%	51114,06	24,36%	61263,9	29,20%
5	Sol	103583,52	49,36%	71295,84	33,98%	53446,59	25,47%
6	Steppe	55998,09	26,69%	78502,23	37,41%	80714,79	38,47%
		209839,41	100,00%	209839,41	100,00%	209839,41	100,00%

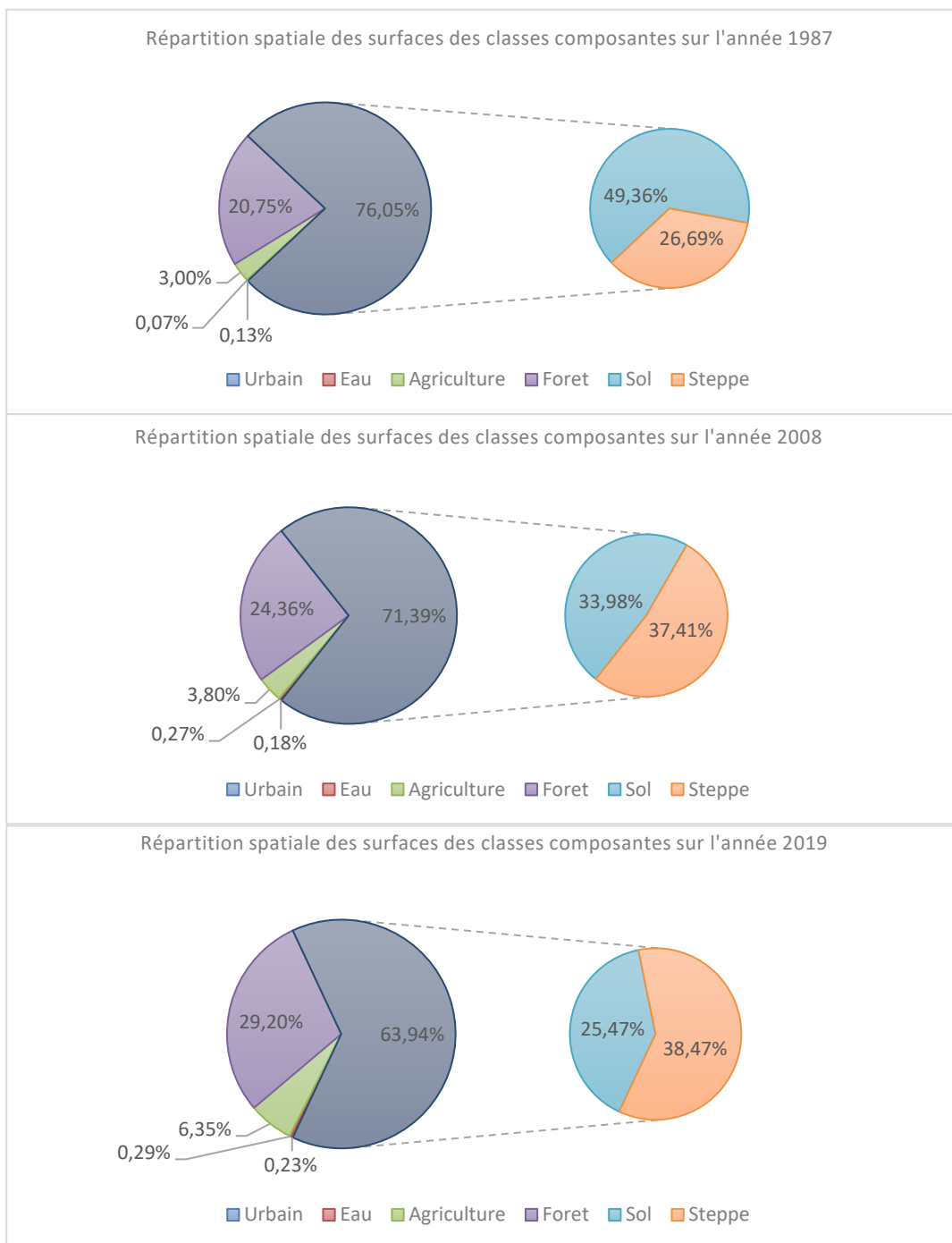


Figure 33: Répartition spatiale des six classes composantes durant les trois années

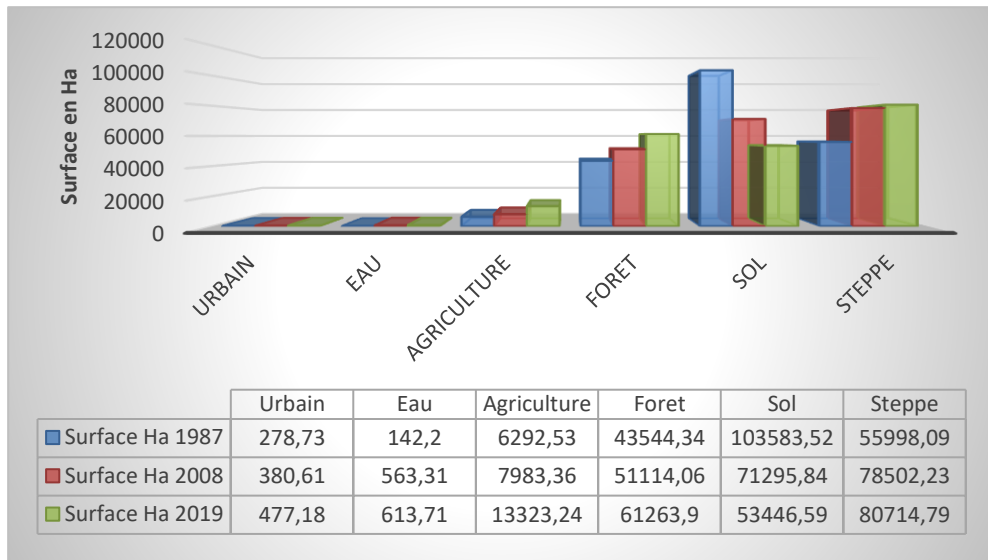


Figure 34: Histogramme descriptive des surfaces sur les trois années

3.2. L'évolution des classes de l'occupation du sol entre 1987 et 2008 :

Afin de montrer l'évolution de chaque classe d'occupation du sol au cours de cette période, nous avons utilisé une série de transformations ensemblistes ;

- La relation entre la même classe à deux dates différentes, nous permet d'extraire les zones « Persistance », de « Pertes » et de « Gains ».
- Nous déterrerons aussi la contribution des classes à la variation nette entre eux.

3.2.1. Gains et Pertes et changement net durant la période 1987-2008 :

L'évolution spatio-temporelle est représentée sous forme graphique (Figure 35). L'analyse de ces graphiques nous exposent tout d'abord un surcroit consommation du sol nu aux profits des autres classes (plus de 36000Ha), ce qui lui mets en premier perdant durant cette période, la steppe à son tour à supporte une forte dégradation et en contrepartie elle regagne des surfaces importantes qui lui permettra de récupérer ses voir d'enregistré un double gain sur cette la même période. L'Agriculture à son tour se pointe avec un très fort revenu foncier agricole et se classe comme troisième classe avec un gain net 1691 Ha malgré la fluctuation des milieux aride, sec, subhumide. La classe Urbaine qui toujours en progrès et sans la moindre perte (0 Ha) a enregistré une faible augmentation de 102 Ha, ce chiffre insignifiant si nous le mettons à la même échelle de notre travail mais très définitive et important nous réduisant l'échelle de travail, très claire que cet étalement de l'unité urbaine aux détriments des autres unités voisine est justifier par l'accroissement de la population et du développement de l'infrastructure.

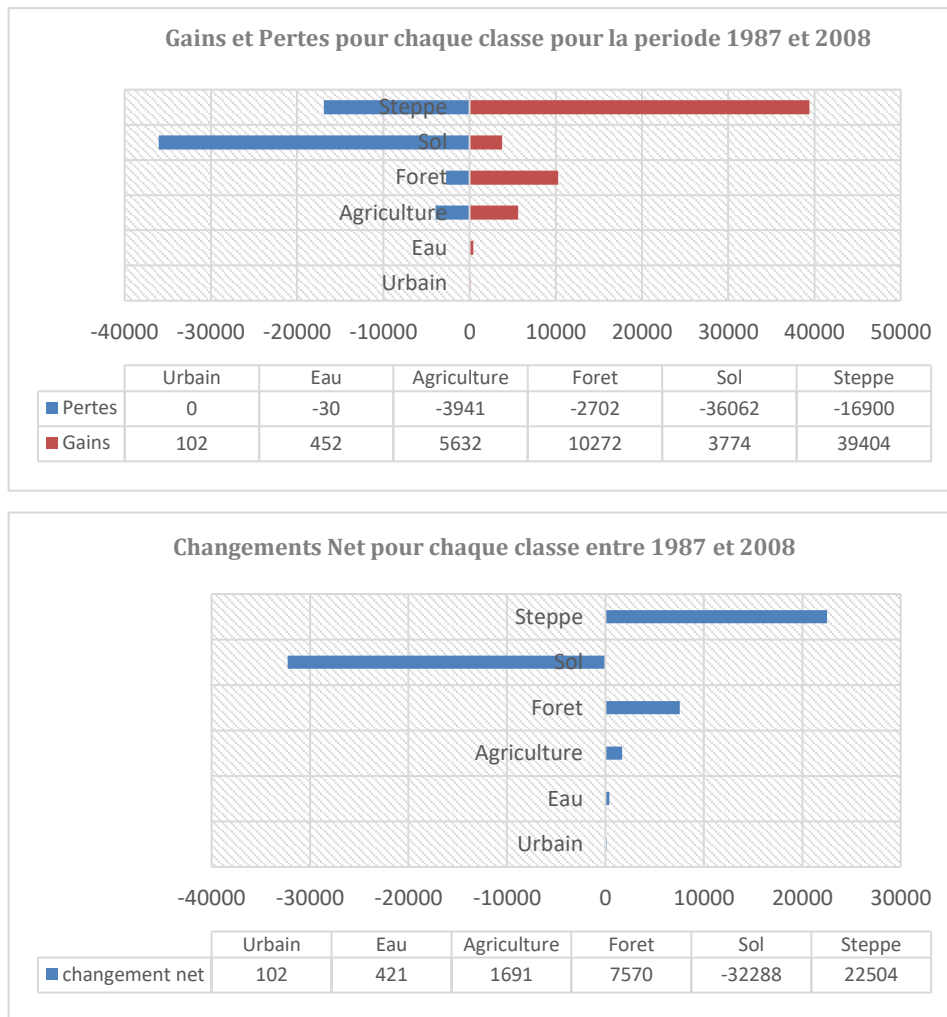


Figure 35: Gains, Pertes et Changements net pour chaque classe durant la période 1987/2008

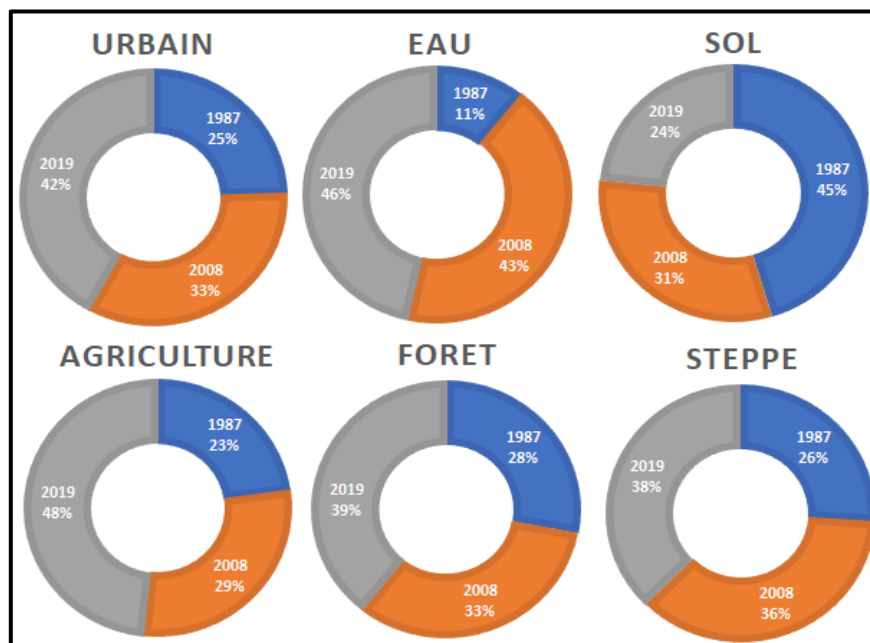


Figure 36: Evolution de l'occupation des sols de la région de Oued El Arabe entre (1987-2008-

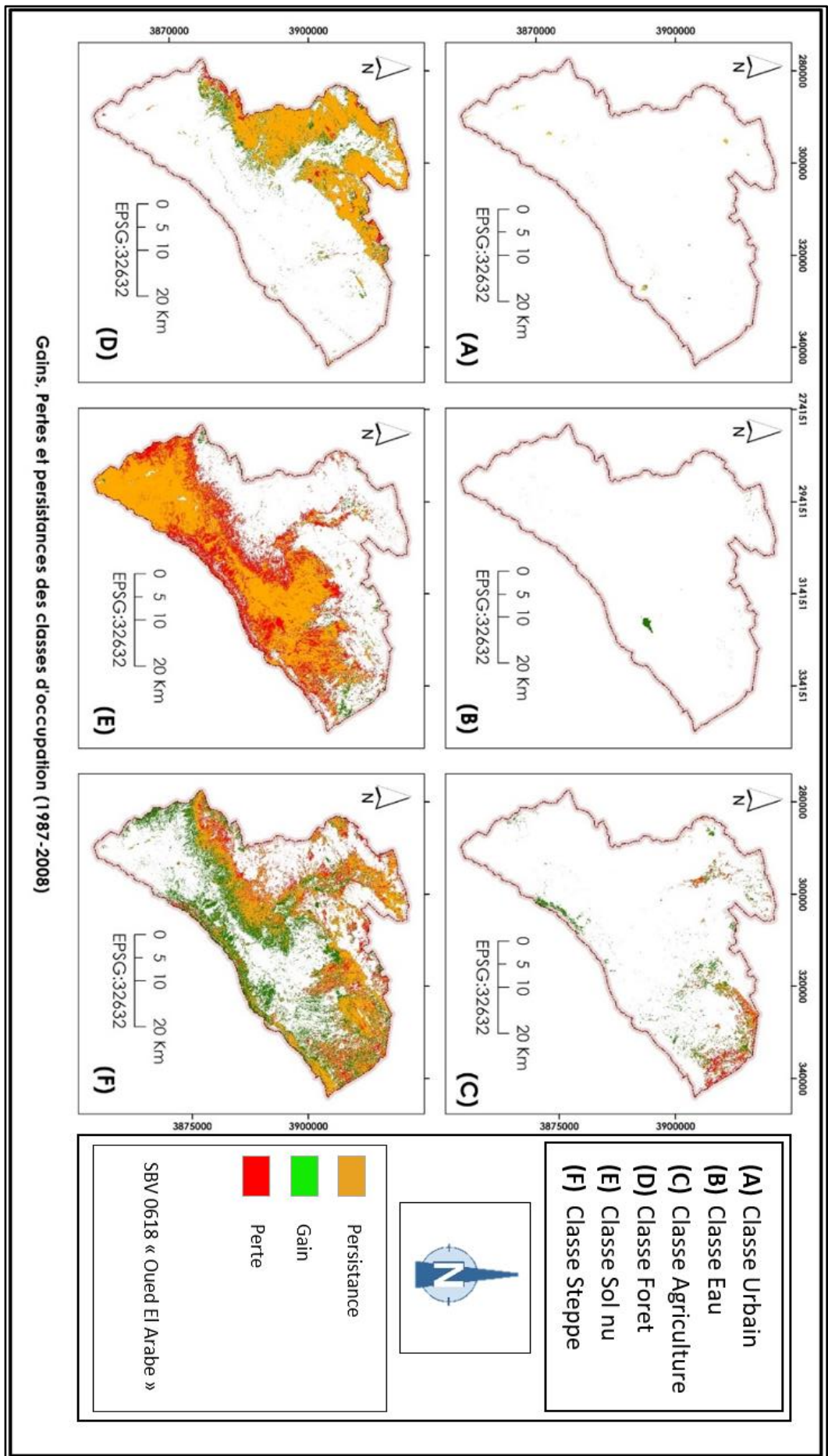


Figure 37: Gains, Pertes et persistances des classes d'occupation du sol entre 1987 et 2008

3.2.2. Evolution de classe Urbaine entre 1987 et 2008 :

La figure 38 représente l'étalement de la classe urbaine sur les surfaces des autres unités voisines sur une période de 20ans.

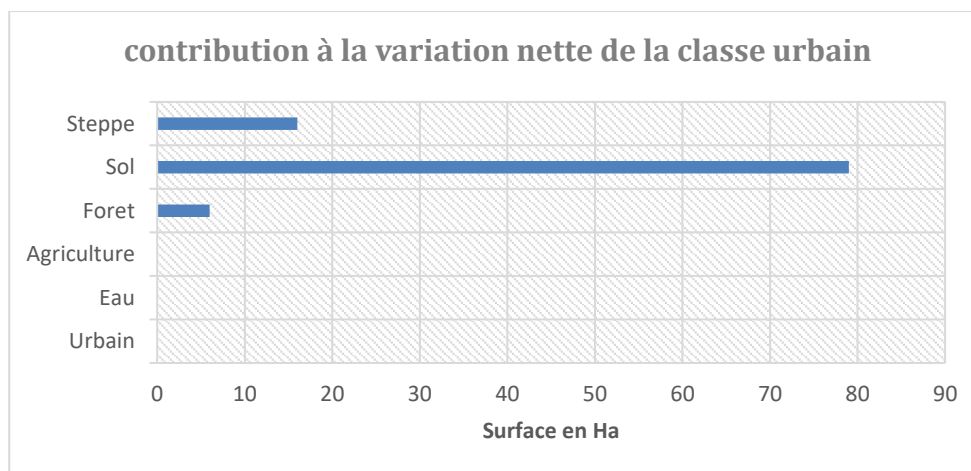


Figure 38: contribution des classes dans l'étalement de la classe Urbaine (1987/2008)

Depuis 1991, la superficie du milieu urbaine a augmenté au détriment de toutes les classes voisines et plus particulièrement la classe sol nu. 79% des surface empochées et urbanisées sont d'origine des sols nus sont devenus urbain. Le sol nu occupe une surface importante dans la zone d'étude presque 50% en 1987 qui passe au 34% en 2008, une grande partie de ses surfaces se localisent dans les piedmonts, dans les deux bords du Oued, et dans des zones plate ou à faible pente, ces critères sont essentiellement les plus favorable pour un étalement urbain, nous rajoutons aussi qu'au début des année 1990 (décennie noir), une grande partie des habitants de la montagne quittent leurs biens et rejoindraient les petites villes en cherchant un abris sécurisé.

3.2.3. Evolution de classe Foret entre 1987 et 2008 :

Une croissance extraordinaire (plus de 7500 Ha) est due aux plus importants travaux agro écologique de reboisement lancé le projet du barrage vert (1974) d'où l'état a concrétisé 100000 Ha pour plantation de pin d'Alep comme une ceinture verte pour lutter contre la désertification et fixer les dunes.

L'autre agent qu'a favorisé la croissance de la foret est Le premier et le deuxième plan quinquennal (1980 - 1984) avec une superficie de 330000 Ha de reboisement dont 20% n'a pas été réalisé, et (1985-1989) avec plus de 364000 Ha de reboisement principalement en pin d'Alep dont plus de 60% n'a pas été accompli. , en effet l'ambitieux projet du barrage vert, lancé à l'échelle nationale est localisé principalement dans les zones steppiques dans l'objectif de lutter contre la désertification, ce n'est que dans la fin des années 1980 et le début des années 1990 que se reboisement est devenus des forêts.

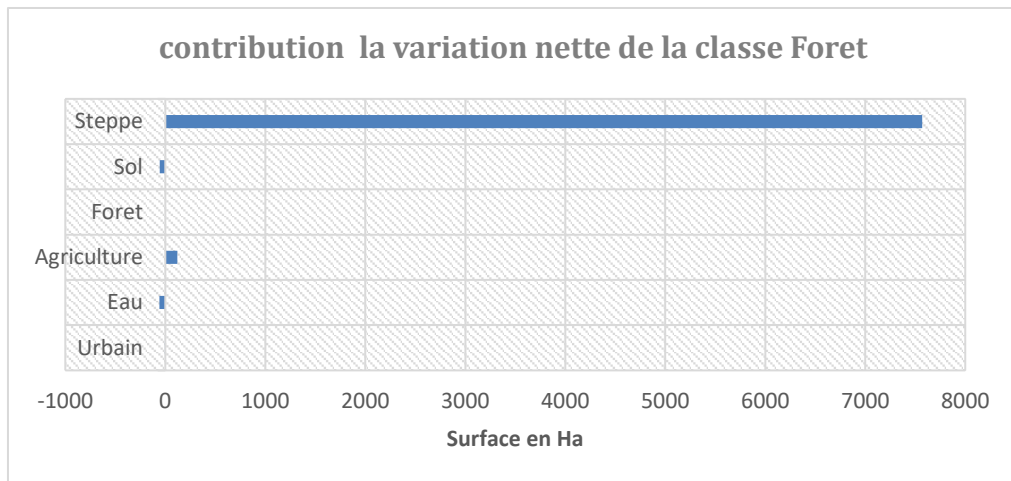


Figure 39: contribution des classes dans l'étalement de la classe Foret (1987/2008)

3.2.4. Evolution de classe Eau entre 1987 et 2008 :

Une importante monté de la quantité des eaux de surface est enregistré durant cette période de vingt ans, 421 Ha est la surface nette des eaux de surfaces enregistrée après la soustraction des gains et des pertes, nous rappelons que ce chiffre présente la surface des étendues spatiale aquatique non pas la masse ou le cumule des eaux.

Le Facteur influençant sur cette augmentation est l'installation de la nouvelle infrastructure hydraulique qui se trouve dans la vallée amont de l'oued El Arabe qui s'y appelle l'oued El Abiod, administrativement se trouve sur le territoire de la commune de Babar a la wilaya de Khenchela, cette retenue du barrage fut construite sur une surface de 567Km² pour fin essentiellement d'irrigation des grands périmètres et de potabilisation. Sa capacité initiale est de 41 millions de m³. Le barrage couvre 60% de l'alimentation de l'alimentation en eau potable des populations des zones avoisinantes (Ouldja, Khirane, Djellal, Chechar).

3.2.5. Evolution de la classe Steppe entre 1987 et 2008 :

Plusieurs sont les études antérieures qui ont démontrées que la steppe Algérienne et principalement sur les hauts plateaux algériennes, perde des surfaces importantes et subie une dégradation massif, particulièrement sur la période (2008/2019), (7,122,124,143,144).

Au d'autre coté, les résultats que nous les avons dévoilés dans cette étude contredit et prouve exactement l'inverse dans le cas du SBV 0618, la steppe progresse au fil du temps !! , oui, les chiffres très précises ont montré une un big chiffre d'augmentation des surfaces de la steppe principalement au détriment de la classe sol nu.

Les justifications dont nous avons pu mettre le doigt est sont serrée sur :

- Les projets de la troisième phase de la révolution agraire spécifique à la steppe durant le plan quadriennal et les différentes opérations de fixation biologique et mécanique des dunes

1985-1992 adoptés par les services HCDS et les conservations des forêts pour la mise en défense, elle consiste à la plantation de l'Atriplex et de l'Alfa. Ce qui soutient cette argumentation ; c'est que nous remarquons que la plus grande partie de l'extension des parcours steppiques fut sur le détriment des sols nus. La minime pertes de la classe steppe c'été au profite de la foret bienfait de la croissance d'arbustes qui ont été plantés il y a des années et qui sont passés du couvert steppique au couvert forestier.

- L'équilibre entre l'Homme, l'Animal et leur milieu naturel durant la décennie noir (1991-2003) causé par le délaissement presque total des éleveurs, riverains et des cheptels qui ont d'habitude l'un des facteurs primaux sur la dégradation des parcours steppique, l'insécurité a poussé temporelle vers exode rurale totale et un délaissement du cheptel, même les transhumances et les Azabas et les Achabas ont presque abandonner leurs capitaux et rejoins les villes.

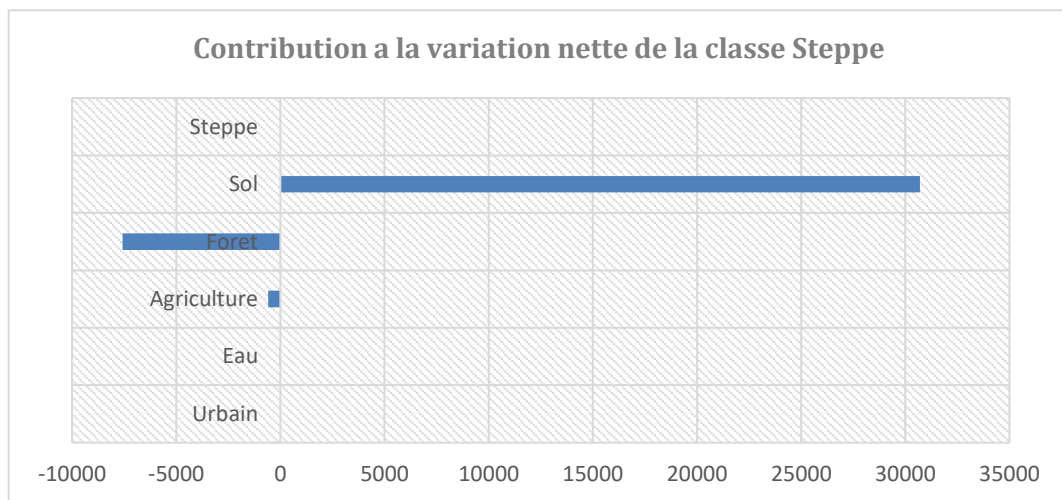


Figure 40: contribution des classes dans l'étalement de la classe Steppe (1987/2008)

3.2.6. Evolution de la classe Agriculture entre 1987 et 2008 :

Selon les statistiques obtenue et collectées depuis les services agricoles de la wilaya de Khenchela, le SBV de Oued El Arabe saisit une superficie de plus de 231000 Ha de superficie agricoles dont 200000 Ha sont plantées à Sec soit 87% et 38000 Ha sont irriguées, cette information est prise depuis le rapport détaillé sur l'Agriculture et les différentes formes d'irrigation utilisées dans la wilaya Khenchela (145).

Les sources d'irrigation été principalement les Oueds et les retenues collinaires, et les ressources souterraines à savoir (la nappe des Aurès, les plaines alluviales de Ain Touta et du Chott Melghir). L'installation des infrastructures hydrauliques à savoir le Barrage de Babar qui a procréé la disparité des terres abandonnées et pauvres et collabore leurs transformations on des terres fertiles.

Plus de 30700 exploitations Agricoles reparties sur 7 agglomérations de la région d'Oued El arabe dont 2021 sont irriguées à partir des eaux de surfaces, 65% de ces eaux de surface coulent depuis la digue du barrage de Babar continuellement

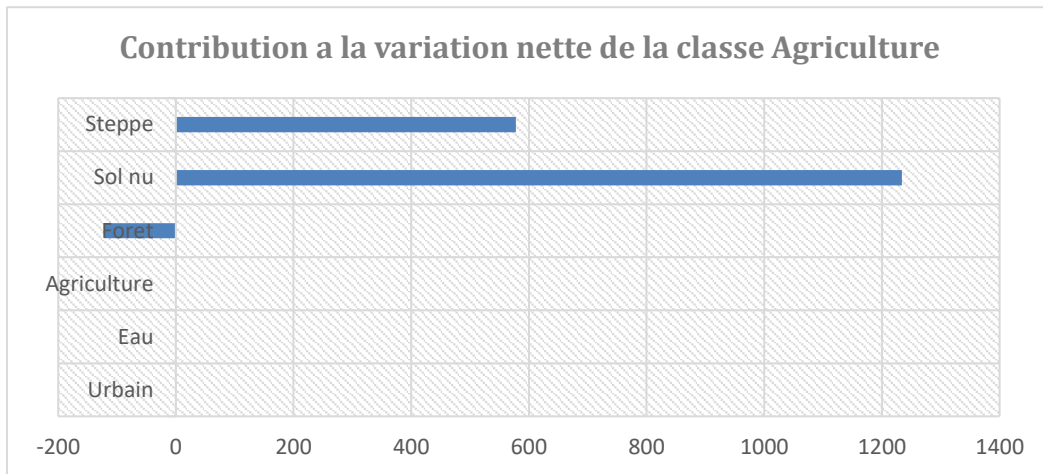


Figure 41: contribution des classes dans l'étalement de la classe Agriculture (1987/2008)

L'Agriculture trouve ses étalements au détriment des sols nus des deux bords des oueds et enregistré les lignes des cultures maraichères ou d'arboriculture ou bien sur les parcours steppiques dans les piémonts et aux deltas prospères en ruissèlement et qui représentent des terres idéales pour tracer les labours et cultiver les céréales d'hivers, les palmiers, les céréales fourrages et même les cultures sous serre.

3.2.7. Evolution de la classe Sol nu entre 1987 et 2008 :

Le sol nu qui correspond en majorité au cordon dunaire observe une large régression de 30000 Ha entre 1987 et 2008 au profit de la classe Steppe, dans le même sens ils subissent une régression moins importante d'environ 12000 Ha au profit de l'agriculture 331 Ha au profit de la classe eau est qui été nécessaire pour l'installation du barrage de Babar.

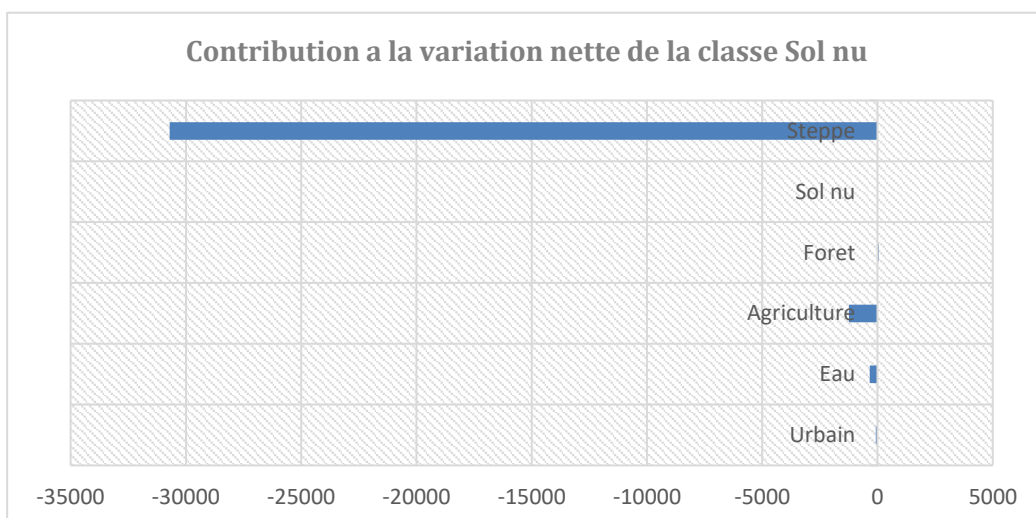


Figure 42: contribution des classes dans l'étalement de la classe Sol nu (1987/2008)

3.3. L'évolution des classes de l'occupation du sol entre 2008 et 2019 :

3.3.1. Gains et Pertes et changement net durant la période 2008-2019 :

Sur le plan de consommation des sols nus, avec 32000 Ha de perte l'analyse est presque semblable à la première période, le sol nu est le terrain le plus consommé par les autres unités voisines, signe positive ou négative ? cela dépend du type d'usage du sol. La steppe en réponse perdre 17000Ha de son assiette et la récupère immédiatement en double ce qui permettra de ceinturer un gain net 22500 Ha, la forêt à son tour continuer à s'accroître dans le sens contraire à ses pertes qui ne présente que la moitié a ses gains.

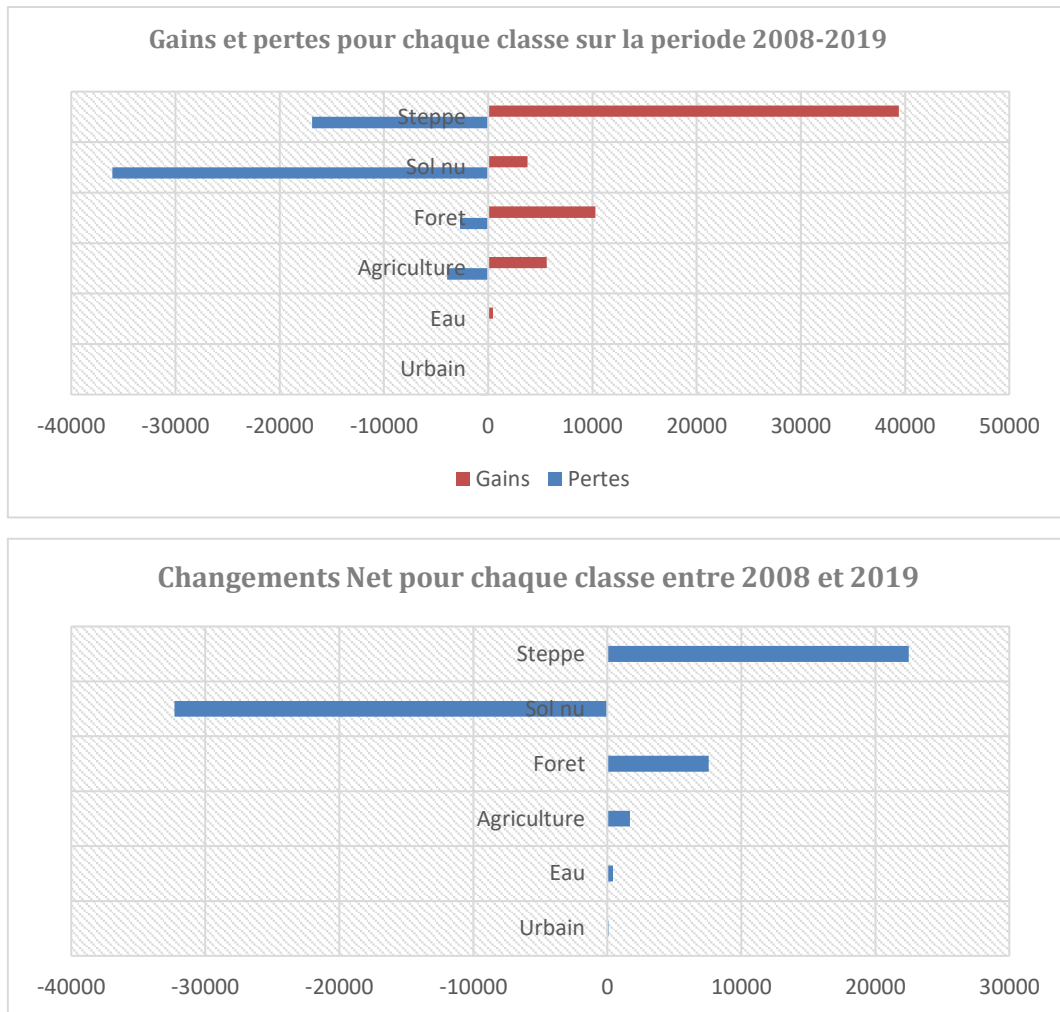


Figure 43:Gains, Pertes et Changements net pour chaque classe durant la période 2008/2019

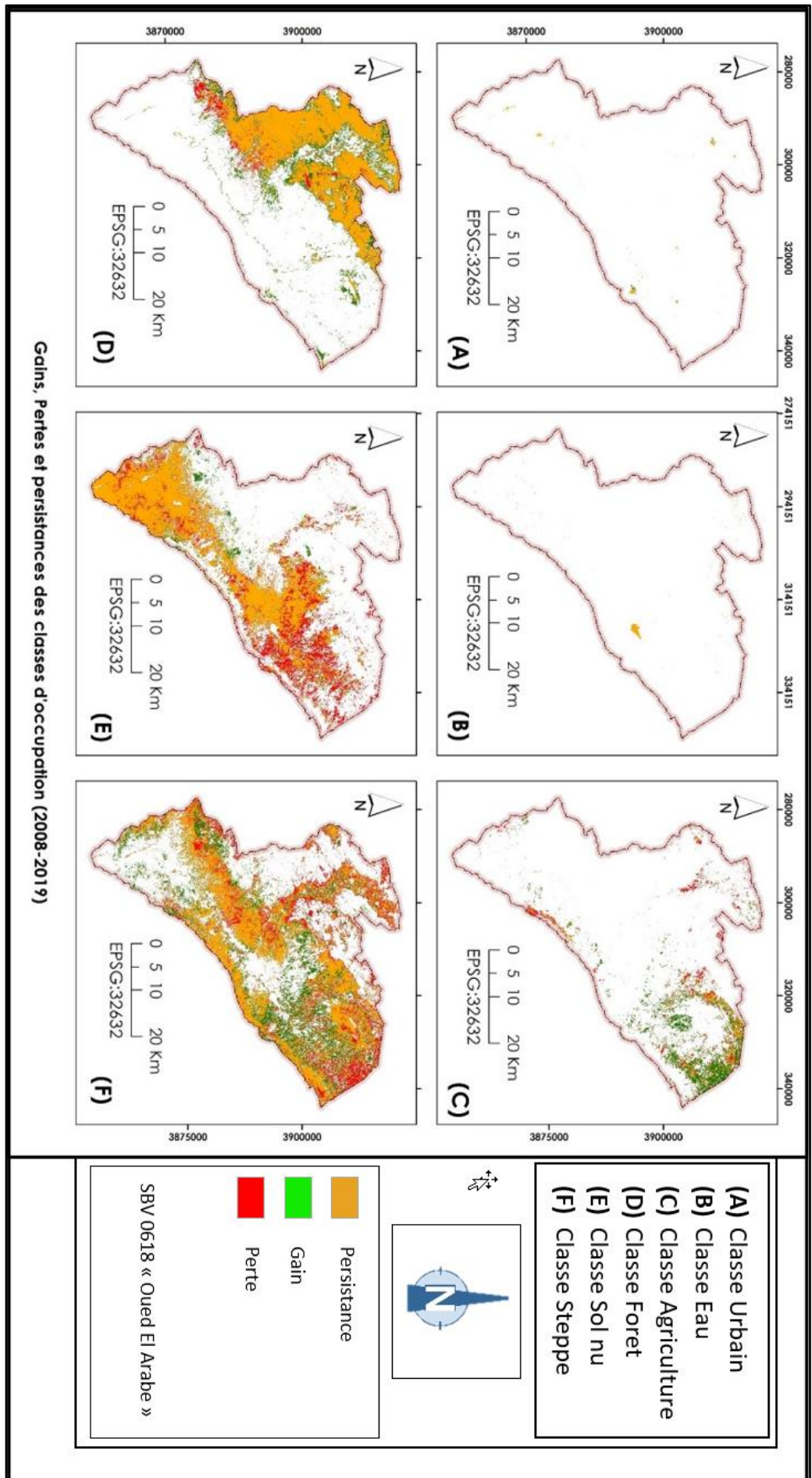


Figure 44: Gains, Pertes et Persistances des classes d'occupation du sol entre 2008 et 2019

3.3.2. Evolution de la classe Urbaine entre 2008 et 2019 :

L'histogramme présenté dans La figure 44 est illustre l'évolution de la classe urbaine durant une période de 11ans, elle dévoile ainsi la contribution des cinq classe voisine pour son étalement, en d'autres termes la portion d'espace dont chaque classe a perdue pour le bien de la classe urbaine, une lecture rapide de ce diagramme nous permet de remarquer que toujours la classe sol nu est le perdant par excellence. La steppe à son tour perde plus de deux hectares d'hectares au profit de l'urbain.

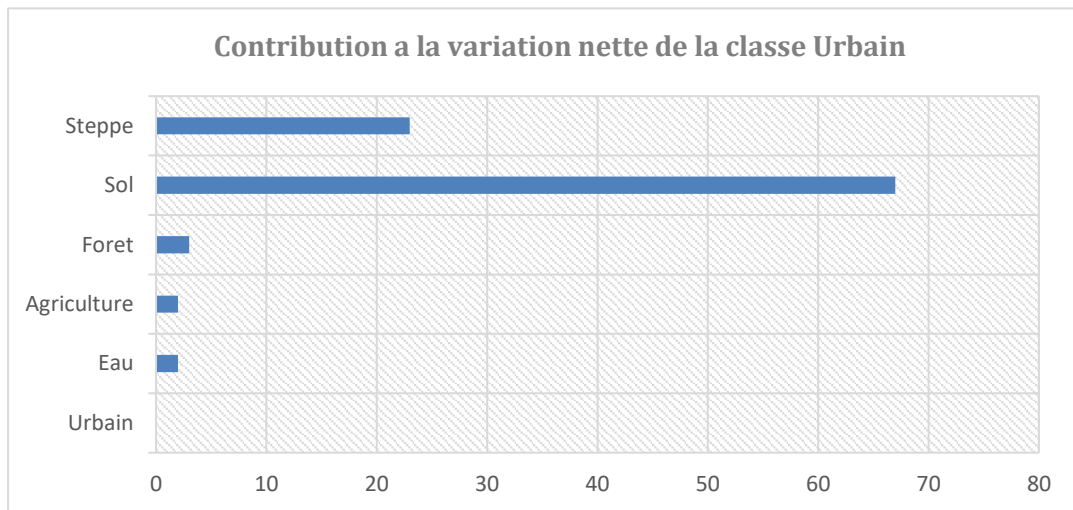


Figure 45:contribution des classes dans l'étalement de la classe Urbaine (2008/2019)

3.3.3. Evolution de classe Foret entre 2008 et 2019 :

La foret est comme dans la première période perd des surfaces importante au profit de la classe steppe, plusieurs débroussaillages peuvent être retenues dans ce sens, nous pouvons y cité comme exemple les incendies ont recrudescence qui frappent durement l'entendue forestier de Batna vers Oum El Bouaghi passant par Khenchela et le nord de Biskra, ce triangle représente le quart de la superficie total de la foret Algérienne a besoin de mobiliser des grands moyen humains, techniques et matériels pour la lutter contre les feux de forêt et préserver ce patrimoine. L'un des autres facteurs qui ravagent le bois de ce patrimoine est bien la coupe sauvage du cèdre en toute impunité. Sur la wilaya de Khenchela est même sur les wilayas limitrophes, il ne se passe pas un jour sans l'arrachage ou l'abatage sauvage des arbres qui datent d'un siècle (146).

L'exposition des massifs a l'ensablement nés du sud et influencé par les vents sahariens et leurs localisations sur substrat marneux ont accéléré la mortalité des peuplements forestier les plus touchés par ce dépérissement. Le facteur essentiel est le déficit hydrique produit d'une sécheresse prononcée et persistante durant toute cette période.

Les insectes, les champignons, les maladies fongiques sont aussi des facteurs qui ravagent les forêts dans la planète en globalité, mais qu'elle ne trouve aucune défense ni traitement dans notre payé et principalement dans la forêt des Aurès.

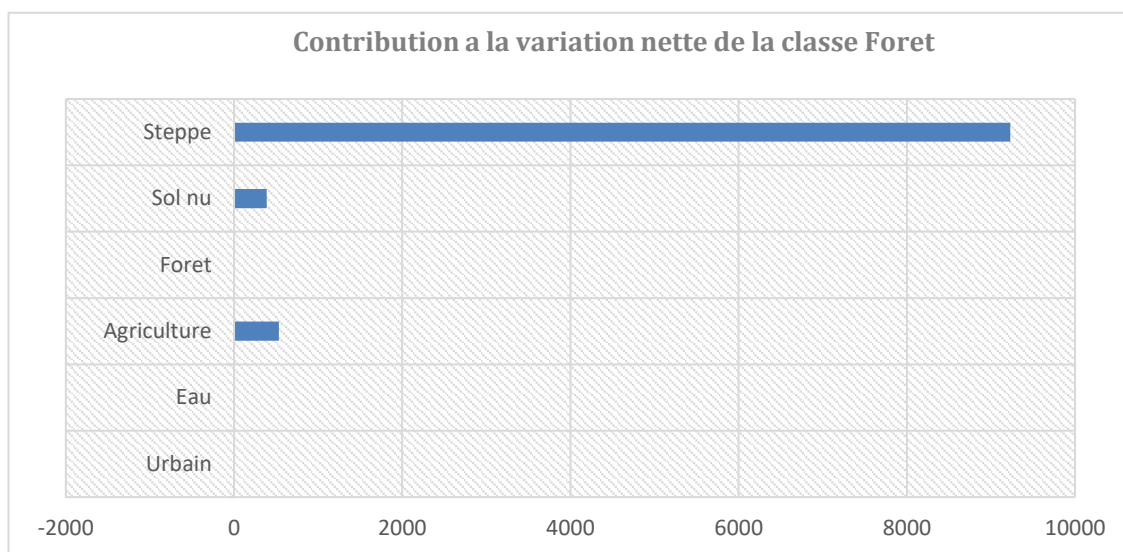


Figure 46:contribution des classes dans l'étalement de la classe Foret (2008/2019)

3.3.4. Evolution de classe Eau entre 2008 et 2019 :

Pas de grande discussion à mettre pour la classe eau sur cette période surtout que la région n'a marqué aucune nouvelle installation de nouvelle infrastructure hydraulique, par contre nous avons à noter qu'un projet de raccordement a été achever l'année 2011 aux profits de plusieurs communes (Tamza et Ensigna) pour les raccorder en AEP et AEI via le barrage de Babar.

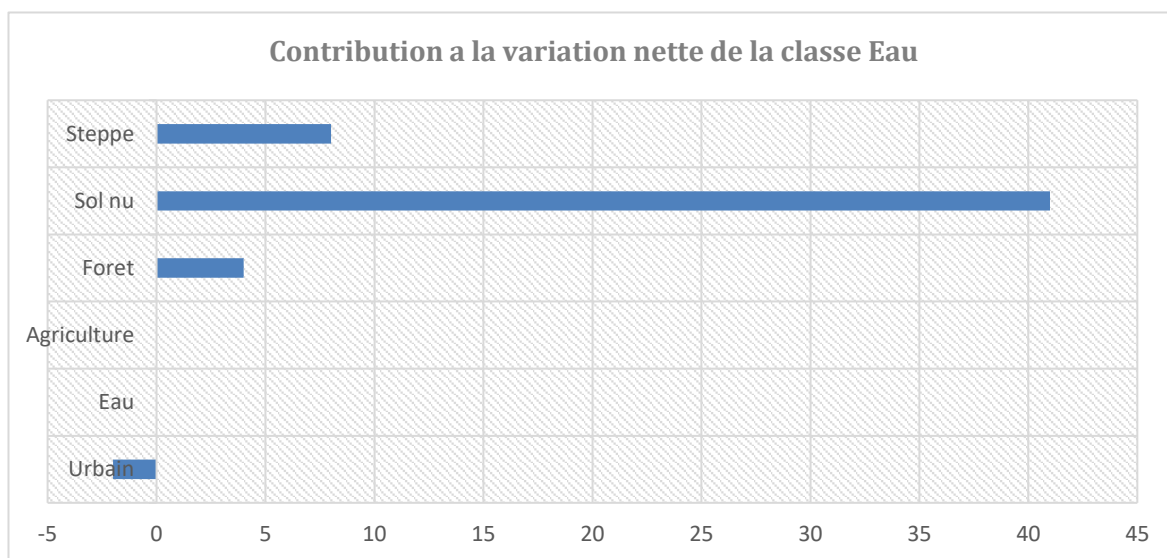


Figure 47:contribution des classes dans l'étalement de la classe Eau (2008/2019)

3.3.5. Evolution de classe Steppe entre 2008 et 2019 :

Le SBV de Oued el Arabe est serré entre deux wilaya (Batna et Khenchela) qui sont parmi les huit considéré proprement steppiques, Un territoire steppique sous tutelle du Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (H.C.D.S), ce dernier le définit comme l'ensemble des pâturages naturels situés dans les zones steppiques et qui s'intègrent dans la tranche pluviométrique 200-400 mm sur une base d'une végétation à domination des arbres fourragers exploitées d'une façon pluriannuelle pour le pacage des animaux.

Dans le diagramme présenter sur la figure 50 nous avons à observer les 15000Ha dont la Steppe à profiter malgré une perte enregistrée de plus de 14000Ha au profit de deux classe (Forêt et Agriculture), cette perte n'a pas deux explications, pour la forêt c'est la genèse des arbres plantées sur les multiples projets de reboisement adoptés pour renaître la forêt, et pour l'agriculture c'est les terres labourées en céréaliculture.

Etant donné qu'au plan dynamique, comme l'admettent de nombreux auteurs, les formations steppiques découlent de la dégradation des formations forestières et pré-forestières de l'Atlas saharien, Un échange très courant entre ces deux classes (Forêt et Steppe) que nous l'avons fait repérer au cours de l'analyse des résultats conquissent que ce soit dans la première ou la deuxième période. La carte (figure 48) est éditée pour clairement détailler les transitions spatiales transcrits de la Forêt vers la steppe et le sens inverse.

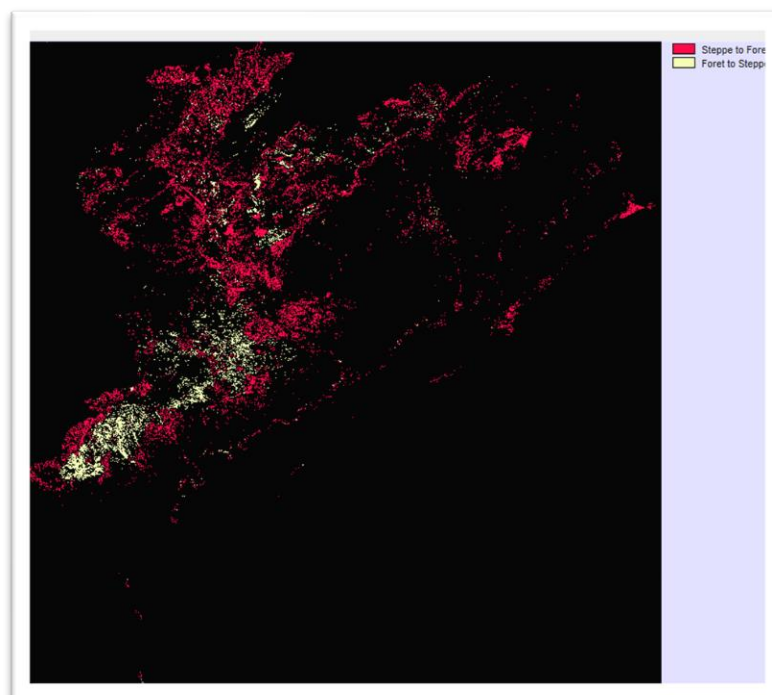


Figure 48: Echanges marqué entre la forêt et la steppe sur la période 2008 et 2019

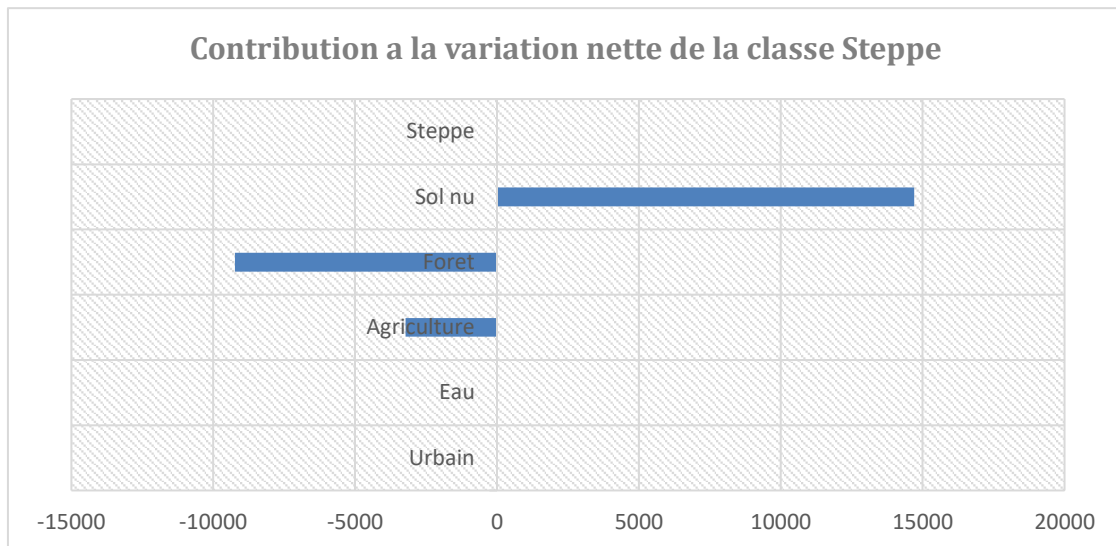


Figure 49: contribution des classes dans l'étalement de la classe Steppe (2008/2019)

3.3.6. Evolution de classe Agriculture entre 2008 et 2019 :

Il faut dire que les projets sont en pleine adéquations avec la stratégie de développement rural du pays, élaborée à partir de 2002, adoptée en 2004 et devenue stratégie de renouveau rural à partir de 2009 avec la même approche globale.

Le retour progressif à la stabilité et à un prix du pétrole à partir de l'année 2004 a permis au gouvernement d'adopter des vigoureux programmes de développement de l'Agriculture à travers tout le pays t'elles que le PNDA, PPDRI, RAFIK... qui montrent pour la première fois la volonté politique nationale pour l'aide et le soutien à l'investissement agricole. 1541 communes à l'échelle nationale qui ont bénéficié des différents programmes de développement agricole à compter de l'année 2004 jusqu'au 2016 où nous notons la baisse accélérée du prix du baril de pétrole à cause de la crise économique mondiale. Au SBV 13 commune ont vivement profité de ces programmes agricoles.

Plusieurs infrastructures se rajoute aux programmes du développement agricoles pour doter les terres, développer l'irrigation et favoriser l'émergence d'un pôle agricole d'excellence, ces actions qui ne peuvent se voir en réalité sans le raccordement en électricité agricoles, c'est les raisons que le gouvernement a choisis Babar pour l'installation et la mise en service de l'une des plus puissante centrale électrique de Lebrag (421,5 mégawatts) qui sert à l'approvisionnement en électricité pour toutes les communes rurales limitrophes à Babar.

Tous ces actions menées durant la période 2008-2019 peuvent justifier une partie des extensions très vastes qui touchée les surfaces agricoles durant cet intervalle.

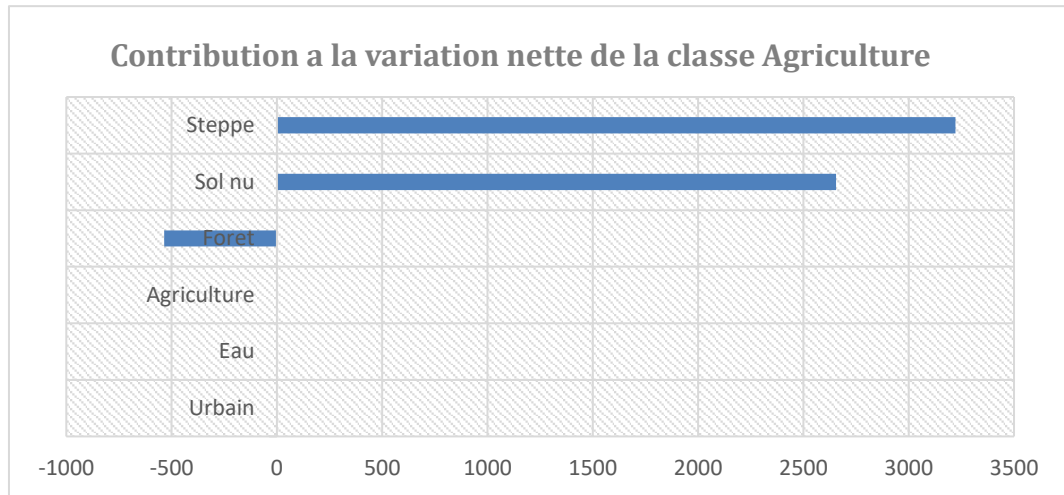


Figure 50:contribution des classes dans l'étalement de la classe Agriculture (2008/2019)

3.3.7. Evolution de classe Sol nu entre 2008 et 2019 :

Il est difficilement réversible de récupérer des sols nus transformé ou artificialisé, le sol nu est l'une des richesses que nous la partageons avec les générations futures et nous avons à la rationné et la protéger. Nous imposons aux générations futures de composer avec les terrains dont elles auront hérité. Une meilleure valorisation de l'espace déjà artificialisé doit pouvoir prévenir de la prédation d'un foncier qui pourrait s'avérer précieux pour faire face aux bouleversements environnementaux à venir

La Figure 51 nous remarquons une forte perte de la classe Sol nu avec 18000Ha d'environ de ses surfaces, Deux classes se classe aux premiers consommateurs des sols vierges, la steppe grâce aux programmes de plantation et la genèse des herbes printanière et l'Agriculture qui s'entend sur les sols vierges par les labours.

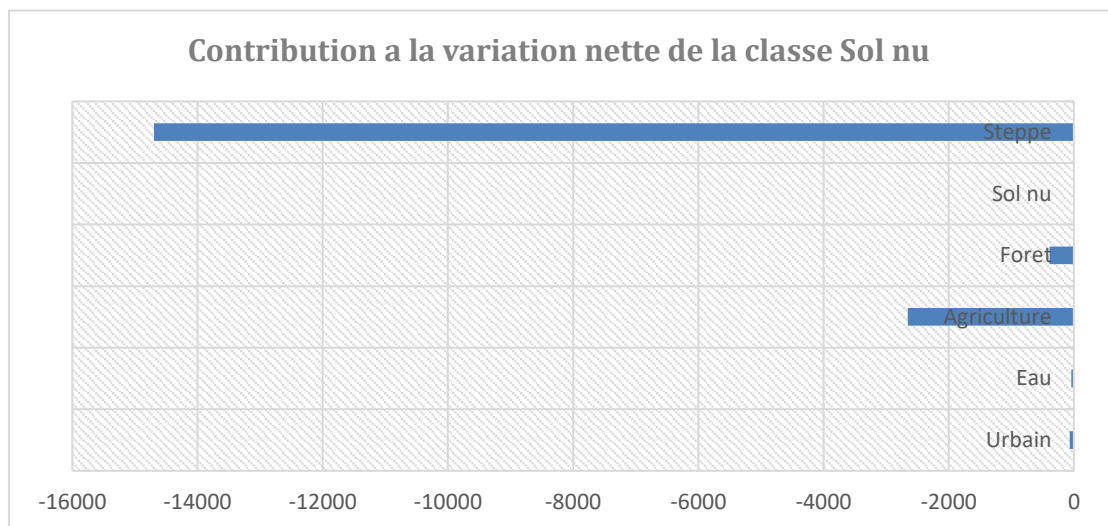


Figure 51:contribution des classes dans l'étalement de la classe Sol nu (2008/2019)

3.4. Synthèse :

Cette partie de travail vise à la présentation cartographique et numériques des surfaces transitoires, les principales causes qui ont conduit à ces transitions spatiales entre les classes ont aussi été discuté brièvement.

Deux périodes différentes qui font objet de cette étude, une période de 21 ans (1987/2008) et une deuxième période de 11 ans (2008/2019). Le choix des deux périodes avait pour but d'étudier les sommes des transferts de champs en une décennie caractérisait par une bonne croissance économique, une stabilité dans la sécurité du pays et une hausse des prix du pétrole, et la deuxième période, qui a duré vingt et ans, a été caractérisée par divers problèmes économiques et sécuritaires. L'analyse a été sectionné sur deux étape et détailler classe par classe, seuls les grands actes dirigeants qui ont été cités à savoir les projets du gouvernement et quelque facteurs naturels. Nous rappelons que cette étude nous a permis d'identifier les principaux facteurs déterminants les mutations spatiales dans le SBV de Oued El Arabe.

Six classes thématiques ont fait objet d'analyse entre autres sur deux périodes différentes, le produit et six histogrammes de contribution dont nous avons détaillé la contribution de variation nette de cinq classes pour chaque classe, ce qui nous a produit trente chiffres de transition. En termes de carte, 18 cartes sont les produits obtenus pour démontrer visiblement et clairement les surfaces l'évolution spatiale de chaque classe.

3.4.1 Classe Urbaine entre 1987/2008/2019 :

Nous avons remarqué que sur une durée de 31ans, toutes les extensions urbaines ont été enregistrées dans :

- Les espaces à faible pente ou plutôt à pente favorable
- Sur les alentours des agglomération déjà existantes.
- Sur les deux bords des Oueds et sur les piémonts.

La Figure 52 présente les mutations des espaces urbanisés durant les périodes étudiées.

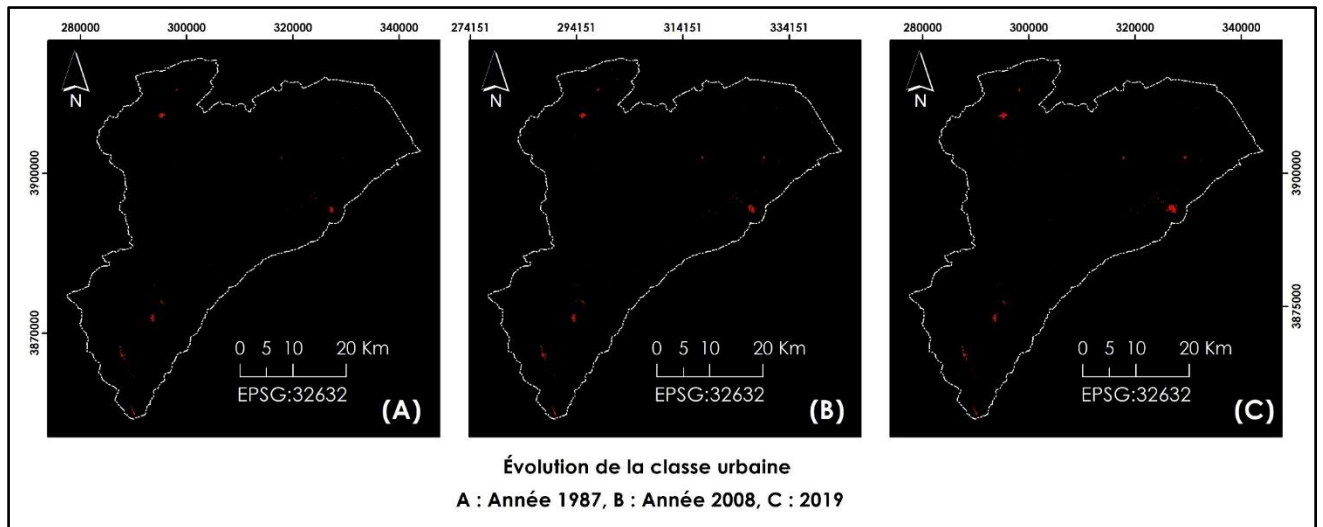


Figure 52: Evolution de la classe Urbaine durant trente et un ans

3.4.2 Classe Forêt entre 1987/2008/2019 :

La forêt, communément l'une des classes les plus vulnérables et dégradables à cause des feux de forêt et d'abatage déchainé, Les résultats que nous avons obtenus ne contredisent cela, sauf qu'ils montrent que le couvert forestier s'accroît de l'autre côté et à un rythme soutenu au détriment des parcours steppiques (Figure53).

L'analyse de ces trois cartes met en évidence l'évolution des arbustes et de steppe dense qui se transforme en espace forestier, en effet 9200 Ha de steppe considérer dégradée et en réalité mutés en classe forêt.

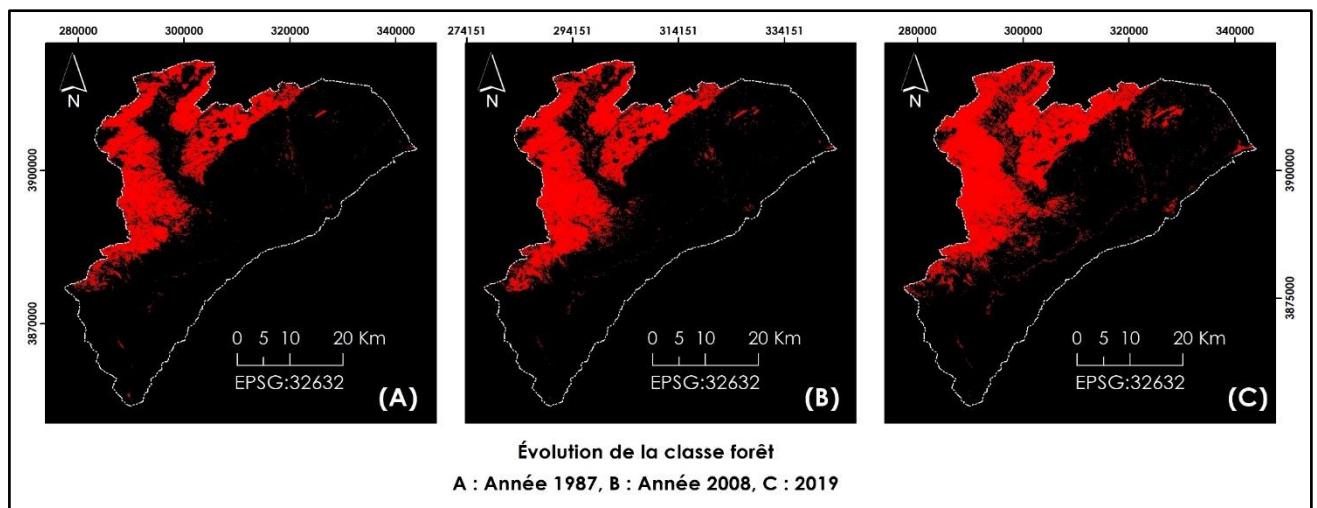


Figure 53: Evolution de la classe Forêt durant trente et un ans

3.4.3. Classe Eau entre 1987/2008/2019 :

Sur la carte A (1987), nous remarquons que le plus important site des accumulations de l'eau ruisselée est le même site objet d'installation du Barrage de Babar Carte (A) et (B).

Mise à part le barrage de Babar, nous trouvons que le SVB 0618 à bénéficier de l'installation de 7 retenues collinaires (145): (les capacités des retenus est dites sans le taux d'envasement)

- Khirane (Ounghal) en 2006 sur Oued Rakhouche avec une capacité de 344000m³.
- Bouhmama en 1987 sur Oued Bouliefene avec une capacité de 35000m³.
- Chelia en 2005 sur oued Ichardene avec une capacité de 40000m³.
- Chelia (Ouled Abas) en 2004 sur oued Touaguet avec une capacité de 18000m³.
- Chelia (Kamoudad) avec une capacité de 35000m³.
- M'sara (Boutchouat) sur Oued Bouchouat avec une capacité de 10000m³.
- Yabous (Foum el Kerza) en 2005 avec une capacité de 30000m³.

Plus de 1100 points d'exploitation sous terraines est distribuer sur le périmètre des agricoles de Oued El Arabe dont citons en 2019 (456 forages et 496 puit traditionnel), plus de la moitié de ses infrastructures est localisé dans le sud de la région (145).

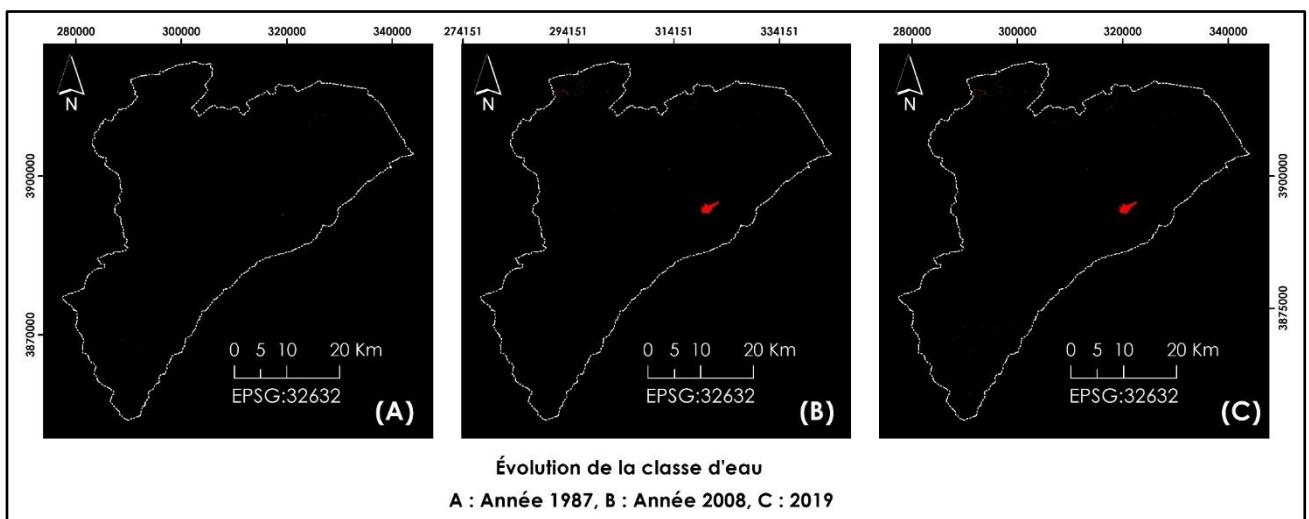


Figure 54: Evolution de la classe Forêt durant trente et un ans

3.4.4. Classe Steppe entre 1987/2008/2019 :

La steppe a connu un réel progrès entre (A) et (B), ce progrès comme visuellement clair et principalement sur limites et les bords des forêts et sur les sols nus.

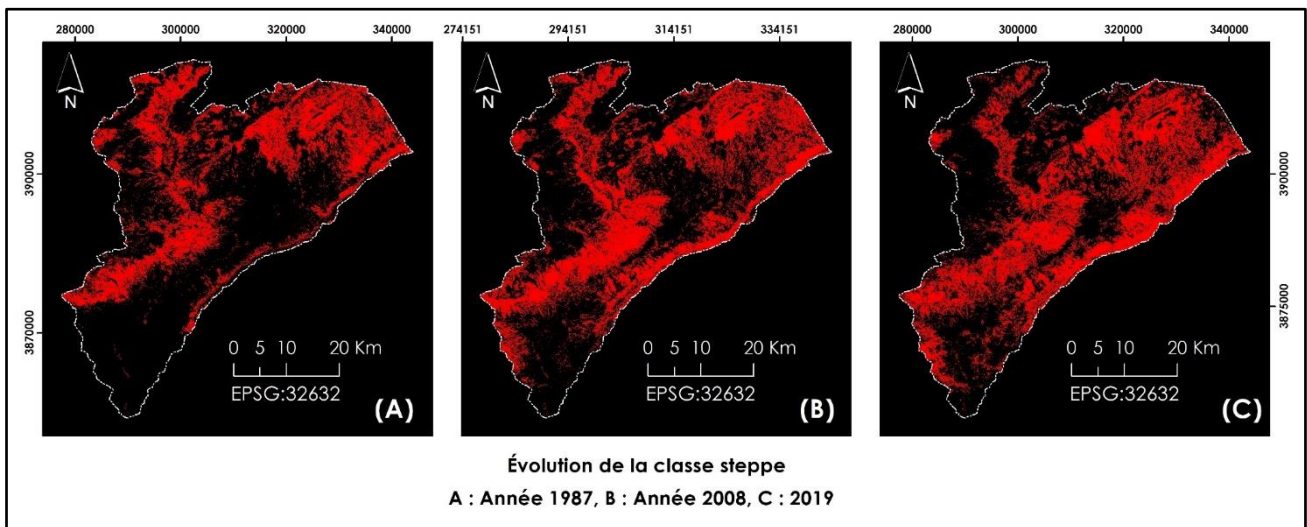


Figure 55: Evolution de la classe Forêt durant trente et un ans

3.4.5. Classe Agriculture entre 1987/2008/2019 :

L'Agriculture durant ces 31 ans a aussi connu un réel essor est principalement sur la partie avale ou plutôt sur l'exutoire du barrage ou les champs agricoles ont exploiter les heurs quotidiennes d'irrigation à partir du barrage, les surfaces irrigues passe de 1524Ha a 2865Ha et au 5622Ha soit 42% des superficie agricoles, la partie amont est très contrastée, au nord et sur les plaine et les montagne une domination de l'arboriculture (principalement le pommier), sur le fond de vallée nous trouvons aussi quelques pratiques d'arboricultures, sur la partie exutoire du barrage c'est les culture maraichère qui rentre en des parcelle de quelques hectares voisiné par une palmier culture et des rustiques éparpille (Figuier, grenadines), toujours sur la dominance toujours de l'arboriculture, en plein sud l'agriculture est une agriculture de steppe présaharienne, avec de large espaces de céréaliculture et de fourrages traditionnellement réalisée sur l'épandage des crues naturel des oueds issus des Monts des Aurès vers le Sud.

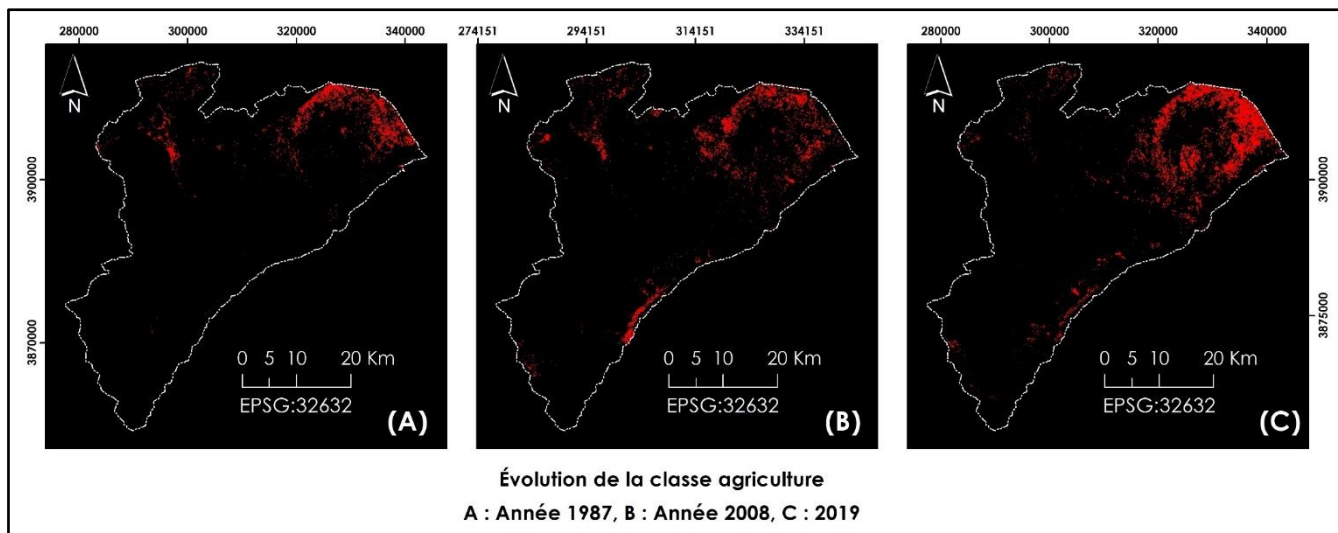


Figure 56: Evolution de la classe Agriculture durant trente et un ans

3.4.6. Classe Sol nu entre 1987/2008/2019 :

La dégradation des sols est due essentiellement à sa participation dans l'extension des autres classes, 59000Ha est la somme des sols nus perdus durant cette période de 31 ans au profit des autres classes avoisinantes.

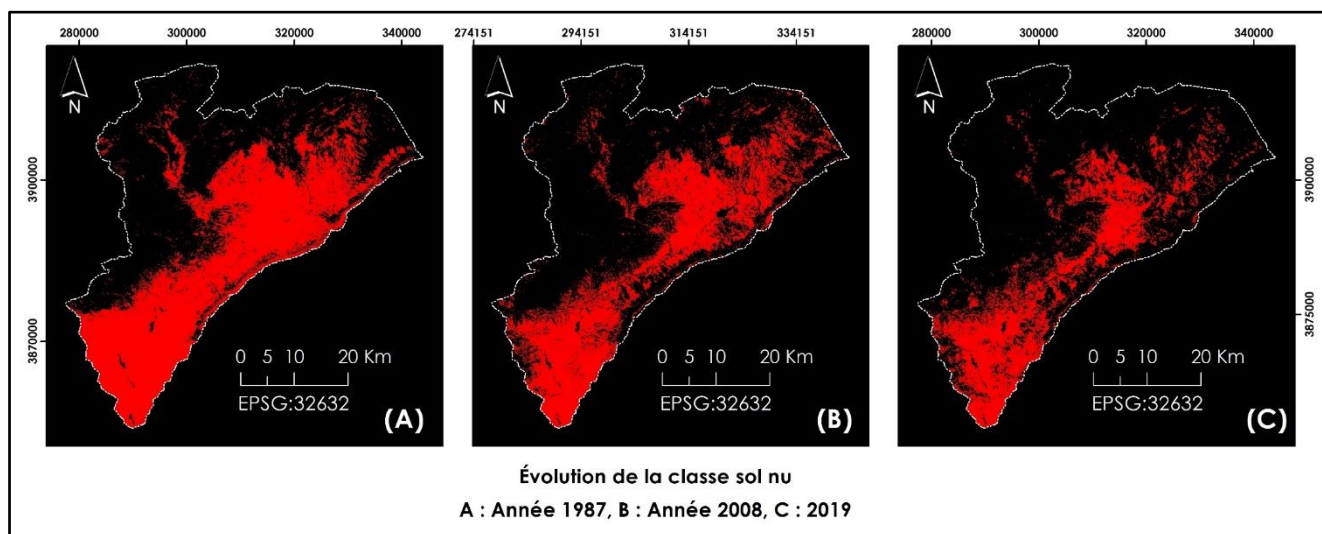


Figure 57: Evolution de la classe Sol Nu durant trente et un ans

Chapitre V

« ELABORATION DES CARTES D'APTITUDES »

CHAPITRE V : Elaboration des cartes d'aptitudes :

1. Les principaux facteurs qui façonnent notre territoire :

L'identification des facteurs de changements représente un enjeu crucial pour une meilleure compréhension des dynamiques spatio-temporelles des changements d'occupation et d'usage des sols, c'est phase parallèle la classification.

À partir de la base de données engendrée par les changements observés, une caractérisation des facteurs déterminant les changements de l'LULC peut être réalisée, des recherches bibliographiques et des séries de sorties terrain ont appuyé la réflexion participative que nous l'avons qualifié entre les services (forêts, Agricoles, Hydraulique) de la wilaya de Khenchela pour but de ciblé les multiples

À partir de la base de données constituée par les changements observés, une caractérisation des facteurs déterminant les changements de couverture des sols peut être réalisée. Une consultation préparatoire des experts de ces services a permis de fixer les facteurs dominants expliquant les dynamiques d'évolution du sol. C'est à partir de cette consultation que nous avons réussie a adopté les points suivants :

- Identifier les facteurs de changements d'occupation des sols et des structures paysagères dominants de 1987 à notre jour.
- Définir les limites et les échelles de chaque facteur.
- Classer les facteurs.

1.1. Identification et Validation des facteurs :

Les facteurs identifiés sont de nature très différente : ils peuvent être d'ordre qualitatif ou quantitatif, ses séquelles peuvent avoir des suites instantanées comme peuvent être à un effet cyclique sur plusieurs années ou décennies, leurs effets est sur l'ensemble de la période d'étude ou sur une partie seulement de cette période. Leur amplitude spatiale est continuée où limiter ?

La multitude des critères pour choisir les réels facteurs nous a amenés à les répliquée en deux types facteurs selon leurs natures :

- Naturels
- Socioéconomiques

Nature	Concept	Nom du facteur	Facteurs	Unité	Source
Naturels	Topographique	Pentes	Quantitative	(%)	Modèle Numérique de Terrain Aster (GDEM)
		Altitudes	Quantitative	m	Modèle Numérique de Terrain Aster (GDEM)
	Climat	Sous étages bioclimatiques	Qualitative	Catégorie	Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie (ANRH 2018)
		Température maximale (M) ;	Quantitative	°C	Carte des Températures maximales de l'Algérie (ANRH 2018)
		Température minimale (m) ;	Quantitative	°C	Carte des Températures minimales de l'Algérie (ANRH 2018)
		Précipitation	Quantitative	mm	Carte des pluviométris de l'Algérie (ANRH 2018)
Humidité du sol	Topographic Map Index (T.M.I.)	Quantitative	(%)	Modèle Numérique de Terrain Aster (GDEM)	
Socio_économiques	Voirie	Distance par rapport aux Routes	Quantitative	Km	Réseau Routie (Plan d'Aménagement de la Wilaya de Khenchela)
	Agglomérations	Distance par rapport aux centre urbains	Quantitative	Km	Recensement général de la population 2008

Tableau 15:identification des facteurs des changements

Source : travail personnel

1.1.1. Facteurs Naturels :

- **La Topographie** : L'altitude et la pente sont calculés par le MNT (modèle numérique du terrain Aster GDEM).
- **Le Climat** : Quatre paramètres climatiques (cartes) ont été intégrées, les précipitations annuelles moyennes, la température Min/Moy/Max de l'année 2019), ainsi une synthèse de ces paramètres en intégrant la carte des sous-étages bioclimatiques à l'échelle 1/500.000.
- **La Topographie** : une distinction très remarquable dans la topographie du SBV de Oued El Arabe qui est serré en pleine d'une zone montagneuse. L'indice topographique exprime l'humidité relative.

1.1.2. Facteurs socio-économiques :

- **Les Voiries** : nous avons utilisé la carte du réseau routier dressée dans le cadre du PAW (plan d'aménagement de la wilaya de Khenchela)
- **Les Agglomérations** : les agglomérations ont été localisées par une superposition de deux couches, Images Google Earth 2019 et la classification de la classe urbaine 2019 + la classification de l'office nationale des Statistiques (RGPH 2008).

Les facteurs ont été spatialisés, cartographiés en mode raster Géoréférencés sur une même projection (UTM N-32) et sur une même résolution (30x30 m).

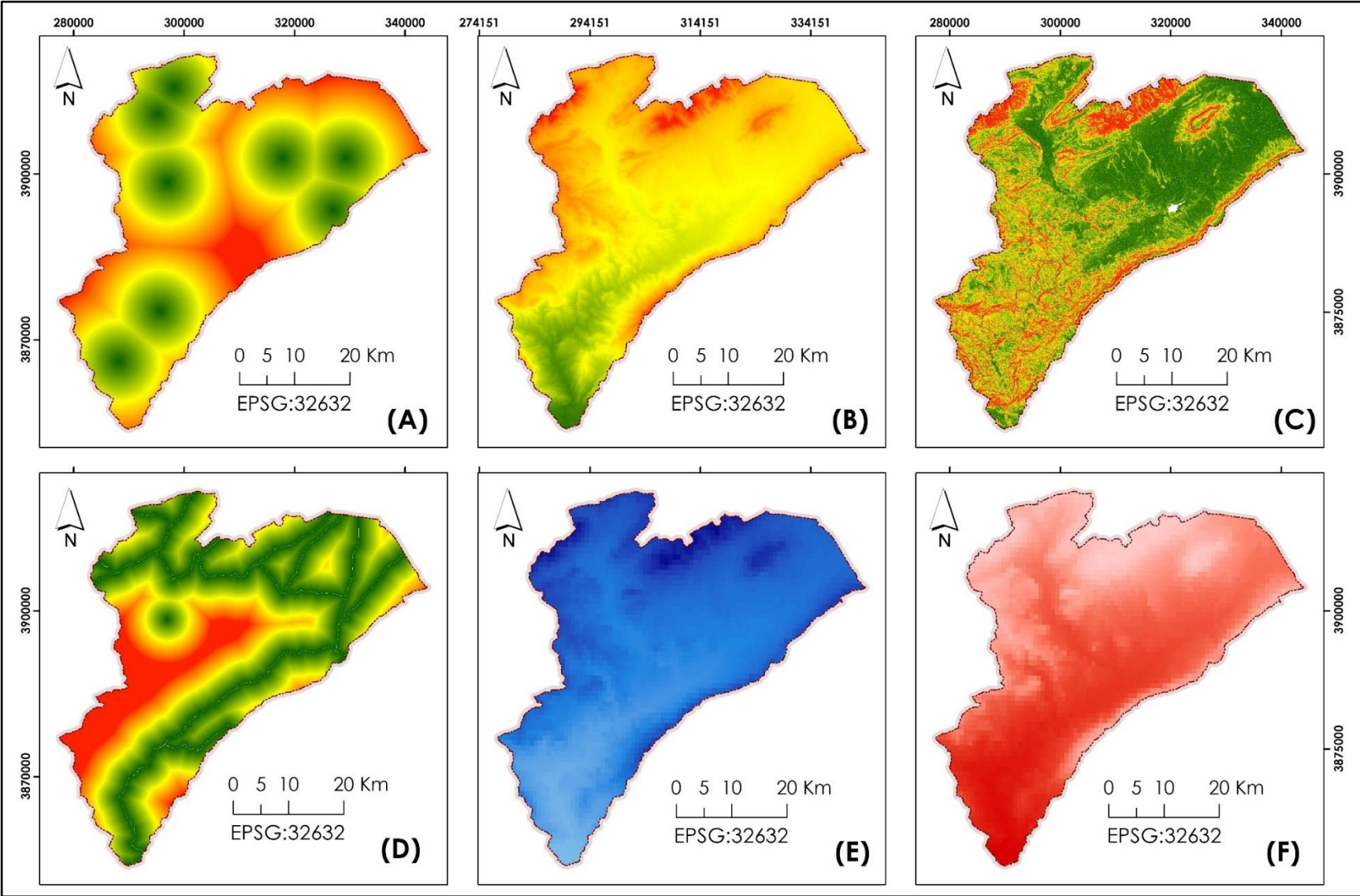


Figure 58:Exemples des facteurs déterminants

A=Agglomération B=MNT C=Pente D=Routes

2. Rapport entre les facteurs et la dynamique spatiale sur le SBV 0618 :

2.1. La classe urbaine (Agglomération ou Unité Urbaine) :

Trois critères que nous les avons fixés pour la classe urbaine, ces critères sont principalement les facteurs qui orientent la dynamique des unités urbaines.

D'autres critères pour rentrer en considération à savoir les ressources hydriques (de surface ou des sous-terraines), la sécurité, la fertilité des terres, la tribu.

2.1.1. La Pente :

Ce facteur est déterminant pour l'urbanisation qui exige des pentes faibles pour une potentialité élevée et la pente élevée expose une contrainte à la construction en diminuant l'aptitude de l'étalement urbain. La digitalisation des courbes de niveaux ou l'acquisition depuis le modèle numérique de terrain (MNT) nous permettras d'approcher le relief et les pentes de notre zone d'étude.

Le modèle MLP a comme puissance d'éliminer systématiquement les zones instables ou a pente défavorable à l'urbanisation en se basant sur l'historique du relief des anciens centres urbaines déjà installée et de leurs caractéristiques planimétriques.

2.1.2. Les Routes :

Les routes sont la principale artère qui alimente les villes et contribue à leur croissance économique grâce aux échanges commerciaux. Elles constituent un facteur relativement corrélé aux changements spatiaux et un facteur très déterminant pour l'attractivité des unités urbaines.

Aujourd'hui c'est l'accessibilité qui détermine les choix résidentiels, d'implantation industrielle ou commerciale. On passe alors d'un ancrage dans la fixité à un ancrage dans la fluidité. C'est en forme des tampons que les zones résidentiel ou d'activité se concentre sur chaque côté des axes routiers.

2.1.3. Les centres Urbains :

Les agglomérations déjà existantes sont aussi un facteur principal déterminant la dynamique des espaces futures urbanisés, c'est généralement au tour d'un noyau urbain que les nouvelles unités vont s'installé, une carte est réalisée des contours des agglomérations de Oued El Arabe à l'aide de l'outil Cost intégré sur TerrSet.

2.2. Les Classes Végétation (Steppe / Forêt /Agriculture) :

2.2.1. Les Routes :

Les infrastructures routières, obligatoires pour soutenir le déplacement croissant d'automobiles toujours plus nombreuses, apparaissent en effet traumatisantes pour certains écosystèmes : une route tracée en ligne droite dans un milieu naturel, fait ses effets sur la faune et sur la flore ; au temps qu'elle présente des aspects positifs comme la fluidité de l'accès aux chemins naturels, nous

constatons en parallèle qu'elle contribue à la dégradation de la flore à savoir la coupe d'arbres à proximité des routes, le surpâturage sur des parcours steppiques. Sur le côté de la faune, les routes avec ses différents types constituent une barrière pour la faune qui l'occupe ; difficile à traverser, elle équivaut à un enclos pour certaines espèces qui, dans certains cas, sont recluses dans des espaces dont l'étendue est inférieure à la taille critique permettant leur survie.

Le processus de fragmentation se traduit par une dégradation progressive des unités écologiques « naturelles » et leur découpage en unités de petite taille. Elle sépare les unités fonctionnelles de l'habitat d'une espèce et isole les populations. Les axes routiers représentent de véritables obstacles souvent infranchissables. Nous concluons donc que l'extension et l'étalement urbain est profondément liée à l'existence de la voirie d'où les zones proches à des réseaux routiers ont une aptitude élevée pour la construction.

2.2.2. Le climat :

Le climat est un facteur où se croisent la dynamique spatiale de plusieurs unités d'occupation du sol dont chacune a ses exigences et besoins climatiques pour se développer et se propager, la précipitations exprimé en millimètre par année, l'oscillation thermique exprimé sur deux ordres annuelles températures maximales (T. Max), minimales (T. min), et l'étage bioclimatique exprime sous une carte thématique des étages bioclimatique de la région de Oued El Arabe.

2.2.3. La pente :

Une différence remarquable de l'influence de facteur pente sur la dynamique de ces trois thème, l'aptitude de l'agriculture n'est pas vraiment liée à ce critère, sauf qu'au type cultivé, nous repérons la céréaliculture principalement dans les champs à faible pente sur les Daya (épandage ou dépression) ou s'accumulent la plus grande partie des eaux ruisselées et alluviales, En outre les cultures maraichères et la culture des arbres se jettent ordinairement sur les deux bords des oueds.

2.2.4. Les centres urbains :

La dynamique de tous les types de végétation est positivement et fortement corrélé avec la variable des centres urbain, une forte fragmentation du bois et de l'environnement steppique est remarquable avec parfois même une disparition totale sur nœuds limitrophe connectives l'axe urbain au axes forêt et Steppe ou matorral.

Une lecture rapide sur les résultats que nous les avons remportées dans le chapitre « suivie de l'évolution spatiotemporelle du SBV0618 » nous a réfléchis l'évidence de phénomène d'urbanisation des sites, par la progression des surfaces urbanisées (bâti et voirie) au détriment des surfaces en herbe et des cultures. Elle met en évidence que les surfaces en herbe demeurent les plus touchées par le phénomène d'urbanisation, même que la forêt et la steppe demeurent stables ou avec

une progression plus au moins remarquable mais elles perdent des étendues importantes au détriment de l'extension urbaine.

2.3. Classe d'occupation Sol nu :

La classe sol nu est la classe la plus fortement fragmentée est dégradée sur le SBV 0618, donc il est primaire de fixer les facteurs principaux des pertes enregistrées sur ses surfaces. Trois types de facteurs que nous les avons conduits pour comprendre les lieux aptes ou moins aptes à se transformer de ou vers la classe sol nu à savoir le Climat, les agglomérations, et les voiries.

2.4. Classe Eau :

La détermination des facteurs de la classe Eau se montre la plus simple, seulement trois critères qui orientent l'aptitude qu'un sol nu pourra se transformer ou non en classe d'eau, c'est la pente, la précipitation et la température maximale.

3. Modélisation Des Cartes D'aptitudes :

Les cartes d'aptitude sont la clé de la modélisation, elle nous permet de concevoir les aptitudes pour chaque pixel dans la carte, le résultat est les surfaces de potentielles de transition de chaque thématique, c'est-à-dire l'aptitude de chaque pixel pour ce transformé dans le futur en d'autre thème ou de garder son original thème. Ces cartes vont être croisées par la suite avec le résultat de la classification et la matrice de transition entre T_0 et T_1 .

L'élaboration des cartes d'aptitude passe par plusieurs étapes comme elle nécessite l'introduction de plusieurs Inputs, la donnée nécessaire est la série des facteurs préalablement pointés (Figure59). La diversité des unités des facteurs nous mène à les standardiser sous une seule unité.

La logique floue (Fuzzy logique) est conçue pour résoudre les problèmes de décision dans des conditions très incertaines, cette théorie appelée aussi théorie des ensembles floue est en effet un pas vers un assemblage entre l'exactitude des mathématiques classiques et la subtile incertitude du réel, elle nous a permis de manier des réalités dont la connaissance est imprécise passant de la logique booléenne du « oui »/« non » ou « vrai »/« faux » à la théorie des sous-ensembles flous du 0 à 1 au du 0 à 255 selon l'axiomatique choisie.

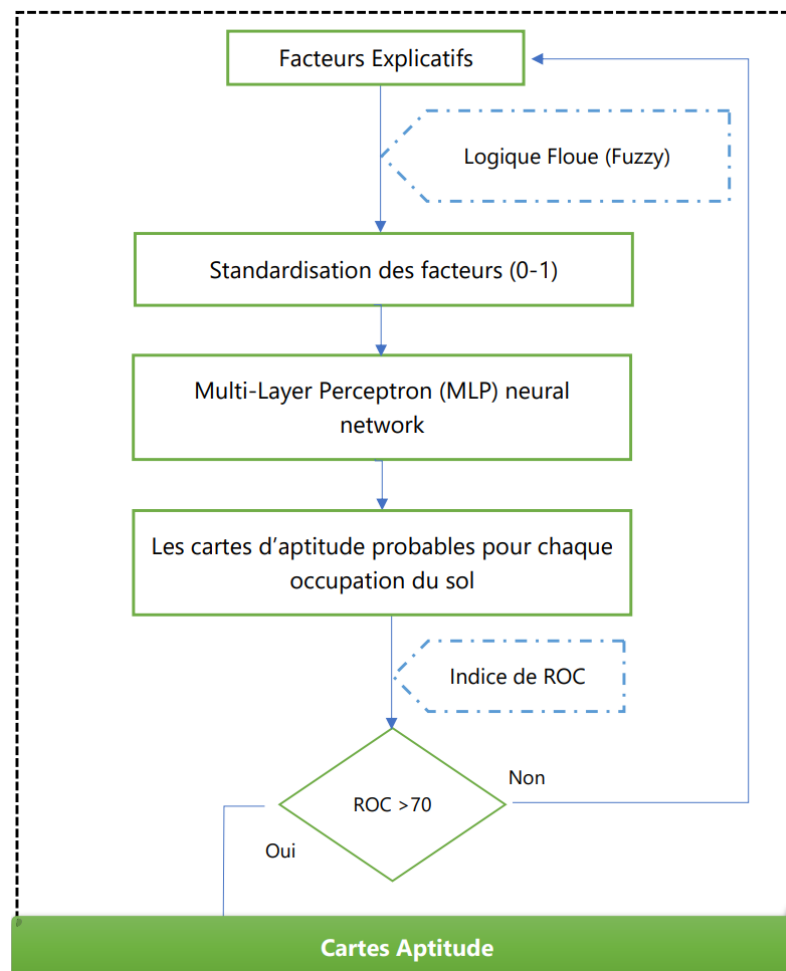


Figure 59:Elaboration des cartes d'aptitudes

Nombreux types de réseaux neuronaux existent pour l'édition des cartes d'aptitudes. Pour le cas de cette œuvre, notre attention se porte sur le perceptron multicouche (ou multi-layer feed-forward – « MLP ») étant donné que l'une des architectures les plus commises pour la prospection des dynamiques d'occupations et d'utilisations du sol (147).

Pourquoi réalise-t-on des cartes d'aptitudes ?

Les cartes d'aptitudes sont les approches préliminaires de mise en valeur de chaque classe (thème) qui seront par la suite l'assiette utilisée pour des œuvres terrain telle que le choix des terrains pour des exploitation immanent d'agriculture, urbain, infrastructures hydraulique..., en tenant compte de leurs potentiels envers ce type d'aménagement sans la nécessité de grande étude et recherche. En termes équivalent ces cartes servent comme une couche de base pour prédire le futurible d'un espace donné à moyen ou à long terme en les croisant avec la carte d'occupation du sol.

3.1. Intégration des facteurs de changement :

Après avoir cartographié et analysé l'occupation du sol dans un environnement et identifier les neuf facteurs principaux orientons notre territoire, il est temps de les intégrer sur le module Land Change Modeler sous TerrSet et lancé le MLP.

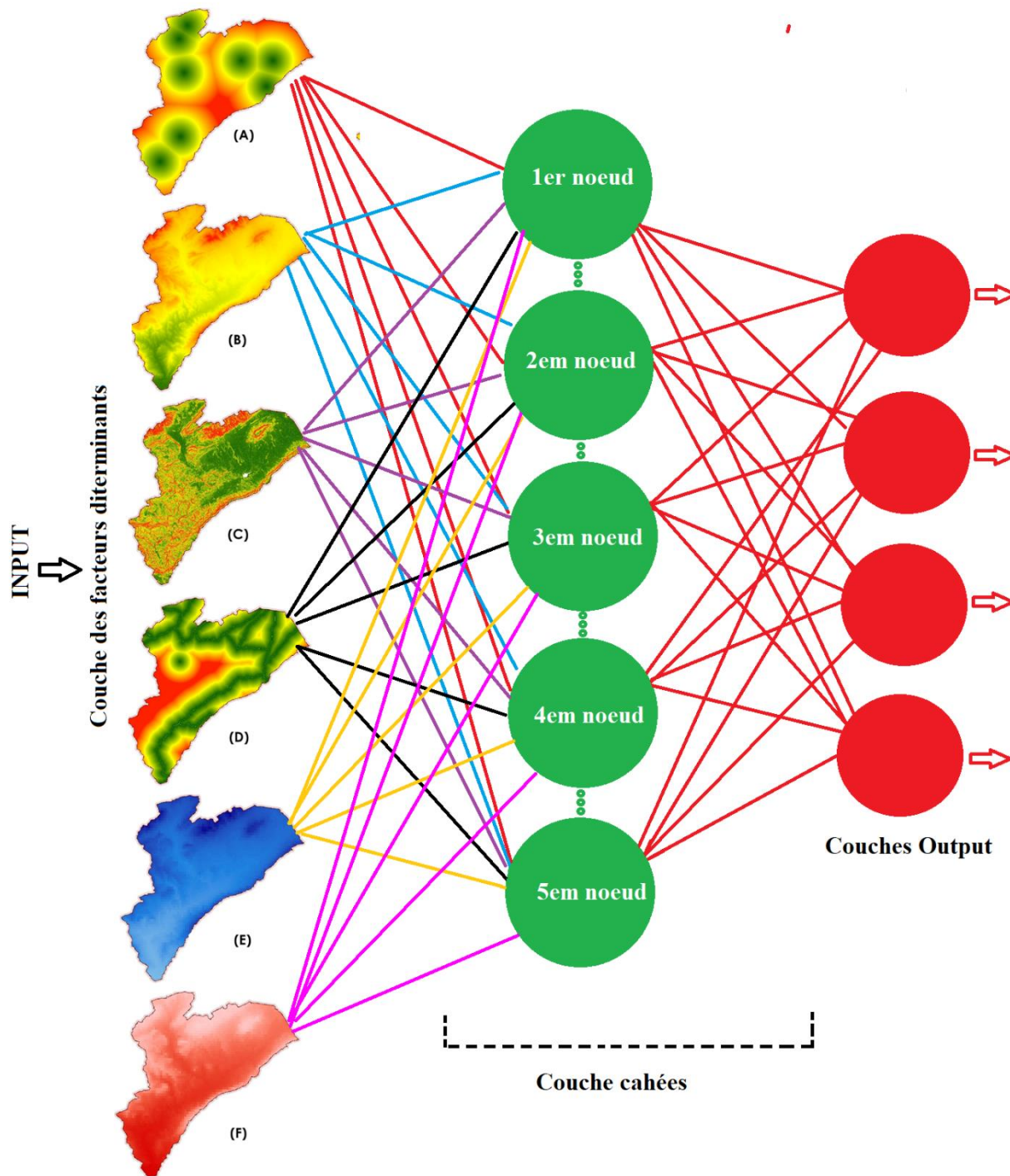


Figure 60: Etapes d'élaboration des cartes d'aptitudes par l'algorithme MLP

Source : Travail Personnel

3.2. Exécution du perceptron multicouche :

La Figure 61 est une capture d'écran d'interface de la phase de calcul du potentiel de transition par la MLP, comme est claire à le voir, l'outil « Transition Potentiel » intégré sous TerrSet est très maniable et simple, il nous offre la possibilité da calculé et même de cartographie le potentiel de 30 transitions entre les six classes selon le besoin ou le problématique traitée.

Le panneau Structure du sous-modèle de transition fournit un tableau permettant de spécifier et de décrire les variables de pilote pour un sous-modèle spécifique. Il est conçu pour l'intégration des 9 facteurs dont nous les avons choisis sous forme de couche Raster (humidité du sol - Agglomération - T_{max} - T_{min} - Précipitations- Pente - Route- étage bioclimatique – Altitude).

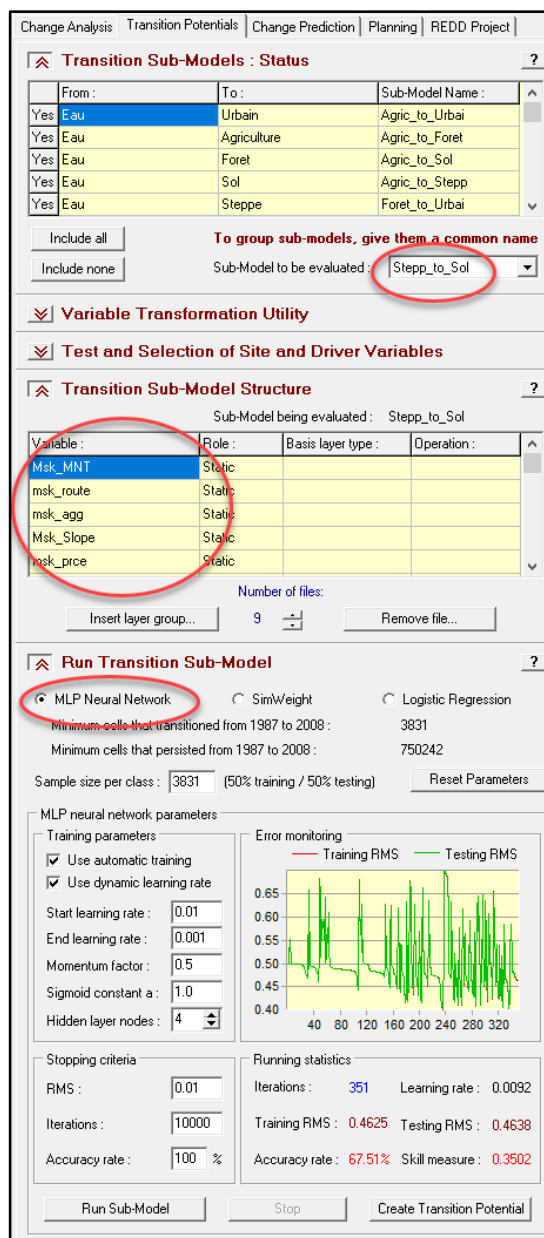


Figure 61: Calcul de potentiel de transition par MLP sous LCM (TerrSet)

La faite d'entrer les variables du pilote à évaluer dans la grille nous indiquons si chaque variable est statique ou dynamique, pour les variables dynamiques nous indiquons si le type de couche de base est une catégorie de couverture terrestre (comme la proximité de la forêt), une catégorie de routes (comme la proximité de routes secondaires) ou autre (macro) et si le type de couche de base est une catégorie d'occupation des sols ou de routes, nous obtenons une autre boîte de dialogue qui s'ouvre dans laquelle nous spécifions la catégorie d'occupation des sols ou les catégories de routes à partir desquelles la distance doit être calculée à l'étape de prédiction des changements. Une seule catégorie d'occupation des sols peut être spécifiée comme base de calcul d'une relation dynamique de distance d'occupation des sols. La liste de la couverture terrestre est tirée de l'image d'entrée de l'occupation du sol. L'option macro laisse ouverte un ensemble infini de possibilités car elle utilisera un fichier macro IDRISI

Le panneau Exécuter est l'endroit où la modélisation réelle des sous-modèles de transition est implémentée.

Trois méthodologies sont fournies pour la modélisation : un Perceptron multicouche (MLP), un apprentissage automatique basé sur des instances pondérées par similitude (SimWeight) et une régression logistique. En général, les procédures Multi-Layer Perceptron et SimWeight fonctionnent le mieux dans la modélisation des transitions.

L'option MLP peut exécuter plusieurs transitions, jusqu'à 9, par sous-modèle. Mais SimWeight et la régression logistique ne peuvent exécuter qu'une seule transition par sous-modèle.

Les panneaux Transition "Sub-Models : Status et Transition Sub-Model Structure doivent être remplis avant d'exécuter le modèle, c'est-à-dire que spécifier un sous-modèle et ses variables d'environnement associées. Pour cela nous avons tracé les étapes suivantes :

- Ouvrez le panneau Exécuter le sous-modèle de transition dans l'onglet Potentiels de transition.
- Sélectionnez l'option de réseau neuronal MLP pour calculer les potentiels de transition.
- Choisissez une taille d'échantillon :

Le MLP requiert des exemples de pixels qui ont traversé chacune des transitions modélisées entre les deux dates d'information sur l'occupation du sol. Il a également besoin d'exemples de toutes les classes de persistance - des pixels qui étaient éligibles pour passer par l'une des transitions modélisées, mais qui ne l'ont pas fait. Idéalement, un nombre égal de pixels devrait être dans chacun de ces échantillons. MLP indiquera le nombre de pixels qui sont passés par la plus petite transition modélisée ainsi que le nombre minimum qui ont persisté. Par défaut, la taille de l'échantillon est définie pour être égale au plus petit nombre de pixels qui sont passés d'une catégorie à une autre,

sauf si ce nombre dépasse 10 000, auquel cas il en fait 10 000 (car c'est généralement plus que suffisant).

Le MLP utilisera autant d'échantillons que disponibles jusqu'à la taille d'échantillon suggérée. En règle générale, nous avons fixé la taille de l'échantillon au-dessus de la classe de transition minimale car cela conduit à une procédure d'entraînement déséquilibrée et la compétence mesurée peut être affectée. Le MLP utilisera la moitié de l'échantillon spécifié pour la formation et l'autre moitié pour les tests. Pour cette raison, les tailles d'échantillons impairs sont toujours modifiées en interne par le nombre pair inférieur suivant.

- Définissez ou réinitialisez les paramètres :

L'implémentation de MLP sous Land Change Modeler est prédéfinie avec des paramètres qui devraient bien fonctionner dans la plupart des cas. Dans cette œuvre nous avons remis les valeurs par default en cliquant sur le bouton Réinitialiser les paramètres.

Reste à savoir que les deux paramètres les plus critiques sont le nombre de nœuds de la couche cachée (Figure 61) et le taux d'apprentissage. MLP utilise un algorithme pour définir le nombre de nœuds de couche masqués. Avec les paramètres par défaut, MLP ajustera automatiquement son propre taux d'apprentissage. Les graphiques RMS de test et d'entraînement descendront en douceur et deviendront asymptotiques par rapport à l'axe X. Ils seront également idéalement presque coïncidents.

- Cliquez sur le bouton Exécuter le sous-modèle :

Lorsque vous cliquez sur le bouton Exécuter le sous-modèle, des échantillons sont extraits des deux cartes de couverture terrestre des zones qui ont subi les transitions modélisées ainsi que des zones qui étaient éligibles au changement mais ne l'ont pas fait.

Une fois le processus de formation terminé, MLP produira un document contenant diverses statistiques sur le processus d'apprentissage (Figure 62). Cela comprend des informations très importantes sur le pouvoir explicatif des variables indépendantes

Le MLP fournit une ventilation de la compétence en fonction des transitions modélisées et des persistances impliquées.

Land Change Modeler MLP Model Results

1. General Model Information

1) Input Files

Independent variable 1	Msk_MNT
Independent variable 2	msk_route
Independent variable 3	msk_agg
Independent variable 4	Msk_Slope
Independent variable 5	msk_price
Independent variable 6	msk_tmax
Independent variable 7	msk_tmin
Training site file	LCM_1987_2008_Train_Sol_to_Agric

2. Weights Information of Neurons across Layers

1) Weights between Input Layer Neurons and Hidden Layer Neurons

Neuron	h-Neuron 1	h-Neuron 2	h-Neuron 3	h-Neuron 4
i-Neuron 1	-0.3093	-2.0144	-1.3830	2.7059
i-Neuron 2	0.0170	-1.2848	-0.7367	1.6891
i-Neuron 3	-0.0937	-3.7196	-2.5131	5.2469
i-Neuron 4	-0.1204	-0.4215	-0.3484	0.6266
i-Neuron 5	0.0542	-1.1143	-0.8241	1.8125
i-Neuron 6	-0.0296	1.2806	0.9636	-1.7358
i-Neuron 7	0.2312	2.3102	1.6370	-3.0894

2) Weights between Hidden Layer Neurons and Output Layer Neurons

Neuron	o-Neuron 1	o-Neuron 2
h-Neuron 1	0.3173	-0.0689
h-Neuron 2	4.0655	-4.0580
h-Neuron 3	2.6001	-2.7611
h-Neuron 4	-6.0005	5.9219

3. Sensitivity of Model to Forcing Independent Variables to be Constant

1) Forcing a Single Independent Variable to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure	Influence order
With all variables	92.96	0.8592	N/A
Var. 1 constant	90.14	0.8028	1 (most influential)
Var. 2 constant	94.37	0.8873	7 (least influential)
Var. 3 constant	92.96	0.8592	6
Var. 4 constant	92.96	0.8592	5
Var. 5 constant	92.96	0.8592	4
Var. 6 constant	92.96	0.8592	3
Var. 7 constant	90.14	0.8028	2

2) Parameters and Performance

Input layer neurons	7
Hidden layer neurons	4
Output layer neurons	2
Requested samples per class	70
Final learning rate	0.0010
Momentum factor	0.5
Signoid constant	1
Acceptable RMS	0.01
Iterations	10000
Training RMS	0.1225
Testing RMS	0.2182
Accuracy rate	92.96%
Skill measure	0.8592

Figure 62: Exemple des résultats obtenus après l'exécution du modèle MLP sous LCM (Cas de transition de la forêt vers l'agriculture)

3.3. Cartes du potentiel de Transition (Cartes d'aptitudes) :

L'étape d'allocation est un processus de décision qui sélectionne parmi les cartes intermédiaires soft classifiées (cartes de potentiel de transition, cartes d'aptitude, etc.) les pixels qui sont les plus susceptibles de changer d'une catégorie à une autre ou les pixels les plus susceptibles être une catégorie. Ces pixels sont probablement ceux qui présentent le plus grand potentiel de changement ou la plus haute adéquation pour la catégorie LUC « destination ». L'allocation de ces changements dans l'espace donne finalement lieu à des cartes classifiées, et, plus généralement, aux cartes classées en dur. Les deux sont liés aux quantités estimées dans l'étape d'étalonnage.

Dans notre travail, nous nous référerons exclusivement aux cartes de sortie matérielle. Cette procédure peut varier considérablement en fonction de plusieurs paramètres. Par exemple, la modélisation des cartes binaires, la procédure la plus élémentaire, est basée sur une simple coupure de la carte du potentiel de changement. La valeur de coupure peut être déterminée lorsque la quantité de chaque utilisation des terres à attribuer est atteinte. Valeurs sur la valeur de coupure est ensuite affectée à la classe souhaitée.

Pour prédire les changements, chaque transition d'utilisation des terres doit être modélisée empiriquement dans des cartes appelées « cartes de potentiel de transition ».

Les cartes de potentiel de transition sont essentiellement des cartes qui éclatent le potentiel pour chaque transition LCM. Une collection de cartes de potentiel de transition est organisée dans un sous-modèle de transition qui a les mêmes variables de pilote sous-jacentes. Un sous-modèle de transition peut être constitué d'une seule transition de couverture terrestre ou d'un groupe de transitions dont on pense qu'elles ont les mêmes variables de pilote sous-jacentes. Ces variables de pilote sont utilisées pour modéliser le processus de changement historique. La transition des cartes de potentiel est obtenue par Perceptron multicouche (MLP) dans LCM.

Nous avons choisi de discuter quatre classes que nous les avons jugés principales dans le sens d'orientation spatiale (Agriculture- Forêt – Urbain).

- **La classe Agriculture :**

La palette a couleur est de 0 à 1, elle se dégrade du pixel le moins apte en couleur noir (valeur 0) au pixel le plus apte en couleur rouge (valeur 1). Le cas de l'agriculture comme exemple ; le rouge sur les quatre cartes exemple est distribuer les sols nus à potentiel hydriques (deux bords d'Oued, les épandages, les dépressions et les piémonts), en contrepartie elle est en noire fonce sur les sommets de montagne et au centre des forêts (Figure 63).

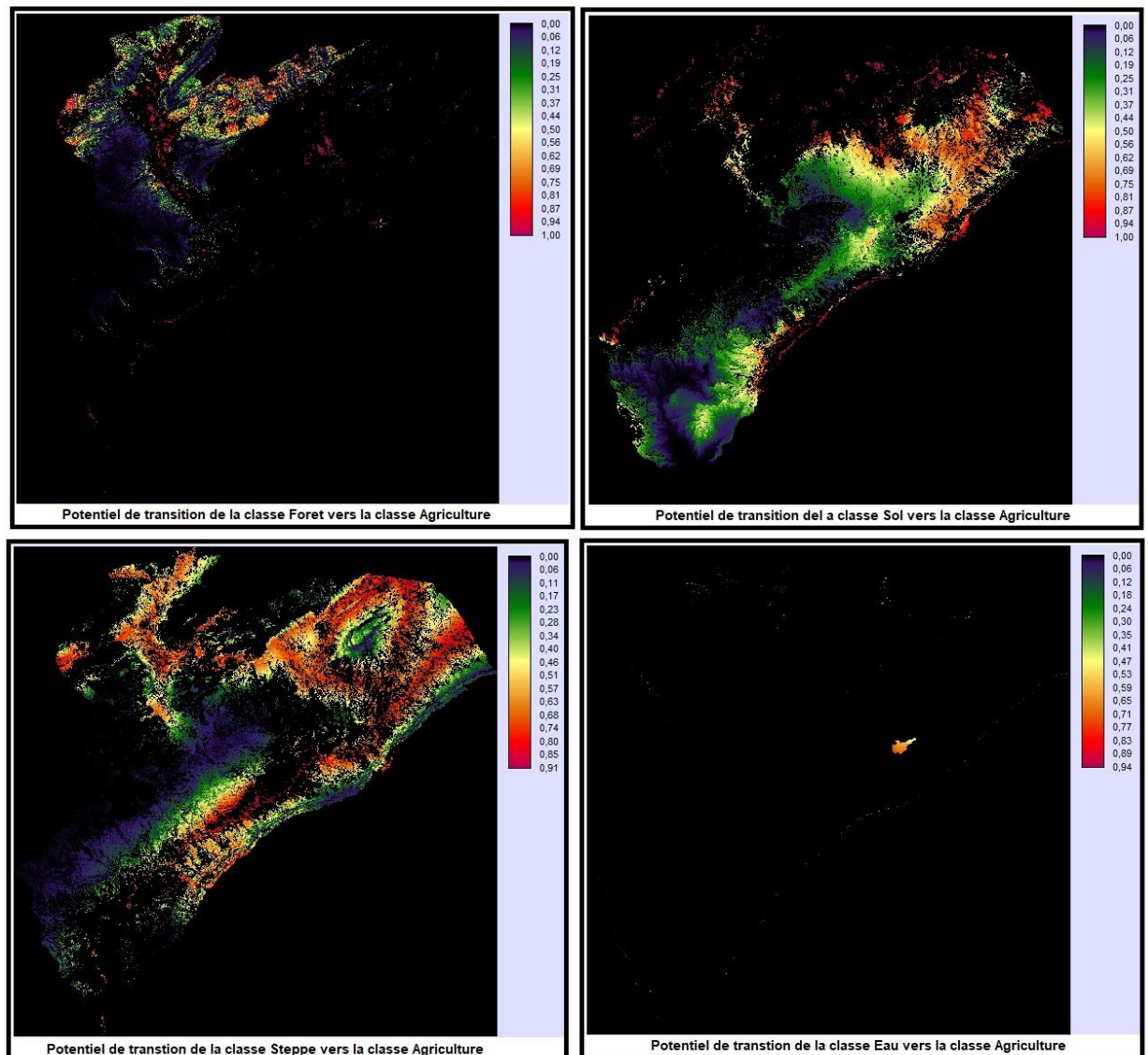


Figure 63: Carte d'aptitude de l'agriculture

● **La Classe Forêt :**

La présente figure (64) nous extrait les terrain aptes ou moins aptes (potentiellement) à se transformés en forêt dans le futur, si nous croisant le résultat des quatre cartes nous pouvons voir que la forêt a potentiels sur les sols nus à vocation de futur reboisement, ça veut dire les terres proches de la forêt et qu'il répondrait aux critères de reboisement t'elles que la pente, climat et ressources en eau.

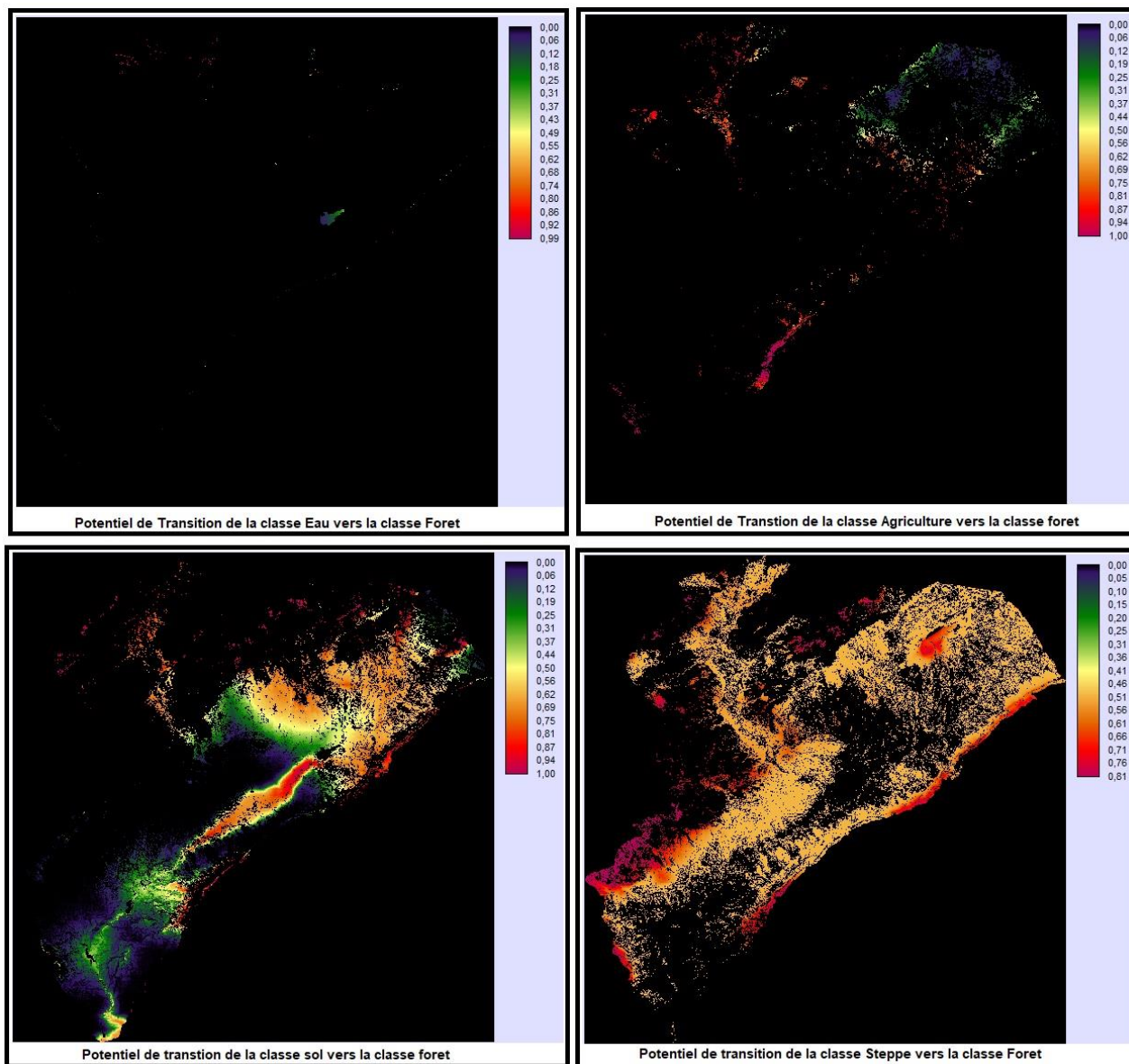


Figure 64: Carte d'aptitude de la forêt

- **La Classe Urbaine :**

La classe urbaine a son s'étale au fils du temps et au détriment de toutes les autres classes sans perdre aucun pixel, c'est pour cela que nous l'avons choisi pour la discussion, en outre et depuis la lecture de ces quatre cartes, nous trouvons très rarement une aptitude pour l'implantation d'une unité urbaine dans un endroit isolé loin d'une route ou d'un noyau urbain déjà existant,

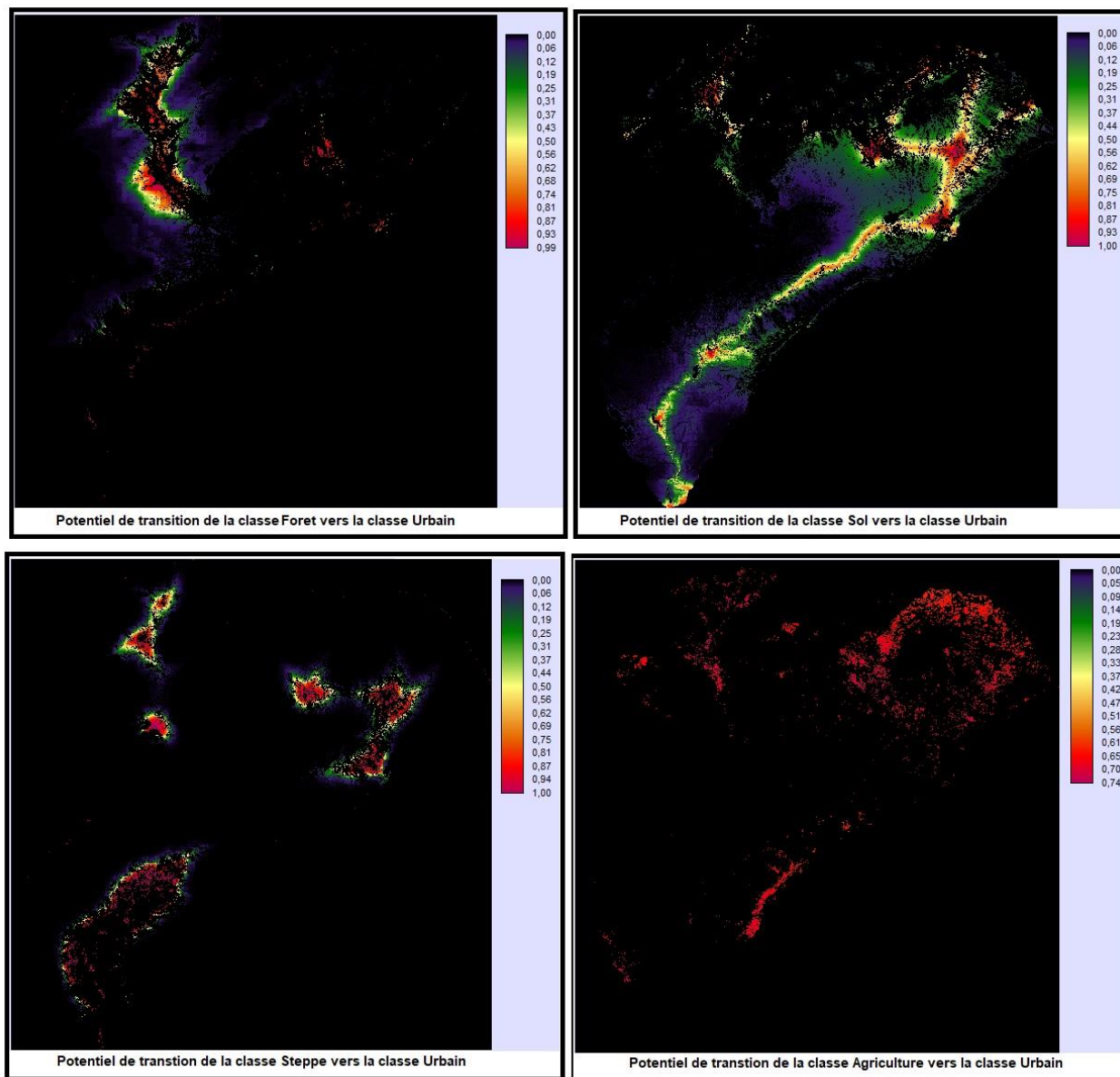


Figure 65:: Carte d'aptitude de la Urbain

CHAPITRE VI

**« LA GEOPROSPECTIVE TERRITORIALE ;
UNE DEMARCHE SYNTHETIQUE POUR
ANTICIPER LE DEVENIR DU TERRITOIRE »**

CHAPITRE VI : La géoprospective

ale ; une démarche synthétique pour anticiper le devenir du territoire

1. Modélisation de l'occupation 2019 et validation des modèles :

La modélisation de la carte d'occupation de 2019 est nécessaire pour la validation par la carte 2019 classifié de la même date. Afin de modéliser la carte (2019) nous avons utilisé le CA-MARKOV qu'est une procédure de prédiction de l'occupation et de l'usage des sols, elle combine la chaîne (les champs) de Markov pour la quantification, évaluation multicritère (EMC) filtrage et pour le choix de site et de localité, et aussi de l'automate cellulaire(46).

Les cartes d'aptitudes sont combinées aux cartes de probabilités de transition dérivant du calcul des chaînes de Markov (les deux cartes d'occupation 1987 et 2008), le produit est une carte 2019 modélisée.

La procédure détermine exactement la quantité de terrain qui devrait passer de la date ultérieure à la date de prédiction (2019) en se basant sur une projection des potentiels de transition dans le futur et crée un fichier de probabilités de transition. (Figure 66).

La comparaison des deux cartes permet d'évaluer le modèle que nous nous somme baser pour la simulation particulièrement aux allocations spatiales des changements de l'occupation des sols, et de déterminer son aptitude à répondre au scénario d'évolution tendanciels 2030 et 2040.

Les résultats obtenus sont montrés en forme d'une matrice de probabilités de changement de chaque classe d'occupation du sol ainsi que le nombre de pixels affectés entre la dernière date d'apprentissage et la date prédite.

The screenshot shows the 'Change Demand Modeling' software interface. It has a top navigation bar with tabs: 'Change Analysis', 'Transition Potentials', 'Change Prediction', 'Planning', and 'REDD Project'. The main window is titled 'Change Demand Modeling' and contains several sections:

- Change Demand Modeling:** Includes radio buttons for 'Markov Chain' (selected) and 'External Model'. A 'Prediction Date' field is set to '2019'. There are buttons for 'View / edit matrix' and 'Restore original matrix'. A status message says 'Matrix has been edited'.
- Dynamic Road Development:** Includes two sections for 'Mode of end-point generation' and 'Mode of route generation'. The first section has 'Stochastic highest transition potential' selected, with a 'Threshold' field set to '0'. The second section has 'Minimum gradient route' selected. There is also an option for 'Highest transition potential route'.
- Transitions to be considered for end-point generation:** A table with columns 'From', 'To', and 'Include'. The table contains three rows: 'Eau' to 'Urbain' (Include: Yes), 'Eau' to 'Agriculture' (Include: Yes), and 'Eau' to 'Foret' (Include: Yes). There are 'Include all' and 'Include none' buttons.
- Road growth parameters:** A table with columns 'Road type', 'Road length', 'Road Spacing', and 'Unit'. The table contains two rows: '1' for 'Road length' and '1' for 'Road Spacing', both with 'Km' as the unit. A note says 'Growth parameters represent the growth per dynamic stage'.
- Bottom controls:** A 'Skip factor' field set to '1' and an 'Output Roads Layer' field set to 'roads_predict_2019'.

Figure 66: Modélisation de l'occupation 2019 par la Chaîne de Markov

1.2. Matrice de Transition 1987/2008 :

La matrice de probabilité de transition entre 1987 et 2008 est produite à partir de la chaîne d'analyse Markovienne, elle nous a servi à la modélisation de la carte 2019 prédite ainsi que de vérifier la présence des anomalies.

Nous pouvons voir que la classe Urbaine n'a enregistré aucune perte durant ces 21 ans,

Tableau 16: Matrice de probabilité de transition entre 1987 et 2008

	Urbain	Eau	Agriculture	Foret	Sol nu	Steppe
Urbain	1	0	0	0	0	0
Eau	0.0003	0.8734	0.0049	0.0054	0.067	0.049
Agriculture	0	0	0.5039	0	0.0436	0.4525
Foret	0.0001	0.0008	0.0003	0.9631	0.0027	0.033
Sol nu	0.0004	0.0021	0.0023	0	0.7717	0.2235
Steppe	0.0002	0.0004	0.0621	0.1137	0.0391	0.7845

1.2. Etape de validation et mesure de l'incertitude :

Il s'agit de déterminer la taille de voisinage et le paramètre de pénalisation optimaux en ce sens que ces choix fourniront une prédiction de la carte 2019 la plus proche possible de celle observée. Plus précisément, à l'aide de l'étape précédente. En comparant les cartes prédites pour 2019 avec la carte réelle de 2019, on repère la carte qui possède le plus petit nombre de pixels mal prédits ; la taille de voisinage et le paramètre de pénalisation correspondants seront considérés comme étant optimaux.

La validation est effectuée par l'outil « VALIDATE » elle est évaluée par rapport à une carte de référence qui représente la réalité. Les fichiers de groupe d'images, tels que ceux qui sont générés par des modules tels que BAYCLASS ou BELIEF, peuvent être utilisés à la place d'une seule carte. Le module propose une analyse statistique complète qui répond simultanément à deux questions importantes. Dans quelle mesure une paire de cartes concorde-t-elle en termes de quantité de cellules dans chaque catégorie ? Dans quelle mesure une paire de cartes concorde-t-elle en ce qui concerne l'emplacement des cellules dans chaque catégorie ?

VALIDATE calcule divers indices nous citons le Kappa et les statistiques associées, Les statistiques indiquent dans quelle mesure la carte de comparaison concorde avec la carte de référence. L'analyse sépare l'accord et le désaccord entre les deux images dans les éléments suivants :

- Accord dû au hasard
- Accord en raison de la quantité
- Accord dû à l'emplacement au niveau stratifié
- Accord dû à l'emplacement au niveau de la cellule de la grille

- Désaccord en raison de l'emplacement au niveau de la cellule de la grille
- Désaccord en raison de l'emplacement au niveau stratifié
- Désaccord en raison de la quantité

L'analyse des erreurs fournit des informations utiles sur la logique du modèle et le sous-jacent approches conceptuelles, donnant ainsi au modélisateur une meilleure compréhension du modèle.

L'analyse des erreurs tente de répondre la question « à quel point la prédiction est-elle erronée ? »

Pour ce faire, elle se concentre généralement sur deux composants :

- Erreurs catégoriques ou transitoires

- Erreur d'allocation

Comme il est indiqué sur la figure 67, nous avons achevé les deux première étapes (Apprentissage et l'élaboration des cartes d'aptitudes), l'étape suivante (Modélisation prospective) est le produit final de travail, elle requiert une validation et une vérification des résultats obtenus avant de les employées dans une démarche de prospection a deux échelles à moyen et à long terme (2030 et 2040).

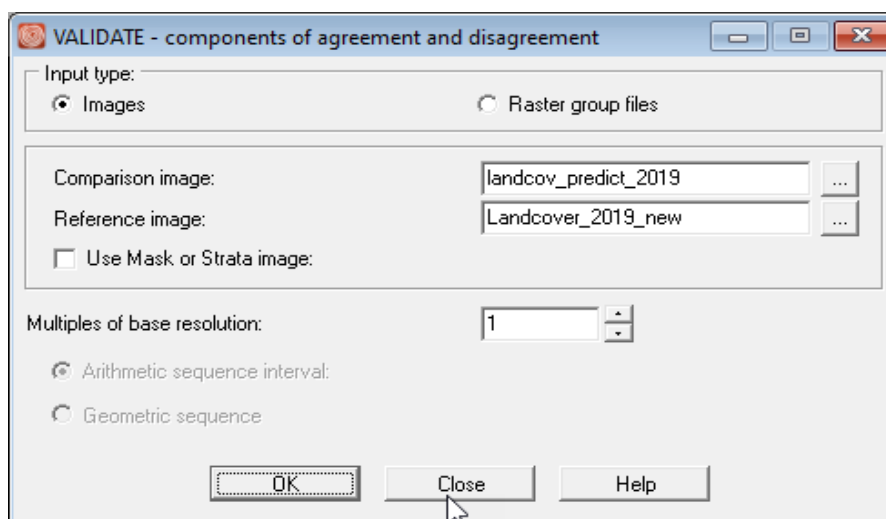


Figure 67: Outil "VALIDATE» pour le calcul d'accord et de désaccord

Number of total runs	:	1
Multi-resolution VALIDATE	:	Categorical Image Comparison
=====		
Comparison image file	:	landcov_predict_2019
Reference image file	:	Landcover_2019_new
Strata/Mask image file	:	N/A
Number of valid strata:	1;	Number of valid categories: 7
//Beginning of run:		1
Resolution scale:		1 x 1
Classification agreement/disagreement According to ability to specify accurately quantity and allocation		
----- Information of Quantity -----		
Information of Allocation	No[n]	Medium[m] Perfect[p]

Perfect[P(x)]	P(n) = 0.5719	P(m) = 0.9831 P(p) = 1.0000
PerfectStratum[K(x)]	K(n) = 0.5719	K(m) = 0.9831 K(p) = 1.0000
MediumGrid[M(x)]	M(n) = 0.4593	M(m) = 0.8524 M(p) = 0.8497
MediumStratum[H(x)]	H(n) = 0.1429	H(m) = 0.3524 H(p) = 0.3515
No[N(x)]	N(n) = 0.1429	N(m) = 0.3524 N(p) = 0.3515

AgreementChance = 0.1429		
AgreementQuantity = 0.2096		
AgreementStrata = 0.0000		
AgreementGridcell = 0.5000		
DisagreeGridcell = 0.1307		
DisagreeStrata = 0.0000		
DisagreeQuantity = 0.0169		
Kno = 0.8278		
Klocation = 0.7928		
KlocationStrata = 0.7928		
Kstandard = 0.7720		
//Ending of run:		1

Figure 68: Résultats de validation de la carte 2019 prédite

1.3. Mesure des erreurs observée et simuler :

Diverses techniques mesurent le désaccord entre le LULC observé et simulé. Alors que les données quantitatives (par exemple, le pourcentage de couvert arboré) nous permettent de mesurer l'ampleur de l'inexactitude, les données catégorielles doivent généralement être transformées en données quantitatives ou ordonnées sur une échelle, mesuré l'ampleur de l'erreur entre les LULC simulées et observées exprimées en catégories. Cependant, les légendes forment un ordre de classement qui reflète la succession spontanée de végétation sol nu à boisé, intensité d'utilisation des terres ou autres critères qui nous permettent de placer les catégories LULC dans une seule échelle ordonnée, avant d'être analysées.

L'erreur de prédiction est mesurée par l'absolu distance de catégorique entre le LULC observé et simulé. Dans de nombreuses situations, nous rencontrons des difficultés à quantifier la distance exacte entre différents LULC sur une échelle ordonnée.

Une approche grossière possible consiste à utiliser des distances entre les catégories originales(148) l'ont fait pour classer LULC par le taux de recouvrement du sol nu au boisé.

En ce qui concerne le modèle que nous l'avons utilisé, il y en existe des techniques de validation intégrées, une tabulation croisée est exposée pour comparer les prévisions concrètes aux données observées (Tableau 17).

Tableau 17:Matrice de contingence entre les changements réels et les changements prédits (CA-Markov)

Taux		Changements réel 2019		
		0	1	Total
Changements prédits 2019	0	0.84	0.04	0.88
	1	0.08	0.04	0.12
	Total	0.92	0.08	1.00

Seuls TerrSet et Dinamica EGO permettent une validation de ce type avec plusieurs résolutions. De leur côté, Dinamica EGO offre une validation par allocation floue.

A la fin nous retournant à la citation de Chermack et coll (149) « Les scénarios étant par définition des visions non réalisées du futur, ils ne peuvent être validées en les opposant à la réalité. Cette citation met en évidence l'importance d'établir des critères appropriés pour la validation et de déclarer que les scénarios doivent être vérifiés pour leur validité afin de garantir qu'elles fournissent une base solide et fiable pour prendre des décisions importantes. Dans la partie en face résumé des critères de validation des scénarios trouvés dans la littérature en sept groupes ; plausibilité, cohérence, et en dernier la pertinence et l'importance et l'exhaustivité.

- **La plausibilité** et cohérence font référence à la capacité des scénarios à être capables de se produire.
- **La cohérence** garantit qu'il n'y a pas d'incohérence ou de contradiction interne intégrée.
- **La pertinence** indique que le scénario doit apporter des informations spécifiques dans le futur qui aident à prendre la décision.

La nouveauté s'applique à la capacité du scénario pour remettre en question la pensée conventionnelle sur l'avenir et l'exactitude de la crédibilité du scénario

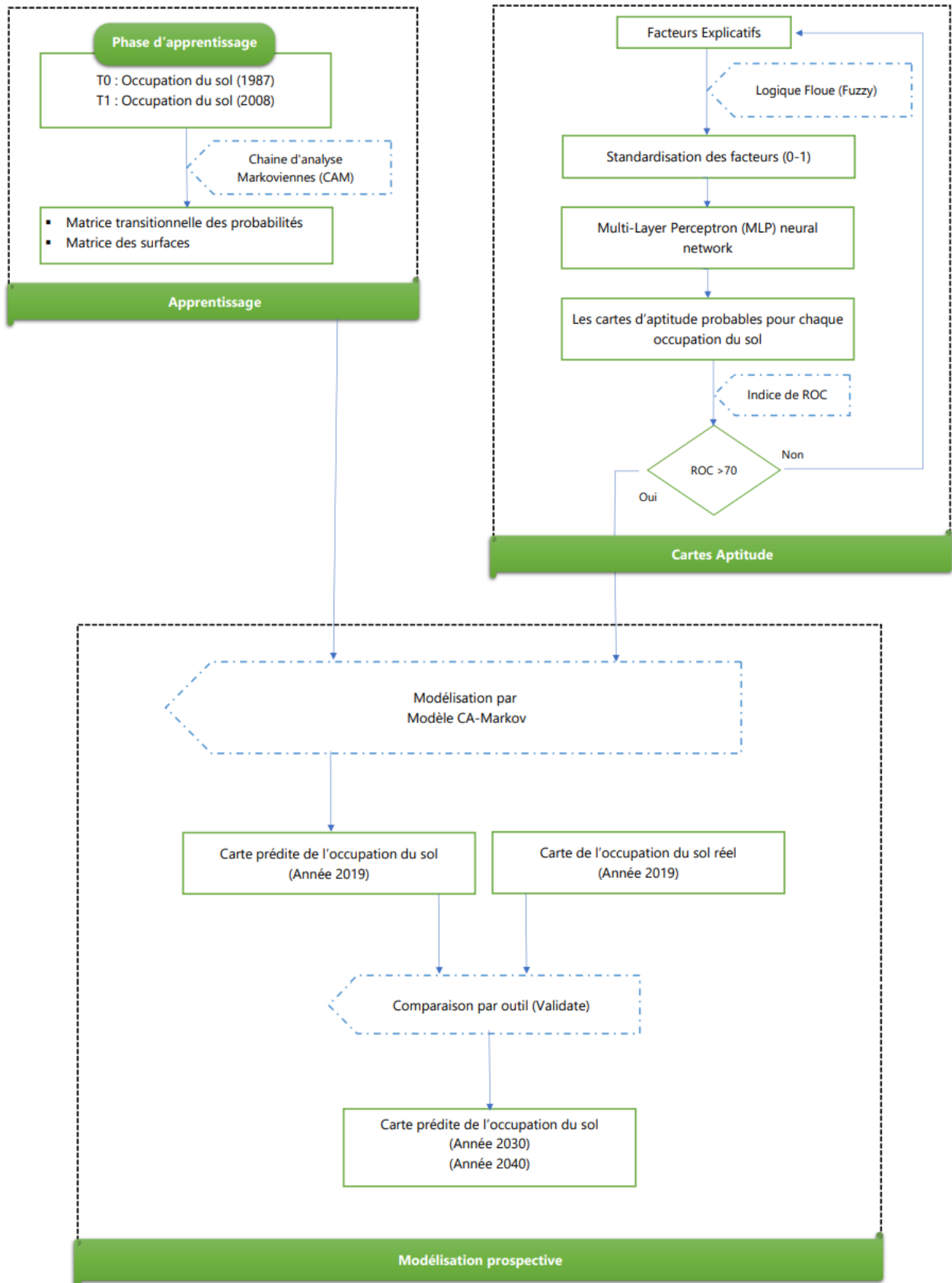


Figure 69: Organigramme Globale de la Modélisation Prospective

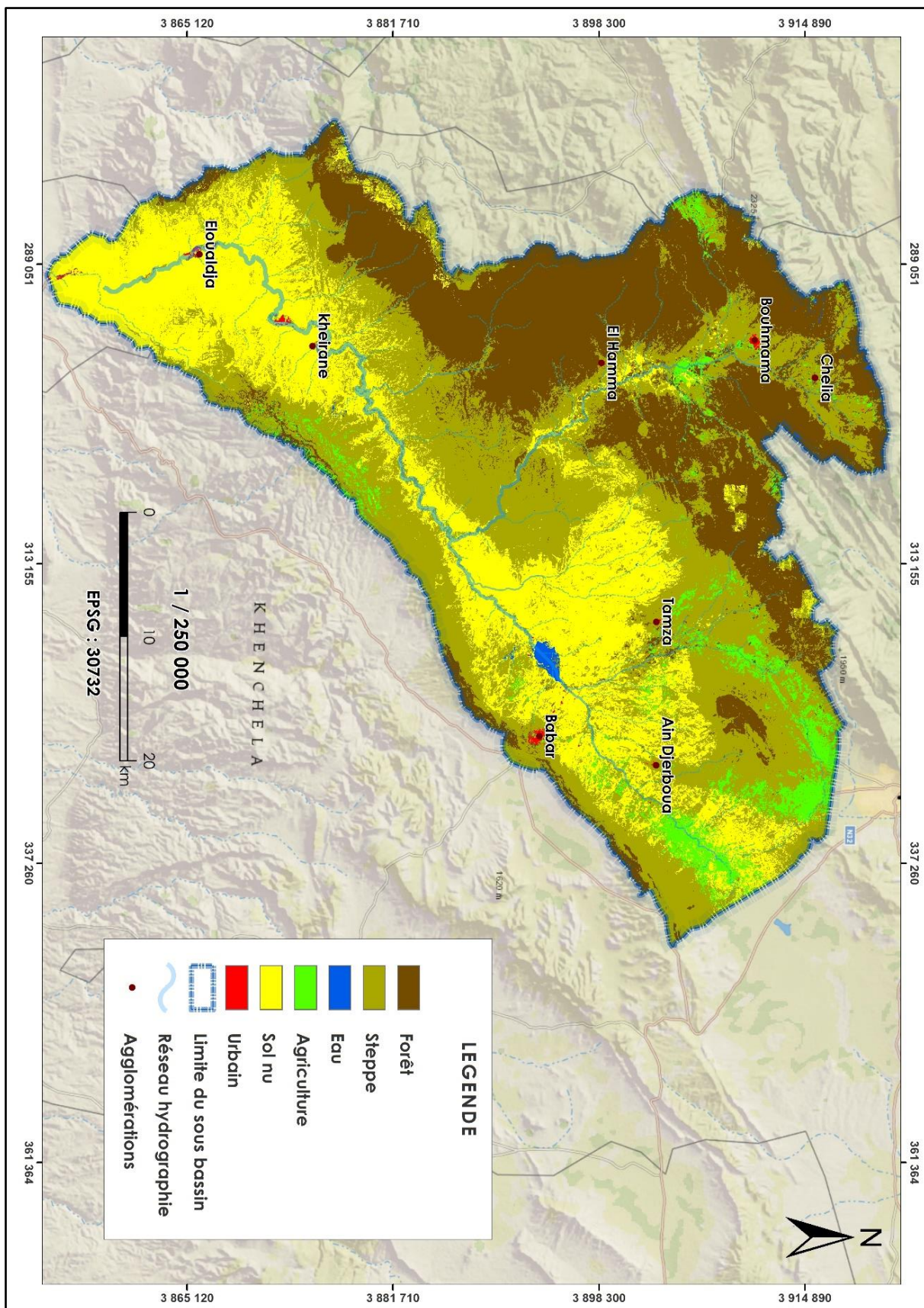


Figure 70/ Figure 70: Carte d'occupation de l'année 2019 prédite par CA-Markov

2. scénario tendanciel du SBV de Oued El Arabe à l'horizon 2030 et 2040 :

Malgré le minime taux d'incertitude existant entre la carte prédite et la carte du réel, mais le modèle est proche à la réalité, toutefois il confirme les tendances d'évolution par la carte 2019 correctement prédite.

Le modèle CA-Markov a été appliqué pour simuler et prédire les futurs changements d'utilisation des terres, nous l'avons utilisé pour la prédiction de la carte 2019, il utilise des procédures d'automates cellulaires en combinaison avec l'analyse de la chaîne de Markov et les routines d'analyse multi critères (MOLA). Le fondement

Le fond de fonctionnement du CA-Markov est simple ; Les cartes d'aptitudes pour chaque classe établissent la convenance inhérente de chaque pixel pour chaque type de d'occupation du sol. Cependant, un filtre de contiguïté réduit les qualités des pixels éloignés des zones existantes de cette classe, donnant ainsi la préférence aux zones appropriées contiguës. Le filtre fait partie intégrante de l'action du composant Automate Cellulaire. Son objectif est de réduire la pondération des aptitudes des pixels éloignés des instances existantes du type de d'occupation considéré.

CA_MARKOV normalise automatiquement le noyau de filtre pour forcer la somme des valeurs à 1 (ainsi les valeurs varient finalement de 0 à 0,0076). Ce filtre est passé sur une image booléenne pour chaque classe à partir de l'image de couverture terrestre actuelle dans chaque itération. Après cela, une valeur de 0,1111 est ajoutée aux résultats filtrés pour produire un ensemble d'images pondérées. Celles-ci sont multipliées par les cartes d'aptitude d'origine pour réduire les aptitudes éloignées des zones existantes de chaque classe. Les résultats sont ensuite étirés vers une plage d'octets (0-255). L'effet net est que les qualités pondérées à la baisse ne dépassent jamais une pondération à la baisse supérieure à 90% de leur valeur d'origine. Cela garantit que des zones appropriées peuvent être trouvées si aucune n'est disponible dans les zones proches.

Maintenant que nous avons eu une brève information du fonctionnement du fond du CA-Markov et que nous l'avons précédemment jugé apte à modéliser, nous n'avons qu'à exécuté la simulation dans le futur loin ou proche selon le besoin.

Afin de mieux adapter et cibler les actions à entreprendre en matière de gestion des espaces montagnards et de leurs ressources naturelles, il est nécessaire d'explorer les changements d'occupation et d'usage du sol futurs à moyen et long terme, raison pour laquelle nous avons choisis deux dates en deux termes différents :

- en terme proche 2030.
- en terme loin 2040

2.1. Scénario de Oued El Arabe en 2030 :

Tableau 18: Gains, Pertes et changement nette subit à l'horizon de 2030

	Pertes Ha	Gains Ha	Changement Nette Ha
Urbain	0	83	83
Eau	-2	46	44
Agriculture	-7157	9133	1975
Foret	-5287	15206	9919
Sol	-17434	5692	-11742
Steppe	-25918	25638	-279

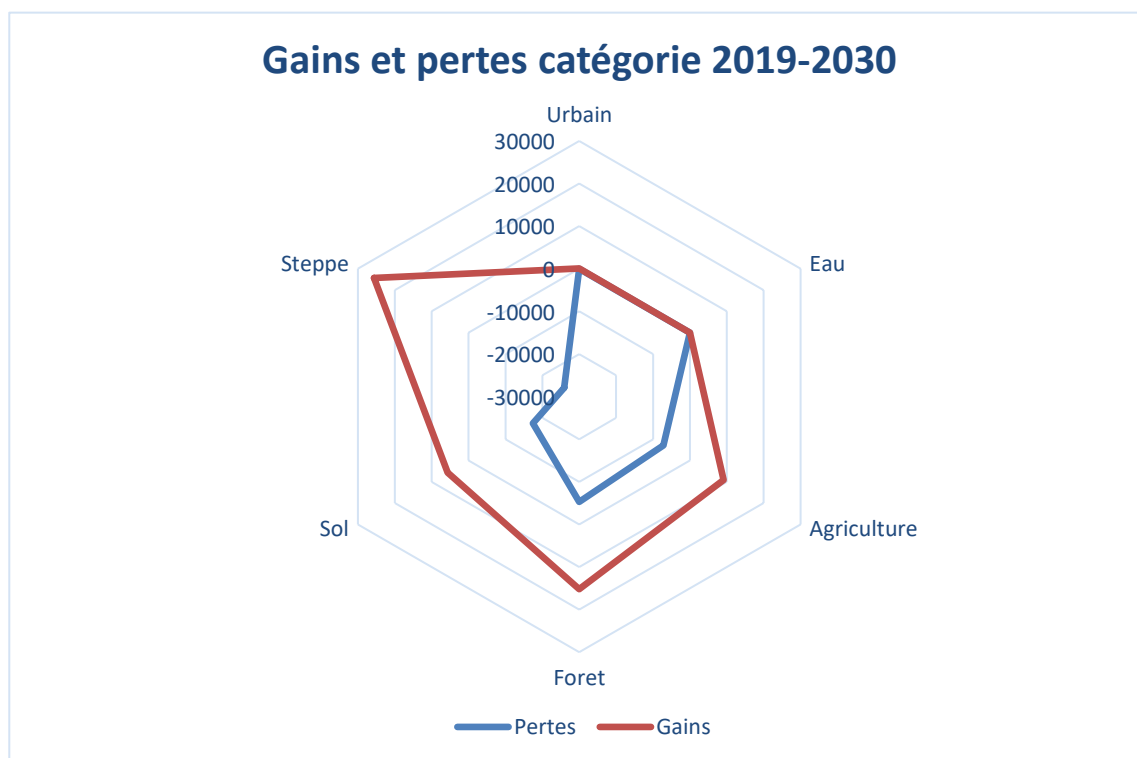


Figure 71 : Gains et Pertes par catégorie entre 2019 et 2030

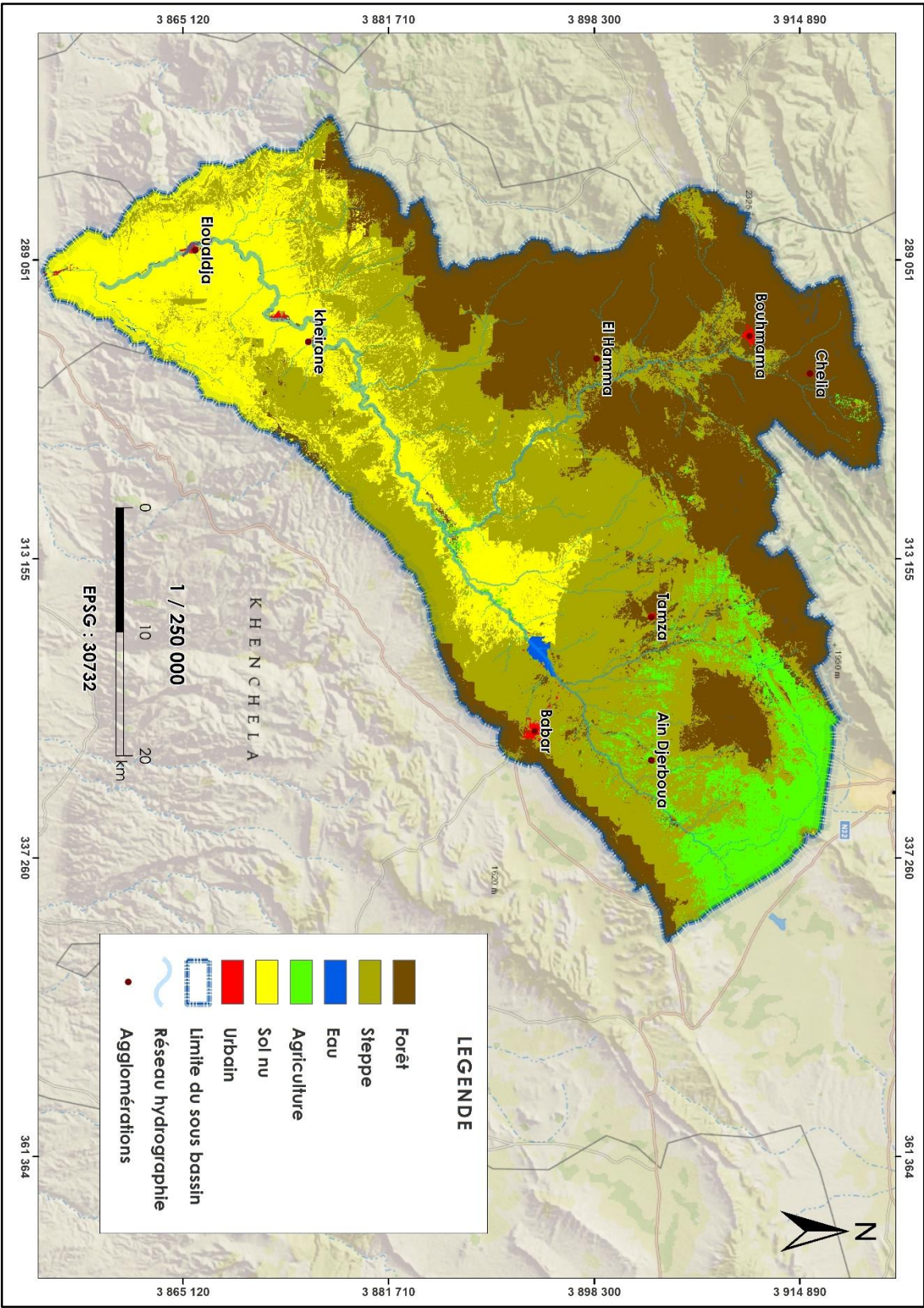


Figure 72: Carte de Qued El Arabe Prédite en 2030

2.1. Scenario de Oued El Arabe en 2040 :

Tableau 19:Gains, Pertes et changement nette subit à l'horizon de 2040

	Pertes Ha	Gains Ha	Changement Nette Ha
Urbain	0	150	150
Eau	-5	78	73
Agriculture	-9815	12249	2434
Foret	-8951	27159	18209
Sol	-27445	8415	-19029
Steppe	-37201	35365	-1836

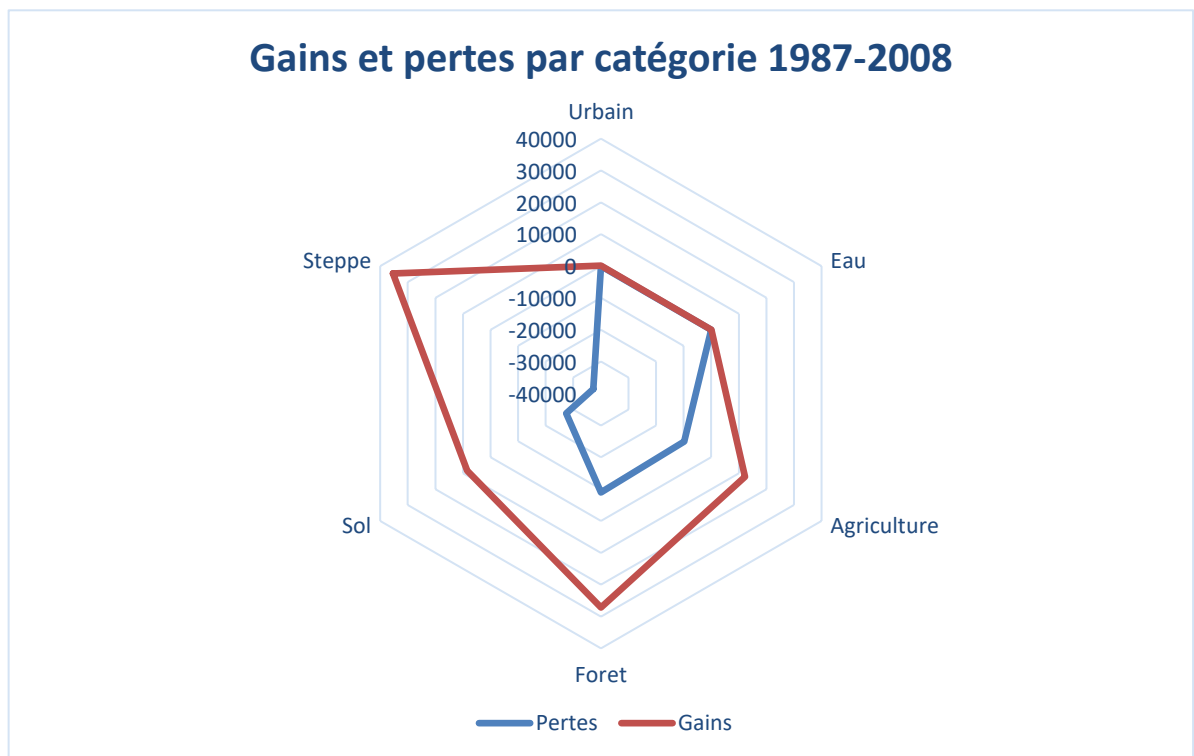


Figure 73:Gains et Pertes par catégorie entre 2019 et 2040

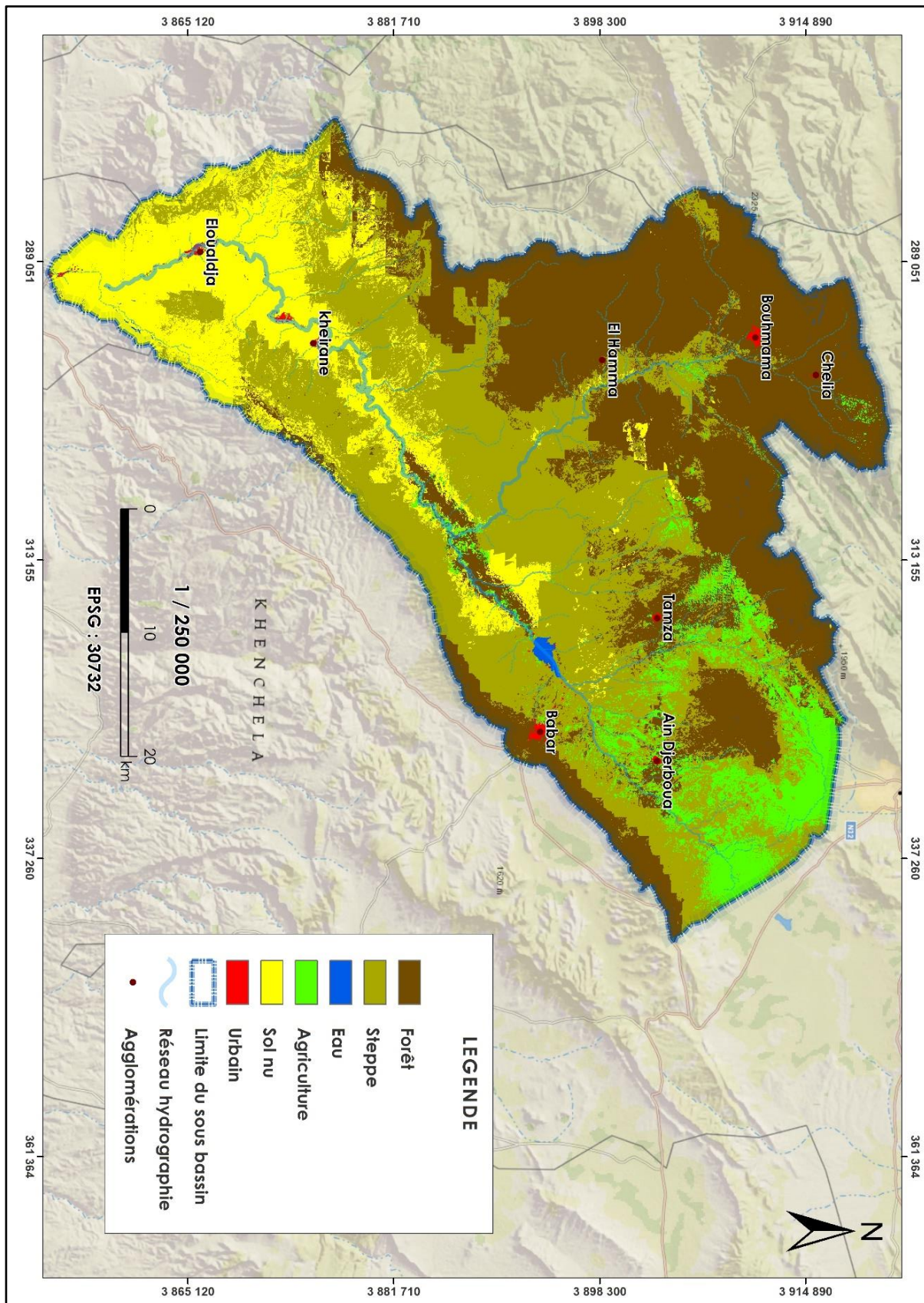


Figure 74: Carte de Qued El Arabe Prédite en 2040

Le modèle de chaîne CA-Markov prédit que les parcours steppiques diminueront de 279 Ha et 1836Ha en 2030 et 2040, respectivement, contre 14697Ha de Gains en entre 2008 et 2019. La principale raison est la transition des jeunes arbustes (l'arbuste de pin d'Alep prend 20 à 30 pour devenir arbre) et les matorrals clairs en des forêts dense et foncée. L'amplification des surface forestiers en des milliers d'hectares est sensé par la perte des surfaces steppiques, la classe sol nu et la classe urbaine se contredisent totalement, alors que le sol nu continue de perdre ses surfaces, l'urbain n'a connu aucune perte durant 51ans d'analyse (1987/2040)

Les tendances de la transition des sols pour chaque classe vers d'autres classes voisines est fortement poussé par le processus de développement urbain et du croisement de la population, le besoin accentuer en matière d'alimentation en d'abris pour l'homme et de son cheptel dans le coté anthropozoïques et changements climatiques qui transforme notre quotidien et quotidien de notre nature continuer à ravager les parcours steppiques, transformer les terres fertiles et de faire allonger la sécheresse, d'accroitre l'empiètement de sable du sud vers le nord.

Conclusion Générale

Le recours à la géomatique est devenu propre en géographie de l'environnement charrier par les lourdes et efficaces méthodes, Softwares, Algorithmes, et pleins d'autres technologies et fonctionnalités pour l'acquisition et le traitement des données géographiques, toute ces éventails sont-elles devenues indissociables pour le chercheur en géographie et en servi à mieux comprendre l'espace dans ses différentes échelles spatiales et temporelle.

Gérer l'espace implique nécessairement d'anticiper le futur, de pouvoir se projeter dans l'avenir, c'est exactement le flux de recherche que la géoprospective aux chercheurs pour délayer les principales questions dans un œuvre pareil que le nôtre.

De fait, les changements d'occupation et d'usage du sol en montagne sont le résultat de processus complexes, prenant place à des échelles temporelles et spatiales variée

A la une, les fonctionnalités SIG ont été appelées pour nous permettre d'analyser le sous bassin versant 0618 d'Oued El Arabe qui est enserré dans une panoramique paysagère étonnante qui s'étale depuis les sommets des forêts des Aurès au Nord vers la plancher saliné de Sebkha du Chott Melghir a l'exutoire du SBV passant par les lourdes dunes de sable au Sud et les très vastes parcours steppiques et traversant le milieu des acres de céréaliculture.

Malgré ces privilèges dont le SBV possède, mais il est évidemment que Oued El Arabe n'est malheureusement pas convenablement conduit pour diriger ses potentiels spatiaux, son patrimoine naturel et son assiette foncière.

Partant du dicton qui décrit la géoprospective comme le panorama des futurs possibles d'un système destiné à éclairer les conséquences des stratégies d'action envisageables, nous pouvons aussi dire que c'est un regard sur l'avenir destiné à éclairer l'action présente, ce regard qui est porté vers l'avenir par opposition au passé "vision rétrospective". La prospective est une manière originale "de regarder au loin et de loin" une situation déterminée (24).

Nombreuse approches, algorithmes, modèles conceptuels sont appelées pour exécution et le rapprochement de l'image thématique du futurible de Oued El Arabe à savoir l'Algorithme SVM, le module LCM, les différents indices. Le travail a été mené en premier temps sous la plateforme GEE récemment inventée puis exporté vers TerrSet et puis vers le fameux par ArcGIS pour la mise en page finale.

Le travail est divisé en grosso modo sur trois phases principale, phase d'apprentissage basé sur une classification supervisée de deux dates différente et sanctionnée par une matrice de transition des six thèmes, en parallèle c'est la phase d'identification des facteurs déterminants et d'élaboration des cartes d'aptitudes, nous croisons les résultats de ces deux phases dans la troisième phase pour valider les résultats et juger la capacité du modèle à anticiper l'avenir par une superposition comparative de

la carte 2019 prédite avec la carte 2019 classifiée (réel), cette opération est accomplie par l'outil « Validate » intégré sous TerrSet, les résultats obtenus sont jugés favorables pour continuer le processus de modélisation en utilisant le CA-Markov affecté spécialement à ce type de modélisation.

Les résultats de classification des deux années 1987 et 2008 indispensables pour la phase d'apprentissage ainsi que la classification de l'année 2019 utilisée ultérieurement pour la vérification, la précision de ces trois classifications a été mesurée par l'indice de Kappa qui a démontré 0.84/ 0.91/ 0.96 respectivement pour les trois années 1987/2008/2019. Le produit est une matrice de six fois six classes, nous analysons alors la transition entre 36 cases sur une période de 21 ans (1987/2008). La validation de la carte 2019 prédite nous a accusé la matrice de transition et les cartes d'aptitudes utilisées pour une modélisation prospective à moyen ou à long terme.

Le fil conducteur de ce manuscrit nous a permis d'aboutir à une estimation des impacts du potentiel de changement de l'occupation des sols future sur l'orientation spatiale. Cette recherche a été entamée par la reconstitution de la trajectoire entre 1987 et 2019 en utilisant la télédétection. Sur cette période nous avons constaté qu'une expansion importante du milieu urbain associée à une densification des zones existantes puis une expansion spatiale de ce milieu. Il ressort également une élévation significative des espaces agricoles qui a été justifiée par le retour à champs ruraux qui a suivi la tranquillité et la stabilité sécuritaire enregistrée dans le pays à partir de l'année 1999, grâce aussi aux différents programmes de développement agricole et aux grandes infrastructures hydrauliques installées, la steppe a bénéficié de 34% de progrès dans ses surfaces sur la première période 1987-2008, est-ce dû au flux de l'exode rural qui a abandonné les parcours en les laissant se reposer ainsi qu'au la genèse des arbustes plantés dans la décennie 1974 au 1984.

Les futures spatiales de l'occupation des sols à l'horizon 2030 et 2040 selon le scénario tendanciel montre qu'il aura des transitions très importantes entre les classes, des classes d'occupation qui seront étalées aux dépens d'autres classes, c'est les agglomérations urbaines qui seraient expansées de 48Ha en 2030 et d'un cumul de 86Ha en 2040 aux dépens d'autres classes d'occupation en conservant leurs étendues actuelles, par ailleurs les parcours steppiques vont aussi voir une transmutation presque stable en perdant quelques dizaines d'hectares, dans l'autre côté la classe la plus perdante est la classe Sol nu suite aux grandes surfaces qui va perdre au profit des cinq autres classes, La constatation la plus alarmante des changements futurs est la dégradation de la steppe ; cette classe d'occupation qui cumule une perte de 1836 ha, insiste sur la mise en œuvre immédiate d'un plan de gestion territoriale intégré.

Ce travail peut être suivi et lié par des recherches sur l'aspect et les activités socio-économiques et leurs impacts sur les bouleversements des changements futurs de l'occupation des sols dans cette

zone. Les deux scénarios prédits des tendances ouvrent le champ des possibles et peut amener les lecteurs à construire eux-mêmes des scénarios alternatifs sur le même thème en croisant nos résultats avec d'autres critères ou facteurs déterminants.

Liste des Figures

Figure 1: Organisation d'un réseau de neurones(55)	14
Figure 2:Les grandes classes d'apprentissage automatique	19
Figure 3: Comparaison entre une régression linéaire et une régression logistique(75).....	20
Figure 4:Classification des données par Support Vector Machine (SVM) (source : travail personnel)	21
Figure 5:Scatterogramme des bandes R – PIR d'une image TM de Landsat.....	28
Figure 6: Particularités de la réflectance des végétaux et des sols	28
Figure 7:Exemple de comparaison entre les deux indices d'eau (AWEI et MNDWI)	29
Figure 8: Transformation Tasseled CAP sur une Image Landsat 8.....	30
Figure 9:Photo Panoramique de la Mont de Chélia en période hivernal.....	33
Figure 10: Situation de la zone d'étude "Oued El Arabe"	34
Figure 11:Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord et situation du SBV 06.....	36
Figure 12:Courbe Hypsométrique du SBV de Oued El Arabe.....	41
Figure 13:Courbe Ombrothermique de Gaussien.....	46
Figure 14:Couverture végétale de l'Est algérien (d'après carte internationale du tapis végétal	47
Figure 15: Délimitation de la steppe Algérienne.....	49
Figure 16:Steppe à alfa sur sol cailloutis.....	49
Figure 17:Variance des unités paysagère en fonction de différentes résolutions spatiale.....	56
Figure 18: Evolution de la résolution spectrale des satellites Landsat depuis 1971.....	57
Figure 19: Scripte nécessaire pour l'acquisition des images filtrées.....	58
Figure 20: pourcentage d'information des trois premiers ACP (cas de l'année 1987)	59
Figure 21: collection des sites d'entraînement sous GEE	60
Figure 22: Assemblage des sites d'entraînement	61
Figure 23: Processus De traitement des données sous GEE.....	62
Figure 24:Exemple d'une transformation Tasseled Cap	64
Figure 25: Commande pour exécuter la classification supervisée avec l'algorithme SVM	65
Figure 26: fonctionnement d'une matrice de confusion	67
Figure 27: Carte d'occupation du Sol de l'année 1987	71
Figure 28:Carte d'occupation du Sol de l'année 2008	72
Figure 29:Carte d'occupation du Sol de l'année 2019	73
Figure 30: Interface du module LCM sous TerrSet.....	76
Figure 31:Interface LCM et lancement d'analyse des changements.....	77
Figure 32: Modèle de transition sous TerrSet	78
Figure 33:Répartition spatiale des six classes composantes durant les trois années	80
Figure 34: Histogramme descriptive des surfaces sur les trois années.....	81
Figure 35: Gains, Pertes et Changements net pour chaque classe durant la période 1987/2008.....	82
Figure 36:Evolution de l'occupation des sols de la région de Oued El Arabe entre (1987-2008-2019)	82

Liste des Figures

Figure 37: Gains, Pertes et persistances des classes d'occupation du sol entre 1987 et 2008	83
Figure 38: contribution des classes dans l'étalement de la classe Urbaine (1987/2008).....	84
Figure 39: contribution des classes dans l'étalement de la classe Forêt (1987/2008).....	85
Figure 40: contribution des classes dans l'étalement de la classe Steppe (1987/2008).....	86
Figure 41: contribution des classes dans l'étalement de la classe Agriculture (1987/2008)	87
Figure 42: contribution des classes dans l'étalement de la classe Sol nu (1987/2008)	87
Figure 43:Gains, Pertes et Changements net pour chaque classe durant la période 2008/2019.....	88
Figure 44:Gains, Pertes et Persistances des classes d'occupation du sol entre 2008 et 2019	89
Figure 45:contribution des classes dans l'étalement de la classe Urbaine (2008/2019).....	90
Figure 46:contribution des classes dans l'étalement de la classe Forêt (2008/2019).....	91
Figure 47:contribution des classes dans l'étalement de la classe Eau (2008/2019)	91
Figure 48: Echanges marqué entre la forêt et la steppe sur la période 2008 et 2019	92
Figure 49:contribution des classes dans l'étalement de la classe Steppe (2008/2019).....	93
Figure 50:contribution des classes dans l'étalement de la classe Agriculture (2008/2019)	94
Figure 51:contribution des classes dans l'étalement de la classe Sol nu (2008/2019).....	94
Figure 52: Evolution de la classe Urbaine durant trente et un ans	96
Figure 53:Evolution de la classe Forêt durant trente et un ans.....	96
Figure 54:Evolution de la classe Forêt durant trente et un ans.....	97
Figure 55:Evolution de la classe Forêt durant trente et un ans.....	98
Figure 56:Evolution de la classe Agriculture durant trente et un ans.....	99
Figure 57:Evolution de la classe Sol Nu durant trente et un ans.....	99
Figure 58:Exemples des facteurs déterminants	104
Figure 59:Elaboration des cartes d'aptitudes	108
Figure 60: Etapes d'élaboration des cartes d'aptitudes par l'algorithme MLP	109
Figure 61:Calcul de potentiel de transition par MLP sous LCM (TerrSet)	110
Figure 62:Exemple des résultats obtenus après l'exécution du modèle MLP sous LCM (Cas de transition de la forêt vers l'agriculture)	113
Figure 63:Carte d'aptitude de l'agriculture	115
Figure 64:Carte d'aptitude de la forêt	116
Figure 65:: Carte d'aptitude de la Urbain	117
Figure 66:Modélisation de l'occupation 2019 par la Chaine de Markov	119
Figure 67:Outil "VALIDATE» pour le calcul d'accord et de désaccord.....	121
Figure 68: Résultats de validation de la carte 2019 prédite.....	122
Figure 69: Organigramme Globale de la Modélisation Prospective	124
Figure 70/figure 70: Carte d'occupation de l'année 2019 prédite par CA-Markov.....	125
Figure 71 : Gains et Pertes par catégorie entre 2019 et 2030.....	127
Figure 72: Carte de Oued El Arabe Prédite en 2030.....	128

Liste des Figures

Figure 73:Gains et Pertes par catégorie entre 2019 et 2040	129
Figure 74:Carte de Oued El Arabe Prédite en 2040	130

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Synthèse des approches les plus couramment utilisées pour la modélisation spatialisée.....	16
Tableau 2: Caractéristiques morphométriques et hydrographiques du BV Hydrographique Chott-Melghir	35
Tableau 3:Liste des codes et des superficies en Km2 des SBV intégrer dans Chott-Melghir.....	37
Tableau 4:Les formations lithologiques du bassin	39
Tableau 5:Répartition de l'altitude en fonction de la surface.....	41
Tableau 6:Températures maximales et Températures minimales du SBV (1987 -2019).....	46
Tableau 7: Evolution de la population dans les principales agglomérations de Oued El Arabe	50
Tableau 8:Caractéristiques des images satellitaires utilisées	57
Tableau 9:informations sur les échantillons collectés	62
Tableau 10: Principaux classes thématiques au SBV de Oued El Arabe	63
Tableau 11:Référentiel pour interpréter la valeur de l'indice de Kappa	68
Tableau 12:Précisions de classification obtenues avec différents classificateurs	68
Tableau 13:Indice de séparabilité entre les classes	70
Tableau 14: Répartition spatiale des six classes composantes durant les trois années.....	79
Tableau 15:identification des facteurs des changements.....	102
Tableau 16: Matrice de probabilité de transition entre 1987 et 2008.....	120
Tableau 17:Matrice de contingence entre les changements réels et les changements prédits (CA-Markov)	123
Tableau 18: Gains, Pertes et changement nette subit à l'horizon de 2030.....	127
Tableau 19:Gains, Pertes et changement nette subit à l'horizon de 2040.....	129

Liste Des Abréviations

SVM	Support Vector Machine (Machine a support de machine)
SVMs	Support Vector Machines (Les machine a support de machines)
ABM	Modèles à base d'Agents
ACP/PCA	L'Analyse en Composantes Principales
AHP	Analytique Hierarchique Processeur
ANRH	L'Agence Nationale des ressources hydriques.
ANN	Artificial Neural Network (Réseau de Neurones Artificiel)
AWEI	Automatic Water Extraction Index
BV	Bassin versant
DOI	Date of interest (Date d'intérêt)
EMC	Evaluation Multi critère
ETM	Enhanced Thematic Mapper
GCPs	Ground Control Points
GEE	Google Earth Engine
GPS	Global Positioning System
HCDS	Haut-Commissariat de Développement de la Steppe
HMM	Hidden Markov Model
HRS	Résolution Spatiale Haute
KNN	k-nearest neighbors
LCM	Land Change Modeler
LiDAR	Light Detection and Ranging
LULC	Land Use Land Cover (Occupation et Utilisation du Sol)
LUCC	Land Use Cover Change (Changements d'occupation du sol)
LUT	Look Up Table
MLE	Maximum likelihood (Maximum de vraisemblance)
MNDWI	The Modified Normalized Difference Water Index
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MV	Maximum de Vraisemblance
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OA	Overall Accuracy
Oli	Operational Land Imager
ONS	L'Office Nationale des Statistiques
PIR	Proches InfraRouge
PMC	Perceptron Multi-Couche
RBF	Radial Basis Function
REDD	Réduction des Emissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts

Liste des Abréviations

RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
ROI	Region of Interest (Régions D'intérêt)
RS	Résolution Spatiale
SAR	Synthetic Aperture Radar
SBV	Sous Bassin Versant
SIG	Systèmes d'Information Géographique
TC	Tasseled Cap
TM	Thematic Mapper
TOA	Réflectance du Haut de l'Atmosphère
TSARVI	Transformed Soil Atmospherically Resistant Vegetation Index
TIR	Infrarouges Thermiques

Sommaire :

Remerciements	2
Dédicaces.....	4
Introduction.....	5
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique sur la géoprospective.....	10
1. La convergence implicite entre géographie et prospective :	10
2. Approches Modélisatrices :	10
2.1. La modélisation en géographie :	11
2.2. La modélisation de l'occupation et de l'utilisation du sol :	11
3. L'occupation et l'utilisation du sol (LULC) :	12
3.1. Interaction entre l'occupation et l'utilisation du sol :	12
3.2. L'usage de la cartographie de LULC :	12
3.3. Les modèles de simulation de l'évolution de l'occupation du sol :	13
4. Techniques de classification :	18
4.1. Clustering et apprentissage non supervisé :	19
4.2. Classification et apprentissage supervisé :	19
4.3.1. Exemples des algorithmes d'apprentissage supervisé :	20
4.3.2. Les niveaux d'incertitude :	22
5. Simulation, Scenarion et géoprospective :	23
6. Donnée Utilisées Pour La Cartographie	24
6.1. Choix de techniques utilisées :	24
6.2. Traitements Et Prétraitements En Télédétection Spatiale	25
CHAPITRE II : Les grands traits physiques de Oued El Arabe :	32
1. Délimitation de la zone d'étude :	35
2. Le bassin endoréique :	36
3. La Géologie :	37
3.1. Description stratigraphique :	37
4. Aperçue sur la Lithologie de la vallée de Oued El Arabe :	38
5. Aperçue pédologique :	39

Sommaire

5.1. Les sols calcaires humifères :	39
5.2. Les sols insaturés humifères :	39
5.3. Les sols calciques :	39
5.3. Les sols éoliens d'ablation :	39
5.4. Les sols éoliens d'accumulation :	39
5.5. Les sols alluviaux basiques :	39
5.6. Les sols salins ou solontchak :	40
5.7. Les roches mères :	40
6. Le Relief :	40
6.1. Répartition des altitudes et courbe hypsométrique :	40
6.2. La chaîne de partage des eaux ;	43
6.3. Le versant Saharien :	43
6.4. Versant de la plaine des Sbakhs :	44
7. Contexte Climatique : "une disparité amont-aval"	44
7.1. Changement du climat en montagne ;	45
7.2. Précipitations :	45
7.3. Les températures :	46
8. La couverture végétale :	47
8.1. Végétation Forestière :	48
8.2. Les Parcours Steppique :	48
8.3. Les Terres Cultivées :	49
9. Les Principales agglomérations d'Oued El Arabe :	50
10. Apport de la Géoprospective dans le territoire d'Oued El Arabe :	51
CHAPITRE III : Cartographie d'occupation et d'usage du sol par l'Algorithme Support Vector Machine	54
1. softwares et de mise en œuvre :	54
1.1. Plateformes de travail :	54
1.2. L'algorithme de classification :	54
2. Données utilisées :	55
2.1. Choix des images Satellitaires :	55

Sommaire

2.2. Les transformations et les indices spectraux :	58
2.3. Zones d'entraînement et Points de validation :	59
3. Méthodes de travail pour la classification dirigée (Supervisée) :	61
3.1. Reconnaissance de terrain :	61
3.2. Classes thématiques appliquées pour la classification :	62
3.3. Traitement d'images :	63
3.4. Fractionnement l'ensemble des données par l'hyperplan sous GEE :	65
3.5. Évaluation de la performance de l'algorithme de classification :	66
4. Recueil des cartes trois classifiées :	68
4.1. Cartographie de l'occupation du sol pour les trois années 1981/2008/2019 :	70
CHAPITRE IV : Suivi de l'évolution Spatiotemporelle du SBV d'Oued El Arabe	75
1. comprendre la dynamique spatio-temporelle :	75
2. Softwares et de mise en œuvre :	75
3. Evolution Spatio-temporelle du SBV 0618 :	79
3.1 Etat de l'occupation des sols du bassin versant de Oued El Arabe :	79
3.2. L'évolution des classes de l'occupation du sol entre 1987 et 2008 :	81
3.3. L'évolution des classes de l'occupation du sol entre 2008 et 2019 :	88
3.4. Synthèse :	95
CHAPITRE V : Elaboration des cartes d'aptitudes :	101
1. Les principaux facteurs qui façonnent notre territoire :	101
1.1. Identification et Validation des facteurs :	101
2. Rapport entre les facteurs et la dynamique spatiale sur le SBV 0618 :	105
2.1. La classe urbaine (Agglomération ou Unité Urbaine) :	105
2.2. Les Classes Végétation (Steppe / Forêt /Agriculture) :	105
2.3. Classe d'occupation Sol nu :	107
3. Modélisation Des Cartes D'aptitudes :	107
3.1. Intégration des facteurs de changement :	109
3.2. Exécution du perceptron multicouche :	110
3.3. Cartes du potentiel de Transition (Cartes d'aptitudes) :	114

Sommaire

CHAPITRE	VI :	La	géoprospective
ale ; une démarche synthétique pour anticiper le devenir du territoire			119
1. Modélisation de l'occupation 2019 et validation des modèles :			119
1.2. Matrice de Transition 1987/2008 :.....			120
1.2. Etape de validation et mesure de l'incertitude :.....			120
1.3. Mesure des erreurs observée et simuler :			122
2. scénario tendanciel du SBV de Oued El Arabe à l'horizon 2030 et 2040 :.....			126
2.1. Scénario de Oued El Arabe en 2030 :.....			127
2.1. Scénario de Oued El Arabe en 2040 :.....			129
Conclusion Générale			132
Liste des Figures			135
Liste des Tableaux			138
Liste Des Abréviations			139

Bibliographie :

1. démarche -La géoprospective :, Territoire MEAEAD. La géoprospective : démarche, modèles et applications en aménagement du territoire | Master 2 Geoprad [Internet]. 2017 [cité 20 mars 2017]. Disponible sur: <http://www.geoprad.fr/?p=142>
2. Gourmelon F, Houet T, Voiron-Canicio C, Joliveau T. La géoprospective, apport des approches spatiales à la prospective. *LEspace géographique*. 19 sept 2012;Tome 41(2):97-8.
3. Dodane C, Joliveau T, Rivière-Honegger A. Simuler les évolutions de l'utilisation du sol pour anticiper le futur d'un territoire. Analyse critique d'une expérience de géoprospective dans un bassin versant périurbain de l'agglomération lyonnaise. *Cybergeog : European Journal of Geography* [Internet]. 1 oct 2014 [cité 6 mars 2019]; Disponible sur: <http://journals.openedition.org/cybergeog/26483>
4. Houet T. Usages de modèles spatiaux pour la prospective. *Revue internationale de géomatique*. 10 janv 2015;25:123-43.
5. Paegelow M. Géomatique et géographie de l'environnement. De l'analyse spatiale à la modélisation prospective [Internet] [Habilitation à diriger des recherches]. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II; 2004. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01063119>
6. Houet T. Modélisation prospective de l'occupation du sol en zone agricole intensive dans la France de l'Ouest. *Noréis Environnement, aménagement, société*. 1 mars 2006;(198):35-47.
7. SEHL B. Modélisation prospective des changements de l'occupation du sol et leurs impacts sur l'activité socio-économique application sur les hautes plaines steppiques Sud algérois. [Alger]: Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene; 2018.
8. Guettouche MS, Mouissa H, Mohamed K, Farid D, Camacho Olmedo MT, Boudjema S. Modélisation prospective de l'occupation des sols par l'application de multi-modèles « cas de la forêt de Senalba Chergui, Djelfa, Algérie ». 2019.
9. CHAKALI AN, ZERAIB S, BOUDJEMA S. Prospective des changements d'occupation du sol « Application du modèle géomatique combinée » (cas du Oued arabe a l'Est Algérien). *Geo-sp Mag*. 2018;7(20):109.
10. GORELICK N, HANCHER M, DIXON M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. déc 2017;202:18-27.
11. Futura. Google Earth Engine veut aider à lutter contre la déforestation [Internet]. [cité 1 nov 2019]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/internet-google-earth-engine-veut-aider-lutter-deforestation-26462/>
12. Mishra V, Rai P, Mohan K. Prediction of land use changes based on Land Change Modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar), India. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA* 04/2014. 1 avr 2014;64:111-27.
13. Gharaibeh A, Shaamala A, Obeidat R, Al-Kofahi S. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon*. 2020;6(9):e05092.
14. Deilmai BR, Ahmad BB, Zabihi H. Comparison of two Classification methods (MLC and SVM) to extract land use and land cover in Johor Malaysia. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*. 23 juin 2014;20:012052.

Bibliographie

15. Awad M, Khanna R. Support Vector Machines for Classification. In 2015. p. 39-66.
16. Ghosh D, Bandyopadhyay S. A fuzzy citation-kNN algorithm for multiple instance learning. In: 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). 2015. p. 1-8.
17. Azéma J, Duflo M, Revuz D. Récurrence fine des processus de Markov. *Annales de l'IHP Probabilités et statistiques*. 1966;2(3):185-220.
18. joyeux_lapin13. Le coefficient Kappa de Cohen [Internet]. lemakistatheux. 2013 [cité 11 mai 2020]. Disponible sur: <https://lemakistatheux.wordpress.com/2013/06/04/le-coefficient-kappa-de-cohen/>
19. Congalton RG. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. juill 1991;37(1):35-46.
20. Zou KH, O'Malley AJ, Mauri L. Receiver-Operating Characteristic Analysis for Evaluating Diagnostic Tests and Predictive Models. *Circulation*. 6 févr 2007;115(5):654-7.
21. Gwiazdzinski L. Prospective de la montagne en 2050. Enjeux et pistes méthodologiques pour aborder l'aménagement de la montagne post-carbone. In: FACIM, éditeur. *Vivre en montagne en 2050* [Internet]. FACIM; 2012. p. pp.15-22. Disponible sur: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01071468>
22. Vacquié L. Modélisation prospective et échelles spatiales en montagne. Application aux Pyrénées françaises [Internet] [phdthesis]. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II; 2015 [cité 23 mars 2017]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01275936/document>
23. Lt. Colonel D. *Monographie de l'Aures*. Vol. 01. Costantine: Marle-Audrino; 1904. 285 p.
24. Cazes B. André-Clément Decouflé, *La Prospective*. *Annales Economies, sociétés, civilisations* 28^e année, N 5, 1973 [Internet]. 1973; Disponible sur: https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_1973_num_28_5_293416_t1_1209_0000_3
25. De Jouvenel H. *La Démarche prospective: un bref guide méthodologique*. [http://lst-iiep.iiep-unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/\[in=epidoc1.in\]/?t2000=016490/\(100\)](http://lst-iiep.iiep-unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/[in=epidoc1.in]/?t2000=016490/(100)). 1 janv 2002;247.
26. Paegelow M, Villa N, Cornez L, Ferraty F, Ferré L, Sarda P. Modélisations prospectives de l'occupation du sol. Le cas d'une montagne méditerranéenne. *Cybergeog : European Journal of Geography* [Internet]. 6 déc 2004 [cité 30 mars 2019]; Disponible sur: <http://journals.openedition.org/cybergeog/2811>
27. Niehans J. Thünen, Johann Heinrich von (1783–1850). In: Durlauf SN, Blume LE, éditeurs. *The New Palgrave Dictionary of Economics: Volume 1 – 8* [Internet]. London: Palgrave Macmillan UK; 2008. p. 6627-30. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-1-349-58802-2_1698
28. Bavoux J-J. Chapitre 8 - Qu'est-ce que l'analyse spatiale ? In: *La géographie* [Internet]. Paris: Armand Colin; 2009. p. 153-67. (U; vol. 2e éd.). Disponible sur: <https://www.cairn.info/la-geographie--9782200243517-p-153.htm>
29. Brunet R. La composition des modèles dans l'analyse spatiale. *Espace géographique*, tome 9, n°4, 1980 [Internet]. 1980; Disponible sur: https://www.persee.fr/doc/spgeo_0046-2497_1980_num_9_4_3572
30. Kusi KK, Khattabi A, Mhammdi N, Lahssini S. Prospective evaluation of the impact of land use change on ecosystem services in the Ourika watershed, Morocco. *Land Use Policy*. sept 2020;97:104796.

Bibliographie

31. Hu Y, Batunacun, Zhen L, Zhuang D. Assessment of Land-Use and Land-Cover Change in Guangxi, China. *Sci Rep.* déc 2019;9(1):2189.
32. Abdou B, Mohammed G, El Battay A, Mohamed N, Rouai M. Assessment of Land Erosion and Sediment Accumulation Caused by Runoff after a Flash-Flooding Storm Using Topographic Profiles and Spectral Indices. *Advances in Remote Sensing.* 1 janv 2016;5:315-54.
33. Jansen L, Gregorio A. *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual.* 2000.
34. European Commission, Statistical Office of the European Communities. *Manual of concepts on land cover and land use information systems.* Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2001.
35. Mucher S, Bunce RGH, Klijn J, Koomen AJM, Metzger MJ, Wascher D. Identification and characterisation of environments and landscapes in Europe. 1 janv 2003;
36. Defries RS, Belward A. Global and regional land cover characterization from satellite data: An introduction to the Special Issue. *International Journal of Remote Sensing.* 15 avr 2000;21:1083-92.
37. Briassoulis H. Sustainable Development and the Informal Sector: An Uneasy Relationship? *The Journal of Environment & Development.* 1 sept 1999;8(3):213-37.
38. Agarwal R, Sambamurthy V, Stair R. Research Report: The Evolving Relationship Between General and Specific Computer Self-Efficacy—An Empirical Assessment. *Information Systems Research.* 1 déc 2000;11:418-30.
39. Veldkamp A, Lambin EF. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 1 juin 2001;85:1-6.
40. Parker C, Baltes B, Young S, Huff J, Altmann R, LaCost H, et al. Relationships between Psychological Climate Perceptions and Work Outcomes: A Meta-Analytic Review. *Journal of Organizational Behavior.* 1 juin 2003;24:389-416.
41. Costanza R. Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability. *American Journal of Agricultural Economics.* 1 nov 1993;75.
42. Chuvieco E. Integration of Linear Programming and GIS for Land-Use Modelling. *International Journal of Geographical Information Systems.* 1 janv 1993;7:71-83.
43. Amblard F. Mod 猫 les multi-agents pour la decision collective. 18 déc 2020;
44. Boons F, Lüdeke-Freund F. Business Models for Sustainable Innovation: State of the Art and Steps Towards a Research Agenda. *Journal of Cleaner Production.* 1 avr 2013;45:9-19.
45. Mertens B, Lambin EF. Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon: Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography.* 1 avr 1997;17(2):143-62.
46. Eastman J, Goldsmith R, Flynn L. Status Consumption in Consumer Behavior: Scale Development and Validation. *Journal of Marketing Theory and Practice.* 1 juill 1999;7:41-52.
47. Oyar P. Laser Sintering Technology and Balling Phenomenon. *Photomedicine and Laser Surgery.* 13 oct 2017;36.
48. Tobler WR. Lattice Tuning. *Geographical Analysis.* 3 sept 2010;11(1):36-44.

Bibliographie

49. Alcamo J, Image Project, éditeurs. Image 2.0: integrated modeling of global climate change. Dordrecht ; Boston: Kluwer Academic Publishers; 1994. 318 p.
50. Reynolds HL, Hungate BA, Chapin FS, D'Antonio CM. SOIL HETEROGENEITY AND PLANT COMPETITION IN AN ANNUAL GRASSLAND. *Ecology*. oct 1997;78(7):2076-90.
51. Pesaran H, Peter S. Handbook of applied econometrics 2, 2., Vol. 8. Oxford: Blackwell; 1999.
52. Veldkamp A, Fresco LO. CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecological Modelling*. 15 nov 1996;91(1):231-48.
53. LAMBIN EF, STRAHLER AH. Indicators of land-cover change for change-vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales. *Ecological Modelling*. 10 juill 1994;15(10):2099-119.
54. Guisan A, Thuiller W. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*. 1 sept 2005;8:993-1009.
55. Speer MC, Enterline DS, Mehlretter L, Hammock P, Joseph J, Dickerson M, et al. Review Article: Chiari Type I Malformation with or Without Syringomyelia: Prevalence and Genetics. *J Genet Counsel*. août 2003;12(4):297-311.
56. Elith J, Leathwick JR, Hastie T. A working guide to boosted regression trees. *J Anim Ecology*. juill 2008;77(4):802-13.
57. Franklin J. Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. déc 1995;19(4):474-99.
58. Guisan A, Zimmermann N. Guisan A, Zimmermann NE. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 1 déc 2000;135:147-86.
59. Elith J, H. Graham C, P. Anderson R, Dudík M, Ferrier S, Guisan A, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. avr 2006;29(2):129-51.
60. Tsoar A, Allouche O, Steinitz O, Rotem D, Kadmon R. A comparative evaluation of presence-only methods for modeling species distribution. *Diversity and Distributions - DIVERS DISTRIB*. 1 juill 2007;13:397-405.
61. Moffett A, Sarkar S. Incorporating multiple criteria into the design of conservation area networks: A minireview with recommendations. *Diversity and Distributions*. 1 mars 2006;12:125-37.
62. Store R, Jokimäki J. A GIS-based Multi-scale Approach to Habitat Suitability Modeling. *Ecological Modelling*. 1 nov 2003;169:1-15.
63. LUQUE S. Focus : Evaluating and modelling the quality of forest habitats in Finland. 2011 [cité 18 déc 2020]; Disponible sur: http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles/pdf/focus_0.pdf
64. Erikstad L, Uttakleiv LA, Halvorsen R. Characterisation and mapping of landscape types, a case study from Norway. *belgeo* [Internet]. 30 sept 2015 [cité 18 déc 2020];(3). Disponible sur: <http://journals.openedition.org/belgeo/17412>
65. Romero-Calcerrada R, Luque S. Habitat quality assessment using Weights-of-Evidence based GIS modelling: The case of *Picoides tridactylus* as species indicator of the biodiversity value of the Finnish forest. *Ecological Modelling*. 1 juill 2006;196:62-76.

Bibliographie

66. Store R, Kangas J. Integrating Spatial Multi-Criteria Evaluation and Expert Knowledge for GIS-Based Habitat Suitability Modeling. *Landscape and Urban Planning*. 1 juill 2001;55:79-93.
67. Benoît HP, McCauley E, Post JR. TESTING THE DEMOGRAPHIC CONSEQUENCES OF CANNIBALISM IN *TRIBOLIUM CONFUSUM*. *Ecology*. déc 1998;79(8):2839-51.
68. Sokal RR. Classification: Purposes, Principles, Progress, Prospects. *Science*. 27 sept 1974;185(4157):1115-23.
69. Simpson GG. A BASIC WORK ON EVOLUTIONARY THEORY. *Evolution*. mars 1961;15(1):112-3.
70. Henriët L. Systèmes d'évaluation et de classification multicritères pour l'aide à la décision : Construction de modèles et procédures d'affectation [Internet] [Theses]. Université Paris Dauphine - Paris IX; 2000. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00528799>
71. Côme B, Guyonnet D, Magnouni S. Apports potentiels de la théorie des possibilités à l'évaluation des risques environnementaux. *Déchets, sciences et techniques*. 1 mars 2015;
72. Nghiem V. Impact du changement du mode d'occupation des sols sur le fonctionnement hydrogéochimique des grands bassins versants : cas du bassin versant de l'Ain. 2014.
73. Jiang L, Cai Z, Wang D, Zhang H. Bayesian Citation-KNN with distance weighting. *Int J Mach Learn & Cyber*. avr 2014;5(2):193-9.
74. Julie D. L'analyse de régression logistique. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*. 1 sept 2005;1.
75. Mifdal R. Application des techniques d'apprentissage automatique pour la prédiction de la tendance des titres financiers. Mémoire de maîtrise électronique [Internet]. [Montréal,]: École de technologie supérieure.; 2019. Disponible sur: <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/2422>
76. Meyer D, Leisch F, Hornik K. The support vector machine under test. *Neurocomputing*. sept 2003;55(1-2):169-86.
77. Valero Medina JA, Alzate Atehortúa BE. Comparison of maximum likelihood, support vector machines, and random forest techniques in satellite images classification. *Tecnura*. 2019;23(59):3-10.
78. Hengl T. A practical guide to geostatistical mapping. 2009;
79. Roth R. The role of mapping typological uncertainty in decision making. 2007.
80. Bachmann A, Allgöwer B. A consistent wildland fire risk terminology is needed! *Fire Management Today*. 1 janv 2001;61:28-33.
81. Goovaerts MJ, Kaas R. Some problems in actuarial finance involving sums of dependent risks. *Statistica Neerlandica*. août 2002;56(3):253-69.
82. Hill DRC. Analyse Orientée-Objets et Modélisation par Simulation [Internet]. 1993. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02077171>
83. Canada R naturelles. Détection passive et active [Internet]. Ressources naturelles Canada; 2014 [cité 7 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-publications/imagerie-satellitaire-photos-aer/tutoriels-sur-la-teledetection/notions-fondamentales-de-teledet/detection-passive-et-active/14640>

Bibliographie

84. Canada R naturelles. Télédétection dans l'infrarouge thermique [Internet]. Ressources naturelles Canada; 2008 [cité 7 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-publications/imagerie-satellitaire-photos-aer/tutoriels-sur-la-teledetection/plates-formes-capteurs/teledetection-dans-linfrarouge-thermique/9320>
85. Canada R naturelles. Télédétection par hyperfréquences [Internet]. Ressources naturelles Canada; 2008 [cité 7 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-publications/imagerie-satellitaire-photos-aer/tutoriels-sur-la-teledetection/teledetection-par-hyperfrequences/9372>
86. Wehr A, Lohr U. Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1999;54(2):68-82.
87. Lichtenegger J, Dallemand J, others. Principles of radar imagery (lecture notes). 1989;
88. Pratt ND, Bird AC, Taylor JC, Carter RC. Estimating Areas of Land under Small-Scale Irrigation Using Satellite Imagery and Ground Data for a Study Area in N.E. Nigeria. *The Geographical Journal*. mars 1997;163(1):65.
89. Caloz R, Collet C. Précis de télédétection - Volume 3: Traitements numériques d'images de télédétection. 2001.
90. Jensen ME, Bourgeron P, Everett R, Goodman I. ECOSYSTEM MANAGEMENT: A LANDSCAPE ECOLOGY PERSPECTIVE. *J Am Water Resources Assoc*. avr 1996;32(2):203-16.
91. Jensen JR. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall; 2007. 592 p. (Prentice Hall series in geographic information science).
92. Rogan J, Franklin J, Stow D, Miller J, Woodcock C, Roberts D. Mapping land-cover modifications over large areas: A comparison of machine learning algorithms. *Remote Sensing of Environment*. 15 mai 2008;112(5):2272-83.
93. Lakhdar G, Mouissa H, Kouider H. CONTRIBUTION OF GEOMATICS IN THE MANAGEMENT OF THE FOREST MASSIF OF TELAGH, DHAYA MOUNTAINS (WESTERN ALGERIA). *Lejeunia*. 18 déc 2020;202:1-22.
94. Bonn F, Rochon G. Précis de télédétection, volume 1: principes et méthodes. PUQ/AUPELF, Sainte-Foy. 1992;
95. Kergomard C. Pratique des corrections atmosphériques en télédétection : utilisation du logiciel 5S-PC. *cybergeogeo* [Internet]. 27 avr 2000 [cité 26 déc 2020]; Disponible sur: <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/1679>
96. Mouissa H, Fournier RA, Oldache E-H, Bellatreche M. Détection des changements au niveau d'un couvert forestier en milieu semi-aride entre 1984–2009: Cas de la forêt de Senalba Chergui de Djelfa (Algérie). *Canadian Journal of Remote Sensing*. 4 mars 2018;44(2):113-30.
97. Yuan D, Elvidge CD. Comparison of relative radiometric normalization techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1 juin 1996;51(3):117-26.
98. Wilcock CC. A. J. Richards 1986. Plant breeding systems. George Allen & Unwin, London. 529 pages. ISBN 0-04-581020-6 (hardback), 0-04-581021-4 (paperback). Price: £45.00 (hardback), £19.95 (paperback). *Journal of Tropical Ecology*. 2009/07/10 éd. 1987;3(3):279-80.

Bibliographie

99. Maimouni S, Bannari A, El-Harti A, El-Ghmari A. Potentiels et limites des indices spectraux pour caractériser la dégradation des sols en milieu semi-aride. null. 1 juin 2011;37(3):285-301.
100. Bannari A, Morin D, Bonn F, Huete AR. A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews. août 1995;13(1-2):95-120.
101. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. null. 20 juill 2006;27(14):3025-33.
102. Feyisa GL, Meilby H, Fensholt R, Proud SR. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. janv 2014;140:23-35.
103. GRMSE. Geo-informatics in resource management and sustainable ecosystem: second International Conference [on Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem], GRMSE 2014, Ypsilanti, MI, USA, October 3-5, 2014 ; proceedings. Bian F, Xie Y, éditeurs. Heidelberg New York Dordrecht London: Springer; 2015. 765 p. (Communications in computer and information science).
104. Baig MHA, Zhang L, Shuai T, Tong Q. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. Remote Sensing Letters. 4 mai 2014;5(5):423-31.
105. Crist EP, Laurin R, Cicone RC. Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In: Proceedings of IGARSS'86 Symposium. European Space Agency Publications Division Paris; 1986. p. 1465-70.
106. Fonction Tasseled Cap—Aide | ArcGIS Desktop [Internet]. [cité 16 mars 2021]. Disponible sur: <https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.4/manage-data/raster-and-images/tasseled-cap-transformation.htm>
107. Canada R naturelles. Observation de la Terre [Internet]. Ressources naturelles Canada; 2008 [cité 7 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-publications/imagerie-satellitaire-photos-aer/tutoriels-sur-la-teledetection/plates-formes-capteurs/observation-de-la-terre/9376>
108. Joye J-F. L'urbanisme dans la future loi Montagne : un horizon sans grand relief. Complément urbanisme aménagement [Internet]. déc 2016; Disponible sur: <http://hal.univ-smb.fr/hal-01664846>
109. Babar (Khenchela). In: Wikipédia [Internet]. 2018 [cité 8 sept 2018]. Disponible sur: [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Babar_\(Khenchela\)&oldid=146876989](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Babar_(Khenchela)&oldid=146876989)
110. KHABTANE A. contribution a l'étude des caractères morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaires pour l'évaluation du polymorphisme phénotypique et génétique des espèces du genre Tamarix dans différents écotopes de la zone steppique de KHENCHELA (EST ALGERIEN) [Internet] [DOCTORAT]. [onstantine]: Frères Mentouri Constantine; 2015. Disponible sur: <https://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/KHA6734.pdf>
111. GUIDOUM A. CARACTÉRISATION HYDROLOGIQUE ET ANALYSE DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION DANS TROIS ENSEMBLES HYDROGRAPHIQUES DU NORD-EST ALGÉRIEN Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines constantinoises et Chott Melghir (Coupe Nord-sud) [DOCTORAT]. [Biskra]: Université Mohamed Khider; 2017.
112. Bord J-P. Cartographie de l'utilisation du sol dans l'Est algérien : essai de zonage agricole [Internet] [Theses]. Université Paul Valéry - Montpellier III; 1981. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01073161>

Bibliographie

113. HILAL G. Base de donne géographique du potentiel touristique de la wilaya de kenchela avec proposition des circuits touristiques. [Master 2]. [Batna]: Université Hadj Lakhdar; 2015.
114. GHELLAM M. Contribution a l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Oued el Arabe au barrage de Babar (approche quantitative et qualitative) [memoire de fin d'étude Master 2]. [Batna]: Université Hadj Lakhdar; 2014.
115. Gaagai A. Study of the evolution of the water quality of the Babar dam (South-East of Algeria) and the impact of the dam failure on the environment [Internet] [Theses]. univ Batna 2; 2017. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03090084>
116. Capot-Rey R. Les sols d'Algérie d'après Mr J. H. Durand. Annales de Géographie, t 64, n°341, 1955 [Internet]. 1955; Disponible sur: https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1955_num_64_341_15247
117. Beniston M. [No title found]. Climatic Change. 2003;59(1/2):5-31.
118. Zemp M, Thibert E, Huss M, Stumm D, Denby C, Nuth C, et al. Zemp et al. 2013 Reanalysing glacier mass balance measurement series. 2013.
119. Lutz AF, Immerzeel WW, Gobiet A, Pellicciotti F, Bierkens MFP. Comparison of climate change signals in CMIP3 and CMIP5 multi-model ensembles and implications for Central Asian glaciers. Hydrol Earth Syst Sci. 30 sept 2013;17(9):3661-77.
120. Bradnock RW. Book reviews : Ives, J.D. and Messerli, B. 1989: The Himalayan dilemma: reconciling development and conservation. London and New York: Routledge. xxiv + 295 pp. £35.00 cloth. Progress in Physical Geography: Earth and Environment. déc 1990;14(4):582-3.
121. Köhler P, Knorr G, Bard E. Simulated change in atmospheric CO₂ and D14C around 14.6 kyr BP, at the onset of the northern hemispheric warming into the Bølling/Allerød [Internet]. PANGAEA; 2014. Disponible sur: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.840332>
122. Djebaili S. Syntaxonomie des groupements préforestiers et steppiques de l'Algérie aride. ecmed. 1990;16(1):231-44.
123. Acherkouk M, Maâtougui A, Aziz El Houmaizi M. Impact study on vegetation rehabilitation through pastoral rest on the rangeland steppe of eastern Morocco. Sécheresse. avr 2012;23(2):102-12.
124. NEDJIMI B, GUIT B. Les steppes Algériennes : causes de déséquilibre. Algerian Journal Of Arid Environment. 2012;02(02):50,61.
125. Aguejdad R, Houet T, Hubert-Moy L. Spatial Validation of Land Use Change Models Using Multiple Assessment Techniques: A Case Study of Transition Potential Models. Environmental Modeling & Assessment. déc 2017;22(6):591-606.
126. Aguejdad R, Doukari O, Houet T, Avner P, Viguié V. Etalement urbain et géoprospective : apports et limites des modèles de spatialisation: Application aux modèles SLEUTH, LCM et NEDUM-2D. cybergeogeo [Internet]. 13 juin 2016 [cité 29 sept 2019]; Disponible sur: <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/27668>
127. Vapnik VN. The nature of statistical learning. Theory. 1995;
128. Schölkopf B, Smola AJ. Learning with kernels: support vector machines, regularization, optimization, and beyond. Cambridge, Mass: MIT Press; 2002. 626 p. (Adaptive computation and machine learning).

Bibliographie

129. Comment choisir son image satellitaire ? [Internet]. Applisat. [cité 31 mai 2021]. Disponible sur: <https://www.applisat.fr/generalites-satellites/choisir-image-satellitaire>
130. Gadal S. Reconnaissance multi niveaux d'unités paysagères par segmentation automatique d'images satellitaires. In 2003. p. 42-54.
131. ROY DP, WULDER MA, LOVELAND TR, C.E. W, Allen RG, Anderson MC, et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*. avr 2014;145:154-72.
132. Lounis B. Processus de correction radiométrique relative "PCRR" appliqué aux images Landsat TM multi-dates. In.
133. Escape CM. Differentiation of debris flow deposits through image classification of Landsat 8 images in Nueva Ecija after Typhoon Koppu. 2018.
134. Anderson JR, Hardy EE, Roach JT, Witmer RE. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data [Internet]. 1976. (Professional Paper). Report No.: 964. Disponible sur: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/pp964>
135. Thomlinson JR, Bolstad PV, Cohen WB. Coordinating Methodologies for Scaling Landcover Classifications from Site-Specific to Global. *Remote Sensing of Environment*. oct 1999;70(1):16-28.
136. BERGERI I, Michel R. POUR TOUT SAVOIR OU PRESQUE SUR LE COEFFICIENT KAPPA. 1 janv 2002;
137. Mitani AA, Freer PE, Nelson KP. Summary measures of agreement and association between many raters' ordinal classifications. *Annals of Epidemiology*. oct 2017;27(10):677-685.e4.
138. Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*. mars 1977;33(1):159.
139. Mayossa P. Dégradation du couvert forestier liée à la culture du palmier à huile par télédétection en milieu tropical humide : application au bassin du Congo. 2019.
140. Mohajane M, Essahlaoui A, Oudija F, El Hafyani M, Hmaid AE, El Ouali A, et al. Land Use/Land Cover (LULC) Using Landsat Data Series (MSS, TM, ETM+ and OLI) in Azrou Forest, in the Central Middle Atlas of Morocco. *Environments*. 5 déc 2018;5(12):131.
141. WU W. Application De La Geomatique Au Suivi De La Dynamique Environnementale En Zones Arides — Exemple de la région de Nouakchott en Mauritanie, du Ningxia nord et du Shaanxi nord en Chine du nord-ouest [Internet] [DOCTORAT]. [Paris]: UNIVERSITE DE PARIS 1-PANTHEON-SORBONNE; 2003 [cité 14 mai 2020]. Disponible sur: HAL Id: tel-00011113 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011113>
142. Land Change Modeler [Internet]. Clark Labs. [cité 13 nov 2019]. Disponible sur: <https://clarklabs.org/terrset/land-change-modeler/>
143. BENMESSAUD H, BOUZEKRI A. Change Detection and Spatial Dynamics of Land Cover Degradation in the Southeast of Aurès (Algeria). In: KALLEL A, KSIBI M, BEN DHIA H, KHELIFI N, éditeurs. *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018 [cité 23 nov 2019]. p. 1819-21. Disponible sur: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-70548-4_528
144. BOUZEKRI A. Evaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification dans les Aurès (Algérie). Université de Batna 2; 2015.

Bibliographie

145. SOGREAH, Ministère des Ressources en Eau. Etude d'inventaire et de développement de la PMH/Rapport provisoire RA3 wilaya de Khenchela. Khenchela: Direction de l'Hydrolique Agricole; 2009 juill p. 168. Report No.: 2 34 0074.
146. MEHARZI MK-E. Forêts, Geosystemes et dynamique du milieu: le cas de l'aures [These]. [Costantine]: Frere Mentouri; 2010.
147. Lek S, Guégan JF. Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling*. août 1999;120(2-3):65-73.
148. Olmedo MTC, Paegelow M, Mas J-F, Escobar F. *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*. Springer; 2017. 525 p.
149. Chermack T, Lynham S, Ruona WEA. A Review of Scenario Planning Literature. *Futures Research Quarterly*. 1 janv 2001;17:7-31.

الملخص:

برزت علم الجغرافيا الاستشرافية مؤخرًا كمجال للدراسة يجمع بين ثلاثة مجالات دراسة مختلفة، وهي الجغرافيا والنمذجة والاستشراف. في هذا العمل، استعملنا الجغرافيا الاستشرافية نظرًا للحاجة الدراسية الملحة لتحليل التغيرات الزمكانية بأثر رجعي والتنبؤ المحتمل للميول المكانية لفترة زمنية مستقبلية وذلك لمنطقة جبلية متضررة بهدف توضيح معالم التغيرات التي تمس مستقبل السلاسل السهبية، الثروة الغابات، المسطحات المائية والأسطح الزراعية وإظهار ذلك لمرأى عين السلطات، باستخدام طرق مختلفة مثل خوارزمية التصنيف المدعم Support Vector Machines و Land Change Modeler ومنصة Google Earth Engine .

Abstract:

Géoprospective has recently emerged as a field of study which brought together the three fields of study, namely geography, modeling and foresight. In this work we have called on it to replicate the needs to be emphasized for the retrospective analysis and the prospective prediction of the purely spatial tendencies of a weakened mountainous area with an objective of bringing to the surface the future of steppe ranges, forest wealth and agrarian surfaces and aquatic potential, using various methods such as the Support Vector machines, the Land Change Modeler, and the Google Earth Engine platform.

Résumé :

La géoprospective est récemment apparue comme champs d'étude qui mit en convergence les trois champs d'étude à savoir la géographie, modélisation et la prospective. Dans cette œuvre nous l'avons fait appel pour répliquer les besoins accentuer pour l'analyse rétrospective et la prédiction prospective du tendanciels purement spatiales d'une zone montagneuse fragilisée dans un objective de mettre en surface le futurible des parcours steppiques, des richesses forestières et des surfaces agraires et du potentiel aquatique, à l'aide de diverses méthodes t'elles que le Support Vector machines, le Land Change Modeler, et la plateforme Google Earth Engine.