

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la mer et de l'Aménagement du Littoral



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Gestion et protection du littoral

**La télédétection du changement pour la quantification des
sols artificialisés dans le littoral Algérien**

Présentée par :

DAHAOUI Abd Allah Oussama

BERKISSA Hadj Mahieddine

Soutenu le 03/12/2020 devant le jury suivant :

Membre de jury	Grade	Affiliation	Qualité
Latifa BENTCHUKO	Maître Assistante A	ENSSMAL	Présidente
Siham BENZOUAI	Maitre Assistante A	ENNSMAL	Promotrice
Khoudir MEZOUAR	Maitre de Conférences A	ENNSMAL	Examineur
Lounes FERNANE	Maitre-Assistant A	ENNSMAL	Examineur

Promotion : 2019-2020

Remercîment

Écrire des remerciements est toujours un exercice difficile. N'oublier personne sans tomber dans le catalogue. Éviter les platitudes sans tomber dans la grivoiserie.

Nous commençons par remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volante, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadreur Madame BENZOUAIS, de nous avoir fait confiance pour entreprendre ce travail et de nous avoir guidés du début jusqu'à la rédaction de ce mémoire et de nous avoir accordé tout l'intérêt et le temps nécessaire pour mener à bien cette étude. Qu'elle sache combien nous sommes contents aujourd'hui de présenter notre travail, avec ses précieux conseils et son aide.

Nos remerciements s'adressent également à Mme BENTCHUKO.L pour l'intérêt qu'elle a accordé à ce travail en acceptant de le juger et de présider le jury.

Nous tenons à remercier chaleureusement les examinateurs, Mr. MEZOUAR K. et Mr. Fernane L. pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail avec la plus grande rigueur en plus de leurs tâches pédagogiques.

Nous voulons exprimer notre reconnaissance et nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont eu la gentillesse de nous prodiguer assistance, critiques, suggestions et soutien pour l'achèvement du présent travail.

Table des matières

Introduction	7
Chapitre I : Généralité de la télédétection	9
1 La télédétection	10
2 Les images satellitaires.....	10
3 Capteurs et Satellites d'observation de la Terre.....	10
4 Méthodes de la télédétection du changement.....	12
4.1 La classification multi-temporelle	12
4.2 La Différence d'indices spectrales	13
5 Système d'information géographique (SIG).....	15
6 Différence entre zone littoral et côtière.....	15
7 Différence entre urbanisation et artificialisation	16
Chapitre II : Contexte général des zones d'études	17
1 Situation géographique de la zone d'étude	18
2 Développement de la population.....	19
3 Instrument de protection du littoral.....	19
4 Présentation et description de la zone d'étude	21
Chapitre III : Matériels et Méthodes	26
Introduction	27
1 Acquisition des données	29
2 Prétraitement des données	30
2.1 Pré -Traitement des données vecteur.....	30
2.2 Prétraitement des données raster	31
3 Création des masques de nuages	35
4 Traitement des données raster	35
4.1 Calcul des indices et des différences d'indices	35
4.2 Seuillage des images de différence EBBI et NDVI.....	37
4.3 Application des masques d'eaux	38
4.4 La classification multi temporelle	38
5 Calcul des superficies.....	41
Chapitre IV : Résultats et Discussions	42
1 Résultats et analyse du changement	43

1.1	Les résultats de la classification multi-temporelle	43
1.1.1	Telemcen	43
1.1.2	Ain temouchent	45
1.1.3	Oran.....	47
1.1.4	Mostaganem	49
1.1.5	Chlef.....	51
1.1.6	Tipaza.....	53
1.1.7	Boumerdes.....	55
1.1.8	Tizi Ouzou.....	57
1.1.9	Bejaia.....	59
1.1.10	Jijel	61
1.1.11	Skikda.....	63
1.1.12	Eltarf.....	65
1.2	Les résultats de la différence EBBI seuillé.....	67
1.2.1	Telemcen	67
1.2.2	Ain temouchent	68
1.2.3	Oran.....	69
1.2.4	Mostaganem	70
1.2.5	Chlef.....	71
1.2.6	Tipaza.....	72
1.2.7	Boumerdès.....	73
1.2.8	Tizi Ouzou.....	74
1.2.9	Bejaia.....	75
1.2.10	Jijel	76
1.2.11	Skikda.....	77
1.2.12	Eltarf.....	78
1.3	Analyse du changement exemple de la wilaya d'Alger	79
1.3.1	Analyse qualitative	79
1.3.2	Analyse quantitative.....	86
1.3.3	Analyse comparative	95
2	Discussion générale.....	95
	Conclusion.....	106
	Bibliographie.....	108

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique du littoral algérien (Source des limites administratives et frontières: ESRI 2020)	18
Figure 2: Les bandes littorales délimitées par la loi littorale 02-02 du 05/02/2002.....	20
Figure 3: Algorithme explicatif de la méthodologie du travail.....	28
Figure 4: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Telemcen pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....	44
Figure 5: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya d’Ain temouchent pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....	46
Figure 6: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya d’Oran pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	48
Figure 7 : Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Mostaganem pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	50
Figure 8: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Chlef pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	52
Figure 9: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Tipaza pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	54
Figure 10: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Boumerdes pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	56
Figure 11: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Tizi Ouzou pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....	58
Figure 12: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Bejaia pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....	60
Figure 13: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Jijel pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	62
Figure 14: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Skikda pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....	64
Figure 15: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya d’Eltarf pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	66
Figure 16: Carte du changement par la différence d’EBBI seuillé de la wilaya de Telemcen pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-2019	67
Figure 17: Carte du changement par la différence d’EBBI seuillée de la wilaya d’Ain temouchent pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....	68
Figure 18: Carte du changement par la différence d’EBBI seuillé de la wilaya d’Oran pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-2019	69
Figure 19: Carte du changement par la différence d’EBBI seuillé de la wilaya de Mostaganem pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-201.....	70

Figure 20: Carte du changement par la différence d'EBBI seuillé de la wilaya de Chlef pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-2019	71
Figure 21 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Tipaza pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	72
Figure 22 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Boumerdès pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-201	73
Figure 23 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Tizi Ouzou pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....	74
Figure 24 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Bejaia pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	75
Figure 25: Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Jijel pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	76
Figure 26 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillé de la wilaya de Skikda pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019	77
Figure 27: Carte du changement par la différence d'EBBI seuillé de la wilaya d'Eltarf pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-2019	78
Figure 28 : Courbe de corrélation entre la classification multi-temporelle et la différence d'indice EBBI seuillé pour la période 2000-2010.....	79
Figure 29: Carte de différence EBBI NDVI de la wilaya d'Alger	80
Figure 30: Carte du changement par différence d'indice NDVI-EBBI. (A), présentation des fortes valeurs de la différence d'EBBI. (B), Présentation des faibles valeurs de la différence NDVI. (C), Présentation des faibles valeurs de la différence EBBI. (D), Présentation des fortes valeurs de la différence NDVI.	81
Figure 31: Carte du changement par la différence d'indice EBBI entre 1990-2000,2000-2010 et 2010-2019 pour les bandes littorales de la wilaya d'Alger	82
Figure 32: Carte du changement par la différence d'indice NDVI entre 1990-2000,2000-2010 et 2010-2019 pour les bandes littorales de la wilaya d'Alger	83
Figure 33 : Carte de la classification multi-temporelle de la wilaya d'Alger.....	84
Figure 34: Carte du changement par la classification multi-temporelle des bandes littorales de la wilaya d'Alger entre 1990-2000	85
Figure 35: Carte du changement par la classification multi-temporelle des bandes littorales de la wilaya d'Alger entre 2000-2010	85
Figure 36: Carte du changement par la classification multi-temporelle des bandes littorales de la wilaya d'Alger entre 2010-2019	86
Figure 37: Carte du changement par la différence d'indice EBBI seuillé de la wilaya d'Alger ..	87
Figure 38: Carte du changement par différence d'indice EBBI seuillée entre 1990-2000,2000-2010 et 2010-2019 pour les bandes littorales de la wilaya d'Alger	88
Figure 39: les superficies de la différence EBBI seuillée entre 1990-2000 de la wilaya d'Alger	89
Figure 40: les superficies de la différence EBBI seuillée entre 2000-2010 de la wilaya d'Alger	90
Figure 41: les superficies de la différence EBBI seuillée entre 2010-2019 de la wilaya d'Alger	91
Figure 42: Résultats des superficies de changement en (Km ²) de la classification multi-temporelle entre 1990-2000 pour la wilaya d'Alger.....	92

Figure 43: Résultats des superficies de changement en (Km ²) de la classification multi-temporelle entre 2000-2010 pour la wilaya d'Alger.....	93
Figure 44: Résultats des superficies de changements en (Km ²) de la classification multi-temporelle entre 2010-2019	94
Figure 45: Carte d'équivalence entre différence EBBI seuillée et la classification multi-temporelle.....	95
Figure 46: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour les wilayas côtières	98
Figure 47: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour la bande 3km.....	98
Figure 48: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour la bande 800m.....	99
Figure 49: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour la bande 300m.....	99
Figure 50: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour la bande 100m.....	100
Figure 51: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-2019.....	101
Figure 52: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé de la bande 3km pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-2019	101
Figure 53: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé de la bande 800m pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-2019	102
Figure 54: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé de la bande 300m pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-2019	102
Figure 55: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé de la bande 100m pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-201	103

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les types de produits utilisés dans cette étude (Source USGS 2016).....	11
Tableau 2: les wilayas littorales et ses caractéristiques	21
Tableau 3: Les caractéristiques des satellites (Landsat 5,7 et 8) (Source : USGS 2017)	29
Tableau 4 : Les différentes class de changement (Source : ARSET Webinar 2018).....	39
Tableau 5: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de telemcen pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya	43

Tableau 6: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya d’Ain temouchent pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	45
Tableau 7 : Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya d’Oran pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	47
Tableau 8: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Mostaganem pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km et W représente la wilaya.	49
Tableau 9: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Chlef pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	51
Tableau 10: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Tipaza pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	53
Tableau 11: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Boumerdes pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	55
Tableau 12: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Tizi Ouzou pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	57
Tableau 13: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Bejaia pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	59
Tableau 14: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Jijel pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	61
Tableau 15 : Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Skikda pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	63
Tableau 16: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya d’Eltarf pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	65
Tableau 17: Résultats récapitulatif de la différence d’indice EBBI pour la wilaya de Telemcen pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	67
Tableau 18: Résultats récapitulatif de la différence d’indice EBBI pour la wilaya d’Ain temouchent pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 B1, B2, B3 et B4	

correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	68
Tableau 19: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya d'Oran pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....B1, B2, B3, W correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km.	69
Tableau 20: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Mostaganem pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....B1, B2, B3, W correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km.	70
Tableau 21: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Chlef pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....B1, B2, B3, W correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km.	71
Tableau 22: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Tipaza pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	72
Tableau 23: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Boumerdès pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	73
Tableau 24: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Tizi Ouzou pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	74
Tableau 25 : Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Bejaia pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	75
Tableau 26: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Jijel pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	76
Tableau 27 : Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Skikda pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	77
Tableau 28 : Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya d'Eltarf pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.	78
Tableau 29: Résultats récapitulatifs de la différence d'indice EBBI seuillée pour la wilaya d'Alger entre 1990-2000	89
Tableau 30: Résultats récapitulatifs de la différence d'indice EBBI seuillée pour la wilaya d'Alger entre 2000-2010	90
Tableau 31 : Résultats récapitulatifs de la différence d'indice EBBI seuillée pour la wilaya d'Alger entre 2010-2019	91
Tableau 32: Résultats récapitulatif de la classification multi temporelle pour la wilaya d'Alger entre 1990-2000.....	92
Tableau 33 : Résultats récapitulatifs de la classification multi temporelle pour la wilaya d'Alger entre 2000-2010.....	93

Tableau 34 : Résultats récapitulatifs de la classification multi temporelle pour la wilaya d'Alger entre 2010-2019.....	94
Tableau 35 : Les superficies du changement de la différence EBBI seuillé pour les différentes bandes littorales.....	104

Liste des équations

Équation 1 :Radiance spectral pour les données Landsat 5 TM et Landsat 7 ETM+.....	33	Erreur ! Signet non défini.
Équation 2 :Radiance spectral pour les données Landsat 8 OLI/TIRS	34	
Équation 3 :Température de brillance.....	34	
Équation 4 :Indice du NDVI pour les données Landsat 5 TM et Landsat 7ETM+	35	Erreur ! Signet non défini.
Équation 5 :Indice du NDVI pour les données Landsat 8 OLI/TIRS	35	
Équation 6 :Différence d'indice NDVI.....	36	
Équation 7 :Indice de l'EBBI pour les données Landsat 5TM ,Landsat 7ETM+.....	36	Erreur ! Signet non défini.
Équation 8 :Indice de l'EBBI pour les données Landsat 8OLI/TIRS	36	
Équation 9 :Différence d'indice EBBI	36	
Équation 10 :Indice d'eau par différence normalisé	37	

Liste des abréviations

ANDI : Agence nationale de développement de l'investissement.

ANIREF : Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière.

DN : Nombre décimal (*Digital Number*).

EBBI: Indice de développement et de nudité (*Enhanced Built-up and Bareness Index*).

EGPP : entreprise de gestion des ports et Abris de pêche.

ESA : Agence spatiale européenne (*European Space Agency*).

ETM + : Appareil de cartographie thématique amélioré (*Enhanced Thematic Mapper Plus*).

IRCL : Infrarouge de Courte Longueur d'onde (*Short Wave Infrared, abrégé SWIR*).

IRM : Infrarouge moyen (*medium infrared*)

IRT: Infrarouge thermique (*Thermal infrared*).

MNDWI: Indice de différence d'eau normalisé modifié (*Modified Normalized Difference Water Index*).

MNT : Modèle numérique de terrain (*Digital terrain model*).

NASA : Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (*National Aeronautics and Space Administration*)

NDVI : Indice de végétation par différence normalisée (*Normalised Difference Vegetation Index*).

OLI: Imageur terrestre opérationnel (*Operational Land Imager*).

ONS : Office National des Statistiques.

PIR : proche infrarouge.

RF : Forêt aléatoire (*Random Forest*).

RGPH : Recensement général de la population et de l'habitat.

ROI : Zones d'entraînements (*Region of Interest*).

SIG : Système d'Information Géographique.

TIRS : capteur infrarouge thermique (*Thermal Infrared Sensor*).

TM : Carte thématique (*Thematic Mapper*).

USGS : Institut d'études géologiques des États-Unis (*United States Geological Survey*).

UTM : La projection transverse universelle de Mercator (*Universal transverse Mercator*).

WGS : système géodésique mondial (*World Geodetic system*).

Introduction

Introduction

Le littoral algérien s'étend sur un linéaire côtier de 1 640 kilomètres. Il représente un écosystème fragile et constamment menacé de dégradation en raison de la concentration de la population, des activités économiques et des infrastructures le long de la bande côtière. En effet, environ les deux tiers de la population algérienne sont concentrés sur le littoral qui ne représente que 4% du territoire (**Ghodbani et Bouziane, 2010**).

La quantification des terres artificialisées est devenue nécessaire afin d'évaluer l'état des lieux et mesurer à quel point la loi littorale est respectée ou tout simplement ignorée. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'observations continues de l'occupation des sols.

La télédétection spatiale est l'outil idoine pour répondre à ces préoccupations, particulièrement, avec la disponibilité et le libre accès aux données satellitaires ayant les caractéristiques suffisantes pour ce type de problématique.

Un essai d'analyse de la situation d'artificialisation des sols dans le domaine littoral algérien a déjà été entrepris. Pour cela, deux objectifs ont été fixés. Le premier vise à démontrer l'intérêt des données images satellites pour la création d'informations géographiques, notamment par le biais d'une production cartographique. En outre, cela s'inscrit en réponse à une demande de plus en plus forte de la part des acteurs du territoire en ce qui concerne la production d'outils d'aide à la décision. Le deuxième objectif vise à évaluer le niveau de l'artificialisation des sols côtiers dans les wilayas d'Oran et de Tipaza (**Benferchiche, 2018**).

Par ailleurs, une étude approfondie basée sur plusieurs méthodes et type de données satellitaires a été élaborée afin de cartographier et d'estimer le taux d'artificialisation des sols au niveau des communes côtières de la wilaya de Annaba durant les deux dernières décennies (**Soltani et Boumezbeur, 2019**).

Le présent projet s'inscrit dans la continuité des travaux sus cités avec comme objectifs l'utilisation des outils et données de télédétection optiques pour observer, quantifier, cartographier et analyser l'artificialisation le long de tout le littoral algérien et ce, durant les trois dernières décennies (1990-2019). L'identification des zones de transgression de la loi littorale fût le second objectif de ce travail. Pour cela, nous avons utilisé deux méthodes de la télédétection du changement, à savoir, la classification multi temporelle et la méthode de différence d'indices spectraux. D'autre part, nous avons utilisé des données Landsat 5 TM pour 1990 et 2010, pour

L'imagerie de 2000, nous avons utilisé des données Landsat 7 ETM +, enfin pour l'imagerie 2019, les données de Landsat 8 OLI ont été utilisées.

Ce document s'articule sur quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré à des notions de base sur la télédétection et quelques définitions utiles sur le littoral, le deuxième chapitre concerne la présentation du contexte générale du littoral algérien et les pressions exercées sur ce milieu (population, activités économiques, etc.), en se concentrant notamment sur la présentation et la description des zones d'étude. Dans le troisième chapitre, nous avons détaillé et expliqué la méthodologie proposée et suivie. Enfin, le quatrième chapitre englobe les résultats obtenus et discussions.

Chapitre I : Généralité de la télédéttection

1 La télédétection

La télédétection est une technique qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phyto-masse, matière organique du sol, etc.) (Soudani, 2005).

2 Les images satellitaires

Les images satellitaires sont un arrangement de données numériques ; les pixels, disposés de telle façon que, visuellement, ils nous donnent l'information de ce qui se trouve sur une certaine scène.

Les différentes résolutions

On distingue quatre types de résolution :

- La résolution spatiale est donnée par la taille du pixel ;
- La résolution radiométrique est l'étendue des valeurs discrètes correspondant à la grandeur physique mesurée (radiance, réflectance, etc.), elle fait référence au nombre de bits sur le calcul de l'image est codé de (16bits, 18bits ,32bits) .
- La résolution temporelle est le temps mis par le satellite pour revenir au même point ;
- La résolution spectrale représente les plages de longueurs d'onde dans lesquelles sont effectuées les mesures.

Images multi-temporelles

Les images multi-temporelles peuvent être utilisées pour détecter les changements de caractéristiques spectrales ; par exemple, ceci est très utile pour étudier des changements tels que la croissance urbaine.

3 Capteurs et Satellites d'observation de la Terre

L'enregistrement de l'énergie réfléchie, émise ou réfractée est fait par un capteur installé sur une plate-forme distante de la cible à observer. Les plateformes peuvent être situées près de la surface terrestre (avion par exemple) ou éloignées de la surface terrestre (satellite par exemple).

Les capteurs peuvent être classés en :

- Capteurs actifs : qui mesurent l'énergie retournée à partir de leur propre émission. Les capteurs actifs sont alors émetteurs et récepteurs en même temps.
- Capteur Passifs : qui mesurent l'énergie réfléchie ou émise par une source externe. (Ghanima, 2015).

Les systèmes d'observation de la Terre sont regroupés dans les catégories suivantes :

- Systèmes à basse résolution, avec une résolution spatiale de 1 km à 5 km ;
- Systèmes à résolution moyenne, avec une résolution spatiale comprise entre 10 et 100 m (Ex : Landsat 7, Landsat 8, Sentinel-2, etc.)
- Systèmes à haute résolution, avec une résolution spatiale inférieure à 10 m (Janssen, 2004).

Programme Landsat

Landsat est une initiative conjointe de l'USGS et de la NASA. Depuis presque 50 ans, les satellites Landsat fournissent des ressources précieuses pour la recherche dans l'utilisation des sols/les changements de l'occupation du sol, notamment la foresterie, l'agriculture, la géologie, l'aménagement du territoire et l'éducation.

ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) renommé Landsat 1 a été lancé en 1972 suivi de Landsat 2, Landsat 3 et Landsat 4 lancés respectivement en 1975, 1978 et 1982. Landsat 5 a été lancé en 1984, Landsat 6 a échoué au lancement en 1993. Cependant, Landsat 7 a été lancé avec succès en 1999 suivi de Landsat 8, lancé le 11 février 2013, lequel poursuit normalement sa mission.

L'USGS fournit des données de grande qualité corrigées systématiquement, géométriquement avec correction de terrain et radio métriquement. Deux niveaux sont à distinguer :

Tableau 1 : Les types de produits utilisés dans cette étude (Source USGS 2016)

Niveaux des produits Landsat	Caractéristiques
Niveau-1	sont géo référencés dans la projection cartographique UTM associé au système géodésique mondial 1984 (WGS-84) et livrées au format GeoTIFF dans des fichiers compressés au format tar.gz
Niveau-2	sont dérivés du produit de niveau-1 et corrigées atmosphériquement. Ils correspondent à des réflectances de surface (SR).

Les images Landsat Niveau 2 peuvent être générées à la demande via l'explorateur Earth Explorer.

Programme Copernicus

Copernicus est le tout récent programme de surveillance de la Terre de l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Il fournit des services dans plusieurs domaines : terre, mer, atmosphère, changement climatique, gestion des urgences et sécurité, permettant un large éventail d'applications notamment la protection de l'environnement, la gestion des zones urbaines, la planification régionale et locale, l'agriculture, la foresterie, la pêche, la santé, les transports, le changement climatique, le développement durable et la protection civile.

(Emery et Adriano ,2017).

4 Méthodes de la télédétection du changement

Il existe plusieurs méthodes de la détection du changement par l'utilisation de la télédétection. Nous présentons dans ce qui suit les deux méthodes qui ont été expérimentées dans ce projet. Il s'agit de la classification multi-temporelle et celle de la différence d'indices.

4.1 La classification multi-temporelle

La classification peut se faire de deux manières : supervisée ou non supervisée.

Classification non supervisée (ou non dirigée)

Cette classification détermine automatiquement les classes. Le principe de ces méthodes est similaire aux méthodes supervisées, à la différence près qu'il faut ajouter une étape d'apprentissage non dirigée ou d'exploration, qui permettra d'initialiser le processus. Parmi les méthodes de classification non supervisées, nous citerons la méthode du K-means et celle de l'ISODATA (Al-doski et al, 2013)

Classification supervisée (ou dirigée)

Cette méthode fournit la connaissance des classes par l'apprentissage sur certaines régions représentatives. Aussi, le nombre de données d'apprentissage dans chaque classe doit être suffisant, sans quoi le modèle statistique estimé ne serait pas significatif des phénomènes observés dans le cas des méthodes paramétriques (Richards et Jia, 1986).

Il existe divers algorithmes de classification supervisée et le choix de l'algorithme peut affecter les résultats. Les plus largement utilisés sont ; l'algorithme des forêts aléatoires et les supports vecteur machine.

D'autre part, la classification peut s'effectuer dans le temps. Il s'agit de la classification multi-temporelle laquelle s'appuie sur une classification supervisée.

En effet, dans le contexte de la cartographie de l'occupation des sols, de nombreuses méthodes ont été proposées pour la classification des données satellitaires. Cependant, peu d'études se focalisent sur la classification de séries temporelles d'images satellitaires optiques.

Algorithme de classification aléatoire des forêts (Random Forest -RF)

Le RF est un algorithme d'apprentissage supervisé basé sur la technique de l'arbre de décision binaire. La particularité du RF est de combiner un ensemble d'arbres de décision binaire.

La forêt aléatoire, comme son nom l'indique, est constituée d'un grand nombre d'arbres de décision individuels qui fonctionnent comme un ensemble. Chaque arbre individuel de la forêt aléatoire crache une prédiction de classe et la classe ayant le plus de votes devient la prédiction de notre modèle. L'algorithme de forêts aléatoires utilise un ensemble aléatoire de sites d'entraînement (**Charlotte, 2017**).

Cet algorithme est Utilisé pour classer l'ensemble de l'image en comparant les caractéristiques spectrales de chaque pixel aux caractéristiques spectrales des sites d'entraînement pour les classes d'occupation des sols, Il existe différentes méthodes pour la classification :

Distance minimale - Probabilité maximale - Cartographie des angles spectraux - Forêt aléatoire.

Ces méthodes déterminent différentes façons de définir les classes en fonction de leurs statistiques dans notre cas nous avant l'algorithme des Forêt aléatoire (**Cindy et Amber,2018**)

4.2 La Différence d'indices spectraux

L'image dite d'indice spectral est le résultat d'une combinaison arithmétique ou d'une transformation ponctuelle des bandes spectrales basée sur l'observation des signatures spectrales. Les indices permettent de ressortir les différentes classes thématiques de l'occupation du sol : la végétation, la géologie, l'hydrologie, les zones brûlées, la neige, les terres nues, le milieu urbain et autre. Ils sont largement utilisés pour les études de télédétection du changement de l'occupation du sol (**Giri, 2012**).

Choix et calcul des indices spectraux

Les indices ont été développés pour différentes applications. Toutefois, le choix d'un indice donné pour caractériser l'environnement de ce milieu est assez délicat. Dans les zones urbaines à couvert végétales éparses, un espace vert n'est pas une entité en soi, mais bien un mélange à proportions variables de zones herbacées, boisées, de sols nus, d'espaces construits, de voies de communication, donc l'espace urbain reste quand même un excellent milieu pour tester la fiabilité des indices de végétation afin de discriminer le végétal du minéral.

Les indices de végétation

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est l'indice le plus utilisé pour ressortir le couvert végétal. Le NDVI est calculé sur la base du rapport de la différence des bandes spectrales proche infrarouge (PIR) et rouge (R) et de leur somme Ou PIR est la réflectance dans le proche infrarouge et R la réflectance dans le visible (le rouge).

Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1. Les valeurs négatives correspondent aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles les réflectances dans le rouge sont supérieures à celles du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondent aux couverts les plus denses. (**Tucker, 1979**).

EBBI (indice de développement et de nudité)

Le EBBI est un acronyme pour Enhanced Built-Up and Bareness Index la désignation française est l'indice de développement et de nudité. Cet indice applique la fonction racine pour regrouper les numéros qui contrastent les objets identiques basés sur les différents niveaux de valeurs de réflectance (**Jean et al, 2015**).

L'EBBI est appliqué sur les bandes spectrales du proche infra-rouge (PIR), de l'infrarouge de courte longueur d'onde (IRCL) et de l'infrarouge thermique (IRT). Les bandes PIR et IRCL sont associées à un niveau de contraste élevé pour la détection des sols artificialisés (bâtis et revêtus)

et des sols nus. Donc, il existe un rapport de réflectance inverse en ce qui concerne la détection des sols artificialisés et des sols nus par rapport à la végétation. La végétation a une réflectance élevée dans la bande PIR, mais la réflectance des sols artificialisés et des sols nus dans la bande PIR est faible. Le rapport entre la soustraction de la bande PIR de la bande IRCL et la sommation de la bande IRCL et de la bande IRT donnera pratiquement 0 pour les pixels correspond à l'eau, ainsi que des valeurs négatives pour la végétation et des valeurs positives pour les pixels correspondant aux sols artificialisés et aux sols nus.

En effet, l'utilisation des canaux IRT est très efficace pour cartographier les sols artificialisés sur la base d'un faible albédo, ce qui élimine l'effet des ombres et de l'eau, tandis qu'un albédo élevé montre clairement les sols artificialisés et les sols nus.

La cartographie des sols artificialisés et des sols nus dans les zones urbaines est importante car l'existence de ces types de terrains peut être utilisée comme indicateur du développement urbain (**As-syakur et al. 2012**).

5 Système d'information géographique (SIG)

Des définitions ont été décrites par plusieurs auteurs parmi lesquels : Tomlinson (1972) ; Burrough (1986) ; Cowen (1988) ; Didier (1990) ; Thériault (1992 ,1996) ; Caloz (1998). Généralement, ces définitions comportent le même principe et sont élaborées de la même manière. Nous avons choisi les définitions les plus récentes et les plus simples, celles de Thériault (1996), Le Système d'Information Géographique (SIG) est généralement conçu pour l'étude synthétique des milieux et des activités distribuées sur le territoire, tels qu'on les perçoit à l'échelle locale ou régionale. Selon Caloz (1998) : « Le SIG est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la plupart sont spatialement référencées.

Fonctions d'un SIG

Un système d'information géographique (SIG) est capable de traiter de façon conjointe les informations géographiques (contours des unités de sols) et sémantiques (descriptive : classes de sols, occupation de sol, etc.) constituant la carte.

Le système d'information géographique (SIG) offre en plus la possibilité de manipuler les informations graphiques et alphanumériques stockées dans une banque de données. Un système d'informations géographique peut être perçu comme un outil d'analyse, de structuration et de synthèse de données dans un contexte spatial (**Kouba, 2018**).

Dans le SIG, les modèles de données fournissent des règles pour convertir les variations géographiques réelles en objets discrets. En règle générale, il existe deux types principaux de modèle de données : le raster et le vecteur.

- Un modèle raster divise la zone d'étude en une grille régulière de cellules où chaque cellule (pixel) contient une valeur unique décrivant une caractéristique unique dans une zone géographique délimitée. Les données raster sont à titre d'exemple, les données sur l'utilisation du sol et l'occupation du sol, les modèles numériques de terrain (MNT).
- Le modèle de données vectorielles traditionnel est basé sur les primitifs de la géométrie euclidienne à savoir, les points, les lignes et les polygones)

6 Différence entre zone littoral et côtière

Les zones côtières sont des zones d'interface ou de transition entre la terre et la mer, y compris les grands lacs intérieurs. Les zones côtières sont variées par leur fonction et leur forme, dynamiques et peuvent difficilement être délimitées de façon stricte dans l'espace. Contrairement

aux bassins versants, il n'existe pas de frontières naturelles précises qui les délimitent clairement **(Pernetta et Elder, 1993)**.

Les zones littorales sont des espaces particulièrement attractifs pour l'homme et propices à leurs activités. Au cœur des grands flux d'hommes, de capitaux et de marchandises, les littoraux ont été de plus en plus aménagés **(David, 2005)**.

Le domaine littoral comprend tout ce qui, soit au-dessous, soit au-dessus du niveau moyen des eaux, est soumis à l'action des forces responsables du tracé de la côte et de ses changements.

Martonne (1909) donne au littoral une épaisseur, une largeur et permet d'élargir le champ de réflexion sur cet espace.

7 Différence entre urbanisation et artificialisation

Urbanisation

L'urbanisation est l'action d'urbaniser, c'est-à-dire de favoriser, de promouvoir le développement des villes par la transformation de l'espace rural en espace urbain. Le phénomène de littoralisation, c'est-à-dire la concentration de la population et des activités le long du littoral est un phénomène mondial, il est particulièrement important dans le pourtour méditerranéen.

(Bouchenafa et Guemdani, 2016)

Artificialisation

Selon le Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, l'artificialisation désigne « toute surface retirée de son état naturel, forestier ou agricole, qu'elle soit bâtie ou non et qu'elle soit revêtue ou non ». Cette définition est reprise dans les principales enquêtes menées sur le sujet. Les zones artificialisées s'opposent aux espaces agricoles, milieux naturels et zones humides/surfaces en eau. L'expression « surfaces artificialisées » recouvre en réalité une grande diversité d'occupations et d'usages du sol. Par exemple, les zones artificialisées peuvent regrouper le tissu urbain continu et discontinu, les zones industrielles et commerciales, les infrastructures de transports, les activités d'extraction, chantiers, décharges ainsi que les espaces verts urbains et équipements de loisirs. L'artificialisation est suivie à différents niveaux via les données sur l'occupation et l'usage des sols **(Colsaet, 2017)**.

Chapitre II : Contexte général des zones d'études

Introduction

Le littoral est une entité géographique qui appelle une politique spécifique d'aménagement, de protection et de mise en valeur. C'est une zone de contact entre la terre et la mer qui constitue aujourd'hui un espace de plus en plus sollicité, ce qui accentue sa fragilité (**Becet, 2002**).

La perception des zones côtières, a radicalement changé ces cinquante dernières années. Cet espace était d'abord considéré comme une zone vide, ensuite il était réservé à une certaine élite sociale qui pratiquait les « bains de mer » dans de rares stations balnéaires. Ce n'est qu'avec la généralisation des congés payés que se produit le « boom balnéaire ». A partir de là, il y a une prise de conscience progressive des richesses de la frange littorale qui supporte forte pression de la part de ses divers utilisateurs (promoteurs, touristes, pêcheurs)

Depuis, l'importance économique et sociale du littoral ne fait que croître, engendrant des conflits importants d'occupation de l'espace. L'apparition des préoccupations écologiques met en exergue les équipements réalisés sans contrainte qui détruisent irrémédiablement les richesses de la zone littorale marine (**Kacemi, 2011**).

1 Situation géographique de la zone d'étude

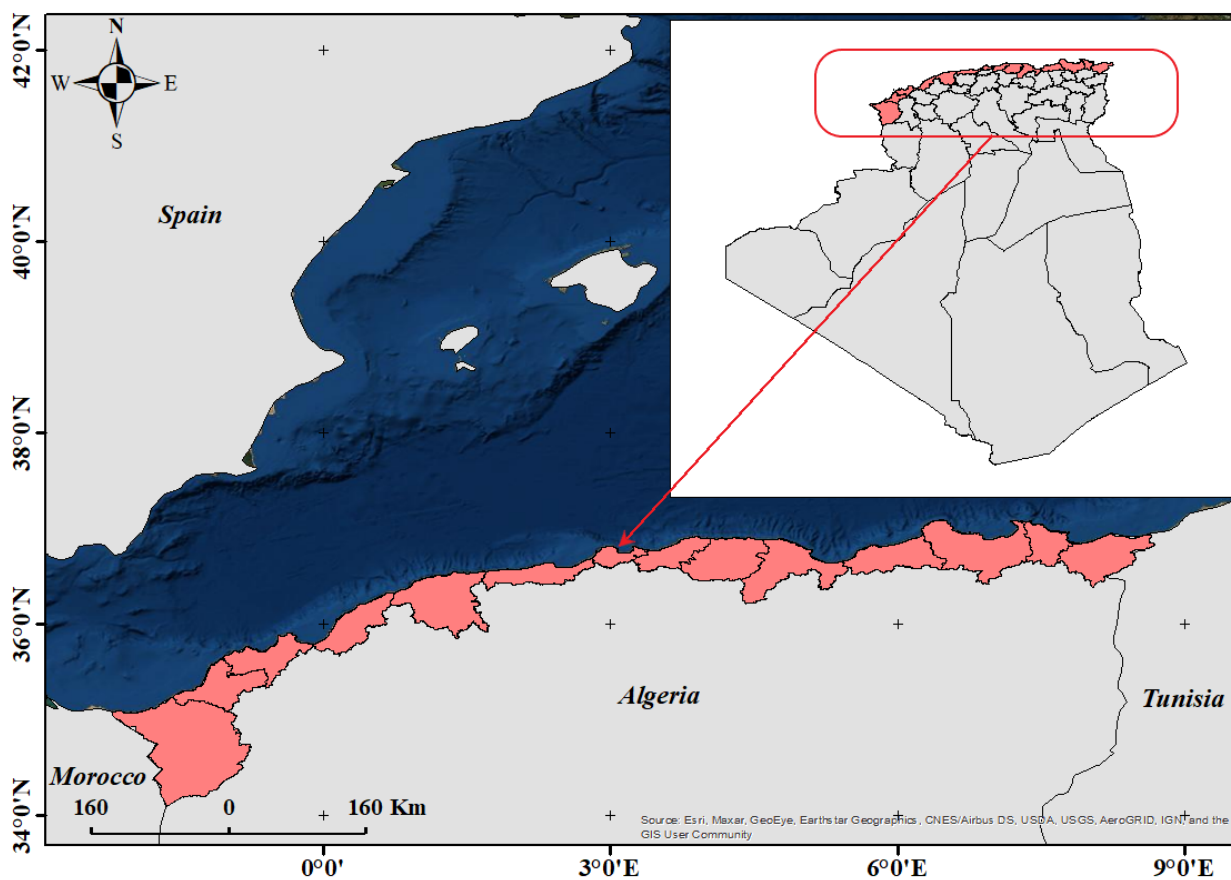


Figure 1: Situation géographique du littoral algérien (Source des limites administratives et frontières: ESRI 2020)

2 Développement de la population

La population est caractérisée par une répartition déséquilibrée sur le territoire national. Environ les deux tiers de la population algérienne sont concentrés sur le littoral qui représente 4% du territoire seulement, tandis que 8% de la population est dispersée à travers le Sahara qui s'étend sur 87% du territoire national. En 1998, la population des wilayas littorales est estimée à 12 564 151 habitants soit 43% de la population nationale, résidant en permanence sur une bande du littoral de 50 kilomètres de profondeur (**ONS RGPH, 1998**).

Outre la forte concentration de la population permanente, le littoral algérien constitue la destination privilégiée d'une population supplémentaire d'estivants (mais à l'heure actuelle, il n'y a pas de chiffres précis sur le nombre d'estivants). Pour la seule corniche oranaise, ce nombre a été estimé à 9 millions en 2005 (source : Protection civile, daïra d'Ain El-Türck).

Cette forte concentration démographique a entraîné une urbanisation démesurée. Le taux d'urbanisation est passé de 26 % en 1962 à 59,4% en 1998. Cette urbanisation s'est développée au détriment du foncier agricole, les surfaces concédées par l'agriculture ont été évaluées à 8 790 hectares à la Mitidja, 2 850 hectares dans les collines du Sahel, 1 010 hectares dans les plateaux côtiers du centre et 5 470 dans la région oranaise. A elles seules ces régions littorales autour des trois principales villes côtières ont perdu 17% du total de leurs terres agricoles. Les sites naturels (plages, dunes...) autour des grandes agglomérations et périmètres industriels côtiers (Alger, Oran, Annaba) (**Kacemi, 2011**).

L'augmentation de la population sur le littoral algérien a entraîné une artificialisation démesurée qui peut être définie par la transformation d'un sol à caractère naturel ou agricole par des actions d'aménagement, pouvant entraîner son imperméabilisation totale ou partielle.

3 Instrument de protection du littoral

Législation

L'Algérie a promulgué la loi 90-29 du 1^{er} décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme qui a défini en « dispositions particulières à certaines parties du territoire » l'espace littoral. Les dispositions de ce texte s'appliquent à toutes les îles, îlots ainsi qu'une bande de terre d'une largeur minimale de 800 mètres longeant la mer et incluant l'intégralité des zones humides et leurs rivages sur 300 mètres de largeur dès qu'une partie de ces zones est en littoral tel que défini. En outre, toute construction sur une bande de terre de 100 mètres de largeur à partir du rivage est frappée de servitude de non aedificandi, toutefois sont autorisées sur cette bande les constructions nécessitant la proximité immédiate de l'eau (art. 45 de la loi 90-29).

Les dispositions de cette loi n'ont pas empêché l'urbanisation de s'étendre dans les zones proches du rivage. Les espaces côtiers connaissent également une dégradation importante due à l'extraction non autorisée du sable et à la fréquentation anarchique des plages. Ce n'est qu'en

février 2002 qu'une loi spécifique au « littoral » a été promulguée. Il s'agit de la loi 02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral. Cette loi délimite trois bandes dans le littoral, dans lesquelles sont édictées des restrictions relatives à l'urbanisation (Figure 2).

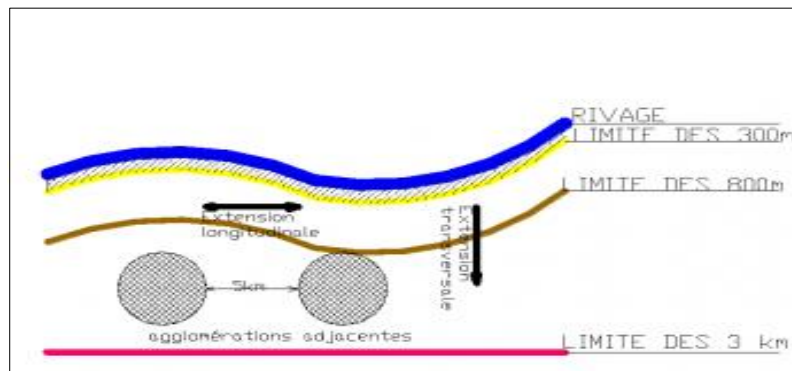


Figure 2: Les bandes littorales délimitées par la loi littorale 02-02 du 05/02/2002

Bande 1 : Il s'agit de la bande inconstructible dont la largeur peut atteindre 300 mètres à partir du rivage pour des motifs liés au caractère sensible du milieu côtier. Cette bande inclut le rivage naturel dans lequel sont interdits la circulation et le stationnement des véhicules (sauf les véhicules de service, de sécurité, de secours, d'entretien ou de nettoyage des plages).

Bande 2 : D'une largeur de 800 mètres où sont interdites les voies carrossables nouvelles parallèles au rivage (alinéa 1 de l'article 16). Toutefois, en raison de contraintes topographiques de configuration des lieux ou de besoins des activités exigeant la proximité immédiate de la mer, il peut être fait exception à cette disposition.

Bande 3 : Dont la largeur est de trois kilomètres. Dans cette bande sont interdites :

- Toute extension longitudinale du périmètre urbanisé ;
- L'extension de deux agglomérations adjacentes situées sur le littoral à moins que la distance les séparant soit de cinq (5) kilomètres au moins ;
- Les voies de transit nouvelles parallèles au rivage.

Au niveau international, L'Algérie a adhéré à la convention de Barcelone de 1976 en Janvier 1980. De même, le protocole relatif à la protection de la Mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique ratifié en 1982 est entré en vigueur en 1983. L'adoption, le 3 Avril 1982 à Gènes du protocole relatif aux Aires Spécialement Protégées d'importance Méditerranéenne et sa ratification en 1985 est entrée en vigueur en 1986.

4 Présentation et description de la zone d'étude

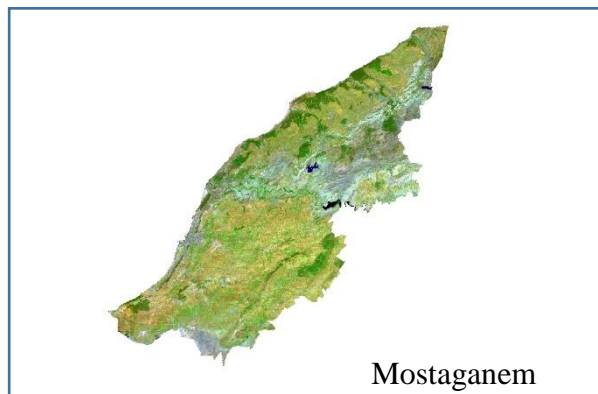
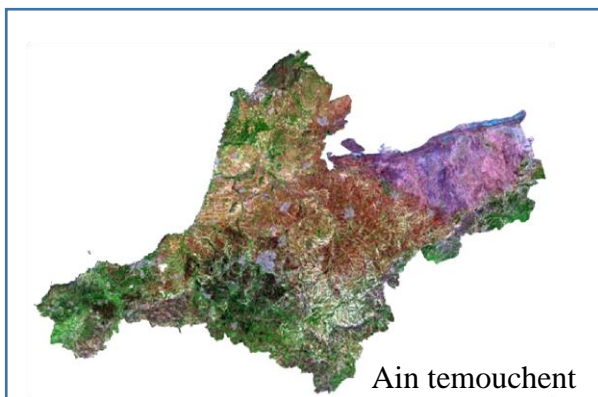
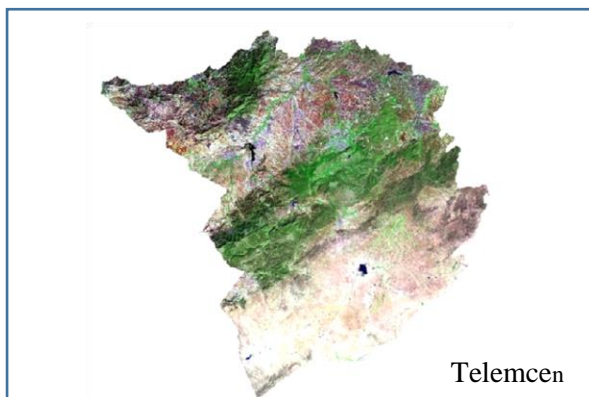
Tableau 2: les wilayas littorales et ses caractéristiques (Source : ONS 2008, RGPH 2008, ANDI et CNL <http://commissariatlittoral.dz/wilayas-cotieres/>)

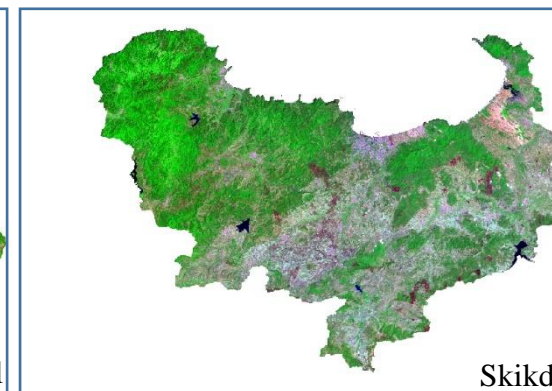
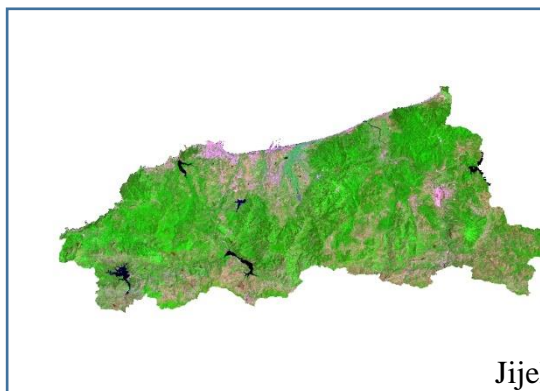
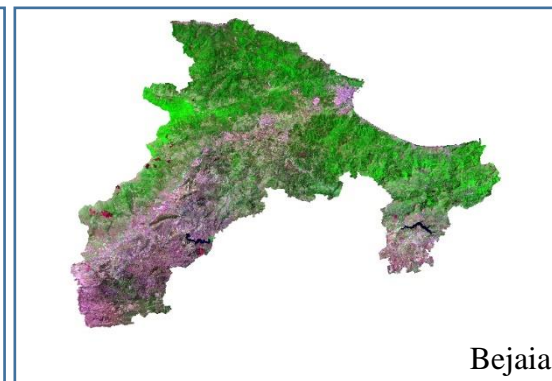
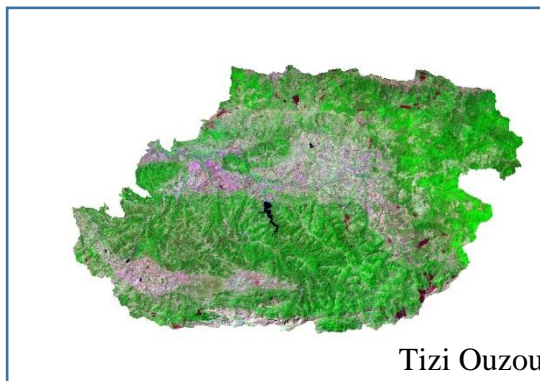
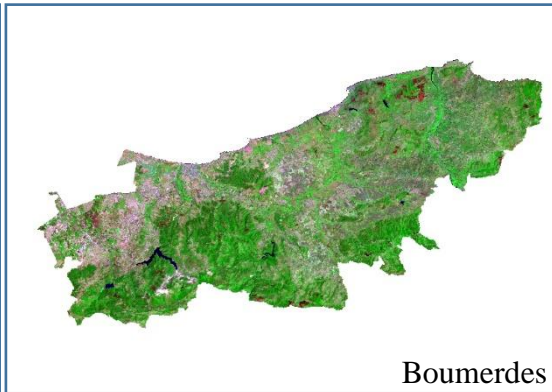
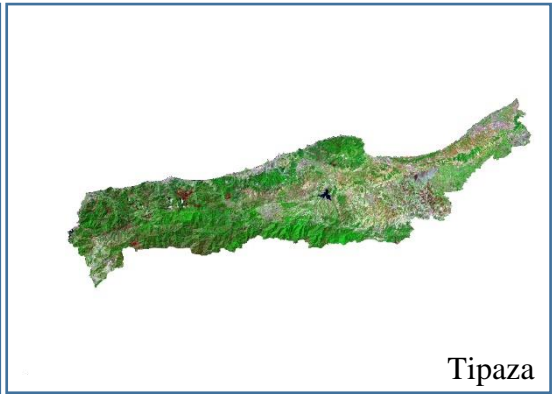
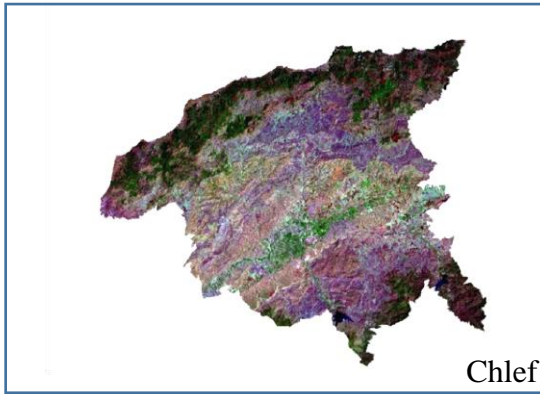
Wilayas	Scènes utilisées (Path/Row)	Nombre des communes côtières	Caractéristiques
Telemcen	199/36 198/36	8	-Façade maritime : 73 km -Superficie : 9017,36Km ² -Superficie : terrestre : 115,027 Km ² -Superficie marine : 1 526 Km ² la population de la wilaya de Tlemcen était de 949 135 habitants (RGPH 2008).
Ain temouchent	198/36	9	-Façade maritime : 80 km -Superficie terrestre : 212,45 Km ² -Superficie marine : 1681 Km ² . -La population totale de la wilaya est de 384 565 habitants, soit une densité de 162 habitants par Km ² (ONS 2008).
	198/35		
Oran	198/35	14	-Façade maritime : 124 km -Superficie terrestre : 363,65 Km ²

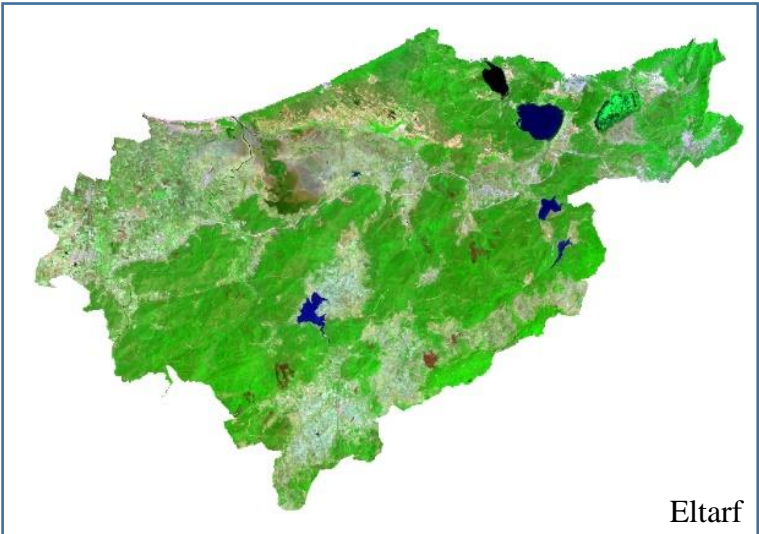
			<p>-Superficie marine : 2 564 Km²</p> <p>-La population totale de la wilaya est de 1 577 556 habitants, soit une densité de 746 habitants par Km²</p>
Mostaganem	198/35	10	<p>-Façade maritime : 124 Km</p> <p>-Superficie terrestre : 21 514 Km²</p> <p>-Superficie marine : 2 470 Km²</p> <p>-La wilaya de Mostaganem comptait à la fin 2010 une population de 768.942 HAB avec une densité de 339 Hab / km²</p>
	197/35		
Chlef	197/35	7	<p>-Façade maritime : 129 Km.</p> <p>-Superficie terrestre : 165,82 Km².</p> <p>-Superficie marine : 1 951 Km².</p> <p>-La population de la wilaya de Chlef est estimée à 1 053 768 habitants.</p>
Tipaza	196/35	14	<p>-Superficie : 1 707Km².</p> <p>-Façade maritime : 145,81 km.</p> <p>-Population domaine littoral : 203 735 habitants sur les</p>
	197/35		

			555 646 densités de 352 habitants par km ² .
Alger	196/35	19	-Façade maritime : 107 km -Superficie terrestre : 122,17 km ² -Superficie marine : 1783 km ² -La population totale de la wilaya d'Alger est de 2 947 466 habitants, soit une densité de 3 642 habitants par km
	196/34		

Dont ce qui suit en représentés des images satellitaires (Landsat 8 OLI /TIRS) pour chaque wilaya côtières durant la période 2019 :







Chapitres III :

Matériels et Méthodes

Introduction

En vue de la quantification de l'artificialisation des sols le long du littoral algérien, nous avons utilisé deux méthodes différentes afin de confronter les résultats. Il s'agit de la classification multi-temporelle par l'algorithme des forêts aléatoires et la méthode de la différence d'indices spectraux. Les indices retenus sont l'EBBI pour les sols artificialisés et le NDVI pour le couvert végétal. Les superficies du changement sont mesurées à l'échelle des wilayas et aussi des bandes littorales (100m, 300m, 800m et 3km) afin de vérifier la valorisation de la loi N°90-29 du 01décember 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme et la loi N°02-02 relative à la protection et la valorisation. Le second objectif est d'analyser ces superficies afin d'identifier les parties du littoral les plus touchées.

Notre étude couvre la période 1990-2019 répartie en trois intervalles de dix ans ; la 1^{ère} période est de 1990 à 2000, la 2^{ème} période de 2000 à 2010 et enfin, la 3^{ème} période de 2000 à 2019.

Afin d'atteindre les objectifs assignés à cette étude, nous avons suivi les étapes ci-dessous :

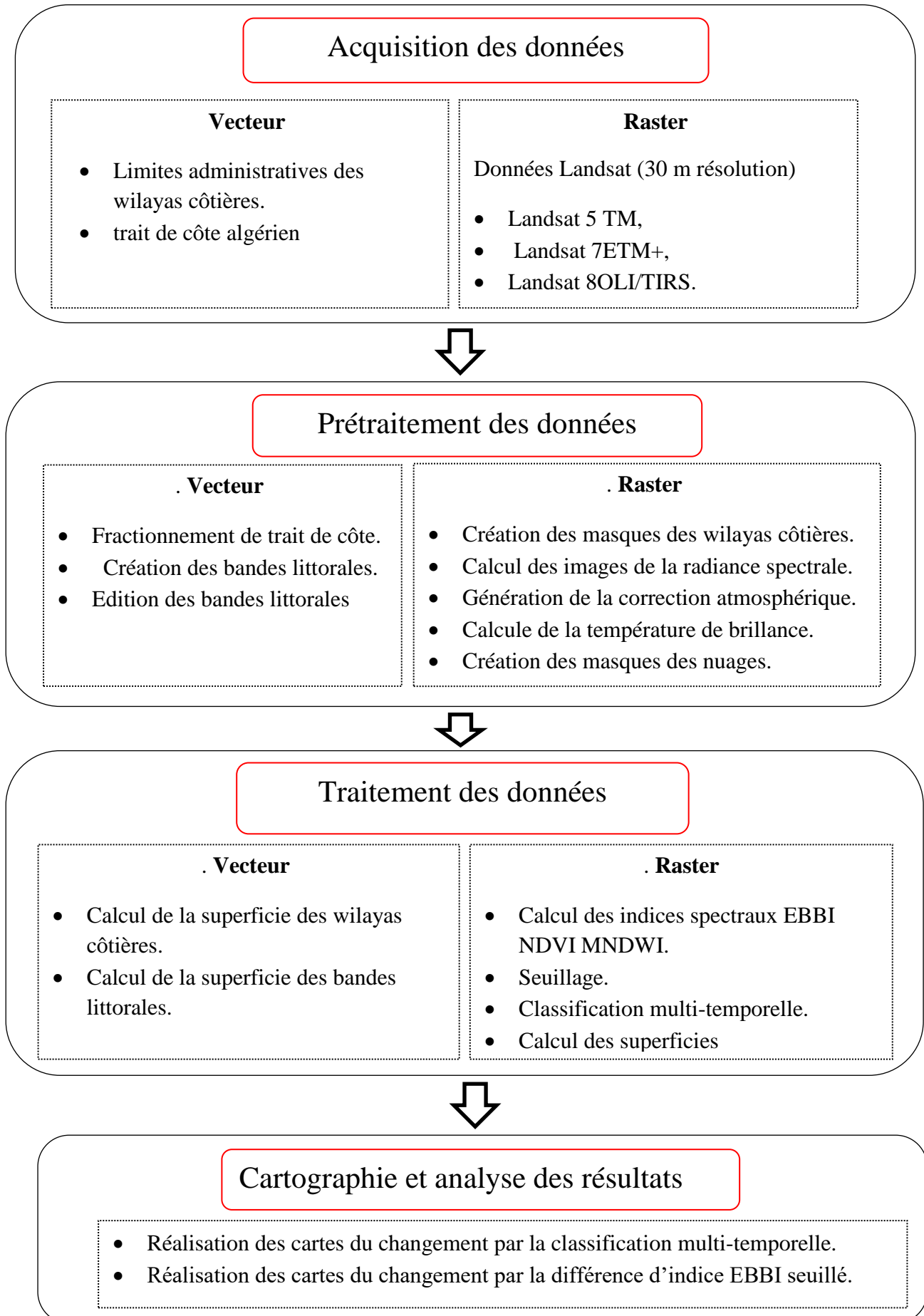


Figure 3: Algorithme explicatif de la méthodologie du travail

1 Acquisition des données

Données spatiales mises en œuvre

Dans une étude de détection du changement, la sélection des images satellitaires est une étape cruciale.

Le premier critère temporel à considérer est le mois d'acquisition des images. Cela est particulièrement important par rapport à un territoire où l'agriculture est l'activité principale. Pour cette étape, il est recommandé d'utiliser des images acquises dans la même période de l'année pour la détection des changements et ce, afin de réduire les problèmes dus aux différences dues aux angles d'ensoleillement, aux changements phénologiques de la végétation et aux différences dans l'humidité des sols. Dans notre projet, nous avons choisi le mois de Juin pratiquement dans la majorité des scènes sauf par fois lorsque les conditions climatiques sont mauvaises à cause la couverture nuageuse. Dans ce cas, nous avons choisi l'image sans nuages correspondant à la date la plus proche de celle du mois de juin.

Le second critère est que la scène choisie doit être de bonne qualité radiométrique. Enfin, le but et le contexte de la recherche contribuent aussi au choix des images (**Kim Huong Hoang, 2007**).

Le téléchargement des images correspondant aux années 1990, 2000, 2010 et 2019, du site <https://espa.cr.usgs.gov>.

Les caractéristiques des données sont les suivantes :

- Landsat 5 TM pour les années 1990 et 2010, Landsat 7 ETM+ pour l'année 2000 et Landsat 8 (OLI/TIRS) pour l'année 2019.
- Les niveaux téléchargés correspondent au niveau 1 pour récupérer les bandes thermiques et le niveau 2 pour les images réflectance de surface.
- Les scènes d'un même segment doivent avoir la même date d'acquisition.
- Bien entendu, le niveau et le niveau doivent avoir la même date d'acquisition.

Tableau 3: Les caractéristiques des satellites (Landsat 5,7 et 8) (Source : USGS 2017)

Satellites et capteurs	Les bandes spectrales		Résolution spatial	Fréquence de Passage	Dimension d'une scène (Fauché)
Landsat 5 TM	B1 (B)	B5 (IRM)	30 m	16 jours	185 x 172 km
	B2 (V)	B6 (IRT)	Bande 6 : 120 m		
	B3 (R)	B7 (IRM)			
	B4 (IR)				

Landsat 7 ETM+	B1 (B) B2 (V) B3 (R) B4 (IR)	B5 (IRM) B6 (IRT) B7 (IRM) B8 (PAN)	30 m Bande 6: 60 m Pan : 15 m	16 jours	185 x 172 km
Landsat 8OLI/TIRS	B1 (B) B2 (V) B3 (R) B4 (IR)	B5 (IRM) B6 (IRT) B7 (IRM) B8 (PAN) B9 (Cirrus)	30m Bande 6: 30 m Pan : 15 m	16 jours	185 x 180 km

2 Prétraitement des données

Le traitement des données géo spatiales utilisées a été réalisé à l’aide des logiciels ENVI, Arc GIS, Snap et QGIS. Cette étape consiste à préparer les données afin d’être intégrées dans les méthodes de détection du changement.

Cette préparation a concerné aussi bien les données de type vecteur que les données raster.

2.1 Pré -Traitement des données vecteur

Afin de déterminer les limites administratives précises des wilayas côtières, nous avons exploité le fichier des limites administratives qui nous a été courtoisement fourni par la société de Cartographie DZMap. Ce dernier est basé sur les limites continentales de l’INCT qui calent parfaitement avec la cartographie au 1/50000 à partir de laquelle il est issu. Néanmoins, le trait de côte a été mise à jour par DZMap avec un très grand niveau de détail de façon à refléter son état actuel. Nous avons ensuite extrait chaque wilaya et avons déterminé les différentes bandes littorales définies par la loi littorale 02-02(2002). Notant que les fichiers extraire sont fournis dans Le système géographique (WGS84).

Edition des données vectorielles

Fractionnement du trait de côte

Cette opération a pour but d’obtenir le trait de côte de chaque wilaya côtière. Le fractionnement est fait manuellement à l’aide de l’outil « Split » dans ArcMap. Le fractionnement se fait au point de sommet (vertex point) matérialisant l’intersection de l’entité linéaire (trait de côte) avec la limite de chaque polygone (wilaya côtière).

Création des bandes littorales

Les couches géo spatiales correspondant aux bandes littorales (100 m, 300 m, 800 m et 3 km) sont créées en utilisant une opération topologique qui est la mise en tampon « buffering » à l'aide de l'outil Buffer dans le logiciel ArcMap.

Ajout des attributs géométriques

Les fichiers Shapefile sont importés dans QGIS pour effectuer une opération non topologique.

Cette opération dépend du type de géométrie. Pour les polygones, l'attribut ajouté est la superficie pour chaque wilaya ainsi que celle de ses bandes littorales (100m, 300m, 800m, 3km).

Cette étape est utile dans le calcul du pourcentage et de la vitesse du changement.

2.2 Prétraitement des données raster

Prétraitement des images réflectances (Niveau 2)

Création des images composite

Les données Landsat sont distribuées au format GeoTIFF dans des fichiers compressés au format tar.gz. Les données Landsat 5 TM de niveau 2 ainsi que les données Landsat 7 ETM+ de niveau-2 (réflectance de surface) contiennent 6 bandes spectrales de réflectance de surface (Surface réflectance, SR) (USGS, 2019). Les données Landsat 8 OLI/TIRS de niveau-2 contiennent 7 bandes spectrales de réflectance de surface (USGS, 2018).

Chaque bande spectrale est une image en niveaux de gris. Ces dernières sont ouvertes puis empilées (layer stacking) et enregistrées dans une image composite. Cette étape est répétée pour les images couvrant une même wilaya. Par la suite, pour l'ensemble des années 1990, 2000, 2010, 2019, le mosaïquage des scènes Landsat 5 TM Landsat 7 ETM+ Landsat 8 OLI (Niveau 1 et Niveau 2) de la même wilaya est effectué. En effet, le mosaïquage des images a pour but la génération d'une image unique afin de recouvrir notre zone d'étude entièrement.

Extraction de la zone d'étude

Cette opération sert à délimiter la zone d'intérêt pour créer des masques à partir des scènes Landsat originelles. Les zones d'intérêt sont définies par le fichier Shapefile des limites administratives de chaque wilaya littorale. Nous avons choisi de travailler sur le référentiel cartographique WGS84 associé à la projection UTM. Etant donné que le littoral algérien s'étale sur les 3 fuseaux 30, 31 et 32, le fuseau attribué à chaque wilaya dépend de son emplacement

géographique. Dans le cas des wilayas qui chevauchent sur deux fuseaux, un traitement particulier a été effectué.

Prétraitement des bandes thermiques (Niveau 1)

Les données Landsat 5 TM et Landsat 7 ETM+

Les produits Landsat 7 de niveau-1 sont livrés sous forme d'images au format GeoTIFF avec une résolution radiométrique de 8 bits (entier non signé 8-bits à 256 niveaux de gris). Les données thermiques sont acquises dans deux bandes d'un détecteur à la fois en gain élevé (bande 6- High Gain) appelé aussi BAND_6_VCID_1 (Bande 6-1 ou 6-L) et en gain faible (bande 6-Low Gain) appelé aussi BAND_6_VCID_2 (Bande 6-2 ou 6-H).

L'utilisation de la bande BAND_6_VCID_1 est recommandée après sa conversion en radiance spectrale au sommet de l'atmosphère pour calculer l'EBBI pour les données Landsat 5 TM

(As-syakur et al, 2012).

En revanche, pour les données Landsat 7 ETM +, la bande BAND_6_VCID_1 est recommandée après sa conversion en radiance spectrale au sommet de l'atmosphère et après la réalisation d'une correction atmosphérique pour calculer l'EBBI.

L'application est réalisée avec le logiciel QGIS. Les images Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM + correspondant aux années 1990, 2000, 2010 et 2019 du niveau 1 sont chargées une à une après décompression. Les bandes thermiques qui appartiennent à la même wilaya, au même capteur et à la même date sont alors mosaïquées en tenant compte des conditions suivantes :

- Landsat 5 TM : mosaïque de la bande thermique BAND_6_VCID_1
- Landsat 7 ETM + : mosaïque des bandes thermiques BAND_6_VCID_1 et BAND_6_VCID_2.

Les données Landsat 8 OLI /TIRS

Les produits Landsat 8 de niveau-1 sont livrés sous forme d'images au format GeoTIFF avec une résolution radiométrique de 16 bits avec 256 niveaux de gris (entier non signé 16-bits). Les données thermiques sont acquises dans deux bandes d'un détecteur à la fois (Bande 10 et la bande 11). L'utilisation de la bande 10 est recommandée après sa conversion en radiance spectrale au sommet de l'atmosphère et après la réalisation d'une correction atmosphérique pour

Calculer l'EBBI. Les étapes de la réalisation sont les mêmes que celle des données Landsat 7 ETM +, sauf que dans ce cas il faut mosaïquer les bandes thermiques Bande 10 et Bande 11.

Remarque : La bande thermique BAND_6_VCID_2 pour Landsat 7 ETM+ et la bande 11 pour Landsat 8 OLI/TIRS vont servir dans l'étape « Correction thermo-atmosphérique » sous ENVI.

Extraction de la zone d'intérêt

Cette étape consiste à extraire juste la zone d'intérêt. La procédure est réalisée sous QGIS en utilisant l'outil d'extraction sur les rasters.

Calcul des images « radiance spectrale »

Les produits de données Landsat de niveau 1 sont des nombres numériques (DN) à l'échelle quantifiée et calibrée représentant des images multi spectrales.

Avant de calculer les différents indices spectraux accumulés les données Landsat-7 ETM+, Landsat 5 TM et Land sat-8 OLI/TIRS doivent être soumises à un étalonnage radiométrique et à une correction atmosphérique (**Ronald et Yuji, 2015**).

Les équations suivantes sont utilisées pour convertir les DN dans un produit de niveau-1 en unités de radiance spectrale :

Pour les données Landsat 5 TM et Landsat 7 ETM +

Voici l'équation de conversion :

$$L\lambda = \frac{(LMAX\lambda - LMIN\lambda)}{(QCALMAX - QCALMIN) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN\lambda} \quad (1)$$

$L\lambda$ = radiance spectrale à l'ouverture du capteur en (Watts / (m² * sr * μm))

$LMIN\lambda$ = radiance spectrale échelonnée à QCALMIN en (Watts / (m² * sr * μm))

$LMAX\lambda$ = radiance spectrale échelonnée à QCALMAX en (Watts / (m² * sr * μm))

$LMAX\lambda$ et $LMIN\lambda$ sont fournies dans le fichier de métadonnées.

$QCALMIN$ = valeur de pixel minimum quantifiée et calibrée (correspondant à $LMIN\lambda$) en DN.

- $QCALMIN = 1$ pour les produits LPGS.
- $QCALMIN = 1$ pour les produits NLAPS traités après le 04/04/2004.
- $QCALMIN = 0$ pour les produits NLAPS traités avant le 05/04/2004.

- $QCALMAX =$ valeur de pixel maximum quantifiée et calibrée (correspondant à $LMAX\lambda$) en DN = 255.

QCAL = Valeur de pixel calibrée et quantifiée en DN.

Tous les paramètres nécessaires au calcul des radiances spectrales se trouvent dans le fichier des métadonnées (MTL), dans l'image niveau 1 ainsi que dans les métadonnées de l'image niveau 1 sur SNAP.

Les données Landsat 8 OLI

Voici l'équation de conversion :

$$L\lambda = ML \times Qcal + AL \quad (2)$$

- $L\lambda$ = radiance spectrale en (Watts / (m² * sr * μm)).
- ML = Facteur de redimensionnement multiplicatif spécifique à la bande à partir des métadonnées (RADIANCE_MULT_BAND_x, où x est le numéro de bande).
- QCAL = Valeurs de pixel du produit standard quantifiées et calibrées (DN).
- AL = Facteur de mise à l'échelle additive spécifique à la bande à partir des métadonnées (RADIANCE_ADD_BAND x, où x est le numéro de bande) (Ronald et Yuji, 2015).

Ces données on les trouve dans le fichier de métras données MLT pour les images du niveau 1.

La correction atmosphérique pour Landsat 7 ETM+ et Landsat 8 OLI

Après la conversion des bandes (BAND_6_vcid 1 et BAND_6_vcid 2) pour Landsat 7 ETM+, (la bande 10 et 11) pour Landsat 8 OLI en radiance spectrale, ces bandes doivent subir une correction atmosphérique.

Le résultat de cette étape nous servira dans le calcul de la température de brillance qui doit être en degré Celsius pour le calcul de l'indice EBBI et de la différence d'indices EBBI.

Calcul de la température de brillance

Pour le calcul d'indice sur la base des bandes thermiques, Estoque propose de calculer la radiance spectrale, ensuite d'appliquer une correction atmosphérique thermique à l'aide du module ENVI. Cette correction nécessite au minimum 2 bandes thermiques donc impossible de l'appliquer sur les images Landsat 5 TM. Cette étape est possible à appliquer sur les images Landsat 7 ETM+ (BAND_6_vcid_1 + BAND_6_vcid_2) et landsa8 OLI/TIRS (Bande_10 + Bande_12) (Estoque et al, 2015).

Il propose ensuite de dériver la température de brillance sur la base de l'équation suivante :

$$T_{\text{Brillance}} = K2 / \ln (K1/radspect + 1) \quad (3)$$

K₁ et K₂ : sont les constantes de conversion thermique spécifiques à chaque bande, on les trouve dans les métadonnées des images du niveau 1 (USGS, 2006, 2013a).

Les résultats sont La température de brillance calculée à partir des radiances spectrales corrigées des effets de l'atmosphère par le module « Correction atmosphérique » d'ENVI sur les 2 bandes 61, 62 pour les données Landsat 7 ETM + et 10,11 pour les données Landsat 8 OLI.

3 Création des masques de nuages

Les pixels nuageux affectent la capacité des satellites optiques à "voir" la surface terrestre.

C'est pour cela que les images doivent être choisies en fonction de leur faible pourcentage de couverture nuageuse inférieure à 10%.

Les produits de réflexion de surface Landsat ont une couche de masque de nuages. Cette couche est vérifiée et s'il le faut pourra être utilisée comme masque afin d'éliminer les pixels nuages des images résultats (indice, classification, différences d'indices, etc.).

Afin de réaliser le masque des nuages, il faut mosaïqué les scènes limitrophes qui contient les informations sur les nuages appartiennent au même limite administrative ces dernières sont fournies avec les images de niveau 2 « Réflectance spatiale »

Puis, nous avons réalisé un découpage selon la limite administrative propre à chaque wilaya.

4 Traitement des données raster

4.1 Calcul des indices et des différences d'indices

Calcul du NDVI

Les équations NDVI sont fournies dans le guide des produits de Réflectance de Surface Landsat de l'USGS (USGS, 2017).

Le NDVI est calculé à partir de données Landsat 7 ETM+ et Landsat 5 TM par l'équation suivante :

$$\text{NDVI} = (\text{Bande 4} - \text{Bande 3}) / (\text{Bande 4} + \text{Bande 3}) \quad (4)$$

Le NDVI est calculé à partir de données Landsat 8 OLI/TIRS par l'équation suivante :

$$\text{NDVI} = (\text{Bande 5} - \text{Bande 4}) / (\text{Bande 5} + \text{Bande 4}) \quad (5)$$

Calcul de la différence du NDVI

Pour obtenir l'image de différence du NDVI, l'image NDVI de la date antérieure est soustraite de l'image NDVI de la date ultérieure à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{NDVI (différence)} = \text{NDVI (date 2)} - \text{NDVI (date 1)} \quad (6)$$

Voici l'enchaînement des étapes : 2019-2010 / 2010-2000 / 2000-1990

Calcul d'indices EBBI

L'EBBI est calculé à partir de données Landsat 7 ETM+ et Landsat 5 TM par l'équation suivante (As-syakur et al, 2012) :

$$\text{EBBI} = (\text{Bande 5} - \text{Bande 4}) / (10 * \sqrt{\text{Bande 5} + \text{Bande 6 VCID 1}}) \quad (7)$$

Pour Landsat 7ETM + la *Bande 6 VCID* sera celle qui résulte après le calcul de la température de brillance.

L'EBBI est calculé à partir de données Landsat 8 OLI/TIRS par l'équation suivante (Sekertekin et Marangoz, 2017).

$$\text{EBBI} = (\text{Bande 6} - \text{Bande 5}) / (10 * \sqrt{\text{Bande 5} + \text{Bande 6 VCID 10}}) \quad (8)$$

La bande 10 sera celle qui résulte après le calcul de la température de brillance pour les données Landsat 8OLI/TIRS.

Calcul de différence EBBI

L'image de différence de l'EBBI met en évidence les zones où le changement a eu lieu et aussi renseigne sur son type.

Pour obtenir l'image de différence de l'EBBI, l'image EBBI de la date antérieure est soustraite de l'image EBBI de la date ultérieure à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{EBBI (différence)} = \text{EBBI (date 2)} - \text{EBBI (date 1)} \quad (9)$$

La différence sera faite pour les données Landsat 5 TM Landsat 7 ETM+ Landsat 8 Oli /Tirs.

Calcul d'indices MNDWI

Le masque d'eau détermine efficacement les masses d'eau libres et les terres fortement inondées, il ne pouvait pas supprimer complètement les réponses positives de magnitude inférieure des régions bâties, ce qui se traduit par une détection faussement positive de certaines régions bâties comme masses d'eau (Xu, 2006).

(Xu, 2006). a proposé une procédure de binarisation avec une valeur seuil unique pour maximiser la différence entre les régions aquatiques et non aquatiques afin de surmonter le problème.

Voici l'équation pour le calcul d'indice MNDWI :

$$\text{MNDWI} = (\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{SWIR1}}) / (\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{SWIR1}}) \quad (10)$$

Avec : ρ_{Green} : la réflectance de la bande du vert, (pour les données Landsat 5 TM et Landsat 7 ETM+ est celle de la bande 2. En revanche, pour les données Landsat 8 OLI est celle de la bande 3).

ρ_{SWIR1} : la réflectance de la première bande infrarouge à courtes longueurs d'onde (IRCL1 ou SWIR1). (Pour les données Landsat 5 TM et Landsat 7 ETM+ est celle de la bande 5 en revanche pour les données Landsat 8 OLI est celle de la bande 6).

L'application de cet indice fournit une plage de valeurs entre -1 et 1, où les valeurs positives correspondent aux terres à forte humidité et aux eaux libres, tandis que les valeurs négatives correspondent à la végétation et aux terres sèches (Xu, 2006).

Transformation d'image MNDWI

L'image obtenue doit être binarisée pour avoir des valeurs **1** correspondant aux pixels « eaux » qui vont apparaître en blanc et des valeurs **0** correspondant à des pixels « non eaux » qui vont apparaître en noir (Xu, 2006).

La transformation est réalisée par l'application d'un seuillage fixe sous QGIS

4.2 Seuillage des images de différence EBBI et NDVI

Le seuillage est une étape importante car elle permet de transformer les images indices et différences d'indices en images binaires avec uniquement 2 classes. Ceci va permettre d'avoir le nombre de pixels dans chaque classe permettant ainsi la quantification des pixels « changement » ou « artificialisé » grâce aux masques 100 m, 300 m, 800 m, 3 km.

Pour cette étape, nous passerons sur Arc GIS afin d'appliquer une fonction déjà implémentée dite fonction de seuillage binaire. En effet, La fonction de définition d'un seuil binaire divise le raster en entré en deux classes distinctes pour produire une image binaire. L'algorithme fait la distinction entre le premier-plan et l'arrière-plan dans les images en créant deux classes avec une variance entre les classes minimale Cette fonction marche très bien lorsque la distribution des données est bimodale. (Otsu, 1979).

4.3 Application des masques d'eaux

Les masques d'eau, seuillées, déjà produit doivent être appliqués sur les images résultantes de la différence EBBI et NDVI seuillé afin de ne laisser dans l'image du « changement » que les pixels « non eau ». L'application est réalisée sur QGIS grâce à l'outil Raster Calculator et elle est répétée pour les images « changement » pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 et pour chaque wilaya.

4.4 La classification multi temporelle

Nous empilerons les bandes des images et utiliserons l'algorithme de forêt aléatoire pour générer une image des changements. Cette image indiquera les régions où la couverture forestière a augmenté, diminué ou est restée la même. Cette technique peut être appliquée à de nombreuses régions différentes et pourrait inclure différents types de classification d'images pour la région d'intérêt. Les étapes de la réalisation sont effectuées sous QGIS comme suit :

Création d'une image empilée

Premièrement, nous ajoutons les deux rasters spécifiques pour la période du changement puis nous les fusionnons. Sur la boîte de dialogue qui s'affiche, certains paramètres doivent être réglés tel que la sélection des images, le classement des images « antérieure » puis « ultérieure ».

Prétraitement de l'image empilée

La nouvelle image aura toutes les bandes des deux images. Il existe plusieurs combinaisons de bandes différentes qui sont généralement utilisées pour observer les changements de végétation, notamment la couleur vraie, l'infrarouge couleur et les compositions fausses couleurs.

Dans notre cas, nous allons visualiser l'image en utilisant la combinaison de bandes fausses couleurs. Il est utile de créer une combinaison de bandes pour la première période, une pour la seconde et une qui contient des bandes des deux dates pour mettre en évidence les changements. Dans QGIS, il est possible de créer des doublons de l'image à deux dates et ensuite attribuer les combinaisons de bandes uniques à chacune d'entre elles.

Certains paramètres symbologiques des trois images doivent être réglés comme suit :

1- pour l'image de la date antérieure

A titre d'exemple, pour la période 2010-2019, voici les étapes :

Faites un clic droit sur l'image Alger_2019_2010_Stacked_2010.tif et cliquez sur Propriétés > Symbologie > Laissez le type de rendu comme couleur multi bande par défaut > Changez la

bande rouge en bande 5, Changez la bande verte en bande 4, Changez la bande bleue en bande 3 > Cliquez sur Appliquer.

Par la suite, cliquez sur la flèche déroulante à côté des paramètres des valeurs Min/max 17. Activez l'écart-type moyen +/- et assurez-vous que la valeur est réglée sur 2,00 (ça devrait être la valeur par défaut). Dans la liste déroulante à côté de "extension des statistiques", vous pouvez laisser la valeur par défaut comme "Tous le raster " Cliquez sur Appliquer puis sur "OK".

2-Pour l'image de la date ultérieure (Alger_2019_2010_Stacked_2019.tif) :

Toutes les étapes seront identiques, sauf pour les combinaisons de couleurs. La bande rouge est attribuée à la bande 12, la verte à la bande 11 et la bleue à la bande 10.

3-Pour l'image de changement (Alger 2019_2010_Stacked_change.tif) :

Les étapes sont identiques, sauf pour les combinaisons de couleurs. La bande rouge est affectée à la bande 13, la verte à la bande 5 et la bleue à la bande 8. L'option "Cumulative count cut" sous "Min/ max values settings" est choisie et la valeur par défaut à 2.0 et 98.0% est laissée.

Nous remarquons que les zones déboisées sont mises en évidence en magenta/violet et les zones qui ont une végétation accrue sont mises en évidence en vert.

I. Développement des sites d'apprentissage

Un nouveau fichier de forme de type polygone est créé auquel est attribué un nouveau champ nommé « Notes » à titre d'exemple, de type « texte », d'une longueur de 20 caractères. Le référentiel attribué au nouveau fichier est celui de la wilaya correspondante.

Afin de créer des sites d'apprentissage, les zones dont nous connaissons la catégorie de couverture terrestre sont identifiées ainsi que le type de changement observé dans les périodes 1990-2000, de 2000-2010, et de 2010-2019. Pour cette étude, nous utiliserons les catégories et le code d'identification présentés dans le tableau 9

Tableau 4 : Les différentes classes de changement (Source : ARSET Webinar 2018)

Classe de couverture	Code
Forêt à Forêt	11
Forêt à Non-Forêt	12
Non-Forêt à Non-Forêt	22
Non-Forêt à Forêt	21

Une fois la région de changement trouvée, un polygone est dessiné autour de ces pixels pour créer le site d'apprentissage. Les outils zoom avant ou arrière sur les images et l'activation et la désactivation de l'affichage sont très utiles dans la recherche des régions de changement correspondant aux périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.

1- Pour dessiner des polygones voici les étapes à suivre :

Clic droit sur la couche d'apprentissage > Basculer en mode édition. Ces polygones seront utilisés comme sites de formation pour la classification.

2- Pour ajouter des caractéristiques à la couche

Cliquez sur Éditer > sélectionnez Ajouter une caractéristique de polygone.

3- Pour la création des polygones cliquer sur ajouter une entité polygonale.

Cliquez sur l'image pour dessiner le contour du polygone qui ne comprend que des pixels sans changement de forêt. Cliquez sur le bouton droit de la souris pour fermer le polygone.

4 - Une boîte de dialogue apparaîtra pour fournir des informations sur les attributs. Donnez à ce polygone l'ID 11 (par exemple), puis renseignez « Notes » par le changement correspondant (dans ce cas, Forêt-Forêt).

5- Ensuite, sont créées les sites d'échantillonnage qui étaient forestiers en 1990, mais qui sont devenus sols nus (non forestiers) en 2000. Ces zones seront en violet/magenta dans l'image de changement. Là encore, la confirmation ce type de changement se fait en visualisant séquentiellement l'image 1990, 2000 et l'image du changement.

6 - les étapes 1 à 5 sont répétées pour la catégorie forestière à non forestière. A chacun de ces polygones d'entraînement est attribué l'ID 12 et l'annotation « Forêt-Non-Forêt ».

7- Les étapes 1 à 5 sont aussi répétées pour la catégorie non forestière à forestière. Les polygones d'entraînement auront l'ID 21 et l'annotation Non Forêt-Forêt.

8- Les étapes 1 à 5 sont aussi répétées pour la catégorie non forestière à non forestière. Les polygones d'entraînement auront l'ID 22 et l'annotation Non Forêt-Non Forêt.

L'algorithme des forêts aléatoires est réalisé sur le logiciel SNAP afin de générer les cartes des changements. Après l'ouverture de l'image dans la composition colorée RGB, les échantillons spécifiques pour chaque wilaya et pour chaque période de changement (File > import > Vector data > ESRI Shapefile) sont ouverts aussi. Par la suite, le processus des forêts aléatoire est lancé.

A la fin, l'image obtenue est ouverte dans la composition colorée RGB pour faire une simple analyse visuelle des classes de changement. L'image résultante est comparée avec l'image empilée afin de vérifier la qualité des résultats obtenus. Les outils tel que « Tile horizontally/Vertically » peuvent être très utiles.

5 Calcul des superficies

Dans notre étude, le calcul des superficies des terres artificialisées est effectué à partir des images de changement issues des deux méthodes :

- 1- Différence d'indice EBBI seuillée
- 2- Classification multi temporelle.

Avant de calculer les superficies de changement, les masques spécifiques pour chaque bande littorale sont extraits en tenant compte des limites administratives des wilayas littorales.

Extractions des superficies

Sur QGIS, dans la boîte à outils, rechercher les fonctions suivantes :

Analyse raster > rapport sur les valeurs uniques de la couche > choisir la couche source

(Wilaya, la Bande 100 m, 300m, 800m et 3km) > un rapport va apparaître dans lequel s'affichera la superficie de chaque raster sélectionné.

Cette étape doit être réalisée pour chaque wilaya et pour chaque bande littorale.

Les résultats sont ensuite classés dans un fichier Excel (chaque méthode a son propre fichier Excel) afin de nous faciliter le calcul des pourcentages et des vitesses de changement pour les différentes périodes de notre étude.

Chapitre IV: Résultats et discussions

1 Résultats et analyse du changement

1.1 Les résultats de la classification multi-temporelle

1.1.1 Telemcen

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Telemcen et ses 4 bandes littorales (Tableau 10). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes sus citées.

Tableau 5: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de telemcen pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1,953	0,098	1,945	18,688	0,939	18,610	0,195	0,010	0,216
B2	3,713	0,36	7,289	12,819	1,243	25,168	0,371	0,036	0,810
B3	14,799	1,431	20,486	20,383	1,971	28,217	1,480	0,143	2,276
B4	41,603	3,560	64,391	16,272	1,394	25,185	4,160	0,356	7,155
W	610,64	330,996	1519,4	6,742	3,654	16,775	61,064	33,100	168,824

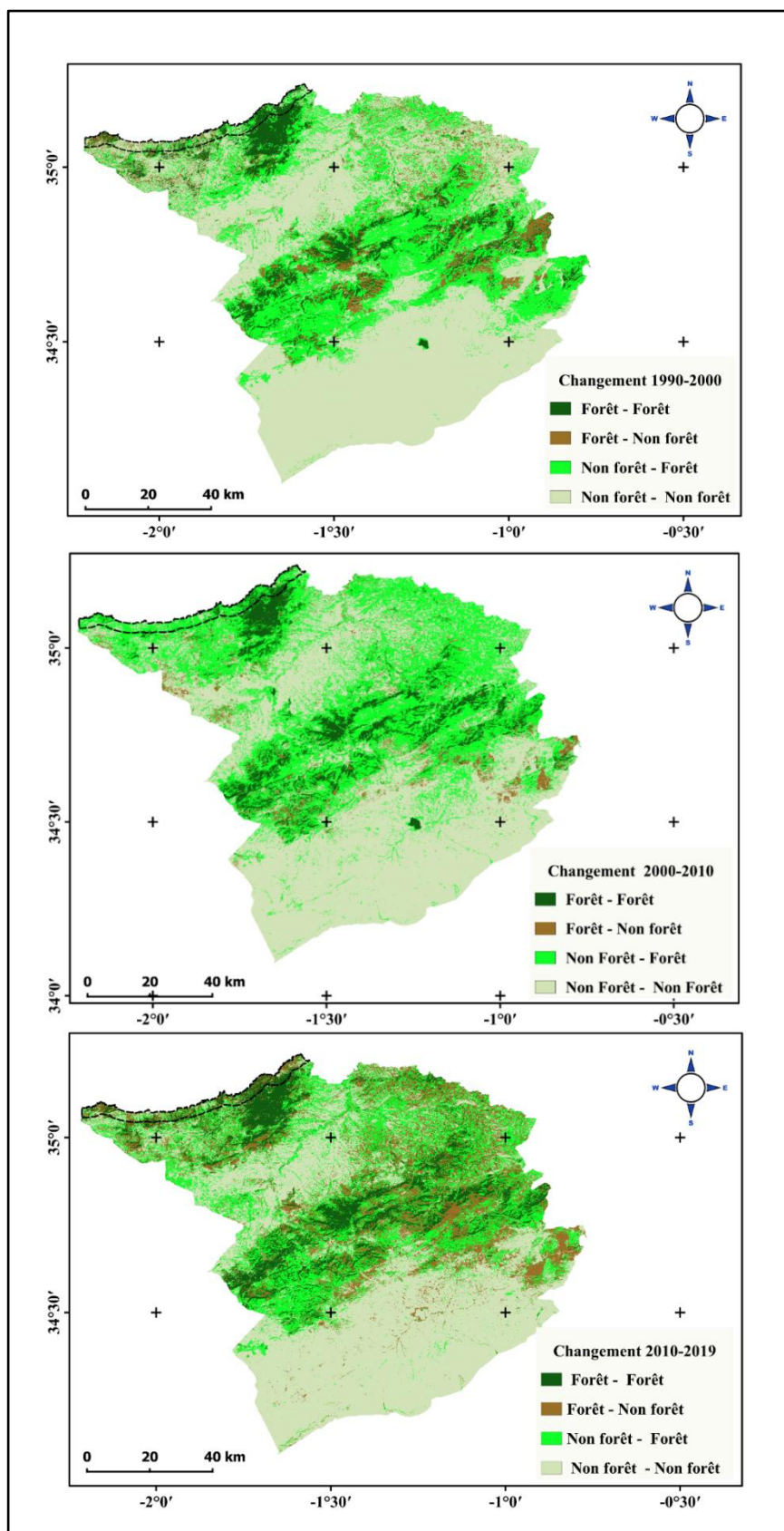


Figure 4: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Telemcen pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.2 Ain temouchent

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya d'Ain temouchent et ses 4 bandes littorales (Tableau 11). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes su citées.

Tableau 6: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya d'Ain temouchent pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	0,830	0,345	1,517	7,039	2,924	12,864	0,083	0,034	0,169
B2	3,194	1,805	5,223	9,905	5,598	16,195	0,319	0,181	0,580
B3	10,344	5,578	13,609	12,888	6,950	16,957	1,035	0,558	1,512
B4	36,766	16,864	41,441	13,124	6,020	14,793	3,677	1,686	4,605
W	265,824	95,837	378	11,159	4,023	15,868	26,5824	9,584	42

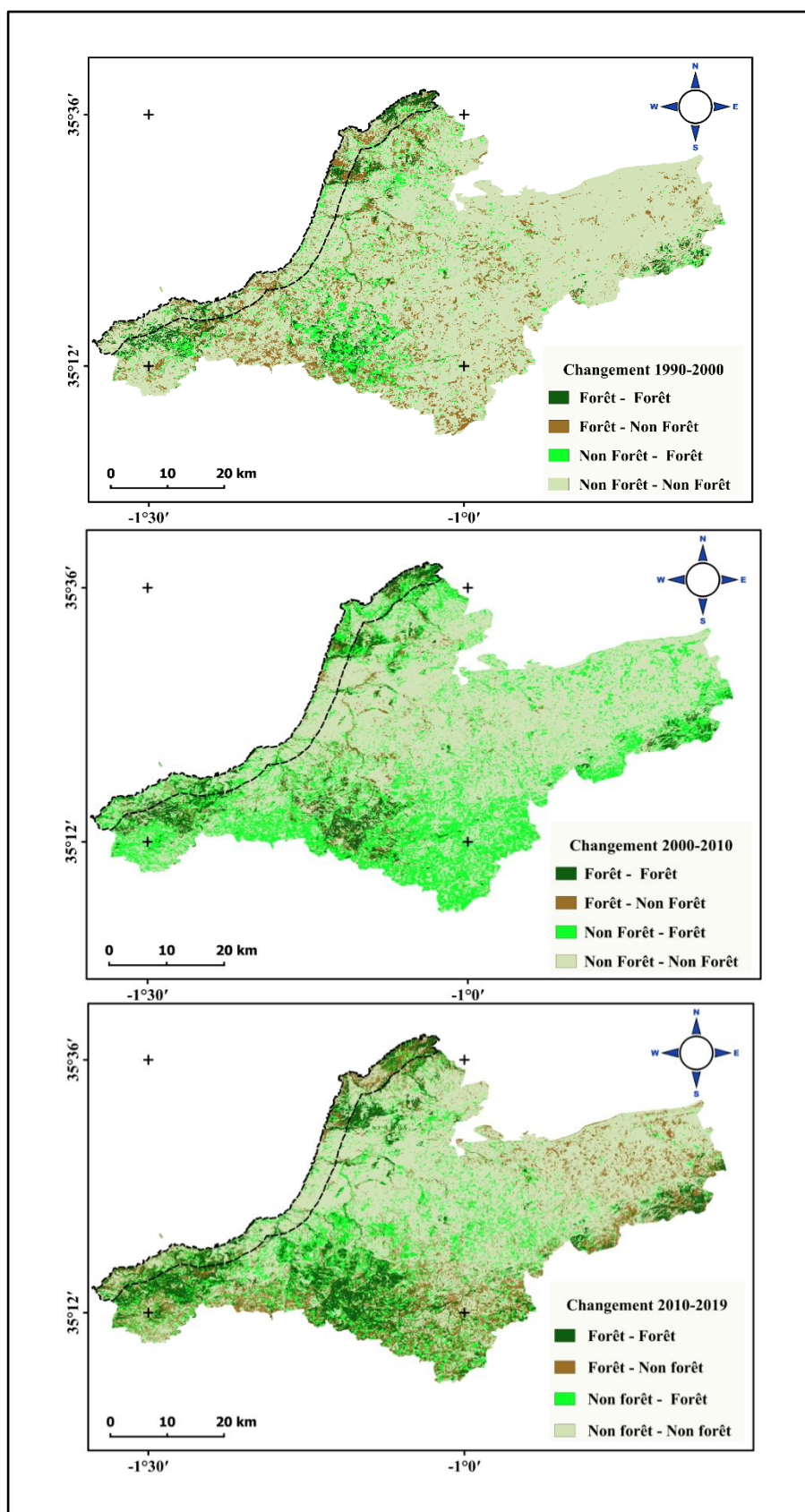


Figure 5: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya d'Ain temouchent pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.3 Oran

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya d'Ain temouchent et ses 4 bandes littorales (Tableau 12). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes su citées.

Tableau 7 : Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya d'Oran pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	0,931	3,482	1,324	4,768	17,839	6,782	0,093	0,348	0,147
B2	4,382	8,496	6,359	8,418	16,315	12,212	0,438	0,849	0,707
B3	13,536	17,573	19	10,548	13,694	14,798	1,354	1,757	2,110
B4	48,977	44,905	65,800	11,245	10,400	15,084	4,898	4,490	7,300
W	196,244	130,220	231,488	9,217	19,582	10,873	19,624	13,022	25,720

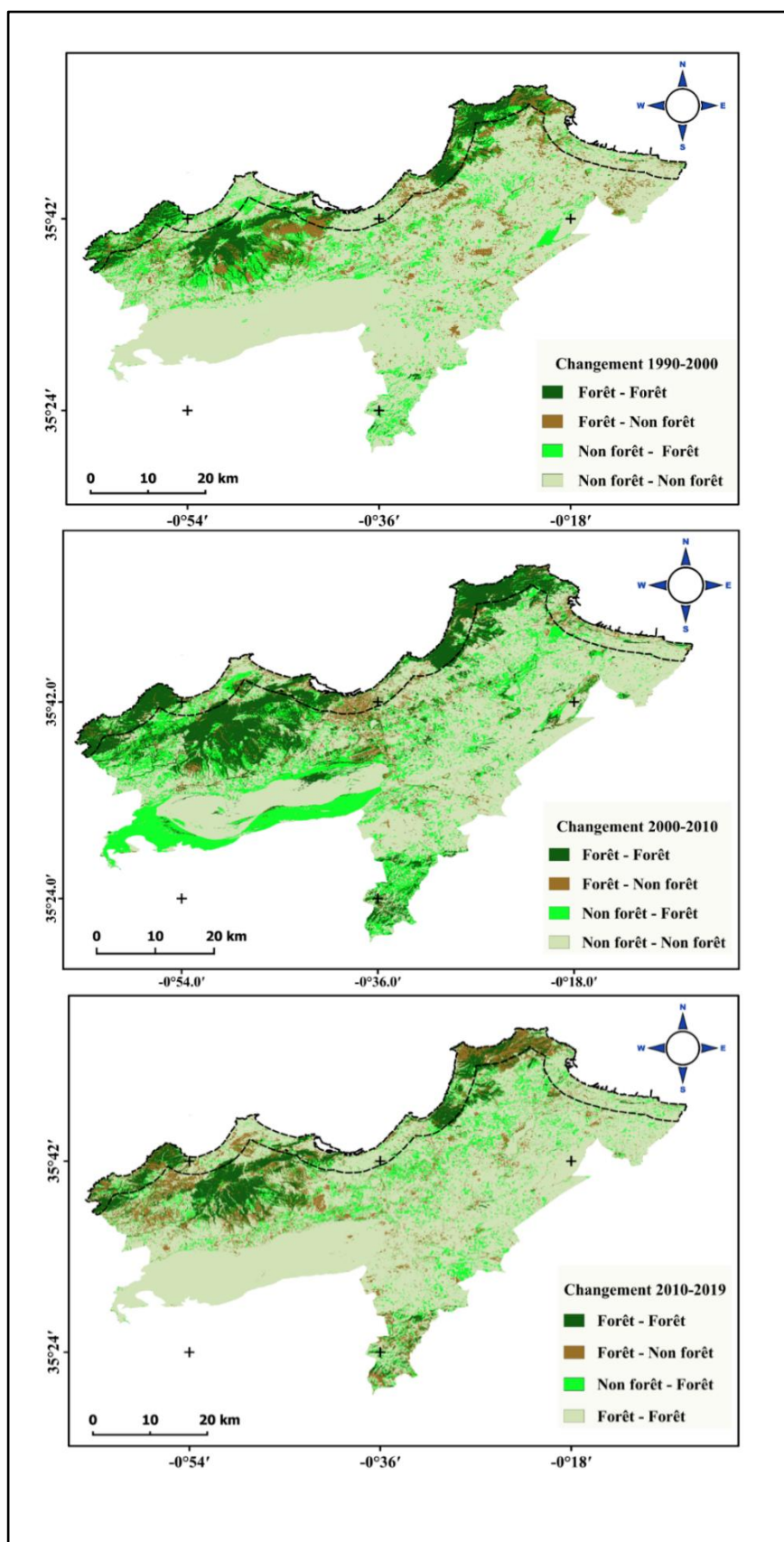


Figure 6: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya d’Oran pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.4 Mostaganem

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Mostaganem et ses 4 bandes littorales (Tableau 13). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes sus citées.

Tableau 8: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Mostaganem pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km et W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	3,693	2,058	1,559	25,258	14,075	10,661	0,369	0,206	0,173
B2	8,983	3,896	4,249	21,376	9,270	10,200	0,898	0,389	0,472
B3	19,079	8,782	10,706	17,576	8,090	9,862	1,908	0,878	1,189
B4	49,767	29,374	38,349	12,764	7,534	9,835	4,977	2,937	4,261
W	158,84	164,26	158,264	5,822	6,021	5,801	15,884	16,425	17,585

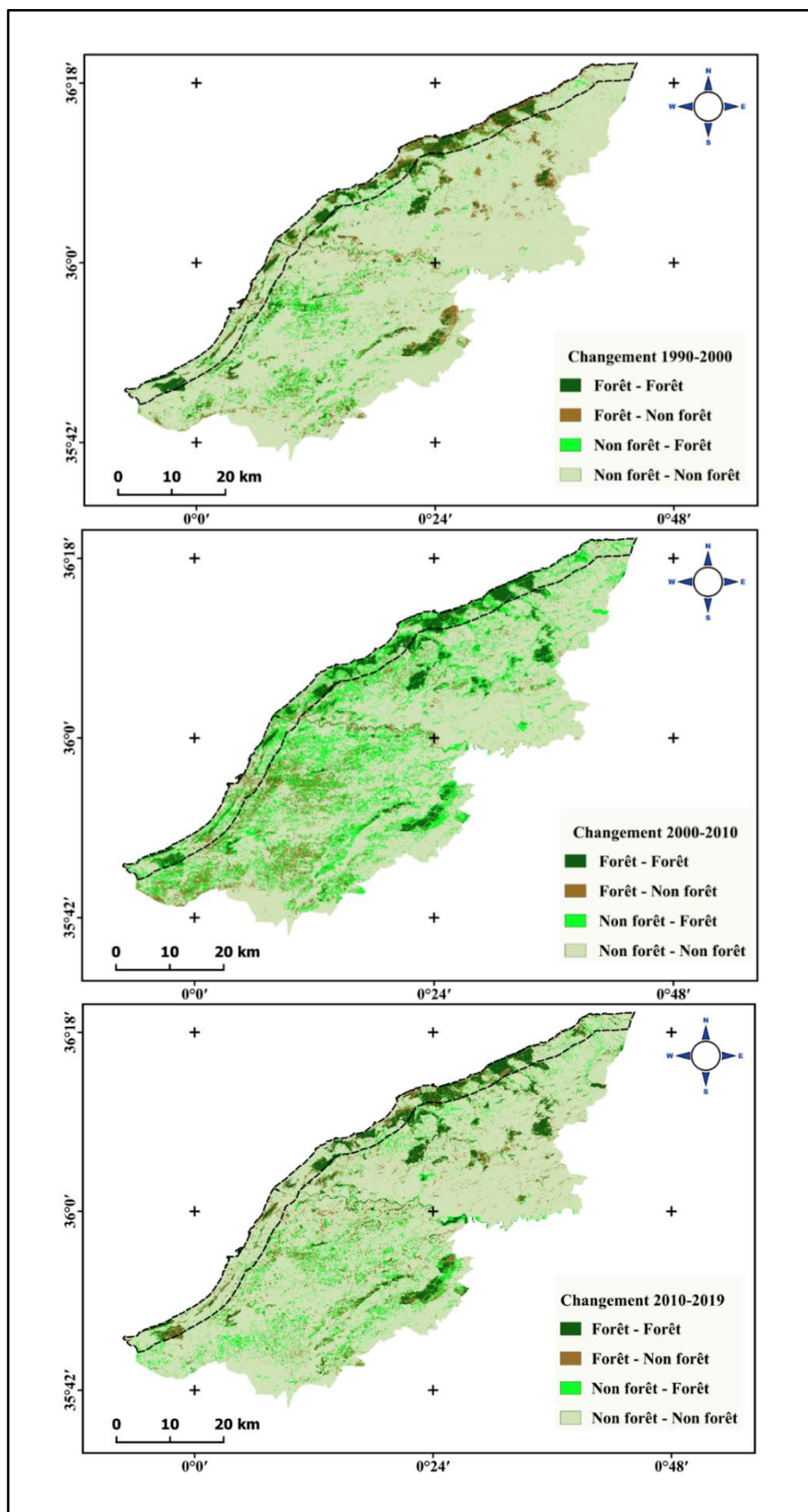


Figure 7 : Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Mostaganem pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.5 Chlef

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Chlef et ses 4 bandes littorales (Tableau 14). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes sus citées.

Tableau 9: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Chlef pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	3,919	0,374	2,841	27,461	2,623	19,907	0,392	0,037	0,316
B2	9,986	1,828	6,550	24,681	4,518	16,190	0,999	0,183	0,728
B3	22,194	5,368	15,244	21,394	5,174	14,695	2,219	0,537	1,694
B4	57,8124	21,155	48,678	15,565	5,696	13,106	5,781	2,115	5,409
W	206,8209	469,816	362,462	5,078	11,534	8,899	20,682	46,982	40,274

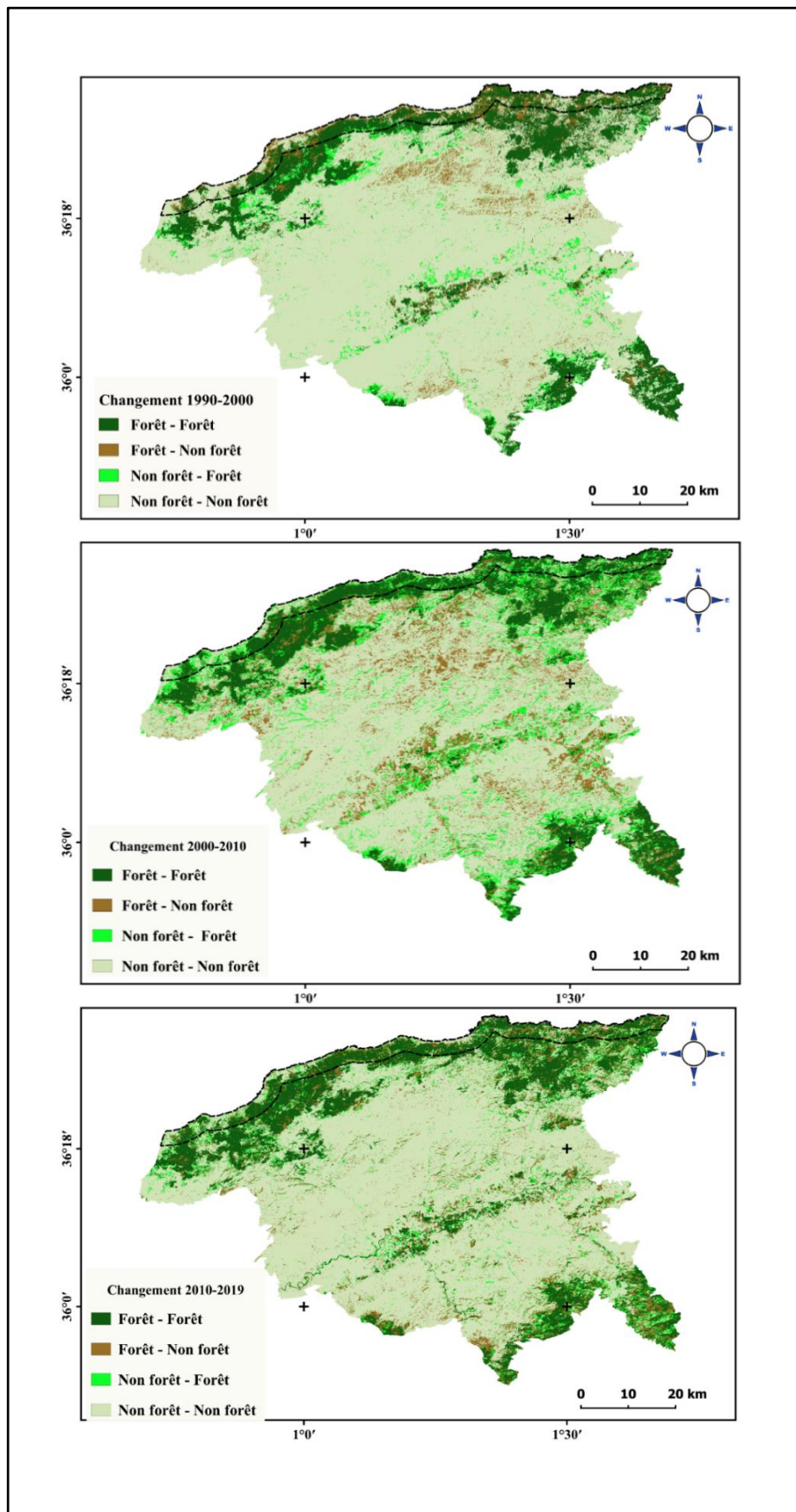


Figure 8: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Chlef pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.6 Tipaza

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Tipaza et ses 4 bandes littorales (Tableau 15). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes su citées.

Tableau 10: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Tipaza pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	3,429	1,265	2,547	21,133	7,793	15,697	0,343	0,126	0,381
B2	8,605	4,207	7,609	18,972	9,275	16,776	0,860	0,420	0,956
B3	20,405	11,172	16,488	17,761	9,724	14,351	2,040	1,117	2,267
B4	58,895	45,730	51,113	14,195	11,022	11,022	5,890	4,573	6,544
W	58,90	285,5	204,35	3,397	16,460	11,788	5,890	28,535	6,544

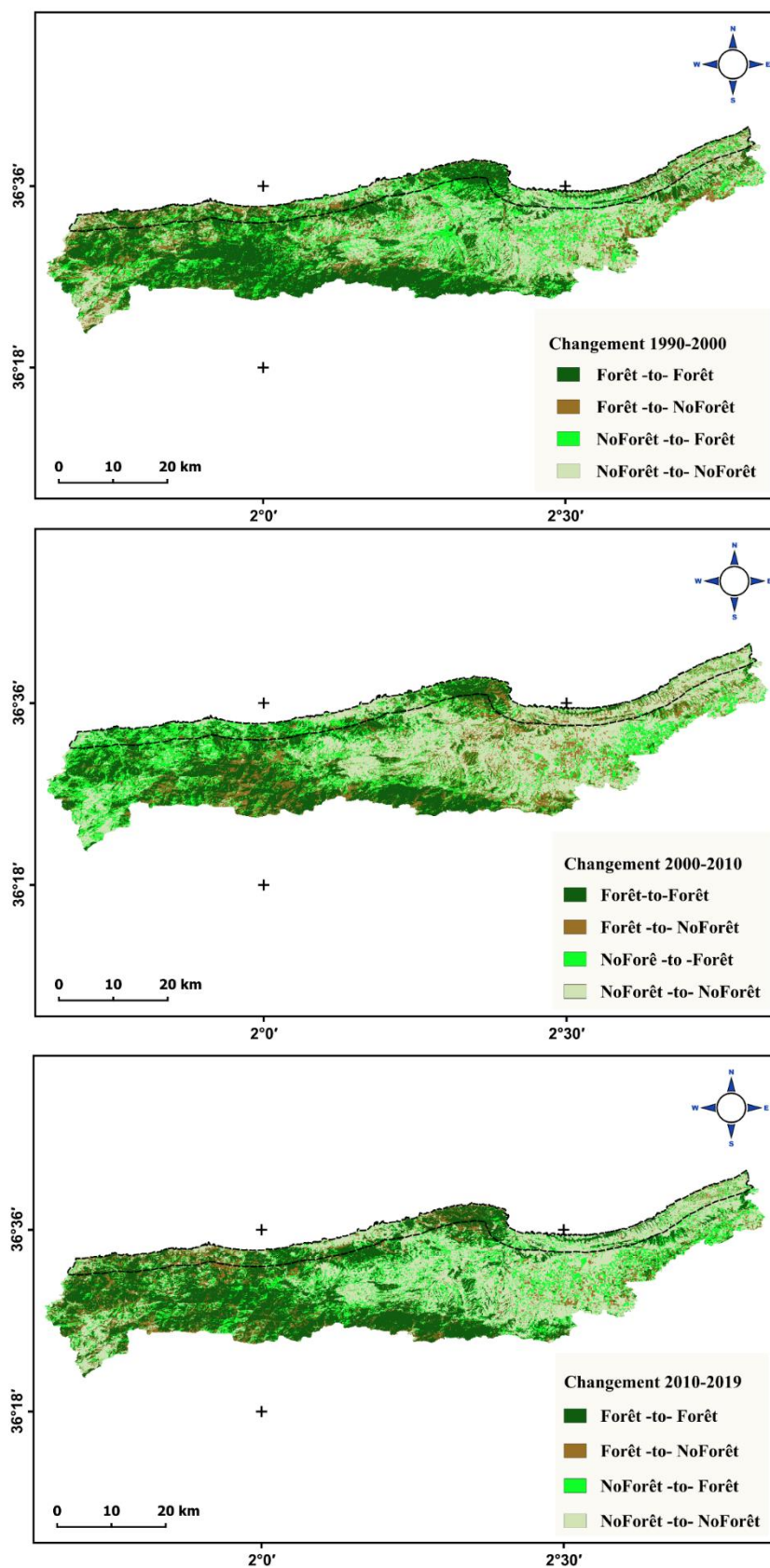


Figure 9: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Tipaza pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.7 Boumerdes

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Boumerdes et ses 4 bandes littorales (Tableau 16). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes su citées.

Tableau 11: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Boumerdes pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
Période									
B1	0,860	0,410	0,482	11,570	5,5121	6,493	0,156	0,0497	0,282
B2	3,51	1,937	2,210	16,421	9,061	10,337	0,359	0,166	0,463
B3	10,909	6,009	8,366	19,690	10,847	15,101	1,134	0,486	1,026
B4	39,560	19,120	41,387	19,729	9,535	20,640	5,814	1,646	5,424
W	370,688	219,333	205,276	25,473	15,072	14,107	86,824	35,920	49,149

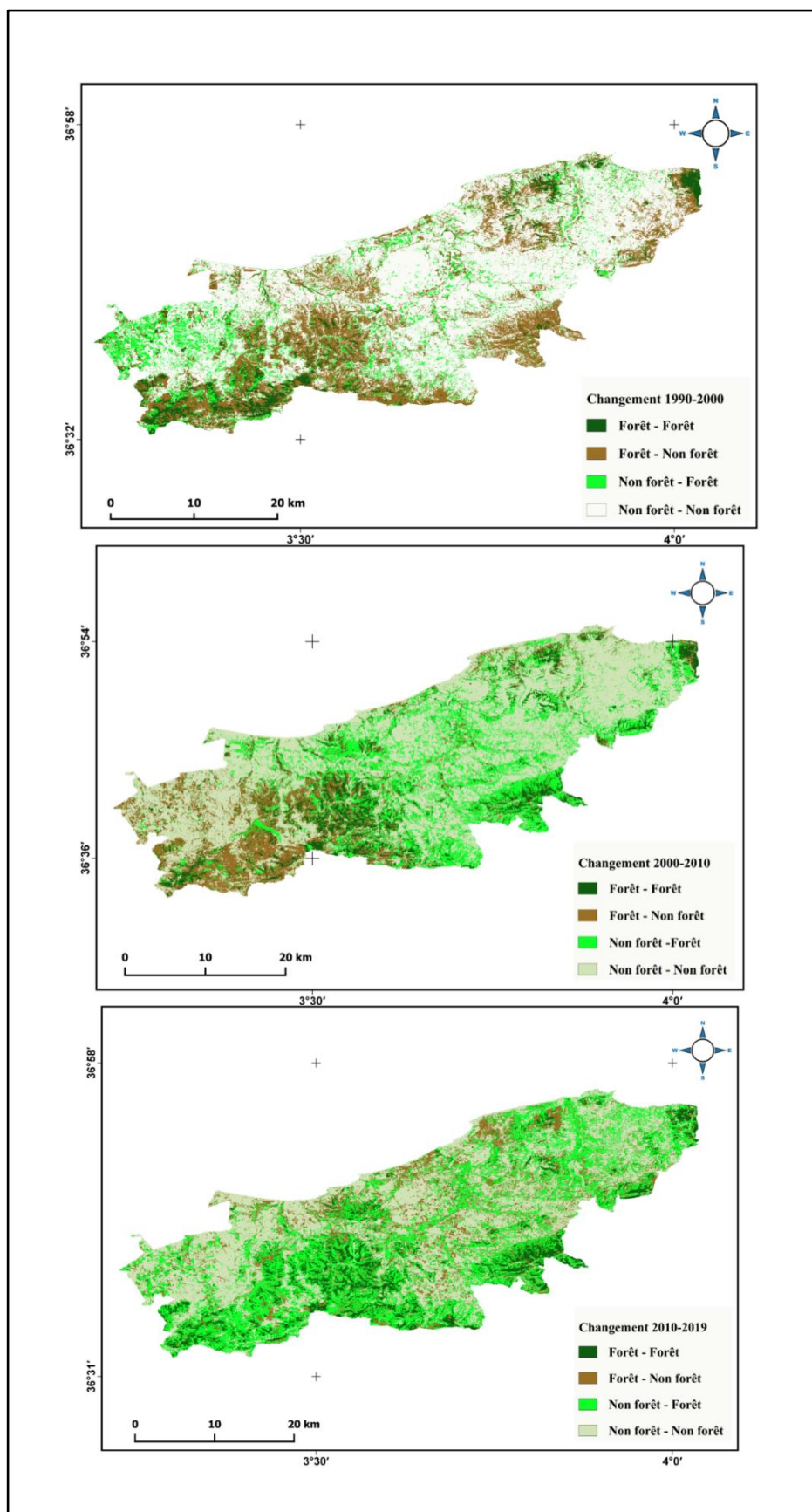


Figure 10: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Boumerdes pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.8 Tizi Ouzou

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Tizi Ouzou et ses 4 bandes littorales (Tableau 17). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes sus citées.

Tableau 12: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Tizi Ouzou pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1.1358	0.797	1,427	18,985	13,329	23,859	0,114	0,0797	0,159
B2	3.96	2.655	3,389	22,799	15,286	19,515	0,396	0,266	0,377
B3	12.311	7.257	8,188	27,310	16,098	18,164	1,231	0,726	0,910
B4	55.305	26.464	25,9227	34,125	16,329	15,995	5,530	2,646	2,880
W	554,7303	78,946	223,146	18,729	22,840	7,534	55,473	7,895	24,794

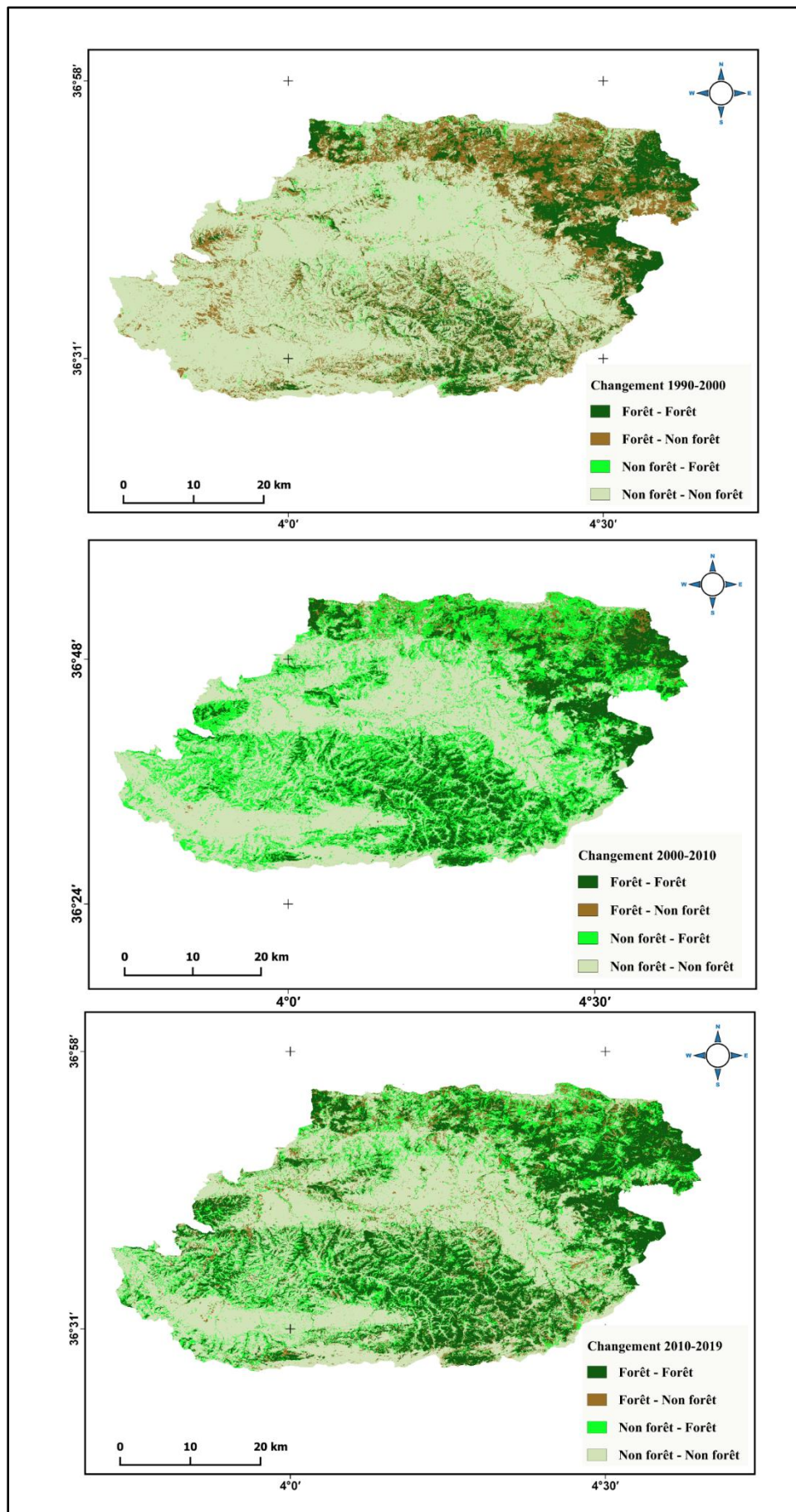


Figure 11: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Tizi Ouzou pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.9 Bejaia

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Bejaia et ses 4 bandes littorales (Tableau 18). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes su citées.

Tableau 13: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Bejaia pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1.825	1,381	1,775	16,760	12,677	16,297	0,183	0,138	0,197
B2	6.942	5,083	6,474	22,623	16,566	21,097	0,695	0,508	0,719
B3	22 ,883	14,024	20,629	29,353	17,989	26,461	2,288	1,402	2,292
B4	82.103	45,293	59,4	29,637	16,350	21,442	8,210	4,529	6,6
W	792,585	468,645	516,210	24,479	14,475	15,943	79,259	46,865	57,357

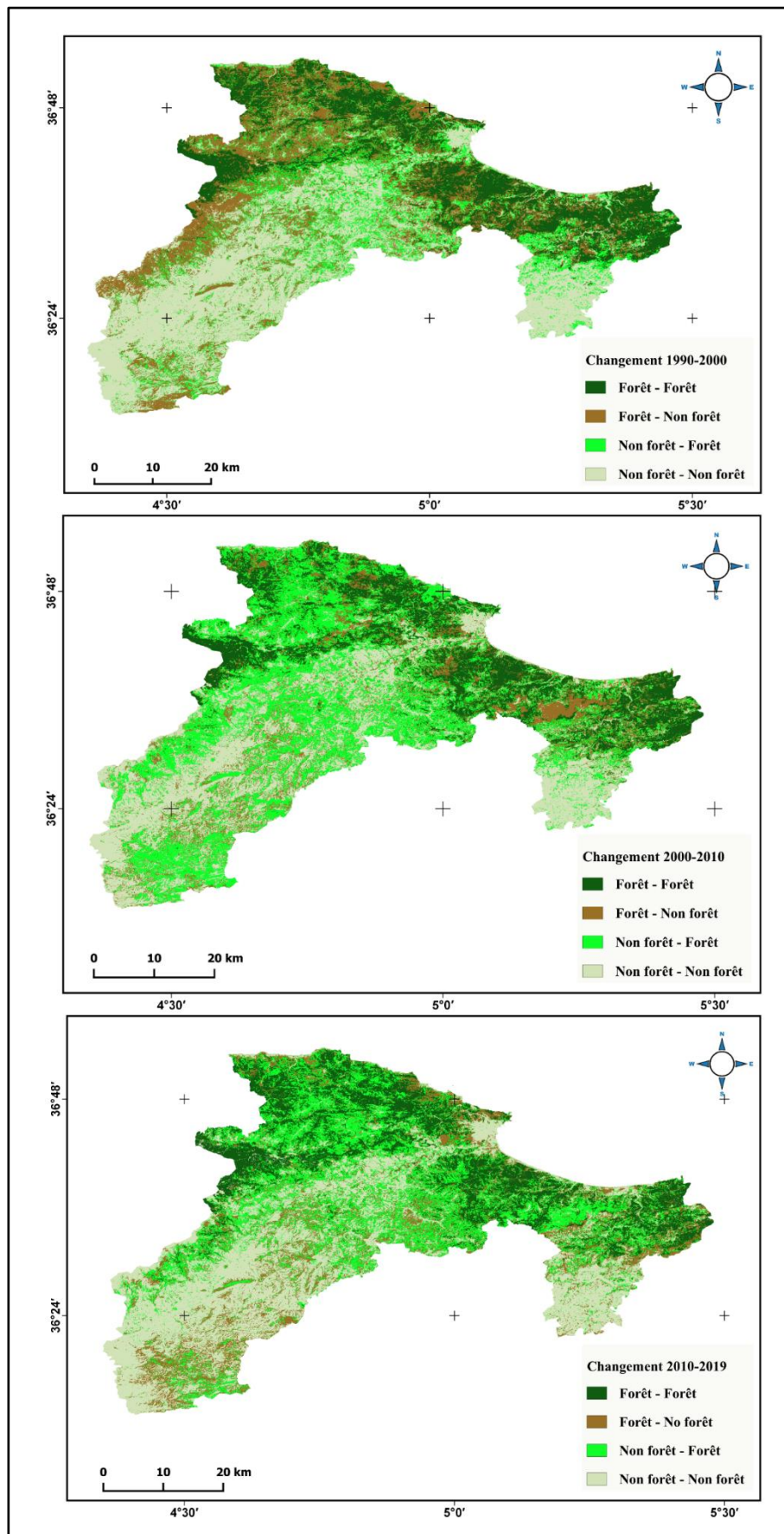


Figure 12: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Bejaia pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.10 Jijel

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Jijel et ses 4 bandes littorales (Tableau 19). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes sus citées.

Tableau 14: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Jijel pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1,415	1,337	0,836	12,255	11,579	7,245	0,141	0,134	0,093
B2	6,818	4,211	3,622	21,966	13,567	11,669	0,682	0,421	0,402
B3	22,407	13,387	12,469	29,238	17,468	16,270	2,241	1,339	1,385
B4	78,405	46,625	66,162	29,034	17,266	24,500	7,841	4,662	7,351
W	597,957	338,501	767,017	24,951	14,125	32,005	59,796	33,850	85,224

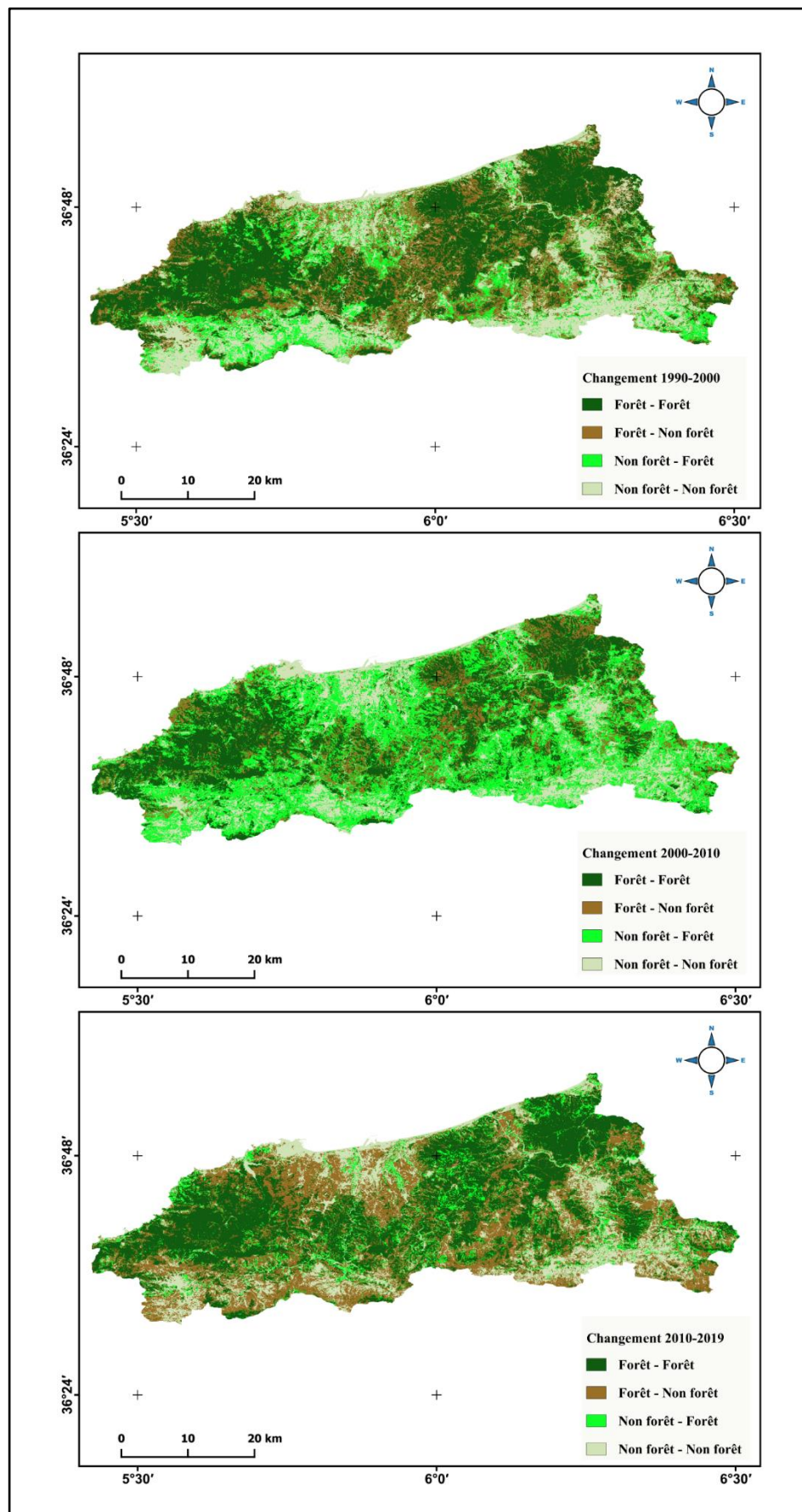


Figure 13: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Jijel pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.11 Skikda

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Skikda et ses 4 bandes littorales (Tableau 20). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes sus citées.

Tableau 15 : Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya de Skikda pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
Période	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	5,238	2,811	4,089	26,341	14,134	20,561	0,524	0,281	0,454
B2	13,772	9,893	12,204	25,814	18,543	22,877	1,377	0,989	1,356
B3	32,002	26,704	31,634	24,776	20,674	24,491	3,200	2,670	3,515
B4	100,592	86,867	100,598	23,319	20,137	23,320	10,059	8,687	11,178
W	909,219	661,517	681,096	21,953	15,972	16,445	90,922	66,152	75,677

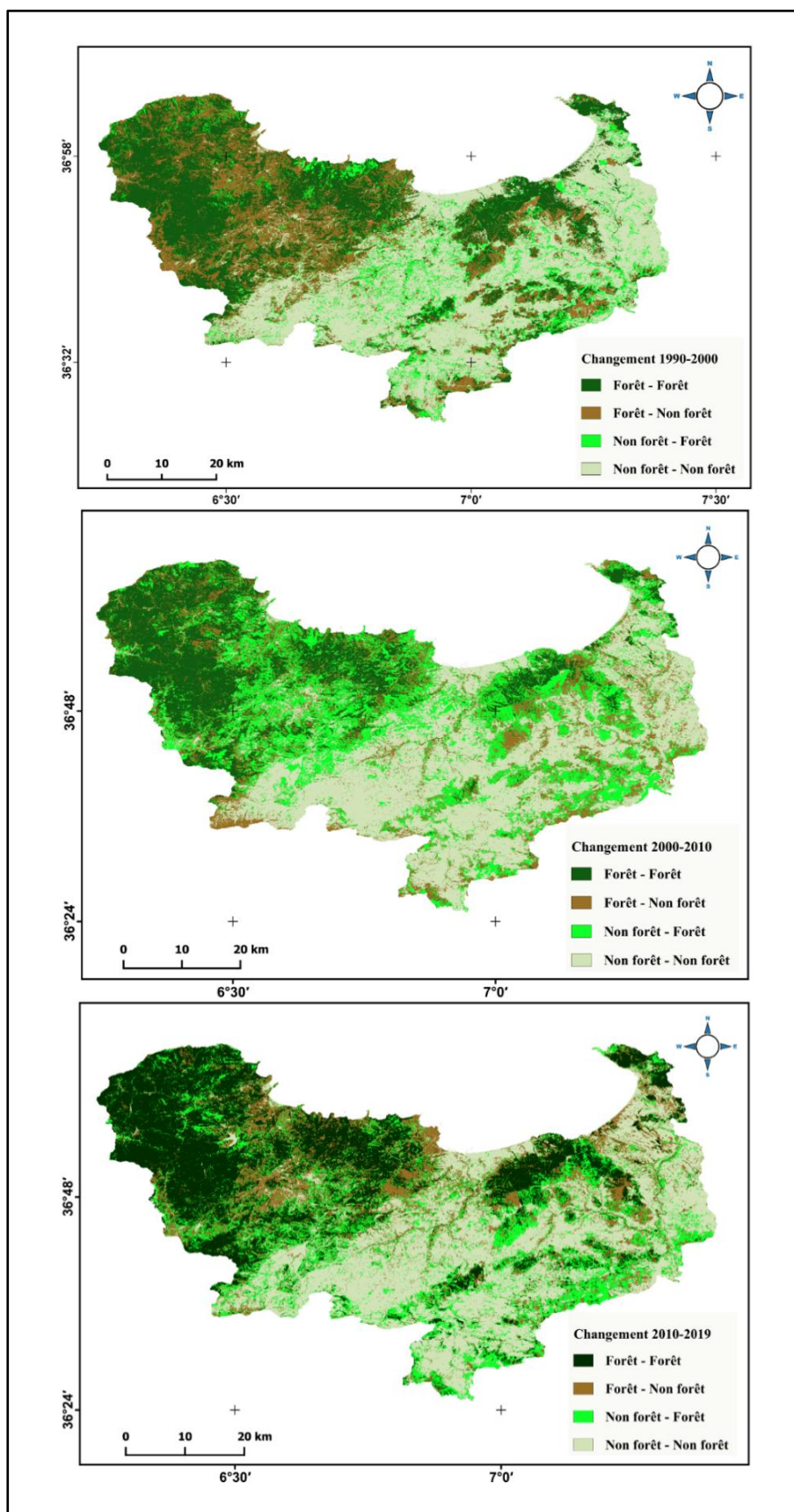


Figure 14: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya de Skikda pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.1.12 Eltarf

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya d'Eltarf et ses 4 bandes littorales (Tableau 21). Sont présentées également les cartes de changement issues de la classification RF correspondant aux périodes sus citées.

Tableau 16: Résultats récapitulatif de la classification multi-temporelle pour la wilaya d'Eltarf pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1,564	0,497	2,542	16,206	26,332	26,332	0,156	0,049	0,282
B2	3,591	1,658	4,169	13,225	15,357	15,357	0,359	0,166	0,463
B3	11,341	4,861	9,231	16,441	13,383	13,383	1,134	0,486	1,025
B4	58,1364	16,4628	48,816	23,776	6,733	19,964	5,814	1,647	5,424
W	868,237	359,204	442,341	30,027	12,423	15,298	86,824	35,920	49,149

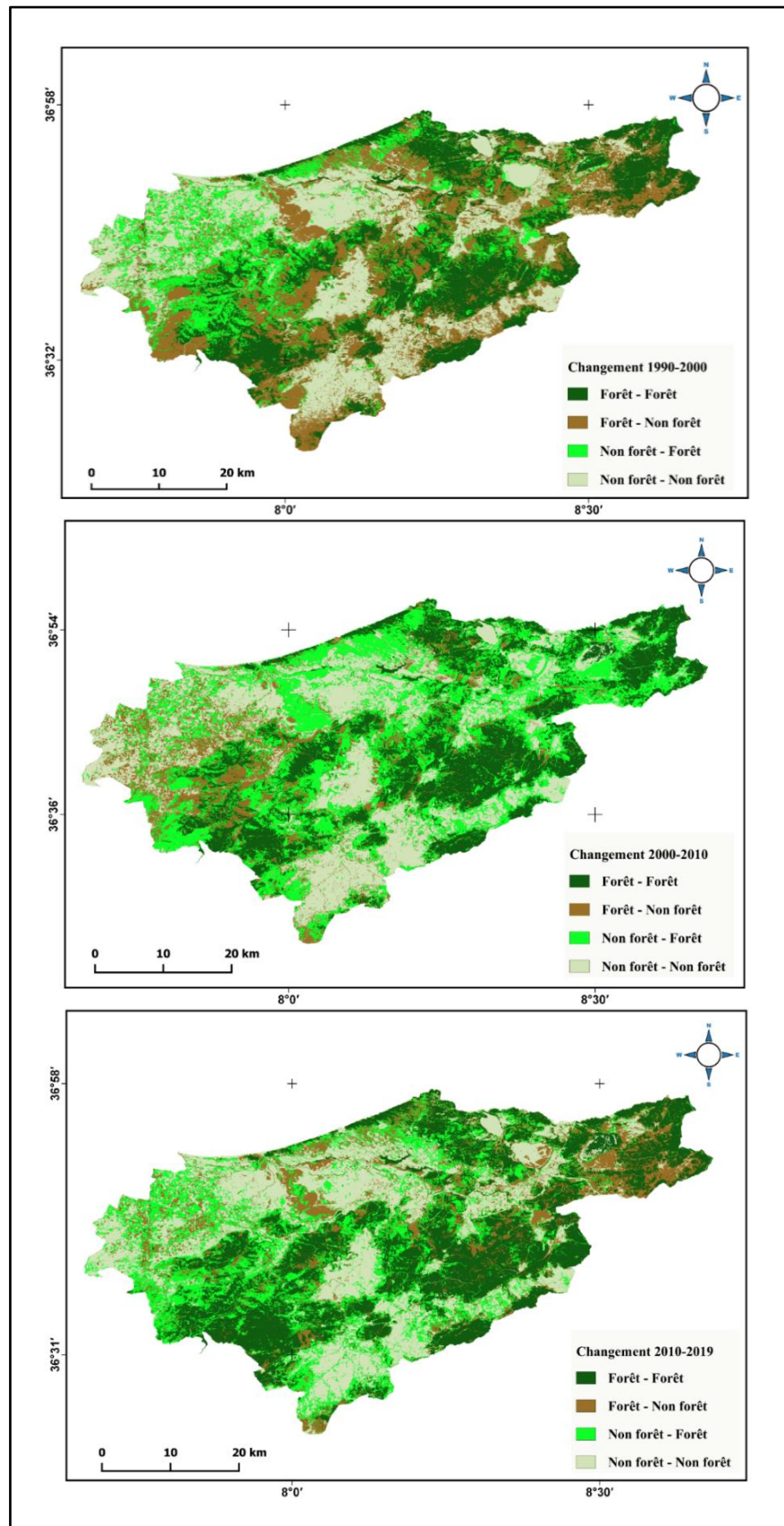


Figure 15: Carte du changement par la classification multi-temporelle de la wilaya d'Eltarf pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.2 Les résultats de la différence EBBI seuillé

1.2.1 Telemcen

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Telemcen et ses 4 bandes littorales (Tableau 22). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 17: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Telemcen pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1,882	1,139	0,769	18,007	10,902	7,363	0,188	0,114	0,085
B2	4,638	1,987	2,234	16,016	6,861	7,716	0,464	0,198	0,248
B3	10,566	4,329	5,233	14,553	5,963	7,207	1,056	0,433	0,581
B4	28,3311	9,773	13,013	11,080	3,822	5,089	2,833	0,977	1,445
W	279,279	692,808	348,712	3,083	7,64836	3,849	27,928	69,280	38,745

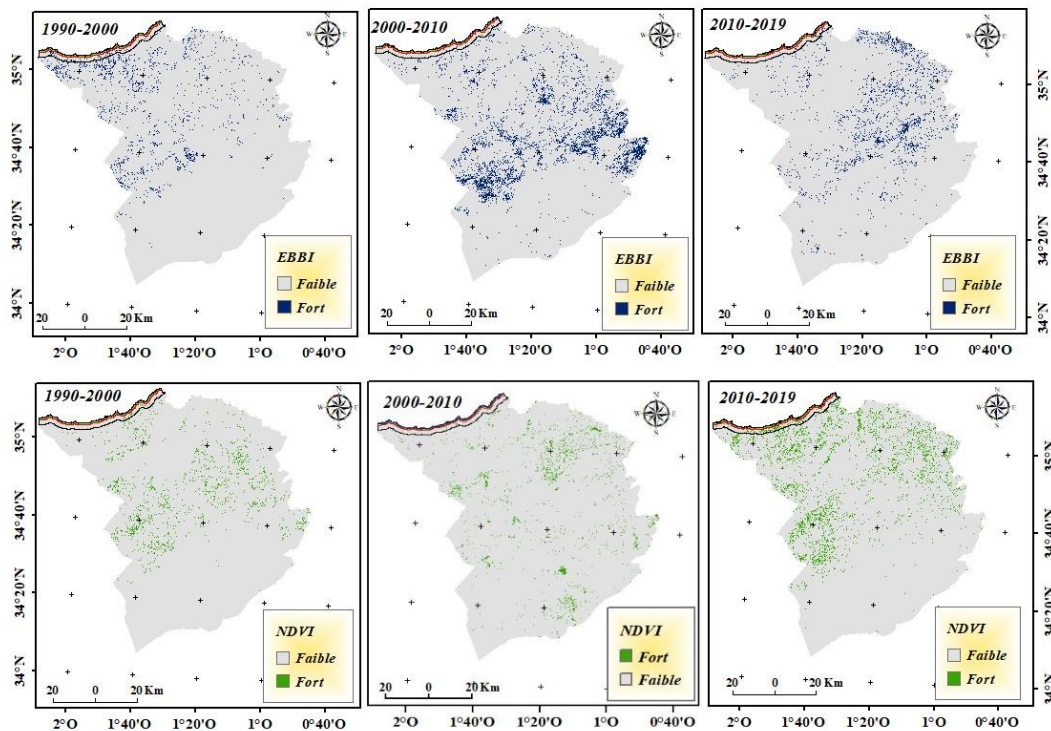


Figure 16: Carte du changement par la différence d'EBBI seuillé de la wilaya de Telemcen pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-2019

1.2.2 Ain temouchent

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya d’Ain temouchent et ses 4 bandes littorales (Tableau 23). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d’indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 18: Résultats récapitulatif de la différence d’indice EBBI pour la wilaya d’Ain temouchent pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1,982	0,3438	0,769	16,818	16,818	7,363	0,198	0,198	0,085
B2	4,850	0,787	2,234	15,039	15,039	7,716	0,485	0,486	0,248
B3	11,152	1,5363	5,232	13,896	13,896	7,207	1,115	1,11528	0,581
B4	35,917	3,446	13,013	12,821	12,821	5,089	3,592	3,591	1,445
W	299,838	29,621	348,712	12,588	12,588	3,849	29,984	29,984	38,746

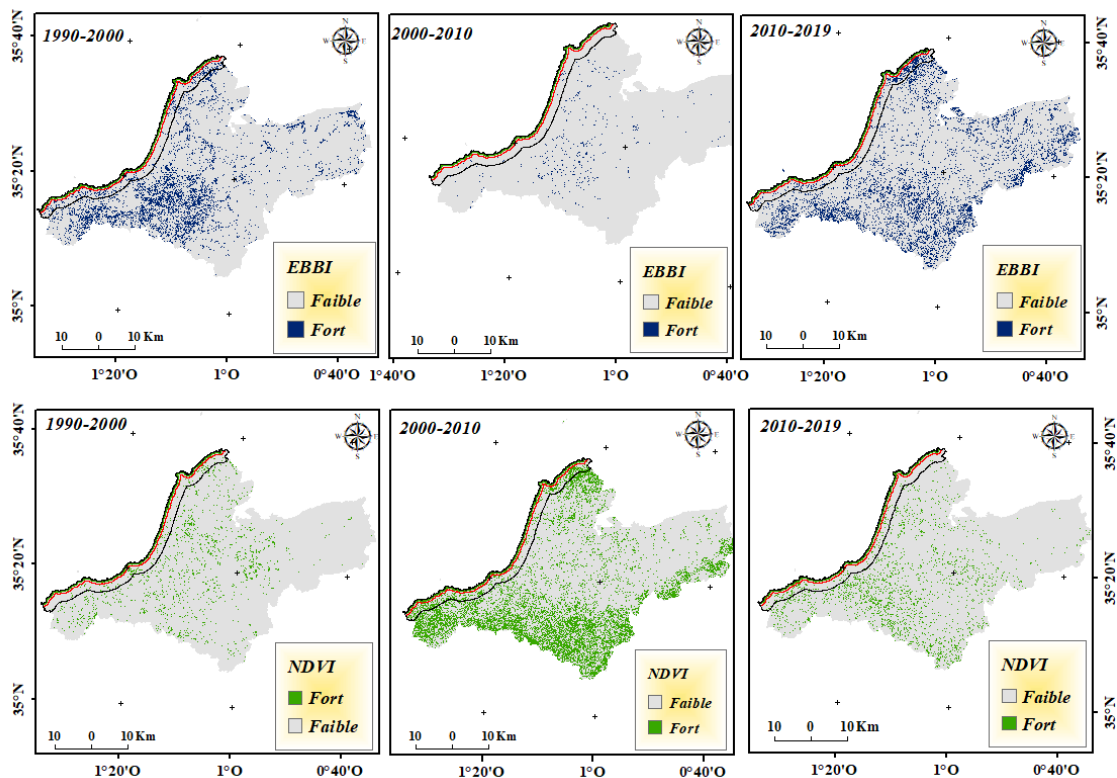


Figure 17: Carte du changement par la différence d’EBBI seuillée de la wilaya d’Ain temouchent pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.2.3 Oran

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya d’Oran et ses 4 bandes littorales (Tableau 24). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d’indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 19: Résultats récapitulatif de la différence d’indice EBBI pour la wilaya d’Oran pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....B1, B2, B3, W correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)			
	Période	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1		0,235	1,552	6,538	1,208	7,954	33,493	0,023	0,155	0,726
B2		0,480	3,411	15,168	0,923	6,552	29,128	0,048	0,341	1,685
B3		1,35	6,858	34,675	1,053	5,344	27,02	0,135	0,6858	3,853
B4		6,039	17,13	102,38	1,387	3,934	23,507	0,603	1,713	11,37
W		35,914	61,273	409,213	1,688	2,878	19,221	3,595	6,127	45,468

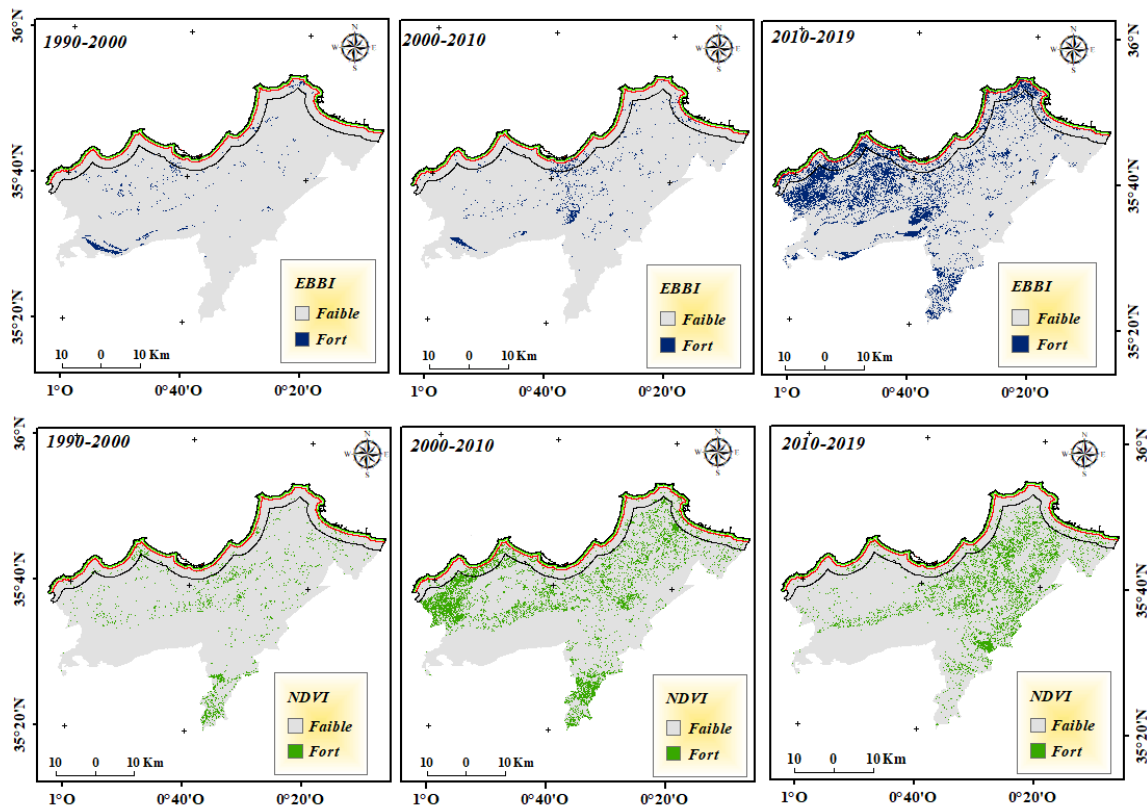


Figure 18: Carte du changement par la différence d’EBBI seuillé de la wilaya d’Oran pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-2019

1.2.4 Mostaganem

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Mostaganem et ses 4 bandes littorales (Tableau 25). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 20: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Mostaganem pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....B1, B2, B3, W correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement km ² /an		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	2,357	1,005	0,197	16,119	6,876	1,344	0,235	0,1005	0,022
B2	6,487	2,876	1,876	15,436	6,845	4,463	0,649	0,288	0,208
B3	17,689	5,568	6,253	16,295	5,129	5,76	1,768	0,557	0,695
B4	41,980	18,79	23,672	10,767	4,820	6,071	4,198	1,879	2,6302
W	98,459	105,357	85,503	3,609	3,863	3,134	9,845	10,537	9,50002

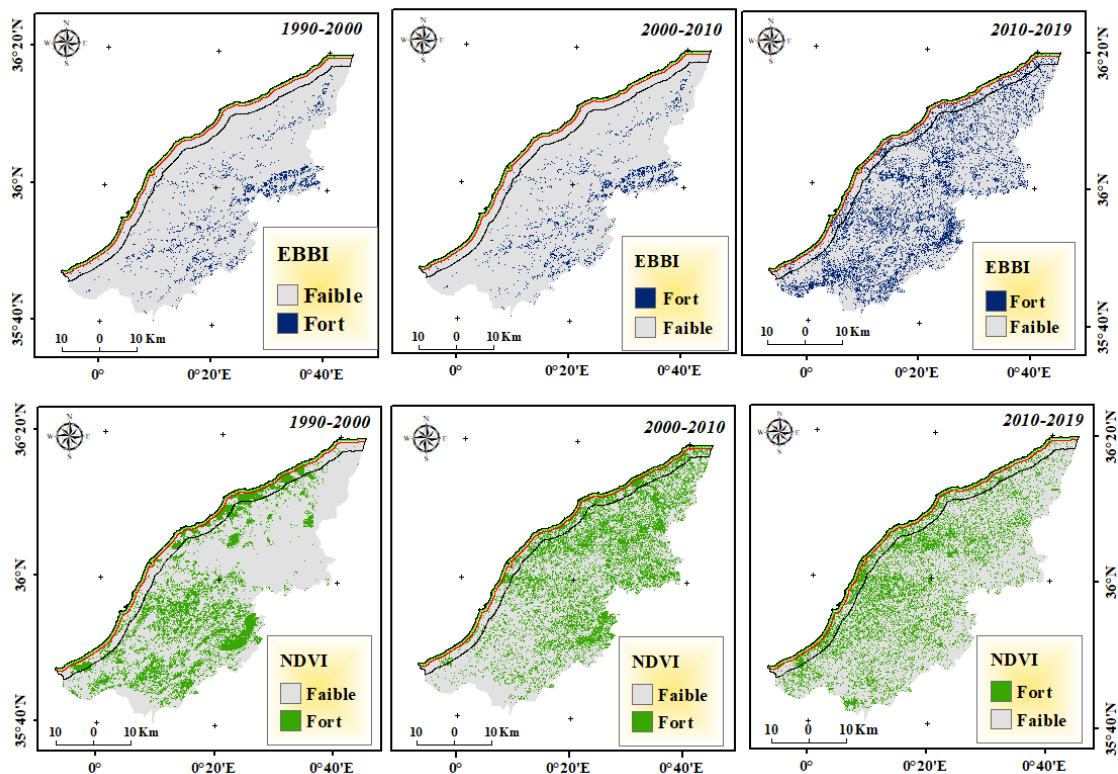


Figure 19: Carte du changement par la différence d'EBBI seuillé de la wilaya de Mostaganem pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-201

1.2.5 Chlef

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Chlef et ses 4 bandes littorales (Tableau 26). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 21: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Chlef pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019.....B1, B2, B3, W correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	2,579	0,469	4,683	18,071	3,291	32,814	0,258	0,046	0,52
B2	7,239	1,025	10,66	17,892	2,534	26,363	0,724	0,102	1,18
B3	16,4682	2,587	23,3109	15,875	2,493	22,471	1,647	0,258	2,590
B4	45,044	9,2196	79,00	12,127	2,482	21,272	4,504	0,922	8,778
W	211,837	312,655	529,686	5,201	7,675	13,004	21,185	31,266	58,854

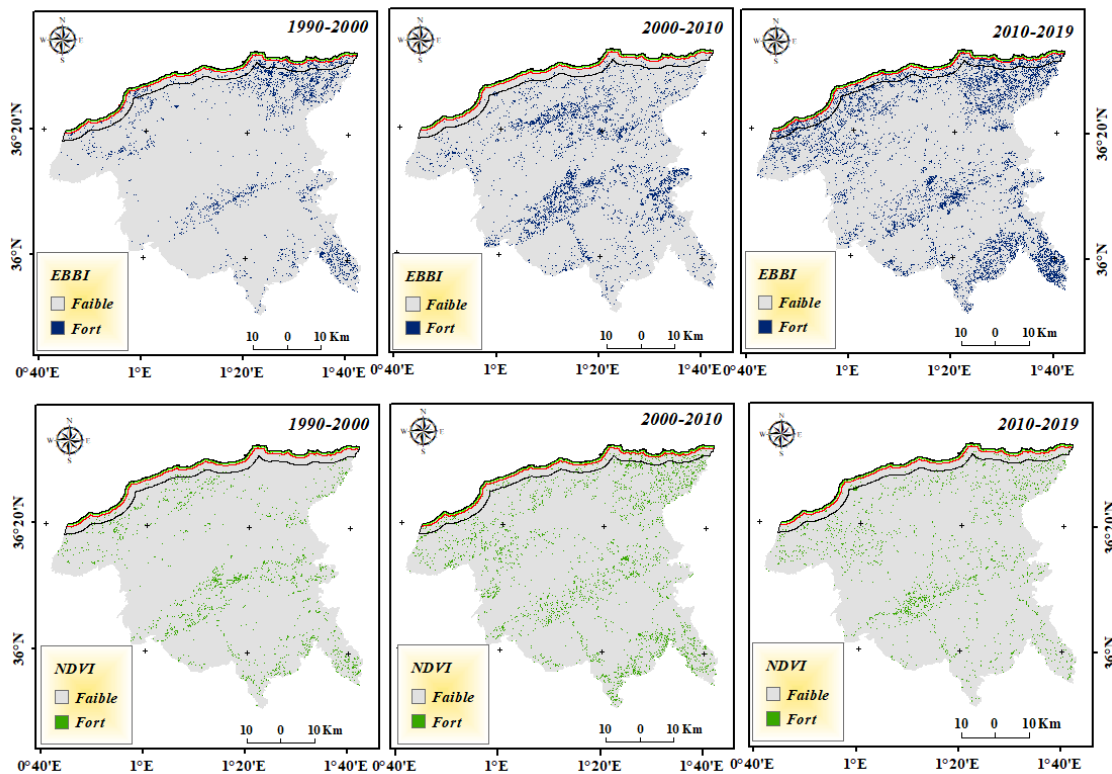


Figure 20: Carte du changement par la différence d'EBBI seuillé de la wilaya de Chlef pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-2019

1.2.6 Tipaza

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Tipaza et ses 4 bandes littorales (Tableau 27). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 22: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Tipaza pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	4,791	1,729	2,044	29,531	10,655	12,602	0,479	0,1728	0,22
B2	12,326	5,125	4,903	27,177	11,301	10,811	1,233	0,512	0,54
B3	30,308	11,7315	10,7469	26,382	10,211	9,354	3,031	1,173	1,1941
B4	104,88	36,368	38,20	25,278	8,765	9,209	10,488	3,637	4,24
W	451,102	168,918	187,11	26,023	9,745	10,793	45,111	16,891	4,245

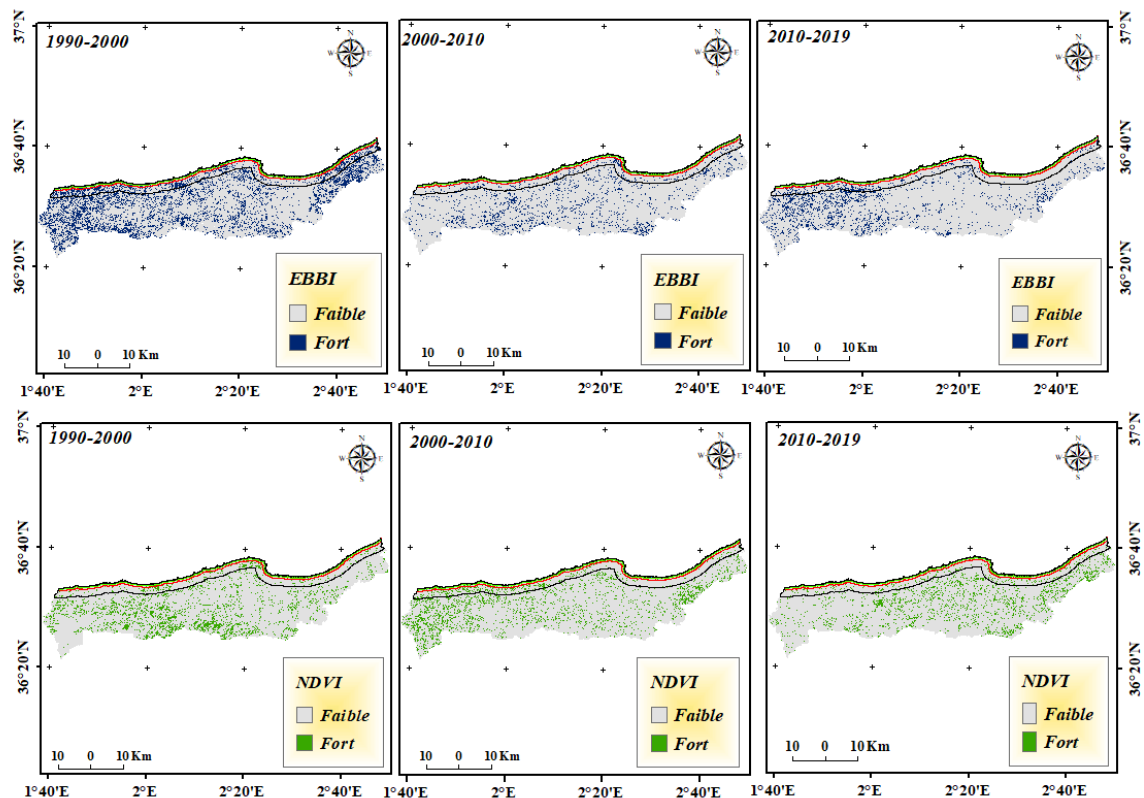


Figure 21 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Tipaza pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.2.7 Boumerdès

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Boumerdès et ses 4 bandes littorales (Tableau 28). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 23: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Boumerdès pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1,248	0,451	0,661	16,803	6,081	8,904	0,125	0,045	0,073
B2	4,386	0,950	1,7496	20,518	4,446	8,185	0,438	0,095	0,194
B3	11,6397	1,609	4,885	21,009	2,904	8,818	1,164	0,161	0,543
B4	33,435	3,989	19,938	16,675	1,989	9,944	3,34	0,399	2,215
W	161,644	240,223	104,995	11,107	16,507	7,214	16,164	24,022	11,666

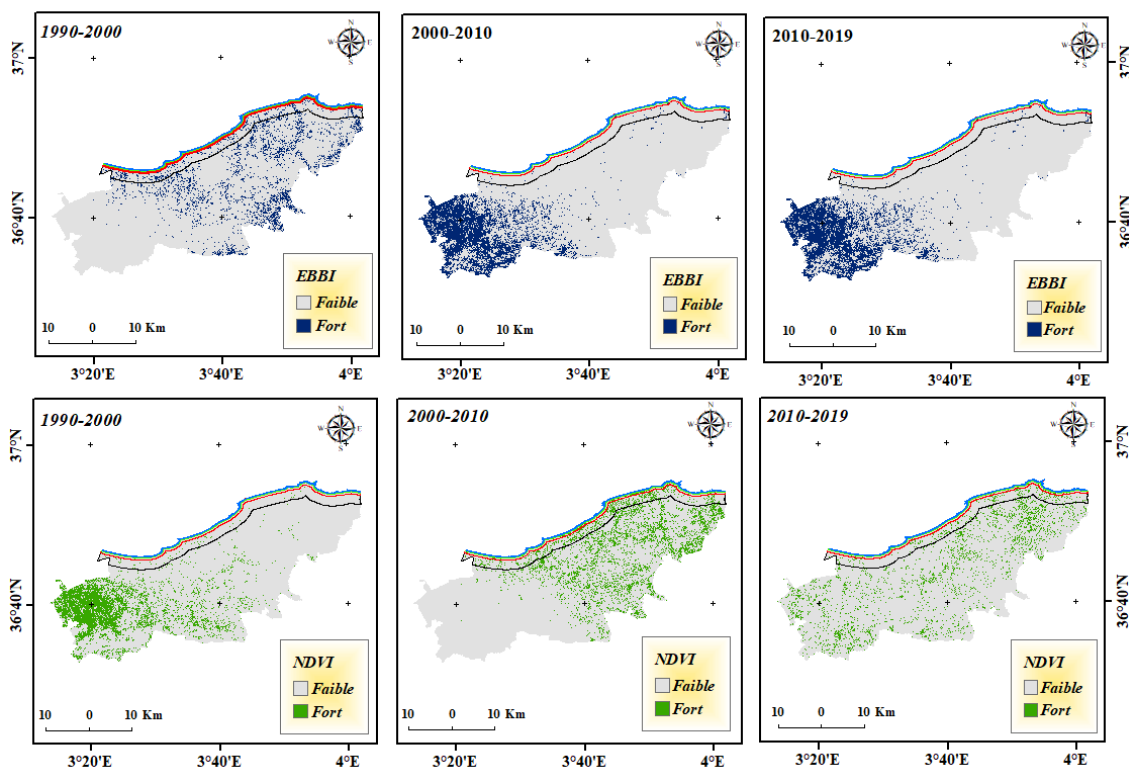


Figure 22 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Boumerdès pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-201

1.2.8 Tizi Ouzou

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Tizi Ouzou et ses 4 bandes littorales (Tableau 29). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 24: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Tizi Ouzou pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	0,515	0,605	0,525	8,605	10,109	8,785	0,051	0,0604	0,05
B2	1,410	1,416	1,992	8,119	8,151	11,472	0,1410	0,141	0,22
B3	4,113	3,383	5,0229	9,124	7,505	11,142	0,411	0,338	0,5581
B4	17,692	13,067	16,93	10,916	8,063	10,451	1,769	1,307	1,882
W	207,528	172,614	187,452	7,007	5,828	6,329	20,753	17,262	20,828

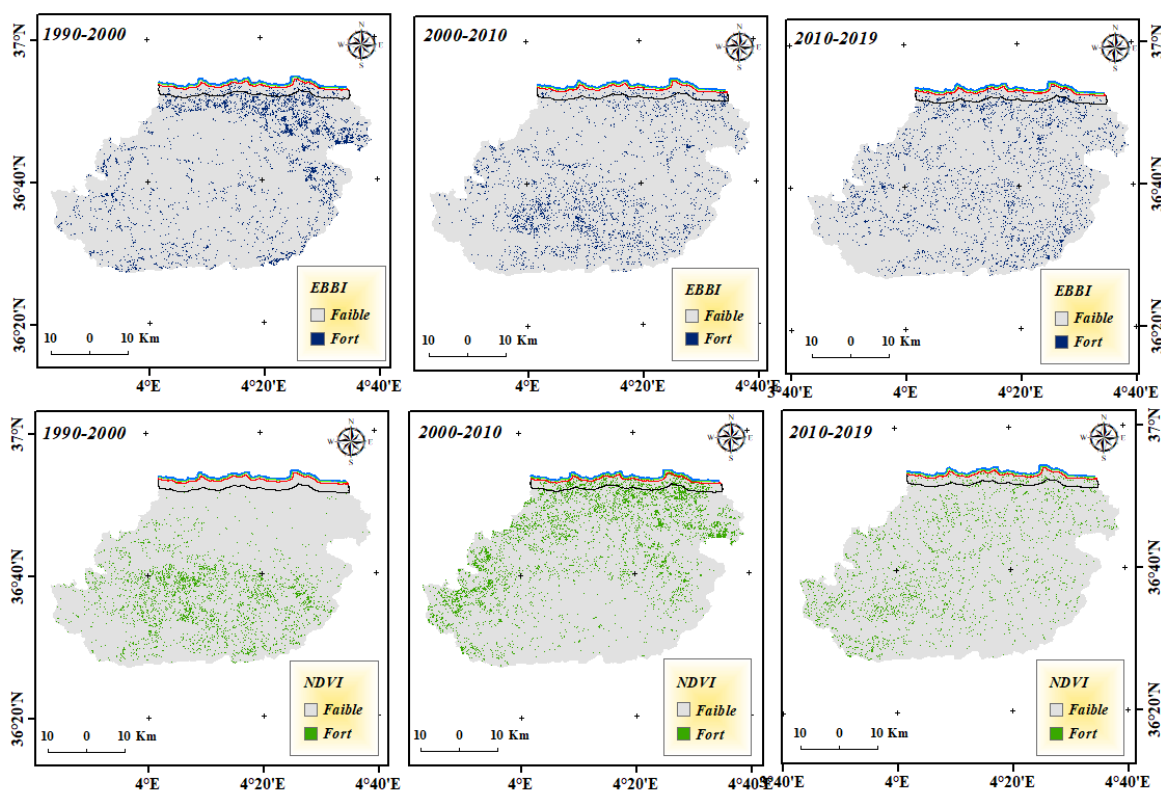


Figure 23 : Carte du changement par la différence d'EBDI seuillée de la wilaya de Tizi Ouzou pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.2.9 Bejaia

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Bejaia et ses 4 bandes littorales (Tableau 30). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillée correspondant aux périodes su citées.

Tableau 25 : Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Bejaia pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
Période	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	1,520	1,455	0,814	13,958	13,363	7,479	0,152	0,145	0,09
B2	4,818	4,159	3,3192	15,703	13,553	10,817	0,482	0,416	0,369
B3	16,803	9,185	12,123	21,553	11,782	15,550	1,68	0,918	1,347
B4	65,140	26,563	41,692	23,514	9,588	15,049	6,51402	2,65626	4,632
W	418,192	257,796	209,953	12,916	7,962	6,485	41,819	25,779	23,328

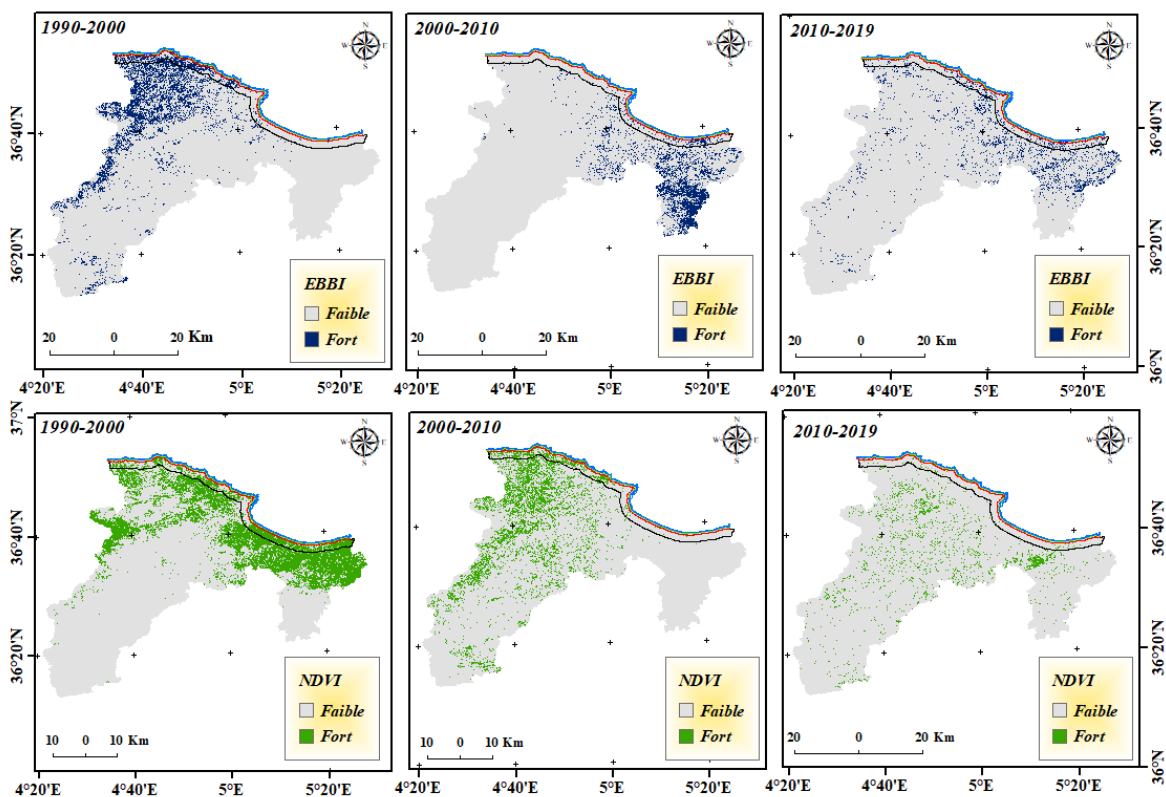


Figure 24 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Bejaia pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.2.10 Jijel

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Jijel et ses 4 bandes littorales (Tableau 31). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 26: Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Jijel pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)			
	Période	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1		0,176	0,038	0,396	1,526	0,334	3,431	0,018	0,004	0,04
B2		2,141	0,966	1,299	6,898	3,113	4,184	0,214	0,097	0,144
B3		9,884	4,632	6,295	12,898	6,044	8,215	0,988	0,463	0,699
B4		32,70	20,453	44,343	12,112	7,574	16,421	3,271	2,045	4,927
W		252,0	137,805	479,581	10,516	5,751	20,012	25,202	13,780	53,287

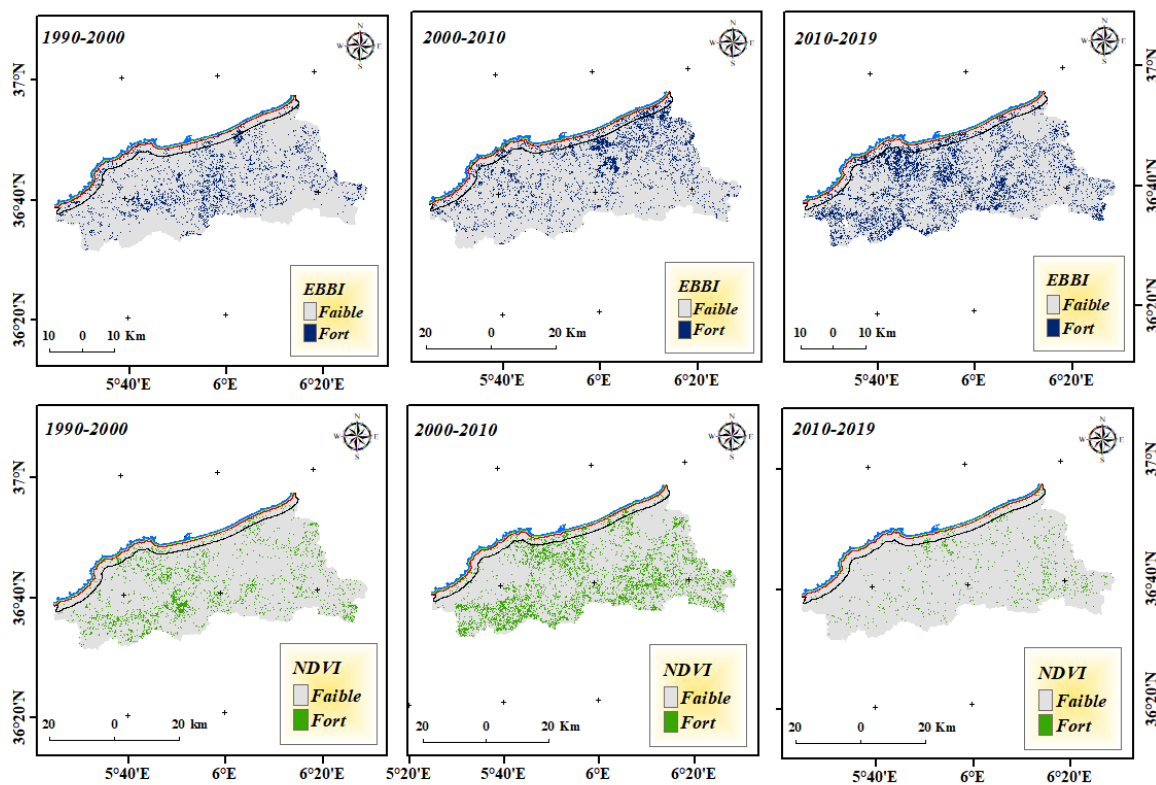


Figure 25: Carte du changement par la différence d'EBBI seuillée de la wilaya de Jijel pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.2.11 Skikda

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya de Skikda et ses 4 bandes littorales (Tableau 32). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 27 : Résultats récapitulatif de la différence d'indice EBBI pour la wilaya de Skikda pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
Période	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	2,997	1,114	1,262	15,076	5,603	6,345	0,299	0,111	0,140
B2	7,211	3,570	4,468	13,518	6,692	8,376	0,721	0,3570	0,496
B3	16,8795	10,1034	11,9709	13,068	7,822	9,268	1,68795	1,010	1,330
B4	55,48	32,833	43,228	12,862	7,611	10,021	5,548	3,283	4,803
W	420,597	196,1307	275,8041	10,15547	4,7364	6,6594	42,0597	19,6137	30,6449

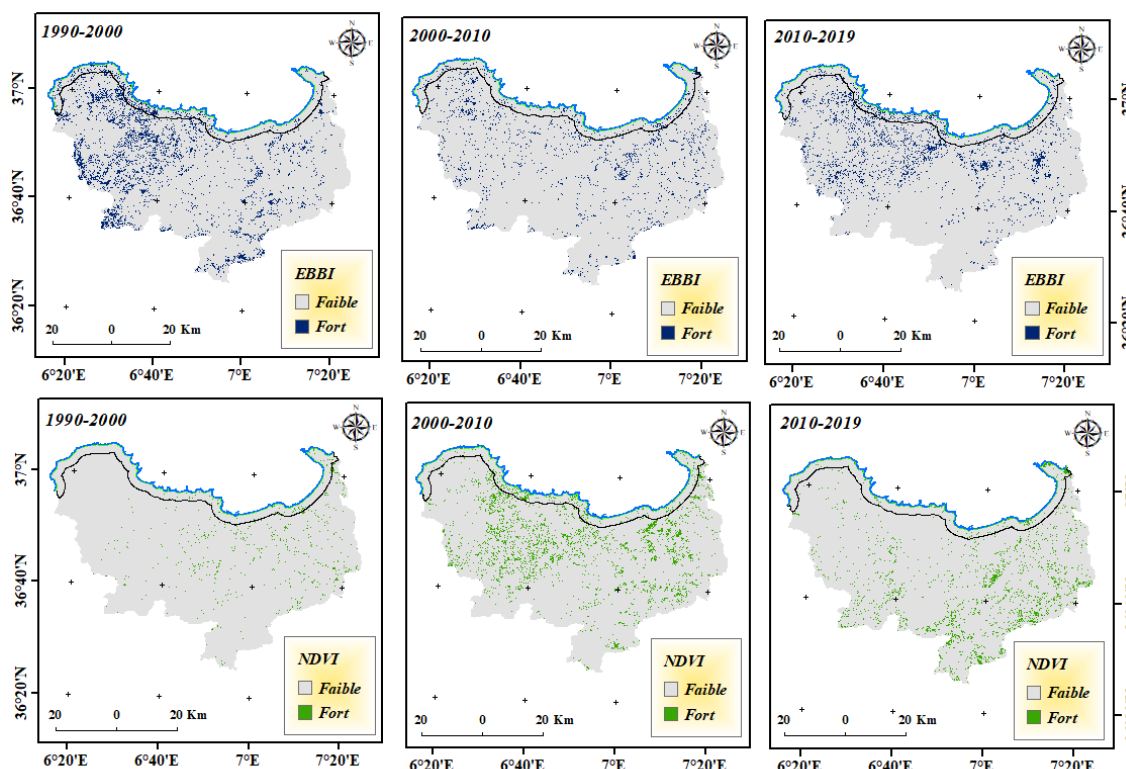


Figure 26 : Carte du changement par la différence d'EBBI seuillé de la wilaya de Skikda pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019

1.2.12 Eltarf

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages et les vitesses de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya d’El tarf et ses 4 bandes littorales (Tableau 33). Sont présentées également les cartes de changement issues de la différence d’indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Tableau 28 : Résultats récapitulatif de la différence d’indice EBBI pour la wilaya d’Eltarf pour les 3 périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019. B1, B2, B3 et B4 correspondent respectivement à la bande 100 m, 300 m, 800 m et 3 km. W représente la wilaya.

Niveaux	Superficie du changement (km ²)			% de changement			Vitesse de changement (km ² /an)		
	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
Période	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19	90-00	00-10	10-19
B1	0,344	0,333	0,192	3,674	3,739	1,986	0,035	0,036	0,021
B2	0,932	1,025	0,522	3,487	3,871	1,922	0,095	0,105	0,058
B3	2,599	2,915	1,813	3,806	4,157	2,628	0,262	0,287	0,2014
B4	11,718	12,217	9,739	4,348	3,849	3,983	1,063	0,941	1,082
W	186,025	214,168	182,660	6,348	7,1527	6,317	18,358	20,679	20,296

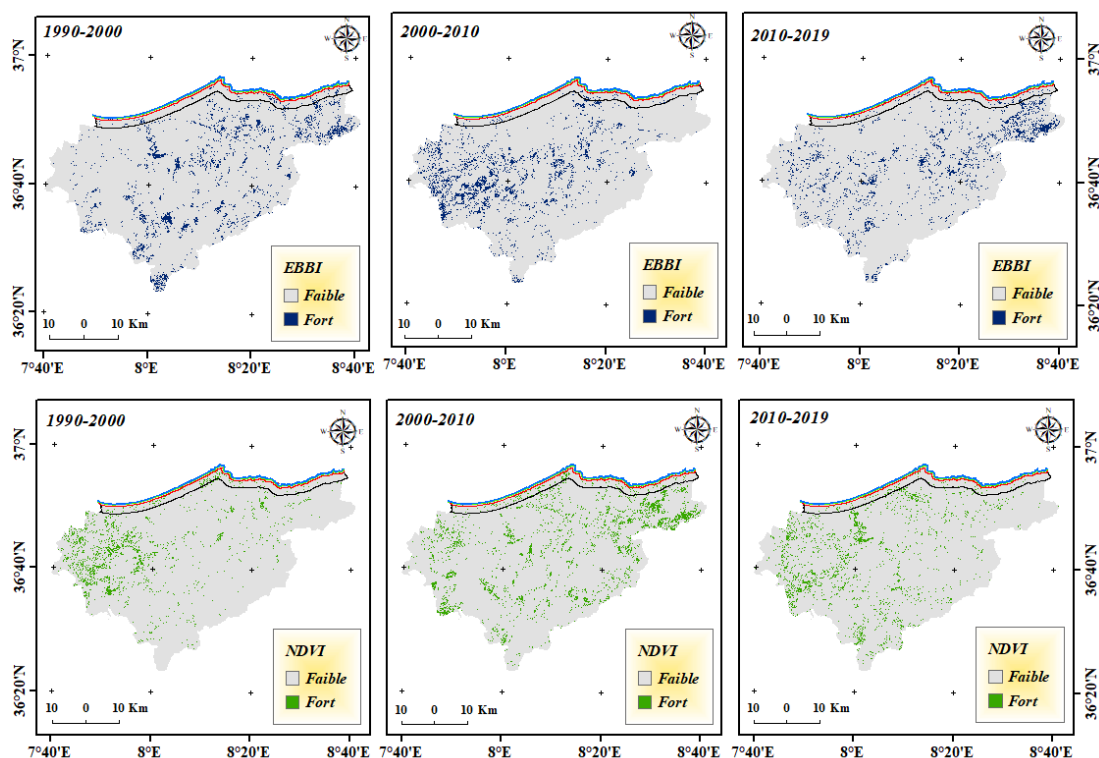


Figure 27: Carte du changement par la différence d’EBBI seuillé de la wilaya d’Eltarf pour les périodes 1990-2000 2000-2010 2010-2019

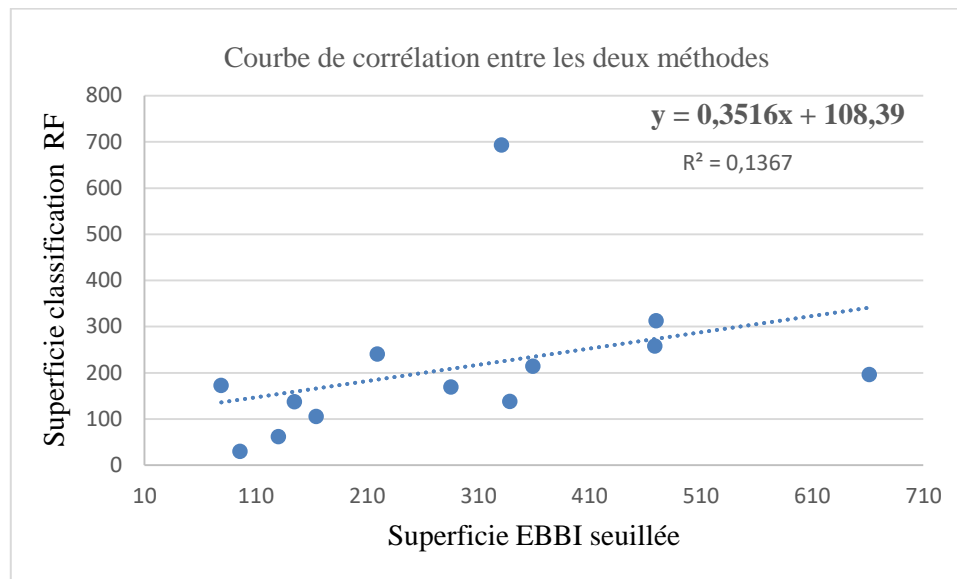


Figure 28 : Courbe de corrélation entre la classification multi-temporelle et la différence d'indice EBBI seuillé pour la période 2000-2010

1.3 Analyse du changement exemple de la wilaya d'Alger

Dans ce qui suit, nous présentons une analyse qualitative et quantitative des résultats obtenus concernant la wilaya d'Alger choisie comme un repère pour l'analyse des autres wilayas.

1.3.1 Analyse qualitative

Terres artificialisées

L'analyse qualitative est basée sur la photo-interprétation des cartes de différence d'images d'indices spectrales (NDVI et EBBI) et des cartes de la classification multi-temporelle.

Concernant les cartes de différence du NDVI, les zones en vert (Fig.27) correspondent à des valeurs de pixels positives indiquant une différence élevée du NDVI. Cela veut dire que les valeurs NDVI de l'image ultérieure (date 2) sont supérieures à celles de l'image antérieure (date 1). Un NDVI élevé indique une augmentation de la superficie des forêts et des terrains agricoles. Par ailleurs, les zones en violet (Fig.27) correspondent à des valeurs de pixels négatives indiquant une faible différence du NDVI, cela s'explique par une diminution du couvert végétal à la date ultérieure (Date 2 En effet, le NDVI diminue considérablement après la dégradation du couvert végétal pouvant être causée soit par le feu, la coupe à blanc des forêts (activité anthropique) ou l'artificialisation des sols. Enfin, les valeurs autour de zéro (en beige) (Fig.27) représentent l'absence de changement dans le paysage parce que les deux images ont approximativement les mêmes valeurs du NDVI.

D'autre part, dans les cartes de différence de l'EBBI, les zones en bleu (Fig.29) révèlent un EBBI élevé (valeurs de pixels positives) indiquant l'augmentation des sols nus ou artificialisés, due probablement à l'artificialisation des sols et à la dégradation de la masse végétale. Par ailleurs, les zones en marron (Fig.29) indiquent un faible EBBI (valeurs de pixels négatives), ce qui signifie une diminution des sols nus probablement due à au changement des sols nus en couverts végétaux.

En outre, les zones en beige (Fig.29) indiquent les valeurs qui tendent vers 0 dans l'image de différence EBBI (valeur de pixel proche du 0) par ce que la différence de l'EBBI ne met pas en évidence les surface sols nus qui se sont urbanisés puisque leur valeur de EBBI est élevée donc forcément la différence du EBBI tend vers 0.



Figure 29: Carte de différence EBBI NDVI de la wilaya d'Alger

Néanmoins, ceci peut être vérifié à partir de l'image de la différence du NDVI et donner des indications sur le changement. En effet, l'observation des images de différence de l'EBBI montre bien que les zones en marron (les faibles valeurs d'EBBI) (Fig.30.B) prennent la couleur verte (les fortes valeurs du NDVI) (Fig.30.C) dans les images de différence du NDVI.

En revanche, le violet (Fig.30.B) dans l'image différence NDVI correspond souvent au bleu (Fig.30.A) dans l'image de différence EBBI montrant que la diminution du couvert végétale est peut-être causée par l'artificialisation des sols, ou la dégradation du couvert végétal

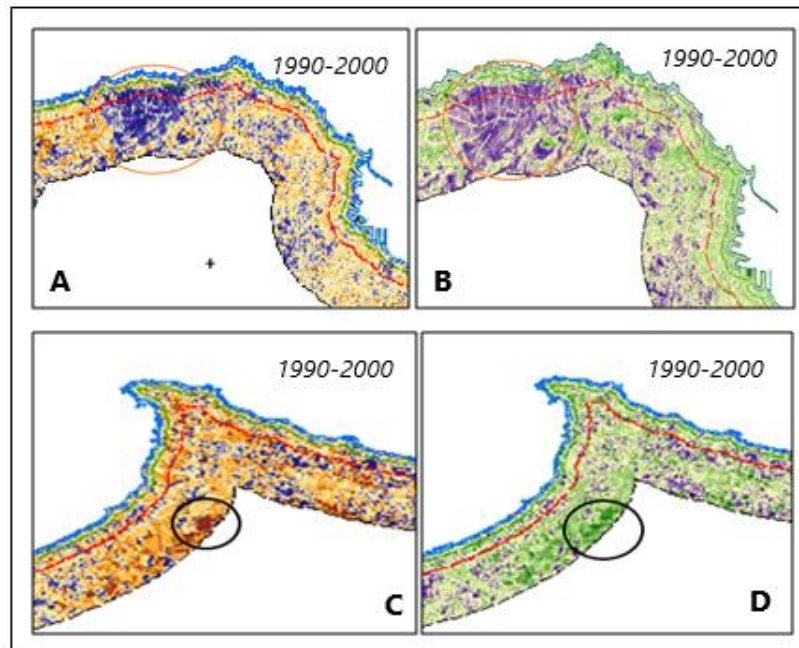


Figure 30: Carte du changement par différence d'indice NDVI-EBBI. (A), présentation des fortes valeurs de la différence d'EBBI. (B), Présentation des faibles valeurs de la différence NDVI. (C), Présentation des faibles valeurs de la différence EBBI. (D), Présentation des fortes valeurs de la différence NDVI.

Changement entre 1990-2000

Les configurations du changement sont représentées par les zones en bleu (Fig.31). Elles sont observées d'une manière intense dans la partie nord-ouest de wilaya d'Alger ($2^{\circ}58'E-36^{\circ}47'N$), aussi au niveau de la partie nord de la wilaya ($3^{\circ}10'E - 36^{\circ}44'N$). Ceci est du probablement au feu de forêts vu que cette période est connue par le terrorisme. Ces zones apparaissent pratiquement en violet (Fig.32) indiquant une diminution du couvert végétal. En revanche, nous remarquons que de faibles valeurs de la différence EBBI au niveau de la partie Nord –Est ($3^{\circ}15'E - 36^{\circ}46'$) en marron (Fig.31) apparaissent en vert dans la carte de la différence NDVI indiquant l'augmentation du couvert végétal.

Changement entre 2000-2010

Nous remarquons un changement dans la partie nord-ouest de la wilaya ($2^{\circ}58'E-36^{\circ}47'N$) démontrant des valeurs faibles de la différence EBBI (Fig.31) indiquant une repousse intense de la végétation due à la régénération des forêts qui ont été pratiquement des sols nus dans la période 1990-2000. Par contre, au niveau de la partie Nord –Est ($3^{\circ}15'E - 36^{\circ}46'$), nous remarquons de fortes valeurs de différence EBBI (Fig.31) qui étaient auparavant durant la période 1990-2000 un couvert végétal (zones en vert) (Fig.32). Ce changement indique une augmentation de l'urbanisation dans ce secteur due à la crise de l'habitat que connaît notre pays.

Changement entre 2010-2019

Nous remarquons un changement aléatoire sur la totalité de la wilaya. Les fortes valeurs de la différence EBBI (Fig.31) se concentre dans le nord-est de la wilaya d’Alger. Cela est expliqué par une dégradation de la végétation due probablement au phénomène du coup à blanc et sa transformation en sols nus ou en sols artificialisées.

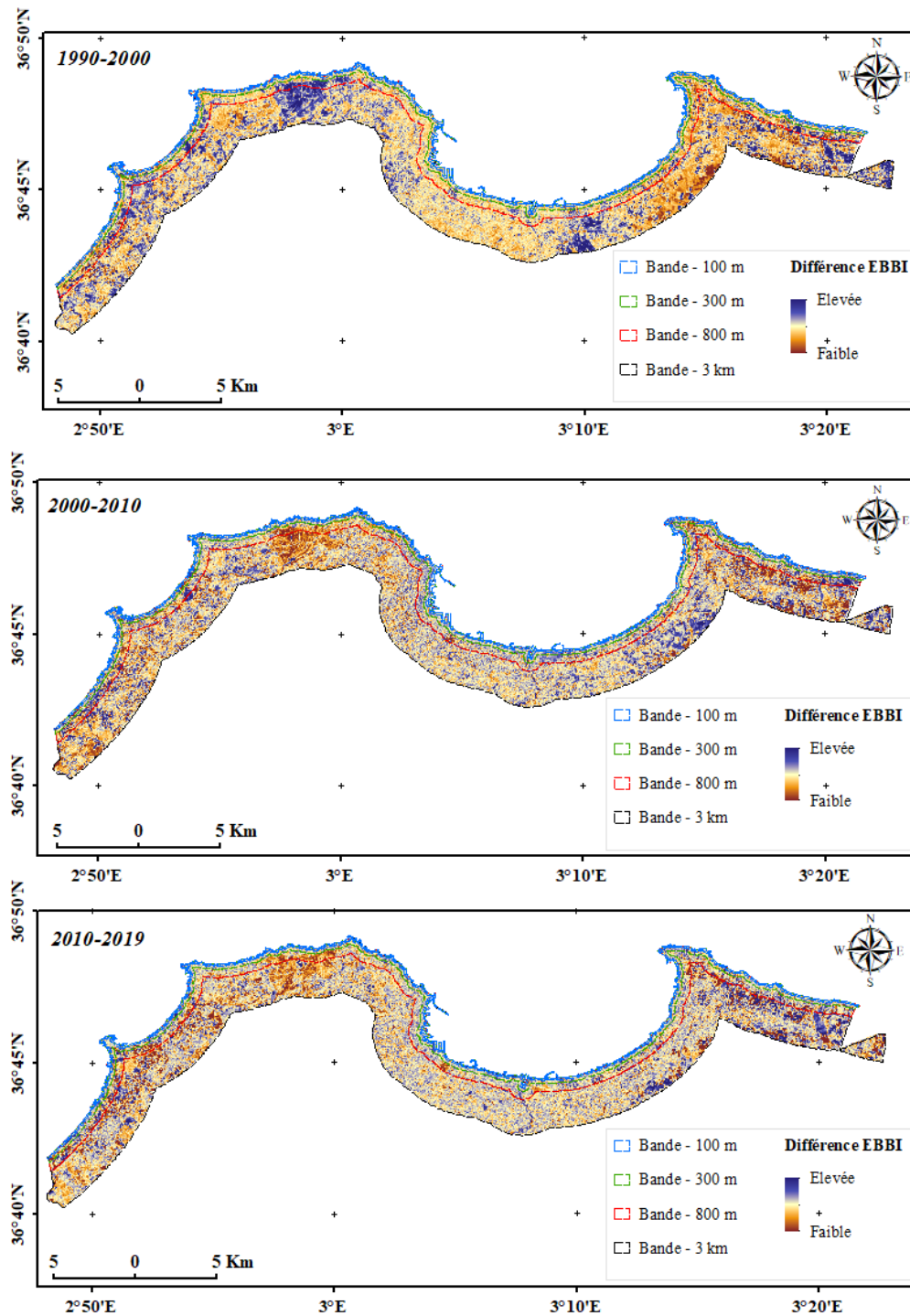


Figure 31: Carte du changement par la différence d’indice EBBI entre 1990-2000,2000-2010 et 2010-2019 pour les bandes littorales de la wilaya d’Alger

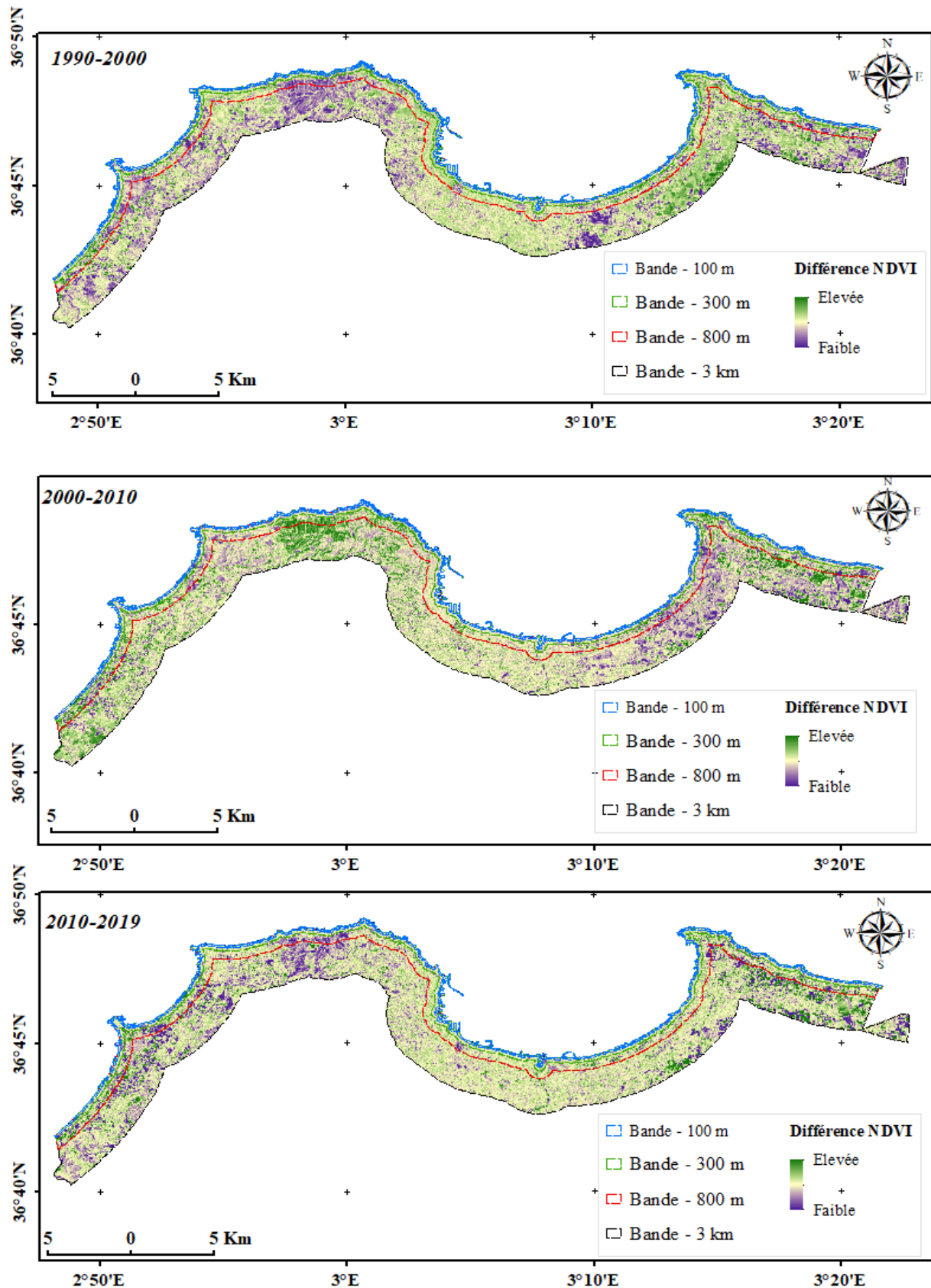


Figure 32: Carte du changement par la différence d'indice NDVI entre 1990-2000,2000-2010 et 2010-2019 pour les bandes littorales de la wilaya d'Alger

Classification RF

Concernant les cartes de la classification multi-temporelle, nous remarquons qu'il y'a quatre classes de changement. Les zones en marron (Fig. 33) correspondent à des sols qui ont subis un changement dans les types d'occupation du sol « sols artificialisées (bâtis et revêtus) » et sols nus. Cette croissance s'est surtout produite au détriment de terres agricoles, forêts pour un usage d'habitat individuel d'infrastructures de transports et de bâti agricole et surtout à la phénologie de la végétation (apparition saisonnier des végétaux). Les zones en vert (Fig.33) claire correspondent à la repousse du couvert végétal par le développement des parcelles agricoles ou l'intensification des forêts. Les zones en gris (Fig.33) (no data) révèlent qu'il y a aucun changement au niveau des sols nus et les aires urbaines. D'autre part les zones en couleurs vert (Fig.33) foncé correspondent à des zones montagneuses contenant des forêts inchangées.

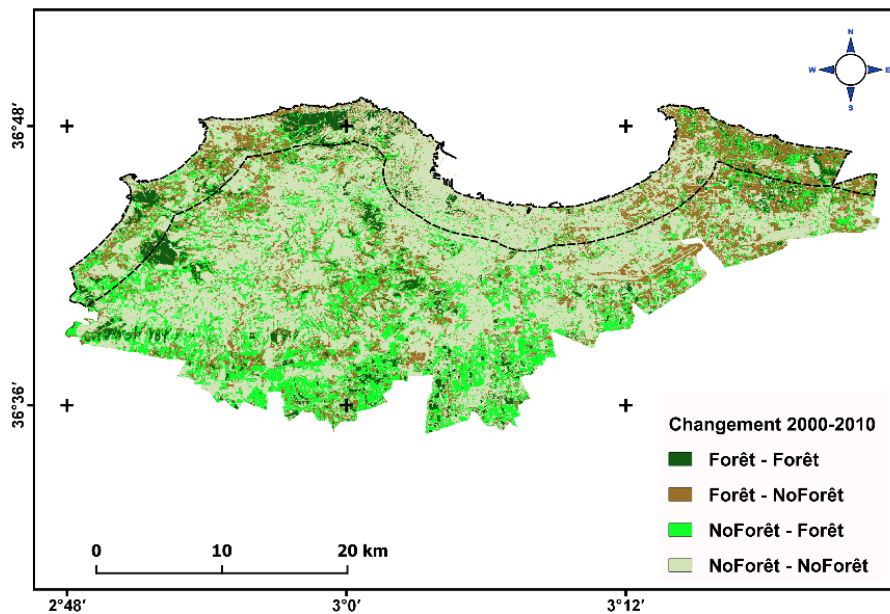


Figure 33 : Carte de la classification multi-temporelle de la wilaya d'Alger

Changement entre 1990-2000

Les résultats (formes) de changement représentés par les zones en marron (Fig.34) indiquent l'augmentation des sols artificialisés. Elles sont observées d'une manière intense dans la partie nord-ouest pour les bandes littorale de wilaya d'Alger (2°58'E-36°47'N), aussi au niveau de la partie nord de la wilaya (3° 10'E - 36°44'N), ceci est argumenté par le feu des forêts dans cette période (terrorisme). En revanche, nous remarquons de faibles valeurs du changement (zone en marron) dans la partie Nord –Est (3°15'E - 36°46') (fig.34).

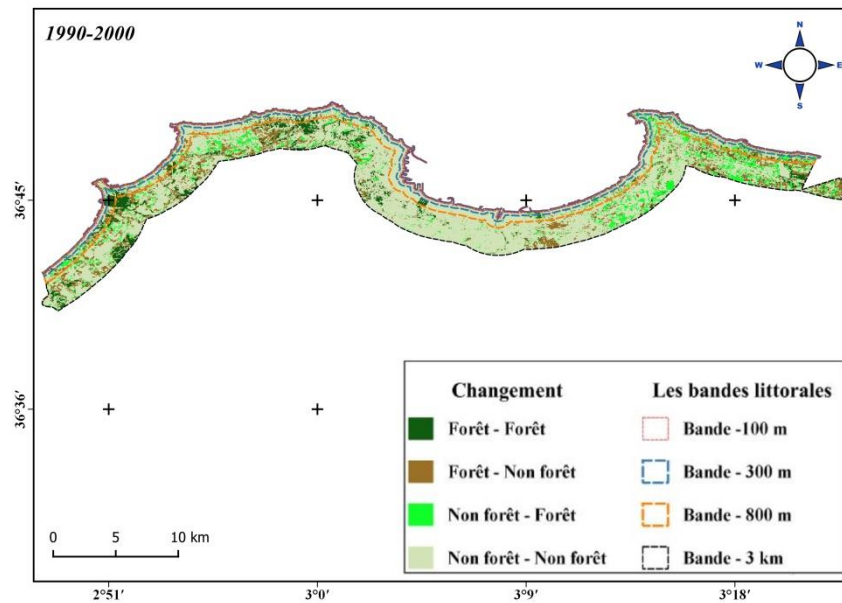


Figure 34: Carte du changement par la classification multi-temporelle des bandes littorales de la wilaya d’Alger entre 1990-2000

Changement entre 2000-2010

Pour cette période, nous observons que l’intensité de l’artificialisation augmente d’une manière intense, en particulier, au niveau de la partie nord-est pour les bandes littorales de la wilaya d’Alger et aussi dans la partie nord-ouest (36° 47’N_2° 55’) (Fig.35). Ce changement peut s’expliquer par l’augmentation des sols nus et artificialisés. Par contre, nous remarquons une faible intensité d’artificialisation cela est due à la repousse de la végétation dans la partie Nord-Ouest (2° 50’E_36° 40’ N). (Fig.35)

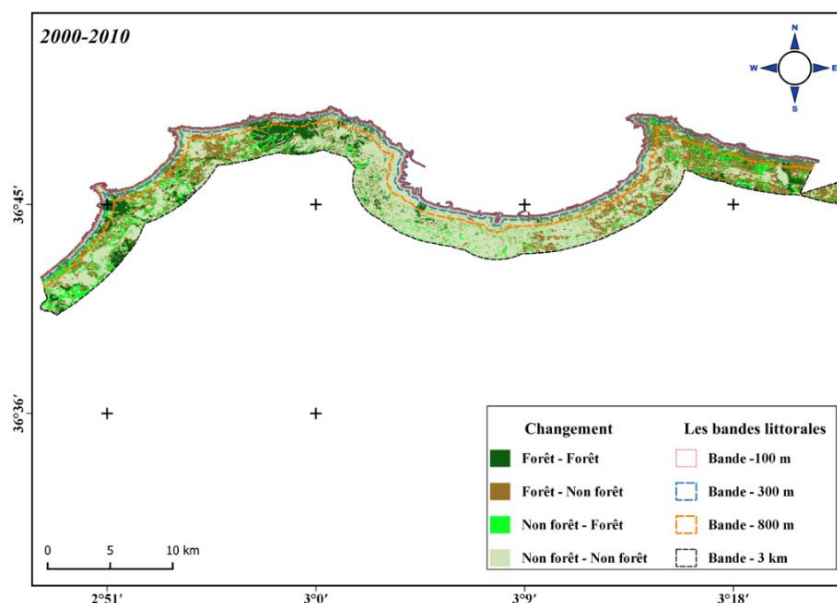


Figure 35: Carte du changement par la classification multi-temporelle des bandes littorales de la wilaya d’Alger entre 2000-2010

Changement entre 2010-2019

Aucun changement notable sur l'artificialisation n'a été remarqué sauf dans la partie Est des bandes littorales de la wilaya d'Alger (Fig.36) a cause de la saturation des terrains utiles pour l'artificialisation .

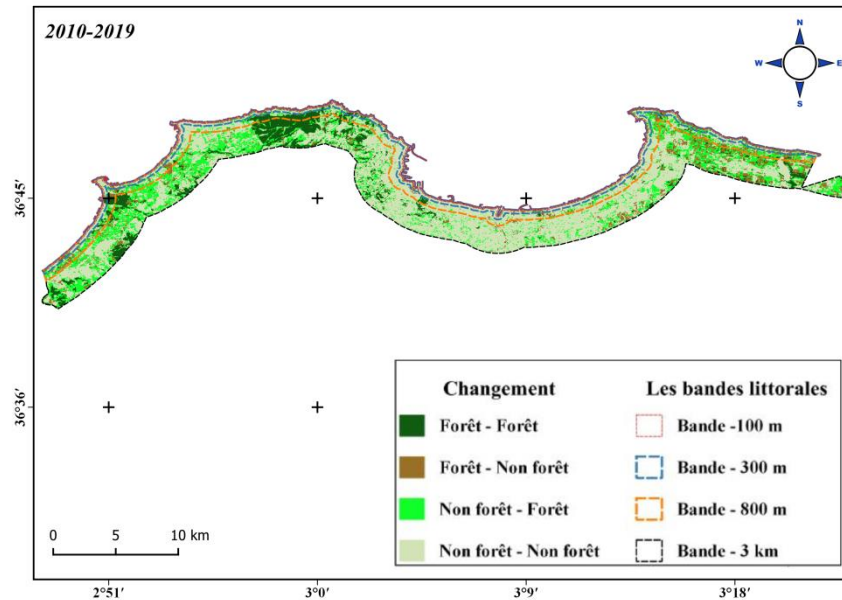


Figure 36: Carte du changement par la classification multi-temporelle des bandes littorales de la wilaya d'Alger entre 2010-2019

1.3.2 Analyse quantitative

Terres Artificialisées

L'analyse quantitative est basée sur l'estimation du changement représentée par les valeurs élevées de la différence-EBBI seuillée.

Les cartes de différence d'EBBI seuillée représentent deux classes. La première montre de fortes valeurs en bleu (Fig.37) révélant un changement dû à une diminution des terrains agricoles ou à la dégradation des forêts et leur transformation en sols nus ou une artificialisation. La seconde montre de faibles valeurs en gris (Fig.37) indiquant l'absence du changement entre les deux dates.

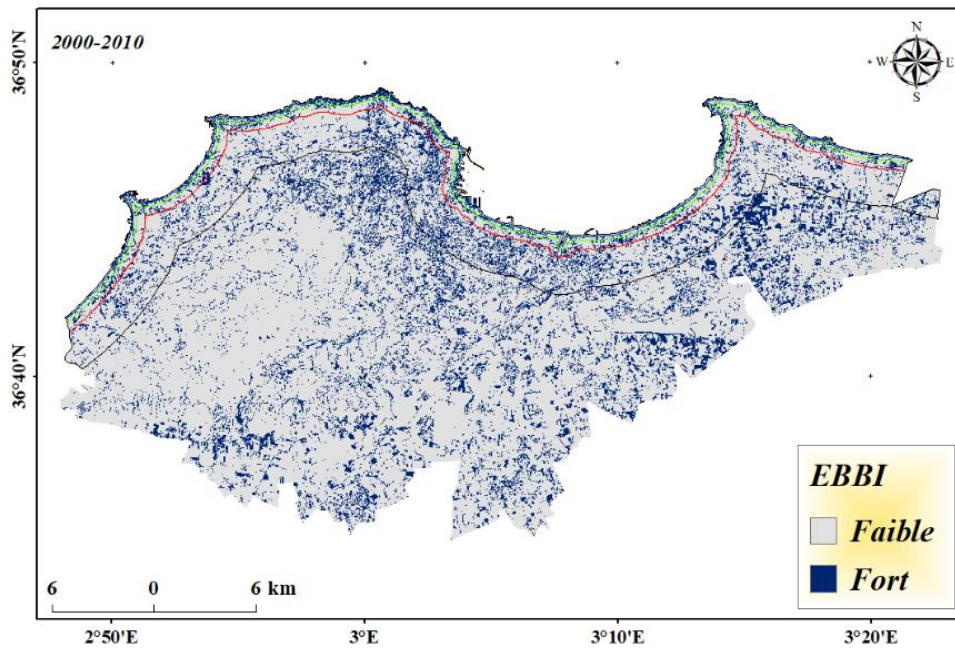


Figure 37: Carte du changement par la différence d'indice EBBI seuillé de la wilaya d'Alger

L'augmentation des sols artificialisés entre date ultérieure et antérieure pour chaque période étudié (1990-2000 / 2000-2010 / 2010-2019) dans les bandes littorales de la wilaya d'Alger est indiquée par la couleur bleu (Fig.38) représentant la classe des valeurs élevées de la différence du EBBI. En revanche les faibles valeurs de la différence EBBI seuillé sont représentées par la couleur grise (Fig.38).

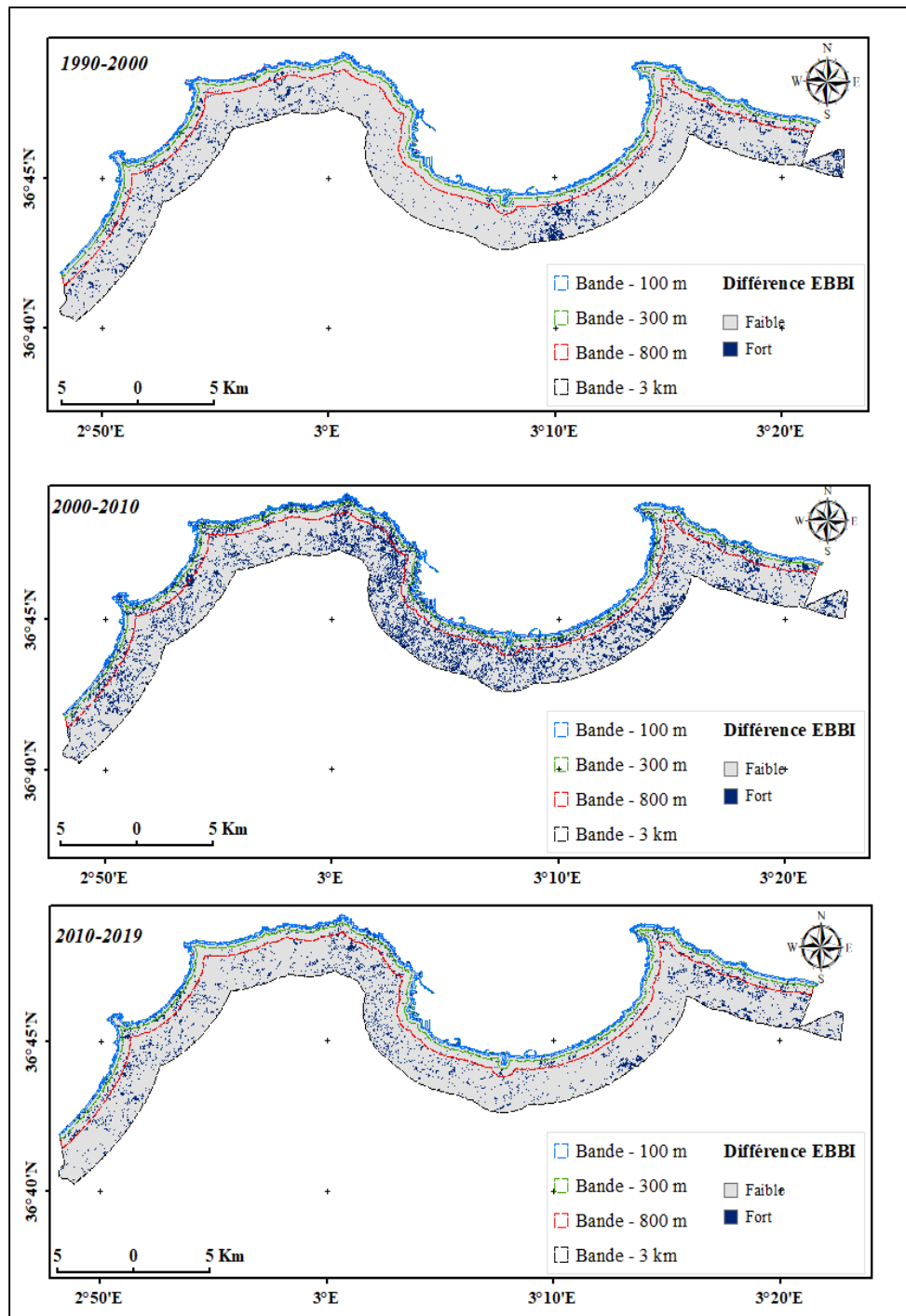


Figure 38: Carte du changement par différence d'indice EBBI seuillée entre 1990-2000,2000-2010 et 2010-2019 pour les bandes littorales de la wilaya d'Alger

Nous présentons dans ce qui suit les superficies, les pourcentages de changement pour les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2019 relatives à la wilaya d'Alger et ses 4 bandes littorales (Tableau 29,30 et 31). Sont présentées également les histogrammes de changement issues de la différence d'indice EBBI seuillé correspondant aux périodes su citées.

Changement entre 1990-2000

Tableau 29: Résultats récapitulatifs de la différence d'indice EBBI seuillée pour la wilaya d'Alger entre 1990-2000

Niveaux	Superficie du changement (km ²)	% de changement
Bande 100m	0.3708	3.38
Bande 300m	0.9549	3.21
Bande 800m	3.7593	5.13
Bande 3km	16.8813	6.66
wilaya	71.4978	9.28

D'après les résultats indiqués dans le (Tableau 34), la période 1990-2000 est marquée par une évolution des sols artificialisés et des sols nus estimée à 9.28 % de la surface totale de la wilaya soit 71.4978 km². Cette évolution est répartie sur les quatre bandes littorales 100 m, 300 m, 800 m et 3 km et est estimée respectivement à 0.3708, 0.9549, 3.7593 et 16.8813 km² (Fig.39).

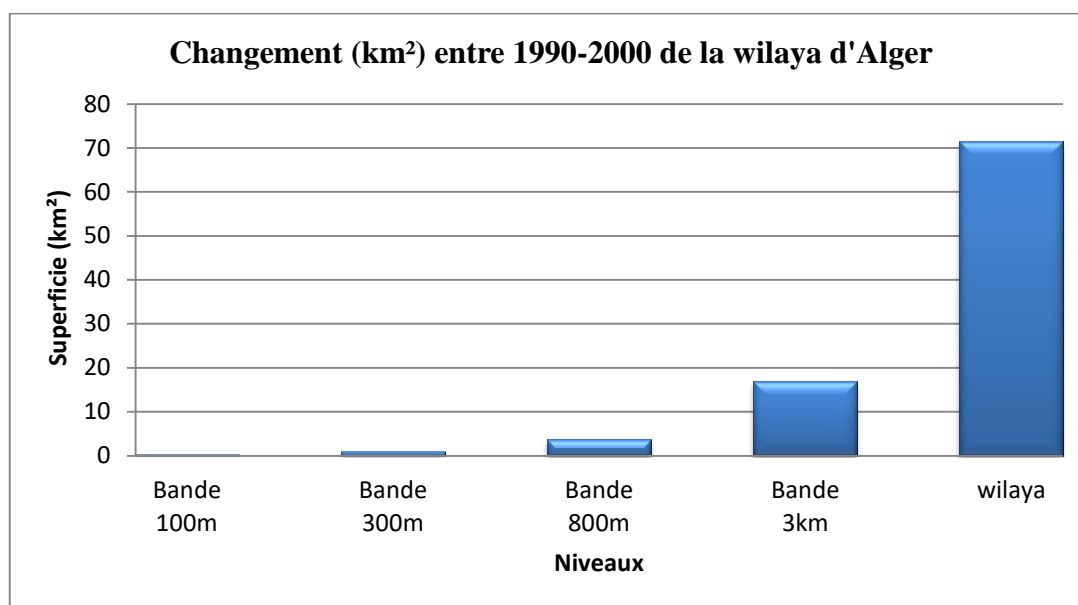


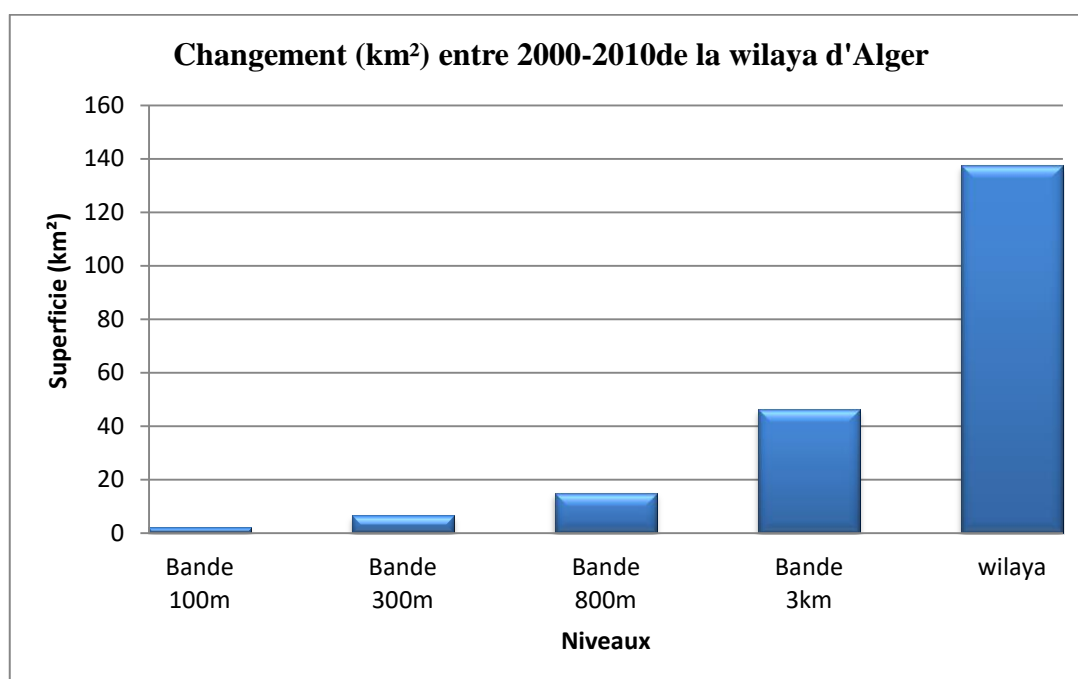
Figure 39: les superficies de la différence EBBI seuillée entre 1990-2000 de la wilaya d'Alger

Changement entre 2000-2010

D'après les résultats indiqués dans le (Tableau 30), l'évolution des sols artificialisés et des sols nus est estimée à 17.8 % de la surface totale de la wilaya soit 137.4129 km². Cette évolution est presque le double de la superficie de changement de la période 1990-2000. Elle est répartie sur les quatre bandes littorales 100 m, 300 m, 800 m, 3 km et est estimée respectivement à 2.1456, 6.5061, 15.0147 et 46.2681 km² (Fig.40).

Tableau 30: Résultats récapitulatifs de la différence d'indice EBBI seuillée pour la wilaya d'Alger entre 2000-2010

Niveaux	Superficie du changement (km ²)	% de changement
Bande 100m	2.1456	19.55
Bande 300m	6.5061	22
Bande 800m	15.0147	20.51
Bande 3km	46.2681	18.27
wilaya	137.4129	17.84

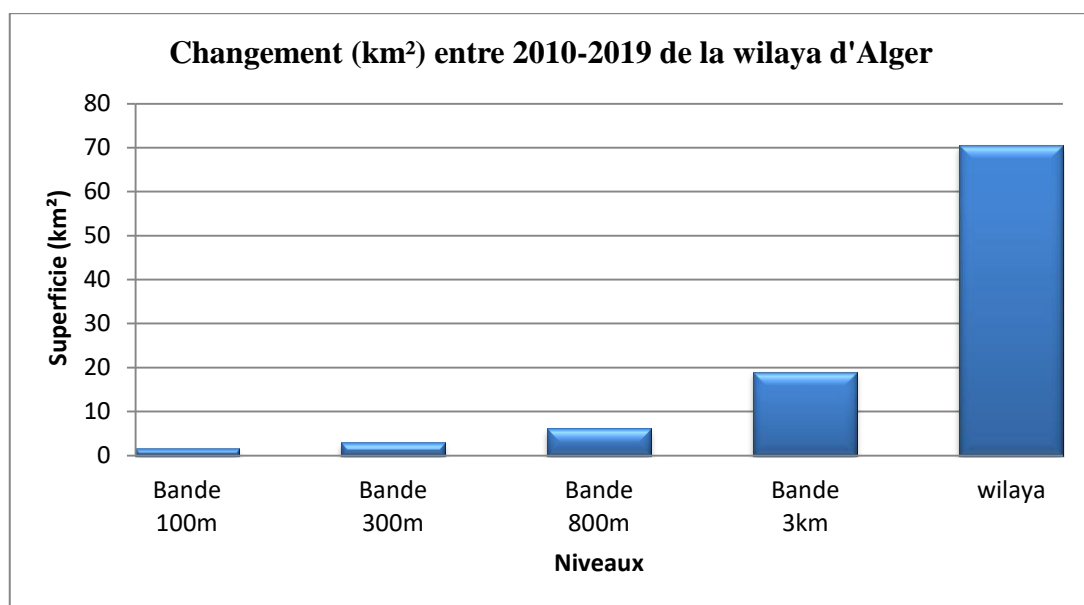
**Figure 40:** les superficies de la différence EBBI seuillée entre 2000-2010 de la wilaya d'Alger

Changement entre 2010-2019

D'après les résultats indiqués dans le Tableau 31, l'évolution des sols artificialisés et des sols nus est estimée à 9.15 % de la surface totale de la wilaya soit 70.5285 km². Cette évolution est répartie sur les quatre bandes littorales 100 m, 300 m, 800 m, 3 km et est estimée respectivement à 1.5372, 2.8863, 6.0894 et 18.9558 km² (Fig.41).

Tableau 31 : Résultats récapitulatifs de la différence d'indice EBBI seuillée pour la wilaya d'Alger entre 2010-2019

Niveaux	Superficie du changement (km ²)	% de changement
Bande 100m	1.5372	0.17
Bande 300m	2.8863	0.32
Bande 800m	6.0894	0.68
Bande 3km	18.9558	2.11
wilaya	70.5285	7.84

**Figure 41**: les superficies de la différence EBBI seuillée entre 2010-2019 de la wilaya d'Alger

Classification RF

Analyse quantitative de la classification multi-temporelle

Les résultats de ces travaux sont présentés sous forme des statistiques zonales pour chaque classe de changement, suivant les périodes d'études. Ainsi, les figures illustrent les cartes du changement de l'artificialisation. Notant que zones en marron indiquent les fortes valeurs d'artificialisation, résultats de la dégradation des forêts ou la transformation des sols nus en terrains artificialisés, par contre les zones en verte indiquent la repousse de la couverture forestière (végétale).

Changement entre 1990-2000

Les statistiques zonales indiquent un changement d'artificialisation répartie sur quatre bandes littorales 100m,300m,800m et 3km estimée à 1.124% de la surface totale de la bande littoral 100m, 2.666% de la surface totale de la bande littoral 300m, 6.342% de la surface totale de la bande littoral 800m et 9.95% de la surface total de la bande littoral 3km (Tableau 32).

Cette évolution est répartie sur les quatre bandes littorales 100 m, 300 m, 800 m, 3 km et est estimée respectivement à 0.1233, 0.792, 4.6431et 25.2036 km² (Fig.42).

Tableau 32: Résultats récapitulatif de la classification multi temporelle pour la wilaya d'Alger entre 1990-2000

Niveaux	Superficie du changement (km ²)	% de changement
Bande 100m	0.1233	1.124
Bande 300m	0.792	2.666
Bande 800m	4.6431	6.342
Bande 3km	25.2036	9.95
wilaya	135.9063	17,64

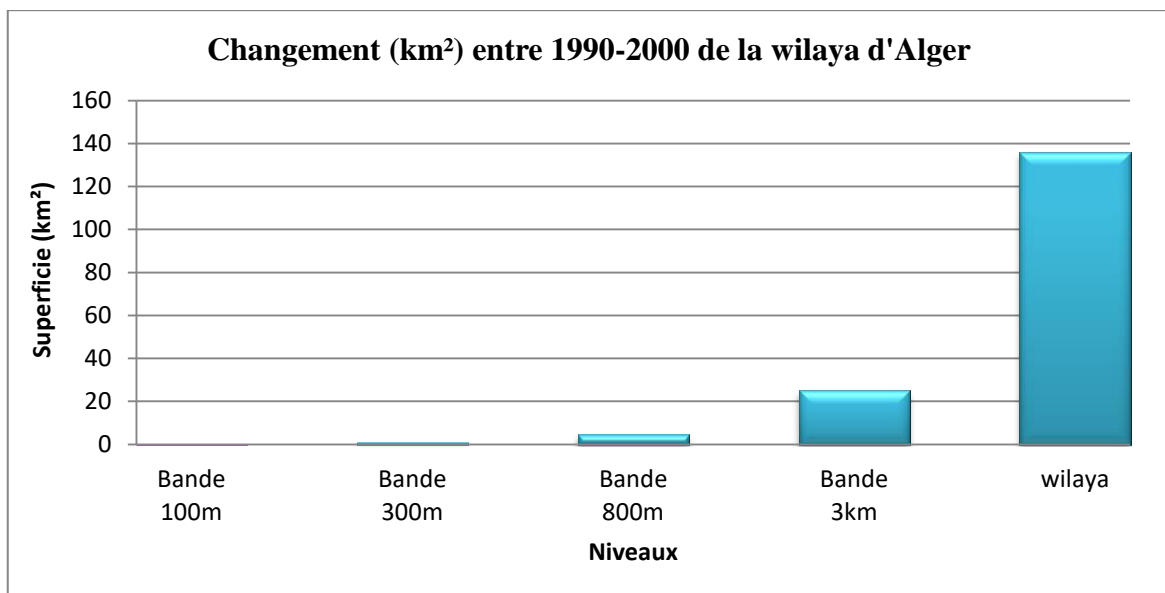


Figure 42: Résultats des superficies de changement en (Km²) de la classification multi-temporelle entre 1990-2000 pour la wilaya d'Alger

Changement 2000-2010 :

Par contre entre 2000 et 2010, à l'échelle de la wilaya l'artificialisation a été augmentée de 8.914 km² soit de 1,17%.

Ce changement d'artificialisation est de 12.97% de la surface totale de la surface de la bande littorale 100m, de 17.73% de la surface totale de la bande littorale 800m, de 20.90 % de la surface totale de la bande littorale 300m et de 19.85% de la surface totale de la bande littorale 3km ou nous observons une dominance de changement sur la bande de 3km (tableau 33).

Les valeurs des superficies indiquent une diminution pour les surfaces forestières alors qu'une augmentation des superficies des sols nus est observée. Cette évolution est répartie sur les quatre bandes littorales 100 m, 300 m, 800 m, 3 km et est estimée respectivement à 1.4229, 5.2677, 15.3009 et 50.2704 km² (Fig.43).

Tableau 33 : Résultats récapitulatifs de la classification multi temporelle pour la wilaya d'Alger entre 2000-2010

Niveaux	Superficie du changement (km ²)	% de changement
Bande 100m	1.4229	12.97
Bande 300m	5.2677	20.90
Bande 800m	15.3009	17.73
Bande 3km	50.2704	19.85
wilaya	144.8199	18.81

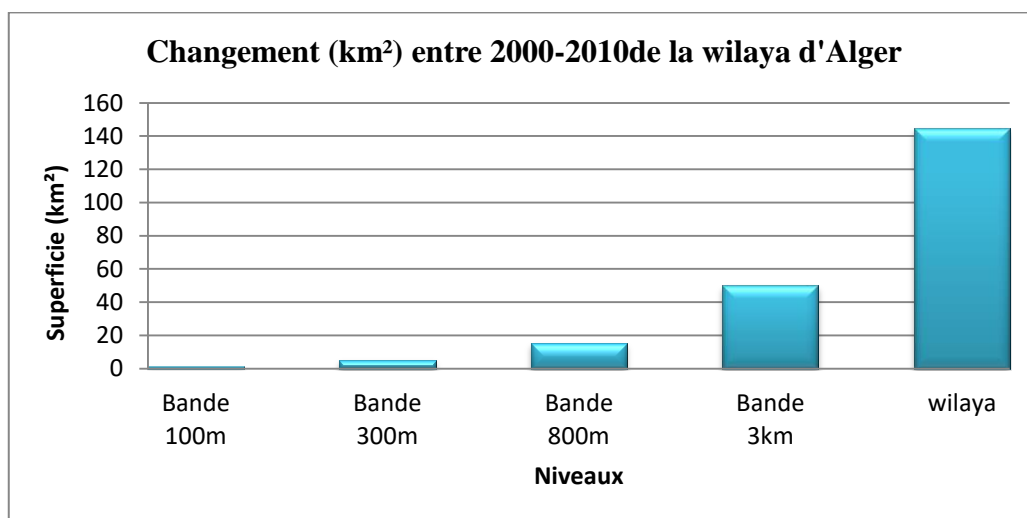


Figure 43: Résultats des superficies de changement en (Km²) de la classification multi-temporelle entre 2000-2010 pour la wilaya d'Alger

Changement entre 2010-2019 :

D'autre part en 2010-2019, les résultats révèlent une diminution artificialisation de 75.71 à l'échelle de la wilaya soit de 9.84 % de la surface totale.

Ce changement d'artificialisation est de 17.40% de la surface totale de la surface de la bande littoral 100m, de 17.73% de la surface totale de la bande littoral 800m, de 8.05% de la surface totale de la bande littoral 300m et de 6.87% de la surface total de la bande littoral 3km ou nous observons une dominance de changement sur la bande de 3km(Tableau 34)

Cette évolution est répartie sur les quatre bandes littorales 100 m, 300 m, 800 m, 3 km et est estimée respectivement à 0.9459, 2.2608, 5.8896 et 17.4024 km² (Fig.44).

Tableau 34 : Résultats récapitulatifs de la classification multi temporelle pour la wilaya d'Alger entre 2010-2019

Niveaux	Superficie du changement (km ²)	% de changement
Bande 100m	0.9459	17.40
Bande 300m	2.2608	7.61
Bande 800m	5.8896	8.05
Bande 3km	17.4024	6.87
wilaya	69.1083	8.97

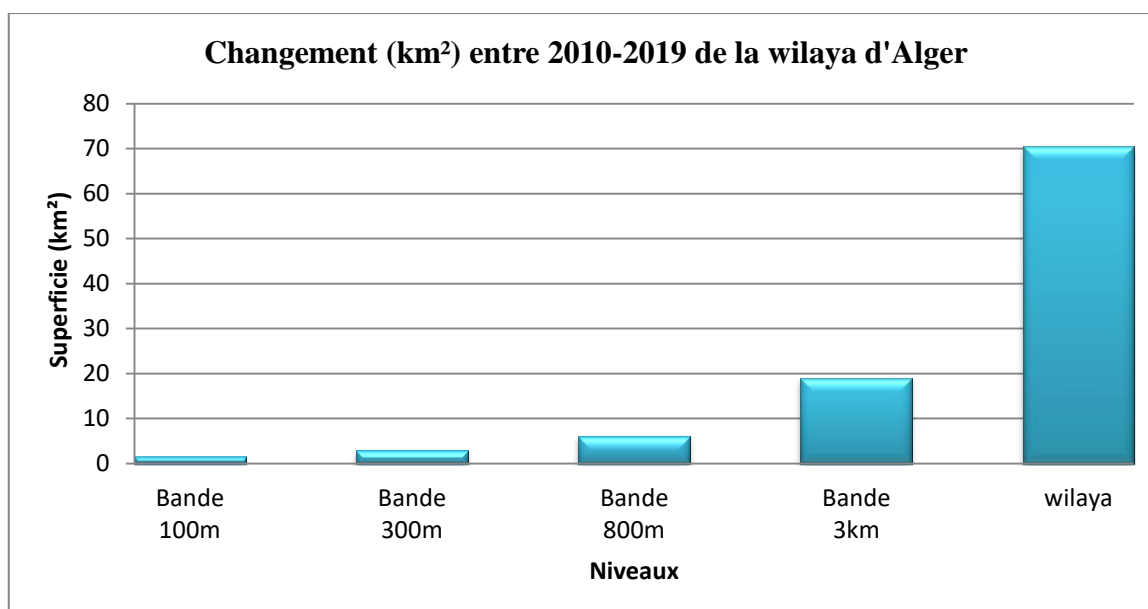


Figure 44: Résultats des superficies de changements en (Km²) de la classification multi-temporelle entre 2010-2019

1.3.3 Analyse comparative

Le changement de la végétation dans la date antérieure en sol nu ou artificialisé dans la date ultérieure peut être vérifié à partir de l'image de la différence de l'EBBI seuillée. En effet, l'observation des images de la classification multi-temporelle montre bien que les zones en marron (changement du couvert végétal en sol nus) (Fig.45) prennent la couleur bleu (fortes valeurs EBBI) dans les images de différence EBBI seuillée (Fig.45). La comparaison des deux méthodes est indiquée dans la (Figure 45) par un cercle noir.

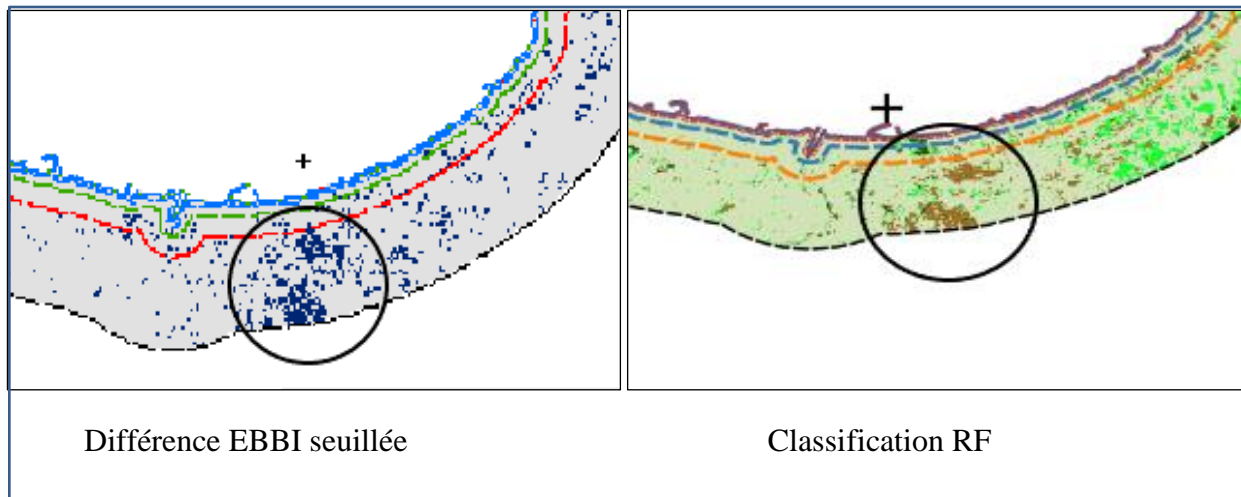


Figure 45: Carte d'équivalence entre différence EBBI seuillée et la classification multi-temporelle

2 Discussion générale

Changement entre 1990-2000

La période 1990-2000 est marquée par un changement dans la bande des 3 km plus importants dans les wilayas d'Ain temouchent, de Chlef, de Tipaza, de Bejaia, de Jijel et de Skikda (Fig.52). La wilaya de Chlef est caractérisée par un relief accidenté caractérisé par la chaîne montagneuse de Medjadja, la chaîne du Dahra au nord et les monts de l'Ouarsenis. La wilaya de Tipaza à caractère rurale se caractérise par un relief très important (monts de Chenoua, Dahra et Zaccar). Les wilayas de Bejaia, de Jijel et de Skikda (aires urbaines) ont un relief accidenté mais aussi sont caractérisées par une pluviométrie très intense (les plus arasées en Algérie) qui donne un couvert végétale remarquable qui occupe plus de la moitié du territoire de ces wilayas.

Pour les bandes des 800 m, 300 m et 100m, les plus fortes surfaces artificialisées sont localisées dans les wilayas de Telemcen, Mostaganem, Chlef, tipaza, Boumerdes, bejaia et skikda (Fig.53, 54,55). Ceci est probablement dû au développement des activités touristiques.

Changement entre 2000-2010

Entre 2000 et 2010, la bande littorale de 3km a connu une diminution des surfaces d'artificialisation dans les wilayas de Telemcen, d'Ain temouchent, Mostaganem, Chlef, Tipaza, Boumerdes, Bejaia, Jijel et Skikda (Fig.52) mais une forte artificialisation au niveau de la wilaya d'Alger. Ceci est du probablement au redressement économique et reprise de l'action publique sur la ville (métropolisation).

Les surfaces d'artificialisation de l'ensemble des wilayas côtières connaissent une régression dans la bande de 300 m (Fig.54), probablement à cause de sa saturation ou à cause de la repousse du couvert végétal sauf la wilaya d'Alger et celle d'Oran qui ont connu une artificialisation rapide. Cela peut s'expliquer par le redressement économique de la wilaya d'Alger et d'Oran et la reprise de l'action publique sur la ville. De même la bande 100m est fortement artificialisée dans la wilaya d'Alger en plus d'Oran (Fig.55).

Changement entre 2010-2019

Une artificialisation importante est visible entre 2010 et 2019 dans la bande 3km en particulier, dans les wilayas d'Oran, de Chlef, de Boumerdes, de Bejaia, de Jijel et de Skikda (Fig.52).

Pour les bandes 800m, 300m, et 100m, les wilayas qui marquent un niveau d'artificialisation le plus élevé sont les wilayas d'Oran et de Chlef (Fig.53, 54,55). Une augmentation assez importante des surfaces d'artificialisation dans la wilaya d'Ain temouchent (Fig.53, 54,55).

Pour la bande de 800m, une faible augmentation au niveau de la wilaya telemcen, mostaganem, boumerdes, tiziouzou, bejaia, jijel et skikda (Fig.53). Ceci est du probablement à la concentration démographique, et l'activité touristique importantes qui fait partie de la mise en place de nouveaux instruments d'urbanisme (la libération des études d'urbanisme).

Une intensification des surfaces d'artificialisation dans la bande de 300m et 100m est observée dans la wilaya d'Oran et Chlef avec une augmentation assez importante au niveau des wilayas d'Ain temouchent, de Tipaza, de Boumerdes, de Jijel et de Skikda. Par ailleurs, les wilayas de Telemcen, de Mostaganem, d'Alger, de Tizi Ouzou, de Bejaia et d'Eltarf (Fig.54, 55) sont marquées par une régression de l'artificialisation.

Le niveau d'urbanisation des wilayas littorales n'est pas le même. En effet, nous remarquons que les wilayas d'Oran, Ain temouchent, chlef et jijel se caractérisent par une urbanisation intense et progressive comparativement aux autres wilayas côtières (Fig 51).

Le niveau d'urbanisation des bandes littorales 3km, 800m, 300m et 100m est plus élevé dans les wilayas d'Oran et Chlef. L'artificialisation la plus remarquable est celle de la wilaya d'Oran

estimée à 23.51% de la superficie totale de 3km, à 27.02% de la surface totale de 800m, à 29.13% de la surface totale de 300m et à 33.49% de la surface totale de 100m. Quant à la wilaya de Chlef, l'artificialisation est estimée à 21.27% de la surface totale de la bande de 3km, à 22.47% de la surface totale de 800m, à 26.36% de la surface totale de 300m et à 32.88% de la surface totale de 100m. Cette progression est probablement due à la forte concentration urbaine et la disponibilité des infrastructures, logement et équipement, appropriées au niveau de ces deux wilayas côtières.

La progression et le développement rapide de l'artificialisation sont liés à la forte démographie de la wilaya d'Oran et de Chlef qui sont estimés (quelle wilaya + donne des chiffres avec des sources).

La zone côtière de ces deux wilayas et en particulier celle d'Oran qui est un lieu de forte attraction démographique a révélé que cette tendance s'est faite au détriment des surfaces forestières qui ont fortement diminuées à Oran, alors que la wilaya de Chlef a connu une artificialisation remarquable s'est faite aussi par l'exode rurale surtout au niveau des bandes littorales.

Après avoir classé par ordre décroissant les superficies des terres artificialisées à l'échelle des wilayas pour la période 1990-2000, il est apparu que la wilaya la plus artificialisée est la wilaya de Tipaza. Pour la période 2000-2010, la wilaya de Tlemcen prend les devants. Par ailleurs, pour l'année 2010-2019, c'est la wilaya de Chlef qui se met en première position.

S'agissant de la bande 100 m, pour l'année 1990-2000, Tipaza est toujours en 1^{ère} position quant à la période 2000-2010, Alger est à la tête du classement et c'est Oran qui marque le taux le plus élevé pour la période 2010-2019.

Après avoir classé par ordre décroissant les superficies de la classification multi-temporelle à l'échelle des wilayas pour la période 1990-2000,2000-2010 il est apparu que la wilaya la plus artificialisée est la wilaya de Skikda. Pour l'année 2010-2019, c'est la wilaya de Telemcen qui se met en première position. (Figure 46)

La comparaison des résultats issus des deux méthodes s'est avérée concluante sauf pour certaines wilayas ou nous suspectons des erreurs d'échantillonnage.

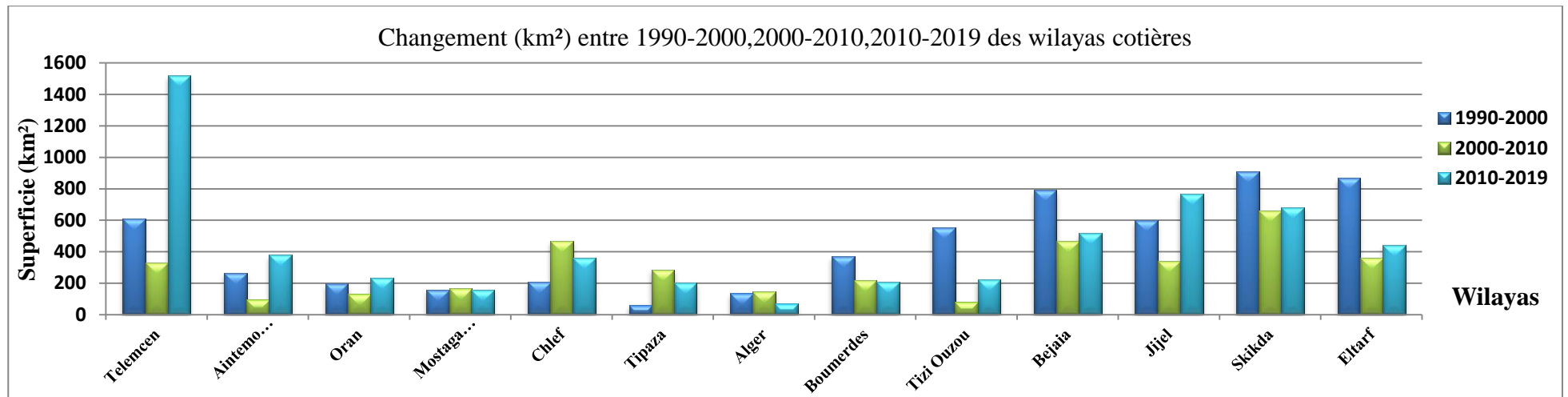


Figure 46: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour les wilayas côtières

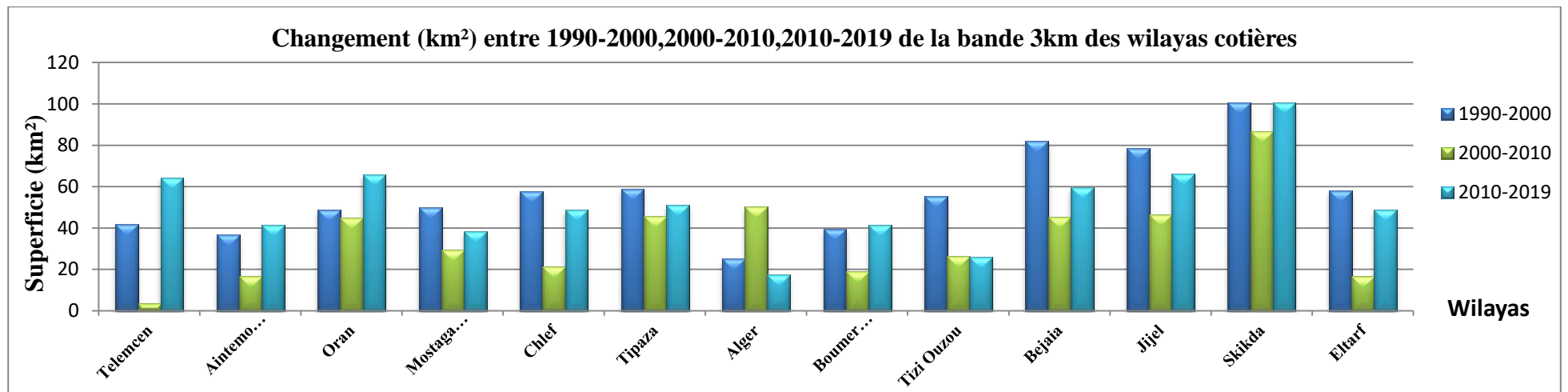


Figure 47: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour la bande 3km

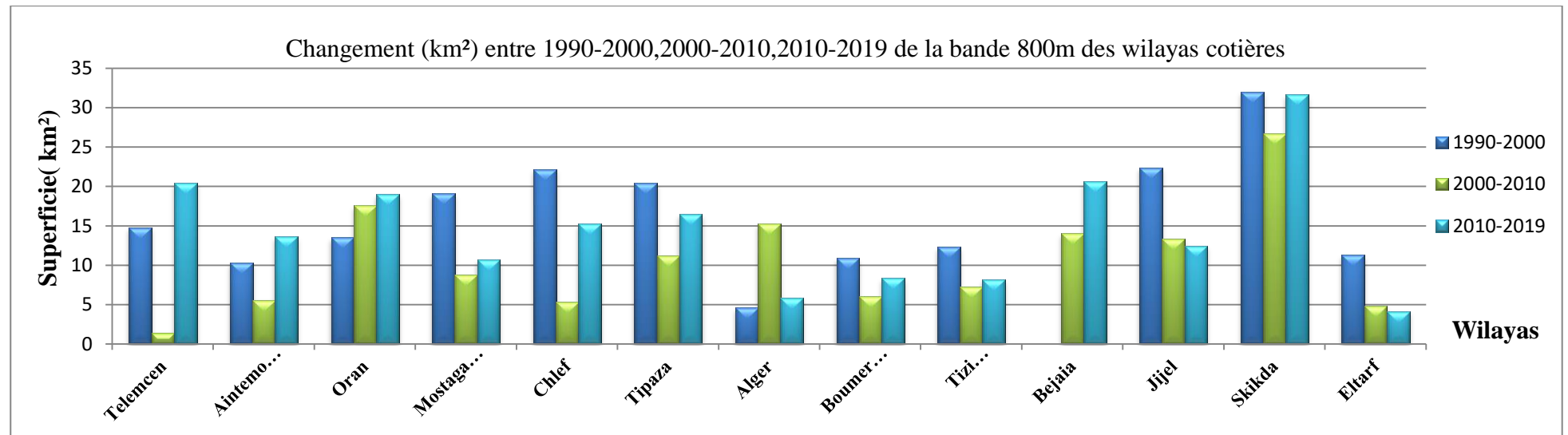


Figure 48: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour la bande 800m

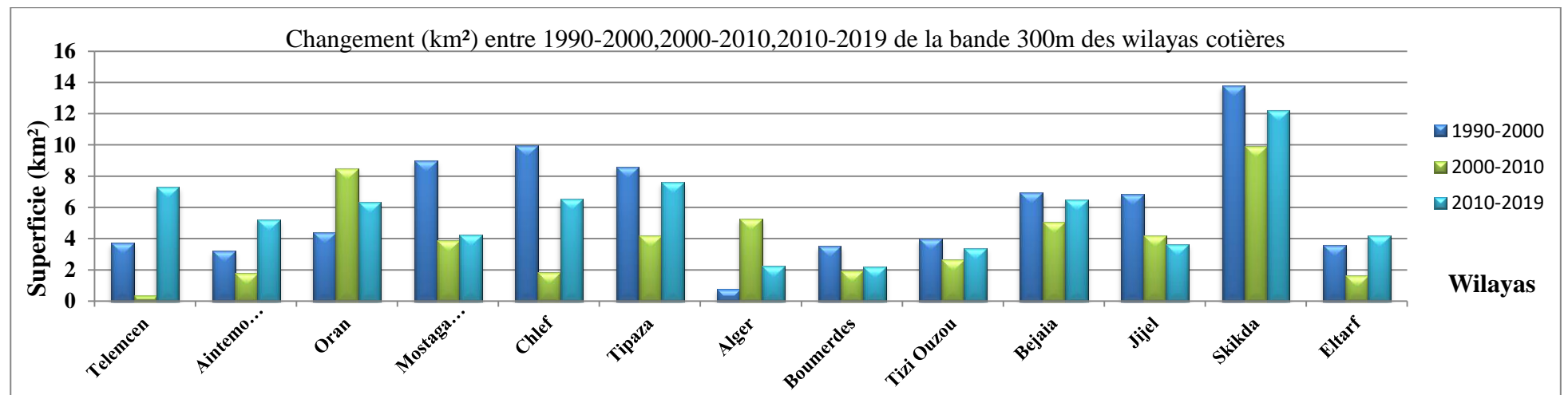


Figure 49: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour la bande 300m

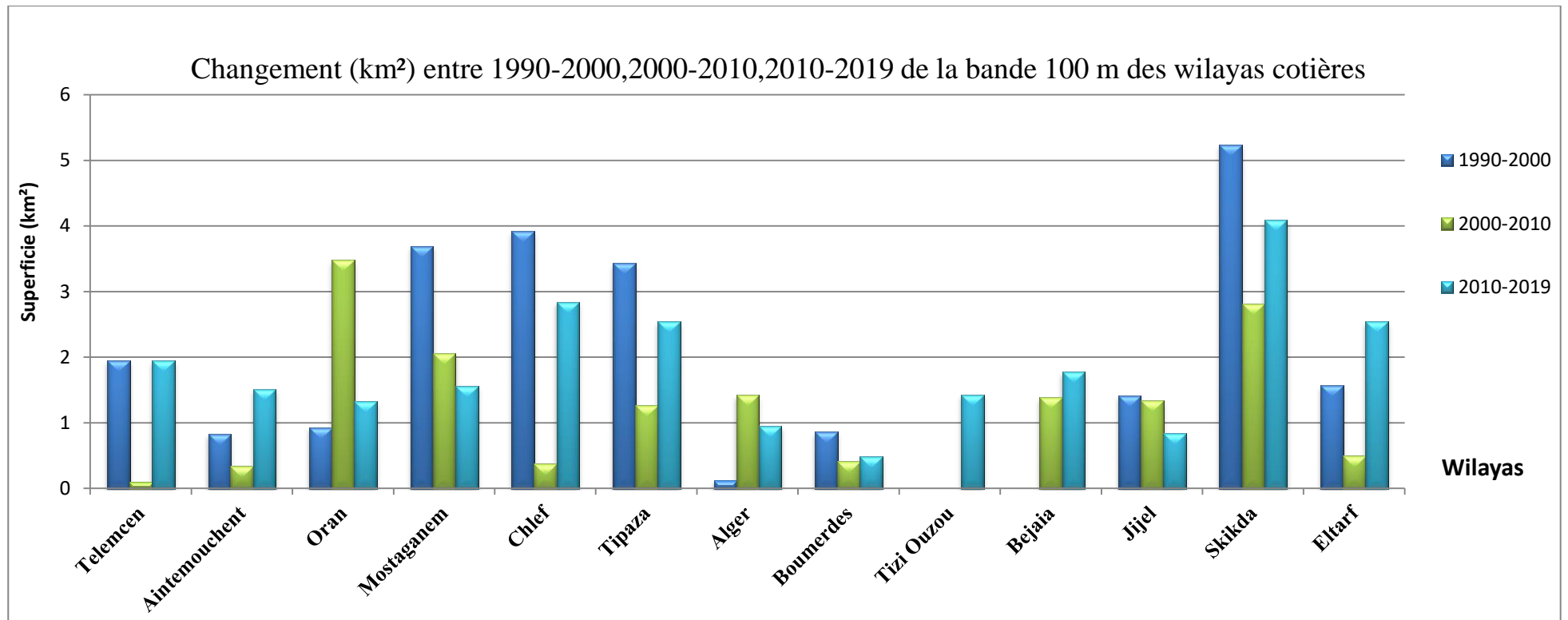


Figure 50: Les superficies de changements de la classification multi-temporelle pour la bande 100m

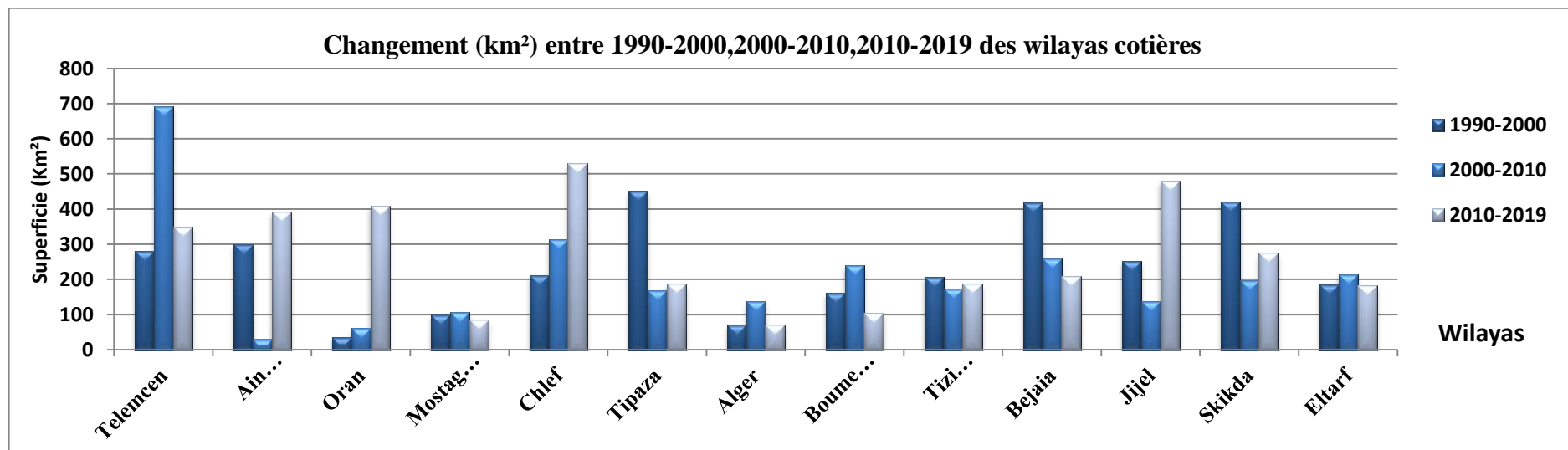


Figure 51: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-2019

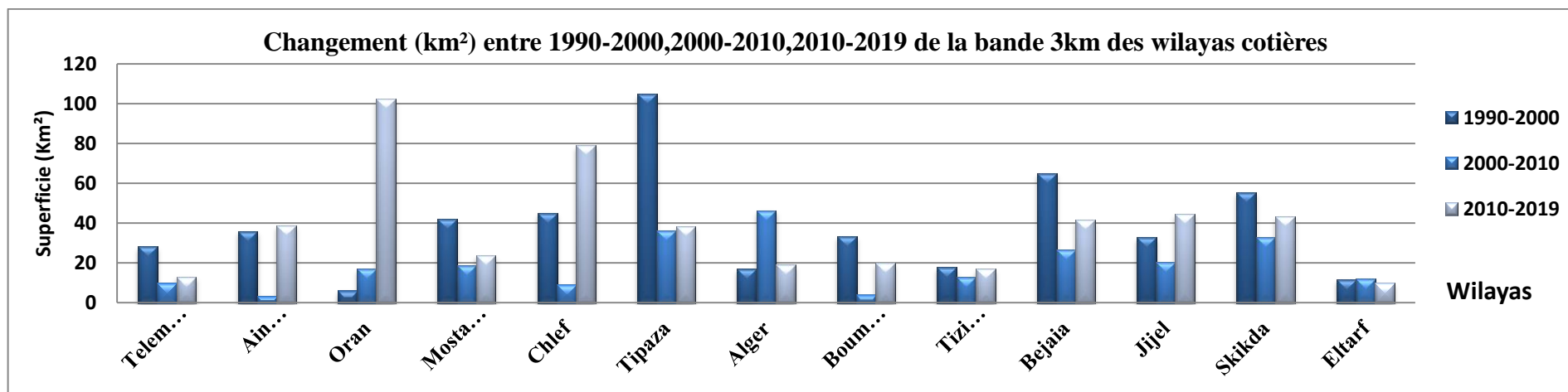


Figure 52: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé de la bande 3km pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-2019

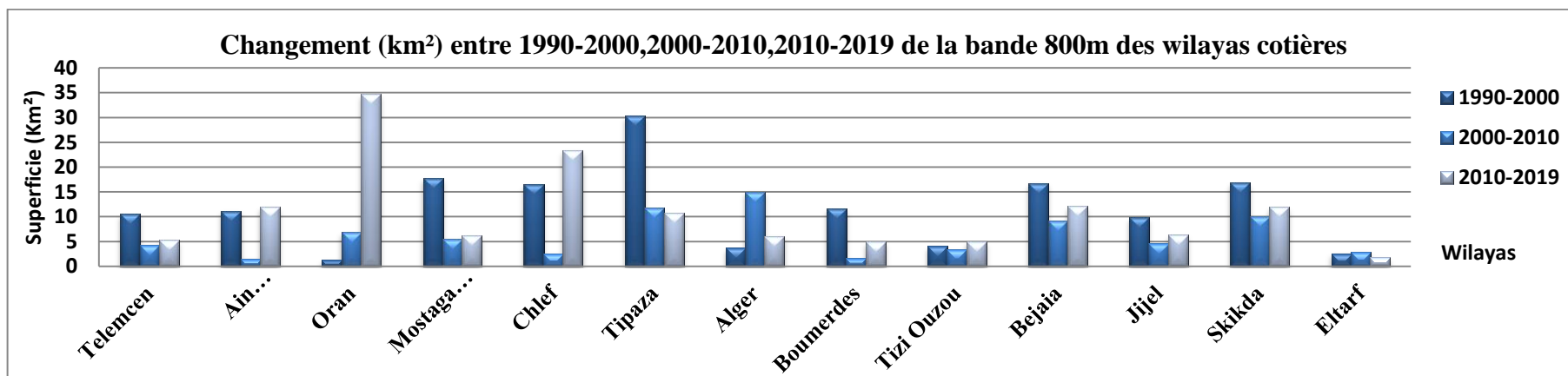


Figure 53: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé de la bande 800m pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-2019

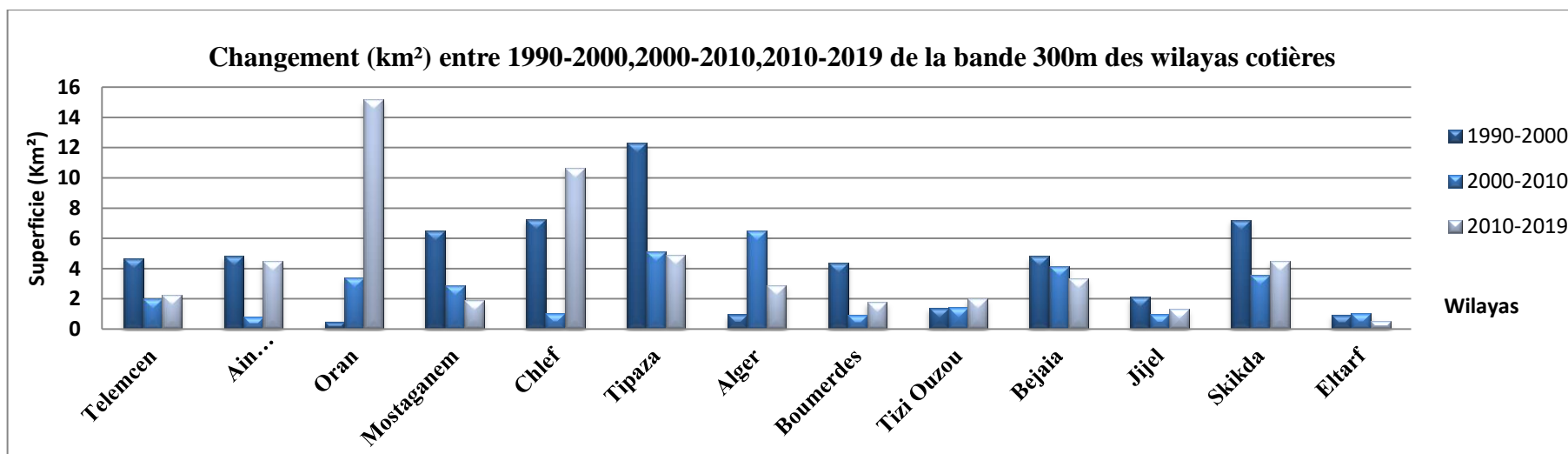


Figure 54: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé de la bande 300m pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-2019

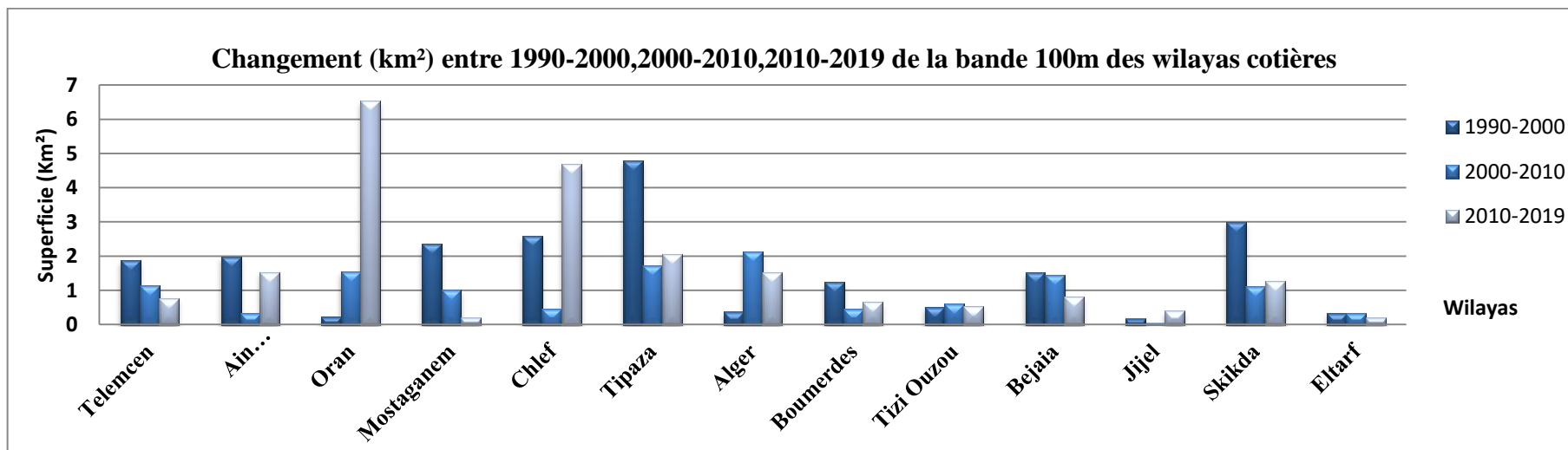


Figure 55: Les superficies de changement de différence EBBI seuillé de la bande 100m pour les wilayas côtières entre 1990-2000 2000-2010 2010-201

Tableau 35: Les superficies du changement de la différence EBBI seuillé pour les différentes bandes littorales

Les niveaux du littoral	Période de changement	Superficies(Km²)
Bande 100m	1990-2000	22,1
	2000-2010	12,51
	2010-2019	21,69
Bande 300m	1990-2000	61,68
	2000-2010	36,19
	2010-2019	53,36
Bande 800m	1990-2000	161,91
	2000-2010	80,95
	2010-2019	144,14
Bande 3km	1990-2000	514,86
	2000-2010	245,93
	2010-2019	501,93

Après avoir classé par ordre décroissant les superficies totales des terres artificialisées à l'échelle des bandes littorales, la bande de 3km , bande 800m ,300m ,100 m étaient les plus touchées dans la période 1990-2000 (Tableau 35).

Conclusion

Conclusion

L'artificialisation des sols est une conséquence directe de l'extension urbaine, de la construction de nouveaux habitats en périphérie des villes, des projets d'aménagements routiers et de la destruction des espaces verts aux profits de L'homme. Ce phénomène consiste à transformer un sol naturel, agricole ou forestier, par des opérations d'aménagement pouvant entraîner une imperméabilisation partielle ou totale, afin de les affecter notamment à des fonctions urbaines ou de transport (habitat, activités, commerces, infrastructures, équipements publics). L'Algérie au même titre que les autres pays, connaît une forte pression démographique sur son littoral ce qui engendre à court et à long terme une forte demande en urbanisation accompagnée d'un développement économique inévitable.

Ce phénomène a autant de conséquences directes sur le paysage que sur l'environnement marin, la biodiversité marine et la vulnérabilité des côtes. Dans ce cadre, nous avons utilisé les images satellitaires à moyenne résolution, notamment, Landsat 5 TM, 7 ETM+ et 8 OLI/TIRS entre 1990 et 2019 pour estimer l'ampleur de l'artificialisation dans le littoral algérien et comprendre sa dynamique à l'échelle décennale.

Pour cela, nous avons eu recours à deux méthodes différentes, à savoir la méthode de détection du changement par la différence d'indices spectraux. Nous avons retenu l'EBBI pour ressortir les terres ayant subi une artificialisation et le NDVI pour déterminer si l'évolution de l'artificialisation se fait au détriment de la végétation. La deuxième méthode concerne la classification multi-temporelle avec l'algorithme des forêts aléatoires.

La comparaison des résultats issus des deux approches a permis de quantifier le niveau d'artificialisation des zones côtières pour les wilayas de la cote algérienne par l'estimation des surfaces de changement à l'échelle des wilayas et les bandes littorales et cartographier les zones ayant subi une artificialisation.

Au terme de cette étude, nous avons pu établir qu'à l'échelle de la wilaya, pour la période 1990-2000, Tipaza a été la wilaya côtière la plus artificialisée. D'autre part, la wilaya de Telemcen marque la période 2000-2010 alors que la wilaya de Chlef se distingue dans la période 2010-2019.

A l'échelle des bandes, les bandes littorales de 100 m ,300m, 800m et 3km sont plus artificialisées dans la période 1990-2000.

Nous avons pu établir que l'imagerie satellitaires à moyenne résolution est suffisante pour quantifier le niveau d'artificialisation des zones littorales et que les 2 approches utilisées sont utiles. Ceci aurait pu être démontré avec la dernière étape du projet qui est la validation que nous n'avons pas pu réaliser par manque de temps.

Néanmoins, ce travail a permis d'avoir une appréciation qualitative et quantitative multi-échelle de l'artificialisation dans le littoral algérien. En outre, les cartes et les chiffres nous ont permis de constater que la loi littorale n'a pas cessé d'être transgressée durant ces trois dernières décennies.

Cette modeste contribution sera améliorée et enrichie car elle est d'une importance cruciale pour identifier les failles du développement et de la gestion du littoral. Aussi, elle pourra servir dans la proposition de scénario avenir.

Bibliographie

- **AL-DOSKI, J, MANSOR, S, B, SHAFRI, H, Z. (2013).** Image Classification in Remote Sensing. Journal of Environment and Earth Science. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia 43400, Serdang, Selangor, Malaysia. Vol 4, no 10, 147p.
- **AS-SYAKUR, A, I WAYAN SANDI, A, I WAYAN, A, I WAYAN, N. (2012).** Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI) for Mapping Built-Up and Bare Land in an Urban Area. Faculty of Agriculture, Udayana University, Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80361, Indonesia, Remote Sens vol4, issue 10, pp. 2957-2970. 4. 2957-2970. 10.3390/rs4102957.
- **BENFERCHICHE, H. (2018).** Analyse de l'artificialisation de la zone côtière en Algérie : Cas des wilayas d'Oran (Ouest) et de Tipaza (Centre).Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 70 p.
- **BOUCHENAF, M.A., GUEMDANI M, W. (2016).** Apport de la télédétection et des SIG dans l'observation de l'artificialisation des communes côtières de la Baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 104 p.
- **CHARLOTTE, P. (2017).** Cartographie de l'occupation des sols à partir de séries temporelles d'images satellitaires à hautes résolutions. Doctorat de l'université de Toulouse, l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier).
- **CINDY, S, AMBER, M. (2018).** Advanced Webinar: Change Detection for Land Cover Mapping, 25 p.
- **CINDY, S, AMBER, Mc. (2018).** Advanced Webinar : Change Detection for Land Cover Mapping, 25 p.
- **COLSAET, A. (2017).** Gérer l'artificialisation des sols : une analyse du point de vue de la biodiversité. Mémoire de fin d'études du master 2 EEET, Institut du Développement Durable et des Relations Internationales, Paris, France, 105 p.
- **DAVID, G. (2005).** Le territoire littoral – tourisme, pêche et environnement dans l'océan INDIEN. France : L'Hermattan, 31 p.
- **DROBRENKO, B, Jean-Marie, Becet, (2002).** Le droit de l'urbanisme littoral. In : Revue Juridique de l'Environnement, n°3. 405 p. [Enligne], [consulté le 24 Juin 2020].disponible sur le web https://www.persee.fr/doc/rjenv_0397.
- **EMERY, W, J, ADRIANO, C. (2017).** Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land and Cryosphere Applications.

- **GHANIMA, D. (2015)**. Comparatif de méthodes avancées pour la fusion des images satellitaires. Thèse de doctorat. Oran : Université d’Oran des sciences et technologie USTO-MB, faculté de physique, département de génie physique, 111 p.
- **GHODBANI, T, BOUZIANE, S. (2010)**. Urbanisation côtière en Algérie, processus et impacts sur l’environnement : le cas de la baie d’Ain el Turk. Etude caribéennes. Université d’Oran 2 Mohamed ben Ahmed, consulté le 16 septembre 2020, [Enligne] sur le web <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/443>
- **GIRI, C. (2012)**. Remote sensing of land use and land cover: principles and applications. Remote sensing applications series 8.159p.
- **JANSSEN, L, F. (2004)**. Principles of Remote Sensing: An Introductory Textbok. Enschede : ITC
- **JEAN, D, Samar C, S. (2015)**. La cartographie du sol nu dans la vallée de la Bekaa à partir de la télédétection, [Enligne], [consulté le 25 septembre 2020],lebanese university, the departement of geography, beirut lebanon. Proceedings of the International conference “InterCarto/InterGIS”, 24 p. disponible sur le web : <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2015-1-21-19-24>
- **KACEMI, M. (2011)**. Protection et valorisation du littoral en Algérie : législation et instruments : Le cas des communes littorales d’Oran, Études caribéennes, [En ligne], [consulté le 20 Avril 2020]. Disponible sur le web <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/5959>
- **KIM, HUONG, H. (2007)**. Les changements de l'occupation du sol et ses impacts sur les eaux de surface du bassin versant. Le cas du bassin versant de la rivière Càu (Viêt-nam). Université du Québec INRS : Eau, Terre et Environnement, (27-29) p.
- **KOUBA, Y, (2018)**. Cours de système d’information géographique, Université LARBI BEN M’HIDI -OEB- Algérie, Faculté des Sciences de la terre et d’Architecture, Département de Géographie et d’Aménagement du territoire, 80p. [Enligne], [Consulté le 25 mars 2020].disponible sur le web https://www.researchgate.net/publication/324149696_Cours_de_systeme_d'information_geographique.
- **MARTONNE, DE E. (1909)**. Traité de Géographie physique. Paris, A. Colin, 910 p..
- **OTSU, N. (1979)**. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 9, 62–66 p.
- **PERNETTA, J, C, ELDER, D, L. (1993)**. Cross-sectoral integrated and coastal area planning (CICAP): guidelines and principles for coastal area development. A marine

- conservation and development report. Gland, Switzerland, IUCN in collaboration with World Wide Fund for Nature. 63 p.
- **RABEHI, W, GUERFI, M, MAHI, H. (2019).** La baie d'Alger, un espace côtier prisé, entre pressions d'urbanisation et gouvernance. Thèse de doctorat. Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene, USTHB, BP 32 El Alia, Bab Ezzouar Alger, Algérie. 130 p
 - **RICHARDS XIUPING, JIA , JOHN, A. (1986).** Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction. The Australian National University, 454 p. [Enligne], [consulté le 25 avril 2020], disponible sur le web <http://read.pudn.com/downloads506/ebook/2103843/Remote%20Sensing%20Digital%20Image%20Analysis%20An%20Introduction.pdf>.
 - **RONALD, C, E, YUJI, M. (2015).** Classification and change detection of Built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices: Faculty of Life and Environmental Sciences: University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba City, Ibaraki 305-8572 Japan. Vol 56, 217 p.
 - **SEKERTEKIN, A, MARANGOZ, A. (2017).** An Erdas Imagine Model To Extract Urban Indices Using Landsat 8 Satellite Imagery. International Journal of Scientific & Technology Research. Volume 6 issue 01, issn 2277-8616, 62-67 p.
 - **SOLTANI, E, BOUMEZBEUR, M. (2019).** Utilisation de la télédétection du changement pour la quantification de l'artificialisation des sols dans la wilaya d'Annaba. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 147 p.
 - **SOUDANI, K. (2005).** Introduction générale à la télédétection, Bases physiques et exemples d'applications aux couverts végétaux. Faculté des Sciences d'Orsay, Université Paris-Sud XI, 26 p. [Enligne], [consulté le 10 mars 2020], disponible sur le web : http://hebergement.u-psud.fr/ese/IMG/pdf/doc_cours_teledec.pdf.
 - **TUCKER, C, J. (1979).** Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. Journal of Remote Sensing Environment. Volume 8 issue 2, 127-150 p.
 - U.S. Geological Survey, 2016, Landsat—Earth observation satellites (ver. 1.2, April 2020): U.S. Geological Survey Fact Sheet 2015–3081, 4 p.
 - **XU, H. (2006).** Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing. Vol 27, No .14, 3033 p.

Listes des cites internet

- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya de Tlemcen), [Enligne], disponible sur le web
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya d'Ain Temouchent), [Enligne], disponible sur le web
http://www.andi.dz/PDF/monographies/Ain_temouchent.pdf.
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya d'Oran), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/ORAN.pdf>
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya de Mostaganem), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Mostaganem.pdf>
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya de Chlef), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Chlef.pdf>
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya de Tipaza), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/tipaza.pdf>
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya d'Alger), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Alger.pdf>
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya de Boumerdes), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/boumerdes.pdf>
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya de Bejaia), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Bejaia.pdf>
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya de Jijel), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Jijel.pdf>
- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya de Skikda), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/skikda.pdf>

Bibliographie

- Agence nationale de développement et de l'investissement (ANDI), monographie des wilayas (wilaya d'Eltarf), [Enligne], disponible sur le web
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Tarf.pdf>.
- Commissariat National du littoral (CNL). [Enligne], disponible sur le web
<http://commissariatlittoral.dz/wilayas-cotieres/>
http://www.andi.dz/PDF/monographies/Ain_Telemcen.pdf.
- Landsat 7 (L7) Data Users Handbook, U.S. Geological Survey (USGS), EROS Sioux Falls, South Dakota, U.S.A, 5 June 2018, consulté le 21 avril 2020. [Enligne]. Disponible sur le web : <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-7-data-users-handbook>
- LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK, U.S. Geological Survey (USGS), EROS Sioux Falls, South Dakota, U.S.A, 31 October 2018, Accessed on: 23 June 2019. [Enligne].disponible sur le web : <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8-data-users-handbook>
- Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, U.S. Geological Survey (USGS), EROS Sioux Falls, South Dakota, U.S.A, 31 October 2018, consulté le 20 avril 2020. [Enligne]. Disponible sur le web : <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8-data-users-handbook>
- Landsat Surface Reflectance-derived Spectral Indices, U.S. Geological Survey (USGS), Reston, Virginia, United States, 12 April 2017, Accessed on: 23 June 2019. [Online]. Disponible sur le web : https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-surface-reflectance-derived-spectralindices?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Les données démographique- DSP El taraf. [Enligne] sur le web http://www.dsp-eltarf.dz/index.php?option=com_content&view=article&id=146&Itemid=560
- ONS. (2008). (Office national des statistiques). Démographie algérienne.

Annexes

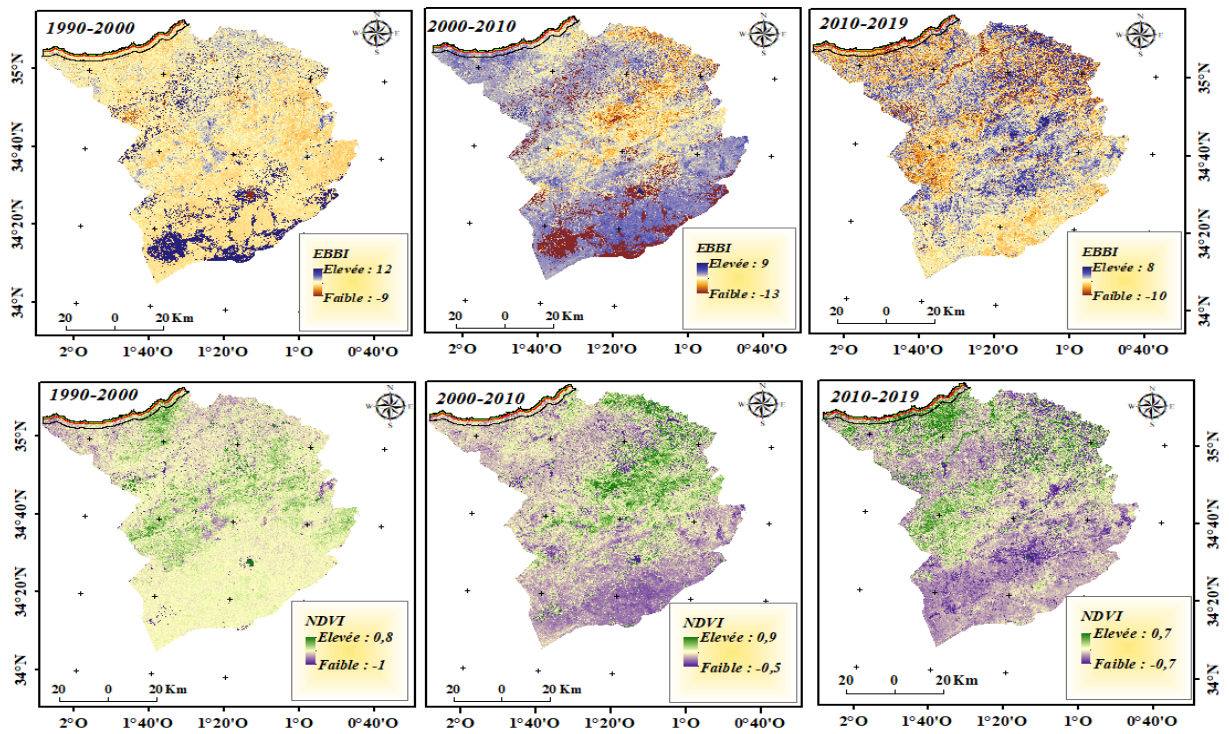


Figure 1 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Telemcen pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

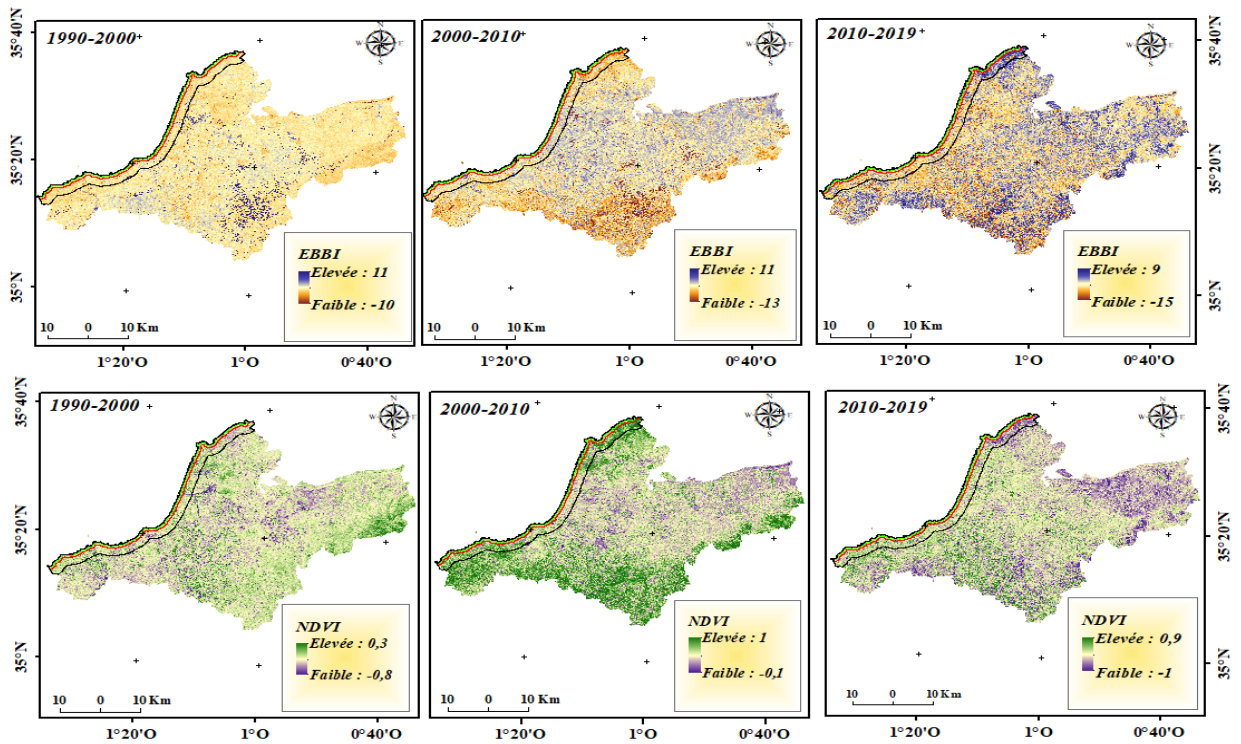


Figure 2 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya d'Ain temouchent pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

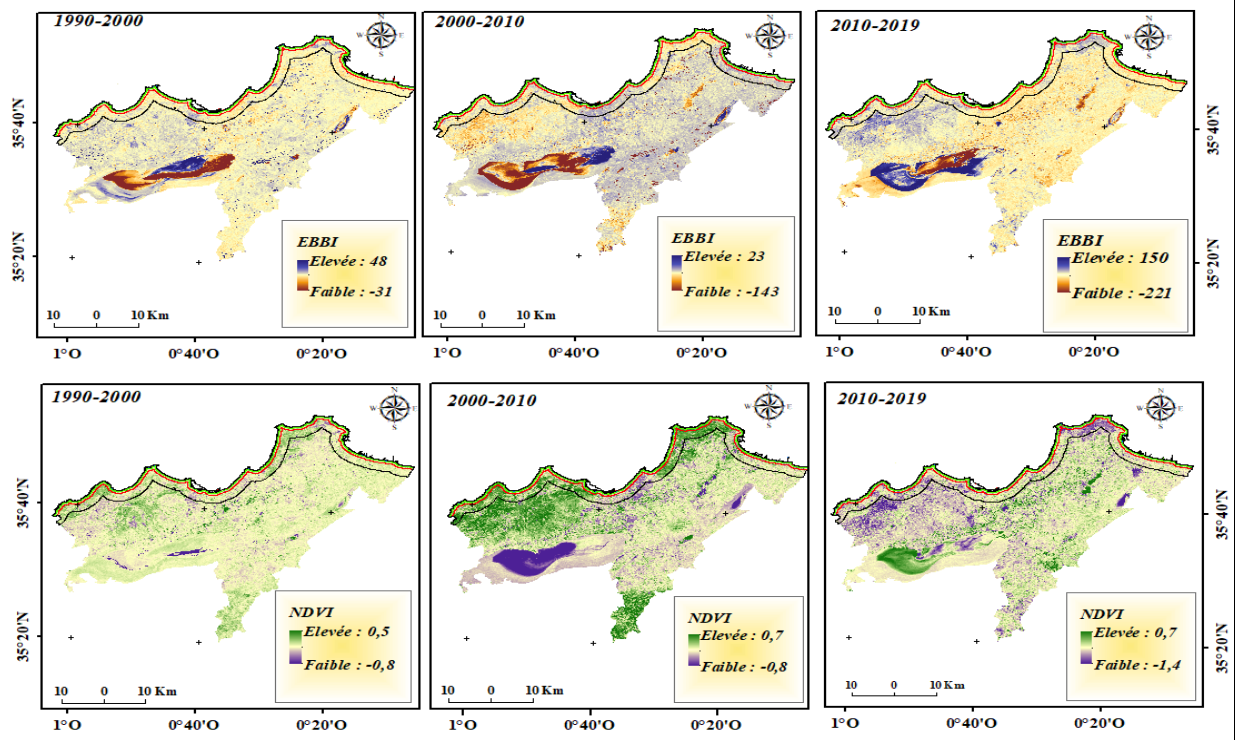


Figure 3 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya d'Oran pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

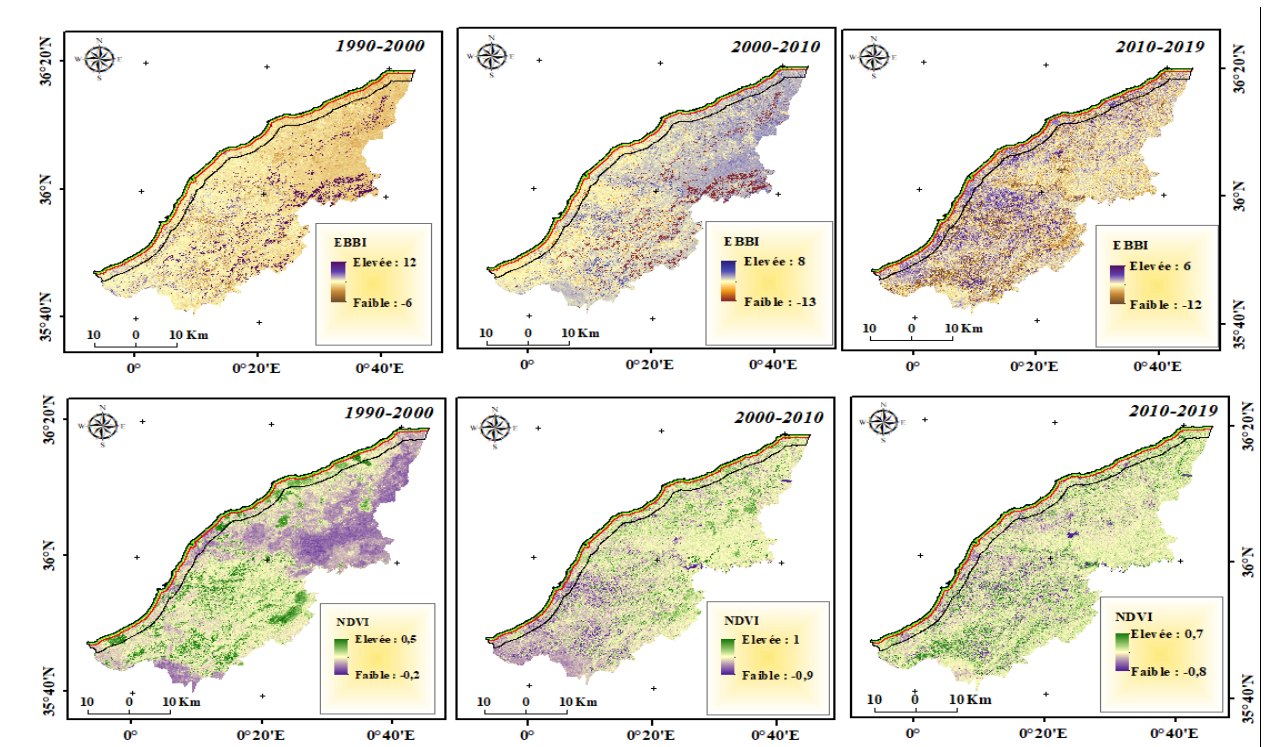


Figure 4 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Mostaganem pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

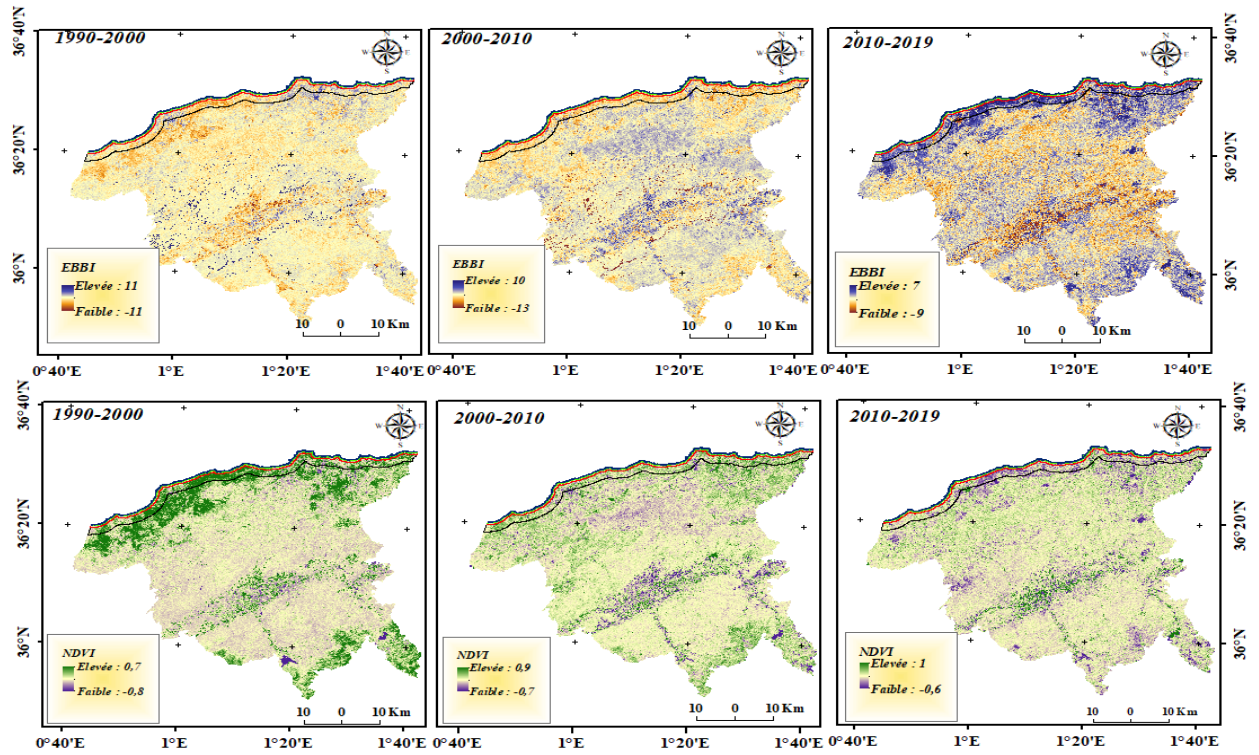


Figure 5 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Chlef pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

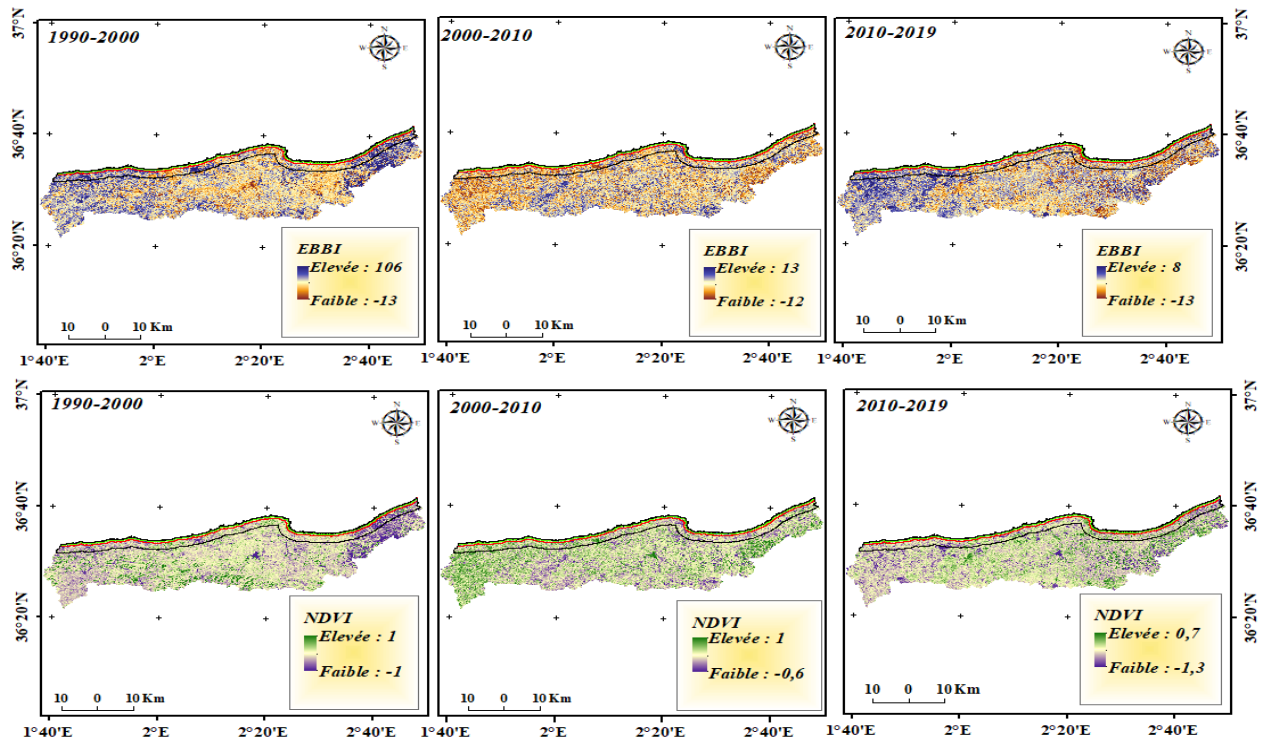


Figure 6 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Tipaza pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

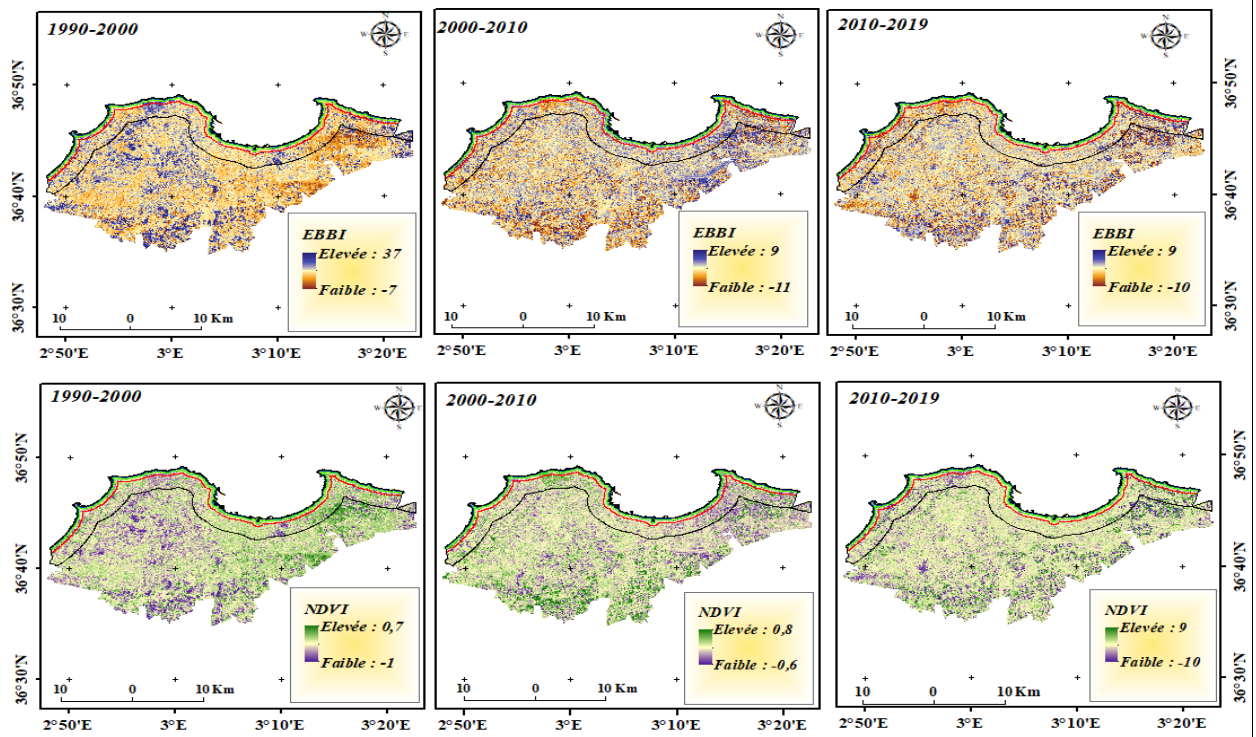


Figure 7: Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya d'Alger pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

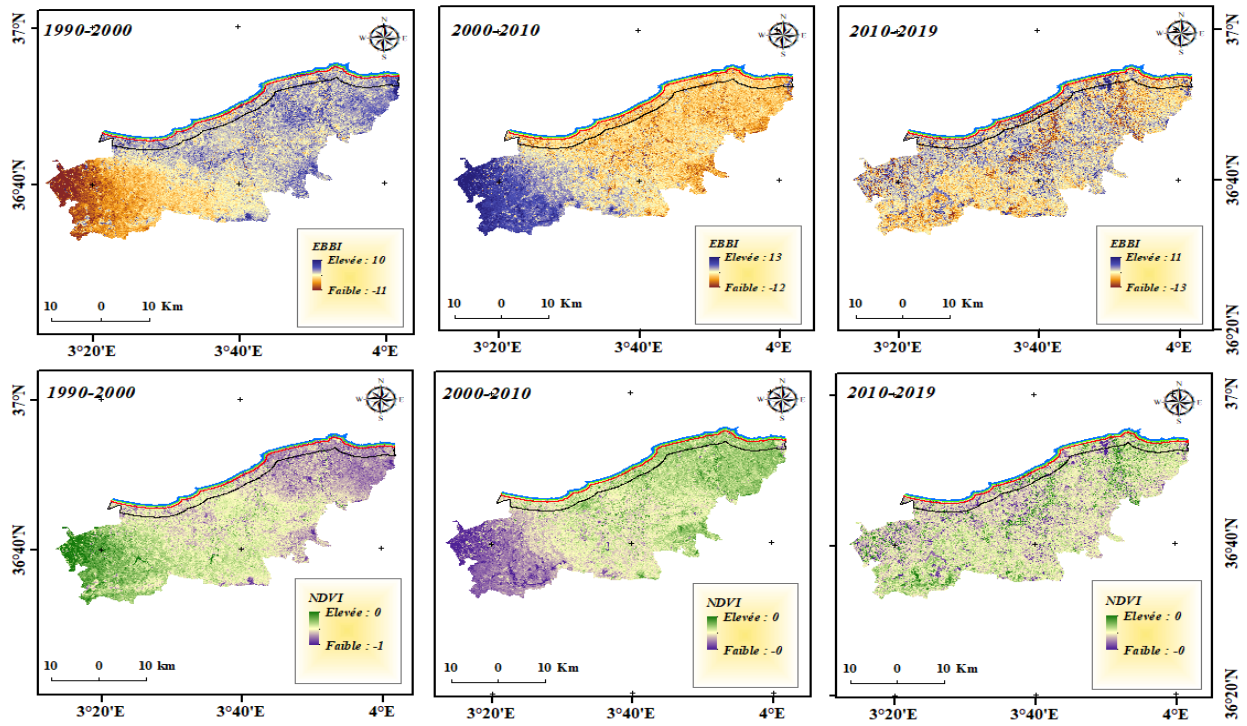


Figure 8 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Boumerdes pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

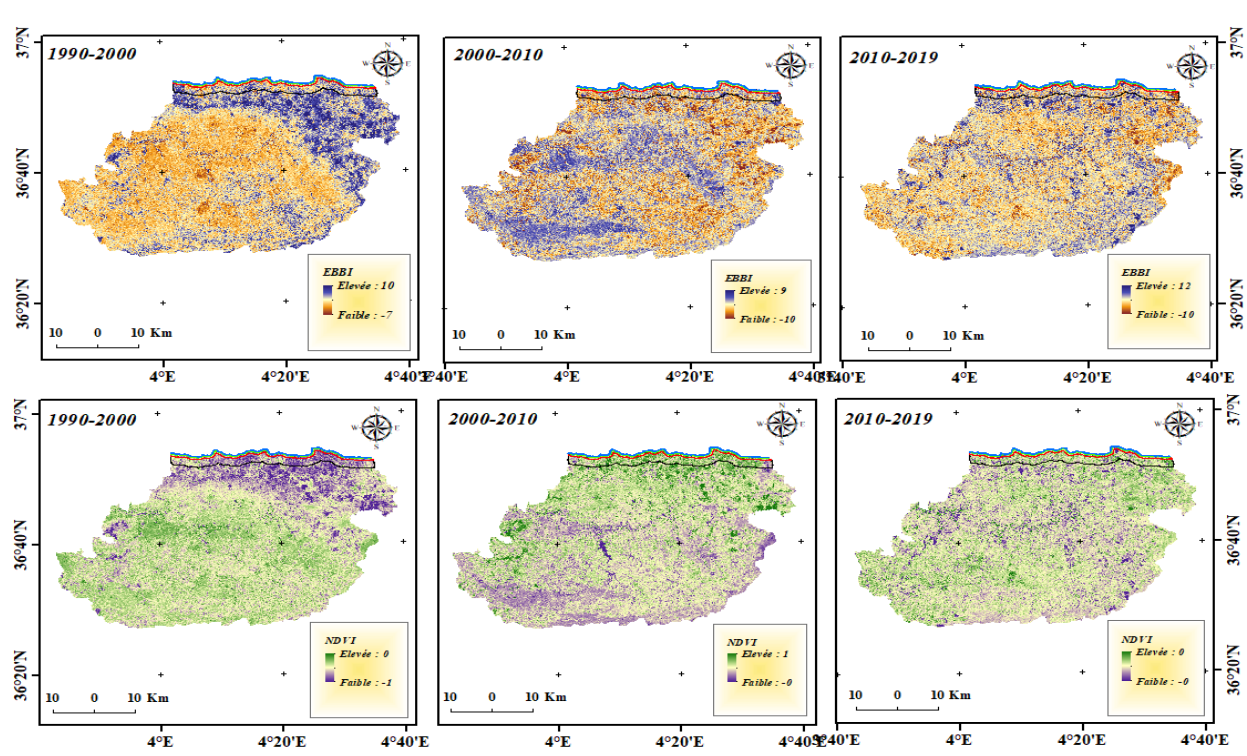


Figure 9 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Tizi Ouzou pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

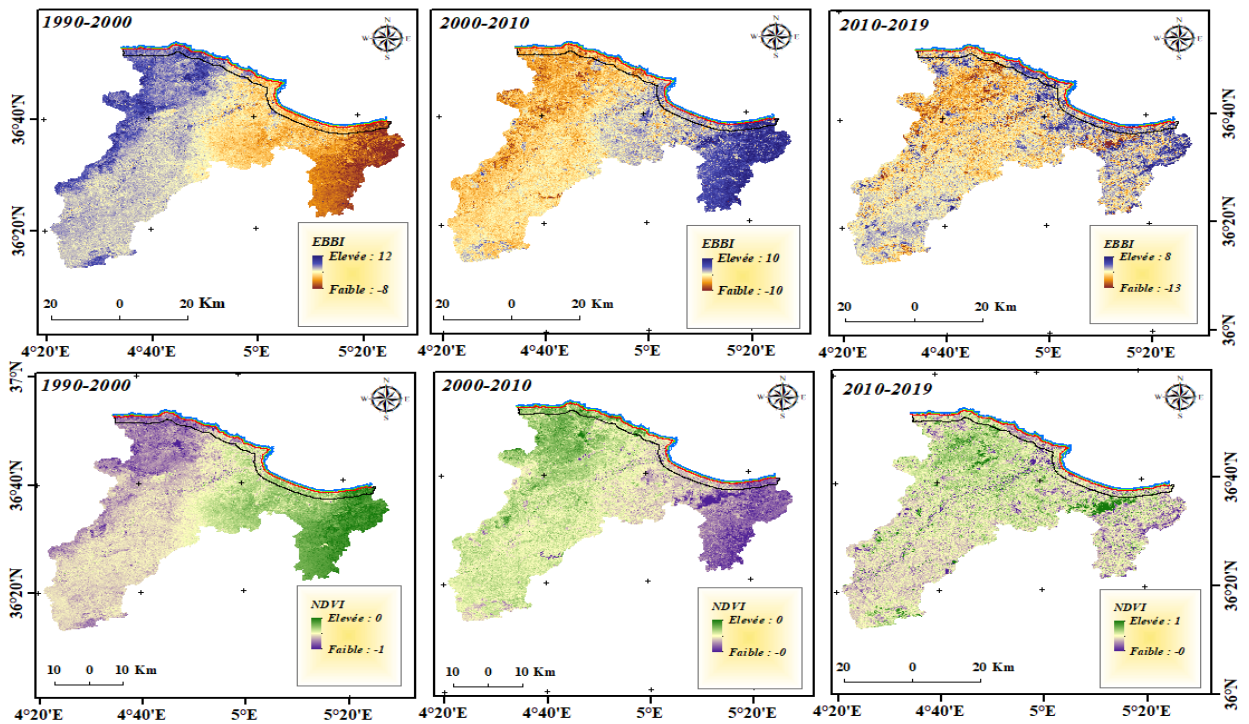


Figure 10 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Bejaia pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

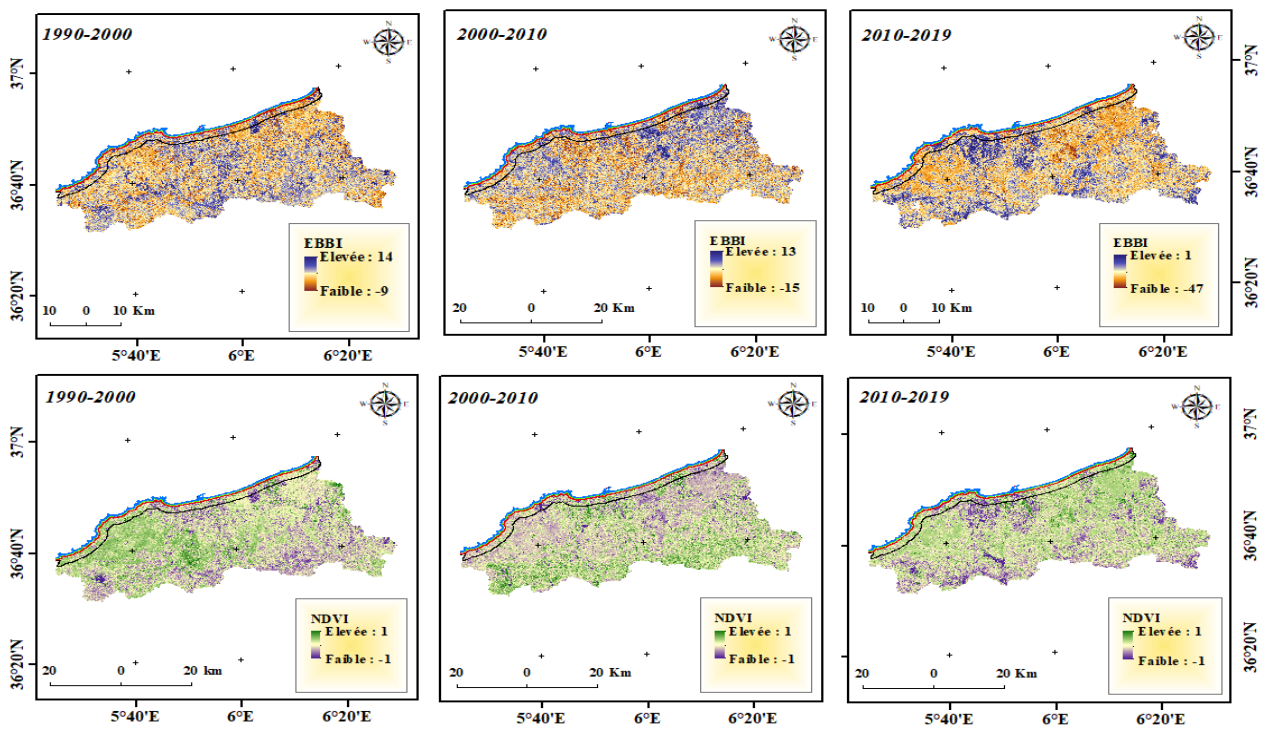


Figure 11 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Jijel pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

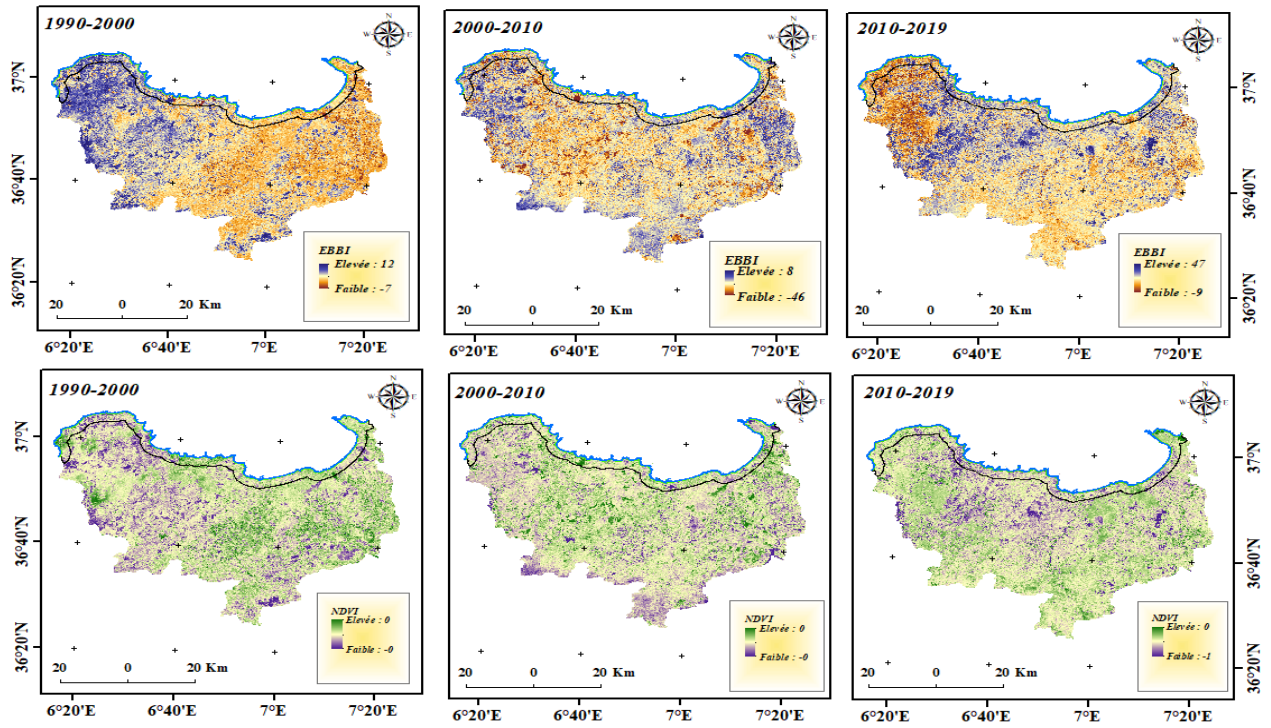


Figure 12 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya de Skikda pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

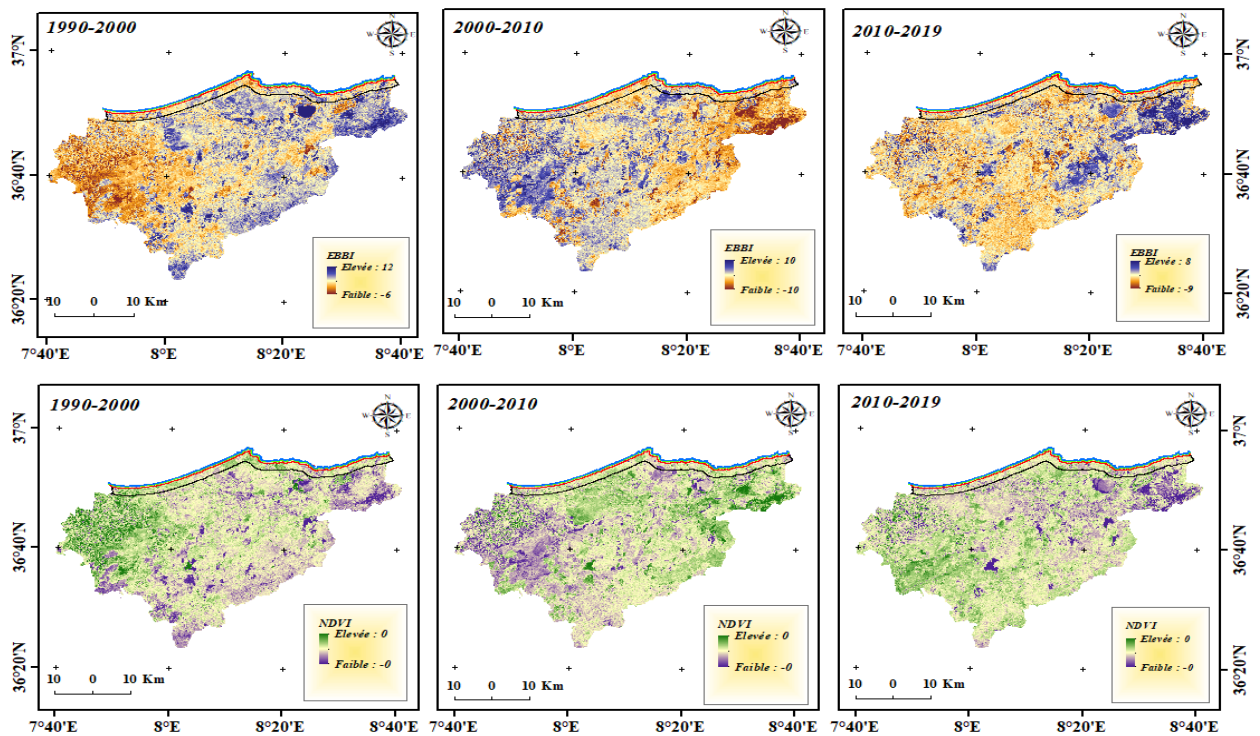


Figure 13 : Carte du changement par la différence d'indices EBBI-NDVI de la wilaya d'Eltarf pour les périodes 1990-2000 2000-2010 et 2010-2019

La télédétection du changement pour la quantification des sols artificialisés dans le littoral algérien

Résumé

Dans ces dernières décennies, le littoral algérien subit plusieurs modifications (l'artificialisation, l'urbanisation...) qui touchent négativement sa hiérarchie et sa morphologie. Dans notre travail on s'intéresse sur le phénomène d'artificialisation alors ce travail a pour objectif de bien comprendre l'utilisation de la télédétection du changement pour la quantification de l'artificialisation le long du littoral algérien. Pour cela nous avons utilisés deux techniques : la classification multi-temporelle et celle de différence d'indice EBBI après seuillage, qui se basent sur le calcul de la superficie de changement dans les trois dernières décennies par l'intégration des outils de système d'information géographique (SIG), afin de vérifier la valorisation de la loi littoral 02-02 relative à la protection et la valorisation du littoral.

Mots clés : Littoral algérien, Artificialisation, Classification multi-temporelle, différence d'indice EBBI seuillé, Superficie de changement, SIG, Loi littoral.

Abstract

In recent decades, the Algerian coastline is undergoing several changes (artificialization, urbanization ...) that negatively affect its hierarchy and morphology. In our work we are interested in the phenomenon of artificialisation so this work aims to understand the use of remote sensing of change for the quantification of artificialisation along the Algerian coastline. For this we used two techniques : the multi-temporal classification and the EBBI index difference after thresholding, which are based on the calculation of the area of change in the last three decades by the integration of Geographic Information System (GIS) tools, in order to verify the valorisation of the coastal law 02-02 relating to the protection and valorisation of the coastline.

Key words : Algerian coastline, Artificialization, Multi-temporal classification, Thresholding EBBI index difference, Area of change, GIS, Coastal law.

ملخص

في العقود الأخيرة، يمر الساحل الجزائري بالعديد من التغييرات (التهيئة، التحضر ...) التي تؤثر سلبيًا على تسلسله الهرمي ومرفولوجيته. نحن مهتمون في عملنا بظاهرة التهيئة لذا يهدف هذا العمل إلى فهم استخدام الاستشعار عن بعد للتغيير لتقدير التصنيع على طول الساحل الجزائري. لهذا استخدمنا تقنيتين: التصنيف متعدد الأوقات وفرق مؤشر التنمية والعُري بعد العتبة، والتي تستند إلى حساب منطقة التغيير في العقود الثلاثة الماضية عن طريق دمج أدوات نظام المعلومات الجغرافية، من أجل للتحقق من تامين القانون الساحلي 02-02 المتعلق بحماية وتأمين الساحل.

الكلمات المفتاحية الساحل الجزائرية التهيئة التصنيف متعدد الأزمنة فرق مؤشر التنمية والعُري منطقة التغيير القانون الساحلي.