



Analyse géo-spatiale de la dynamique de l'occupation du sol de la commune d'Abomey-Calavi, Bénin

Thibaut Fabrice DOVONOU^{1*}, Vincent Joseph MAMA² et Olatondji Salomon CHABI ADIMI³

¹ *Institut Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Information Géospatiale (AFRIGIST)*

² *Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), 06 BP 1105 Cotonou*

³ *Université d'Abomey Calavi (UAC), Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS),
Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE) Abomey-Calavi, Bénin*

* Correspondance, courriel : thibfemi@gmail.com

Résumé

Les données du satellite LANDSAT TM de 1991, ETM+ de 2001 et OLI-TIRS de 2015 couplées avec les statistiques de la production agricole et les données socio-économiques obtenues des enquêtes de terrain, ont été utilisées pour évaluer la dynamique de l'occupation du sol de la Commune d'Abomey-Calavi, au sud du Bénin. L'analyse des cartes d'occupation du sol élaborées, montre un accroissement des installations humaines qui sont passées de 146 km² soit 27 % de la superficie communale en 1991 à 328 km² (63 %) en 2015. Les résultats d'une projection de l'occupation du sol à l'horizon 2025 leur donnent une valeur de 340 km² (70 %) en 2025. Cet accroissement va s'opérer au détriment des espaces agricoles dont les superficies sont passées de 290 km² en 1991 à 173 km² en 2015. Cette situation a eu pour conséquences la surexploitation des terres et une forte pression sur les ressources foncières qui se sont traduites par la baisse drastique des emblavures et de la production agricole de la Commune.

Mots-clés : *données LANDSAT, occupation du sol, utilisation des terres, emblavures, surexploitation des terres agricoles.*

Abstract

Geo-spatial analysis of the land use dynamics in the Abomey - Calavi district, Benin

Data from LANDSAT TM of 1991, ETM+ of 2001 and OLI-TIRS of 2015 coupled with data on agricultural production in addition to socioeconomic data obtained from rural surveys were used to document this study. Analysis of land use maps shows an increment of human settlements, which augmented from 146 km² accounting for 27 % of the District area in 1991 to 328 km² (63 %) in 2015. Results from a land use projection towards the horizon of 2025 permit to reach 340 km² (70 %) in 2025. This increment will take place in the detriment of agricultural areas whose spaces will be reduced from 290 km² in 1991 to 173 km² in 2015. This will yield an overexploitation and a high pressure on land resources which will be translated by net astonished decrease of productive land in addition to the overall agricultural production of the District.

Keywords : *LANDSAT Satellite data, land use, land cover, agricultural land, overexploitation.*

1. Introduction

La forte croissance démographique constitue un défi pour les pays en développement en général et particulièrement le Bénin qui doit loger et nourrir sa population dont le nombre ne cesse de s'accroître. Toutefois, la nécessité de satisfaire les besoins de logements et agricoles d'une population en pleine croissance, a induit des changements dans l'utilisation et l'occupation des sols. Il en a résulté non seulement la perte de terres arables pouvant servir à la production agricole mais aussi celle des fonctions écologiques des sols (régulation des écoulements de l'eau de ruissellement, réservoir et support de biodiversité, capacité de capter du CO₂ par la croissance des végétaux) [1, 2]. A l'instar des autres pays de l'Afrique de l'ouest, le Bénin et particulièrement sa partie méridionale, connaissent une dégradation des ressources environnementales réduisant ainsi leur capacité à répondre aux besoins de survie et de développement adéquat [3]. En effet, la Commune d'Abomey-Calavi au Sud du Bénin, est confrontée à cette situation caractérisée par une forte pression sur les espaces agricoles. La population d'Abomey-Calavi selon l'INSAE (2015) a plus que doublé en 10 ans avec un taux annuel d'accroissement inter censitaire de 6,7 % entre 2002 et 2013 contre un taux d'accroissement de 9,43 % entre 1992 et 2002. La révolution des techniques géospatiales en général, de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) en particulier, permet une approche de plus en plus précise sur la connaissance et le suivi de la dynamique de l'occupation du sol [4 - 6].

Pour évaluer la dynamique de l'occupation dans les différentes régions du Bénin, de nombreux travaux ont été réalisés [7 - 9]. Mais, du fait notamment de la non disponibilité d'une bonne couverture d'images satellitaires sur une longue période, très peu d'études ont été réalisées pour documenter les changements liés à la dynamique de l'occupation du sol dans la Commune d'Abomey-Calavi. Aussi, les quelques rares études existantes ayant porté sur la dynamique de l'occupation du sol, ont presque occulté les aspects de projection de l'occupation du sol certainement à cause de l'absence de séries d'images satellites sur cette Commune qui est pourtant citée comme l'une des plus peuplées du Bénin [3, 10]. Pour combler cette lacune, la présente étude vise d'une part, à évaluer le rythme et l'ampleur de la dégradation des ressources et notamment à planifier l'expansion effrénée des zones habitées de la Commune d'Abomey Calavi, d'autre part. Il s'agit, à travers l'analyse spatialisée (télédétection et Système d'Information Géographique), d'étudier et de modéliser le rythme de dégradation des espaces agricoles périurbains de la Commune de Abomey-Calavi. Cette étude innovante va servir de modèle non seulement pour les élus locaux de la Commune d'Abomey-Calavi qui désormais vont disposer de données prospectives mais aussi pour ceux des autres communes qui manquent drastiquement de données fiables pour la gestion de leur région.

2. Matériel et méthodes

2-1. Localisation de la zone d'étude

La Commune d'Abomey-Calavi est située au Sud de la République du Bénin dans le département de l'Atlantique entre 06° 18'36" et 06° 41'24" latitude nord, 02° 12' et 02° 18'12" longitude est. Elle présente une limite nord avec la commune de Zè, sud avec l'océan Atlantique, est avec les communes d'Adjohoun, de Sô-Ava et de Cotonou, et ouest avec les communes de Zè, de Tori-Bossito et de Ouidah. Sa superficie de 539 km², représente 0,48 % de la superficie du Bénin.

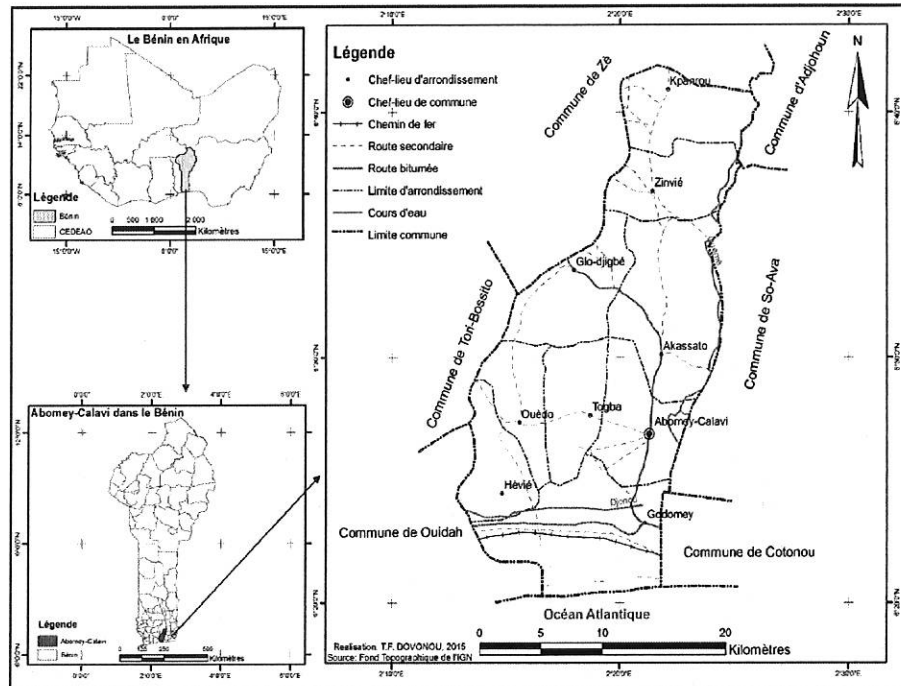


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude

2-2. Données utilisées

Dans le cadre de cette étude, les données utilisées sont essentiellement constituées de :

- données géo-spatiales utilisées sont des images satellitaires LandSat TM de 1991 ; ETM + de 2001 et OLI-TIRS de 2015 d'une résolution de 30 m. Celles-ci ont permis la réalisation des cartes d'occupation du sol de 1991, 2001 et 2015 ;
- Fichier de données administratives de la Commune d'Abomey-Calavi obtenu à l'IGN-BENIN ;
- les statistiques de la production agricole de la Commune et les données socioéconomiques obtenues des enquêtes réalisées sur le terrain qui ont permis de dégager l'influence de l'évolution des états de surface sur les espaces agricoles.

2-3. Méthodes

Pour caractériser la dynamique des états de surface dans le milieu d'étude, une classification supervisée a été réalisée à la suite d'une composition colorée utilisant des bandes 2, 3, 4 (TM et ETM+) et 3, 4, 5 (OLI-TIRS) (vert, rouge, proche infrarouge). La validation des classifications a été réalisée sur la base des relevés effectués sur le terrain et des enquêtes auprès des populations. Les statistiques de chaque unité d'occupation, fournies par ArcGIS ont permis de caractériser la dynamique des unités entre 1991 et 2015. Le calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale (T) est obtenu à partir de la matrice de transition et basé sur la **Formule** :

$$T = \frac{t_n - t_0}{t_0} \times 100 \quad (1)$$

T étant le taux d'évolution d'une unité d'occupation du sol entre deux dates, t_0 la superficie d'une unité d'occupation du sol à l'année de départ et t_n la superficie d'une unité d'occupation du sol à l'année d'arrivée.

Cette matrice permet de mettre en évidence de façon condensée [11] les différentes formes de conversion subies par les unités d'occupation des terres entre deux dates t_1 et t_2 , et décrire les changements intervenus. Elle est obtenue par le croisement des cartes d'occupation du sol de 1991, 2001 et 2015, rendu possible par l'algorithme « Intersect polygons » de l'extension Geoprocessing sous ArcGIS 10.4. Par ailleurs, le taux de sol artérialisé ou urbanisé, excellent indicateur de pression urbaine sur le foncier rural et agricole selon le projet Occupation du Sol et Développement Durable des Territoires [12] a été calculé. Grâce au calcul de ce taux, le suivi de l'évolution de l'urbanisation a été réalisé dans chacun des Arrondissements de la Commune. Le taux de Sol consommé (S_c) est calculé au moyen de la **Formule** suivante.

$$S_c = S_u / S_f \quad (2)$$

S_c représentant le sol consommé ; S_u , la surface urbanisée ou artérialisée et S_f , la surface de référence.

Afin de suivre et d'évaluer dans la mesure du possible, les effets d'une urbanisation mal planifiée, une projection sur l'état de l'occupation du sol de la Commune est réalisée à l'horizon 2025 au moyen du logiciel Idrisi à partir des résultats des classifications. A cet effet, la matrice des probabilités de transition a été élaborée. Cette probabilité de transition est calculée par analyse des chaînes de Markov (ACM) entre les dates de la phase d'apprentissage et la date simulée. Ceci a permis d'évaluer les probabilités de transition entre 2015 et 2025. Cette matrice de probabilité de transition est construite en fonction de la tendance évolutive des principales unités d'occupation du sol constatée entre 1991 et 2015 et donne la probabilité de changement pour chaque unité d'occupation du sol, représentant ainsi la probabilité de transition standard.

3. Résultats

3-1. Évaluation de la classification des images TM de 1991, ETM + 2001 et OLI-TIRS de 2015

Les résultats des classifications supervisées des images de 1991, 2001 et 2015 de la zone ont permis d'obtenir les cartes d'occupation du sol de la Commune d'Abomey-Calavi. Les matrices de confusions ci-dessous, obtenues à l'issue de la classification des différentes images permettent d'évaluer et de valider la qualité de la classification effectuée.

Tableau 1 : Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'image TM de 1991

		Terrain				Total	IPC (%)	EC (%)
Classes		Végétation	Installations humaines	Eau	Zones humides			
Classification	Végétation	15764	1	2	0	15767	99,98	0,02
	Installations humaines	14	7037	8	26	7085	99,32	0,68
	Eau	0	0	81963	7	81970	99,99	0,01
	Zones humides	0	23	20	1669	1712	97,49	2,51
	Total	15778	7061	81993	1702	106534		
	ICV (%)	99,91	99,66	99,96	98,06			
	EO (%)	0,09	0,34	0,04	1,94			
Précision globale :						98,57 %		
Indice de Kappa :						0,98		

ICV : Indice Cartographique de Validation ; IPC : Indice de Pureté des Classes ; EC : Erreur de Commission ; EO : Erreur d'Omission

La diagonale mise en relief dans le **Tableau** représente les pixels bien classés dans leur classe pendant la classification. Les autres valeurs représentent les glissements interclasses pendant la classification. Cette dernière est d'une bonne précision en se référant aux valeurs des indices de validation. La valeur des erreurs de commission et d'omission également justifie un faible taux de glissement interclasse. La classification de l'image ETM+ de 2001 a généré également une matrice de confusion présentée par le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'image ETM+ de 2001

		Terrain				Total	IPC (%)	EC (%)
Classes		Végétation	Installations humaines	Eau	Zones humides			
Classification	Végétation	12541	1	4	0	12546	99,96	0,04
	Installations humaines	6	10638	19	10	10673	99,67	0,33
	Eau	0	0	81775	0	81775	100	0
	Zones humides	0	48	61	2683	2792	96,10	3,90
	Total	12547	10687	81859	2693	107786		
	ICV (%)	99,95	99,54	99,90	99,63			
	EO (%)	0,05	0,46	0,10	0,37			
Précision globale :						94,95 %		
Indice de Kappa :						0,95		

ICV : Indice Cartographique de Validation ; IPC : Indice de Pureté des Classes ; EC : Erreur de Commission ; EO : Erreur d'Omission

Cette matrice de confusion de la classification de l'image ETM+ de l'année 2001 montre quelques glissements interclasses dont le plus important se situe de la classe zone humide où l'erreur de commission est de 3,90 % due au glissement de 48 et 61 pixels appartenant respectivement aux installations humaines et à l'eau sur le terrain. La matrice de confusion issue de la classification de la scène OLI-TIRS de 2015 se présente comme suit :

Tableau 3 : Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'image OLI-TIRS de 2015

		Terrain				Total	IPC (%)	EC (%)
Classes		Végétation	Installations humaines	Eau	Zones humides			
Classification	Végétation	13934	409	32	103	14478	96,24	3,76
	Installations humaines	1010	6625	391	10	8036	82,44	17,56
	Eau	0	24	76406	29	76460	99,92	0,07
	Zones humides	834	3	5163	1560	7560	20,63	79,37
	Total	15778	7061	81992	1702	106534		
	ICV (%)	88,31	93,82	93,18	91,65			
	EO (%)	11,69	6,17	6,81	8,34			
Précision globale :						98,27 %		
Indice de Kappa :						0,97		

ICV : Indice Cartographique de Validation ; IPC : Indice de Pureté des Classes ; EC : Erreur de Commission ; EO : Erreur d'Omission.

L'analyse de cette matrice révèle qu'elle est issue d'une bonne classification avec une précision globale de 92,48 % malgré les erreurs de commission interclasses enregistrées au niveau de la classe des installations humaines et des zones humides où les erreurs de commission sont respectivement de 17,56 % et 79,37 %. Ceci s'est traduit par le fait que 1010 pixels appartenant à la végétation sur le terrain se sont retrouvés dans la classe des installations humaines. Par ailleurs 5163 pixels d'eau sur le terrain ont été retrouvés dans la classe des zones humides.

3-2. Occupation du sol dans la commune d'Abomey-Calavi en 1991, 2001 et 2015

Suite à la classification supervisée de chaque image, les cartes d'occupation du sol de la commune en 1991, 2001 et 2015 se présentent comme sur les *Figures 2, 3 et 4* suivantes

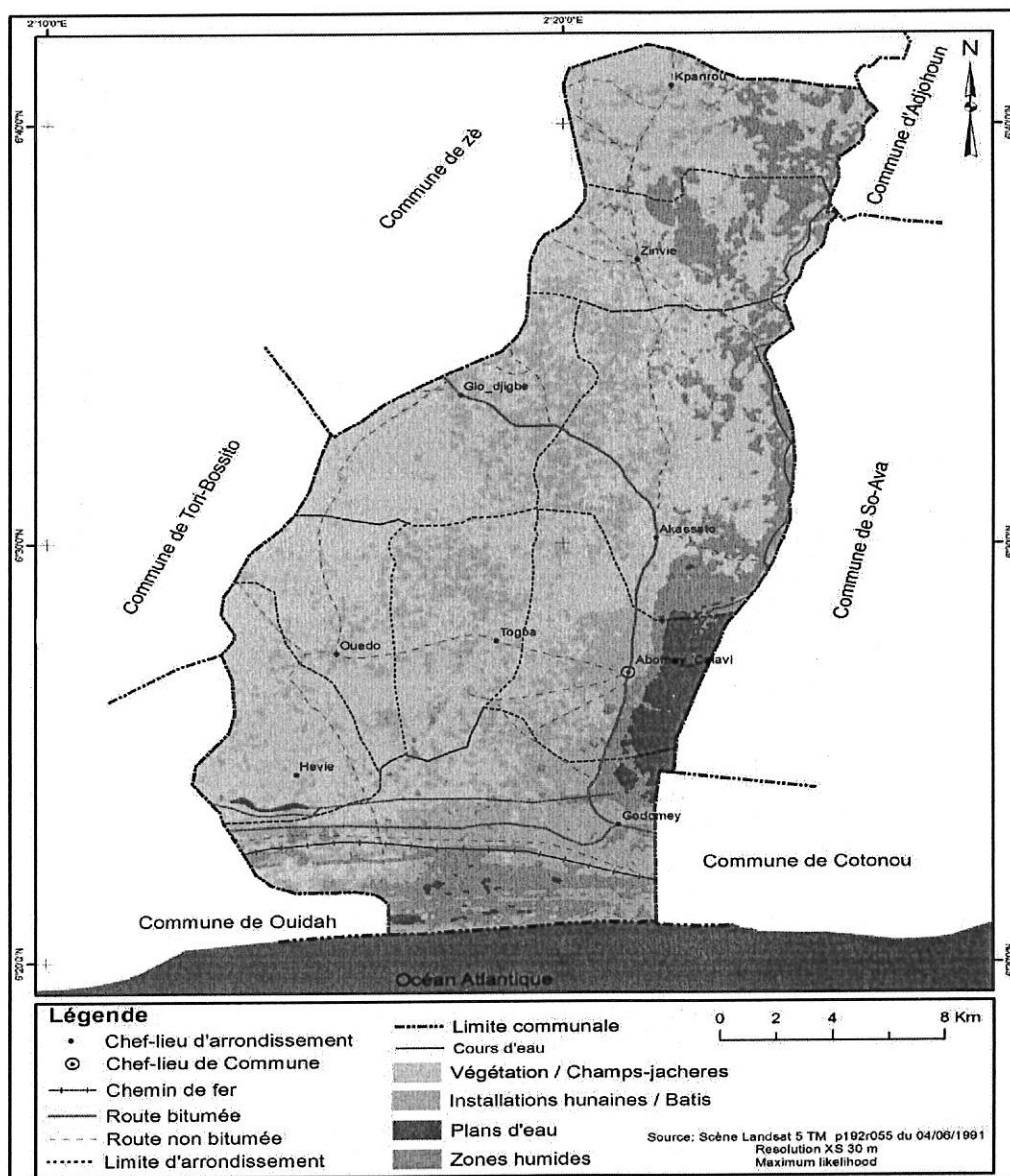


Figure 2 : Occupation du sol dans la commune d'Abomey-Calavi en 1991

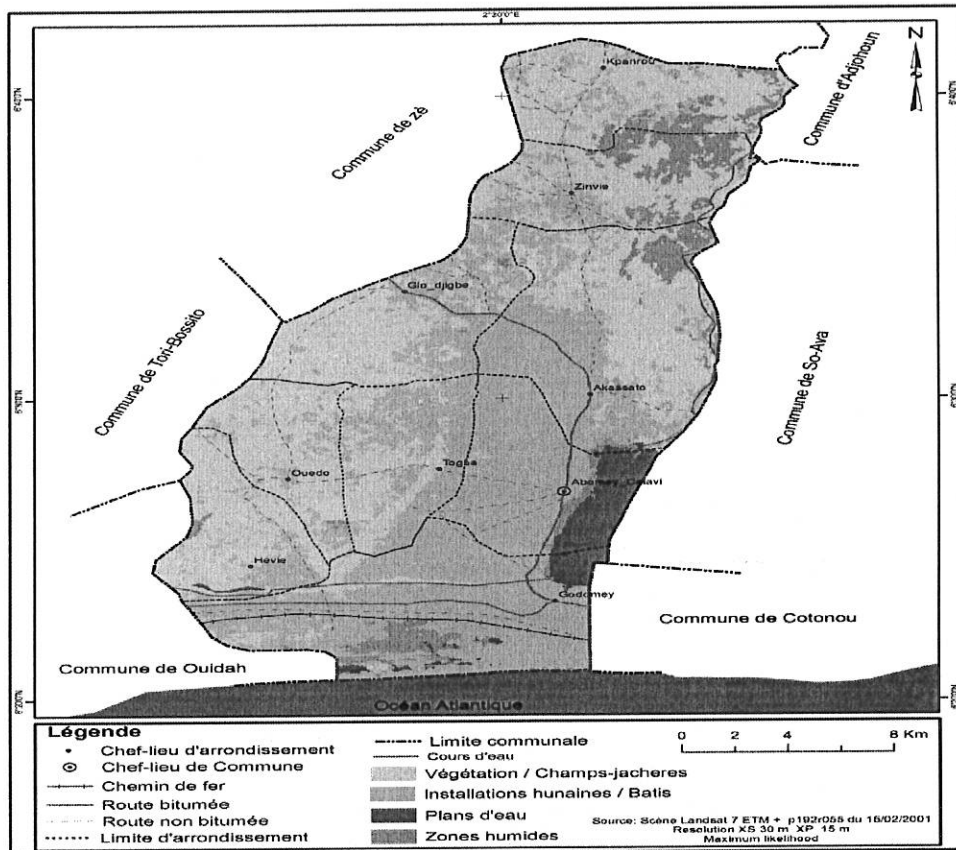


Figure 3 : Occupation du sol dans la commune d'Abomey-Calavi en 2001

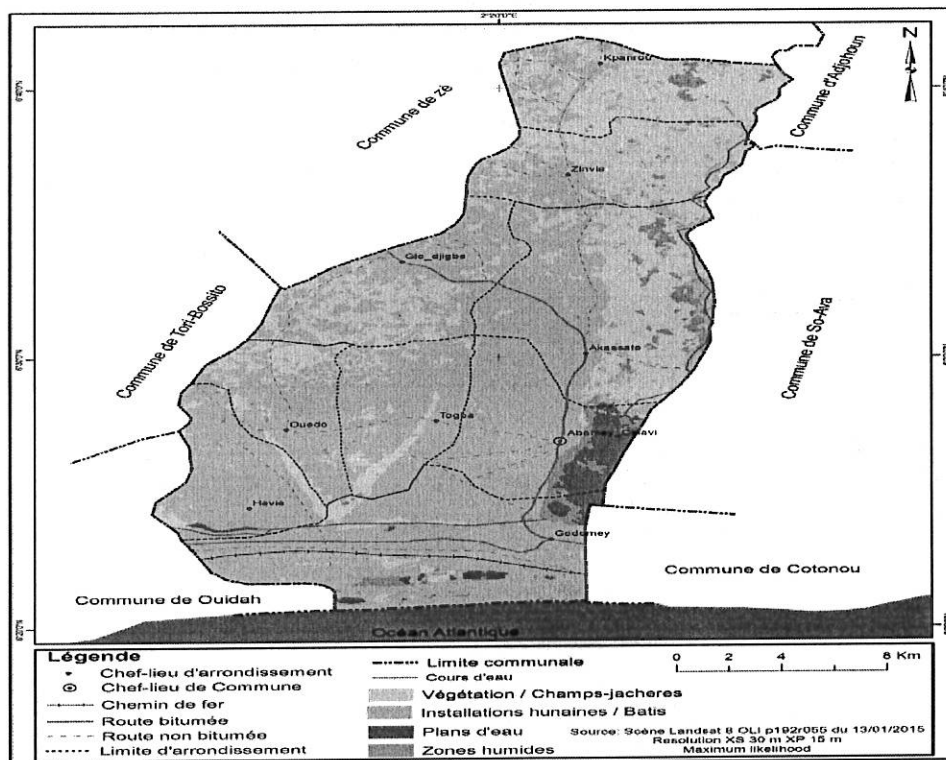


Figure 4 : Occupation du sol dans la commune d'Abomey-Calavi en 2015

3-3. Dynamique des états de surface

3-3-1. Dynamique entre 1991 et 2001

La dynamique des différentes unités d'occupation entre ces dates s'illustre à travers la matrice de transition générée suite aux résultats de la détection des changements effectuée à partir de la classification des images de différentes dates (1991 et 2001). Le **Tableau 4** présente la matrice de transition des unités d'occupation du sol dans la commune entre 1991 et 2001.

Tableau 4 : Matrice de transition entre 1991 et 2001 en Km²

		2001				
Classes		Végétation	Agglomération	Eau	Zones humides	Total
1991	Végétation	117,54	184,79	0,24	3,24	305,81
	Agglomération	0,44	146,1	0,27	0,25	147,06
	Eau	0,01	0,06	21,92	0,72	22,71
	Zones humides	9,2	14,82	6,37	32,54	62,93
	Total	127,19	345,77	28,8	36,75	538,51

La superficie de chaque unité d'occupation du sol n'ayant pas connu de changement sont celle de la diagonale de la matrice soit environ 318 Km² de surface ayant reste stable entre ces deux dates. Les changements les plus importants observés se sont produits entre végétation et agglomérations puis entre zones humides et agglomérations. Environ 184 Km² de végétation sont convertis en agglomérations et 14 Km² de zones humides ont été transformées en agglomérations. D'autre part 9 Km² de zones humides sont passées en végétations. Le **Tableau 5** suivant présente le type de modification (progression ou régression) subit par chaque unité d'occupation du sol entre 1991 et 2001.

Tableau 5 : Dynamique des unités d'occupation entre 1991 et 2001

Unités	Superficie en km ²		Proportion (%)		Taux d'accroissement	Nature
	1991	2001	1991	2001		
Agglomérations	146,06	278,9	27	52	90.94	Progression
Plans d'eau	22,5	28,13	4	5	25.02	Progression
Végétation	290,24	182,87	54	34	-36.99	Régression
Zones humides	80,2	49,1	15	9	-38.77	Régression

La quasi-totalité des unités d'occupation du sol de la Commune ont subi des modifications. Il n'y a pas eu de stabilité nette entre 1991 et 2001. La plus grande progression a été observée au niveau des agglomérations. Par contre, la plus forte régression est subie par la végétation.

3-3-2. Dynamique entre 2001 et 2015

Le même processus est appliqué aux résultats de la classification des images ETM+ de 2001 et OLI-TIRS de 2015 afin d'avoir les statistiques des changements qui sont intervenus dans l'occupation du sol de la commune entre 2001 et 2015. La matrice de transition obtenue se présente ainsi qui suit dans le **Tableau 6**.

Tableau 6 : Matrice de transition de 2001-2015 en Km²

		2015				
Classes		Végétation	Agglomération	Eau	Zones humides	Total
2001	Végétation	87,83	81,13	0,04	2,58	171,58
	Agglomération	0,34	295,92	0,41	0,7	297,37
	Eau	0,3	0,03	20,04	6,44	26,81
	Zones humides	13,12	3,23	0,26	26,14	42,75
	Total	101,59	380,31	20,75	35,86	538,51

Les plus importantes conversions ont été aussi opérées entre végétation et agglomérations puis entre zones humides et végétations où 81,13 Km² de végétation ont été convertis en agglomérations et 13,12 Km² de zones marécageuses ont été transformés en végétation. Comparativement à la période 1991-2001, les superficies restées stable ont régressé sauf dans le cas des agglomérations où y a eu progression. Le type d'évolution subit par chaque unité d'occupation du sol est plus explicite dans le **Tableau 7**.

Tableau 7 : Dynamique des unités d'occupation entre 2001 et 2015

Unités	Superficie en km ²		Proportion (%)		Taux d'accroissement	Nature
	2001	2015	2001	2015		
Agglomérations	278,9	328,88	52	63	17.92	Progression
Plans d'eau	28,13	19,69	5	3	-30	Régression
Végétation	182,87	173,03	34	31	-5.38	Régression
Zones humides	49,1	17,39	9	3	-64.58	Régression

En dehors des agglomérations qui ont continué leur progression, les autres unités d'occupation du sol ont régressé sur la période 2001 à 2015 selon le **Tableau 7** ci-dessus qui renseigne sur la dynamique de l'occupation du sol entre 2001 et 2015

3-3-3. Synthèse de la dynamique spatio-temporelle de la commune

Les unités d'occupation des terres de la Commune d'Abomey-Calavi ont connu des changements substantiels de 1991 à 2015. Ces changements se sont traduits par des conversions et des modifications observées sur le terrain. Le **Tableau 8** récapitule les différents changements observés au sein des unités d'occupation du sol de la Commune entre 1991 et 2015.

Tableau 8 : Statistiques d'évolution des unités d'occupation du sol entre 1991, 2001 et 2015

Unités	1991		2001		2015	
	Superficie (km ²)	Proportion (%)	Superficie (km ²)	Proportion (%)	Superficie (km ²)	Proportion (%)
Installations humaines	146,06	27	278,90	52	328,88	63
Plans d'eau	22,5	4	28,13	5	19,69	3
Végétation / CJ	290,24	54	182,87	34	173,03	31
Zones humides	80,20	15	49,10	9	17,39	3

Source : Cartes d'occupation du sol de 1991, 2001 et 2015.

Légende : CJ : Champs-Jachères

La **Figure 5** qui suit fait la synthèse de la dynamique spatio-temporelle de chaque élément de l'occupation du sol dans la commune entre 1991-2001 et 2001-2015.

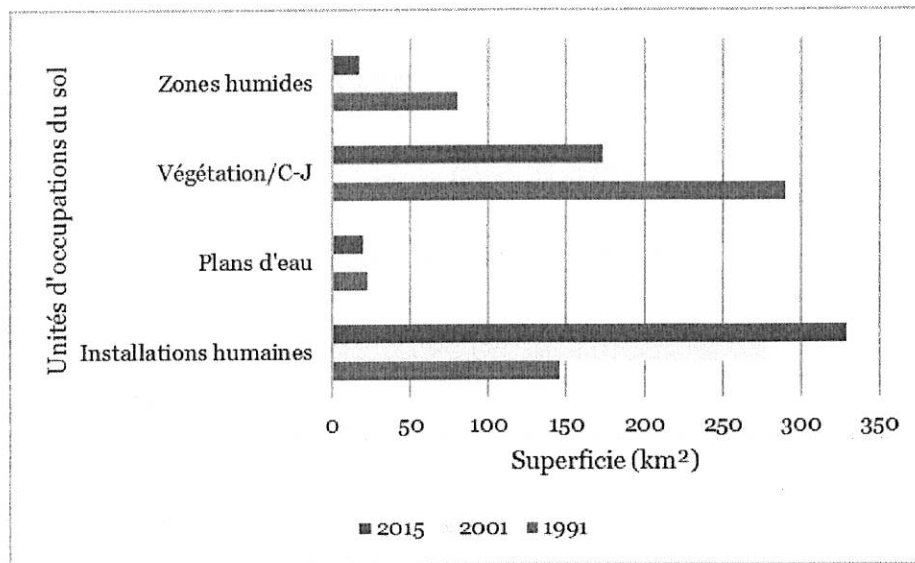


Figure 5 : Évolution des unités d'occupations du sol dans la commune d'Abomey-Calavi entre 1991 et 2015

La **Figure 5** et le **Tableau 8** ci-dessus représentent la synthèse des changements en termes de superficie de chaque unité d'occupation du sol dans la Commune au cours de la période allant de 1991 à 2001 et de 2001 à 2015. Le changement le plus frappant observé à leur lecture est qu'en 1991 (représenté en vert sur la **Figure 5**) les végétations et champs-jachères représentent l'unité d'occupation dominante du paysage de la commune. En revanche en 2015, le paysage de la commune est dominé par les installations humaines / bâtis résultant de la forte pression que subit la végétation dans la Commune. L'analyse de cette figure permet de constater qu'en 24 ans toute la classe végétation a connu une régression inquiétante. D'une superficie de 290,90 km² en 1991, la superficie de cette classe est passée à 173,03 km² en 2015 soit une régression de 42,37 %. Au même moment, les constructions ou bâtis ont connu une forte progression. Ces dernières, en effet, sont passées de 146,05 km² en 1991 à 328,88 km² en 2015. Ceci n'est pas sans conséquence sur le système agricole de la Commune.

3-4. Dégradation des espaces agricoles périurbains et pression sur l'agriculture

3-4-1. Pression sur l'agriculture

L'expansion des bâtis a eu pour conséquence la réduction des espaces verts surtout des champs et jachères, des vergers, de la savane boisée, de la forêt et des sols nus. Le phénomène d'urbanisation ne cesse de s'accroître d'année en année dans la Commune d'Abomey-Calavi. La **Figure 6** montre l'évolution du taux de sol consommé par l'urbanisation au niveau de chaque Arrondissement de la Commune.

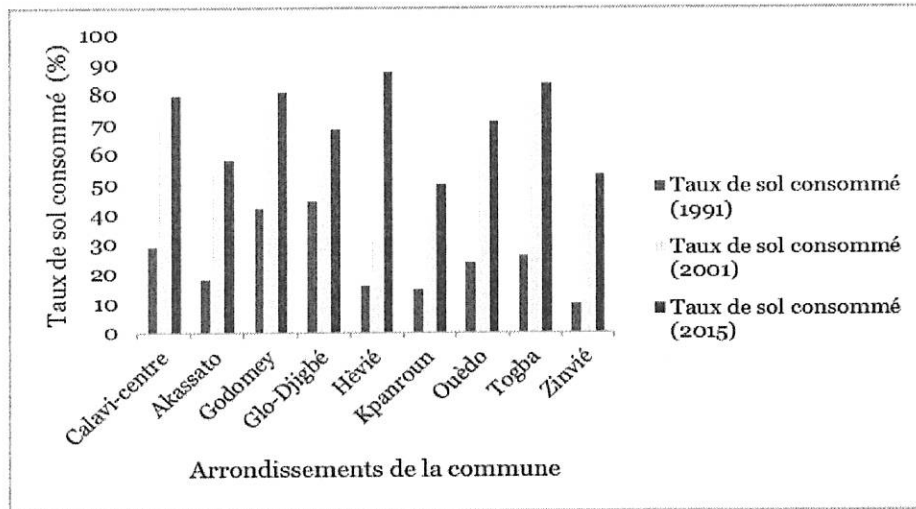


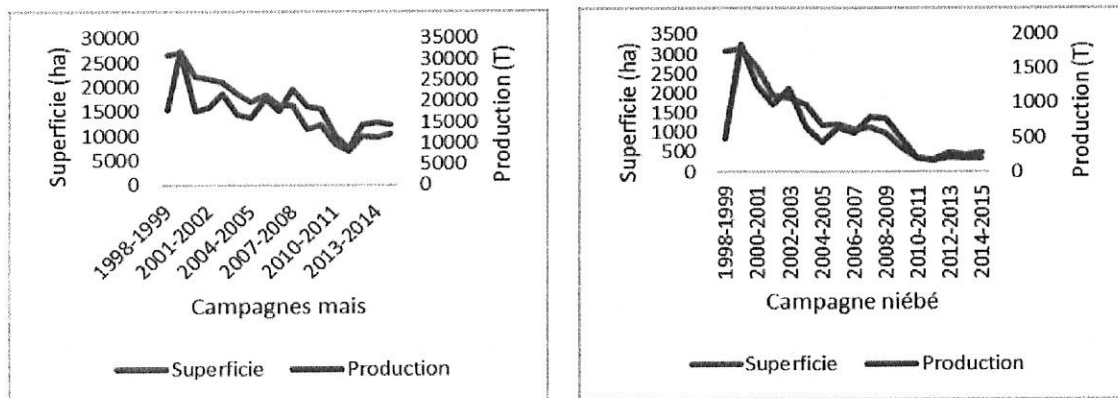
Figure 6 : Taux de sol consommé par l'urbanisation dans la commune d'Abomey-Calavi

Sources : scènes Landsat5 TM (1991) ETM+ (2001) et 8 (OLI-TIRS) 2015

Le taux de sol artificialisé ou urbanisé est un excellent indicateur de pression urbaine sur le foncier rural [12]. Comme le présente la **Figure 6**, chaque Arrondissement de la Commune d'Abomey-Calavi a connu entre 1991 et 2015 des évolutions non négligeables de sa surface artificialisée. Les arrondissements les plus urbanisés sont ceux de Calavi-centre, chef-lieu de la Commune, Godomey, Hèvié et Togba. Ces derniers ont atteint en moyenne 75 % de consommation du foncier en 2015 alors qu'en 1991 ils étaient en moyenne de 20 %. Il faut également signaler que ces arrondissements sont les plus peuplés de la commune [13] d'où la confirmation d'une corrélation entre urbanisation et démographie. Les autres Arrondissements comme Akassato, Glo-Djigbé, Ouèdo, Kpanroun et Zinvié ont subi également le même phénomène et sont eux aussi en pleine mutation avec une progression du taux de sol consommé entre 1991 et 2015. Néanmoins ces derniers disposent encore d'un potentiel foncier non urbanisé pouvant être protégé ou mis en valeur à travers l'agriculture.

3-4-2. Dégradation des espaces agricoles périurbains

La production agricole a subi de pleins fouets, les effets de l'urbanisation grandissante de la Commune. L'agriculture a été impactée à travers la baisse constatée de son principal intrant qu'est la terre. La **Figure 7** représente l'évolution des superficies emblavées et la production du maïs ; du niébé ; du manioc et de la tomate dans la commune.



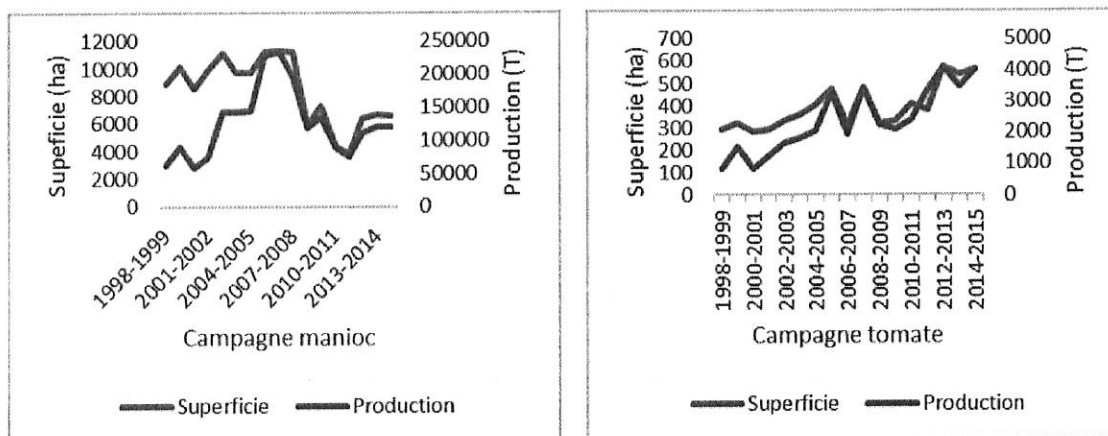


Figure 7 : Évolution des superficies emblavées et de la production du maïs, du niébé, du manioc et de la tomate entre 1998 et 2015

Sources des données : CARDER ATLANTIQUE, Janvier, 2016

Il ressort de l'analyse de ces *Figures*, une baisse des superficies emblavées et par conséquent de la production entre 1998 et 2014 notamment pour les spéculations telles que le maïs et le niébé. Le manioc pour sa part, a connu une baisse à partir de la campagne 2006-2007. La tomate par contre a connu une évolution croissante de la production et des emblavures. De 800 T lors de la campagne 1998-1999 elle est à environ 4000 T pendant la campagne 2014-2015. Cette situation s'explique par un engouement de plus en plus croissant remarqué pour les cultures maraîchères suite à la baisse des terres cultivables qui ont été occupées par les bâtis d'une part et la baisse de fertilité des terres encore disponibles du fait de leur surexploitation, d'autre part.

3-5. Occupation probable du sol à l'horizon 2025

La simulation prédictive de l'occupation du sol de la Commune a été réalisée en fonction de la tendance évolutive des principales unités d'occupation du sol constatée entre 1991 et 2015. Celle-ci s'est basée sur la probabilité de transition des unités d'occupation du sol dans les dix prochaines années obtenues grâce à la chaîne de Markov. Le *Tableau 9* présente la matrice de probabilité de transition des unités d'occupation du sol en 2025.

Tableau 9 : Probabilités de transition des unités d'occupation du sol en 2025

	Végétation / C-J	Installations humaines	Plan d'eau	Zones humides	Total
Végétation / C-J	0.18	0.72	0.02	0.08	1
Installations humaines	0.27	0.62	0.02	0.09	1
Plan d'eau	0.04	0.16	0.72	0.08	1
Zones humides	0.21	0.62	0.09	0.08	1

La probabilité de transition des unités d'occupation du sol présentée dans le *Tableau 9* est calculée par pixel dans le modèle de probabilité de transition du logiciel Idrisi. Cette probabilité de transition renseigne sur les éventualités de changement ou de conversion des unités d'occupation du sol dans le futur. L'analyse de ce *Tableau 9* révèle que la plus forte probabilité de changement (0,72) est pressentie au niveau de la végétation et des champs et jachères (C-J) au profit des installations humaines. Ensuite les zones humides

ont une probabilité de 0,62 de se transformer en installations humaines. Une expansion probable des installations humaines et bâtis au détriment des champs et jachères (C-J) est donc confirmée par le modèle. En termes de tendances et de superficie, la **Figure 8** montre de façon panoramique la dynamique de l'occupation du sol à l'horizon 2025.

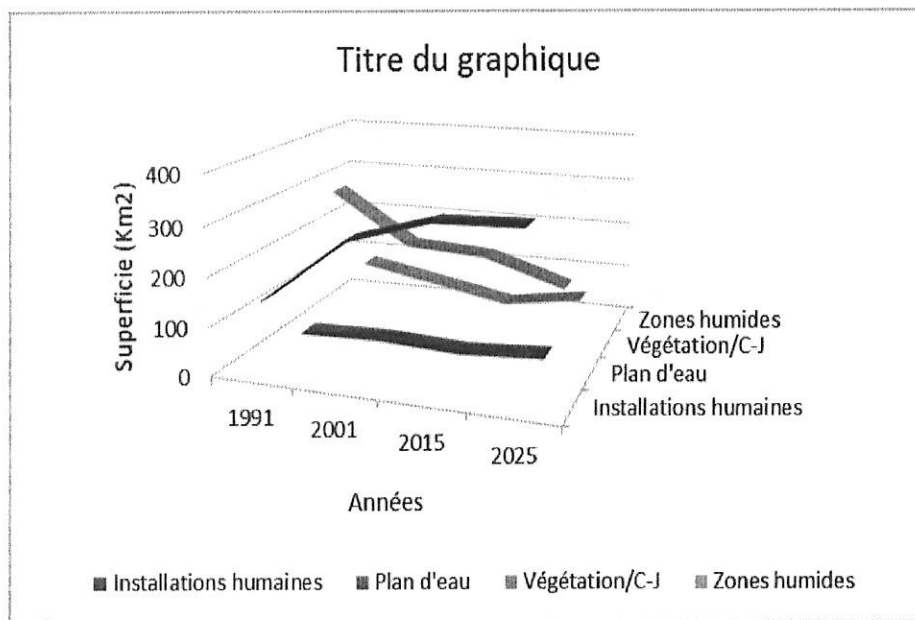


Figure 8 : Tendances de l'occupation du sol à l'horizon 2025

La tendance se lit clairement à partir de cette **Figure 8** où l'on constate une évolution des installations humaines et une baisse de la végétation sur l'ensemble de la Commune pendant la période allant de 2015 à 2025. Le résultat cartographique de cette prévision de l'occupation du sol de la Commune d'Abomey-Calavi est présenté par la **Figure 9**. Comme on peut le constater à travers le **Tableau 9** et la **Figure 8**, la végétation et les champs jachères continueront leur régression au profit des bâtis et autres installations humaines. La végétation a une probabilité de 0.72 à se convertir en bâtis. A l'horizon 2025, très peu de zones de végétation resteront stables au vu de leur probabilité de stabilité qui est de 0.18 et présentée dans le **Tableau 9**. Somme toute, l'analyse des résultats révèle les tendances ci-après : réduction des zones couvertes de végétation et expansion des zones d'habitations. En effet, d'une superficie de 290,90 km² en 1991 ces zones de végétations sont passées à une superficie de 173,03 km² en 2015 soit une régression de 42,37 %. Au même moment les zones d'habitations ont connu une forte progression. En effet, ces dernières sont passées de 146,05 km² en 1991 à 328,88 km² en 2015.

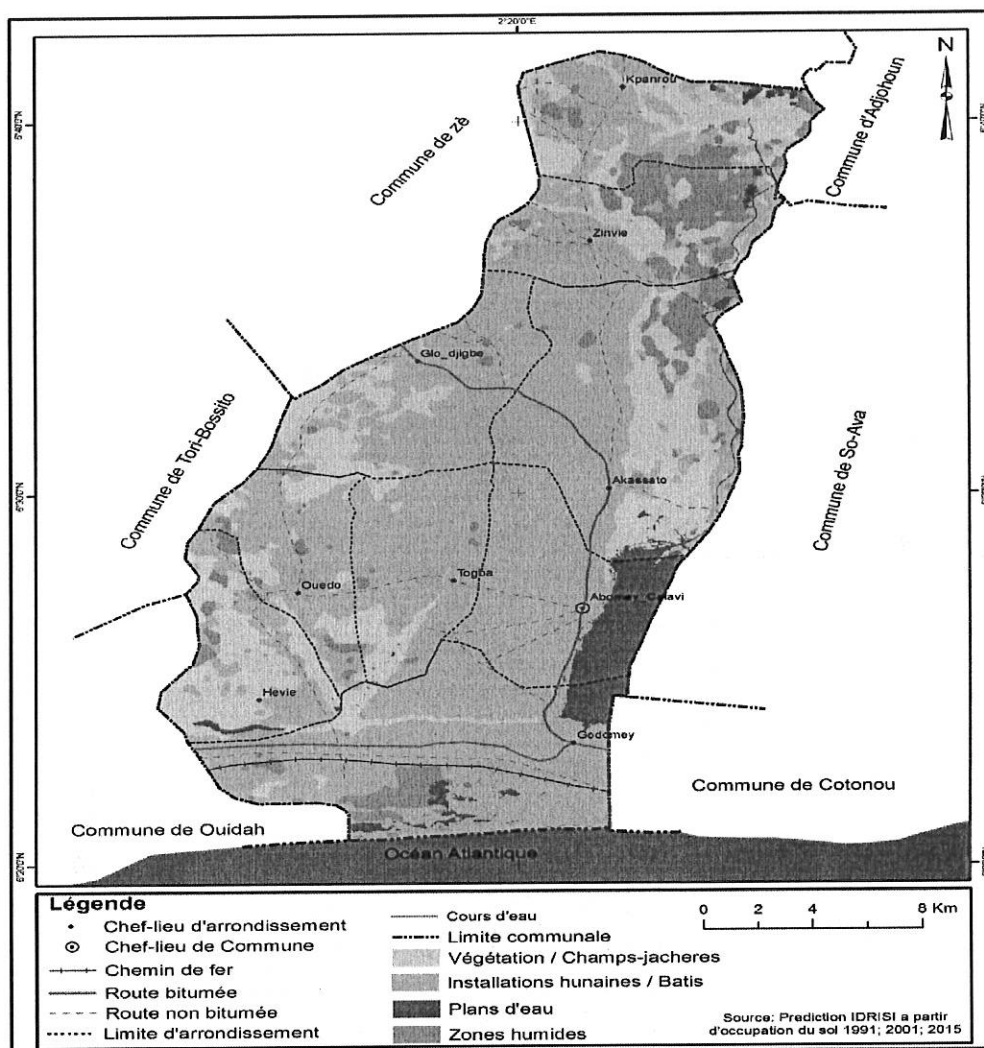


Figure 9 : Etat probable de l'occupation du sol en 2025 dans la commune d'Abomey-Calavi

4. Discussion

La classification supervisée semble être, parmi les méthodes relatives à l'étude de l'évolution de l'occupation du sol par télédétection, la plus représentative car elle implique le recours aux zones témoins [14, 15]. Les différentes images utilisées ont été bien classifiées et la moyenne des indices de validation se présentent comme dans le **Tableau 10** récapitulatif des indices de Kappa issus du traitement des images et la précision globale de ce dernier.

Tableau 10 : Moyenne des indices de Kappa et Précision Globale de la classification

Image	Indice de Kappa	Précision Globale (%)
Image 1991	0,98	98,57
Image 2001	0,95	94,95
Image 2015	0,97	98,27
Moyenne	0,97	97,26

La moyenne des indices de Kappa des trois classifications est de 0,97 avec une moyenne de précision globale de 97,26 % sont preuves de la bonne qualité du traitement des images. L'analyse diachronique de l'occupation du sol de 1991 et de 2015, a permis de constater une perte de 0,5 % de la couverture forestière par an. La détection des changements a montré que les formations naturelles, surtout la végétation, les espaces cultivables régressent au profit des formations anthropiques. D'autres études réalisées ailleurs au Bénin et dans la sous régions viennent corroborer les résultats obtenus par le présent travail. [16] ont conclu en zone soudanienne au nord du Bénin que les formations naturelles (forêts, savanes) sont de plus en plus remplacées par les classes d'occupation anthropiques (champs et jachères, plantations et agro forêts, agglomération et sols nus). Cette situation de dégradation du paysage est également observée par [17] dans la préfecture de Yoto au Togo. La simulation de l'occupation du sol réalisée dans le présent travail par les chaînes de Markov issue du module 'Land Use Modeler' du logiciel Idrisi a permis de prévoir une continuité de la dégradation de la végétation. Ce logiciel a été utilisé du fait qu'il permet d'intégrer des paramètres tel que les propriétés physique du milieu. Il en a résulté une meilleure précision des résultats. Toutefois, il convient de souligner que la marge d'erreur durant tout le processus est de 15 % comme il en est souvent le cas avec des classifications effectuées sous l'Algorithme 'maximum Likelihood'.

Les prévisions pour l'horizon 2025 confirment celles observées par [18] dans le Centre du Bénin par une projection à travers la modélisation sous SpaCelle et de [19] dans le cas d'une modélisation prospective de l'occupation du sol d'une montagne méditerranéenne. Les résultats des modélisations seraient meilleurs si ces modèles prennent en compte les facteurs qui peuvent évoluer dans le temps comme les prix des produits agricoles, le régime foncier, les subventions, la politique économique nationale. Ces facteurs peuvent affecter les choix individuels au niveau de l'utilisation du sol et le fait de ne pas les prendre en compte constitue une cause de biais des résultats [20]. La croissance démographique a souvent été mise en cause par plusieurs auteurs [1, 21, 22] comme étant responsable de la dégradation des terres avec pour conséquences la perturbation des équilibres écologiques. Selon [23], c'est un phénomène particulièrement remarquable en Afrique subsaharienne où les fortes densités démographiques conduisent à la crise d'espace agricole et à la recherche de nouvelles terres. Au total, l'occupation du sol en 2025 sera encore dominée par les installations humaines selon les probabilités de changements. Il est évident que le phénomène sera irréversible et sera continu. Toutefois, sur la base des résultats obtenus, une bonne planification de cette progression pourrait être effectuée pour assurer la sauvegarde du reste de patrimoine naturelle et la garantie de l'autosuffisance alimentaire de la municipalité dans la mesure du possible.

5. Conclusion

Au terme de cette étude il a été possible de ressortir la tendance de la dynamique de l'occupation du sol dans la Commune d'Abomey-Calavi entre 1991 et 2015 ; de déterminer la pression sur les espaces cultivables et leurs impacts sur la production agricole puis de simuler l'occupation du sol à l'horizon 2025. Les moyens qu'offrent les SIG et la télédétection sont d'une importance capitale pour une étude diachronique à l'échelle régionale. Ainsi à partir des images LANDSAT TM ; ETM+ et OLI-TIRS de 1991 ; 2001 et 2015, cette étude a montré l'inquiétant accroissement des installations humaines et la forte régression des espaces agricoles. De 1991 à 2015, l'occupation du sol évolue dans une tendance de dégradation prononcée des espaces agricoles et une progression des installations d'origines anthropiques. Les bâtis ont pris le pas et continuent leur progression en avalant les espaces verts. On assiste donc à une disparition progressive et définitive de la ceinture verte de la commune. La cause première d'une telle situation est la forte croissance démographique que connaît la Commune. En effet, elle a doublé son effectif en 10 ans et sa population ne cesse de s'accroître. Par ailleurs, l'occupation du sol prévue pour 2025 n'est guère rassurante

car elle confirme la tendance progressiste des installations humaines et la dégradation des espaces cultivables. Les résultats obtenus vont constituer un outil précieux d'aide à la décision et permettront une meilleure planification en matière de politique urbaine et d'utilisation du sol.

Références

- [1] - F. NIRASCOU, 'Freiner l'étalement urbain, un enjeu complexe à mesurer'. *Commissariat général au développement durable - Service de l'observation et des statistiques*, (2012) 5 - 13 p.
- [2] - H. J. GEIST and E. F. LAMBIN, 'Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation'. *BioScience*, 52 (2) (2002) 143 - 150 p.
- [3] - A. HOUNGNIHIN, 'Mécanismes endogènes et gestion de l'environnement au Bénin', *In Actes du 2^{ème} colloque des sciences, cultures et technologies*, 2009, UAC/Bénin, (2009) 75 - 76 p.
- [4] - D. LU, P. MAUSEL, E. BRONDIZIO & E. MORAN, Change detection techniques. *International Journal of remote sensing*, 25 (12) (2003) 2365 - 2407
- [5] - R. S. LUNETTA, J. F. KNIGHT, J. EDIRIWICKREMA, J. G. LYON & L. D. WORTHY, Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105 (2) (2006) 142 - 154
- [6] - N. KÄYHKÖ, N. FAGERHOLM, B. S. ASSEID & A. J. MZEE, Dynamic land use and land cover changes and their effect on forest resources in a coastal village of Matemwe, Zanzibar, Tanzania. *Land Use Policy*, 28 (1) (2011) 26 - 37
- [7] - J. OLOUKOI, V. J. MAMA et F. B. AGBO, 'Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le Département des Collines au Bénin', *Télé-détection*, 6, 4, (2007) 305 - 323
- [8] - V. OREKAN, 'Implementation of the local land-use and land-cover change model CLUE-s for Central Benin by using socio-economic and remote sensing data'. *PhD Thesis, University of Bonn*, (2008) 204 p.
- [9] - V. J. MAMA et J. OLOUKOI, 'Evaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol'. *Télé-détection*, 3 (5) (2003) 429 - 441
- [10] - V. J. MAMA et J. OLOUKOI, 'Modelling land use and land cover change in a central region of the Republic of Benin, using a Markov Model', *Environtropica*, 5 - 7, (2010) 72 - 88
- [11] - M. A SCHLAEPFER, W. D. HELENBROOK, K. B. SEARING and K. T. SHOEMAKER, 'Assisted colonization : evaluating contrasting management actions (and values) in the face of uncertainty'. *Trends in Ecology and Evolution*, 24 (2009) 471 - 472
- [12] - OSDDT, Comment calculer les indicateurs. *Annexe du guide final- directives européenne n° 204/35/CE*, (2004) 7 p.
- [13] - INSAE : RGP4 : Que retenir des effectifs de population en 2013 ? *4^{ème} Recensement Général de la Population et de l'Habitat*, (2015) 35 p.
- [14] - A. A. MASOUD & K. KOIKE, Arid land salinization detected by remotely-sensed land covers changes : A case study in the Siwa region, NW Egypt. *Journal of Arid Environments*, 1 (2006) 151 - 167
- [15] - H. NAGENDRA, S. PAREETH & R. GHATE, People within parks-forest villages, land-cover change and landscape fragmentation in the Tadoba Andhari Tiger Reserve, *India Applied Geography*, 26 (2006) 96 - 112
- [16] - A. MAMA, B. SINSIN, C. DE CANNIERE & J. BOGAERT, Anthropisation et dynamisation des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31 (1) (2013) 78 - 88
- [17] - K. D. KPEDENOU, T. BOUKPESSI & T. T. K. TCHAMIE, Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de yoto (sud-est togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé(Togo)*, N° 13 (2016), ISSN 1812-1403. (2016) 137 - 156
- [18] - J. OLOUKOI, Utilisation de la télédétection et des systèmes d'information géographique dans l'étude de la dynamique spatiale de l'occupation des terres au centre du Bénin. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, (2012) 304 p.

- [19] - M. PAEGELOW., N. VILLA, L. CORNEZ, F. FERRATY, L. FERRE, P. SARDA, Modélisations prospectives de l'occupation du sol. Le cas d'une montagne méditerranéenne, *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], (2004) Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 295, mis en ligne le 06 décembre 2004. <http://cybergeo.revues.org/index2811.html>
- [20] - G. J. BOKO, 'Trajectoires des changements dans l'occupation du sol : déterminants et simulation. Cas du bassin versant de l'Alibori (Bénin, Afrique de l'ouest)', *Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi*, (2012) 262 p.
- [21] - B. B. SOUNON, B. SINSIN & S. B. GOURA, Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes du Bénin. *Tropicultura*, 25 (4) (2007) 221 - 227
- [22] - S. ATTA, F. ACHARD & S. O. M. OULD MOHAMEDOU, Evolution récente de la population, de l'occupation des sols et de la diversité floristique sur un terroir agricole du Sud-Ouest du Niger. *Science & Nature*, 7 (2) (2010) 119 - 129
- [23] - T. ABOTCHI, Colonisation agricole et dynamique de l'espace rural au Togo : cas de la plaine septentrionale du Mono. *Revue du C.A.M.E.S. Sciences Sociales et Humaines*, Série B, Vol. 4, (2002) 97 - 108
- [24] - G. W. TAPBODA et J. M FOSTING, Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au nord du Cameroun par télédétection satellitale. *Sécheresse*, Vol. 21, N°3, (2010) 169 - 178