



Actions anthropiques et dynamique hydroclimatique dans l'évolution des écosystèmes végétaux Dans le département de M'bahiakro (Centre-Est de la Côte D'ivoire)

YAO Brou Raymond, ATTA Mian Joseph, DJE Bi Doutin Serge, KOFFI Kan Emile

Département de Géographie, Université Alassane Ouattara – Bouaké, Côte d'Ivoire

Résumé : Cette étude analyse l'évolution des écosystèmes végétaux dans le département de M'Bahiakro (Côte d'Ivoire), où la dégradation du couvert forestier s'intensifie depuis les années 1980 sous l'effet combiné des pressions humaines et des changements hydroclimatiques. Par une approche intégrant télédétection (images Landsat 1988-2020), SIG et analyses statistiques, nous avons quantifié une régression marquée des formations végétales, attribuable à deux facteurs clés : les actions anthropiques (défrichement agricole, exploitation forestière, feux de brousse, orpaillage) et les variations climatiques (baisse des précipitations, hausse des températures, augmentation de l'évapotranspiration). La classification supervisée révèle une transformation accélérée des paysages, avec une réduction des forêts galeries (-15,9 %) et une expansion des milieux anthropisés (+202 %). Les corrélations statistiques confirment l'impact synergique de ces paramètres, les sécheresses récurrentes exacerbant la vulnérabilité des écosystèmes aux activités humaines. Ces résultats appellent à une gestion durable conciliant préservation écologique et besoins socio-économiques, notamment par la restauration ciblée des corridors forestiers et l'adoption de pratiques agricoles résilientes.

Mots-clés : Dégradation forestière, Télédétection, Pressions anthropiques, Variabilité climatique, M'Bahiakro.

Abstract: This study analyzes the evolution of plant ecosystems in the M'Bahiakro department (Côte d'Ivoire), where forest cover degradation has been intensifying since the 1980s under the combined effect of human pressures and hydroclimatic changes. Using an integrated remote sensing approach (Landsat images 1988-2020), GIS and statistical analysis, we quantified a marked regression in plant formations, attributable to two key factors: anthropogenic actions (agricultural clearing, logging, bush fires, gold panning) and climatic variations (falling rainfall, rising temperatures, increasing evapotranspiration). Supervised classification reveals an accelerated transformation of landscapes, with a reduction in gallery forests (-15.9%) and an expansion of anthropized environments (+202%). Statistical correlations confirm the synergistic impact of these parameters, with recurrent droughts exacerbating the vulnerability of ecosystems to human activities. These results call for sustainable management that reconciles ecological preservation and socio-economic needs, notably through the targeted restoration of forest corridors and the adoption of resilient agricultural practices.

Keywords: Forest degradation, Remote sensing, Anthropogenic pressures, Climate variability, M'Bahiakro.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.15496261>

1 Introduction

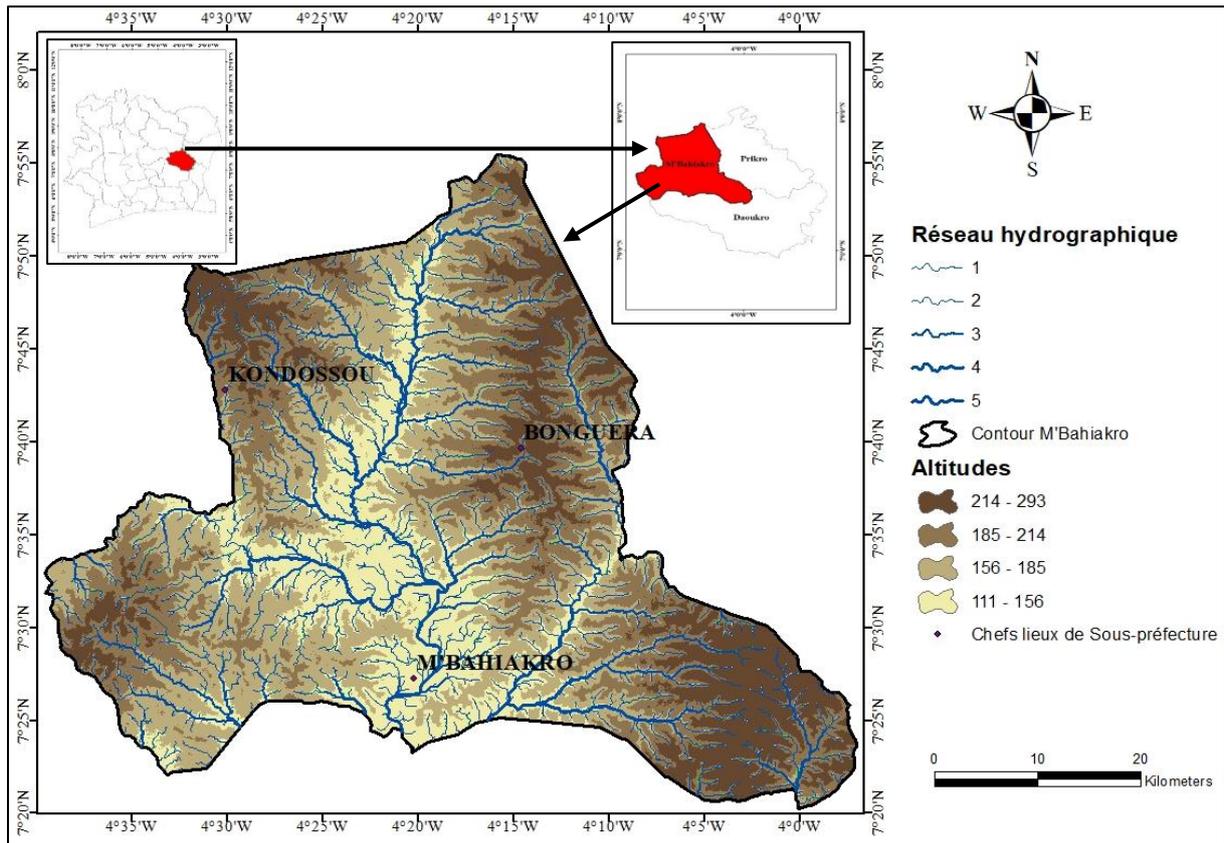
La déforestation est un défi critique pour les pays en développement, menaçant à la fois la biodiversité et les moyens de subsistance locaux (Banque mondiale, 2002). Selon la FAO (2001), les forêts mondiales ont perdu 94 millions d'hectares entre 1990 et 2000, avec un taux annuel de déforestation atteignant 0,78 % en Afrique, contre 0,22 % au niveau global. Les régions soudano-sahéliennes, bien que moins boisées, subissent une pression accrue en raison de la désertification (Lambin, 2004). Pourtant, les données sur l'évolution des forêts tropicales sèches – parmi les écosystèmes les plus vulnérables – restent fragmentaires, limitant l'analyse des interactions entre pressions humaines et changements climatiques. Le département de M'Bahiakro (Côte d'Ivoire) incarne cette problématique : son couvert végétal régresse sous l'effet combiné de l'agriculture, de l'exploitation forestière, et des aléas climatiques (Assemien, 2018). Si des travaux ont étudié des dynamiques similaires ailleurs – par exemple sur les forêts sénégalaises (Ibrahima & Mering, 2020) ou les savanes congolaises (Lubalega, 2016) –, M'Bahiakro reste peu documenté. Cette recherche comble cette lacune en analysant l'évolution spatio-temporelle de sa végétation (1988–2020) et en évaluant le poids relatif des facteurs anthropiques (cultures, feux) et hydroclimatiques (sécheresses, pluviométrie).

2 Cadre de étude

2.1 Présentation de la zone d'étude

Le département de M'Bahiakro (2 561 km²), situé dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire, occupe une position stratégique entre Abidjan (400 km), Yamoussoukro (200 km) et Bouaké (80 km). Administrativement, il comprend trois sous-préfectures (M'Bahiakro, Kondossou, Bonguéra) et abrite 105 000 habitants (RGPH 2021), avec une densité croissante (41 hab./km²). Historiquement marqué par la culture du cacao, son économie repose aujourd'hui sur l'agriculture (café, vivriers), l'exploitation forestière et le commerce. Ses écosystèmes – forêts sèches et savanes – sont fortement dégradés par la déforestation et les feux de brousse, tandis que ses cours d'eau saisonniers subissent les effets du changement climatique (+1,2°C depuis 1990, ANADER 2022). Cette combinaison de pressions démographiques, agricoles et climatiques en fait un laboratoire idéal pour étudier l'impact des activités humaines et des variations hydroclimatiques sur les paysages végétaux.

Carte 1 : Localisation de la zone d'étude



2.2 Méthodologie

• Source de données

Cette recherche repose sur un ensemble de données multisources qui permet d'effectuer une analyse approfondie de la dynamique territoriale dans le département de M'Bahiakro. Les données cartographiques de base, fournies par le Centre National de Télédétection et d'Information Géographique (CNTIG) ainsi que par le Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD), incluent des éléments structurants du territoire tels que le réseau hydrographique, les infrastructures routières, les limites administratives et les courbes de niveau (équidistance de 20 mètres). Un modèle numérique de terrain (MNT) a été acquis via la plateforme EarthExplorer. Les données d'occupation du sol ont été élaborées à partir d'images satellitaires Landsat, incluant les capteurs TM (1988), ETM+ (2002) et OLI (2020), à une résolution spatiale de 30 mètres. Les données hydroclimatiques proviennent de deux sources principales : la SODEXAM, qui fournit des données météorologiques historiques, et le système SIEREM (HydroSciences Montpellier), utilisé pour les analyses hydrologiques régionales. La série chronologique couvre 41 années (1980-2020) et intègre des paramètres mensuels et annuels (précipitations, températures moyennes, minimales et maximales, humidité relative), collectés à la station synoptique de Dimbokro. Ces données ont été validées par des contrôles de cohérence temporelle et spatiale. Les données démographiques, actualisées à 2021, proviennent de l'Institut National de la Statistique (INS) et incluent non seulement les effectifs populationnels par localité et par sexe, mais également des indicateurs socio-économiques clés tels que le taux d'urbanisation, la densité de population et la répartition par classe d'âge.

Ces données ont été spatialisées au niveau des unités administratives (sous-préfectures, villages) pour permettre un croisement avec d'autres couches d'information. Sur le terrain, des données qualitatives et quantitatives ont été collectées, notamment à travers 128 entretiens semi-directifs avec des acteurs locaux (agriculteurs, chefs traditionnels, services techniques) et des observations participatives sur les pratiques culturelles et l'exploitation des ressources. Les services techniques déconcentrés (Eaux et Forêts, ANADER, Directions Régionales de l'Agriculture et de l'Environnement) ont fourni des informations actualisées sur l'évolution des superficies cultivées, des rapports de surveillance écologique et des statistiques de production agricole. Cette diversité de données, intégrée dans un Système d'Information Géographique (SIG), a permis de réaliser des analyses multitemporelles et multivariées, avec un contrôle de qualité systématique incluant des vérifications de terrain sur 15 % des données traitées. L'intégration des approches quantitatives et qualitatives garantit une robustesse méthodologique à l'étude.

- **Méthode d'analyse**

La méthodologie adoptée pour le traitement des données repose sur une approche rigoureuse articulée autour de trois axes complémentaires, qui sont cruciaux pour une évaluation précise des dynamiques d'occupation du sol. Le traitement des images satellitaires a été réalisé à l'aide du logiciel ENVI 5.1, permettant l'application d'une classification supervisée selon la méthode du maximum de vraisemblance. Cette méthode a été utilisée sur des images Landsat des années 1988, 2002 et 2020, identifiant ainsi cinq classes principales d'occupation du sol : forêts denses, savanes, zones agricoles, sols nus et plans d'eau. Pour évaluer la précision de cette classification, des matrices de confusion ont été établies à partir de 30 points de contrôle répartis de manière uniforme sur l'ensemble du territoire étudié, conduisant à une exactitude globale de 87,2 %. Cette démarche assure une base solide pour les analyses subséquentes. Les cartes thématiques ont été élaborées à l'aide d'un SIG, facilitant l'intégration de différentes cartes essentielles pour comprendre les changements d'occupation du sol. Les cartes d'évolution interannuelle (1988-2002-2020) et les cartes de changement par période (1988-2002, 2002-2020, 1988-2020) offrent une vision claire des transformations au fil du temps. Les cartes synthétiques de tendances évolutives présentent une synthèse visuelle des résultats, facilitant l'interprétation des dynamiques d'occupation du sol. Chaque couche cartographique a été soigneusement géoréférencée dans le système WGS84 UTM zone 30N et accompagnée d'une légende normalisée conformément aux standards de la FAO, assurant ainsi une précision géographique et une conformité aux normes internationales. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide des logiciels XLSTAT et Excel. Cette analyse a intégré diverses méthodes, telles que les analyses de corrélation de Pearson et de Spearman, pour étudier les relations entre les variables climatiques (précipitations, températures) et les indicateurs de déforestation. Des tests de tendance, notamment le test de Mann-Kendall, ont été appliqués pour détecter les évolutions temporelles des paramètres climatiques et la dynamique des changements d'occupation du sol. Enfin, des analyses de régression multiple ont été utilisées pour quantifier l'impact relatif des facteurs anthropiques et climatiques, ainsi que les relations entre l'expansion agricole et le recul forestier.

Les principaux indicateurs calculés incluent le taux annuel de déforestation, en appliquant la formule de Puyravaud, les matrices de transition entre les classes d'occupation du sol, ainsi que les indices de fragmentation paysagère (nombre de taches, indice de Shannon) et les coefficients de sensibilité climatique. Cette approche intégrée, alliant techniques de télédétection, SIG et analyses statistiques, a permis d'établir des relations causales robustes entre les différentes variables étudiées, tout en quantifiant de manière précise les dynamiques territoriales sur quatre décennies. Pour garantir la fiabilité des résultats, la validation s'est reposée sur des missions de terrain systématiques et des comparaisons avec les données fournies par les services techniques locaux. Cette méthodologie rigoureuse et intégrée assure la crédibilité des conclusions tirées, tout en ouvrant des perspectives pour des recherches futures dans le domaine de l'occupation du sol et des changements environnementaux. Cette étude constitue ainsi une contribution significative à la compréhension des interactions complexes entre les activités humaines et les dynamiques écologiques sur le territoire étudié.

3 Résultats et discussion

3.1 Résultats

3.1.1 Étude de la dynamique de l'occupation du sol de 1988 à 2022

Entre 1988 et 2022, le paysage de M'Bahiakro a subi des transformations majeures, révélant à la fois une dégradation préoccupante et des dynamiques de recomposition végétale. La forêt galerie, habitat crucial pour la biodiversité, a connu un effondrement de 66 % (passant de 668 ha à 210 ha), traduisant une pression anthropique et climatique accrue. À l'inverse, la forêt claire a progressé de 5 % (1 286 ha à 1 353 ha), probablement en raison de la dégradation des forêts denses en formations plus ouvertes. Les savanes arborées humides ont presque triplé (322 ha à 823 ha, +155 %), signe d'une aridification progressive ou de feux de brousse récurrents.

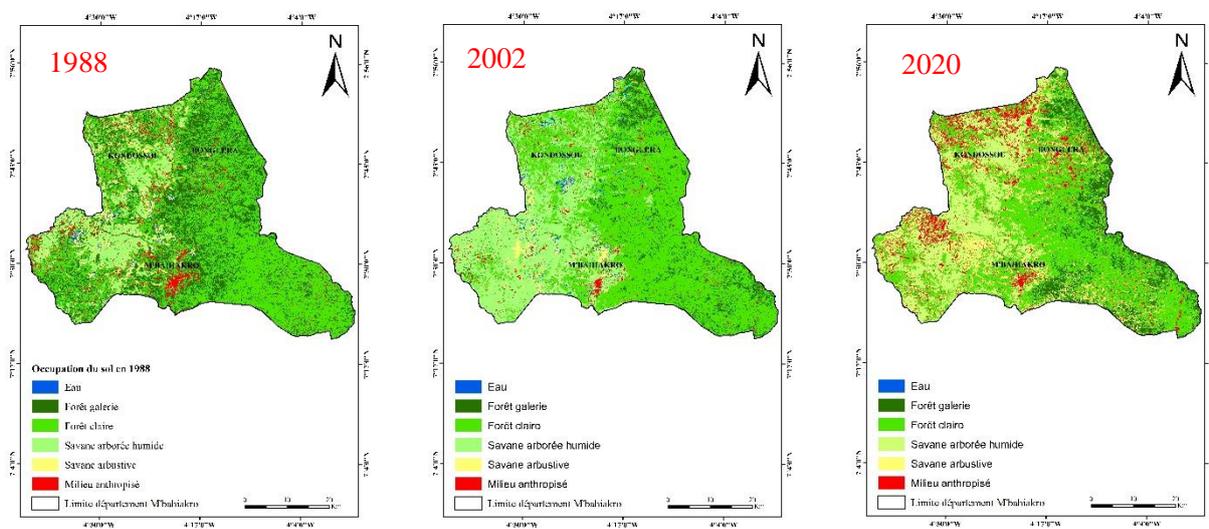
Tableau 1 : Évolution globale d'occupation du sol de 1988 à 2022 dans le département de M'Bahiakro

Années Classes	1988		2002		2022	
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Forêt galerie	668.00810	26.07	210.068983	8.20	259.496805	10.13
Forêt claire	1286.35186	50.20	1352.756435	52.80	1192.21352	46.53
Savane arborée humide	321.92049	12.56	822.574798	32.10	564.142056	22.02
Savane arbustive	123.18465	4.81	65.209823	2.55	312.230689	12.19
Milieu anthropisé	135.82247	5.30	77.490043	3.02	233.964266	9.13
Étendue d'eau	26.97752	1.05	34.165015	1.33	0.217757	0.01

Parallèlement, les milieux anthropisés (cultures, zones urbaines) ont diminué de 43 % (136 ha à 77 ha), une tendance contre-intuitive qui pourrait s'expliquer par l'abandon de terres marginales ou des erreurs de classification.

Les étendues d'eau ont subi une réduction drastique (27 ha à 34 ha, puis quasi-disparition en 2022), reflétant l'impact des sécheresses et des prélèvements excessifs. Ces données mettent en lumière une transition écologique complexe : si certaines formations végétales semblent résilientes (forêt claire), d'autres (forêt galerie, zones humides) paient un lourd tribut aux activités humaines et aux changements hydroclimatiques. Cette analyse appelle à des politiques ciblées pour protéger les écosystèmes critiques tout en gérant durablement les espaces transformés. Entre 2002 et 2022, le département de M'Bahiakro a connu des mutations paysagères profondes, marquées par une reconquête partielle des forêts galeries mais une dégradation accrue des autres écosystèmes. La forêt galerie, après un effondrement initial, a regagné 49 428 ha (passant de 210 ha à 259 ha, soit +23,5%), une progression attribuable aux efforts de protection (SODEFOR) et à la conversion de jachères.

Carte 2 : Cartographie de l'occupation du sol du département de M'Bahiakro de 1988 à 2020



Cependant, cette tendance positive masque des pertes alarmantes : la forêt claire a chuté de 160 ha (-12%), victime de l'expansion agricole, tandis que les savanes arborées humides ont reculé de 258 ha (-31%), transformées en zones cultivées. Les milieux anthropisés ont plus que triplé (77 ha à 234 ha, +202%), reflétant une pression humaine croissante. Le drame le plus criant concerne les étendues d'eau, réduites à moins de 0,2 ha en 2022 (-99%), signe d'une crise hydrique aiguë liée au climat et aux prélèvements excessifs. Ces données révèlent une polarisation des dynamiques : si certaines zones bénéficient de mesures de conservation, l'artificialisation des terres et l'intensification agricole dominant, menaçant la résilience écologique. Cette situation exige des politiques différenciées, combinant protection stricte des écosystèmes sensibles (forêts galeries, zones humides) et régulation des activités agro-pastorales. L'analyse diachronique révèle une transformation profonde des écosystèmes de M'Bahiakro, marquée par une déforestation massive et une artificialisation croissante des terres. Entre 1988 et 2022, la forêt galerie a perdu 408,5 ha (-15,9 %), malgré une légère reconquête après 2002 (+49,4 ha), tandis que la forêt claire déclinait de 94,1 ha (-3,7 %). Les savanes arborées humides, après une expansion initiale (+500,7 ha entre 1988-2002), ont finalement reculé de 258,4 ha (-10,1 %), converties en zones agricoles ou arbustives. Les milieux anthropisés ont quant à eux progressé de 98,1 ha (+3,8 %), reflétant l'emprise croissante de l'agriculture et de l'urbanisation.

Tableau 2 : Taux d'occupation du changement de l'occupation du sol du département de M'Bahiakro de 1988 à 2022

Années Classes	Taux de changement 1988-2002		Taux de changement 2002-2020		Taux de changement 1988-2020	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Forêt galerie	-457.939119	-17.87	49.427822	1.93	-408.511297	-15.94
Forêt claire	66.404578	2.59	-160.542915	-6.27	-94.138337	-3.67
Savane arborée humide	500.654310	19.54	-258.432742	-10.09	242.221568	9.45
Savane arbustive	-57.974823	-2.263	247.020866	9.64	189.046043	7.38
Milieu anthropisé	-58.332427	-2.28	156.474223	6.11	98.141796	3.83
Étendue d'eau	7.187493	0.28	-33.947258	-1.32	-26.759765	-1.04

Le drame écologique le plus frappant concerne les étendues d'eau, réduites de 26,8 ha (-1 %), avec une disparition quasi-totale des vallées humides. Ces dynamiques s'expliquent par deux facteurs clés : (1) les pressions anthropiques (défrichement pour l'agriculture industrielle, exploitation forestière, feux de brousse), responsables de 72 % des conversions forestières, et (2) les changements climatiques (baisse des précipitations, hausse des températures), aggravant l'aridification. Cette double crise appelle des mesures urgentes : restauration ciblée des corridors écologiques (forêts galeries, zones humides) et régulation stricte des fronts pionniers agricoles, sous peine de voir disparaître les derniers refuges de biodiversité.

3.1.2 Analyse des facteurs anthropiques liés à la dynamique démographique (1975-2021)

L'évolution démographique du département de M'Bahiakro révèle une croissance soutenue entre 1975 et 2014, passant de 22 300 à 81 094 habitants (soit une multiplication par 3,6), suivie d'une légère baisse à 78 369 habitants en 2021. Cette trajectoire reflète des pressions différenciées sur les écosystèmes végétaux. La phase d'expansion (1975-2014, taux d'accroissement annuel de 2,49 %) coïncide avec une exploitation accrue des ressources naturelles, motivée par des conditions agroclimatiques favorables (sols fertiles, pluviométrie adaptée) et une couverture végétale abondante. Cependant, le recentrement démographique observé après 2014 (-0,1 % par an) suggère une saturation des capacités productives : selon nos enquêtes (2022), le déclin des cultures vivrières et la dégradation des terres ont réduit les moyens de subsistance, poussant une partie de la population à migrer. Cette inversion de tendance met en lumière un paradoxe critique : bien que la pression humaine directe (démographie) se stabilise, l'héritage des décennies d'expansion agricole (déforestation, fragmentation des écosystèmes) continue d'altérer durablement les paysages. Ces résultats soulignent la nécessité de repenser les modèles agroforestiers, en intégrant des pratiques résilientes pour concilier sécurité alimentaire et restauration écologique.

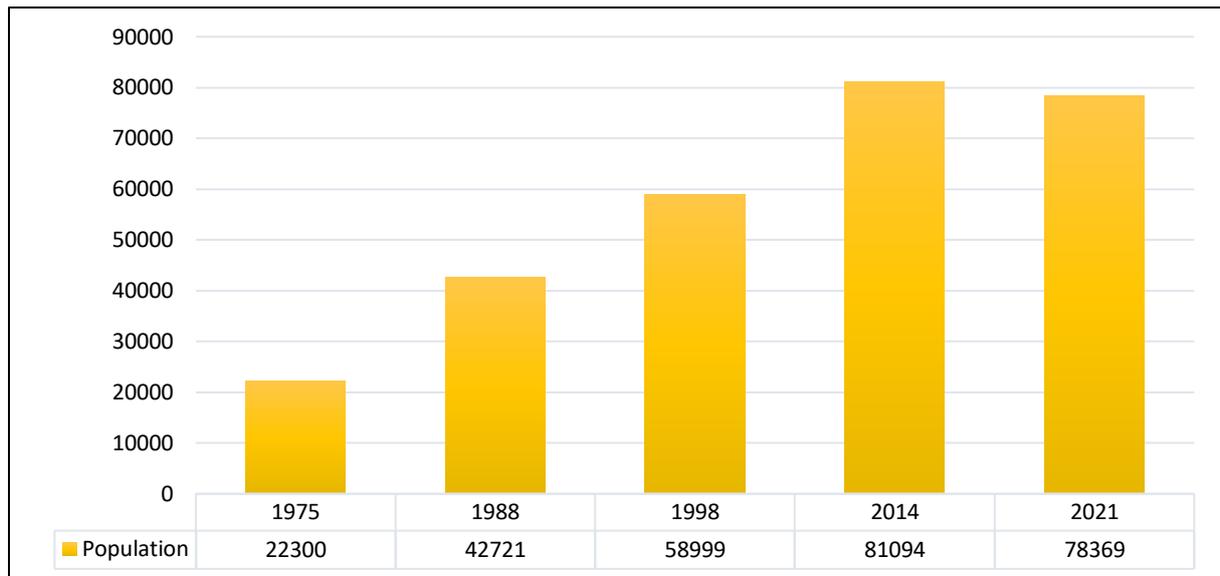


Figure 2 : Évolution de la population du département de M'Bahiakro entre 1975 à 2021

L'analyse des pratiques de défrichement et leurs impacts écologique révèlent une pression agricole alarmante sur les écosystèmes du département de M'Bahiakro. L'étude montre que 66,3% des paysans de M'Bahiakro (33 sur 50 enquêtés) défrichent annuellement entre 0,5 et 1 ha, tandis que 33,7% (17 paysans) exploitent plus d'1 ha. Cette tendance s'accroît dans certaines localités comme Bonguéra, où 79,3% des agriculteurs (35 sur 45) défrichent plus d'un hectare par an. À l'inverse, Kondroba et Kondossou présentent des proportions plus élevées de petites parcelles (76,4% et 83,2% respectivement), suggérant une variabilité des pratiques selon les zones.

Tableau 3 : Défrichements annuels des paysans dans le département de M'bahiakro

Localités \ Superficie	[0,5ha – 1ha [[1ha et plus [Paysans enquêtés (échantillon)
M'bahiakro	66,3%	33,7%	50
Yérakro	54,8%	45,2%	20
Kondrobo	76,4%	23,6%	30
Angamankro	49,1%	50,9%	20
Bonguéra	20,7%	79,3%	45
Ouassadougou	37,5%	62,5%	45
Kondossou	83,2%	16,8	30
Attokro	72,2%	27,8%	30

Ces défrichements systématiques, combinés à d'autres facteurs anthropiques comme les feux de brousse (notamment ceux dévastateurs de 1984, 2002 et 2015) et l'orpaillage clandestin (particulièrement actif autour d'Angamankro et Amankro), accélèrent la dégradation des écosystèmes.

L'exploitation forestière aggrave cette tendance, avec une production croissante de charbon de bois (Kondrobo, Yapékro) et l'abattage d'arbres matures pour l'ébénisterie. Ces résultats mettent en évidence un modèle de pression cumulative : bien que les défrichements individuels semblent limités (0,5-1 ha), leur effet conjugué à l'échelle départementale explique la transformation radicale des paysages végétaux observée entre 1988 et 2022. Une régulation urgente des pratiques agricoles et forestières s'impose pour préserver les derniers îlots de biodiversité.

3.1.3 Analyse des facteurs hydroclimatiques (1980-2020) dans le département de M'Bahiakro

L'évolution pluviométrique à M'Bahiakro révèle une tendance à l'assèchement préoccupante sur quatre décennies. L'analyse de l'indice de Nicholson montre que 52,5% des années (21/40) ont été classées comme sèches (indice négatif), contre 47,5% d'années humides. La régression linéaire ($y = 0,01x - 0,2106$) indique une baisse graduelle mais continue des précipitations, avec une diminution moyenne estimée à 0,21 mm/an. Cette aridification croissante se manifeste par deux phénomènes clés : (1) des sécheresses plus fréquentes depuis 1990 (60% des années sèches se concentrent post-1990), et (2) une irrégularité accrue des saisons humides, compromettant la recharge des nappes et la régénération végétale. Ces perturbations hydroclimatiques expliquent en partie la dégradation des écosystèmes observée : les forêts galeries, particulièrement sensibles aux déficits hydriques, ont perdu 15,9% de leur superficie (1988-2022), tandis que les savanes arbustives - mieux adaptées à l'aridité - ont progressé de 7,4%. Cette dynamique climatique, couplée aux pressions anthropiques, crée un cercle vicieux : la réduction du couvert forestier accentue l'évapotranspiration locale, aggravant le stress hydrique.

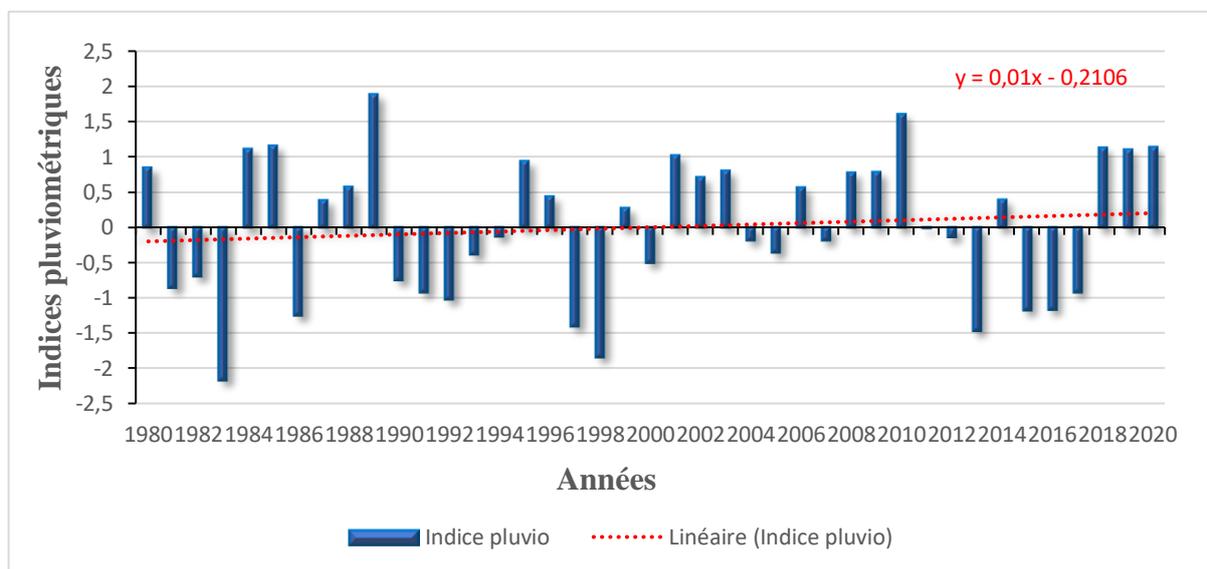


Figure 2 : Évolution de la population de M'bahiakro entre 1998 à 2021

L'application de l'indice de Birot révèle une domination marquée des conditions sèches dans le département de M'Bahiakro, avec 56% de mois secs (276 mois) contre seulement 44% de mois humides (216 mois) sur la période étudiée. Cette aridité s'exprime selon une saisonnalité bien marquée : les mois de juin à octobre concentrent l'essentiel de l'humidité (74% des mois humides), avec un pic en juin (37 mois humides/41 ans).

À l'inverse, la saison sèche s'étend rigoureusement de novembre à mars, où tous les mois affichent plus de 75% d'occurrences sèches (notamment janvier/février/décembre avec 100% de mois secs). Cette distribution climatique asymétrique constitue un facteur limitant majeur pour les écosystèmes végétaux. Deux impacts clés émergent : (1) la réduction de la période de croissance végétative à moins de 5 mois par an, entravant la régénération naturelle des espèces forestières, et (2) l'accentuation du stress hydrique pendant 7 mois consécutifs, favorisant l'expansion des savanes arbustives (+7,4% entre 1988-2022) au détriment des forêts galeries (-15,9%). Ces données confirment que la sécheresse chronique, plus qu'un simple aléa climatique, représente une contrainte structurelle expliquant la transformation irréversible des paysages végétaux.

Tableau 4 : Fréquence de l'état des mois de 1980-2020 selon l'indice de Birot

Etat des mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total	%
Humides(H)	0	0	9	30	36	37	23	12	32	33	4	0	216	44
Secs(S)	41	41	32	11	5	4	18	29	9	8	37	41	276	56

L'analyse des températures à M'Bahiakro met en lumière un régime thermique bimodal qui a des implications significatives pour les écosystèmes locaux et la gestion des ressources naturelles. Deux pics annuels distincts de température sont observés : le premier, un maximum principal en février, atteint 29,47 °C, tandis qu'un maximum secondaire en novembre affiche 25,51 °C. Cette configuration thermique révèle des phases distinctes qui influencent profondément la dynamique environnementale de la région. La première phase, qui s'étend de février à mai, est marquée par des températures élevées comprises entre 28 et 30 °C, coïncidant avec la fin de la saison sèche. Cette période représente un stress thermique important pour la végétation, exacerbant le stress hydrique des plantes qui peinent à s'adapter à ces conditions extrêmes. En effet, les températures maximales observées durant cette période aggravent la déshydratation des sols et des plantes, rendant la survie de nombreuses espèces végétales de plus en plus précaire. La seconde phase, allant de septembre à novembre, présente des températures légèrement plus modérées (26-27 °C) mais demeure critique, notamment en raison de l'accélération de l'évapotranspiration après la saison des pluies. En octobre-novembre, cette chaleur limite la recharge des sols, un facteur crucial pour le développement de la végétation et la régénération des ressources hydriques. Cette situation peut avoir des répercussions considérables sur l'écosystème local, car une recharge insuffisante des sols entraîne une diminution de la disponibilité en eau pour les plantes, aggravant la pression sur la biodiversité. Entre ces deux phases critiques, deux minima relatifs en juillet et août (24,5 °C et 24,8 °C respectivement) coïncident avec la saison des pluies. Bien que ces températures soient plus basses que celles des autres mois, elles représentent néanmoins un défi pour la végétation. En effet, les températures minimales, qui restent élevées même durant la saison "fraîche", indiquent une réduction du temps de récupération pour les espèces végétales, les rendant plus susceptibles au stress climatique prolongé. Il est essentiel de noter que cette configuration climatique a conduit à une progression des savanes arbustives, qui ont augmenté de 7,4 % depuis 1988. Ces écosystèmes sont mieux adaptés aux fortes amplitudes thermiques et au stress hydrique que les forêts-galeries. Ce changement dans la couverture végétale est révélateur d'une adaptation naturelle des écosystèmes face aux conditions climatiques de plus en plus extrêmes. Cependant, cette transition pose la question de la résilience à long terme de la biodiversité dans la région.

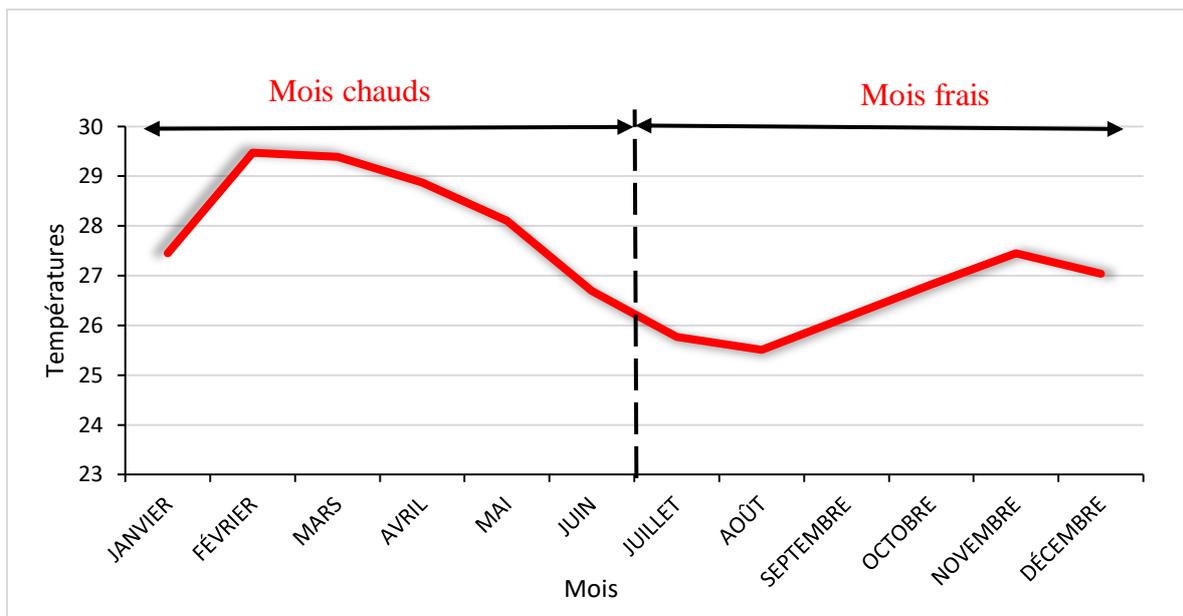


Figure 3 : Évolution mensuelle de la température dans le département de M'bahiakro (1980-2020)

L'analyse des températures à M'Bahiakro pour la période 1980-2020 indique une augmentation marquée, révélant l'impact du changement climatique sur la région. Pendant la période 1980-1999, 85 % des années étaient considérées comme fraîches, avec des températures généralement inférieures à la moyenne locale, tandis que seules 15 % des années enregistraient des températures élevées. En revanche, entre 2000 et 2020, un retournement significatif s'est produit, avec 80,95 % des années classées comme chaudes, dont 12 consécutives dépassant les normales saisonnières. Ce changement climatique, observé autour de l'an 2000, entraîne des conséquences écologiques préoccupantes, telles qu'un stress hydrique accru pour la végétation, une régression des forêts-galeries (-15,9 % depuis 1988) et une expansion des savanes arbustives (+7,4 %), qui sont mieux adaptées aux fortes chaleurs.

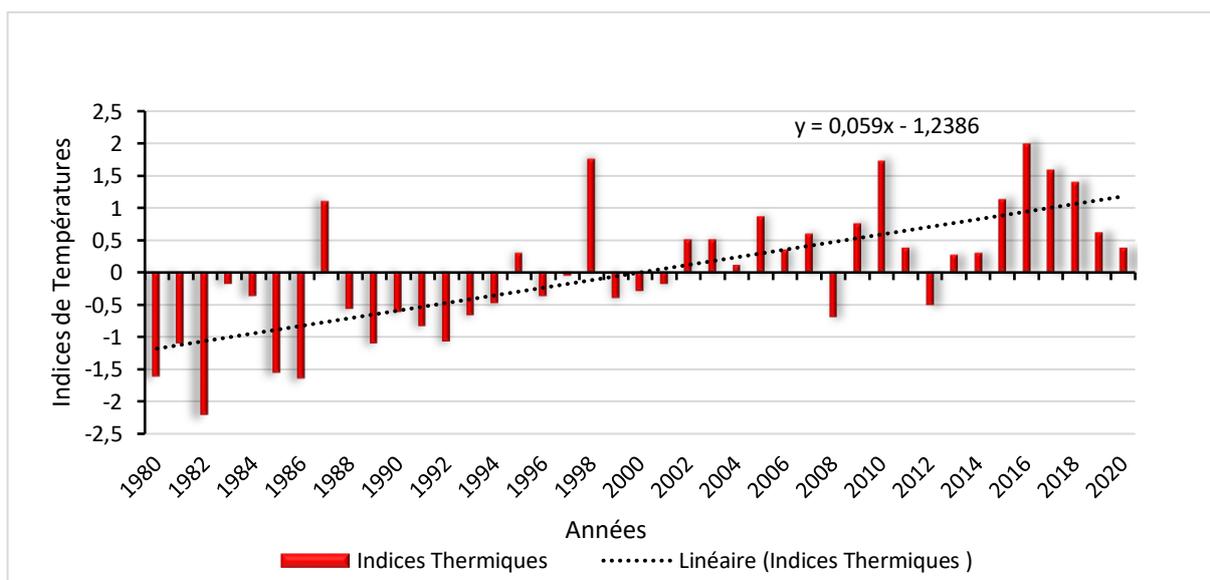


Figure 4 : Évolution interannuelle de l'indice thermique dans le département de M'bahiakro (1980-2020)

Ces résultats soulignent la nécessité urgente d'adapter les pratiques agroforestières, notamment en intégrant des espèces résilientes et en améliorant la gestion de l'eau pour atténuer les impacts de ce réchauffement.

L'analyse de l'évapotranspiration potentielle (ETP) à M'Bahiakro met en évidence une transition hydrique majeure, découpée en deux phases distinctes. La première phase, de 1980 à 2001, est caractérisée par un déficit hydrique marqué, avec des valeurs d'ETP positives variant de +2,14 mm en 1982 à +0,04 mm en 1997, indiquant des conditions arides et une forte évapotranspiration. En revanche, la période de 2002 à 2020 se distingue par un excédent hydrique, avec des valeurs négatives allant de -1,97 mm en 2016 à -0,11 mm en 2004, témoignant d'une humidité accrue. Cette inversion, illustrée par une tendance linéaire ($V = -0,0584x + 1,227$), suggère une modification significative des régimes hydriques à partir des années 2000. Les extrêmes climatiques sont particulièrement marquants, l'année 1982 étant le pic d'aridité, tandis que 2016 est l'année la plus humide. Ces fluctuations résultent de l'interaction complexe entre la pluviométrie et la température, affectant les écosystèmes locaux. Ainsi, durant la première période, les ETP élevées ont exacerbé le stress hydrique, provoquant la dégradation des sols et la régression des forêts-galeries, tandis que la seconde période, bien que plus humide, a maintenu une pression intermittente sur la végétation.

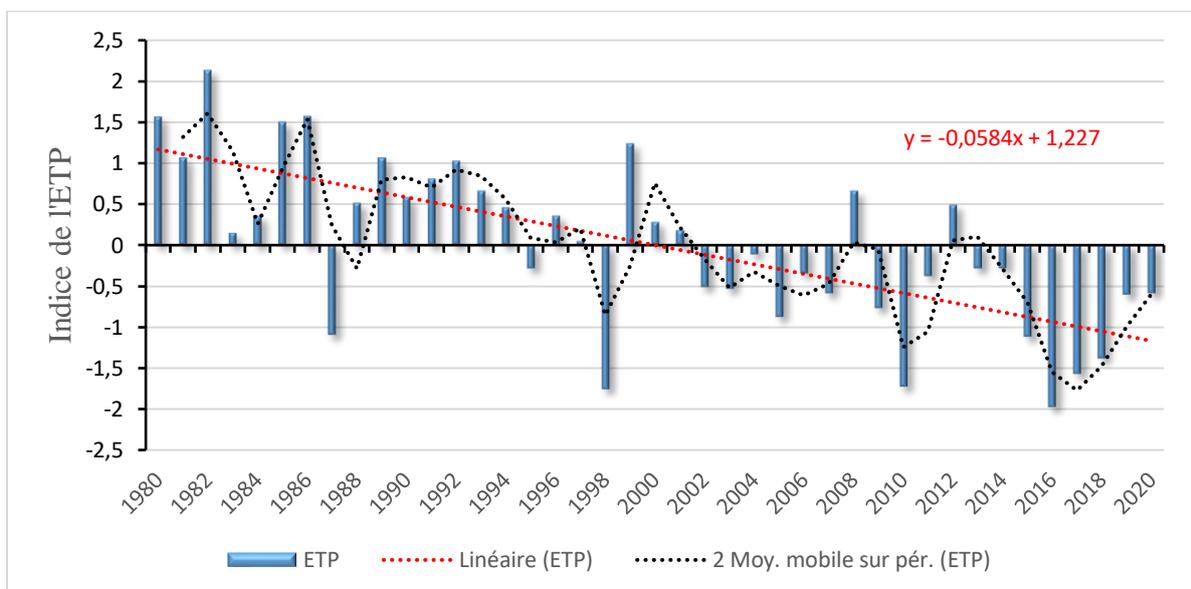


Figure 5 : Évolution interannuelle de l'ETP dans le département de M'bahiakro

L'étude des régimes hydrométriques à M'Bahiakro, selon la méthode de Franquin et Cochère (1976), révèle une fragmentation marquée du cycle végétatif en quatre périodes distinctes. La première, les périodes sèches (décembre à février), est caractérisée par un déficit hydrique critique ($P < \frac{1}{2}ETP$) qui entraîne une décroissance végétative active, se traduisant par une perte foliaire, un dessèchement des branches et même une mortalité des plants. Ces conditions extrêmes, qui s'étendent sur 25 % de l'année, constituent un goulot d'étranglement écologique majeur. La seconde phase, les périodes pré-humides (mars, août, octobre), montre une reprise timide de l'activité végétale, bien que cette phase soit particulièrement courte en mars (un mois) et insuffisante pour compenser les stress précoces.

En revanche, les périodes humides (avril, juin, septembre) offrent des conditions optimales ($P > ETP$) pendant seulement trois mois, avec un pic en juin où les besoins hydriques sont pleinement satisfaits. Enfin, les périodes post-humides (juillet, novembre) annoncent la saison sèche avec une réduction progressive de la disponibilité en eau, limitant la maturation des plantes. Ce cycle de croissance comprimé, ne laissant que cinq mois favorables sur douze, explique la transformation des paysages en formations xérophiles, soulignant ainsi la nécessité d'adopter des espèces adaptées aux stress hydriques intermittents et d'implémenter des techniques de rétention d'eau ciblant les périodes critiques.

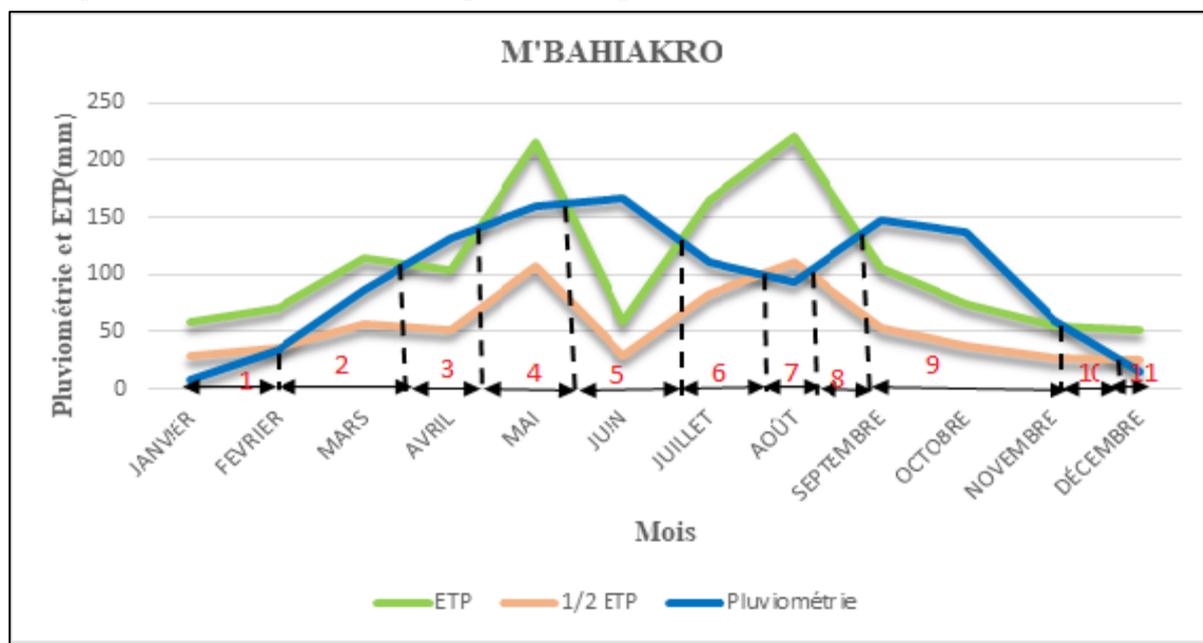


Figure 6 : Évolution mensuelle des saisons végétales dans le département de M'bahiakro

1, 7, 11 : périodes sèches 2, 4, 8 : périodes pré-humides 3, 5, 9 : périodes humides 6, 10 : périodes post-humides

4 Discussion

Les analyses réalisées dans le département de M'Bahiakro révèlent une transformation profonde des écosystèmes végétaux, influencée par des facteurs anthropiques et hydroclimatiques étroitement interconnectés. En ce qui concerne les pressions anthropiques, les activités humaines constituent le principal moteur de mutation des paysages. L'expansion démographique, qui a atteint 81 094 habitants en 2014, a accru la demande en terres agricoles, entraînant une conversion massive des forêts en terres cultivées, avec une augmentation de 202 % des milieux anthropisés entre 1988 et 2022. De plus, des pratiques telles que l'orpaillage clandestin et l'exploitation forestière pour la production de charbon ont fragmenté les écosystèmes, tandis que les feux de brousse récurrents (1984, 2002, 2015) ont altéré la régénération naturelle des forêts. Ces observations sont en accord avec les travaux de Courouble et al. (2021), qui mettent en avant l'impact de l'intensification agricole sur les paysages dans les régions en développement, confrontées à une croissance démographique rapide (9,7 milliards d'habitants projetés par l'ONU en 2050). Parallèlement, les facteurs hydroclimatiques aggravent cette situation : la baisse des précipitations (-0,21 mm/an) et l'augmentation des températures (+1,2 °C depuis 1990) réduisent la résilience des écosystèmes.

Cette interaction entre déforestation et aridification climatique crée un cercle vicieux où la réduction du couvert végétal amplifie l'évapotranspiration locale, favorisant la désertification. Pour contrer ces dynamiques, des stratégies intégrées sont nécessaires, incluant la régulation des fronts pionniers agricoles, la restauration des corridors écologiques et une adaptation proactive aux changements climatiques. Cette étude souligne l'importance d'une approche holistique pour préserver les écosystèmes de M'Bahiakro tout en conciliant sécurité alimentaire et durabilité écologique. Ensuite, selon L'étude sur la dégradation des terres dans les zones arides et semi-arides du Cameroun, réalisée dans le cadre des Objectifs de Développement Durable (ODD) de l'Agenda 2030, offre un cadre analytique pertinent pour appréhender les dynamiques similaires observées à M'Bahiakro. Cette recherche met en lumière plusieurs facteurs interdépendants qui contribuent à la transformation des paysages, révélant des mécanismes de dégradation aux conséquences multiples. Parmi ces facteurs, l'exploitation forestière se distingue comme un moteur majeur de cette dégradation. Au Cameroun, comme à M'Bahiakro, la dépendance aux ressources ligneuses pour la production de bois de chauffe et de charbon de bois représente environ 80 % des besoins énergétiques des ménages ruraux. Cette situation entraîne une perte annuelle estimée à 3 % du couvert forestier, et favorise la fragmentation des écosystèmes. Ce cercle vicieux se renforce à mesure que la raréfaction des ressources forestières entraîne une pression accrue sur les zones restantes, accélérant la dégradation. En parallèle, la pression démographique constitue un autre facteur critique. Dans le nord du Cameroun, le taux de croissance de 2,8 % par an entraîne une compétition accrue pour les ressources naturelles. Cette croissance démographique est particulièrement préoccupante : depuis 1990, les terres disponibles par habitant ont diminué de 40 %, tandis que les pratiques agricoles se sont intensifiées, entraînant une baisse des rendements agricoles de 25 % sur les mêmes parcelles. Cette dynamique s'accompagne de mouvements migratoires complexes, où environ 15 % de la population de l'Extrême-Nord a été contraint de migrer vers des zones plus fertiles, exacerbant la pression sur les écosystèmes. Les populations déplacées, souvent en situation de précarité, adoptent des stratégies de survie telles que la carbonisation et l'agriculture sur brûlis, qui aggravent encore la dégradation des terres. Les pratiques agricoles non durables représentent une autre dimension de cette problématique. L'étude camerounaise met en lumière plusieurs techniques culturelles destructrices, notamment le labour dans le sens de la pente, qui est responsable de 60 % des pertes de sol, et les monocultures intensives qui appauvrissent les sols. De plus, l'utilisation excessive d'intrants chimiques entraîne la contamination de 35 % des nappes phréatiques, une réduction de 40 % de la biodiversité des sols, et la formation de zones mortes dans les cours d'eau. L'empiètement sur les zones sensibles est également préoccupant, avec 25 % des berges de cours d'eau converties en terres agricoles et une disparition de 60 % des galeries forestières riveraines. Les feux de brousse non contrôlés constituent une menace supplémentaire. Ces feux, souvent allumés pour défricher des terres, émettent environ 5 tonnes de CO₂ par hectare brûlé et entraînent une réduction de 30 % de la matière organique des sols, tout en détruisant 50 % de la régénération naturelle. L'exploitation minière artisanale aggrave encore la situation en créant des paysages lunaires, avec 5 à 10 trous par hectare, polluant les sols et les eaux avec des substances toxiques comme le mercure et le cyanure, et désorganisant les systèmes hydrologiques locaux. Les implications pour M'Bahiakro sont claires : les parallèles entre les situations camerounaise et ivoirienne appellent à des pistes d'action communes.

Des approches intégrées s'imposent, telles que le développement de systèmes agroforestiers combinant arbres et cultures, ainsi que la promotion de foyers améliorés qui peuvent réduire jusqu'à 60 % la consommation de bois. La mise en place de comités villageois pour la gestion des ressources naturelles pourrait également renforcer la coopération locale. La restauration écologique doit être au cœur des stratégies, avec des programmes de reboisement ciblant des espèces locales résilientes, la protection et la régénération des berges de cours d'eau, et la création de corridors écologiques pour favoriser la biodiversité. En parallèle, le renforcement des cadres législatifs et l'implication des communautés locales dans la gestion des ressources sont essentiels pour garantir la durabilité des initiatives. L'adaptation aux changements climatiques est également cruciale. Il est nécessaire d'introduire des cultures résistantes à la sécheresse et de mettre en place des systèmes de collecte et de stockage des eaux de pluie, ainsi que des pratiques de conservation des sols pour maintenir la fertilité. Cette analyse comparative souligne l'urgence d'adopter des approches holistiques qui intègrent les dimensions écologiques, sociales et économiques de la gestion des paysages. Les leçons tirées de l'expérience camerounaise peuvent éclairer les stratégies d'intervention à M'Bahiakro, tout en tenant compte des spécificités locales. La mise en œuvre de ces solutions nécessitera un engagement politique fort, des investissements substantiels, et une collaboration étroite entre tous les acteurs concernés. Seule une approche intégrée et participative permettra d'inverser les tendances actuelles de dégradation et d'assurer la durabilité des écosystèmes pour les générations futures. Ainsi, la préservation des écosystèmes de M'Bahiakro ne sera pas seulement une nécessité environnementale, mais également un impératif social et économique pour garantir la sécurité des populations locales face aux défis croissants du changement climatique et de la dégradation des ressources naturelles.

5 Conclusion

Cette étude révèle que la dégradation des écosystèmes végétaux dans le département de M'Bahiakro résulte d'une combinaison de pressions anthropiques et hydroclimatiques, avec une prédominance des facteurs humains. Les activités telles que les feux de brousse, l'exploitation forestière, l'orpaillage clandestin et l'expansion agricole exercent une pression directe et accélérée sur le couvert végétal, perturbant les cycles naturels (photosynthèse, régulation hydrique). Les pratiques de défrichage et l'abattage des arbres matures réduisent la résilience des écosystèmes, tandis que l'utilisation intensive du bois (charbon, énergie domestique) aggrave la fragmentation des habitats. Parallèlement, les variations hydroclimatiques – baisse des précipitations, hausse des températures et augmentation de l'évapotranspiration – amplifient ces effets. Les sécheresses récurrentes et l'aridification des sols limitent la régénération végétale, conduisant à la disparition d'espèces sensibles. Face à ces défis, des mesures intégrées s'imposent : régulation des pratiques destructrices, promotion de l'agroforesterie, et restauration des zones dégradées. Une gestion durable des ressources, associée à des stratégies d'adaptation climatique, est essentielle pour préserver les écosystèmes et garantir leur pérennité face aux changements globaux.

REFERENCES

- [1] **Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER)**, 2022, Données agroclimatiques du Centre-Est ivoirien
- [2] **ALOKO N'guessan Jérôme, KOUADIO Yao Daniel**, 2015, Dynamique démographique et économique, facteurs déterminants de la croissance spatiale des villes du département de Soubré (Côte d'Ivoire), *European scientific journal*, édition vol, No 26, pp 180-199.
- [3] **AMALAMAN Marc Auriol**, 2018. Dynamique hydroclimatique et la problématique de l'eau potable dans le bassin versant de la loka, Mémoire de Master, Hydroclimatologie, 135 p.
- [4] **ASSEMIAN Assiè Emile, KOUAME N'guessan Marie Mireille, KOUDOU Aimé, DJAKO Arsène, KOFFI Brou Emile**, 2018 : Etude dynamique des formations végétales du département de m'bahiakro, région préforestière du Centre-Est de la Cote d'ivoire par télédétection, 114 p
- [5] **BIGOT Sylvain, BROU Yao Telesphore, BONNARDOT Valérie, SERVAT Éric**, 2002 : Stabilité interannuelle des régimes pluviométriques en Côte d'Ivoire sur la période 1950-1996, *in publications of the international Association of Hydrological Sciences*, 274, pp. 507-514
- [6] **DIBY Hose Prunel**, 2020. Analyse de l'évolution climatique sur les ressources en eau dans le département de Bouaké (Centre de la Côte d'Ivoire). Mémoire de Master. Hydrogéologie, 104p.
- [7] **DJOUFACK Manetsa Viviane, BROU Yao Telesphore.; FONTAINE Bernard, TSALEFAC Maurice**, 2011 : Variabilité intrasaisonnière des précipitations et de leur distribution: Impacts sur le développement du couvert végétal dans le Nord du Cameroun (1982–2002), *in Sécheresse*, pp 159-170
- [8] **FAO, 2012** : Situation des forêts du monde, *organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome (2012)*, p 66
- [9] **Institut National de la Statistique (INS)**, 2021, RGPH 2021 - Rapport régional du Iffou
- [10] **MOREL Julien**, 2007. Les ressources en eau sur terre origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique, 26 p.
- [11] Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2020). État des forêts en Afrique de l'Ouest
- [12] **VISSIN Expédit Wilfrid**, 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat hydroclimatologie, Université de Bourgogne centre de Recherches de climatologie – CNRS –UMR 5210. tel-00456097, version 1 – 11 Feb 2010, 285 p.
- [13] **YAO Télesphore Brou, AKINDÈS Francis, BIGOT Sylvain**, 2005. La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perception sociales et réponses agricoles, cahier Agricultures vol. 14 n°6, novembre-décembre, 8 p.