

Modification du régime des précipitations et risque de stress hydrique des formations végétales en zone de forêt dense humide ivoirienne

Yao Téléphore BROU

IGT - Abidjan

Résumé : Le milieu naturel de la moitié sud de la Côte d'Ivoire est présenté classiquement comme une forêt dense humide à deux variantes : le secteur ombrophile ou forêt dense humide sempervirente au sud et le secteur mésophile ou forêt dense humide semi-décidue dans la partie septentrionale de la zone forestière. L'existence de ces écosystèmes forestiers, à l'instar des autres régions du monde tropical humide, est liée à des climats équatoriaux ou subéquatoriaux à forte pluviosité. De ce fait, tout changement dans les ressources en eau disponibles est capable d'affecter leur fonctionnement. Or, depuis plus de vingt-cinq ans, le contexte pluviométrique de la Côte d'Ivoire forestière s'est considérablement dégradé. La modification du régime des précipitations s'est traduite plus nettement par une diminution brutale des quantités d'eau précipitées. Cette diminution des ressources en eau, enregistrée au cours des dernières décennies, est susceptible d'affecter l'équilibre de la forêt dense humide en Côte d'Ivoire. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer les incidences des changements climatiques actuels sur la végétation dans cette région. L'étude du bilan hydrique permet à ce propos d'estimer le stress hydrique des formations végétales dans le contexte climatique actuel. Les données NDVI sont également utilisées. Elles permettent, à partir des mesures du rayonnement électromagnétique, de caractériser les états de surfaces (densité de feuillage, activité chlorophyllienne). Les résultats de l'analyse montrent que les effets de la baisse importante des précipitations au cours de ces dernières décennies sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers sont encore à relativiser du fait de l'alternance d'années fortement déficitaires et d'années faiblement déficitaires. Toutefois des risques d'aggravation existent à cause de la forte pression anthropique qui favorise soit le remplacement du couvert végétal par des plantations ou des cultures annuelles ou par des espèces de colonisation, soit la mise à nu de sols dégradés.

Mots-clés : Forêt tropicale. Dégradation. IVN. Bilan des précipitations.

Abstract : South part of Ivory Coast is a tropical forest zone. This forest is in two parts : wet tropical forest in the south of the zone and dry forest in the north of this zone. The repartition of these two kinds of forest is linked to tropical climate. Thereby, all changes in available water resources can modify forest ecosystem. This problem and especially the decrease, and sometimes the lack, of precipitation has begun for about twenty five years. This involves disturbances and even recession of forested areas. The aim of this study is to evaluate impacts of actual climatical changes on forested areas. To achieve it, we both use NOAA-AVHRR data transform into Normalized Difference Vegetation Index and rain water budget to shows how rainfall decrease can alterate forest ecosystem. We also deal with impact of anthropic factor on forest ecosystem evolution such as crops extension.

Key words : Tropical forest. Forest recession. NDVI. Rainfall budget.

Introduction

Les bioclimats actuels permettent de distinguer, dans la moitié sud de la Côte d'Ivoire, une zone de forêt dense humide. Le fonctionnement de ces écosystèmes est lié à des conditions de pluviométrie abondante et à l'importance des ressources en eau du sol. Or, depuis plus de 25 ans, cette région, comme l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, subit un déficit pluviométrique important (Paturel et al, 1995 ; Servat et al, 1997). Ce constat pose avec acuité le problème de la disponibilité des ressources en eau pour le maintien de l'équilibre de l'écosystème forestier tropical humide en Côte d'Ivoire, déjà entamé par la forte pression anthropique.

I - ÉVOLUTION DE LA PLUVIOMÉTRIE DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN

L'étude concerne 28 stations pluviométriques couvrant assez bien le milieu forestier ivoirien. Celles-ci ont été retenues parce qu'elles présentent l'information la plus longue et la plus complète possible. Les traitements ont été principalement effectués sur les hauteurs pluviométriques annuelles des décennies cinquante à quatre-vingt.

Pour analyser l'évolution de la pluviométrie, nous avons utilisé l'indice Nicholson (Servat, 1994 ; Nicholson et al., 1988). Il s'agit d'une variable centrée réduite calculée sur les hauteurs annuelles de précipitations : $(x_i - m/s)$, avec :

x_i : hauteur annuelle précipitée l'année i au poste considéré ;

m : hauteur moyenne annuelle précipitée sur la période 1950-90 au poste considéré ;

s : écart-type des hauteurs annuelles précipitées sur la période 1950-1990 au poste considéré.

La figure 1 présentent pour le sud forestier ivoirien des zones d'isovaleurs d'indices pluviométriques au cours des 4 dernières décennies. Les indices positifs (en bleu sur la figure) indiquent des excédents pluviométriques, les indices négatifs (en rouge) traduisent au contraire des déficits. Comme d'autres études l'ont montré (Patuel et al., 1995 ; Servat et al., 1997 ; Brou et al., 1998), dans le sud forestier ivoirien, comme ailleurs en Afrique de l'Ouest et centrale, la pluviométrie annuelle a notablement diminué durant les quatre décennies considérées.

Pour la **décennie 1950-1959**, on note un très léger déficit circonscrit aux seuls secteurs d'Agnibilekro (à l'Est) et de Guiglo (à l'Ouest). Partout ailleurs, une tendance excédentaire est observée qui peut être marquée à certains endroits. Il s'agit surtout de l'espace compris entre Grand-Lahou et Lakota.

La **décennie 1960-1969** est caractérisée par une situation proche de la moyenne. Les secteurs à pluviométrie excédentaire ne le sont que faiblement et ceux à pluviométrie déficitaire ne présentent des indices pluviométriques que faiblement négatifs. L'extrême Sud-Ouest du pays (Tabou) constitue une exception avec un déficit important. Globalement, on peut signaler une tendance au déficit sur le littoral (en dehors d'Adiaké).

Au cours de la **décennie 1970-1979**, on assiste à une généralisation du déficit sur l'ensemble de la zone d'étude, le point culminant étant centré sur Soubré. Toutefois quelques secteurs échappent à cet important déficit pluviométrique : Tabou (extrême Sud-Ouest), Toulepleu et Guiglo dans l'Ouest du pays.

Les **années quatre-vingt** présentent toujours une tendance déficitaire sur la presque totalité du sud forestier. Le maximum est enregistré sur le littoral, d'Adiaké à Sassandra ainsi que leurs environs. Les excédents enregistrés sont très légers et ne concernent que Tabou (coin sud-ouest) et Abengourou (Est).

Une baisse importante des hauteurs pluviométriques est donc intervenue sur la majeure partie du sud forestier ivoirien, plus faiblement cependant à l'extrémité ouest de la région étudiée.

II - ÉVALUATION DU STRESS HYDRIQUE DU SYSTÈME FORESTIER IVOIRIEN AU COURS DE LA DÉCENNIE 1980-1989

A - Bilan climatique

En se référant à Eldin (1971 in Avenard et al., 1971) et à Monteny (1987), on peut exprimer le stress hydrique d'un couvert végétal de la façon suivante (les quantités annuelles ne donnant pas une idée de la distribution temporelle, le pas de temps sera ici mensuel).

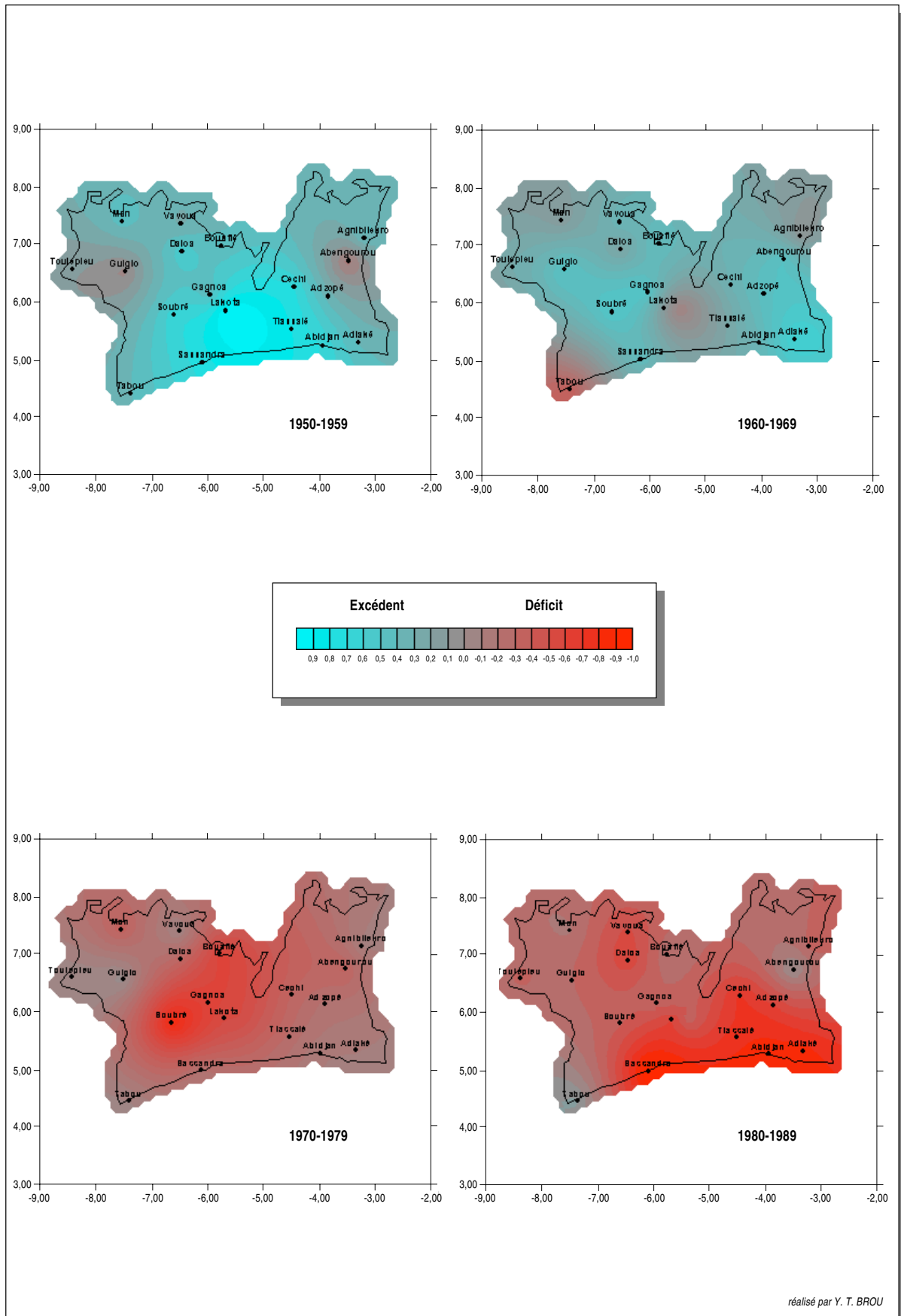


Fig. 1 : Sud forestier ivoirien - Cartographie des courbes d'isovaleurs d'indices pluviométriques pour les décennies 1950-1959, 1960-1969, 1970-1979 et 1980-1989

$$P_i - ETP_i = Bci$$

où

P_i = précipitations du mois i ,

ETP_i = évapotranspiration potentielle du mois i

Bci = bilan climatique du mois i

Toutes les composantes sont exprimées en millimètres d'eau.

L'ETP est définie comme la demande climatique de vapeur d'eau. Son estimation est faite à partir des formules basées sur un ou plusieurs éléments climatiques. Parmi ces formules, les plus utilisées sont celles de Turc, de Thornthwaite et de Penman. La formule de Penman nous semble la plus complète dans la mesure où elle intègre toutes les caractéristiques climatiques.

Son expression est :

$$ETP = (\Delta RN + \gamma Ea) / \Delta \gamma$$

Dans cette formule, l'ETP est exprimée en millimètres d'eau. RN représente le rayonnement net, Ea le pouvoir évaporant de l'air et γ : constante psychrométrique.

À partir de l'ETP et des précipitations, on pourra ainsi établir l'état hydrique du couvert forestier aux différentes périodes de l'année. La méthode est la suivante : $P_i - ETP_i = Bci$

Si $Bci > 0$: il n'y a pas de stress hydrique, donc la forêt est bien alimentée en eau ;

Si $-80 \leq Bci \leq 0$: le bilan est équilibré. Il n'y a pas de sécheresse, car le stock hydrique contribue à l'évapotranspiration.

On considère les 80 mm comme le stock hydrique, constitué après la grande saison pluvieuse d'avril à juillet (Monteny, 1988).

Si $Bci < -80$: pour une durée de 1 mois, il n'y a pas d'effet sur le fonctionnement de la forêt ; pour une durée de 2 mois, il y a défoliation ; pour une durée supérieure à 2 mois, les effets sont importants si le phénomène se produit plusieurs années de suite.

Cinq stations de référence, assez bien réparties dans la zone d'étude et où sont effectués les relevés des variables permettant le calcul de l'ETP Penman, ont été examinées. Il s'agit des stations de : Abidjan (littoral), Agnibilekro (est), Guiglo (ouest), Daloa et Gagnoa (intérieur). Le comptage des mois déficitaires se fait du mois d'août de l'année en cours au mois d'août de l'année suivante, pour tenir compte de la constitution du stock hydrique après la saison pluvieuse d'avril à juillet. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

Stations	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Abidjan (littoral)	1	2	4	2	1	3	2	2	3	3
Agnibilekro (est)	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3
Daloa (intérieur)	2	3	6	2	1	2	1	2	4	4
Gagnoa (intérieur)	2	0	1	1	0	1	3	3	0	0
Guiglo (ouest)	2	2	4	2	1	3	1	1	2	2

Tableau 1: Récapitulatif du nombre de mois déficitaires par an au cours de la décennie quatre-vingt

Le bilan climatique du sud forestier ivoirien fait apparaître deux domaines :

* Un premier, restreint à l'est autour de la station d'Agnibilekro, où le bilan climatique mensuel présente un bloc d'années ayant un nombre de mois déficitaires important, allant de 3 à 4. Sur toute la décennie 1980-1989, aucune année n'est donc excédentaire pendant les 12 mois et la différence "pluviométrie-ETP" est importante pendant les mois secs. Ces écarts sont en effet encaissés par rapport au stock hydrique surtout pendant les mois de janvier, février, novembre et décembre, où ils excèdent facilement les 80 mm.

* Le second domaine s'étend sur le reste de la zone d'étude où des années à nombre de mois secs important alternent avec des années à nombre de mois secs faible :

- à Gagnoa dans le Centre-Ouest, en dehors des années 1986 et 1987 qui ont des déficits durant 3 mois, toute la décennie présente des années à nombre de mois déficitaires inférieur ou égal à 2 ;
- à Guiglo dans l'Ouest, au cours de la décennie 1980-1989, en dehors de 1981, 1982 et 1986, le nombre de mois déficitaires est inférieur ou égal à 2. Certaines années (1985 et 1987) présentent des excédents pendant les 12 mois ;
- à Abidjan sur le littoral, 4 années présentent un nombre de mois déficitaires important (1982, 1985, 1988 et 1989). Le reste de la décennie ne présente pas plus de 2 mois de déficit par an ;
- à Daloa, seules 4 années (1981, 1982, 1988 et 1989) ont un nombre important de mois déficitaires. Sur le reste de la décennie, les mois déficitaires ne dépassent pas 2 au cours de l'année.

B - Analyse des NDVI (Indice de Végétation Normalisé)

La réponse du couvert à la diminution des précipitations peut être également appréciée par l'analyse des NDVI. Fourni par le satellite NOAA/AVHRR, ceux-ci permettent à partir des mesures du rayonnement électromagnétique de caractériser les états de surfaces : densité de feuillage, activité chlorophyllienne. Les deux images présentées sur la figure 2 correspondent à deux synthèses temporelles décennales. Chaque synthèse consiste à ne conserver, à partir des images, que les pixels "clairs" c'est-à-dire dénués de présences nuageuses. Ce travail est réalisé à l'aide d'un masque nuageux calculé sur chaque image.

La phénologie du couvert forestier ivoirien a ainsi été analysée au cœur de la grande saison sèche (janvier), pour deux périodes différentes : la période anormalement sèche de 1982/1983 et celle excédentaire de 1989/1990 (Fig. 3).

Le mois de décembre 1983 est marqué par de faibles valeurs de NDVI (inférieures à 0,5 contre 0,8 en moyenne pendant la saison humide). Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans la partie est de la zone d'étude (déjà très déforestée) avec des NDVI quelquefois inférieurs à 0,3. Cette situation traduit une baisse notable de l'activité chlorophyllienne au cours de la grande saison sèche de cette période.

À l'inverse, l'activité chlorophyllienne intervient significativement pendant la saison sèche de 1990 sur la quasi-totalité de la zone forestière. À l'exclusion de quelques secteurs très isolés (notamment dans l'Ouest), les valeurs sont supérieures à 0,5 et atteignent facilement 0,7 à 0,8.

L'analyse du bilan climatique et des NDVI fait ainsi apparaître au cours de la décennie 1980-1989 des années à saison sèche très marquée, caractérisées par un nombre de mois déficitaires important et par la forte intensité du déficit annuel.

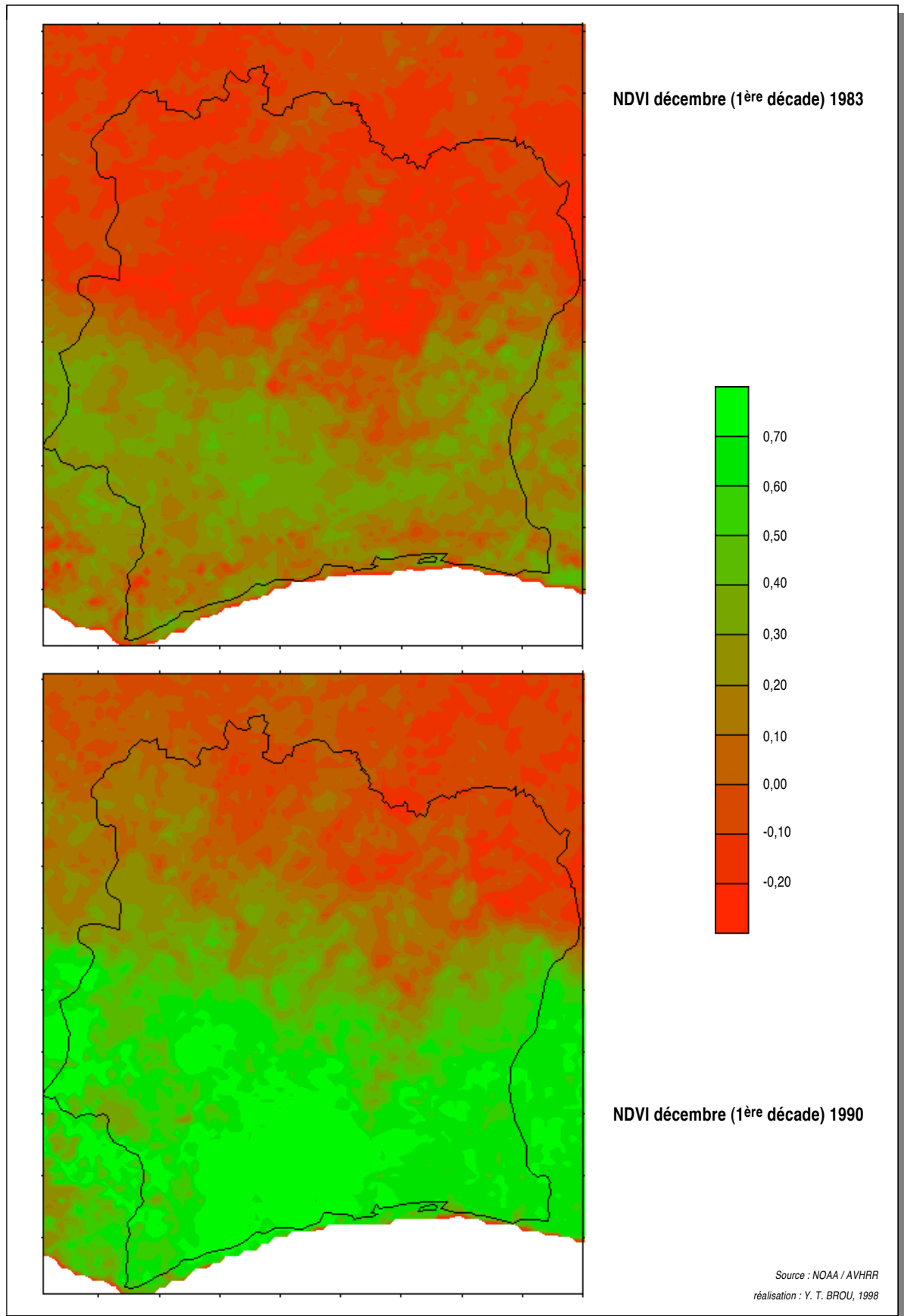


Fig. 2 : Situation des NDVI en saison sèche au cours d'une année déficitaire (1983) et d'une année excédentaire (1990 en Côte d'Ivoire)

Toutefois, si dans la partie nord-est de la zone d'étude cette situation est susceptible de provoquer des stress hydriques à cause de la grande fréquence des années à nombre de mois déficitaires important, il n'en est pas de même pour le reste du domaine de la forêt dense humide ivoirienne. En effet, sur la majeure partie de ce territoire forestier, des années à déficits importants sont relayées par des années à déficits faibles. Ce qui permet de dire que la forêt est encore bien alimentée, dans la mesure où le stock hydrique constitué pendant les années à déficits faibles contribue à l'évapotranspiration.

III - LE RÔLE DE L'ACTIVITÉ HUMAINE DANS LA MODIFICATION DU FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYTEMES FORESTIERS TROPICAUX IVOIRIEN

A - Densification du milieu et dégradation rapide du couvert forestier

Les milieux forestiers ont connu au cours des années soixante à quatre-vingt, un boom cacaoyer qui a servi de moteur à l'ensemble de l'économie ivoirienne. Généralement peu peuplés, parfois vides d'hommes à certains endroits au moment de l'indépendance agricole, ces espaces forestiers ont été l'objet d'un vaste mouvement de colonisation. Pour contourner la tendance à la baisse de la productivité, liée au vieillissement des plantations, la société agraire s'est jusqu'à présent reproduite par l'intermédiaire de la migration et le déplacement d'une partie de la population sur la frontière agricole. Une conséquence en est la diminution rapide de la couverture forestière. Entre 1955 et 1993, la superficie totale des zones forestières non soumises à l'agriculture a régressé de 6,8 millions d'hectares dans la zone d'étude, passant de 8,3 à 1,5 millions d'hectares (Fig. 3).

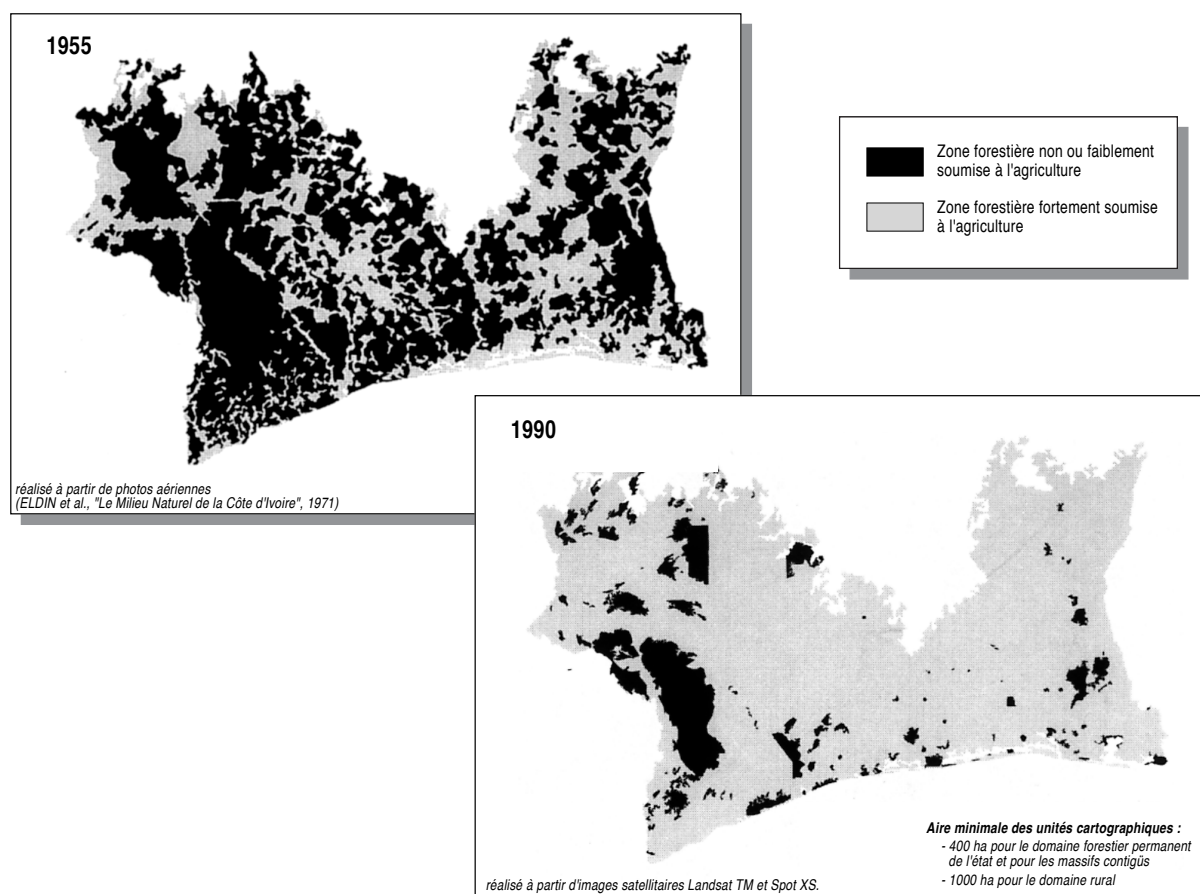


Fig. 3 : Massifs de forêts denses humides en Côte d'Ivoire

La mise en valeur rapide des terres concerne également l'exploitation forestière (grume), les produits agro-industriels (hévéa, palmier à huile, cocotier, banane poyo, ananas, agrumes à essences) et les cultures vivrières.

B - Mise en place de milieux ouverts sensibles à la sécheresse

*1 - Peuplement presque monospécifique de *Chromoleana odorata* (plante buissonnante)*

L'extension de plantations caféières et cacaoyères ainsi que de cultures vivrières entraîne par la suite la formation d'un autre peuplement presque monospécifique de "*Chromoleana odorata*" (plante buissonnante). Introduite comme plante de couverture au début des années cinquante, cette composée a envahi l'ensemble du sud forestier ivoirien à partir de 1975, dans le sillage des planteurs de cacao. "*Chromoleana odorata*" se caractérise par un pouvoir de dissémination, une croissance rapide et une forte production de biomasse, qui est maximale dès la troisième année de recrû. Elle s'impose à toutes les autres espèces sur des parcelles défrichées et incendiées tous les deux à trois ans.

2 - Les friches et "la brousse" forestière

Dans ce type de milieu, les strates supérieures sont claires et discontinues, les strates inférieures s'enrichissent en herbacées, plantules d'arbres et, surtout, en sous-ligneux très développés. De nombreuses plantes lianescentes s'élèvent au-dessus de cette masse végétale compacte jusqu'à 10-15 m de hauteur. La surface du sol se caractérise par la reconstitution d'une litière relativement épaisse, se décomposant assez bien.

Ces milieux ouverts sont caractérisés (tableau 2), à l'inverse de l'écosystème forestier tropical, par une faible hygrométrie, des températures journalières plus importantes à cause d'une luminosité plus importante et par une vitesse de vent plus grande. Toutes choses qui contribuent à augmenter la demande climatique (ETP) au-dessus de ces surfaces.

Microclimat	Plein champ	Forêt dégradée d'Anguededou	Hévéa
Hygrométrie moyenne	85,8 %	90 %	89 %
Hygrométrie maximum	100 %	100 %	100 %
Hygrométrie minimum	11 %	34%	30 %
Température moyenne	24°7	24°1	23°9
Température maximum	30°5	29°5	30°1
Température minimum	19°0	19°2	19°7
Evaporimètre moyenne mens	43,42 mm	26,2 mm	18,8 mm

Source : Horent, 1977

Tableau 2 : Modifications microclimatiques entre la forêt et les couverts cultivés dans la région d'Abidjan

Tant que les quantités d'eau précipitées annuellement suffisent pour compenser cette demande climatique, l'équilibre est maintenu. C'est pendant les années anormalement sèches que l'écart devient important entre la demande climatique de vapeur d'eau et les disponibilités en eau à la surface. Dans ces conditions, ces couverts végétaux ont tendance à restituer toute l'eau qu'ils ont reçue et donc à se dessécher. C'est l'exemple de la période sèche de 1982-1983 au cours de laquelle on a assisté à de

grands feux de brousses et des incendies de forêts et de plantations accompagnés d'une baisse drastique des productions agricoles.

Conclusion

Une baisse importante des hauteurs pluviométriques est globalement intervenue sur la majeure partie du sud forestier ivoirien depuis la fin des années soixante et l'analyse a montré que et durant les décennies 1970-1979 et 1980-1989, certains secteurs de la zone étudiée ont été extrêmement déficitaires sur le plan pluviométrique.

Les effets de cette réduction des quantités de pluies enregistrées au cours des dernières décennies, sur le fonctionnement du couvert forestier sont encore modestes, voire nuls dans certains cas. En effet l'étude des déficits hydriques révèle, qu'à l'exception d'un secteur peu étendu au Nord-Est de la zone d'étude où des années à forts déficits hydriques se succèdent, on note, partout ailleurs, une alternance des années à nombre de mois déficitaires important et des années où le déficit hydrique est faible et ne dépasse pas trois mois. On peut donc dire que la forêt dense humide ivoirienne est encore bien alimentée en eau. Toutefois, selon l'ampleur des modifications microclimatiques liées à la mise en valeur des terres, certaines formations peuvent se fragiliser à l'occasion d'une année exceptionnellement sèche ou d'une succession d'années déficitaires.

Bibliographie

- AVENARD J-M., GIRARD G, SIRCOULON J., TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET J.L., ADJONOHOUN E., PERRAUD A., 1971, *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, ORSTOM, 391 p.
- BROU Y., SERVAT E., PATUREL J-E., 1998, *Contribution à l'analyse des interrelations entre activités humaines et variabilité climatique : cas du sud forestier ivoirien*, Académie des sciences de Paris, Sciences de la terre et des planètes, pp. 833-838.
- HORENT P., 1977, *Remplacement de la forêt par des plantations de type industriel. Première approche des conséquences bioclimatiques*, Mémoire de maîtrise, Abidjan, 71 p.
- MONTENY B., 1988, *Contribution à l'étude des interactions végétation-atmosphère en milieu tropical humide*, Thèse d'État, Paris, 170 p.
- PATUREL J-E., SERVAT E., KOUAME B., BOYER J-F., LUBES H., MASSON J-M., 1995, La sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin), *Sécheresse*, vol. 6, n° 1, pp. 95-102.
- SERVAT E., PATUREL J-E., LUBES H., KOUAME B., OUEDRAOGO M., MASSON J-M., 1997, Variabilité climatique en Afrique humide le long du golfe de Guinée. Première partie : analyse détaillée du phénomène en Côte d'Ivoire, *Journal of Hydrology*, 191, pp. 1-15.