

INTERACTIONS VEGETATION-ATMOSPHERE ET LEURS IMPACTS SUR
LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES.

B.A.MONTENY et B.ZELLER.

Les études des échanges radiatifs et énergétiques se produisant entre un couvert végétal de grande superficie et la masse atmosphérique à son contact répondent entre autre à deux préoccupations :

- Sur le plan agronomique, la nécessité de comprendre les interactions sol-plante-atmosphère et leurs évolutions en fonction des phases phénologiques du système végétal cultivé ;

- Sur le plan climatique, l'estimation de l'impact des modifications physiologiques des couverts végétaux (transformation de la forêt en cultures annuelles puis en défriches) sur certains paramètres climatiques tels que la concentration en vapeur d'eau et la température de l'air, et leurs conséquences.

L'exemple de l'écosystème forêt dense humide en région équatoriale est caractéristique : les changements de la couverture forestière liés à la déforestation entraînent des modifications de certaines variables physiques du milieu comme l'humidité et la température de l'atmosphère.

Nous analyserons l'ensemble des échanges radiatifs et énergétiques qui contribuent à établir l'état d'équilibre biologique et climatique d'un système végétal, ce qui nous permet de préciser l'importance de l'impact des modifications que l'homme introduit, consciemment ou non.

Ces modifications, en effet, agissent directement sur les mécanismes fondamentaux par lesquels l'énergie solaire est absorbée, transformée, transférée et accumulée. Nous verrons

ensuite les conséquences probables de ces modifications physiologiques de l'écosystème forestier sur les cycles hydriques en Afrique de l'Ouest.

DESCRIPTION DES ECHANGES.

L'écosystème forestier d'Afrique de l'Ouest, et de Côte d'Ivoire en particulier, est soumis depuis plusieurs décades, à l'action accrue des hommes et du feu. Cette dégradation irraisonnée transforme la forêt. le nouvel état des échanges énergétiques entre le sol, la végétation et l'atmosphère, introduit des effets physiques qui influencent défavorablement les conditions climatiques et l'équilibre de l'écosystème.

Le bilan radiatif au-dessus d'un couvert végétal s'écrit :

$$R_n = R_g - R_r + R_a - R_t$$

R_n : rayonnement net ou énergie totale absorbée par la surface du couvert ;

R_g : rayonnement solaire global reçu ;

R_r : rayonnement réfléchi par la surface du couvert ;

R_a : rayonnement atmosphérique ;

R_t : rayonnement émis par le système sol-végétation.

Deux de ces termes, R_r et R_t , dépendent des caractéristiques de la couverture végétale et sont donc susceptibles de se modifier avec leur changement. Le tableau I donne un ordre de grandeur des variations mesurées au-dessus de divers types de végétation en zone équatoriale.

Tableau I : Variations de certains termes du bilan radiatif selon la couverture végétale pour une même valeur du rayonnement global.

	Forêt	culture	jachère/sol nu.
Rg (Wm-2)	600	600	600
Rr/Rg (%)	12 à 15	18 à 22	25 à 30
Ra-Rt (Wm-2)	-30	-110	-150
Rn/Rg (%)	72 à 76	65 à 71	55 à 60

Ainsi les changements physiologiques du couvert forestier induisent :

- au niveau du bilan radiatif, des modifications de la réflexion de l'énergie solaire incidente, et de la fraction d'énergie rayonnante émise par la surface végétale ;

- au niveau des échanges turbulents, un rééquilibrage des processus de transfert convectif : la réduction des évapotranspirations est compensée par une augmentation des échanges de chaleur.

En effet, la modification de la couverture végétale entraîne un changement de la quantité totale d'énergie absorbée R_n : le rapport R_n/R_g diminue en passant d'une surface forestière à une culture ou une jachère. Ainsi davantage d'énergie rayonnante est rétrocédée à l'atmosphère dont une partie sera perdue par le système terrestre.

Quant à la répartition de cette quantité d'énergie absorbée, elle se réalise selon les divers processus de transferts dont les plus importants concernent les échanges de chaleur latente et de chaleur sensible.

L'équation simplifiée du bilan d'énergie d'une surface végétale s'écrit :

$$R_n = L_*ETR + H + G$$

avec ETR correspondant à la fraction d'eau transférée par le système à l'atmosphère (évapotranspiration), et L : chaleur latente de vaporisation ; H : flux de chaleur sensible dissipée dans l'atmosphère et G : flux de chaleur conductif échangé avec le sol.

A l'interface végétation-atmosphère, l'état d'équilibre s'établira principalement entre les deux types d'échange de vapeur d'eau et de chaleur sensible. Le tableau II donne quelques exemples de la répartition énergétique mesurée entre les différents échanges se produisant au niveau des couverts végétaux.

Tableau II : Répartition énergétique de Rn selon les divers processus en fonction des conditions hydriques du sol et du couvert végétal (MONTENY et al. 1981, 1985)

Système végétal	Rn	LE	LE/Rn	H	H/Rn	H/LE	G	G/Rn
	Wm-2	Wm-2		Wm-2			Wm-2	
<u>forêt d'hévéa</u>								
sans stress	625	487	,77	116	,18	,23	22	,03
stress hydrique	538	196	,36	322	,59	<u>1,64</u>	20	,03
<u>culture de riz</u>								
sans stress	548	431	,78	90	,16	,21	28	,05
stress hydrique	506	311	,61	170	,33	,55	25	,05
<u>culture de manioc</u>								
sans stress	352	292	,82	18	,05	,06	52	,15
stress hydrique	316	181	,57	70	,22	,39	65	,21
<u>sol nu</u>	430	52	,12	236	,55	<u>4,50</u>	142	,33

Les valeurs des flux de chaleur latente des couverts végétaux en région humide dépendent de la fraction d'énergie solaire absorbée, Rn, de la disponibilité en eau dans le sol et du degré d'activité du système végétal. Le rapport H/LE ou rapport de Bowen traduit l'importance des échanges de chaleur sensible par rapport à ceux de vapeur d'eau. Ce rapport est relativement faible, compris entre 0 et 0,4 tant que l'eau dans

le sol est disponible ; il n'en va plus de même dès que la réserve hydrique du sol s'épuise ou que la surface du sol est nue et sèche, ce qui se traduit par un accroissement important de ce rapport dont les valeurs se rapprochent des conditions des régions sèches.

La comparaison entre un système végétal pérenne comme une forêt, et un système cultivé ne se développant que durant quelques mois de l'année, montre des modifications importantes des bilans énergétiques en liaison avec les caractéristiques des surfaces (cf. tableau III)

Tableau III : Estimation des déperditions d'eau par les différentes surfaces végétales en zone forestière de Côte d'Ivoire.

ANNEE VEGETATION	PLUIE mm	ETR mm	ETR/PLUIE
1969 forêt équator. à 1971 BANCO *	1800	1195	,66
1971 forêt équator. à 1973 YAPO *	1950	1425	,73
* bilan hydrique réalisé par HUTTEL (1975)			
1980			
<u>région TAI</u>			
forêt		calculée	
forêt	2066	1313	,63
culture+jachère	2066	821	,30
culture (4mois)	629	374	,59
<u>région YAMOOUSSOUKRO</u>			
forêt	1382	1025	,74
culture+jachère	1382	764	,55
culture	571	384	,67
<u>région DABOU</u>			
forêt	1135	1126	,99
culture+jachère	1135	664	,58
culture(4mois)	581	346	,60
1982			
<u>région TAI</u>			
forêt	1714	1257	,73
culture+jachère	1714	788	,46
culture(4mois)	581	346	,60
<u>région YAMOOUSSOUKRO</u>			
forêt	990	1026	1,13
culture+jachère	990	762	,76
culture(4mois)	514	433	,84
<u>région DABOU</u>			
forêt	2242	956	,42
culture+jachère	2242	525	,23
culture(4mois)	1802	378	,21

Ces changements peuvent avoir des conséquences significatives sur les cycles hydriques de la région. La forêt équatoriale est un système qui, grosso modo, garde son feuillage tout au long de l'année, tout comme les plantes pérennes arborées qui la remplacent progressivement (palmier, hévéa, caféier,....). La présence d'une canopée active contribue au maintien d'un certain équilibre des conditions microclimatiques et donc climatiques qui existaient précédemment avec la forêt équatoriale. L'activité biologique se poursuit, même s'il y a un ralentissement durant les périodes de stress hydriques.

PERTURBATIONS DES PARAMETRES CLIMATIQUES.

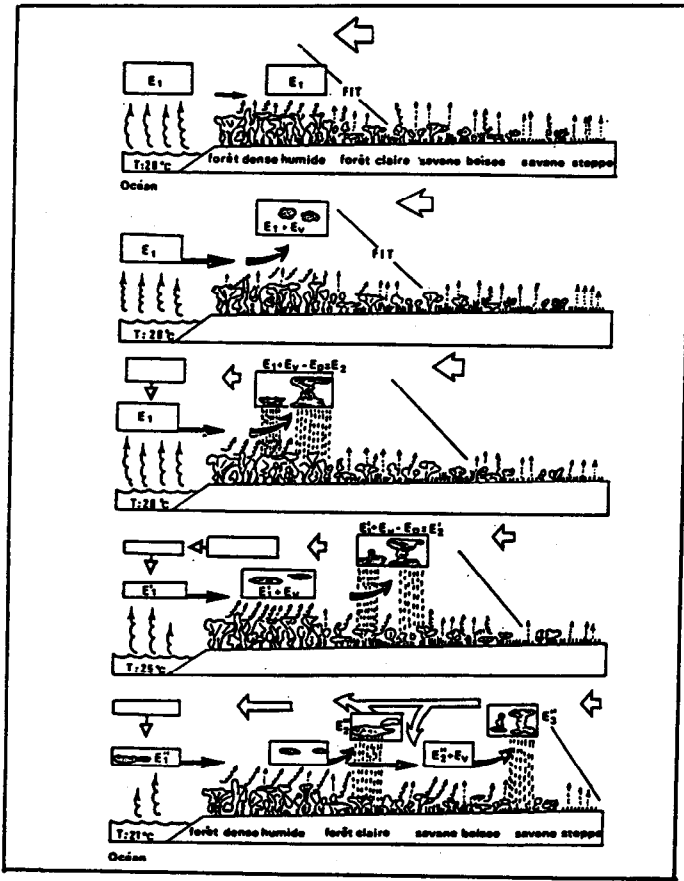
L'intégration des mesures instantanées journalières (tableau II) sur la période diurne donne des valeurs des déperditions d'eau des systèmes végétaux dans leur contexte pédo-climatique. La détermination de relations entre la consommation en eau du système végétal ETR et son activité biologique en rapport avec la fraction d'énergie disponible, les pluies et le stock hydrique du sol, permet de réaliser une simulation globale sur l'ensemble des saisons. Le tableau III résume les données calculées selon les types de végétation pour deux années distinctes.

Les deux années considérées présentent une distribution des pluies très différentes : en 1980, elle a un caractère bimodal entre mars et novembre et en 1982, 80 % des pluies annuelles étaient concentrées sur trois mois : mi-avril à mi-juillet, principalement dans la région sud.

La forêt équatoriale recycle 66 à 75 % de ces quantités de pluies. Il est évident que des apports de 600 à 1200 mm de pluies par mois influent fortement sur le pourcentage calculé. Il n'en reste pas moins que son remplacement par des cultures annuelles entraîne une réduction importante du transfert de vapeur d'eau vers l'atmosphère.

Le couvert forestier, bordant le Golfe de Guinée, participe donc activement au recyclage des eaux de pluies en réinjectant, grosso modo, sous forme de vapeur d'eau, 70 % des précipitations annuelles. Une grande partie de ce transfert de vapeur d'eau E_v contribue à son tour à l'alimentation des systèmes nuageux qui sont entraînés vers le nord par le mouvement de la zone de convergence intertropicale (ZCIT), (cf. Schéma 1).

Schéma 1 : Turn-over de la vapeur d'eau au-dessus de l'océan et du golfe de Guinée et son devenir au dessus du continent africain.



Les quantités d'eau arrivant au sol, sous forme de pluies E_p , proviennent de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans la masse atmosphérique ($E_1 + E_v$). Quant à la concentration de vapeur d'eau de la masse d'air arrivant sur le continent africain E_1 , elle dépend de l'importance du transfert d'énergie, via le processus d'évaporation selon les bilans radiatif et énergétique, à l'interface océan-atmosphère. L'un des composants, la température de surface des masses océaniques, intervient de manière prépondérante sur sa valeur. D'autre part, ce facteur de surface intervient également sur la convection profonde de la ZCIT : sa réduction entraîne un ralentissement du brassage dont l'effet se répercute sur la répartition des quantités de pluie sur le continent. En effet, l'impact des upwellings équatoriaux provoque, du fait de la réduction de la température de surface, une réduction importante des échanges et donc de la concentration de vapeur d'eau de l'air qui passe d'un maximum entre avril-mai à un minimum en juillet-août, phénomène qui se répercute sur la distribution et la quantité des pluies arrivant sur la zone forestière. Au rôle joué par l'apport de vapeur d'eau océanique E_1 au cycle hydrique, il faut ajouter celui des systèmes forestiers E_v qui y participent activement comme on vient de l'analyser. Ainsi la masse atmosphérique de l'alizé contient une quantité de vapeur d'eau égale à $E_1 + E_v$. Avec les pluies qui représentent une fraction de cette vapeur d'eau condensée et précipitée E_p , la quantité totale de vapeur d'eau présente dans la masse atmosphérique diminue :

$E_1 + E_v - E_p = E_2$ avec $E_1 > E_2$ (schéma 1). En effet, les valeurs de tension de vapeur d'eau au sol de la station située au bord du Golfe de Guinée (Adiopodoumé - Abidjan) sont systématiquement supérieures à celles de la station située en bordure nord de la zone forestière (Yamoussoukro). Ainsi, avec l'avancée de la ZCIT vers le nord, la concentration de vapeur d'eau de la masse atmosphérique ne se réduit que progressivement, $E_1 > E_2 > E_3 > E_4 \dots$, diminuant au fur et à mesure les précipitations dans les régions situées plus au nord. La participation de l'écosystème forestier au turn-over hydrique est importante comme nous l'avons constaté. Aubreville (1949) a réalisé un calcul pour évaluer

l'importance de la participation de la forêt équatoriale (Côte d'Ivoire) au recyclage des eaux de pluies. Son calcul est basé sur la quantité totale de vapeur d'eau entrant sur le continent et les quantités d'eau de pluies enregistrées sur le pays : il estime qu'il y aurait dans les quantités annuelles des pluies arrivant sur l'ensemble du territoire 1/3 d'eau océanique et 2/3 d'eau évapotranspirée par la végétation.

Si, de plus en plus, les étendues appartenant à l'écosystème forestier sont modifiées par les feux et par la mise en place de cultures annuelles, les transferts de vapeur d'eau à l'atmosphère par ces superficies sont inférieurs à ceux existant précédemment. Tant que l'aire occupée par ces cultures est en deça d'un seuil, leur impact sur les caractéristiques des masses d'air ne sera pas perceptible. Toutefois, au stade actuel des défriches et des modifications physiologiques introduites, on peut se poser la question de savoir si ce seuil n'est pas atteint. Le système de végétation gardant son feuillage quasiment toute l'année contribue au maintien d'un équilibre des conditions microclimatiques et donc climatiques qui prévalaient précédemment avec la forêt équatoriale. L'activité biologique se poursuit, même s'il y a un ralentissement durant les périodes de stress hydrique. Les modifications introduites par la mise en place d'écosystèmes ne fonctionnant que durant quelques mois de l'année entraînent des changements physiques importants.

CONCLUSION

Dans les régions équatoriales, des changements physiologiques importants du couvert forestier sont en cours du fait de son exploitation et de la mise en valeur des surfaces cultivables. Des grandes superficies de forêt sont converties progressivement en un écosystème du type savane. Cette transformation a des répercussions sur les bilans radiatif et énergétique : selon les caractéristiques de la surface végétale, le rapport R_n/R_g passe de 0,73 pour les forêts à 0,64 pour une végétation annuelle, réduction liée à l'accroissement de

l'albedo et à la fraction d'énergie rayonnante émise par le système. Avec moins d'énergie disponible, les échanges de vapeur d'eau sont réduits et d'autant plus que le stock hydrique du sol est plus rapidement épuisé compte tenu de la faible épaisseur de sol explorée par le système racinaire des plantes annuelles. Avec la réduction du transfert de vapeur d'eau dans l'atmosphère, il y a un accroissement proportionnel de l'énergie calorifique (H/R_n augmente) qui est injectée dans la masse d'air. Les effets correspondent d'une part à l'affaiblissement du flux de mousson et d'autre part à une augmentation de la température de l'air durant la période diurne et donc à des amplitudes journalières plus élevées. C'est pourquoi, le bilan annuel des transferts dans l'atmosphère de la fraction d'eau de pluie par les végétations annuelles ne représente qu'un peu plus de la moitié de ce qu'injecte l'écosystème forestier pérenne. Il en découlerait une diminution de la pluviosité dans les régions situées plus au nord de la zone forestière qui favoriserait une des phases de la désertification des zones sud-sahariennes.
