

## La recherche française sur le climat

### ► Les thèmes de recherche



## Biosphère et évolution du climat

### Pourquoi les mosaïques forêt-savane persistent-elles ?

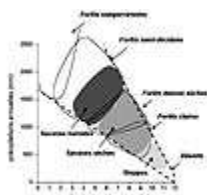
Extrait de la Lettre du Changement global n°19 - Programme International Géosphère Biosphère (IGBP) - Programme Mondial de Recherches sur le Climat (WCRP) - Programme International «Dimensions Humaines» (IHDP) - Diversitas - Earth System Science Partnership (ESSP)

[retour sommaire](#)

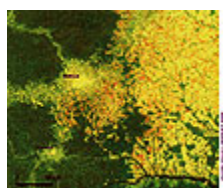
**Dans certaines zones tropicales humides, où, depuis des siècles, le climat est favorable à la forêt, persistent des savanes incluses ou en mosaïque. Ce paradoxe peut être compris en analysant un modèle où deux paramètres interviennent : le climat (plus précisément les précipitations) et la fréquence des feux. C'est l'origine anthropique de ces feux qui explique le paysage actuel.**

### Mosaïques de forêts et de savanes en Afrique centrale

Les zones de répartition des forêts tropicales humides et des savanes péri-forestières ont connu de considérables variations au cours de la dernière période géologique, suivant les changements climatiques. Au début de l'Holocène, les grandes zones de savane ouvertes en Afrique centrale qui existaient pendant la dernière glaciation se sont rapidement comblées au retour de conditions climatiques favorables. Le programme ECOFIT (2000, proceedings du Congrès ECOFIT à Bondy 1996) a montré qu'une importante phase de fragmentation de la forêt puis d'extension des savanes s'est à nouveau produite à partir de ~ 4 000 ans BP (Before Present) et a culminé autour de 2 500 ans BP. Depuis environ 1 000 ans, les précipitations plus importantes sont redevenues favorables à l'extension de la forêt.



**Figure 1 – Relation grossière entre le type de végétation observé et les deux principaux déterminants climatiques tropicaux**



**Figure 2 – Image satellite de la transition forêt savane**

Malgré la tendance à l'expansion de la zone forestière sur ses marges mise en évidence par différentes méthodes (inventaires botaniques, études isotopiques, comparaison de photographies aériennes ou d'images satellites), de larges étendues de savanes, appelées savanes humides, persistent sous forme de mosaïque côtoyant la forêt dans des zones où l'on s'attendrait à une suprématie sans partage de la forêt humide (figures 1 et 2). En effet, en l'absence de perturbations, l'équilibre forêt-savane apparaissait comme un état où une seule phase pouvait se maintenir à l'équilibre, savane en période sèche, forêt en période humide. De plus, ces savanes humides sont en général paradoxalement moins arborées que des savanes des régions un peu plus sèches : Aubréville (1962) parlait de hiatus de savanes ouvertes entre la forêt dense et les savanes arborées.

Cette problématique a fait l'objet de nombreuses études, que ce soit au Cameroun (Youta Happi, 1998), au Gabon (Maley 2000) ou au Congo (Schwartz 1996). Dès le début, l'hypothèse que l'action humaine était importante est apparue plausible : en effet, l'épisode sec du milieu de l'Holocène a pu permettre la migration bantoue concomitante du nord du massif forestier congolais jusqu'au sud. Sans donner crédit à des théories liant la déforestation observée à cette époque à l'arrivée de populations maîtrisant la technologie du fer (et donc ayant besoin de combustible pour les bas fourneaux), on peut penser que les bantous, craignant les espaces forestiers fermés, ont maintenu les savanes en y mettant

régulièrement le feu (pour la chasse, mais aussi pour maintenir le caractère semi-ouvert du paysage) après le retour de conditions climatiques favorables à la reprise forestière.

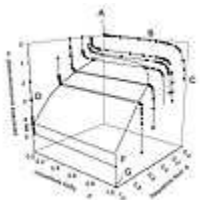
## Modélisation de l'interface forêt-savane

### Compétition entre succession naturelle et feux anthropiques

Pour tenter de comprendre comment la coexistence à long terme des deux phases savane et forêt est possible, nous avons utilisé un modèle mécaniste de la dynamique forêt/savane dans la région tropicale humide (Favier 2004). Le modèle FORSAT actualise chaque année une carte de végétation, discrétisée en cellules pouvant être dans l'un des trois états de végétation : Herbes, Plantules pionnières, Arbres. Il prend en compte deux mécanismes successifs (correspondant grossièrement à l'alternance entre saison humide et saison sèche) :

- l'installation en savane d'arbres pionniers (arbres de forêt qui ont la particularité de pouvoir pousser en savane) en tenant compte de l'apparition préférentielle de plantules pionnières près d'arbres déjà établis,
- le feu courant de savane transporté par les herbes et qui peut tuer sur son passage les pionniers installés en savane.

Deux paramètres influent sur ces mécanismes. La fréquence des feux représente l'intensité de la pression anthropique. Le facteur environnemental gère l'influence de l'environnement (climat, sol) sur la vitesse du cycle de succession. La variable utilisée pour discriminer entre les paysages de savane et de forêt est simplement le pourcentage de cellules Arbres sur la carte de végétation, appelée couverture forestière. Elle est proche de 0 pour la savane et de 1 pour la forêt. Les valeurs intermédiaires représentent les savanes plus ou moins densément arborées ou les forêts claires.



**Figure 3 – Diagramme de la transition de phases forêt-savane**

En étudiant les états d'équilibre, il apparaît qu'il y a des combinaisons de paramètres pour lesquelles l'état d'équilibre est forestier, d'autres pour lesquelles il est savanicole : il y a transition entre la phase forêt et la phase savane. Cette transition, (passage d'un type d'équilibre à l'autre), se fait pour des valeurs particulières de ces paramètres, appelées valeurs critiques. La figure 3 montre que le diagramme des transitions de phases est du type van der Waals, (ce type de transition est bien connu : c'est celui des transitions entre liquide et gaz sous l'effet de la température et de la pression) et il est donc possible d'en tirer des informations, tant du point de vue des états d'équilibre atteints que de la dynamique des formations.

### Formations de climax

Le premier point concerne l'état d'équilibre du système : le climax vers lequel tend la formation végétale pour une combinaison particulière des paramètres. En l'absence de feu, la combinaison climat-sol, représentée par le facteur environnemental, détermine le caractère ouvert (savane) ou fermé (forêt) de l'état d'équilibre. Il y a une transition forêt-savane continue, passant de la savane claire (point A sur la figure 3) à la forêt dense (point C) par tous les états intermédiaires de densité de couverture ligneuse (point B). Le feu introduit deux modifications à cette transition. D'abord, il stabilise la savane sous des conditions climatiques et édaphiques (nature du sol) normalement favorables à la forêt (point D sur la figure 3) : il déplace la valeur critique du paramètre environnemental vers les conditions favorables à la forêt. De plus, pour les fréquences de feu élevées, la transition devient discontinue : les états intermédiaires (savanes arborées) ne sont plus accessibles. Cette discontinuité se traduit par un phénomène d'hystérésis : il y a une plage du paramètre environnemental pour laquelle forêt dense et savane claire sont tous deux stables et peuvent donc coexister (points E et F). Pour les conditions environnementales les plus favorables, même une fréquence de feu élevée ne peut empêcher l'installation de la forêt (point G).

De l'équateur vers les tropiques, la tendance générale est à la diminution

du montant annuel des précipitations et à l'augmentation de la durée de la saison sèche, ce qui peut se traduire par un gradient négatif du paramètre environnemental. Le modèle FORSAT prédit alors que, à l'intérieur du domaine de la forêt tropicale humide (sa zone de répartition potentielle) ce gradient climatique ne se traduit pas par une diminution progressive du couvert ligneux. Il prédit plutôt une transition brutale entre forêt dense et savane ouverte puis, dans les zones sèches, par la possibilité de présence de savanes plus arborées. Cela correspond aux observations qui apparaissent paradoxales en premier lieu : parmi les endroits où l'on peut trouver des savanes, c'est donc dans les milieux les plus favorables à la forêt (grosso modo sous les climats les plus humides) que l'on trouve les transitions forêt-savane les plus abruptes.

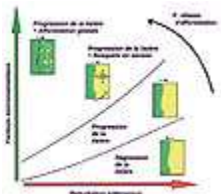


**Figure 4 – Lisière forêt-savane au nord de Pointe-Noire, Congo**

### **Dynamique de l'interface forêt-savane**

Il existe deux types de dynamiques (figure 4) :

- le type «déplacement de lisière» : il y a des bosquets de pionniers en savane, généralement de petite taille, qui apparaissent et disparaissent sans jamais grossir significativement. Ceci traduit alors soit la coexistence savane stable/forêt instable (recul de la lisière) ou savane stable/ forêt stable (hystérésis, recul ou progression de lisière). Il s'agit de toute façon d'un scénario lent (déplacement de l'ordre de quelques mètres par an).
- le type «coalescence de bosquets», avec conversion de la savane en forêt par apparition, croissance et coalescence de bosquets en pleine savane. Dans les conditions très favorables, ce scénario se traduit par une afforestation en masse des savanes. Il s'agit d'un scénario beaucoup plus rapide que le précédent.



**Figure 5 – Différentes dynamiques possibles**

Dans le cas qui nous intéresse ici, (l'évolution des écosystèmes au cours du temps en fonction des changements climatiques), la dépendance au paramètre environnemental peut être ramenée aux seules évolutions climatiques, et en particulier aux variations des précipitations annuelles. Le passage au cours du temps d'un scénario à l'autre dans une même région peut donc être provoqué par un changement des conditions climatiques ou de la pression anthropique qui permet de changer la stabilité de la savane et de la forêt (figure 5). Ainsi, un épisode de dépopulation peut se traduire par une période de progression rapide par bosquets et coalescence, alors que le retour d'une occupation humaine régulière ramènera à une progression lente de lisière, comme l'ont noté White et Oslisly (2000) au Gabon.

### **Comparaison avec d'autres formations tropicales mêlant herbes et arbres**

La possibilité d'existence d'une savane arborée n'est donc assurée que pour des valeurs faibles du paramètre environnemental et donc des précipitations, c'est-à-dire à la marge du domaine potentiel de la forêt tropicale humide. Les savanes arborées et les forêts claires se rencontrent également en Afrique dans les zones tropicales sèches (en dehors du domaine de validité du modèle FORSAT) : miombo au sud du massif congolais, savanes soudanaises au nord. Là, les formations partiellement arborées tendent à disparaître complètement dès que la pression anthropique devient non négligeable (incendies et surpâturage). A contrario, l'exode rural dans de nombreuses régions d'Afrique centrale tend à réduire l'impact anthropique dans de vastes zones où la forêt a déjà été exploitée par les forestiers industriels, et laisse la place à une extension des forêts de recru au détriment des savanes, avec des vitesses typiques de l'ordre d'un à quelques mètres par an. L'introduction d'espèces herbacées nouvelles comme *Chromolaena odorata* (qui fait office de pare-feu en lisière tant que la saison sèche n'est pas trop longue) ou le remplacement des chèvres (qui consomment les épineux de lisière) par des troupeaux bovins, favorisent la progression forestière.

### **En Amazonie**

Le cas des savanes d'Amérique du Sud est très différent pour plusieurs raisons :

- le bassin amazonien est presque plat, et le réseau hydrographique n'est pas fixe, ce qui ne permet pas l'existence de refuges forestiers couvrant tout le paysage comme le font en Afrique les forêts galeries;
- les savanes péri forestières y sont souvent des savanes inondées une partie de l'année, ce qui change radicalement le fonctionnement de la végétation;
- le peuplement humain est plus récent, et, tout au moins jusqu'au XIXe siècle, beaucoup moins dense qu'en Afrique.

On ne sera donc pas surpris que cette coexistence en mosaïque ne se retrouve pas dans le nouveau monde, où les zones de savane sont beaucoup plus étendues et les seuls équivalents des savanes incluses sont les taches de bambous observées par exemple en Guyane (cambrouzes). D'origine très probablement anthropique (zones d'abatis anciens envahis par des bambous du genre *Guadua*), elles ne doivent pas leur survie à des feux allumés par l'homme, mais bien plutôt au caractère tenace du bambou qui joue le rôle de végétation bloquante, d'autant qu'il ne s'agit pas d'une plante annuelle mais monocarpique (fleurissant en masse puis mourant) avec un cycle de plusieurs dizaines d'années. Le problème du maintien depuis plusieurs millions d'années (prouvée par l'existence d'une faune de mammifères inféodés) de grandes étendues dominées par les bambous sur les piedmonts andins reste néanmoins posé (alors que l'absence d'espèces inféodées dans les cambrouzes de Guyane corrobore l'hypothèse d'une introduction anthropique récente).

## Conclusion

De façon plus générale, si la forêt dense, complètement dominée par les arbres, est la formation végétale la plus courante dans le domaine de la forêt tropicale humide, il en existe d'autres laissant une plus large place aux herbacées héliophiles. Les savanes humides sur les marges du domaine forestier en sont un exemple, où un couvert herbacé continu est maintenu par le passage régulier des feux. Les forêts clairsemées constituent quant à elles un mode d'organisation de la forêt humide où des arbres sont répartis (en densité variable) dans un couvert herbacé dense (de bambous en Amérique du Sud, d'herbes des familles des Marantacées et des Zingibéracées en Afrique centrale). Dans ce cas-là, le couvert herbacé se maintient grâce à son caractère bloquant, freinant la régénération des arbres. Dans le cas extrême, cette régénération est complètement empêchée donnant lieu aux formations de type cambrouze. Des études de terrain et de modélisation devraient permettre d'étayer encore ce parallèle entre savanes et forêts clairsemées.

**Contacts** : Marc A. Dubois  
SPEC, CEA Saclay  
F 91191 Gif-sur-Yvette Cedex  
**Mail** : [mad@cea.fr](mailto:mad@cea.fr)

Charly Favier  
LODYC, UMR Univ/IRD/CNRS  
Case 100 - Université Pierre et Marie Curie  
4, place Jussieu  
75252 Paris Cedex 5  
**Mail** : [charly.favier@lodyc.jussieu.fr](mailto:charly.favier@lodyc.jussieu.fr)