

Approche chronologique des recrûs forestiers

Au moyen de la distribution des isotopes
du carbone dans les sols
et de la datation des arbres

Bernard Guillet
Géologue

■ Introduction

La composition en isotopes stables (^{12}C et ^{13}C) du carbone organique des sols des recrûs forestiers apporte la confirmation au Cameroun de la progression de l'écosystème forestier sur la savane. Dans la perspective d'une dynamique récente (quelques centaines d'années), c'est dans la couche humifère de surface du sol que le changement d'écosystème a laissé une empreinte isotopique exploitable. On y décèle un mélange quantifiable de matières organiques issus de la savane révolue et du recrû forestier récent. Alors que la progression forestière est avérée, la datation de l'avancée de la forêt demeure incertaine tant il semble hasardeux de donner un âge aux arbres majeurs qui composent le recrû forestier.

On propose une méthode de travail appuyée par une tentative d'application visant à utiliser les âges moyens ou temps moyens de résidence des matières organiques des horizons de surface des sols des recrûs, comme un outil possible de datation des avancées forestières. La mesure de l'activité ^{14}C des matières organiques autorise le calcul du temps moyen de résidence. Or il est clair que le temps moyen de résidence ou âge moyen est forcément la résultante d'un mélange de composés ou entités organiques hétérochrones. On sup-

posera, par simplicité, que la loi de distribution des âges des entités organiques est de « tendance exponentielle ». Ainsi l'âge moyen obtenu par datation ^{14}C est le paramètre caractéristique de la courbe exponentielle décroissante de densité des âges qu'il suffit d'exploiter pour accéder à l'âge de l'avancée de la forêt à un endroit considéré du recrû.

La question importante est de savoir quelle est l'erreur sur l'âge annoncé. Cette erreur provient essentiellement de l'approximation qui est faite sur la loi de distribution de la densité des âges définie comme étant de « tendance exponentielle ». À l'évidence, d'autres fonctions peuvent être testées, mais on peut confronter les résultats avec ceux que peut donner la datation des arbres caractéristiques présents dans le recrû, précisément au point considéré. C'est une recherche qu'il faut engager sur des arbres ayant une connotation chronologique caractéristique, spécifiquement ceux qui sont nés en savane ou bien dans les lisières et qui survivent dans le recrû. Les méthodes appropriées sont la dendrochronologie et les datations par le ^{14}C des cernes.

■ Les preuves pédologiques de la progression de la forêt sur la savane

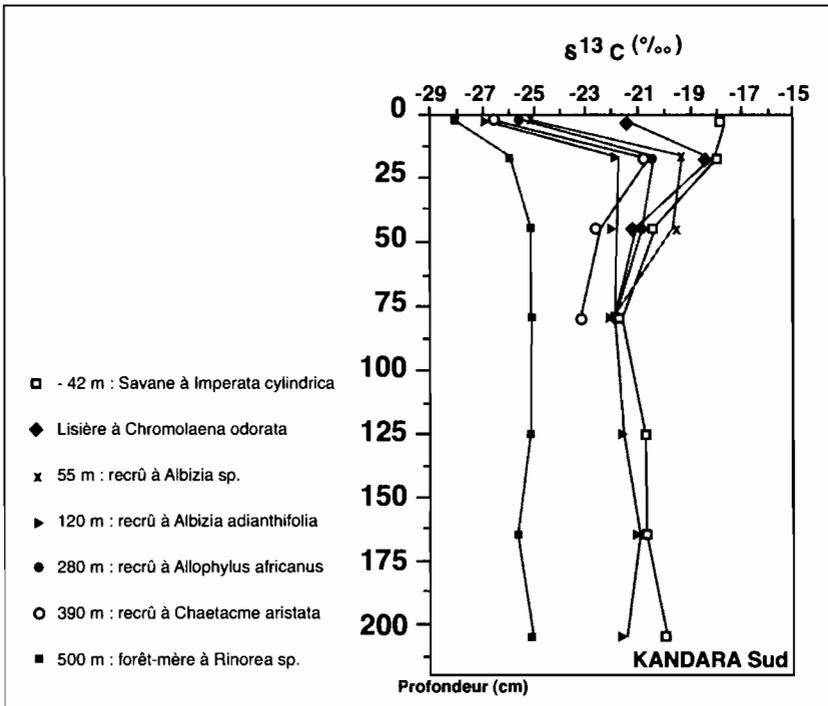
On sait que la composition isotopique du carbone des plantes se distribue selon deux modes résultant de leur cycle de photosynthèse (cycle en C_3 et cycle en C_4 (cf. Bender, 1971). Les plantes en C_4 telles que les graminées des savanes sont enrichies en isotopes ^{14}C par comparaison avec les plantes en C_3 que sont les essences forestières. Comme les matières organiques des sols conservent sensiblement la même composition isotopique que celle des plantes dont elles dérivent, on a utilisé cette propriété pour mettre en évidence les mouvances des lisières savane-forêt (Mariotti et Balesdent 1990 ; Schwartz *et al.*, 1986).

C'est avec ces moyens et dans le cadre du programme Ecofit (Orstom-CNRS) que l'étude de la dynamique des contacts forêt-savane a été entreprise au Cameroun dans deux sites choisis dans la zone de transition entre la forêt humide du Sud et les savanes du Centre-Nord (entre 4°30' et 5°30' Nord). Ces deux sites-chantiers, l'un à Nditam et l'autre à Kandara (sud de Bertoua), ont été ouverts sous forme de transects savane-forêt et furent analysés au plan floristique (Achoundong *et al.*, 1996) et isotopique (Guillet *et al.*, 1996). La figure 1 établit la variation de la composition isotopique dans le sol de la savane, de la forêt mère et dans les recrûs forestiers qui vont de la lisière à la forêt-mère.

Cette figure révèle :

- 1) l'ancienneté de la forêt-mère comme le prouvent les valeurs classiques du $\delta^{13}\text{C}$ de -25‰ en profondeur et -28‰ en surface du sol ;
- 2) une histoire ancienne et commune entre le recrû et la savane, les horizons profonds des profils du recrû (cf. 75-85 cm) ayant une composition isotopique qui s'apparente à celle des horizons homologues du sol de la savane ;
- 3) la progression de la forêt, décelable dans la composition isotopique des horizons superficiels (prof. < 40 cm).

Ainsi dans le recrû, depuis qu'un peuplement forestier s'est installé, la matière organique issue des arbres a totalement (dans horizon 0-5 cm) ou partiellement (dans l'horizon 15-20 cm) remplacé la matière organique primitive savanicole. Le taux de substitution de la matière organique savanicole par celle des arbres dépend de la vitesse de renouvellement des matières organiques dans chaque horizon du sol, elle dépend donc du temps moyen de résidence des matières organiques. Ce taux de substitution peut être calculé, selon une formule simple (Guillet, 1994), à partir des valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ d'échantillons de savane et de la forêt-mère, prélevés à la même profondeur que l'échantillon du sol du recrû. On aboutit à deux paramètres : la fraction organique savanicole (FOS) et son homologue forestière (FOF), leur somme étant égale à 1.



Source : B. Guillet

Figure 1

Variation de la composition isotopique dans le sol de la savane, de la forêt mère, et dans les recrûs forestiers qui vont de la lisière à la forêt-mère.

Activité ^{14}C de la matière organique des sols

En chaque point du sol, la matière organique est composée d'entités moléculaires qui sont entrées en ce point à des moments différents. Ces entités ont donc des âges différents et les entités, toutes ensemble, présentent un âge moyen ou temps moyen de résidence des matières organiques. C'est à cet âge moyen que l'on accède

lorsque l'on procède à la détermination de l'activité ^{14}C de la matière organique d'un échantillon du sol.

| Référence ECOFIT | Distance Horizon de la lisière du sol (m) | $\delta^{13}\text{C}$ (cm) | Activité ^{14}C | TMR (an) | S | Age du recrû (an) |
|------------------|-------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------|------|-------------------|
| ECO 141 | 120 | (15-20) | -21,2 | 1,058 | 130 | 50 |
| ECO 192 | 150 | (10-15) | -20,5 | 1,037 | 205 | 55 |
| ECO 193 | 150 | (20-25) | -19,9 | 0,974 | 465 | 75 |
| ECO 195 | 150 | (40-45) | -21,2 | 0,891 | 1115 | indéterminable |

Source : B. Guillet

■ Tableau 1
Analyse d'horizons d'un sol
du recrû de Kandara prélevé en 1992.

On sait depuis longtemps (Scharpenseel, 1972 ; Guillet, 1987) qu'il existe un gradient d'âge, croissant avec la profondeur du profil pédologique, qui reflète une distribution différente des âges des entités organiques composant l'échantillon de sol. En profondeur, là où les âges moyens atteignent plusieurs milliers d'années, on considère l'existence d'une distribution de type gaussien centrée sur l'âge moyen. Dans les horizons de surface, lieux des apports organiques, les conclusions des expérimentations de longue durée suggèrent des distributions décroissantes, de « tendance exponentielle ». Dans ce cas, l'âge moyen est faible (quelques dizaines voire centaines d'années).

Généralement, les activités ^{14}C des matières organiques des horizons humifères du type mull si commun dans la pédogenèse tropicale sont « polluées » en ^{14}C provenant des explosions aériennes des bombes atomiques. En effet, la concentration en ^{14}C du CO_2 atmosphérique a presque doublé de 1950 à 1964 dans l'hémisphère Nord. L'entrée dans le sol de matières organiques enrichies issues du marquage ^{14}C de la végétation a rendu la mesure de l'activité ^{14}C propice à une évaluation relativement précise des âges moyens récents à condition que l'on admette le principe d'une distribution

exponentielle. Le développement théorique de la relation existant entre l'âge moyen (ou temps moyen de résidence) et l'activité ^{14}C intégrant le marquage atmosphérique thermonucléaire a été présenté par Balesdent (1982, 1987) et Balesdent et Guillet (1982).

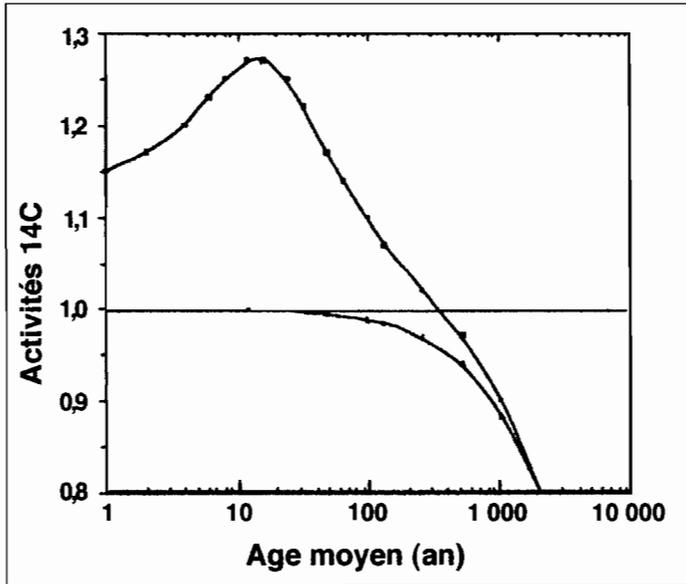
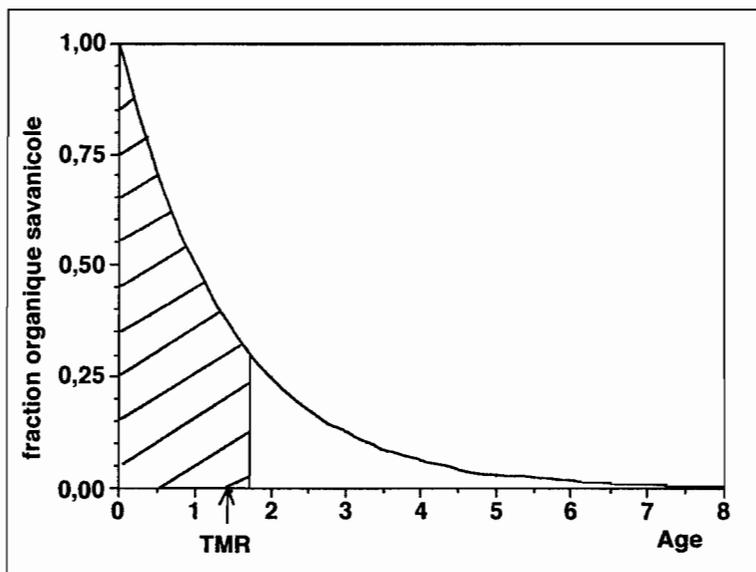


Figure 2

Relation entre l'activité ^{14}C et l'âge moyen (ou temps moyen de résidence) de matières organiques d'un sol prélevé en 1992 et dont la loi de distribution des âges est supposée exponentielle (courbe en cloche). Les activités supérieures à 1,0 témoignent d'un manifeste enrichissement par le ^{14}C thermonucléaire. La courbe du bas, dont les activités inférieures à 1,0 ne témoignent d'aucun enrichissement apparent, est établie selon la loi simple de décroissance de l'isotope ^{14}C de période = 5 730 ans.

Pour des échantillons de sols collectés en 1992, la relation est présentée sur la figure 2 : cet abaque permet donc d'interpréter la mesure de l'activité ^{14}C en terme d'âge moyen.

Mais il convient de ne pas oublier que cette interprétation repose sur une distribution exponentielle des âges. Toute autre distribution statistique donnerait une autre valeur de l'âge moyen.



Source : B. Guillet

■ Figure 3

Répartition schématique des matières organiques savanicoles (en blanc) et forestières (hachures) d'un horizon du recrû, selon une hypothèse de distribution exponentielle des âges et une fraction organique savanicole déduite du ^{13}C égale à 0,30.

Calcul de l'âge du recrû forestier

La composition en isotopes stables du carbone donne la fraction organique savanicole (FOS). Dans une distribution exponentielle comme celle représentée sur la figure 3, c'est la fraction la plus

ancienne, la fraction forestière étant nouvellement entrée dans le sol. Celle-ci est représentée en hachuré sur le graphe. L'activité ^{14}C nous ayant fait connaître l'âge moyen (ou temps moyen de résidence = TMR), on peut déduire l'âge de l'entrée des premières matières organiques forestières dans l'horizon du sol considéré :

$$T = - \text{TMR} \times \text{Log (FOS)}$$

Bibliographie

- BENDER M.-M., 1971 —
Variations in the $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation. *Phytochemistry*, 10 : 1239-1244.
- GUILLET B., 1987 —
« L'âge des podzols ». *In : Podzols et podzolisation*, D. Righi, A. Chauvel (éds.), AFES et INRA Paris : 131-144.
- GUILLET B., 1994 —
« L'abondance naturelle des isotopes du carbone comme moyen d'étude de l'âge, du renouvellement et de l'origine des matières organiques des sols ». *In : Pédologie. 2-Constituants et Propriétés du sol*, M. Bonneau, B. Souchier (éds.), Publication Masson : 298-315.
- GUILLET B., MAMAN O., MARIOTTI A., GIRARDIN C., SCHWARTZ D., 1996 —
Preuves pédologiques de l'avancée de la forêt sur la savane au Cameroun : contribution de la géochimie organique et isotopique. Symposium dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux, Paris : 20-22.
- MARIOTTI A., BALESSENT J., 1990 —
 ^{13}C natural abundance as a tracer of soil organic matter turnover and paleoenvironment dynamics. *Chem. Geol.*, 84 : 217-219.
- SCHARPENSEEL H.-W., 1972 —
Messung der natürlichen C^{14} Konzentration in der organischen Substanz von rezenten Böden. Eine Zwischenbilanz. Zeitschrift für Pflanzener. Und Bodenk., 133 : 241-263.
- SCHWARTZ D., MARIOTTI A., LANFRANCHI R., GUILLET B., 1986 —
 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of soil organic matter as indicators of vegetation changes in the Congo. *Geoderma*, 39 : 97-103.