

RÉSUMÉ

Signatures génétiques et paléoécologiques de la dynamique de la forêt pluviale africaine : les espèces sont-elles pré-adaptées aux changements ?

Contexte

Les forêts tropicales humides forment le biome terrestre avec la plus grande diversité d'espèces végétales et animales. Leur stabilité à long terme face aux changements environnementaux a longtemps été considérée comme l'une des principales causes de leur remarquable biodiversité. Cependant, il faut réévaluer la dynamique de la biodiversité des forêts tropicales humides car les données paléo-écologiques mettent en évidence des changements substantiels de la végétation tropicale résultant des fluctuations climatiques du Quaternaire, ainsi que l'effet de perturbations importantes par l'homme au cours des derniers milliers d'années. L'histoire évolutive et environnementale de la forêt tropicale d'Afrique centrale est à peine connue alors que sa remarquable biodiversité est gravement menacée.

Objectifs

L'objectif général d'AFRIFORD est de comprendre comment les changements climatiques passés et les activités des populations humaines anciennes ont façonné la distribution et la composition actuelles des forêts tropicales africaines et la diversité génétique de leurs espèces d'arbres, et comment ces forêts sont affectées par les changements climatiques actuels. Les signatures des changements climatiques passés en Afrique centrale ont été étudiées sur une gamme d'échelles de temps, en combinant des études de paléovégétation, biologie du bois, variation génétique et modélisation de la végétation, du point de vue des arbres forestiers. Les objectifs scientifiques spécifiques de ce projet étaient les suivants:

- 1) Comprendre les processus menant à la diversification / différenciation de la biodiversité des arbres de la forêt tropicale africaine aux niveaux intra- et inter-spécifiques;
- 2) Décrire les principales perturbations climatiques et anthropiques ayant affecté la végétation passée dans le bassin du Congo pour une gamme d'échelles de temps pertinente;
- 3) Développer un modèle de végétation capable de simuler les changements de végétation, leur productivité et la distribution des espèces en réponse au forçage environnemental, afin de faire des prédictions selon des scénarios de changements climatiques.

Principales conclusions

- Les données génétiques montrent que la plupart des espèces d'arbres africains contiennent des populations génétiquement différenciées, séparées par d'anciennes barrières biogéographiques. Ces signatures de la fragmentation des populations et de changements démographiques datent de dizaines de milliers à des millions d'années. Ceci met en évidence l'impact à très long terme des changements environnementaux passés sur la variation génétique des espèces et le rôle probable des cycles glaciaires-interglaciaires tout au long du Quaternaire, et pas seulement suite à la dernière période glaciaire. Ces résultats illustrent la résilience des espèces d'arbres, qui ont survécu dans plusieurs zones de refuge pendant les périodes climatiques défavorables mais ils soulignent également leurs capacités de dispersion limitées pour la recolonisation. Nos données montrent enfin que la zone entourant la ligne volcanique du Cameroun est un important réservoir de ressources génétiques originales pour la conservation de la biodiversité.

- Des simulations avec un modèle de végétation dynamique (DVM) ont permis de reconstituer les refuges glaciaires d'un ensemble d'espèces d'arbres de forêt tropicale. Cependant, en tenant compte de la dispersion des graines, le modèle projette des fronts de recolonisation postglaciaire qui n'avancent que de quelques km par millier d'années, limitant fortement le potentiel des espèces d'arbres à suivre leur niche climatique optimale pendant les changements

climatiques rapides qui ont accompagné la déglaciation. Par conséquent, si le changement climatique anthropique actuel modifie l'aire de répartition potentielle des espèces en un siècle, la plupart des espèces d'arbres ne pourront pas disperser assez rapidement dans de nouveaux habitats favorables. Une dispersion assistée pourrait être nécessaire pour les espèces menacées d'extinction dans leur aire de répartition actuelle.

- La recherche génétique a également révélé une diversité cachée insoupçonnée: de nombreuses espèces d'arbres comprennent plusieurs espèces selon le concept d'espèces biologiques, doublant potentiellement la richesse en espèces des arbres africains. Nous montrons également que les marqueurs génétiques permettent de guider les travaux taxonomiques pour identifier les caractères morphologiques diagnostiques, réconciliant la taxonomie classique avec les données génétiques. L'abondance d'espèces cryptiques d'arbre en Afrique a des implications importantes pour la conservation. Premièrement, certaines espèces apparemment non menacées selon les critères de l'UICN en raison de leur large aire de répartition sont en fait composées de plusieurs espèces à faible répartition. Deuxièmement, les règles de gestion forestière pour exploiter durablement les essences de bois sont inefficaces si des espèces aux caractéristiques biologiques distinctes sont confondues.

- Les signatures palynologiques des sédiments lacustres des montagnes à l'est et à l'ouest du bassin du Congo au cours des 10⁵ dernières années mettent en évidence l'influence des cycles climatiques glaciaires-interglaciaires sur la végétation mais aussi les effets de fluctuations climatiques se produisant à l'échelle de quelques décennies à quelques siècles. Par comparaison, les impacts humains semblent relativement faibles et sont concentrés sur les derniers siècles.

- Les données polliniques fossiles de lacs de montagne de l'ouest du Cameroun montrent qu'au cours des derniers 90 000 ans, les phases forestières ont dominé pendant les périodes interglaciaires tandis que la végétation herbacée s'est développée pendant les périodes sèches et froides (glaciaires) mais sans exclure complètement les arbres. L'instabilité écologique de la forêt de montagne contraste avec la stabilité apparente de la forêt équatoriale de plaine dans cette zone, telle que déduite par la stationnarité de la limite inférieure de la forêt montagnarde. Les relevés palynologiques montrent que les forêts de montagne du Cameroun, déjà reconnues comme *hotspots de biodiversité*, sont particulièrement sensibles au changement climatique avec un risque réel d'extinction des espèces du fait de l'effet conjugué du changement climatique et de l'augmentation récente de la pression anthropique.

- Les profils isotopiques du carbone du sol ont révélé des changements de type de végétation (forêts / savane) au cours de la fin de l'Holocène. Dans la mosaïque forêt-savane du Cameroun, les changements de végétation n'ont été détectés que près de la marge forestière actuelle. La dégradation des forêts documentée en fin de Période Humide Africaine (Holocène) a probablement entraîné un changement dans la composition et la densité des forêts de plaine plutôt que le remplacement à grande échelle de la forêt par la savane. Ces résultats suggèrent une résilience relativement élevée des écosystèmes forestiers de basse et moyenne altitude, du moins en comparaison avec la forêt de montagne.

- Les analyses du charbon du sol combinant identification des espèces et datation au radiocarbone (¹⁴C) ont révélé des changements de composition des forêts tropicales africaines au cours du dernier millénaire. En particulier, les forêts pluviales sempervirentes matures ont dominé le bassin du Congo depuis AD 1300 jusqu'à ce qu'elles soient fortement perturbées à partir d'environ AD 1650. Ensuite, on observe différentes trajectoires de succession forestière au cours des trois derniers siècles, probablement en raison de l'hétérogénéité spatio-temporelle de l'agriculture sur brûlis, aboutissant actuellement à plusieurs types forestiers. Cela montre que la succession naturelle après de fortes perturbations ne mène pas nécessairement au type de forêt original. Des types forestiers peuvent ainsi disparaître sur des périodes de temps relativement

courtes et avec eux, des espèces de bois précieux ou d'autres processus écosystémiques de valeur.

- Parmi les espèces de bois précieux d'Afrique, *Pericopsis elata* a fait l'objet d'une attention particulière, étant l'une des espèces les plus exploitées, dont le commerce est réglementé par la convention CITES (Annexe II). L'analyse des cernes du bois a révélé que la plupart des peuplements étaient âgés de près de 150 ans et se sont probablement établis sous de grandes ouvertures de canopée créées par l'agriculture sur brûlis. Les signatures isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$) des cernes de croissance ont fourni des informations sur l'histoire des peuplements et les changements à court terme des précipitations. Les données génétiques révèlent que la population de *Pericopsis elata* de l'est du Cameroun est fortement appauvrie en diversité génétique en raison d'effets de fondation historique, et que l'espèce se reproduit souvent par autofécondation alors qu'elle souffre de dépression de consanguinité. Pour assurer une exploitation durable, des méthodes de régénération assistée doivent être développées vu le déficit de régénération naturelle et la forte pression sur les populations naturelles.

- Le potentiel des forêts tropicales pour stocker le carbone est une question d'actualité. Les grands arbres ont longtemps été considérés comme les arbres les plus anciens des forêts tropicales. Cependant, nos recherches combinant études des cernes du bois et inventaires forestiers montrent que les petits arbres du sous-étage peuvent aussi être très âgés, et même être plus vieux que les grands arbres. Cela a des implications importantes pour les stocks de carbone car la biomasse et la longévité sont toutes deux importantes pour le stockage à long terme du carbone. Par conséquent, les modèles du cycle du carbone doivent tenir compte de la diversité de l'âge du carbone et du potentiel de séquestration parmi les strates forestières, étant donné que les arbres plus petits contribuent de manière disproportionnée au stockage, à la séquestration et à la résilience climatique à long terme, par rapport à leur stature.

- En analysant la croissance des arbres, il a été montré que les forêts tropicales séquestraient une quantité de carbone équivalente à près de 15% des émissions anthropiques de CO_2 . Cependant, nos projections basées sur des mesures de croissance des arbres suggèrent que cette séquestration pourrait s'arrêter en Amazonie dès les années 2030, et dans le Bassin du Congo vers 2060. Ces résultats sont également étayés par des simulations d'un modèle de végétation dynamique (CARAIB) mettant en évidence le rôle de la fertilisation par le CO_2 . Comme les forêts tropicales sont susceptibles de séquestrer moins de carbone à l'avenir que prévu par les modèles actuels, des réductions plus importantes des émissions de gaz à effet de serre seront nécessaires pour atteindre un objectif de température donné.

- Alors que l'effet de puit de carbone des forêts africaines existantes se réduit, nos recherches montrent comment l'interruption des feux de brousse dans les savanes anthropiques entraîne un retour naturel des forêts tropicales humides, stimulant à la fois la séquestration mondiale du carbone et la biodiversité. Dans le sud-ouest de la RDC, l'expérience d'exclusion des incendies à grande échelle de Manzonzi est un bon exemple de programme de restauration du carbone naturel, sans qu'il soit nécessaire d'investir dans des plantations, qui se font souvent au détriment de la biodiversité.

- Pour prévoir comment la végétation de la forêt tropicale du Congo et ses espèces d'arbres répondront aux changements climatiques actuels, le modèle de végétation dynamique CARAIB permet d'intégrer les traits des espèces et leurs tolérances climatiques pour mieux modéliser la compétition entre espèces et prédire leurs niches réalisées. Cependant, l'acquisition de traits fonctionnels appropriés reste difficile étant donné la grande richesse en espèces des forêts africaines. De plus, les projections climatiques pour l'Afrique tropicale peuvent différer considérablement selon les différents modèles et scénarios, en particulier pour la disponibilité de l'eau. Par conséquent, il reste difficile de prédire de manière fiable comment les espèces végétales réagiront aux changements climatiques en cours.

Project BR/132/A1/AFRIFORD - Genetic and paleoecological signatures of African rainforest dynamics: pre-adapted to change?

Globalement, AFRIFORD a contribué à (i) mettre en relation des chercheurs d'horizons divers dans un projet multidisciplinaire, (ii) la formation de jeunes chercheurs (notamment africains) et (iii) la publication de 40 articles scientifiques. Nous décrivons les implications politiques de nos résultats pour la gestions durable des forêts d'Afrique dans un ensemble de 13 thèmes.

Mots clés:

dynamique des forêts africaines, changement climatique, séquestration du carbone, bassin du Congo, diversité génétique, paléovégétation, Quaternaire.