

Résumé

Une question importante en productivité forestière est de savoir si l'augmentation du CO_2 atmosphérique affecte la croissance in-situ. La dendroclimatologie tente d'y répondre depuis quelques années, mais l'approche méthodologique concernant la correction de l'effet âge pose problème. Pour l'éviter, nous avons utilisé une approche basée sur une décomposition des séries dendrochronologiques en leur sources. Ce type de décomposition se base sur la singularité de chaque signal physique. De façon moins formel, si la croissance radiale des arbres est la résultante de l'effet combiné des variables climatiques, il devrait être possible de retrouver leur signature et de les extraire. Nous avons étudié un gradient altitudinal de séries dendrochronologiques au Népal. Il a été possible d'en **extraire un signal climatique**, puis à l'aide de corrélations, l'effet de la température, des précipitations et du cycle solaire ont été isolés. Les résultats montrent qu'**au début du XXème siècle la température limitait, à ces altitudes, la croissance radiale**. Pendant ce siècle, une tendance positive a été caractérisée et actuellement la température à un effet positif. Par contre, **l'effet des précipitations est opposé** et leur somme est nulle. **Pour le cycle solaire**, son effet est une **tendance positive** et ce **depuis le XIXème siècle**. Les tendances observées pour la température et les précipitations sont liées aux changements climatiques, mais celle du cycle solaire est plus **difficile à expliquer**. On sait que l'énergie solaire arrivant à la surface de la Terre à la même amplitude pour chaque cycle de 11 ans contrairement aux tâches solaires. On peut donc **supposer des phénomènes terrestres** pour l'expliquer. Le **dioxyde de carbone (CO_2)** et la **diffraction lumineuse** sont privilégiés, mais leur séparation demande d'autres analyses.

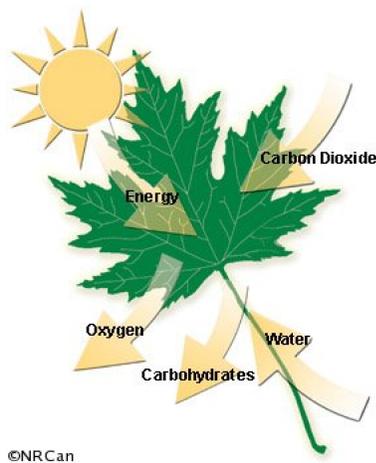


Figure 1: Schématisation de la photosynthèse

Problématique

Au cours de la photosynthèse (Figure 1) l'énergie lumineuse permet la transformation du CO_2 et de l'eau en carbohydrates. Ces produits de la photosynthèse sont redirigés vers toutes les parties de la plantes pour les besoins énergétiques, l'entretien des tissus et la croissance. **La croissance radiale** (Figure 2) va **dépendre de l'allocation** faite par l'arbre et varie selon son l'âge et les facteurs environnementaux. Les carottes, principaux échantillons en dendrochronologie, ne peuvent donner l'accroissement total de surface mais uniquement une mesure ponctuelle dépendante du diamètre. Ce **problème relié à l'âge est difficile à isoler** car sa forme est une spline (fonction définie par morceaux par des polynômes). Il est donc proche de n'importe quel autre effet ayant cette forme comme une possible fertilisation due au CO_2 . **L'ôter peut donc fortement affecter les résultats**. Cette étude essaye de **contourner ce problème avec une approche statistique** basée sur la séparation de signaux sources **utilisée en physique**, télécommunications et médecine.

Données

Les cernes proviennent de The International Tree-Ring Data Bank (NOAA) et ont été sélectionnés pour former un gradient altitudinal au Népal. Le jeu de données ainsi obtenu comporte 23 sites, regroupant chacun entre 20 et 40 arbres. Le gradient d'altitude va de 1300 m à 3700 m. Les données concernant le cycle solaire, les précipitations et la température proviennent de l'IRI (International Research Institute for climate and society).



Figure 2: Section d'un disque avec cernes

Résultats

Extraction des sources La première étape consistait à extraire les sources des données de croissance radiale avec **l'analyse en composants indépendant (ACI)**. Pour chaque site, un nombre de composants indépendants (CI) égal au nombre de séries a été extrait (Figure 3). Ensuite, on a identifié les CI “climatiques” par la distribution de leurs valeurs et par l'estimation de leur densité spectrale (Figure 3). Cette première étape a fonctionné pour tout les sites. De plus l'analyse des densités spectrales montre que **les données extraites suivent un cycle de 11 ans (Figure 3)**. Il semble donc que le cycle solaire influence de façon significative la croissance radiale. L'ACI semble donc une approche prometteuse pour identifier la composante climatique dans les séries dendrochronologiques.

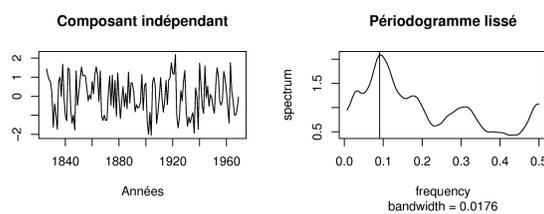


Figure 3: Composante climatique du site russ003 obtenue par ACI (gauche) et l'estimation de sa densité spectrale (droite)

Isolement des facteurs climatiques Pour isoler l'effet du cycle solaire, de la température et des précipitations une corrélation linéaire dans une fenêtre mobile de 11 ans a été faite entre chaque CIc et ces variables climatiques. La taille de cette fenêtre permet de capturer un cycle solaire complet ainsi que de casser une éventuelle tendance tout en restant robuste. Finalement une moyenne de ces corrélations est faite pour obtenir un résultat global (Figure 4). L'analyse de densité spectrale de **ces trois séries de corrélations** montrent qu'elles **sont en phase (Figure 4)**. Ce qui suggère que l'approche utilisée est robuste. **De plus une tendance subsiste** pour les trois variables climatiques (Figure 4).

Analyse des tendances et Discussion

La tendance observée (Figure 4) pour la température s'explique par **l'augmentation de la température moyenne annuelle** au Népal. Cette augmentation de température a également été suivie par une **baisse des précipitations** ce qui traduit aussi la tendance observée pour ces dernières. La corrélation observée pour la température est négative sur presque toute la période et il semblerait qu'elle devienne positive au XXIème siècle. Donc toute augmentation de température ce traduit par une croissance plus faible. Pour les précipitations cette corrélation est positive jusqu'au milieu du XXème siècle puis devient négative.

Ce changement de corrélation doit être en relation avec l'allongement des périodes de fortes précipitations au printemps et des sécheresses en été. **Ces tendances traduisent donc des changements** survenus dans les valeurs de **ces variables** climatiques et non pas un effet d'une autre variable, du moins pas directement.

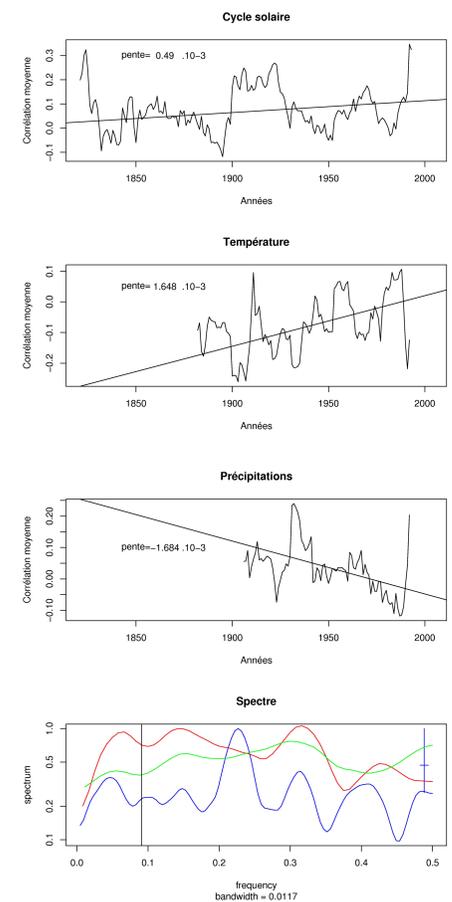


Figure 4: Moyenne des corrélations obtenues au Népal pour les composantes climatiques et estimation de leur densité spectrale

La tendance observée dans les corrélations avec le cycle solaire est positive. Elle traduit l'effet croissant d'un facteur agissant sur la lumière. Récemment l'analyse de l'irradiation solaire totale (IST) a montré que même si le nombre de taches solaires varie en amplitude entre chaque cycle, les IST **ne varient pas en amplitude (Figure 5)**. Une variation à long terme dans l'activité solaire ne semble donc pas pouvoir expliquer cette tendance. **L'augmentation de la lumière diffuse** liée à l'accroissement de la poussière atmosphérique **ou une fertilisation au CO_2** semblent les **explications les plus probantes**. D'autres analyses sont nécessaire pour confirmer quel effet est responsable de cette dernière tendance.

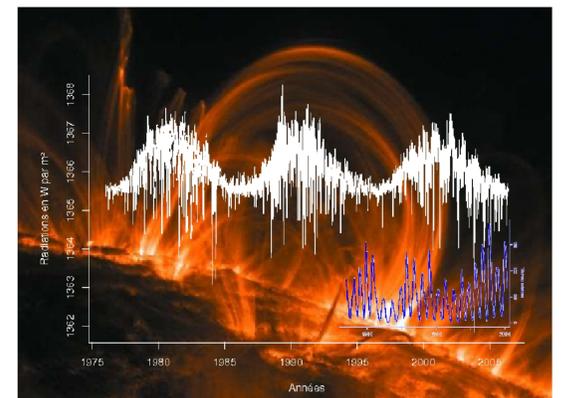


Figure 5: Irradiation solaire totale arrivant à la surface du globe terrestre avec en bleu les variations des taches solaires