

Résumé en anglais

Stomatal dynamics play a central role in regulating gas exchange between the plant and the atmosphere. However, the biomechanical inertia of guard cells induces a temporal decoupling between photosynthetic carbon assimilation and water loss through transpiration. Historically ignored by classical models that assume an instantaneous steady-state response, this slow stomatal response is nevertheless crucial in fluctuating environments. The objective of this thesis is to characterise the plasticity of these dynamics in the European beech (*Fagus sylvatica* L.) from young saplings to the mature canopy. This approach is formalised by a non-steady-state model describing opening and closing separately via a lag time (λ), a response time constant (τ), and an amplitude of conductance variation (Δg_s), allowing for the calculation of a maximum transition rate (SL_{max}).

Under semi-controlled conditions (greenhouse), continuous leaf shading and edaphic drought induce an increase in reactivity (decrease in τ and λ). Although this increased reactivity allows shade leaves to maximize assimilation during rapid light fluctuations (*sunflecks*), maintaining symmetrical dynamics (ratio close to 1) between opening and closing under water stress nuances the hypothesis of optimized water conservation. Furthermore, this work reveals strong resilience in the osmotic adjustment of guard cells, with a severe potassium (K^+) deficiency not significantly altering stomatal dynamics.

In situ (Hesse forest), reactivity acclimates to the vertical canopy gradient : upper leaves maximise their speed (SL_{max}) in the spring, while lower leaves are more reactive (low τ and λ) at the end of the season. Thus, over the course of the season, reactivity at the top decreases, and stomatal dynamics shift toward a distinct asymmetry between the beginning and the end of the vegetative season, with the closing/opening time ratio increasing from 1 to nearly 2. This seasonal variation in stomatal dynamics suggests a link to the decline in leaf water potential (ψ_l).

Based on these findings, it would be highly relevant to integrate the sigmoidal shape, opening/closing asymmetry, and their modulation by water status into comprehensive dynamic models. Confronting these leaf-level models with ecosystem fluxes measured at high resolution by *eddy covariance* could constitute the next step to quantify the impact of stomatal inertia on the resilience of forest carbon and water balances to climate fluctuations.

Résumé en français

La dynamique stomatique joue un rôle central dans la régulation des échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère. Toutefois, l'inertie biomécanique des cellules de garde induit un découplage temporel entre l'assimilation photosynthétique du carbone et la perte d'eau par transpiration. Historiquement ignorée par les modèles classiques qui supposent une réponse stationnaire instantanée, cette réponse stomatique lente est pourtant cruciale en environnement fluctuant. L'objectif de cette thèse est de caractériser la plasticité de cette dynamique chez le hêtre commun (*Fagus sylvatica* L.) du jeune plant à la canopée mature. Cette approche est formalisée par un modèle non stationnaire décrivant séparément l'ouverture et la fermeture via un temps de latence (λ), une constante de temps de réponse (τ) et une amplitude de variation de conductance (Δg_s), permettant de calculer une vitesse maximale de transition (SL_{max}).

En conditions semi-contrôlées (serre), l'ombrage continu des feuilles et la sécheresse édaphique induisent une augmentation de la réactivité (baisse de τ et λ). Bien que cette réactivité accrue permette aux feuilles d'ombre de maximiser l'assimilation lors des fluctuations lumineuses rapides (sunflecks), le maintien d'une dynamique symétrique (ratio proche de 1) entre l'ouverture et la fermeture face au stress hydrique vient nuancer l'hypothèse d'une optimisation de la conservation de l'eau. Par ailleurs, ces travaux révèlent une forte résilience de l'ajustement osmotique des cellules de garde, une carence sévère en potassium (K^+) n'altérant pas significativement la dynamique stomatique.

In situ (forêt de Hesse), la réactivité s'acclime au gradient vertical de canopée : les feuilles supérieures maximisent leur vitesse (SL_{max}) au printemps, tandis que les feuilles inférieures sont plus réactives (τ et λ faibles) en fin de saison. Ainsi, au cours de la saison, la réactivité au sommet diminue et la dynamique stomatique bascule vers une nette asymétrie entre le début et la fin de saison végétative, le ratio des temps de fermeture/ouverture passant de 1 à près de 2. Cette variation saisonnière de la dynamique stomatique suggère un lien avec la baisse du potentiel hydrique foliaire (ψ_l).

À partir de ces travaux, il pourrait être intéressant d'intégrer la forme sigmoïdale, l'asymétrie ouverture/fermeture et leur modulation par l'état hydrique au sein de modèles dynamiques complets. La confrontation de ces modèles foliaires aux flux écosystémiques mesurés à haute résolution par covariance des turbulences (eddy covariance) pourrait constituer la prochaine étape pour quantifier l'impact de l'inertie stomatique sur la résilience des bilans carbonés et hydriques des forêts face aux fluctuations climatiques.