

---

**DÉTERMINISMES PHYSIOLOGIQUES, MORPHOLOGIQUES  
ET MOLÉCULAIRES DE L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU  
EN LIEN AVEC LA RÉPONSE À LA SÉCHERESSE CHEZ LES PEUPLIERS :  
DE LA FEUILLE À LA PLANTE ENTIÈRE.**

Thèse de **Maxime DURAND**<sup>1</sup>

Analysée par **Hervé COCHARD**<sup>2</sup>

**Directeur de thèse** : Didier Le Thiec, DR INRAE  
**Co-directeur de thèse** : Oliver Brendel, DR INRAE

Cette thèse a été délivrée par l'Université de Lorraine en septembre 2019. Elle a été réalisée dans l'UMR Silva sous la direction de Didier Le Thiec et Oliver Brendel. Le candidat a reçu un financement de la Région Lorraine et du département EFPA d'INRAE. Une partie du travail de thèse a également été effectuée en collaboration avec l'Université de Western Sydney (Australie) à l'occasion d'un séjour de six semaines au Hawkesbury Institute.

Les échanges considérables d'H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> entre la végétation et l'atmosphère sont au cœur des questions agronomiques et forestières traitant de la productivité des cultures et de leur sensibilité aux facteurs de l'environnement. Ils sont aussi au cœur des discussions sur les impacts du changement climatique et de leur mitigation possible par les plantes, les forêts en particulier. Ces flux se produisent au travers de minuscules pores dans l'épiderme des feuilles, les stomates, qui ont la remarquable capacité de faire varier leur degré d'ouverture. La compréhension des mécanismes régulant cette ouverture stomatique et des facteurs de l'environnement qui la déterminent ont fait l'objet d'études innombrables depuis les travaux pionniers de Francis Darwin à la fin du <sup>XIX</sup><sup>ème</sup> siècle. Mais force est de constater que les stomates gardent bien leurs secrets et que la complexité de leur fonctionnement reste encore largement à explorer.

Le travail de thèse de Maxime Durand s'inscrit dans cette lignée, mais avec un angle tout à fait novateur. Les travaux effectués jusqu'à peu s'attardaient à comprendre les réponses à *l'équilibre* des stomates à des facteurs externes (lumière, humidité de l'air, température etc.) ou internes à la plante (concentration en ABA, turgescence des cellules de gardes, etc...). Mais depuis, des travaux récents, en particulier ceux de Tracy Lawson et de Mike Blatt, ont démontré qu'il était peut-être encore plus important de prendre en compte les *dynamiques temporelles* de ces réponses stomatiques, car celles-ci pouvaient avoir des implications fortes sur la physiologie des plantes. En particulier, ces auteurs ont suggéré qu'une partie de la compréhension de la variabilité de l'efficacité d'utilisation en eau des plantes (WUE) entre des

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat en Biologie et écologie des forêts et agrosystèmes de l'Université de Lorraine, dans le cadre de l'Ecole doctorale SIReNA (Science et ingénierie des ressources naturelles (Lorraine), réalisée à l'UMR Silva et soutenue le 5 septembre 2019

<sup>2</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 5 (Interactions milieu-êtres vivants)

espèces ou des géotypes pouvait trouver son explication dans ces dynamiques. La WUE est un paramètre important en agronomie, et aussi en foresterie, car il détermine la quantité de biomasse produite par quantité d'eau consommée par la plante. Dans un contexte de précarisation de la ressource en eau, les avancées scientifiques sur l'amélioration de la WUE des plantes sont donc particulièrement attendues.

Le principe de base, sur lequel repose ce sujet de thèse, est assez simple à comprendre si on l'illustre par l'effet de la lumière sur les échanges gazeux : une variation brusque de lumière va créer une variation rapide de la photosynthèse alors que la quantité d'eau évaporée va, elle, dépendre de la dynamique de fermeture et d'ouverture des stomates. Une fermeture rapide des stomates peut donc diminuer la transpiration de la plante et augmenter ainsi sa WUE. A l'inverse, c'est une ouverture lente qui confère un avantage agronomique. C'est donc la dissymétrie des réponses entre ouverture et fermeture qui est particulièrement significative ici pour l'impact sur la WUE.

A ma connaissance, la thèse de Maxime Durand est la première à aborder, en France, la variabilité de la WUE sous l'angle de la variabilité des dynamiques d'ouvertures et de fermetures des stomates. C'est aussi la première fois que le lien est effectué entre des observations fines, à l'échelle de la feuille et des stomates, et celle de la transpiration d'une plante entière. C'est aussi certainement la première fois que cet angle d'approche de la WUE est mis en œuvre sur un ligneux en conditions de croissance naturelles. Le travail de thèse de Maxime Durand se situe donc très clairement sur un front de science largement inexploré.

Le peuplier a été choisi comme objet d'étude pour ce travail. Cette espèce ligneuse s'imposait certainement en raison du corpus de connaissances sur la variabilité de la WUE chez cette espèce, mais aussi pour la pertinence d'améliorer génétiquement ce paramètre pour aider la popiculture à s'adapter au changement climatique. Cette thèse met en œuvre une démarche de biologie intégrative (du gène à la plante et à la culture), démarche audacieuse car elle demande nécessairement au doctorant la maîtrise de nombreux concepts et de nombreuses techniques mises en œuvre à la fois au champ et en conditions de croissance contrôlées. Force est de constater que Maxime Durand a su relever ce défi ! Ce travail illustre aussi très bien le rôle clé de l'écophysiologie dans cette démarche intégrative, chaînon souvent manquant dans de nombreuses études et qui pourtant permet de tisser les liens entre les échelles plus fines (physiologie cellulaire) et plus intégratives (agronomie, sylviculture).

Les rapporteurs ont très justement souligné la quantité de travail accomplie par le doctorant tant elle est impressionnante. Les avancées scientifiques sont aussi très nombreuses, et on ne peut mentionner ici que les résultats phares de la thèse de Maxime Durand. Une variabilité génotypique significative des dynamiques stomatiques à la fois en réponse à la lumière et au VPD a été observée. De plus, une corrélation a été mise en évidence entre la vitesse de réaction des stomates et la transpiration de la plante entière. Seulement quatre géotypes ont été caractérisés dans cette étude, mais c'est un premier résultat important et prometteur pour la suite. De plus, ces réponses sont modifiées par la sécheresse et les conditions de croissance, ce qui suggère non seulement une variabilité génotypique mais aussi une certaine plasticité phénotypique de ces traits stomatiques. La taille et la densité des stomates ainsi que la transpiration foliaire semblent fortement corrélées aux dynamiques stomatiques en serre, mais très peu par contre sur les plantes en conditions naturelles.

Ces résultats, pionniers, restent à confirmer sur un plus grand nombre de géotypes et de conditions de croissance. Ils sont néanmoins très prometteurs, et démontrent que la voie

ouverte par ce travail de thèse demande à être poursuivie. En particulier, la dynamique de réponse des stomates devra être prise en compte plus explicitement dans les modèles physiologiques de fonctionnement des plantes. Il est probablement trop tôt pour entrevoir si cette approche donnera, à terme, des résultats plus opérationnels en matière de sélection variétale ou de conduite des peuplements. Pour l'heure, elle a fait progresser très significativement le front de la science sur la thématique du fonctionnement stomatique. Cela s'est traduit par la publication de six articles directement issus du travail de thèse de Maxime Durand et publiés dans des revues scientifiques de premier plan dans la discipline (*New Phytologist*, *Plant Cell Environment*, *AFM*, *EEB*). Cette performance est tout à fait notable.

Le travail de thèse de Maxime Durand me semble donc remarquable à plusieurs égards. Il portait sur un sujet émergent et difficile, a nécessité un travail expérimental considérable, a fait progresser les connaissances sur le sujet et a été hautement valorisé par des publications dans des revues de référence. Il ouvre de nombreuses pistes scientifiques, qui restent à explorer, et à l'issue desquelles on pourra attendre des retombées plus opérationnelles pour la sylviculture et l'agronomie.

A ces divers titres, cet excellent travail mérite d'être valorisé par la mise de cette analyse sur le site de l'Académie d'agriculture de France.