

# Rôle de l'épigénétique dans la plasticité phénotypique et l'adaptation chez le peuplier dans un contexte de changement climatique

Mots clés : arbres, changements climatiques, écophysiologie, sécheresse, épigénétique

Directeur de thèse : Prof. S. Maury      Co-encadrant : Dr. R. Fichot

Laboratoire de Biologie des Ligneux et des Grandes Cultures, Université d'Orléans (LBLGC EA 1207, USC INRA 1328) - Ecole doctorale SSBCV

## • Résumé :

Les plantes sont des organismes fixés, avec un développement continu, une absence de lignée germinale préétablie, des cycles de vie très variés allant jusqu'à des centaines d'années chez les arbres et une forte plasticité phénotypique en réponse aux variations de leur environnement. Elles constituent ainsi des modèles biologiques pertinents pour étudier les relations entre les mécanismes épigénétiques, le développement et l'adaptation à l'environnement. L'épigénétique est notamment impliquée dans des phénomènes de plasticité phénotypique, de mémoire des stress voire de transmission trans-générationnelle.

De nombreux exemples ont ainsi été décrits chez diverses plantes modèles ou cultivées, annuelles ou pérennes, et notamment des études centrées sur la méthylation de l'ADN. Cependant, les rôles respectifs et les interactions entre les composantes « génétique » et « épigénétique » dans l'établissement du phénotype restent à préciser. De même, la stabilité des mécanismes épigénétiques (à l'échelle de l'individu ou entre générations) et leur participation à l'adaptation à l'environnement de populations naturelles notamment aux changements globaux est une question importante à clarifier. Une meilleure compréhension de ces phénomènes est indispensable pour envisager des pistes d'exploitation en agriculture pour la conservation des ressources génétiques et l'amélioration des plantes <sup>[1]</sup>.

C'est dans ce contexte que nous développons au sein du LBLGC (équipe ARCHE <http://www.univ-orleans.fr/lblgc/arche>) des études sur le rôle de l'épigénétique chez les arbres, organismes pérennes avec un rôle écologique et économique majeur, en réponse aux changements climatiques. Des dépérissements forestiers ont en effet été observés ces dernières années dans le monde en lien avec des épisodes de sécheresse et de températures élevées qui devraient devenir plus fréquents à l'avenir. Les études sur la composante « génétique » de l'adaptation des arbres ont principalement porté sur la contribution de la variation structurale à l'adaptation locale. De manière surprenante, les mécanismes épigénétiques sont restés en grande partie non étudiés, malgré leur importance connue dans les organismes à vie longue, dans lesquels ils facilitent les modifications phénotypiques rapides en réponse aux changements environnementaux. Au cours des 10 dernières années, nous avons développé une approche collaborative et intégrative allant de l'écophysiologie, la biochimie, la génétique à l'(épi)génomique sur des dispositifs expérimentaux variés en serre, pépinière ou plantations. Globalement, nos données démontrent que la méthylation de l'ADN est une source de flexibilité associée à la plasticité phénotypique et mémoire environnementale des arbres <sup>[2]</sup>.

Le rôle des mécanismes épigénétiques dans l'adaptation des arbres et la microévolution est actuellement évalué dans le cadre du projet ANR EPITREE 2018-2021 (ANR-17-CE32-0009-01, coordination S. Maury, <https://www6.inra.fr/epitree-project/>, labélisation par le GIS Biotechnologies vertes, et soutenu par les réseaux thématiques du CNRS RTP3E et GDR PlasPhen). Le projet EPITREE a pour objectif général d'étudier le rôle de la marque épigénétique « méthylation de l'ADN » conjointement à l'expression génique et la variation allélique dans la plasticité phénotypique et

l'adaptation des arbres forestiers aux environnements locaux. Nous explorons également les avantages à considérer les marques épigénétiques en plus des polymorphismes génétiques et des phénotypes dans la sélection végétale et la caractérisation des ressources génétiques afin de valider ce concept sur deux essences forestières majeures, le peuplier et le chêne, en vue de la définition d'objectifs ambitieux pour les améliorateurs et les gestionnaires de ressources génétiques forestières [3].

La thèse se déroulera au LBLGC dans le cadre du projet ANR EPITREE. La thèse sera centrée sur le modèle peuplier et portera sur des questions de diversité au sein des populations naturelles et de plasticité en réponse à la sécheresse. Le sujet sera à l'interface entre plusieurs disciplines telles que l'écophysiologie, la génétique et l'épigénétique. Le candidat bénéficiera directement du réseau de collaboration et de formation du projet EPITREE ainsi que du réseau de collaboration international existant depuis une dizaine d'années hors projet (Espagne, Belgique et USA).

[1] [https://www.gisbiotechnologiesvertes.com/fr/publications?task=download&collection=do\\_document\\_fichiers&xi=0&file=do\\_document\\_fichier&id=41596](https://www.gisbiotechnologiesvertes.com/fr/publications?task=download&collection=do_document_fichiers&xi=0&file=do_document_fichier&id=41596)

[2] <http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Biologie-vegetale/Toutes-les-actualites/Travaux-pionniers-sur-la-memoire-de-la-secheresse-chez-les-arbres>

[3] <https://www.elsevier.com/books/epigenetics-and-breeding/gallusci/978-0-12-815403-8#>

- Profil du candidat et compétences recherchées :

Le travail inclura l'acquisition de données écophysiologiques à partir de dispositifs expérimentaux originaux, l'analyse bio-informatique de données d'épigénomique et une analyse intégrative de ces données dans un contexte biologique. Le candidat recherché devra donc faire preuve d'autonomie tout en étant capable de travailler en équipe, et devra avoir un intérêt certain pour la physiologie végétale. Des connaissances en génomique, bio-informatique et/ou statistiques seront un atout supplémentaire.

- Modalités de candidature :

Le candidat devra être titulaire d'un Master 2 en sciences du vivant ou équivalent (ingénieur...). Pour candidater (avant le 26 avril 2019), merci de contacter par e-mail avec un CV et une lettre de motivation les deux encadrants : [stephane.maury@univ-orleans.fr](mailto:stephane.maury@univ-orleans.fr) ET [regis.fichot@univ-orleans.fr](mailto:regis.fichot@univ-orleans.fr)

Pour information, la bourse de thèse (financement Région Centre Val de Loire) est acquise. Le concours oral se déroulera le 6 mai 2019.

- Cinq références récentes :

1. Lafon-Placette C, Le Gac A-L, Chauveau D, Segura V, Delaunay A, Lesage-Descauses MC, Hummel I, Cohen D, Jesson B, Le Thiec D, Bogeat-Triboulot MB, Brignolas F, Maury S (2018) Changes in the epigenome and transcriptome of the poplar shoot apical meristem in response to water availability affect preferentially hormone pathways. *Journal of Experimental Botany* 69, 537-551 doi: 10.1093/jxb/erx409
2. Le Gac A-L, Lafon-Placette C, Chauveau D, Segura V, Delaunay A, Fichot R, Marron N, Le Jan I, Berthelot A, Bodineau G, Bastien J-C, Brignolas F, Maury S (2018) Winter-dormant shoot apical meristem in poplar trees shows environmental epigenetic memory. *Journal of Experimental Botany* 69, 4821-4837 doi:10.1093/jxb/ery271
3. Sow MD, Segura V, Chamaillard S, Jorge V, Delaunay A, Lafon-Placette C, Fichot R, Faivre-Rampant P, Villar M, Brignolas F, Maury S (2018) Narrow-sense heritability and PST estimates of DNA methylation in three *Populus nigra* L. populations under contrasting water availability. *Tree Genetics & Genomes* 14:78 <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1293-6>
4. Bloemen J, Fichot R, Horemans J, Broeckx LS, Verlinden Ms, Zenone T, Ceulemans R (2016) Water use of a multi-genotype poplar short-rotation coppice from tree to stand scale. *Global Change Biology Bioenergy* 9, 370-384 doi: 10.1111/gcbb.12345
5. Fichot R, Brignolas F, Cochard H, Ceulemans R (2015) Vulnerability to drought-induced cavitation in poplars: synthesis and future opportunities: drought-induced cavitation in poplars: a review. *Plant Cell Environ* 38, 1233-1251.

# Role of epigenetics in phenotypic plasticity and adaptation in the model tree poplar in a context of climate change

Keywords: trees, climate change, ecophysiology, water deficit, epigenetics

Ph.D. supervisor: Prof. S. Maury      Ph.D. co-supervisor: Dr. R. Fichot

Laboratoire de Biologie des Ligneux et des Grandes Cultures, Université d'Orléans (LBLGC EA 1207, USC INRA 1328) - Ecole doctorale SSBCV

## • Abstract:

Plants are fixed organisms with continuous development, a lack of pre-established germ line, diverse life cycles of up to hundreds of years in trees, and high phenotypic plasticity in response to changes in their environment. Therefore, they represent relevant biological models for studying the relationships between epigenetic mechanisms, development and adaptation to the environment. Epigenetics is known to be involved in phenotypic plasticity, stress memory and trans-generational transmission.

Numerous examples have been described in various model or cultivated plants, annuals or perennials, with studies focusing mainly on DNA methylation. However, the respective roles and interactions between the "genetic" and "epigenetic" components in phenotype establishment remain to be established. Similarly, the stability of epigenetic mechanisms (at the individual level or between generations) and their participation in the adaptation to the environment of natural populations, especially in a context of global changes, is an important issue that remains to be clarified. A better understanding of these mechanisms is key to opening new perspectives in agriculture for the conservation of genetic resources and for plant breeding <sup>[1]</sup>.

In this context, we conduct within the LBLGC (ARCHE research group <http://www.univ-orleans.fr/blgc/arche>) research on the role of epigenetics in trees, which are perennial organisms with a major ecological and economic role, in response to climate changes. In recent years, forest declines have been reported worldwide in relation with drought and heatwave extreme events that are expected to become more frequent in the future. So far, studies on the "genetic" component of tree adaptation mainly addressed the contribution of structural variation to local adaptation. Surprisingly, epigenetic mechanisms remain largely understudied, despite their known importance in long-living organisms in which they can facilitate rapid phenotypic plasticity in response to environmental changes. Over the last 10 years, we have developed a collaborative and integrative approach ranging from ecophysiology, biochemistry, genetics to (epi) genomics on various experimental designs in greenhouse, nursery or field plantations. Overall, our data demonstrate that DNA methylation is a source of flexibility associated with phenotypic plasticity and environmental memory of trees <sup>[2]</sup>.

The role of epigenetic mechanisms in tree adaptation and microevolution is being evaluated in the ANR project EPITREE 2018-2021 (ANR-17-CE32-0009-01, P.I. S. Maury, <https://www6.inra.fr/epitree-project/>, supported by the Green Biotechnologies GIS, and by the CNRS RTP3E and GDR PlasPhen thematic networks). The general objective of the EPITREE project is to establish the role of DNA methylation in conjunction with gene expression and allelic variation in phenotypic plasticity and tree adaptation to local environment. We also explore the benefits of considering epigenetic marks in addition to genetic polymorphisms and phenotypes in plant breeding and for the characterization of genetic resources to validate this concept on two major forest tree species, poplar and oak, for defining ambitious objectives for forest tree breeders and managers <sup>[3]</sup>.

The Ph.D. will take place at the LBLGC as part of the ANR project EPITREE. The thesis will focus on the model tree poplar and will address questions of diversity within natural populations and plasticity

in response to drought. The subject will be at the interface between several disciplines such as ecophysiology, genetics and epigenetics. The candidate will benefit directly from the collaboration and training network of the EPITREE project as well as from the international collaboration network already existing for about ten years outside the project (Spain, Belgium and USA).

[1] [https://www.gisbiotechnologiesvertes.com/fr/publications?task=download&collection=do\\_document\\_fichiers&xi=0&file=do\\_document\\_fichier&id=41596](https://www.gisbiotechnologiesvertes.com/fr/publications?task=download&collection=do_document_fichiers&xi=0&file=do_document_fichier&id=41596)

[2] <http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Biologie-vegetale/Toutes-les-actualites/Travaux-pionniers-sur-la-memoire-de-la-secheresse-chez-les-arbres>

[3] <https://www.elsevier.com/books/epigenetics-and-breeding/gallusci/978-0-12-815403-8#>

- Profile and skills required:

The work will include the acquisition of ecophysiological data from original experimental designs, bioinformatic analysis of epigenomic data and an integrative analysis of the whole data in a biological context. The candidate sought will have to be autonomous while being able to work in a team, and will have a certain interest in plant physiology. Knowledge in genomics, bioinformatics and/or statistics will be an added advantage.

- Application:

The candidate must hold a Master 2 in Life Sciences or equivalent (engineer ...). To apply (before April 26, 2019), please send an e-mail with a CV and a letter of motivation to both supervisors: [stephane.maury@univ-orleans.fr](mailto:stephane.maury@univ-orleans.fr) **AND** [regis.fichot@univ-orleans.fr](mailto:regis.fichot@univ-orleans.fr)

For information, the thesis grant (funding Region Centre Val de Loire) is already acquired. The competitive oral defense will take place on May 6, 2019.

- Five recent references:

1. Lafon-Placette C, Le Gac A-L, Chauveau D, Segura V, Delaunay A, Lesage-Descauses MC, Hummel I, Cohen D, Jesson B, Le Thiec D, Bogeat-Triboulot MB, Brignolas F, Maury S (2018) Changes in the epigenome and transcriptome of the poplar shoot apical meristem in response to water availability affect preferentially hormone pathways. *Journal of Experimental Botany* 69, 537-551 doi: 10.1093/jxb/erx409
2. Le Gac A-L, Lafon-Placette C, Chauveau D, Segura V, Delaunay A, Fichot R, Marron N, Le Jan I, Berthelot A, Bodineau G, Bastien J-C, Brignolas F, Maury S (2018) Winter-dormant shoot apical meristem in poplar trees shows environmental epigenetic memory. *Journal of Experimental Botany* 69, 4821-4837 doi:10.1093/jxb/ery271
3. Sow MD, Segura V, Chamaillard S, Jorge V, Delaunay A, Lafon-Placette C, Fichot R, Faivre-Rampant P, Villar M, Brignolas F, Maury S (2018) Narrow-sense heritability and PST estimates of DNA methylation in three *Populus nigra* L. populations under contrasting water availability. *Tree Genetics & Genomes* 14:78 <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1293-6>
4. Bloemen J, Fichot R, Horemans J, Broeckx LS, Verlinden Ms, Zenone T, Ceulemans R (2016) Water use of a multi-genotype poplar short-rotation coppice from tree to stand scale. *Global Change Biology Bioenergy* 9, 370-384 doi: 10.1111/gcbb.12345
5. Fichot R, Brignolas F, Cochard H, Ceulemans R (2015) Vulnerability to drought-induced cavitation in poplars: synthesis and future opportunities: drought-induced cavitation in poplars: a review. *Plant Cell Environ* 38, 1233–1251.