

L'HÉTÉROGÉNÉITÉ ENVIRONNEMENTALE, MOTEUR D'ADAPTATION À LA TEMPÉRATURE DES POPULATIONS D'AGENTS PATHOGÈNES FOLIAIRES ?

Thèse de Anne-Lise **BOIXEL**¹

Analysée par Odile **CARISSE**²

Directeur de thèse : Frédéric **SUFFERT**, Ingénieur de recherche HDR, INRAE UMR BIOGER (BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture).

Co-directeur de thèse : Michaël **CHELLE**, Directeur de recherche, INRAE UMR ECOSYS (Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes).

La thèse présentée et soutenue à Thiverval-Grignon, le 19 juin 2020, par Anne-Lise Boixel est divisée en sept chapitres : une introduction générale (chapitre 1), des expérimentations (chapitres 2 à 6) et une discussion générale (chapitre 7). Des avant-propos, au début de chaque chapitre, mettent en évidence le lien entre les différentes parties de l'étude.

Globalement, l'objectif était d'étudier comment la variation individuelle et l'hétérogénéité environnementale affectent la capacité d'adaptation, la composition phénotypique et la résilience des populations de *Zymoseptoria tritici*, agent responsable de la septoriose du blé. Cet objectif a été abordé de façon originale et multidimensionnelle en combinant trois axes de recherche complémentaires soit : 1) le développement et l'utilisation de protocoles de phénotypage à grande échelle pour caractériser la diversité des réponses thermiques au sein des populations de *Z. tritici* ; 2) l'étude des variations spatio-temporelles de la température dans un couvert végétal de blé et ; 3) l'étude du processus de sélection des thermotypes et de leur impact sur la dynamique des populations de *Z. tritici*.

En introduction, Anne-Lise Boixel présente les notions scientifiques qui sous-tendent son travail et décrit sa stratégie de recherche de manière très détaillée.

¹ Thèse de doctorat de l'Université Paris Saclay, INRAE, AgroParisTech, École doctorale n°581 : Agriculture, alimentation, biologie, environnement, santé (ABIES), Spécialité de doctorat : Sciences agronomiques, Unité de recherche UMR BIOGER (BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture), 78850, Thiverval-Grignon, France. Thèse soutenue à Thiverval-Grignon, le 19 juin 2020.

² Membre correspondant associé (Canada) de l'Académie d'agriculture de France, section 1 « Productions végétales ».

ANALYSE DE THÈSE

Le chapitre 2 a fait l'objet d'une publication en 2019 dans la revue 'Microbial Ecology'. Dans ce chapitre, Anne-Lise Boixel présente les résultats d'une étude sur l'influence de la température sur la croissance de *Z. tritici*. La croissance a été estimée en fonction de la densité optique mesurée dans des plaques de microtitration maintenues à douze températures pendant quatre jours. Des modèles mathématiques ont été ajustés aux données de taux de croissance maximal et permis de calculer plusieurs paramètres de réponse à la température. Cette approche a été appliquée à six populations françaises de *Z. tritici* isolées, selon leur exposition à différentes températures moyennes annuelles et plages de température annuelle pour un total de 66 souches. La relation entre la croissance et la température a été utilisée pour former quatre groupes d'isolats ayant des réponses similaires (thermotypes). Leur occurrence est examinée en relation avec le climat de l'endroit où l'isolement a été effectué. L'étude a révélé qu'il n'y a pas de structure spatiale de la réponse thermique dans les populations françaises. Par contre, un changement saisonnier dans la composition des thermotypes a été mis en évidence entre les populations hivernales et printanières échantillonnées sur le même site, suggérant l'existence d'une adaptation thermique.

Le chapitre 3 représente un manuscrit soumis pour publication dans la revue 'New Phytologist'. Dans ce chapitre, Anne-Lise Boixel applique les méthodes décrites au chapitre 2 à la sélection géographique et temporelle de différents phénotypes et génotypes de *Z. tritici*. Au total, 350 souches de douze populations ont été caractérisées. Des différences de sensibilité thermique entre les souches ont été observées, mais la variation individuelle a été conservée dans la population. Un schéma géographique de l'adaptation de la population de *Z. tritici* aux conditions locales et une différenciation phénotypique des réponses thermiques au niveau de la population au cours d'une saison ont été mis en évidence. Les résultats démontrent une évolution locale de la population sur une saison. Toutefois, la caractérisation génotypique faite à l'aide de douze marqueurs microsatellite neutres (SSR) n'a pas permis de séparer les groupes en fonction de leur réponse à la température.

Le chapitre 4, présenté sous la forme d'un manuscrit en préparation pour la revue 'Oecologia', décrit une série d'expériences sur la compétition entre deux thermotypes de *Z. tritici*. Les expérimentations ont été réalisées en conditions *in vitro* à des températures constantes, en chambre de croissance à des températures diurnes fluctuantes, et en champ à des températures variables. Les expériences de compétition en conditions *in vitro* et en chambre de croissance ont entraîné des changements adaptatifs significatifs. Par contre, l'effet de la sélection thermique a été moins marqué dans les expériences sur le terrain conduisant au maintien de la diversité phénotypique. Ce chapitre est une importante contribution à l'étude de l'adaptation thermique des populations d'agents phytopathogènes.

Le chapitre 5, qui correspond à un manuscrit en préparation pour la revue 'Agricultural and Forest Meteorology', décrit une étude approfondie de l'hétérogénéité de la température présente dans un couvert végétal de blé. Cette étude fait suite aux résultats présentés au chapitre 3 montrant qu'une grande diversité des réponses thermiques

ANALYSE DE THÈSE

individuelles des populations échantillonnées a été maintenue, suggérant l'existence de refuges thermiques adaptés à différents thermotypes dans le couvert végétal du blé. L'étude met en évidence le niveau très élevé d'hétérogénéité des températures. La question de la pression sélective exercée par les conditions locales est abordée. En raison de différents facteurs (humidité, vent, rayonnement, et sénescence des feuilles), ces résultats démontrent que l'hétérogénéité environnementale à l'échelle locale doit être prise en compte dans les études sur l'épidémiologie de ce type d'agents phytopathogènes.

Le chapitre 6 est présenté sous la forme d'un manuscrit en préparation décrivant le développement d'un modèle générique, appelé «PhenoPatch». Ce modèle permet de décrire les conséquences écologiques de l'hétérogénéité environnementale. Cette partie de la thèse correspond au séjour de trois mois d'Anne-Lise Boixel dans l'équipe du Dr. Erik Svensson à l'université de Lund en Suède. Le modèle PhenoPatch simule les changements dans la composition phénotypique d'un ensemble de populations clonales habitant différentes niches (patches) hétérogènes sur le plan environnemental à la fois dans l'espace et dans le temps, et se déplaçant d'un patch à l'autre. Le modèle a été validé à partir des données de l'expérience de compétition décrite au chapitre 4. Toutefois, ce modèle générique, bien que développé pour *Z. tritici*, peut être appliqué à d'autres systèmes biologiques et d'autres sources d'hétérogénéités environnementales.

Finalement, la dernière partie de la thèse est une discussion générale qui résume les principaux résultats et les place dans un contexte plus large. La discussion est très intéressante, bien documentée et présente plusieurs pistes de recherche qui pourraient faire suite à ce travail.

En conclusion, la thèse présentée par Anne-Lise Boixel constitue un travail impressionnant (265 pages) et de très haute qualité scientifique. La présentation est exceptionnelle. La combinaison de plusieurs approches a permis à Anne-Lise Boixel de faire des progrès significatifs dans la compréhension des effets de l'hétérogénéité environnementale sur l'adaptation des agents phytopathogènes.

La qualité scientifique de ce travail de recherche justifie que cette analyse figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France, à titre de valorisation.