
**EFFETS DE STRESS THERMIQUES RÉPÉTÉS SUR LE RENDEMENT ET
LA QUALITÉ GRAINIÈRE DU COLZA :
CARACTÉRISATION ÉCOPHYSIOLOGIQUE ET MODÉLISATION**

Thèse de Lethicia **MAGNO MASSUIA de ALMEIDA**¹

Analysée par Xavier **PINOCHET**²

Directeurs de thèse :

Sophie **BRUNEL-MUGUET**, Chargée de recherche, INRAE, UMR EVA à Caen

Alain **MOLLIER**, Chargé de recherche, INRAE, UMR ISPA à Bordeaux

La culture du colza est une espèce de première importance dans les assolements français, permettant de diversifier les rotations de céréales à paille. Le colza est un oléagineux produisant des huiles utilisées aussi bien en alimentation humaine que pour des usages industriels, dont le Diester (ester de Méthyl) constitue le principal débouché. Cependant le colza est également une ressource en protéines végétales essentielle à nos élevages. L'alimentation des bovins constitue le principal débouché en volume, de l'ordre de 70%. Chez les monogastriques, où l'incorporation de tourteaux de colza est limitée par la présence de glucosinolates, le débouché principal est l'alimentation des porcs, représentant de l'ordre de 30% du total. Les volailles constituent un marché en devenir, en particulier pour des tourteaux plus gras permettant de mieux couvrir les besoins en énergie.

Cette espèce essentielle pour améliorer notre souveraineté en protéine végétale, et assurer l'avenir des filières d'aval a un cycle de culture long allant du mois d'août au mois de juillet suivant. Elle subit de ce fait les variations du climat. Elle a besoin d'un minimum d'eau pour s'implanter et se développer en fin d'été et ainsi mieux résister aux insectes d'automne. Les hivers trop pluvieux sont le plus souvent pénalisant ; une fin de cycle trop sèche limite assimilation et remobilisation d'azote vers les graines, et des chaleurs excessives peuvent provoquer des échaudages pénalisants pour les niveaux de rendement. Pour une espèce au

¹ Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat de l'université Caen Normandie, spécialité Sciences agronomiques, biotechnologies agro-alimentaires, Ecole doctorale 497 NBISE (Normande de Biologie Intégrative, Santé, Environnement), préparée au sein de l'UMR INRAE-UCN 950 EVA (Ecophysiologie Végétale, Agronomie et nutritions), soutenue le 07 décembre 2022.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 1 « Productions végétales ».

cycle de développement aussi long sur l'année, la résilience vis-à-vis de l'exposition au climat et à ses évolutions est un élément primordial de son avenir.

Lethicia Magno Massuia de Almeida a réalisé son travail de thèse à l'Université de Caen dans l'UMR EVA associée à l'INRAE sous la direction conjointe de Sophie Brunel-Muguet (UMR EVA à Caen) et Alain Mollier (UMR ISPA à Bordeaux). Elle nous propose un travail visant à mieux comprendre le fonctionnement du colza soumis à des stress thermiques qu'elle a choisis, avec plusieurs approches très complémentaires et originales. Son mémoire s'intitule : « Effets de stress thermiques répétés sur le rendement et la qualité grainière du colza : caractérisation écophysiological et modélisation ». Lethicia Magno Massuia de Almeida a choisi de focaliser son travail sur la fin de cycle, après le début de formation des jeunes siliques, en allant jusqu'aux conséquences sur la qualité de la graine. Cela nécessite une grande maîtrise technique de la conduite des expérimentations, surtout en conditions contrôlées ou semi-contrôlées. Ce type de travail de physiologie est assez rare et constitue une première originalité du travail.

La thèse comporte une introduction générale suivie de six chapitres.

Le premier constitue une excellente synthèse bibliographique, très pédagogique et très bien illustrée. Toute personne souhaitant s'informer rapidement de l'état de l'art sur les stress thermiques, les effets mémoire pour des stress abiotiques, ou les déterminants de la qualité des graines de colza, pourront lire avec profit et facilité cette partie bibliographique très claire, bien documentée, facile à lire. A recommander à de nombreux étudiants et collègues.

Le chapitre suivant présente les questions scientifiques abordées, leur logique et comment les différentes parties du travail s'articulent autour de deux axes que sont d'une part, un axe de caractérisation écophysiological et, d'autre part, un axe de modélisation numérique. Ceci est fait avec un souci évident de pédagogie, de clarté et de mise en évidence de la complémentarité des approches.

Ensuite trois chapitres de résultats s'enchaînent. Le premier porte sur les aspects écophysiologicals. Il présente deux études sous forme d'articles. Le premier est ciblé sur les interactions de différents stress thermiques, variant en fréquence et en intensité sur le rendement et la qualité de la graine en interactions avec la nutrition en soufre. Le second article s'intéresse plus précisément aux cinétiques de remplissage du grain et au déterminisme de la qualité en mobilisant différentes techniques de métabolomique et d'histologie. Malgré la présentation sous forme d'articles acceptés, on retrouve ce souci de la pédagogie et d'aide à la lecture, avec des rappels introductifs et des synthèses des principaux éléments de résultats.

Le second chapitre de résultats est consacré aux effets mémoires, c'est-à-dire aux effets induits par un premier stress sur les stress suivants, au cours d'une génération ou sur des générations successives. Ces sujets sont investis depuis quelques années sur différentes espèces. Ici Lethicia Magno Massuia de Almeida positionne son travail sur deux cycles successifs de colza d'hiver. Si les effets des stress du cycle n sont prépondérants sur les caractères de rendement et de qualité observés, elle met clairement en évidence des effets des stress de la génération n-1 sur le comportement des modalités de la génération n. Elle en dégage ensuite les éléments et paramètres utiles pour venir nourrir les approches de modélisation du chapitre suivant.

Ce chapitre propose trois approches différentes de modélisation. La première démarche a consisté à reprendre les données des réseaux d'expérimentation du projet PIA1 RAPSODYN et à utiliser des indicateurs éco climatiques pour caractériser les différents stress rencontrés sur ces réseaux expérimentaux après floraison, pendant le remplissage. Ainsi l'utilisation de ces indicateurs éco climatiques a permis de démontrer mathématiquement que l'effet d'une succession d'événements stressants n'est pas égal à la somme des effets individuels de chaque événement stressant. La prise en compte de ces résultats et des événements de stress identifiés permet ainsi une amélioration des qualités prédictives d'un modèle de culture qui en tient compte. La deuxième partie de ce chapitre passe à l'application sur le modèle SuMoToRI développé dans l'unité et publié en 2015, et qui a pour spécificité d'intégrer la nutrition soufrée du colza. Lethicia Magno Massuia de Almeida a implanté deux évolutions du modèle. La première a consisté à compléter le modèle pour qu'il puisse aller jusqu'au rendement en siliques. Cette étape est importante et délicate car il faut intégrer les capacités photosynthétiques des siliques et la bascule vers l'autotrophie de ces siliques pour la poursuite de leur remplissage. La seconde amélioration porte sur l'introduction de la prise en compte des effets mémoire des stress répétés. Le troisième volet du chapitre est une approche très originale de fouille de données sans *a priori*, menée en collaboration avec un laboratoire de l'INRIA de Nancy, utilisant les données issues des réseaux d'expérimentation de RAPSODYN. Ces approches « big-data » semblent pouvoir ouvrir des voies d'amélioration de modèles de culture mécanistes en hiérarchisant les variables à prendre en compte. Néanmoins cette approche a été limitée par la taille du jeu de données utilisé, malgré dix campagnes de résultats multi locaux.

Le dernier chapitre reprend la synthèse de l'ensemble des résultats, comment ils s'articulent autour des deux axes, et souligne l'importance de disposer d'outils de modélisation performants.

Les commentaires des deux rapporteurs de la thèse, Philippe Debaeke et Christine Garnier sont l'un comme l'autre extrêmement élogieux. Le rapport de soutenance l'est tout autant, soulignant à la fois capacités de synthèse, maîtrise du sujet, présentation tant sur la forme que sur le fond et maturité scientifique exceptionnelle dans le dialogue avec le jury. Il faut noter le niveau rarissime de l'effort de valorisation des résultats. Pour l'instant quatre articles sont publiés dans des revues à comité de lecture. Lethicia Magno Massuia de Almeida a présenté quatre communications dans des congrès internationaux, et cinq dans des colloques nationaux.

J'ai également eu l'occasion de rencontrer lors du carrefour de la sélection du colza en janvier 2024 Sophie Brunel-Muguet qui m'a réaffirmé le plaisir qu'elle avait eu lors de cette collaboration avec Lethicia Magno Massuia de Almeida et se déclarait consciente de sa chance et qu'il était peu probable qu'elle retrouve une étudiante en thèse aussi brillante.

L'ensemble du travail présenté et les qualités reconnues de Lethicia Magno Massuia de Almeida méritent indiscutablement que cette analyse figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France, à titre de valorisation.

Publications à comité de lecture :

- **Magno, L., Coquemont-Guyot, M., Elie, N., Morvan-Bertrand, A., Avice, J.-C., Mollier, A., and Brunel-Muguet, S. (2023).** Repeated heat stress events during the reproductive phase impact the dynamic development of seeds in *Brassica napus* L. *Plant Science*, 327, 111559. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111559>

-
- **Magno, L., Corlouer, E., Laperche, A., Nesi, N., Mollier, A., and Brunel-Muguet, S. (2022b).** To what extent can ecoclimatic indicators assist crop performance predictions in oilseed rape upon repeated heat stresses? *European Journal of Agronomy, EJA*, 141, 126622. DOI:/10.1016/j.eja.2022.126622.
 - **Magno, L., Coulon, M., Avice, J.-C., Morvan-Bertrand, A., Bessoule, J.-J., Le Guédard, M., Kim, T.H., Niare, A., Mollier, A., Bertin, N., and Brunel-Muguet, S. (2022a).** Effects of two generational heat stress exposure at the onset of seed maturation on seed yield and quality in *Brassica napus* L. *Environmental and Experimental Botany, EEB*, 195, 104788. DOI : 10.1016/j.envexpbot.2022.104788.
 - **Magno, L., Avice, J.C., Morvan-Bertrand, A., Wagner, M.H., González-Centeno, M.R., Teissedre, P.L., Bessoule, J.J., Le Guédard, M., Kim, T.H., Mollier, A., and Brunel-Muguet, S. (2021).** High temperature patterns at the onset of seed maturation determine seed yield and quality in oilseed rape (*Brassica napus* L.) in relation to sulphur nutrition. *Environmental and Experimental Botany, EEB*, 185. DOI : 10.1016/j.envexpbot.2021.104400.