

Offre de stage de master – année 2024

Commande non-linéaire de la synthèse d'arômes en fermentation œnologique

Contexte

Les bioprocédés agroalimentaires sont encore peu optimisés. Ils doivent pourtant répondre à des contraintes de plus en plus fortes que ce soit en termes de productivité, de robustesse et de qualité des produits. Dans le contexte actuel de changement climatique, de sobriété énergétique, et d'augmentation du coût de l'énergie, il est également essentiel de minimiser l'impact environnemental de ces procédés. Pour atteindre les objectifs de production et répondre aux différentes contraintes, l'utilisation de la théorie de la commande est indispensable.

La théorie de la commande est utilisée depuis longtemps pour la commande des procédés et bioprocédés, mais a été encore très peu appliquée à la fermentation alcoolique pour la production du vin. C'est ce que nous proposons d'étudier dans le cadre de ce stage.

La fermentation alcoolique consiste principalement en la bioconversion du glucose en éthanol et CO_2 . Ce sont les levures qui effectuent cette conversion, dont elles tirent de l'énergie pour leur croissance. Elles jouent donc un rôle central ce qui explique l'importance de bien les étudier pour maîtriser la fermentation. Dans le cas de la production du vin, la fermentation alcoolique est une étape cruciale qui est généralement réalisée en réacteur batch. Lors de la bioconversion du sucre du raisin en éthanol, d'autres métabolites (glycérol, acides organiques, composés d'arômes, etc) sont également synthétisés dont certains contribuent au profil aromatique du vin. Parmi eux, on peut citer les esters - et les alcools supérieurs dans une moindre mesure - qui participent à l'arôme fruité des vins.

Jusqu'à présent, les pratiques industrielles sont essentiellement dictées par des considérations pratiques de gestion de la cave. L'objectif est généralement l'accélération des fermentations, c'est-à-dire l'accélération de la conversion du sucre résiduel qui est plus lente en fin de fermentation (lorsque le stress éthanolique est maximal pour les levures). Pour atteindre cet objectif, deux pratiques sont couramment utilisées : l'ajout d'azote au début ou en cours de fermentation, et la gestion anisotherme de la fermentation, qui consiste généralement à augmenter la température en fin de processus. Or il a été montré que ces pratiques influent également sur la teneur finale en arômes du vin, et de manière différente en fonction de l'arôme. En jouant sur la quantité d'azote ajoutée, le moment de l'ajout, et en ajustant en temps réel la température, il est possible de contrôler la synthèse d'arômes en cours de fermentation alcoolique et d'atteindre une cible aromatique et énergétique prédéfinie.

Objectifs du stage et travaux prévus

L'objectif de ce stage est de contrôler la concentration en arôme fruité des vins grâce au développement de stratégies innovantes de commande en temps réel du procédé de fermentation alcoolique basées sur un modèle mathématique prédictif. Ces stratégies devront de plus prendre en compte des contraintes sur la consommation énergétique du procédé qui doit rester suffisamment faible.

Dans le cadre de précédents travaux, un modèle dynamique de la fermentation alcoolique du vin a été développé, dans lequel la cinétique principale, la synthèse des arômes principaux, et la consommation énergétique du procédé sont représentées. Une loi de commande basée sur une approche de contrôle prédictif est actuellement en cours d'implémentation sur le procédé réel. Dans le cadre de ce stage, l'étudiant.e devra développer d'autres lois de commande et les comparer en termes de performances et robustesse à la loi de commande prédictive déjà mise en œuvre.

Pour développer les lois de commande, nous souhaitons nous appuyer sur un modèle réduit de la fermentation qui sera obtenu par des techniques de réduction de modèles basées sur une décomposition des dynamiques lentes et rapides. Cela permettrait d'exploiter la différence de vitesses entre la voie métabolique de l'azote et celle du glucose, et faciliterait la synthèse des lois de commande qui seraient ainsi plus robustes.

L'étude se fera d'abord en simulation. Puis, en fonction de l'avancée des travaux, les stratégies de commande les plus prometteuses pourront être appliquées et testées sur le procédé réel localisé dans l'Unité Expérimentale de Pech Rouge à Gruissan.

Références

Beaudeau et al. (2023b). Dynamic modelling of the effects of assimilable nitrogen addition on aroma synthesis during wine fermentation. *Chemical Engineering Transactions*, 102, 301-306.

Beaudeau et al. (2023a). Modelling the effects of assimilable nitrogen addition on fermentation in oenological

conditions. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 1-15.

Casenave et al. (2019) Antiwindup input–output linearization strategy for the control of a multistage continuous fermenter with input constraints. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 28(3), 766-775.

Godillot et al. (2023) Analysis of volatile compounds production kinetics: A study of the impact of nitrogen addition and temperature during alcoholic fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1124970.

Yabo, A. G. et Casenave, C. (2022) Aroma synthesis and energy consumption in wine fermentation: a multiobjective optimization approach. IFAC World Congress 2024.

Profil recherché

Etudiant(e) en automatique ou mathématiques appliquées en Master 2 ayant un goût pour les applications. Des connaissances en procédés ou systèmes biologiques ne sont pas nécessaires. Un bon niveau en programmation est requis (R et/ou python et/ou matlab).

Modalités du stage

La ou le stagiaire sera accueilli(e) au sein de l'UMR MISTEA (Mathématiques Informatique et Statistiques pour l'Environnement et l'Agronomie), sur le campus de la Gaillarde de Montpellier SupAgro – 2 place Pierre Viala, 34090 Montpellier. Le stage sera encadré par Agustin Yabo et Céline Casenave, tous deux chercheurs à l'INRAE (Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) dans l'Unité Mixte de Recherche MISTEA (Mathématiques Informatiques et Statistiques pour l'Environnement et l'Agronomie) et travaillant sur dans le domaine de la modélisation et de la commande de systèmes biologiques.

La durée du stage sera de 6 mois et pourra commencer dès février 2023 en fonction des disponibilités du ou de la stagiaire. Le ou la stagiaire bénéficiera d'une gratification de stage ainsi qu'un tarif cantine réduit.

Contacts :

Merci d'envoyer votre dossier de candidature (CV, derniers relevé de notes et lettre de motivation) à :
Agustin Yabo : agustin.yabo@inrae.fr, et Céline Casenave : celine.casenave@inrae.fr.