

Contrat post-doctoral en automatique - 18 mois - 2022-2023

Contrôle de la synthèse d'arômes au cours de la fermentation alcoolique du vin

Contexte

La fermentation alcoolique est une étape cruciale de la vinification. Généralement réalisée en réacteur batch¹, elle consiste principalement en la bioconversion du sucre (issu du raisin) en éthanol et CO₂. 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.

Lors de la bioconversion du sucre 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 (Torrea et al. 2011). Les consommateurs étrangers étant de plus en plus attirés par ces arômes, il y a une volonté de la part des viticulteurs français de mettre en place des stratégies visant à augmenter la concentration en esters des vins pour maintenir leur part de marché à l'exportation. De manière plus générale, l'enjeu est de contrôler la synthèse des arômes en cours de fermentation pour obtenir un profil aromatique cible et ainsi produire des vins personnalisés, qui répondent aux différents goûts des consommateurs.

Jusqu'à présent, les pratiques industrielles sont essentiellement dictées par des considérations pratiques de gestion de la cave (Sablayrolles et al. 1996). 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 en arômes du vin, et de manière différente en fonction de l'arôme (Mouret et al. 2014, Rollero et al. 2015). En jouant sur la quantité d'azote ajoutée, sur le moment de l'ajout, et sur le profil de température anisotherme, on peut donc espérer pouvoir contrôler la synthèse d'arômes et atteindre une cible aromatique prédéfinie.

C'est l'objectif même du projet ANR STARWINE (STRategies for the real-time control of ARoma production during WINE fermentation) dans lequel s'inscrit ce contrat post-doctoral.

Objectifs

L'objectif du post-doctorat est de concevoir une stratégie pour le contrôle en temps réel du profil aromatique du vin sur la base d'un modèle composé d'équations différentielles ordinaires qui est en cours de développement dans le projet STARWINE.

Les entrées de contrôle sont : (1) l'ajout d'azote (à un instant donné) et (2) la température tout au long de la fermentation. Les mesures disponibles en temps réel sont : (1) le CO₂ dégagé, (2) la température et (3) la concentration en arôme. On s'intéressera ici à un seul arôme, l'acétate d'isoamyle, dont la réponse aux ajouts d'azote et à la variation de température est assez forte (d'après les expériences préliminaires faites dans le projet STARWINE). L'objectif est de parvenir à une concentration donnée d'arômes en fin de fermentation.

La stratégie de contrôle sera composée de différentes étapes:

- un ajout ponctuel d'une dose variable d'azote (contrôle en boucle ouverte) à un instant choisi à partir des expérimentations
- une modification continue de la température (contrôle en boucle fermée), après l'ajout d'azote.

¹ Un réacteur batch est un réacteur fermé, aussi qualifié de « discontinu » dans lequel il n'y a ni entrée ni sortie, et dont le volume reste donc constant au cours du temps.

Programme de travail :

- 1. Étude bibliographique et prise en main des données et des modèles disponibles**
Une étape de calibration des paramètres du modèle pourra éventuellement être faite si besoin.
- 2. Optimisation hors ligne**
Dans un premier temps, nous effectuerons une optimisation hors ligne pour déterminer la quantité d'azote à ajouter ainsi que le profil de température à suivre pour atteindre la consigne (valeur cible à atteindre en acétate d'isoamyle). Dans un second temps, on ajoutera dans le critère d'optimisation un terme de consommation énergétique à minimiser.
- 3. Contrôle en temps réel (boucle fermée) de la concentration d'arômes avec la température**
Dans un deuxième temps, une fois fixée la valeur de la quantité d'azote à ajouter, nous concevons une loi de contrôle en boucle fermée de la température, qui garantira que la concentration d'arôme visée sera effectivement atteinte après l'ajout d'azote, malgré les incertitudes sur le modèle et le bruit de mesure. Cette loi de contrôle consistera à ajuster en temps réel le profil de température en fonction de la mesure en ligne de la teneur en arôme et du CO₂. Elle sera testée et validée en simulation.
- 4. Test et validation sur le procédé réel**
La stratégie de commande sera enfin appliquée et testée sur le procédé réel situé dans l'unité Expérimentale de Pech Rouge, à Gruissan.

Références

Pour se familiariser avec le sujet, le(la) candidat(e) pourra se référer aux articles donnés ci-dessous dont certains portent sur la modélisation et/ou le contrôle de la fermentation alcoolique.

- Casenave, C., Dochain, D., Harmand, J., Perez, M., Rapaport, A., & Sablayrolles, J. M. (2014). Control of a Multi-Stage Continuous Fermentor for the study of the wine fermentation. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 6192-6197.
- Casenave, C., Perez, M., Dochain, D., Harmand, J., Rapaport, A., & Sablayrolles, J. M. (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.
- David, R., Dochain, D., Mouret, J. R., Wouwer, A. V., & Sablayrolles, J. M. (2014). Nitrogen-backed modeling of wine-making in standard and nitrogen-added fermentations. *Bioprocess and biosystems engineering*, 37(1), 5-16.
- Malherbe, S., Fromion, V., Hilgert, N., & Sablayrolles, J. M. (2004). Modeling the effects of assimilable nitrogen and temperature on fermentation kinetics in enological conditions. *Biotechnology and bioengineering*, 86(3), 261-272.
- Mouret, J. R., Farines, V., Sablayrolles, J. M., & Trelea, I. C. (2015). Prediction of the production kinetics of the main fermentative aromas in winemaking fermentations. *Biochemical Engineering Journal*, 103, 211-218.
- Mouret, J. R., Camarasa, C., Angenieux, M., Aguera, E., Perez, M., Farines, V., & Sablayrolles, J. M. (2014). Kinetic analysis and gas–liquid balances of the production of fermentative aromas during winemaking fermentations: effect of assimilable nitrogen and temperature. *Food research international*, 62, 1-10.
- Rollero, S., Bloem, A., Camarasa, C., Sanchez, I., Ortiz-Julien, A., Sablayrolles, J. M., ... & Mouret, J. R. (2015). Combined effects of nutrients and temperature on the production of fermentative aromas by *Saccharomyces cerevisiae* during wine fermentation. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(5), 2291-2304.
- Sablayrolles, J. M., Dubois, C., Manginot, C., Roustan, J. L., & Barre, P. (1996). Effectiveness of combined ammoniacal nitrogen and oxygen additions for completion of sluggish and stuck wine fermentations. *Journal of fermentation and bioengineering*, 82(4), 377-381.
- Torrea, D., Varela, C., Ugliano, M., Ancin-Azpilicueta, C., Francis, I. L., & Henschke, P. A. (2011). Comparison of inorganic and organic nitrogen supplementation of grape juice—Effect on volatile composition and aroma profile of a Chardonnay wine fermented with *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Food chemistry*, 127(3), 1072-1083.

Profil recherché

Le ou la candidat(e) doit être titulaire d'une thèse en automatique. Le sujet étant appliqué, un goût pour les applications est requis. Les candidats ayant un profil plutôt théorique et n'ayant pas d'expériences dans les applications sont cependant les bienvenus, à condition de montrer une forte motivation. Le(la) candidat(e) devra avoir des compétences en programmation (matlab notamment). Un goût pour le travail multidisciplinaire et en équipe sera apprécié, puisque le(la) candidat(e) sera amenée à discuter avec les chercheurs en œnologie de l'UMR SPO (Sciences pour l'œnologie).

Modalités du contrat

Le travail de post-doctorat sera supervisé par Céline Casenave, chercheuse INRAE (Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) dans l'UMR MISTEA (Mathématiques Informatique et Statistiques pour l'Environnement et l'Agronomie).

Le(la) candidat(e) sera accueilli(e) dans les locaux de l'UMR MISTEA, sur le campus de la Gaillarde de Montpellier SupAgro – 2 place Pierre Viala, 34090 Montpellier.

La durée du contrat est de 18 mois et pourra commencer dès février 2022 en fonction des disponibilités du(de la) candidat(e). La rémunération dépendra de l'expérience du(de la) candidat(e) et se situera entre 2300€ et 2700€ brut par mois.

Contacts :

Les candidatures doivent être adressées par mail à Céline Casenave à l'adresse celine.casenave@inrae.fr et doivent contenir un CV détaillé, une lettre de motivation et une ou deux lettres de recommandation ou 1 ou 2 noms de personnes référentes.