

Rapport IMA 4 Projet P1: Automatisation de la production de bière

Sommaire

Présentation

Idées de départ

Premier prototype

Matériel utilisé

Programmation et tests

Limites du premier prototype

Second prototype - programmation et tests

Limites du second prototype - voies d'amélioration

Conclusion

Présentation

Description

La production de bières est un processus long et difficile à réaliser. Il consiste en différentes étapes, allant du dosage des céréales qui seront utilisées jusqu'à la fermentation, en passant par la cuisson et le refroidissement du moût, principalement constitué de malt et d'eau.

L'objectif de ce projet était de réaliser une des parties de ce processus permettant une production automatisée de bière.

Pour déterminer quelle partie réaliser, nous nous sommes basés sur une analyse concurrentielle.

Analyse concurrentielle et question difficile

Lors de l'analyse des différents concurrents potentiels, deux se sont particulièrement dégagés.

Saveur bière : cette société est spécialisée dans la vente de kits de production facile. Les produits proposés sont aussi bien destinés aux débutants qu'aux professionnels. On trouve majoritairement des kits réutilisables, des recharges ainsi que du matériel de nettoyage.

Youtube : la plateforme ne propose pas spécialement des vidéos sur la productions, mais on peut facilement en trouver des centaines. L'intérêt dans celles ci c'est que leurs réalisateurs utilisent du matériel de cuisine classique.

Ces deux concurrents ont cependant le même défaut : le niveau de température doit être constamment surveillé et régulé par l'utilisateur, ce qui nécessite une attention particulière de ce dernier.

Notre projet allait donc être de permettre une régulation automatique de la température, sans nécessité d'être surveillé en permanence.

Et c'est à partir de là que nous avons choisis notre sujet, et que nous avons également trouvé notre question difficile : comment faire en sorte que notre système puisse maintenir la température de la cuve ? Comment faire en sorte que celui ci gère automatiquement les différentes étapes de la recette?

Idées de départ

Les premières séances de notre projet étaient des séances de réflexion, où nous analysions les différentes méthodes de production de bière afin de l'adapter à un système où la température serait régulée automatiquement.

Au début, nous pensions réaliser un système similaire à celui de l'industrie : le moût arrive dans une première cuve où il sera chauffé à différents paliers de température puis maintenu pour une cuisson, puis il transitera vers une seconde cuve où il sera refroidi et maintenu à basse température. Mais cette méthode est propre à l'industrie dans le sens où ce sont des centaines de litres de moût qui sont contenus dans ces cuves, or notre système concernait une production à l'échelle domestique. Nous avons donc convenu d'utiliser une seule cuve où un système d'échange thermique permettra le contrôle de la température.

Comme élément majeur de l'échangeur thermique, nous avons décidé d'utiliser un serpentin : c'est le moyen le plus répandu que ce soit dans l'industrie ou pour des systèmes domestiques. Celui-ci, placé dans la cuve, permettra de changer la température du liquide contenu, en y faisant passer un autre liquide à une température plus ou moins élevée, suivant la température voulue dans la cuve.

Le liquide sera acheminé dans le serpentin par des pompes pilotées via un Arduino Uno, ce qui simplifie leur pilotage et la programmation du système.

Premier prototype

Pour avoir une base de travail physique, l'un de nos professeurs nous a fourni une pompe péristaltique alimenté en 12 V continu. Une pompe péristaltique est constituée d'un tube qui est écrasé par le rotor de la pompe afin de transmettre le liquide.

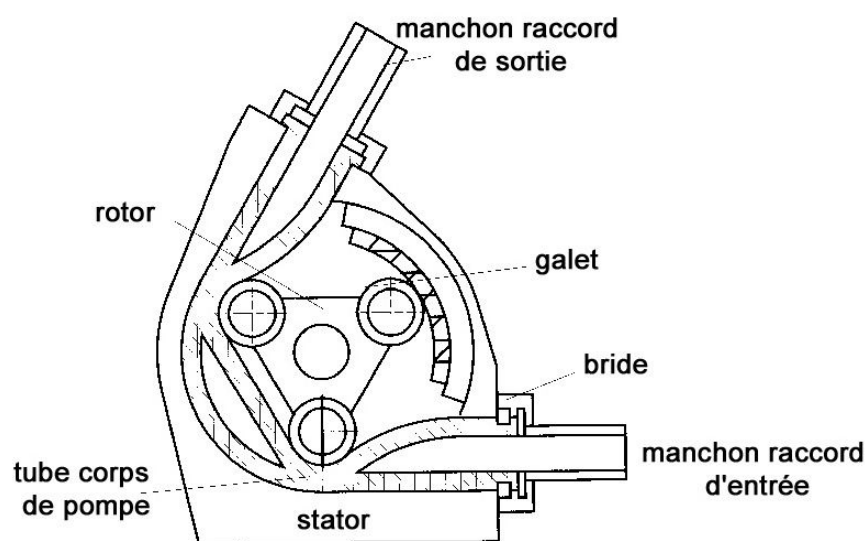


Fig.1 : Schéma d'une pompe péristaltique

L'avantage de ce type de pompe est que le mécanisme de la pompe n'entre pas directement en contact avec le liquide, qui reste isolé dans le tube. Ces pompes sont très utilisées dans les milieux médicaux et agro-alimentaires.

Le pilotage de cette pompe se fait via une PWM : un signal créneau envoyé sur la base d'un transistor va permettre de faire varier la tension de la pompe reliée au collecteur proportionnellement au rapport cyclique de ce signal. L'avantage de l'utilisation de l'Arduino Uno est qu'il est équipé de ports spécifiques à l'utilisation de la PWM.

Nous avons réalisé quelques essais avec cette pompe notamment pour contrôler son débit, proportionnel à la tension d'entrée.

Ces essais étant fort concluants, nous avons commencé à imaginer le premier prototype de notre système.

En entrée se trouve trois réserves d'eau, une à basse température (entre 0 et 5°C), une à température ambiante (entre 20 et 25°C) et une à haute température (entre 80 et 100°C). Chacune de ces réserves sont reliées au serpentin par une pompe, et leurs pilotages permettent de contrôler la température à l'intérieur du serpentin, et donc de la cuve. La vérification de la température de la cuve se fait via une sonde de température plongée dans celle-ci.

Une fois le modèle du prototype achevé, nous avons listé le matériel nécessaire à sa réalisation ainsi que commencer à travailler sur une carte de commande qui, reliée à l'Arduino, permettrait le pilotage des pompes et la lecture de la température de la cuve.

Matériel utilisé

Le matériel utilisé pour le prototype est le suivant :

- 3 pompes péristaltiques, dont celle que nous avons au début du projet
- 1 alimentation 12 V, nécessaire au bon fonctionnement des pompes
- 1 couronne de cuivre qui fait office de serpentin, le cuivre ayant une grande conductivité thermique
- 1 sonde de température étanche et fonctionnelle à l'échelle de température souhaitée (entre 0 et 100°C)
- des tubes flexibles similaires à ceux des pompes ainsi que de connecteurs en Y, permettant de relier les pompes au serpentin
- l'Arduino Uno, qui pilote les pompes et reçoit les données de la sonde
- la carte de commande, qui relie l'Arduino Uno et l'alimentation 12 V aux pompes ainsi qu'à la sonde

Conception d'une carte de commande

Pour pouvoir correctement réaliser nos tests, nous avons besoin de réaliser une carte qui permettrait de correctement contrôler les pompes et de retourner la température de la sonde. À l'aide du montage que nous avons réalisé sur breadbord en début de projet pour le pilotage d'une seule pompe, nous avons réalisé le circuit suivant.

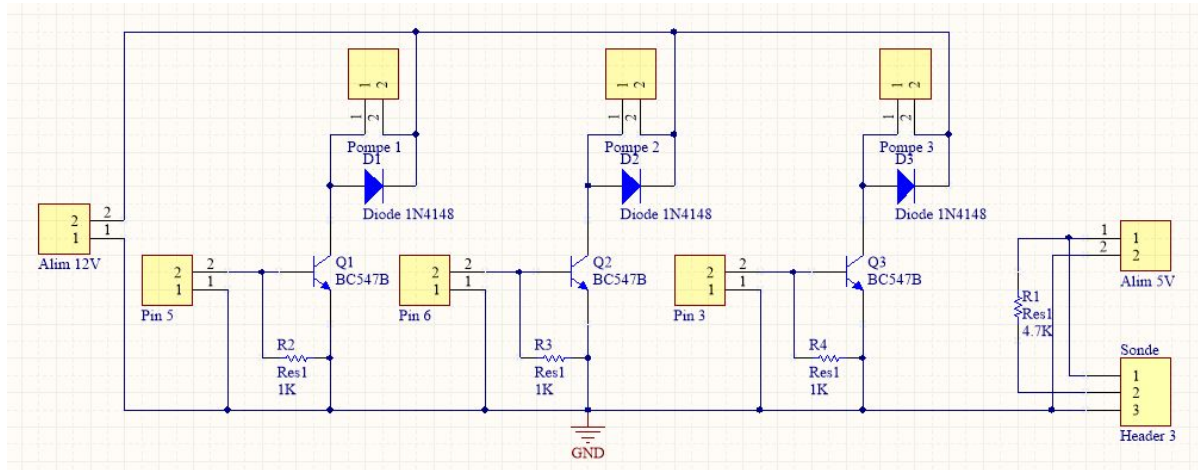


Fig.2 : Schéma du circuit de commande

Une fois ce schéma validé, nous avons conçu le PCB correspondant à ce schéma.

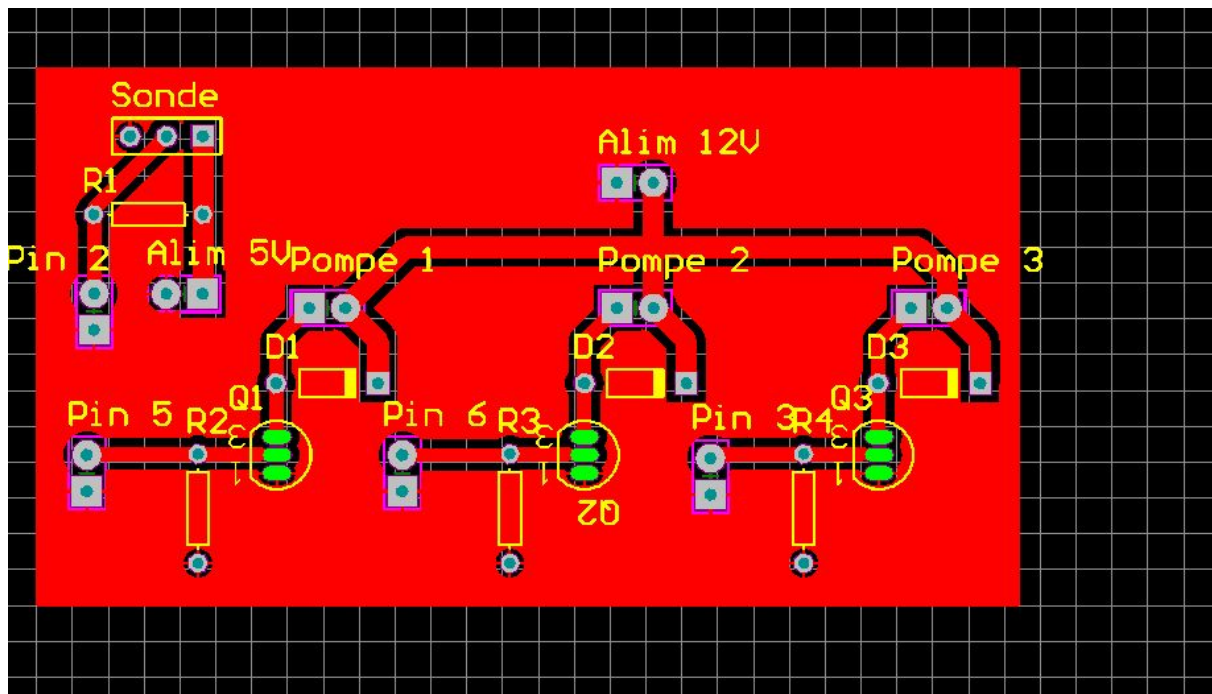


Fig.3 : PCB de la carte de commande

Dès la validation du PCB, nous avons demandé la réalisation de la carte afin de pouvoir y souder les différents composants du circuit, ainsi que différents fils qui seront ensuite reliés aux pompes, à l'Arduino et à l'alimentation 12 V, nécessaire au bon fonctionnement des pompes.

Programmation et tests

Une fois que la première partie du matériel que nous avons commandé était arrivée, nous avons pu commencer à tester notre prototype.

Au début, nous sommes partis sur une gestion de l'activation des pompes "par mélange complet".

Lorsque l'eau devait être chauffée à 60°C, un mélange d'eau chaude et d'eau ambiante était envoyé dans le serpentin. Ce mélange était obtenu en modifiant le rapport des PWM utilisés pour contrôler les pompes. Plus la température de la cuve serait éloignée des 60°C, plus la pompe d'eau chaude serait active, à l'inverse de la pompe d'eau ambiante.

Au fur et à mesure que la température monterait, le débit de la pompe d'eau chaude diminuerait et celui de la pompe d'eau ambiante augmenterait. Ainsi au alentour de 60°C, le système serait dans un état de stabilité.

Cependant nous avons abandonné cette première idée, car il nous est apparu que le système serait trop lent, en ayant le risque que certaines pompes ne tournent pas en raison d'une consigne trop faible par rapport à sa résistance mécanique.

Nous avons donc changé notre méthode de gestion : nous sommes donc passé du "mélange complet" au "mélange partiel".

Dans le cas de cette gestion, si l'écart entre la température de la cuve et celle souhaitée était supérieur à 1°C, seul la pompe de chauffe ou de refroidissement serait active, selon la température souhaitée par rapport à celle mesurée.

Par exemple, pour passer d'un mélange à 60°C à un mélange à 5°C, nous aurions d'abord activé uniquement la pompe d'eau froide. Lorsque la température aurait atteint 6°C, la pompe d'eau ambiante se serait activée afin de maintenir avec plus de précision la température souhaitée. Ainsi le maintien aurait été assuré par les deux pompes : eau froide et ambiante. Dans cet exemple, la pompe d'eau chaude n'aurait jamais été utilisée.

Ce système aurait permis d'améliorer le temps de réponse du système, et l'aurait rendu beaucoup plus adapté dans le cadre d'une utilisation quotidienne

Notre premier test a été d'essayer d'obtenir une température en sortie des pompes conforme à celle que nous avons écrite en entrée. L'un des problèmes que nous avons rencontré lors de ce test était qu'il fallait vider le récipient en sortie à chaque test, sous peine de fausser les résultats. Un autre problème était un défaut de conception dans notre carte. En effet, la valeur du courant traversant n'étant pas celle imaginée au départ engendrait une chauffe et un risque de claquage des transistors choisis, de modèle BC547B, qui n'étaient pas adaptés pour la valeur réelle. D'autres transistors les ont remplacés par la suite, le modèle KSP2222A, dont la tolérance en courant était bien plus élevée.

Mais les principaux tests n'ont pu avoir lieu qu'après la réception du reste du matériel, qui comprenait la couronne en cuivre, l'élément majeur du système.

Ces tests constituaient en une vérification du changement de température de la cuve jusqu'à la valeur souhaitée, ainsi qu'à son maintien. Un des problèmes rencontré lors de ces tests était la lenteur du changement de température, au départ causé par le récipient utilisé, qui empêchait le changement de température du liquide, le transfert ne s'effectuant qu'entre le serpentin et le récipient.

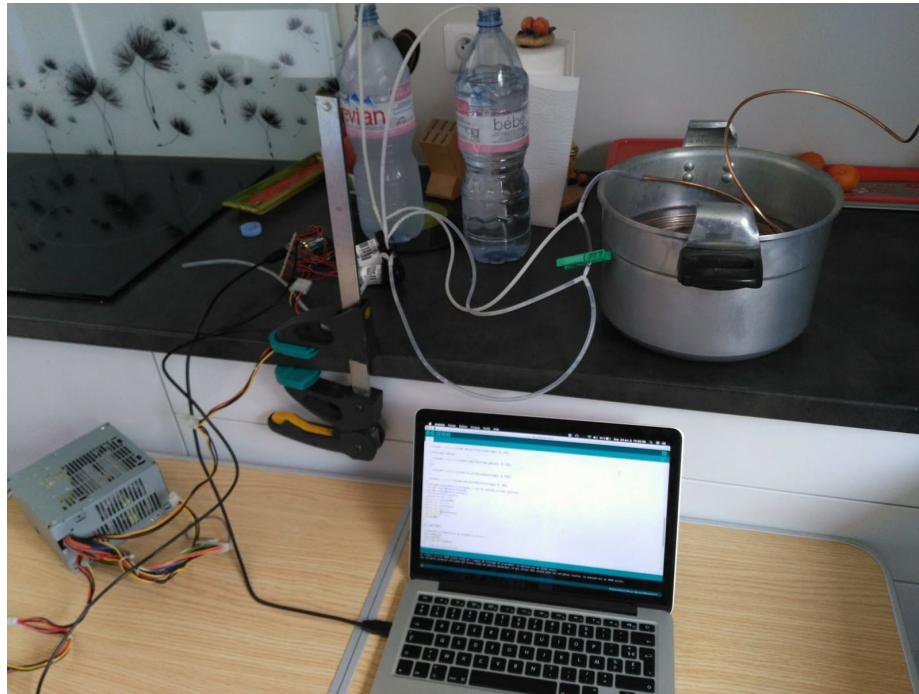


Fig.4 : Le montage dans le cadre du premier prototype

Limites du premier prototype

Grâce aux différents tests effectués avec le premier prototype, nous avons pu en comprendre les principaux défauts.

Vitesse de changement de température

L'un de ces principaux défauts est la vitesse à laquelle la température varie à l'intérieur de la cuve. En effet, dans le cas d'une eau initialement à 20°C, elle mettait déjà plusieurs minutes à ne baisser que d'un degré. Nous en avons convenu que l'utilisation d'une seule pompe pour le refroidissement était clairement insuffisant.

Matériel utilisé

L'autre grand défaut de ce prototype était le matériel utilisé. Les pompes péristaltiques utilisées ne tolèrent pas les températures supérieures à 40°C, ce qui nous empêchait de les utiliser pour des tests de transfert d'eau chaude dans le serpentin.

Après avoir réfléchi sur la manière de pallier les problèmes du premier prototype, nous avons imaginé un second prototype, plus fonctionnel et surtout plus rapide.

Second prototype - programmation et tests

Dans le second prototype, le matériel reste le même (pompes, serpentin...), nous avons simplement changé la façon de l'utiliser.

Au lieu d'avoir trois cuves d'eau à des températures différentes, nous n'en avons plus qu'une, celle de l'eau froide. Toutes nos pompes relient cette cuve au serpentin.

Ensuite, la chauffe de la cuve, qui était un grand défaut du premier prototype, est maintenant assurée par un système chauffant. Pour les besoins de l'expérience nous avons utilisé une plaque chauffante.

Ainsi, le serpentin ne sert qu'à assurer le refroidissement et le maintien à la bonne température du liquide.

Lors d'une étape de production, la plaque amène le liquide à la température désirée. Puis, pour refroidir le mélange, les pompes se mettent en marche et font circuler l'eau froide. L'objectif, que nous avons fixé pour nos tests, est de maintenir la cuve au environs de 10°C.

Pour nos premiers tests, nous avons chauffé la cuve à 80°C et mesuré le temps de refroidissement jusqu'à 30°C. Celui ci est d'environ 7 mins.

Puis nous avons testé le refroidissement de 30 à 10°C, le temps est d'environ 15 mins.

Le refroidissement était assuré par l'activation des 3 pompes en même temps.

Les derniers tests concernaient le maintien à 10°C.

Une fois que le système est passé sous la barre des 11°C, une seule pompe reste active afin d'assurer le maintien.

Si le mélange venait à repasser au dessus de 11°C, les trois pompes se remettraient en marche pour refaire passer en dessous de 11°C.

Dans le cas où la température descendait en dessous de 10°C, toutes les pompes s'arrêteraient.

Ce dernier cas ne s'est jamais produit lors de nos différents test. Néanmoins, partir du principe que ce cas pourrait arriver nous permet d'éviter de futurs problèmes, et d'éviter des situations où le système ne pourrait pas gérer correctement la température.



Fig.5 : Montage du prototype 2

Limites du second prototype - voies d'amélioration

Si le second prototype est nettement meilleur que le premier aux vues des différents résultats d'expériences, notamment le fait qu'il soit fonctionnel, il reste certains points qui devraient être améliorés pour optimiser le-dit système.

Le choix du liquide de refroidissement

Pour réaliser nos expériences, nous avons décidé d'utiliser de l'eau pour refroidir notre mélange, ce qui était moins coûteux et très accessible. Cependant cela présente plusieurs inconvénients.

L'un de ces défauts est la capacité calorifique de l'eau. Celle-ci n'est pas assez intéressante pour permettre un échange thermique rapide. Ce problème est encore plus déplorable dans le cas de la chauffe. D'où notre abandon du chauffage avec l'eau.

Un autre de ces défauts est que l'eau gèle pour des températures proches de 0°C. Par conséquent nous ne pouvons pas faire circuler une eau trop froide. Or un paramètre essentiel dans l'échange thermique est la différence de température entre éléments. L'autre problème lié à cet état est que cela rendait l'approvisionnement du système en eau froide difficile, l'eau à l'état solide ne pouvant circuler dans les conduites.

Une solution envisagée pour pallier ce problème est l'utilisation d'un fluide caloporteur, tel que le liquide de refroidissement utilisé dans les véhicules, qui permettrait un refroidissement efficace du système sans être gêné par un état solide.

Les pompes

Nos pompes offrent l'avantage d'être faciles à utiliser. Cependant, facilité ne rime pas avec efficacité.

Dans notre projet, l'objectif est de pouvoir rapidement changer la température du système. Or, nos pompes ne possèdent pas un débit suffisant. C'est une des raisons pour laquelle nous avons abandonné notre premier système.

L'idée d'utiliser les trois pompes pour une seule cuve d'eau froide a certes permis d'améliorer le débit, mais celui-ci reste insuffisant pour obtenir un temps de réponse vraiment intéressant.

Une solution envisageable serait de trouver un moyen pour régler ce problème de débit, soit en trouvant un moyen d'améliorer les pompes, soit en choisissant un modèle plus performant. Néanmoins nous resterons sur une péristaltique, qui reste plus sûre à l'utilisation.

La chauffe de la cuve

Pour les besoins des expériences, la chauffe de la cuve a été effectué avec une plaque chauffante, qui pouvait être réglée sur des températures fixes comme 60 et 80°C. Mais le problème de cette chauffe est qu'elle n'est absolument pas piloté par l'Arduino, ce qui empêche son contrôle et donc son extinction à la fin de la chauffe.

La solution envisagé était d'utiliser un système de chauffe en tout point similaire, à part que son alimentation et sa consigne seraient reliées à l'Arduino qui, à l'aide d'une mesure du temps, pourrait s'assurer du respect des temps de chauffe aux différents paliers de température.

Conclusion

Dans ce projet d'automatisation de la production de bière, nous avons pu travailler sur l'ensemble des aspects de la réalisation d'un véritable système physique, qui étaient :

- l'analyse des systèmes existants afin de savoir quelle innovation apporter
- l'étude des solutions qui peuvent résoudre le problème ainsi posé
- la modélisation du système qui apporterait cette solution
- la conception physique du système
- l'expérimentation et l'analyse des résultats afin de discerner les problèmes présents ainsi que d'y apporter des solutions.

La réalisation de ce projet nous a permis, à travers ces différents aspects, de véritablement comprendre la démarche à suivre lors de la réalisation d'un système physique et nous aidera à mieux entreprendre tous les projets sur lesquels nous travaillerons dans le futur, qu'ils soient dans le même domaine ou dans un autre complètement différent.