



CPES 2ème année



Bouchet Salomé, Baranger Lucas,
Picardeau Jules, Kerisit Coralie



Encadrants: Moreau Sébastien,
Martin Baudoin

Rapport du projet
“**Capteur autonome low-cost**
pour l’étude de la température et de
l’humidité au sein de composteurs”

Septembre 2025 - Janvier 2026

Dans le cadre de notre projet, nous tenions à remercier Monsieur Sébastien Moreau, Enseignant-chercheur à l'Université de Tours et maître-compositeur, ainsi que Monsieur Baudouin Martin, professeur d'informatique au Lycée Descartes, pour nous avoir aidé à la conception de notre prototype, ainsi que de nous avoir aiguillé sur les limites, les conditions avec lesquelles nous avons dû composer et les méthodes à suivre.

Merci également à Monsieur Sylvain Parrang, également professeur au Lycée Descartes, qui a coordonné et permis l'impression de notre prototype avec l'imprimante 3D du lycée.

Enfin, nous souhaitions remercier le groupe compostage de l'année dernière (Mélio Dagnaud-Adam, Hugo Meline-Thyrrion et Tristan Bouvet) qui nous ont donné accès à leurs travaux sur lesquels nous avons pu nous appuyer pour poursuivre le projet.

Sommaire

Sommaire.....	2
Introduction.....	3
I. Compost.....	3
II. Objectif du projet.....	4
III. Mise en place du projet.....	5
IV. Méthode.....	6
a. Partie composants.....	6
b. Partie code.....	7
c. Partie modélisation.....	9
V. Résultats.....	9
VI. Analyse.....	10
VII. Limites et futur du projet.....	10
Conclusion.....	11
Bibliographie.....	11
Annexes.....	11

Introduction

Le but de ce rapport est de rendre compte du travail réalisé dans le cadre de notre projet qui s'est déroulé sur l'ensemble du semestre. L'objectif principal de ce dernier était le perfectionnement du prototype TOAD (Thermal and Organic Analysis Device), un capteur de température et d'humidité pour composteur dont un premier modèle a été réalisé l'année dernière.

Etant donné que le projet avait déjà été initié par le groupe précédent, nous avons pu nous appuyer sur les bases et logiciels que les membres ont utilisés, ainsi que sur le mode d'emploi qu'ils ont rédigé. En raison de cela, notre démarche a eu pour but d'améliorer le projet existant.

Durant les 4 derniers mois, nous avons ainsi mené différentes étapes afin d'optimiser le prototype. Tout d'abord, une analyse du projet existant ainsi que de ses limites, une redéfinition des besoins et des volontés derrière le projet, puis par la suite, le choix des composants, la modélisation 3D, la programmation et enfin l'assemblage du prototype suivi d'une phase de tests. Ces différentes étapes ayant été réparties entre les quatres membres du groupe, des réunions régulières ont eu lieu pour faire des points sur l'avancée de chacun et du projet de manière générale. Nous avons ainsi pu nous rendre compte de l'interconnection des parties et des contraintes qu'une décision théorique pouvait poser lors de la mise en pratique.

Ainsi, ce rapport détaille l'ensemble des étapes que nous avons suivies au cours du projet, des choix effectués aux améliorations apportées, les résultats obtenus lors de la phase de tests ainsi qu'une analyse de ces derniers et enfin les limites que possèdent encore le projet et les perspectives de ce dernier sur le long terme.

I. Compost

Pour rappel, le compost est une matière organique obtenue par la décomposition naturelle de déchets biodégradables, comme les restes de repas, les déchets verts et autres matières organiques, sous l'action de micro-organismes (bactéries, champignons, vers, etc.). Afin que sa dégradation soit optimale, il est nécessaire que la décomposition se fasse en condition aérobie, soit en présence d'oxygène. Grâce à ce processus biologique, les déchets se transforment

progressivement en un composé riche en nutriments, appelé *compost*, qui améliore la structure et la fertilité des sols, tout en favorisant la biodiversité de ces derniers.

Ainsi, le processus de compostage repose sur plusieurs paramètres physico-chimiques, parmi lesquels on trouve l'humidité et la température, qui jouent un rôle fondamental. Une humidité suffisamment importante permet aux micro-organismes de métaboliser la matière organique efficacement. D'un côté, lorsque le taux d'humidité se retrouve en dessous d'une de 50%, il y a un ralentissement de la dégradation de cette dernière. Au contraire, une humidité excessive peut créer des conditions anaérobies indésirables. Les températures évoluent au cours du processus de compostage et peuvent atteindre des niveaux élevés (jusqu'à 70 °C au cœur du compost), favorisant ainsi une décomposition intense en son sein.

En France, le compostage représente un enjeu environnemental majeur dans la gestion des déchets organiques. Les biodéchets, constituant environ un tiers de nos déchets ménagers, représentent des millions de tonnes chaque année. Leur valorisation par le compostage est une priorité pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et limiter le gaspillage. La réglementation récente renforce et encourage l'utilisation de bacs de compost. Nous pouvons prendre l'exemple des collectivités qui, depuis début 2024, doivent mettre en place des solutions de tri à la source des biodéchets pour les valoriser.

Dans la situation actuelle où la gestion des déchets est une composante nécessaire pour la lutte contre le dérèglement climatique, la surveillance précise de l'humidité et de la température au sein d'un compost apparaît comme une action indispensable pour optimiser le processus de compostage afin de garantir des conditions favorables à l'activité microbienne et améliorer la qualité finale du compost. C'est dans ce contexte que s'inscrit donc le développement du projet TOAD.

II. Objectif du projet

L'objectif du projet était d'améliorer le capteur de compostage développé l'année précédente. Nous devions tenir compte des limites établies par le groupe et résoudre les problèmes rencontrés l'année dernière ainsi que répondre à de nouveaux objectifs de fiabilité,

d'accessibilité et d'autonomie pour rendre l'utilisation du capteur plus simple et plus efficace sur le long terme.

En effet, cette année le principal objectif était de rendre le dispositif contrôlable à distance, afin de permettre à l'utilisateur de récupérer les données sans pour autant devoir sortir le champignon du compost et brancher le microcontrôleur à son ordinateur. De plus, le capteur devait pouvoir fonctionner de manière autonome afin de garantir plusieurs semaines voire mois d'utilisation sans intervention humaine. L'essentiel de l'activité du compost s'effectuant à 20 cm de profondeur, il convenait d'obtenir des mesures à cette profondeur. Enfin, il s'agissait de garder l'idée première d'un prototype low-cost et simple d'utilisation.

III. Mise en place du projet

Le projet a débuté à la suite d'une réunion avec M. Moreau, maître-composteur et professeur référent, qui nous a expliqué les attendus du projet par rapport à ce qui avait été mis en place l'année dernière. Il a évoqué les points à améliorer tels qu'une récupération des données à distance ou encore une autonomie en termes énergétique. Avec ces informations en tête, nous nous sommes réunis avec M. Martin, professeur d'informatique, avec qui nous avons abordé l'aspect technique de ce capteur de compostage. Nous avons pu discuter des différents composants du capteur tels qu'une carte ESP 32 pour la lecture de code ou encore un DHT22 comme capteur d'humidité et de température. Étant donné que l'ensemble de ces composants étaient nouveaux, il nous fallait les prendre en main.

Notre première réunion de groupe a donc porté sur la prise en main des différents composants, notamment la reconnaissance de l'ESP 32 sur nos ordinateurs ainsi que les différents branchements nécessaires à faire fonctionner le DHT22, associé à l'ESP 32. Nous avons rencontré quelques difficultés de branchements, qui ont pu être réglées par la suite. Après cette première réunion, nous avons pu mettre en avant trois axes de travail : la recherche des composants, l'optimisation du code ainsi que l'amélioration de la modélisation 3D.

La partie "composants", prise en charge par Lucas, visait à déterminer quels composants étaient les plus adéquats à utiliser pour TOAD en prenant en compte leurs dimensions ainsi que leur consommation énergétique afin d'assurer une alimentation en électricité suffisante.

Pour les composants non-électroniques, nous avons opté, comme l'année dernière, pour une impression 3D sous la forme d'un champignon avec en guise de pied, un tube PVC qui

pouvait accueillir le capteur DHT22. Pour permettre la prise de mesures, nous avons percé une douzaine de trous dans le tube pour que le capteur puisse mesurer la température et l'humidité. Comparé à l'année dernière, nous avons fait le choix de ne pas inclure de capteur de gaz ni de DHT22 à la surface du compost car les données étaient peu pertinentes. Pour permettre le passage d'un flux d'air tout en protégeant le capteur et en limitant l'entrée de terre ou d'insectes, nous avons procédé comme le groupe de l'année précédente et avons protégé les trous par des morceaux de moustiquaires. Par ailleurs, pour prévenir la condensation dans le champignon, nous avons opté pour l'ajout de sachets de gel de silice, connus pour leur capacité d'absorption d'humidité.

Quant aux composants électroniques, nous partions de la base de l'année dernière, à savoir une breadboard, un DHT22, ainsi qu'un ESP 32. En ce qui concerne la récupération de données, nous avions pensé à l'ajout d'une clé 4G ou le remplacement de notre ESP 32 "classique" par un ESP 32 de type Lora qui aurait permis d'avoir une portée plus importante, d'environ quelques kilomètres pour les deux. Cependant, nous avons dû abandonner ces idées car elles nécessitaient des abonnements relativement coûteux, soit un engagement qui n'était pas envisageable pour un prototype, et également parce que leur programmation demandait des compétences informatiques beaucoup plus élevées que celles que nous avons. Puisque l'ESP 32 dispose d'un Bluetooth et d'un Wi-Fi intégré, nous avons fait le choix de ce dernier car il permettait un code relativement simple, une portée de 6 à 7 mètres et une interface web interactive.

D'un autre côté, étant donné que l'un des objectifs du projet était d'atteindre une certaine autonomie, nous avons ajouté une mini-batterie compacte de 5000 mAh et 5V. Celle-ci devait répondre à un critère de taille mais également de tension et de voltage suffisant afin de convenir aux demandes énergétiques des différents composants. Nous avons également ajouté un bouton pressoir en haut du champignon qui permet à l'utilisateur de déclencher le point d'accès Wi-Fi.

Enfin, pour que tous les composants puissent rentrer dans la tête du champignon, nous avons dû découper la breadboard et souder le capteur DHT22 à des fils de connexion afin qu'il puisse atteindre une profondeur de 20 cm dans le tube PVC.

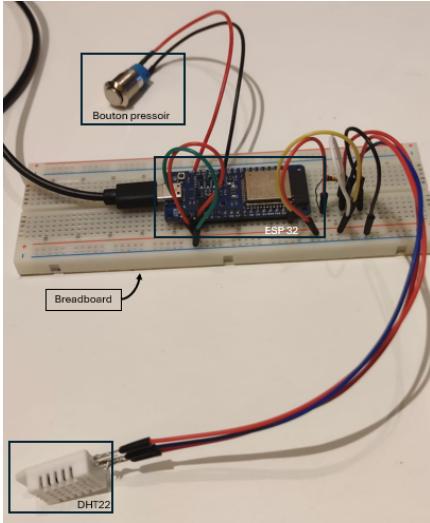


Figure 1: Photographie de l'ensemble des branchements et des composants

Ensuite, la partie “optimisation du code” a été réalisée par Salomé et Jules dans le but de modifier le code de l’année précédente pour permettre une prise de données optimale. Le code devait coordonner l’ensemble des composants, stocker les données et les rendre accessibles ainsi qu’assurer l’autonomie de la batterie sur le long terme. Il semble important de noter que le code a finalement été repris de zéro, étant donné que la méthode de récupération des données et les composants avaient changés depuis l’année dernière.

Enfin, la partie amélioration de la modélisation 3D, assurée par Coralie, avait pour objectif de reprendre et d’améliorer le modèle champignon de l’année dernière, l’aspect général ayant été retenu car fonctionnel et réfléchi, afin d’optimiser sa forme et sa taille. En effet, suite à l’élaboration du premier prototype, certaines limites quant à l’aspect extérieur du champignon ont pu être relevées. Ces limites concernaient notamment:

- La taille trop importante du champignon, pouvant s’avérer gênante pour les utilisateurs du compost car elle empêchait un bon mélange de ce dernier;
- Une étanchéité insuffisante avec la formation de condensation sur la paroi interne du champignon qui représentait un danger pour les composants non-étanches;
- La hauteur du champignon qui ne permettait pas d’atteindre la profondeur souhaitée;
- Le manque de cohésion entre les deux parties du prototype originel, qui ne nous paraissait pas suffisamment solide;

La nouvelle modélisation avait pour but de corriger ses points. Afin de faciliter la reprise du projet, nous avons utilisé le même logiciel que celui employé par le groupe de l'année précédente, à savoir *fusion 360* qui a l'avantage d'être gratuit pour les étudiants.

IV. Méthode

a. Partie code

Pour obtenir les différentes données d'humidité et de température, nous avons utilisé un code en micropython, un langage de programmation adapté aux microcontrôleurs tels que l'ESP 32. Ce code a été écrit sur le logiciel de programmation Thonny, puis enregistré sur la carte mémoire de l'ESP 32 sous la forme d'un seul fichier : *main.py*. Afin de rédiger l'ensemble de ce code, nous nous sommes aidés du site uPesy qui regroupe de nombreux programmes utilisables avec des capteurs, tels que le DHT22.

Dans notre cas, le programme permet de mesurer la température et l'humidité, de stocker les données et de les rendre accessibles via une page web ainsi que d'assurer l'autonomie de la batterie. Comme évoqué précédemment, la récupération de données se fait grâce à une connexion Wi-Fi entre l'ESP 32 et le téléphone (ou autres appareils électroniques) de l'utilisateur.

La structure du code est donc organisée en plusieurs parties: la configuration générale, la prise de mesures, le stockage des données, la gestion de l'énergie et l'interface web.

Dans un premier temps, nous avons codé une fonction *mesurer* dédiée à la prise de mesure. Celle-ci allume automatiquement le système et entraîne une mesure par le DHT22 toutes les 6h afin de relever les données. Nous avons également intégré un système de détection d'erreur. Lorsque la prise de données échoue, à cause de quelque défaillance, un message d'alerte “*ERREUR DHT*” est visible sur la page web. Ceci améliore la fiabilité du dispositif pour l'utilisateur.

Puis, nous avons codé une fonction *sauvegarder* qui permet le stockage des données dans un fichier au format CSV, pour permettre l'exploitation des différentes mesures par l'utilisateur. Nous avons également ajouté un système de compteur et de suivi de temps afin d'organiser les données, par exemple par saison.

Dans le but d'optimiser l'énergie sur le long terme, nous avons inclus une fonction *réveil* permettant un mode “deep sleep”, l'ESP 32 reste donc la majeure partie du temps en mode veille profonde. Comme nous l'avons évoqué précédemment, le système ne s'active que pour un court laps de temps, toutes les 6h, uniquement pour but d'effectuer des mesures. Ainsi, lorsqu'un utilisateur souhaite récupérer les données, il doit se servir du bouton pressoir à l'aplomb du champignon afin de réveiller l'ESP 32 et d'activer le Wi-Fi de ce dernier, pour accéder au serveur web et récupérer les données.

Enfin, la dernière partie que nous avons codée porte sur la création d'une fonction *start_server* permettant d'activer un serveur web local, accessible par un point d'accès Wi-Fi, en l'occurrence, celui de l'ESP 32. Une partie du code porte également sur la mise en page de l'interface HTML, donnant la possibilité à l'utilisateur de voir les dernières mesures, consulter des graphiques d'évolution de la température et de l'humidité ou encore télécharger le fichier regroupant l'ensemble des données.

Un mode d'emploi est mis à disposition afin de fournir davantage d'informations sur le code et son fonctionnement.

b. Partie modélisation

Pour mener à bien la modélisation du projet, nous avons utilisé le logiciel *fusion 360* en raison de son aspect intuitif, de sa gratuité, et de l'ensemble des outils disponibles sur ce dernier. Les ressources en ligne et les tutoriels vidéos disponibles sur Youtube ont été très utiles à la prise en main et à la maîtrise des différents outils, notamment pour l'élaboration de la forme particulière du pied du champignon.

Pour réaliser cette étape, nous nous sommes avant tout concentrés sur les adaptations aux limites expliquées dans la partie III. Ainsi, la première décision que nous ayons eu concernait la taille du champignon et a été d'allonger ce dernier en longueur afin de le réduire en largeur, passant de 20 à 12 cm de large, ce qui a permis de diminuer l'espace qu'il occupe à la surface du composteur.

Par ailleurs, pour diminuer la condensation, puisque le capteur en surface avait été évalué comme présentant peu d'intérêt, les ouvertures en haut du champignon ont pu être supprimées afin d'éviter une partie de l'accumulation de gaz dans ce dernier. Une ouverture à

néanmoins été conservée tout à fait à l'aplomb du champignon pour permettre l'insertion du bouton pressoir, nécessaire à la prise de mesure instantanée pour un utilisateur externe.

Pour la contrainte de profondeur, grâce à l'ajout du tube en PVC de 20cm en dessous du champignon, plutôt que le pied soit enfoncé dans le sol, c'est désormais le tube qui est enterré, nous permettant de prendre des mesures à 20cm de profondeur, l'ensemble de l'espace creux au sein du prototype étant désormais alloué au système électronique.

Enfin, de manière générale la forme du prototype a été retravaillée pour se rapprocher davantage de celle d'un véritable champignon. Si la couleur violette qui nous fut imposée lors de l'impression 3D peut porter à confusion, les pois blancs ajoutés par la suite permettent malgré tout de reconnaître le champignon.

V. Résultats

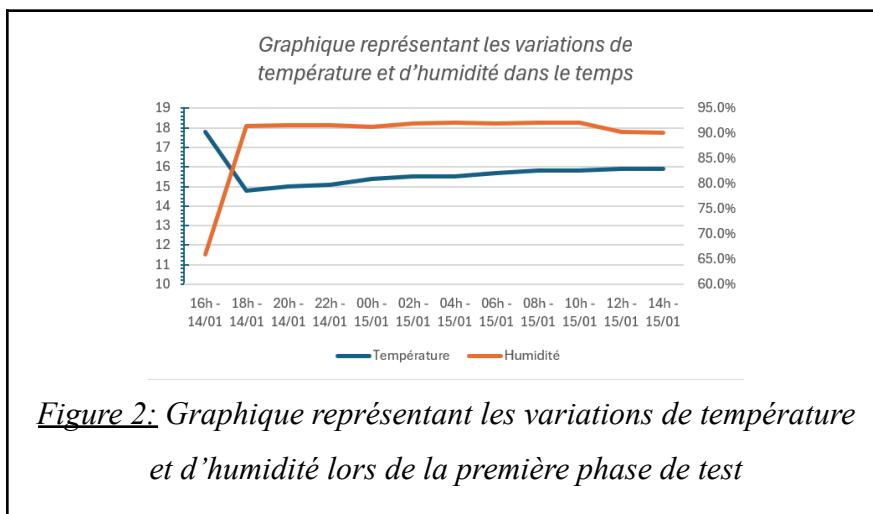
Au fil du projet, nous avons pu réaliser des tests dans différents environnements tels qu'une maison, une chambre étudiante ou encore dehors, à l'air libre. Ceci nous a permis d'observer le fait que le capteur DHT22 était un composant très sensible et que les données pouvaient parfois être erronées.

Les prises de mesure tests ont été effectuées dans un composteur sur le site de l'Université de Tours dans le Parc de Grandmont. Il est important de noter que le composteur dans lequel nous avons réalisé les tests était en activité, c'est-à-dire que les utilisateurs y ajoutent de la matière fraîche de manière régulière. Nous souhaitions faire des tests pendant trois jours, avec une prise de données toutes les 2h, pour permettre une analyse de l'activité du composteur en termes de température et d'humidité sur plusieurs jours.

Nous avons placé notre TOAD dans le composteur le mercredi 14 janvier à 16h pour une première phase de test. Nous avons fait un premier contrôle au bout de 26h. En analysant les données, nous nous sommes rendus compte que le capteur avait pris des mesures tout à fait cohérentes pendant 24h mais prenait des mesures complètement erronées telles que des températures négatives sur les deux dernières heures. Nous avons été obligés de le sortir du compost pour comprendre le dysfonctionnement. Après deux jours de déplacements répétés au composteur, de vérification des différents composants, des branchements et du code, en effectuant des tests hors-compost, nous en avons déduit que le problème provenait soit du capteur en lui-même qui avait été exposé à une humidité trop importante, soit de la breadboard

qui crée des faux-contacts et a pu être fragilisée lors de sa découpe. Étant donné que nous avions le capteur en deux exemplaires, nous avons eu l'idée de les échanger, ce qui n'a malheureusement pas fonctionné. En continuant les tests hors compost, nous avons réussi à faire fonctionner un des capteurs avec une nouvelle breadboard. C'est ainsi que nous avons donc pu réaliser une deuxième phase de tests de 20h, du dimanche 18 janvier à 16h au lundi 19 janvier à 12h. Nous avons pu observer des données cohérentes pendant les 16 premières heures, puis 4h de données erronées sûrement dues à un dysfonctionnement du capteur DHT22. Nous pouvons tout de même analyser les données cohérentes obtenues lors des deux phases de tests.

Les graphiques suivants mettent en évidence l'évolution de la température et de l'humidité en fonction du temps sur la période de tests 1 & 2. La courbe bleue affiche la température, en degré Celsius, alors que la courbe orange montre l'évolution du taux d'humidité dans le compost.



Sur la première période de test, du mercredi 14 au jeudi 15 janvier, nous observons une diminution de température et une augmentation de l'humidité vers 18h. Au cours de la nuit, la température se stabilise et reste constante, prenant des valeurs comprises entre 15.5°C et 15.9°C. L'humidité quant à elle reste relativement élevée. Elle se stabilise autour de 90% de 18h le mercredi à 14h le lendemain.

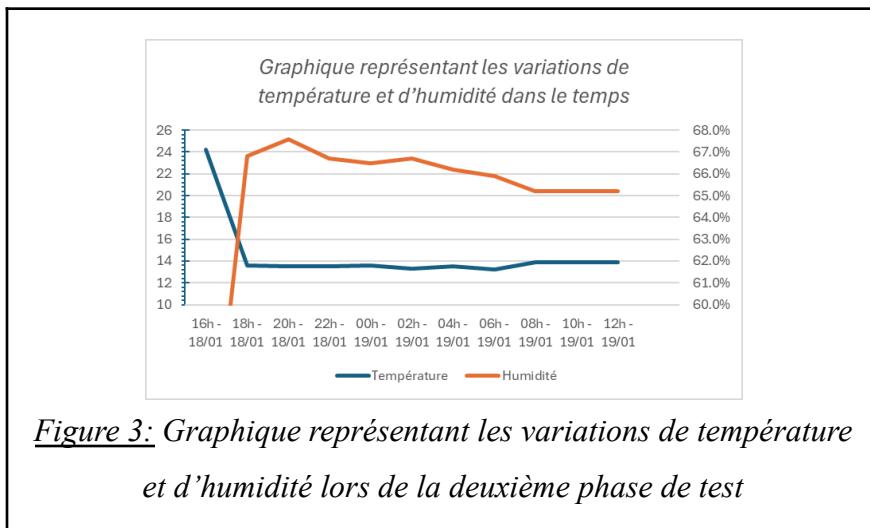


Figure 3: Graphique représentant les variations de température et d'humidité lors de la deuxième phase de test

Sur la seconde période de test, du dimanche 19 au lundi 20 janvier, nous constatons que la température et le taux d'humidité suivent les mêmes variations que lors du premier test. Nous pouvons observer une stagnation de la température et de l'humidité au cours de la nuit.

VI. Analyse

Dans un premier temps, nous avons pu constater que dans les deux phases de test, la première mesure est différente de toutes les suivantes. Cette différence importante peut s'expliquer par le fait que le capteur s'est acclimaté au compost. Par conséquent, nous pouvons négliger cette donnée dans notre étude afin d'avoir une analyse représentative du réel fonctionnement du composteur.

Lors des deux phases de tests, nous avons pu observer des températures constantes à 20 cm de profondeur tout au long de la nuit. Or, nous avons par exemple remarqué qu'entre le mercredi 14 et le jeudi 15 janvier, les températures extérieures ont varié de 5°C à 12°C d'après les données de la station météo de Parçay-Meslay, au nord de Tours. En mettant en parallèle la température du compost et la température extérieure, nous pouvons considérer qu'il n'est pas possible d'établir une corrélation entre ces deux paramètres. Ceci s'explique par le fait que, puisque le compost produit sa propre chaleur grâce à l'activité microbienne, la température extérieure n'influence que peu sa température.

Par ailleurs, d'après l'article *Variation in the key indicators during composting of municipal solid organic wastes* de Mayur Shirish Jain, Mohit Daga & Ajay S. Kalamdhad, le processus de compostage peut se diviser en quatre phases : une phase mésophile (25°C - 40°C), une phase thermophile (45 °C - 70°C), une phase de refroidissement et une phase de maturation. Bien que durant nos deux tests, la température soit inférieure à 25°C, une activité microbienne plus faible est tout de même possible. Nous pouvons donc faire l'hypothèse que le compost se trouve dans une phase mésophile avec une faible activité microbienne. Il est tout de même important de noter que sur la période relativement courte durant laquelle nous avons effectué les tests, nous n'avons pas pu constater une augmentation significative de la température. En effet, cela aurait pu être le cas après le brassage du compost ou après un apport important de matière fraîche, deux processus que nous avons que très peu observés sur une période de 24h.

En ce qui concerne l'humidité, l'étude *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend* de C Liang, K.C Das, R.W McClendon, suggère qu'un taux d'humidité compris entre 50 et 60% est optimal à une activité microbienne efficace. Lors de la première phase de test, l'humidité mesurée est très élevée et supérieure à 90%, ce qui suggère un milieu trop humide. Nous avons pu observer une absence de broyat au moment des tests, ce qui pourrait expliquer cette humidité excessive. En effet, pour une activité efficace au sein d'un composteur, les utilisateurs se doivent d'ajouter du broyat et de mélanger le compost lorsqu'ils y ajoutent des déchets. En revanche, certains ne le font pas, entraînant par la suite une perturbation du taux d'humidité. De façon prolongée, cette perturbation peut avoir d'importantes conséquences sur le processus de compostage. Lorsque les pores sont saturés en eau, le compost se trouve en condition anaérobie, c'est-à-dire que la circulation de l'oxygène est limitée, ce qui peut ralentir l'activité microbienne. Cet excès d'humidité pourrait donc expliquer les températures relativement faibles relevées au-dessus. Lors de la deuxième phase de test, le taux d'humidité se rapproche d'un taux d'humidité idéal pour un compost. Il faut tout de même noter que la prise de mesure a pu être erronée suite au dysfonctionnement du DHT22.

Pour conclure, nous relevons un taux d'humidité excessive dans le compost ainsi qu'une odeur de fermentation qui s'en dégage. Nous pouvons ainsi supposer que le compost étudié est plutôt en mauvaise santé, révélant ainsi l'utilité de notre capteur dans ce compost.

VII. Limites et futur du projet

De par les différentes contraintes que nous avons rencontrées durant la réalisation du projet, nous pouvons dire que notre prototype rencontre encore certaines limites et peut encore être amélioré.

En effet, bien que désormais il est possible à l'utilisateur de récupérer les données sans branchement et donc sans extraction du champignon hors du compost, il est toujours nécessaire d'avoir un contact avec ce dernier pour sortir le système du mode "deep sleep" et récupérer les données. Ce mode est nécessaire à une autonomie prolongée car si le système fonctionne en continu, la batterie externe n'alimente le système que pour quelques jours avant d'être déchargée. Ainsi, pour une future reprise du projet, la question centrale pourrait porter sur l'alimentation énergétique du système. Il faudrait trouver un moyen de contourner les contraintes liées à la capacité de la batterie externe afin de permettre une utilisation prolongée. Une idée qui pourrait par exemple être explorée est l'intégration au système d'un panneau solaire ou d'un autre dispositif d'alimentation autonome, piste que nous n'avons pas eu le temps d'approfondir.

Par ailleurs, au bout de plusieurs heures de tests et en raison des résultats particuliers que nous avons obtenus, nous avons été amenés à nous interroger sur la fiabilité des composants et leur résistance face à une exposition prolongée à l'humidité. Dans la mesure où ces composants avaient déjà été utilisés par le groupe de l'année précédente sans perturbations, nous ne nous étions pas posé la question. Toutefois, des recherches menées ultérieurement nous ont permis de constater qu'ils n'étaient pas adaptés à ce type d'environnement sur le long terme. Pour une future reprise du projet, il serait également nécessaire de sélectionner des composants adaptés à une exposition prolongée à l'humidité.

De manière générale, afin de dépasser les limites que nous rencontrons liées aux compétences informatiques requises pour ce projet, nous pensons qu'une collaboration entre la CPES et une licence d'informatique serait intéressante.

Conclusion

Au cours des quatre mois que notre projet a duré, nous en avons appris davantage sur le travail en groupe et la gestion d'un projet. Le côté scientifique seul ne suffit pas, nous avons dû apprendre à allier la théorie et la pratique du compostage, les contraintes temporelles et

matérielles ainsi que les forces et faiblesses de chacun, afin d'obtenir le meilleur prototype possible. Ce projet nous a également permis de développer plusieurs compétences, en informatique notamment, mais également en modélisation 3D et en exploitation de données. Nous avons pu faire le lien entre les notions théoriques abordées durant les cours et leur application concrète sur un système réel, ce qui a donné plus de sens aux sujets étudiés en CPES.

Pour conclure, nous pensons que le développement d'un tel prototype est important car cela permet de valoriser l'activité de compostage et de soutenir son développement. En effet, nous savons que certaines personnes sont encore sceptiques à l'idée de passer au composteur en raison des idées reçues qui entourent son utilisation. Ainsi, en ayant une meilleure connaissance des paramètres influençant son efficacité et sa santé, à savoir l'humidité et la température, il serait possible de prévenir les désagréments qui rebutent les utilisateurs et ainsi les encourager à faire la transition vers une gestion plus durable de leurs déchets.

Bibliographie

Jain, M. S., Daga, M., & Kalamdhad, A. S. (2019). Variation in the key indicators during composting of municipal solid organic wastes. *Sustainable Environment Research*, 29(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0012-9>

Liang, C., Das, K., & McClendon, R. (2002). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology*, 86(2), 131-137. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(02\)00153-0](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00153-0)

Annexes



Annexe 1: Photographies des finalisations avant l'assemblage

Annexe 2: Photographies
*de l'installation du
champignon dans le
composteur*





Annexe 3: Photographies lors d'une réunion de groupe afin de comprendre les dysfonctionnements du capteur DHT22

