

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة سعد دحلب البلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA
كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الآلية والالكتروتقني
Département d'Automatique et Electrotechnique



Mémoire de Master

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et systèmes

Présenté par

Boumediene Larbi Bouamrane

&

Abdelkrim Metalbi

Commande PID découplée appliquée à la température et l'humidité à l'intérieur d'un incubateur avicole

Proposé par : Mr. Boualem Kazed

Année Universitaire 2022-2023

Dédicace :

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut . . .

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance . . .

Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce projet de fin d'étude ...

A mon père

Qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout son possible pour m'aider.

A ma mère

Source de tendresse et d'amour pour son soutien tout le long de ma vie.

A ma femme et mes chère filles Meriem, Fatima-Zohra et Khadija et aussi mes adorables frères et sœurs

Merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre amour dévoué et votre tendresse, pour donner du goût et du sens à ma vie. En témoignage de mon amour et de ma grande affection, je prie dieu, le tout puissant, pour qu'il donne bonheur et prospérité à eux ainsi qu'à tout le monde.

Je vous souhaite une vie pleine de réussite, de santé et de bonheur.

A tous mes amis et collègues

Votre amitié est un honneur et une fierté pour moi. Je vous remercie d'avoir embelli ma vie par de précieux moments de bonheur. J'espère du fond de mon cœur que vous trouverez dans ce projet l'expression de mon amour et de mon estime les plus sincères. Que dieu, le tout puissant éclaire vos vies, de connaissance et de succès.

Boumediene Larbi Bouamrane

J'ai l'immense plaisir de dédier ce modeste travail de fin d'étude à ceux qui j'aime le plus au monde, ma grand-mère qu'elle m'a apporté son soutien, leurs encouragements avec beaucoup d'amour durant toutes les années d'étude, ainsi que mon grand père

A mes chers parents, frères et sœurs

A toute mes proches de la famille Metalbi, Je vous aime beaucoup.

A mon promoteur qui m'a guidé afin de réaliser ce travail.

A mes collègues de l'Université et spécialement mes amis commerçants.

A toute la promotion 2022/2023.

Abdelkrim Metalbi

Remerciement :

Après nos sincères reconnaissance à Allah le tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans les meilleures conditions.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères à Mr Kazed Boualem pour son soutien et pour avoir rendu possible l'accomplissement de notre mémoire.

Nous remercions également tous les membres du jury pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce rapport et pour toutes leurs remarques et critiques.

Nous remercions aussi tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet, ainsi que les enseignants de département d'automatique et en particulier, l'équipe de l'automatique qui ont contribué à notre formation en Master, sans oublier tous les enseignants de l'université SAAD DAHLEB de Blida.

Liste des figures et des tableaux

Figure 1.1. Exemple d'une poule couveuse	4
Figure 1.2. Exemple d'un incubateur artificiel	5
Figure 1.3. Le modèle statique	7
Figure 1.4. Le modèle dynamique	7
Figure 1.5. L'opération de mirage	16
Figure 1.6. Album photos de l'embryon au centre de l'œuf en incubation	17
Figure 2.1. La couveuse	20
Figure 2.2. Modèle choisi par l'équipe de 2019	21
Figure 2.3. Choix de notre système	22
Figure 2.4. Repense en température	22
Figure 2.5. Simulation de la repense à l'échelon de la température et l'humidité	24
Figure 2.6. Repense à l'échelon de la température et l'humidité	25
Figure. 3.1. Le plan initial des fonctions de transfert	28
Figure. 3.2. Plan final	29
Figure. 3.3. Gain de compensation	29
Figure. 3.4. Structure de contrôle de la température et de l'humidité basée sur PIDs.	30
Figure. 3.5. Structure générale de circuit de commande à base de PID	31
Figure. 3.6. Les entrées STEP et valeurs finales	31
Figure. 3.7. Les perturbations	32
Figure. 3.8. Comportement du système sans correction (correcteur=0)	32
Figure. 3.9. Résultat du système sans correction (correcteur=0)	33
Figure. 3.10. Comportement du contrôleur pour maintenir l'erreur nul Température-H	34

Liste des tableaux :

Table 1.1 – tableau récapitulatif des réglages d'une couveuse	12
Table 1.2 : Normes de conservation des œufs à couvrir	15
Table 2.1 – Les paramètres du système	24

ملخص

في هذا العمل سنقوم بتطبيق استراتيجية منفصلة للتحكم تهدف الى التحكم في درجتي الحرارة والرطوبة داخل حاضنة اصطناعية.

المتحكم من نوع PID المستعملة ستكون مرفقة بوحدات إضافية الغرض منها إزالة التأثير الناتج عن التغير في كل من الرطوبة على درجة الحرارة والعكس.

ولهذا سنعمد نموذج رياضي متعدد المتغيرات تتمثل مدخلاته في درجة الحرارة و التي تنتج عن مرور تيار كهربائي عبر مقاومة حرارية, وأيضا جهد كهربائي يغذي باعث الرطوبة بنظام كل او لاشيء. دوال التحويل الخاصة بهذا النظام قد تم تحصيلها بواسطة التعرف على معالماتها.

الكلمات الرئيسية: حرارة-رطوبة، حاضنة, فصل نظامين , نموذج رياضي , نظام متعدد المتغيرات, و منظم من نوع PID.

Résumé

Dans ce travail, nous allons développer une stratégie de commande découplée visant à contrôler la température et l'humidité à l'intérieur d'un incubateur avicole. Les contrôleurs PID utilisés seront associés à deux autres boucles fermées supplémentaires assurant l'élimination de l'influence des variations de la température sur l'humidité et inversement. Pour ce faire nous allons nous basé sur un modèle mathématique multivariable dont les entrées sont respectivement un courant électrique traversant une résistance chauffante et une tension alimentant un humidificateur en tout ou rien. Les fonctions de transfert du modèle utilisé sont obtenues par l'intermédiaire d'une identification de leurs paramètres.

Mots clés : température-humidité ; incubateur ; Découplement ; un modèle mathématique ; système multivariable ; PID contrôleur.

Abstract

In this work, we will adapt a decoupled strategy of control, aiming to control temperature and humidity inside a poultry incubator. The PID controllers will be added to two extra blocs, in a closed loop to eliminate the effect on one caused by the other's variation and vice-versa.

We will use a multi-variable mathematical model with an electrical current passing a heating resistor, and a voltage feeding humidifier in all-or-nothing mode respectively as entrance. The transfer functions of the system got from a parameter's identification.

Key words: temperature-humidity; incubator; uncoupling; a mathematical model; multivariable system; PID controller.

Liste des acronymes et abréviations

RH : Relative Humidité.

CNA : Convertisseur Numérique Analogique.

CAN : Convertisseur Analogique Numérique.

ARMAX : auto réursive a moyenne ajusté étendue.

SVD: Singular Value Decomposition

PID : Proportionnel Intégral Dérivé.

Table des matières :

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 :.....	2
Généralités.....	2
Introduction.....	3
1.1 Les types d'incubation.....	3
1.1.1 Incubation naturelle.....	3
1.1.3 Incubation artificielle	4
1.1.2 Incubation mixte	6
1.2 Les modèles d'incubateurs artificiels	6
1.2.1 Le modèle statique.....	6
1.2.2 le modèle dynamique	7
1.3 Les paramètres agissant sur l'incubation artificielle.....	8
1.3.1 Position des œufs	8
1.3.2 La durée d'incubation.....	8
1.3.3 La température.....	8
1.3.4 Taux d'humidité.....	9
1.3.5 L'aération.....	11
1.3.6 Le retournement des œufs	11
1.4 Les étapes d'incubation artificielle	12
1.4.1 Ramassage des œufs.....	12
1.4.2 Tri des œufs à couvrir.....	12
1.4.3 Désinfection des œufs à couvrir.....	13
1.4.4 Stockage des œufs à couvrir.....	14
1.4.5 Le mirage.....	15
1.4.6 L'éclosion.....	16
Conclusion :.....	18
Chapitre 2	19
Identification du système multi-variables	19
Introduction.....	20

2.1	Présentation du système	20
2.2	L'identification de notre système	21
2.2.1	Le modèle adopté antérieurement.....	21
2.2.2	Notre modèle	21
2.2.3	Le choix du modèle.....	22
2.2.4	Paramètres du modèle.....	23
2.2.4.1	Pôles et zéros du modèle.....	23
2.2.4.2	Confirmation du modèle	24
Conclusion :		25
Chapitre 3		26
Découplage et réalisation d'une commande en utilisant un PID sous l'environnement MATLAB.....		26
Introduction :		27
3.1-Couplage dans les systèmes de contrôle de la température et de l'humidité :		27
3.2-Principes et méthodes :		28
3.2.1 Systèmes de contrôle de la température et de l'humidité :		28
3.2.2 La méthode utilisée pour le découplage :		28
3.2.3 Commande de découplage basée sur un PID.....		30
3.3 -Simulation sur Simulink :		31
3.3.1 Simulation sans compensation :		32
3.3.2 Simulation avec compensation :		33
3.4 -Résultats et discussion :		34
Conclusion :		35
Conclusion générale :		36
Bibliographie :		37

Introduction Générale

L'objectif de ce projet est de réaliser le découplage d'un modèle mathématique multi-variables représentant les variations de la température et de l'humidité à l'intérieur d'un incubateur artificiel. Ce modèle mathématique représente un système composé d'une résistance qui provoque le réchauffement de l'incubateur, le générateur d'humidité, les capteurs de températures et d'humidité. Les résultats obtenus de cette identification sont les résultats utiliser pour découpler nos deux grandeurs, nous allons travailler sur les données obtenues dans le cadre d'un projet d'identification des paramètres de ce système réalisé en 2019 [1].

Nous allons utiliser l'environnement Matlab pour implémenter le contrôleur PID au système identifier citer précédemment. Avant d'entamer le travail avec des données réelles, nous avons d'abord effectuer des simulations pour tester le bon fonctionnement du modèle avec des données obtenues à partir d'un modèle choisi, constitue de quatre sous modèles représentant les interactions entre les différents entrées/sorties de notre système.

Dans ce mémoire nous allons aborder tous les aspects relatifs à ce projet, avec notamment une description détaillée de découplage après identification ainsi que les résultats obtenus à partir des simulations et ceux issus des données mesurées à partir du prototype d'incubateur réalisé. Il serait intéressant de faire généraliser ce système pour commander tous processus qui est relié directement à l'agriculture, soit des incubateurs comme le cas échéant ou bien des serres agricoles ou pépinières.

Chapitre 1 :

Généralités

Introduction

Il s'agit dans ce premier chapitre de présenter l'historique de l'incubation et les types d'incubations tout en focalisant l'attention sur les types et modèles d'incubation artificielle et en particulier les paramètres à prendre en considération pour agir sur l'incubation artificielle suivant les différentes étapes.

1.1 Les types d'incubation

L'incubation appelée aussi couvée est l'acte d'amener les œufs à l'éclosion. Elle peut être naturelle (couvaision) ou artificielle. [2]

1.1.1 Incubation naturelle

La poule choisie pour la couvaision devra être massive (afin de couvrir et de garder au chaud un grand nombre d'œufs), en bonne santé, vaccinée de préférence, et réputée pour son instinct maternel et ses qualités de couveuse. Ces dernières se manifestent par l'arrêt de la ponte, le déploiement des ailes et l'émission d'un gloussement distinctif. Un maximum de 14 à 16 œufs peut être couvé à la fois dans un nid mais, souvent, l'éclosabilité diminue au-delà de dix œufs. Ceci en relation avec la taille de la poule, eau et nourriture fournies à proximité immédiate de la poule permettront à celle-ci de se maintenir en bonne condition ainsi que de réduire la mortalité embryonnaire liée au refroidissement des œufs, lorsque la poule doit quitter le nid pour partir à la recherche de sa nourriture. La poule maintient les œufs à un degré d'humidité (entre 60 - 80%) satisfaisant en les aspergeant d'eau par le bec. Pour les poules, la période d'incubation est de 20 à 21 jours, Au début, les œufs ont besoin d'un contrôle strict de la température optimale qui se situe à 38°C, du fait de la taille microscopique de l'embryon. Lorsque ce dernier s'accroît en taille - spécialement après le 18ème jour - sa production de chaleur augmente et il est même nécessaire de le refroidir. Des niveaux d'humidité relative de 60 à 80% (s'accroissant au cours de la période d'incubation) sont importants pour éviter les

perdes de liquide à partir du contenu de l'œuf à travers ses membranes et sa coquille poreuse. [3]

Les activités de couvaision et d'élevage des poussins accroissent la longueur du cycle reproductif chez la poule locale de 58 jours pour atteindre environ 74 jours (16 jours de ponte et de constitution de la couvée + 21 jours d'incubation +37 jours d'élevage des poussins = 74 jours).

Cette situation constitue une limite à la productivité de la poule et l'incubation artificielle pourrait être une solution à envisager pour augmenter le rendement de la production. [2]



Figure 1.1 – exemple d'une poule couveuse

1.1.3 Incubation artificielle

L'objectif de l'incubation artificielle est d'obtenir le maximum d'œufs fertiles, le maximum de poussins éclos et le maximum de poussins commercialisables.

L'incubation artificielle est l'ensemble des opérations qui, à partir d'une quantité d'œufs pondus, permet d'obtenir le maximum de poussins viables au cout le plus bas possible en utilisant des incubateurs qui sont conçus pour régulariser la chaleur,

l'humidité, la ventilation et la rotation des œufs afin d'accomplir un développement embryonnaire normal. [1]

Il existe dans le commerce de nombreux incubateurs de diverses capacités. La plupart fonctionne à l'électricité, mais certains d'entre eux peuvent être chauffés au gaz ou au pétrole. Ils disposent d'un thermostat permettant de maintenir la température constante dans une fourchette d'un degré Celsius. Le taux d'humidité approprié est généralement maintenu en fournissant une quantité déterminée d'eau proportionnelle au volume de la chambre de l'incubateur. [3]



Figure 1.2 – exemple d'un incubateur artificiel

Il existe trois types d'incubation artificielle ayant des formes et des tailles différentes :

- Incubateur manuel
- Incubateur semi-automatique
- Incubateur automatique

1.1.2 Incubation mixte

Pour ce type d'incubation, on commence à incuber sous des poules et terminer dans la couveuse artificielle, ou bien l'inverse.

1.2 Les modèles d'incubateurs artificiels

Il existe deux modèles d'incubateurs artificiels : les incubateurs à ventilation naturelle ou statique et les incubateurs à ventilation forcée ou dynamique où l'air est renouvelé par un ventilateur.

1.2.1 Le modèle statique

Dans un incubateur statique, le chauffage a lieu au sommet. Pour les modèles électriques, il s'agit d'une résistance chauffante, ils existent d'autres types qui utilisent des lampes à filament de tungstène, dans le modèle au gaz naturel ou au mazout, le chauffage se fait par des flammes permanentes ou par des réservoirs d'eau chaude.

Selon son incubateur, en raison de l'emplacement de la source de chaleur, la température est supérieure dans des endroits hauts par rapport aux endroits bas. De plus, l'air chaud se rassemble vers le haut de l'enceinte fermée. En conséquence, la température de l'incubateur diminue de plus en plus de haut en bas. C'est pourquoi les œufs sont placés sur un seul plateau à la même hauteur pour bénéficier de la même température qui doit être fixée à 39°C, elle est mesurée au sommet des œufs. De plus, le retournement des œufs cinq à sept fois par jour est nécessaire. [4]

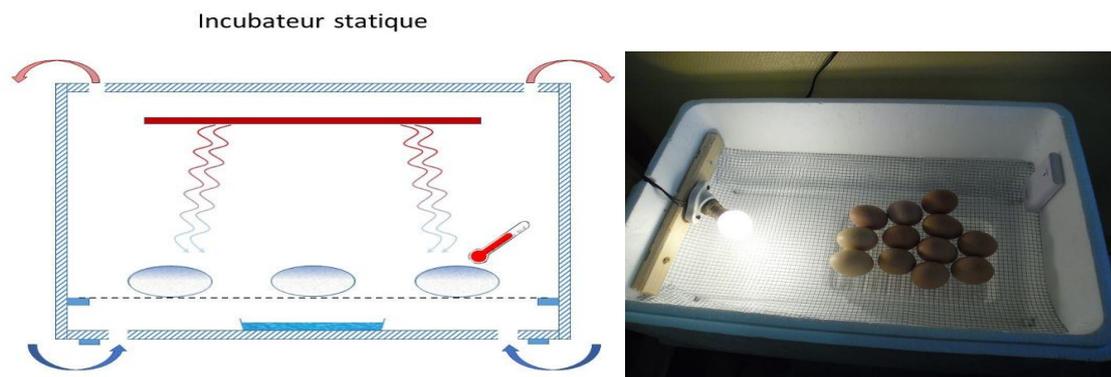


Figure 1.3 – le modèle statique

1.2.2 le modèle dynamique

Dans cet incubateur, l'air intérieur est diffusé par un ventilateur. Ces derniers doivent être placés à l'écart des œufs et des poussins à couver, et une grille de protection doit être appliquée pour éviter de les blesser. Dans d'autres modèles, l'aspirateur supérieur ou inférieur aspire de l'air puis réinjecte l'air dans l'autre extrémité après la phase de chauffage et de refroidissement. En conséquence, la température de l'ensemble du dispositif est complètement uniforme. C'est pourquoi nous pouvons placer des plateaux à œufs à différentes hauteurs. Dans ce type d'incubateur, la température doit être réglée à 37,8 ° C ou 38 degrés Celsius et mesuré sur le dessus de l'œuf. Notons que le modèle dynamique est plus sophistiqué que le modèle statique. [5]



Figure 1.4 – le modèle dynamique

1.3 Les paramètres agissant sur l'incubation artificielle

1.3.1 Position des œufs

Dans la couveuse, on pose les œufs à plat sur le côté ou debout (pointe en bas).

1.3.2 La durée d'incubation

La durée d'incubation varie selon : l'espèce, la souche, les conditions physico-chimiques, la durée de conservation des œufs. Dans notre cas nous nous intéressons aux œufs de poule qui ont une durée d'incubation de 21 jours en moyenne, avec des extrêmes comprises entre 19 et 23 jours.

1.3.3 La température

- Température du local : de façon optimale, se rapprocher d'une température comprise entre 19 et 25° C. Il est préférable d'éviter les fortes variations et de ne pas exposer la couveuse aux rayons du soleil.
- Température intérieure de la couveuse : 37,5° C dans une couveuse a ventilation dynamique avec un ventilateur électrique qui brasse l'air à l'intérieur de la couveuse).
- On vérifie régulièrement la température en cours d'incubation. Quelque soit la précision du thermostat, ce dernier se dérègle légèrement (+/- 0,2° C) mais fréquemment en cours d'incubation et toujours, a chaque ouverture de la couveuse lors du mirage des œufs par exemple. Après toute intervention, on laisse la température se stabiliser à nouveau et on effectue un réglage de température si besoin.
- Vérification du thermomètre.

- Préparation de la couveuse : on fait chauffer la couveuse et on effectue les réglages pour que la température soit totalement stabilisée au moment où on y déposera les œufs.
- Variations de température durant l'incubation: une baisse de la température, au moment où on retournera ou mirera les œufs n'est pas préjudiciable (la poule ne reste pas clouée sur son nid pendant 21 jours et va s'alimenter, se dégourdir les ailes, assouvir des besoins naturels, tailler une bavette avec ses copines, ...). En cas de panne d'électricité de quelques heures, on ne jette pas les œufs, les embryons sont sans doute encore vivants. [2]

1.3.4 Taux d'humidité

- Durant l'incubation, du 1^{er} au 19^{ème} jour, les meilleurs résultats sont obtenus avec un taux d'humidité de 50 à 60%
- Durant l'éclosion, les jours 20,21 et parfois 22 et 23 (si l'éclosion a pris du retard), le taux d'humidité doit être de 65 à 75% au plus).
- L'œuf perd beaucoup d'humidité à travers les pores de sa coquille, donc il faut éviter la déshydratation des œufs en contrôlant l'humidité dans la couveuse.
- L'humidité assure le bon développement de l'embryon mais également facilite le bêcheage en rendant la coquille plus fragile.
- Le réglage du taux d'humidité durant l'incubation doit permettre le développement de la chambre à air en faisant perdre à l'œuf 13% de son poids en eau entre le 1^{er} et le 19^{ème} jour. Cependant, au moment de l'éclosion, il est indispensable d'avoir un taux d'humidité important pour empêcher que la membrane intérieure de la coquille ne se dessèche et n'adhère au poussin, l'empêchant ainsi de s'extraire de la coquille. Il est vital pour le poussin que cette membrane reste souple et non collante.
- Les facteurs de variation du taux d'humidité sont : l'évaporation de l'eau des bacs à eau de la couveuse, l'évaporation de l'eau des œufs (qui dépend aussi de la plus ou moins

grande porosité des coquilles), le taux d'humidité de l'air ambiant et le niveau d'aération de la couveuse.

- Il y a deux méthodes pour mesurer le taux d'humidité de la couveuse :

- * En plaçant à l'intérieur de la couveuse un hygromètre à lecture directe (à aiguille ou à affichage digital). Il existe également des couveuses avec un hygromètre intégré avec affichage digital.

- * En utilisant un hygromètre à voie humide.

- Réglages pour faire varier le taux d'humidité dans une couveuse, on peut agir sur deux paramètres : sur la quantité d'air que l'on fait entrer dans la couveuse, et sur la quantité d'eau présente dans les bacs à eau de la couveuse.

- Pour obtenir le taux d'humidité minimum, il faut que les bacs à eau soient vides et que la trappe d'aération soit ouverte au maximum.

- Pour obtenir le taux d'humidité maximum, il faut remplir tous les bacs à eau, ajouter s'il y a de la place une ou deux éponges gorgées d'eau, et fermer la trappe d'aération au maximum indiqué par le constructeur. Il ne faut jamais fermer totalement l'aération, les poussins ont besoin d'air pour respirer, même dans leurs œufs.

- A partir du 20^{ème} jour (et quelquefois du 19^{ème} si on voit une coquille avec un léger point d'impact intérieur, signe qu'un poussin a passé la tête dans la chambre à air de son œuf et commence les opérations de sortie), il faut faire monter l'humidité au maximum en remplissant les bacs d'eau à 37,5° C, et en ajoutant si possible au moins une éponge pleine d'eau à 37,5° C (l'eau déjà tiède évitera à la couveuse d'avoir à la réchauffer).

1.3.5 L'aération

L'œuf à couver est un être vivant qui respire, alors une bonne ventilation est donc nécessaire pour assurer le bon développement de l'embryon. La ventilation apporte de l'oxygène (O₂) à l'embryon et élimine le dioxyde de carbone CO₂ excédentaire. Le renouvellement d'air est réalisé par le réglage des trappes d'entrée et de sortie d'air au niveau des couveuses. En outre, la ventilation permet de régler la température et l'humidité dans la couveuse.

1.3.6 Le retournement des œufs

L'opération de retournement a pour but d'éviter que l'embryon colle à la coquille, de diminuer les positions anormales de l'embryon et de permettre également une meilleure répartition de la chaleur sur toute la surface des œufs. Le retournement des œufs est une opération qui est réalisée sur un angle de 45°. Les œufs sont retournés automatiquement toutes les deux heures voir toutes les heures. On ne doit pas retourner les œufs ni pendant les deux premiers jours d'incubation, ni pendant les deux derniers jours. A partir du 3^{ème} jour et jusqu'au 19^{ème} jour inclus, les œufs doivent être retournés au minimum 2 fois par jour, ce pour permettre un bon développement de l'embryon. [1]

Jours d'incubation	T °C	H en %	Retournement O/N
1	37.5	de 50 à	N
2	37.5	de 50 à	N
3	37.5	de 50 à	o
4	37.5	de 50 à	o
5	37.5	de 50 à	o
6	37.5	de 50 à	o
7	37.5	de 50 à	o
8	37.5	de 50 à	o
9	37.5	de 50 à	o
10	37.5	de 50 à	o
11	37.5	de 50 à	o
12	37.5	de 50 à	o
13	37.5	de 50 à	o
14	37.5	de 50 à	o
15	37.5	de 50 à	o
16	37.5	de 50 à	o

17	37.5	de 50 à	o
18	37.5	de 50 à	o
19	37.5	de 50 à	o
20	37.5	de 65 à	N
21	37.5	de 65 à	N

Table 1.1 – tableau récapitulatif des réglages d’une couveuse

1.4 Les étapes d’incubation artificielle

Le traitement des œufs comporte plusieurs aspects dont les principaux sont le ramassage, le tri, la désinfection et le stockage.

1.4.1 Ramassage des œufs

Les œufs pondus ont une température voisine de celle du corps de la poule (40, 5° C). De ce fait ils devraient être ramassés régulièrement au moins deux fois par jour et refroidis à la température du stockage pour empêcher la préincubation et le développement de l’embryon ; En effet, l’embryon commence à se développer à 21° C et des changements de température ultérieurs peuvent entraîner une mortalité embryonnaire précoce qui pourra être faussement interprétée comme un problème de fertilité. En outre, le matériel servant au ramassage des œufs doit être propre et nettoyé régulièrement afin d’éviter toute souillure aux œufs.

1.4.2 Tri des œufs à couvrir

Cette opération a pour objectif d’obtenir un maximum d’œufs à couvrir aptes à l’incubation. Les critères sur lesquels on se base pour trier les œufs aptes à être incubés sont : le poids des œufs, la propreté, la forme, la qualité de la coquille et la couleur de la coquille.

a- Poids des œufs

Le poids minimum des œufs à couvrir est de l’ordre de 60 g pour la poule. Rappelons que le poids du poussin à l’éclosion est corrélé positivement au poids de l’œuf.

b- Propreté des œufs

Les œufs présentant des taches de fientes ou autres taches impropres sont éliminés du processus d'incubation pour éviter les risques de contamination de l'embryon.

c- Forme des œufs

L'œuf normal a une forme ovoïde avec un petit bout et un grand bout. Ainsi tous les œufs présentant des déformations : trop effilés, allongés bagués annelés sont écartés de l'incubation.

d- Qualité de la coquille

Les œufs cassés, poreux, fêlés, micro fêlés, fragiles et à coquille mince sont éliminés car ces défauts affectent la qualité interne de l'œuf et par conséquent la viabilité de l'embryon.

e- Couleur de la coquille

La coloration de la coquille est un caractère génétique qui ne préjuge en aucun cas la qualité interne de l'œuf. Toutefois un œuf sain doit prendre la coloration reconnue de la souche élevée. [4]

Les meilleurs résultats d'éclosion s'obtiennent avec des œufs âgés de 3 à 4 jours et de poids compris entre 30 et 70g en fonction des races. Les œufs de 55 à 60g éclosent mieux que ceux de 60 à 70g. Cependant, ces œufs doivent être fécondés et provenus de poules saines, bien nourries et qui ont principalement reçu des vitamines (A, B D et E). En effet, leur carence dans l'alimentation réduit la fertilité des œufs et augmente la mortalité embryonnaire.

1.4.3 Désinfection des œufs à couvrir

a-Lavage désinfection

L'intérêt du lavage est d'enlever la cuticule et toutes les impuretés de la coquille et de tuer les germes qui se trouvent à la surface de la coquille et surtout à l'intérieur des pores. La méthode consiste à faire passer les œufs dans un tunnel où ils sont aspergés avec différentes solutions selon les étapes suivantes :

- Bain de lavage à l'aide d'un détergent à une température de 42°C,
 - Rinçage à l'eau à une température de 44 à 46°C,
 - Bain de désinfection à l'aide de l'ammonium quaternaire à une température de 48°C,
 - Séchage.
- La durée de l'opération est en moyen d'une minute.

b- Lavage-trempage : Dipping

Le lavage trempage appelé aussi dipping est une opération qui consiste à faire pénétrer à l'intérieur de l'œuf une solution contenant un antibiotique qui a pour rôle de rompre le cycle de certaines maladies transmises verticalement par l'œuf par exemples les mycoplasmes. La méthode peut être envisagée de deux façons :

- Soit par différence de température : les œufs sont préchauffés à la température de l'incubation et qui sont ensuite trempés dans une solution froide. Par différence de température, les œufs se contractent et la solution est aspirée à travers les pores.
- Soit par différence de pression pendant 15 minutes.

Après égouttage, les œufs sont séchés et sont stockés ou mis en incubation le plus rapidement possibles. [4]

1.4.4 Stockage des œufs à couver

Après la désinfection, les œufs doivent être conservés dans un local aéré mais à l'abri des courants d'air, du soleil et des poussières. La durée de conservation des facultés d'éclosion des œufs dépend en partie de la température de la pièce dans laquelle sont stockés les œufs avant incubation. De 7 à 15°C, la conservation des facultés d'éclosion est bonne pendant 6 jours. Elle diminue progressivement à partir du début de la seconde semaine. La température de la salle de stockage doit être maintenue entre 17 et 18°C pour une durée de 3 à 4 jours. L'éclosivité des œufs diminue de 1 à 1,4% par jour de stockage. Afin de limiter les pertes d'eau par évaporation qui aura pour effet d'abaisser le taux d'éclosion et la vitalité du poussin, l'humidité relative de la salle de stockage doit être maintenue entre 70 et 85%. Durant leur stockage, les œufs à couver sont placés dans une position pointe en bas pour un stockage de courte durée. Pour des stockages supérieurs à 7 jours, un stockage pointe en haut permet de limiter les pertes d'éclosion dues au stockage. Aussi, il est recommandé de les retourner pendant le stockage afin d'éviter que le jaune adhère à la coquille. Les œufs ne doivent jamais être stockés même le sol mais sur des palettes en bois ou de préférence en plastique. [1]

Durée de stockage	0 à 4 jours	5 à 7 jours	8 à 14 jours
Température (°C)	17- 18	16 - 17	14 - 16
Humidité relative (%)	80	85	85
Position	Pointe en bas	Pointe en bas	Pointe en haut
Mise en caisse	Non	Oui	Oui

Tableau1. 2 : Normes de conservation des œufs à couver [4]

1.4.5 Le mirage

Le mirage des œufs consiste à éclairer l'intérieur de l'œuf et à observer par transparence ce qui s'y trouve. Plus la coquille de l'œuf est claire, meilleure est la visibilité. Le mirage permet de déterminer si un œuf est fêlé avant la mise en incubation et s'il est fécond à compter du 7-ème jour. On peut également observer le bon développement de la chambre à air les 7-ème, 14-ème et 19-ème jours d'incubation, et éliminer les œufs contenant des embryons morts en cours d'incubation, le 19-ème jour.

Le test du 7 -ème jour d'incubation : si l'œuf est fécondé, vous verrez des vaisseaux sanguins, signe que l'embryon a commencé son développement. En scrutant bien l'intérieur de l'œuf, vous pourrez apercevoir une petite masse plus sombre avec un point noir : c'est l'embryon et l'un de ses yeux. Si vous ne distinguez rien du tout, si l'intérieur de l'œuf est uniformément jaune et lumineux, l'œuf est dit "clair" et n'est hélas pas fécond. Si vous êtes sûr de vous, retirez-le de la couveuse. Si vous avez le moindre doute, laissez-le au chaud dans la couveuse jusqu'au prochain mirage. Au moment du mirage du 7-ème jour, observez également le volume de la chambre à air et ajustez le taux d'humidité si besoin.

Le 14 -ème jour d'incubation : la formation des plumes est terminée et celle du bec débute, mais vous ne verrez rien si ce n'est une vague forme opaque. En revanche, on doit vérifier le volume de la chambre à air et corriger le taux d'humidité si besoin.

Le 19^{ème} jour d'incubation, l'éclosion approche. On va observer une forme totalement opaque occupant environ les 2/3 du volume de l'œuf : c'est le poussin. A ce stade, la chambre à air doit occuper idéalement environ 1/3 de l'œuf.

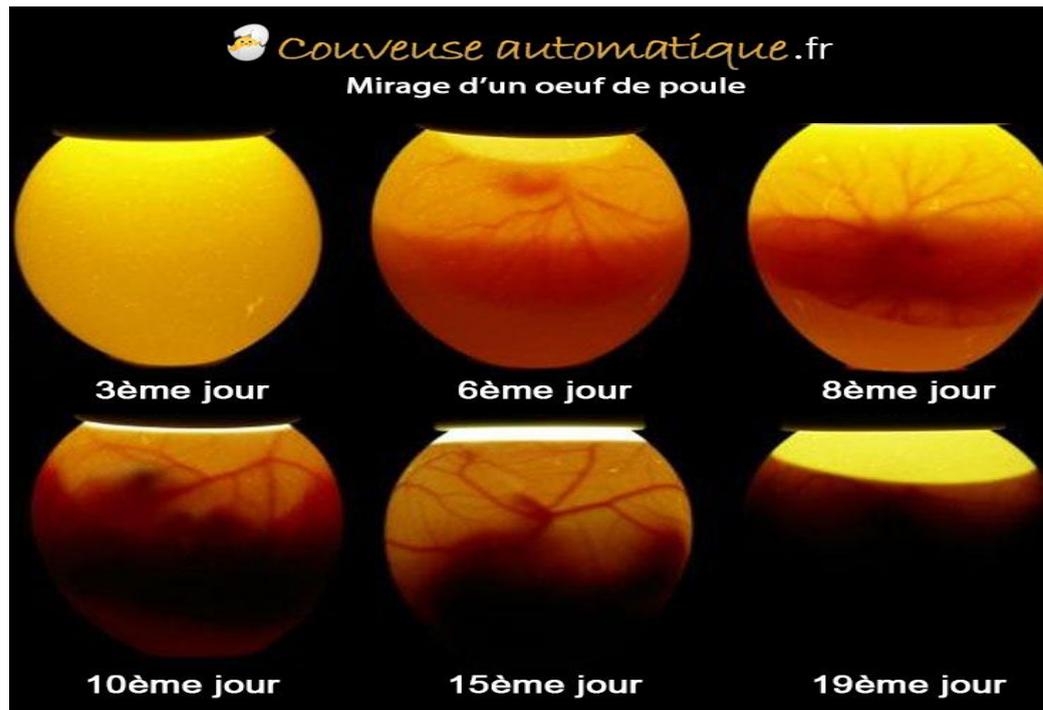


Figure 1.5 – L'opération de mirage

1.4.6 L'éclosion

Dans la mesure où le taux d'humidité dépasse les 65%, vous n'avez qu'à attendre. Les poussins savent mieux que nous ce qu'ils ont à faire, et au risque de paraître cruel, il ne faut en aucun cas intervenir pour aider un poussin à sortir de sa coquille, au risque d'aggraver la situation. On doit laisser aux poussins le temps d'éclore, même si cela doit prendre des heures. Si vous intervenez trop tôt sur une coquille en aidant le poussin à la briser, vous allez provoquer une hémorragie sanguine, l'intérieur de la coquille étant encore abondamment irrigué par des vaisseaux sanguins.

Si on intervient a temps, on risquent d'aider à éclore un poussin qui n'aurait jamais pu sortir seul. Ce sera un poussin faible ou handicapé qui ne survivra pas dans les heures ou les jours qui suivront. Les seuls poussins à conserver sont ceux qui éclosent seuls.

L'éclosion peut débuter le 19ème et s'achever le 23ème jour. Toutefois, si elle n'a pas débutée au 21ème jour, tout n'est pas perdu : patientez encore, mirez les œufs, écoutez les (les poussins pépient dans l'œuf avant d'éclore), la température n'a peut-être pas été tout a fait suffisante durant l'incubation et l'éclosion a pris un peu de retard. Après l'éclosion, maintenez les poussins à 35° C durant 24 heures, dans la couveuse si sa taille vous le permet, sans boire ni manger. Le poussin a besoin de se reposer, de se sécher et de vider son tube digestif. Après ces 24 heures, vous placerez les poussins dans une éleveuse, à une température de 35° C , sur une litière de copeaux secs, à l'abri des courants d'air, en les nourrissant avec de l'aliment spécial poussin et de l'eau propre à volonté. [1]

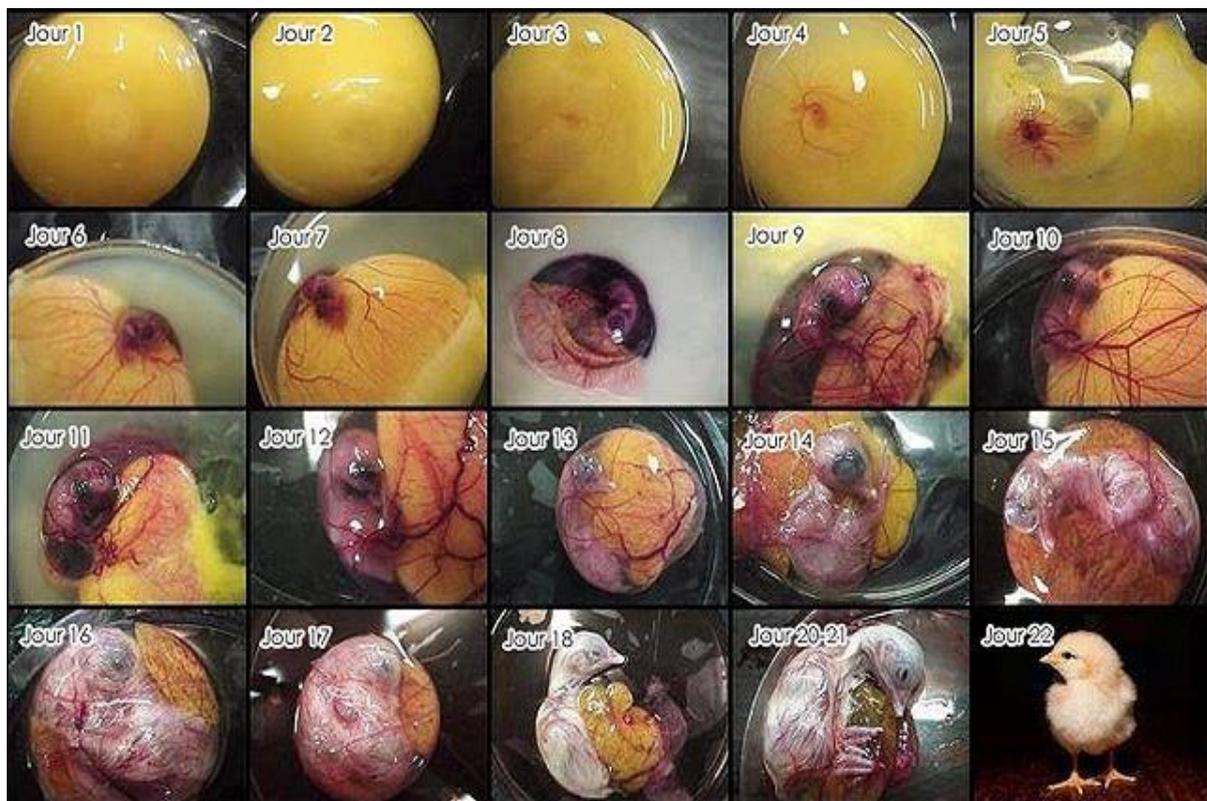


Figure 1.6 – Album photos de l'embryon au centre de l'œuf en incubation

Conclusion :

L'incubation artificielle est un processus délicat qui nécessite un suivi rigoureux, ponctuel et continu des différents paramètres, en particulier la température et l'humidité tout au long des étapes de l'incubation jusqu' à la fin du process.

Chapitre 2

Identification du système multi-variables

Introduction

L'incubateur est un système constitué de deux parties : une partie mécanique et d'une partie électronique. Dans ce chapitre, on va introduire le matériel utilisé pour la réalisation de ce projet.

2.1 Présentation du système

Notre incubateur est constitué essentiellement d'un ancien réfrigérateur récupéré (constitue la coque extérieure), la face avant est un couvercle d'un boîtier électrique cristallin collée au frigidaire, pour qu'on puisse voir dedans, équipée d'une résistance chauffante et un ventilateur qui fait le retournement de l'air à l'intérieur de la couveuse, de plus la face supérieure contient le trou d'évacuation mener d'un ventilateur de renouvellement d'air ainsi que deux supports ; un pour porter le capteur et l'autre pour le moteur de retournement des plateaux des œufs. La partie électronique comporte une carte de puissance, une carte d'interface, un contrôleur, un seul capteur (température et humidité à la fois), un humidificateur et un moteur.

Le bon fonctionnement de cette couveuse est basé sur la bonne régulation de température et d'humidité.



Figure 2.1 – la couveuse



2.2 L'identification de notre système

2.2.1 Le modèle adopté antérieurement

Le model choisit par nos collègues est celui présenté dans la figure 2-2 ou l'effet de l'un sur l'autre est ajoute à la sortie du système [1].

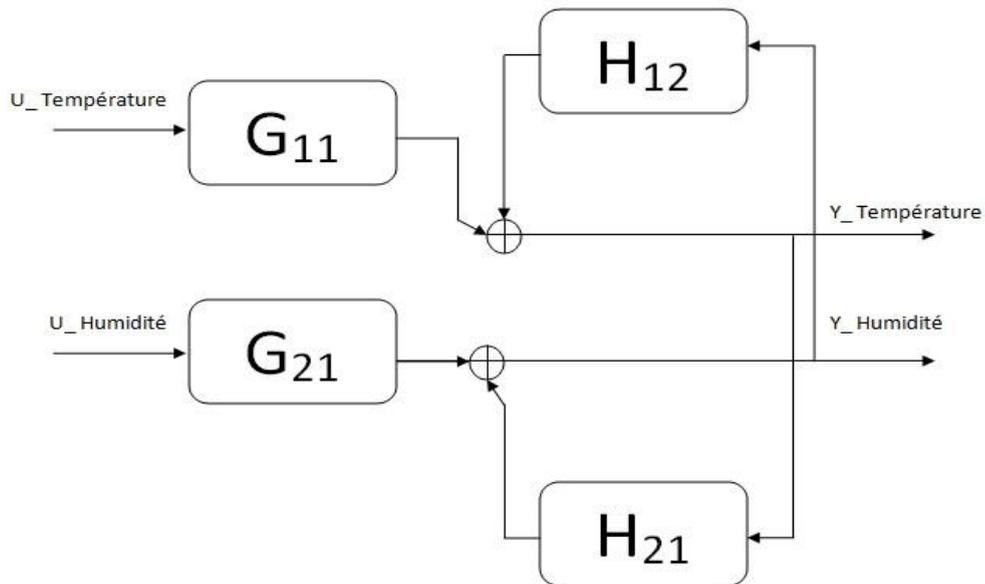


Figure 2.2 – le modèle choisi par l'équipe de 2019

2.2.2 Notre modèle

Notre modèle est différent de celui proposé dans le projet de 2019, dans notre système l'effet est pris de l'entrée directement, voir figure 2-3

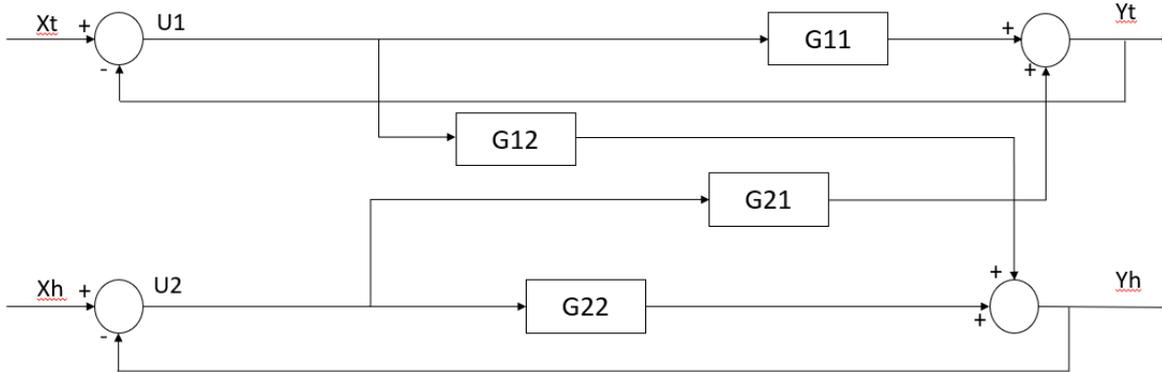


Figure 2. 3. Choix de notre système

2.2.3 Le choix du modèle

Nos collègues précédents ont fait plusieurs essais pour déterminer le modèle et l'ordre approprié pour représenter le système, on a utilisé les données issues de leur capteur pour modéliser selon l'allure de la réponse de température et d'humidité, on peut voir clairement que cela ressemble à un système du 1^{er} ordre (voir figure 2-4)

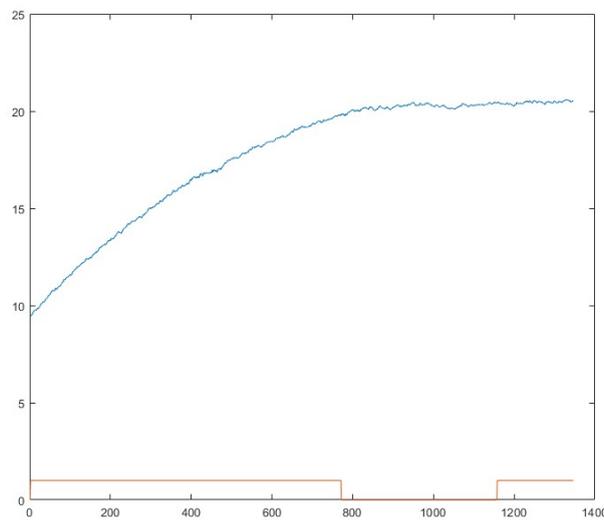


Figure 2.4. Repense en température

La même conclusion à été obtenue en observant la réponse de l'humidité qui a donné aussi l'allure d'un système de 1^{er} ordre en réponse à un échelon.

2.2.4 Paramètres du modèle

Pour l'identification de notre modèle on a utilisé le même algorithme d'identification implémenté en 2019 [1], celui-ci est basé sur la décomposition SVD (Single Value Décomposition) de la matrice information contenant les données entrées/sorties du système multivariable ; Une particularité importante de cette méthode réside dans le fait qu'elle prend en compte l'existence de bruits aussi bien aux entrées qu'aux sorties du système. Cette propriété s'adapte parfaitement à notre cas puisque la résistance, provoquant le réchauffement de l'incubateur, le générateur d'humidité, les capteurs de températures et d'humidité se situent à une distance relativement importante par rapport à l'emplacement des œufs à incuber, la température et l'humidité reçues par l'œuf seront accompagnées de bruits du fait de la distance les séparant des capteurs et des actionneurs utilisés.

2.2.4.1 Pôles et zéros du modèle

Comme le modèle choisit est du 1^{er} ordre, alors tous les blocs de notre système seront du type :

$$G_{xx} = \frac{b_{11}Z^{-d}}{1 + a_{xx}Z^{-1}}$$

Nous avons trouvé les valeurs qui correspondent à notre système sont :

	a_{ii} du système	b_{ii} du système	Fonction de transfert
G11	-0.9992	0.0625	$\frac{0.0625 Z^{-5}}{1 - 0.9992 Z^{-1}}$
G22	-0.9971	0.2318	$\frac{0.2318 Z^{-4}}{1 - 0.9971 Z^{-1}}$
G12	-0.9971	-0.0167	$\frac{-0.0167 Z^{-4}}{1 - 0.9971 Z^{-1}}$
G21	-0.9992	-0.0064	$\frac{-0.0064 Z^{-6}}{1 - 0.9992 Z^{-1}}$

Tableau 2.1 : Paramètres du système

2.2.4.2 Confirmation du modèle

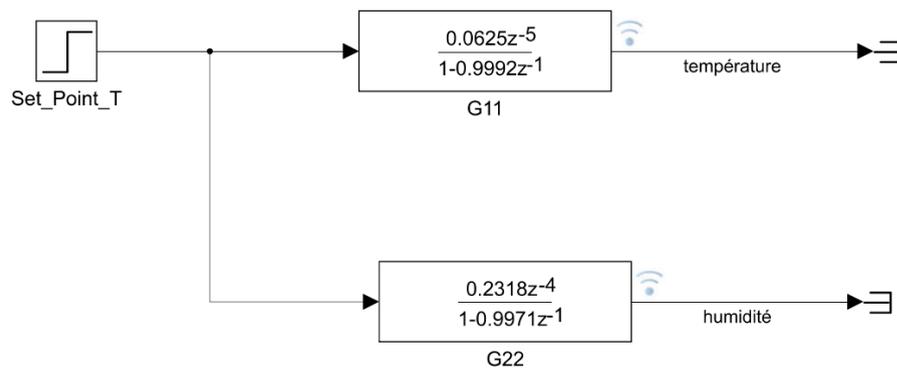


Figure 2.5. Simulation de la réponse à l'échelon de la température et l'humidité

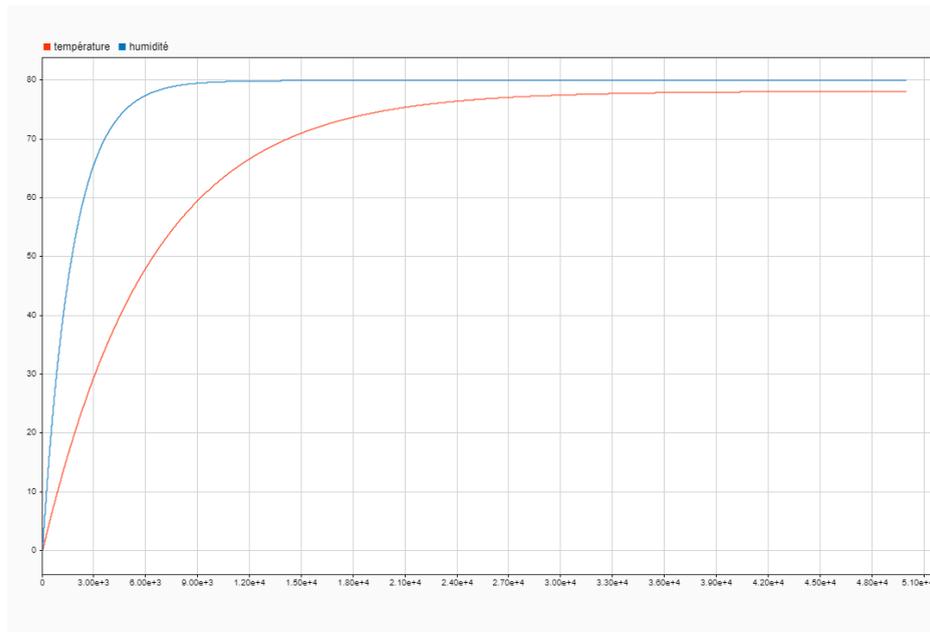


Figure 2.6. Réponse à l'échelon de la température et l'humidité

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le système avec ses paramètres ainsi que les fonctions de transfert dans les blocs. La phase prochaine sera de concevoir des contrôleurs PID avec un découplage adéquat.

Chapitre 3

Découplément et réalisation d'une commande en utilisant un PID sous l'environnement MATLAB

Introduction :

En tant que système non linéaire multivariable, les systèmes de contrôle de la température et de l'humidité sont largement intégrés dans de nombreux produits, les performances de ces produits dépendent principalement de la véracité du contrôle de ces deux éléments, mais il existe un couplage entre ces deux variables, et il est très difficile d'améliorer la précision pour répondre aux besoins des produits de haute qualité en utilisant les méthodes de contrôle traditionnelles.

3.1-Couplage dans les systèmes de contrôle de la température et de l'humidité :

La température et l'humidité s'influencent mutuellement dans un environnement ; les changements de température entraînent des fluctuations de l'humidité, et la température subit également une certaine influence de la variété de l'humidité.

L'humidité relative (HR) est généralement mesurée par la méthode du bulbe sec et humide : Détecter la température de l'air à l'aide d'un capteur de résistance thermique, c'est-à-dire la température du bulbe sec, et détecter la température du kit de voile imbibé d'eau distillée à l'aide d'un même capteur de résistance thermique, c'est-à-dire la température du bulbe humide. La formule mathématique peut être dérivée de la théorie du transfert de chaleur et de la théorie thermodynamique comme suit :

$$X_h = \frac{E_s - NP(T_g - T_s)}{E_g} \times 100 \quad (1)$$

Où : X_h est l'humidité relative en % ; E_s est la pression d'eau saturée à la température du thermomètre mouillé ; E_g est la pression de vapeur saturée à la température du thermomètre sec ; N est une constante liée à la vitesse du vent ; P est la pression atmosphérique ; T_g est la température du thermomètre sec ; T_s est la température du thermomètre mouillé.

Le contrôle de la température et de l'humidité est généralement basé sur le principe de l'équilibre entre la température et l'humidité. Habituellement, l'homéostasie de la température est réalisée en chauffant à l'aide d'un appareil de chauffage et en réfrigérant à l'aide d'un appareil de refroidissement ou en ajoutant de l'air froid ; simultanément, l'humidificateur (généralement produit par de la vapeur d'eau chauffée) est utilisé conjointement. L'humidificateur (généralement produit par de la vapeur d'eau chauffée) est associé à un

déshumidificateur (généralement par refroidissement et déshumidification de la condensation à travers l'échangeur de chaleur) pour atteindre l'équilibre dynamique de l'humidité.

3.2-Principes et méthodes :

3.2.1 Systèmes de contrôle de la température et de l'humidité :

Les systèmes de contrôle d'entrée et de sortie pour la température et l'humidité peuvent être décrits comme suit :

$$\begin{bmatrix} Y_t(k) \\ Y_h(k) \end{bmatrix} = P[X_t(k), X_t(k-1), X_h(k), X_h(k-1), Y_t(k-1), Y_h(k-1)] + \begin{bmatrix} T_t(k) \\ T_h(k) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Où : $\underline{Y_t}$ est la sortie de la température, $\underline{Y_h}$ est la sortie de l'humidité ; $\underline{X_t}$ est l'entrée de la température, $\underline{X_h}$ est l'entrée de l'humidité ; $\underline{T_t}$ est la perturbation du système et le bruit de mesure de la température, $\underline{T_h}$ est la perturbation du système et le bruit de mesure de l'humidité.

3.2.2 La méthode utilisée pour le découplément :

Notre système été celui de la figure 3.1 ou les fonctions de transfert sont coupler du a l'influence de la température sur l'humidité et vice versa, l'une toujours affect l'autre.

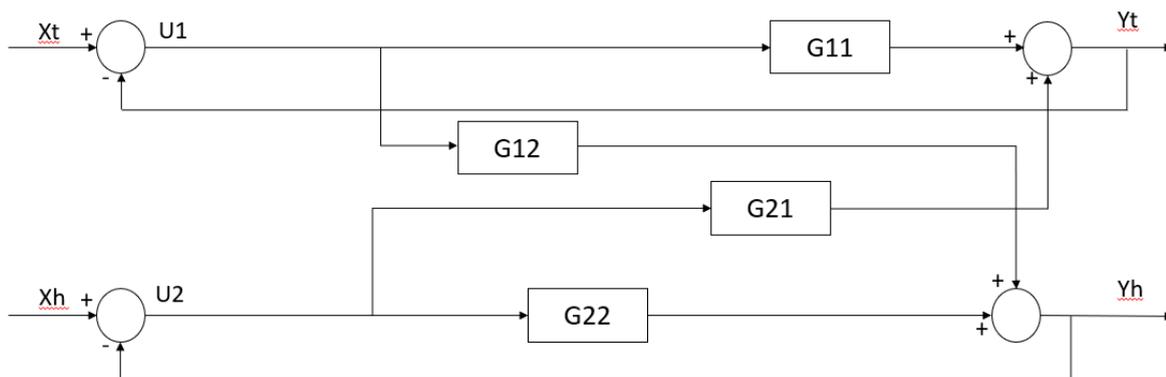


Fig. 3.1. Le plan initial des fonctions de transfert

Pour remédier à cette situation, et éliminer l'effet de perturbation pour avoir deux fonctions complètement séparées comme illustré dans la figure 3.2

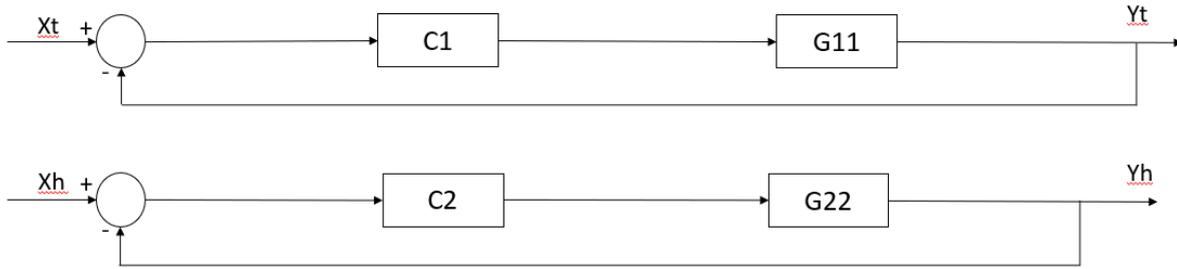


Fig. 3.2. Plan final

Pour avoir ce résultat on a ajouté une compensation sous forme de gain comme présenté dans la figure 3.3

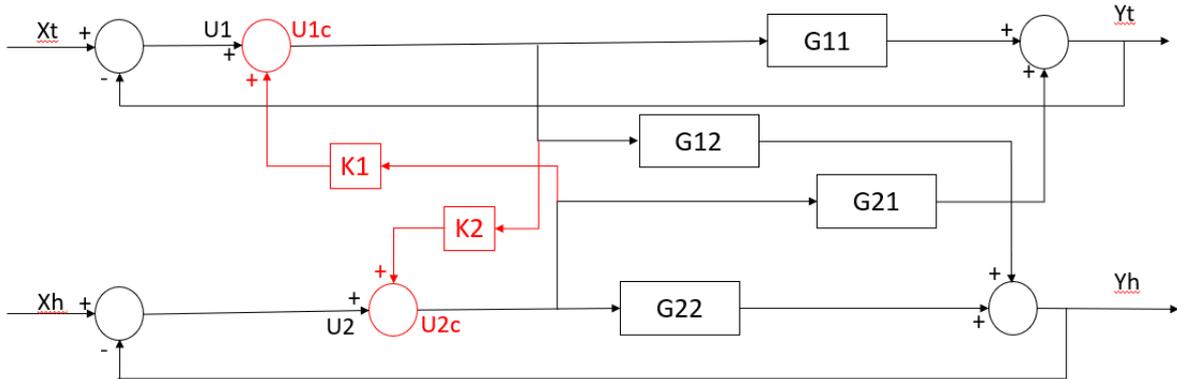


Fig. 3.3. Gain de compensation

Du schéma on a :

$$y_1 = G_{11}U_1 + G_{21}U_2 \quad (3)$$

$$y_2 = G_{22}U_2 + G_{12}U_1 \quad (4)$$

$$U_1 = U_{1c} + K_1U_2 \quad (5)$$

$$U_2 = U_{2c} + K_2U_1 \quad (6)$$

En remplaçant (5) et (6) dans (3) et (4) en aura :

$$y_1 = G_{11}(U_{1c} + K_1U_2) + G_{21}U_2 \Rightarrow y_1 = G_{11}U_{1c} + G_{11}K_1U_2 + G_{21}U_2$$

$$\Rightarrow y_1 = G_{11}U_{1c} + U_2(G_{11}K_1 + G_{21}) \quad (7)$$

Si on met $G_{11}K_1 + G_{21} = 0$ en aura $K_1 = -\frac{G_{21}}{G_{11}}$

Alors $y_1 = G_{11}U_{1c}$ (8)

De même $y_2 = G_{22}(U_{2c} + K_2U_1) + G_{12}U_1 \Rightarrow y_2 = G_{22}U_{2c} + G_{22}K_2U_1 + G_{12}U_1$

$\Rightarrow y_2 = G_{22}U_{2c} + U_1(G_{22}K_2 + G_{12})$ (9)

Si on met $G_{22}K_2 + G_{12} = 0$ en aura $K_2 = -\frac{G_{12}}{G_{22}}$

Et en aura finalement $y_2 = G_{22}U_{2c}$ (10)

Notre objectif est d'atteindre deux fonctions complètement découplées, comme dans la figure 4.2 en ajoutant les fonctions (gain) K1 et K2.

3.2.3 Commande de découplage basée sur un PID

La structure de commande de découplage de la température et de l'humidité basée sur le modèle illustrée à la figure 3.4 et qui se compose de deux PIDs à savoir un pour la température, et l'autre pour l'humidité.

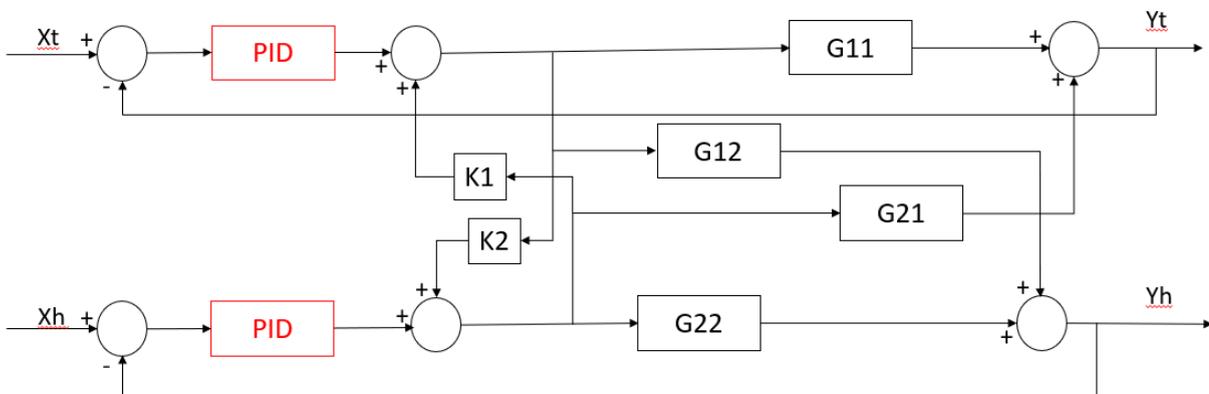


Fig. 3.4. Structure de contrôle de la température et de l'humidité basée sur PIDs.

3.3 -Simulation sur Simulink :

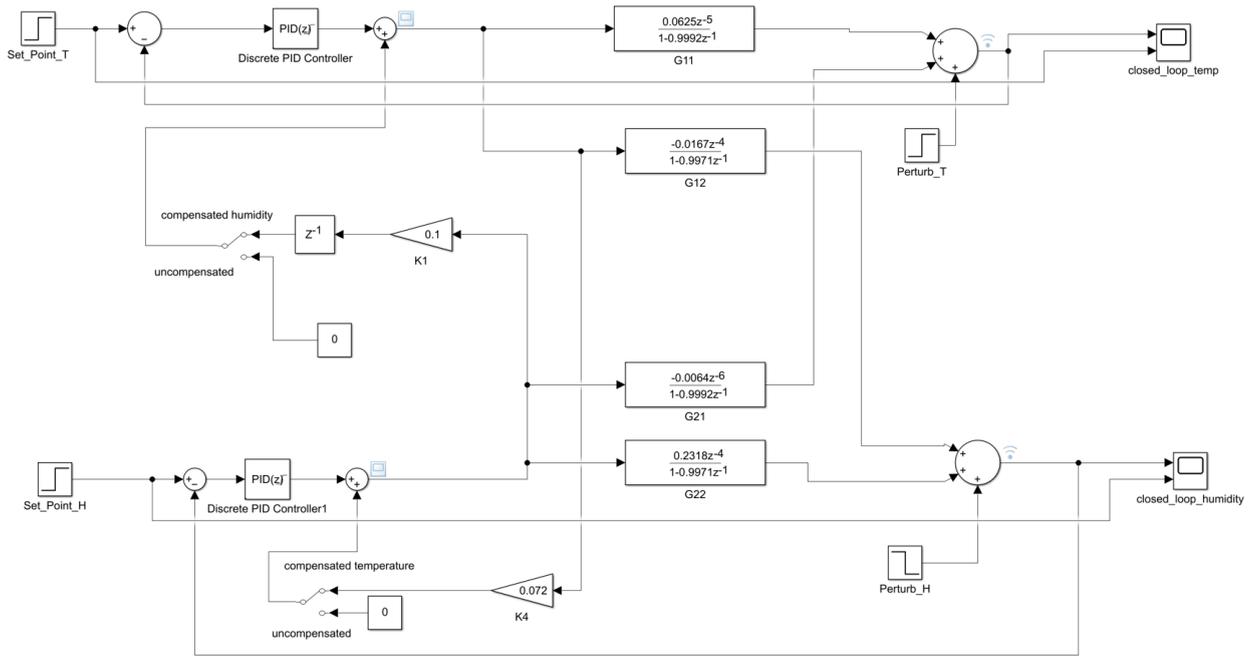
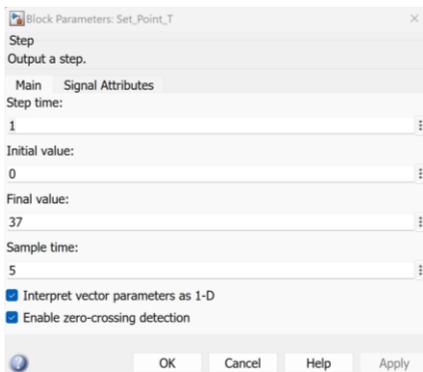


Fig. 3.5. Structure générale de circuit de commande à base de PID

Les entrées : les entrées sont ajustées a 37deg C pour la température et a 60% d'humidité avec une période d'échantillonnage de 5 sec.

Température



Humidité

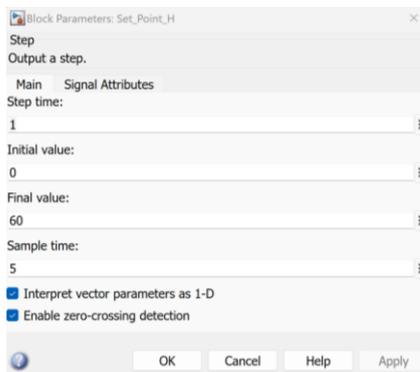


Fig. 3.6. Les entrées STEP et valeurs finales

Les perturbations : pour tester la fiabilité de notre système on a fait apparaître des perturbations a des moments bien précis pour voir la réaction du contrôleur

- La perturbation de température est programmée pour qu'elle se présente à l'itération 5000, et que la température augmente de 5 °C
- La perturbation de l'humidité est programmée pour qu'elle se présente à l'itération 8000, et que l'humidité diminue de 20%

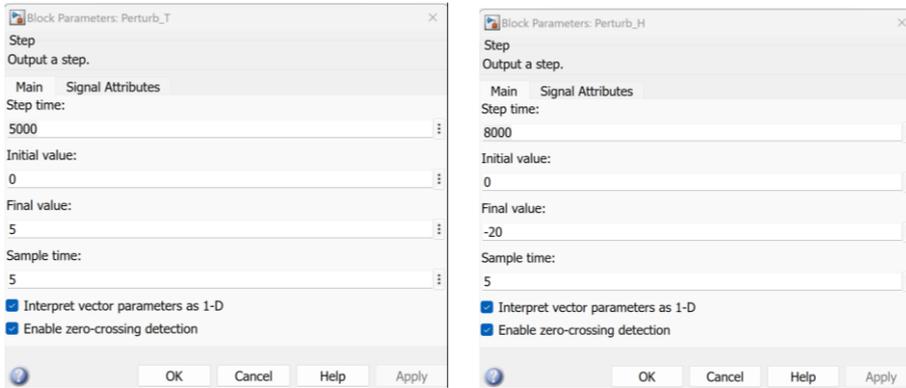


Fig. 3.7. Les perturbations

3.3.1 Simulation sans compensation :

Pour mieux voir l'effet que la température exerce sur l'humidité, et la réaction de l'humidité à l'augmentation de températures, on a mis les correcteurs à zéro, comme présenter sur la figure 3-8.

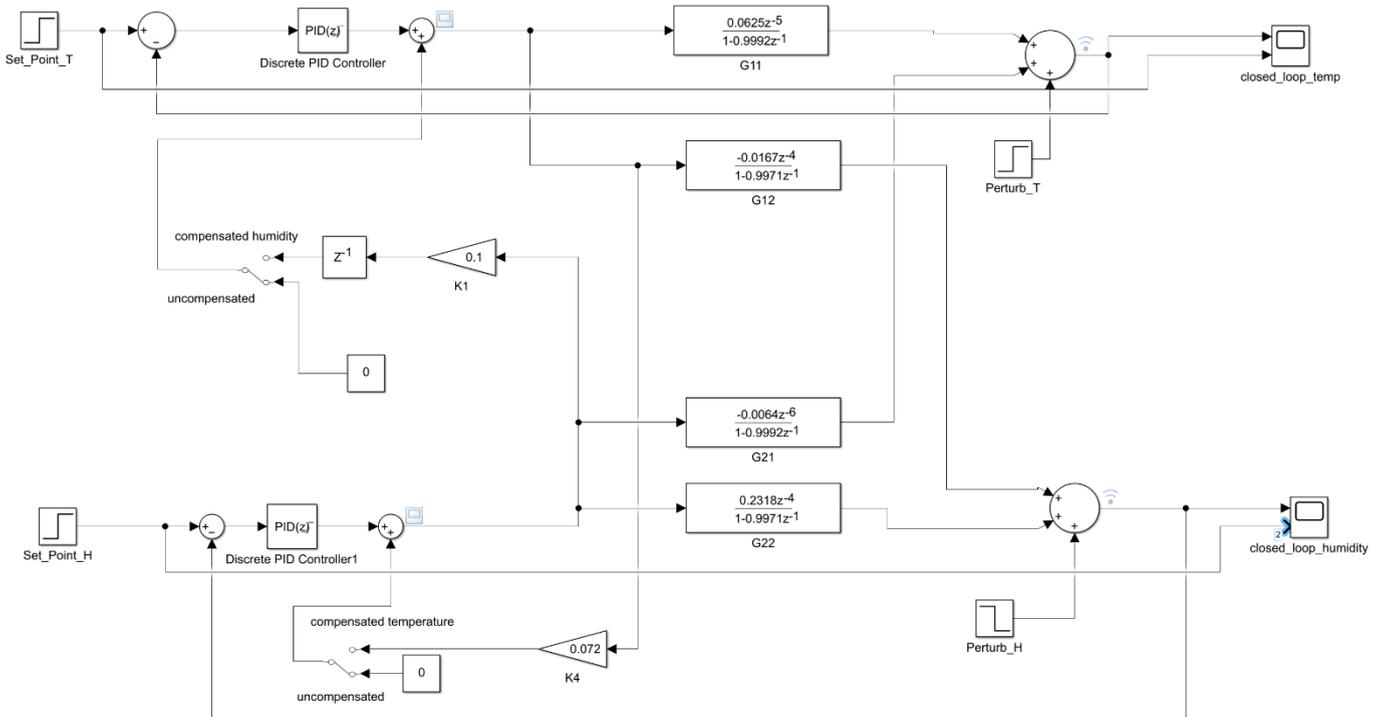


Fig.3-8 Comportement du system sans correction (correcteur=0)

La figure-3-8 illustre le schéma bloc de notre système sans compensation, et les résultats sont présente si dessous :

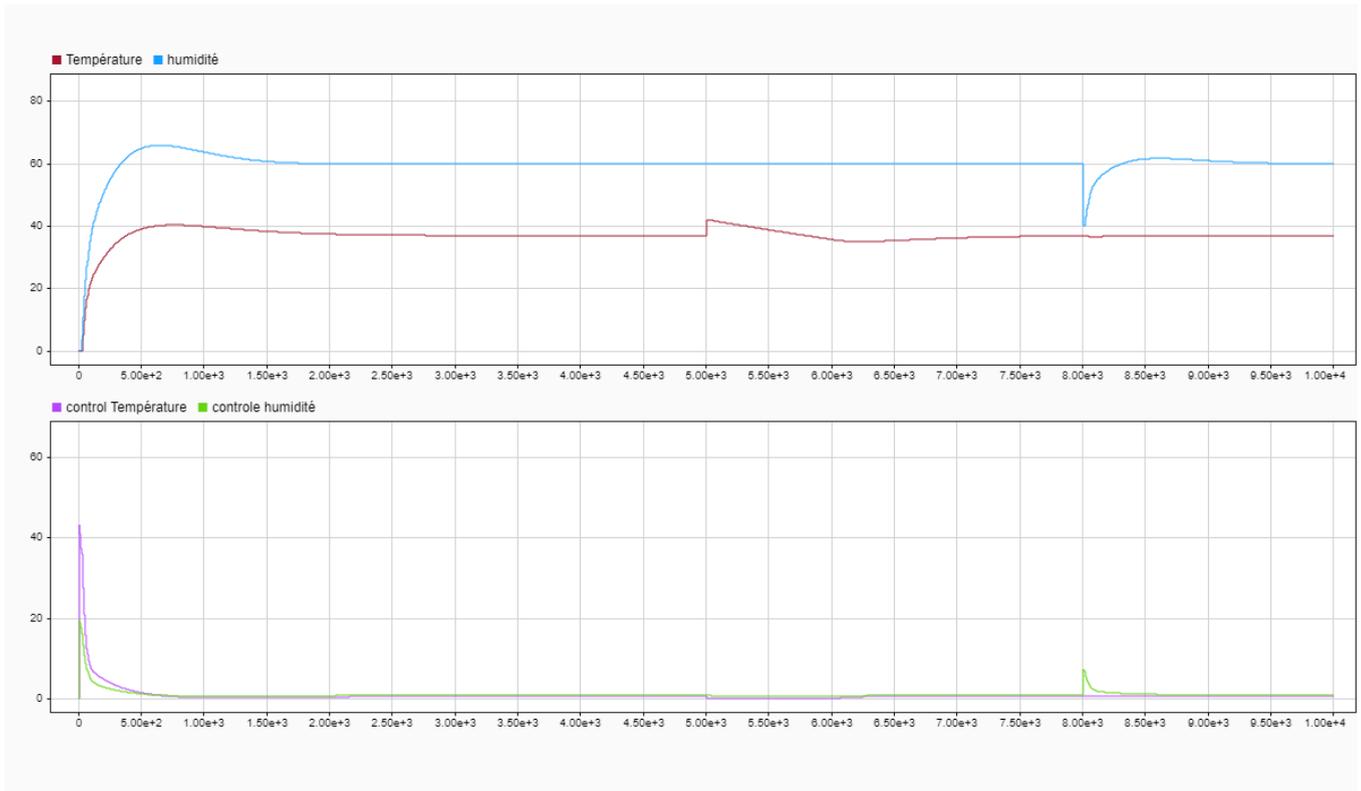


Fig.3-9 Résultat du system sans correction (correcteur=0)

On voit que l'augmentation de températures a entrainer une baisse d'humidité a l'instant ($t=5000$), et que la baisse d'humidité a entrainer une baisse de température, on peut la voir clairement dans la figure 3.7 ou en voit clairement l'effet,

3.3.2 Simulation avec compensation :

Après réactivation du correcteur comme illustrer dans la figure 3-5, et obtention du compensateur pour réduire voire amortir l'effet de nos paramètres (température et humidité) que l'un a sur l'autre ; Afin de vérifier la validité de la méthode de contrôle utilisée dans notre étude, et après exécution on a eu les graphes suivants :

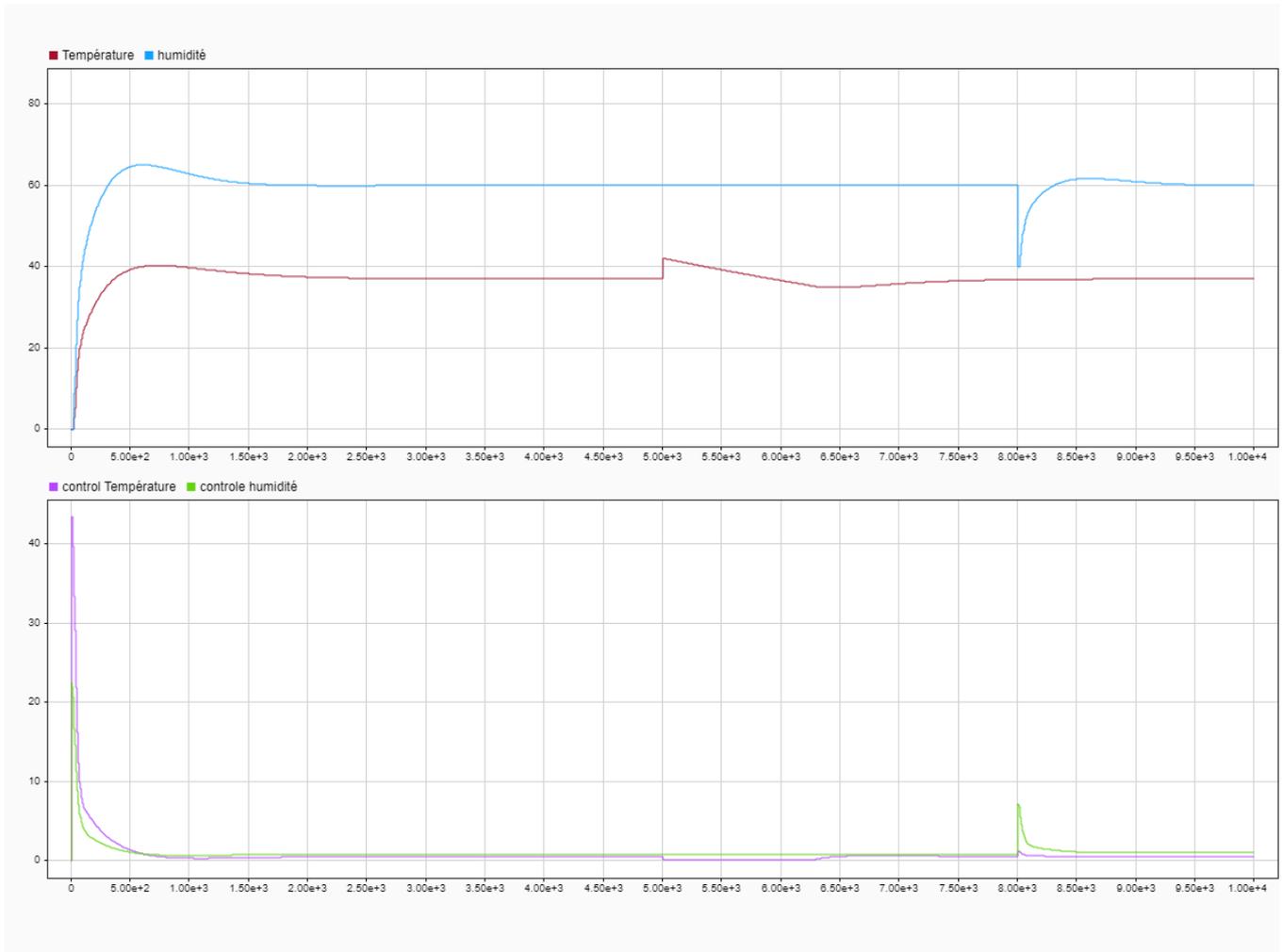


Fig. 3.10 Comportement du contrôleur pour maintenir l'erreur nul-Température-Humidité

3.4 -Résultats et discussion :

La figure 3.10 montre que la température a atteint la valeur prédéterminée (37°C) après environ 300 itérations, la valeur maximale atteinte était de 41°C, voir un dépassement de 10.8% de la consigne, ensuite la température se stabilise a l'itération 3500, du côté de U_{c1} on voit qu'il subitement augmenter jusqu'atteindre la valeur 44°C pour compenser la montée de température, et après l'itération 30 il commence à descendre graduellement jusqu'à atteindre valeur proche de zéro, au moment de la perturbation (à l'itération 5000), la température augmenté de 5°C, et U_{c1} a une valeur nulle, la température diminue jusqu'à atteindre 35°C, à l'itération 6400, ensuite s'aligne parfaitement avec la consigne a l'itération 8700, n remarque aussi que la perturbation de baisse d'humidité a entrainé une petite variation d'1°C, un tous petit pic.

La figure 3.10 montre aussi que l'humidité a atteint sa valeur prédéterminée (60%) après environ 250 itérations, la valeur maximale atteinte était de 65%, voire un dépassement de 8.3% de la consigne, ensuite l'humidité se stabilise à l'itération 1900, du côté de U_{c2} on voit qu'il subitement augmenter jusqu'à atteindre la valeur 23% pour compenser la montée de l'humidité, et après l'itération 30 il commence à descendre graduellement jusqu'à atteindre une valeur proche de zéro environ (1.5%), au moment de la perturbation (à l'itération 8000), l'humidité diminue de 10%, et U_{c2} augmente jusqu'à atteindre une valeur de 7%, l'humidité ensuite augmente jusqu'à atteindre 62%, à l'itération 8600, ensuite s'aligne parfaitement avec la consigne à l'itération 9700, et on remarque aussi que la perturbation d'augmentation de température n'avait aucun effet.

La figure. 3.10 montre une courbe de réponse de la température et celle de l'humidité avant et après les perturbations lorsque la valeur de consigne de la température est modifiée de 0°C à 37°C et que celle de l'humidité est modifiée de 0% à 60%, on a superposé tous les graphes pour confirmer le découplage et l'insensibilité de l'une par rapport au changement de l'autre, on peut clairement voir que l'augmentation de la température n'a pas affecté la sortie de l'humidité du tout, et la baisse du taux d'humidité a introduit une augmentation de températures d'environ 1°C, pour suivre parfaitement ensuite, alors on peut dire que notre système suit parfaitement la consigne.

Conclusion :

Il existe généralement un couplage entre les systèmes de mesure et de contrôle de la température et de l'humidité ; les changements de température et d'humidité peuvent avoir un effet sur la boucle de contrôle de l'un et de l'autre. Le PID a été utilisé en raison de ses bonnes performances en matière de suivi de la consigne si ses paramètres sont bien déterminés. Les figures 3.7, 3.8 et 3.9 montrent que la méthode testée a permis d'obtenir un bon effet de découplage ; les systèmes de contrôle de découplage ont une réponse rapide, un dépassement plus faible et une grande stabilité alors on peut conclure que l'erreur systématique provoquée par la valeur mesurée de la température et de l'humidité relative est inévitable, ce qui de couplage dans les systèmes de mesure et de contrôle de la température et de l'humidité. Heureusement, il existe des méthodes de découplage permettant de réduire l'effet des erreurs et d'améliorer la précision du contrôle.

Conclusion générale :

La plupart des méthodes traditionnelles de contrôle du découplage sont basées sur des modèles mathématiques ; le couplage des erreurs de valeur mesurée peut être réduit par une compensation mathématique, mais l'humidité et la température elles-mêmes sont une paire de variables couplées, qui doivent également être découplées. En outre, il est difficile d'établir un modèle mathématique précis pour de nombreux processus de production, mais dans le cas actuel le modèle est fiable grâce à la bonne identification faite par nos collègues, l'équipe qui ont commencé ce travail.

Cette étude a fourni une analyse scientifique des problèmes de couplage des systèmes de mesure et de contrôle de la température et de l'humidité, ce qui est important pour mieux comprendre les problèmes de couplage dans le processus de contrôle de ce type de système, et donc pour améliorer les méthodes de découplage des boucles de contrôle. Bien que d'autres expériences doivent être réalisées dans différents types d'environnement pour confirmer notre méthode de découplage, la recherche a offert une nouvelle tentative de conception de systèmes de contrôle de la température et de l'humidité de haute qualité sur la base de la théorie technique et de la conception technique. À la suite de ce travail, d'autres expériences de vérification et évaluations scientifiques seront réalisées à l'avenir.

Bibliographie :

- [1] Ben Rhouma.M &Ferroum.L ; "Identification d'un système multi variables avec couplage de sorties :Application a un incubateur avicole"; mémoire de mastère en Automatique; Université Saad Dahleb Blida Algérie 2018-2019.
- [2] Abdessamad Sawssen ; "Etude et Conception d'un incubateur a œufs"; mémoire de mastère professionnelle en électromécanique ; institut supérieur des sciences appliquées et de technologie Gabès- Tunis 2017-2018
- [3]. **Production en aviculture familiale**,ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE ,Rome, 2004).
- [4] AZEROUL Embarek Ingenieur-enseignant de l'institut royal des techniciens spécialisés en élevage Fourat- Kenitra. Couvoir: <https://www.avicultureaumaroc.com/couvoir.html>.
- [5] Étapes d'incubation artificielle : <https://www.rapport-gratuit.com/etapes-dincubation-artificielle>.