

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار عنابة

Faculté : Sciences de L'ingénierat

Département : Electronique

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et système

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2

Thème :

Conception, réalisation et identification d'un modèle de serre agricole

Présenté par : *Bendjeddou islam*

Encadrant : *Gherbi Sofiane*

Grade : *Professeur*

UBMA

Jury de Soutenance :

Boulebtatech brahim	MCA	UBMA	Président
Gherbi Sofiane	Professeur	UBMA	Encadrant
Chaker Karima	MCB	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Je remercie en premier lieu ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé et le pouvoir d'accomplir ce modeste travail.

Je remercie mes parents pour leur patience, leurs encouragements et leur soutien.

Mes remerciements vont à Pr : Gharbi Soufiane d'avoir accepté de m'encadrer, de son précieux conseils et de sa disponibilité.

Je tien aussi, à remercier les membres du jury de me faire l'honneur de lire et d'évaluer ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du département électronique ainsi qu'à tous les enseignants qui ont participé à ma carrière

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*À mes très chers parents à qui je dois toutes
mes études, que Dieu me les garde.*

*A mes frères, mes sœurs à qui je souhaite
tout le bonheur.*

*À tous mes proches, oncles et tantes, et leurs
familles.*

À tous mes amis. Précisément Ilyes, Housseem.

Sommaire

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Les serres agricoles

I.1	Introduction.....	2
I.2	Les serres agricoles.....	2
I.3	Les différents types des serres agricoles.....	2
	I.3.1 Les serres avec structure en bois.....	2
	I.3.2 Les serres avec structure en verre.....	3
	I.3.3 Les serres avec structure en acier.....	3
	I.3.4 Les serres avec structure en plastique.....	4
	I.3.5 Les serres avec structure en PVC.....	5
I.4	Les principaux paramètres climatiques des serres agricoles.....	5
	I.4.1 I.4.1 La température.....	5
	I.4.2 I.4.2 L'humidité.....	5
I.5	La modélisation mathématique du climat des serres agricoles.....	5
I.6	Conclusion.....	6

Chapitre II : Conception et réalisation de la maquette de serre agricole

II.1	Introduction.....	7
II.2	Conception et réalisation de la maquette.....	7
II.3	Réalisation Réel de la maquette.....	7
II.4	Partie Electronique (HARDWAR).....	8
II.4.1	Matériel utilisé	8
II.4.1.1	Arduino méga 2560.....	8
II.4.1.2	Capteur humidité de sol.....	10
II.4.1.3	Capteur de température et humidité ambiante DHT11...	10
II.4.1.4	Relai module.....	11
II.4.1.5	Pompe à eau 12 volts.....	12
II.4.1.6	Ventilateur 12 volts.....	12
II.5	Partie Electronique (SOFTWARE).....	13
II.5.1	Arduino IDE.....	13
II.6	Réalisation du projet.....	13
II.7	Description du programme.....	14
II.8	Injection du programme.....	14
II.9	Les étapes de téléchargement du programme.....	15
II.10	Test du programme tet obtention des premières mesures.....	15
II.11	Conclusion.....	16

Chapitre III : Identification de la maquette de la serre agricole

III.1	Introduction.....	17
III.2	Méthode 1 : Estimation d'un modèle d'espace d'état en utilisant la méthode des sous-espaces.....	17
III.2.1	Stratégie d'identification de la maquette de la serre agricole par la méthode N4SID.....	17
	A Introduction des mesures d'entrées/sorties.....	17
	B Estimation du modèle d'espace d'état par la méthode N4SID.....	18
	C Modèle obtenu par la méthode N4SID.....	19
	D Validation du modèle obtenu.....	20
III.2.2	Stratégie d'identification de la maquette de la serre agricole par la méthode basée sur l'erreur d'équation EE.....	20
	A Introduction des mesures d'entrées/sorties.....	20
	B Estimation d'un modèle de matrice de transfert de dimension 2x2...	20
	C Modèle de matrice de transfert obtenu.....	21
	D Validation du modèle obtenu.....	22
III.3	Comparaison des deux modèles obtenus.....	23
III.4	Conclusion.....	24
	Conclusion générale.....	25
	Bibliographie	26

تعتبر البيوت البلاستيكية الزراعية من أهم وأنجح طرق الزراعة اليوم ، فهي تسمح بتحسين كمية ونوعية الإنتاج ، وتقليل النفقات ، لأن البيوت البلاستيكية الزراعية هي مكان مناسب للتحكم في العوامل المناخية والمتطلبات اللازمة للخير نمو النبات. في هذه الأطروحة نقدم الخطوات التي اتبعناها لتصميم وإنتاج نموذج لبيت بلاستيكي زراعي يتضمن جزءًا إلكترونيًا مع المستشعرات اللازمة لقياس العوامل المناخية بالداخل ، بالإضافة إلى المشغلات للتمكن من العمل على نفس هذه العوامل بالإضافة إلى ذلك ، لضمان مناخ محلي ملائم لنمو جيد للمحاصيل يتم تنسيق كل هذا بواسطة متحكم من نوع الأردوينو حددنا من خلال تحديد نموذجين رياضيين يمثلان الدفيئة باستخدام القياسات المأخوذة على النموذج ، يمكن أن يعمل هذان النموذجان متعدد المتغيرات كنماذج محاكاة في العمل المستقبلي لاختبار خوارزميات التحكم قبل تنفيذها على نموذجنا.

الكلمات المفتاحية: البيوت البلاستيكية الزراعية ، الأردوينو ، الحساسات ، التعريف ، الأنظمة متعددة المتغيرات

Résumé

La culture en serre est l'une des méthodes de culture les plus importantes et les plus réussies à l'heure actuelle, elle permet d'améliorer la quantité et la qualité de la production, et de réduire les dépenses, car la serre agricole est un endroit approprié pour contrôler les facteurs climatiques et les exigences nécessaires à la bonne croissance de la plante. Dans ce mémoire, nous présentons les étapes que nous avons suivi pour concevoir et réaliser une maquette d'une serre agricole qui inclue une partie électronique avec les capteurs nécessaires pour mesurer les facteurs climatiques à l'intérieur, ainsi que les actionneurs pour pouvoir agir sur ces mêmes facteurs pour assurer un microclimat favorable à la bonne croissance des cultures. Tous cela est coordonné par un microcontrôleur de type Arduino. En plus, nous avons déterminé par identification deux modèles mathématiques qui représentent notre serre en utilisant les mesures prises sur la maquette, ces deux modèles multivariables peuvent servir de modèles de simulation dans des travaux futurs pour tester des algorithmes de commande avant de les implémenter sur notre maquette.

Mots clés : Serre agricole, Arduino, Capteurs, Identification, Systèmes multivariables.

Abstract

Greenhouse is one of the most important and successful cultivation methods today, it allows to improve the quantity and quality of production, and to reduce expenses, because the agricultural greenhouse is a suitable place to control the climatic factors and the requirements necessary for the good growth of the plant. In this dissertation, we present the steps we followed to design and produce a model of an agricultural greenhouse that includes an electronic part with the sensors necessary to measure the climatic factors inside, as well as the actuators to be able to act on these same factors to ensure a favorable microclimate for good crop growth. All this is coordinated by an Arduino type microcontroller. In addition, we have determined by identification two mathematical models that represent our greenhouse using the measurements taken on the model, these two multivariate models can serve as simulation models in future work to test control algorithms before implementing them on our model.

Keywords: Agricultural greenhouse, Arduino, Sensors, Identification, Multivariable systems.

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau 2-1 : Les différents composants de la maquette

14

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1-1 :	Modèle d'une serre avec structure en bois	3
Figure 1-2 :	Modèle d'une serre avec structure en verre	3
Figure 1-3 :	Modèle d'une serre avec structure en acier	4
Figure 1-4 :	Modèle d'une serre avec structure en plastique	4

Chapitre II

Figure 2-1 :	Croquis de la maquette à réaliser	7
Figure 2-2 :	Photo réelle de la maquette	8
Figure 2-3 :	Arduino Méga ADK 2560	8
Figure 2-4 :	Capteur humidité de sol yl-69	10
Figure 2-5 :	Capteur de température et humidité ambiante DHT11	10
Figure 2-6 :	Le module relai	11
Figure 2-7 :	Pompe à eau 12 volts	12
Figure 2-8 :	Ventilateur 12 volts	12
Figure 2-9 :	Interface de Arduino IDE	13
Figure 2-10 :	Câblage du système	14
Figure 2-11 :	Mesures de T°, RH-air, RH-sol	15

Chapitre III

Figure 3-1 :	Introduction des données d'entrées/sorties	18
Figure 3-2 :	Estimation du modèle d'état par la méthode N4SID	18
Figure 3-3 :	Statistiques de la méthode d'estimation par la méthode N4SID	19
Figure 3-4 :	Tracé des mesures réelles et celles du modèle d'état	20
Figure 3-5 :	Estimation d'une matrice de transfert par la méthode EE	21
Figure 3-6. :	Statistiques de la méthode d'estimation par la méthode N4SID	21
Figure 3-7 :	Tracé des mesures réelles et celles de la matrice de transfert	23
Figure 3-8 :	Comparatif entre le modèle d'état et celui de la matrice de transfert	23

Liste des abréviations

T°	Température
RH-Air	Humidité ambiante (humidité de l'air)
RH-Sol	Humidité de sol
Tpr	Valeur de température
Humd	Valeur d'humidité
C	Commune
NO	Normally Open (Relai)
NC	Normally Closed (Relai)
Vcc	Alimentation
GND	La masse
IN	Sortie de relai

Introduction générale

L'agriculture est une source majeure d'approvisionnement en produits alimentaires pour l'humanité depuis des siècles, ces dernières années on enregistre une forte demande des produits de l'agriculture que la culture traditionnelle n'arrive plus à couvrir, d'où le développement des serres agricoles dont le principale avantage est de produire en quantité et en qualité avec un coût moindre, cela est possible par l'utilisation de systèmes de contrôle des paramètres climatiques à l'intérieur des serres qui assurent le climat idéal pour le bon développement des cultures. Dans ce mémoire, nous présentons notre travail qui consiste à concevoir et réaliser une maquette représentant une serre agricole. Pour cela, nous avons utilisés différents composants électroniques dont des capteurs (de température et d'humidité) pour mesurer les grandeurs climatiques, et des actionneurs (pompe et ventilateur) pour justement agir sur ces mêmes grandeurs afin de garantir un climat propice à la bonne croissance des cultures. Tout ce système est coordonné grâce à un microcontrôleur Arduino et un programme (sous IDE Arduino).

Ce mémoire se compose de trois chapitres. Le premier chapitre est donne une définition de la serre, de ses différents types, et les relations mathématiques des facteurs climatiques qui lui sont associés. Le deuxième chapitre présente la conception et la mise en œuvre d'un modèle (maquette) d'une serre agricole avec les différents éléments électroniques utilisés. Le troisième chapitre présente deux méthodes d'identification d'un modèle mathématique de notre serre sous la forme de systèmes multivariables, en se servant des mesures obtenues par les capteurs implémentés sur la maquette. Ces deux modèles peuvent ensuite être utilisés dans des travaux futurs pour simuler des algorithmes de commande avant leurs implémentations réelles sur la maquette.

Chapitre I

Les serres agricoles

I.1 Introduction

La culture sous serre a connu un développement considérable ces dernières années, cela est dû principalement à la capacité de ce type de culture à satisfaire les besoins nutritionnels de la population en quantité et en qualité. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents modèles de serres agricoles modernes, leurs différentes structures ainsi que les principaux paramètres climatiques à contrôler. En effet avec l'évolution de la technologie et notamment celles des capteurs intelligents, il est maintenant possible de mesurer avec précision les différentes grandeurs climatiques (température, humidité...etc.), cela a permis de concevoir des modèles mathématiques représentant le comportement dynamique des paramètres climatiques des serres agricoles avec une précision assez élevée.

I.2 Les serres agricoles

La serre agricole est une structure qui permet de contrôler le climat, la nutrition ainsi que tous les paramètres qui affectent la croissance et le développement des cultures pour obtenir les meilleures conditions à différents stades de leur croissance [1]. Une autre définition (Norme Française) est donnée dans [2] : « Serre (cf. Norme NF U 57-002): Structure utilisée pour cultiver et/ou protéger des plantes et des cultures qui favorisent la transmission du rayonnement solaire dans des conditions contrôlées afin d'améliorer l'environnement de croissance et dont la taille permet à des personnes d'y travailler ».

I.3 Les différents types des serres agricoles

Il existe différents types de serre selon les matériaux utilisés pour leurs confections, avec des structures de tailles et de forme diverses selon la surface disponible au sol et du nombre de plantes à mettre dans la serre [3].

I.3.1 Les serres avec structure en bois

Les structures à ossature en bois sont utilisées pour les serres d'une taille inférieure à 6 m, le bois possède naturellement une bonne résistance et une durée de vie d'un moins 15 ans en fonction du type de bois choisie, et de son traitement. En plus, la structure en bois renforce les capacités d'isolation thermique de la serre ce qui contribue à conserver un micro climat propre à la serre. Par contre, le bois doit être bien entretenu car il est sujet à l'humidité interne de la serre et peut développer des parasites [3].



Figure I.1 Modèle d'une serre avec structure en bois [3]

I.3.2 Les serres avec structure en verre

Les serres agricoles avec ossature offrent une très bonne luminosité et très robustes, ils peuvent aussi être édifiées a des hauteurs optimales. Par contre, leur coût est important et elles souffrent de leur fragilité [3].



Figure I.1 Modèle d'une serre avec structure en verre [3]

I.3.3 Les serres avec structure en acier

Le principal avantage d'une structure en acier est sa robustesse et sa maniabilité, elle offre aussi la possibilité de construire un toit avec des arceaux demi-cercle plus résistant qu'un toit en pente. Par contre, l'ossature en acier doit obligatoirement être traitée notamment contre la rouille car elle est exposée aux éléments extérieurs, c'est pour cela qu'elle est de

plus en plus remplacée par une structure en aluminium plus résistante et facile à entretenir [3].



Figure I.3 Modèle d'une serre avec structure en acier [3]

I.3.4 Les serres avec structure en plastique

Il s'agit d'un type de structure très isolante qui offre un grand volume d'air pour une production agricole importante, elle inclue un système d'aération avec ouverture/fermeture commandés qui permet une aération optimale, leur principal inconvénient est leur manque de luminosité [3].



Figure I.4 Modèle d'une serre avec structure en plastique [3]

I.3.5 Les serres avec structure en PVC

Le PVC est un matériau très économique, il est également un excellent isolant thermique et permet aussi de limiter la condensation interne, il ne nécessite peu d'entretien par rapport aux autres matériaux, mais il est peu résistant, et de ce fait on ne peut envisager des structures importantes avec ce type d'ossature [3].

I.4 Les principaux paramètres climatiques des serres agricoles

Le micro climat à l'intérieur de la serre joue un rôle très important dans la croissance des cultures, il est influencé par plusieurs paramètres dont les conditions climatiques extérieures. Nous présentons dans ce qui suit les principaux paramètres climatiques des serres agricoles.

I.4.1 La température

Les cultures sous serres ont besoin d'une température adéquate pour leur bonne croissance, en effet, des températures trop élevées ou trop basses réduiront la photosynthèse (processus de fabrication de la nourriture et de l'énergie des plantes). La température à l'intérieur de la serre est principalement influencée par le rayonnement solaire, ce dernier permet l'augmentation de la température à l'intérieur par effet de serre, en effet, environ 50 à 80% (selon le type de parois) des rayons traversent la serre. Des échanges thermiques par conduction des deux côtés de la paroi de (notamment celles en verre) peuvent aussi entraîner une perte de chaleur lorsque l'air extérieur est plus froid ou au contraire un gain de chaleur lorsqu'il est plus chaud, il y a aussi des échanges de chaleur entre l'air de la serre et le sol, ainsi que le phénomène de la convection naturelle (montée de l'air chaud) [4].

I.4.2 L'humidité

L'humidité de l'air joue un rôle majeur dans la culture en serre, elle dépend principalement des conditions météorologiques extérieures (pluies, pression de l'air...etc.) ainsi que de la transpiration des plantes. Elle influe également sur la température et contribue de ce fait à l'effet de serre [4].

I.5 La modélisation mathématique du climat des serres agricoles

Le comportement dynamique du microclimat à l'intérieur d'une serre est une combinaison de processus physiques impliquant le transfert d'énergie (rayonnement et chaleur) et le bilan massique (flux de vapeur d'eau et de CO₂) [1]. Donc, avant de concevoir un système de contrôle des paramètres climatiques à l'intérieur de la serre, il faut au préalable développer un modèle

mathématique qui décrit le comportement dynamique de ses grandeurs. Ce dernier doit modéliser les trois composantes principales que sont l'atmosphère interne, la culture et le sol ainsi que leurs interactions, il doit aussi inclure les effets du climat extérieur [5]. Cette tâche n'est pas facile vu la complexité de tous ces phénomènes qui en plus diffèrent selon le cycle jour/nuit, la saison de croissance ainsi que le climat local et la nature des cultures, par conséquent, les serres agricoles sont considérées comme des systèmes non linéaires, multivariable et non stationnaire [5]. Il existe plusieurs modèles mathématiques dans la littérature avec un nombre restreint de variables d'entrée/sortie qui décrivent le comportement dynamique de la température et de l'humidité à l'intérieur des serres agricoles, ces modèles qui découlent des lois physiques sont difficiles à contrôler dans la pratique car ils incluent un grand nombre de paramètres physiques inconnus [5].

Dans ce qui suit, nous présentons un modèle mathématique dérivé du bilan énergétique pour la température et le bilan massique de l'eau pour l'humidité, il est décrit par les deux équations différentielles suivantes [5] :

$$\begin{cases} \frac{dT_i(t)}{dt} = c_1 + c_2 ov(t)(T_e(t) - T_i(t)) + c_3 Ch(t) + c_4 Rg(t) \\ \frac{dX_i(t)}{dt} = d_1 + d_2 ov(t)(X_e(t) - X_i(t)) + d_3 Ch(t) + d_4 Rg(t) \end{cases} \Delta X_i(t) \quad [11]$$

Avec : T_i température à l'intérieur de la serre, X_i humidité à l'intérieur de la serre, T_e température à l'extérieur de la serre, X_e humidité à l'extérieur de la serre, $\{c_1, c_2, c_3, c_4\}$ et $\{d_1, d_2, d_3, d_4\}$ sont les paramètres du modèle utilisés à la place des paramètres physiques.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions sur les serres agricoles, leur différents type et structures ainsi que leurs principaux paramètres climatiques, enfin nous avons présenté un modèle mathématique du comportement dynamique de la température et de l'humidité issu bilan énergétique pour la température et le bilan massique de l'eau pour l'humidité.

Chapitre II

Conception et réalisation de la maquette de serre agricole

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents étapes que nous avons suivies pour réaliser une maquette d'une mini serre agricole. Nous commencerons par la structure de la maquette et ensuite nous présenterons la partie électronique avec tous les composants utilisés dans notre réalisation.

II.2 Conception et réalisation de la maquette

Notre idée est de réaliser une maquette de serre agricole avec deux entrées de commande (gradeurs réglantes) que sont le ventilateur et la pompe à eau et trois sorties (gradeurs à régler) que sont la température T° et l'humidité RH à l'intérieur de la serre ainsi que l'humidité du sol.

La figure suivante présente le schéma (plan) de la maquette à réaliser :

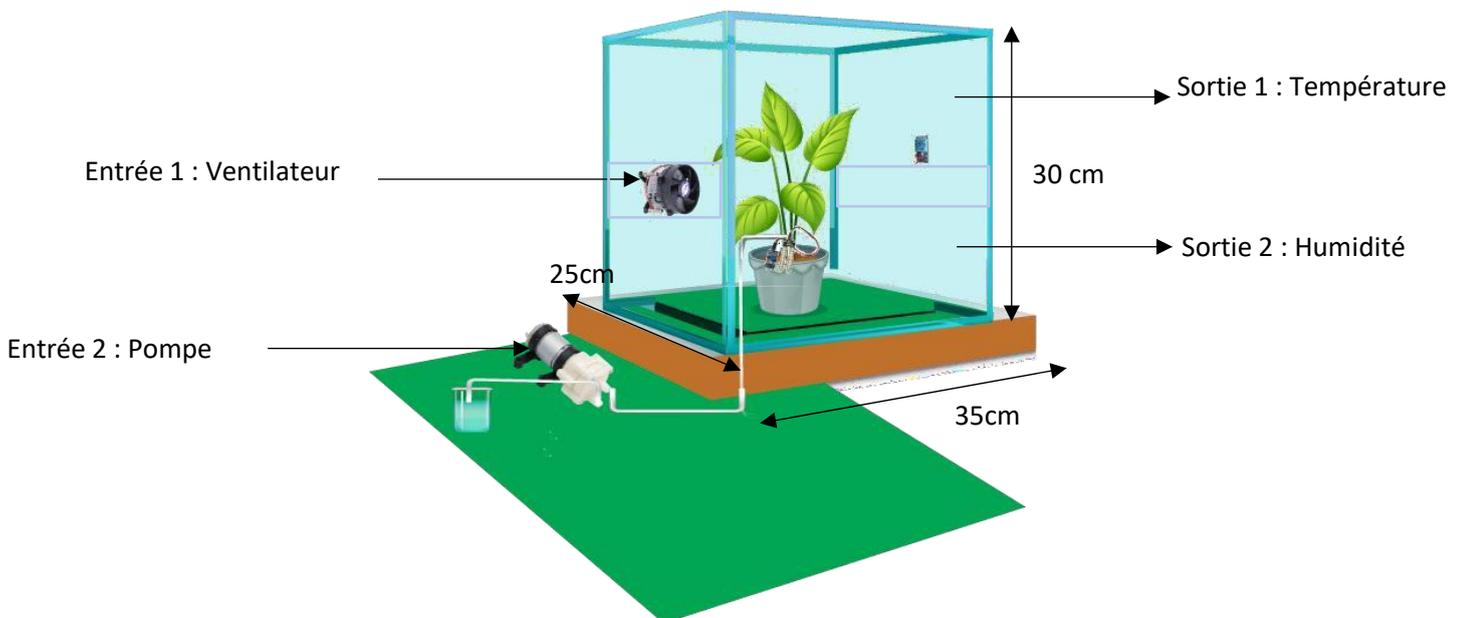


Figure 2.1 Croquis de la maquette à réaliser

II.3 Réalisation Réel de la maquette

Pour la réalisation de cette structure, de dimensions de 30cm x 35cm x 25cm, avec :

- La surface de base : 25 cm* 35cm
- La hauteur : 30 cm

Nous avons choisi une matière de couverture en verre et la base en bois, en raison de la facilité de réalisation et de manipulation de ces matières.

Voici la maquette finale qu'on a réaliser



Figure 2.2 : Photo réelle de la maquette

II.4 La partie électronique (HARDWARE)

II.4.1 Matériel utilisé

II.4.1.1 Arduino méga 2560

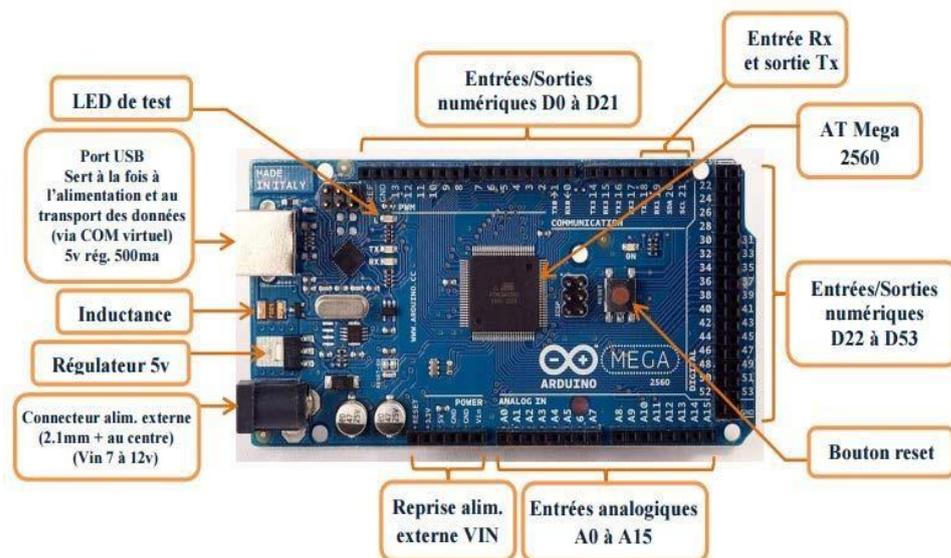


Figure 2.3 : Arduino Méga ADK 2560

L'Arduino Méga 2560 est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega2560. Il dispose de 54 broches d'entrée / sortie numériques, 14 peuvent être utilisées comme sorties output et 16

entrées analogiques input, La carte Arduino Méga 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560. Cette carte dispose :

- de 54 broches numériques d'entrées/sorties (dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (MLI : Modulation de largeur d'impulsion).
 - de 16 entrées analogiques (qui peuvent être utilisées en broches entrées/sorties numériques).
- [6]
- de 4 UART (port série matériel).
 - d'un quartz de 16Mhz.
 - d'une connexion USB.
 - d'un connecteur d'alimentation jack.
 - d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit").
 - d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur Pour pouvoir l'utiliser, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable. [6]

➤ **Les avantages d'Arduino**

Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique, les principaux avantages de l'électronique programmée sont [6] :

- Simplifie grandement les schémas électroniques.
- Diminué le coût de la réalisation.
- La charge de travail à la conception d'une carte électronique.
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.

II.4.1.2 Capteur humidité de sol :



Figure 2.4 : Capteur humidité de sol yl-69

Les capteurs d'humidité du sol mesurent la teneur en eau volumétrique du sol. Étant donné que la mesure gravimétrique directe de l'humidité du sol libre nécessite le prélèvement, le séchage et le pesage d'un échantillon, les capteurs d'humidité du sol mesurent indirectement la teneur en eau volumétrique en utilisant une autre propriété du sol, telle que la résistance électrique, la constante diélectrique ou l'interaction avec les neutrons, comme indicateur de la teneur en humidité. [7]

La relation entre la propriété mesurée et l'humidité du sol doit être étalonnée et peut varier en fonction de facteurs environnementaux tels que le type de sol (en), la température ou la conductivité électrique. Le rayonnement micro-ondes réfléchi est affecté par l'humidité du sol et est utilisé pour la télédétection en hydrologie et en agriculture. [7]

II.4.1.3 Capteur de température et humidité ambiante DHT11 :



Figure 2.5: Capteur de température et humidité ambiante DHT11

Le DHT11 est un capteur numérique de température et d'humidité, le capteur composite contient une sortie de signal numérique calibré de la température et de l'humidité, application d'une technologie de collecte de modules numériques dédiés et de la technologie de détection

de température et d'humidité, Le capteur comprend un sens résistif de composants humides et un dispositif de mesure de température, et connecté avec un microcontrôleur 8 bits haute performance. [9]

➤ **Principales caractéristiques du DHT11**

Caractéristiques du capteur :

Alimentation +5 V (3.5 - 5.5 V).

Température : de 0 à 50 °C, précision : ± 2 °C.

Humidité : de 20 à 96 % RH, précision ± 5 % RH.

II.4.1.4 Relais



Figure 2.6 : Le module relai

Le relais est un appareil qui permet à des appareils qui émettent de faible courant comme Arduino méga de contrôler des actionneurs qui requièrent un courant élevé appareil comme la pompe à eau. Le relais se comporte comme un interrupteur, il a trois bornes sur le bas-côté (courants faibles) : VCC, GND et IN.

Le relais a également trois bornes côté (courants forts) : NO, C et NC, qui signifie Normalement Ouvert, Commun et Normalement Fermé respectivement. Dans notre système, nous avons utilisé trois modules de relais 5 v, pour contrôler la mise en marche et l'arrêt du ventilateur, la pompe à eau, et l'ampoule.[8]

II.4.1.5 Pompe à eau 12 volts



Figure 2.7 : Pompe à eau 12 volts

Une pompe à eau est indispensable dans le système d'irrigation pour pomper l'eau du réservoir vers la plante, le concept de base d'une pompe à eau est d'utiliser un moteur pour convertir l'énergie de rotation ou cinétique énergie et la transformer en énergie pour déplacer un fluide ou pour un écoulement de fluide (énergie hydrodynamique).

II.4.1.6 Ventilateur 12 volts



Figure 2.8 : Ventilateur 12 volts

Le ventilateur est utilisé pour aérer la serre et éventuellement faire baisser la température et l'humidité à l'intérieur.

II.5 Partie Electronique (SOFTWARE)

Nous avons effectué la programmation de la carte Arduino par l'intermédiaire de Arduino IDE.

II.5.1 Arduino IDE

Les créateurs de Arduino ont développé un logiciel pour que la programmation des cartes Arduino soit visuelle, simple et complète à la fois. C'est ce que l'on appelle une IDE, qui signifie Integrated Développement Environnement ou Environnement de Développement « Intégré ».

L'IDE affiche une fenêtre graphique qui contient un éditeur de texte et tous les outils nécessaires à l'activité de programmation. Vous pouvez donc saisir votre programme, l'enregistrer, le compiler, le vérifier, le transférer sur une carte Arduino... [5]



Figure 2.9 : Interface de Arduino IDE

II.6 Brochage des différents composants

Le schéma suivant montre le brochage des différents composants électroniques que nous avons utilisés pour la réalisation de notre projet

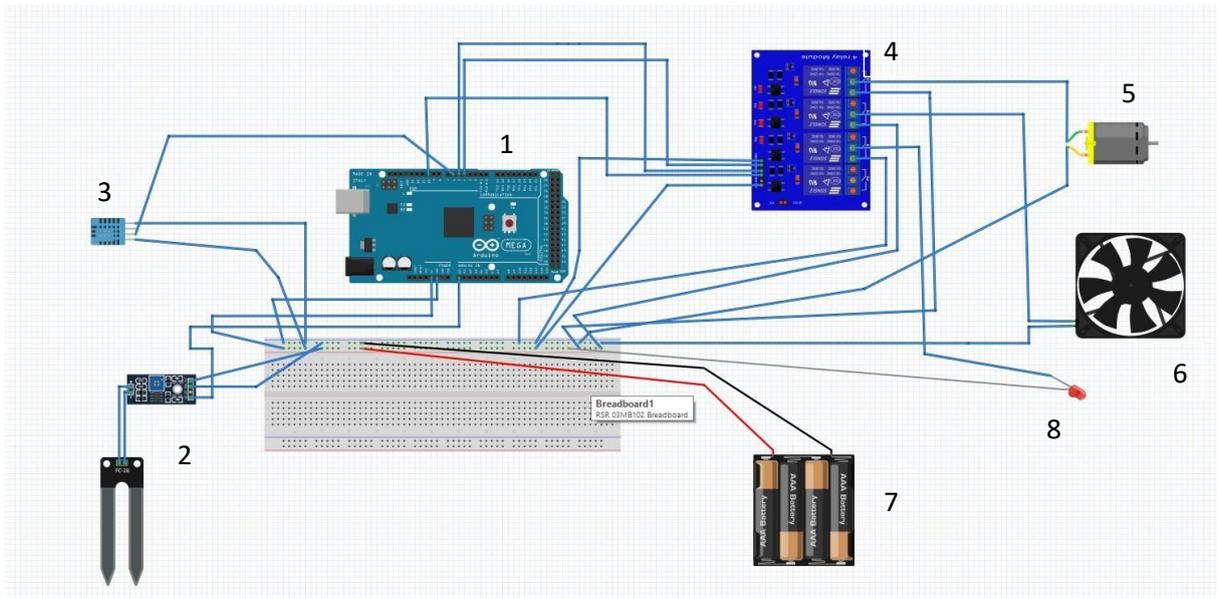


Figure 2.10 : Câblage du système

Avec :

1	Arduino méga
2	Capteur humidité du sol
3	Capteur de températures et humidité DHT11
4	Module relai
5	Moteur (pompe)
6	Ventilateur
7	Energie
8	Lampe

Tableau 2-1 : Les différents composants de la maquette

II.7 Description du programme

Un programme Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle (ligne par ligne). La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres dans l'ordre défini par lignes de codes. [6]

II.8 Injection du programme

Une fois les composants est câblé avec Arduino, il fallait télécharger la bibliothèque simple DHT, et installer le fichier dans bibliothèque d'Arduino. Après on a créé un code source d'Arduino pour faire fonctionner la maquette et enfin le téléverser dans Arduino.

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (Arduino Méga 2560) et le numéro de port USB (COM). [6]

II.9 Les étapes de téléchargement du programme

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB. [6]

1. On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
2. On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).
3. Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
4. On charge le programme sur la carte.
5. On câble le montage électronique.
6. L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
7. On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome.

II.10 Test du programme et obtention des premières mesures

Nous effectués des tests sur notre maquette afin d'obtenir les mesures de la température et l'humidité ambiantes ainsi que l'humidité du sol. La figure suivante présente des mesures que nous avons relevées lors d'un de nos tests. Ils représentent respectivement la température et l'humidité à l'intérieur de la serre (T°, RH-air) venant du capteur DHT11, et en dernier l'humidité du sol (RH-sol).

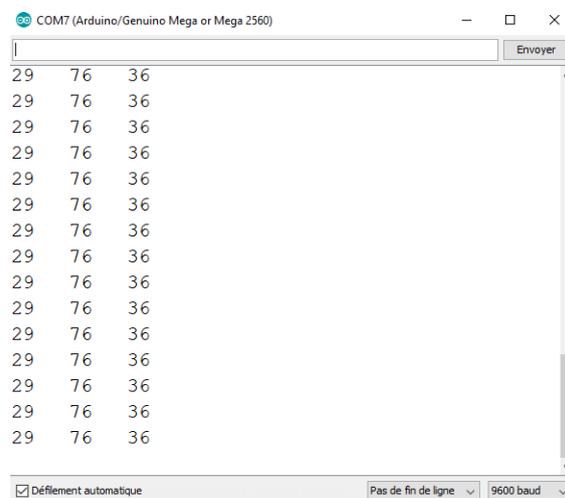


Figure 2-11 : mesures de T°, RH-air, RH-sol

II.11 Conclusion

On a conçu et réaliser une maquette de serre agricole avec des grandeur d'entrés (actionneurs) que sont le ventilateur et la pompe à eau, et trois grandeurs de sortie que sont la température et l'humidité à l'intérieur de la serre, ainsi que l'humidité du sol (RH-sol). Le but de cette réalisation est de concevoir des modèles mathématiques par identification de notre système, cette étape va être présenter dans le troisième chapitre.

Chapitre III

Identification de la maquette de la serre agricole

III.1 Introduction

Dans ce qui suit, nous allons présenter deux méthodes d'identification de notre système de serre agricole en se servant des mesures de la température et de l'humidité obtenus à partir de l'expérience précédente. Le but est de trouver un modèle linéaire multivariable avec deux entrées (les tensions aux bords actionneurs : le ventilateur et la pompe), et deux sorties (la température et l'humidité à l'intérieur de la serre).

Afin d'obtenir les mesures voulues, nous avons alimenté le ventilateur et la pompe à eau (12 v) pendant ½ heures et nous avons relevé les mesures de température et de l'humidité.

III.2 Méthode 1 : Estimation d'un modèle d'espace d'état en utilisant la méthode des sous-espaces.

Les méthodes d'identification des sous-espaces offrent une alternative intéressante aux méthodes d'E/S avec un paramétrage simple pour les systèmes multivariable avec plusieurs entrées/sorties (multi-input/multi-output MIMO) [10].

Parmi ces méthodes, nous allons utiliser la méthode N4SID (Algorithmes subspatiaux pour l'identification des systèmes déterministes-stochastiques combinés), cette méthode est détaillée dans [11].

III.2.1 Stratégie d'identification de la maquette de la serre agricole par la méthode N4SID

Nous allons utiliser l'interface graphique « ident » de MATLAB où la méthode N4SID est préprogrammée, pour cela on a suivi les étapes suivantes :

A. Introduction des mesures d'entrées/sorties

Les mesures d'entrées/sorties obtenues précédemment sont introduit dans l'interface graphique « ident » après les avoir préalablement définis dans un objet « IDDATA » nommé « serre », les entrées du système sont les tensions aux bords du ventilateur et de la pompe, nommés respectivement : Volt_ventilo et Volt_pompe, il s'agit de vecteurs de même dimensions que celles des mesures avec tous les élément de valeur 12 (valeur correspondante à la tension aux borne du ventilateur et de la pompe à eau). Les sorties sont la température et l'humidité à l'intérieur de la serre, nommés respectivement : Tpre et Humd, comme le montre la figure suivante :

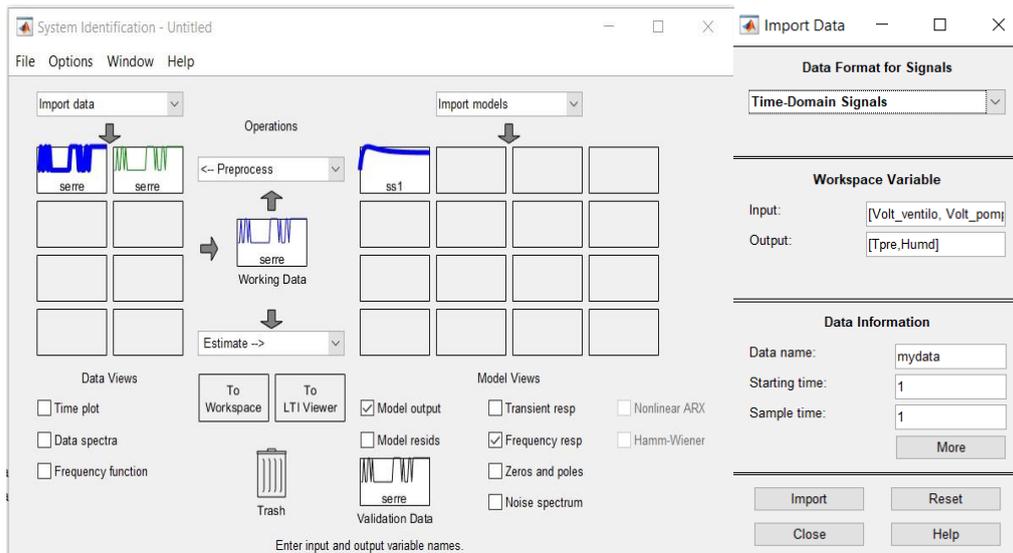


Figure 3.1: Introduction des données d’entrées/sorties

B. Estimation du modèle d’espace d’état par la méthode N4SID

La deuxième étape consiste à estimer un modèle en espace d’état (détermination des matrices A, B, C et D) par la méthode N4SID, de notre part nous avons choisi un modèle du quatrième ordre 4 comme le montre la figure suivante :

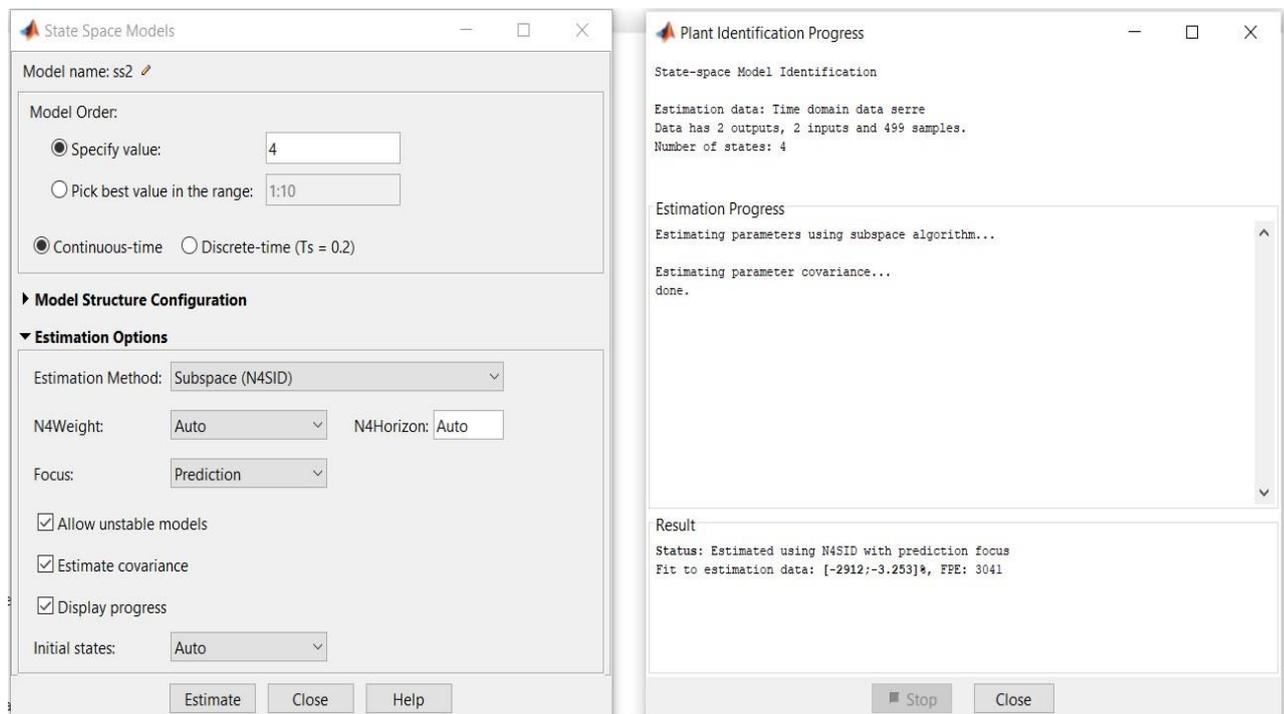


Figure 3.2 : Estimation du modèle d’état par la méthode N4SID

A la fin du processus d’estimation, on aperçoit une fenêtre qui résume les statistiques de cette méthode comme suit :

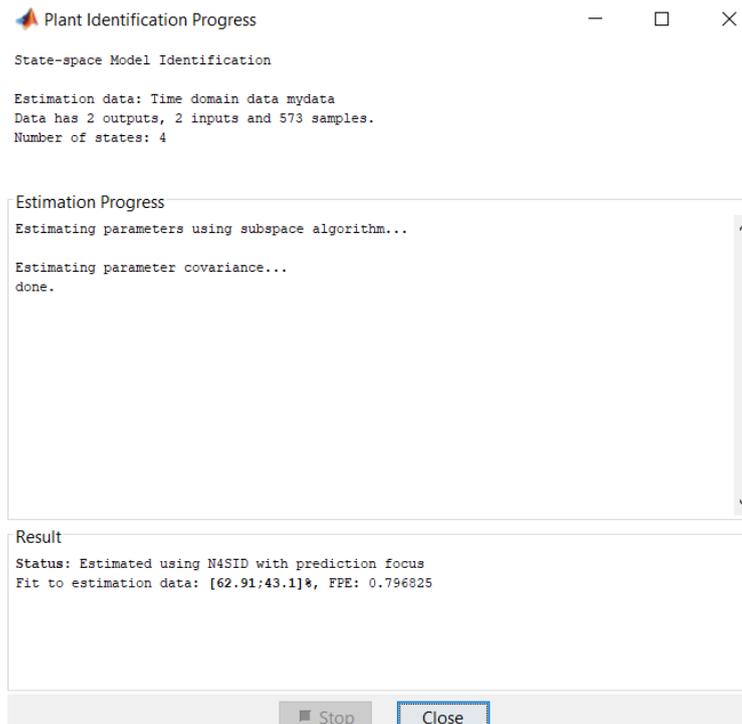


Figure 3.3 : Statistiques de la méthode d'estimation par la méthode N4SID

C. Modèle obtenu par la méthode N4SID

Nous avons obtenu le modèle d'état suivant :

```

ss1 =
Continuous-time identified state-space model:
dx/dt = A x(t) + B u(t) + K e(t)
y(t) = C x(t) + D u(t) + e(t)

A =
      x1      x2      x3      x4
x1 -0.04434 -0.003099  0.5303  0.213
x2  0.0592  -0.09091 -1.332  -1.436
x3  0.3833  -0.06046 -8.228  -5.942
x4  0.4044  -0.06154 -9.524  -7.957

B =
      u1      u2
x1  0.005264  0.005264
x2 -0.02688  -0.02688
x3 -0.1046   -0.1046
x4 -0.1301   -0.1301

C =
      x1      x2      x3      x4
y1   26  -4.557  -11.29  -4.276
y2 -18.43 -65.08  -80.1  -86.11

D =
      u1  u2
y1   0   0
y2   0   0

```

D. Validation du modèle obtenu

Les figures suivantes montrent le tracé des valeurs de deux sorties du modèle d'état obtenu comparativement aux mesures. On constate un écart assez important même si les sorties du modèle (en bleu sur la figure) suivent la dynamique des mesures réelles.

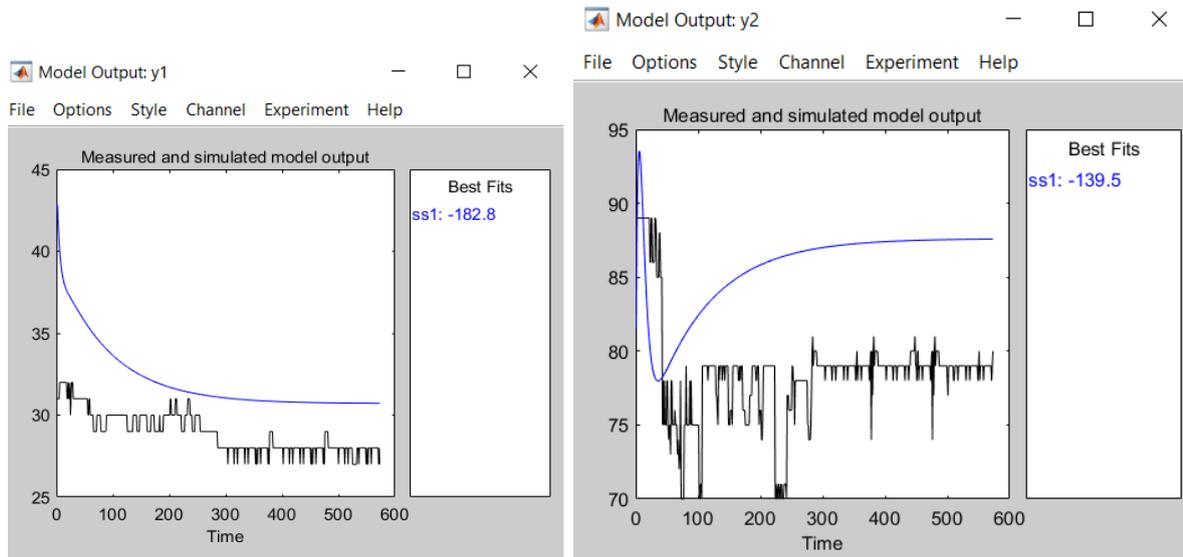


Figure 3.4 : tracé des mesures réelles et celles du modèle d'état

III.2.2 Stratégie d'identification de la maquette de la serre agricole par la méthode basée sur l'erreur d'équation EE

La deuxième méthode utilisée est celle basée sur l'erreur d'équation EE, il s'agit d'une méthode d'identification de fonctions de transfert en temps continu à partir de données (mesures) de temps discret, les détails de cette méthode sont donnés dans [12].

Les étapes suivies pour l'application de cette méthode sont les suivantes :

A. Introduction des mesures d'entrées/sorties

Il s'agit de la même étape que dans la méthode N4SID.

B. Estimation d'un modèle de matrice de transfert de dimension 2x2

Après avoir choisi un modèle de fonction de transfert dans le « menu » : *estimation* → *transfer function*, une nouvelle fenêtre s'affiche ou nous pouvant choisir la forme de notre matrice de transfert, de notre part nous avons choisi une matrice de transfert avec des éléments du deuxième ordre avec deux pôles et un zéro comme le montre la figure suivante :

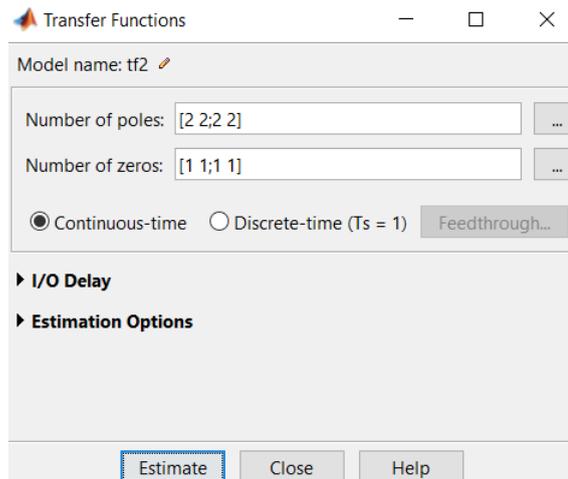


Figure 3.5 : Estimation d’une matrice de transfert par la méthode EE

C. Le matrice de transfert obtenue

A la fin du processus, on obtient la fenêtre des statistiques suivante :

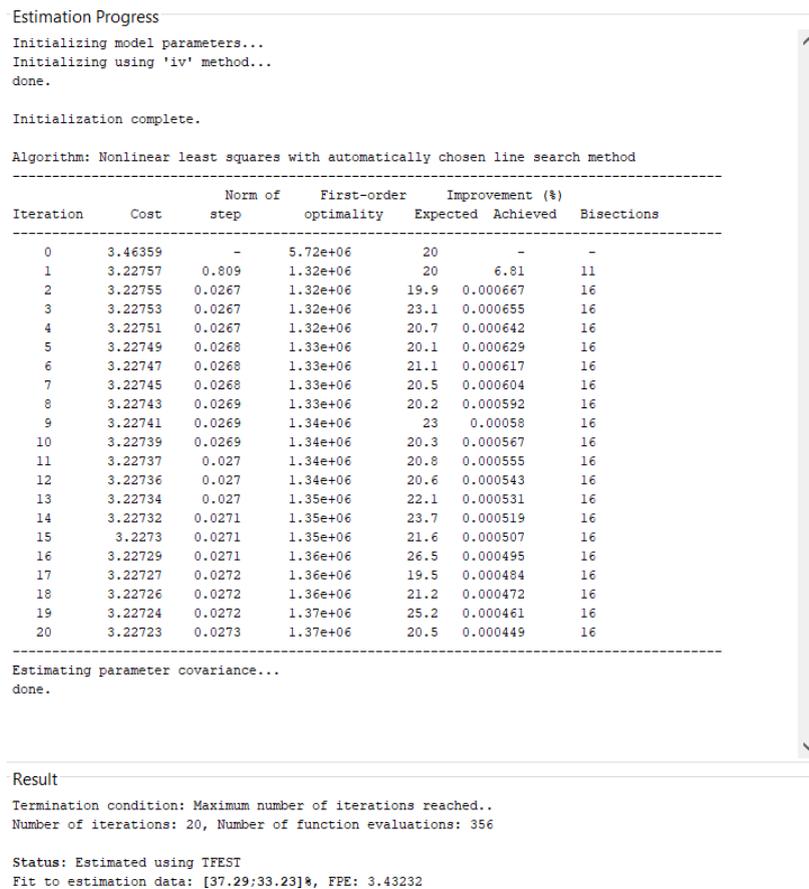


Figure 3.6 : Statistiques de la méthode d’estimation par la méthode N4SID

Et enfin la matrice de transfert 2x2 obtenue :

```

From input "u1" to output...
      -0.7324 s + 0.002185
y1:  -----
      s^2 + 0.06571 s + 0.001442

      -1.388 s + 0.003261
y2:  -----
      s^2 + 2.44 s + 0.01546

From input "u2" to output...
      1.151 s + 0.001515
y1:  -----
      s^2 + 0.08561 s + 0.001802

      22.47 s + 0.4787
y2:  -----
      s^2 + 2.667 s + 0.07466

Name: tf2
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: [2 2;2 2]   Number of zeros: [1 1;1 1]
  Number of free coefficients: 16
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: [37.29;33.23]% (stability enforced)
FPE: 3.432, MSE: 6.014

```

Donc la matrice de transfert du modèle de notre machette de serre agricole est la suivante :

$$G(s) = \begin{pmatrix} \frac{-0.7324s+0.002185}{s^2+0.06571s+0.001442} & \frac{-1.388s+0.003261}{s^2+2.44s+0.01546} \\ \frac{1.151s+0.001515}{s^2+0.08561s+0.0011802} & \frac{22.47s+0.4787}{s^2+2.667s+0.07466} \end{pmatrix}$$

D. Validation du modèle obtenu

Les figures suivantes montrent le tracé des valeurs de deux sorties de la matrice de transfert obtenue (en bleu sur la figure) comparativement aux mesures, on constate un écart assez réduit entre les deux, et de là on peut conclure que le modèle de la fonction de transfert simule assez bien le comportement dynamique de notre maquette de serre agricole.

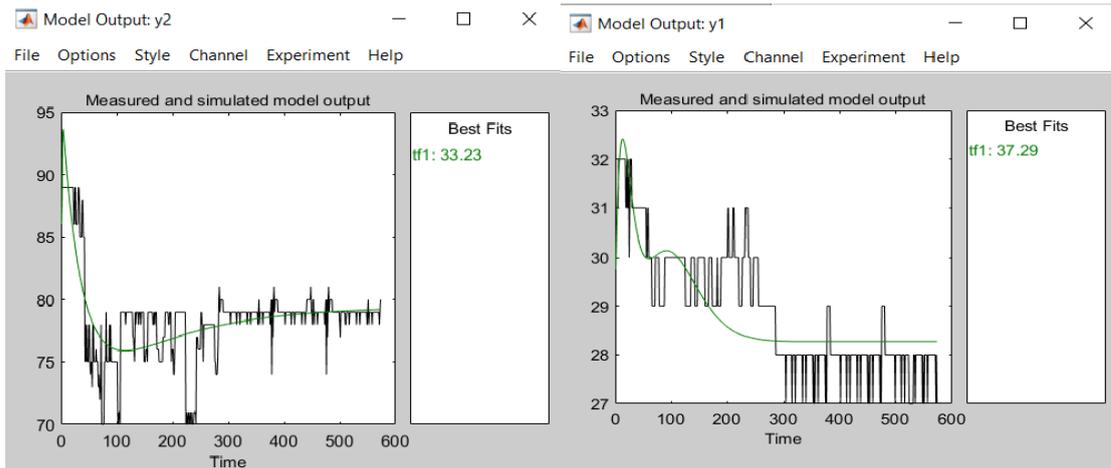


Figure 3.7 : tracé des mesures réelles et celles de la matrice de transfert

III.3 Comparaison des deux modèles obtenus

Les figures suivantes montrent une comparaison du comportement dynamique des deux modèles obtenus avec les mesures réelles, on constate que les sorties du modèle de la matrice de transfert (ligne continue sur la figure) sont largement plus proches des mesures réelles que celle du modèle d'état (en pointillés sur la figure).

Donc, on peut simuler convenablement le comportement dynamique des grandeurs climatiques (température et humidité) de notre maquette de serre agricole grâce au modèle de la matrice de transfert.

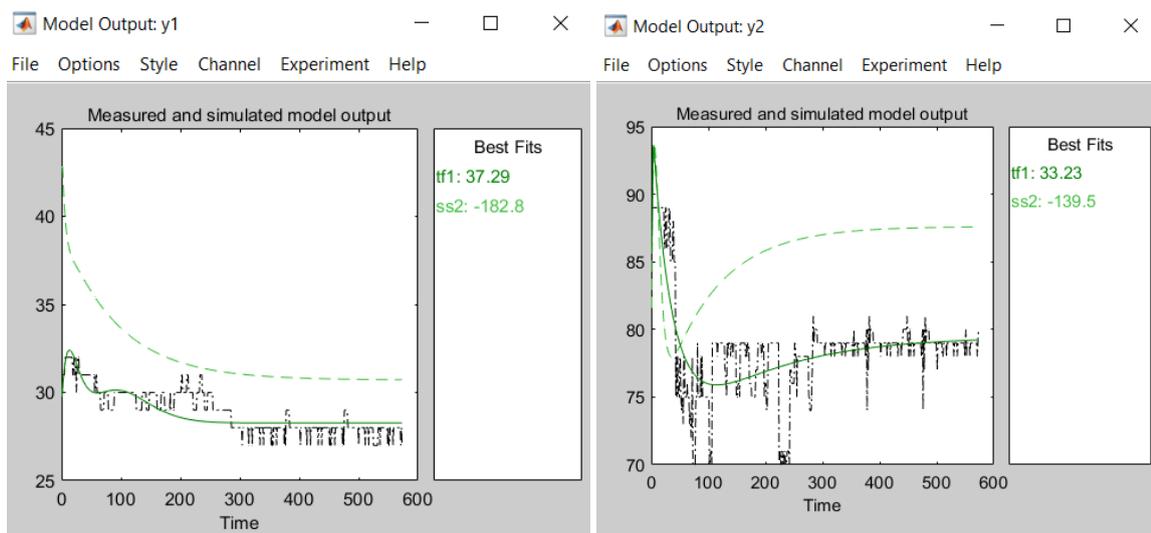


Figure 3.8 : Comparatif entre le modèle d'état et celui de la matrice de transfert

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisés les mesures obtenues à partir de notre maquette de serre agricole pour concevoir deux modèles mathématiques qui simulent le comportement dynamique de notre système par identification : le modèle d'état et la matrice de transfert. Les résultats obtenus ont montré que ce dernier est le plus approprié.

Conclusion générale

Ces dernières années, on constate une utilisation de plus en plus importante des nouvelles technologies dans le secteur agricole, cela grâce aux nombreuses innovations qu'ils peuvent apporter dans les systèmes d'irrigations et du contrôle des grandeurs climatiques à l'intérieur des serres agricoles. Ces dernières connaissent une automatisation accrue ce qui se traduit par un rendement maximal avec un moindre coût.

Le travail effectué dans ce mémoire concerne la conception et la réalisation d'une maquette d'une serre agricole avec un système électronique de mesure et de gestion des grandeurs climatiques à l'intérieur, pour cela, nous avons utilisé un capteur de température et d'humidité ambiantes ainsi qu'un autre capteur de l'humidité du sol, et comme actionneurs, nous avons utilisé une pompe à eau ainsi qu'un ventilateur. Le système est géré par un microcontrôleur Arduino grâce à un programme conçu sous IDE Arduino. Ensuite, nous nous sommes fixés comme objectif de trouver des modèles mathématiques par identification qui simulent le comportement dynamique des grandeurs climatiques de notre maquette de serre, pour cela nous nous sommes servis des mesures obtenues grâce aux capteurs pour concevoir deux modèles mathématiques multivariés avec deux entrées (les tensions aux bornes de la pompe à eau et du ventilateur), et deux sorties (la température et l'humidité ambiante). On a traité ces mesures par l'intermédiaire de la boîte à outils « ident » de MATLAB pour concevoir un modèle d'état par la méthode des algorithmes subspatiaux pour l'identification des systèmes déterministes-stochastiques combinés N4SID, et une matrice de transfert par la méthode de l'erreur d'équation EE. Les résultats obtenus ont montré une meilleure simulation du comportement dynamique de ces grandeurs climatiques de notre maquette du modèle de la matrice d'état obtenu par la méthode EE. A la fin et comme perspective, on encourage les futurs étudiants à concevoir des algorithmes de commande et les simuler sur les modèles obtenus avant une éventuelle implémentation réelle sur notre maquette.

Bibliographie

- [1] F. Rodríguez, M. Berenguel, J. L. Guzman, A. Ramírez-Arias, “Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth”, *Advances in Industrial Control*, Springer International Publishing, 2015.
- [2] La Mutualité sociale agricole (MSA), Etude-Brochure, “Travaux en hauteur en serres et tunnels-État des lieux des règles et pratiques”, En ligne, Disponible : <https://ssa.msa.fr/document/travaux-en-hauteur-en-serres-et-tunnels/>
- [3] Laurent Lefebvre, 23/10/2014, “Quel matériau pour la structure de la serre : bois, aluminium, acier ou PVC ?”, <https://www.baches-serre-direct.com/blog/54-quel-materiau-pour-la-structure-de-la-serre-bois-aluminium-acier-ou-pvc->.
- [4] Clément PINOIT, “Analyse du climat dans les serres de concombre –Comparaison entre site expérimental et site de production”, Mémoire de Fin d’Etudes Master 2 Sciences Technologie Santé, université Angers, France, 2015.
- [5] N. Bennis, J. Duplaix, G. Enéa, M. Haloua, H. Youlal, "Greenhouse climate modelling and robust control", *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 61, Issue 2, 2008, Pages 96-107.
- [6] IABBADEN Zinedine et LAHLOU Farid «Réalisation d’une module de distribution d’énergie à base d’une carte Arduino mega 2560» Université MOUMOU MAMMERI -Tizi ouzou- 2017
- [7] MEGTIT Tedijini et DAHMANE Dihia «Réalisation d’une Serre Agricole intelligent et contrôlable a distance par internet» Université abou Bakr Belkaid – Telemcen, 2018.
- [8] <https://www.carnetdumaker.net/articles/utiliser-un-capteur-de-temperature-et-dhumidite-dht11-dht22-avec-une-carte-arduino-genuino/>
- [9] S. Joe Qin, "An overview of subspace identification", *Computers & Chemical Engineering*, Volume 30, Issues 10–12, 2006, Pages 1502-1513.
- [10] Van Overschee, P., & de Moor, B. (1994). N4SID: Subspace algorithms for the identification of combined deterministic-stochastic systems. *Automatica*, 30, 75–93

[11] H. Garnier , M. Mensler & A. Richard (2003) Continuous-time model identification from sampled data: Implementation issues and performance evaluation, *International Journal of Control*, 76:13, 1337-1357