

## Conception et étude expérimentale d'un nouveau dispositif électronique de contrôle par ESP32 d'une enceinte anti-moisissure de conservation d'articles en cuir

### [ Design and experimental study of a new electronic device for ESP32-based control of an anti-mold chamber for conservation of leather articles ]

*Agathe Matenou and Jean Mbihi*

Laboratory of Computer and Automatic Engineering, Enset, University of Douala, Cameroon

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This paper presents the design and experimental study of a new electronic ESP32-based control device of an anti-mold enclosure for the conservation of luxury leather goods. The control specifications deal with temperature control inside the enclosure between 18 °C and 25 °C, while maintaining the internal humidity rate between 50% and 60%, for the sake of better conservation of leather products. The virtual schematic diagram of the device is developed with EasyEDA, then the virtual assembly diagram is realized using Fritzing. The complete experimental device is realized and well tested using several electronic modules, including: DHT22 sensor, ESP32 microcontroller, Peltier effect module and LCD display. In addition, an application program is developed using Arduino C++ and uploaded into ESP32. Finally, the testing results presented and discussed confirm the quality and originality of this novel device for digital control of leather product preservation enclosures.

**KEYWORDS:** Device, Electronics, Control, ESP32, Enclosure, Anti-mould, Leather Conservation.

**RESUME:** Cet article présente la conception et l'étude expérimentale d'un nouveau dispositif électronique de contrôle par ESP32 d'une enceinte anti-moisissure de conservation d'article de luxe en cuir. Les spécifications de contrôle vise à réguler la température interne de l'enceinte entre 18 °C et 25 °C, tout en maintenant le taux d'humidité interne entre 50 % à 60 %, en vue d'une bonne conservation de l'état des produits en cuir. Le schéma de principe virtuel du dispositif est développé dans EasyEDA, puis le schéma de montage virtuel réalisé dans Fritzing. Le dispositif expérimental complet est réalisé et bien testé à l'aide de plusieurs modules électroniques parmi lesquels: capteur DHT22, microcontrôleur ESP32, module à effet Peltier et écran LCD. Par ailleurs, un programme d'application est développé dans Arduino C++, puis chargé dans l'ESP32. Finalement, les résultats d'essais présentés et discutés confirment la qualité et l'originalité de ce nouveau dispositif de commande numérique des enceintes de conservation des produits en cuir.

**MOTS-CLEFS:** Dispositif, Électronique, Contrôle, ESP32, Enceinte, Anti-moisissure, Conservation du Cuir.

## 1 INTRODUCTION

Le cuir est un matériau provenant d'une peau animale ayant reçu un processus de tannage. Cette nouvelle matière imputrescible appelée cuir, va encore passer par différentes étapes de modifications et de finitions avant d'être sujette de bonnes caractéristiques visuelles et techniques. Néanmoins, les qualités du cuir varient en fonction de l'animal d'origine et des opérations de finition qui lui sont appliquées [1].

La fabrication du cuir comporte trois phases: la préparation de la peau pour le tannage, notamment l'élimination des poils et des chairs qui adhèrent à la peau, le tannage et le corroyage-finissage. A cette dernière étape, on a recours à diverses

opérations mécaniques pour façonner et lisser le cuir et aux traitements chimiques pour le teindre, le graisser, l'assouplir et lui appliquer un état de surface fini. Tous ces procédés de traitement peuvent être réalisés dans une même installation [2]. Le tannage est une étape primordiale dans la fabrication du cuir puisqu'il permet la transformation des peaux animales brutes en cuir. Au cours de leur immersion dans un bain tannant, elles acquièrent une résistance à l'hydrolyse et à la putréfaction par combinaison chimique irréversible entre le collagène et la substance tannant [3], [4]. Le tannage est l'opération qui consiste à transformer la peau en cuir grâce à des tanins, substances de nature différente (végétale, minérale ou combinée) qui permettent de passer d'une peau putrescible, à une matière imputrescible dite cuir [5]. Le cuir est utilisé dans plusieurs domaines parmi lesquels: sellerie, maroquinerie, cordonnerie, bourrellerie, fabrication de vêtements, ganterie, gainerie, reliure, sculpture, fabrication de meubles et d'armurerie [6]. Cependant, les produits à base de cuir nécessitent un entretien régulier ainsi que des soins spécifiques, en vue de les protéger dans les milieux d'utilisation et de conservation, des causes d'altération surfacique telles que: exposition aux rayons solaires directs, rayons ultraviolets, niveau d'humidité élevé, chaleur intense, variations de température [7], [8].

Dans cet article, on s'intéresse au problème de conservation d'articles de luxe en cuir dans les résidences domestiques. Dans ce domaine d'application, la détérioration des produits de luxe en cuir résulte surtout du flux important de température ambiante et du niveau d'humidité élevé. Les solutions technologiques les plus connues pour une bonne conservation de produits en cuir sont: enceintes adiabatique avec compartiment iso-thermique [7], coffret et armoire de rangement [8], [9], séchoir à sac isotherme ([10], [11]), et incubateurs [12]. Malheureusement, les lacunes de ces solutions technologiques traditionnelles sont multiples, à savoir: absence d'indicateurs effectif de température et de niveau d'humidité, manque de spécifications techniques de la qualité des services de protection, absence d'instrument de dialogue opérateur, etc.

Au vu de toutes ces limitations fonctionnelles, techniques et opérationnelles, cet article présente une nouvelle solution technologique de conservation de produits en cuir. Cette solution est une enceinte électronique-textile de conservation d'articles textiles de luxe en cuir, à base de la technologie de commande numérique assistée par microcontrôleur ESP32, en vue de maintenir la température interne de l'enceinte entre 18 °C et 25 °C ainsi que le taux d'humidité relative entre 50 % et 60 %.

La section 2 de l'article porte sur les outils et méthodes d'étude et de prototypage du modèle d'enceinte proposé. Dans la section 3, les résultats obtenus sont présentés et discutés. Enfin la conclusion de l'article est prévue dans la section 4 suivie des références bibliographiques.

## 2 OUTILS ET METHODES

### 2.1 OUTILS MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le schéma bloc de notre nouveau dispositif de contrôle assisté par microcontrôleur est présenté dans la Fig.1. En plus des tâches d'acquisitions numérique en temps réel des données de l'environnement interne de l'enceinte, ce microcontrôleur doté d'un média embarqué WIFI, est aussi chargé d'assurer les fonctions de communication sans fil avec un Smartphone moniteur virtuel de données de l'environnement interne de l'enceinte de rangement de produits textiles de luxe.

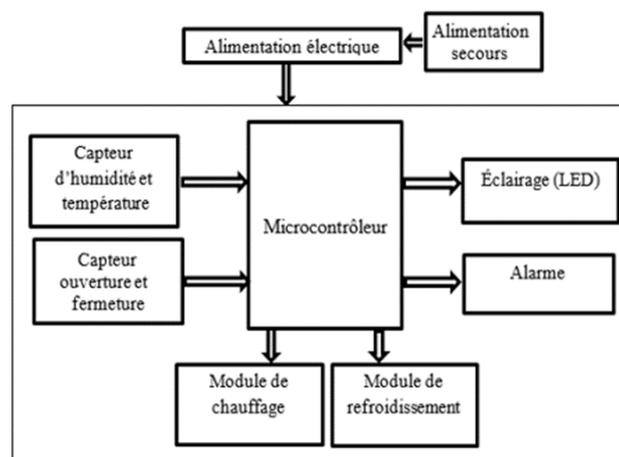
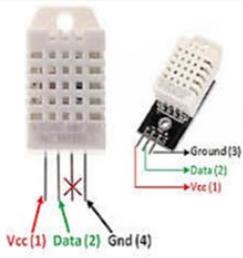


Fig. 1. Schéma bloc du dispositif à microcontrôleur proposé

Le tableau 1 décrit les caractéristiques techniques des principaux outils matériels requis pour la mise en œuvre du schéma bloc de la Fig. 1. Au vu des spécifications détaillées contenus dans le tableau 1, il est important de préciser à ce point que:

- Tous les modules matériels constitutifs présentés dans le tableau 1 pour notre modèle d'enceinte électronique-textile, sont des produits peu encombrants, de bonne qualité et surtout moins cher même pour la vente à l'unité.
- Les autres besoins matériels requis pour le montage du prototype expérimental, et la conduite des essais en temps réel ont été omis intentionnellement de ce tableau, parce qu'ils font partie des ressources logistiques communes du laboratoire de notre recherche.

**Tableau 1. Spécifications techniques des outils matériels**

N°	Modules	Aspects	Fonctions	Caractéristiques
1	ESP32		Acquisition de données, Commande numérique, Serveur Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wi-Fi: 2.4 GHz ~ 2.5 GHz</li> <li>• Bluetooth v4.2 BR/EDR et BLE ADC, DAC, GIO</li> </ul>
2	Capteur DHT22		Capteur de température et d'humidité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentation 3.3 - 6 V</li> <li>• Signal de sortie via un bus unique, avec plage d'humidité 0 - 100 % et température - 40°C-80 °C</li> <li>• Dimensions: 22 * 28 * 5mm</li> </ul>
3	Module à effet Peltier		Utiliser pour refroidir enceinte en cas d'excès de chaleur et pour chauffer enceinte en cas de refroidissement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Model: TEC1-12715</li> <li>• Puissance 165 W</li> <li>• Tension: 0 - 15.4 V DC</li> <li>• Size: 40mm x 40mm x 4mm</li> </ul>
4	Bandes LED		Éclairage interne de l'enceinte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diamètre de 42,1 mm</li> <li>• Hauteur 3,5 mm</li> <li>• LED 24 pièces</li> <li>• Watts totaux 0,3 W</li> <li>• Volts 12 Volts CC</li> <li>• Durée de vie 20 000 heures</li> </ul>
5	Interrupteur de fin de course		Pour commander allumage et l'arrêt des lampes LED Pour contrôler la mise en marche /arrêt des LED	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Courant maximum 15 A</li> <li>• Tension Vca 500V Max</li> <li>• Tension Vcc 250V Max</li> <li>• Longueur 39.4 mm</li> <li>• Largeur 49.2 mm</li> <li>• Dimensions 39,4 x 49,2 x 17,45 mm</li> </ul>
6	Radiateur		Echange d'énergie	30 x 23 x 16 mm

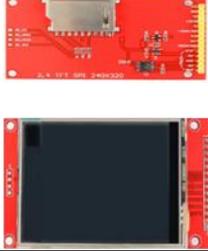
7	Module RTC		Horloge de précision	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interface: I2C</li> <li>Dimension: 32 x 23 x 11 mm</li> </ul>
8	Afficheur LCD 2.4 TFT SPI ILI9341 240X320		Module LCD de monitoring de données	<ul style="list-style-type: none"> <li>Couleur TFT, 2.4 pouces, 240X320,</li> <li>Interface SPI Drive ILI9341, 2.4</li> </ul>
9	BUZZER sonore		Emet le son à un temps T selon le fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dimensions de l'article L x l x H 20 x 20 x 20 millimètres</li> <li>Poids de 10 Grammes</li> </ul>
10	Ventilateurs		Propagation des énergies	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tension, alimentation 12V</li> <li>Taille du cadre 80mm</li> <li>Débit: 46.5cu. ft/min</li> <li>Débit, métrique: 79m<sup>3</sup>/h</li> <li>Évaluation bruit: 37dBA</li> <li>Roulement: Aiguille</li> </ul>

Tableau 2. Principaux outils logiciels utilisés

N°	Logiciels	Fonctions
1	EasyEDA	Outil gratuit de CAO électronique pour les particuliers.
2	Fritzing	Fritzing est un outil de création de schéma de montage virtuel de système électronique, avec possibilité de génération automatique du schéma de principe complet.
3	Arduino EDI C++ Ver 1.8.9	Plateforme de base pour l'installation ses drivers de cartes Arduino et compatibles ESP32, ESP8266,...) et pour le développement d'applications C/C++ sur cible microcontrôleurs
4	Pilotes ESP32	Pour compatibilité de ESP32-WROOM-32 dans Arduino IDE C++
5	Pilote de l'écran LCD	Pour compatibilité au bus de l'ESP32
6	Matlab	Tracé des graphes des données de température et d'humidité

## 2.2 OUTILS LOGICIELS ET MÉTHODES

Plusieurs types d'outils logiciels ont été utilisés dans le cadre des travaux d'implémentation de logiciels d'application de l'enceinte électronique programmable. Le tableau 2 présente les spécifications techniques et opérationnelles des principaux logiciels utilisés. La Fig. 2 présente le schéma de principe virtuel du dispositif électronique proposé, créé dans le logiciel EasyAEDA. Puis le schéma de montage virtuel de la Fig. 3 est crée dans Frizing.

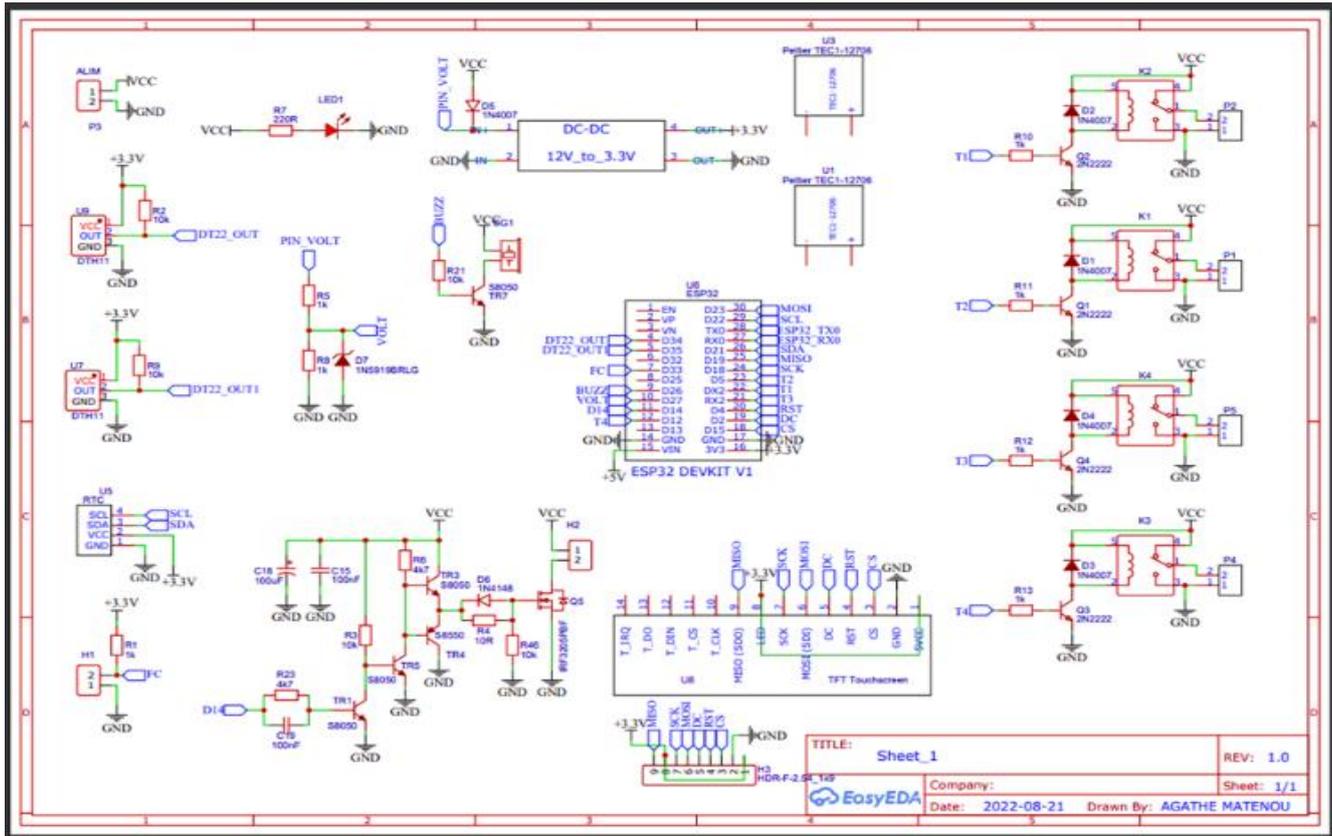


Fig. 2. Schéma de principe virtuel du dispositif électronique proposé.

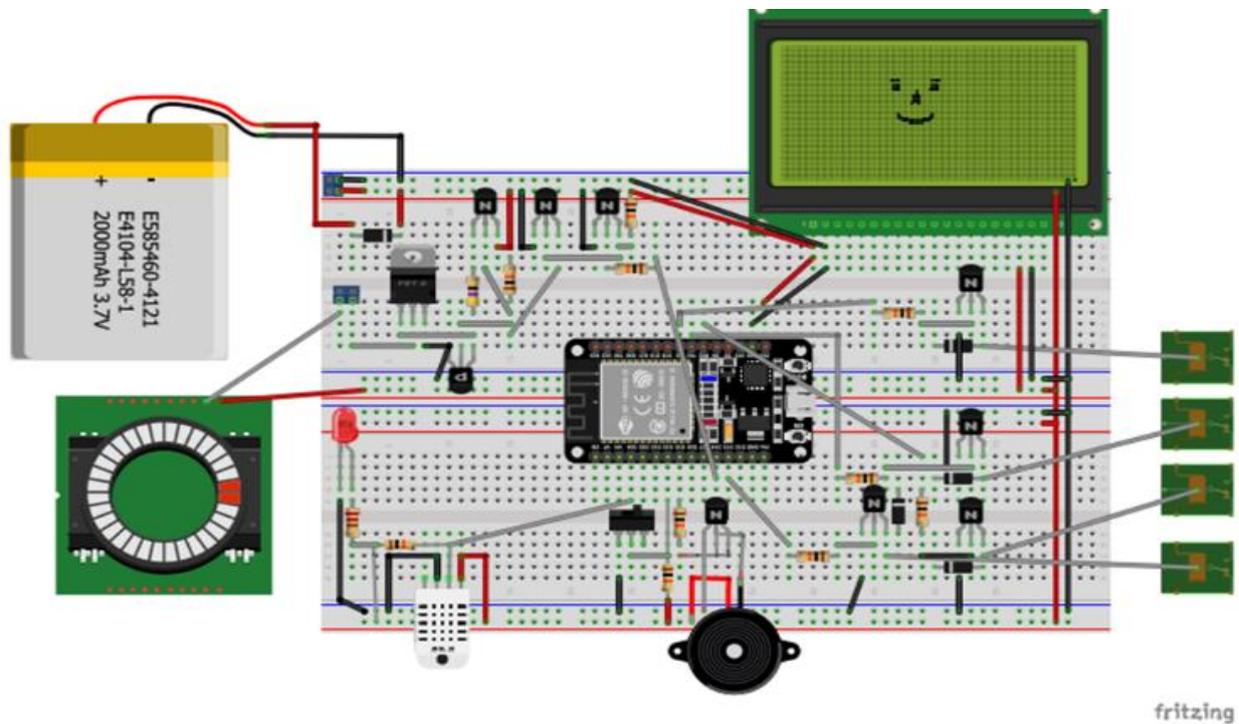


Fig. 3. Schéma du montage virtuel dans Fritzing

Par ailleurs, l'algorithme de programmation du logiciel d'application est celui présenté dans la Fig. 4. Puis, une copie d'écran de l'application dans Arduino IDE-C++ est présentée dans la Fig. 5.

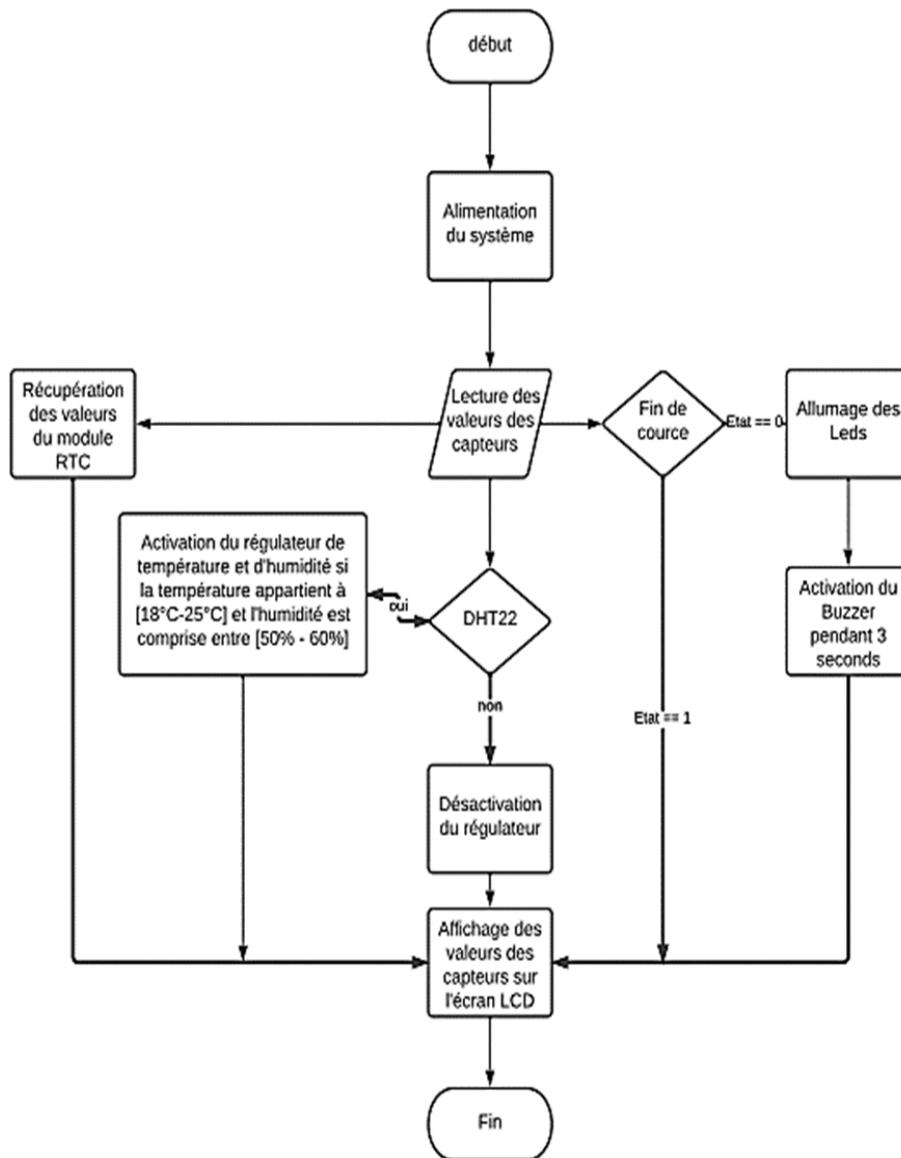
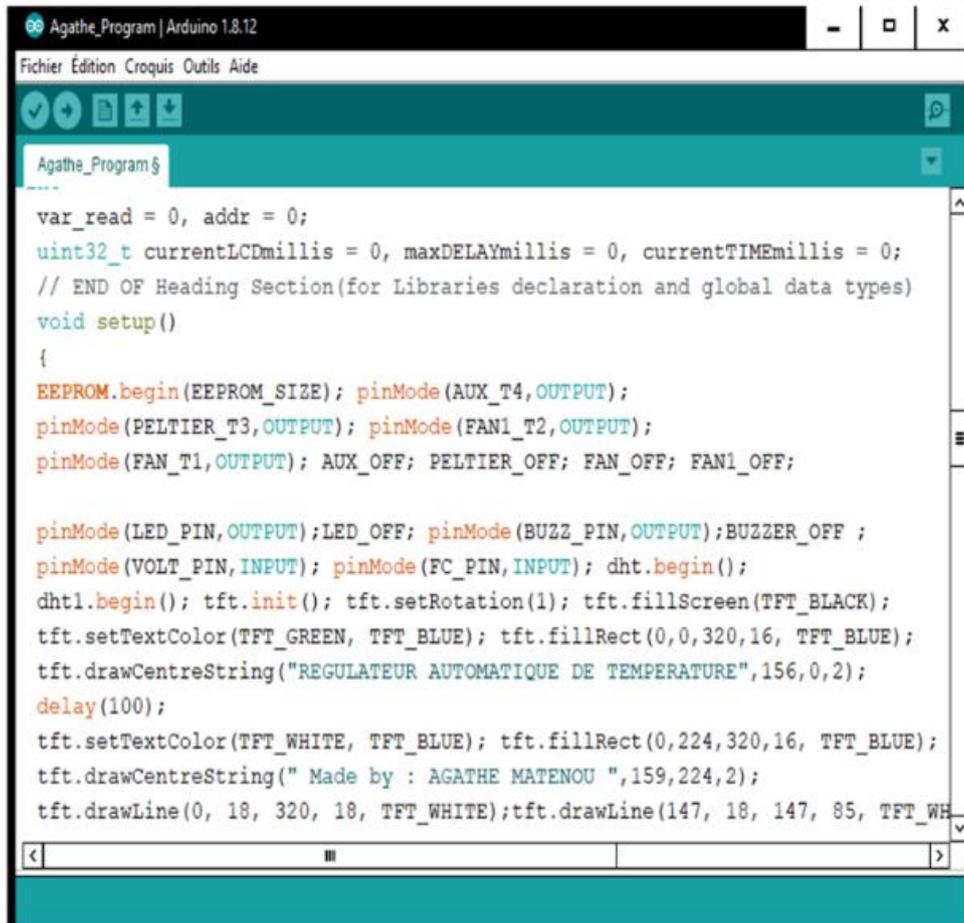


Fig. 4. Algorithme de programmation du logiciel d'application



```
Agathe_Program | Arduino 1.8.12
Fichier Édition Croquis Outils Aide
Agathe_Program $
var_read = 0, addr = 0;
uint32_t currentLCDmillis = 0, maxDELAYmillis = 0, currentTIMEmillis = 0;
// END OF Heading Section(for Libraries declaration and global data types)
void setup()
{
  EEPROM.begin(EEPROM_SIZE); pinMode(AUX_T4,OUTPUT);
  pinMode(PELTIER_T3,OUTPUT); pinMode(FAN1_T2,OUTPUT);
  pinMode(FAN_T1,OUTPUT); AUX_OFF; PELTIER_OFF; FAN_OFF; FAN1_OFF;

  pinMode(LED_PIN,OUTPUT);LED_OFF; pinMode(BUZZ_PIN,OUTPUT);BUZZER_OFF ;
  pinMode(VOLT_PIN,INPUT); pinMode(FC_PIN,INPUT); dht.begin();
  dht1.begin(); tft.init(); tft.setRotation(1); tft.fillScreen(TFT_BLACK);
  tft.setTextColor(TFT_GREEN, TFT_BLUE); tft.fillRect(0,0,320,16, TFT_BLUE);
  tft.drawCentreString("REGULATEUR AUTOMATIQUE DE TEMPERATURE",156,0,2);
  delay(100);

  tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLUE); tft.fillRect(0,224,320,16, TFT_BLUE);
  tft.drawCentreString(" Made by : AGATHE MATENOU ",159,224,2);
  tft.drawLine(0, 18, 320, 18, TFT_WHITE);tft.drawLine(147, 18, 147, 85, TFT_WH
```

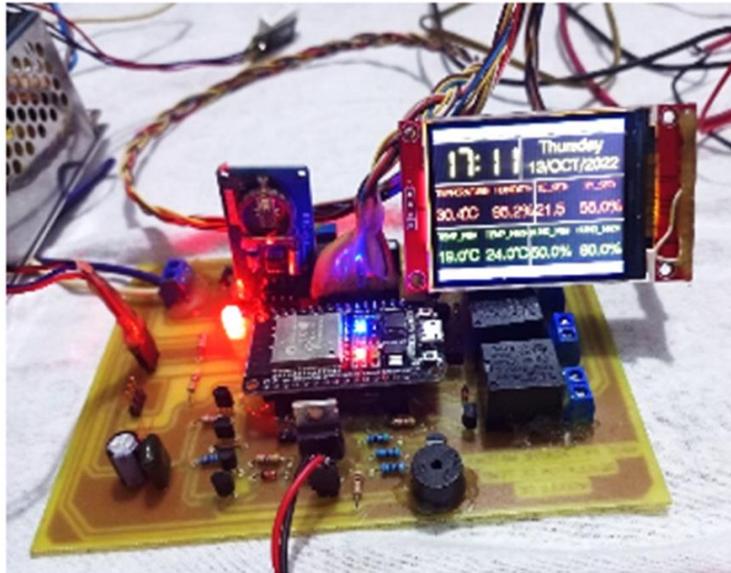
Fig. 5. Copie d'écran d'une fenêtre du programme d'application dans Arduino C++.

### 3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

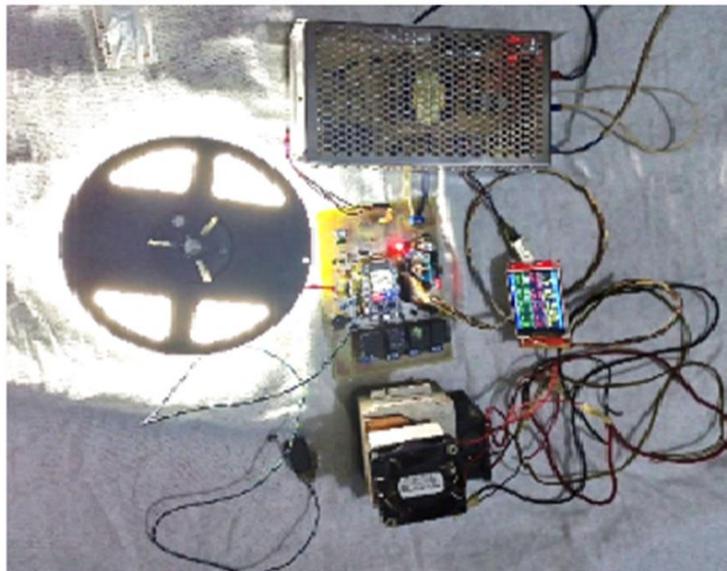
Un prototype réel du dispositif électronique étudié dans cet article a été réalisé en vue d'effectuer des tests de qualité. Une photo du prototype ainsi réalisé est présentée dans la Fig. 6a en situation réelle de service d'instrumentation électronique. Par ailleurs, un milieu expérimental complet bien aménagé joue le rôle d'une enceinte électronique-textile lors des essais expérimentaux.

Il est important de constater que le moniteur LCD TFT Couleur de la Fig. 6a, affiche en temps réel une base de données d'instrumentation électronique de son environnement. Citons comme exemples:

- Date et heure;
- Température;
- Niveau d'humidité.



a) Dispositif d'instrumentation électronique assisté par ESP32



b) Plateforme expérimentale aménagée pour des essais

**Fig. 6. Plateforme expérimentale**

Par ailleurs, le contrôle de la régulation de la température et de l'humidité est aussi assurée dans les plages de valeurs favorables aux conditions optimales de conservation des produits de luxe cuir dans les milieux résidentiels. Rappelons que ces plages sont [18 °C- 25 °C] pour la température, et de [50% 60 %] pour le niveau d'humidité.

Des échantillons de données expérimentales de l'enceinte, affichés par notre dispositif d'instrumentation en service dans l'enceinte, ont été collectés puis importés et représentés dans le logiciel Matlab, a permis d'observer graphiquement la tendance des variations pendant une période de 30 min. La Fig. 7 montre la cinétique de variations des données entre 17 h et 17 h 30 min. Dans chaque cas, il existe un point pour lequel la pente de variation devient négative. Ce point survient à 17 h 42 min pour la température, et correspond à 17 h 38 min pour l'humidité. Cependant, il faudrait des études répétitives sur un intervalle de temps suffisant découvrir des lois de variation plus fiables.

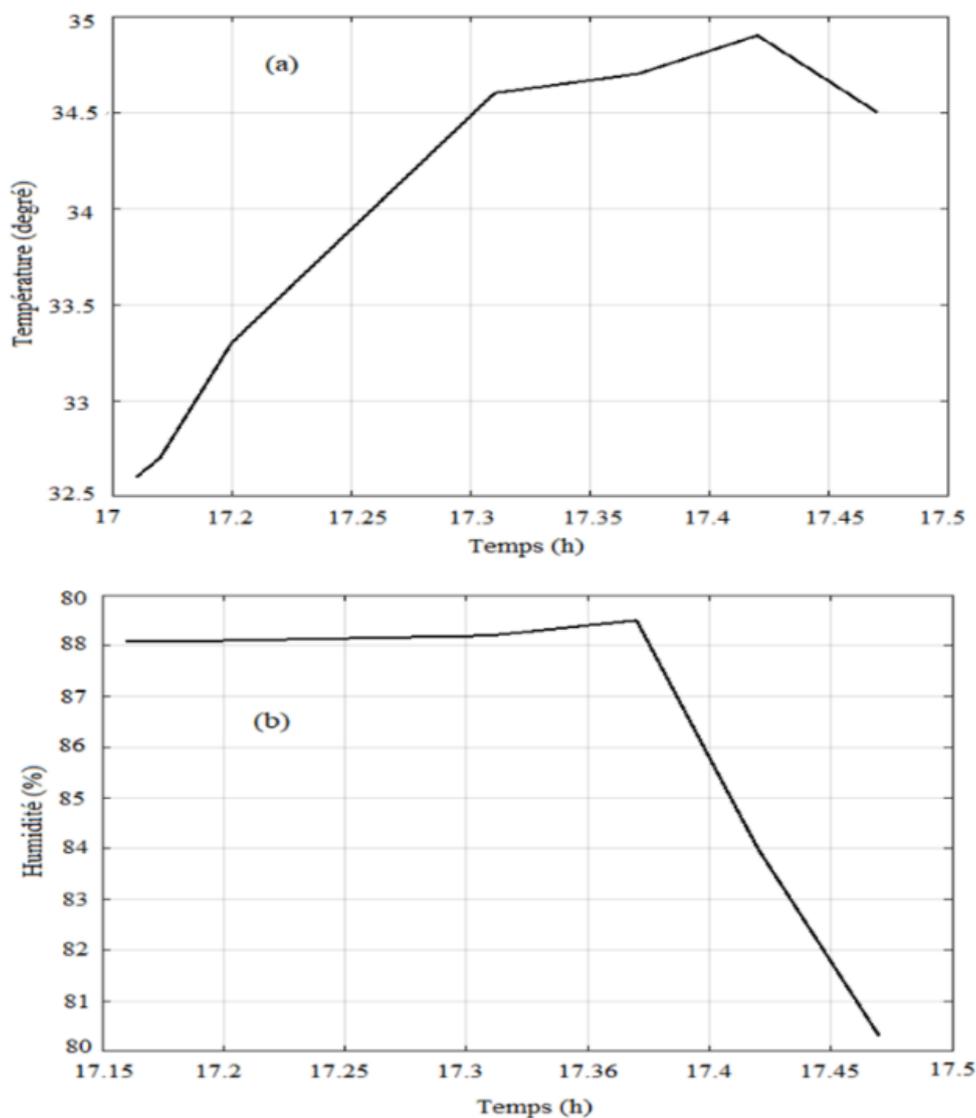


Fig. 7. Échantillons de données de variation de la température et de l'humidité

#### 4 CONCLUSION

Le dispositif présenté et bien testé expérimentalement dans cet article, est une solution technologique innovante proposée pour les meilleures conditions de conservation des produits de luxe en cuir, dans une enceinte à paroi interne adiabatique, régulée en température et en niveau d'humidité. Les résultats d'essais du prototype réalisé dans une enceinte expérimentale, ont prouvé la faisabilité, l'ingéniosité et la qualité de service de ce dispositif. Un modèle d'enceinte unifié à vocation électronique-textile devra être construit en vue de la conquête du marché actuel des produits intelligents. Par ailleurs, une version plus étendue équipée de services connectés via Bluetooth et WIFI à un moniteur virtuel Android serait une autre opportunité de conquérir aussi le marché actuel et à venir de produits IOT (Internet of Things). Ces nombreuses perspectives feront l'objet d'activités de recherche en cours et avenir.

#### CONTRIBUTION DES AUTEURS

**Mme Agathe Matenou** a étudié et choisi les éléments composants électroniques utilisés dans de cet article. Elle a mis en œuvre et testé les schémas de simulation électronique virtuelle ainsi que l'organigramme de programmation de l'ESP32 dans Arduiono C++. Elle a enfin contribuer à la réalisation et aux essais d'un prototype expérimental de l'enceinte originale initiée dans cet article pour la conservation d'articles de luxe en cuir dans les milieux domestiques.

**Jean Mbihi** a supervisé, révisé et validé toutes les phases d'exécution des travaux de conception, de prototypage et d'interprétation des résultats d'essais du 1<sup>e</sup> prototype d'enceinte originale présentée dans cet article. Il a rédigé le résumé, l'abstract et la conclusion de l'article, puis a aussi expertisé et révisé les 04 sections constitutives du manuscrit qui ont été rédigées par *Mme Matenou Agathe*.

## REFERENCES

- [1] « Les types de cuir et leurs caractéristiques - Pachamama - sacs en cuir », Pachamama, 10 avril 2020.  
<https://www.pachamama-handcraft.com/fr/types-de-cuir/> (consulté le 3 août 2022).
- [2] « Chapitre 88 - Le cuir, la fourrure et la chaussure ». <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo088.htm> (consulté le 3 août 2021).
- [3] P. Richardin, C. Capderou, F. Flieder, S. Bonnassies, et D. Raison, « Analyse de quelques tannins végétaux utilisés pour la fabrication des cuirs », 1988, p. 151-182.
- [4] Thomas, « Leçon 1 : Les différents types de cuir. », 17 mars 2014.  
<https://leblogdemonieur.com/lecon-1-les-differents-types-de-cuir/> (consulté le 3 août 2022).
- [5] « Les étapes de fabrication de cuir ». <https://conseilnationalducuir.org/dossiers-decouverte/qu-est-ce-que-le-cuir> (consulté le 3 août 2022).
- [6] « Cuir », Wikipédia. 17 septembre 2022. Consulté le: 11 octobre 2022.  
[En ligne]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Cuir&oldid=197041260>.
- [7] « Enceinte : définition de « enceinte » », La langue française.  
<https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/enceinte> (consulté le 31 août 2021).
- [8] G. Coqueugnot, « Coffre, casier et armoire : la Kibôtos et le mobilier des archives et des bibliothèques grecques », *Rev. Archeol.*, vol. n° 44, no 2, p. 293-304, 2007.
- [9] W. Bernard, « Les différents types de meubles », p. 15.
- [10] J. Moon, « Cooler bag », US20090049859A1, 26 février 2009 Consulté le: 1 septembre 2021.  
[En ligne]. Disponible sur: <https://patents.google.com/patent/US20090049859A1/en>.
- [11] « TEAMOOK Sac Repas Lunch Bag Sac à Déjeuner Sac Fraîcheur Portable Isotherme Hibou Vert 22cm X 16cm X 12cm : Amazon.fr: Cuisine et Maison ». [https://www.amazon.fr/Repas-D%C3%A9jeuner-Fra%C3%AEcheur-Portable-Isotherme/dp/B01LYR0PZS/ref=sr\\_1\\_4?dchild=1&keywords=sac+isotherme&qid=1630502741&sr=8-4](https://www.amazon.fr/Repas-D%C3%A9jeuner-Fra%C3%AEcheur-Portable-Isotherme/dp/B01LYR0PZS/ref=sr_1_4?dchild=1&keywords=sac+isotherme&qid=1630502741&sr=8-4) (consulté le 1 septembre 2021).
- [12] Elbachir Mohammed Ilyes & Benrabehe Ismail, « Étude et réalisation d'un incubateur automatique à œufs ». novembre 2020.