



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur**  
**Et de la Recherche scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**Faculté de Technologie**

**Mémoire de Fin d'Étude**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

**FILIERE : GENIE MECANIQUE**

**SPECIALITE : ENERGIE RENOUVELABLES EN MECANIQUE**

**Thème :**

***Etude expérimentale d'un humidificateur d'air utilisée  
pour le refroidissement d'un poulailler***

Réalisé par :

- Ad Abdelkamel
- Gasmi Miloud
- Bellamouchi Mohammed Yacine

Encadré par :

- Dr: Noureddine Meneceur.
- Co-Encadreur : Bouazize Imadeddine

**Année universitaire : 2022/2023.**

## Liste de tableaux

<b>Tab. III.1 :</b> <i>les caractéristiques du ventilateur installé dans notre prototype.</i>	34
<b>Tab. III.2 :</b> <i>La plaque signalétique de la pompe de circulation d'eau</i>	36
<b>Tab. III.3 :</b> Mesure de la température de différents points pour l'essai de garnissage de fibre de palmier.	40
<b>Tab. III.4 :</b> Mesure d'humidité de différents points pour l'essai de garnissage de fibre de palmier.	40
<b>Tab. III.5 :</b> Mesure de la température de différents points pour l'essai de garnissage de plante de Stipa.	40
<b>Tab. III.6 :</b> Mesure d'humidité de différents points pour l'essai de garnissage de plante de Stipa.	40
<b>Tab. III.7 :</b> Mesure de la température de différents points pour l'essai de garnissage de feuilles de palmier.	41
<b>Tab. III.8 :</b> Mesure d'humidité de différents points pour l'essai de garnissage de feuilles de palmier.	41

## Liste des figures

<b>Fig. I.1</b>	<i>Schéma d'un humidificateur d'air utilisé dans un poulailler</i>	3
<b>Fig. I.2</b>	<i>Schéma d'un système d'humidificateur avec ventilation combi tunnel</i>	7
<b>Fig. I.3</b>	<i>Schéma d'un système d'évaporation directe</i>	8
<b>Fig. I.4</b>	<i>Système de refroidissement par évaporation indirect-direct</i>	9
<b>Fig. I.5</b>	<i>Le schéma de principe du système IEC</i>	11
<b>Fig. I.6</b>	<i>Cadre de mise en œuvre de REMACT</i>	18
<b>Fig. I.7</b>	<i>Représentation graphique du poulailler utilisé</i>	19
<b>Fig. I.8</b>	<i>Schéma d'un système d'humidificateur d'air d'un poulailler</i>	20
<b>Fig. II.1</b>	<i>Schéma représente un système de refroidissement par évaporation.</i>	25
<b>Fig. II.2</b>	<i>Un système de refroidissement par évaporation directe DEC.</i>	26
<b>Fig. II.3</b>	<i>Le principe de fonctionnement d'un système IEC</i>	27
<b>Fig. II.4</b>	<i>Modèles à l'échelle du laboratoire pour le refroidissement par évaporation directe (DEC), le refroidissement par évaporation indirecte (IE) «Systèmes de refroidissement par évaporation à cycle (MEC)</i>	27
<b>Fig. II.5</b>	<i>Schéma de système de la ventilation du tunnel</i>	28
<b>Fig. III.1</b>	<i>Photos de panneau sandwich utilisé dans les parois du prototype</i>	32
<b>Fig. III.2</b>	<i>Schéma de conception du prototype de poulailler avant sa construction</i>	33
<b>Fig. III.3</b>	<i>Photos des quatre faces du prototype réel de poulailler après la construction.</i>	33
<b>Fig. III.4</b>	<i>Photo réelle du ventilateur installé sur le prototype.</i>	34
<b>Fig. III.5</b>	<i>Les photos des matériaux de garnissage avant et après la construction, montrant les différents matériaux locaux tels que la plante de Stipa, les fibres de palmier et les feuilles de palmier.</i>	35
<b>Fig. III.6</b>	<i>Photo de la pompe de circulation d'eau.</i>	36
<b>Fig. III.7</b>	<i>Photos des tubes cylindriques utilisés dans le prototype (de canalisation et de collection d'eau).</i>	37

---

<b>Fig. III.8 :</b> <i>photo du capteur d'humidité d'air et de la température.</i>	38
<b>Fig. III.9 :</b> <i>Photo du débitmètre d'eau utilisé dans la mesure</i>	39
<b>Fig. III.10 :</b> <i>évolution d'humidité d'air en fonction du temps pour les différents matériaux de garnissage.</i>	41
<b>Fig. III.11 :</b> <i>évolution des températures en fonction du temps pour les différents matériaux de garnissage.</i>	42

## Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude expérimentale d'un prototype d'humidificateur d'air utilisé pour refroidir un poulailler . La conception du prototype est basée sur des parois isolantes telles que les panneaux sandwich. Le système d'humidification est composé d'un corps d'échange poreux (garnissage) qui permet l'entrée de l'air frais de l'extérieur vers l'intérieur, ainsi que d'un ventilateur spécial qui aspire l'air de l'intérieur et le rejette vers l'extérieur.

Nous avons utilisé trois matériaux locaux pour le corps d'échange (garnissage). Après une série de mesures effectuées de 13h00 à 15h00 l'après-midi, nous avons constaté que cette technique permet d'améliorer la qualité de l'air à travers le poulailler, ce qui permet d'augmenter la production tout en réduisant les coûts énergétiques.

**Mots clés :** humidificateur d'air, poulailler, refroidissement, efficacité énergétique,

## ملخص

هذه المذكرة تتناول الدراسة التجريبية لنموذج أولي لمرطب الهواء المستخدم لتبريد حظيرة تربية الدواجن الموجودة في المناطق القاحلة في الجزائر (الوادي). يستند تصميم هذا النموذج إلى جدران عازلة مثل الألواح الشطيرة. يتكون نظام الترطيب من هيكل تبادل مسامي (حشوة) يسمح بدخول الهواء النقي من الخارج إلى الداخل

بالإضافة إلى مروحة خاصة تسحب الهواء من الداخل وتطره إلى الخارج.

لقد استخدمنا ثلاثة مواد محلية لهيكل التبادل (الحشوة) مثل ألياف النخيل وأوراق النخيل ونبات الحلفاء. بعد عصرًا، لاحظنا أن حشوة ألياف 3:00 ظهرًا حتى الساعة 1:00 سلسلة من القياسات التي تم إجراؤها من الساعة

النخيل توفر أفضل أداء. تسمح هذه التقنية بتحسين جودة الهواء في حظيرة الدواجن، مما يؤدي ذلك إلى زيادة

الإنتاج مع تقليل تكاليف الطاقة.

**الكلمات المفتاحية:** مرطب الهواء، الدواجن، التبريد، الكفاءة الطاقوية

## Sommaire

Liste de figures	IV
Liste de tableaux	VI
Nomenclature	VII
Résumé	VIII

## Introduction générale

### Chapitre I :

#### Etude Bibliographique

<b>I.1 Introduction</b> .....	3
<b>I.2 Bref historique sur les humidificateurs d'air</b> .....	3
<b>I.3 Conclusions</b> .....	20

### Chapitre II :

#### Généralités sur les techniques de refroidissement de poulaillers

<b>II.1 Introduction</b> .....	21
<b>II.2 Climat dans les poulaillers</b> .....	21
II.2.1 Facteurs climatiques.....	21
II.2.2 Facteurs influençant les conditions climatiques et le microclimat des oiseaux.....	21
II.2.3 Température.....	22
II.2.4 Zones de température.....	22
II.2.5 Humidité relative.....	23
a)- Mesurer l'humidité.....	23
b)- Mesurer et contrôler l'humidité.....	23
<b>II.3 Systèmes de refroidissement par évaporation</b> .....	23
II.3.1 Refroidissement par évaporation directe DEC.....	26
II.3.2 Refroidissement indirect par évaporation CEI.....	26
II.3.3 Refroidissement par évaporation à cycle M (MEC).....	27
II.3.4 La ventilation Tunnel.....	28
II.3.5 Système EC (Brumisateur).....	29
<b>II.4 Systèmes de refroidissement à tampon humide</b> .....	29
II.4.1 Tampons à vaporiser.....	30
II.4.2 Tampons de recirculation.....	30
<b>II.5 Conclusion</b> .....	31

### Chapitre III :

#### Approche expérimentale

<b>III.1 Introduction</b> .....	32
<b>III.2 Matérielle utilisée</b> .....	32
III.2.1 construction du prototype.....	32
III.2.2 Le ventilateur.....	34
III.2.3 Les corps d'échange.....	35
III.2.4 La pompe de circulation.....	36

---

III.2.5 Les tubes.....	36
<b>III.3 Dispositif de mesure.....</b>	<b>37</b>
III.3.1 Thermocouple.....	37
III.3.2 Capteur d'humidité.....	38
III.3.3 Débitmètre d'eau.....	38
<b>III.4 Résultats et discussions.....</b>	<b>39</b>
III.4.1 Les tableaux de mesure.....	39
<b>III.5 Conclusion.....</b>	<b>42</b>

## **Conclusion générale**

## **Références bibliographiques**

## Introduction générale

Les poulaillers situés dans les régions désertiques sèches sont confrontés à une consommation énergétique importante, surtout pendant la saison estivale. Les chercheurs se sont donc donné pour mission de réduire cette consommation tout en garantissant le confort des poules et en tenant compte de leur sensibilité à l'humidité et à la chaleur.

Parmi les équipements essentiels dans les poulaillers, l'humidificateur d'air est un élément crucial pour maintenir des conditions de confort et de santé optimales pour les volailles. En régulant l'humidité de l'air, il contribue à créer un environnement propice à la croissance et au bien-être des animaux. Les poules sont sensibles à l'humidité ambiante, et des niveaux inadéquats peuvent entraîner des problèmes respiratoires, de déshydratation et de stress. L'humidificateur d'air permet de contrôler et de maintenir un taux d'humidité approprié dans le poulailler, favorisant ainsi la santé des volailles et leur productivité. Il est conçu pour disperser de fines gouttelettes d'eau dans l'air ambiant, augmentant ainsi l'humidité relative de l'environnement. Différents types d'humidificateurs d'air peuvent être utilisés, tels que les systèmes à évaporation, les systèmes à ultrasons ou les systèmes à pulvérisation. Chaque type présente ses avantages et ses limitations, et le choix de l'humidificateur d'air dépendra des besoins spécifiques du poulailler, de sa taille, de la capacité de régulation souhaitée et des conditions environnementales. En optimisant le niveau d'humidité de l'air, l'humidificateur contribue à améliorer le confort, la santé et les performances des volailles, tout en assurant un environnement propice à leur élevage.

Dans cette approche expérimentale, nous nous sommes concentrés sur l'étude des humidificateurs d'air visant à améliorer le cycle de vie des poulets. Pour cela, nous avons étudié trois types de matériaux locaux pour le rafraîchissement de l'air : la plante de stipa, la fibre de palmier et la feuille de palmier. Notre objectif était de trouver le matériau idéal capable de garantir les meilleures valeurs de température, d'humidité et de vitesse de l'air.

Le manuscrit de notre mémoire se divise en trois chapitres :

Le premier chapitre porte sur l'étude bibliographique de l'histoire des humidificateurs d'air. Des travaux numériques et expérimentaux réalisés par certains chercheurs dans ce domaine de recherche y sont exposés.

**D**ans le deuxième chapitre, nous avons détaillé les systèmes de climatisation utilisés dans les poulaillers. Ensuite, nous avons décrit l'aspect expérimental et les méthodes de mesure utilisées. Les résultats de notre approche expérimentale sont présentés et discutés dans le troisième chapitre.

**E**nfin, nous avons terminé notre mémoire par une conclusion générale qui présente les meilleures solutions utilisées dans cette approche expérimentale.

**Chapitre I :**

# **Etude Bibliographique**

## I.1 Introduction :

Depuis des siècles, les humidificateurs ont été employés pour réguler les niveaux d'humidité à l'intérieur des espaces. Leur utilisation remonte à l'Égypte ancienne, où ils étaient destinés à améliorer la qualité de l'air dans les tombeaux et autres lieux clos. Au 19<sup>e</sup> siècle, les humidificateurs ont fait leur apparition dans les foyers et les usines, dans le but de réduire la présence de poussière dans l'atmosphère. Au début du 20<sup>e</sup> siècle, les hôpitaux ont commencé à utiliser des humidificateurs pour limiter la propagation des maladies infectieuses. Dans le présent chapitre nous avons traité de nombreux travaux expérimentaux et numériques sur les techniques de séchage solaire qui ont été publiés dans le 21<sup>ème</sup> siècle.



**Figure I.1 :** *Schéma d'un humidificateur d'air utilisé dans un poulailler.*

## I.2 Bref historique sur les humidificateurs d'air :

Les recherches menées en 1979 par JC MOUREAU [1] ont démontré l'importance de la vitesse à laquelle l'eau s'écoule lorsqu'elle entre en contact avec une surface surchauffée, dans le processus de refroidissement par pulvérisation. Un concept largement utilisé dans ce domaine est l'efficacité du refroidissement, qui se réfère au rapport entre la puissance réellement dissipée par l'eau et celle qui aurait été dissipée si toute l'eau s'était évaporée.

Lors du refroidissement par pulvérisation de surfaces très chaudes, il est possible que cette efficacité soit très faible. Par exemple, il peut être extrait un flux de surface de l'ordre de 800 000 W/m<sup>2</sup>, mais l'efficacité du refroidissement est seulement de 7 kg/m<sup>2</sup>.s, soit environ 1,5%. Cela signifie que l'eau ne parvient à chauffer que de quelques dizaines d'unités. Par conséquent, lorsque la surface à refroidir est suffisamment grande, il est dans l'intérêt de l'utilisateur d'améliorer

l'efficacité du refroidissement en augmentant la densité du flux thermique ou en réduisant la consommation d'eau. Les idées suivantes viennent donc à l'esprit pour améliorer l'efficacité du refroidissement.

Le refroidissement consisterait à faire en sorte que les gouttes d'eau soient affectées par l'intensité du flux de chaleur. Les gouttes d'eau tomberont sur la surface à grande vitesse et la surface sera donc refroidie de la manière suivante en l'incorporant au jet d'air, cette expérience a été réalisée en 1980 par le scientifique S. HURWITZ. [2] pour étudier les besoins énergétiques pour la croissance et l'entretien de poussins et dindons mâles et femelles gardés dans des chambres climatiques pendant une période de 4 à 5 semaines après la période de couvain.

Dans les espèces et les genres, les besoins d'entretien ont diminué avec des températures constantes de 12 à 24 ° C, atteignant une température basse entre 24 et 28 ° C, suivie d'une augmentation avec l'augmentation de la température. À 12 ° C, la maintenance variait entre 2,45 et 2,70 kcal/g 2/3 pour les poussins et les dindes, respectivement. Les besoins moyens en matière de gain de poids étaient de 1,87 kcal/g et de 0,7 kcal/g chez les poussins et les dindes, respectivement. Cette différence d'espèce a été expliquée sur la base de la composition de la carcasse. Les Turcs nourris avec un régime riche en protéines avaient apparemment des besoins d'entretien plus importants que ceux nourris avec un régime alimentaire adapté à leur âge. La prise de poids a diminué entre 19 et 34°C chez les poussins et entre 18°C et 32°C chez les dindes. Une alimentation riche en protéines avait tendance à réduire mais non à surmonter la dépression de croissance due à la température. Chez les dindes, le gain de poids à 12 ° C était inférieur à celui à 18 ° C pour les deux sexes. Les besoins alimentaires calculés par kcal des poussins de 6 semaines ont augmenté avec une augmentation de la température à 27 ° C, suivie d'une diminution avec une augmentation supplémentaire de la température.

En 1989, RW Bottcher et al [3] .Ont testé expérimentalement un système circulaire de pulvérisation d'air avec pulvérisation pneumatique d'eau dans un poulailler. Le fonctionnement du système était contrôlé par un humidificateur interne. Le système a été testé avec et sans oiseaux (dindes). Les températures sèches et humides ont été mesurées à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment pour différentes combinaisons d'humidité relative cible et de niveaux de ventilation. Les efficacités de refroidissement par évaporation calculées à partir des seules mesures de température allaient de 24,7 à 69%. Avec un taux de ventilation de 8,1 kg/s ou moins, l'humidité relative intérieure cible de 70-90% a pu être maintenue en dessous de 8%, et une réduction d'au moins 5,5°C de la température du bulbe sec à la température du bulbe sec a pu être obtenue à des températures extérieures supérieures à 34,4°C. La résolution simultanée du bilan thermique et hydrique raisonnable de l'air intérieur a permis de prévoir les performances du système.

Trois systèmes de ventilation mécanique distincts ont été observés dans des poulaillers commerciaux au printemps et à l'été 1992, R. W. Bottcher et al. [4] ont développé Le premier système utilisait des tuyaux de terre enterrés, des conduits de ventilation en plastique et des cavités murales creuses comme entrées d'air. Le deuxième système utilise des entrées d'orifice à pression contrôlée et le troisième système utilise des tampons de refroidissement par évaporation. Le système de refroidissement par évaporation a fourni une plus grande chute de température aviaire par rapport au refroidissement par air du tube souterrain. Une baisse moyenne de 3,9 °C (7,1 °F) a été obtenue lorsque l'air extérieur était supérieur à 32 °C (90 °F). Par temps chaud, les vitesses de l'air au niveau des oiseaux étaient plus faibles dans la maison tubulaire souterraine [ $<0,5$  m/s (100 fpm)] que dans les autres maisons [0,8–1,8 m/s (150–350 fpm)] en raison des différences dans les deux taux de ventilation maximal et conceptions d'entrée d'air. La productivité des oiseaux dans les trois foyers était généralement meilleure que la moyenne pour une entreprise avicole. Par temps chaud, la taille du troupeau est réduite dans la maison tubulaire souterraine et les portes d'extrémité sont ouvertes pour une ventilation naturelle (vent). La consommation d'énergie électrique de la maison à tubes souterrains était environ le double de celle des autres maisons en raison des actionneurs pneumatiques à tubes souterrains.

En 1997, l'ingénieur MP Delmas et W. A. BELDING [5] ont mené une étude sur l'efficacité du système de refroidissement et sa relation avec le sécheur, en tenant compte de l'efficacité de la désorption et du rejet de chaleur du flux d'air du processus. Les échangeurs de chaleur rotatifs sont couramment utilisés pour évacuer cette chaleur vers les équipements de séchage disponibles actuellement. Cependant, ces dispositifs peuvent entraîner une fuite d'air humide du côté de la régénération du processus vers le côté du processus à sec, ce qui entraîne une détérioration des performances.

En utilisant une approche différente, ils ont réussi à obtenir des capacités de refroidissement élevées, ainsi que des coefficients de performance (COP) élevés, sans avoir recours à une roue thermique ou à une installation volumineuse pour le système de refroidissement. L'utilisation d'une roue de séchage en conjonction avec un refroidisseur par évaporation indirecte intégré et une petite quantité d'air. Un système de refroidissement a été développé qui élimine le besoin d'un séchage en profondeur de l'humidité par le dessinant et fournit en même temps une ventilation de 2,5% à 35% d'air dans l'espace climatisé, en utilisant un O de diamètre 68 m (27 po) sur 0,2 m (8 po) Roue de séchage de type 1 m remise à neuf 175 °C (347 °F) 15,0 kW (4,3 t) de refroidissement atteint avec un COP thermique de 0,72. Avec l'ajout d'un refroidisseur à évaporation directe, le large

contrôle de l'humidité offert par le système est assuré par la taille de la roue du séchoir et la nature compacte des refroidisseurs à évaporation indirecte de l'équipement se traduit par un coût initial potentiellement faible, on s'attend à ce que le refroidissement total maximal pour 0.9.

En 2000, M. Kara et N. UĞURLU [6]. Ont mené une étude dans des cages appartenant à l'Egg Trading Company dans la province de (Konya). La cage a une capacité de 36 762 couches. Huit ventilateurs d'extraction d'une capacité de 40 000 m<sup>3</sup>/h sont installés dans les murs d'extrémité de la maison. Vingt-quatre coussins de refroidissement par évaporation en cellulose, chacun mesurant 1,20 m de haut x 1,80 m de large x 100 mm, ont été montés sur les parois latérales. Dans ce système, le tampon de refroidissement agit comme une entrée d'air, fournissant un refroidissement par évaporation lorsque de l'air chaud et sec circule à travers le tampon de refroidissement. La température de l'air froid a chuté de 4,2 à 16,2 °C par rapport à la température extérieure maximale quotidienne. La chute de température moyenne de l'air de refroidissement était de 10,6°C.

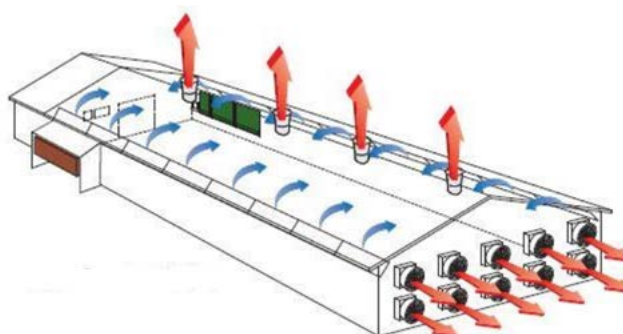
L'efficacité de refroidissement par évaporation des tampons s'est avérée être de 87,5% en moyenne pour les conditions cosmiques. Les températures intérieures de la maison de cage ont chuté entre 5,4 et 6,4 °C lorsque les températures extérieures étaient de 30 °C ou plus.

En 2003, les chercheurs H. PASCHOLD, et al. [7] Ont étudié le refroidissement par évaporation à grande échelle dans les régions à faible humidité de la région désertique du sud-ouest des États-Unis et d'autres régions à climat sec du monde entier pour le confort thermique résidentiel. Une revue de la littérature a suggéré la possibilité que le refroidissement par évaporation augmente l'exposition personnelle aux particules en plus d'une incidence accrue de maladies respiratoires. Les concentrations de matières particulaires à l'intérieur et à l'extérieur ont été mesurées pour déterminer les effets du refroidissement par évaporation sur l'air ambiant dans la chambre d'essai du refroidisseur par évaporation. Une expérience en salle d'essai a été menée pour mieux évaluer l'effet du refroidissement par évaporation sans interférence des activités ménagères telles que la cuisine, le nettoyage, le tabagisme, etc. La mesure des particules a été effectuée à l'aide de micro-équilibres oscillants des éléments coniques pour fournir des données supplémentaires.

J.R. Camargo et C.D. EBINUMA dans la même année [8]. Il s'agit d'une méthode d'analyse thermo-économique basée sur les première et deuxième lois de la thermodynamique et appliquée aux systèmes de refroidissement par évaporation combinés à des déshumidificateurs à absorption. L'objectif principal est d'appliquer la méthode dite des coûts de fabrication excédentaires (EMC) aux systèmes fonctionnant dans trois conditions différentes afin de réduire les coûts d'exploitation. Paramètres de base R/P (air régénéré/air traité) et la température de l'air régénéré. Par conséquent, la température de réactivation la plus basse et le rapport R/P le plus bas correspondent à l'EMC le plus

faible. Les plus bas correspondent à la EMC la plus faible. Ce résultat peut être vérifié par l'analyse active. Il convient de noter que cela correspond également aux pertes d'énergie les plus faibles.

Cette étude a été menée en 2004 par le scientifique M. MASHALY et al. [9]. Afin de déterminer les effets négatifs des températures élevées et de l'humidité sur les performances de vie, la qualité des œufs et la fonction immunitaire des poules pondeuses commerciales. L'étude a porté sur 180 poules pondeuses âgées de 31 semaines et ayant une production suffisante. Les poules en cage ont été placées dans trois chambres environnementales et exposées à l'un des trois traitements suivants : contrôle, cyclique et stress thermique pendant cinq semaines. Divers critères de production et d'homogénéité ont été mesurés. Le poids corporel et la consommation d'aliments ont été significativement réduits dans le groupe soumis au stress thermique. La production d'œufs, le poids des œufs, le poids de la coquille, l'épaisseur de la coquille et le poids du test ont été modifiés dans le groupe soumis au stress thermique. De même, le nombre total de globules blancs et la production d'anticorps ont diminué de manière significative dans les groupes soumis à un stress thermique ; l'activité des cellules T et B n'a pas été affectée de manière significative par l'un ou l'autre traitement, mais les lymphocytes des poulets des groupes soumis à un stress thermique étaient les moins actifs une semaine après le traitement. Ces résultats indiquent que le stress thermique n'affecte pas seulement les performances de production, mais supprime également la fonction immunitaire.



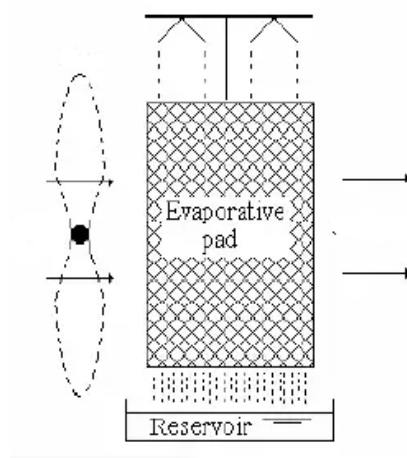
**Figure I.2 :** Schéma d'un système d'humidificateur avec ventilation combi tunnel [9].

Construction de graphes bioclimatiques à GIVONI par le chercheur K.J. LOMAS et al [10]. Pour tester si le refroidissement passif par évaporation combiné à la ventilation nocturne pourrait entraîner un confort thermique dans une dépendance du sud de l'Europe. Les simulations thermodynamiques ont indiqué que les limites de refroidissement par évaporation directe proposées par GIVONI n'étaient pas un prédicteur fiable des conditions climatiques pour lesquelles le confort pouvait être fourni.

Spécifie la limite de confort climatique pour le refroidissement par évaporation directe dans le bureau, avec différents niveaux de gain de chaleur intérieure suggérés pour chacun. Un ensemble de conditions climatiques dans lesquelles le relief est parfois atteint et parfois non est également indiqué.

En 2005, les chercheurs J R Camargo et al [11] Ont présenté les principes de base du processus de refroidissement par évaporation pour le confort thermique humain, les principes de fonctionnement d'un système de refroidissement par évaporation directe et le développement mathématique des équations d'échange de chaleur, permettant la détermination d'efficacité à saturation. Il présente également les résultats d'essais expérimentaux dans le refroidisseur à évaporation directe qui sont menés dans le laboratoire de climatisation de l'Université de Taubaté, département de génie mécanique, et les résultats expérimentaux sont utilisés pour déterminer l'efficacité du transfert de chaleur par convection et pour comparer avec un modèle mathématique.

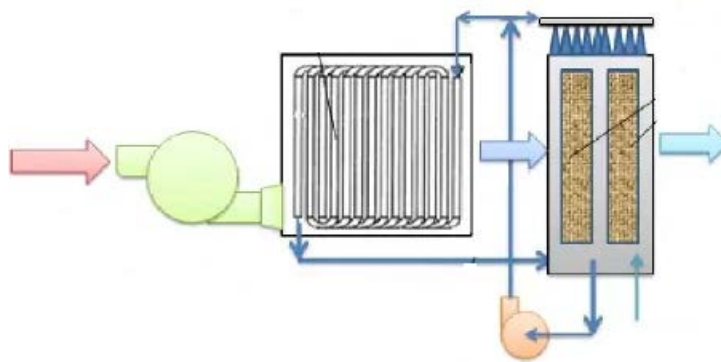
Les chercheurs JR Camargo, C.D. EPINUM, et S. Cardoso, ont publié trois critères en 2006 [12] pour l'utilisation efficace des systèmes de refroidissement par évaporation et les ont appliqués dans un certain nombre de villes brésiliennes aux climats différents. Cardoso les a publiés et mis en œuvre dans un certain nombre de villes brésiliennes aux climats différents. Tout d'abord, les principes de base du refroidissement par évaporation directe et indirecte sont présentés pour illustrer l'efficacité des systèmes. Trois méthodes sont ensuite présentées pour déterminer l'installation la plus efficace du système. La conclusion est que les systèmes de refroidissement par évaporation ont un potentiel très élevé d'amélioration du confort thermique et peuvent être utilisés comme alternative aux systèmes conventionnels, même dans les zones où la température de la lampe est inférieure à 24°C.



**Figure I.3** : Schéma d'un système d'évaporation directe [12].

Cette étude, menée en 2007 par le chercheur P. HOLLMULLER [13], avait pour objectif d'évaluer la capacité de refroidissement des conduites enterrées et de leurs dérivés pour les bâtiments situés dans le climat brésilien. Dans un premier temps, le potentiel de refroidissement de ces technologies a été évalué indépendamment de toute dynamique de bâtiment, en termes de différence de température disponible par rapport à une consigne de confort donnée, simulée à l'aide d'un modèle spécifique. Dans la deuxième étape, la réponse efficace des bâtiments résidentiels ainsi que des bâtiments commerciaux, en mode flottant et en mode climatisation, a été évaluée.

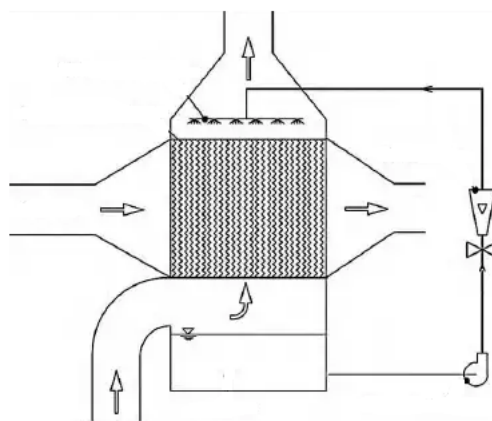
En 2009, Sam C. M. Hui et W. Y. Cheung [14] ont publié le refroidissement par évaporation est une méthode de refroidissement écologique et économe en énergie qui n'utilise que de l'eau comme fluide de travail et qui refroidit simplement l'air par évaporation de l'eau. Cette technologie permet de réduire considérablement l'énergie nécessaire à la climatisation des bâtiments et présente d'autres avantages importants pour l'environnement. Cependant, les refroidisseurs par évaporation directe conventionnels augmentent l'humidité de l'air à des niveaux qui rendent les occupants mal à l'aise par temps humide ; les systèmes de refroidissement par évaporation à deux étages peuvent améliorer l'efficacité et réduire la quantité d'humidité ajoutée à l'air. Ce document de recherche décrit les principes de fonctionnement des systèmes de refroidissement évaporatif à deux étages et évalue leurs performances dans le climat chaud et humide de Hong Kong. Les facteurs climatiques locaux ont été étudiés et les caractéristiques des systèmes ont été évaluées. Les résultats montrent que l'humidité élevée tout au long de l'année dans ce climat empêche l'utilisation régulière du système de refroidissement par évaporation. Cependant, il existe un bon potentiel pour l'application du système au pré-refroidissement de l'air extérieur et pour réaliser des économies d'énergie significatives dans le domaine de la climatisation. L'efficacité du système dépendrait de sa configuration, de la conception des composants et de la stratégie de contrôle.



**Figure I.4 :** *Système de refroidissement par évaporation indirect-direct [14].*

Et aussi, les scientifiques GHASSEM HEIDARINEJAD et al [15]. Ont investi expérimentalement les performances de refroidissement d'un système de refroidissement par évaporation indirecte/directe à deux étages dans diverses conditions climatiques simulées. À cette fin, une configuration expérimentale de refroidissement par évaporation en deux étapes consistant en une étape de refroidissement par évaporation indirecte (IEC) suivie d'une étape de refroidissement par évaporation directe (DEC) a été conçue, construite et testée. En raison de la grande variété de conditions climatiques en Iran, deux simulateurs d'air ont été fournis pour simuler le cas de conception externe des variations des flux d'air primaires et secondaires. Les résultats montrent que dans différentes conditions externes, l'efficacité de l'étage IEC varie sur une plage de 55 à 61 % et l'efficacité de l'unité IEC/DEC varie sur une plage de 108 à 111 %. Les aspects de la réalisation des conditions de confort et des économies d'énergie avec une consommation d'eau excessive associée ont été étudiés. Compte tenu de la zone de confort d'évaporation, ce système peut fournir des conditions confortables dans une vaste région de l'Iran où l'évaporation directe seule n'est pas en mesure de fournir des conditions de confort d'été. Ce système peut économiser plus de 60 % d'énergie par rapport aux systèmes de compression de vapeur mécanique avec seulement une augmentation de 55 % de la consommation d'eau par rapport aux systèmes de refroidissement par évaporation directe. Ce système peut combler l'écart entre les systèmes de refroidissement par évaporation directe et les systèmes de compression mécanique de la vapeur en tant qu'alternative économe en énergie et écologique.

Cette expérience a été menée en Iran en 2010 par les chercheurs S .Delfani et al [16] ont présenté la performance d'un système de refroidissement par évaporation indirecte (IEC) a été étudiée pour pré-refroidir un système de refroidissement mécanique conventionnel. À cette fin, un ensemble expérimental combiné composé d'une unité IEC suivie d'une unité de conditionnement d'air en boîtier (PUA) a été conçu, construit et testé. Deux simulateurs d'air ont été conçus et utilisés pour simuler la charge de chauffage intérieure et les conditions de conception extérieures. À l'aide de données expérimentales et d'une méthode analytique appropriée, la capacité de chaque forme et la réduction d'énergie du système combiné par séparation par refroidissement ont été évaluées. Les résultats indiquent la capacité d'IEC à réduire la charge de refroidissement jusqu'à 75 % pendant les saisons de refroidissement. De plus, une réduction de 55% de la consommation d'énergie électrique peut être obtenue pour PUA.



**Figure I.5 :** Le schéma de principe du système IEC [16].

Année 2011 P. GLANVILLE et al [17]. Ont développé le refroidissement par évaporation est depuis longtemps une méthode efficace de climatisation dans les climats chauds et secs. Cependant, bien qu'efficaces, ils n'ont pas beaucoup pénétré le marché dans les climats humides par rapport aux systèmes de compression de vapeur. En effet, les refroidisseurs par évaporation les plus courants utilisent beaucoup d'eau, humidifiant l'air d'alimentation et ne refroidissant que la température du bulbe humide. Pour surmonter ces obstacles techniques traditionnels, de nombreux cycles de refroidissement par évaporation innovants ont été développés récemment. Le refroidissement par évaporation au point de rosée utilise moins d'eau que les refroidisseurs à évaporation directe et les refroidisseurs à compression de vapeur pour fournir de l'air non humidifié à des températures inférieures à la température du bulbe humide grâce à un nouvel échangeur de chaleur et à un nouvel agencement des circuits d'écoulement. Des températures d'air soufflé proches de la température du point de rosée sont obtenues avec une unité à un étage dont la capacité de refroidissement est indépendante de la température de bulbe sec de l'air ambiant. Récemment, un prototype d'unité de toit de 5 tonnes a démontré le potentiel du refroidissement par évaporation au point de rosée dans les conceptions à énergie nulle en réalisant une réduction d'énergie de 80 % par rapport aux systèmes de compression de vapeur conventionnels. Cet article décrit la base technique du refroidissement par évaporation au point de rosée à l'aide d'échangeurs de chaleur et le contexte du développement technologique du refroidissement par évaporation de l'évaporation indirecte à l'évaporation directe et au refroidissement par évaporation à plusieurs étages, ainsi que des comparaisons de performances dans des conditions de fonctionnement typiques.

En 2012, une analyse exégétique a été appliquée par M. Farmahini-Farahani et al. [18] pour indiquer l'efficacité énergétique irréversible et les modèles courants de refroidissement par évaporation. L'analyse d'exégétique de l'air conditionné est basée sur les résultats d'études

expérimentales sur le refroidissement par évaporation directe et indirecte et sur le refroidissement par évaporation indirecte/directe à deux étages pour six villes d'Iran, chacune avec des conditions météorologiques différentes. Les refroidisseurs à évaporation indirecte sont les plus efficaces dans les climats chauds et secs avec une efficacité énergétique approximative de 55 %. Les refroidisseurs à évaporation indirecte/directe sont un meilleur choix pour les climats chauds et semi-humides avec une efficacité énergétique extérieure d'environ 62 %.

M. BECCALI et al. [19]. a réalisé le système de refroidissement par évaporation (DEC) du séchoir solaire fonctionne comme une installation d'essai dans le laboratoire solaire. Le système se compose d'une unité de traitement d'air (AHU) conçue pour la ventilation de laboratoire et d'un plafond rayonnant qui fournit la majeure partie de l'énergie de refroidissement/chauffage de la chaleur sensible nécessaire. Le système fournit une partie de la chaleur régénérée par la roue déshydratante en été et est utilisée pour le chauffage des locaux en hiver. En raison des conditions climatiques typiques du site et de la nécessité de supporter le plafond radiant pour la chaleur sensible, le système est conçu pour des charges d'humidité élevées.

Le système est configuré pour utiliser deux serpentins de refroidissement auxiliaires alimentés par un refroidisseur à compression conventionnel ; l'un des serpentins est utilisé pour la pré-déshumidification. L'autre batterie contrôle la température de l'air lorsque la température de soufflage souhaitée ne peut pas être atteinte par le seul refroidissement par évaporation indirecte. Une caractéristique de ce système est que la chaleur évacuée du refroidisseur est utilisée pour préchauffer le flux d'air régénératif. L'usine a été surveillée en permanence après la phase d'installation et de mise en service. L'article présente des indicateurs de performance énergétique instantanés, quotidiens et mensuels pour cinq mois d'été et trois mois d'hiver. Les résultats mensuels sont également présentés et décrits en détail sur la base de la procédure de suivi développée dans le cadre de l'Agence Internationale de l'Energie (IEA) "Solar Air Conditioning and Refrigeration". La raison en est le "Programme de chauffage et de refroidissement solaires" de l'Agence internationale de l'énergie. Des indicateurs de performance saisonniers tels que le COP électrique et thermique et les économies d'énergie primaire des processus de refroidissement et de chauffage sont présentés. Les résultats montrent qu'environ la moitié de l'énergie totale de refroidissement fournie par la (AHU) est couverte par le procédé DEC. La récupération de la chaleur émise par les refroidisseurs s'avère être une bonne solution et permet de réduire la surface du capteur solaire lors de la phase de conception. Enfin, les principales questions soulevées par la surveillance de l'usine et les solutions possibles pour améliorer la performance énergétique sont discutées.

En 2013, W. POWERS et al [20], ont reconnu que des changements significatifs dans la production de volailles peuvent être observés en raison des impacts climatiques. Les mécanismes d'adaptation comprennent des stratégies d'adoption de nouveaux aliments, la génétique animale pour produire des oiseaux plus résistants à la chaleur et aux parasites, des protocoles de gestion pour éviter les risques de parasites et de maladies, et des changements dans le logement des animaux pour s'adapter aux charges de chaleur et aux pressions environnementales. Les stratégies d'atténuation ont l'avantage de réduire la contribution du secteur avicole au changement climatique.

En outre, le savant R. K. KULKARNI et S. P. S. Rajput a fait des recherches [21], ont été approchés par des fabricants qui ont mentionné différents types de refroidisseurs par évaporation. Il est nécessaire d'analyser les performances de ces refroidisseurs en termes d'efficacité et de capacité de refroidissement. Par conséquent, une étude théorique sur les performances des refroidisseurs par évaporation avec différentes formes et matériaux de coussins de refroidissement a été réalisée. Les tampons rectangulaires cylindriques et hexagonaux ont été prélevés à partir de cellulose rigide et de papier ondulé, d'emballages en polystyrène haute densité et de fibres de peuplier. Les paramètres de forme du coussin tels que la surface et le volume ont été calculés à des vitesses de vent de 0,75 à 2,25 m/s. Selon les données météorologiques de Bhopal, en Inde, les conditions d'entrée étaient de 39,9 ° C.

La température sèche du bulbe et l'humidité relative de 32,8 % a été sélectionnées pour l'analyse. L'efficacité de saturation, la température de l'ampoule sèche à l'air de sortie et la capacité de refroidissement ont été estimées. L'efficacité de saturation a diminué avec l'augmentation du volume d'air et la valeur la plus élevée est de 91% pour le tampon de forme hexagonale avec un matériau de tremble. Viennent ensuite les pansements cylindriques (90%) et rectangulaires (89%). La capacité de refroidissement augmente avec le débit massique d'air avec une valeur minimale de 35826 kJ/h pour un tampon rectangulaire en matériau cellulosique pour un débit massique d'air de 0,3 kg/s.

Et aussi le chercheur BANYAT. N et Bunjerd. P [22]. Ont étudié l'efficacité d'un refroidisseur par évaporation sur divers coussins de refroidissement. Deux types de refroidissement constitués de tissu de rideau et de tissu de coton brut ont été étudiés comparativement. Effet des vitesses du respirateur à 725, 1015 et 1450 tr/min et du débit d'eau de 26,9 litres par minute sur les élèves. Les résultats ont montré que la différence de température moyenne entre l'entrée et la sortie était de 2,9 °C et 1,7 °C pour le tissu de rideau et le tissu de coton brut, respectivement. L'efficacité de saturation des couches de refroidissement en tissu rideau est en jeu de 46,3 à 61,3 % ou en réponse de 54,8 % et de 29,7 à 39,2 %. Il représente 33,2% en moyenne pour le sergé brut.

M. SANTAMOURIS et D. KOLOKOTSA [23] ont mené des recherches sur le refroidissement passif dans les environnements résidentiels, qui a aujourd'hui atteint sa maturité. Le refroidissement passif est obtenu grâce à l'utilisation de technologies de régulation thermique solaire, de contrôle des gains de chaleur et de dissipation de la chaleur. Le contrôle des gains de chaleur est lié à la capacité de stockage thermique de la structure du bâtiment, tandis que les technologies de dissipation de la chaleur sont associées à la capacité d'évacuation de l'excès de chaleur du bâtiment vers des sources environnementales plus froides, telles que le sol, l'eau, l'air ambiant ou le ciel. L'objectif de cet article est de présenter les dernières technologies de pointe en matière de dissipation passive de la chaleur dans le cadre de vie, qui contribuent à améliorer la qualité de l'environnement intérieur et à réduire le besoin de refroidissement. Les différentes technologies sont comparées en termes de contribution à l'efficacité énergétique et au confort de l'utilisateur.

En 2014, MANEGRE Yannick MB KABORE [24] a réalisé une étude bibliographique et des entretiens qui nous ont permis d'évaluer les technologies d'humidification et de ventilation existantes. A travers l'analyse des données d'exploitation existantes et le dimensionnement des équipements existants, nous réalisons une étude comparative des équipements existants et de nos résultats de calcul. Dans l'ensemble, la situation existante différait sensiblement de nos calculs : la pompe et le coussin de refroidissement étaient surdimensionnés, tandis que le ventilateur d'extraction était sous-dimensionné. Ces différences ne sont pas sans implications pour la production et la consommation d'énergie. Cependant avec des propositions d'amélioration telles que l'installation de hottes de cuisine, l'amélioration de la qualité de l'eau et la réduction du volume de climatisation, nous avons démontré qu'il est possible de réduire la consommation d'énergie et d'eau tout en augmentant le rendement et la qualité. En investissant 6 717 500 FCA, nous pouvons récupérer notre investissement en trois (3) mois. Par conséquent, les solutions que nous proposons sont rentables.

Sur la base de l'expérience des opérations de maison et de nos recherches, nous proposons un guide de construction et d'équipement de maison pour le cas des Burkinabè, dans le but de participer à l'amélioration des conditions climatiques à l'intérieur de la maison. CAMPANECO. H et al [25]. L'objectif de ce travail est de développer et de valider une méthode simplifiée de calcul des économies de demande de refroidissement pour les bâtiments grâce à l'utilisation de systèmes de refroidissement passifs basés sur la ventilation (ventilation nocturne directe, échangeurs de chaleur air-air). Cette méthode a été à nouveau validée dans le cadre d'une vaste campagne de simulation numérique d'un immeuble de bureaux à Genève, combinant différents systèmes de refroidissement de différentes tailles, ainsi que différentes configurations de construction et d'exploitation.

Le point clé de la méthode simplifiée est de choisir la bonne résolution temporelle, qui tient compte de l'inertie thermique du bâtiment. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des données journalières, mais de bons résultats sont également obtenus avec des données mensuelles, avec moins de 20% surestimant la fraction de refroidissement passif dans la moitié des cas.

Ces découvertes ouvrent la voie à une première utilisation de la méthode pour évaluer le potentiel des technologies de refroidissement passif spatio-temporel à grande échelle, pour lesquelles la modélisation des bâtiments et des systèmes intégrés est un défi.

En 2015 les scientifiques O. Amer et al [26]. Ont mené une étude approfondie des systèmes de refroidissement commercialement dominants (c'est-à-dire des systèmes consommateurs d'énergie) et ont découvert que les systèmes de compression de vapeur sont conçus pour rétrospectivement Utilise une technologie de refroidissement par évaporation qui offre un confort de refroidissement adéquat et réduit l'impact environnemental, et la consommation d'énergie du bâtiment est faible.

L'examen a été réalisé et cartographié sur les derniers modèles de systèmes de refroidissement par évaporation. L'examen couvre le refroidissement par évaporation directe, le refroidissement par évaporation indirecte et les systèmes de refroidissement direct indirect combinés.

Les refroidisseurs évaporatifs indirects comprennent les refroidisseurs évaporatifs à lampe humide et les refroidisseurs évaporatifs à rosée.

Les refroidisseurs par évaporation ponctuels présentent un intérêt particulier en raison de leurs performances thermiques élevées, de leur température de point de rosée les refroidisseurs évaporatifs présentent un grand potentiel de développement et de recherche pour améliorer l'efficacité et réduire la consommation d'énergie. I. KILIC. [27] il a étudié la consommation d'énergie dans le secteur de la volaille augmente avec l'augmentation de la population et du niveau de vie. Les objectifs de cette étude étaient déterminés la consommation d'énergie, l'efficacité énergétique et la consommation d'énergie dans les élevages de poulets de chair et les élevages de la région de Bursa Les données de la Turquie occidentale ont été collectées au moyen d'un questionnaire basé sur des entretiens administré pour analyse des intrants et extrants énergétiques de 29 élevages de poulets et de 48 élevages de poules pondeuses pour déterminer l'importance de l'énergie. Les différences de consommation entre les élevages de poulets de chair et les élevages de classe ont été déterminées par une analyse de variance.

La consommation des élevages de poulets de chair et de classe s'est avérée être de 438,568 et 516,848 MJ (1000 oiseaux) -1 Respectivement, tandis que la production d'énergie est de 250,401 MJ (1000 oiseaux)-1 pour les élevages de poulets de chair et de 384,690 MJ (1000 oiseaux)-1 pour les élevages de classe. Format il a été constaté que la part des énergies indirectes et renouvelables

dans l'apport énergétique moyen est supérieure à la part des énergies directes et non renouvelables dans toutes les exploitations avicoles étudiées. Parmi ceux-ci, il a été constaté que les aliments représentaient le pourcentage le plus élevé. L'apport énergétique était le même pour les deux types d'élevages avicoles. Les résultats de l'efficacité énergétique indiquent que l'énergie dans les élevages de poulets de chair, ils sont utilisés efficacement, alors que l'utilisation de l'énergie dans les fermes de classe n'a pas été efficace.

En 2016, F. ROJANO et al [28]. Ont réalisé, la ventilation naturelle représente un outil puissant pour améliorer le climat et la qualité de l'air dans les poulaillers si les avantages des conditions météorologiques peuvent être maximisés. Pour cela, cette enquête analyse l'impact de la ventilation naturelle sur la dynamique du climat intérieur d'un poulailler en mettant l'accent sur le rôle joué par les paramètres climatiques extérieurs à l'exception de la direction du vent. Des données expérimentales avec une direction de vent nord-est dominante ont été prises en compte pour identifier sept périodes avec au moins 4 h de direction de vent stable. Trois de ces périodes ont été choisies comme exemples typiques et utilisées pour valider un modèle 3D de dynamique des fluides computationnels (CFD), afin d'intégrer les principaux éléments déterminant le climat intérieur : production de chaleur animale et de vapeur d'eau, transfert de chaleur radiatif et ventilation. Les trois périodes analysées nous ont permis de déduire, à partir des données expérimentales et simulées, l'influence de toutes les autres variables climatiques externes (c'est-à-dire la température, l'humidité absolue, le rayonnement solaire et la vitesse du vent) qui affectaient le climat interne. La précision du modèle CFD à évaluer chacune des trois périodes a atteint une RMSE de 1,3 °C, 1,2 °C et 0,5 °C pour la température interne et une RMSE de 0,9 g [H<sub>2</sub>O] kg<sup>-1</sup> [air sec], 0,6 g [H<sub>2</sub>O] kg<sup>-1</sup> [air sec] et 0,2 g [H<sub>2</sub>O] kg<sup>-1</sup> [air sec] pour l'humidité absolue interne, respectivement. Ensuite, les prédictions du modèle CFD 3D ont été analysées, en utilisant le concept de temps de séjour dans l'air pour estimer les taux de ventilation, et également pour étudier les échanges de chaleur sensible et latente.

En 2017, les chercheurs C. BAXEVANOU et al [29]. Ont étudié les bâtiments d'élevage, où il a été constaté qu'ils consomment de l'énergie et détériorent l'environnement directement par leurs émissions et indirectement par la consommation de ressources naturelles et la contribution de consommation d'énergie à la production totale. Le coût augmente avec le niveau de mécanisation et le coût de l'énergie conventionnelle augmente. En termes de consommation d'énergie finale l'énergie par unité de surface oscille entre 30 et 130 kWh/m<sup>2</sup> et en termes d'énergie primaire entre 70 et 180 kWh/m<sup>2</sup>.

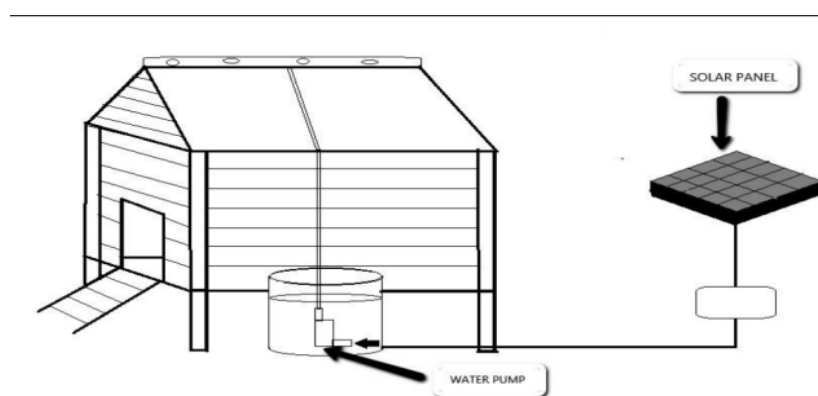
En 2018, Saleh S et al [30]. Ont mené une étude dans la région désertique (Riyad), caractérisée par de grands changements de températures quotidiennes et saisonnières. Le refroidissement de l'air par compression mécanique de vapeur est nocif pour l'environnement en raison de ses besoins énergétiques élevés. L'utilisation de méthodes de refroidissement non traditionnelles telles que le refroidissement par évaporation est attrayante et nécessite des recherches supplémentaires, en particulier dans des conditions météorologiques aussi extrêmes. Cet article analyse les performances du refroidissement par évaporation directe dans des conditions climatiques chaudes et sèches. Tout d'abord, un modèle théorique utilisant le transfert de chaleur et de masse, la chaleur et l'analyse des coûts est développé et présenté. Ces modèles sont systématiquement validés à l'aide des résultats expérimentaux et théoriques d'études antérieures. Dans la deuxième partie, les performances d'un refroidisseur à évaporation directe ont été analysées en utilisant la température moyenne horaire de l'air et l'humidité relative en juillet dans les conditions climatiques de la péninsule arabique centrale (Riyad, Arabie saoudite). Les paramètres de fonctionnement optimaux du refroidisseur sont ensuite déterminés. L'analyse a montré que l'effet de l'efficacité du refroidisseur sur l'efficacité énergétique n'est pas significatif. La valeur optimale de l'efficacité d'un refroidisseur par évaporation fonctionnant sous air d'été dans la zone d'étude a été trouvée entre 0,7 et 0,8. Ces valeurs offrent des conditions confortables à moindre coût .et Patil, V. et Modi, M [31] ont étudié rapidement la consommation d'énergie dans le monde et il est urgent de développer des moyens de conserver l'énergie pour la génération future.

Le système de refroidissement conventionnel consomme une très grande quantité d'énergie (environ 1,5 kW) Aussi pour le refroidissement, les refroidisseurs par évaporation sont la meilleure option. Le coût des refroidisseurs par évaporation est faible et ils consomment également moins d'énergie que ceux à courant alternatif. Il contient une très grande quantité de l'humidité à cause de cela, lorsqu'un individu est assis dans l'air des refroidisseurs par évaporation, il remplit la viscosité de son corps, ce qui est une condition confortable, de sorte que les travaux de ce projet incluent la fabrication et la conception de l'unité divisée qui n'augmentera pas l'humidité du l'air, il maintiendra la pièce dans des conditions confortables en recyclant l'air de la pièce à travers une unité séparée.

En 2019, S. Khalid et al. [32] Ont développé sur la température à l'intérieur du poulailler, où le poulailler doit être contrôlé pour le protéger des températures extrêmes. La plupart de la technologie utilise l'énergie électrique fournie pour le refroidissement par évaporation.

Système de contrôle de la température Coop. Cet article présente un système de refroidissement indépendant pour poulailler utilisant des énergies renouvelables et du recyclage de l'eau (REMAKT). Dans cette étude, la nécessité d'un système de surveillance matérielle, d'une

application de contrôle, alimentée par une source solaire et d'eau Recyclage, développé. Le système de refroidissement proposé comprend une partie du matériel tel qu'un système de contrôle de l'Internet des objets (IOT), un capteur de température, des panneaux solaires, une pompe à eau, un réservoir d'eau et des tuyaux d'évacuation d'eau. Lorsque le capteur de température détecte une température maximale supérieure à 28 °C dans un poulailler, l'eau du réservoir de stockage coulera partout tuyau et passe à la pompe à eau avant d'irriguer le toit du poulailler. Lorsque la température est inférieure à 22 ° C, la lampe s'allume pour transférer la chaleur à Poulailler et faire redescendre la température à un niveau sain. Le drain d'eau fixé au toit recueillera l'eau et retournera l'eau retourne à nouveau dans le réservoir. Composants logiciels requis Par projet ARDUINO IDE, Thinger.io et Android Studio Framework. De nombreuses expériences ont été réalisées avec des scénarios chauds et froids. Le système a pu stabiliser la température dans une plage saine, le résultat du test d'utilisabilité montre un taux satisfaisant de 80%. Les résultats des expériences ont montré que l'Internet des objets, les énergies renouvelables et le recyclage de l'eau, Il a la capacité de contrôler la température du poulailler.



**Figure I.6 :** *Cadre de mise en œuvre de REMACT [32].*

En 2020, Abdel-Rahman, S. G, [33] réalisation d'une expérience pour évaluer l'efficacité de différents systèmes de refroidissement par évaporation avec contrôle environnemental dans les poulaillers. L'efficacité de deux systèmes de refroidissement par évaporation différents (refroidissement direct et indirect) a été évaluée dans les trois conditions suivantes :

Débits d'eau de 2, 4 et 6, l/min par mètre carré évalué en termes de température, humidité relative efficacité du refroidissement par évaporation, poids des poussins et réduction de l'alimentation. Économie d'énergie et de coûts. Les résultats expérimentaux montrent que les systèmes de refroidissement par évaporation directe 4 Système de refroidissement par évaporation indirecte avec

débit d'eau de 1 L/min m<sup>2</sup>, débit d'eau de 2 (L/min) Fournir des conditions appropriées pour les basses températures (9,59 °C et 7,28 °C), l'humidité relative (63,88 % et 61,21 %), le refroidissement et les économies d'énergie et 61,21 %), efficacité de refroidissement (75,67 % et 83,67 %), poids des poussins (2,4 et 2,3 kg).

Consommation d'énergie (1,2 et 6 kWh/j) et rendement net (7,54 et 5,80 lb/kg). Sur la base des résultats présentés ci-dessus, les systèmes de refroidissement par évaporation directe sont recommandés car ils réduisent les besoins et les coûts énergétiques par rapport aux systèmes de refroidissement par évaporation indirecte, Il convient donc aux petits exploitants des zones rurales.

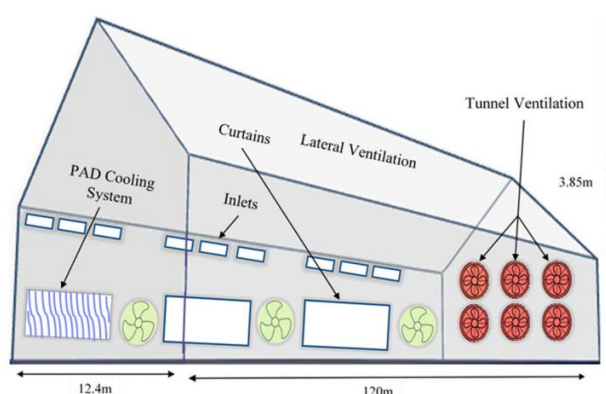


**Figure I.7 :** Représentation graphique du poulailler utilisé [33].

Récemment dans les deux dernières années, JARADAT, M et al. [34] ont effectué une analyse numérique des performances des systèmes de dessiccation de liquide sur les conditions d'alimentation en air des poulaillers fermés. . Un refroidisseur par évaporation disponible dans le commerce pour les poulaillers a été modifié en un déshumidificateur déshydratant en faisant circuler des solutions déshydratantes de LiCl-H<sub>2</sub>O et CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O au lieu d'eau. Les conditions de l'air ambiant pour un climat subtropical humide ont été simulées sur la base du modèle d'efficacité  $\epsilon$ -NTU pour un déshumidificateur liquide déshydratant refroidi de l'extérieur. Un indicateur distinctif de température et d'humidité a été appliqué pour étudier les conditions environnementales thermiques auxquelles la volaille était exposée. En ce qui concerne le confort thermique des poulets de chair, les résultats montrent que les systèmes classiques de refroidissement par évaporation directe ne sont pas envisageables lorsque l'air ambiant est proche de la saturation. Les valeurs THI pour le refroidisseur à évaporation ambiante et directe ont été principalement placées dans la région de stress thermique extrême avec la valeur THI dans la plage de 80 à 82 et la plupart des conditions de sortie d'air étaient proches de la saturation. Les résultats numériques pour les systèmes de séchage liquide montrent une diminution constante de l'humidité et de la température de l'air sec.

En 2023, des chercheurs, dont N. Elghardouf et al. [35], ont consacré leur attention à l'amélioration de l'environnement, des systèmes de contrôle et de la qualité de l'air dans les poulaillers. Ils ont

entrepris une série d'études portant sur le climat local et la qualité de l'air afin de mieux appréhender ces aspects. Toutefois, on constate qu'il existe un manque de recherches concernant l'évaluation de la pression et du débit d'air à l'intérieur des poulaillers, qui sont des facteurs cruciaux ayant un impact sur l'environnement d'élevage et la productivité. L'objectif de cette étude est de développer un modèle mathématique pour étudier la pression différentielle et le débit d'air dans le poulailler. Cette étude présente un modèle d'oiseau qui utilise l'équilibre thermique et les propriétés de l'air pour simuler les conditions dans un environnement côtier méditerranéen bien ventilé. Le modèle prend en compte l'âge de l'oiseau et les conditions thermiques telles que la température de l'air intérieur, l'humidité, la vitesse de l'air et la pression différentielle. Les résultats montrent que les pressions différentielles varient de négatives à positives (-5 à 39 Pa) et que les oiseaux sont soumis à des vitesses d'air allant de 0,09 à 1,641 m/s. Les résultats, basés sur trois modes de contrôle (naturel, force et tunnel), confirment la précision du modèle avec une erreur relative de 1,03 % pour la pression différentielle, 0,68 % pour la vitesse du vent et des erreurs quadratiques moyennes normalisées (NMSE) de 1,06 Pa et 0,19 m/s.



**Figure I.8 :** Schéma d'un système d'humidificateur d'air d'un poulailler [35].

### I.3 Conclusions

Il est essentiel de concevoir des poulaillers offrant un environnement propice au bien-être des poulets pour assurer leur santé. Les conditions extrêmes telles que le stress thermique, une ventilation inadéquate et une mauvaise qualité de l'air peuvent réduire la durée de vie des poulets. En résumé, l'étude bibliographique sur l'humidificateur d'air a recueilli des informations précieuses sur son fonctionnement, ses avantages et ses applications potentielles. Les recherches ont démontré que l'humidification de l'air joue un rôle essentiel dans l'amélioration des performances et de la productivité dans les poulaillers.

## Chapitre II :

# Généralités sur les techniques de refroidissement de poulaillies

## **II.1 Introduction**

Ce chapitre examine les techniques de refroidissement des poulaillers, qui jouent un rôle crucial dans le maintien d'une température appropriée pour le bien-être et la productivité des volailles. Le stress thermique causé par des températures élevées peut avoir des conséquences néfastes sur la santé, le comportement et les performances des poulets [36-40]. Différentes approches sont présentées, telles que la ventilation naturelle, les brumisateurs, les systèmes de refroidissement par évaporation et d'autres solutions innovantes. Les considérations clés lors de la sélection et de la mise en œuvre de ces techniques comprennent la taille du poulailler, les conditions climatiques, les coûts énergétiques et les contraintes spécifiques à chaque exploitation avicole. En comprenant les principes fondamentaux et les options disponibles, les éleveurs seront en mesure de prendre des décisions éclairées pour assurer le confort, la santé et la productivité des volailles. Ce chapitre fournit une base solide de connaissances, offrant aux éleveurs des informations essentielles pour créer des environnements avicoles favorables et améliorer la performance globale de leur élevage.

## **II.2 Climat dans les poulaillers**

Le climat à l'intérieur des poulaillers joue un rôle essentiel dans le bien-être et la santé des humains et des oiseaux. Des conditions climatiques inadéquates peuvent entraîner des troubles respiratoires, digestifs et comportementaux chez les volailles. La santé du troupeau est directement liée à l'efficacité de l'utilisation des aliments. Des animaux en mauvaise santé ne peuvent pas atteindre leur plein potentiel de performance. Les jeunes animaux et ceux ayant une production élevée sont particulièrement sensibles aux conditions climatiques dans le bâtiment. Le climat peut être défini comme l'ensemble des facteurs environnementaux qui affectent le fonctionnement de l'homme et de l'animal [38].

### **II.2.1 Facteurs climatiques**

Les paramètres suivants doivent être mesurés au niveau du poulailler pour améliorer l'efficacité thermique et augmenter la production avicole [36].

- Température.
- Humidité relative.
- Composition de l'air.
- Vitesse de l'air et mouvement de l'air.
- Lumière.

### **II.2.2 Facteurs influençant les conditions climatiques et le microclimat des oiseaux**

Le climat à l'intérieur d'une maison peut être influencé par plusieurs facteurs tels que l'isolation du toit, des murs et du sol, la ventilation, le chauffage, le refroidissement et l'éclairage. Le climat qui entoure directement les oiseaux, connu sous le nom de microclimat, est d'une importance primordiale

pour eux. Il est possible que le climat général de la maison soit acceptable, mais que le climat spécifique au niveau des oiseaux ne soit pas optimal. Par exemple, les niveaux de CO<sub>2</sub> peuvent être beaucoup plus élevés au niveau des oiseaux qu'à une hauteur de 2 mètres, car le CO<sub>2</sub> est un gaz lourd. Un autre exemple concerne les anneaux de couvaion. L'utilisation d'anneaux de couvaion permet de réduire la température dans le bâtiment tant que la température au niveau des poulets, sous les anneaux, reste adéquate. Ce principe est mis en œuvre pour réduire les coûts de chauffage. Cependant, il est important de peser les avantages et les inconvénients, car bien que les anneaux de couvaion permettent d'économiser de l'énergie, ils nécessitent souvent plus de main-d'œuvre pour leur fabrication et leur gestion [42].

### **II .2.3 Température**

Les pondeuses sont à sang chaud (homéo thermiques), c'est-à-dire que dans une certaine plage, leur température corporelle est assez constante. En moyenne, la température corporelle des oiseaux se situe entre 41°C et 42,2°C. La température corporelle est maintenue assez constante et est régulée par une partie du cerveau du poulet (l'hypophyse). Cette partie du cerveau est comparable à un thermostat. La contraction et l'élargissement des vaisseaux sanguins ainsi que la vitesse de la respiration influencent l'émission et la rétention de chaleur, ce qui, par conséquent, influe sur la température corporelle. Il faut un certain temps avant que les mécanismes de régulation de la chaleur ne commencent à fonctionner chez les animaux nouveau-nés, et ils ont donc besoin d'une température ambiante plus élevée que les animaux adultes. De plus, le rapport entre la surface et le poids des jeunes animaux est défavorable, et ils n'ont pas de réserves de graisse [37].

### **II.2.4 Zones de température**

La zone de confort correspond à la plage de température dans laquelle les oiseaux peuvent maintenir leur température corporelle constante avec peu d'effort. Ce comportement change lorsque les températures dépassent ou tombent en dessous de cette zone, les oiseaux haletant ou se regroupant pour réguler leur température.

La zone thermo-neutre est la plage de température dans laquelle les oiseaux peuvent maintenir leur température corporelle constante grâce à la régulation physique de la chaleur. Cette zone dépend de facteurs tels que l'alimentation et les conditions de logement. Lorsque la température descend en dessous de la température critique la plus basse (LCT), les oiseaux utilisent de l'énergie supplémentaire pour se réchauffer et consomment davantage d'aliments. À l'inverse, lorsque la température dépasse la température critique la plus élevée (HCT), les oiseaux ont du mal à dissiper leur chaleur, consomment moins d'aliments et voient leur production diminuer. Les températures

critiques dépendent de nombreux facteurs, tels que l'âge, le poids, le système de logement, le niveau d'alimentation, l'humidité relative, la vitesse de l'air et la santé des oiseaux [43].

### **II.2.5 Humidité relative**

Les notions suivantes sont employées pour évaluer l'humidité de l'air à l'intérieur des poulaillers :

- Humidité absolue égale aux grammes d'humidité présente dans 1 m<sup>3</sup> d'air.
- Humidité maximale égale aux grammes d'humidité maximum pouvant être présents dans 1 m<sup>3</sup> d'air à une température donnée.
- Humidité relative égale à la relation entre la teneur en humidité de l'air et la teneur en humidité maximale à la température actuelle de l'air exprimée en pourcentages.

#### **a)- Mesurer l'humidité :**

L'humidité relative à l'intérieur des poulaillers est mesurée afin de déterminer si les problèmes respiratoires sont causés par une humidité relative excessive ou insuffisante. Lorsque l'humidité relative est trop élevée, cela peut entraîner l'accumulation de condensation à l'intérieur de la structure, ce qui a un impact direct sur la prolifération des micro-organismes.

#### **b)- Mesurer et contrôler l'humidité**

Il existe plusieurs façons de mesurer la teneur en humidité de l'air dans un poulailler, la plus courante étant le psychromètre à bulbe sec/humide ou l'hygromètre mécanique [45]. La mesure de la teneur en humidité de l'air peut être utile, mais la mesure de l'humidité entraîne des coûts relatifs plus élevés que la mesure de la température seule. Pour cette raison, la teneur en humidité de l'air n'est pas couramment mesurée.

L'humidité est contrôlée par le chauffage ou le refroidissement intense de l'air de la maison en réponse à la température à l'extérieur de la maison. Lorsque les températures extérieures sont basses, l'humidité relative dans la maison est faible, ce qui entraîne souvent la circulation de poussière sèche dans l'air à l'intérieur de la maison. Si l'humidité relative est trop élevée, cela peut entraîner une litière humide. L'humidité relative idéale pour la volaille est de 60 à 80 %.

### **II.3 Systèmes de refroidissement par évaporation :**

Dans de nombreuses grandes zones de production avicole, le stress thermique est un problème pendant les mois d'été. Différents types de systèmes ont été testés et utilisés, mais le refroidissement par évaporation en utilisant des tampons (cellulose et copeaux de bois), des disques rotatifs et des brumisateurs à haute ou basse pression s'est avéré le plus prometteur.

Le refroidissement par évaporation est un processus dans lequel aucune chaleur n'est gagnée ou perdue pendant le processus de refroidissement thermodynamique. C'est ce qu'on appelle un

processus de saturation adiabatique. La chaleur sensible utilisée pour évaporer l'eau se transforme en chaleur latente, ce qui abaisse la température de l'air sec [46].

Des températures élevées, une humidité élevée et un rayonnement solaire affectent négativement la productivité des oiseaux. La production diminue considérablement lorsque la température dépasse 28 °C. Les oiseaux augmentent la perte de chaleur par évaporation lorsque la température ambiante augmente à des niveaux où ils ne peuvent pas dissiper efficacement la chaleur corporelle métabolique par convection, conduction et rayonnement. Le transfert de chaleur sensible dépend de la différence de température, tandis que le transfert de chaleur latente dépend de la différence de pression de vapeur et du mouvement de l'air. Dans certains pays, la température estivale peut atteindre 50 °C (avec une humidité relative de 20 %, la température de l'air sec serait de 40 °C si le système de refroidissement par évaporation a une efficacité de 60 %).

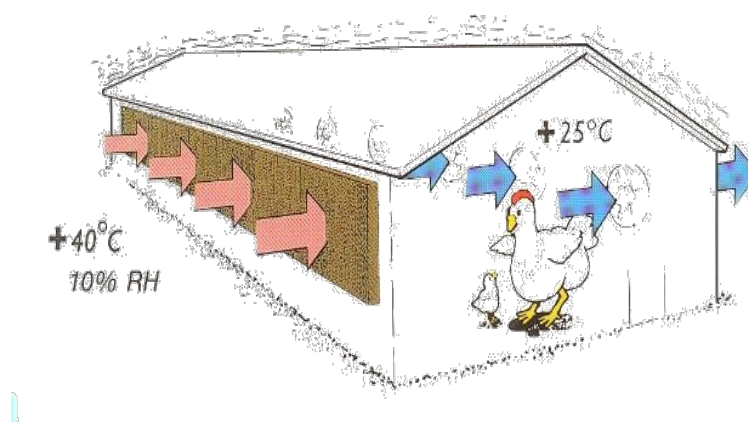
Cependant, le refroidissement par évaporation peut ne pas suffire à réduire la température de l'air, même lorsque l'humidité relative est faible. Cela peut se produire lorsque le système de refroidissement par évaporation n'est pas suffisamment efficace pour réduire la température (<60 %), en raison de mauvaises conditions d'isolation du poulailler, d'une mauvaise orientation et conception du bâtiment, d'un système de ventilation inadéquat et d'une densité élevée d'oiseaux. Dans certains pays, il n'y a pas de production avicole en juin, juillet et août, ou la densité d'oiseaux atteint 3 oiseaux/m<sup>2</sup>. Cela signifie qu'il n'y a aucun rendement pendant ces mois, même si vous devez supporter les coûts fixes et certains coûts variables. Cela entraîne des coûts supplémentaires à l'avenir pour compenser la perte de revenus pendant les mois d'été. Lorsque la température de l'air extérieur est supérieure à 30 °C, il devient impossible de réduire la température intérieure.

Dans une telle situation, le refroidissement à deux étages par ventilation est le meilleur choix, mais certains critères doivent être pris en compte pour justifier l'utilisation de ce système. La température du sol est l'un des facteurs les plus importants et limitants qui influencent la conception et les performances du système d'échangeur de chaleur souterrain à tubes. La température du sol varie en fonction du type de sol, de la profondeur, de la teneur en humidité, de la période de l'année et de l'emplacement géographique. La variation de température diminue à mesure que la profondeur augmente. La période de l'année est également importante, car la température du sol réagit avec retard aux changements de température de surface en raison de la capacité de stockage de chaleur du sol. En hiver, la température du sol à 3 mètres de profondeur correspond à la saison d'automne, ce qui rapproche la température du sol de la température annuelle moyenne, améliorant ainsi les capacités de chauffage. Pendant les mois d'été, la température du sol à 3 mètres de profondeur est semblable à celle du printemps, ce qui peut refroidir l'air de ventilation.

Le type de sol et la teneur en humidité affectent également la variation de température du sol. Les sols avec une plus grande proportion de sable ont tendance à présenter des variations de température à des profondeurs plus importantes que les sols argileux. L'humidité du sol et le niveau de la nappe phréatique affectent également la température du sol. Les variations saisonnières de température sont plus marquées dans les sols très humides en raison de l'augmentation du transfert de chaleur à travers les vides remplis d'eau. Les précipitations saisonnières peuvent également influencer la température du sol en hiver [47].

En cas de conditions chaudes, il y a moins d'alternatives à essayer. Les moyens pratiques pour faire face aux conditions climatiques chaudes sont le refroidissement par évaporation (le plus efficace en cas de faible humidité) et la circulation de l'air pour maximiser la perte de chaleur sensible tant que la température de l'air ambiant est inférieure à celle du corps des animaux. Faire circuler davantage d'air dans le poulailler lorsque la température extérieure dépasse 29 °C ne résout pas le problème d'offrir un environnement confortable aux oiseaux. Les climats chauds et secs sont plus adaptés au refroidissement par évaporation car l'humidité relative y est plus faible.

Le refroidissement par évaporation (refroidissement de l'air par évaporation de l'eau) peut être efficace dans la plupart des climats pour la plupart des jours. L'humidité relative est généralement la plus basse pendant la période la plus chaude de la journée, ce qui permet d'utiliser le refroidissement par évaporation pour abaisser la température de l'air à l'intérieur des poulaillers. Cependant, il y a parfois des journées où l'humidité reste élevée toute la journée, rendant le refroidissement par évaporation moins efficace et donc moins utilisé. Il existe plusieurs façons d'utiliser le système de refroidissement par évaporation, la plupart impliquant des ventilateurs. Différents systèmes de refroidissement par évaporation sont utilisés pour assurer la ventilation des poulaillers, et le plus efficace est décrit ci-dessous.

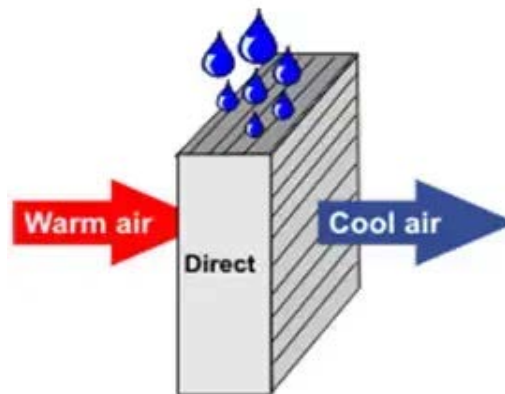


**Figure II.1 :** Schéma représente un système de refroidissement par évaporation.

### II.3.1 Refroidissement par évaporation directe DEC :

C'est le type de système EC le plus simple et le plus ancien dans lequel l'air ambiant entre directement en contact avec le courant d'air pour réduire la température. L'évaporation continue de l'eau provoque un effet de refroidissement jusqu'à un point de saturation où l'enthalpie de l'air reste la même, tandis que le taux d'humidité augmente tout au long du processus. Ces jets d'eau sont projetés à partir de tubes métalliques ou plastiques communément appelés "pads" qui servent de murs d'enceinte. L'air ambiant est arrosé d'eau et ainsi refroidi et humidifié. Le jet d'eau est injecté à l'aide d'une pompe, et les gouttelettes d'eau du mur sont attirées vers le bas par la force de gravité et l'action capillaire.

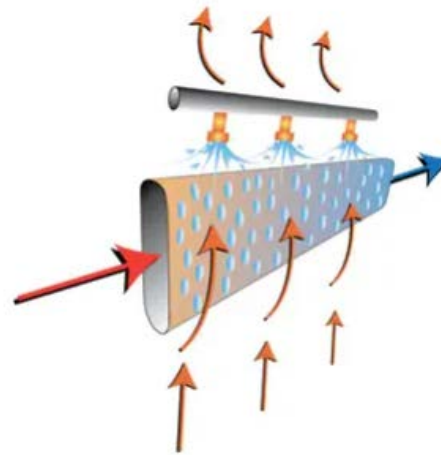
Le système DEC a le potentiel de réduire la température ambiante jusqu'à la température de bulbe humide avec une efficacité de 75 à 95 % [31,45]. La figure montre le principe de fonctionnement du système DEC. Dans les climats secs, le système DEC fonctionne avec une efficacité d'environ 80 %, comme indiqué dans [39].



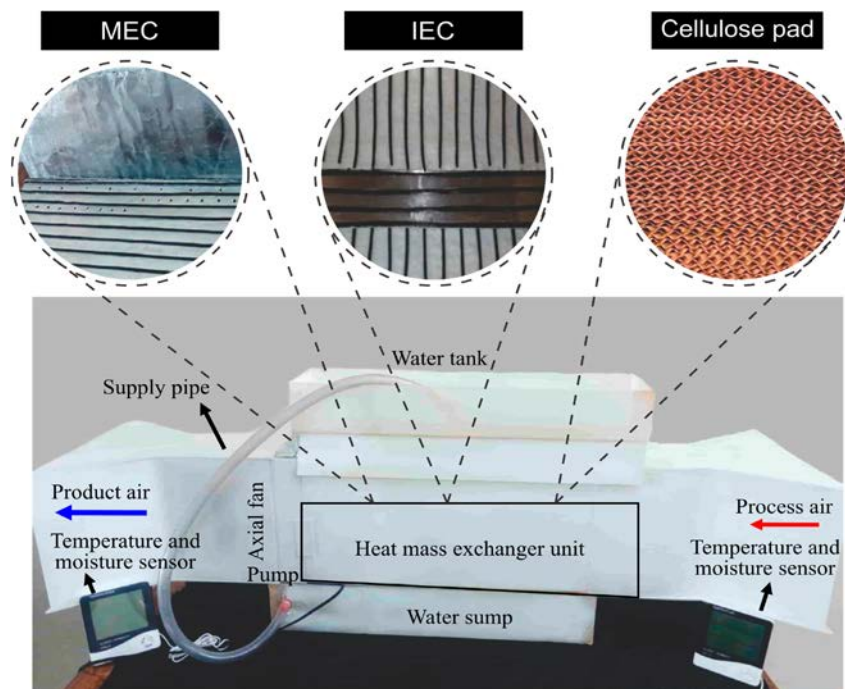
**Figure II.2 :** *Un système de refroidissement par évaporation directe DEC.*

### II.3.3 Refroidissement indirect par évaporation CEI :

Il s'agit d'un système dans lequel le phénomène de transfert de chaleur et de masse a lieu sans apport d'humidité, fonctionnant sur le principe du refroidissement sensible. Dans ce système, l'effet de refroidissement est produit par le refroidissement isenthalpique dans le canal sec, où le transfert de chaleur sensible se produit. Dans les systèmes IEC, l'air traité passe du côté sec tandis que l'air de travail passe du côté humide. Dans le cas des systèmes DEC, l'air conditionné est obtenu, mais avec un taux d'humidité relative élevé. Pour atteindre une humidité absolue constante, les systèmes IEC sont préférés. La figure III.3, illustre le principe de fonctionnement d'un système IEC. Le système IEC peut réduire la température jusqu'à la température de bulbe humide [48].



**Figure III.3 :** Le principe de fonctionnement d'un système IEC.



**Figure.II.4 :** Modèles à l'échelle du laboratoire pour le refroidissement par évaporation directe (DEC), le refroidissement par évaporation indirecte (IE), Systèmes de refroidissement par évaporation à cycle (MEC) [48].

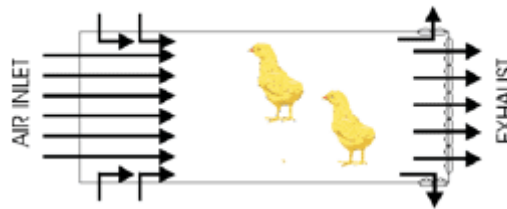
### II.3.3 Refroidissement par évaporation à cycle M (MEC)

La technique de refroidissement par évaporation Maisotsenko-Cycle (M-Cycle) est une méthode avancée permettant d'atteindre la température du point de rosée par rapport aux deux autres systèmes traditionnels où la limite de refroidissement atteint la température du bulbe humide. Dans ce système, l'effet de refroidissement est produit par le refroidissement par évaporation et le transfert de chaleur, où la température du point de rosée est atteinte au lieu de la température du bulbe humide.

Ce système comprend trois canaux, dans lesquels le canal humide est pris en sandwich entre les deux canaux secs. L'air ambiant se refroidit en raison du transfert de chaleur convectif entre les canaux sec et humide lorsqu'il traverse le canal sec. Dans ce système, le taux d'humidité de l'air d'entrée et de sortie reste le même, tandis que l'enthalpie diminue. Les systèmes expérimentaux étudiés ont été développés à l'échelle du laboratoire et analysés pour la climatisation des volailles. Cependant, lorsqu'ils sont développés à grande échelle, des facteurs tels que la chute de pression, la puissance du ventilateur, la disponibilité d'eau douce pour les refroidisseurs par évaporation, la disponibilité du milieu d'évaporation, la direction de l'installation du système dans le poulailler et la consommation d'énergie doivent être prise en considération.

### II.3.4 La ventilation Tunnel

La ventilation tunnel est un système où les ventilateurs d'extraction sont situés à une extrémité de la maison et deux grandes ouvertures sont installées à l'extrémité opposée. L'air est aspiré à travers ces ouvertures, vers le bas de la maison et vers les ventilateurs, comme une soufflerie (voir la figure II.5)



**Figure II.5 :** Schéma de système de la ventilation du tunnel [39].

La ventilation en tunnel est un type de système d'extraction qui utilise des ventilateurs pour déplacer l'air à travers les sorties d'air, créant une pression d'air réduite à l'intérieur de la maison. L'air extérieur est ensuite forcé à entrer par les entrées d'air situées à une extrémité de la maison et se déplace rapidement à travers toute la longueur de la maison. Ce mouvement d'air rapide crée un effet de refroidissement éolien qui peut réduire la température jusqu'à 10 °F. Cependant, la ventilation en tunnel nécessite plus de ventilateurs que les maisons à rideaux typiques, ce qui entraîne des coûts opérationnels supplémentaires. Il est important de noter que la ventilation en tunnel n'est pas adaptée à une utilisation par temps froid, car elle peut entraîner des variations importantes de température, d'humidité et de contaminants dans la maison. Pour des températures plus basses, un système de refroidissement par évaporation peut être utilisé en complément de la ventilation en tunnel.

### **II.3.5 Système EC (Brumisateur) :**

An ce s'est éloignée de la nébulisation interne, qui comporte des exigences de GE sont le plus souvent utilisés : les systèmes de nébulisation interne, de tampon pulvérisé et de tampon de recirculation. La brumisation interne est le type de système le plus ancien et se présente dans un certain nombre de configurations différentes avec des niveaux d'efficacité très variés.

La tentation très élevées, vers le refroidissement des tampons et, plus récemment, vers des systèmes de tampons à recirculation à haut rendement, qui ont les exigences de gestion opérationnelle les plus faibles. Voici un bref aperçu des caractéristiques, avantages et inconvénients les plus importants et des caractéristiques opérationnelles de ces systèmes.

Les buses de brumisation sont utilisées pour créer un fin brouillard d'eau dans le flux d'air du tunnel, ce qui provoque un refroidissement par évaporation. Elles sont généralement installées latéralement à travers la maison, en rangées successives, mais peuvent également être montées à l'intérieur des entrées d'air. Une pompe de surpression est nécessaire pour fournir de l'eau à haute pression (160-200 psi) aux buses, qui sont généralement conçues pour une pression de 85 psi. En règle générale, 15 à 20 buses de brumisation sont nécessaires pour chaque ventilateur de 48 pouces installé dans une maison. Les lignes de brumisation sont ajustées en fonction de la température de l'air et de l'humidité relative. Cependant, la brumisation interne nécessite une gestion stricte, car elle nécessite une surveillance pour s'assurer que l'effet de refroidissement souhaité est atteint tout en évitant de mouiller les oiseaux et la litière. Les buses peuvent se boucher fréquemment, nécessitant une vérification régulière, et la qualité de l'eau doit être prise en compte avec une filtration appropriée du système [40].

### **II.4 Systèmes de refroidissement à tampon humide**

Ces systèmes fonctionnent en ajoutant de l'humidité dans le flux d'air en mouillant les coussins placés sur les entrées d'air des tunnels. L'efficacité du refroidissement dépend de la correspondance entre la surface totale des coussins et la capacité du ventilateur installé. Une vitesse d'air plus faible à travers les coussins humides permet une meilleure capture d'humidité, ce qui augmente l'efficacité de refroidissement et réduit la pression statique. Une vitesse d'air plus élevée à travers les coussins diminue l'efficacité de refroidissement et augmente la pression statique. Il est important de prendre en compte la chute de pression statique à travers les coussins, car cela peut affecter la puissance des ventilateurs. La surface des coussins est supérieure à la section transversale de la maison, ce qui ralentit l'air lorsqu'il passe à travers les coussins. Il est crucial de respecter les spécifications du fabricant pour garantir la vitesse de l'air souhaitée, sinon une chute de pression statique peut se produire. Une erreur courante dans les installations de ces systèmes est de ne pas prévoir

suffisamment d'espace pour les coussins, ce qui entraîne une pression statique élevée et une performance inadéquate du système de refroidissement.

#### **II.4.1 Tampons à vaporiser**

Ces systèmes, utilisant des buses de brumisation pour mouiller les tampons placés au-dessus des entrées d'air du tunnel, peuvent généralement atteindre une efficacité supérieure à celle des brumisateur internes et sont moins chers à installer que les systèmes de recirculation. L'humidité est évaporée à la fois par la brumisation dans le flux d'air et à partir du tampon mouillé. Un tampon de pulvérisation en papier de 2 pouces est le plus souvent choisi, bien que certains systèmes utilisent des tampons de montre les courbes d'efficacité par rapport à la pression statique pour un tampon typique de 2 pouces à différentes vitesses d'air.

Étant donné que des buses de brumisation sont utilisées, ces systèmes partagent certains des inconvénients de la brumisation interne, en ce qui concerne la qualité de l'eau et le colmatage, et le niveau élevé de gestion requis. Si les brumisateur ne produisent pas la quantité d'eau nécessaire, le refroidissement nécessaire ne se produira pas. Le personnel doit surveiller le système et les conditions, vérifier les buses obstruées, allumer et éteindre le système, etc., pour obtenir constamment la bonne quantité d'eau s'évaporant dans le flux d'air, en fonction de la température et de l'humidité relative de l'air entrant. D'autre part, le système ne doit pas être autorisé à fournir trop d'eau.

Le ruissellement des eaux usées autour du poulailler, en particulier, peut être un problème sérieux avec les tampons pulvérisés s'ils ne sont pas correctement gérés. Dans certaines régions, les réglementations légales interdisent complètement ce rejet.

#### **II.4.2 Tampons de recirculation**

La tuyauterie d'alimentation des systèmes de recirculation utilise des trous plus larges que les buses de nébulisation (environ 1/8 de pouce ou plus), ce qui évite les problèmes de colmatage tant que l'entretien régulier est effectué. L'eau non évaporée des tampons est collectée au bas de l'unité et renvoyée à la pompe. Contrairement aux systèmes de pulvérisation sur les tampons, les systèmes de recirculation n'ont pas besoin d'être activés ou désactivés pour contrôler le refroidissement et prévenir l'écoulement de l'eau. Ils peuvent être actionnés manuellement ou par le biais d'un contrôleur lorsque la température de l'air dans la maison atteint un seuil spécifique. Les systèmes de recirculation peuvent également utiliser des tampons plus épais, ce qui offre une plus grande surface mouillée à traverser pour l'air, favorisant ainsi l'évaporation de l'eau de refroidissement [49].

## **II.5 Conclusion**

En conclusion, les techniques de refroidissement pour les poulaillers sont essentielles pour maintenir le confort thermique et prévenir les effets néfastes de la chaleur sur la santé et les performances des poulets. Différentes méthodes telles que la ventilation tunnel, le refroidissement par évaporation et l'utilisation de coussins de refroidissement peuvent être utilisées, chacune avec ses avantages et considérations spécifiques. Le choix de la méthode appropriée dépend des conditions climatiques, de la taille du poulailler et des besoins des poulets. Une maintenance régulière et une surveillance attentive sont nécessaires pour assurer un fonctionnement optimal des systèmes de refroidissement. En combinant une bonne gestion des techniques de refroidissement avec une alimentation adaptée et d'autres pratiques d'élevage, il est possible d'améliorer le bien-être des poulets et d'optimiser leur productivité, surtout dans les environnements chauds et arides.

## Références Bibliographiques

- [1] Viannay, S., & Moureau, J. C. (1979). Le refroidissement par pulvérisation. *La Houille Blanche*, (6-7), 367-375.
- [2] Hurwitz, S., Weiselberg, M., Eisner, U., Bartov, I., Riesenfeld, G., Sharvit, M., ... & Bornstein, S. (1980). The energy requirements and performance of growing chickens and turkeys as affected by environmental temperature. *Poultry Science*, 59(10), 2290-2299.
- [3] Bottcher, R. W., Baughman, G. R., & Kesler, D. J. (1989). Evaporative cooling using a pneumatic misting system. *Transactions of the ASAE*, 32(2), 671-6683.
- [4] Bottcher, R. W., Driggers, L. B., Carter, T. A., & Hobbs, A. O. (1992). Field comparison of broiler house mechanical ventilation systems in a warm climate. *Applied Engineering in Agriculture*, 8(4), 499-508.
- [5] Belding, W. A., & Delmas, M. P. (1997). Desiccant Cooling System indirect Evaporative Cooler.
- [6] UĞURLU, N., & KARA, M. (2000). The cooling performance of wet pads and their effect on reduction of the inside temperature a cage house. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24(1), 79-86.
- [7] Paschold, H., Li, W. W., Morales, H., & Walton, J. (2003). Laboratory study of the impact of evaporative coolers on indoor PM concentrations. *Atmospheric Environment*, 37(8), 1075-1086.
- [8] Camargo, J. R., Ebinuma, C. D., & Silveira, J. L. (2003). Thermo-economic analysis of an evaporative desiccant air conditioning system. *Applied thermal engineering*, 23(12), 1537-1549.
- [9] Mashaly, M. M., Hendricks 3rd, G. L., Kalama, M. A., Gehad, A. E., Abbas, A. O., & Patterson, P. H. (2004). Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. *Poultry science*, 83(6), 889-894.
- [10] Lomas, K. J., Fiala, D., Cook, M. J., & Cropper, P. C. (2004). Building bioclimatic charts for non-domestic buildings and passive draught evaporative cooling. *Building and environment*, 39(6), 661-676.
- [11] Camargo, J. R., Ebinuma, C. D., & Silveira, J. L. (2005). Experimental performance of a direct evaporative cooler operating during summer in a Brazilian city. *International journal of Refrigeration*, 28(7), 1124-1132.
- [12] Camargo, J. R., Ebinuma, C. D., & Cardoso, S. (2006). Three methods to evaluate the use of evaporative cooling for human thermal comfort. *Revista de Engenharia Térmica*, 5(2), 09-15.
- [13] Hollmuller, P., Carlo, J., Ordenes, M., Westphal, F., & Lamberts, R. (2007). Potential of buried pipes systems and derived techniques for passive cooling of buildings in Brazilian climates.
- [14] Hui, S. C. M. and Cheung, W. Y., 2009. Two-stage evaporative cooling systems in hot and humid climate, In *Proceedings of the Tianjin-Hong Kong Joint Symposium 2009*, 29-30 Jun 2009, Tianjin, China, pp. 64-76
- [15] Heidarinejad, G., Bozorgmehr, M., Delfani, S., & Esmaeliani, J. (2009). Experimental investigation of two-stage indirect/direct evaporative cooling system in various climatic conditions. *Building and Environment*, 44(10), 2073-2079.
- [16] Delfani, S., Esmaeliani, J., Pasdarshahri, H., & Karami, M. (2010). Energy saving potential of an indirect evaporative cooler as a pre-cooling unit for mechanical cooling systems in Iran. *Energy and Buildings*, 42(11), 2169-2176.
- [17] Glanville, P., Kozlov, A., & Maisotsenko, V. (2011). Dew point evaporative cooling: Technology review and fundamentals. *Ashrae Trans*, 117(1), 111-118.
- [18] Farmahini-Farahani, M., Delfani, S., & Esmaeliani, J. (2012). Exergy analysis of evaporative cooling to select the optimum system in diverse climates. *Energy*, 40(1), 250-257.
- [19] Beccali, M., Finocchiaro, P., & Nocke, B. (2012). Energy performance evaluation of a demo solar desiccant cooling system with heat recovery for the regeneration of the adsorption material. *Renewable Energy*, 44, 40-52.

- [20] Powers, W., Liu, Z., & Vaddella, V. (2013). Climate vulnerabilities of the poultry industry.
- [21] Kulkarni, R. K., & Rajput, S. P. S. (2013). Comparative performance analysis of evaporative cooling pads of alternative configurations and materials. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 6(4), 1524.
- [22] Niyomvas, B., & Potakarat, B. (2013). Performance study of cooling pads. In *Advanced Materials Research* (Vol. 664, pp. 931-935). Trans Tech Publications Ltd.
- [23] Santamouris, M., & Kolokotsa, D. (2013). Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. *Energy and Buildings*, 57, 74-94.
- [24] Manégré Yannick M.B KABOR . ETUDE DU CONDITIONNEMENT D'AIR DANS UN POULAILLER INDUSTRIEL. *Génie Energétique*,(5) (2014)
- [25] Campaniço, H., Hollmuller, P., & Soares, P. M. (2014). Assessing energy savings in cooling demand of buildings using passive cooling systems based on ventilation. *Applied Energy*, 134, 426-438.
- [26] O. Amer, R. Boukhanouf, and H. G. Ibrahim A Review of Evaporative Cooling Technologies *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 6, No. 2, February 201
- [27] kilic, İ. (2015). Analysis of the energy efficiency of poultry houses in the Bursa region of Turkey.
- [28] Rojano, F., Bournet, P. E., Hassouna, M., Robin, P., Kacira, M., & Choi, C. Y. (2016). Computational modelling of thermal and humidity gradients for a naturally ventilated poultry house. *Biosystems Engineering*, 151, 273-285.
- [29] Baxevanou, C., Fidaros, D., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Energy consumption and energy saving measures in poultry. *Energy Environ. Eng*, 5(2), 29-36.
- [30] Baakeem, S. S., Orfi, J., & Bessadok-Jemai, A. (2018). Thermodynamic and economic analysis of the performance of a direct evaporative cooler working under extreme summer weather conditions. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32, 1815-1825.
- [31] Patil, V., & Modi, M. (2018). Modified Air Cooler with Split Unit for Humidity Control. *IJRDR-International Journal Of Engineering Development And Research*, 6(4), 387-398.
- [32] Khalid, S. K. A., Dan, N. C., Samsudin, N. A., Aripin, M. S., & Nordin, N. A. A. (2019). Autonomous coop cooling system using renewable energy and water recycling. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(3), 1303-1310.
- [33] Abdel-Rahman, S. G. (2020). Performance evaluation OF poultry houses under different evaporative cooling systems. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(4), 999-1010.
- [34] Jaradat, M., Albatayneh, A., Juaidi, A., Abdallah, R., Ayadi, O., Ibbini, J., & Campana, P. E. (2022). Liquid desiccant systems for cooling applications in broilers farms in humid subtropical climates. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101902.
- [35] Elghardouf, N., Lahlouh, I., Elakkary, A., & Sefiani, N. (2023). Towards modelling, and analysis of differential pressure and air velocity in a mechanical ventilation poultry house: Application for hot climates. *Heliyon*, e12936.
- [36] A.Oloyo, "The use of housing system in the management of heat stress in poultry production in hot and humid climate: a review," *Poultry Science Journal*, vol. 6, pp. 1-9, 2018
- [37] A. Qureshi, "Open house tips for layers in hot climate zone," *World Poultry*, vol. 17, pp. 32-34, 2001
- [38] Daghir NJ. Nutritional strategies to reduce heat stress in broilers and broiler breeders *Lohmann Information*. 2008;44(1):6-15

- [39] Kristensen HH, Wathes CM. Ammonia and poultry welfare: A review. *World's Poultry Science Journal*. 2000;56:235-245. DOI: 10.1079/WPS20000018
- [40] Holik V. Management of laying hens to minimize heat stress. *Lohmann Information*. 29-44:16;2009.
- [41] Beker A, Vanhooser SL, Swartzlander JH, Teeter RG. Atmospheric ammonia concentration effects on broiler growth and performance. *The Journal of Applied Poultry Research*. 2004;13:5-9. DOI: 10.1093/japr/13.1.5.
- [42] Hulzebosch J. What affects the climate in poultry houses? *World Poultry*. 2004;20:36-38.
- [43] Original article by Jan Hulzebosch – Trainer, PTC, The Netherlands. *Effective heating systems for poultry houses* – *World Poultry*, Vol.22, No.2, 2005
- [44] Simmons JD, Lott BD, Miles DM. The effects of high air velocity on broiler performance. *Poultry Science*. 2003.
- [45] Ghazi SH, Habibian M, Moeini MM, Abdolmohammadi AR. Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Biological Trace Element Research*. 2012;146:309-317. DOI: 10.1007/s12011-011-9260-1
- [46] Timperly, Jocelyn (23 February 2017). "Biomass subsidies 'not fit for purpose', says Chatham House". Carbon Brief Ltd © 2020 - Company No. 07222041. Archived from the original on 6 November 2020. Retrieved 31 October 2020
- [47] Big Dutchman, "Wall fans." 2007.
- [48] Tunnel de ventilation des poulaillers1 RA Bucklin, JP Jacob, FB Mather, JD Leary et IA Naas2
- [49] N. Dagher, "Feedstuffs used in hot regions," *Poultry Production in the Hot Climates*. 2nd ed. CABI Series. London, UK: CAB International, pp. 160-196, 2008
- [50] Cooling Poultry Houses Basic Principles of Humidity and Temperature January 2015 Dhia Ahmed Alchalabi University of Baghdad
- [51] K. K. Verma, V. Singh, S. L. Gupta, J. Yadav, and A. K. Verma, "Environmentally Controlled House-In Poultry Production," *Poultry Line*, vol. 1, pp. 29-32, 2014
- [52] Xuan, Y.M.; Xiao, F.; Niu, X.F.; Huang, X.; Wang, S.W. Research and application of evaporative cooling in China: A review (I) -Research. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 2012, 16, 3535–3546.
- [53] Sultan, M.; Miyazaki, T. Energy-Efficient Air-Conditioning Systems for Nonhuman Applications. In *Refrigeration*; Ekren, O., Ed.; InTech: London, UK, 2017; pp. 97–117