

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BLIDA 1
UNITE DE DEVELOPPEMENT DES EQUIPEMENTS SOLAIRES
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master
Spécialité Energétique

Conception d'un système de refroidissement évaporatif d'un bâtiment d'élevage avicole

Promoteur :

Dr. MERABTI Leila

CO-Promoteur :

Dr. KETFI Omar

Réalisé par :

CHABLAOUI Chakib

MEDDOURI Abderaouf Salah Eddine

Promotion : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements et notre respect à notre promotrice, **Dr MERABTI Leila**, ainsi qu'à notre co-promoteur, **Dr KETFI Omar**, pour leur encadrement et leurs conseils inestimables tout au long de cette étude. Leur soutien a été essentiel pour acquérir les sources de recherche pertinentes ainsi que les logiciels nécessaires aux simulations.

Nous exprimons également notre reconnaissance envers la famille de **l'UDES Bou Ismail** pour leur précieuse aide.

Nous sommes reconnaissants envers tous **les enseignants** qui ont déployé tous leurs efforts pour faire de nous des futurs professionnels de l'énergie tout au long de notre parcours académique.

Chaleureux remerciements à l'équipe de **l'ITELV Baba Ali**, qui nous a généreusement accordé l'accès au poulailler et a facilité la collecte des données nécessaires à notre étude.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude envers **nos parents et nos proches** pour leur soutien indéfectible.

Nous sommes honorés d'avoir pu bénéficier de toutes ces aides et encouragements, sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible.

DÉDICACE

Je dédie ce travail en signe de reconnaissance et de respect À mes chers parents, **Toufik** et **Baya**, qui ne cessent de donner avec amour et de fournir le nécessaire pour que je puisse arriver là où je suis aujourd'hui. Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma porte, afin que je puisse vous combler de bonheur.

À mes chères sœurs, **Sihem** et **Rania**, pour leur appui, leurs encouragements et leur soutien moral.

À mes frères, **Djallal**, **Mohamed** et **Yacine**.

À toute ma famille.

À mon copain, mon binôme **Raouf**, et à toute sa famille.

À mes amis et à tous mes camarades de la classe de la promotion de Génie Mécanique (2022-2023).

À toutes les personnes qui m'ont soutenu dans ce travail.

CHABLAOUI Chakib

DÉDICACE

Je dédie ce travail en signe de reconnaissance et de respect À mes chers parents, **Ismail** et **Nejla**, qui ne cessent de donner avec amour et de fournir le nécessaire pour que je puisse arriver là où je suis aujourd'hui. Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma porte, afin que je puisse vous combler de bonheur.

À ma chère sœur **Imene**, pour son appui, ses encouragements et son soutien moral.

À mes frères, **Mohamed, Fares, Sami, wail** et **Ziad**.

À toute ma famille.

À mon copain, mon binôme **Chakib**, et à toute sa famille.

À mes amis et à tous mes camarades de la classe de la promotion de Génie Mécanique (2022-2023).

À toutes les personnes qui m'ont soutenu dans ce travail.

MEDDOURI Abderaouf Salah Eddine

Résumé

Notre travail concerne la conception d'un système de refroidissement par évaporation pour un poulailler d'élevage de poulets de chair à Baba-Ali, Alger, en Algérie. L'objectif est de dimensionner un système capable de maintenir des températures supportables à l'intérieur du poulailler, compte tenu de la quantité d'énergie libérée par les oiseaux en été, nécessitant une charge de refroidissement considérable. L'étude aborde l'importance du confort thermique pour les poulets de chair, en mettant en évidence les principes de l'air humide et de l'évaporation. Un calcul de la charge de refroidissement est effectué à l'aide du logiciel TRNSYS 18, en utilisant des données météorologiques spécifiques à Baba-Ali. Une conception en 3D du système est réalisée avec Solidworks pour optimiser l'agencement des composants. Cette recherche vise à concevoir un système de refroidissement évaporatif adapté aux conditions variables du site de Baba-Ali, offrant ainsi des conditions de vie optimales pour les poulets de chair.

Mots-clés : Refroidissement par évaporation, poulets de chair, poulailler

Abstract

Our work concerns the design of an evaporative cooling system for a broiler house in Baba-Ali, Algiers, Algeria. The objective is to design a system capable of maintaining tolerable temperatures inside the chicken coop, taking into account the amount of energy released by the birds in summer, requiring a considerable cooling load. The study addresses the importance of thermal comfort for broilers, highlighting the principles of humid air and evaporation. A calculation of the cooling load is carried out using the TRNSYS 18 software, using meteorological data specific to Baba-Ali. A 3D design of the system is carried out with Solidworks to optimize the arrangement of the components. This research aims to design an evaporative cooling system adapted to the variable conditions of the Baba-Ali site, thus offering optimal living conditions for broilers.

Keywords: Evaporative cooling, broiler chickens, poultry house

خلاصة

يتعلق عملنا بتصميم نظام تبريد تبخيري لقن دجاج التسمين في بابا علي، الجزائر العاصمة، الجزائر. الهدف هو تصميم نظام قادر على الحفاظ على درجات حرارة مقبولة داخل حظيرة الدجاج، مع مراعاة كمية الطاقة التي يطلقها الدجاج في الصيف، مما يتطلب حمولة تبريد كبيرة. تتناول الدراسة أهمية الراحة الحرارية للدواجن، وتسلط الضوء على مبادئ الهواء الرطب والتبخير. يتم حساب حمل التبريد باستخدام برنامج 18 trnsys، باستخدام بيانات الأرصاد الجوية الخاصة ببابا علي. يتم انشاء تصميم ثلاثي الابعاد باستخدام برنامج SolidWorks لتحسين ترتيب المكونات. يهدف هذا البحث إلى تصميم نظام تبريد تبخيري يتكيف مع الظروف المتغيرة لموقع بابا علي، وبالتالي توفير ظروف معيشية مثالية للدجاج.

كلمات مفتاحية: تبريد تبخيري، دجاج اللحم، قن الدجاج

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT

..... 3

INTRODUCTION..... 4

I.1. IMPORTANCE DU REFROIDISSEMENT DANS DIVERS DOMAINES 4

I.2. BESOIN CROISSANT DE SOLUTIONS DE REFROIDISSEMENT EFFICACES ET DURABLES 7

I.3. SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT EVAPORATIF :..... 8

I.3.1. Principes de base du refroidissement par évaporation 8

I.3.2. Types de refroidissement par évaporation 9

I.3.2.1. Systèmes de refroidissement évaporatif directs..... 9

I.3.2.2. Systèmes de refroidissement évaporatif indirects 12

I.3.2.3. Tours de refroidissement évaporatif 12

I.3.2.4. Brumisateurs ou atomiseurs d'eau 14

I.3.3. Avantages des systèmes de refroidissement évaporatif 15

I.4. SYSTEME DE REFROIDISSEMENT PAR ENERGIES RENOUVELABLES 16

I.4.1. Système de refroidissement par énergie solaire 16

I.4.2. Classification des technologies de refroidissement solaire 16

I.4.2.1. Systèmes de refroidissement électriques solaires 17

I.4.2.2. Systèmes de refroidissement solaire thermiques 17

I.5. SYSTEMES DE PRODUCTION D'ENERGIE SOLAIRES 18

I.5.1. Panneaux solaires photovoltaïques..... 18

I.5.2. Concentrateurs solaires 19

CONCLUSION..... 20

CHAPITRE 2 : CONFORT DES ELEVAGES DE POULETS DE CHAIRES 21

INTRODUCTION..... 22

II.1. LE POULAILLER..... 22

II.1.1. L'orientation du poulailler	23
II. 2. LES PRINCIPAUX PARAMETRES D'AMBIANCE	23
II.2.1. Température	23
II.2.2. Hygrométrie	25
II.2.3. Ventilation	26
II.2.4. La qualité de l'air	27
II.2.5. La luminosité	28
II.2.6. La densité d'élevage	28
CONCLUSION.....	29
CHAPITRE 3 : PRECIS SUR L'AIR HUMIDE	31
INTRODUCTION.....	32
III.1. COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE TYPE	32
III.1.1. L'air sec	33
III.1.2. L'air humide	33
III.1.3. L'air saturé	34
III.2. TEMPERATURES CARACTERISTIQUES DE L'AIR HUMIDE.....	34
III.2.1. Température de bulbe sec	34
III.2.2. Température de bulbe humide	34
III.2.3. Température de rosée	35
III.2.4. Teneur en humidité	35
III.2.5. Humidité relative	35
III.2.6. Volume massique de l'air humide	36
III.2.7. Chaleur sensible (Q_s ou H_s)	36
III.2.8. Chaleur latente (Q_L ou H_L)	36
III.3. DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE (DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE)	37
III.3.1. Exploration des propriétés essentielles de l'air humide à travers le diagramme	38
III.4. PROCEDES DE TRAITEMENT DE L'AIR HUMIDES.....	39
III.5. HUMIDIFICATION DE L'AIR	40
III.5.1. Humidification par injection de vapeur	40
III.5.2. Humidification par injection de gouttelettes d'eau liquide	41
CONCLUSION.....	43

CHAPITRE 4 : CONCEPTION DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DU BATIMENT AVICOLE	45
INTRODUCTION.....	46
IV.1. CHOIX ET DESCRIPTION PHYSIQUE DU BATIMENT ETUDIE	47
IV.2. ETUDE DE LA FAISABILITE DU SYSTEME	51
IV.2.1. Collecte de données	51
IV.2.2. Index de faisabilité du système évaporatif	53
IV.3. BILAN THERMIQUE DU POULAILLER	54
IV.3.1.1 Les différents paramètres considérés pour le bilan thermique.....	54
IV.3.1.2. Justification de la méthode de calcul du bilan thermique	55
IV.3.1.3. Calcul de l'apport thermique des poulets	55
IV.3.1.4. Calcul de la puissance totale des lampes	56
IV.3.2. Méthode pour faire le bilan thermique	56
IV.4. SIMULATION SUR TRNSYS.....	56
IV.4.1. Introduction	56
IV.4.2. Présentation du logiciel TRNSYS 18	56
IV.4.3. Simulation Studio	57
IV.4.4. TRNBuild	57
IV.4.5. TRNexe.....	58
IV.4.6. Simulation de poulailler.....	59
IV.4.6.1. Créer un nouveau fichier	59
IV.4.6.2. Modélisation du poulailler	60
IV.4.6.3. Sélection des composants	62
IV.4.6.4. Configuration des paramètres.....	63
IV.4.6.4.1. Météo.....	63
IV.4.6.4.2. Bâtiment.....	63
IV.4.6.4.3. Paramétrage de la simulation	66
IV.4.7. Exécution de la simulation.....	67
IV.5. ANALYSE DES RESULTATS	68
IV.5.1. Température	68
IV.5.2. La Quantité de chaleur à extraire	69
IV.6. DIMENSIONNEMENT DU PAD COOLING.....	70
IV.7 CONCEPTION DU SYSTEME.....	70

IV.7.1 Création de la géométrie par l'application SolidWorks	70
IV.7.1.1. Concepts de base	70
IV.7.1.2. Principales pièces du système	72
IV.7.2. L'assemblage	74
IV.7.3. La mise en page	77
CONCLUSION	81
CONCLUSION GENERALE	83
RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES	

Liste des tableaux

TABLEAU II.2 : TEMPERATURES D'ELEVAGE	24
TABLEAU II.3 : RECOMMANDATIONS DES LIMITES DES TAUX D'HUMIDITE RELATIF DANS LES BATIMENTS POUR POULETS DE CHAIR	26
TABLEAU II.4 : DENSITE EN ELEVAGE POULET DE CHAIR	29
TABLEAU III.1: COMPOSITION DE L'AIR HUMIDE	34
TABLEAU III.2 : GRANDEURS PHYSIQUES DE L'AIR HUMIDE	38
TABLEAU IV. 1 : MATERIAUX DE CONSTRUCTION	50

Liste des figures

FIGURE I.1 : SYSTEME DE REFROIDISSEMENT D'UN BATIMENT D'HABITATION	5
FIGURE I.2 : SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DANS UN ESPACE COMMERCIAL	5
FIGURE I.3 : SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DANS UNE USINE	6
FIGURE I.4 : RADIATEUR DE REFROIDISSEMENT AVEC VENTILATEUR	6
FIGURE I.5 : RAFRAICHISSEUR PAR EVAPORATION ECOLOGIQUE	9
FIGURE I.6 : REFROIDISSEUR A EVAPORATION DIRECTE	10
FIGURE I.7 : PADS D'EVAPORATION	11
FIGURE I.8 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU REFROIDISSEMENT PAR EVAPORATION INDIRECTE	12
FIGURE I.9 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME	13
FIGURE I.10 : SYSTEMES DE BRUMISATION	14
FIGURE I.11 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT SOLAIRE THERMIQUE	18
FIGURE I.12 : PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES	18
FIGURE I.13 : PANNEAU SOLAIRE THERMIQUE A TUBES SOUS VIDE	19
FIGURE I.14 : CONCENTRATEUR SOLAIRE	19
FIGURE II.1 : COMPORTEMENT DES VOLAILLES EN FONCTION DE LA TEMPERATURE	25
FIGURE II.2 : TYPES DE CIRCULATION DE L' AIR DANS LES BATIMENTS D'ELEVAGE	27
FIGURE II.3 : VITESSES DE VENTILATION DANS LE BATIMENT	27
FIGURE III.1 : DIAGRAMME DE COSTIC	37
FIGURE III.2 : DIAGRAMME DE L' AIR HUMIDE	39
FIGURE III.3 : HUMIDIFICATION PAR INJECTION DE VAPEUR	41
FIGURE III.4 : HUMIDIFICATION ADIABATIQUE	41
FIGURE III.5 : ECHANGEUR INDIRECTE	42
FIGURE III.6 : ECHANGEUR DIRECTE	42
FIGURE III.7 : L'EVOLUTION DE L' AIR SUR LE DIAGRAMME DE L' AIR HUMIDE	43
FIGURE IV.1 : BATIMENT AVICOLE A REFROIDIR A L'ITELV BABA ALI	47
FIGURE IV.2 : DESSIN DU BATIMENT SUR SOLIDWORKS	48

FIGURE IV.3 : VUE DE D'ARRIERE DU BATIMENT SUR SOLIDWORKS	49
FIGURE IV.4 : VUE DE DROITE DU BATIMENT SUR SOLIDWORKS.....	49
FIGURE IV.5 : ORIENTATION DU BATIMENT.....	49
FIGURE IV.6 : LA LOCALISATION PRECISE DU POULAILLER	51
FIGURE IV.7 : UNE VUE PLUS ELOIGNEE	52
FIGURE IV.8 : VARIATION DE LA TEMPERATURE HUMIDE (°C) PENDANT LA PERIODE CHAUDE.....	52
FIGURE IV.9 : VARIATION DE LA TEMPERATURE SECHE (°C) PENDANT LA PERIODE CHAUDE	53
FIGURE IV.10 : VARIATION DU FI PENDANT LA PERIODE CHAUDE.....	54
FIGURE IV.11 : LES DIFFERENTS APPORTS	55
FIGURE IV.12 : INTERFACE DE TRNSYS SIMULATION STUDIO.....	57
FIGURE IV.13 : INTERFACE DE TRNBUILD.....	58
FIGURE IV.14 : EXEMPLE DE MODELE DE SIMULATION SUR TRNEXE.....	59
FIGURE IV.15 : POUR CHOISIR LE TYPE DE PROJET.....	59
FIGURE IV.16 : DEFINIR LES ZONES MANUELLEMENT.....	60
FIGURE IV.17 : INTERFACE DE LOGICIEL SKETCHUP	61
FIGURE IV.18 : FENETRE POUR L'IMPORTATION DU FICHER	62
FIGURE IV.19 : SCHEMA DU PROJET	62
FIGURE IV.20 : FENETRE DE PARAMETRES METEO.....	63
FIGURE IV.21 : FENETRE POUR MODIFIER LES CARACTERISTIQUES DE CETTE ZONE	64
FIGURE IV.22 : FENETRE DE COUCHES DES MURS	64
FIGURE IV.23 : FENETRE DES TYPES DE MATERIAUX	65
FIGURE IV.24 : PARAMETRES DE SORTIE DE BATIMENT	66
FIGURE IV.25 : LES PARAMETRES DE SIMULATION	67
FIGURE IV.26 : GRAPHE DE COURBE DE LA TEMPERATURE (°C) DANS LE POULAILLER PAR RAPPORT AU TEMPS	67
FIGURE IV.27 : L'EVOLUTION DE LA QUANTITE CHALEUR PAR RAPPORT AU TEMPS	68
FIGURE IV.28 : LA VALEUR MAXIMALE DE Q FROID (WATT)	68
FIGURE IV.29 : OUVRIR UN DOCUMENT	71
FIGURE IV.30 : LE MENU PRINCIPAL DU LOGICIEL	71
FIGURE IV.31 : PREMIER ECHANGEUR DE CHALEUR	72
FIGURE IV.32 : DEUXIEME ECHANGEUR DE CHALEUR	72
FIGURE IV.33 : COQUE DU SYSTEME	73

FIGURE IV.34 : LES 2 BACS D'EAU	73
FIGURE IV.35 : LES TUBES D'INJECTION D'EAU	74
FIGURE IV.36 : VUE DE FACE DU SYSTEME.....	75
FIGURE IV.37 : VUE DE DROITE DU SYSTEME	75
FIGURE IV.38 : VUE DE GAUCHE DU SYSTEME.....	76
FIGURE IV.39 : VUE DE D'ARRIERE DU SYSTEME.....	76
FIGURE IV.40 : CHOIX DU FORMAT DE LA PAGE	78
FIGURE IV.41 : CHOIX DE LA PIECE	78
FIGURE IV.42 : EDITER LE FOND	79
FIGURE IV.43 : UNE PETITE MISE EN PLAN DU SYSTEME.....	80
FIGURE IV.44 : PROTOTYPE PLACE SUR LE BATIMENT A VICOLE ET ALIMENTE PAR ENERGIE SOLAIRE.....	81

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ITELV	Institut Technique des Elevages
COSTIC	Comité scientifique et technique des industries du chauffage et de la climatisation.
S.H.F	Facteur de chaleur sensible.
TRNSYS	Transient System Simulation Tool.
Idf	Intermediate Data Format.
I.T.P.E	Institut technique des petits élevages
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

M	Masse molaire	[kg/mol]
m_v	Masse de vapeur d'eau	[kg _v]
m_a	Masse d'air sec	[kg _{as}]
V	Volume	[m ³]
r	Humidité absolue	[kg _v /kg _{as}]
HR	Humidité relative	[%]
P_v	Pression partielle de vapeur d'eau	[Pa]
P_s	Pression de saturation de la vapeur d'eau	[Pa]
V_s	Masse volumique de l'air humide	[m ³ /kg _{as}]
qv	Débit volumique	[m ³ /s]
S	Surface	[m ²]
qm	Débit massique	[kg/s]
ρ	Densité	[kg/m ³]
\dot{m}	Débit d'air	[m ³ /s]
ΔT	Différence de température	[°C]
C_p	Chaleur spécifique de l'air	[J/kg. K]
ε	Efficacité	

Introduction Générale

Dans le domaine de l'élevage avicole, la gestion des conditions thermiques à l'intérieur des bâtiments est essentielle pour assurer la santé et le bien-être des animaux. Lorsque l'élevage est effectué pendant la saison estivale, les températures à l'intérieur des poulaillers sont souvent plus élevées que celles à l'extérieur. Cette situation entraîne une accumulation de chaleur à l'intérieur, exposant les poulets à un stress thermique qui peut même entraîner leur mortalité. Face à ces conditions, les poulets ont tendance à augmenter leur consommation d'eau afin de transférer une partie de leur chaleur corporelle à l'eau ingérée, contribuant ainsi à abaisser leur température corporelle. Cependant, cette réponse adaptative peut entraîner une diminution de leur prise alimentaire et donc une absence de gain de poids (Lachance François, 2005).

Pour maintenir des températures supportables à l'intérieur des poulaillers, il est nécessaire de mettre en place un système de refroidissement efficace, en particulier en fin de cycle d'élevage, afin d'éliminer l'excès de chaleur produit par les animaux ainsi que la chaleur qui pénètre à travers les murs et le toit du bâtiment. C'est dans ce contexte qu'intervient notre projet, qui vise à concevoir un système de refroidissement utilisant l'évaporation de l'eau pour rafraîchir et humidifier le poulailler à l'aide d'un réservoir de stockage d'eau.

Le présent mémoire se concentre sur l'implémentation de ce système de refroidissement dans un bâtiment d'élevage avicole de l'Institut Technique des Elevages, ITELV située à Baba-Ali, Alger. Le bâtiment ciblé ne dispose pas d'un système de refroidissement fiable. Dans le cadre d'un projet National de Recherche, PNR, l'objectif principal de ce travail, effectué à l'Unité de Développement des Equipements Solaires (UDES), BouIsmaïl, Tipaza, consiste à concevoir un système thermique capable de refroidir l'air intérieur du poulailler en utilisant un réservoir d'eau. Pour atteindre cet objectif, nous avons établi plusieurs objectifs spécifiques :

1. Réaliser un bilan thermique détaillé du poulailler dans des conditions climatiques extrêmes.
2. Effectuer une analyse météorologique du site de Baba-Ali pour évaluer la fiabilité du système proposé.

3. Concevoir un système de refroidissement efficace pour le poulailler.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres :

1. Le premier chapitre présente une vue d'ensemble des systèmes de refroidissement en général, en mettant l'accent sur les différentes technologies disponibles.
2. Le deuxième chapitre se concentre spécifiquement sur le confort thermique des poulets de chair, soulignant l'importance d'un environnement thermiquement optimal pour leur bien-être et leur performance.
3. Le troisième chapitre aborde les concepts généraux liés à l'air humide, mettant en évidence les principes fondamentaux de l'évaporation et ses effets sur la température et l'humidité de l'air. Une compréhension approfondie de ces concepts est essentielle pour la conception d'un système de refroidissement par évaporation efficace.
4. Le quatrième chapitre, nous adoptons une approche méthodologique pour calculer la charge de refroidissement à l'aide d'une simulation sur le logiciel TRNSYS 18. Nous récupérons des données météorologiques spécifiques au site de Baba-Ali pour évaluer l'indice de fiabilité du système proposé. De plus, nous réalisons une conception en 3D du système à l'aide du logiciel Solidworks, permettant ainsi une visualisation précise et une évaluation de l'agencement optimal des composants.

Dans l'ensemble, ce projet s'inscrit dans le contexte de la transition énergétique en Algérie et vise à trouver des alternatives plus écologiques pour la production d'énergie, ainsi qu'à améliorer l'efficacité des technologies existantes. Dans un monde qui dépend principalement des combustibles fossiles pour répondre à ses besoins énergétiques, il est crucial de développer des solutions durables afin de préserver les ressources non renouvelables, de réduire les déchets solides et de limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Chapitre 1 : Généralités sur les Systèmes de refroidissement

Introduction

Le refroidissement est un élément essentiel de notre vie quotidienne, que ce soit pour maintenir des températures agréables dans nos maisons, nos bureaux ou nos industries. Cependant, les systèmes traditionnels de refroidissement utilisent souvent des énergies non renouvelables et ont un impact négatif sur l'environnement. C'est pourquoi la recherche de solutions de refroidissement plus efficaces et durables est devenue une priorité.

Dans ce chapitre, nous allons explorer deux approches prometteuses pour le refroidissement : les systèmes de refroidissement évaporatif et les systèmes de refroidissement par énergies renouvelables, notamment solaires. Nous examinerons les avantages des systèmes de refroidissement évaporatif, tels que leur coût réduit, leur facilité d'entretien, leur impact positif sur la qualité de l'air et leur confort accru. Ensuite, nous nous pencherons sur les systèmes de refroidissement par énergies renouvelables, en mettant particulièrement l'accent sur les systèmes de refroidissement solaire.

Les systèmes de refroidissement solaire utilisent l'énergie du soleil pour générer du froid, offrant ainsi une alternative respectueuse de l'environnement aux systèmes de climatisation traditionnels. Nous explorerons les différentes technologies de refroidissement solaire, telles que les systèmes thermiques et les systèmes électriques, en expliquant leur fonctionnement et leurs avantages respectifs.

I.1. Importance du refroidissement dans divers domaines

Les domaines dans lesquels le refroidissement revêt une importance considérable sont :

Le résidentiel : Le refroidissement est essentiel dans les maisons pour maintenir des températures agréables pendant les périodes chaudes. Il permet de créer un environnement confortable pour les occupants, favorisant le repos, la détente et le sommeil de qualité.



Figure I.1 : Système de Refroidissement d'un bâtiment d'habitation

Le commercial : Dans les environnements commerciaux tels que les bureaux, les commerces et les espaces publics, le refroidissement joue un rôle crucial pour assurer des conditions de travail et de shopping confortables. Il permet d'améliorer la productivité des employés, d'attirer les clients et de créer une expérience agréable pour les visiteurs.



Figure I.2 : Système de Refroidissement dans un espace commercial

L'industriel : Les installations industrielles génèrent souvent une quantité importante de chaleur due aux processus de production, aux machines et aux équipements. Le refroidissement est essentiel pour maintenir des températures optimales et prévenir les surchauffes, ce qui permet de garantir un fonctionnement efficace des équipements, d'éviter les pannes coûteuses et de maintenir la qualité des produits.



Figure I.3 : Système de Refroidissement dans une usine

L'informatique et télécommunications : Les serveurs, les data centers et les équipements de télécommunication génèrent une chaleur considérable en raison de leur utilisation intensive. Le refroidissement est crucial pour prévenir la surchauffe des équipements et assurer leur fonctionnement optimal, évitant ainsi les temps d'arrêt et les pertes de données.



Figure I.4 : Radiateur de Refroidissement avec Ventilateur

Le transport : Le refroidissement est nécessaire dans les véhicules tels que les voitures, les camions, les avions et les trains pour maintenir des températures confortables à l'intérieur des habitacles, améliorant ainsi le confort des passagers et des conducteurs.

Ces différents domaines démontrent l'importance cruciale du refroidissement dans divers aspects de notre vie quotidienne, que ce soit pour le confort, la productivité, la fiabilité des équipements ou la sécurité des systèmes.

I.2. Besoin croissant de solutions de refroidissement efficaces et durables

Avec la hausse des températures mondiales et la demande croissante en énergie, il est décisif de développer des solutions de refroidissement efficaces et durables. Les systèmes de refroidissement traditionnels peuvent être énergivores et avoir un impact environnemental considérable. Par conséquent, il existe une demande croissante de solutions qui offrent à la fois une haute efficacité énergétique et une réduction de l'empreinte carbone.

Pour répondre à ce besoin croissant de solutions de refroidissement efficaces et durables, plusieurs approches peuvent être envisagées :

- Amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de refroidissement existants : Il est possible d'optimiser les systèmes de refroidissement actuels en utilisant des technologies plus efficaces, telles que des compresseurs à haut rendement, des échangeurs de chaleur performants et des systèmes de régulation avancés. Cela permettrait de réduire la consommation d'énergie tout en maintenant une performance de refroidissement adéquate.
- Utilisation de systèmes de refroidissement passifs : Les systèmes de refroidissement passifs exploitent les principes naturels de convection, de rayonnement et d'évaporation pour maintenir des températures confortables. Cela peut inclure l'utilisation de matériaux réfléchissants pour réduire l'absorption de chaleur, l'isolation thermique efficace pour minimiser les transferts de chaleur et la conception de bâtiments pour faciliter la circulation de l'air.
- Développement de systèmes de refroidissement utilisant des énergies renouvelables : Les énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire, éolienne et géothermique, peuvent être utilisées pour alimenter des systèmes de refroidissement. Par exemple, des systèmes de climatisation solaire utilisent l'énergie solaire pour générer de l'électricité nécessaire à la climatisation. Cela réduit la dépendance aux combustibles fossiles et diminue les émissions de gaz à effet de serre.
- Utilisation des systèmes à faible consommation d'énergie : Les systèmes faisant appel à des pompes ou des ventilateurs consommant peu d'énergie, tels que les systèmes de refroidissement évaporatif ou de refroidissement par dessiccation. Le

refroidissement est assuré par l'air, ou bien par de l'air refroidi par humidification, évitant tous les problèmes causés par les fluides frigorigènes nocifs.

- Utilisation de fluides de refroidissement respectueux de l'environnement : Certains systèmes de refroidissement utilisent des fluides frigorigènes qui ont un potentiel de réchauffement global élevé et contribuent au réchauffement climatique. Des alternatives respectueuses de l'environnement, telles que les fluides frigorigènes à faible potentiel de réchauffement global (PRG), peuvent être adoptées pour réduire l'impact climatique des systèmes de refroidissement.
- Adoption de technologies de refroidissement avancées : Des technologies innovantes, telles que les systèmes de refroidissement magnétocaloriques et les systèmes de refroidissement à adsorption, offrent des possibilités d'amélioration significative de l'efficacité énergétique et de la durabilité des systèmes de refroidissement. Ces technologies exploitent des principes thermodynamiques avancés pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de carbone.

En adoptant ces approches, il est possible de développer des solutions de refroidissement efficaces et durables.

I.3. Systèmes de refroidissement évaporatif :

I. 3.1. Principes de base du refroidissement par évaporation

Le rafraîchissement par évaporation est basé sur le principe de l'évaporation de l'eau, un processus naturel de transformation de l'eau liquide en vapeur lorsqu'il y a une différence de pression partielle entre les deux phases. Ce phénomène a été observé et utilisé depuis l'Antiquité, notamment par les anciens Égyptiens et les Romains. [1]

Lorsque de l'air chaud et sec est soufflé à travers un matériau humide, tel qu'un tissu imbibé d'eau, l'évaporation de l'eau absorbe la chaleur de l'air, entraînant ainsi un abaissement de la température de l'air. Ce processus permet de rafraîchir l'air ambiant de manière naturelle et efficace, sans avoir besoin d'un compresseur mécanique ou de réfrigérants chimiques (figure I.5). [2]

L'élément clé du rafraîchissement par évaporation est la chaleur latente de vaporisation de l'eau, qui est la quantité d'énergie nécessaire pour convertir l'eau liquide en vapeur. Cette chaleur latente est beaucoup plus élevée que la chaleur sensible, c'est-à-

dire la chaleur nécessaire pour augmenter la température de l'eau. Par conséquent, l'eau possède une capacité de refroidissement élevée en raison de sa grande chaleur latente.

Comparé aux systèmes de climatisation traditionnels à compression mécanique, qui utilisent des réfrigérants synthétiques et nécessitent un compresseur énergivore, le rafraîchissement par évaporation utilise l'eau comme réfrigérant naturel. Il n'y a pas de boucle fermée et de recyclage du réfrigérant, car l'eau s'évapore naturellement dans l'air sans nécessiter de compresseur. Cela rend le rafraîchissement par évaporation plus respectueux de l'environnement et économe en énergie.

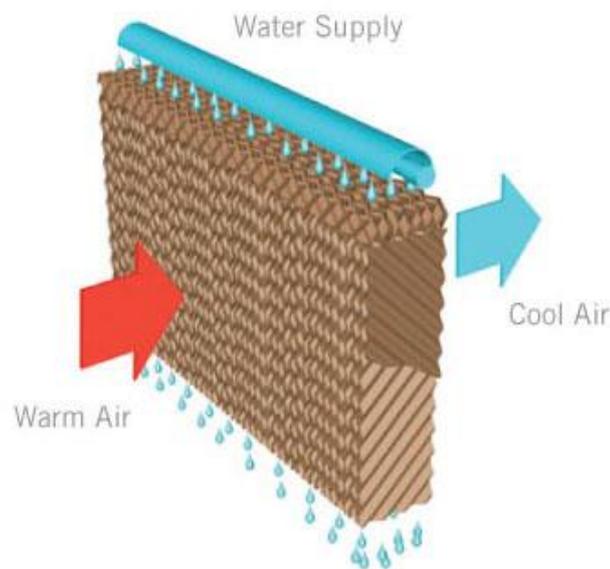


Figure I.5 : Rafraîchisseur par évaporation écologique

I.3.2. Types de refroidissement par évaporation

Il existe différents types de systèmes de refroidissement évaporatif, chacun avec ses propres caractéristiques et avantages. Voici quelques-uns des principaux types :

I.3.2.1. Systèmes de refroidissement évaporatif directs

Le refroidissement évaporatif direct est un processus de refroidissement de l'air qui se produit lorsque de l'air chaud et sec est mis en contact direct avec une surface humide. Dans ce type de système, l'air extérieur est aspiré et passe à travers un matériau humidifié, généralement une toile ou un tampon de refroidissement. Lorsque l'air traverse cette surface humide, l'eau s'évapore et absorbe la chaleur de l'air environnant, ce qui entraîne un abaissement de la température de l'air.

L'évaporation de l'eau nécessite une certaine quantité de chaleur latente, qui est fournie par l'air lui-même. L'air se refroidit pendant le processus d'évaporation, ce qui entraîne une baisse de sa température. De plus, l'humidité relative de l'air augmente car l'air absorbe de l'humidité de la surface humide.

Le résultat est un air plus frais et plus humide qui est soufflé dans l'espace à climatiser. Cela peut entraîner une sensation de fraîcheur et de confort, en particulier dans les climats chauds et secs. L'air refroidi peut-être distribué dans une pièce ou un bâtiment à l'aide de ventilateurs ou de conduits.

Descriptif du système :

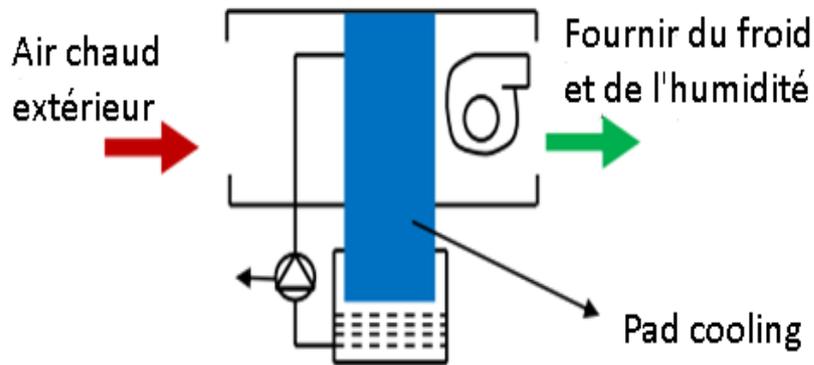


Figure I.6 : Refroidisseur à évaporation directe

La configuration de base d'un refroidisseur évaporatif direct est illustrée dans la Figure (I. 7). L'air extérieur pénètre dans le refroidisseur et est dirigé vers le tampon humide. Au fur et à mesure qu'il traverse le tampon, l'eau s'évapore, ce qui entraîne le refroidissement de l'air. L'air refroidi et humidifié est ensuite diffusé dans l'espace souhaité, où il crée une ambiance rafraîchissante et plus fraîche. [3]

- **Pads d'évaporation :**

Les pads d'évaporation, également appelés panneaux humides ou médias d'évaporation, sont des éléments clés dans les systèmes de refroidissement évaporatif direct. Ils sont conçus pour faciliter l'évaporation de l'eau et le refroidissement de l'air.

Les pads d'évaporation sont généralement fabriqués à partir de matériaux poreux et absorbants tels que la cellulose ou la fibre de verre. Ils sont conçus pour retenir l'eau tout en permettant un flux d'air à travers eux.

L'air chaud provenant de l'extérieur passe à travers les pads humides. Au contact de l'eau présente dans les pads, une partie de l'eau s'évapore et absorbe la chaleur de l'air, ce qui entraîne un refroidissement de l'air.

Les pads d'évaporation offrent une grande surface d'évaporation, ce qui favorise un refroidissement efficace de l'air. Ils sont disponibles dans différents types, notamment les pads en cellulose, les pads en fibre de verre et les pads en plastique.

Les pads en cellulose sont couramment utilisés en raison de leur capacité élevée d'absorption d'eau et de leur efficacité de refroidissement. Ils sont constitués de couches de cellulose superposées, formant ainsi un réseau de canaux pour le passage de l'air.

Les pads en fibre de verre sont durables et résistants aux produits chimiques. Ils sont souvent utilisés dans les environnements industriels où la résistance à la corrosion est essentielle.

Les pads en plastique sont moins courants, mais ils offrent une durabilité et une résistance élevées aux intempéries.

- **Avantages des pads d'évaporation :**

Les pads d'évaporation sont économiques et éco-énergétiques par rapport aux systèmes de climatisation traditionnels.

Ils permettent de refroidir efficacement l'air sans ajouter d'humidité excessive à l'environnement intérieur.

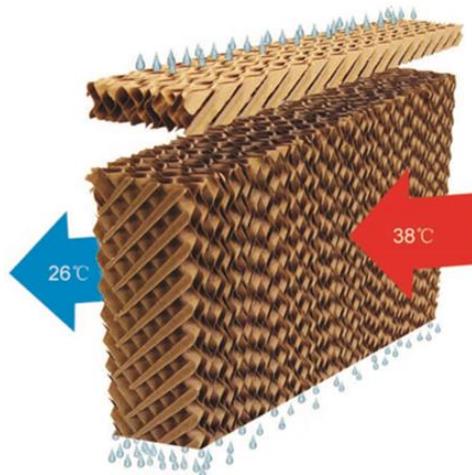


Figure I.7 : Pads d'évaporation

Les pads d'évaporation peuvent être utilisés dans une variété d'applications, notamment les systèmes de climatisation résidentiels, commerciaux et industriels.

Ils sont faciles à entretenir et à remplacer lorsque nécessaire.

Il est important de noter que les performances des pads d'évaporation peuvent varier en fonction de facteurs tels que la qualité de l'eau, le débit d'air, la température ambiante et l'entretien régulier du système. Il est recommandé de suivre les recommandations du fabricant pour un fonctionnement optimal du système de refroidissement évaporatif.

I.3.2.2. Systèmes de refroidissement évaporatif indirects

Les systèmes de refroidissement évaporatif indirects sont des technologies de refroidissement utilisées pour abaisser la température de l'air ambiant en utilisant le principe de l'évaporation de l'eau. Contrairement aux systèmes de refroidissement évaporatif directs, les systèmes indirects n'humidifient pas directement l'air dans l'espace à refroidir. Au lieu de cela, ils utilisent un échangeur de chaleur pour séparer l'air en deux flux : un flux d'air humide et un flux d'air sec, il fonctionne de la manière suivante : l'air chaud est aspiré dans le système et entre en contact avec un matériau d'échange thermique, tel qu'un panneau ou un échangeur de chaleur. Ce matériau est humidifié à l'aide d'un système d'humidification, généralement des buses ou des tampons imbibés d'eau. L'eau s'évapore au contact de l'air chaud, ce qui entraîne un abaissement de la température de l'air et une augmentation de son humidité. [4]

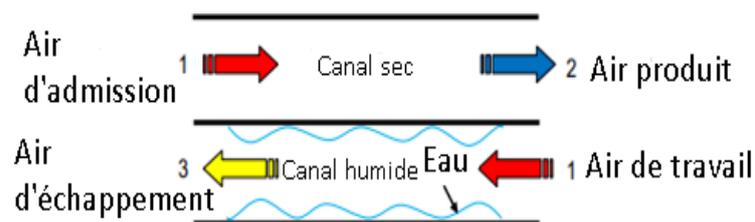


Figure I.8 : Principe de fonctionnement du refroidissement par évaporation indirecte [5]

I.3.2.3. Tours de refroidissement évaporatif

Les tours de refroidissement évaporatif sont des dispositifs industriels conçus spécifiquement pour le refroidissement optimal des fluides de processus et des systèmes

de climatisation. Elles tirent parti du phénomène d'évaporation de l'eau pour éliminer la chaleur de manière efficace. Ces installations sont largement utilisées dans divers secteurs industriels, tels que les centrales électriques, les usines de production, les raffineries, les installations de traitement des eaux et les centres de données. [6]

Le fonctionnement d'une tour de refroidissement évaporatif repose sur un échange thermique entre l'air et l'eau, réalisé par le processus d'évaporation. L'eau chaude à refroidir est introduite dans la tour et distribuée sous forme de fines gouttelettes ou d'un film mince sur une surface d'échange. L'air, entraîné par des ventilateurs, entre en contact avec cette surface et favorise l'évaporation de l'eau. Cette évaporation absorbe la chaleur de l'eau, entraînant ainsi une réduction significative de sa température, l'air chaud et humide, résultant du processus d'évaporation, est évacué hors de la tour. L'eau refroidie est collectée et recyclée en continu pour assurer un fonctionnement efficace. Ce cycle de refroidissement par évaporation permet une consommation d'énergie relativement faible par rapport à d'autres méthodes de refroidissement, ainsi qu'une utilisation optimisée de l'eau. [7]

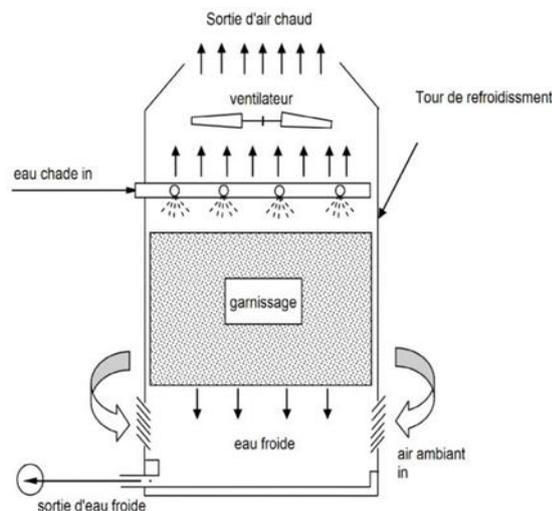


Figure I.9 : Principe de fonctionnement du système [8]

Cependant, il convient de noter que les tours de refroidissement évaporatif nécessitent un entretien régulier pour éviter les problèmes tels que les dépôts minéraux et la contamination microbologique dans le système d'eau. Des procédures de traitement de l'eau et de nettoyage doivent être mises en place pour maintenir des performances optimales et garantir la durabilité de l'installation.

I.3.2.4. Brumisateurs ou atomiseurs d'eau

Le système de brumisation est une technique utilisée pour refroidir l'air ambiant en pulvérisant de fines gouttelettes d'eau qui s'évaporent rapidement. Ce processus de refroidissement adiabatique repose sur l'évaporation de l'eau, qui absorbe la chaleur de l'air environnant. L'humidité de l'air joue également un rôle important dans la sensation de chaleur ou de fraîcheur. Plus l'air est humide, plus la température ressentie est élevée.

L'utilisation de diagrammes psychrométriques permet de calculer la quantité d'eau nécessaire pour refroidir un espace donné en fonction du volume d'air, de la température souhaitée et du degré d'humidité désiré. Les systèmes de brumisation haute pression utilisent de l'eau sous forte pression pour créer un brouillard composé de microgouttelettes, offrant une grande surface d'échange avec l'air. [9]

Ces systèmes de brumisation sont utilisés dans divers domaines tels que l'industrie, où ils permettent de refroidir de grands volumes, de réduire les poussières en suspension dans l'air et de traiter les odeurs indésirables. Ils sont également utilisés dans l'horticulture pour maintenir l'humidité et abaisser la température dans les serres. Enfin, la brumisation peut être utilisée à l'extérieur pour créer une sensation de fraîcheur dans des environnements tels que les terrasses ou les espaces publics.



Figure I.10 : Systèmes de brumisation

I.3.3. Avantages des systèmes de refroidissement évaporatif

- **Coût :**

Les systèmes de refroidissement évaporatif sont généralement moins chers à installer et à entretenir que les climatiseurs centraux réfrigérés. Par rapport aux systèmes de climatisation conventionnels, les dépenses d'exploitation sont également considérablement réduites. [10]

- **Pas de pointe de puissance :**

Les systèmes de refroidissement évaporatif n'ont pas besoin d'un compresseur, ce qui signifie qu'il n'y a pas de pointe de puissance lors de la mise sous tension. Cela peut contribuer à une consommation d'énergie plus stable et à des économies sur les factures d'électricité.

- **Utilisation d'eau :**

Les systèmes de refroidissement évaporatif utilisent de l'eau comme fluide de travail, éliminant ainsi le besoin de réfrigérants spéciaux coûteux et potentiellement nocifs pour l'environnement. Cela rend également leur fonctionnement plus simple et moins soumis à des réglementations strictes.

- **Entretien facile :**

Les refroidisseurs évaporatifs ont généralement moins de pièces mécaniques et sont plus faciles à entretenir que les systèmes de réfrigération traditionnels. Les utilisateurs peuvent souvent effectuer eux-mêmes des réparations ou des remplacements de pièces, réduisant ainsi les coûts de service.

- **Qualité de l'air :**

Les systèmes de refroidissement évaporatif agissent également comme des filtres à air efficaces, en éliminant divers contaminants de l'air, même dans des conditions sèches. Cela peut améliorer la qualité de l'air intérieur et réduire les problèmes d'électricité statique.

- **Confort :**

En augmentant l'humidité de l'air, les systèmes de refroidissement évaporatif peuvent améliorer le confort dans les climats secs. Ils fournissent également un débit d'air élevé, ce qui aide à réduire l'âge de l'air dans le bâtiment et crée une sensation de fraîcheur.

I.4. Système de refroidissement par énergies renouvelables

Le refroidissement est essentiel dans notre vie quotidienne, mais les systèmes traditionnels utilisent des énergies non renouvelables, ce qui entraîne des problèmes environnementaux. Les systèmes de refroidissement par énergies renouvelables offrent une alternative respectueuse de l'environnement en utilisant des sources d'énergie durable comme le soleil, le vent, la géothermie et l'hydraulique. Ces systèmes réduisent les émissions de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie, tout en étant adaptés à différents besoins et échelles. Ils contribuent à la transition énergétique, la lutte contre le changement climatique et la préservation de notre planète pour les générations futures. :

I.4.1. Système de refroidissement par énergie solaire

Le développement de systèmes de refroidissement utilisant l'énergie solaire représente une alternative prometteuse aux systèmes de climatisation traditionnels. Ces systèmes exploitent les phénomènes de sorption, tels que l'absorption, l'adsorption et la dessiccation solide ou liquide, pour convertir l'énergie thermique en puissance de refroidissement. En utilisant des sources d'énergie renouvelables comme le soleil, ils offrent des avantages tels que l'amélioration du confort thermique, la réduction des émissions de CO₂ et la réduction de la demande énergétique de pointe. Les bâtiments, qui consomment une part importante de l'énergie mondiale, peuvent bénéficier de ces technologies pour réduire leur consommation d'énergie et leur impact environnemental. Les systèmes de refroidissement solaire sont étudiés et développés dans le monde entier, avec un accent particulier sur l'absorption solaire qui représente la majorité des installations. La recherche continue dans ce domaine permettra d'améliorer l'efficacité et la viabilité de ces systèmes, contribuant ainsi à une approche plus durable de la climatisation des bâtiments. [11]

I.4.2. Classification des technologies de refroidissement solaire

Les systèmes de refroidissement solaire peuvent être classés en deux catégories principales en fonction de l'énergie utilisée pour les alimenter : les systèmes de

refroidissement solaire thermique et les systèmes de refroidissement solaire électrique. Dans les systèmes de refroidissement solaire thermique, le processus de refroidissement est entraîné par des capteurs solaires qui collectent l'énergie solaire en la convertissant en énergie thermique, puis utilisent cette énergie pour alimenter des systèmes de refroidissement thermique tels que les cycles d'absorption, d'adsorption et de dessiccation. En revanche, dans les systèmes de refroidissement solaire électrique, l'énergie électrique fournie par des panneaux solaires photovoltaïques est utilisée pour alimenter un système de climatisation électrique conventionnel à compresseur de vapeur. Les deux types de refroidissement solaire peuvent être utilisés dans des processus de réfrigération et de climatisation industriels et domestiques. [12]

I.4.2.1. Systèmes de refroidissement électriques solaires

Les systèmes de refroidissement solaire alimentés par l'électricité utilisent des panneaux solaires photovoltaïques pour générer de l'énergie électrique, qui est ensuite utilisée pour alimenter un système conventionnel à compression de vapeur électrique. Ces systèmes combinent les avantages de l'énergie solaire et l'efficacité de la technologie de réfrigération électrique.

Dans un système de refroidissement solaire alimenté par l'électricité, les panneaux solaires photovoltaïques captent la lumière du soleil et la convertissent en électricité. Cette énergie électrique est utilisée pour faire fonctionner le compresseur, qui comprime le fluide frigorigène et initie le cycle de refroidissement. Le fluide frigorigène subit ensuite une série de changements de phase, absorbant la chaleur de l'environnement et la rejetant à l'extérieur, fournissant ainsi du froid. [13]

I.4.2.2. Systèmes de refroidissement solaire thermiques

Les systèmes de refroidissement solaire thermiques utilisent l'énergie solaire pour générer de la chaleur, qui est ensuite utilisée pour produire du froid. Ils sont basés sur l'utilisation de collecteurs solaires qui captent la chaleur du soleil et la transfèrent à un fluide de travail, tel qu'un liquide ou un gaz. Ce fluide de travail est ensuite utilisé dans un cycle de refroidissement, tel que l'absorption ou l'adsorption, pour produire du froid. [14]

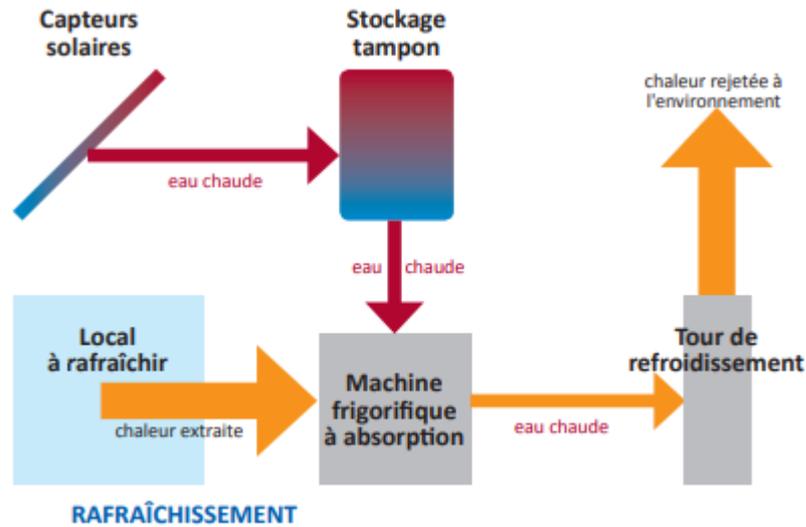


Figure I.11 : Principe de fonctionnement systèmes de refroidissement solaire thermique

I.5. Systèmes de production d'énergie solaires

Il existe différents systèmes utilisés pour la production d'énergie solaire. Voici quelques-uns des plus courants :

I.5.1. Panneaux solaires photovoltaïques

Les panneaux solaires photovoltaïques convertissent directement la lumière du soleil en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques. Ces panneaux sont constitués de cellules en silicium qui génèrent un courant continu lorsqu'ils sont exposés à la lumière du soleil. L'électricité produite peut être utilisée immédiatement ou stockée dans des batteries. [15]



Figure I.12 : Panneaux solaires photovoltaïques

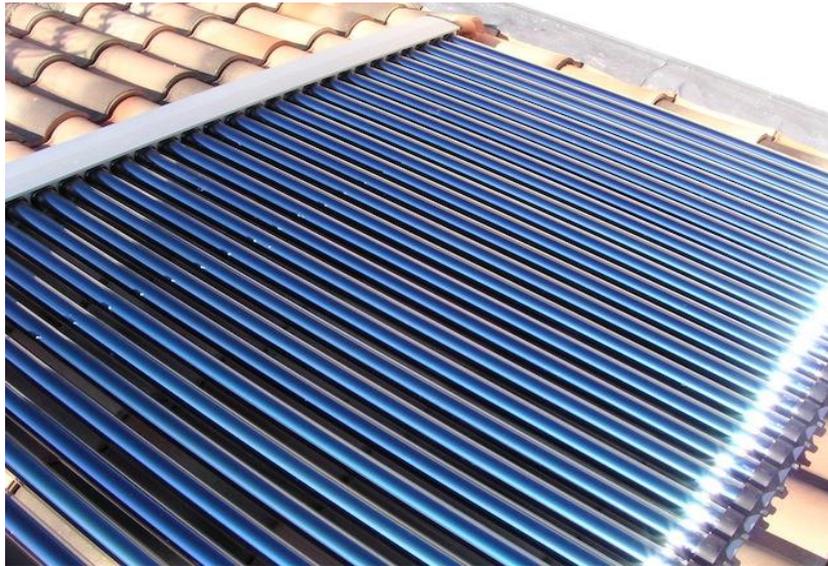


Figure I.13 : Panneau solaire thermique à tubes sous vide

I.5.2. Concentrateurs solaires

Les concentrateurs solaires sont utilisés pour concentrer la lumière solaire sur une petite surface, généralement en utilisant des miroirs ou des lentilles. Cette concentration de la lumière solaire permet d'obtenir des températures plus élevées et peut être utilisée pour produire de la chaleur ou de l'électricité. [16]



Figure I.14 : Concentrateur solaire

Conclusion

La demande de solutions de refroidissement efficaces et durables est en augmentation. Les systèmes de refroidissement évaporatif, en raison de leur efficacité énergétique et de leur utilisation de l'eau comme réfrigérant naturel, sont une option attrayante. De plus, une grande part de ces systèmes intègre des sources d'énergies renouvelables, notamment solaire, pour alimenter leurs opérations. Les technologies de refroidissement solaires permettent de transformer l'énergie solaire en énergie frigorifique, offrant ainsi une solution respectueuse de l'environnement et économiquement viable.

L'amélioration continue de ces systèmes de refroidissement solaire, combinée à l'adoption de technologies avancées et à l'exploitation d'autres sources d'énergie renouvelable, contribuera à répondre aux besoins croissants en matière de refroidissement efficace et durable. L'intégration de l'énergie solaire dans les systèmes de refroidissement offre une opportunité prometteuse pour une transition vers des pratiques plus durables et écologiques dans tous les domaines où le refroidissement est essentiel.

Chapitre 2 : Confort des élevages de poulets de chaires

Introduction

Au fil des dernières décennies, les réglementations environnementales pour les productions animales ont considérablement évolué en prenant en compte le bien-être animal. C'est un aspect crucial dans la réflexion menée autour de l'évolution de ces productions [17], le bien-être animal est devenu un sujet incontournable dans l'industrie de l'élevage.

Il est important de souligner que chaque composante de l'environnement dans les bâtiments d'élevage peut impacter l'état de santé des animaux, directement ou indirectement. Les infections respiratoires ou digestives peuvent facilement se développer chez les animaux fragilisés par les agressions environnementales. [18].

En ce qui concerne les volailles, l'ambiance dans laquelle elles évoluent joue un rôle décisif pour leur maintien en bonne santé et pour l'obtention de résultats zootechniques optimaux en accord avec leur potentiel génétique. [19]

L'objectif de ce travail est de maintenir un environnement dans les bâtiments avicoles qui permettra aux poulets d'atteindre des performances optimales en termes de taux de croissance, d'uniformité, d'efficacité alimentaire et de rentabilité, tout en garantissant leur santé et leur bien-être. Pour ce faire, il est important de mettre en place des mesures de gestion appropriées, telles que le contrôle de la qualité de l'air, de la température, de l'humidité et de l'éclairage, ainsi que de fournir des aliments de haute qualité et de l'eau propre. Il convient également de garantir des conditions d'élevage confortables pour les volailles, notamment en termes d'espace, de propreté et de ventilation, et de surveiller leur santé de manière proactive. En somme, l'objectif ultime est de maximiser la productivité de l'élevage tout en préservant le bien-être animal.

II.1. Le poulailler

Un poulailler est un bâtiment spécialement conçu pour l'élevage des poules. C'est un lieu où les poules peuvent vivre et se développer en toute sécurité, avec un accès à l'eau, à la nourriture et à un environnement adapté à leurs besoins. Les poulaillers peuvent être construits de différentes tailles et styles en fonction du nombre de poules qu'ils sont destinés à accueillir et des conditions climatiques locales. Ils sont souvent équipés d'un système de ventilation pour maintenir une bonne qualité de l'air à l'intérieur et d'un

système de régulation de la température pour garantir que les poules restent à l'aise. Les poulaillers peuvent être utilisés pour l'élevage de poulets de chair ou de poules pondeuses, en fonction des besoins de l'exploitation avicole.

II.1.1. L'orientation du poulailler

L'orientation du poulailler est un aspect à prendre en compte pour assurer un environnement de vie sain pour les volailles. En effet, il est primordial de tenir compte des mouvements du soleil et de la direction des vents dominants lors du choix de l'emplacement du poulailler. Dans les régions chaudes, il est conseillé de placer le bâtiment à l'ombre ou face à l'est afin d'éviter une exposition prolongée aux rayons directs du soleil. Cette orientation permet également de favoriser une circulation d'air frais dans le poulailler, ce qui est essentiel pour prévenir les problèmes liés à la qualité de l'air qui peuvent affecter la santé des volailles. Il est donc important de choisir une orientation adéquate qui assure une ventilation optimale tout en évitant les rayons directs du soleil. En conséquence, pour assurer une bonne qualité de vie pour les poulets, il est primordial de bien prendre en compte ces deux critères dans l'orientation du poulailler.

II. 2. Les principaux paramètres d'ambiance

II.2.1. Température

La température de l'air ambiant est un facteur prédominant pour le confort et le bien-être des volailles dans un élevage de poulets de chair. Les erreurs de chauffage peuvent constituer l'une des principales causes de mortalité chez les poussins, et la température doit être maîtrisée particulièrement durant les premiers jours de leur vie. En effet, les jeunes animaux ne régulent pas eux-mêmes la température de leur corps avant l'âge de 5 jours ne s'adaptent véritablement aux variations de température qu'à partir de deux semaines d'âge. La température optimale des poussins est comprise entre 28°C d'ambiance et 32°C à 36°C sous radiants, et la zone de neutralité thermique du poussin est comprise entre 31°C et 33°C. [19]

La température a une incidence considérable sur les conditions de vie de la volaille et sur leur performance zootechnique. Elle peut affecter la croissance, la production d'œufs, la santé et la mortalité des poulets. Des températures inappropriées peuvent causer du stress thermique chez les poulets, entraînant une baisse de la performance

zootechnique, une réduction de la consommation d'aliments et d'eau, ainsi qu'une augmentation de la mortalité.

Il est donc crucial de contrôler la température dans les bâtiments d'élevage pour garantir un environnement confortable pour les volailles. Cela peut être accompli en utilisant des systèmes de climatisation et de ventilation pour réguler la température.

Le tableau II.1 donne les plages de températures d'élevage :

Tableau II.1 : Températures d'élevage [20]

Âge en jour	Chauffage par élevage		Température dans la zone de vie
	Au bord de l'éleveuse	Dans la zone de vie	
0 à 1	38°C	28 à 29°C	31 à 33°C
2 à 7	34°C	28°C	31 à 32°C
8 à 14	32°C	28°C	29 à 31°C
15 à 21	29°C	28°C	28 à 29°C
22 à 28		22 à 28°C	22 à 28°C
29 à 35		21 à 22°C	21 à 22°C
Après 35		18 à 21°C	18 à 21°C

Ces valeurs sont des approximations générales et peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de l'élevage, telles que la race de poulet, la densité de population, le système de ventilation, etc.

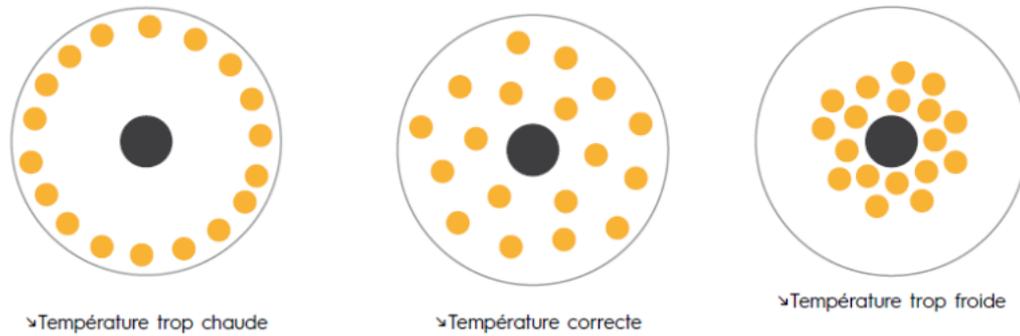


Figure II.1 : Comportement des volailles en fonction de la température [21]

II.2.2. Hygrométrie

L'hygrométrie, ou la quantité d'humidité contenue dans l'air, est un élément important à prendre en compte dans l'élevage de poulets de chair. En effet, une humidité excessive peut entraîner des problèmes de santé tels que la prolifération de moisissures et de bactéries, tandis qu'une humidité insuffisante peut entraîner une déshydratation des animaux et une baisse de leur performance zootechnique.

Le contrôle de l'humidité est donc crucial pour assurer le bien-être et la santé des poulets, ainsi que pour maximiser leur performance. Il est recommandé de maintenir une hygrométrie entre 65% et 70%, en veillant à ce que les systèmes de ventilation soient correctement réglés et en évitant les fuites d'eau.

Lorsque l'hygrométrie est élevée (au-dessus de 70%), les particules de poussière libérées par la litière sont moins nombreuses et de plus grande taille, car elles sont hydratées. Cela réduit leur potentiel pathogène pour les animaux. En revanche, lorsque l'hygrométrie est trop faible (en dessous de 55%), les litières peuvent devenir très pulvérulentes et libérer de nombreuses particules irritantes de petite taille.

En conclusion, la régulation de l'humidité est un élément crucial à prendre en compte dans l'élevage de poulets de chair, tant pour le bien-être et la santé des animaux que pour maximiser leur performance zootechnique. Il est donc recommandé de surveiller attentivement l'hygrométrie et d'ajuster les systèmes de ventilation en conséquence.

Tableau II.2 : Recommandations des limites des taux d'humidité relatif dans les bâtiments pour poulets de chair [22]

Saison	Humidité (%)
Hiver	50-65
Automne – Printemps	45-65
Eté	40-60

II.2.3. Ventilation

L'un des facteurs les plus importants pour maintenir une qualité de l'air adéquate dans les bâtiments d'élevage est la ventilation. Elle permet d'évacuer l'air pollué par les déchets et les excréments des animaux, tout en fournissant de l'air frais à l'intérieur de la structure. Cependant, une ventilation inappropriée peut également entraîner des problèmes de santé et de performances chez les animaux. Ainsi, le contrôle des paramètres de ventilation pour garantir une bonne qualité de l'air est d'une importance majeure.

En plus de son impact sur la qualité de l'air, la ventilation joue également un rôle crucial dans la régulation des niveaux de chaleur dans le bâtiment. Les systèmes de ventilation doivent donc être conçus de manière à minimiser les pertes ou apports de chaleur et d'humidité, ainsi que les points de fuite d'air. Ceux-là peuvent inclure la régulation de la vitesse et de la direction de l'air, ainsi que de la température et du taux d'humidité.

En outre, l'hygrométrie est un facteur important à prendre en compte pour garantir le confort thermique des animaux. En climat chaud, une hygrométrie élevée peut diminuer les possibilités d'évaporation pulmonaire et par conséquent réduire l'élimination de chaleur, ce qui peut affecter les performances zootechniques des animaux. Toutefois, une hygrométrie élevée peut également avoir des effets bénéfiques en limitant le pouvoir pathogène des particules de poussière libérées par la litière. En revanche, une hygrométrie trop faible peut rendre les litières très pulvérulentes et libérer de nombreuses particules irritantes de petite taille.

L'objectif de la ventilation est d'obtenir le renouvellement d'air dans le bâtiment afin :

- D'apporter l'oxygène à l'air de vie des animaux.
- D'évacuer les gaz toxiques produits dans l'élevage : ammoniac, dioxyde de carbone, sulfure d'hydrogène.
- De réguler l'ambiance du bâtiment et d'offrir aux volailles une température et une hygrométrie optimales.
- D'éliminer les poussières. [23]

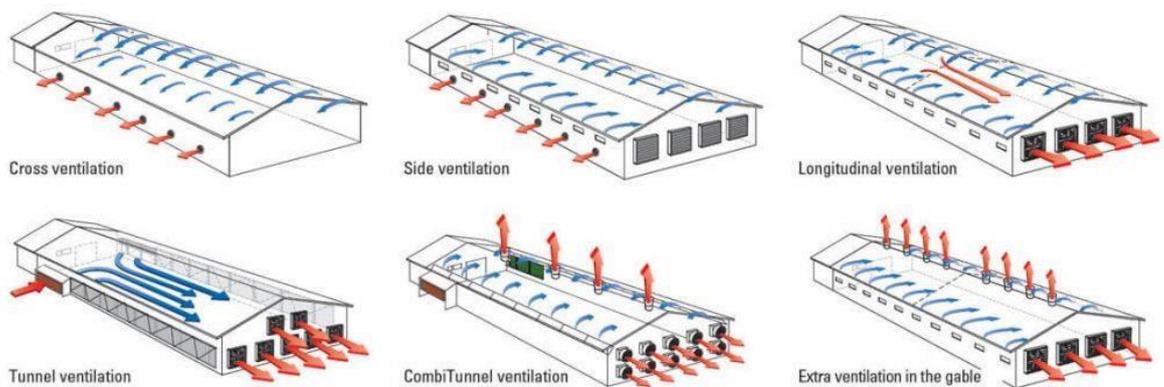


Figure II.2 : Types de circulation de l'air dans les bâtiments d'élevage

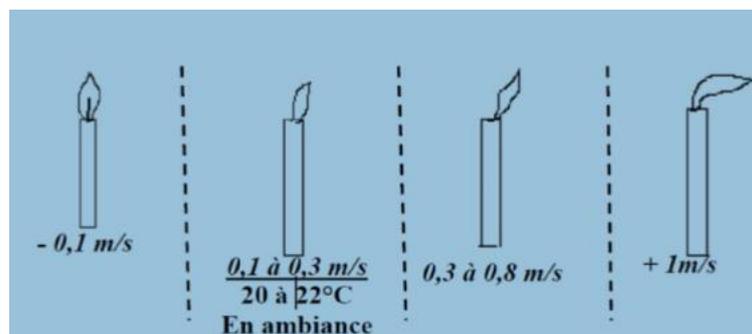


Figure II.3 : Vitesses de ventilation dans le bâtiment [19]

II.2.4. La qualité de l'air

L'air de qualité dans les élevages de poulets de chair est aussi un paramètre primordial pour garantir la santé et la performance des animaux. Une mauvaise qualité de l'air peut entraîner des infections respiratoires, une réduction de la consommation d'aliments et d'eau, ainsi qu'une baisse de la performance zootechnique. Par conséquent, il est essentiel de contrôler la qualité de l'air à l'intérieur du poulailler en veillant à ce que

les systèmes de ventilation soient bien réglés et en évitant les sources de pollution de l'air telles que les déchets alimentaires et les fientes des poulets.

Les odeurs et les gaz toxiques, tels que l'ammoniac, le méthane et l'anhydride sulfureux, proviennent des déjections et des fermentations de la litière. L'ammoniac est le gaz le plus important car il provient de la décomposition de l'acide urique et peut causer de nombreux problèmes de santé. Il est donc recommandé de maintenir les teneurs d'ambiance en ammoniac à un seuil aussi bas que possible, idéalement à 15 ppm. Au-delà des seuils indiqués, l'ammoniac peut causer des troubles oculaires, des maladies respiratoires, des irritations des muqueuses oculaires et des baisses de performances chez les animaux [24].

En somme, il est primordial de prendre en compte la qualité de l'air dans la conception et la gestion des élevages de poulets de chair afin de garantir des conditions optimales pour la santé et la performance des animaux.

II.2.5. La luminosité

La lumière est un facteur environnemental de taille pour la reproduction et le développement gonadique chez les oiseaux, incluant les volailles [25], la lumière a un rôle prépondérant dans la reproduction des volailles. Quant au poulet de chair, la lumière permet aux poussins de voir les abreuvoirs et les mangeoires, comme le souligne [26]. Cependant, pour améliorer leur croissance, il est préférable de les maintenir dans une semi-obscurité, réduisant ainsi leur activité [27]. Pendant les deux premiers jours, il est conseillé de maintenir les poussins dans une durée d'éclairage maximale de 23-24h, avec une intensité d'environ 5w/m² pour stimuler leur consommation d'eau et d'aliments. Ensuite, l'intensité lumineuse doit être progressivement réduite pour atteindre une valeur d'environ 0.7w/m² à partir du 7^{ème} jour [28]. Dans les régions chaudes, il est recommandé d'éclairer la nuit, période plus fraîche, pour soutenir une consommation adéquate d'eau et d'aliments. [19]

II.2.6. La densité d'élevage

La densité d'élevage est un paramètre aussi important que les précédents, qui doit être pris en compte pour assurer la santé et le bien-être des animaux. Plusieurs facteurs peuvent limiter la densité d'élevage, notamment les normes d'équipement, la qualité du

bâtiment et les conditions climatiques. Par exemple, en période froide, une isolation insuffisante peut rendre difficile le maintien d'une température et d'une ambiance adéquates, ce qui peut entraîner des problèmes avec la litière. De même, en période chaude, l'isolation, la puissance de ventilation, la vitesse de l'air et la capacité de refroidissement de l'air ambiant peuvent devenir des facteurs limitants. Dans certains cas, il peut être nécessaire de réduire la densité d'élevage pour maintenir une litière adéquate ou une température acceptable pour les animaux.

En ce qui concerne les recommandations de densité d'élevage, la majorité des spécialistes s'accordent à dire qu'il ne devrait pas y avoir plus de 10 sujets par mètre carré. Cette recommandation est étayée par plusieurs auteurs, tels que Laouer (1987) [29], Bellaoui (1990) [30], Fadida (1996) [23]. Il est donc crucial de tenir compte de ces recommandations pour assurer la santé et le bien-être des animaux dans les élevages avicoles.

Tableau II.3 : Densité en élevage poulet de chair [23]

Phase d'élevage de poule chair	La densité
Phase de démarrage	30 à 20 Sujet /m ²
Phase croissance	20 à 15 Sujet /m ²
Phase finition	10 Sujet /m ²

Conclusion

Il est essentiel de prendre en compte le bien-être animal dans l'industrie de l'élevage, en particulier dans les bâtiments avicoles. Pour atteindre des performances optimales, il est crucial de mettre en place des mesures de gestion appropriées afin d'assurer le confort des animaux, ce qui comprend notamment un contrôle rigoureux de la qualité de l'air, de la température, de l'humidité, ainsi que d'autres conditions essentielles à leur bien-être. En veillant à une qualité d'air optimal, une température adéquate, un taux d'humidité contrôlé et un environnement confortable, nous pouvons favoriser la santé et le bien-être des volailles.

Par ailleurs, l'un des aspects cruciaux de la gestion adéquate des bâtiments avicoles est le refroidissement. Étant donné la sensibilité des volailles à la chaleur, des températures élevées peuvent entraîner des problèmes de santé et de bien-être. Par

conséquent, il est impératif de mettre en place des systèmes de refroidissement efficaces pour maintenir des conditions thermiques optimales.

Chapitre 3 : Précis sur l'air humide

Introduction

L'air, un mélange gazeux d'une rare complexité, est omniprésent dans notre environnement. Il est sujet à des variations constantes de pression, de température et de composition, tant dans l'espace que dans le temps, en raison des interactions avec les corps qui y sont rejetés ou prélevés.

Parmi les nombreux composants de l'air, l'eau joue un rôle particulièrement essentiel. Présente sous forme de vapeur en permanence, elle se condense fréquemment sous forme d'eau liquide ou de glace, conférant ainsi des propriétés spécifiques à l'air humide. Ces propriétés sont à la fois cruciales pour les processus vitaux, les phénomènes météorologiques et les processus physiologiques, mais aussi pour les applications industrielles et les conditions de confort humain et animale.

Les phénomènes thermiques liés aux changements d'état de l'eau jouent également un rôle majeur dans les processus naturels et industriels. Les phénomènes d'évaporation, présents dans les êtres vivants, les opérations industrielles et les conditions climatiques, sont directement liés à la teneur en eau de l'air atmosphérique. De plus, la conservation de nombreux produits, œuvres d'art et documents dépend de la quantité d'eau présente dans l'air qui les entoure. Ainsi, l'humidité de l'air est un sujet d'intérêt multidisciplinaire qui motive l'homme à approfondir ses connaissances à ce sujet.

Les conditions de confort animal exigent que l'atmosphère qui nous entoure présente une température et une humidité maintenues dans des limites relativement étroites. C'est pourquoi les techniques de climatisation se sont développées pour atteindre cet objectif, en utilisant des opérations élémentaires de traitement de l'air humide telles que le mélange, le réchauffement, le refroidissement, l'humidification et la déshumidification.

Ces traitements de l'air ont également une grande importance dans le domaine du conditionnement d'air industriel, où l'objectif est de préparer l'air pour répondre aux conditions spécifiques requises par les processus industriels.

III.1. Composition de l'atmosphère type

L'air sec type est considéré comme un gaz parfait, exempt de vapeur d'eau. Selon les paramètres de référence établis par l'OACI, ses constantes physiques sont les suivantes :

[31]

Une masse molaire M_a de $28,96455 / 10^3$ kg / mol.

Une pression atmosphérique au niveau de la mer de 101 325 Pa.

Une température de 15 °C au niveau de la mer et une masse volumique de $1,226$ kg / m³ également au niveau de la mer.

L'atmosphère, cependant, ne se limite pas à de l'air sec. Il est important de prendre en compte l'humidité présente, qui se manifeste sous forme de vapeur d'eau dont la teneur varie en fonction de la saison, de l'heure et du lieu. De plus, l'humidité peut se condenser en phase liquide, se présentant alors sous forme de gouttelettes d'eau, de nuages, de brume ou de brouillard. Elle peut également se solidifier en neige ou en glace, par exemple.

Outre l'humidité, l'air atmosphérique contient également des impuretés provenant de sources industrielles ou naturelles, telles que des poussières et des micro-organismes. De plus, l'électricité atmosphérique, sous forme d'ions, est également présente.

Il convient de noter que les valeurs de température, de pression et de masse volumique de l'air peuvent varier en fonction de l'altitude, de la situation géographique, des conditions atmosphériques, et d'autres facteurs.

III.1.1. L'air sec

C'est un mélange de gaz constitué principalement d'azote, d'oxygène, d'argon et de gaz carbonique, ainsi que de petites quantités d'autres gaz tels que le néon, l'hélium, le krypton et l'hydrogène. Bien que ces proportions puissent varier légèrement en fonction du temps et du lieu, elles sont généralement considérées comme constantes (air de référence).

III.1.2. L'air humide

Il s'agit d'un mélange variable d'air sec et de vapeur d'eau. Il convient de noter que la vapeur d'eau se trouve à l'état gazeux, et la présence d'eau liquide en suspension, telle que le brouillard, n'est pas prise en compte dans la notion d'air humide abordée dans ce mémoire. En réalité, la présence d'eau en suspension peut même perturber les mesures d'humidité. La masse molaire de l'eau est quant à elle de : $M_v = 18,01528 \times 10^{-3}$ kg / mol.

III.2.3. Température de rosée

Elle est atteinte lorsqu'une surface refroidie, en contact avec l'air humide, atteint le point où la vapeur d'eau se condense en gouttelettes d'eau ou en glace. Cette température est déterminée expérimentalement à l'aide d'un miroir ou d'un système thermométrique qui mesure la température de la surface froide. On parle de point de rosée lorsque la condensation se forme en eau et de point de givre lorsque la condensation se forme en glace.

III.2.4. Teneur en humidité

C'est le rapport entre la masse de la vapeur d'eau et la masse d'air sec continuée dans le mélange.

$$r = \frac{m_v}{m_a}$$

Dans les applications de climatisation, r est appelée humidité spécifique. [33]

III.2.5. Humidité relative

L'humidité relative (HR) est définie comme le rapport de la pression partielle de vapeur d'eau (P_v) dans l'air humide à la pression de saturation de la vapeur d'eau à la même température (P_s). Cela nous permet d'évaluer le degré de saturation de l'air en fonction de sa capacité maximale à retenir la vapeur d'eau à une température donnée.

La formule pour calculer l'humidité relative est la suivante :

$$HR = \frac{P_v}{P_s} \times 100\%$$

Où P_v représente la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide et P_s représente la pression de saturation de la vapeur d'eau à la même température.

Lorsque l'humidité relative est de 100%, cela signifie que l'air est saturé et qu'il atteint sa capacité maximale de retenir la vapeur d'eau à cette température spécifique. En revanche, une humidité relative inférieure à 100% indique que l'air est capable d'absorber davantage de vapeur d'eau.

L'humidité relative est une mesure importante dans de nombreux domaines, tels que la météorologie, la climatologie, la santé et le confort intérieur. Elle influence des facteurs tels que la sensation de chaleur ou de fraîcheur, la formation de nuages, la condensation, l'évaporation et les processus de transfert de chaleur et d'humidité.

III.2.6. Volume massique de l'air humide

La masse volumique de l'air humide, notée V_s , est définie comme le volume d'air humide contenant 1 kg d'air sec. Elle s'exprime en mètres cubes par kilogramme d'air sec (m^3/kg air sec) :

$$V_s = \frac{V}{m_a}$$

Cette grandeur peut sembler surprenante, mais elle revêt une grande importance dans les calculs aérauliques et thermiques.

La masse volumique de l'air humide est une caractéristique essentielle pour convertir un débit d'air exprimé en mètres cubes d'air humide en débit massique d'air sec. Cette conversion est nécessaire dans de nombreux calculs, notamment dans le domaine de la ventilation et des transferts thermiques.

III.2.7. Chaleur sensible (Q_s ou H_s)

Elle est définie comme la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une substance ou d'un corps sans changer son état physique. Elle est exprimée en kilocalories par kilogramme d'air sec (Kcal/Kg d'air sec). La chaleur sensible est associée aux variations de température et est calculée en multipliant la masse de la substance par sa capacité thermique spécifique.

III.2.8. Chaleur latente (Q_L ou H_L)

Elle est définie comme la quantité de chaleur nécessaire pour effectuer un changement d'état d'une substance à pression et température constantes. La chaleur latente de vaporisation est spécifiquement la chaleur requise pour transformer une substance de l'état liquide à l'état de vapeur, tandis que la chaleur latente de fusion est la chaleur nécessaire pour changer une substance de l'état solide à l'état liquide.

Les termes "vaporisation" et "liquéfaction" sont utilisés de manière générale pour décrire respectivement les changements d'état de l'eau de l'état liquide à l'état de vapeur et de l'état de vapeur à l'état liquide.

III.3. Diagramme de l'air humide (Diagramme psychrométrique)

Les diagrammes de l'air humide sont des outils graphiques utilisés pour représenter différentes caractéristiques de l'air humide dans un état donné.

Ces diagrammes comportent souvent des courbes d'humidité relative, dont la courbe à 100 % d'humidité relative représente la saturation de l'air humide. Des droites de température humide et d'enthalpie constante peuvent également être tracées, limitées par la courbe de saturation pour les hautes humidités relatives.

Parmi les principaux diagrammes construits selon ce principe, on retrouve le diagramme de Véron et Casari, ainsi que le diagramme de COSTIC (Comité scientifique et technique des industries du chauffage et de la climatisation).

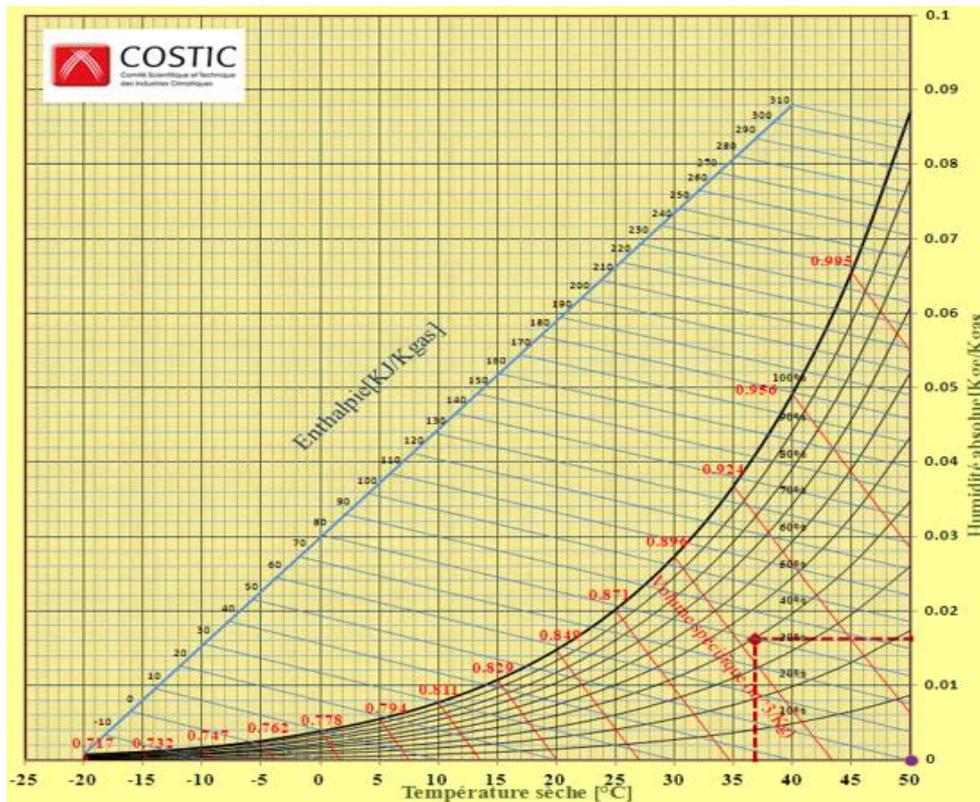


Figure III.1 : Diagramme de COSTIC [32]

III.3.1. Exploration des propriétés essentielles de l'air humide à travers le diagramme

Dans ce qui suit, nous explorerons les différentes représentations des sept grandeurs caractéristiques de l'air humide sur le diagramme, où chaque point correspond à un état spécifique de l'air humide, défini par deux grandeurs physiques distinctes :

Tableau III.2 : Grandeurs physiques de l'air humide

Grandeurs	Symbole	Unité
Température sèche	θ	[°C]
Température humide	θ_h	[°C]
Température de rosée	θ_r	[°C]
Enthalpie spécifique	h	[kJ/kg]
Humidité absolue	r	[kg _v /kg _{as}]
Le volume spécifique	v	[m ³ /kg _{as}]
Humidité relative	HR	[%]

La figure ci-dessous illustre un diagramme psychrométrique exhaustif de type "Carrier" à coordonnées rectangulaires. Ce diagramme met en évidence de manière précise et complète l'ensemble des grandeurs caractéristiques associées à l'air humide.

Le point O, situé à une température de 25°C et une humidité relative de 50%, est le point de référence de l'échelle du facteur de chaleur sensible (S.H.F).

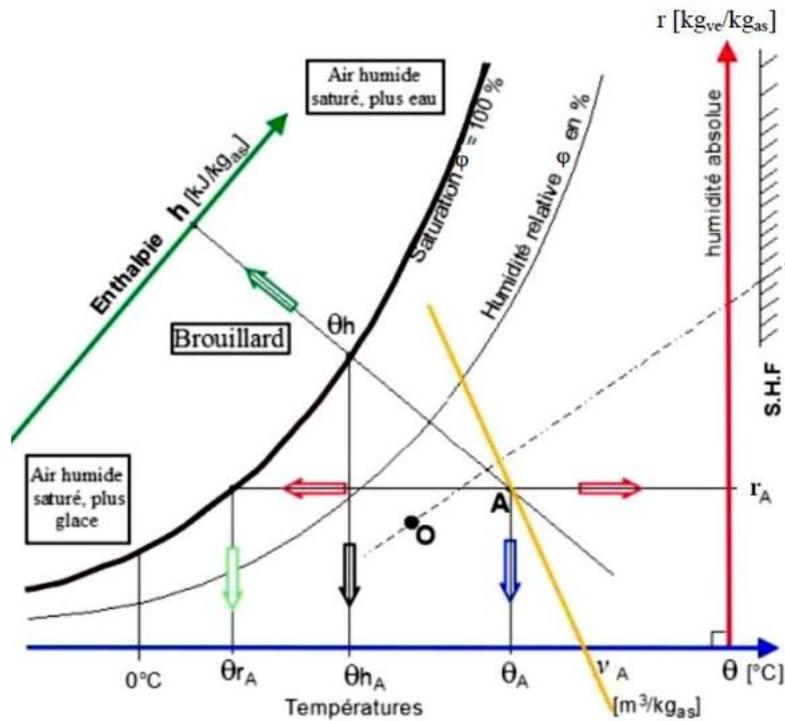


Figure III.2 : Diagramme de l'air humide [33]

III.4. Procédés de traitement de l'air humides

Les procédés de traitement de l'air humide sont essentiels pour conditionner l'atmosphère selon les exigences de température et d'humidité. Ces procédés comprennent plusieurs opérations, notamment :

1. Réchauffage de l'air humide : Il s'agit d'augmenter la température de l'air tout en maintenant le niveau d'humidité constant.
2. Refroidissement de l'air humide avec ou sans déshumidification : Ce processus vise à réduire la température de l'air tout en contrôlant son niveau d'humidité, soit en le laissant inchangé, soit en le réduisant.
3. Humidification : Processus qui vise à augmenter le niveau d'humidité de l'air en l'approvisionnement de vapeur d'eau.
4. Déshumidification : Ce processus vise à réduire le niveau d'humidité de l'air en éliminant l'excès de vapeur d'eau présente. Différentes méthodes de déshumidification peuvent être utilisées, telles que la condensation, l'adsorption ou la compression.

5. Mélange adiabatique de deux airs humides : Il s'agit de combiner deux flux d'air humide de caractéristiques différentes de manière à obtenir un état final avec une température et une humidité spécifique.

III.5. Humidification de l'air

C'est un processus nécessaire dans plusieurs situations, telles que :

- En hiver, lorsque l'humidité spécifique de l'air extérieur est basse, il est courant d'humidifier l'air lors de la climatisation.
- Dans le domaine du conditionnement d'air industriel, comme dans l'industrie textile, les poudreries, les hôpitaux, etc.
- En été, dans les régions arides, il est parfois nécessaire de refroidir un air chaud et sec en le vaporisant directement avec de l'eau.

Il existe deux principales méthodes d'humidification de l'air :

- L'humidification par injection de vapeur d'eau, où la température de l'air sec reste relativement constante.
- L'humidification par injection de gouttelettes d'eau liquide, qui permet l'évaporation de l'eau liquide au contact de l'air. Cette méthode peut être réalisée avec de l'eau chauffée préalablement, refroidie ou sans transfert de chaleur.
-

III.5.1. Humidification par injection de vapeur

Elle consiste à ajouter de la vapeur d'eau à l'air à l'aide d'un générateur de vapeur. Cette méthode permet de maintenir la température sèche de l'air constante, comme illustré dans la figure suivante.

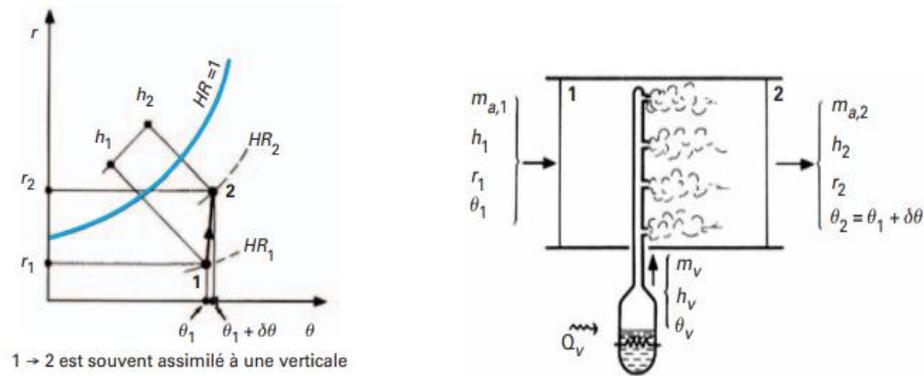


Figure III.3 : Humidification par injection de vapeur [34]

III.5.2. Humidification par injection de gouttelettes d'eau liquide

C'est un processus dans lequel de fines gouttelettes d'eau sont pulvérisées dans l'air à humidifier. Une partie de ces gouttelettes s'évapore en absorbant de la chaleur de l'air, ce qui entraîne un refroidissement de l'air et une augmentation de son humidité. Selon la technologie utilisée, on distingue les laveurs à eau recyclée (LER) des humidificateurs à pulvérisation directe (rotatifs ou à ultrasons). [33]

Ce procédé de traitement de l'air maintient une température humide constante et conserve une enthalpie constante, comme illustré dans la figure.

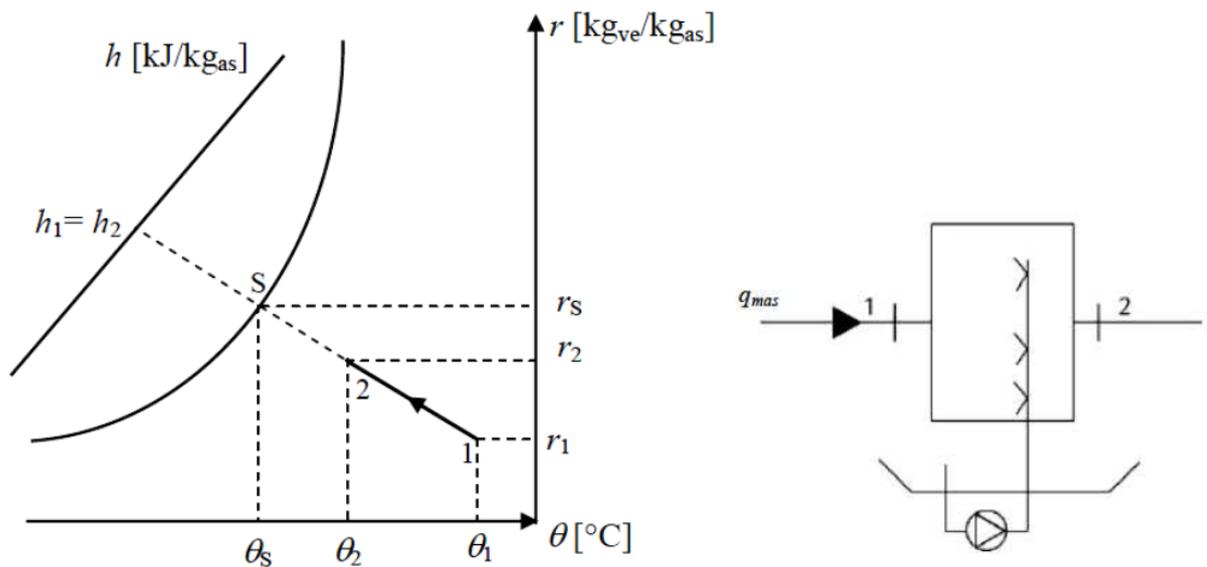


Figure III.4 : Humidification adiabatique [33]

Ce type d'humidification est le processus retenu lors de notre travail, pour le refroidissement du bâtiment avicole. Le système à concevoir est composé de deux parties assurant le refroidissement. La première est un système indirect où l'air de soufflage est refroidi par contact indirect au sein d'un échangeur de chaleur avec un autre flux d'air refroidi par humidification sans augmenter son humidité spécifique. La seconde partie est un humidificateur utilisant un système de distribution d'eau permettant son écoulement sous forme de fines gouttelettes sur un panneau d'évaporation contenant un milieu poreux de type nid d'abeilles qui vise à augmenter la surface d'échange par unité de volume. Un ventilateur fait circuler l'air frais vers l'intérieur de l'espace à rafraîchir.

La consommation énergétique du système est très faible puisqu'il ne requiert de l'énergie que pour les ventilateurs et les pompes. L'utilisation des énergies renouvelables est donc favorable. Le système peut être à énergie gratuite en l'alimentant par énergie solaire.

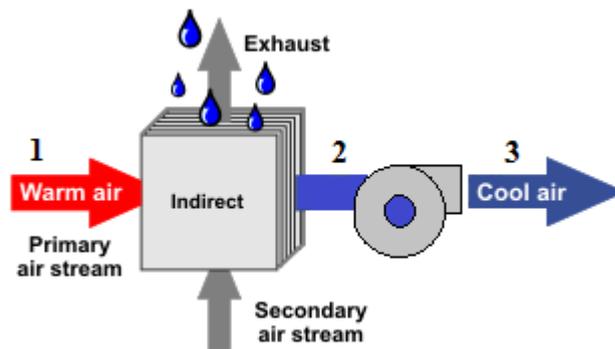


Figure III.5 : Echangeur indirecte

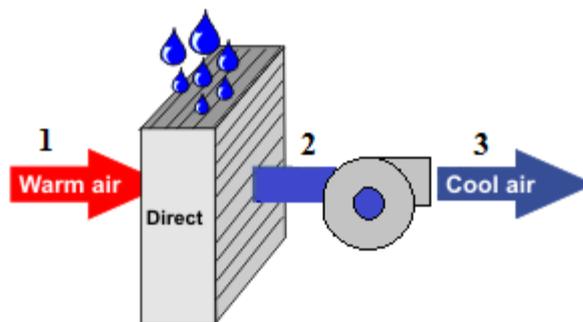


Figure III.6 : Echangeur directe

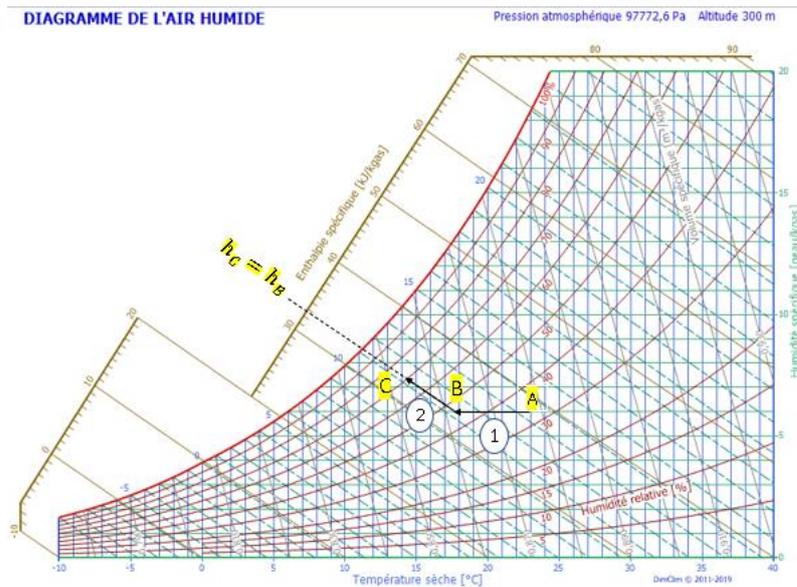


Figure III.7 : L'évolution de l'air sur le diagramme de l'air humide

Conclusion

L'étude de l'air humide revêt une importance capitale dans le domaine de l'énergétique. La compréhension des différentes grandeurs caractéristiques de l'air humide, telles que la température de rosée, l'humidité relative et l'enthalpie spécifique, ainsi que l'utilisation des diagrammes appropriés, permet d'évaluer et de contrôler les conditions thermiques et hygrométriques de l'air.

Les procédés de traitement de l'air humide, tels que le réchauffage, le refroidissement, l'humidification et la déshumidification, jouent un rôle essentiel dans la création d'environnements confortables et dans l'optimisation des systèmes de climatisation et de ventilation. Ces procédés permettent de maintenir des niveaux d'humidité appropriés, d'améliorer l'efficacité énergétique et de répondre aux besoins spécifiques des industries.

L'humidification des bâtiments avicoles et des serres agricoles revêt une importance capitale pour assurer des conditions optimales de croissance et de production. Dans les bâtiments avicoles, un niveau d'humidité adéquat contribue au bien-être des animaux, à la santé des volailles et à la qualité de la production. De même, dans les serres agricoles, un niveau d'humidité approprié peut améliorer l'absorption des nutriments, la transpiration des plantes et renforcer leur résistance aux maladies.

En comprenant les principes de l'air humide, en analysant les besoins spécifiques des bâtiments avicoles et en évaluant les différentes options d'humidification, il est possible de mettre en place des solutions adaptées et efficaces pour optimiser la productivité et le bien-être des animaux ou des plantes.

Chapitre 4 : Conception du système de refroidissement du bâtiment avicole

Introduction

Dans le domaine de l'élevage avicole, la gestion thermique des bâtiments revêt une importance capitale pour assurer des conditions optimales de confort et de productivité. La présente étude vise à élaborer un système de refroidissement par évaporation adapté à un bâtiment d'élevage de poulets de chair situé à Baba Ali, Alger.

Ce chapitre est axé sur le dimensionnement du système, en mettant l'accent sur plusieurs aspects clés. Tout d'abord, nous examinerons en détail les caractéristiques et les spécifications du bâtiment d'élevage, en tenant compte de son emplacement géographique et de ses conditions environnementales locales. Comprendre les paramètres inhérents à l'environnement du site est essentiel pour concevoir un système de refroidissement efficace et adapté aux besoins spécifiques.

Ensuite, nous aborderons le bilan thermique du bâtiment. Ce processus d'évaluation permettra d'analyser les flux de chaleur internes et externes, d'identifier les sources de chaleur dominantes et de quantifier les besoins de refroidissement requis. Afin d'obtenir des résultats précis et fiables, nous utiliserons le logiciel TRNSYS 18, largement reconnu pour son efficacité en matière de simulation thermique des bâtiments.

Une fois le bilan thermique établi, nous procéderons au dimensionnement du système de refroidissement par évaporation, en mettant l'accent sur le pad cooling. Cette méthode de refroidissement basée sur l'évaporation de l'eau offre une solution économe en énergie et respectueuse de l'environnement. Nous prendrons en compte les besoins de refroidissement nécessaires, pour garantir une performance optimale.

Enfin, dans le cadre de notre recherche, nous développerons un modèle en trois dimensions de notre prototype de système de refroidissement par évaporation à l'aide du logiciel SolidWorks. Cette représentation visuelle nous permettra de mieux comprendre la configuration spatiale du système, d'identifier d'éventuelles contraintes et de procéder à des ajustements ou à des optimisations si nécessaire, pour garantir des plans prêts à être réalisés et montés dans le bâtiment d'élevage.

Ce chapitre constitue une étape cruciale dans notre projet de réalisation d'un système de refroidissement par évaporation pour le bâtiment d'élevage de poulets de chair à Baba Ali, Alger. En combinant des études thermiques approfondies, des outils de

simulation avancés et des techniques de modélisation 3D, nous visons à concevoir un système efficace, économique et durable, contribuant ainsi à l'amélioration des performances de l'élevage avicole dans des conditions thermiques optimales.

IV.1. Choix et description physique du bâtiment étudié

Le bâtiment d'élevage étudié présente une surface au sol de 125 mètres carrés, mesurant 19,98 mètres de long sur 6,255 mètres de large, avec un mur séparant les deux zones sur une longueur de 2,48 mètres. La première zone est destinée au stockage du matériel nécessaire à l'élevage de volailles, tandis que la deuxième zone est utilisée pour l'élevage des volailles, où l'on trouve les cages de volailles ainsi que les lampes et tout autre objet nécessaire à l'élevage.



Figure IV.1 : Bâtiment avicole à refroidir à l'ITELV Baba Ali

Le toit du bâtiment est en une seule pente, avec une inclinaison de 10%, et est constitué de deux plaques de galvanisé de 3 mm d'épaisseur, séparées par une couche d'air de 10 cm et isolées par une couche de laine de verre de 5 cm d'épaisseur. Cette structure garantit une excellente isolation thermique pour maintenir des conditions optimales pour l'élevage des volailles.

Le sol du bâtiment est en béton d'une épaisseur de 15 cm pour garantir une résistance et une durabilité accrues, tout en facilitant l'entretien et la propreté du bâtiment. Cette caractéristique permet une gestion facile des déchets de la volaille, réduisant ainsi les risques sanitaires.

Les murs du bâtiment sont composés de deux plaques de galvanisé de 3 mm d'épaisseur et d'une couche de polyuréthane d'une épaisseur de 10 cm. Cette configuration offre une excellente isolation thermique et acoustique, garantissant des conditions optimales pour l'élevage des volailles.

Il est important de souligner que ce bâtiment représente la réalisation la plus aboutie de la ferme, car il intègre les améliorations apportées aux anciens bâtiments et les avancées technologiques en matière de régulation pour optimiser les conditions d'élevage des volailles. Ce bâtiment représente donc une étape importante dans la modernisation de l'exploitation agricole, contribuant ainsi à la croissance et au développement de l'entreprise.

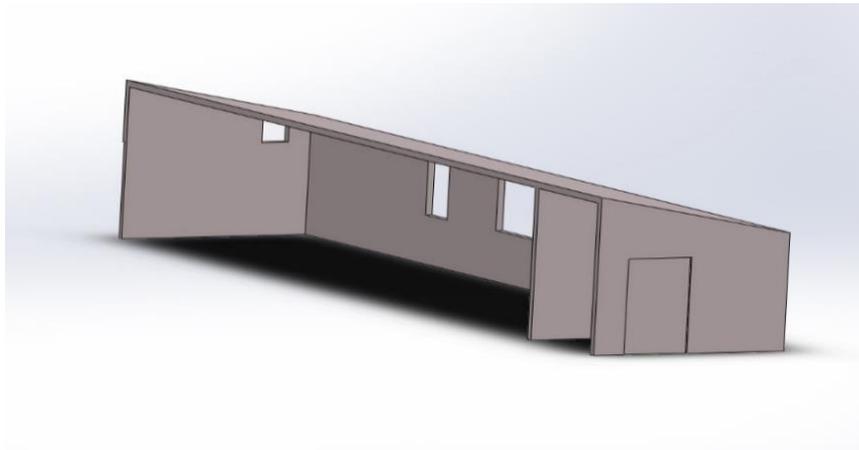


Figure IV.2 : Dessin du bâtiment sur SolidWorks

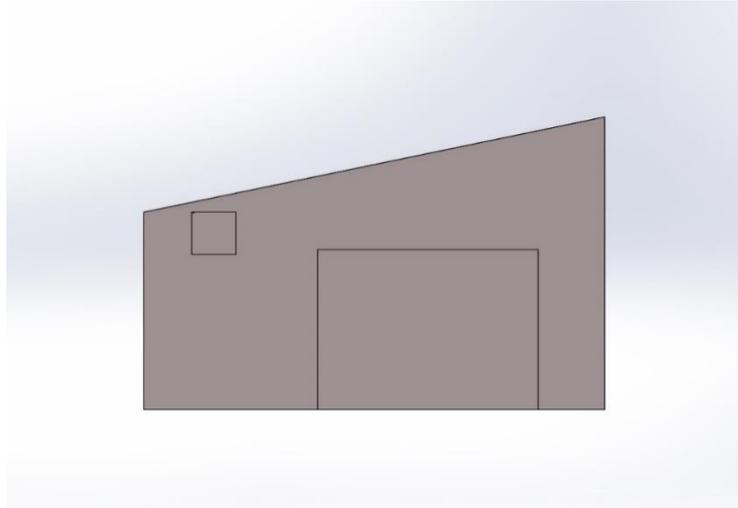


Figure IV.3 : Vue de d'arrière du bâtiment sur SolidWorks

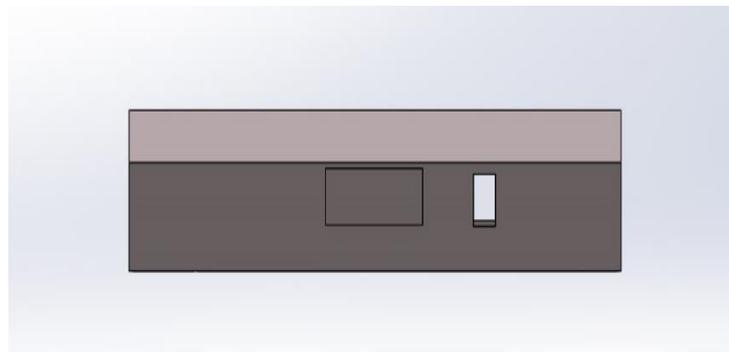


Figure IV.4 : Vue de droite du bâtiment sur SolidWorks

L'orientation du bâtiment est orientée vers l'est, avec un angle de 81 degrés par rapport au nord, comme illustré dans la figure ci-dessous.

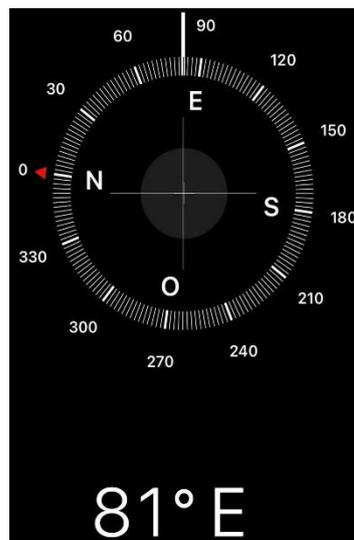


Figure IV.5 : Orientation du bâtiment.

- ❖ Le type d'éclairage utilisé au niveau du bâtiment est composé de 18 lampes de 40 watts chacune, qui sont allumées presque en permanence.
- ❖ Le bâtiment est dimensionné pour contenir 720 poulettes et un personnel de surveillance de 2 personnes.
- ❖ La température extérieure est d'environ 35-40°C et peut atteindre jusqu'à 45°C.
- ❖ La température de consigne dans le local est de 22°C.
- ❖ L'humidité relative maximale dans le local est de 80%.
- ❖ Les coefficients thermiques des différents matériaux utilisés :

Matériau	Conductivité "KJ/h. m. K"	Conductivité "W/m. K"	Capacité "KJ/Kg. K"	Densité "Kg/m³"
Polyuréthane	0,07	0,0194	2,09	40
Lame d'air	0,216	0,06	1,227	1
Pierre et Béton	0,578	0,1605	0,88	400
Tôle prélaqué	57,762	16,045	0,51	7900
Laine de verre	0,1476	0,041	0,84	12

Tableau IV. 1 : Matériaux de construction

- ❖ Le poids d'une poule se calcule avec l'équation suivante :
 $m(\text{poule})$: Est le poids du poulet modélisé par Constantino et al. (2018) [38] selon son âge en jours d et avec les constantes $f(i)$:

$$m(\text{poule}) = f(1) \times d^3 + f(2) \times d^2 + f(3) \times d + f(4)$$

Avec :

$$f(1) = -2,1164 \times 10^{-5} \text{ (Kg/ jour}^3\text{)} ; f(2) = 2,5608 \times 10^{-3} \text{ (Kg/ jour}^2\text{)} ;$$

$$f(3) = -5,3002 \times 10^{-3} \text{ (Kg/ jour)} ; f(4) = 7,0839 \times 10^{-2} \text{ (Kg/ jour)}.$$

IV.2. Etude de la faisabilité du système

IV.2.1. Collecte de données

Pour collecter les données météorologiques, nous avons utilisé le site "NASA Power Prediction of Worldwide Energy Resources" [39], qui offre la possibilité de sélectionner avec précision la localisation exacte de notre bâtiment. Ce site est reconnu pour sa fiabilité et sa vaste base de données météorologiques. En utilisant ces données, nous avons pu obtenir des informations précises sur les conditions climatiques spécifiques à notre site, ce qui est essentiel pour évaluer la faisabilité du système de refroidissement évaporatif. La figure ci-dessous illustre la localisation de notre bâtiment sur le site NASA Power, démontrant ainsi notre rigueur dans la collecte de données météorologiques de qualité pour notre étude de faisabilité.

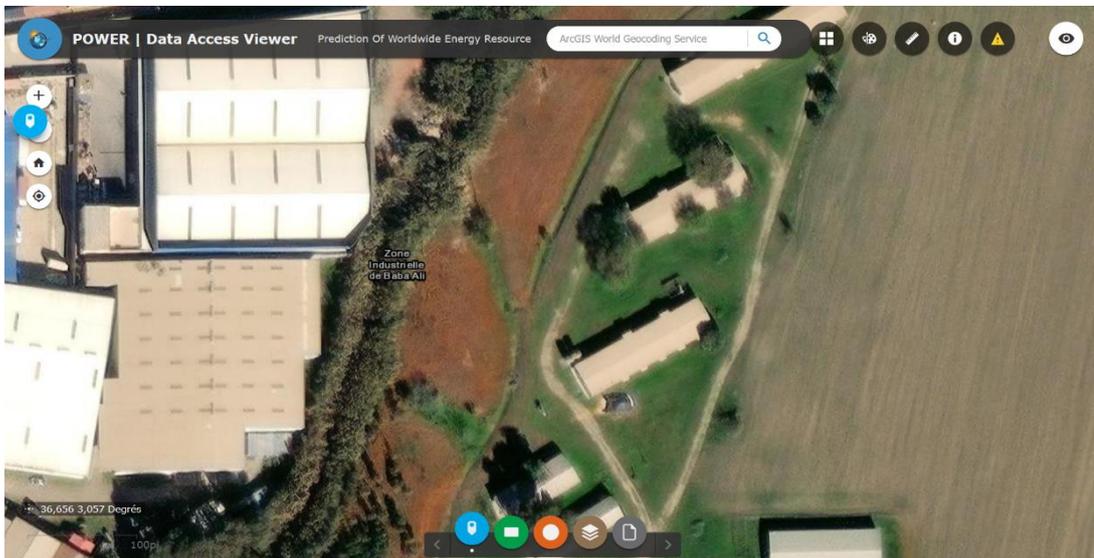


Figure IV.6 : La localisation précise du poulailler [39]

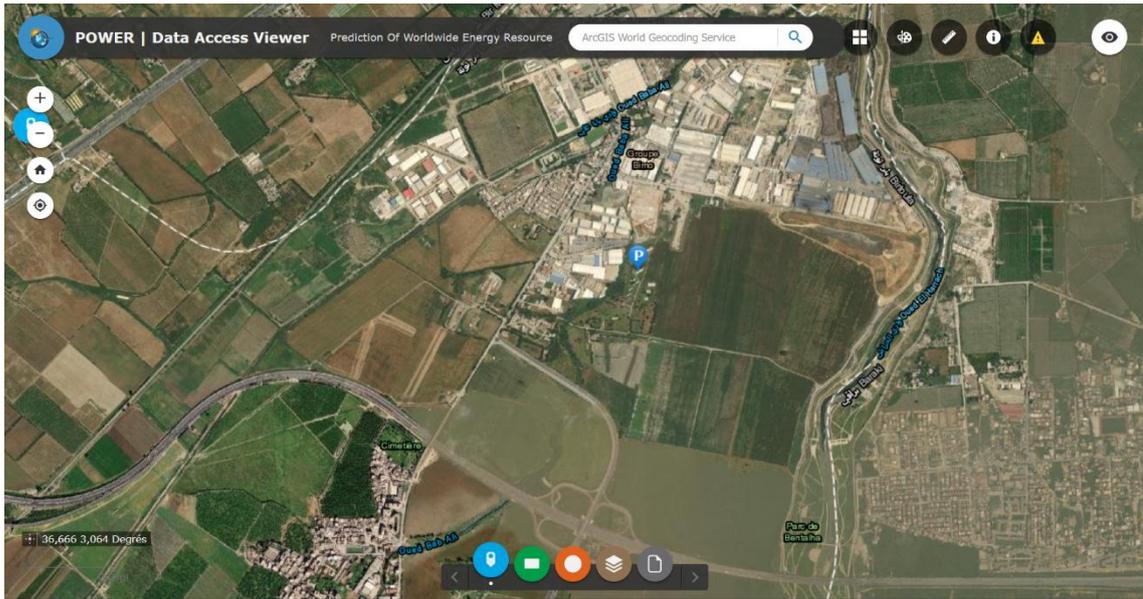


Figure IV.7 : Une vue plus éloignée [39]

L'évolution de la température humide et de la température sèche est essentielle pour évaluer les conditions climatiques et déterminer l'indice de faisabilité. La **figure IV.8** présente l'historique montrant l'évolution de la température humide à Baba-Ali au cours de la période chaude.

D'autre part, la **figure IV.9** présente l'historique de l'évolution de la température sèche. En utilisant ces informations, il est possible de déterminer si les conditions climatiques sont favorables à certaines activités ou si elles présentent des risques potentiels. L'index de faisabilité permet de prendre des décisions éclairées.

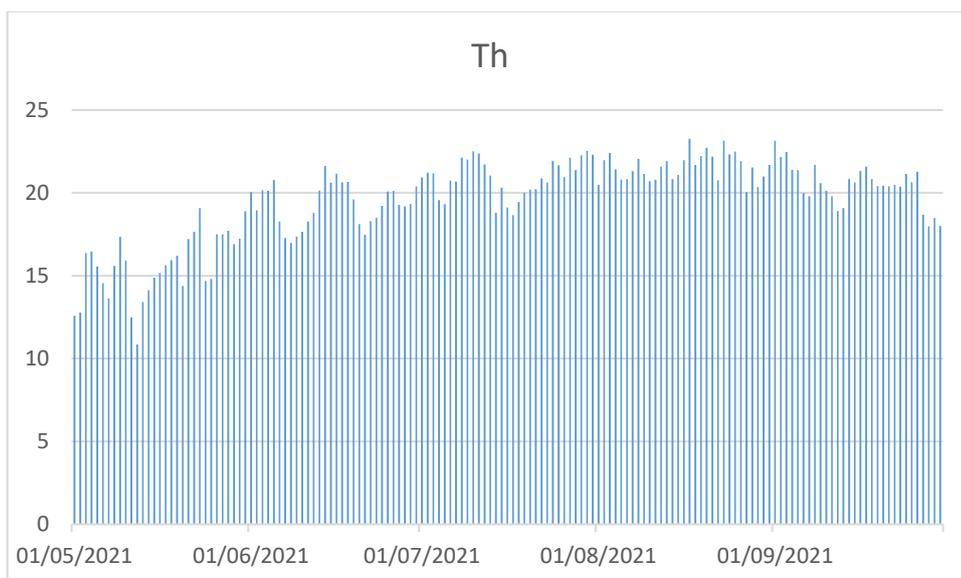


Figure IV.8 : Variation de la température humide (°C) pendant la période chaude

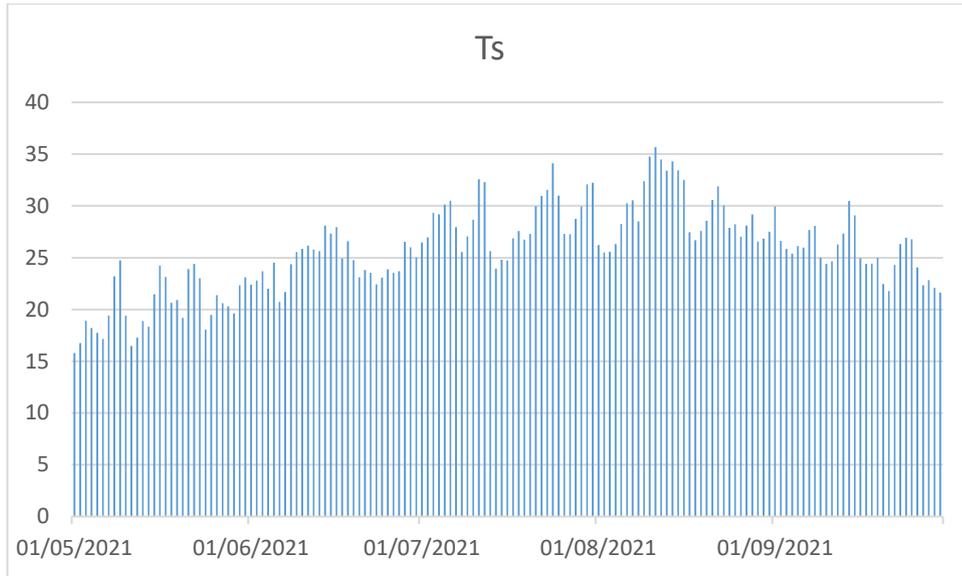


Figure IV.9 : Variation de la température sèche (°C) pendant la période chaude

IV.2.2. Index de faisabilité du système évaporatif

L'index de faisabilité est utilisé pour évaluer la viabilité de l'utilisation du système de refroidissement évaporatif. En vérifiant sa capacité à répondre aux besoins de refroidissement de manière efficace et économique. En l'utilisant, nous pouvons évaluer de manière approfondie la faisabilité du système de refroidissement évaporatif et prendre des décisions éclairées quant à sa mise en œuvre.

Calcul de l'index :

$$Fi = Th - (Ts - Th)$$

Avec : Th : Température humide.

Ts : Température sèche.

On peut observer comment l'index de faisabilité évolue au fil du temps pendant les mois d'été grâce à l'histogramme suivant, où les barres verticales représentent différentes périodes de temps. La hauteur de chaque barre indique la valeur de cet index de faisabilité associé à cette période.

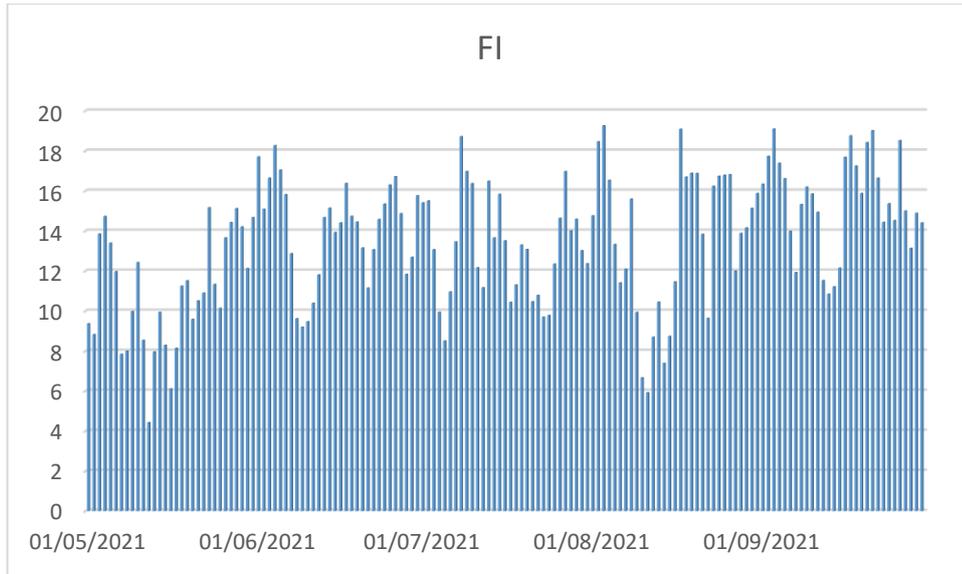


Figure IV.10 : Variation du FI pendant la période chaude

- FI =10 indique un confort, le système est fortement recommandé
- FI entre 10 et 16 le système peut être efficace il reste valable
- FI est supérieur à 16 le système est non recommandé.

Dans notre cas nous avons pu calculer la moyenne de l'index de faisabilité qui est de 13,43. Nous pouvons conclure que le refroidissement évaporatif est efficace et réalisable sur notre site.

IV.3. Bilan thermique du poulailler

IV.3.1.1 Les différents paramètres considérés pour le bilan thermique

Les principales sources d'apports thermiques considérés sont :

- Les apports solaires par conduction, par convection et par rayonnement au niveau des murs de la toiture et des ouvertures.
- Les apports dus à la respiration et la transpiration des poules.
- Les apports dus à la respiration et la transpiration du personnel de suivi.
- Les apports dus au fonctionnement des machines électriques.
- Les apports dus aux infiltrations d'air.

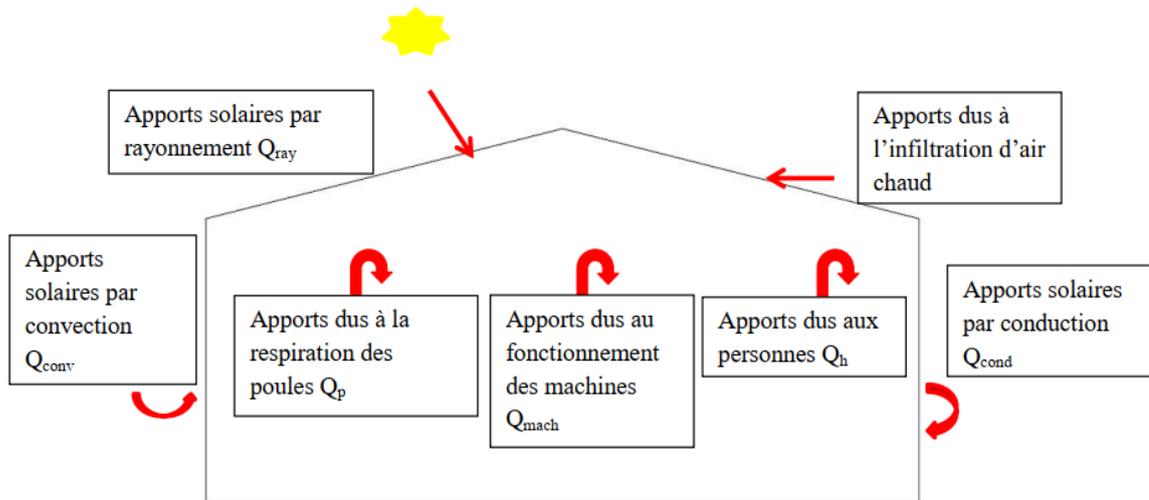


Figure IV.11 : Les différents apports [36]

Le bilan thermique s'écrit :

Le système considéré : le poulailler

$$\text{Flux entrant} - \text{Flux sortant} + \text{Flux généré} = \text{Flux stocké}$$

Avec :

$$\text{Flux entrant} = Q_{conv} + Q_{cond} + Q_{ray}$$

Flux sortant est le débit d'air à évacuer.

$$\text{Flux généré} = Q_{mach} + Q_p + Q_h$$

Le flux stocké est considéré nul.

IV.3.1.2. Justification de la méthode de calcul du bilan thermique

La méthode de calcul utilisée pour évaluer les apports thermiques est la méthode détaillée. Elle est considérée comme la plus précise parmi les méthodes connues. Dans le cadre d'une démarche d'efficacité énergétique, il est important d'obtenir des valeurs précises des besoins thermiques afin d'estimer les économies d'énergie potentielles.

IV.3.1.3. Calcul de l'apport thermique des poulets

La production totale de chaleur par les poulets est calculée en utilisant la formule suivante :

$$Q(tot, poule) = 10 \times m^{0,62} \text{ [37]}$$

Où : Q_{poule} représente la production totale de chaleur des poulets en watts (W). m représente la masse de chaque poulet en kilogrammes (kg).

$$Q(lat, poule) = Q(tot, poule) \times MAX(0.2 \times 1.85 \times 10^{-7} \times (t_i + 13)^4; 0.95)$$

Où : $Q(lat, poule)$ est le flux de chaleur latente des animaux en (watt/a) ; t_i c'est la température intérieure (°C).

La chaleur sensible se déduit alors de la chaleur totale :

$$Q(sens, poule) = Q(tot, poule) - Q(lat, poule)$$

Un effectif total de 720 poules, avec un poids de 3 kg chacune. Ainsi, en utilisant la formule donnée, la production totale de chaleur des poules serait d'environ 15 kW (kilowatts).

IV.3.1.4. Calcul de la puissance totale des lampes

Le bilan de puissance des équipements à l'intérieur du local indique une valeur de 720 W (watts). Cela représente la puissance totale des lampes installées dans le local.

IV.3.2. Méthode pour faire le bilan thermique

Pour effectuer l'évaluation thermique de notre poulailler, nous avons utilisé le logiciel TRNSYS 18, reconnu pour sa précision en la matière. Grâce à cet outil, nous avons pu réaliser un bilan détaillé qui nous permettra d'obtenir des résultats précis.

IV.4. Simulation sur TRNSYS

IV.4.1. Introduction

Dans cette partie, nous allons aborder la simulation des charges thermiques d'un poulailler à l'aide du logiciel TRNSYS 2018 afin d'obtenir un bilan thermique complet du poulailler.

IV.4.2. Présentation du logiciel TRNSYS 18

TRNSYS est un logiciel de simulation et d'analyse des systèmes énergétiques complexes, utilisé dans la conception des systèmes thermiques, les bâtiments, les CVC, les énergies renouvelables, les systèmes de stockage et les stratégies de contrôle. Il permet l'étude des performances, de la consommation d'énergie et de l'impact environnemental de ces systèmes.

TRNSYS comprend trois interfaces distinctes, à savoir la **Simulation Studio**, **TRNBuild** et **TRNexe**.

IV.4.3. Simulation Studio

Simulation Studio de TRNSYS est une interface graphique conviviale permettant aux utilisateurs de connecter visuellement des composants pour créer des modèles de systèmes énergétiques pour la simulation.

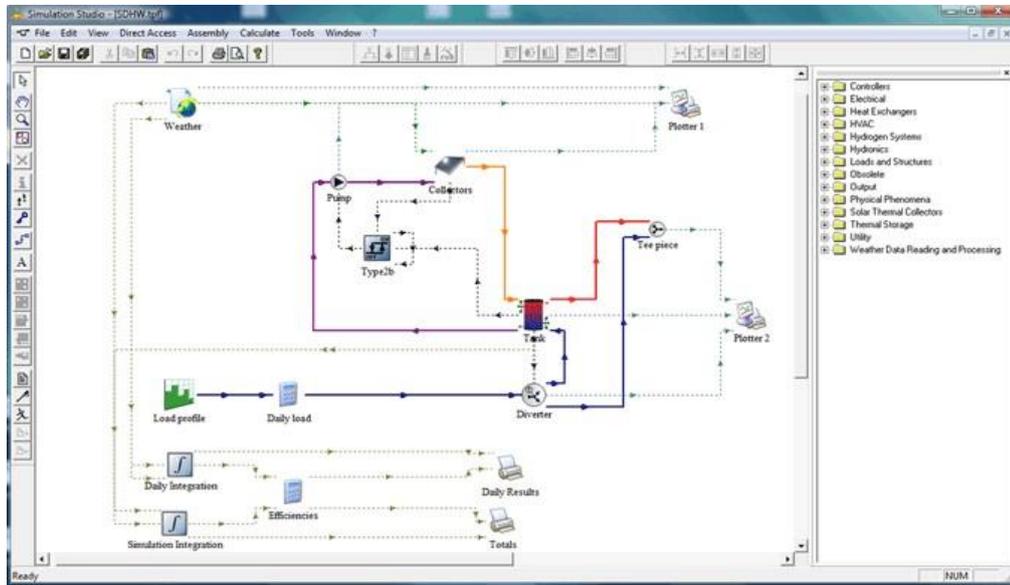


Figure IV.12 : Interface de TRNSYS Simulation Studio

IV.4.4. TRNBuild

TRNBuild est une interface utilisée pour définir des modèles de bâtiments multi-zones dans TRNSYS. Ici, toutes les caractéristiques des bâtiments telles que les matériaux, les zones, la ventilation, les charges, etc. peuvent être définies. L'interface est dédiée à la configuration des paramètres du modèle de bâtiment multizones dans TRNSYS :

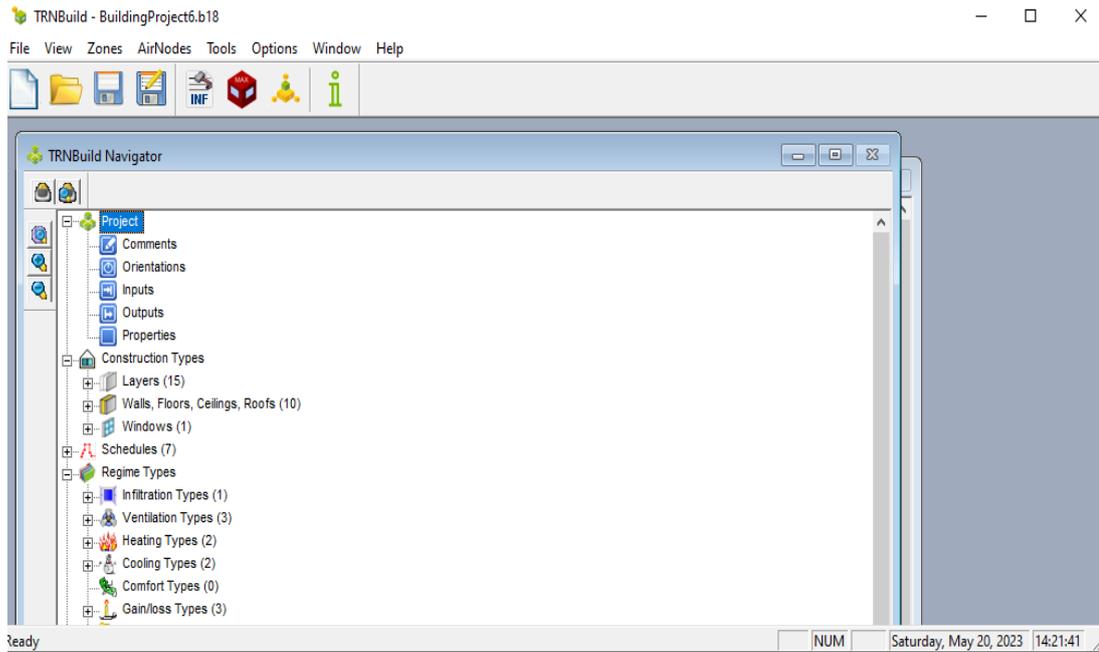


Figure IV.13 : Interface de TRNBuild

La version 18 a introduit une intégration avec Google Sketchup via le plugin TRNSYS 3D, ce qui facilite la modélisation en permettant de dessiner la géométrie du bâtiment dans Sketchup et de l'importer dans TRNBuild. Cela offre une approche plus visuelle et intuitive pour la conception des bâtiments dans TRNSYS.

IV.4.5. TRNexe

Les utilisateurs peuvent visualiser les valeurs de n'importe quelle variable du système sur un graphique en ligne pendant que la simulation progresse (température, débit, transfert de chaleur, etc.). Les dispositifs de sortie offrent également aux utilisateurs une grande flexibilité pour intégrer, imprimer et générer des rapports sur n'importe quelle valeur de sortie des composants.

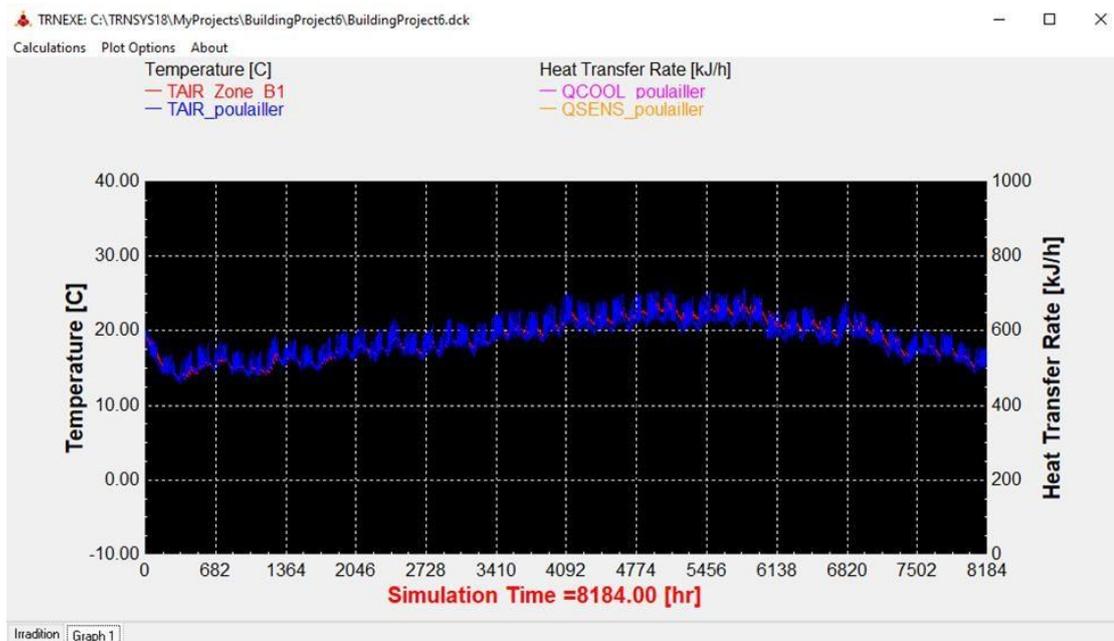


Figure IV.14 : Exemple de modèle de simulation sur TRNexe

IV.4.6. Simulation de poulailler

La simulation d'un poulailler dans TRNSYS peut être réalisée en suivant les étapes suivantes :

IV.4.6.1. Créer un nouveau fichier

Pour créer un nouveau fichier dans TRNSYS 18, il faut ouvrir le programme, sélectionner l'option « Nouveau » dans la barre d'outils, puis choisir entre la création manuelle avec l'interface TRNBuild pour modéliser le poulailler pièce par pièce, ou l'importation d'un fichier 3D préalablement créé avec un logiciel comme SketchUp pour représenter le poulailler.

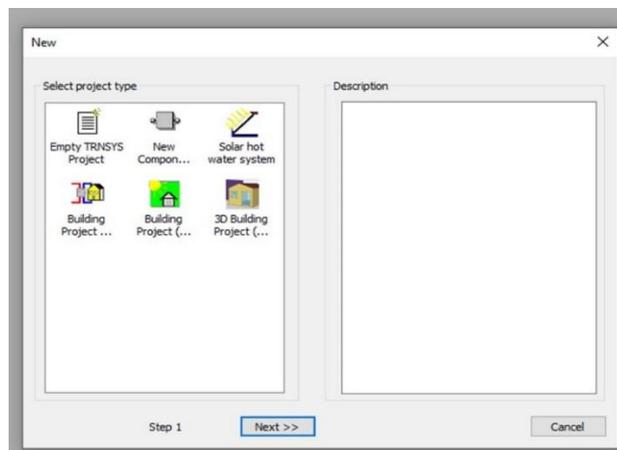


Figure IV.15 : Pour choisir le type de projet

IV.4.6.2. Modélisation du poulailler

Il existe deux méthodes pour réaliser la modélisation :

La première méthode consiste à créer directement le modèle du poulailler dans TRNSYS en utilisant l'interface TRNBuild.

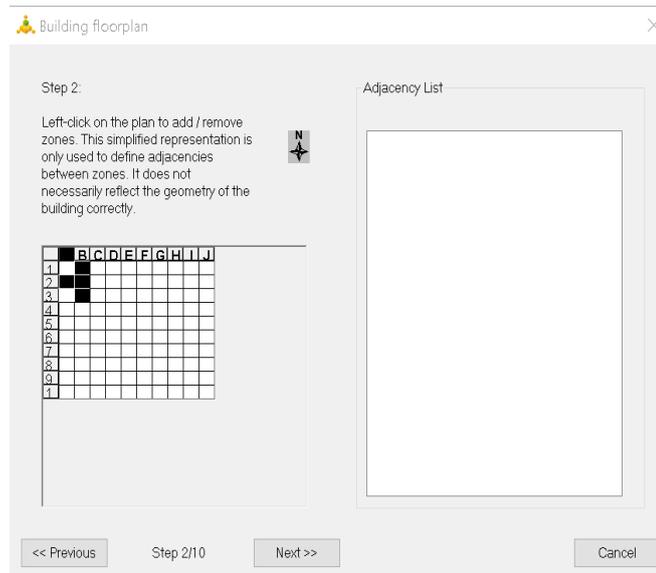


Figure IV.16 : Définir les zones manuellement

La deuxième méthode consiste à utiliser SketchUp pour créer un modèle 3D du poulailler, puis à l'importer dans TRNSYS afin de faciliter la modélisation du bâtiment.

Nous avons choisi la deuxième méthode, car elle offre la possibilité de dessiner les murs, le toit, les ouvertures et autres éléments structurels du poulailler en utilisant les outils de modélisation disponibles dans SketchUp. Cette approche offre une représentation visuelle et intuitive du poulailler, ce qui facilite la création d'un modèle 3D précis et réaliste.

Présentation du logiciel SketchUp :

SketchUp est un logiciel de modélisation 3D accessible et polyvalent, adapté à une variété d'applications allant de l'architecture à la conception de produits. Il permet aux utilisateurs de créer facilement des modèles 3D et de les partager avec d'autres utilisateurs.

Une autre fonctionnalité utile de SketchUp est sa capacité à enregistrer les modèles 3D dans différents formats, tels que le format Idf. Ce format est compatible avec TRNSYS, ce qui facilite l'importation du modèle 3D créé dans SketchUp dans l'interface TRNBuild de TRNSYS. Cela permet d'accélérer et de simplifier le processus de modélisation, en évitant d'avoir à redessiner manuellement tous les éléments dans TRNSYS.

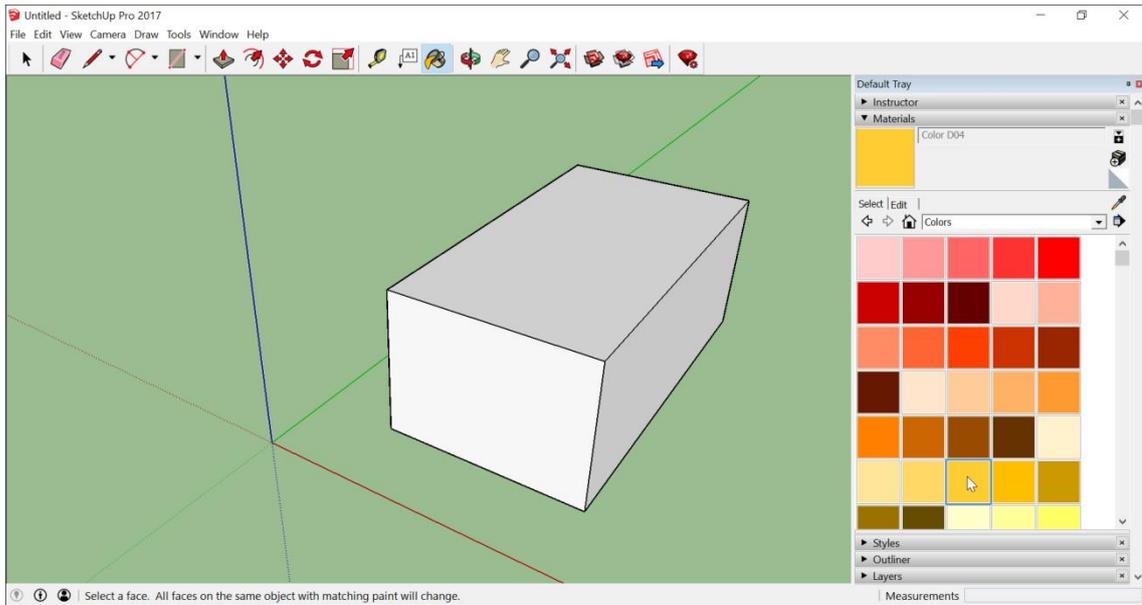


Figure IV.17 : Interface de logiciel SketchUp

Une fois sélectionnée, la deuxième méthode consiste à importer un fichier 3D, ce qui dirige vers la fenêtre suivante :

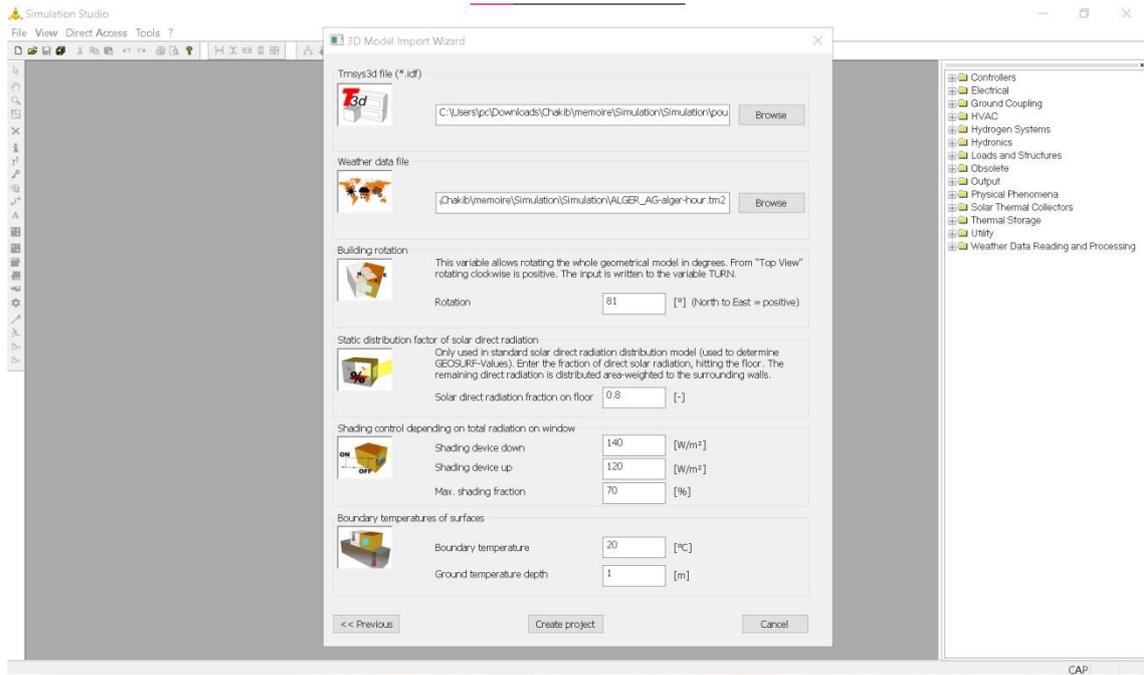


Figure IV.18 : Fenêtre pour l'importation du fichier

Le schéma du projet apparaît dans l'interface de TRNSYS.

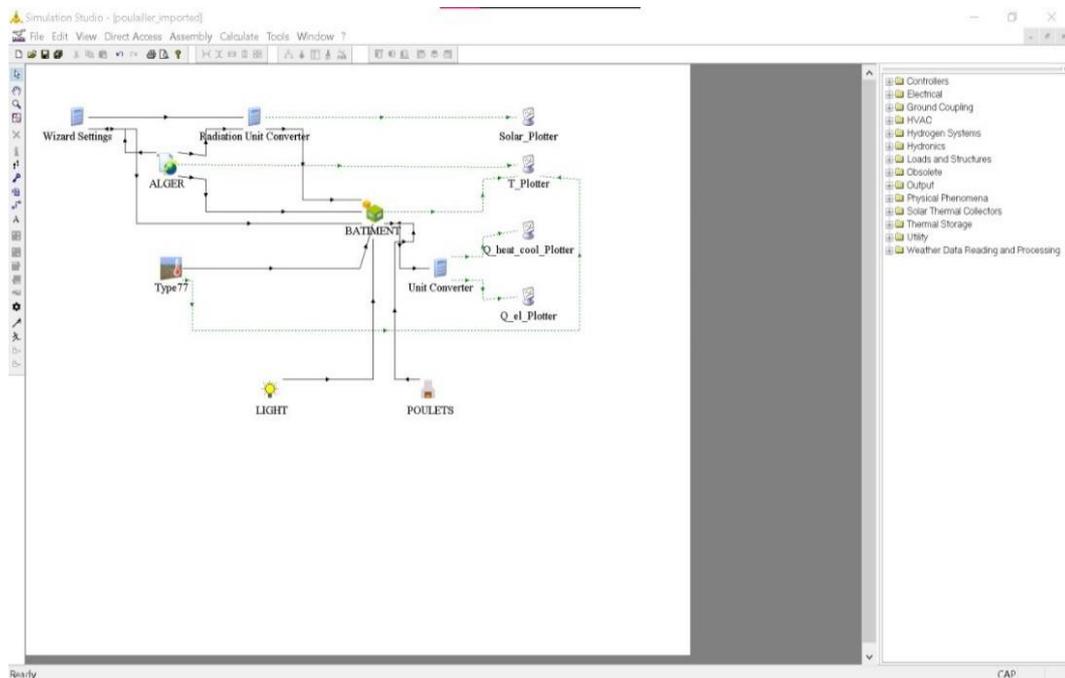


Figure IV.19 : Schéma du projet

IV.4.6.3. Sélection des composants

Pour définir la charge thermique des poulets et de l'éclairage dans notre modèle de poulailler, nous avons sélectionné les composants suivants :

1. Composant "Utilitaire > Gains internes > Type 14 C" : Ce composant nous permet de saisir la charge thermique générée par les poulets et de la relier directement au poulailler.
2. Composant "Utilitaire > Éclairage > Type 14 D" : Ce composant est utilisé pour représenter l'éclairage dans le poulailler.

IV.4.6.4. Configuration des paramètres

IV.4.6.4.1. Météo

Pour configurer les paramètres météorologiques dans TRNSYS, nous utilisons les données météorologiques spécifiques à la région où se trouve le poulailler. Cela garantit une simulation plus réaliste et précise des conditions environnementales.

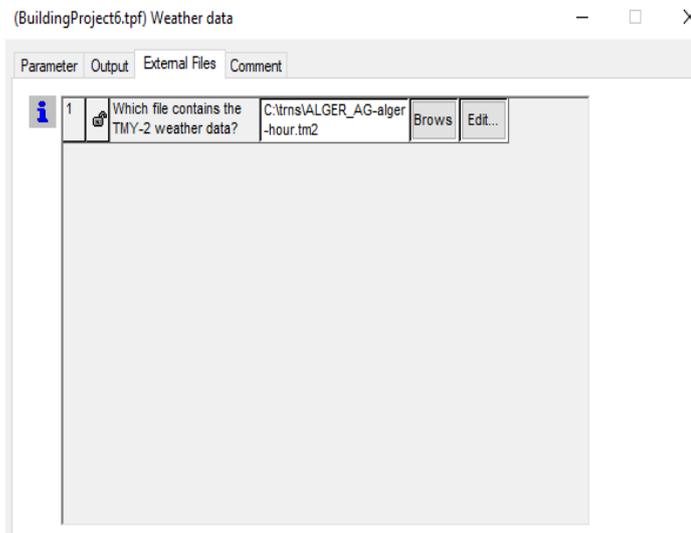


Figure IV.20 : Fenêtre de paramètres météo

IV.4.6.4.2. Bâtiment

Pour modifier les paramètres d'entrée et de sortie du bâtiment dans TRNSYS. On ouvre la fenêtre de configuration du bâtiment dans TRNBuild, pour ajuster les différents paramètres. Ceci va permettre de spécifier les propriétés thermiques du bâtiment, les caractéristiques des surfaces, les systèmes de chauffage, de ventilation, etc.

Parmi les paramètres ajustables, on trouve généralement :

- Les caractéristiques thermiques des murs, du toit, des fenêtres, etc.
- Les propriétés d'isolation et d'infiltration d'air du bâtiment.

- Les systèmes de chauffage, de refroidissement et de ventilation.
- Les sources d'énergie utilisées.
- Les paramètres de régulation thermique, tels que les plages de température de consigne, les horaires de fonctionnement, etc.

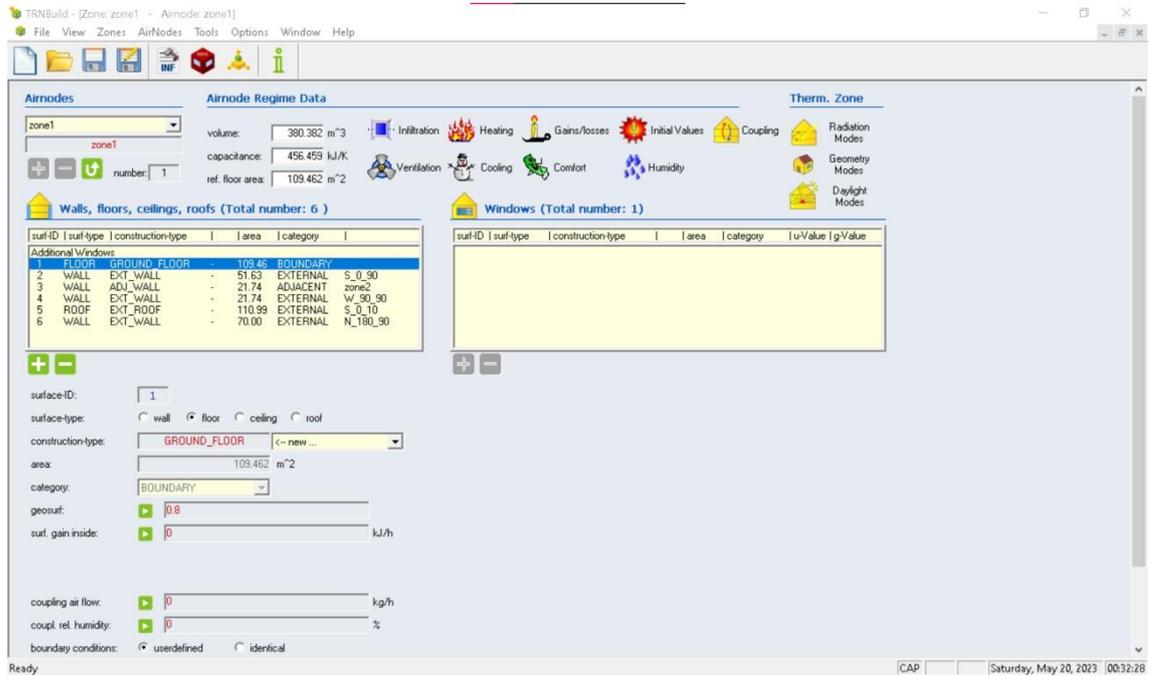


Figure IV.21 : Fenêtre pour modifier les caractéristiques de cette zone

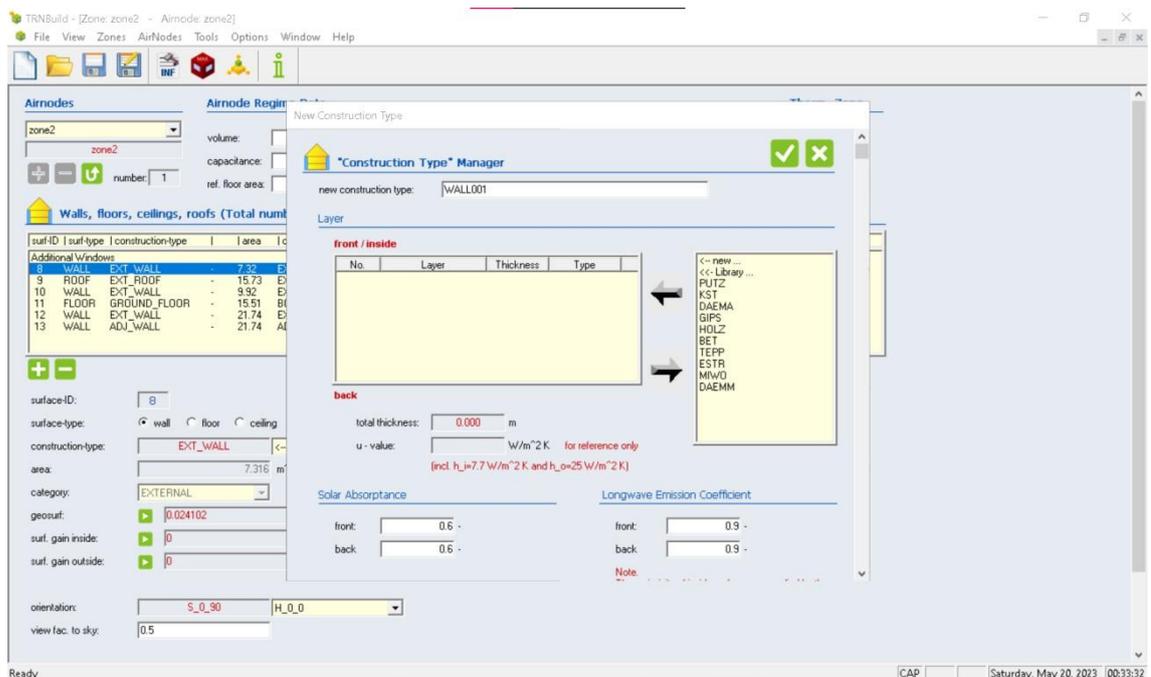


Figure IV.22 : Fenêtre de couches des murs

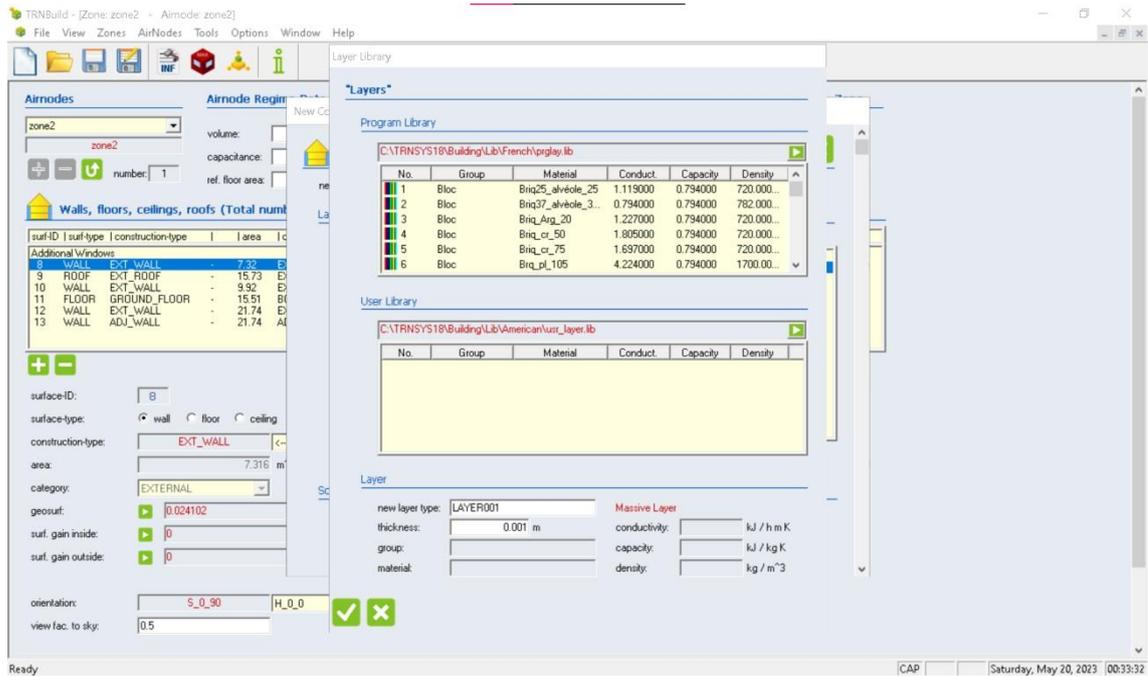


Figure IV.23 : Fenêtre des types de matériaux

Après avoir terminé la configuration des paramètres pour la première zone du poulailler, nous passons à la configuration de la deuxième zone.

Pour définir les paramètres de sortie du modèle de poulailler dans TRNSYS, tels que la température (T) et la demande de refroidissement (quantité de chaleur froide Q_{froid}).

Dans l'interface TRNSYS, il faut accéder à la section ou à l'onglet correspondant aux sorties du modèle de poulailler. Cela peut varier en fonction de la version de TRNSYS utilisée. Nous recherchons les composants appropriés qui fournissent les sorties souhaitées.

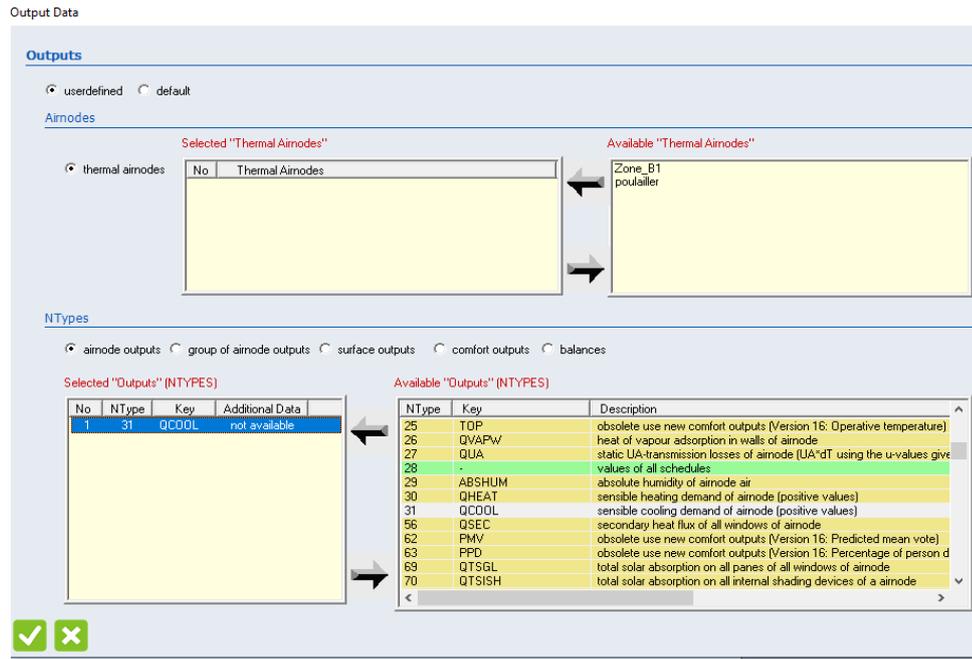


Figure IV.24 : Paramètres de sortie de bâtiment

IV.4.6.4.3. Paramétrage de la simulation

Pour paramétrer la simulation dans TRNSYS, il faut ajuster les paramètres de durée de simulation et l'intervalle de temps.

On définit la durée totale de la simulation. Cela peut être exprimé en heures, jours, semaines, mois ou années, selon vos besoins. On spécifie la durée souhaitée en fonction de la période de temps à simuler.

On peut aussi définir l'intervalle de temps de la simulation. Cela détermine la fréquence à laquelle les calculs sont effectués et les résultats sont enregistrés. On spécifie un intervalle de temps fixe, par exemple, toutes les 15 minutes, ou un intervalle de temps variable en fonction des événements spécifiques du modèle.

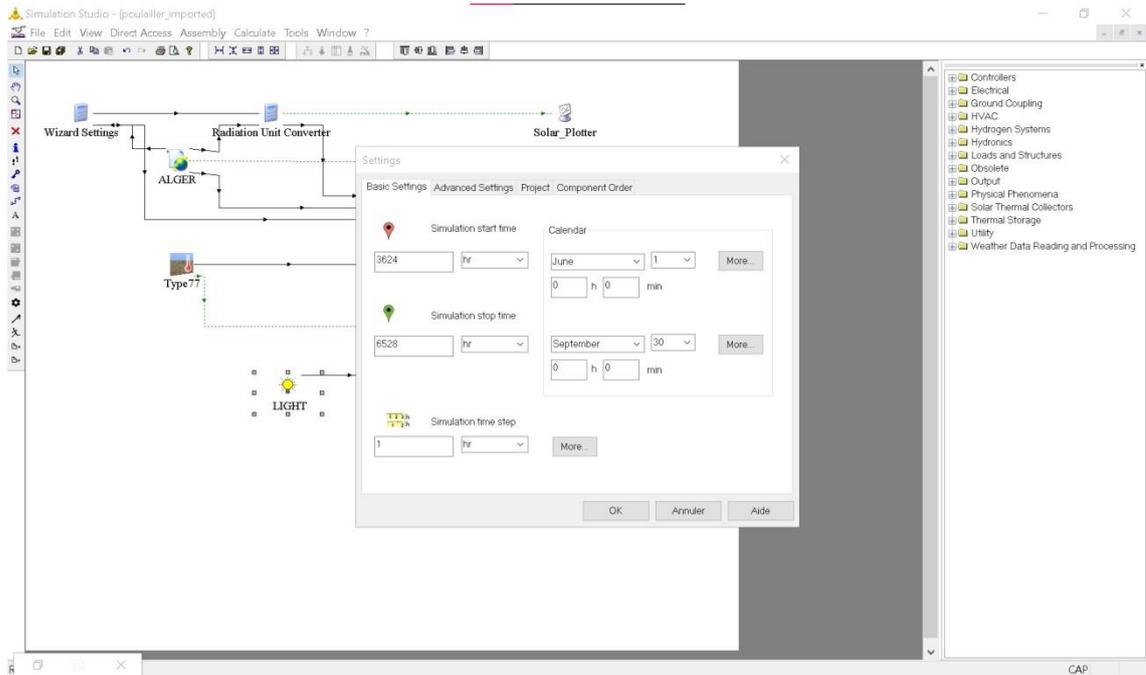


Figure IV.25 : Les paramètres de simulation

IV.4.7. Exécution de la simulation

Une fois la simulation lancée, TRNSYS commencera à effectuer les calculs en fonction des paramètres définis et des données d'entrée. La progression de la simulation peut être affichée dans une fenêtre de progression ou une barre de progression.

Nous présentons dans ce qui suit, la variation de température et de quantité de chaleur dans le poulailler.

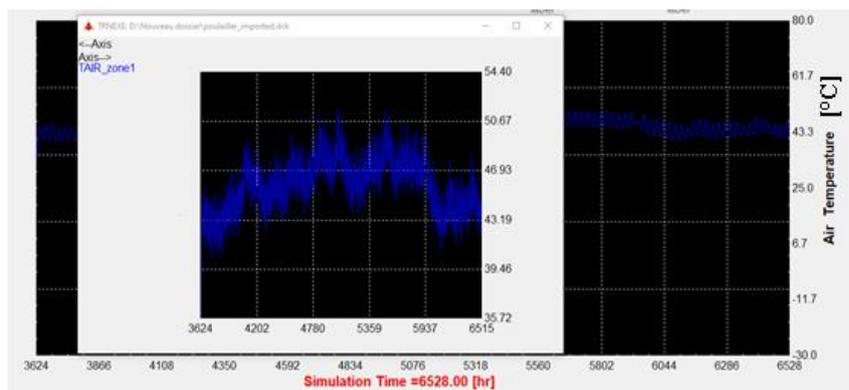


Figure IV.26 : Graphe de courbe de la température dans le poulailler par rapport au temps

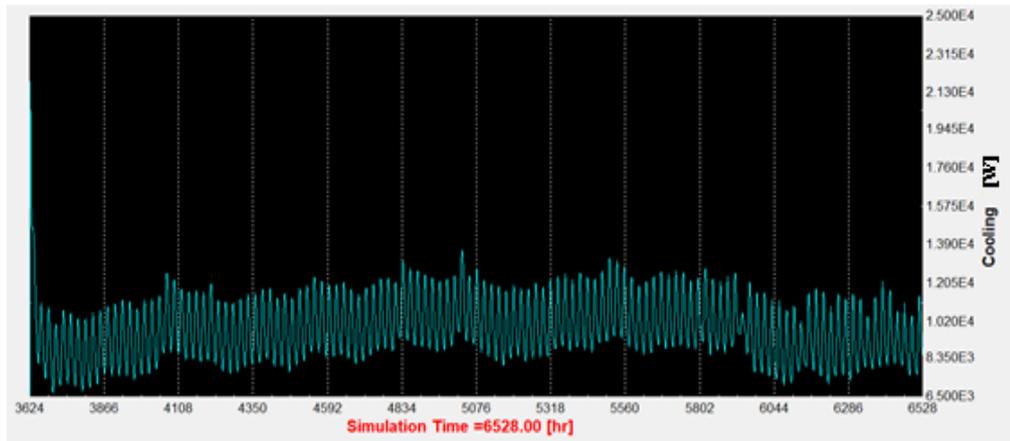


Figure IV.27 : L'évolution de la quantité chaleur par rapport au temps

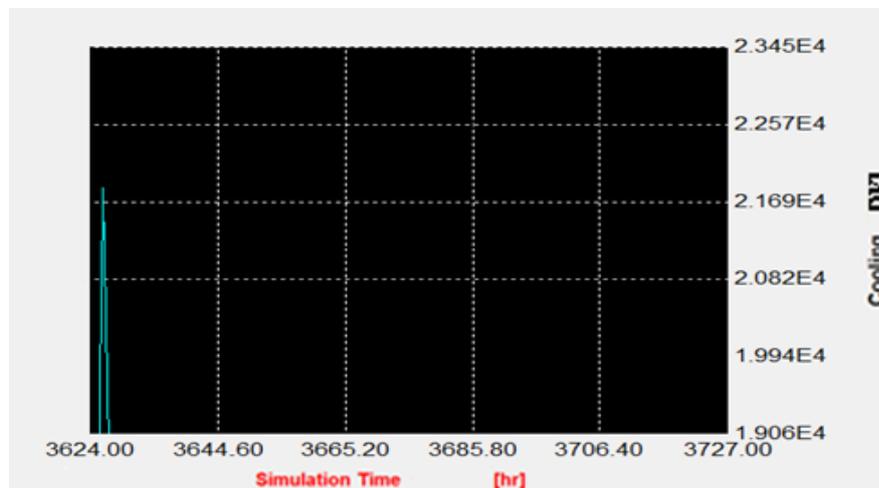


Figure IV.28 : La valeur maximale de Q froid

IV.5. Analyse des résultats

En analysant les résultats de la simulation, nous pouvons tirer les observations suivantes :

IV.5.1. Température

En analysant la **figure IV.26**, nous pouvons observer les variations de température à l'intérieur du poulailler tout au long de la période d'été. Les données montrent qu'il y a une différence significative de température entre le jour et la nuit, ce qui est conforme aux conditions climatiques typiques. La température maximale à l'intérieur du poulailler, en prenant en compte toutes les charges thermiques, atteint environ 51 °C, tandis que la température minimale est d'environ 40 °C. Ces conditions sont très défavorables et

représentent une grande demande en froid pour évacuer la chaleur et éviter le fatal aux poulets de chair.

L'analyse des variations de température permet de mieux comprendre les besoins en matière de refroidissement et de ventilation du poulailler. Cela peut aider à prendre des décisions éclairées sur les systèmes de climatisation et à mettre en œuvre des stratégies de gestion thermique efficaces pour maintenir des conditions de vie optimales pour les poulets.

IV.5.2. La Quantité de chaleur à extraire

En examinant la **figure IV.27**, nous pouvons observer les fluctuations de la demande de refroidissement du poulailler. La valeur maximale de Q froid est estimée à environ **20 KW** de la **figure IV.28**. Cela indique que le poulailler nécessite une capacité de refroidissement pour maintenir des conditions thermiques appropriées pour les poulets.

Calcule du débit d'air nécessaire à l'extraction de la chaleur dans le local :

Le débit d'air est calculé à partir du bilan thermique obtenu au niveau du logiciel TRNSYS.

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{tot}}}{\rho \times \Delta T \times C_p} = 3846.15 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Avec : ΔT la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur.

\dot{m} Le débit d'air nécessaire à apporter l'oxygène et à extraire l'ammoniac

Le débit d'air total par kg de poulet est la somme des seuils maximaux de l'oxygène (0.3m³/h) et de l'ammoniac (1.5m³/h).

$$\dot{m}_2 = \text{Nombre de poule} \times \text{poids d'une poule} \times \text{Debit d'air nécessaire (m}^3/\text{h/kg)}$$

$$\dot{m}_2 = 720 \times 3 \times 1.8 = 3888 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Le débit total :

$$\dot{m}(\text{tot}) = \dot{m} + \dot{m}_2 = 7734.15 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Ce débit nous permettra de dimensionner notre prototype. En effet, le système de refroidissement évaporatif destiné à améliorer les conditions d'élevage dans le poulailler, est composé de deux compartiments comme il a été décrit dans la partie III.5 du chapitre III. En premier lieu il y a un système indirect où l'air de soufflage est refroidi sans augmenter son humidité spécifique. En second lieu, il y a un échangeur humidificateur utilisant un système de distribution d'eau permettant son écoulement sous forme de fines gouttelettes sur un panneau d'évaporation contenant un milieu poreux de type nid

d'abeilles appelé « pad cooling ». Le dimensionnement du pad cooling donne la superficie nécessaire de passage de l'air de refroidissement et conduira à la conception du prototype.

IV.6. Dimensionnement du pad cooling

Le pad cooling :

La surface d'admission nécessaire pour refroidir l'air dans le poulailler se calcule à partir de la vitesse moyenne de l'air ambiant : ($V = 2 \text{ m/s}$). [36]

Sachant que le débit total est de : $\dot{m}(\text{tot}) = 2.15 \text{ (m}^3/\text{s)}$

$$S = \frac{\dot{m}(\text{tot})}{V} = 1.075 \text{ m}^2$$

En tenant compte de l'efficacité $\varepsilon=0.8$ des pad cooling on a une surface totale.

$$S' = \frac{S}{\varepsilon} = 1.344 \text{ m}^2$$

IV.7 Conception du système

IV.7.1 Création de la géométrie par l'application SolidWorks

IV.7.1.1. Concepts de base

SOLIDWORKS est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) largement utilisé, qui permet de créer des modèles volumiques 3D dans des documents de pièces ou d'assemblages. Il offre des fonctionnalités puissantes pour générer des mises en plan à partir de ces modèles, en utilisant des vues détaillées dans des documents dédiés.

Le processus de conception dans SOLIDWORKS commence généralement par la création d'une esquisse, à partir de laquelle des fonctions de base sont construites. Cela permet d'établir les fondations du modèle, mais il est également possible de commencer avec une surface ou d'importer une géométrie volumique existante.

Une fois la base établie, la conception peut être affinée en ajoutant, éditant ou réordonnant les fonctions. SOLIDWORKS offre une grande variété de fonctionnalités, telles que les opérations de modification, la création de formes complexes, l'application de contraintes et la réalisation de simulations.

L'interface officielle du logiciel SOLIDWORKS offre une grande flexibilité pour créer des formes d'ingénierie de différentes dimensions, que ce soit unidimensionnelles, bidimensionnelles ou tridimensionnelles. Elle permet également de contrôler avec précision les dimensions des objets et offre une gamme complète d'outils de modélisation pour répondre aux besoins spécifiques des concepteurs et des ingénieurs.

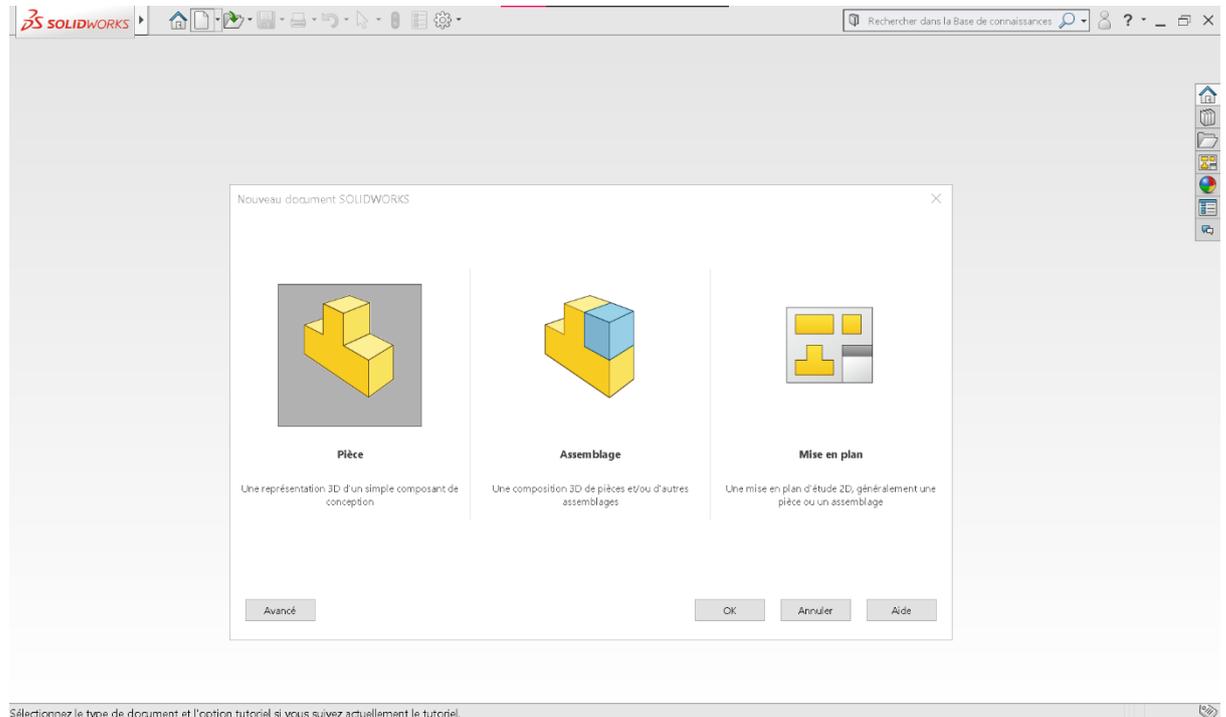


Figure IV.29 : Ouvrir un document

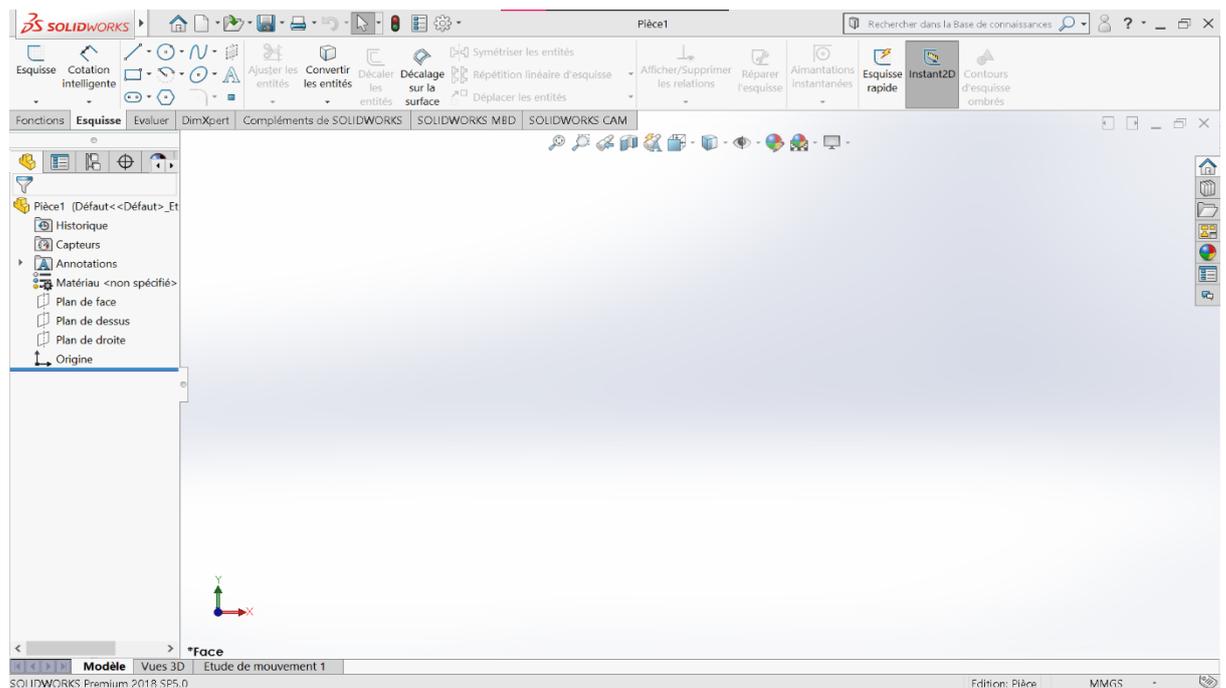


Figure IV.30 : Le menu principal du logiciel

IV.7.1.2. Principales pièces du système

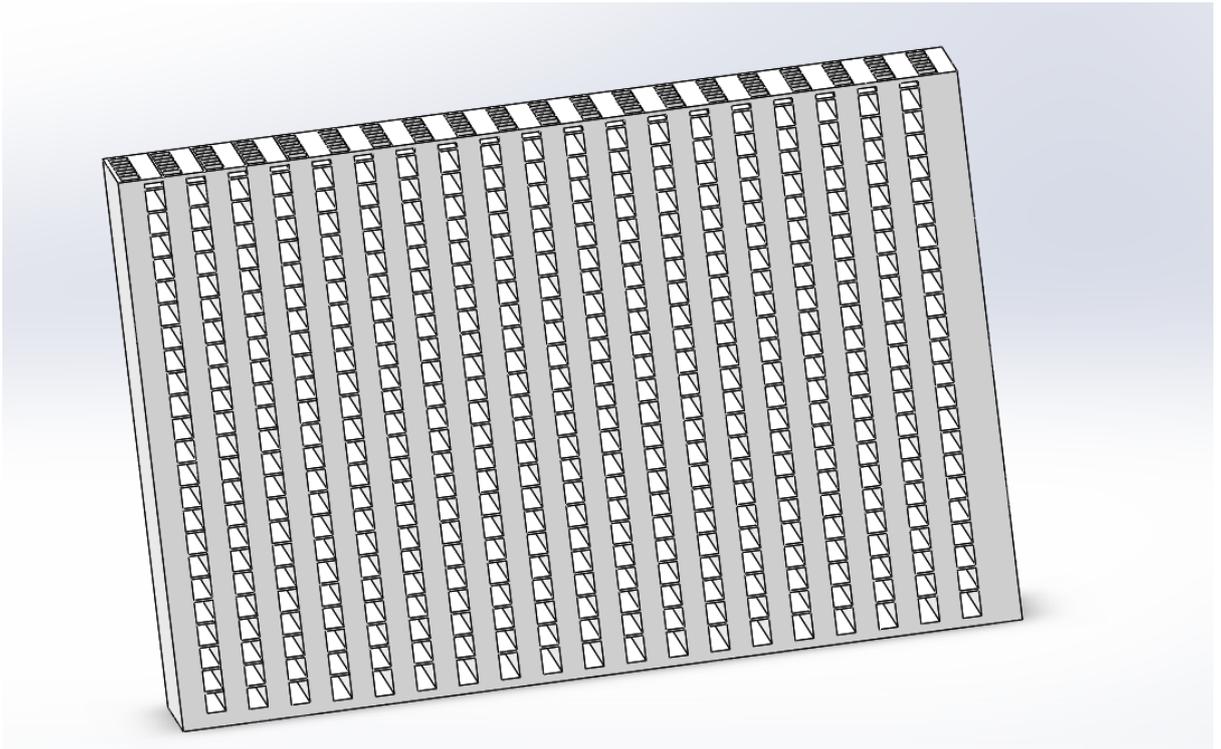


Figure IV.31 : Premier échangeur de chaleur

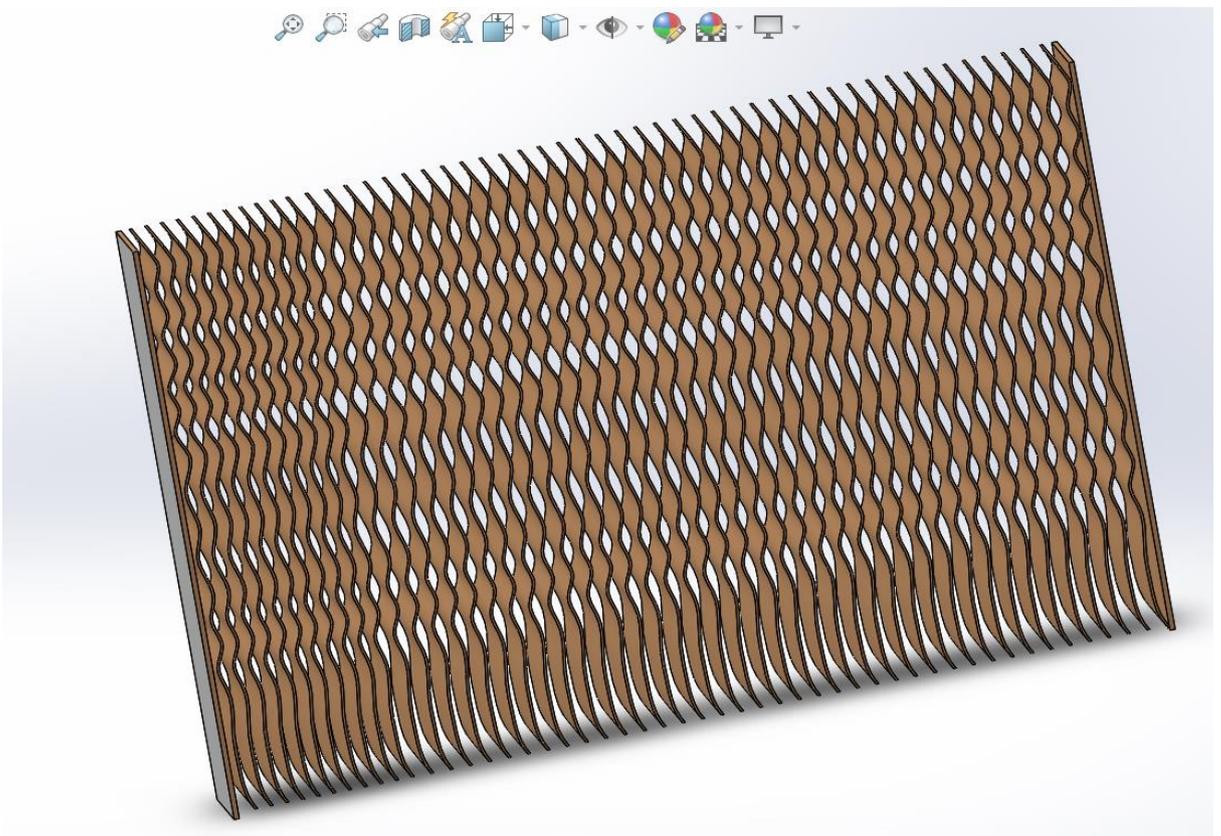


Figure IV.32 : Deuxième échangeur de chaleur

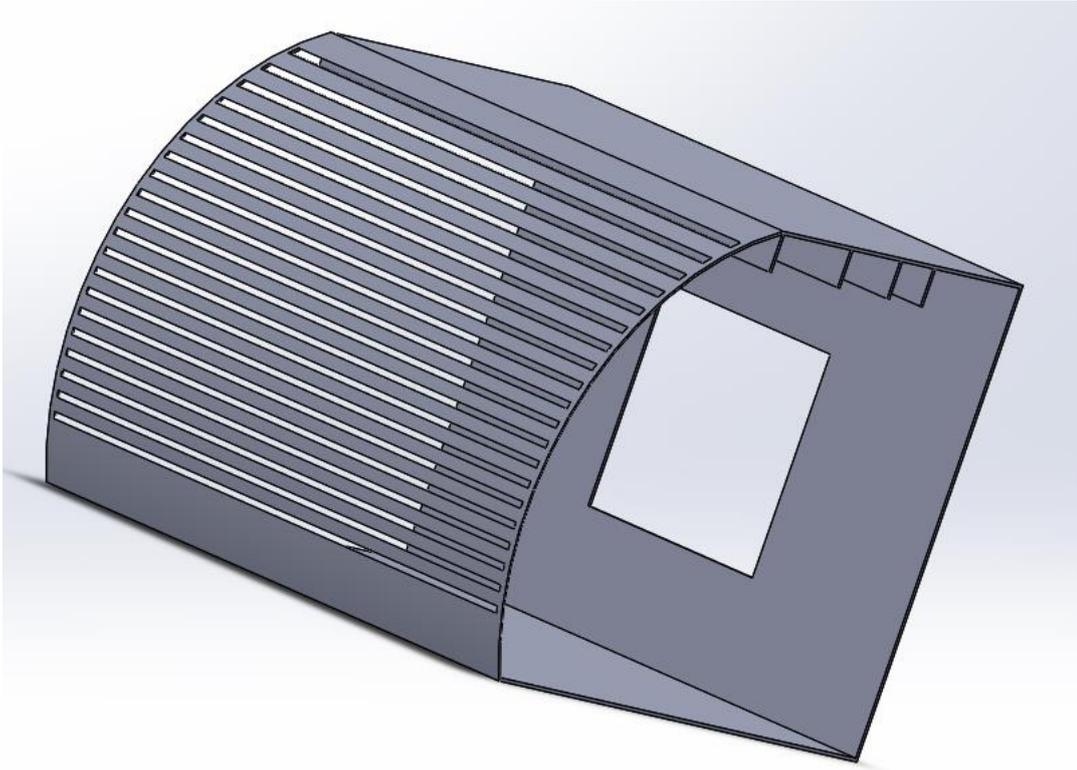


Figure IV.33 : Coque du système

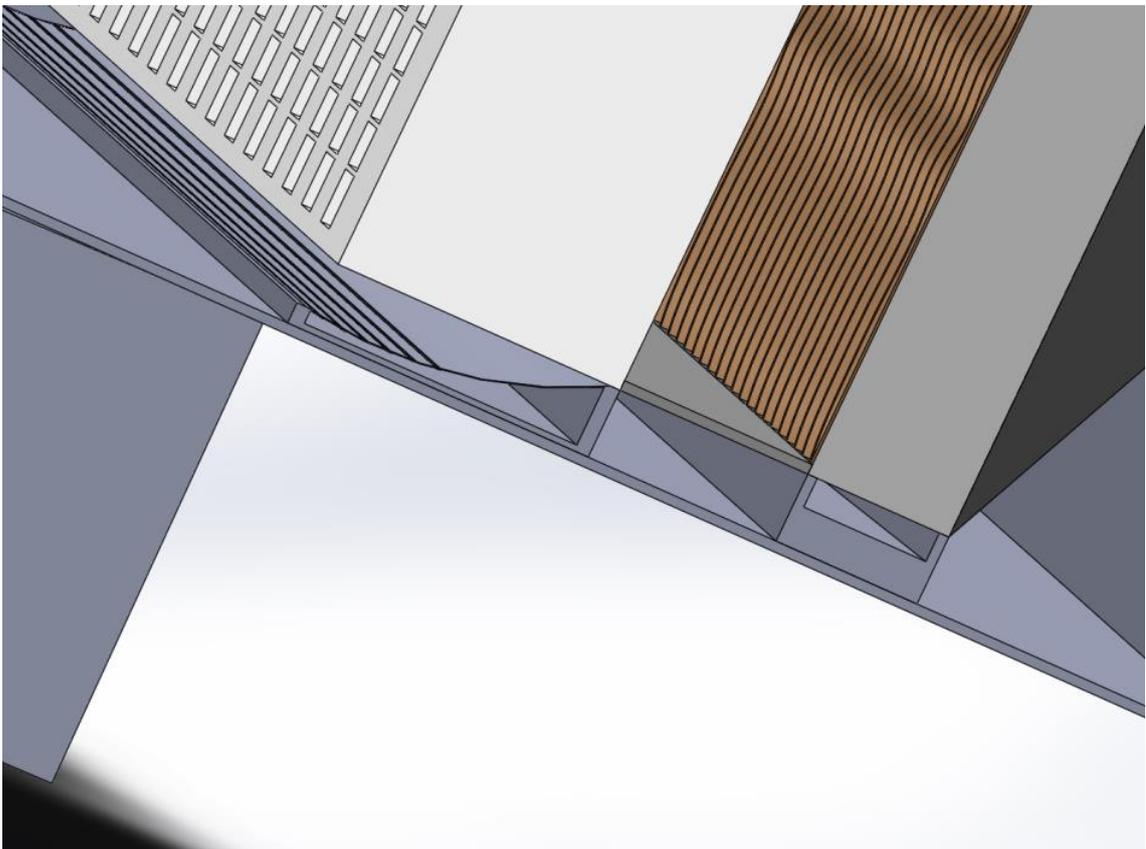


Figure IV.34 : Les 2 bacs d'eau

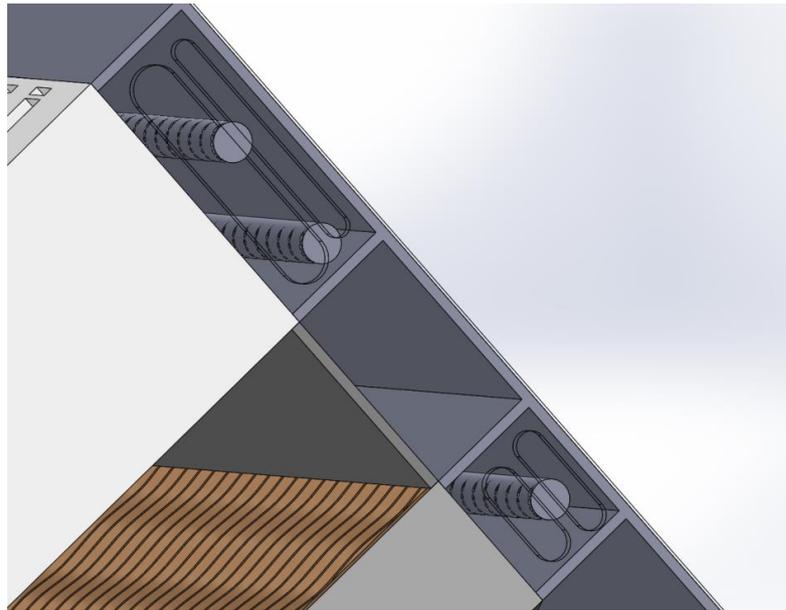


Figure IV.35 : Les tubes d'injection d'eau

IV.7.2. L'assemblage

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble de contraintes d'assemblage, l'intérêt de cet outil, c'est qu'il rend possible la création d'une pièce dans l'assemblage par l'outil (assembly). [40]

Une fois que toutes les pièces, y compris les échangeurs et les autres composants, sont assemblées, le système de refroidissement final est créé. Cette combinaison de pièces forme un assemblage cohérent qui représente le système complet.

La sauvegarde de la géométrie peut être effectuée dans le format spécifique de SOLIDWORKS, qui permet de conserver toutes les informations relatives aux pièces, aux relations d'assemblage et aux contraintes. Cela facilite la réutilisation de l'assemblage dans d'autres projets ou la collaboration avec d'autres utilisateurs.

Une fois la géométrie sauvegardée, on peut générer des vues et des mises en plan détaillées pour documenter le système de refroidissement. Les mises en plan peuvent inclure des vues orthographiques, des coupes, des détails et des annotations pour fournir toutes les informations nécessaires à la fabrication ou à l'installation du système.

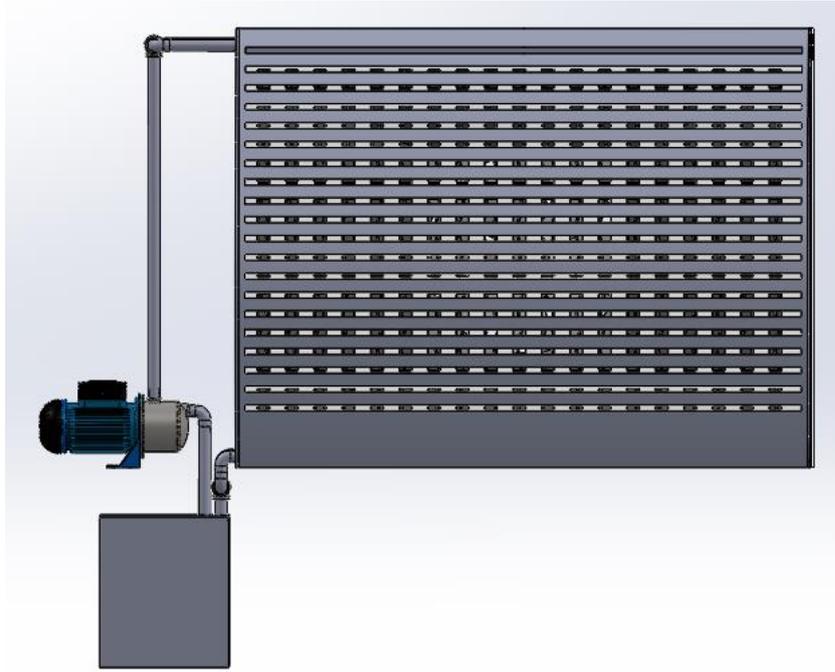


Figure IV.36 : Vue de face du système

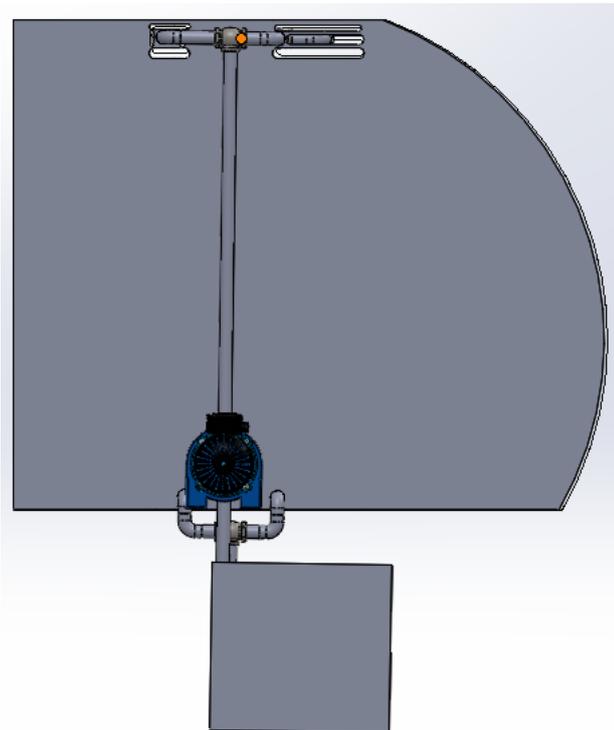


Figure IV.37 : Vue de droite du système

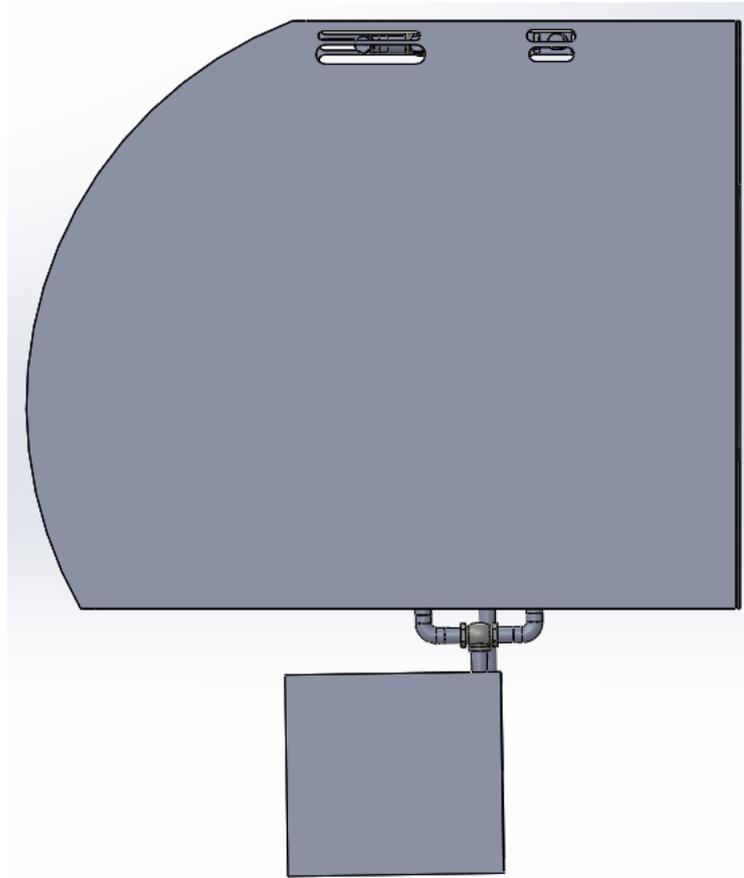


Figure IV.38 : Vue de gauche du système

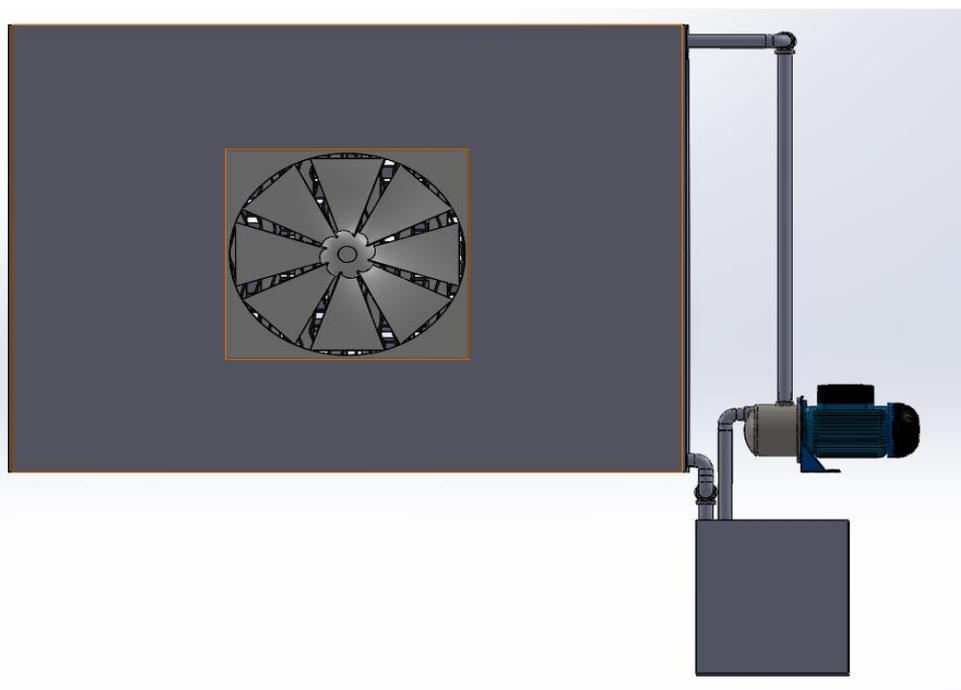


Figure IV.39 : Vue de d'arrière du système

IV.7.3. La mise en page

Dans la mise en page de SOLIDWORKS, nous avons la possibilité de placer les différentes vues du modèle que nous avons conçu, telles que des vues de face, de dessus, de côté, ainsi que des vues isométriques. Cela permet de visualiser le modèle sous différents angles et perspectives.

Une fois que les vues sont positionnées, nous pouvons ajouter des cotes pour spécifier les dimensions du modèle. SOLIDWORKS offre une variété d'outils pour créer des cotes linéaires, angulaires, radiales, etc. Ces cotes permettent de communiquer les mesures précises des différentes parties du modèle, ce qui est essentiel en mécanique pour assurer l'exactitude des pièces et leur ajustement.

Les annotations sont également un élément important dans la mise en page. Nous pouvons utiliser des annotations telles que des notes, des symboles et des repères pour ajouter des informations supplémentaires à notre dessin. Par exemple, nous pouvons ajouter des spécifications techniques, des tolérances, des indications de matériaux, des numéros de pièces, etc. Cela permet de fournir des détails importants pour la fabrication et l'assemblage du modèle.

En plus des vues et des annotations, nous pouvons insérer des tables dans la mise en page. Les tables peuvent afficher des listes de pièces, des nomenclatures, des spécifications ou d'autres données pertinentes. Ces tables peuvent être personnalisées en fonction de nos besoins spécifiques en mécanique, ce qui nous permet de fournir des informations claires et organisées.

Une fois que nous avons terminé notre mise en page, nous avons la possibilité d'ajuster les marges, les échelles et les formats de papier pour préparer le document à l'impression ou à l'exportation sous forme de fichier numérique. Cela nous permet de produire des documents professionnels et prêts à être partagés avec d'autres membres de l'équipe, des clients ou des fabricants.

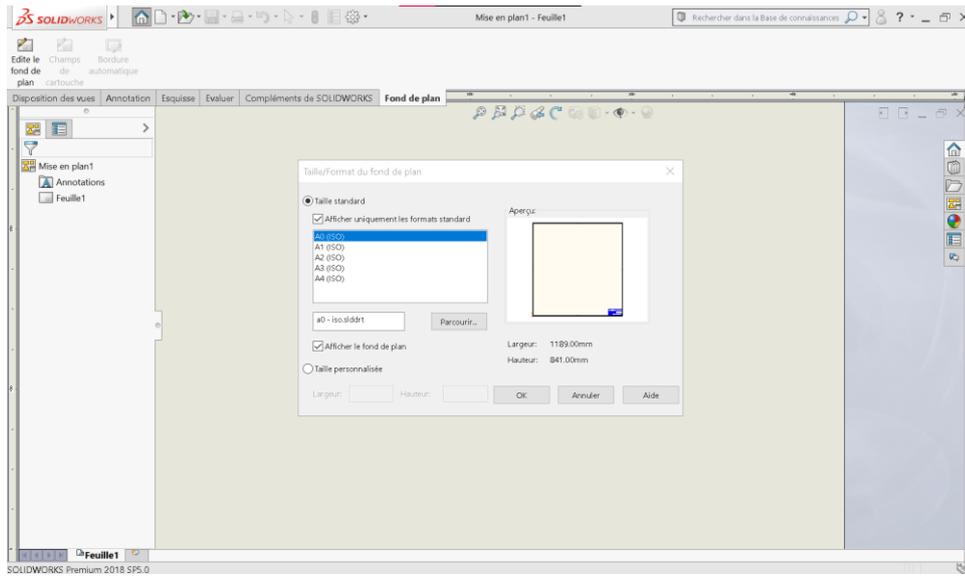


Figure IV.40 : Choix du format de la page

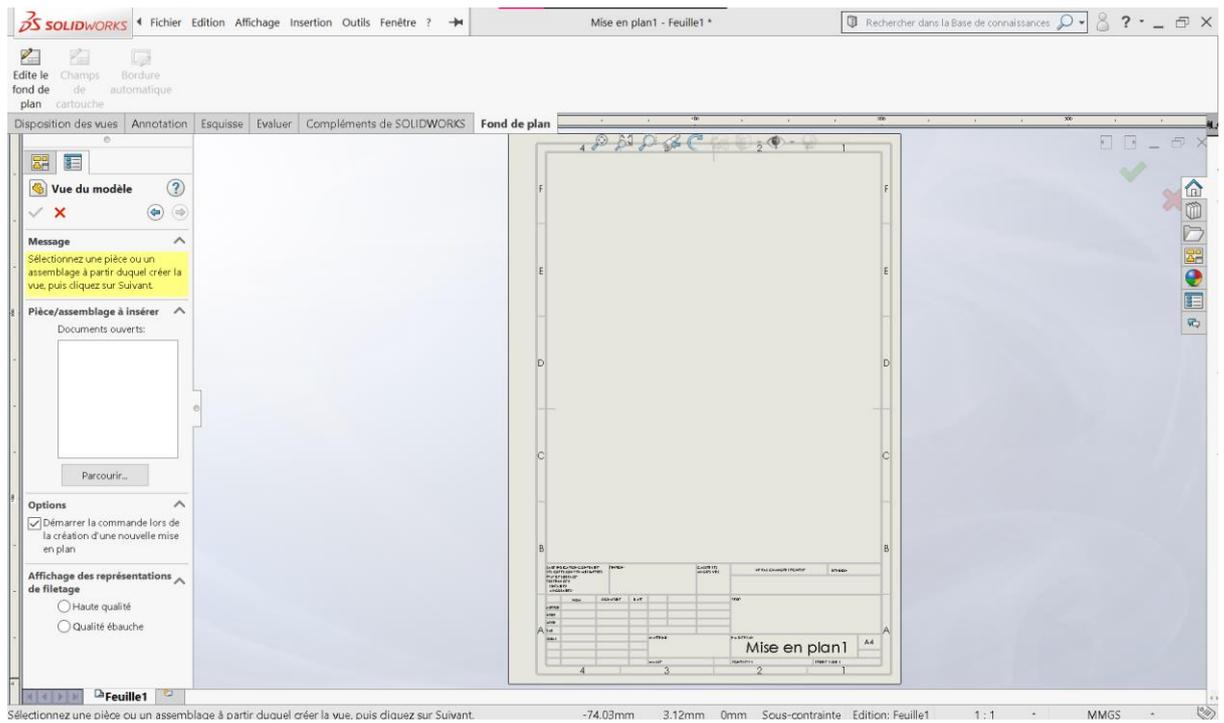


Figure IV.41 : Choix de la pièce

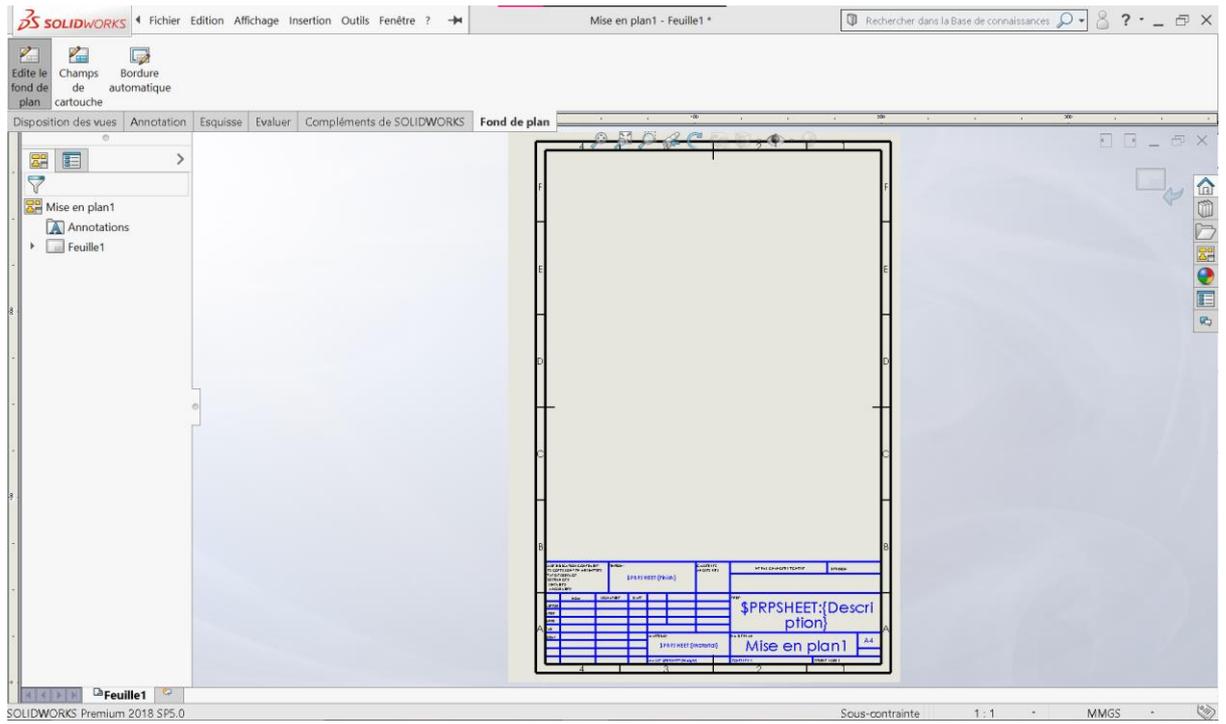


Figure IV.42 : Editer le fond

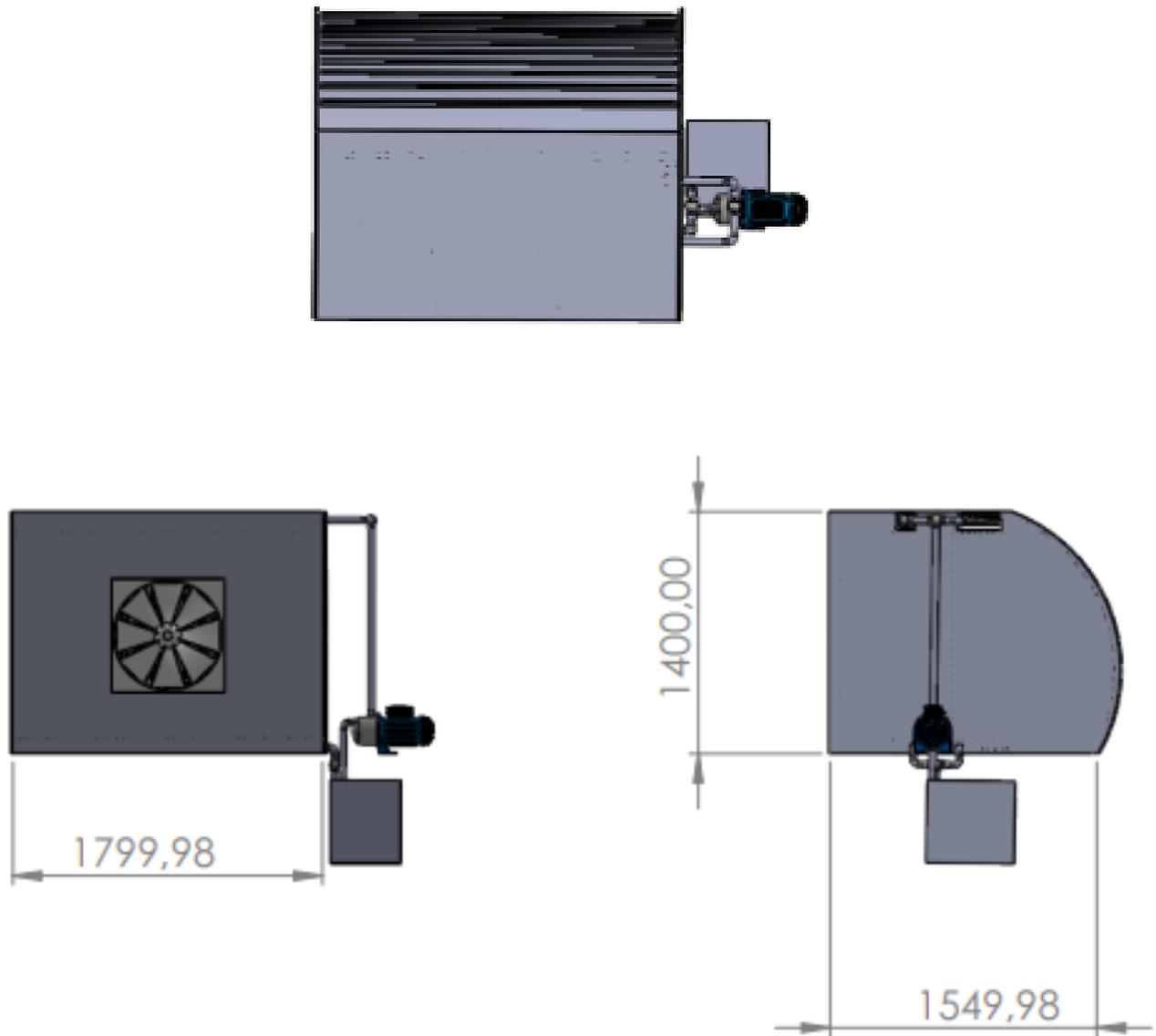


Figure IV.43 : Une petite mise en plan du système

Le prototype pilote ainsi conçu sera réalisé et testé sur un bâtiment d'élevage de poulet de chair (ORAC) à ITELV. Son alimentation électrique sera assurée par de l'électricité photovoltaïque. Une figure schématique est donnée illustrer le système dans sa globalité, poulailler – prototype – système PV.

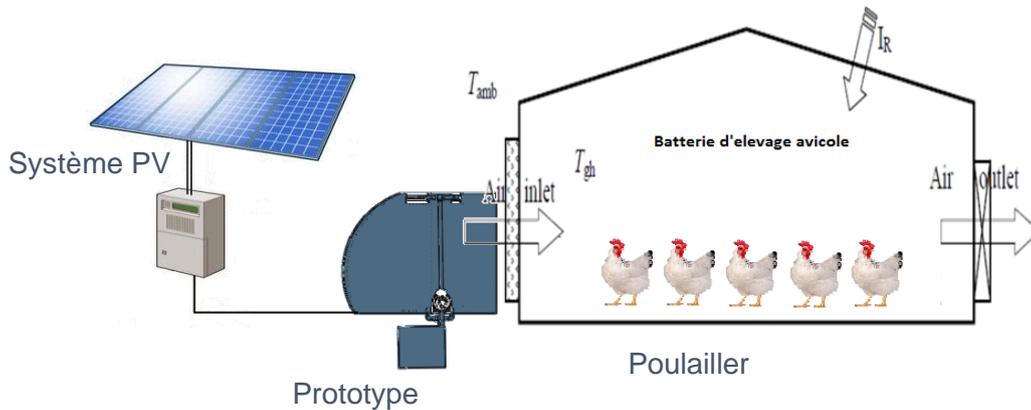


Figure IV.44 : Prototype placé sur le bâtiment avicole et alimenté par énergie solaire

Conclusion

Ce chapitre consacré au dimensionnement du système de refroidissement par évaporation pour le bâtiment d'élevage de poulets de chair à Baba Ali, Alger, a permis de réaliser une avancée significative dans notre projet de recherche.

Nous avons débuté en décrivant les caractéristiques et les spécifications du bâtiment d'élevage, en prenant en compte l'emplacement géographique et les conditions environnementales locales. Cette étape a été essentielle pour adapter notre système de refroidissement aux besoins spécifiques du site, garantissant ainsi des performances optimales.

En utilisant le logiciel TRNSYS 18, nous avons réalisé un bilan thermique approfondi du bâtiment. Cette évaluation nous a permis de quantifier les besoins de refroidissement requis. Grâce à cette analyse précise, nous avons pu prendre des décisions éclairées concernant le dimensionnement du système.

Enfin, grâce à l'utilisation du logiciel SolidWorks, nous avons pu créer un modèle en trois dimensions de notre prototype de système de refroidissement par évaporation. Cette représentation visuelle nous a permis de mieux comprendre la configuration spatiale

du système, d'identifier d'éventuelles contraintes et de procéder à des ajustements pour une optimisation ultérieure.

Les résultats obtenus dans ce chapitre constituent une étape clé vers l'atteinte de notre objectif global : améliorer les conditions thermiques dans le bâtiment d'élevage de poulets de chair à Baba Ali, Alger, afin d'optimiser le bien-être des animaux et d'améliorer les performances de l'élevage avicole, et ainsi la productivité.

Alimenté par panneaux solaires photovoltaïques permettra de s'affranchir de l'électricité conventionnelle. Ces avancées nous rapprochent de notre vision d'un système de refroidissement par évaporation efficace, économique et durable pour l'industrie avicole.

Conclusion générale

L'élevage avicole pendant la saison estivale présente des défis importants en termes de gestion des conditions thermiques à l'intérieur des poulaillers. Lorsque les oiseaux atteignent la fin de leur croissance, la quantité d'énergie libérée devient considérable, entraînant une augmentation de la température à l'intérieur du bâtiment. Dans ce contexte, l'utilisation de la chaleur gagnée par évaporation de l'eau peut constituer une solution efficace pour abaisser la température et augmenter l'humidité relative, offrant ainsi des avantages tels qu'une économie d'électricité et un gain de confort pour les animaux.

Le but de cette étude était de dimensionner un système de refroidissement évaporatif capable de faciliter les échanges entre l'air ambiant et l'évaporation de l'eau, donc notre objectif primaire était de concevoir un prototype qui permettrait de refroidir efficacement un poulailler dans des conditions maximales, en l'occurrence celui situé à Baba-Ali. Le choix du système devait être guidé par des critères tels que le coût et la disponibilité de l'énergie, la qualité et la disponibilité de l'eau, le climat et les conditions optimales d'élevage de la race avicole utilisée.

Le système de refroidissement est conçu pour assurer aux poules un niveau de confort optimal. Il s'agit d'une solution efficace qui répond aux besoins spécifiques du poulailler à Baba-Ali, en tenant compte des contraintes économiques et environnementales.

En conclusion, ce projet de conception d'un système de refroidissement évaporatif pour un poulailler représente une avancée significative dans le domaine de l'élevage avicole estival. En intégrant les principes de l'évaporation de l'eau et en exploitant la chaleur gagnée, il est possible d'améliorer les conditions de vie des oiseaux tout en réalisant des économies d'énergie. Le développement de solutions durables et respectueuses de l'environnement est essentiel pour une industrie avicole plus efficace et responsable. Ce projet apporte une contribution précieuse à cet objectif, en mettant en évidence les avantages du système de refroidissement par évaporation pour assurer le confort et le bien-être des animaux.

Recherches Bibliographiques

- [1] Watt, John. "Evaporative Air Conditioning Handbook." Springer Science & Business Media, 2012.
- [2] Abada, Djallel. "Intégration d'un Système de Rafraîchissement par Évaporation Dans le Bâtiment." Diss. Reims, 2021.
- [3] Haruna, Ibrahim U., Lateef L. Akintunji, Bello S. Momoh, Muhammad I. Tikau. "Theoretical Performance Analysis of Direct Evaporative Cooler in Hot and Dry Climates."
- [4] Stoitchkov, NJ, Dimitrov, GI. "Effectiveness of Crossflow Plate Heat Exchanger for Indirect Evaporative Cooling." International Journal of Refrigeration, 1998.
- [5] Zerguine, Nadia. "Étude de Refroidissement de l'Air au-Dessous de sa Température Humide à l'Aide d'un Échangeur de Chaleur Évaporatif Indirect." Diss. Université de Batna 2, 2014.
- [6] Khalfouni, Louiza. "Étude Paramétrique d'une Tour de Refroidissement d'Eau." Diss. 2012.
- [7] Hensley, John C. (Ed.). "Cooling Tower Fundamentals." Stockton, CA: Marley Cooling Tower Company, 1985.
- [8] Brahim, B.A.O., Houari, K.H.A.L.E.D., Abdelbasset, B.O.U.R.O.U.B.A. "Simulation CFD par Comsol Multiphysics pour le Phénomène d'Échange de Chaleur et de Masse à Travers la Zone de Garnissage dans une Tour de Refroidissement Humide à Contre-Courant." 2020.
- [9] Lagadec, Gaëlle, and Manuel Marquis. "Risques de Légionellose Liés à l'Utilisation de Brumisateurs en Élevage."
- [10] Krigger, John, and Chris Dorsi. "Residential Energy : Économies de Coûts et Confort pour les Bâtiments Existants." Saturn Resource Management, 2004.
- [11] Ajib, Salman, and Ali Alahmer. "Solar Cooling Technologies." November 5th, 2018.

- [12] Desideri, Umberto, Stefania Proietti, Paolo Sdringola. "Solar-Powered Cooling Systems: Technical and Economic Analysis on Industrial Refrigeration and Air-Conditioning Applications." *Applied Energy*, 2009...
- [13] Sofiane, Medjoudj. "Étude du Réfrigérateur Solaire." Diss. Université Mouloud Mammeri, 2015.
- [14] Bagui, Farid, and Hicham Chafouk. "Étude Transitoire du Système Solaire Thermique." *Revue des Energies Renouvelables CER*, 2009.
- [15] Labouret, Anne, and Michel Villos. "Énergie Solaire Photovoltaïque." Vol. 3. Paris: Dunod, 2006.
- [16] Zeghib, Ilhem, and T. Kerbache. "Étude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire Parabolique." 2017.
- [17] Mirabito, L. "Bien-Être Animal : Contexte et Travail de l'ITAVI." *Sciences et Techniques Avicoles*, 2004.
- [18] Dantrez, R., Mormède, P. "Le Stress en Élevage Intensif." Masson Éditeur, Paris, 1979.
- [19] Alloui, N. "Cours Zootechnie Aviaire." Université El Hadj Lakhdar, Batna, Département de Vétérinaire, 2006.
- [20] Nouha, Malika. "L'Impact des Facteurs d'Ambiance sur l'Élevage du Poulet de Chair à Touggourt." Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015-2016. [21] Amari Celia, Namar Celia. "Contribution à l'Étude des Dominantes Pathologiques dans les Élevages de Poulets de Chair de la Wilaya de Tizi-Ouzou." Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2019-2020.
- [22] I.T.A. "Aviculture 3, Conditions d'Ambiance et d'Habitat Moyens Techniques de leur Maîtrise Équipements d'une Unité Avicole." Institut de Technologie Agricole, 1973.
- [23] Fedida. "Bases Économiques et Techniques de l'Industrie d'Accoupage 'Chair' et 'Ponte' en Algérie." ITPE, Alger, 1996.

- [24] Ouaret, Smail. "Conception d'un Système de Climatisation pour un Poulailier." Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2019-2020.
- [25] BRILLARD, J.P. "Reproduction et environnement chez Gallus domesticus." 2003.
- [26] ISA. "Guide d'élevage poulet de chair." 1999.
- [27] ITAVI. "Elevage des volailles." Paris, Décembre 2001.
- [28] Hubbard. "Bibliothèque Technique, Guide d'Élevage Poulet de Chair." 2015.
- [29] Laouer, H. "Analyse des Pertes du Poulet de Chair au Centre Avicole de Tazoult." Mémoire d'Ingénieur, INESA, Batna, 1987.
- [30] Bellaoui, G. "Réflexion sur la Situation de l'Élevage Avicole Type Chair dans la Wilaya de Tindouf Perspectives de Développement." Mémoire d'Ingénieur Agro, INFSAS, Ouargla, 1990.
- [31] Cretinon, Bernard, Blanquart, Bertrand. "Air Humide - Notions de Base et Mesures." Energie/Physique Énergétique, 2017. Réf : BE8025V2.
- [32] Costic. Consulté le 18 mai 2023. Disponible sur : <https://www.costic.com>
- [33] ABDI, Hamid. "Cours de chauffage et climatisation." Master 1 énergétique (Année 2021/2022). Université SAAD DAHLAB Blida 1, Faculté de technologie, Département mécanique.
- [34] BENSAFI, Ahmed. "Air humide - Traitement et conditionnement de l'air." Energie/physique énergétique, 2007. Réf : BE8026V1.
- [35] SALTIEL, Edith. "Le principe de conservation de l'énergie et le théorème de l'énergie mécanique en classe de première." Bulletin de l'Union des Physiciens 91.794 (1997) : 957-972.
- [36] Manégré, Yannick M.B Kabore. "Étude du Conditionnement d'Air dans un Poulailier Industriel." Mémoire de Master, année 2014.
- [37] R. Paul, H. Mélynda, and A. Gérard. "CalorSTA, Logiciel de Dimensionnement et de Diagnostic des Systèmes de Refroidissement Évaporatif des Bâtiments Avicoles."

- [38] Costantino, A., Fabrizio, E., Ghiggini, A. & Bariani, M. (2018). « Climate control in broiler houses: A thermal model for the calculation of the energy use and indoor environmental conditions ». *Energy & Buildings*, 2018, p.110-126
- [39] NASA Langley Research Center. (s.d.). NASA POWER - Prediction of Worldwide Energy Resource. Récupéré le 12 Avril 2023, à partir de <https://power.larc.nasa.gov/>
- [40] A. MIRA and A. REDOUANE, "Dimensionnement du système de refroidissement dumoteur Diesel Perkins 4006," p. 8, 2017.
- [41] DUMINIL, Maxime. "Air humide." 1 août 1986. Réf : BE2230V1.
- [42] Maazouzi, Toufik, Rebâa, Hithem. "Conditionnement d'Air d'une Salle de Cinéma." Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Faculté des Sciences Appliquées, Département de Génie Mécanique, 2022.
- [43] Louni, Madjid. "Élaboration d'un Code de Calcul l'Air Humide en Contact de l'Eau de Mer et de la Glace." Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Faculté de Génie de la Construction, Département de Génie Mécanique, 2012.