

I.1.Introduction

La cheminée solaire est une installation solaire de production de puissance qui utilise le rayonnement solaire pour accroître l'énergie interne de l'air s'écoulant à travers le système, transformant ainsi l'énergie solaire en énergie cinétique. L'énergie cinétique de l'air est ainsi transformée en électricité en utilisant des groupes turbogénérateurs adéquats. Une Centrale à cheminée solaire est constituée de trois éléments principaux (Fig. 1), à savoir le capteur solaire, la tour-cheminée et la turbine. Le capteur, constitué par le sol et une couverture transparente située à quelques mètres au dessus du sol, a pour objectif principal de capter le rayonnement solaire pour chauffer la masse d'air présente à l'intérieur. Les forces de gravités dirigent l'air chaud vers la cheminée qui est située au centre du capteur. Une turbine est placée sur le chemin de l'écoulement d'air pour convertir l'énergie cinétique en électricité à travers une génératrice de courant. Le capteur peut être équipé d'un dispositif de stockage afin d'augmenter la période de fonctionnement du système, c'est-à-dire en dehors de la période journalière. Ainsi donc grâce à diverses techniques, le rayonnement solaire peut être transformé en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment, en chaleur, en électricité.

Le concept combine plusieurs effets et forces naturels (effet de serre, effet cheminée, effet Venturi, force de Coriolis). L'ensemble fonctionne aussi bien de manière autonome et de manière permanente quelque soit l'ensoleillement et le régime des vents. Il constitue un concept élaboré et performant que tout ce qui a été conçu jusqu'à présent dans le domaine de la production électrique. Il est en particulier bien plus efficace et économique que les dispositifs utilisant des éoliennes, des cellules photovoltaïques ou des tours solaires. Sa technologie est simple, fiable et accessible au pays en voie de développements, qui sont ensoleillés et qui ont souvent des ressources en matières premières limitées. Les évaluations économiques, basées sur l'expérience et la connaissance recueillies jusqu'ici, ont prouvées que les centrales à cheminée solaire de grande puissance sont capables de produire de l'électricité à un coût comparable à ceux des centrales conventionnelles. Ceci, est une raison convaincante pour développer plus cette forme d'utilisation d'énergie solaire, d'autant plus que c'est une unité économiquement viable.

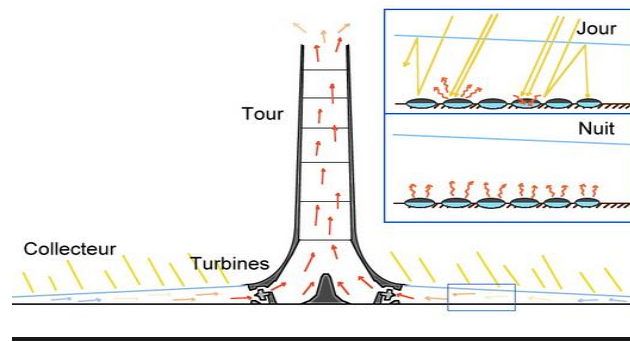


Figure I.1 : Schéma d'une centrale cheminée solaire

I.2. Analyse bibliographique et synthèse des connaissances approprié a la cheminée solaire

La cheminée solaire est une idée attrayante pour beaucoup de chercheurs dans différents champs. En vue d'améliorer la ventilation naturelle, différentes configurations de la cheminée ont été étudiées et expérimentées. Le présent chapitre décrit ces différentes configurations, les conditions expérimentales et les différents résultats atteints, par certains auteurs. La recherche bibliographique nous a permis de classer trois catégories de systèmes à savoir : Certains des chercheurs ont été intéressés à analyser la cheminée verticale, et certains avaient étudié l'effet d'inclinaison sur la performance de la cheminée solaire. Alors que d'autres ont étudié l'effet de la cheminée solaire associé avec d'autres techniques de ventilation.

I.3. Analyse de la cheminée solaire verticale

Jyotirmay Mathur et al (2006) [1] ont évalué la possibilité d'utiliser le rayonnement solaire pour induire la ventilation d'une pièce dans des climats chauds. L'étude expérimentale sur une cheminée solaire de petite taille montre que le taux de ventilation augmente avec l'augmentation du ratio entre la hauteur et la largeur de la cheminée. Le taux le plus élevé de la ventilation est de 5 à 6 (coefficient de changement d'air par heure) pour une salle de 27 m^3 , correspond à un rayonnement solaire de 700 W/m^2 sur la surface verticale d'une cheminée de 1m d'hauteur. Les résultats théoriques du modèle proposé ont un bon accord avec les résultats expérimentaux. Ils ont conclu que le débit d'air augmente d'une façon linéaire avec l'augmentation du rayonnement solaire, et l'augmentation de la distance entre l'absorbeur et la vitre. En outre, le taux de ventilation aussi dépend de plusieurs paramètres tels que le rapport entre la section d'entrée et de la sortie.

M. Macias et al (2006) [2] présentent une approche pratique pour améliorer la ventilation passive pendant la nuit dans un logement social par l'application de concept de la cheminée solaire. Au lieu d'une ventilation forcée par ventilateur, ils ont employé une masse thermique élevée accessible dans le bâtiment construit pour rassembler l'énergie solaire durant l'après-midi, où la température des murs en béton peut atteindre (50°C). Chaque appartement avait une cheminée séparée avec un aileron en haut, et tandis que pour accumuler l'énergie, l'aileron était fermé. Puis, pendant la nuit où la température ambiante descend jusqu'à environ 20 ° C, les ailerons au dessus seront ouverts produisant un début de refroidissant des masses thermiques du plafond et des murs des appartements.

R. Bassiouny et N.S.A. Koura (2008) [3] ont étudié analytiquement et numériquement une cheminée solaire utilisée pour améliorer la ventilation naturelle dans une pièce. L'étude prend en compte les paramètres géométriques de la cheminée tels que la taille et la largeur d'entrée de l'air, qui sont supposés avoir un effet significatif sur la ventilation. L'analyse numérique du modèle d'écoulement dans la chambre et dans la cheminée aiderait à optimiser les paramètres de la conception. Les auteurs présentent une comparaison entre les résultats théoriques et les données expérimentales. Ils ont conclu que lorsqu'en augmentant la taille d'admission trois fois seulement, le coefficient de changement d'air (ACH) est amélioré presque de 11%. Cependant, l'augmentation de la largeur de cheminée par un facteur de trois fois a amélioré l'ACH presque de 25%, avec une taille d'admission fixée. Les résultats montrent que la température de l'absorbeur peut être donné par la corrélation suivante: ($T_w = 3.5110.461$), et la vitesse de l'air à la sortie comme suit : ($v_{ex} = 0.01310.4$).

J. Martí-Herrero et M.R. Heras-Celemin (2007) [4] proposent un modèle mathématique pour évaluer la performance énergétique d'une cheminée solaire. Les résultats obtenus par le modèle proposé sont satisfaisants avec plusieurs expériences sur les cheminées solaires. La simulation a été réalisée avec les données météorologiques en temps réel, ce qui donne des résultats prouvent que pour une cheminée de longueur de 2 m et de 14,5 cm de largeur, le débit massique d'air égalant 0,011 kg/s est obtenu pour un rayonnement solaire de 450 W/m². Le mur en béton d'épaisseur de 24 centimètre, atteint une température supérieure à la température ambiante après 2h. Le maintien de sa température largement supérieure à la température ambiante lorsque le rayonnement solaire n'existe plus. En conséquence, une ventilation naturelle est produite, ce qui est très intéressant pour les climats méditerranéens.

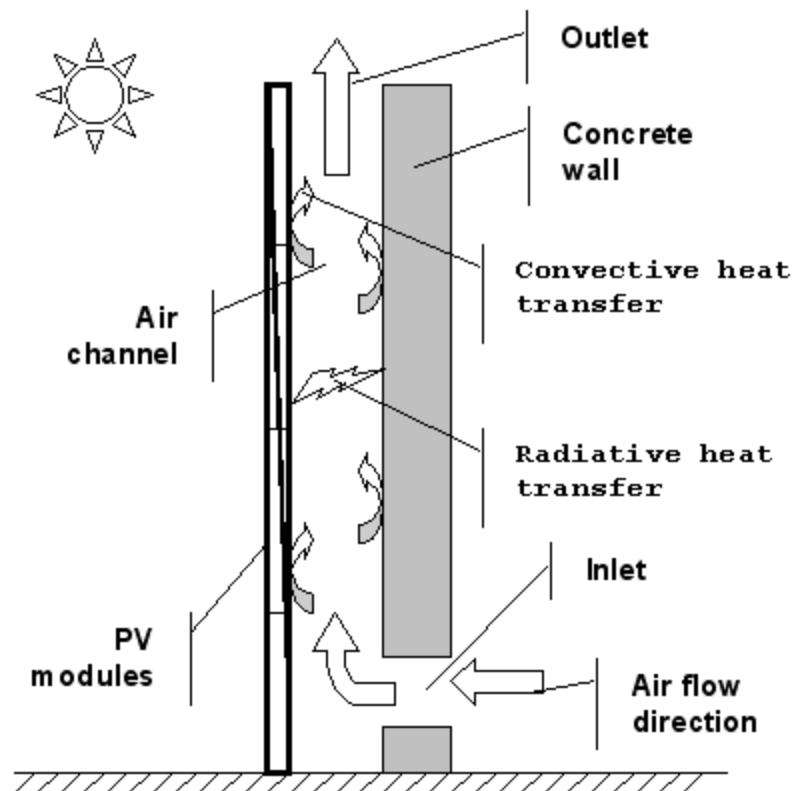


Figure I.2 : Conception d'une cheminée solaire avec une masse thermique et des modules PV

T. Miyazaki et al (2006) [5] ont étudié la performance d'une cheminée solaire, intégrée dans une façade sud d'un bâtiment et l'effet sur le chauffage et les charges de refroidissement du bâtiment en employant une simulation par CFD et un modèle analytique. Le code de programmation C++ a été développé pour le calcul du chauffage et des charges de refroidissement par la méthode de bilan thermique. Les équations analytiques d'une cheminée solaire ont été incorporées au calcul du bilan thermique. Les résultats ont prouvé que l'alimentation électrique consommée par le ventilateur a été réduite d'environ 50% dans le total annuel dû à la ventilation naturelle. Ils ont constaté que la cheminée solaire était favorable pour réduire la charge thermique d'environ 20% pendant la saison chaude. La réduction thermique annuelle de charge a été estimée en tant que 12% en prenant en considération l'augmentation de la charge de refroidissement.

Afonso et Oliveira (2000) [6] ont comparé les différences dans le taux de renouvellement d'air et le volume débit compris entre cheminées solaires conventionnelles et dans des conditions météorologiques à Lisbonne, Portugal. Des mesures ont montré que la cheminée améliore le débit volumique et bien que la plus grande largeur est plus importante.

Khedari et al (2000) [7] mené des expériences sur un bâtiment de l'école installé avec toit à deux cheminées solaires, un mur Trombe modifié, le mur Trombe et un mur solaire

métallique afin de déterminer leurs effets combinés. 27 positions différentes ont été utilisées pour obtenir les températures et la vitesse intérieures de l'air.

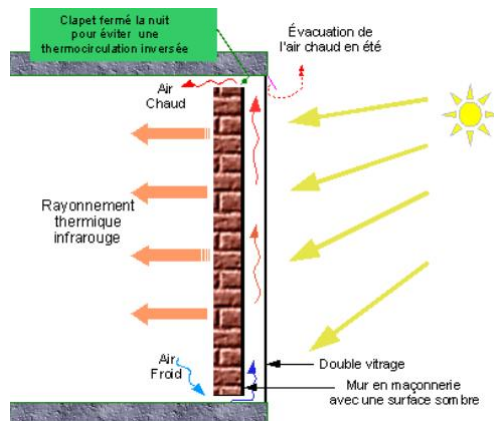


Figure I.3 : Mur trombe

Spencer et al (2000) [8] ont effectué des expériences avec un modèle mis à l'échelle de la cheminée solaire en utilisant un poids de 4% une solution saline aqueuse et des bulles d'hydrogène à simuler la pile thermique due à l'irradiation solaire. Les résultats ont montré que la largeur optimale de la cheminée solaire est indépendante de l'irradiation solaire, mais augmenté à hauteur de la pile et la zone d'ouverture. En outre, l'augmentation de la zone d'ouverture de l'entrée et l'énergie solaire de la cheminée de l'intérieur ont augmenté le débit de volume.

Amer (2006) [10] a examiné les diverses techniques de refroidissement passif sur un bâtiment cubique échelle. La orienté au sud cheminée solaire conduit à une baisse de la température de la pièce par rapport au cas de base et a donné une température moyenne a été de 1.0°C supérieure à la température ambiante.

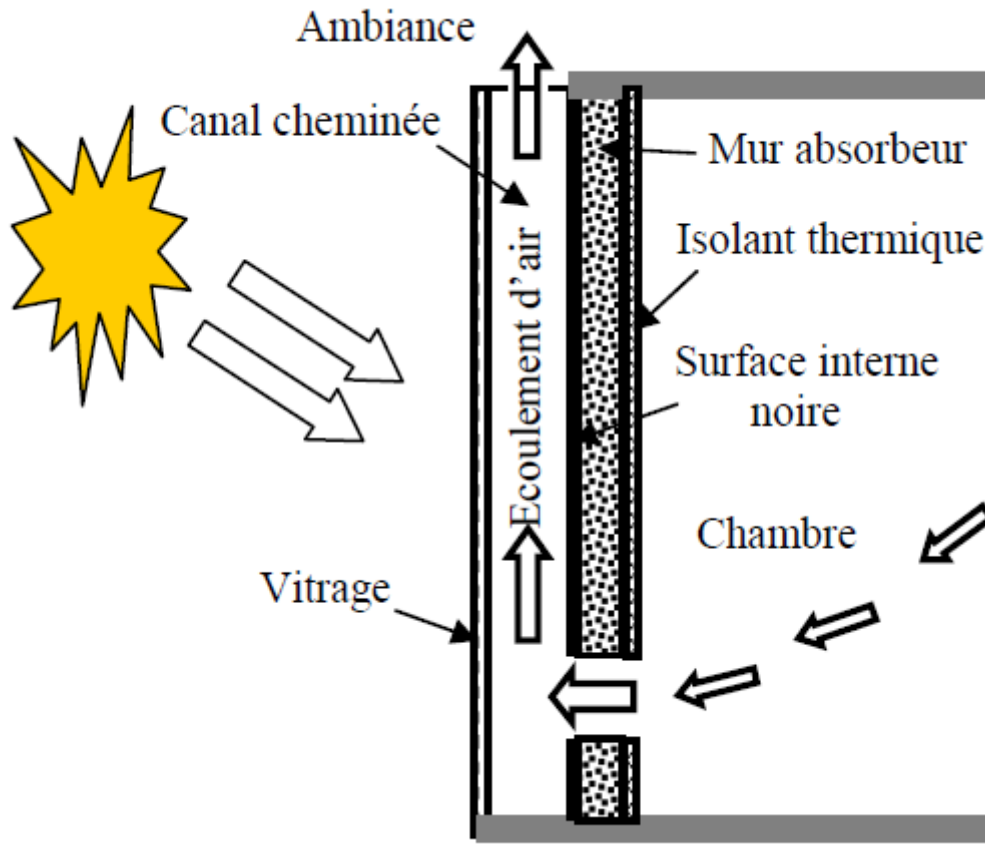


Figure I.4 : Représentation schématique d'un système de ventilation passive à base de cheminée solaire

Gan (2006) [11] a réalisé une simulation bidimensionnelle de cheminée solaire utilisant le logiciel FLUENT avec modélisation de la turbulence $k-\varepsilon$ norme après validation de modèle avec des données expérimentales. La profondeur optimale de débit volumique est restée inchangée avec l'irradiation solaire. En outre, le flux inverse a été observé lorsque la profondeur optimale était dépasser. Enfin, la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée solaire diminue avec augmentation de la profondeur.

Miyazaki et al (2006) [12] effectue des simulations et des analyses d'analyse des effets de la cheminée solaire sur une salle de bureau en vertu de Tokyo (Japon) dans des conditions météorologiques avec le $k-\varepsilon$ modèle de turbulence RNG a été employé en utilisant le logiciel Fluent alors que la pression est constante et la vitesse initiale ont été appliquées à l'entrée et à la sortie de la cheminée solaire attaché à la paroi sud. Après validation du modèle, des résultats simulés montrent que l'effet de profondeur de la cheminée solaire était insignifiant après 0,2 m. En outre, l'irradiation solaire supérieur ou température ambiante inférieure vont provoquer un débit volumique plus élevée.

Preeda Chantawong et al (2006) [13] leur travail rapporte la recherche sur la performance thermique des murs vitrés de cheminée solaires (Glazed solar chimney walls : GSCW) dans les conditions climatiques tropicales à Thaïlande. Le GSCW s'est composé de doubles vitres avec une couche d'air et des ouvertures situées au fond et au dessus. Un prototype de GSCW a été intégré à la face sud d'une petite salle de 2.8 m^3 de volume. La taille des ouvertures est de $0.05\text{-}0.5 \text{ m}^2$. Avec une vitre claire de 6 millimètres d'épaisseur, la mesure de vitesse sur le terrain a indiqué que le taux induit de flux d'air était d'environ $0.13\text{-}0.28 \text{ m}^3/\text{s}$. La différence de la température entre la pièce et le milieu ambiant était inférieure à celui avec une fenêtre en verre clair à une seule couche. La comparaison entre les résultats simulés et expérimentaux a montré un accord raisonnable, donc, le modèle numérique développé est valide et pourrait être employé comme outil pour la conception de GSCW.

K.S. Ong et C.C. Chow (2003) [14] proposent un modèle mathématique afin de prévoir la performance d'une cheminée solaire pour différentes caractéristiques ambiante et géométriques. Ils ont étudié les équations de transfert de chaleur, en utilisant des corrélations entre les coefficients de transfert de chaleur. Les valeurs de flux d'air dans le conduit sont basées sur les températures moyennes d'écoulement d'air. Ces équations sont résolues en utilisant la matrice inverse. Des corrélations de coefficients de transfert de chaleur ont été utilisées. Des valeurs d'une propriété pour la circulation d'air dans le conduit ont été basées sur les températures moyennes. La performance de la cheminée a été évaluée par la prévision des températures du vitrage et celle de mur absorbant et la vitesse d'air dans la cheminée. Les effets de l'intensité du rayonnement solaire sur la performance de la cheminée ont été étudiés. Afin de vérifier le modèle théorique, des expériences ont été faites sur un modèle physique de 2 m de longueur avec des entrées d'air de 0.1, 0.2 et 0.3 m. L'expérience a été effectuées sur un toit exposé aux rayonnements solaire directs et diffus. Les vitesses d'air entre 0.25 m/s et 0.39 m/s ont été obtenues pour l'intensité de rayonnement de 650 W/m^2 . Ils n'ont observé aucune circulation inverse d'air même le grand espace de 0.3 m. Ils trouvent un bon accord entre les résultats expérimentaux et théoriques pour l'écoulement de l'air et de l'augmentation de la température de l'air pour l'écart de 0,3 m pour les valeurs d'intensité de rayonnement allant de 200 à 650 W/m^2 .

Pour **Evangellos Bacharoudis et al (2007) [15]** leur travail de recherche se concentre sur l'étude de phénomènes du thermo-fluide produite à l'intérieur des cheminées solaires. Une recherche numérique sur le transfert de flottabilité conduit le champ d'écoulement et de chaleur qui ont lieu à l'intérieur des cheminées solaires est réalisé. Les équations elliptiques

régissantes sont résolues dans un domaine bidimensionnel en utilisant une méthode de volume de contrôle. L'écoulement est turbulent et six modèles différents de turbulence ont été examinés dans le cadre de cette étude. Comme le modèle réalisable de k- fourni des résultats précis pour des écoulements où les conditions sur la frontière présente des gradients forts de pression défavorables, il a été choisi pour être employé dans les simulations. Ceci est également confirmé en rivalisant avec les résultats expérimentaux. Les profils de vitesse et de température sont présentés pour différents endroits, près de l'entrée, à différentes tailles et approche de sortie du canal. Les profils sont identiques avec ceux de la théorie.

Des paramètres importants tels que le nombre moyen de Nusselt sont également comparés et calculés à plusieurs résolutions de grille. Le modèle développé est général et peut être facilement adapté aux besoins, pour décrire les états de la cheminée solaire. Les résultats de l'application du modèle soutiendront l'installation efficace de prochaines configurations du système.

Jalan Kolej et Bandar Sunway (2003) [16] proposent un modèle mathématique simple d'une cheminée solaire, ce modèle physique est semblable au mur Trombe. Un côté de la cheminée couvert en verre et les trois autres murs pleins forment un canal de cheminée, par lequel l'air chauffé s'écoule vers le haut par la convection naturelle. Les deux ouvertures, au fond et au dessus de la cheminée permettent à l'air de la pièce d'entrer et traverser la veine. Des équations de transfert de chaleur ont été installées pour déterminer les températures de verre, du mur absorbant et la circulation d'air dans le canal utilisant la résistance thermique. Les équations ont été résolues suivant le procédé de solution de matrice-inverse. Les performances thermiques de la cheminée solaire sont déterminées à partir les températures du verre, le mur et de l'air. Le taux de débit massique d'air et l'efficacité instantanée de collection de la chaleur de la cheminée sont présentés.

I.4. L'effet de l'inclinaison sur la cheminée solaire

Mathur et al (2006) [17] effectuaient une comparaison entre quatre types de cheminées solaires. D'abord ils ont étudié l'exécution d'une cheminée cylindrique lorsqu'elle est couverte par une couverture transparente et quand elle est découverte. Ils ont constaté que le taux d'écoulement de l'air augmente lors des cheminées couvertes. Ils ont étudié aussi l'effet d'inclinaison d'une cheminée solaire. Ils ont trouvé que pour un angle de 45° , le taux de l'écoulement est plus élevé, comparé avec celui obtenu par les cheminées verticales.

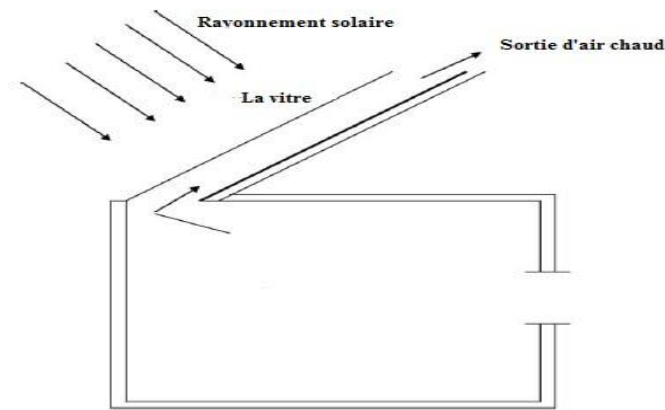


Figure I.5 : Installation expérimentale pour l'exécution de vérification de la performance de la cheminée solaire inclinée

D'autre part, ils ont étudié l'effet d'employer une cheminée solaire pour augmenter la ventilation **naturelle (2006) [18]** En proposant un modèle d'une cheminée solaire de 1m d'hauteur et une distance variable entre la vitre et l'absorbeur, cette distance prend trois valeurs (0.1m, 0.2m, 0.3m). Afin d'étudier numériquement l'effet de l'inclinaison et la taille de la cheminée, les expériences ont montré que l'inclinaison optimale de l'absorbeur varie de 40° à 60° selon la latitude de l'endroit. Ils ont comparé les résultats expérimentaux avec celles de modèle mathématique proposé, ils ont trouvé un bon accord dans cette intervalle d'inclinaison.

E.P. Sakonidou et al (2008) [19] ont développé un modèle mathématique pour déterminer l'inclinaison qui maximise la circulation d'air à l'intérieur d'une cheminée solaire. En employant des données de rayonnement solaires quotidiennes sur un plan horizontal à un emplacement. Le modèle commence par le calcul des composants de rayons solaires horaires absorbé par la cheminée solaire en variant l'inclinaison, la taille pendant un temps donné (jour de l'année, de l'heure) et l'endroit (latitude). Le modèle prévoit la température et la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée aussi bien que les températures de vitre et de l'absorbeur peint en noir. Les comparaisons des résultats préventes du modèle de CFD tracent l'utilité du modèle. En outre, il y a une bonne concordance entre les résultats théoriques et ceux donnés par les expériences exécutées avec une cheminée solaire de 1m de long à différentes inclinaison.

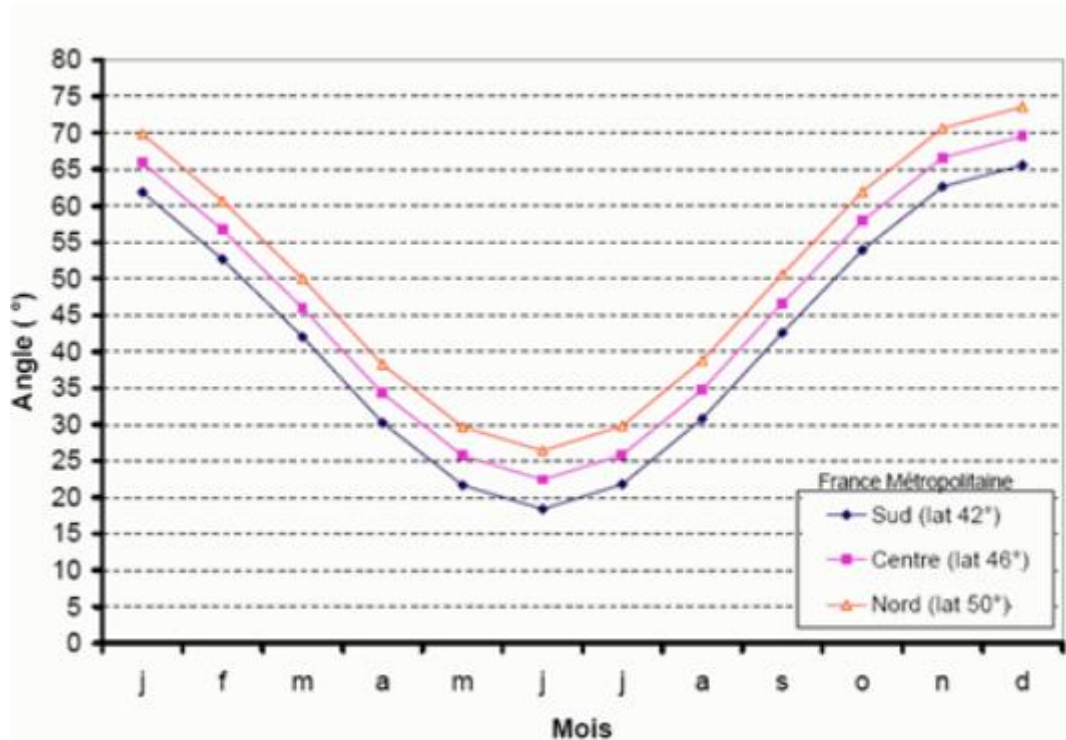


Figure I.6 : les différentes inclinaisons optimales des panneaux en fonction des mois de l'année et de la latitude.

Tawit Chitsomboon et Pornsawan Thongbai (2004) [20] proposent une nouvelle technique solaire pour la ventilation dans le bâtiment, où le toit et la cheminée transparents sont utilisés pour induire la circulation de volume d'air élevé pour aérer le bâtiment aussi bien que pour refroidir les habitants. La force d'entraînement de l'écoulement est la flottabilité créée par la salle de grenier sous le toit transparent. L'écoulement est encore augmenté par la cheminée attachée au dessus de toit. Le CFD a été employé pour simuler la circulation d'air mentionnée à de divers paramètres significatifs tels que, l'inclinaison de toit, taille de la cheminée, l'intensité solaire et la forme de toit. Ils l'ont constaté que des débits d'air raisonnables ont été réalisés dans des conditions confortables dans le secteur rural du tropique.

Zoltan Adam et al (2002) [21] présentent une simulation mathématique détaillée et une étude expérimentale sur le flux d'air dans une cheminée solaire. Le modèle de cheminée solaire est considéré comme un canal simple vitré d'un côté et un mur collecteur de l'autre côté, et d'une épaisseur et un angle d'inclinaison variables. Pendant les expériences, la vitesse de l'air dans la cheminée dépend de la distance entre le plan chauffé et le vitrage. Les résultats des expériences et de simulation sont présentés dans une série de graphiques. Le modèle de simulation a donné les débits pour une large gamme de variables. Ils ont conclu qu'il y a

quelques différences, qui peuvent en suite être éliminées à l'aide des équations plus précises pour calculer l'épaisseur de la couche limite et le coefficient de transfert de la chaleur. Le débit maximum est atteint pour une inclinaison de 45 degrés.

Pour **D.J. Harris et N. Helwig (2007)** [22] leur étude est consacrée à la conception d'une cheminée solaire pour induire la ventilation dans un bâtiment. Des techniques de modélisation utilisant des codes CFD ont été employées pour évaluer les impacts de l'angle d'inclinaison et double vitrage sur le taux de ventilation. Ils ont constaté que pour une cheminée intégrée à la face sud, et un angle d'inclinaison de 67.5° par rapport à l'horizontal était optimum pour l'endroit choisi, donnant une efficacité plus grande de 11% que la cheminée verticale, et cela un rendement plus élevé de 10% a été obtenu en employant une surface de mur de basse émissivité.

Hirunlabh et al (1999) [23] ont examiné différentes configurations du capteur solaire sur le toit à l'aide d'expériences et finis simulations de différence. Les résultats ont montré que le débit d'air augmente avec l'inclinaison. A De plus, bien que l'augmentation de la hauteur du capteur solaire de toit augmente le débit d'air, il a conduit à une diminution de la vitesse d'écoulement d'air par unité de surface.

Aboulnaga(1998) [24] menée théorique analyse sur un bâtiment résident commun dans la ville de Al-Ain, Emirats Arabes Unis. La profondeur de la cheminée solaire et angles d'inclinaison ont été modifiées. Les résultats ont donné un angle d'inclinaison optimum de 35° et une cheminée solaire profondeur de 0,20 m.

I.5. Cheminée solaire associé à une autre technique de ventilation

Sudaporn Chungloo et Bundit Limmeechokchai (2007) [25] ont étudié l'effet de la cheminée solaire et la pulvérisation sur la ventilation naturelle. Le système de pulvérisation est placé au-dessus de toit du bâtiment. Ils ont trouvé que lorsque la température ambiante était de 40°C , la réduction maximale de la température est de $3,5^\circ\text{C}$ pour l'effet de cheminée solaire, et une réduction maximale de la température de $6,2$ à 8°C pour un effet combiné de la pulvérisation de l'eau et la cheminée solaire. En outre, la différence de la température entre l'admission et la sortie de la cheminée solaire tend à diminuer pendant la période du rayonnement solaire élevé et de la température ambiante élevée.

Yoshiteru Shinada et al (2007) [26] ont proposé un dispositif spécifique. Un système de ventilation naturelle comme étant une combinaison d'une cheminée solaire et une fosse

souterraine installée au niveau d'un bâtiment scolaire. L'air extérieur entre dans le bâtiment après le passage par la fosse souterraine, puis il introduit dans les différentes salles et déchargé à l'extérieur par une cheminées solaires de huit mètres de hauteur par action de l'effet du cheminée, ou de retirer par action du vent. Les résultats mesurés pendant quatre ans après l'ouverture de l'école ont montré que l'énergie de l'exécution a amélioré l'année après année dû au système de ventilation naturelle.

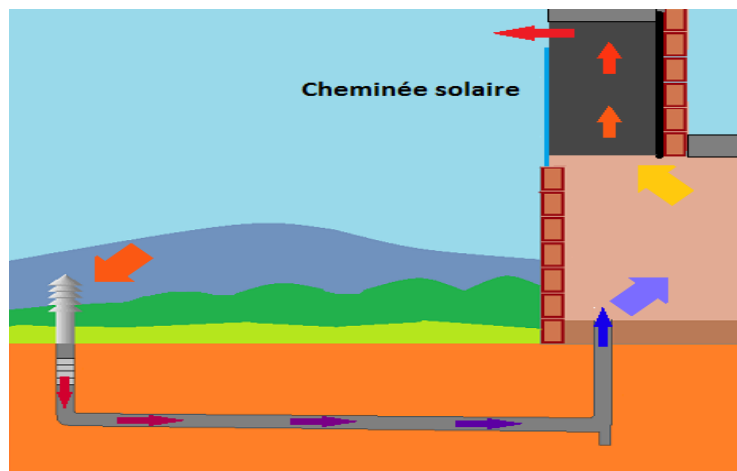


Figure I.7 : cheminée solaire souterraine