

EVALUATION THEORIQUE ET EXPERIMENTALE DE LA PERFORMANCE DES SYSTEMES D'EVAPORATION DANS UN BATIMENT EQUIPE D'UN PATIO

R. Belarbi et F. Allard
 LEPTAB, Université de La Rochelle
 avenue Michel Crépeau
 17042 La Rochelle cedex 1
 Tel : 05 46 45 72 39 Fax : 05 46 45 82 41
 E-mail : rbelarbi@univ-lr.fr

RESUME

Cet article traite la modélisation du phénomène d'évaporation d'une goutte d'eau dans une ambiance. Ensuite une généralisation au cas d'évaporation d'un jet de gouttelettes d'eau dans les petits volumes (milieux finis) sera abordée. Pour cela, une approche cellulaire où les gouttes sont considérées comme des sphères rigides empilées les unes aux autres selon une forme géométrique compacte est adoptée. Ce modèle suppose que le nuage de gouttelettes est contenu dans une structure cellulaire multicouche de bulles de mêmes dimensions contenant chacune une goutte en son centre. L'évaporation a lieu progressivement de la couche superficielle vers les couches internes. Une étude de sensibilité aux paramètres est réalisée afin de définir l'influence de chaque variable sur le temps d'évaporation, une des caractéristiques les plus importantes du phénomène d'évaporation. Ce travail a permis le dimensionnement de l'installation du système d'évaporation et du patio du bâtiment à effet cheminée inverse, situé à Catane (Italie), testé dans le cadre d'un projet européen PDEC/JOULE II « Passive Draught Evaporative Cooling Systems in non domestic buildings ». Des expérimentations ont été réalisées sur ce bâtiment pour démontrer l'intérêt du choix architectural du bâtiment couplé à l'utilisation de systèmes passifs de rafraîchissement sur le confort, la qualité de l'air et sur la facture énergétique.

Mots clés : Evaporation, brumisation, rafraîchissement passif, bâtiment

NOMENCLATURE

| | |
|--|---|
| a_T : Diffusible thermique de la goutte (m ² /s) | L_{vap} : Chaleur latente de vaporisation de l'eau (J/kg) |
| b : Rayon de la bulle (m) | m : Masse (kg) |
| c : Concentration de vapeur (kg/m ³) | M : Masse molaire (kg) |
| C_p : Capacité calorifique (J/kg.K) | m' : Débit massique (kg/s) |
| D : Coefficient de diffusion binaire air-eau (m ² /s) | P : Pression totale (Pa) |
| D_v : ($D_v = \frac{D}{R}$) Coefficient de diffusion de la vapeur d'eau dans l'air (m ² /s) | Q : Flux de chaleur (W) |
| d_g : Diamètre de la goutte (m) | R : Constante des gaz parfait (J/mol.K) |
| g : Accélération de la pesanteur (m ² /s) | r : Composante radiale (m) |
| I : Débit massique de vapeur (kg/s) | S : Surface (m ²) |
| K : Constante de Boltzmann (J/K) | t : Temps (s) |
| K_y : Coefficient de transfert massique (m/s) | T : Température (K) |
| | U : Vitesse (m/s) |
| | V : Vitesse de la particule (m/s) |
| | W : Vitesse (m/s) |

1. INTRODUCTION

Le processus d'évaporation a été le sujet de nombreuses investigations afin de comprendre les phénomènes physiques mis en jeu et de caractériser au mieux ce processus en proposant des modèles mathématiques qui décrivent bien le comportement thermique des gouttes d'eau à partir de modes de transfert de masse et de chaleur simples [1,2,3]. L'étude de ce phénomène passe tout d'abord par la maîtrise du phénomène d'évaporation d'une seule goutte, par la connaissance de l'influence mutuelle des gouttes et par l'interaction entre la phase continue (air) et la phase dispersée (eau). En 1877 Maxwell, qui est à l'origine de l'étude du phénomène d'évaporation, fut le premier à s'intéresser à l'évaporation d'une goutte. Il a approché le phénomène d'évaporation lors de son étude du thermomètre humide par le biais de la juxtaposition de la diffusion moléculaire (première et deuxième loi de Fick) et du transfert thermique, et a proposé un modèle simple qui trouve un champ d'application vaste dans l'étude de la combustion des gaz et dans le domaine du rafraîchissement évaporatif [4].

Nous traiterons dans cette présente étude le phénomène d'évaporation d'une goutte d'eau dans les petits volumes (milieux finis). Lors de cette phase, nous présenterons la méthode de modélisation d'évaporation d'une goutte que nous avons développée [5]. Puis une étude de sensibilité aux paramètres sera réalisée afin de définir l'influence de chaque variable sur le temps d'évaporation d'une goutte, une des caractéristiques les plus importantes du phénomène d'évaporation. Nous aborderons par la suite la modélisation d'un spray utilisé pour le rafraîchissement passif des ambiances. Enfin, des résultats expérimentaux obtenus sur le bâtiment de Catane sont présentés [6].

2. MODELISATION DE L'EVAPORATION D'UNE GOUTTE

L'élaboration d'un modèle d'évaporation d'un jet de gouttelettes dépend étroitement de la taille du volume de l'environnement gazeux où est installé le système de brumisation. En effet, le mode de traitement de ce problème diffère selon qu'on se place dans un espace à grand volume (milieu gazeux infini) ou dans un espace à petit volume où l'influence des conditions limites intervient dans le modèle. Procéder à la modélisation de l'évaporation d'une gouttelette, revient à traiter un problème de couplage thermique et massique. Ceci se traduit par la résolution du système d'équations différentielles non linéaires. La conservation de la masse se traduit par l'équation suivante :

$$\text{div}(\mathbf{r}\bar{V}) = 0 \quad (1)$$

L'équation dynamique de Navier-Stokes s'écrit :

$$\mathbf{r} \cdot \frac{D\bar{V}}{Dt} = -\text{grad}\bar{P} + \mathbf{r} \cdot \bar{g} + \mathbf{m}\Delta\bar{V} \quad (2)$$

L'équation de la diffusion s'écrit :

$$\frac{\mathcal{I}c}{\mathcal{I}t} + \bar{V} \cdot \text{grad}\bar{c} = D \cdot \Delta c \quad (3)$$

Par analogie avec l'équation de la diffusion, l'équation de conduction s'écrit :

$$\frac{\mathcal{I}T}{\mathcal{I}t} + \bar{V} \cdot \text{grad}\bar{T} = a_T \Delta T \quad (4)$$

Les conditions aux limites se traduisent par :

$$\text{Pour } r = r_g \begin{cases} \bar{V} = 0 \\ c = c_0 \\ T = T_0 \end{cases} \quad \text{et pour } r \rightarrow \infty \begin{cases} \bar{V} = \bar{U} \\ c = c_\infty \\ T = T_\infty \end{cases}$$

Afin de s'affranchir du caractère dimensionnel des équations de bilan, on définit les grandeurs adimensionnelles. En se plaçant dans les hypothèses d'application de l'équation de Maxwell, c'est à dire pour un régime quasi stationnaire et pour une phase gazeuse continue, le flux de matière à la surface de la goutte sphérique de rayon r est donné par l'expression suivante :

$$\left[\frac{dm}{dt} \right]_0 = -S_g \cdot D_v \frac{\mathcal{I}c}{\mathcal{I}r} \quad (5)$$

ou encore :

$$\left[\frac{dm}{dt} \right]_0 = -2\mathbf{p} \cdot r_g \cdot D_v (c_\infty - c_0) \frac{\mathcal{I}c^+}{\mathcal{I}r^+} \quad (6)$$

Le nombre de Sherwood est défini par l'expression suivante :

$$Sh = \frac{\mathcal{I}c^+}{\mathcal{I}r^+} \quad (7)$$

Dans ces conditions, le taux d'évaporation de la goutte d'eau sphérique s'exprime en fonction du nombre de Sherwood par la relation suivante :

$$\left[\frac{dm}{dt} \right]_0 = -2\mathbf{p} \cdot r_g \cdot D_v (c_\infty - c_0) \cdot Sh \quad (8)$$

Par analogie avec la diffusion, le flux de chaleur à la surface d'une goutte est donné par l'expression suivante (elle peut être aussi déduite de l'équation de la conduction) :

$$Q = -2\mathbf{p} \cdot r_g \cdot \mathbf{I}_e (T_\infty - T_0) \frac{\mathcal{I}T^+}{\mathcal{I}r^+} \quad (9)$$

Le nombre de Nusselt est défini par l'expression :

$$Nu = \frac{\int T^+}{\int r^+} \quad (10)$$

La prise en compte du phénomène instationnaire d'évaporation et du caractère non continu de la phase gazeuse s'effectue par l'intermédiaire des paramètres multiplicatifs qui seront intégrés aux deux équations (8 et 9). On obtient ainsi une expression similaire à celle obtenue par Maxwell :

$$\left[\frac{dm}{dt} \right]_0 = -2p.r_g.D_{v,Kn}.Sh.(c_\infty - c_0).C_{t,e} \quad (11)$$

$$Q = 2p.r_g.I_{a,Kn}.Nu.(T_\infty - T_0)C_{t,T} \quad (12)$$

2.2. Equations du modèle d'évaporation

Les équations de comportement d'une goutte dans un milieu fini représentent le maillon élémentaire dans la modélisation d'un nuage de gouttes qui s'évaporent. Le modèle développé suppose que les gouttes ont une géométrie sphérique et qu'elles gardent cette géométrie pendant toute la durée du processus. De plus, les échanges radiatifs sont négligés, la vapeur d'eau et l'air sont considérés comme des gaz parfaits et que la concentration de vapeur à la surface de la goutte est prise identique à celle de la vapeur saturante pour la même température.

Soit une goutte de rayon r_g , de concentration c_s et de température T_g , entourée d'une bulle de rayon b , de concentration c_b et de température T_b (voir figure 1). La paroi de la bulle d'eau est considérée non absorbante, ce qui signifie que sa concentration superficielle est variable [5]. Lors de cette étude, le système constitué de la goutte et de la bulle qui l'entoure est considéré isolé.

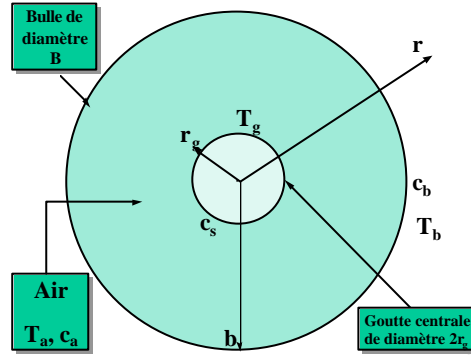


Figure 1 : Représentation schématique d'une bulle d'eau lors du processus d'évaporation

Les conditions aux limites s'expriment par :

$$\left. \frac{\int c}{\int r} \right|_{r=b} = 0, \text{ pour } r_g < r < b, \text{ on a } T(r) = T_a, \text{ pour } r = r_g, \text{ on a } c = c_s \text{ et pour } t = 0, c = c_o.$$

La résolution de l'équation (3) permet d'aboutir à l'expression du débit de vapeur :

$$\frac{dm_e}{dt} = 4.p.D_{v,Kn}.r_g^2.(c_s - c_0). \sum_{i=1}^{\infty} \exp(-D_{v,Kn}.a_i^2.t) \frac{2(1+a_i^2.b^2)}{b^2(b-r_g)a_i^2 - r_g} \quad (13)$$

où a_i est la solution de l'équation suivante :

$$tg[a_i(b-r_g)] = a_i b \quad (14)$$

Dans le cas d'une évaporation quasi-stationnaire et en ne retenant que le premier terme de la série, nous arrivons à une expression simplifiée de la vapeur d'eau :

$$\frac{dm_e}{dt} = 4.p.r_g.D_{v,Kn}.(c_s - c_o). \exp \left[\frac{-3.r_g.D_{v,Kn}.t}{(b-r_g)^3} \right] \quad (15)$$

En tenant compte des phénomènes convectifs lors de l'évaporation de la goutte, l'expression précédente sera corrigée par l'introduction d'un coefficient multiplicatif qui n'est autre que le nombre de Sherwood. L'équation de conservation de la masse d'eau dans ce cas s'écrit :

$$\frac{dm_e}{dt} = 4.p.r_g.D_{v,Kn}.Sh.(c_s - c_o). \exp \left[\frac{-3.r_g.D_{v,Kn}.t}{(b-r_g)^3} \right] \quad (16)$$

L'expression du bilan énergétique de la phase gazeuse entourant la goutte permet d'avoir l'évolution des conditions de l'air environnant :

$$m_a C_{pa} \frac{dT_a}{dt} = -2p \cdot d_g \cdot I_{a,Kn} \cdot \left(\frac{Nu}{2}\right) (T_a - T_g) - L_{vap} \cdot \frac{dm_e}{dt} \quad (17)$$

Par ailleurs, le bilan énergétique de la phase liquide s'exprime par la relation suivante :

$$m_e C_{pe} \frac{dT_g}{dt} = -2p \cdot d_g \cdot I_{a,Kn} \cdot \left(\frac{Nu}{2}\right) (T_a - T_g) + L_{vap} \cdot \frac{dm_e}{dt} \quad (18)$$

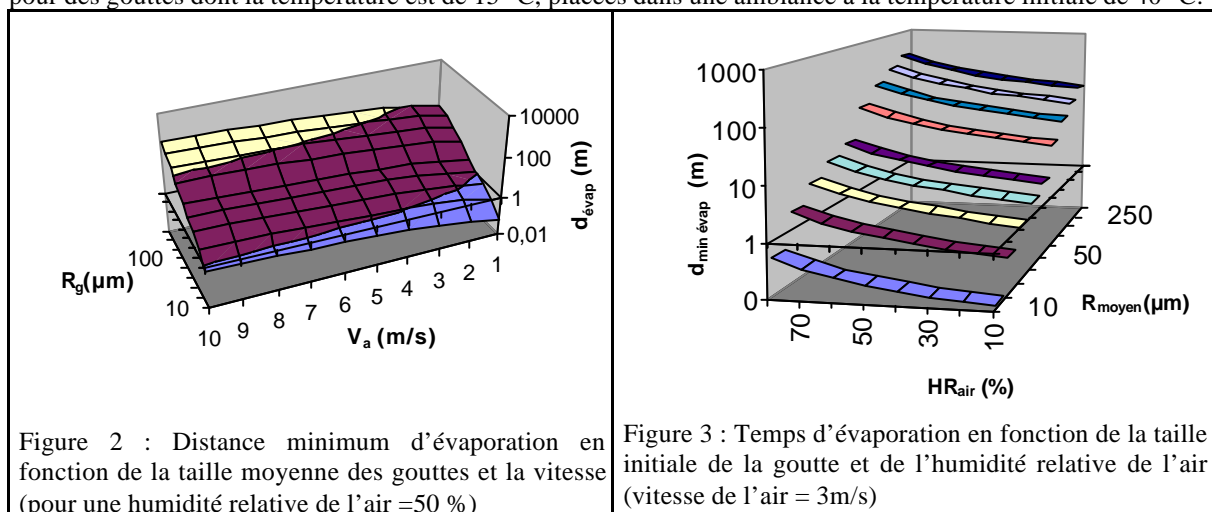
La résolution du système différentiel s'effectue par la méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 compte tenu de la rapidité de cette méthode et surtout de sa stabilité. Cette méthode itérative exige la définition d'une condition d'arrêt des calculs caractérisant l'évaporation complète de la goutte. Cette considération nous amène à nous intéresser à la composition cristalline (arrangement) des molécules de vapeur d'eau contenues dans l'air, et à définir la taille de la goutte d'eau pour laquelle on pourrait considérer, sans erreur notable, que la goutte d'eau s'est complètement évaporée. Les études menées sur la vapeur d'eau contenue dans l'air montrent que, dans les conditions normales, les molécules d'eau se regroupent sous une forme d'amas de deux décaèdres pentagonaux de 21 molécules avec une en chaque coin et une seule au centre [5]. Cette disposition leur acquiert une grande stabilité. Compte tenu de la taille d'une molécule d'eau (4 °A de diamètre), la goutte sera considérée complètement évaporée lorsque son diamètre atteint les 12 °A.

Ce programme, réalisé en Fortran, envisage trois cas de figure qui représentent les trois critères d'arrêt des itérations (voir figure 4):

- Le cas où l'évaporation complète a lieu dans une ambiance non saturée ($HR_{air} < 100\%$ et $r_g \rightarrow 0$). Le programme affiche, dans ces conditions, les variables de sortie suivantes : la température finale de l'air, l'humidité relative finale de l'air et le temps pour lequel la goutte s'est totalement évaporée.
- Le cas où pendant l'évaporation l'air atteint la saturation ($HR_{air} = 100\%$). Dès lors, le calcul sera interrompu et le programme affiche les variables de sorties suivantes : température de l'air qui coïncide avec la température de saturation de l'air, la température de la goutte, la dimension de la goutte pour laquelle la saturation a eu lieu, et le temps pour lequel la goutte s'est partiellement évaporée.
- Le cas où pendant l'évaporation la méthode de résolution dévient instable. Dès lors, on procède à une modification du pas de temps jusqu'à ce que la stabilité soit vérifiée.

2.2. Influence des paramètres sur le temps d'évaporation

Le temps d'évaporation d'une goutte liquide représente une des caractéristiques les plus importantes du procédé d'évaporation, car seules les gouttes qui s'évaporent, participeront au processus de rafraîchissement adiabatique. La figure 2 illustre l'évolution du temps d'évaporation en fonction de la température de l'air environnant pour des gouttes de 20 µm de diamètre dont la température initiale est de 15 °C. La figure 3 représente l'évolution du temps d'évaporation en fonction de la taille initiale des gouttes et de l'humidité relative de l'air environnant, pour des gouttes dont la température est de 15 °C, placées dans une ambiance à la température initiale de 40 °C.



Les résultats illustrés par les courbes ci-après montrent que le temps d'évaporation est d'autant plus petit que la taille des gouttes est réduite et que l'humidité relative est faible. Par ailleurs, la figure 3 fait apparaître l'intérêt d'utiliser des gouttes de petites dimensions. Elle montre l'existence d'un seuil maximum de la taille des gouttes qui varie, selon que le processus d'évaporation s'effectue dans un espace confiné (dans une caisson type centrale

de traitement d'air) ou dans un espace libre (dans une tour ou atrium). Au delà de cette taille limite, une fraction seulement du débit d'eau est évaporée (évaporation incomplète) et l'autre partie reste en phase liquide. Dans ce cas de figure, la performance de rafraîchissement diminue et des sensations d'inconfort suite à d'éventuels problèmes sanitaires et à l'existence de brumes (condensation), seront ressenties par les occupants. Pour une centrale de traitement d'air, la longueur d'évaporation est pratiquement limitée à 3 m. Pour une vitesse débitante de 3 m/s, le temps d'évaporation maximum sera de 1 seconde, ce qui permet de déduire des courbes de la figure 3, la taille maximum des gouttes à brumasser. Le rayon maximum est de 20 μm . Pour une tour de rafraîchissement évaporative (patio, atrium), la longueur d'évaporation est variable, elle est de 8 m pour la tour de Catane et de 30 m pour la tour de Séville. Dans ces cas de figure, le rayon des gouttes utilisées est au maximum égal à 50 μm .

3. MODELISATION DE LA BRUMISATION

Un modèle d'évaporation d'un jet de gouttelettes, utilisé dans le domaine du rafraîchissement par brumisation, est proposé. Il est basé sur une approche cellulaire relative à la modélisation d'un nuage de spray. Cette méthode considère que le jet de gouttelettes est constitué de plusieurs couches de bulles contenant chacune une goutte en son centre. Elle consiste à reprendre les équations de l'évaporation d'une seule goutte dans une bulle (prise pour maillon élémentaire) et de les appliquer à toutes les bulles contenues dans le jet. Cette approche cellulaire [5] considère les gouttes des sphères rigides empilées les unes aux autres selon une forme géométrique compacte d'une compacité maximum égale à 0,74. Ce modèle suppose que le nuage de gouttelettes est contenu dans une structure cellulaire multicouche de bulles de mêmes dimensions contenant chacune une goutte en son centre. L'évaporation a lieu progressivement de la couche superficielle vers les couches internes.

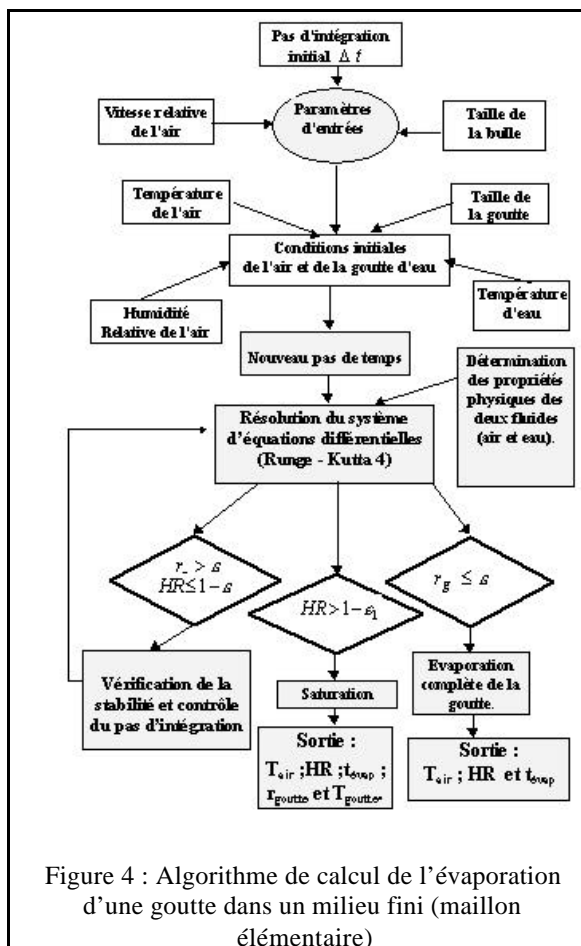


Figure 4 : Algorithme de calcul de l'évaporation d'une goutte dans un milieu fini (maillon élémentaire)

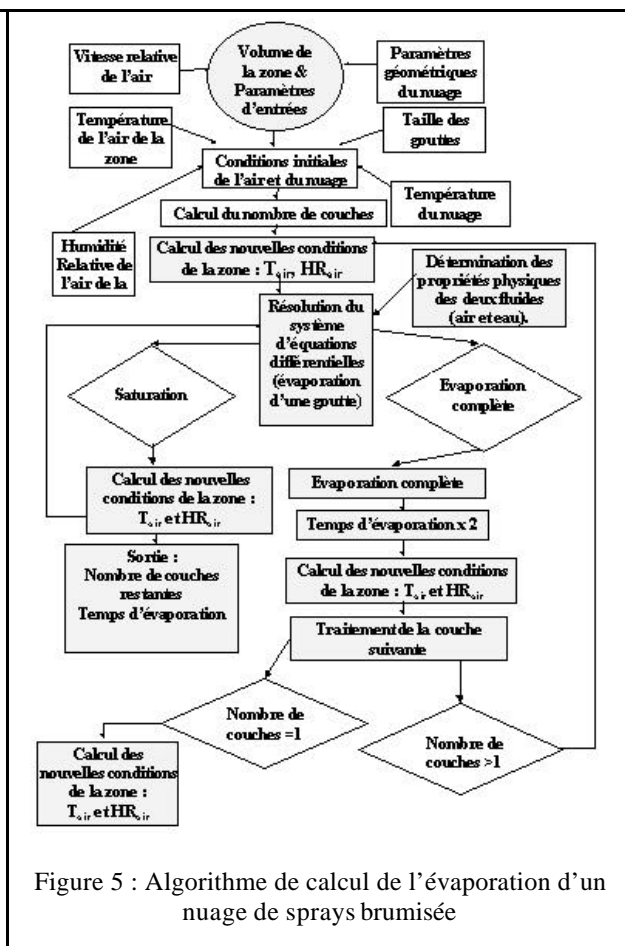


Figure 5 : Algorithme de calcul de l'évaporation d'un nuage de sprays brumisée

Tableau 1 : Résultats de simulation de l'évaporation d'un nuage par un modèle cellulaire

L'algorithme de calcul de l'évaporation d'un nuage sphérique de gouttelettes d'eau utilisé pour le rafraîchissement d'une zone de bâtiment par brumisation est donné par la figure 5. Celui-ci repose sur l'algorithme de calcul de l'évaporation d'une gouttelette d'eau isolée qui constitue le maillon élémentaire.

Le tableau 1 fournit les résultats de simulations réalisées avec le modèle cellulaire. L'efficacité de rafraîchissement est d'autant plus importante que la distance intergoutte est grande. Ceci signifie que plus le nuage est dispersé meilleure est la brumisation.

Le même modèle illustre l'influence de la température initiale du nuage sur la température finale de la zone brumisée. On constate qu'un gradient de température du nuage de 20 °C induit un gain de température finale de la zone de 2.5 °C (voir figure 7). Par ailleurs, des simulations ont été réalisées afin de montrer l'influence de la distance intergouttes sur le temps d'évaporation en utilisant le modèle correspondant au jet de gouttelettes et le modèle d'une goutte isolée. Le résultat, représenté par la figure 8, montre les limites d'utilisation du modèle d'une goutte isolée. En effet, celui-ci évalue avec une bonne précision le phénomène d'évaporation pour un nuage dispersé de gouttes dont les distances intergouttes sont supérieures à 600 µm et le recours au modèle de brumisation s'avère nécessaire pour un jet de gouttes concentré.

| Volume de la zone traitée: 0.12 m ³ ; Température initiale de l'air: 40°C ; Humidité relative de l'air : 50% ; Diamètre du nuage : 30 cm ; Diamètres des gouttes : 3 µm ; Température du nuage : 40 °C. | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Distance inter gouttes(µm) | Temps d'évaporation (s) | Température d'air finale (°C) | Humidité relative finale (%) | Masse de vapeur (g) |
| 100 | 191 | 26.32 | 90 | 8.24 |
| 150 | 41.5 | 32.66 | 64 | 7.05 |
| 200 | 21 | 34.17 | 59 | 6.75 |

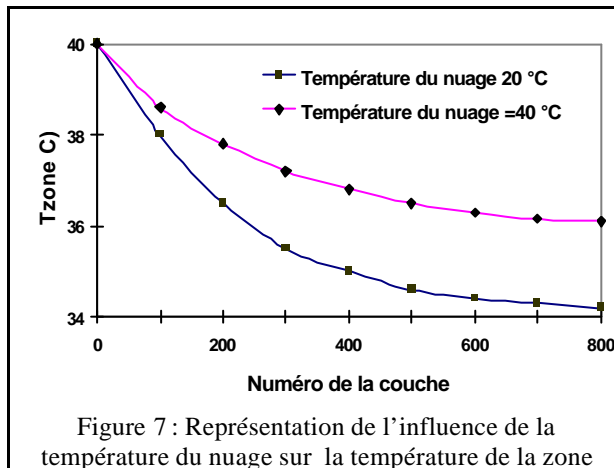


Figure 7 : Représentation de l'influence de la température du nuage sur la température de la zone

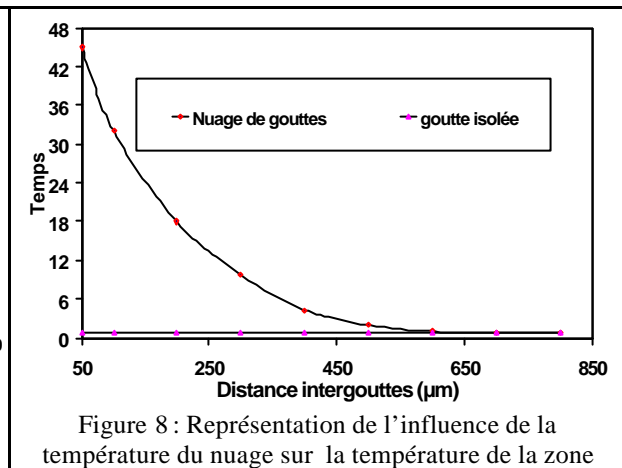


Figure 8 : Représentation de l'influence de la distance intergouttes sur le temps d'évaporation

4. APPLICATION A UN BATIMENT MUNI D'UNE TOUR EVAPORATIVE

Cette configuration d'étude coïncide avec la tour passive étudiée dans le cadre du projet européen PDEC/JOULE 95 [5] (voir figure 9 et 10). L'objectif de cette étude étant à terme, de valider les modèles développés, puis de les intégrer dans un code de thermique du bâtiment afin d'évaluer le gain énergétique réalisé dans les bâtiments munis de tours évaporatives passives. Nous avons établi, d'une part, les équations de bilan de quantité de mouvement, de la conservation de la masse et l'équation de conservation de l'énergie pour les deux phases mis en jeu. En prenant d'autre part en considération les caractéristiques de la buse de brumisation, la distribution de la taille des gouttes, nous avons simulé le comportement d'un jet de gouttelettes dans une ambiance. Le cas d'étude est représenté par la figure suivante.

Nous avons simulé le comportement de la tour quand une rampe de brumisation, constituée de huit buses, est en fonctionnement (circuit 4 en position on). Pour cela nous avons considéré les conditions suivantes (données par la figure 11) :

4.1. Influence de la disposition radiale des buses

Nous avons réalisé des simulations pour différentes valeurs de rayon (distance horizontale entre l'axe de symétrie et la buse : voir figure 11) allant de 0.15 m jusqu'à 1.45 m (pour z=2 m). Les résultats de simulation sont représentés par la figure 12. Nous pouvons constater que, pour r=0.6 m, nous avons une valeur minimale de débit d'eau linéique de 7.4 l/h.m préconisée pour que toute l'eau injectée par le système soit évaporée.

4.2. Influence de la distance entre les buses

Nous avons considéré deux rangées de buses, délivrant chacune un débit d'eau de 28 l/h, placées sur le même plan dont la distance d est variable (voir figure 13). Nous avons évalué le gradient de température entrée - sortie et le pourcentage d'eau évaporée pour différentes distances. Les résultats sont représentés par la figure 14. Ils font apparaître l'existence d'une distance optimale (ici $d=0.6$ m) pour laquelle le gradient de température ($T_{\text{entrée}} - T_{\text{sortie}}$) et le pourcentage d'eau évaporée sont maximum. Ce résultat a été utilisé lors du dimensionnement des rampes de brumisation. En effet, la distance séparant deux buses successives a été fixée à 0.6 m. Ces résultats ont permis de dimensionner le nombre de buses à installer dans la tour de Catane, la disposition des buses montées dans chaque rampe et de prédire la performance de rafraîchissement des systèmes évaporatifs. Par ailleurs, une campagne de suivi expérimentale a été réalisée dans le bâtiment de Catane durant l'été afin de valider les modèles théoriques utilisés. Les figures 15, 16, 17, 18 présentent les résultats obtenus durant la journée du 31/07. Ces résultats montrent que durant le fonctionnement du système évaporatif le confort intérieur est assuré à moindre coût. Une validation expérimentale des modèles est actuellement entreprise.



Figure 10 : S du bâtiment expérimental de Catane

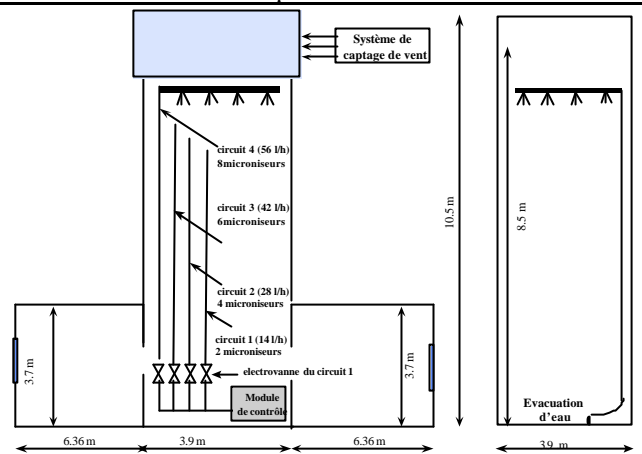


Figure 11 : Schéma du bâtiment expérimental de Catane

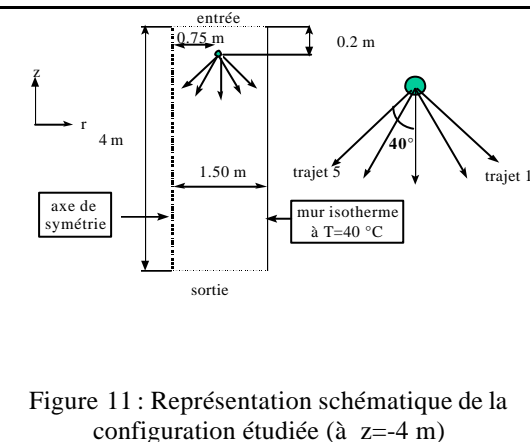


Figure 11 : Représentation schématique de la configuration étudiée (à $z=-4$ m)

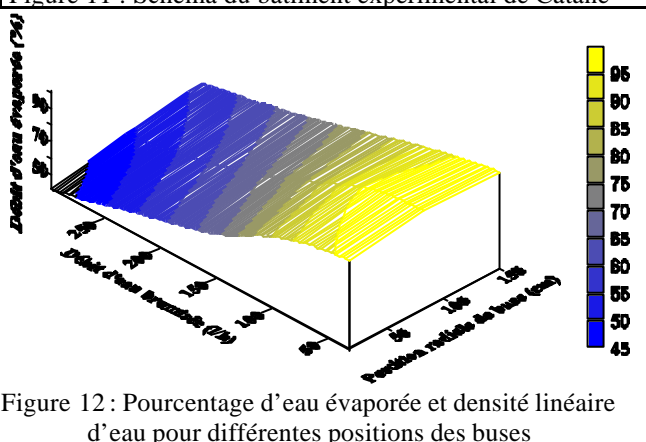


Figure 12 : Pourcentage d'eau évaporée et densité linéaire d'eau pour différentes positions des buses

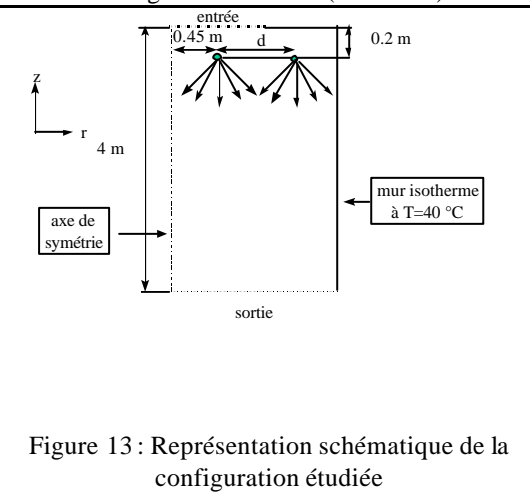


Figure 13 : Représentation schématique de la configuration étudiée

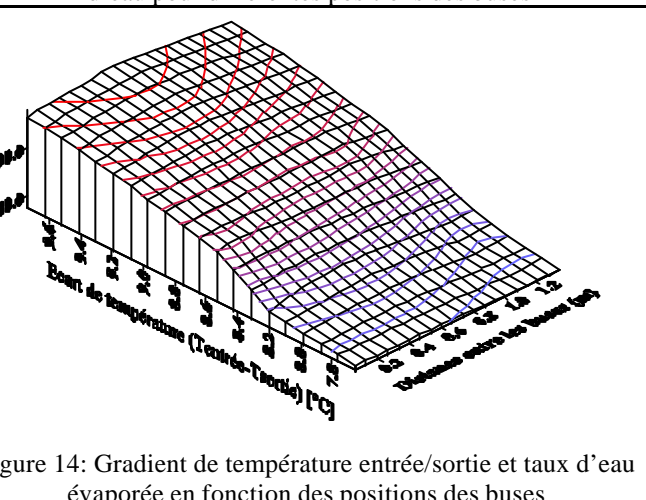


Figure 14: Gradient de température entrée/sortie et taux d'eau évaporée en fonction des positions des buses

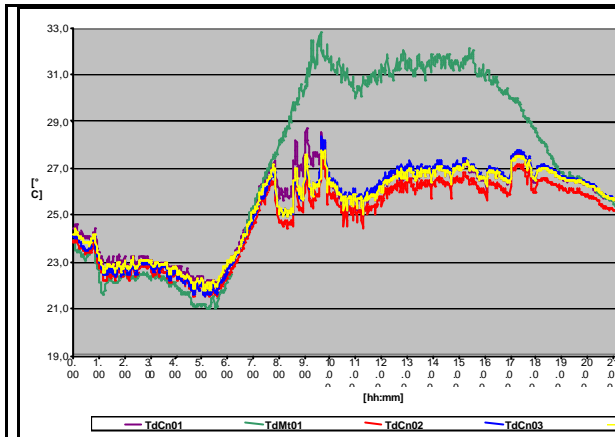


Figure 15 : Température mesurée dans la tour

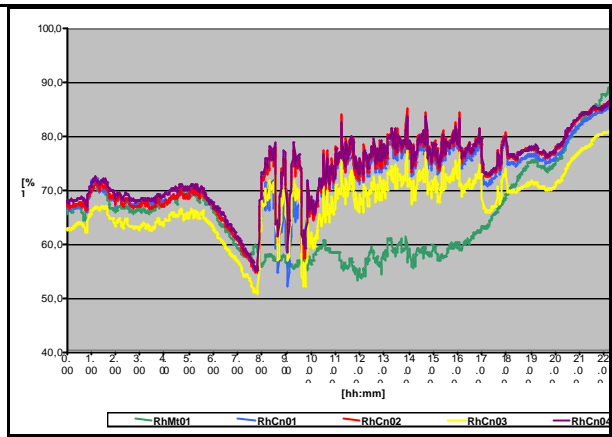


Figure 16 : Humidité relative mesurée dans la tour

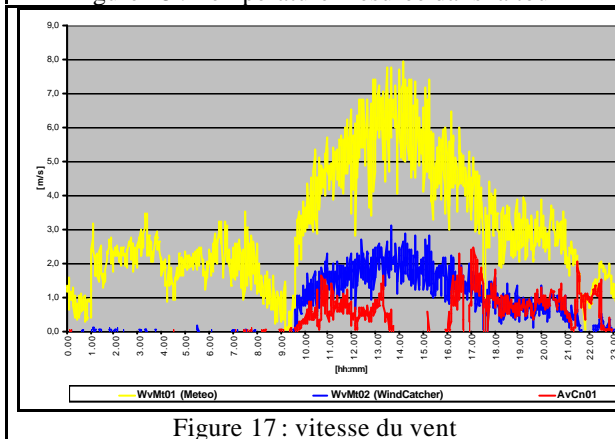


Figure 17 : vitesse du vent

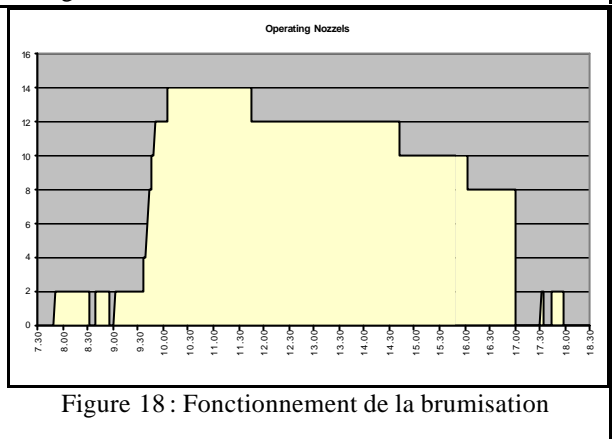


Figure 18 : Fonctionnement de la brumisation

CONCLUSION

L'étude de l'évaporation d'une goutte réalisée dans le cas d'un milieu fini a abouti au développement d'un modèle d'évaporation d'une goutte d'eau, utilisé pour le rafraîchissement adiabatique. Ce modèle représente le maillon élémentaire du modèle d'évaporation d'un nuage de gouttelettes. L'influence des différents paramètres thermophysiques sur le temps d'évaporation d'une goutte a été étudiée. La modélisation d'un nuage de gouttelettes à travers des modèles cellulaires multicouches utilisés dans le domaine de la combustion a été traitée. L'adaptation de ces modèles à notre problème a permis le développement d'un modèle simplifié de brumisation d'un spray. Ces modèles ont permis le dimensionnement du bâtiment expérimentale. La campagne expérimentale a permis de montrer la performance de rafraîchissement du système. Une prise en compte de la distribution de la taille des sprays est actuellement considérée afin d'affiner le modèle développé. De plus, une validation expérimentale des modèles est entreprise.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]- A. H. LEFEBVRE, Atomization and sprays, Hemisphere publishing corporation, pp. 309-364.
- [2]- G.A. FERRON, S.C. SODERHOLM, Estimation of the times for stabilization of salt solution particles, Journal of aerosol science, vol.21, N° 3, pp. 415-429, 1990.
- [3]- N.A. FUCHS, Evaporation and droplet growth in gaseous media, Pergamon Press, London, 72 p., 1959.
- [4]- C.N. DAVIES, Evaporation of Airborne Droplets, Fundamentals of Aerosol Science, D.T. Shaw edition, pp. 240-251, Wiley, New York, 1978.
- [5]- R. BELARBI, Développement d'outils méthodologiques d'évaluation et d'intégration des systèmes évaporatifs pour le rafraîchissement passif des bâtiments, thèse de doctorat, université de La Rochelle, 1998.
- [6]- N. BOWMAN, E. RODRIGUEZ, R. BELARBI, M. CUCINELLA & A. GALATA, Application of Passive Draught Evaporative Cooling (PDEC) to non-domestic buildings, World Renewable Energy Congress IV, Denver (USA), June 1996.