

MINIPROJET - EDP

Auteurs: Juan Múgica González & Diego Peral Boixo
ELEVES 'TIME'

ETUDE DE LA CLIMATISATION DU CHAPITEAU DE LA SEMAINE D'INTEGRATION

Modélisation

Pendant la semaine d'intégration en début d'année, a été installé sur le campus un grand chapiteau de 26 mètres de long par 4,5 mètres de hauteur pour accueillir les principaux événements de l'intégration. Cependant, une des critiques principales a été la température à l'intérieur selon les différents événements et leur horaire. L'organisation de l'intégration de la prochaine année, consciente de cette situation, a décidé de modéliser un système de climatisation pour le chapiteau et d'étudier la contribution des différents facteurs à la température : éclairage, nombre de personnes à l'intérieur, et finalement la température extérieure. La structure est composée d'une porte d'entrée, de trois sorties de climatisation situées au plafond comme indiqué ci-dessous, en plus il y a l'éclairage de la scène et aussi les personnes qui peuvent être modélisées toutes comme sources de chaleur à température fixe, et qu'on prendra comme une des conditions au bord. Finalement dans un but d'utiliser le chapiteau pendant toute l'année, on va étudier son adéquation selon la température intérieure en été (et mon binôme en hiver).

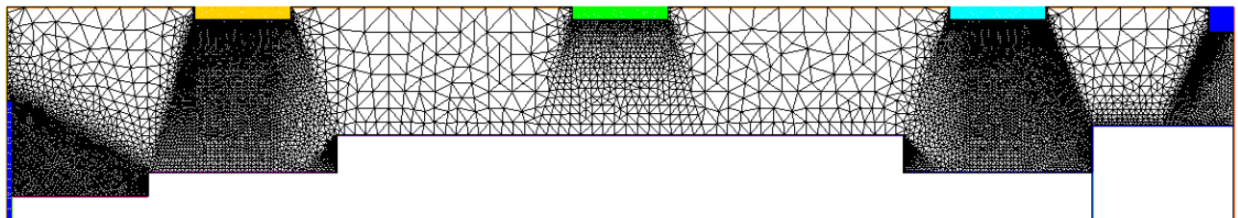


Figure 1 : maillage de l'intérieur du chapiteau avec les sorties, scène, climatisation et personnes.

Équations

Pour résoudre ce problème, on va avoir besoin de l'équation de diffusion de la chaleur pour ainsi l'appliquer à notre domaine qui est l'intérieur du chapiteau. Pour modéliser les gens qui sont à l'intérieur, on l'a fait selon une distribution de probabilité de présence du public en discrétisant le domaine en rectangles pour approximer la courbe de présence. Sur le reste de l'espace, on a la porte d'entrée qui sera considérée ouverte à chaque instant sur l'extérieur et qui se situe sur le côté gauche de la figure. Sur le reste du domaine, le flux de chaleur à travers l'enceinte varie selon la température externe, indiquée comme condition de bord. A propos des sorties de climatisation, on distinguera deux types d'appareils, celui du centre qui sert à varier la température l'enceinte et les deux autres qui fonctionnent à une puissance moins élevée et qui servent à homogénéiser la température. Notre problème est modélisé grâce aux équations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T + P \text{ où } \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \text{ car stationnaire, } P = 0 \text{ et } a: \text{diffusivité thermique } < m^2 s^{-1} > \\ \nabla T = -\frac{\varphi}{\lambda} \text{ où } \varphi: \text{flux surfacique } < W m^{-2} > \text{ et } \lambda: \text{conductivité thermique } < W m^{-1} K^{-1} > \\ \varphi = \frac{\phi}{S} \text{ où } \phi: \text{puissance } < W > \text{ et } S: \text{surface } < m^2 > \\ \varphi_{\text{eclairage}} = 40000 W m^{-2}; \varphi_{\text{climatisation}} = -120000 W; S_{\text{ventilateurs}} = 4 m^2; \lambda_{\text{air}} = 0.024 W m^{-1} K^{-1} \end{array} \right.$$

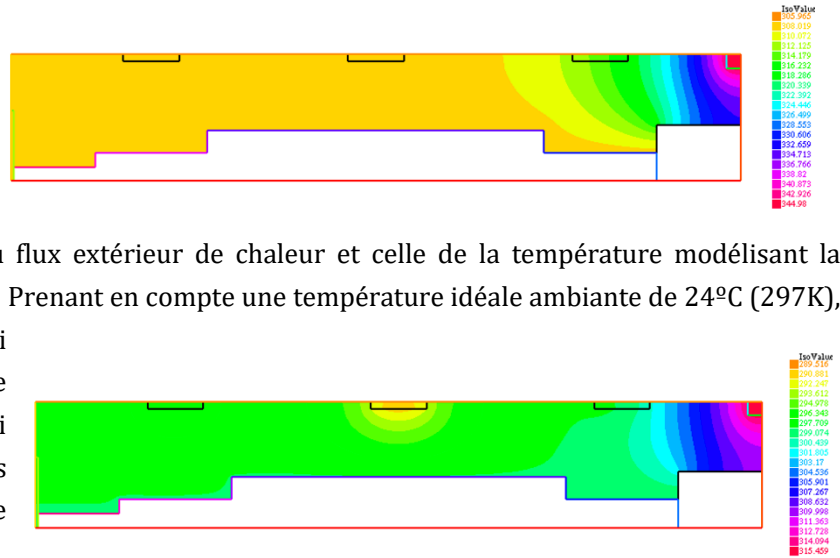
Comme conditions initiales on a aussi les températures aux bords du domaine qui sont constantes parce que physiquement il ne peut pas y avoir un saut de températures sur un domaine continu y compris celle des personnes.

Finalement, on peut définir la formulation variationnelle de notre problème en considérant Ω l'intérieur du chapiteau (la zone avec du maillage) et $\partial\Omega$ les bords selon :

$$-\int_{\Omega} \nabla T \nabla v + \int_{\partial\Omega} v \nabla T \cdot \vec{n}_{ext} = 0$$

Simulations numériques

Cette figure est la première qu'on voit après celle du maillage quand on lance le fichier, etc.edp. Il se sert des valeurs aléatoires générées par les fichiers MATLAB gen_flux.m et temperature.m qui génèrent respectivement les valeurs correspondant au flux extérieur de chaleur et celle de la température modélisant la quantité de personnes présentes dans la salle. Prenant en compte une température idéale ambiante de 24°C (297K), dans la figure de droite, qui est la deuxième qui génère le fichier, on aperçoit l'influence que le système de climatisation a sur la salle et qui rend sa température plus proche des valeurs souhaitées grâce à une puissance appliquée totale de 19,2kW appliquée en trois points.



Conclusion

À partir des résultats obtenus on voit que la température de l'enceinte est fortement influencée par le flux provenant de l'extérieur et la température dégagée par la foule, ce qui amène à une imposition de leurs températures à la salle. En plus, on rappelle que ces deux quantités sont deux variables aléatoires dans notre programme qui modélisent parfaitement la réalité physique. D'un côté la première le fait en reflétant les changements de températures qu'on peut avoir dans une même journée (dépendent de l'heure, la situation météorologique, etc) autour d'une valeur moyenne qui est celle du flux ambiant typique en été étroitement lié à la température. De l'autre côté on a la température des gens qui reflète le nombre de personnes qui peuvent être dans la salle selon l'activité : repas, soirée.

Par contre, si on étudie l'éclairage de la salle on voit la présence d'un fort gradient de température dans ses alentours à cause de la haute température des ampoules mais que la puissance émise n'est pas suffisante pour imposer la température à la salle. Elle l'influence malgré tout, comme on aperçoit plus clairement dans le deuxième cas, après avoir activé le système de climatisation qui, malgré le faible gradient aux alentours de l'appareil, approche la température de la salle aux valeurs souhaitées.

Finalement, il faut noter la nécessité de considérer le coefficient sans dimension 'coeffm' qui rend plus réaliste le modèle en représentant le mouvement de l'air à l'intérieur du chapiteau, à cause des courants naturels et les mouvements des gens.

Finalement pour comparer avec mon binôme qui a étudié la situation en hiver, due au flux rentrant moins puissant et chaud qu'en hiver et à la température des personnes par conséquent plus chaude. Le système de climatisation sert à refroidir la salle, à l'inverse de l'hiver comme mon binôme a étudié, pour atteindre la température souhaitée.

Sources utilisées

- [1] Analyse Théorique et Numérique des Équations aux Dérivées Partielles – Pauline Lafitte
- [2] A First Course on Heat Transfer – Taine, Iacona – Dunod, 2011
- [3] FreeFem ++ – F. Hecht – Version 3.58,1