

2 mai 2019

PROJET TECHNOLOGIQUE

SOLAR WASTE



Massu ~ Bazely ~ Segura

Introduction

En France, 4,7 milliards de canettes sont utilisées et jetées chaque année. Seul 57% de ces canettes seront recyclées. Les 43% restantes sont donc des déchets non valorisés.

Le secteur du bâtiment représente 44 % de l'énergie consommée en France, loin le secteur des transports (31,3%). Chaque année, le secteur du bâtiment émet plus de 123 millions de tonnes de CO₂, ce qui en fait l'un des domaines clé devant dans la lutte contre le réchauffement climatique et la transition énergétique.

Ces deux constats nous ont amenés à nous demander :

Peut-on utiliser des déchets non valorisés pour diminuer la consommation énergétique d'un bâtiment ?

1.1 Présentation

Dans le cadre de notre projet technologique avec Zero Waste France, nous avons eu l'idée d'étudier un système alliant récupération de déchets ménagers et production durable d'énergie : un panneau aérothermique fait à partir de bois de récupération et de canettes vides.

Le panneau sera construit à échelle réduite par soucis de temps et de portabilité pour présenter le projet.

Initialement, nous avons envisager d'essayer plusieurs disposition/assemblages de panneau aérothermique : diamètre canettes, plus long que large, plus large que long, avec ou sans vitre... afin de les étudier pour déterminer le « meilleur montage » afin de chauffer un volume avec ce panneau.

Cependant, ces montages ne seront pas étudiés à travers ce compte rendu. En effet la construction du panneau ayant été plus fastidieuse que prévue, il nous a été difficile de récidiver l'expérience avec ces différentes configurations.

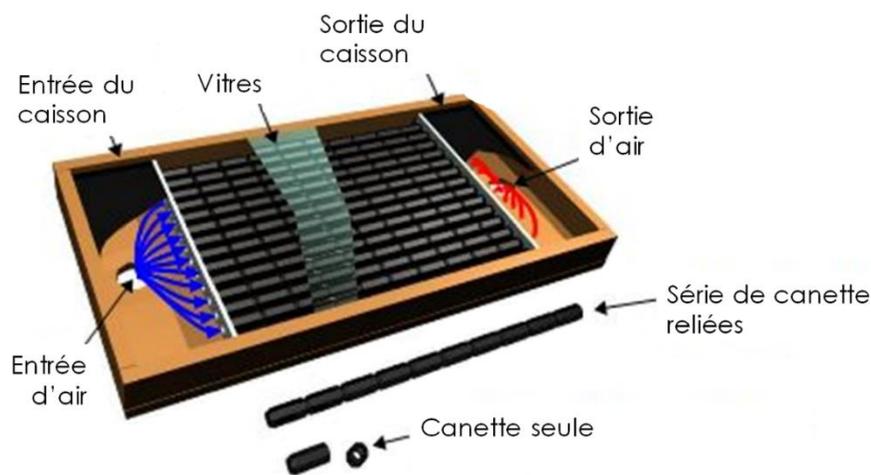


Figure 1 : Schéma de fonctionnement du système

Matière première nécessaire

- Canettes
- Caisson bois / Bois de récupération
- Plaque transparente plexiglass

- Isolant (laine de roche / bois)
- Silicone / Rubson / Chatterton / Mastic
- Peinture spray noire mate
- Ventilateur d'ordinateur
- Panneau solaire 12V / 24V pour un plus gros ventilateur

Outillage nécessaire

- Scie cloche (5.2 D)
- Scie sauteuse / scie bois
- Perceuse
- Ouvre boîte / cutter

Lieux d'expérimentation

- Fab Lab du Créathon lors du forum Le Monde Nouveau
- Locaux de Sup'EnR

1.2 Construction du panneau solaire thermique

1. Découpez les deux côtés des canettes



2. Nettoyez leur intérieur



3. Collez les canettes entre elles à l'aide du mastic



4. Peignez-les en noire mat afin d'augmenter leur coefficient d'absorbance



5. Dimensionnez votre caisson en bois en prévoyant un compartiment de réception de l'air des deux côtés, les trous accueillant les canettes à l'aide de la scie cloche, et l'espace suffisant pour isoler le caisson autour des canettes



6. Dimensionnez votre plaque transparente



7. Assemblez les différents blocs caisson + canettes + plaque transparente



8. Joignez le ventilateur en sorti, relié au module photovoltaïque



2

Etude théorique

2.1 Déterminer la température en sortie

Objectif : Déterminer la température de sortie du système à partir des paramètres d'entrée.

Hypothèses :

- On néglige les pertes et les apports thermiques du caisson en bois (on les suppose égaux, ils se compensent donc).
- On suppose que le flux incident est uniquement radiatif. L'apport thermique n'est donc pas conducto-convectif.
- On suppose la température constante le long d'une canette
- Le modèle suivant a été réalisé pour un panneau de (2 x 2) canettes. Il est également assez simple de modéliser un panneau possédant (2 x k) rangées. En revanche il faut procéder par récurrence, ou utiliser un logiciel de simulation de type EES, pour modéliser un panneau de (j x k) rangées.

Notations :

- U : Energie interne
- m_c : Masse d'une canette [kg]
- m_b : Masse du caisson de bois [kg]
- \dot{m} : Débit d'air [kg/s]
- cp_c : Capacité calorifique d'une canette [J/kg.K]
- cp_{air} : Capacité calorifique de l'air [J/kg.K]
- cp_b : Capacité calorifique du caisson de bois [J/kg.K]
- T : Température [°C]
- $\phi_{apports}$: Flux radiatif incident (apports) [W]
- ϕ_{pertes} : Flux thermique sortant (pertes) [W]
- k : Nombre de rangées de canettes

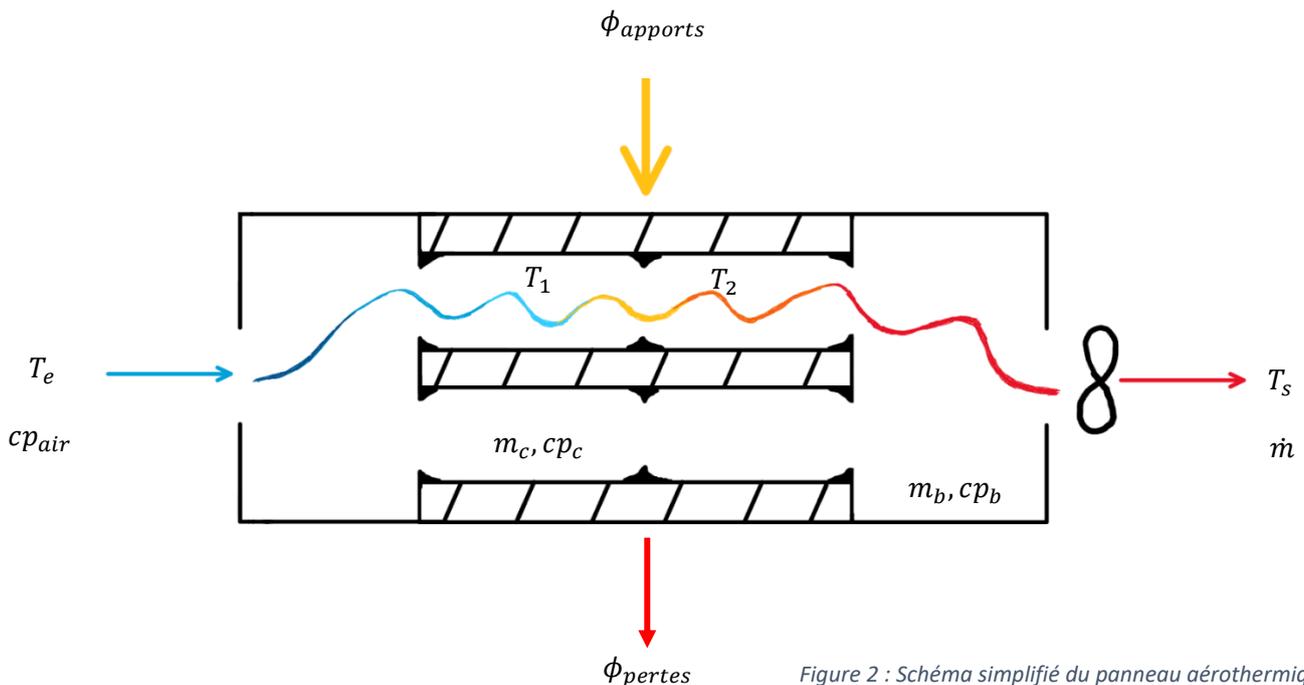


Figure 2 : Schéma simplifié du panneau aérothermique

Système : {Canette 1}

$$\frac{dU}{dt} = m_c \cdot cp_c \cdot \frac{dT}{dt}$$

Et

$$\frac{dU}{dt} = \phi_{apports} + \phi_{pertes} + \dot{m} \cdot cp_{air} \cdot \frac{dT}{dt}$$

En égalisant :

$$m_c \cdot cp_c \cdot \frac{dT}{dt} = \phi_{apports} + \phi_{pertes} + \dot{m} \cdot cp_{air} \cdot \frac{dT}{dt}$$

En intégrant cette égalité :

$$\mathbf{1) \quad m_c \cdot cp_c \cdot (T_1 - T_e) = \phi_{apports} + \phi_{pertes} + \dot{m} \cdot cp_{air} \cdot (T_1 - T_e)}$$

De même :

Système : {Canette 2}

$$\mathbf{2) \quad m_c \cdot cp_c \cdot (T_2 - T_e) = \phi_{apports} + \phi_{pertes} + \dot{m} \cdot cp_{air} \cdot (T_2 - T_1)}$$

Et pour le caisson :

Système : {Bois}

$$\mathbf{3) \quad m_b \cdot cp_b \cdot (T_s - T_e) = k \cdot \dot{m} \cdot cp_{air} \cdot (T_s - T_2)}$$

Nous allons désormais résoudre le système des équations (1), (2) et (3).

$$T_s = \frac{1}{m_b \cdot cp_b - k \cdot \dot{m} \cdot cp_{air}} \cdot (m_b \cdot cp_b \cdot T_e - k \cdot \dot{m} \cdot cp_{air} \cdot T_2)$$

$$T_2 = \frac{1}{m_c \cdot cp_c - \dot{m} \cdot cp_{air}} \cdot (\phi_{apports} + \phi_{pertes} + m_c \cdot cp_c \cdot T_e - \dot{m} \cdot cp_{air} \cdot T_1)$$

$$T_1 = \frac{1}{m_c \cdot cp_c - \dot{m} \cdot cp_{air}} \cdot (\phi_{apports} + \phi_{pertes} + m_c \cdot cp_c \cdot T_e - \dot{m} \cdot cp_{air} \cdot T_e)$$

Par soucis de lisibilité nous n'allons pas résoudre ce système sur le compte rendu. Nous utiliserons le logiciel EES afin de constater l'influence de chaque paramètre sur le rendement du système que l'on peut écrire :

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c_{p\text{air}} \cdot (T_s - T_e)}{Q_{\text{sol}}}$$

A partir de ces équations, est-il possible de mettre en évidence l'intérêt de peindre en noir les canettes ?

Il faut pour cela expliciter le flux radiatif incident que peut absorber le corps :

$$\phi_{\text{rad}} = \sigma \cdot \epsilon_p \cdot S \cdot (T_{\text{paroi}}^4 - T_{\infty}^4)$$

Peindre les canettes en noir revient à augmenter le ϵ_p et donc à augmenter le flux radiatif que peuvent absorber les canettes.

2.2 Paramétrer la température en sortie

Après relecture de nos équations, celles-ci s'avèrent erronées. En effet, la puissance absorbée par le panneau ne pourra pas être connue qu'en connaissant soit le rendement, soit la température de sortie. Comme ces deux données nous sont inconnues, nous devons estimer l'un des deux paramètres afin d'en déduire le deuxième.

Nous avons repéré notre erreur en étudiant l'impacte des paramètres des équations sur EES. En effet, la variation du débit impactait grandement le résultat (de 150 à -273°C), nous laissant supposer l'existence d'une erreur dans notre modèle ou dans nos équations.

Nous avons donc utilisé le logiciel EES pour étudier la variation du rendement de notre panneau pour une surface d'un mètre carré de cannette à 1000 W/m² de rayonnement solaire (AM1.5). En supposant que le ventilateur de sortie débite 1 m³/s d'air et que la température d'entrée soit de 25°C.

La puissance absorbée par le panneau s'écrit : $Q_{\text{abs}} = \dot{m} \cdot c_{p\text{air}} \cdot (T_s - T_e)$

Et le rendement : $\eta = \frac{Q_{\text{abs}}}{Q_{\text{apports}}}$

Voici alors nos résultats :

1..10	1 T_s	2 η
Run 1	30	0.01225
Run 2	35.56	0.02586
Run 3	41.11	0.03947
Run 4	46.67	0.05308
Run 5	52.22	0.06669
Run 6	57.78	0.08031
Run 7	63.33	0.09392
Run 8	68.89	0.1075
Run 9	74.44	0.1211
Run 10	80	0.1348

Figure 3 : Corrélation Température sortie / Rendement

Pour une température de sortie allant de 30 à 80°C, nous observons que le rendement varie de 1% à 13%, ce qui paraît plausible en vue de l'étanchéité archaïque du système.

Nous allons désormais confronter la théorie à l'expérience et observer les températures de sortie atteintes avec notre panneau Solar Waste.

3

Expérimentations

3.1 Procédés de mesures

Nous souhaitons faire varier la température en sortie du système. Pour cela deux possibilités s'offrent à nous :

- Faire varier le flux solaire reçu par le panneau aérothermique
- Faire varier le débit d'air circulant dans le panneau

La deuxième option semblait plus facile à réaliser et plus rapide à prendre effet. Pour faire varier le débit nous avons donc joué sur le flux solaire reçu par le panneau photovoltaïque 12V alimentant le ventilateur. Nous inclinerons donc le panneau selon 6 angles différents : 0, 30, 60, 80, 90 et 110° par rapport au sol.

Pour chaque inclinaison du panneau photovoltaïque, nous effectuerons 4 mesures prises par intervalle de 2min30. Ainsi, chaque inclinaison sera accompagnée de 10 min de mesures.

Les instruments utilisés pour les mesures sont :

- Un thermocouple pour les températures d'entrée et de sortie
- Un luxmètre pour le flux solaire incident
- Le débit a été estimé en fonction de la courbe fournit par le constructeur

3.2 Relevés

Pour une surface de canettes d'environ 0.58 m², nous obtenu une puissance de sortie allant de 20 à 30W. Le flux solaire quant à lui reste presque constant, débutant à 1050 W/m² au début des mesures, et terminant à 950 W/m².

Voici ainsi la courbe d'évolution de la température de sortie du panneau en fonction de l'angle d'inclinaison du petit panneau PV :

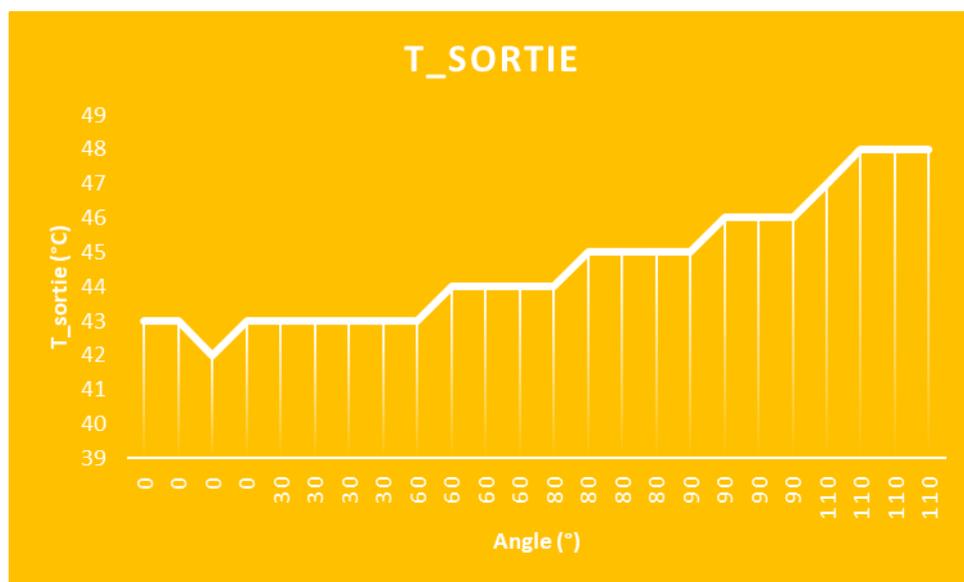


Figure 4 : Graphique Température / Débit

Voici maintenant l'évolution du rendement en fonction de l'angle d'inclinaison du petit panneau PV :

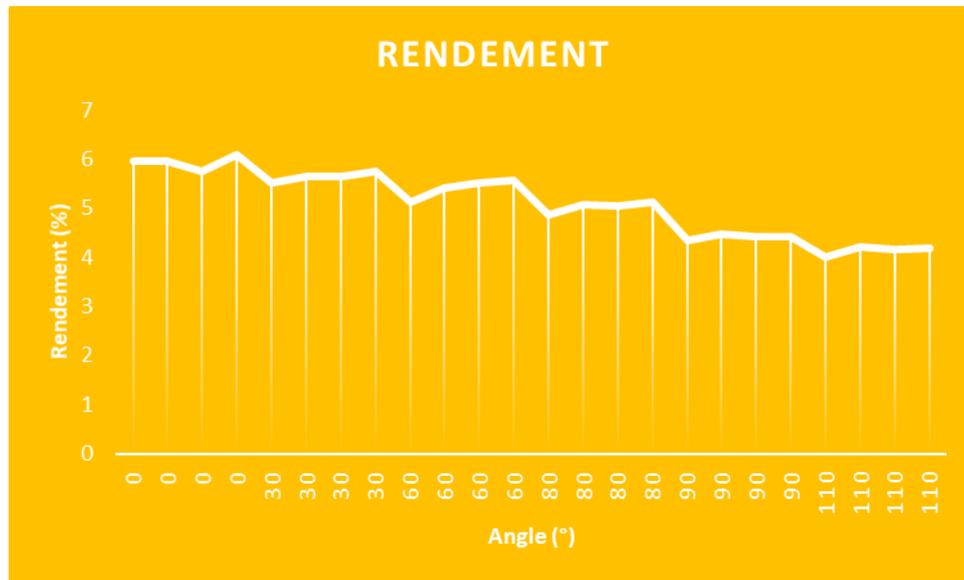


Figure 5 : Graphique Rendement / Débit

Nous constatons donc que pour obtenir un meilleur rendement, il faut mieux augmenter le débit du panneau. En revanche, il est possible que la position du thermocouple ait eu une influence sur l'évolution de ce rendement. En effet ce dernier était placé sous le ventilateur en sorti et bien que protégé du soleil il a pu se réchauffer par contact avec le châssis en bois.

Si en revanche les résultats obtenus sont pertinents, alors il est bon de savoir que le meilleur paramétrage se fait à haut débit.

Enfin, notre estimation du débit est très approximative, il se peut que celle-ci ne soit pas non plus linéaire contrairement à ce que nous avons supposé.

Le tableau récapitulatif du protocole expérimental est disponible en ANNEXE 1.

4

Modélisation Informatique

4.1 Présentation

Afin d'appréhender le phénomène physique que l'on souhaite mettre en place, nous avons décidé de modéliser notre expérience sur le logiciel de simulation COMSOL. Pour commencer cette simulation nous avons décidé de faire une modélisation simple à partir d'un écoulement laminaire. Nous avons débuté par la création de la géométrie du modèle. Le modèle est en 2 dimensions et comporte 3 rectangles correspondants au contour de la canette et au passage du fluide à l'intérieur de celle-ci. Pour les matériaux nous avons choisi l'air comme fluide (rectangle intermédiaire) et l'aluminium comme matériau pour la canette.

Une fois la géométrie définie et les matériaux choisis, nous passons aux définitions des frontières.



Figure 6 : Modèle géométrique

4.2 Hypothèses

- Isolation de la partie basse de la canette pour coller au mieux au prototype expérimental
- Isolation de la partie haute de la canette
- Flux thermique de 800 W/m^2 sur la partie haute de la canette
- $T_{ext} = 293,15 \text{ K}$
- $V_{entrée} = 0,5 \text{ m/s}$
- Écoulement fluide en sortie libre
- Sortie du flux thermique au niveau de la sortie fluide

4.3 Résultats

Nous avons fait 2 simulations différentes. La première en écoulement laminaire et la deuxième en écoulement turbulent.

Pour la simulation en laminaire, nous avons obtenus des résultats cohérents. Cependant ils ne correspondent pas à la réalité physique du prototype. L'hypothèse d'écoulement laminaire est trop forte ce qui ne permet pas d'apprécier correctement le phénomène.

Sur cette simulation on voit l'apparition de deux couches limites et l'on voit que l'homogénéisation du fluide ne se fait pas.

Voici ce que l'on obtient pour la vitesse du fluide :

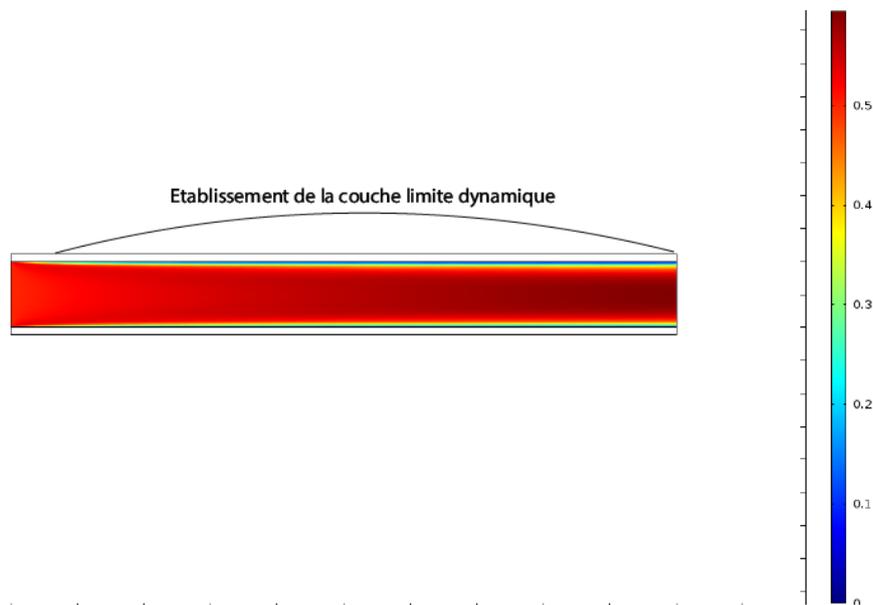


Figure 7 : Couche limite dynamique

On peut voir ci-dessus l'établissement des deux couches limites dynamique avec une vitesse nulle à la paroi et de plus en plus importante quand on s'éloigne de celle-ci.

Voici maintenant ce que l'on obtient pour la température :

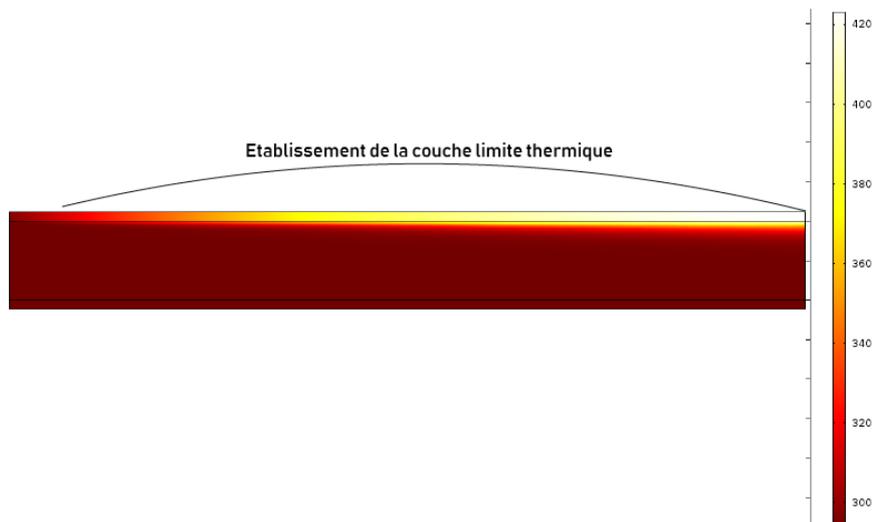


Figure 8 : Couche limite thermique

On peut voir ici l'établissement d'une couche limite due au fait qu'il n'y a pas de turbulence dans l'écoulement ce qui entraîne l'impossibilité d'homogénéiser la température.

Pour la simulation en écoulement turbulent, nous avons obtenus des résultats incohérents. Comme vous pouvez le voir ci-dessous, la température est certes homogène dans le fluide mais il n'y a pas d'augmentation de celle-ci le long du tube alors que celui-ci monte en

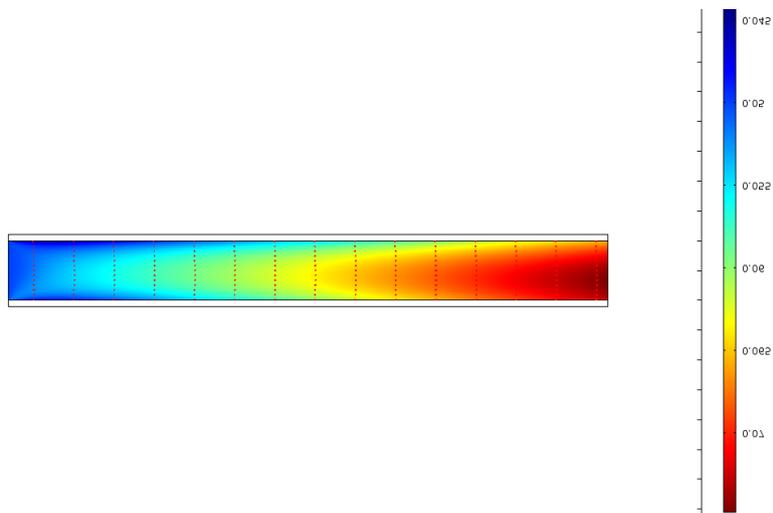
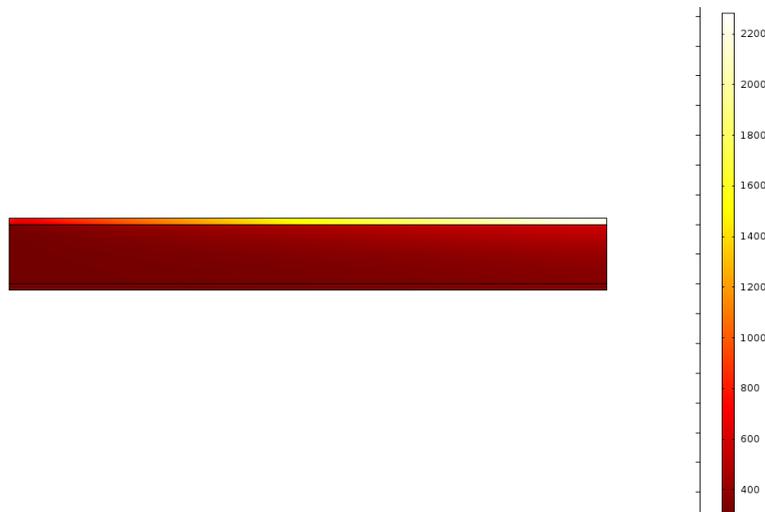


Figure 9 : Champ de vitesses

température. Nous pouvons penser que nous avons un souci dans la simulation. Il est possible que nous ayons oublié une hypothèse sur l'échange entre l'aluminium et l'air. Voici les résultats obtenus :



Hj

Figure 10 : Champ de températures

5

Perspectives et conclusions

Nous souhaiterions modifier le prototype expérimental pour augmenter ses performances. En effet, avec un châssis complètement étanche, la température de sortie pourrait atteindre 70°C (selon nos sources).

De plus, nous pourrions améliorer les performances en modifiant la configuration même du système. On passerait à un système de serpentin ce qui nous permettrait d'augmenter la température de sortie de l'air mais nous apporterait plus de pertes de charges et un débit plus faible.

Nous pourrions également remplacer le plexiglass par du verre.

Pour la partie modélisation informatique, Il serait intéressant de simuler l'expérience en 3 dimensions afin de mieux appréhender le phénomène et de supprimer certaines simplifications.



6

Sources

https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9_thermique_massique

<https://mrmondialisation.org/fabriquer-chauffage-solaire-canettes-aluminium/>

https://solar.freeonplate.com/fr/panneau_solaire.htm

<http://www.pierre1911.fr/2016/03/panneau-solaire-en-canettes-cancerigene.html>

<https://www.terraeco.net/Fabriquez-votre-panneau-solaire,56410.html>

<http://lafamillecreative.blogspot.com/2011/12/panneau-solaire-en-canettes.html>

7

ANNEXES

Temps	Inclinaison_PV	Phi_sol	T_sortie	T_entrée	P_in	m_dot	P_out	eta
0	0	1040	43	25	603.2	0.002	36	5.96817
150	0	1040	43	25	603.2	0.002	36	5.96817
300	0	1020	42	25	591.6	0.002	34	5.747126
450	0	1020	43	25	591.6	0.002	36	6.085193
600	30	1010	43	25	585.8	0.0018	32.4	5.530898
750	30	990	43	25	574.2	0.0018	32.4	5.642633
900	30	990	43	25	574.2	0.0018	32.4	5.642633
1050	30	970	43	25	562.6	0.0018	32.4	5.758976
1200	60	970	43	25	562.6	0.0016	28.8	5.11909
1350	60	970	44	25	562.6	0.0016	30.4	5.403484
1500	60	950	44	25	551	0.0016	30.4	5.517241
1650	60	940	44	25	545.2	0.0016	30.4	5.575935
1800	80	945	44	25	548.1	0.0014	26.6	4.853129
1950	80	950	45	25	551	0.0014	28	5.08167
2100	80	956	45	25	554.48	0.0014	28	5.049776
2250	80	940	45	25	545.2	0.0014	28	5.13573
2400	90	950	45	25	551	0.0012	24	4.355717
2550	90	970	46	25	562.6	0.0012	25.2	4.479204
2700	90	980	46	25	568.4	0.0012	25.2	4.433498
2850	90	985	46	25	571.3	0.0012	25.2	4.410992
3000	110	950	47	25	551	0.001	22	3.99274
3150	110	940	48	25	545.2	0.001	23	4.218635
3300	110	950	48	25	551	0.001	23	4.174229
3450	110	945	48	25	548.1	0.001	23	4.196315