PHY2100 Physique Environnementale
Les îlots de chaleur par la déforrestation

Carl Harbour-Caron
20111847

Résumé

Ce projet final porte sur une simulation environnementale Réservoir-Flux-Source-Puits (RFSP) d'une zone forte en forêt, une zone de type banlieue et une zone urbaine. Le but de cette simulation étant de démontrer la corrélation entre l'augmentation, voire la création, des îlots de chaleurs dans les zones sans forêt ou déforestés. Pour s'y faire, il fallait créer une simulation d'échange de chaleur RFSP pour les 3 différentes zones. Comme résultat attendu, la zone forte en forêt allait avoir un meilleur refroidissement, voir contrôle sur la température d'équilibre grâce aux arbres et donc celle de l'air étant à 290 K et 260 K pour celui du sol. Pour la zone mixte, étant moitié forte en forêt et l'autre moitié urbanisée, la température d'équilibre de l'air étant à 335 K et celle du sol à 296 K. Le résultat pour la zone totalement urbanisé allait bien démontrer une augmentation très prononcée et peu fluctuante de la température à l'équilibre de l'air qui est à 367 K et 330 K pour le sol.

1 Introduction

Les effets des îlots de chaleur sont connus depuis des décennies. Cela résulte essentiellement du fait que les matériaux de construction urbaine, comme le béton et l'asphalte, peuvent absorber la chaleur pendant la journée et la restituer la nuit, bien plus que les zones couvertes de végétation, d'autant plus que celles-ci sont réduites de plus en plus. Il faudra donc mieux planifier le développement des villes en bandes, cohérentes avec le réseau hydrographique, en tenant compte des espaces verts abritant diverses espèces végétales. Il est donc important de comprendre à quel point les espèces végétales, en majeure partie les arbres, sont primordiale pour un meilleur refroidissement de la température locale. Le but de cette simulation étant de démontrer la corrélation entre la réduction des zones forestières et l'augmentation des îlots de chaleur. Il faut donc 3 simulations différentes qui ont chacun une différente couverture végétale et ainsi voir l'augmentation graduelle des températures du sol et de l'air.

2 Théorie

Pour bien faire les simulations, il y a le modèle Réservoir-Flux-Source-Puits qui fut montré en classe pour facilement accomplir l'objectif. En utilisant les équations stationnaires pour calculer les échanges de chaleur des réservoirs et ainsi voir l'évolution temporelle des températures et les intéractions entre eux.

Les 3 zones ont pour dimension une largeur de 2000 m par 2000 m et 200 m de hauteur. La dimension temporelle est mit en terme de nombre de jours, une source ayant la forme sinusoïdal va simuler l'irradiance de notre étoile avec la partie positive représentant le jour et la partie négative, forcé à une source nulle ($S_0 = 0$), représentant la nuit. La température de départ pour la simulation sont de 294K (21C) pour l'air, la forêt et le sol, tandis que celle du vent est de 288K (15C). La source étant l'énergie surfacique gagné par le système, le vent étant un bloc de surface de la zone largeur fois hauteur. Dans les zones avec forêt, le vent va être de pleine capacité et donc être 50% de la hauteur pour le modèle forêt et modèle mixte, tandis que le modèle urbain le vent prend 100% de la hauteur. Dans les zones forêt, le vent est réduit grandement et donc seulement 25% de sa capacité est considérer pour l'autre partie de la hauteur sous les arbres et la source de l'irradiance du soleil touche à 90% le dessus de la forêt et seulement 10% se rend au sol.

Un effet tout de même important fut néglié, celle du *coupling* entre la végétation et l'atmosphère, l'évaporation et les précipitations. Il aurait fallut bien utilisé l'équation de $Penman - Monteith$ pour accomplir cette effet et bien la rajouter à la simulation, mais le manque de temps fut majoritaire la cause. Pour combler le fait que cet effet est négligé, une alternative fut utilisé, étant d'utilisé des valeurs calculer à la main en utilisant le tableau 5.24 des notes de cours sur la chaleur latente d'évaporation de l'eau. Cette chaleur latente, convertie en énergie, fut rajouter au système pour simuler le cycle de précipitation et d'évaporation en terme de perte ou gain d'énergie pour le sol et l'air dans la zone forte en forêt.

Pour le modèle de zone forte en forêt, les équations d'états utilisées sont :

$$\frac{dT_{air}}{dt} = -\frac{\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - \sigma T_f^4}{\tau} - \frac{1}{\rho c_p}\frac{h}{2L}\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - \frac{\frac{h}{2L}(T_{vent} - T_a)}{\tau} \tag{1}$$

$$\frac{dT_{foret}}{dt} = \frac{\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - \sigma T_f^4}{\tau} - \frac{\frac{1}{2}\sigma T_f^4 - (1-t)\sigma T_s^4}{\tau} + \frac{1}{\rho c_p}\frac{h}{2L}0.9S_0 - \frac{1}{2}\sigma T_f^4 - \frac{1}{4}\frac{\frac{h}{2L}(T_{vent} - T_f)}{\tau} \tag{2}$$

$$\frac{dT_{sol}}{dt} = -\frac{\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - \sigma T_f^4}{\tau} - \frac{1}{\rho c_p}\frac{h}{2L}\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - \frac{\frac{h}{2L}(T_{vent} - T_a)}{\tau} \tag{3}$$

Pour le modèle de zone mixte banlieu, les équations d'états utilisées sont :

$$\frac{dT_{air}}{dt} = -\frac{\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - \sigma T_f^4}{\tau} - \frac{\frac{1}{4}\sigma T_a^4 - \frac{1}{2}(1-t)\sigma T_s^4}{\tau} - \frac{1}{\rho c_p}\frac{h}{2L}(\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - S_V) - \frac{\frac{h}{2L}(T_{vent} - T_a)}{\tau} - \frac{\frac{h/2}{L/2}(T_{vent} - T_a)}{\tau} \tag{4}$$

$$\frac{dT_{foret}}{dt} = \frac{\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - \sigma T_f^4}{\tau} - \frac{\frac{1}{4}\sigma T_f^4 - \frac{1}{2}(1-t)\sigma T_s^4}{\tau} + \frac{1}{\rho c_p}\frac{h/2}{L/2}0.9S_0 - \frac{1}{2}\sigma T_f^4 + S_V - 0.25\frac{\frac{h/2}{L/2}(T_{vent} - T_f)}{\tau} \tag{5}$$

$$\frac{dT_{sol}}{dt} = \frac{\frac{1}{2}\sigma T_f^4 - \frac{1}{2}(1-t)\sigma T_s^4}{\tau} + \frac{\frac{1}{4}\sigma T_a^4 - \frac{1}{2}(1-t)\sigma T_s^4}{\tau} - \frac{1}{\rho c_p}\frac{h}{2L}t\sigma T_s^4 - \frac{1}{2}\frac{(1-\alpha_{foret})S_0}{4} - \frac{1}{2}\frac{(1-\alpha_{asph})S_0}{4} \tag{6}$$

Pour le modèle de zone urbaine, les équations d'états utilisées sont :

$$\frac{dT_{air}}{dt} = -\frac{\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - (1-t)\sigma T_s^4}{\tau} - \frac{1}{\rho c_p}\frac{h}{L}(\frac{1}{4}\sigma T_a^4 - S_V) - \frac{\frac{h}{L}(T_{vent} - T_a)}{\tau} \tag{7}$$

$$\frac{dT_{sol}}{dt} = \frac{\frac{1}{2}\sigma T_a^4 - (1-t)\sigma T_s^4}{\tau} - \frac{1}{\rho c_p}(\frac{h}{L}t\sigma T_s^4 - \frac{(1-\alpha_{asph})S_0}{4}) \tag{8}$$

Plusieurs éléments ont été négligés dans les simulations, notamment les effets d'évapotranspiration de la végétation, un effet tout de même très important pour le réalisme de la simulation. Une simple partie de cet effet fut rajouté aux données telles que la Figure 5.24 des notes de cours. Cette chaleur latente qui dépend de la température fut utilisée comme ajout ou retrait de chaleur dans le modèle de zone forte en forêt.

3 Résultat

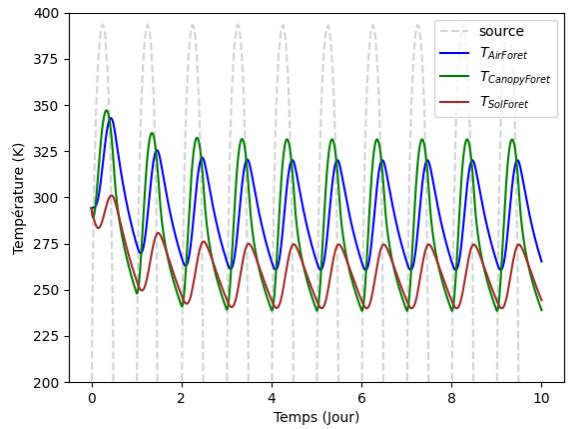

FIGURE 1 – Simulation de la température du sol, de la forêt et de l'air, par rapport aux journées, pour la zone forte en forêt. La source étant l'irradiance du soleil de 1361 W/m² convertie en température pour être sur la même échelle de grandeur du graphique.

Pour la Figure 1, malgré les valeurs de température à l'équilibre qui sont étrange, principalement pour le sol avec 256K (-17C), mais aussi pour la forêt à 290K (16C) et 295K (21C) pour l'air, il y a bien une démonstration que les arbres jouent un rôle important dans la régulation de la température des autres réservoirs. Les 3 réservoirs suivent une même légère décroissance de la température pour rapidement se stabiliser à l'équilibre vers le 3e ou 4e jour. Comme attendu, le sol à la température la moins haute et une fluctuation moins grande des trois. L'air au-dessus de la forêt à une plus grande fluctuation, mais attendue vu qu'une partie de l'irradiance est réfléchie de la forêt et du sol vers l'air ambiant. Le plus remarquable est le comportement de la température de la forêt, elle fluctue grandement durant les cycles de jour/nuit démontrant bien que la forêt sert de climatiseur ou de régulateur de la température. Le chapiteau que le dessus de la forêt couvre bien le sol, le gardant au frais, mais sans empêcher la source de s'y rendre avec 10% de l'irradiance totale de la source s'y rend au sol. Le dessus de la forêt absorbe à 90% l'irradiance du soleil incident, ce qui explique le pic qui croît rapidement

durant le jour. Cette chaleur transférée au sol et donc qui relâche cette chaleur par l'évaporation vers l'air, ce qui permet d'avoir un très bon cycle de régulation de la température pour la zone.

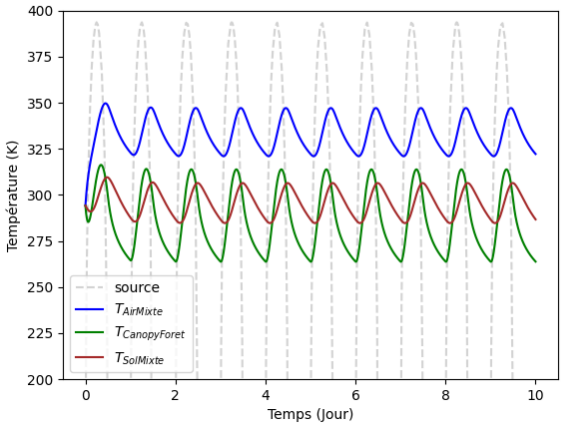

FIGURE 2 – Simulation de la température du sol, de la forêt et de l'air, par rapport aux journées, pour la zone mixte forêt et urbain. Le sol étant moitié sol de forêt et moitié sol urbain recouvert d'asphalte et la forêt étant seulement la moitié de la zone de 2000 m par 2000 m. La source étant l'irradiance du soleil de 1361 W/m² et aussi une source constante de 280 W/m² pour la moitié urbaine convertie en température pour être sur la même échelle de grandeur du graphique.

Pour la Figure 2, contrairement au modèle précédent, la température du sol et de l'air sont un peu plus élevé. Ils gardent quand même un comportement de fluctuation, ce qui indique qu'il y a quand même une bonne contribution des arbres pour la régulation de la température. La température total à l'équilibre du sol étant à 295K (21C), c'est plus chaud que celui de la forêt, malgré qu'ici le sol est à moitié forêt (donc recouvert de forêt) et l'autre moitié urbanisé (purement asphalte). On peut remarquer la température de l'air qui augmente beaucoup plus rapidement que précédement, mais fluctue et reste à l'équilibre quand même à 330K (56C), ce qui est beaucoup plus chaud. Il est possible d'observer que la température de la forêt à un comportementpresque similair au modèle de la forêt précédent, ce qui démontre que même pour une zone qui partage une partie urbanisé et une partie végétale, la température peut être garder sous un seuil acceptable. Une première corrélation qui est démontrer avec la réduction de la zone forêt pour faire place à une zone urbanisé par l'augmentation globale des 3 températures.

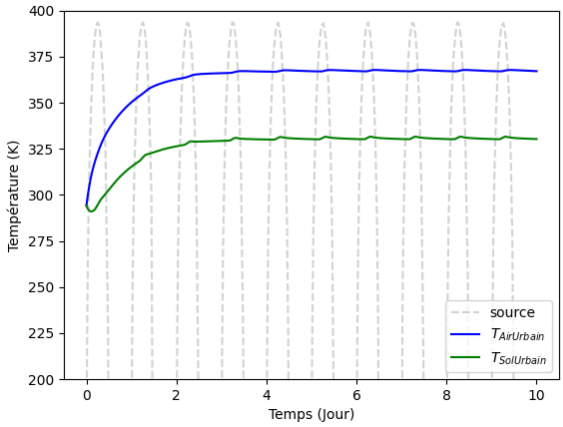

FIGURE 3 – Simulation de la température du sol et de l'air, par rapport aux journées, pour la zone urbaine. La source étant l'irradiance du soleil de 1361 W/m² et de la source urbaine continue de 280 W/m², convertie en température pour être sur la même échelle de grandeur du graphique.

Pour la Figure 3, le comportement des températures est totalement différent, très peu de fluctuation et une nette très grande augmentation de la température du sol et de l'air. L'augmentation se fait rapidement sur une durée de 2 jours avant d'atteindre l'équilibre. Le sol bénéficie légèrement du cycle jour/nuit pour refroidir, mais pas assez pour que celle-ci soit à une température acceptable, elle vient à l'équilibre 330K (56C) ce qui est chaud. Il est possible d'observer l'effet d'îlot de chaleur avec la courbe de température de l'air, une nette et grande augmentation et presque qu'aucune fluctuation pour se mettre à l'équilibre à 366K (92C) ce qui est beaucoup trop chaud pour les êtres vivants, voir même une bonne partie des espèces végétales. L'absence de végétation et donc du cycle d'évaporation/précipitation, se fait très bien ressentir et démontre une belle corrélation avec l'énorme augmentation en température des réservoirs.

4 Conclusion

Pour conclure, malgré le fait que l'effet de serre, la déforestation et les îlots de chaleur sont très bien connus et documentés, le but de cette simulation étant de démontrer la corrélation entre la déforestation et l'augmentation de l'effet de l'îlot de chaleur fut accompli. Étant donné que plusieurs facteurs fut négligé, principalement le *coupling* de l'équation $Penman - Monteith$ et l'effet de serre, la simulation donne des résultats qui semble proches de la réalité et valide l'utilisation du modèle RFSP. En ordre respectif des simulations, les températures pour l'air sont de 295K (21C), 330K (56C) et 366K (92C) et pour le sol sont de 256K (-17C), 295K (21C) et 330K (56C). La corrélation entre la réduction de la zone forestière concorde bien avec les augmentations de température. Il serait important pour les villes du futur que la disposition des rues et des bâtiments joue un rôle crucial dans la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain local tout en augmentant les espaces verts.

5 Bibliographie

Références

[1] Notes de cours PHY2100 Physique Environnementale par Paul Charbonneau, Professeur Titulaire

[2] Monteith, J.L., et Unsworth, M.H., Principles of Environmental Physics, (4e éd.), Academic Press (2013).

[3] Hartmann, D.L., Global Physical Climatology (2e éd.), Elsevier (2016).

[4] `https://fr.wikipedia.org/wiki/Bilan_%C3%A9nerg%C3%A9tique_d%27une_feuille`

[5] `https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9_thermique_massique`

[6] `https://en.wikipedia.org/wiki/Albedo`

[7] `https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-102014-021155`

[8] `https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670715000414`

[9] `https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670715000414`