Détermination de la hauteur d'installation des sondes de température pour le contrôle du gel

Silvio J. Gumiere, Vincent Pelletier, Steeve Pepin et Jean Caron

silvio-jose.gumiere@fsaa.ulaval.ca

Chaleur latente et protection contre le gel

- *Gel advectif* : lorsqu'il y a advection d'une masse d'air froid (par ex. provenant des régions polaires)

- *Gel radiatif* : perte de chaleur nette par rayonnement de grandes longueurs d'ondes qui peut se produire lorsque les nuits sont claires et calmes inversion de température

Irrigation par aspersion pour contrer les dommages causés par le gel

- Basée sur la chaleur latente de fusion : 4 litres d'eau à 0 °C se changeant en glace à 0°C libère ~1200 BTUs (80 cal g^{-1})

- Le taux d'application de l'eau dépend de la $T°_{air}$.

- Niveau de protection apportée : fonction de la résistance de la culture au gel, du stade de développement, des conditions météo et de la configuration du système d'irrigation.

Irrigation par aspersion pour contrer le gel

- En gelant, l'eau libère 334 J g^{-1} d'énergie et retarde le refroidissement des tissus & organes, aussi longtemps qu'il y a de l'eau liquide à la surface
- Tissus peuvent supporter une T° légèrement sous 0°C sans dommage permanent. Doivent supporter le poids de la glace
- L'ajout d'eau augmente la capacité thermique des plantes (retarde aussi le refroidissement)

- Nécessite un bon contrôle de l’irrigation
  - trop peu d’eau : refroidissement en raison de la sublimation/évaporation
  - trop d’eau : chaleur latente insuffisante pour réchauffer la glace et la plante

Contexte:

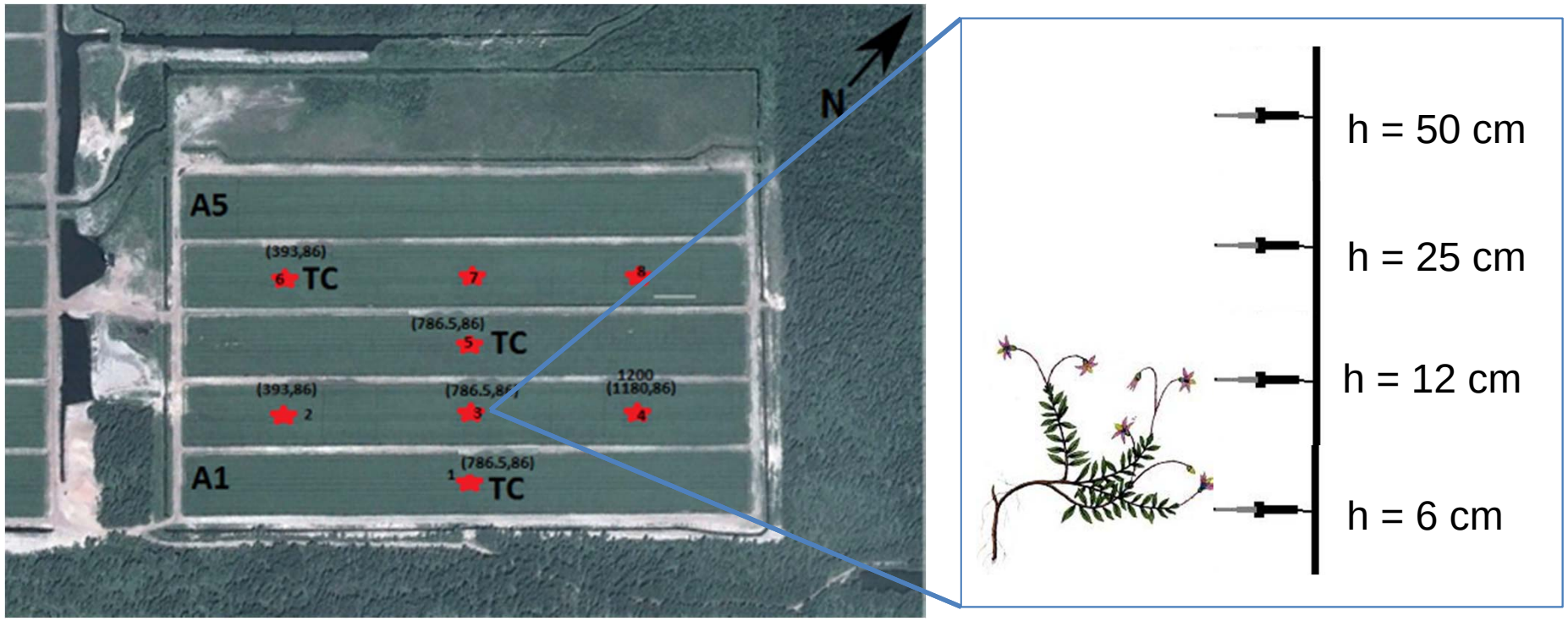
- Grandes quantités d’eau utilisée pour le contrôle du gel;
- Haut risque de pertes de rendement important.

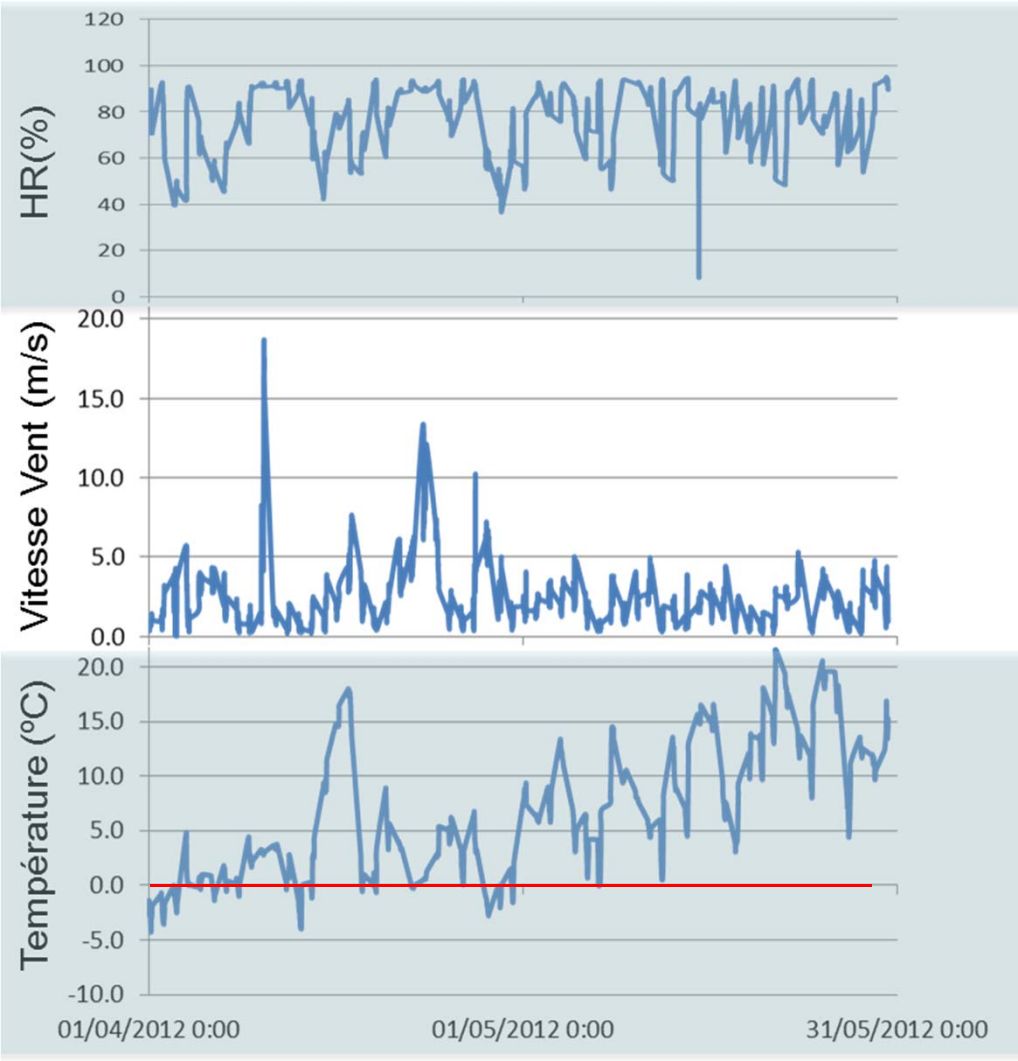
Objectifs:

- Déterminer la hauteur critique d'installation des sondes de température de l'air dans les champs de canneberges;
- Analyser la variabilité spatiale de température de l'air au sein d'un système de champs;
- Comprendre l'évolution de la température par modélisation numérique.

Dispositif de mesure :

- 8 points de mesures (5 avec sondes Hortau et 3 avec TC)
- 4 hauteurs

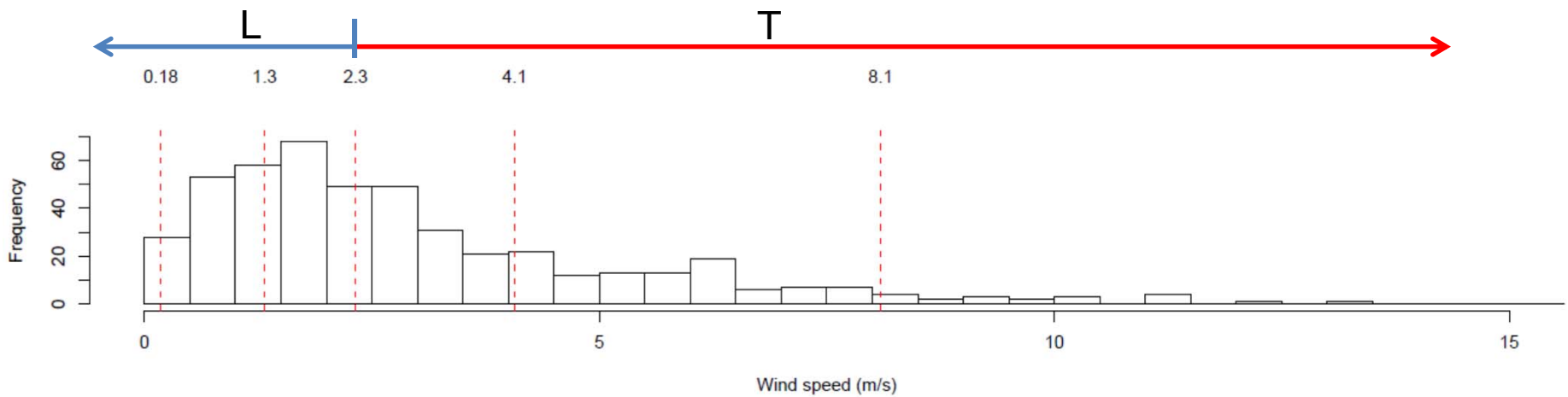


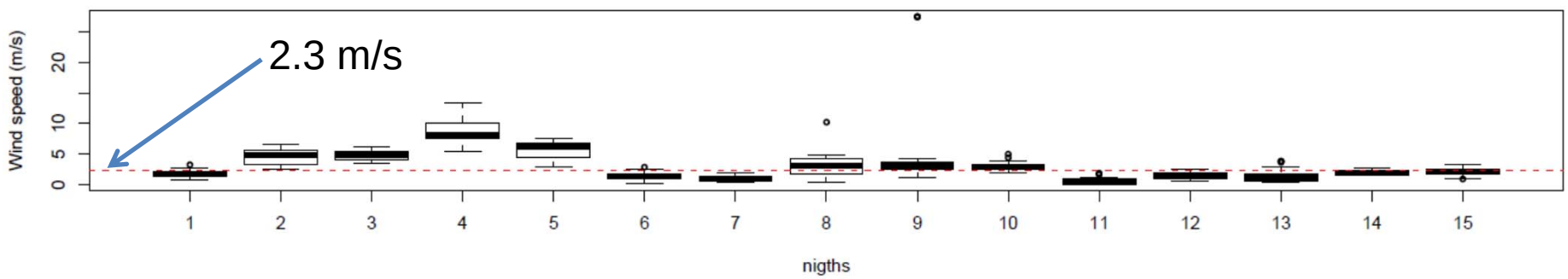


Conditions météorologiques (minuit à 6h00)

Nuit	Wind Speed (m/s)	Air T (°C)	RH (%)	Wind Dir (0-360)
20/04/2012	1.818	5.468	74.396	227.857
21/04/2012	4.363	3.633	88.839	80.071
22/04/2012	4.858	-0.121	92.718	51.357
23/04/2012	8.936	0.681	89.857	73.286
24/04/2012	5.585	3.062	91.893	91.000
25/04/2012	1.536	4.635	77.582	182.643
26/04/2012	0.940	1.736	89.536	251.000
27/04/2012	3.083	4.764	91.050	254.357
10/05/2012	2.642	8.000	92.368	78.857
11/05/2012	3.091	5.034	87.150	294.286
12/05/2012	0.671	2.938	82.282	183.536
13/05/2012	1.456	10.724	75.750	75.214
14/05/2012	1.566	6.629	93.379	96.250
15/05/2012	2.021	15.363	78.539	200.714
16/05/2012	2.111	15.034	87.121	205.071

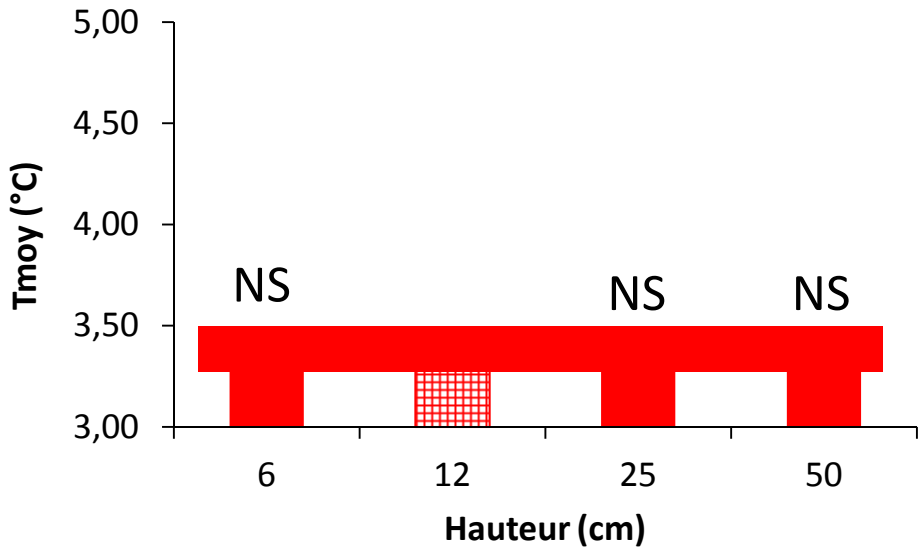
Ségrégation des conditions





Résultats : Hauteur critique

Analyse sur 5 nuits venteuses (vent > 8 km/h)

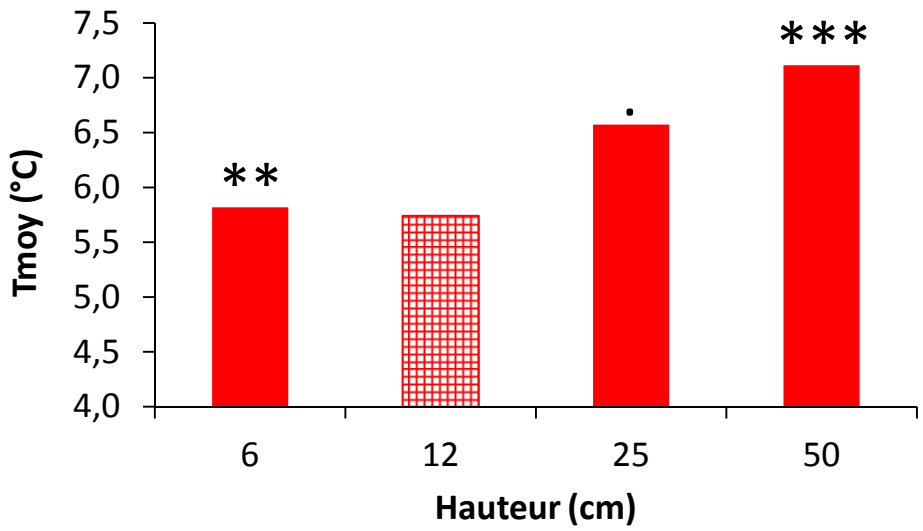


Codes

" NS "	:	Non significatif
" . "	:	$p < 0.1$
" * "	:	$p < 0.05$
" ** "	:	$p < 0.01$
" *** "	:	$p < 0.001$

Résultats : Hauteur critique

Analyse sur 6 nuits peu venteuses (vent < 8 km/h)

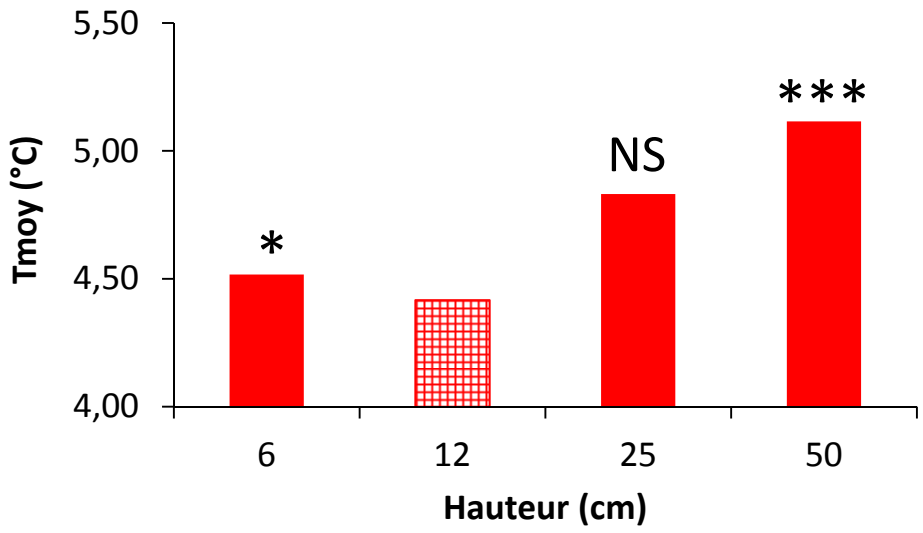


Codes

" NS " : Non Significatif
" . " : $p < 0.1$
" * " : $p < 0.05$
" ** " : $p < 0.01$
" *** " : $p < 0.001$

Résultats : Hauteur critique

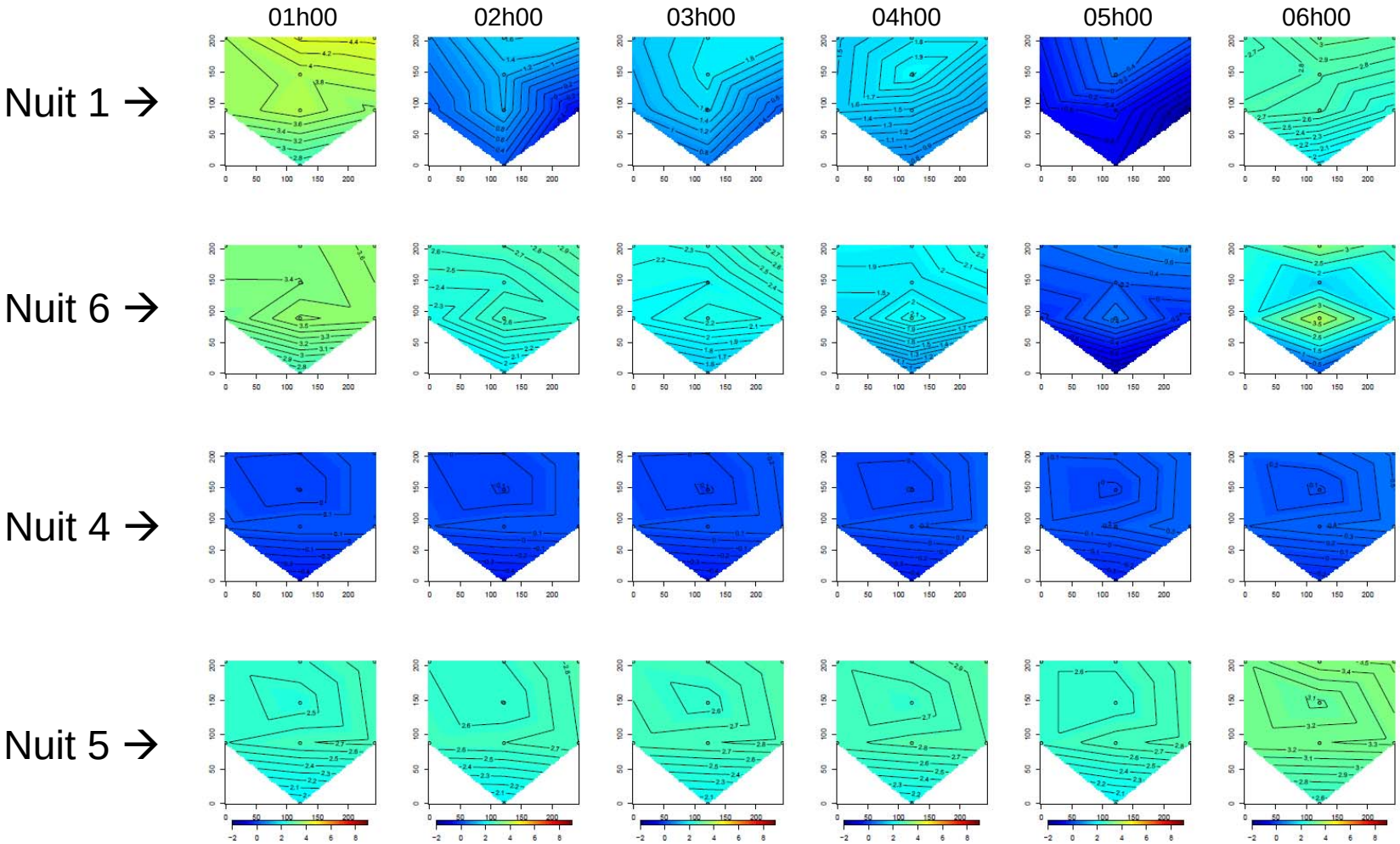
Analyse sur 11 nuits



Codes

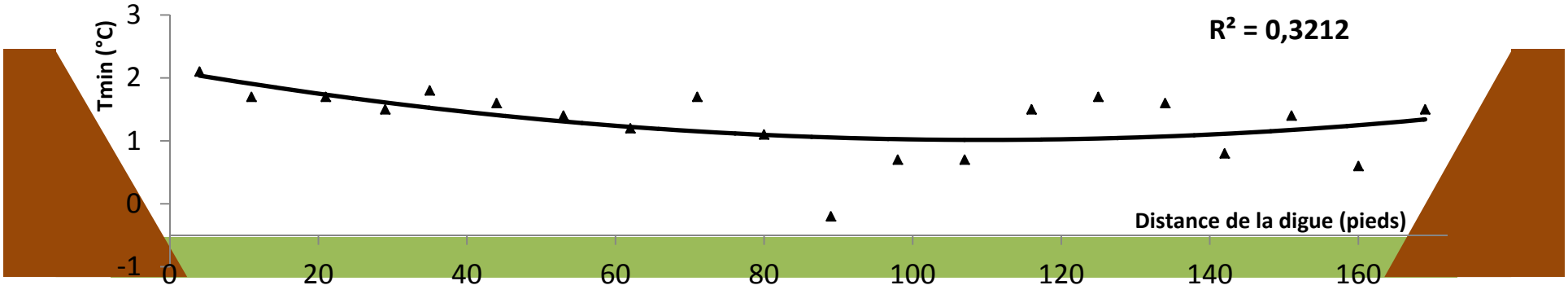
“ NS ” : Non Significatif
“ . ” : $p < 0.1$
“ * ” : $p < 0.05$
“ ** ” : $p < 0.01$
“ *** ” : $p < 0.001$

Résultats : Variation spatiale de la T° de l'air

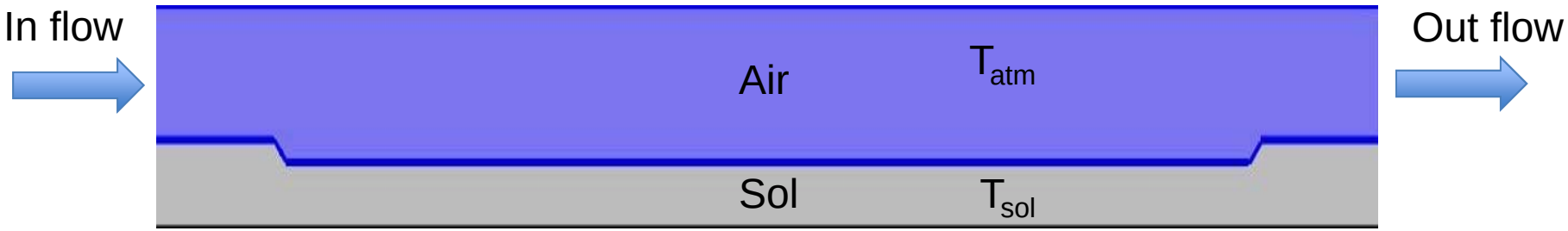


Résultats : Profil de T° sur la largeur d'un champ

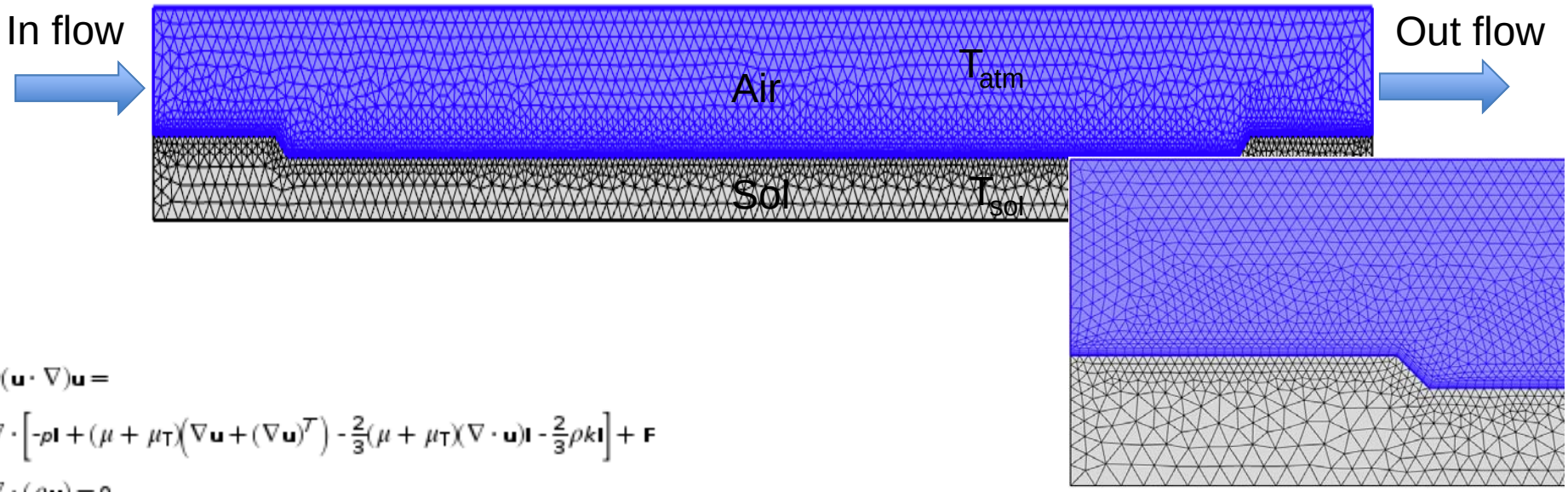
Température minimale pendant une nuit peu venteuse



Etude numérique : Transfert de chaleur sur un champ unique



Équations de base :



$$\rho(\mathbf{u}\cdot\nabla)\mathbf{u} =$$

$$\nabla\cdot\left[-p\mathbf{I}+(\mu+\mu_T)\left(\nabla\mathbf{u}+(\nabla\mathbf{u})^T\right)-\frac{2}{3}(\mu+\mu_T)(\nabla\cdot\mathbf{u})\mathbf{I}-\frac{2}{3}\rho k\mathbf{I}\right]+\mathbf{F}$$

$$\nabla\cdot(\rho\mathbf{u})=0$$

$$\rho(\mathbf{u}\cdot\nabla)k=\nabla\cdot\left[\left(\mu+\frac{\mu_T}{\sigma_k}\right)\nabla k\right]+P_k-\rho\varepsilon$$

$$\rho(\mathbf{u}\cdot\nabla)\varepsilon=\nabla\cdot\left[\left(\mu+\frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon}\right)\nabla\varepsilon\right]+C_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}P_k-C_{\varepsilon 2}\rho\frac{\varepsilon^2}{k},\quad \varepsilon=\mathrm{ep}$$

$$\mu_T=\rho C_\mu\frac{k^2}{\varepsilon}$$

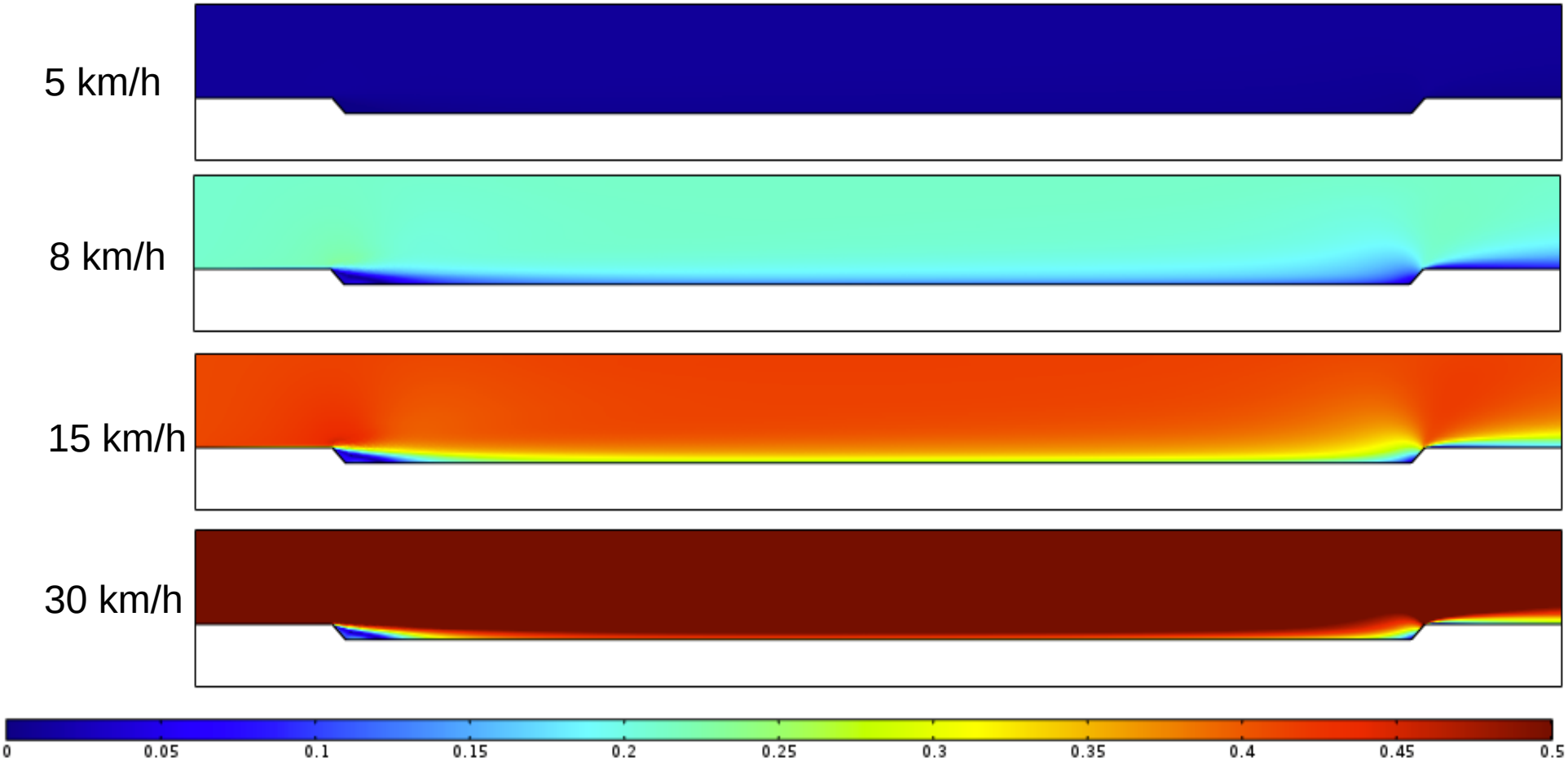
$$P_k=\mu_T\left[\nabla\mathbf{u}:\left(\nabla\mathbf{u}+(\nabla\mathbf{u})^T\right)-\frac{2}{3}(\nabla\cdot\mathbf{u})^2\right]-\frac{2}{3}\rho k\nabla\cdot\mathbf{u}$$

Navier-Stokes (turbulent et compressible)

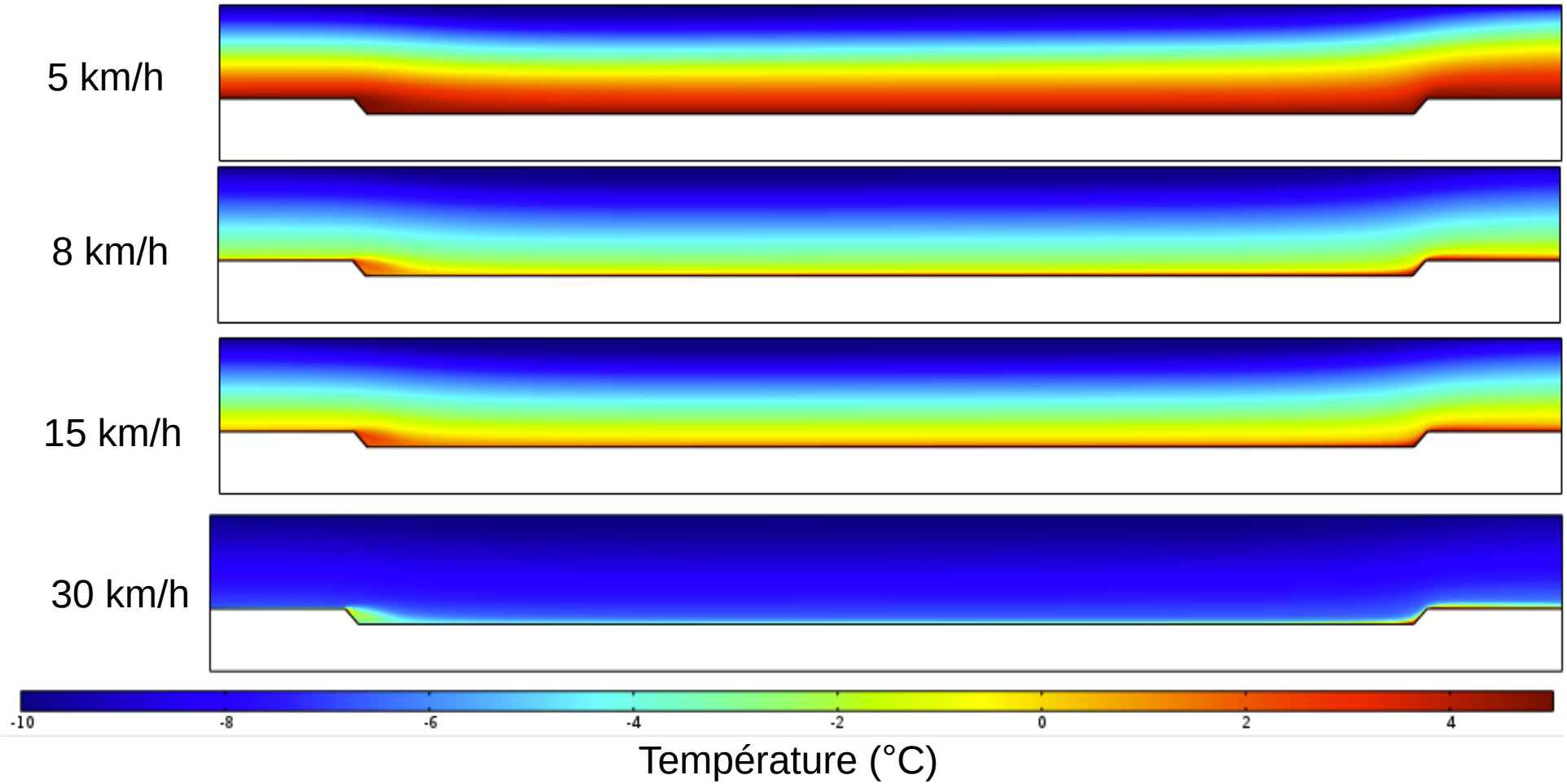
$$\rho C_p\mathbf{u}\cdot\nabla T=\nabla\cdot(k\nabla T)+Q+Q_{vh}+W_p$$

Transfert de chaleur en fluides

Résultats préliminaires : vitesse

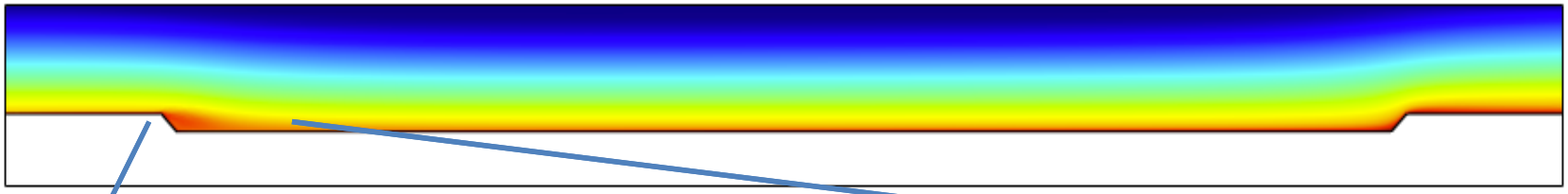


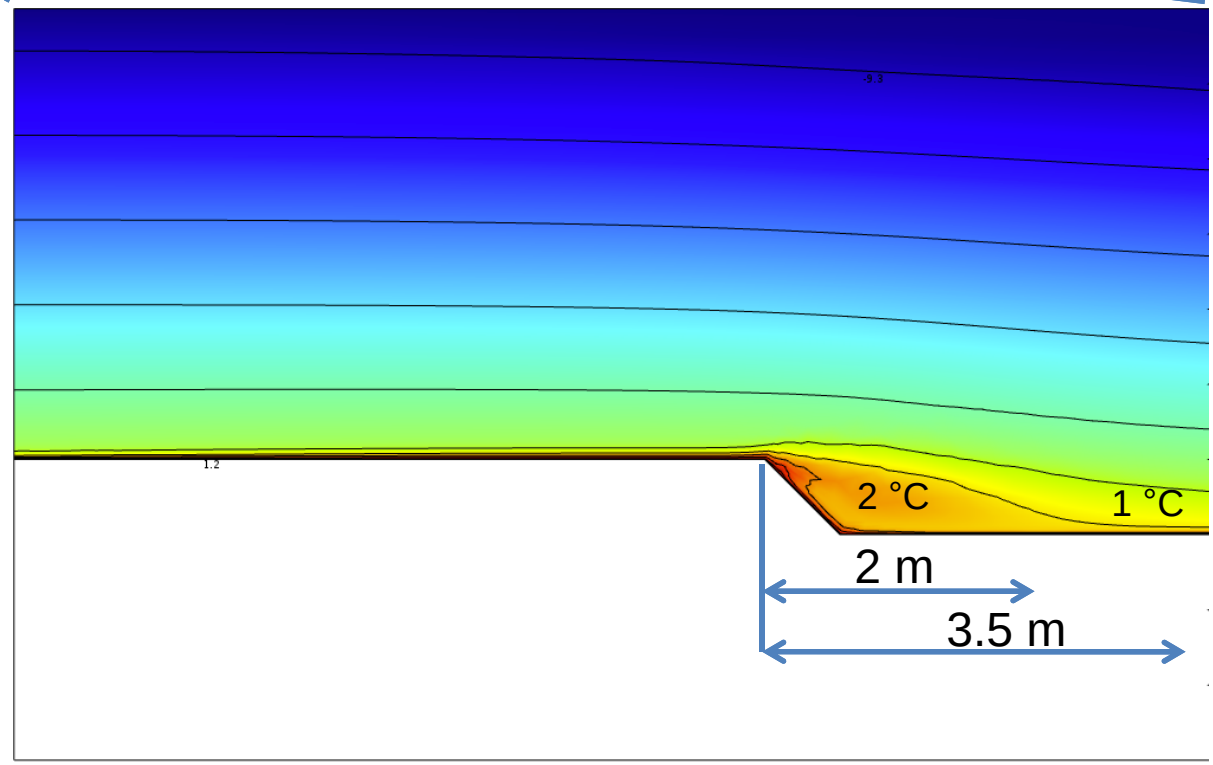
Résultats préliminaires : température



Température x distance du talus

V=15 km/h





Conclusion

- Hauteur optimale d'installation :
  - Nuits avec vent > 8 km/h = 6 – 50 cm
  - Nuits avec vent < 8 km/h = **12 cm**

Les sondes devraient donc être installées à 12 cm de hauteur (i.e. près des derniers cm du feuillage), au milieu du champ sur la largeur

- Peu de variabilité spatiale dans ce système de champs

Merci !

Questions ?