

Ce document est autorisé sous la Licence CC BY-NC-SA 4.0.

Pour obtenir une copie de cette License, veuillez consulter :

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Pour les documents traduits, nous vous suggérons de donner crédit à l'auteur original ou aux auteurs originaux, et au(x) traducteur(s) ou traductrice(s).





Empreintes des flux : Boulons, écrous

Housen Chu

Chercheur scientifique

Division du Climat et des Ecosystèmes, Lawrence Berkeley National Lab

Projet de gestion AmeriFlux

<https://footprint.kljun.net/index.php>

Avec l'aimable autorisation de Ankur Desai pour le partage
des diapositives

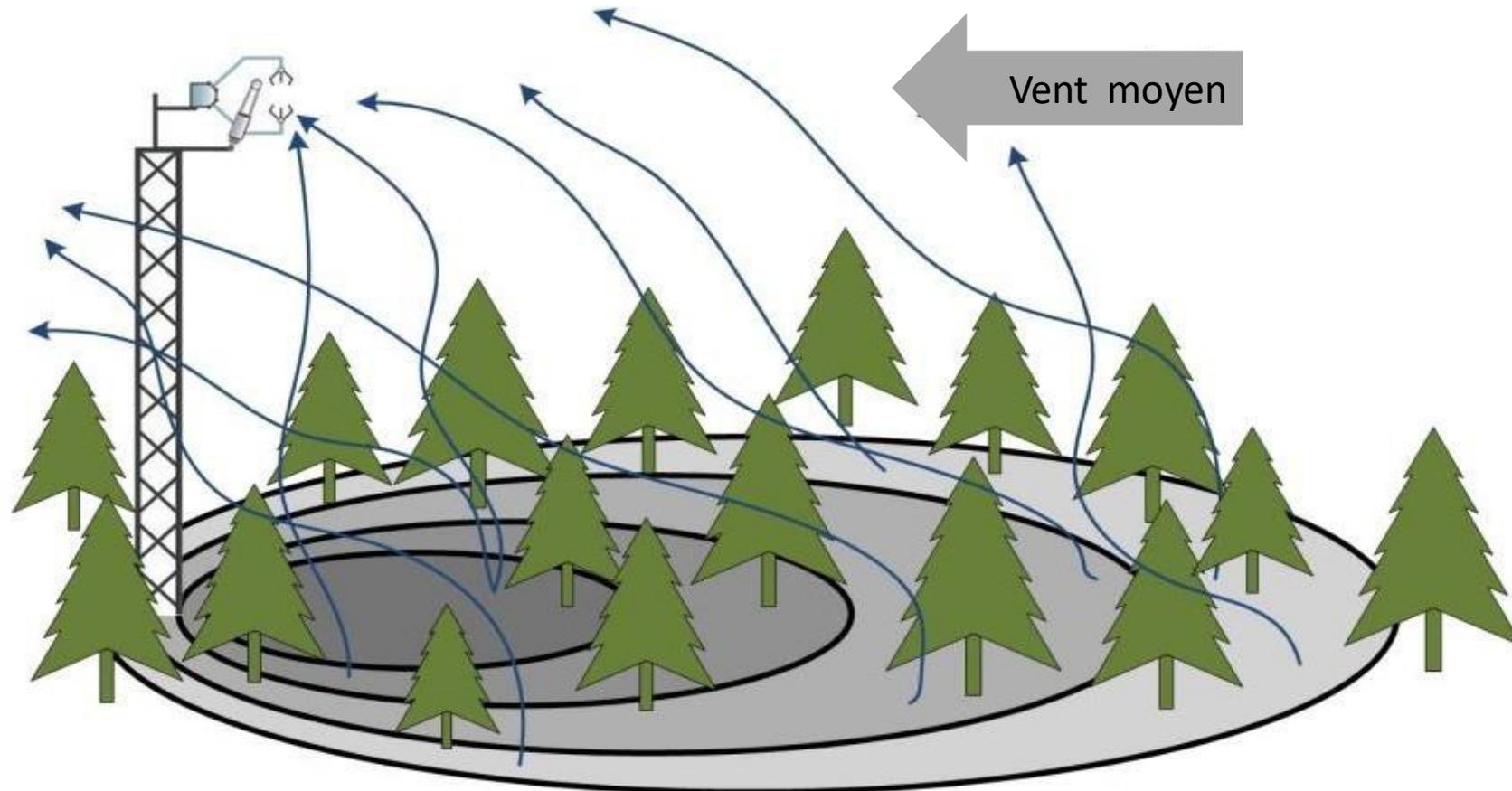
Natascha Kljun et al. pour la maintenance de l'outil en ligne

FFP

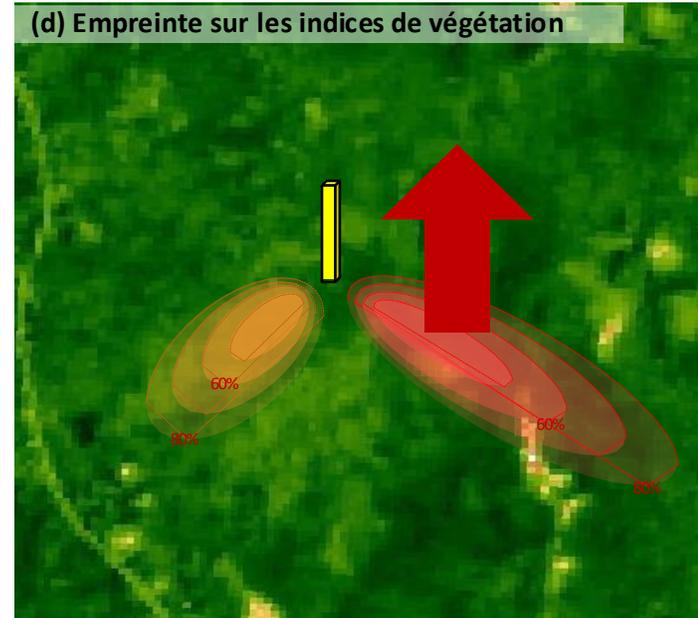
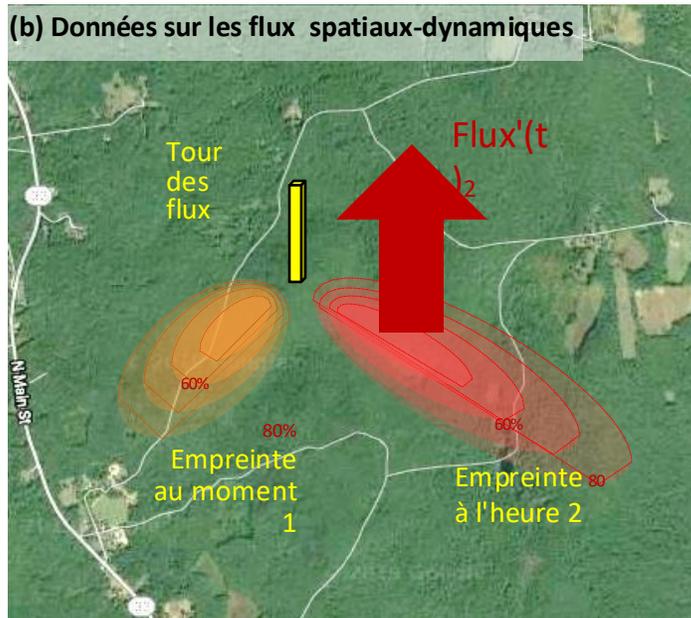
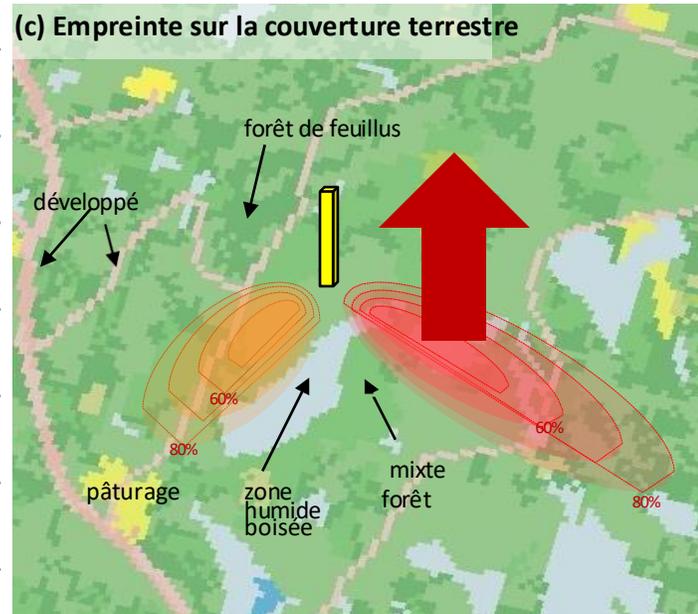
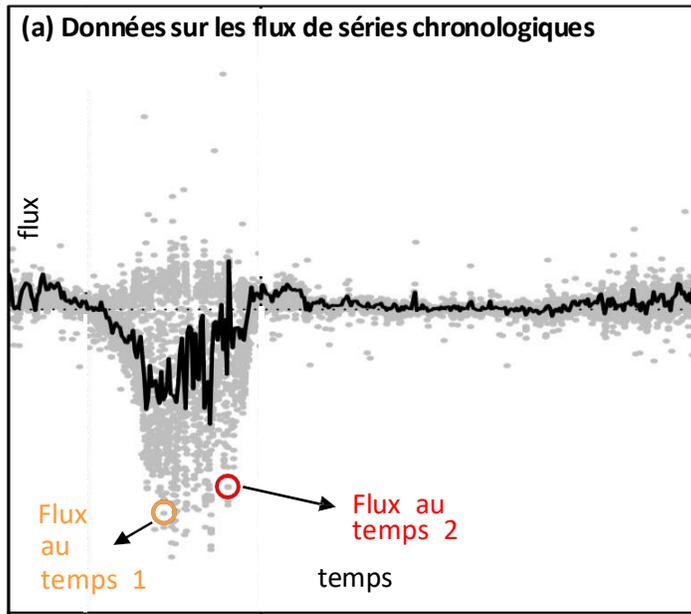


Empreintes des flux

- Zone source des mesures des flux par covariance de Foucault
 - C'est-à-dire "empreinte", "rapport", "zone source".



Pourquoi est-ce important ?

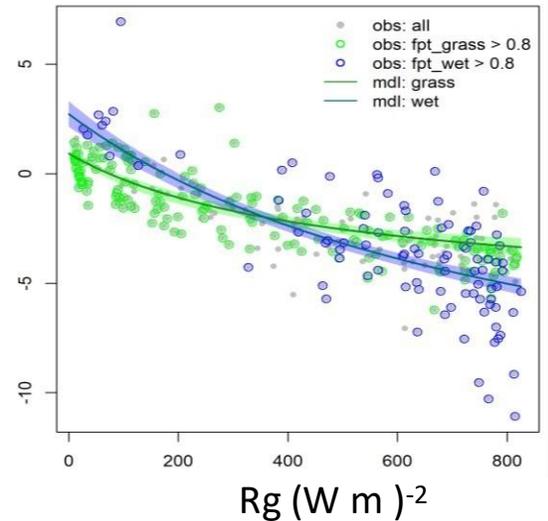
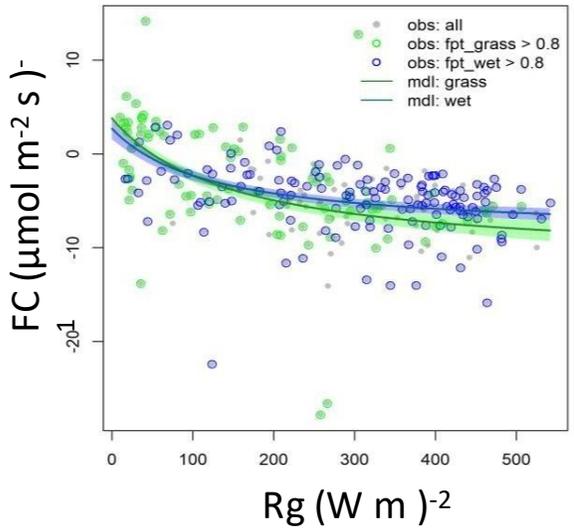
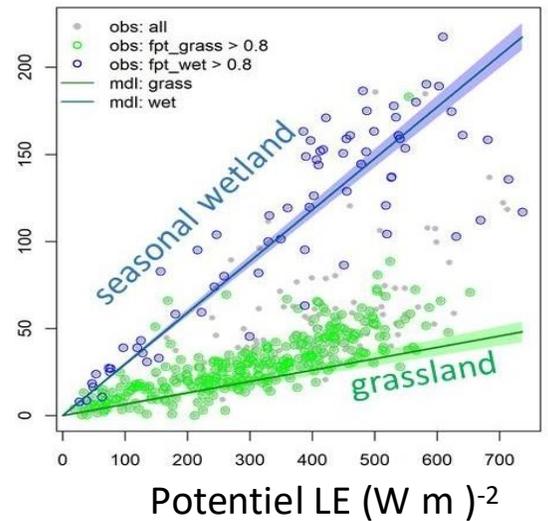
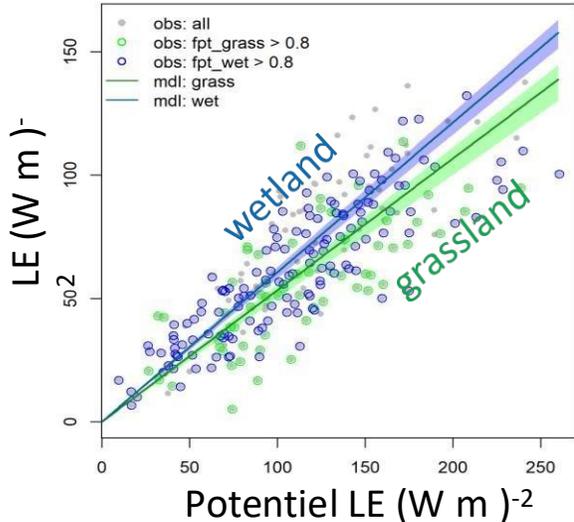
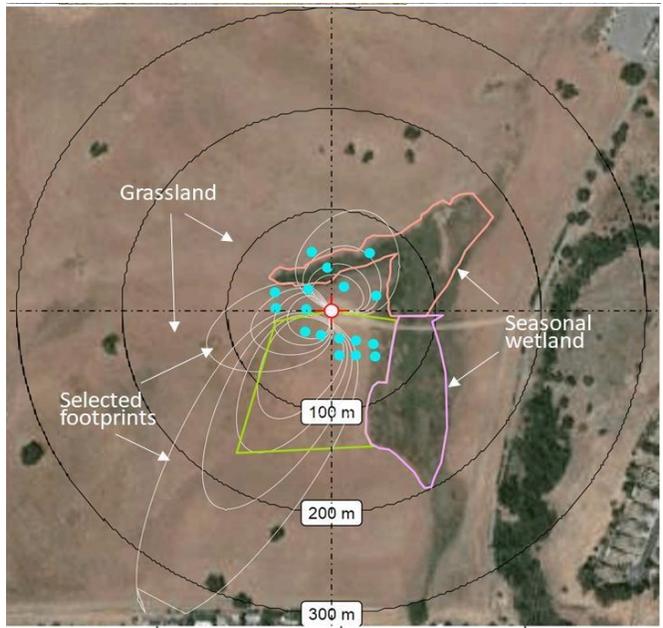
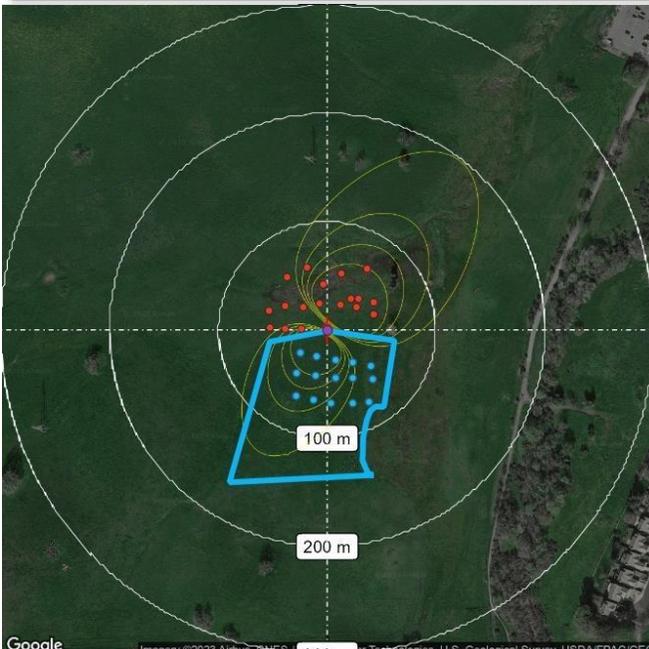


- Définir l'étendue spatiale des mesures des flux.
- Tracer la dynamique spatiale dans le temps.
- Lien vers la surface sous-jacente caractéristiques (source/puits).

Implication et application

- Interprétation ou sous-ensemble des données des flux

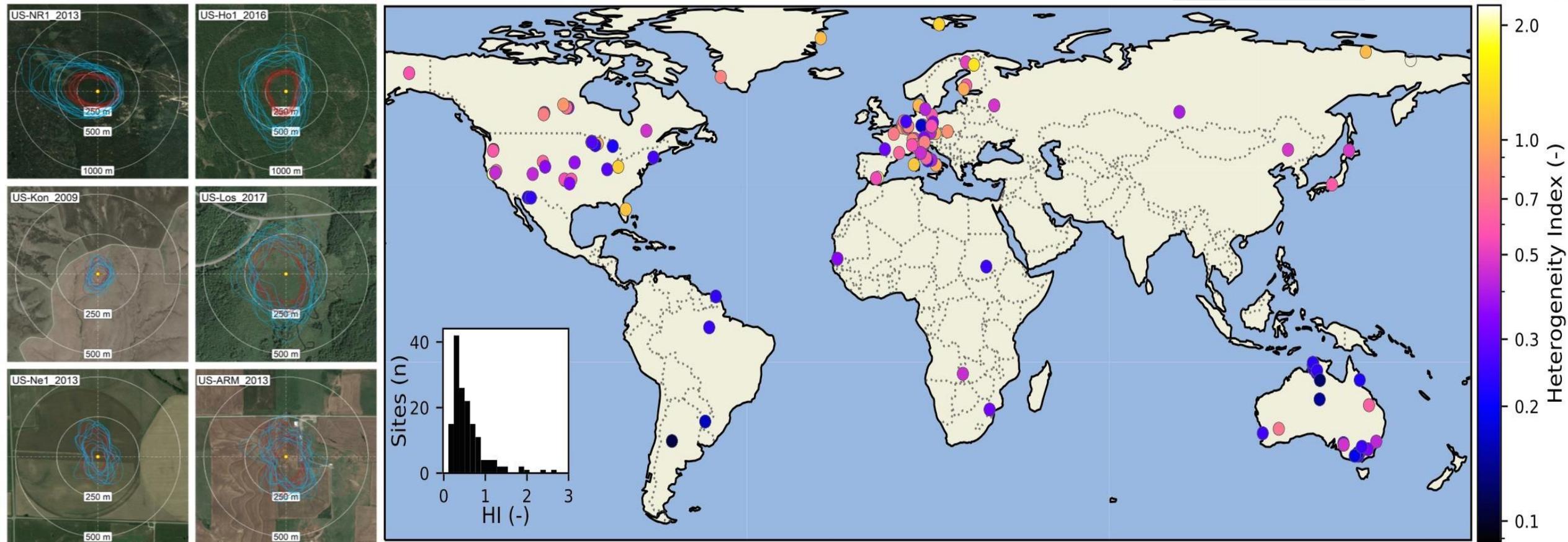
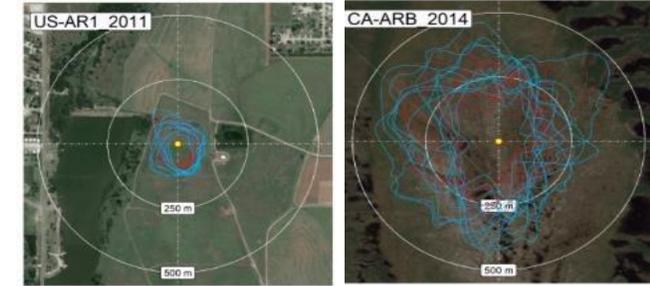
US-CGG



(Chu, Oikawa et al. en preparation)

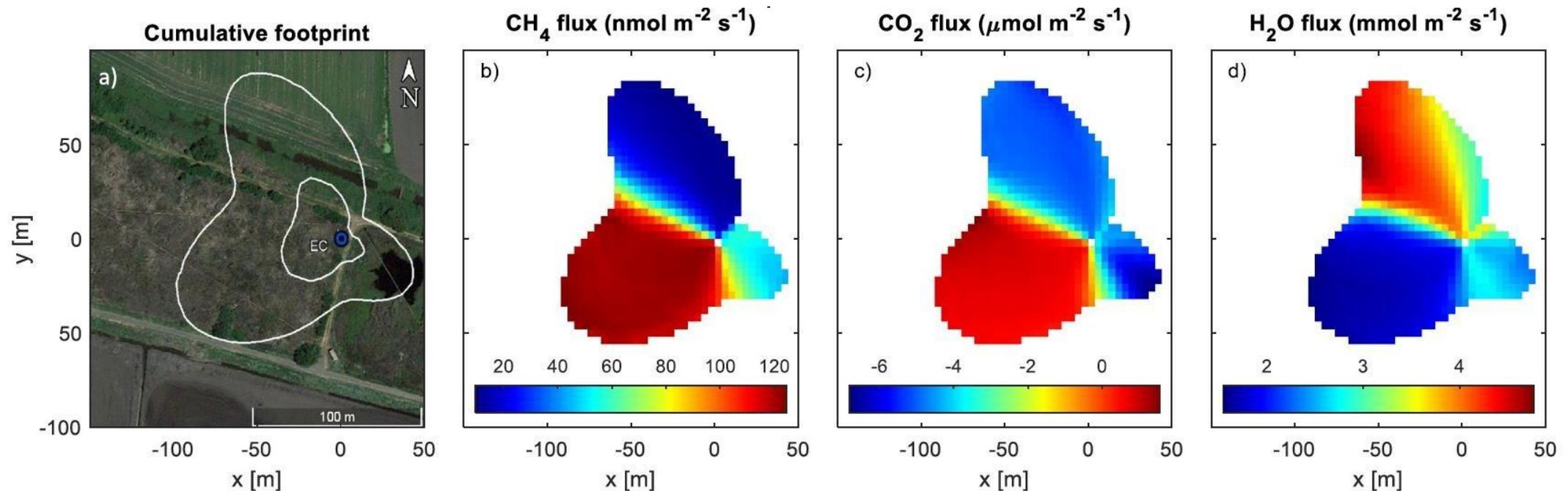
Implication et application

- Interprétation ou sous-ensemble des données des flux
- Sélection ou évaluation des sites de mesure des flux



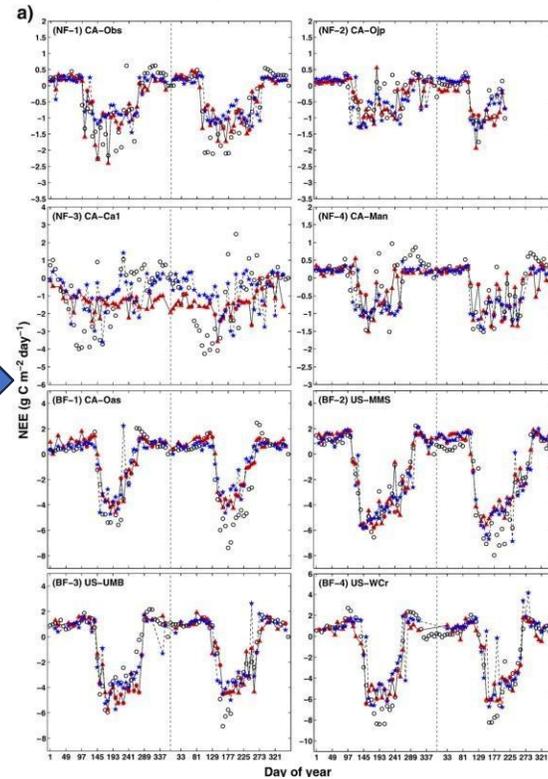
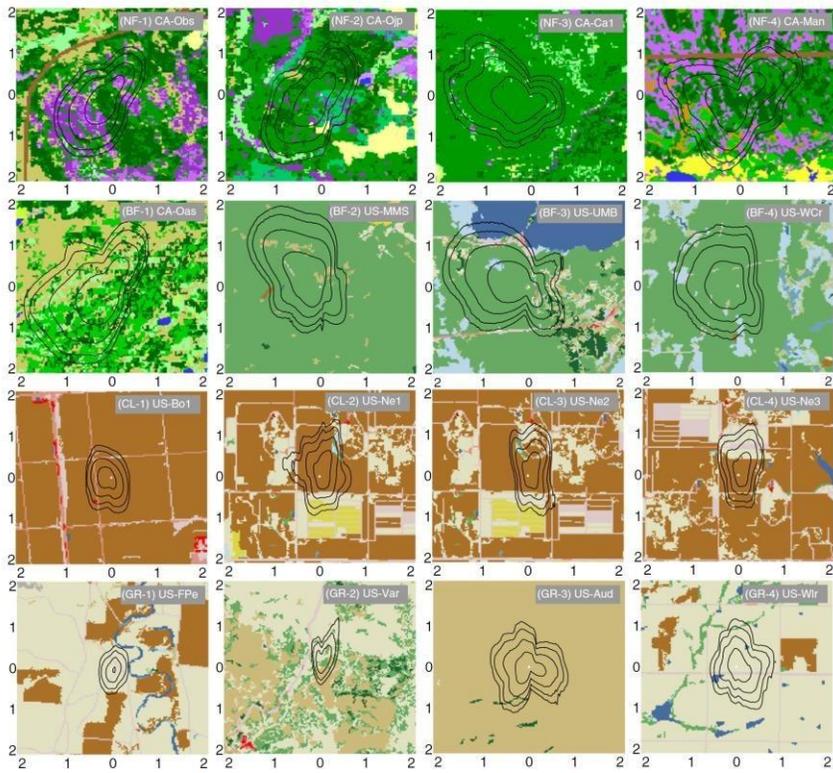
Implication et application

- Interprétation ou sous-ensemble des données des flux
- Sélection ou évaluation des sites de mesure des flux
- Décomposition des données des flux (réduction d'échelle, points chauds)

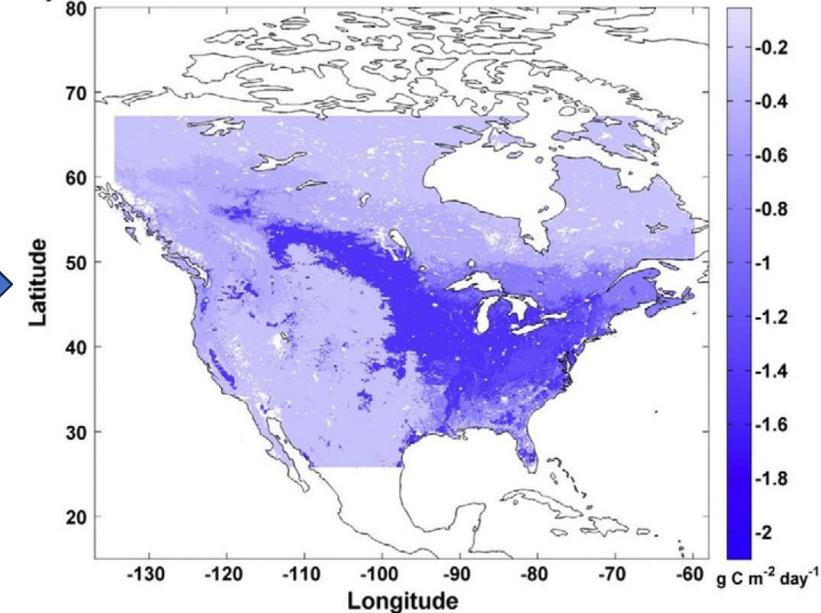


Implication et application

- Interprétation ou sous-ensemble des données des flux
- Sélection ou évaluation des sites de mesure des flux
- Décomposition des données de flux (réduction d'échelle, points chauds)
- Harmonisation avec d'autres données maillées (par exemple, la télédétection)

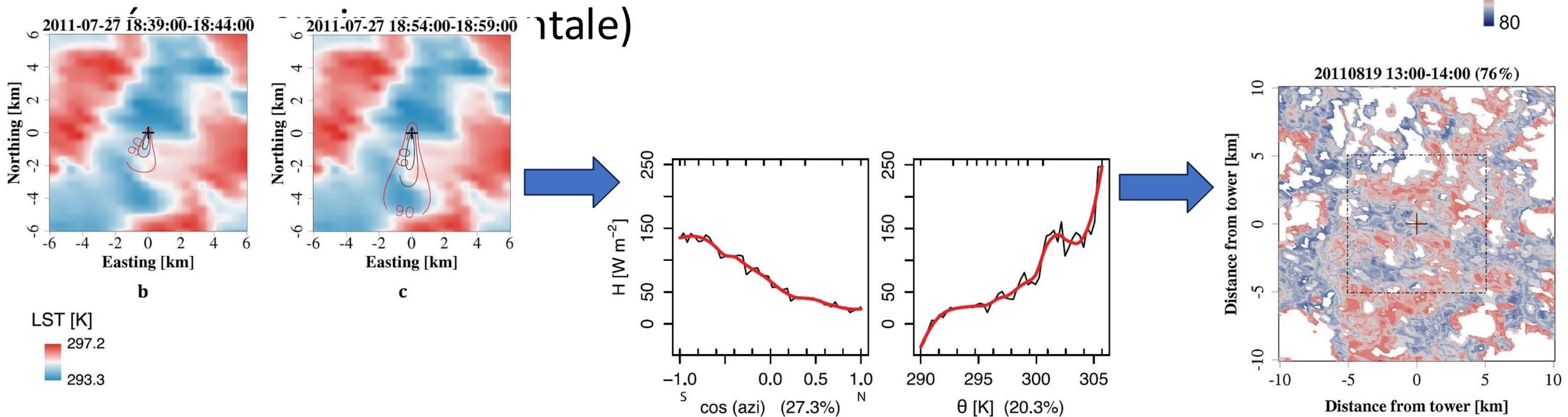


a) EC observed



Implication et application

- Interprétation ou sous-ensemble des données des flux
- Sélection ou évaluation des sites de mesure des flux
- Décomposition des données de flux (réduction d'échelle, points chauds)
- Harmonisation avec d'autres données maillées (par exemple, la télédétection)
- Récolte d'informations spatiales (par exemple, la fonction de



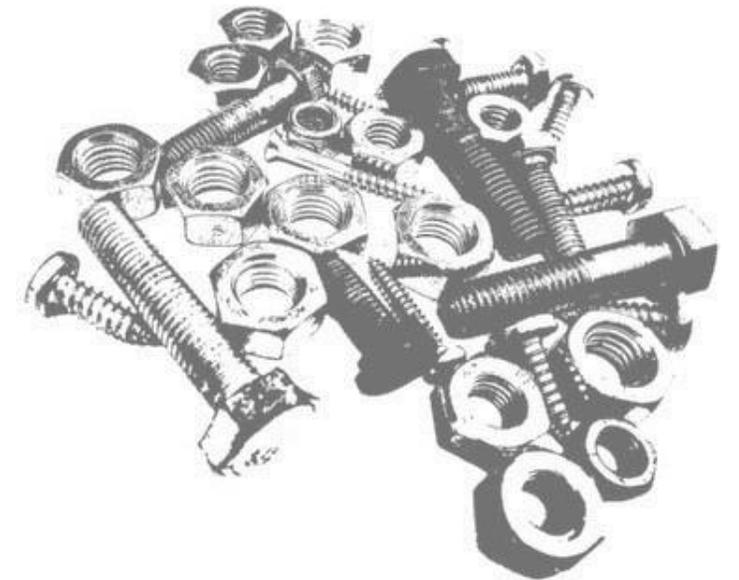
Modèles d'empreinte

- Types de modèles d'empreinte
 - Paramétrage analytique des modèles de dispersion stochastique lagrangiens (Kljun et al., 2004, 2015)
 - Modèles analytiques (par exemple, Hsieh et al., 2000 ; Kormann & Meixner, 2001 ; Schmid, 2002 ; Schuepp et al., 1990)
 - Modèles stochastiques lagrangiens (par exemple, Leclerc & Thurtell, 1990 ; Thomson, 1987 ; Kljun et al., 2002).
- Implémentation
 - Entrée, durée d'exécution, sortie
- Hypothèse
 - Conditions en régime permanent
 - Champ de turbulence horizontalement homogène
 - Pas d'advection verticale
 - Applicabilité de la théorie de la similarité de Monin-Obukhov

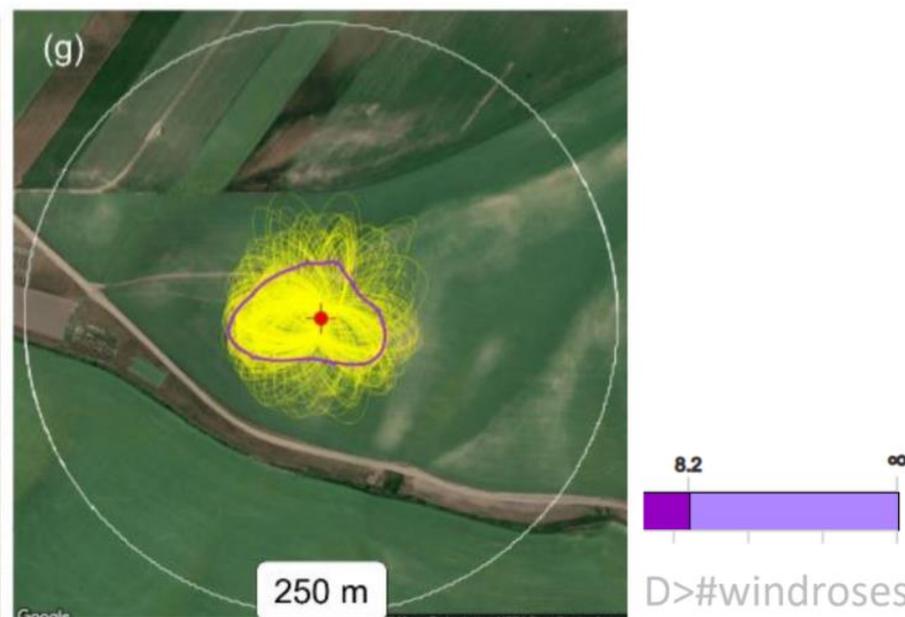
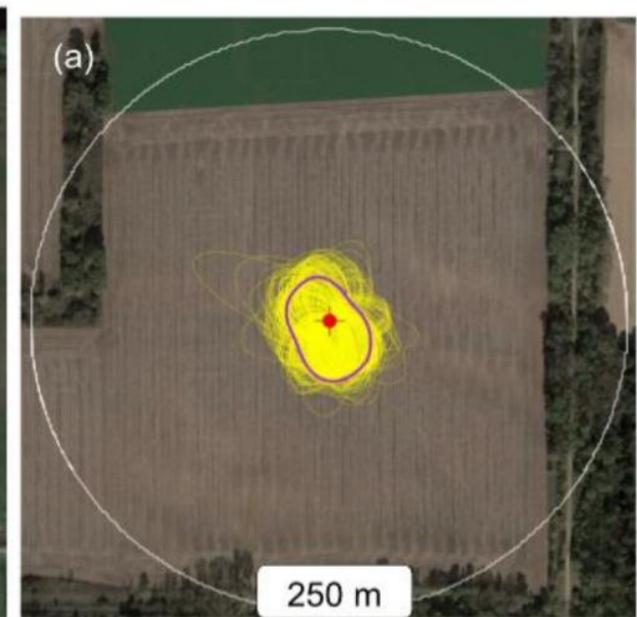
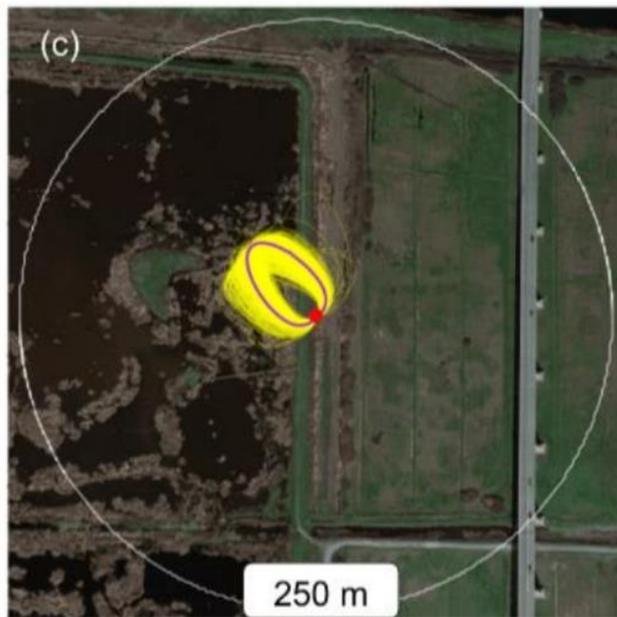
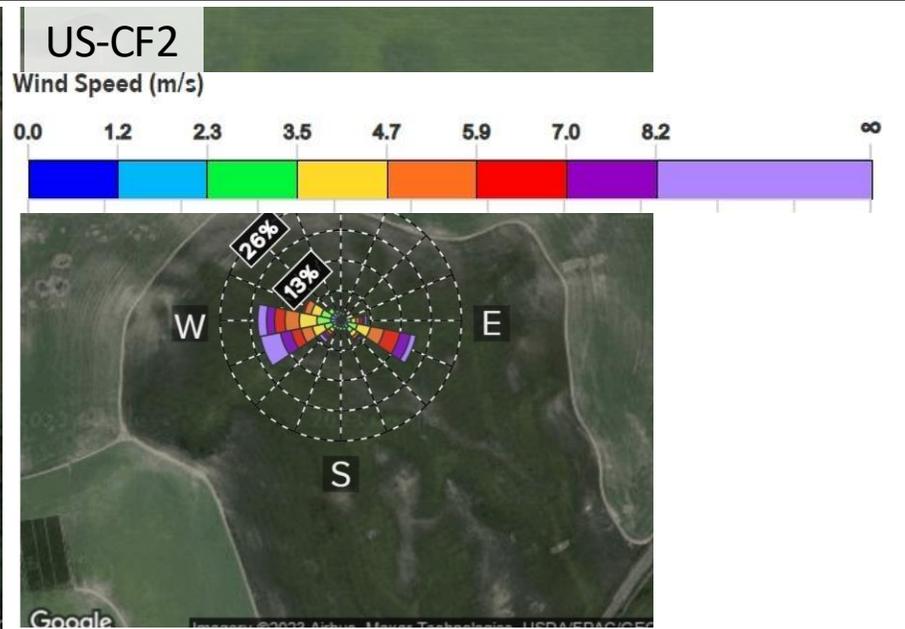
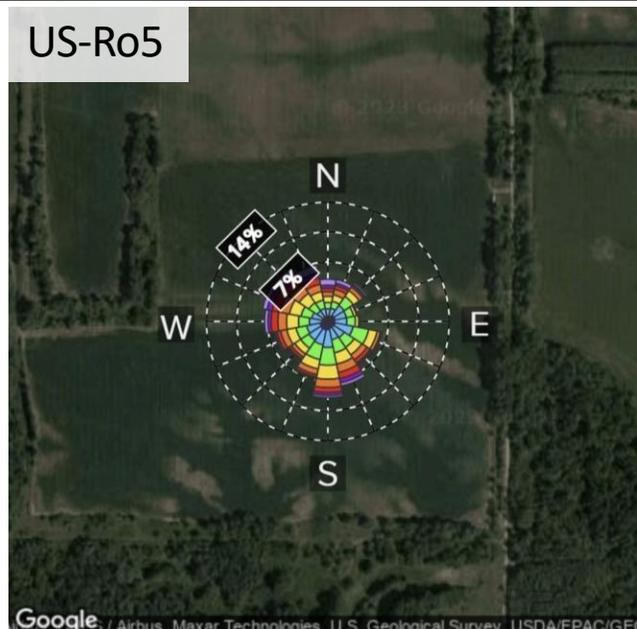


Écrous et boulons

- Direction du vent
- Hauteur de mesure
- Vitesse de frottement
- Hauteur de rugosité
- Stabilité atmosphérique
- Hauteur de la couche limite atmosphérique
- Rafales - variance des vents horizontaux



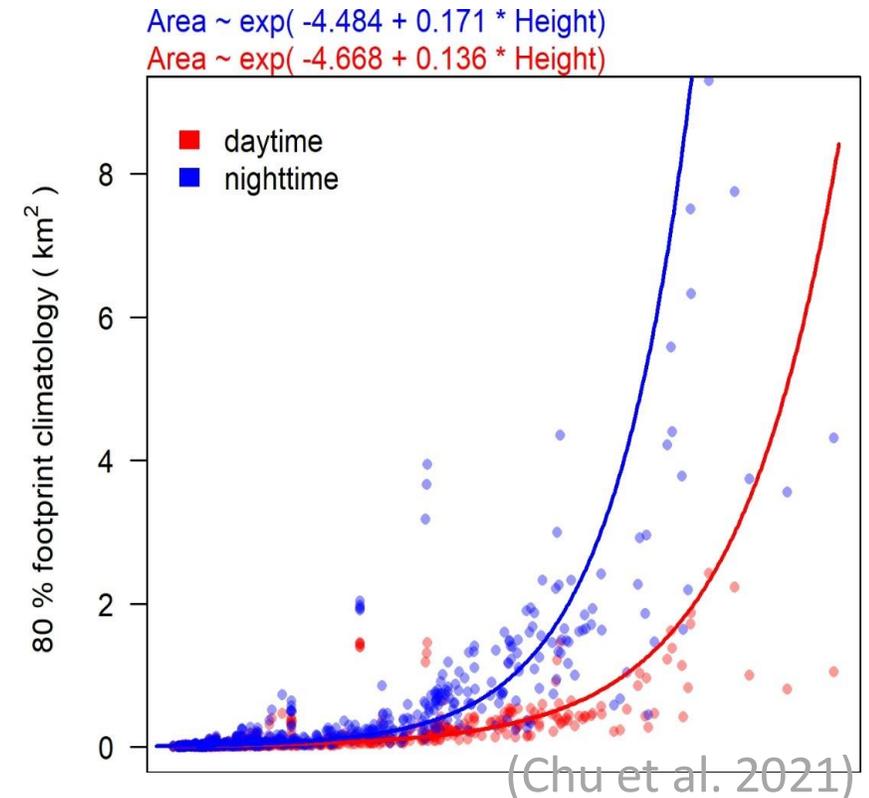
Direction du vent



8.2 ∞
D>#windroses

Hauteur de mesure

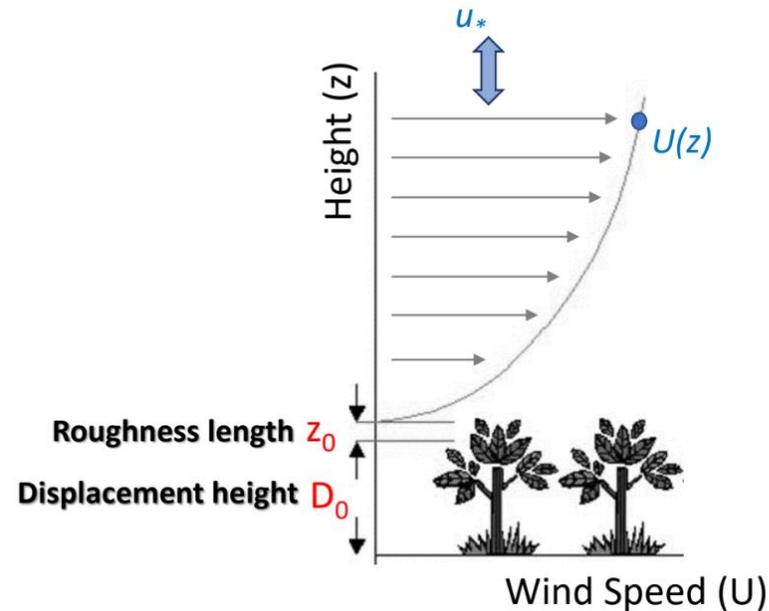
- Pour la plupart des tours de flux, l'encombrement s'échelonne en fonction de la hauteur.
- Très haute tour ou aéroportée (hauteur de la couche limite)
- Hauteur de mesure effective
 - Hauteur de mesure (z) - "hauteur de déplacement" (D)₀
 - D_0 : typiquement, 2/3 de la hauteur maximale de la canopée
 - Séparer l'espace aérien sous-canopée de l'espace aérien inférieur atmosphère "couche superficielle"



Vitesse de frottement

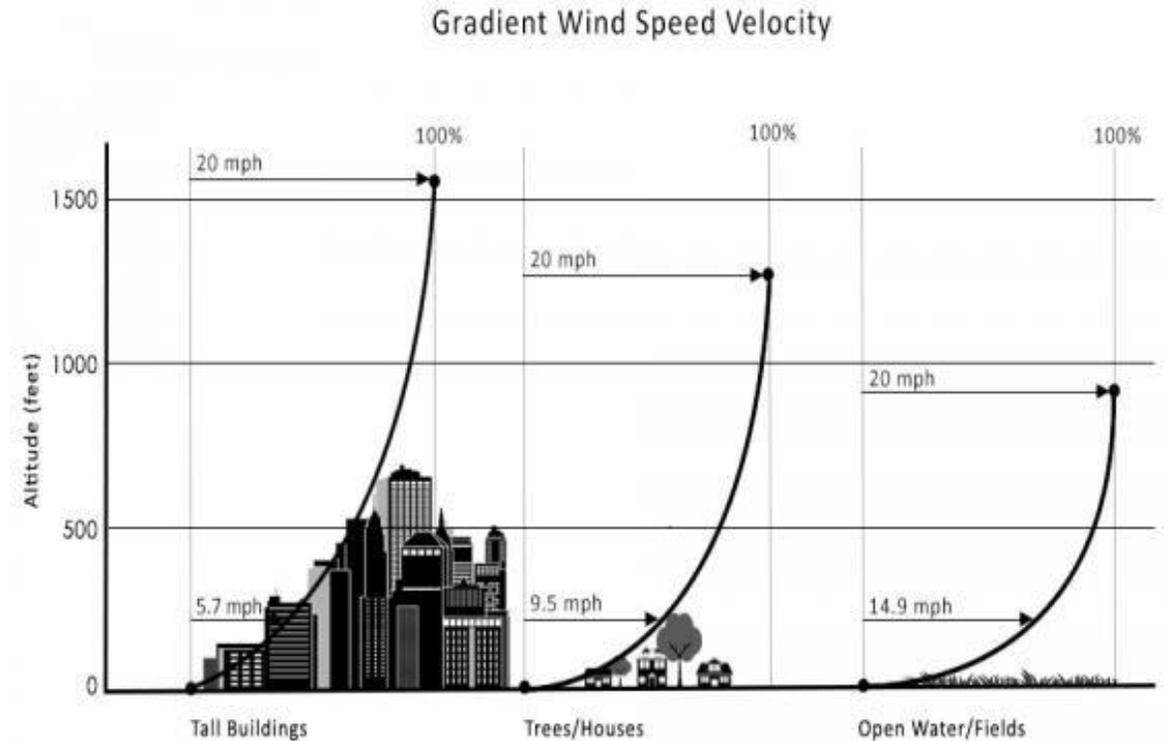
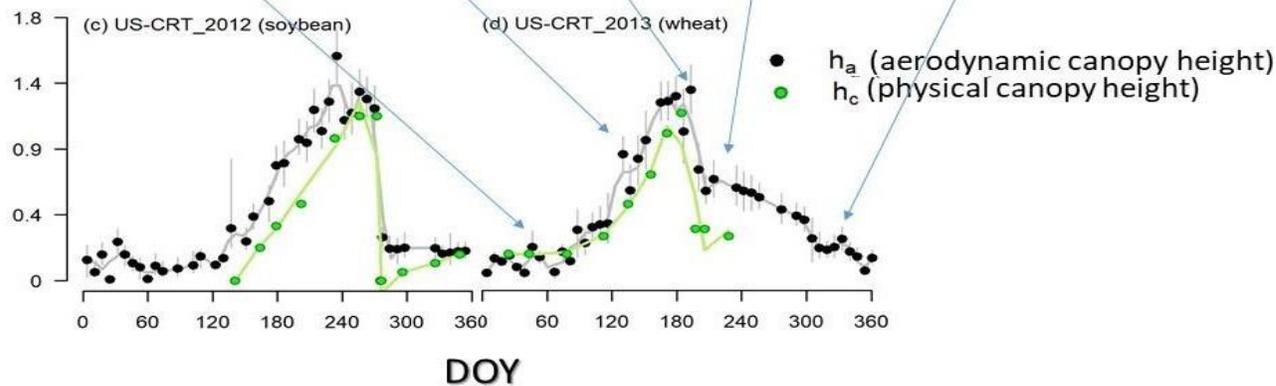
- Appelé u^* (u star), force du cisaillement du vent causé par le frottement de la surface.
- Directement mesurée par les tours de flux à partir du flux de quantité de mouvement ($u'w'$).
- En rapport avec la vitesse du vent et la rugosité.

$$\frac{U}{u_*} = -\ln \frac{z - D_0}{z_0}$$

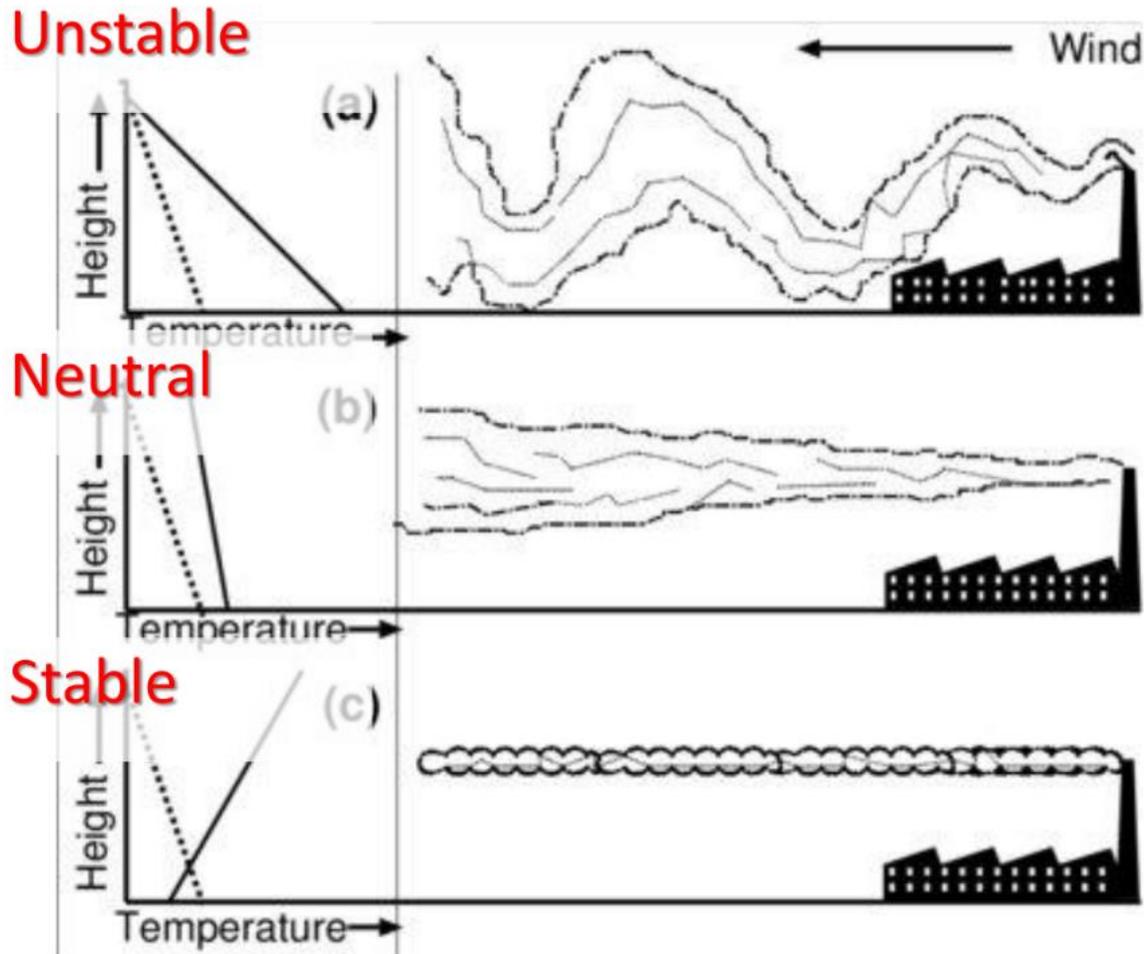


Hauteur de rugosité

- Définir la rugosité de la surface, appelée z_0
- S'adapte à la hauteur de l'élément
 - Typiquement de 0,1 ou 0,15 * hauteur moyenne de la canopée



- Résistance de l'air à la montée et à la descente

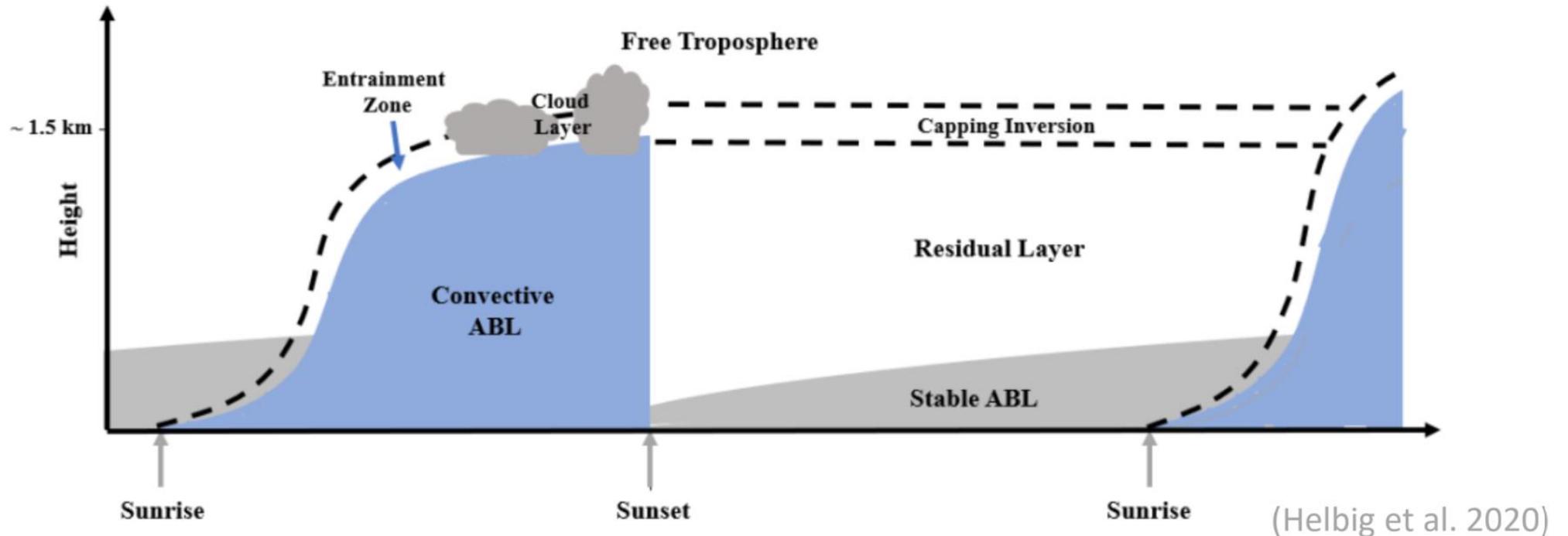


- Longueur Monin-Obukhov
 - Une mesure de la stabilité basée sur le flux de chaleur et la vitesse de frottement, en mètres.
 - Positive = stable, négative = instable, peut varier
 - Le jour, la température est généralement comprise entre -100 et -200, la nuit entre 50 et 200.
 - Peut être calculée à partir des données de la tour ρ

$$L = \frac{-u_*^3 \bar{\theta}}{kgw'\theta'}$$

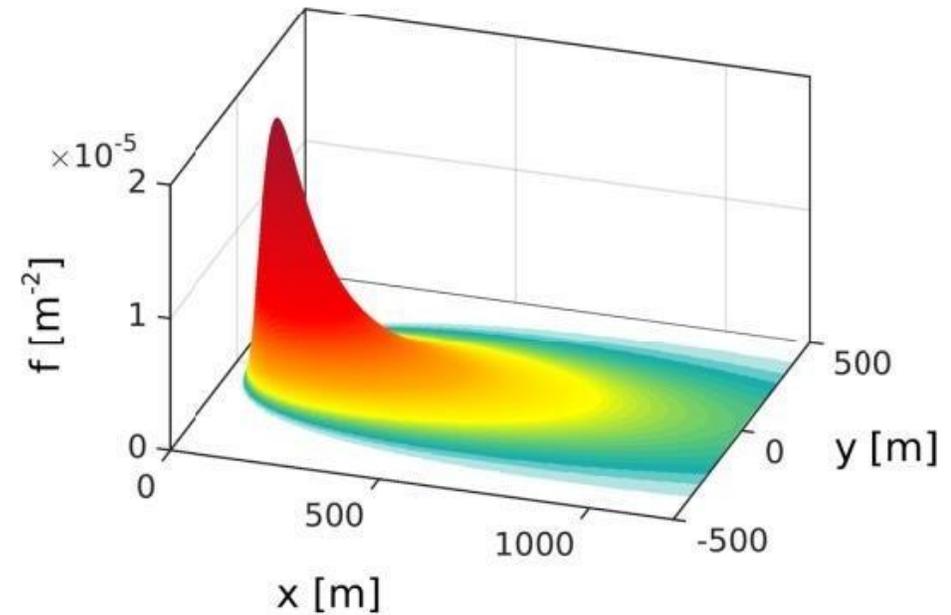
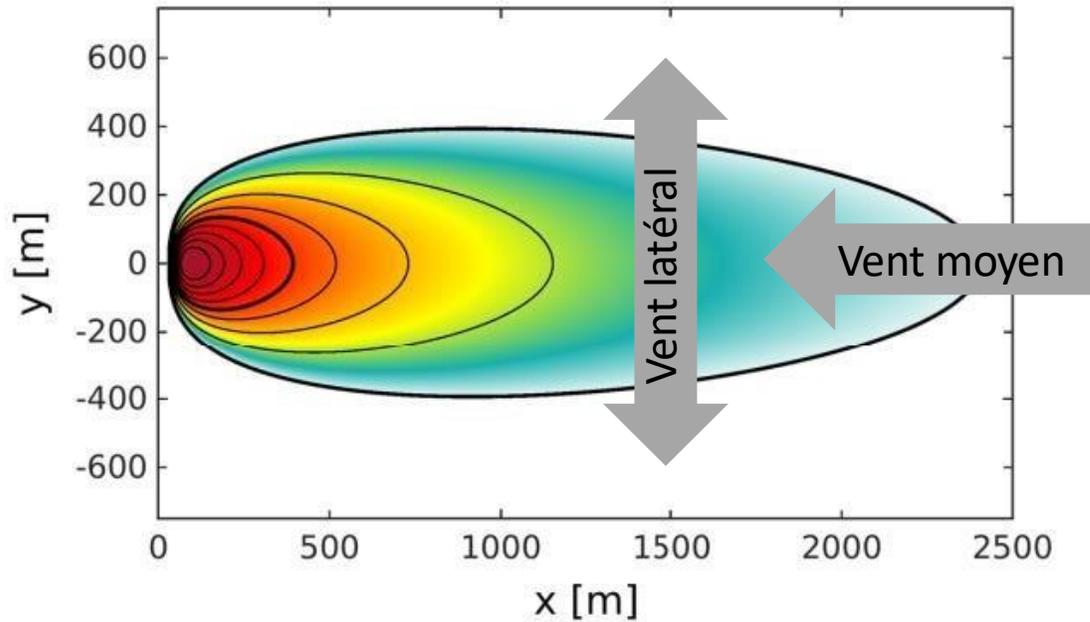
Hauteur de la couche limite

- Profondeur maximale atteinte dans l'atmosphère par les tourbillons à la surface.
- Couche de l'atmosphère directement couplée à la surface sur des échelles de temps < 1 heure.
- Plus élevée le jour, plus faible la nuit.



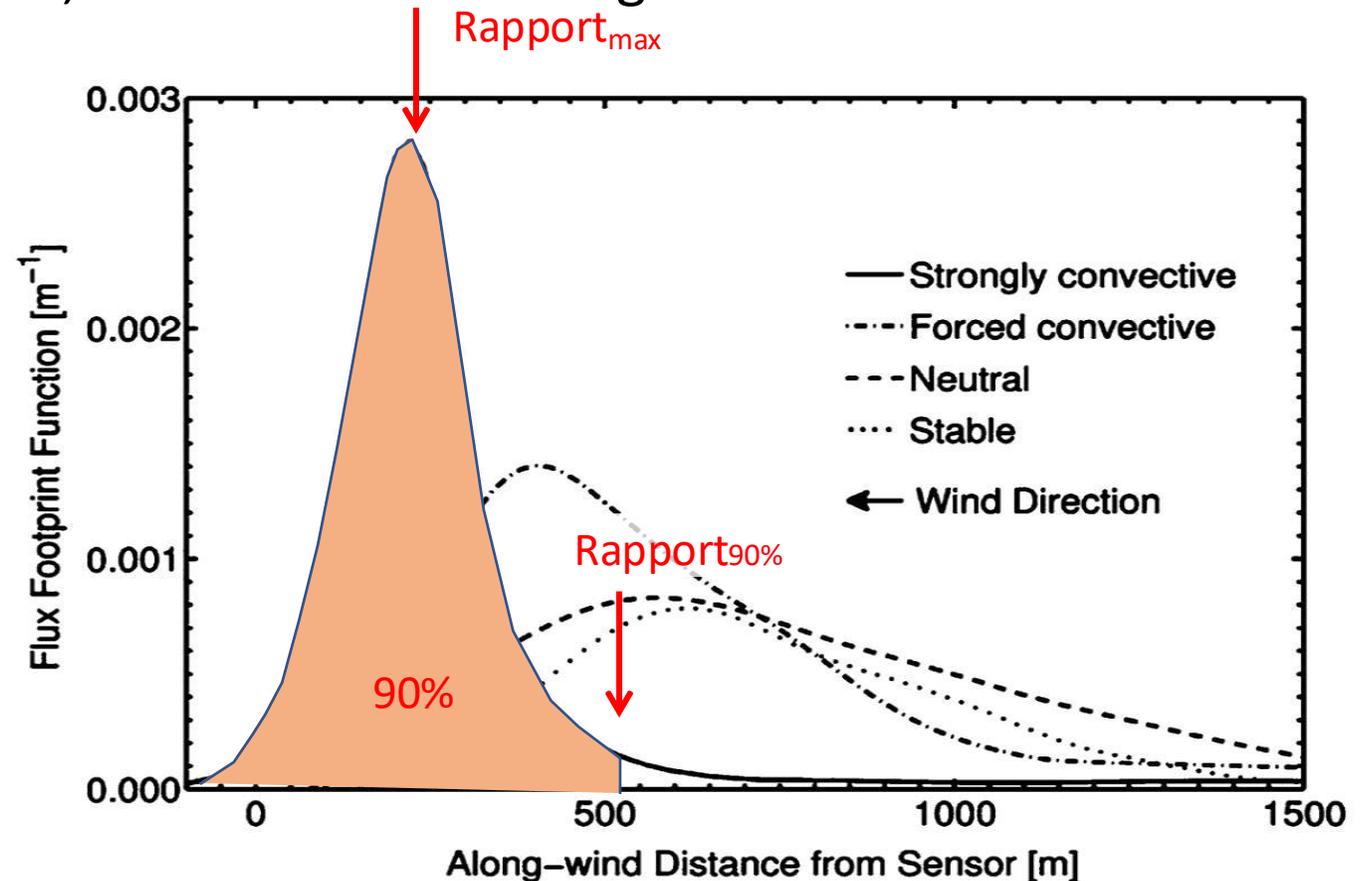
Variance des vents transversaux -- rafales

- Mesurée comme la variance des vents dans la direction perpendiculaire à la direction principale du vent.
- σ_v varie de 0 à 3 m/s.



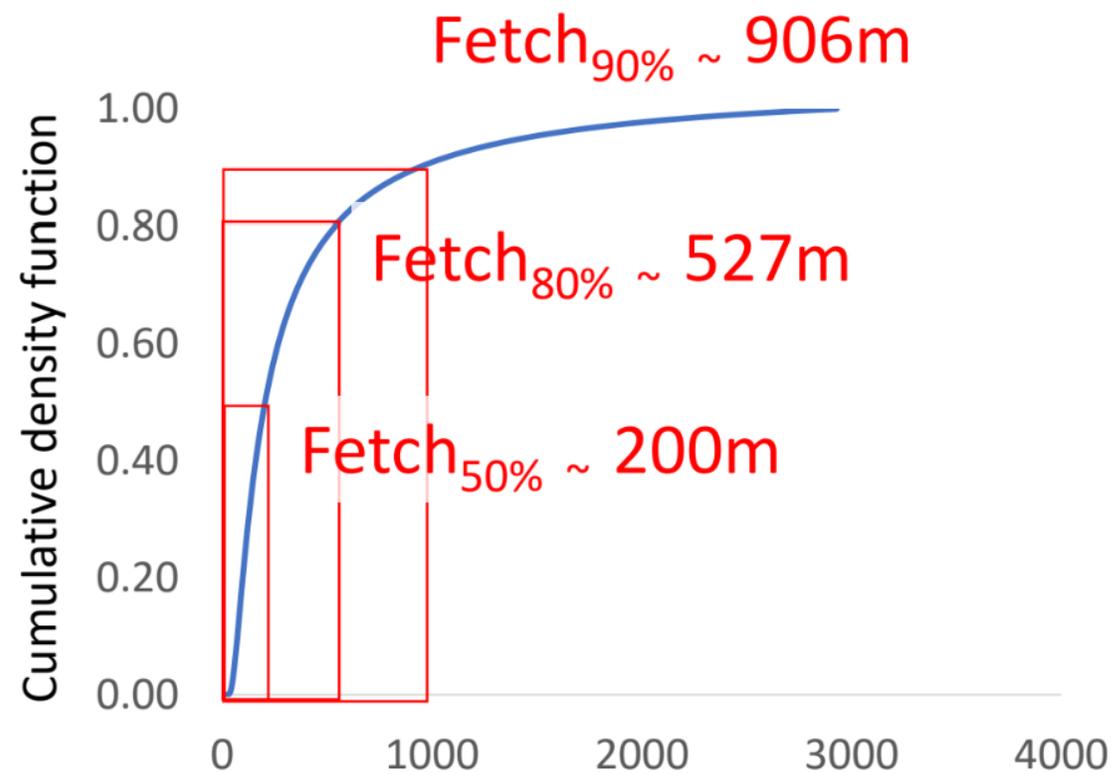
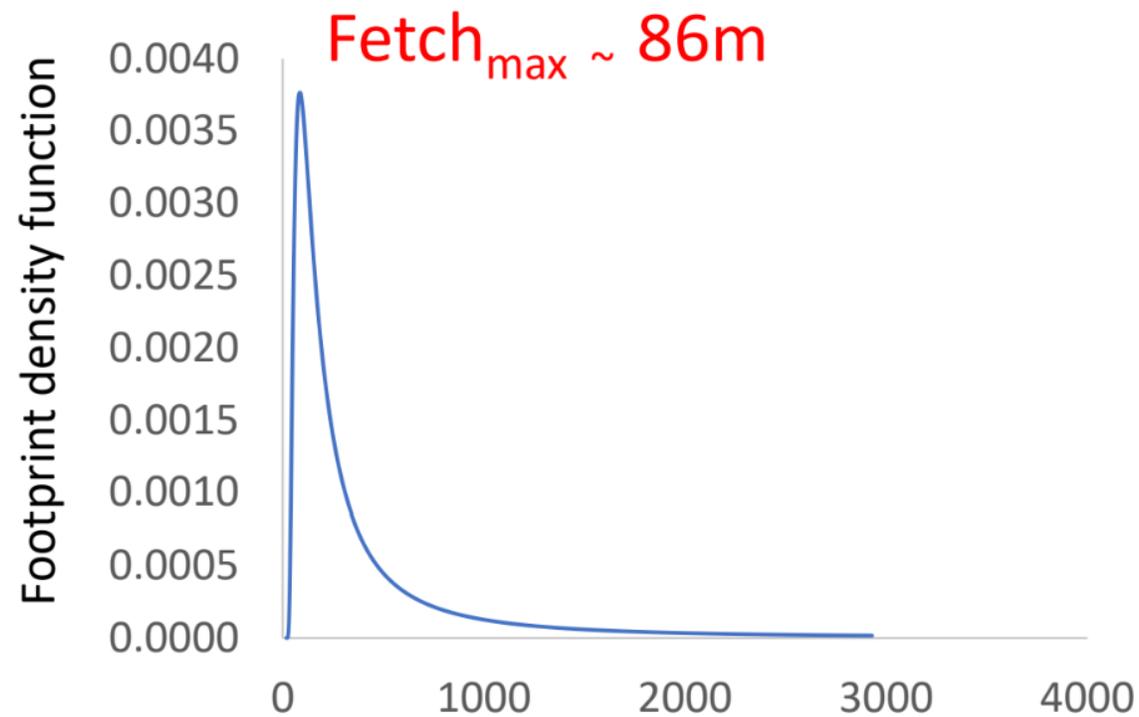
Résultat : Fonction d'empreinte 1-D

- Fonction de densité de probabilité
 - L'aire sous la courbe est égale à 1, bien que, techniquement, elle aille jusqu'à l'infini.
 - Souvent, les distances avec une contribution maximale ou une contribution cumulée de 70 %, 80 % ou 90 % sont signalées.



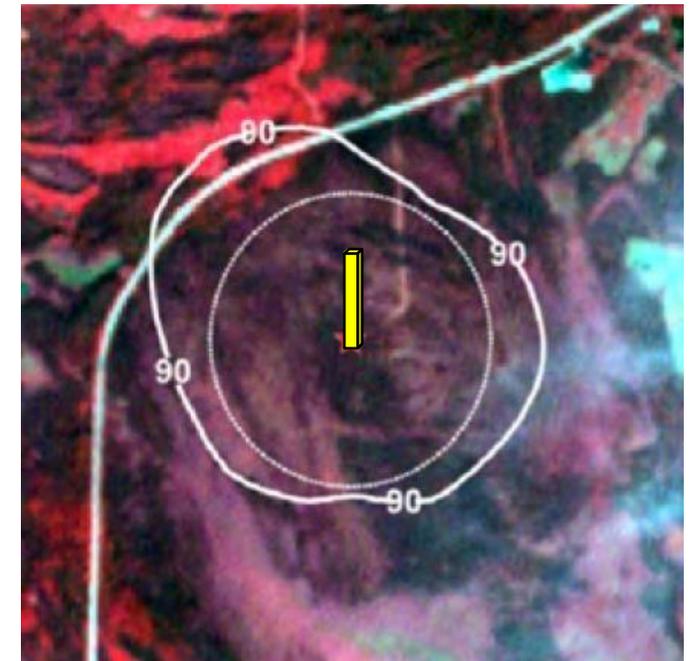
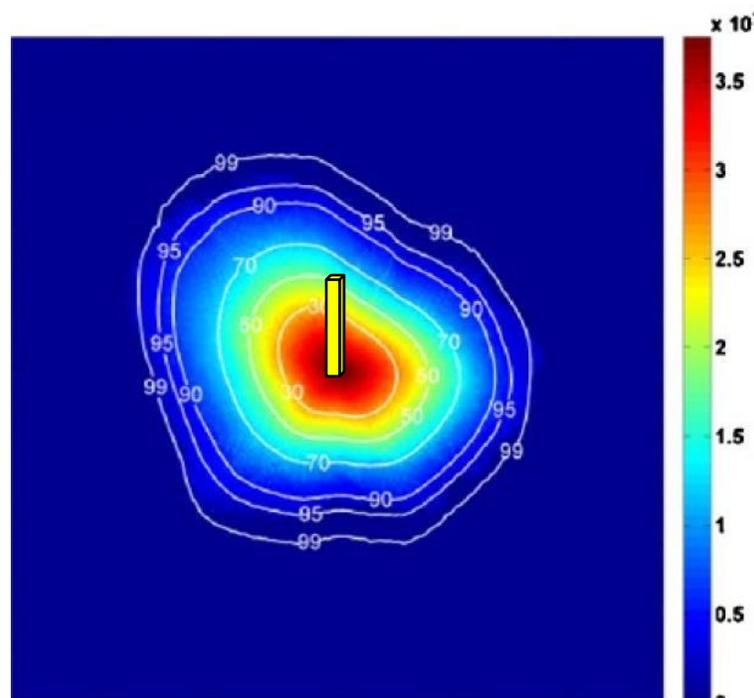
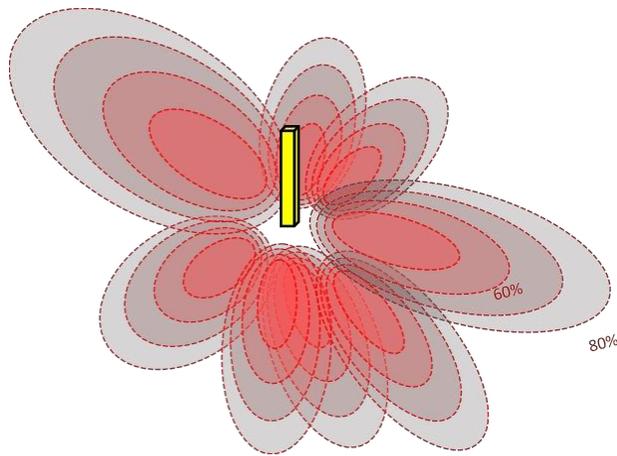
Exercice

- Voir : <https://footprint.kljun.net/index.php>
- Sélectionner en ligne FFP 1D
 - Il s'agit d'une mise en œuvre du modèle d'empreinte de Kljun et al (2004)
- Commencez avec z_m de 20, L de -100, σ_v de 1, u^* de 2, h de 1000, z_0 de 0.1
- Télécharger l'empreinte de sortie
- Ouvrir les fichiers f_{ci} & x_{ci}
 - f_{ci} : l'empreinte intégrée du vent de travers
 - x_{ci} : distance x de la tour
 - Combinez les deux dans une seule feuille et tracez x_{ci} vs f_{ci}
- Ouvrez le fichier x_{ci_max} et notez que la distance de la contribution maximale
- Essayez de varier l'une des valeurs ci-dessus et comparez les empreintes et x_{ci_max}



Résultat : Climatologie de l'empreinte

- Fonction de densité de probabilité moyenne en 2D
 - La somme des probabilités est égale à 1, bien que, techniquement, elle soit infinie
 - Souvent, les lieux où la contribution est maximale, ou les contours où la contribution cumulée est de 70 %, 80 % ou 90 %, sont signalés



Exercice étendu

- Aller sur <https://footprint.kljun.net/index.php>
- Sélectionner le FFP 2D en ligne
 - Il s'agit d'une mise en œuvre du modèle d'empreinte de Kljun et al (2015)
 - L'outil génère une climatologie de l'empreinte superposée à des images Google Earth ou Bing
- Connectez-vous avec votre compte (inscrivez-vous si nécessaire)
- Télécharger des fichiers d'exemples préparés à l'avance (clés USB)
 - Dans le dossier Footprint_exercise\data
 - Fichiers d'exemple de 1 jour provenant d'une forêt (vent d'ouest vs vent d'est), d'une culture de maïs (en croissance vs en jachère) et d'une zone humide
- Indiquez la latitude et la longitude du site choisi.
- Attendez le résultat dans votre courrier électronique, téléchargez
 - Ou utilisez les résultats pré-générés dans le dossier Footprint_exercise/output
- Jetez un coup d'œil aux tracés (fichiers png)
- Comparer la façon dont les empreintes varient selon les sites, les directions du vent et les saisons

Implication et application

- Interprétation ou sous-ensemble des données des flux
 - Amiro, 1998 ; Detto et al, 2006 ; Griebel et al, 2016 ; Kim et al, 2018... beaucoup plus
- Sélection ou évaluation des sites de mesure des flux
 - Göckede et al., 2006, 2008 ; Chen et al., 2011, 2012 ; Chu et al., 2021
- Décomposition des données des flux (réduction d'échelle, points chauds)
 - Wang et al, 2006 ; Rey-Sanchez et al, 2018, 2022 ; Levy et al, 2020
- Harmonisation avec d'autres données maillées (par exemple, la télédétection)
 - Fu et al. 2014 ; DuBois et al. 2018 ; Xu et al. 2019 ; Kong et al. 2022
- Récolte d'informations spatiales (par exemple, la fonction de réponse environnementale)
 - Metzger et al. 2018, Xu et al. 2017, Wiesner et al. 2022