



Ecole d'hiver 2015

Méthode des fluctuations turbulentes ou Eddy covariance

Rim Zitouna Chebbi

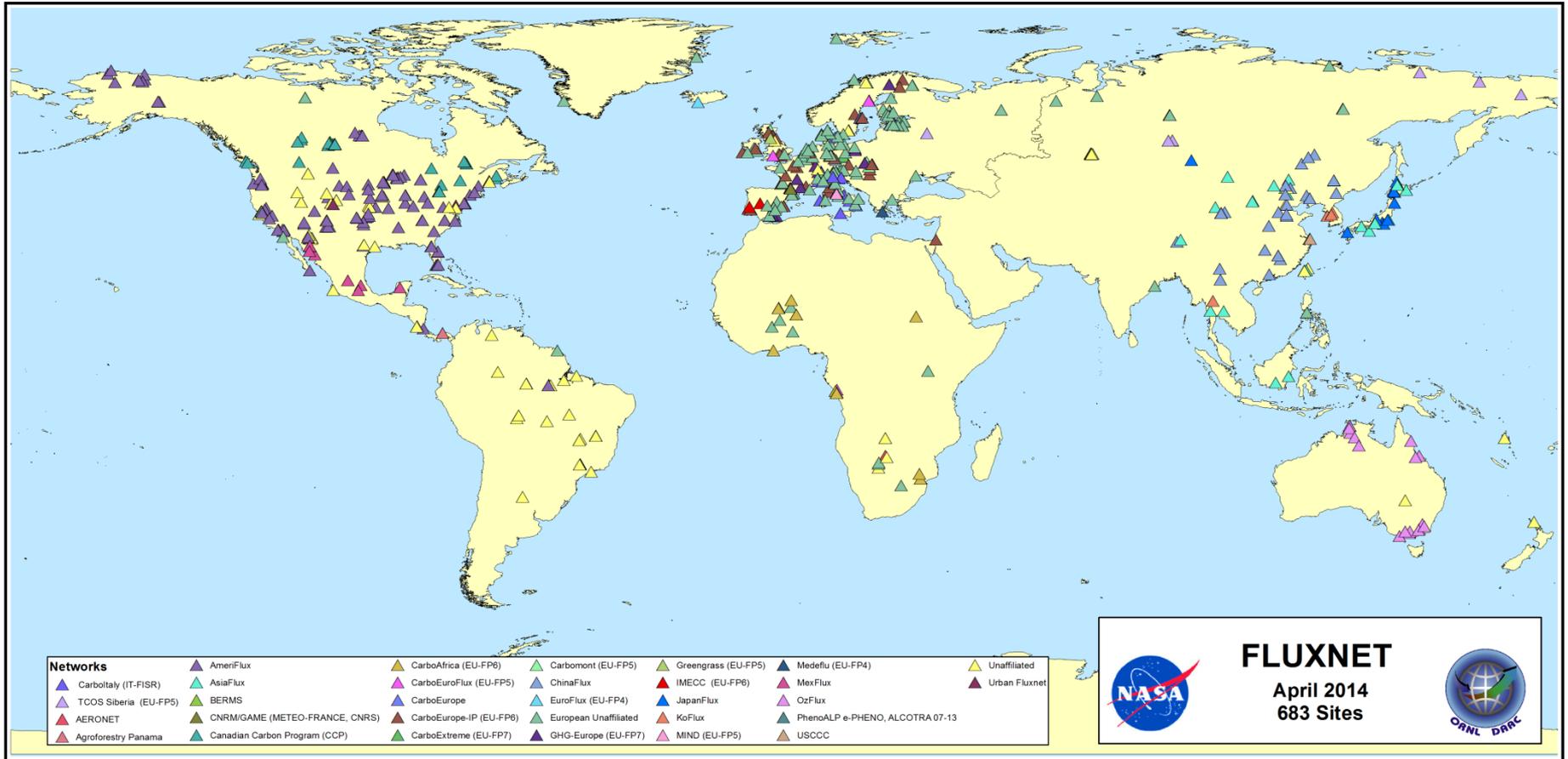
INRGREF



AMETHYST



The regional networks and FLUXNET.



<http://fluxnet.ornl.gov/>

Pourquoi observer les échanges surface-atmosphère?

En plus de l'étude de la pollution

- **Evapotranspiration**
 - ressources en eau
- **Microclimat dans le couvert végétal**
 - conditions de croissance, phénologie
 - gel , stress thermique
 - maladies
 - qualité des productions
- **Météorologie et climatologie**
 - ↔ condition limite inférieure des modèles
- **Changement climatique**
 - effets sur la production agricole
 - effets sur les ressources en eau

Objectif

Eddy covariance

un outil statistique

+

les mesures de la vitesse du vent
et de l'humidité

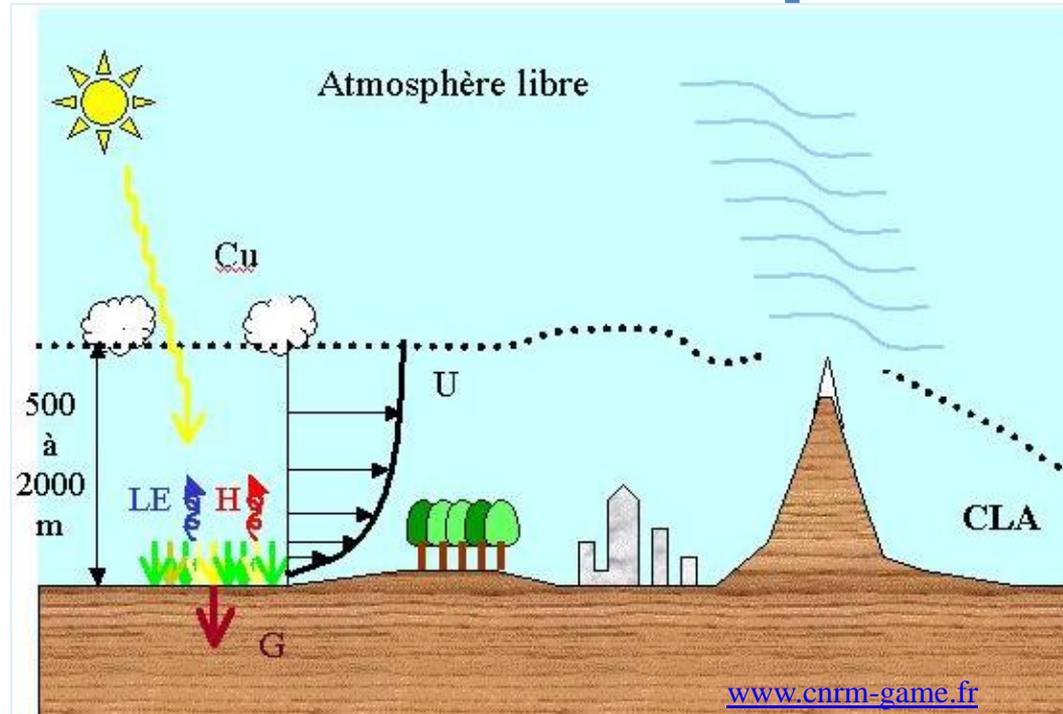
**ETR à l'échelle de la
parcelle agricole et
plus.**

Plan

- Introduction et Objectif
- 1- Notions de base
- 2- Méthode d'Eddy covariance
- 3- Fetch et Footprint
- 4-Calcul des flux
- Conclusion

Où se fait le transfert de l'énergie entre la surface et l'atmosphère?

Couche limite atmosphérique



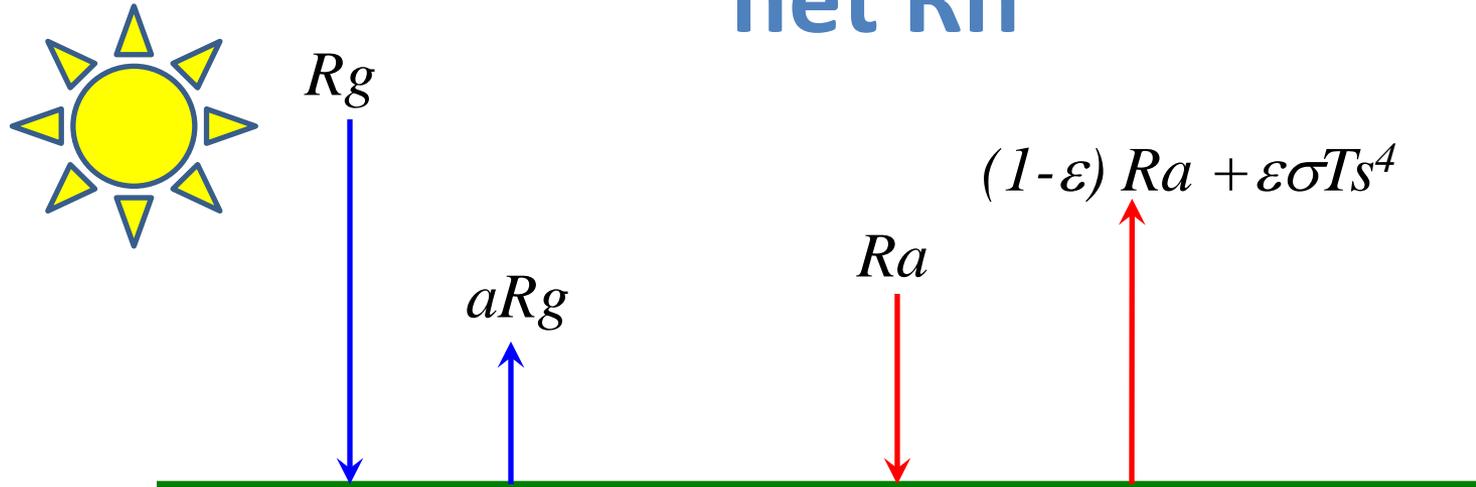
500 à 2000 m

CLA

Influencée par la rugosité de la surface

Milieu turbulent

Bilan radiatif de surface : le rayonnement net R_n



$$R_n = (1 - a)R_g + \varepsilon(R_a - \sigma T_s^4)$$

R_n : énergie radiative disponible à la surface

Bilan d'énergie d'une surface mince : cas de la parcelle agricole

Transfert radiatif

Transfert convectif

R_n

bilan radiatif

$$R_n = H + \lambda E + G$$

H

chaleur sensible

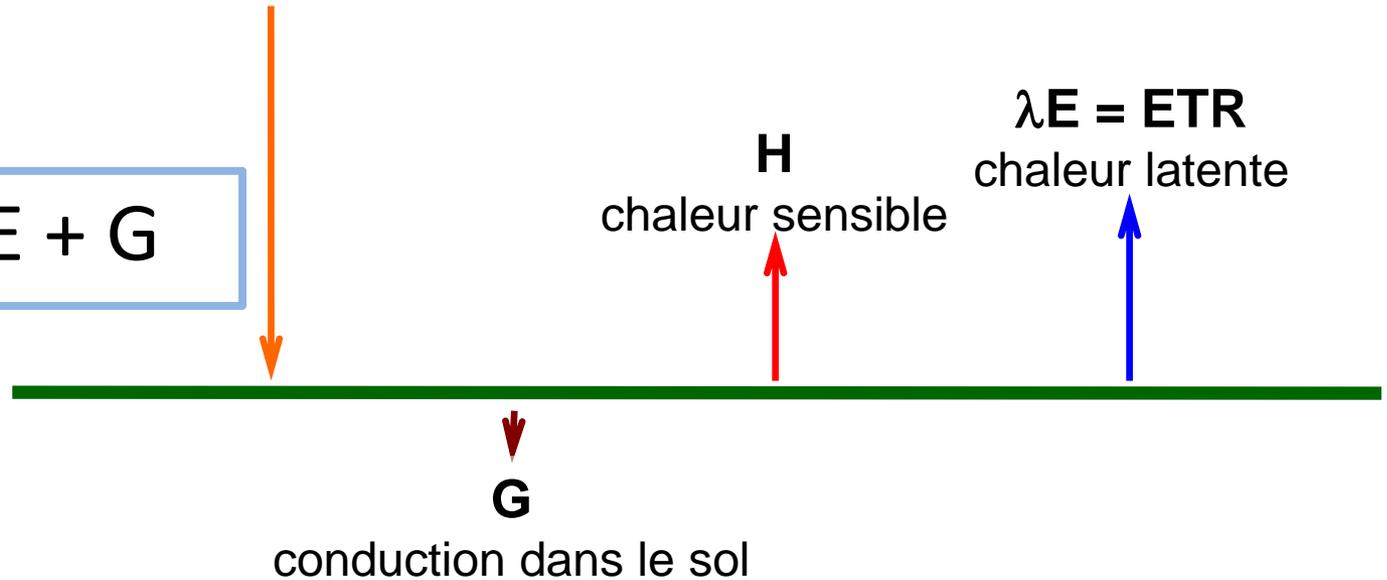
$\lambda E = ETR$

chaleur latente

G

conduction dans le sol

Transfert conductif



Notion de flux turbulents : les « eddys »

Le transport de la chaleur et de l'humidité dans CLA est gouverné par la turbulence.



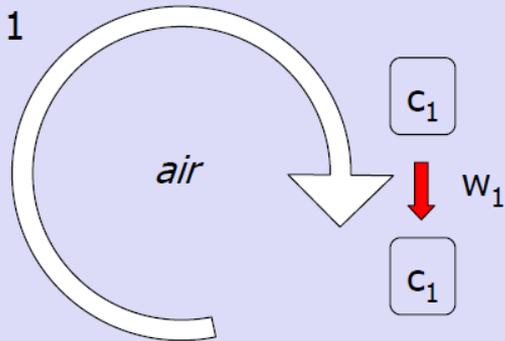
Écoulement horizontal de mouvements
tourbillons (eddy)

Principe de la mesure des flux par covariances turbulentes

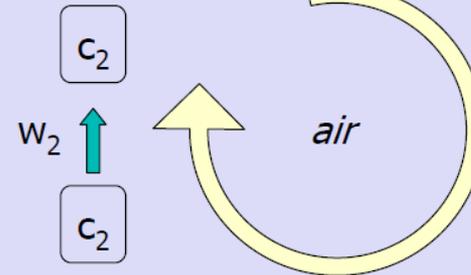


EDDIES AT ONE POINT

time 1
eddy 1



time 2
eddy 2



$$\overline{F_c} = \overline{wC}$$

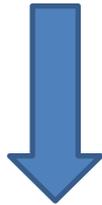
Eddy covariance : outil statistique

Reynolds decomposition

$$\overline{F_c} = \overline{wc} = \overline{(w + w')(c + c')}$$

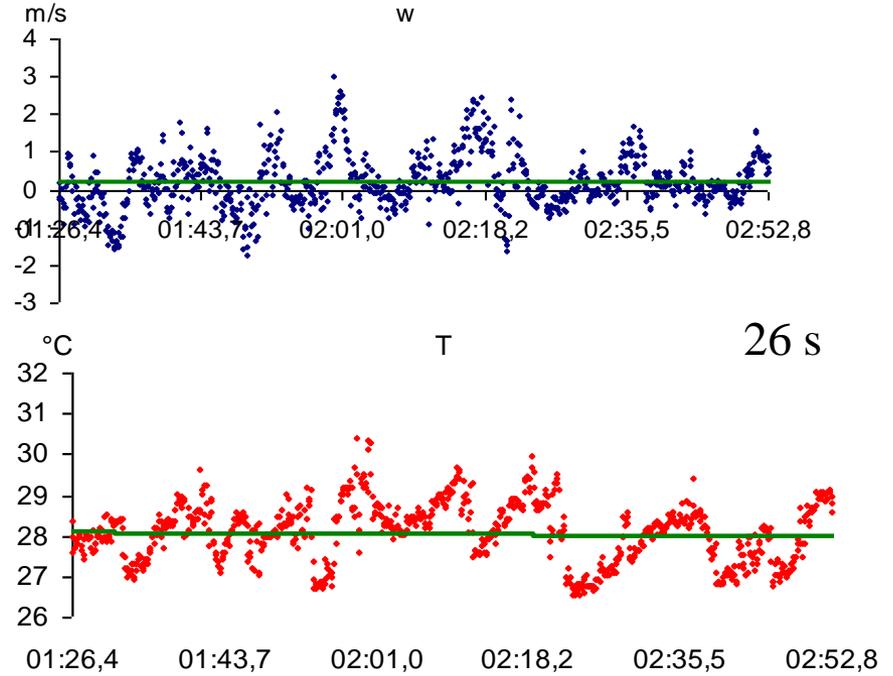
$$\overline{F_c} = \overline{wc} + \overline{wc'} + \overline{w'c} + \overline{w'c'}$$

$$\overline{w} = 0 \quad \overline{w'} = 0 \quad \overline{c'} = 0$$



$$\overline{F_c} = \overline{w'c'} = \text{COV}(w, c)$$

$$\widehat{\text{Cov}}(X, Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}).$$



$$LE = \rho L \overline{w'q'}$$

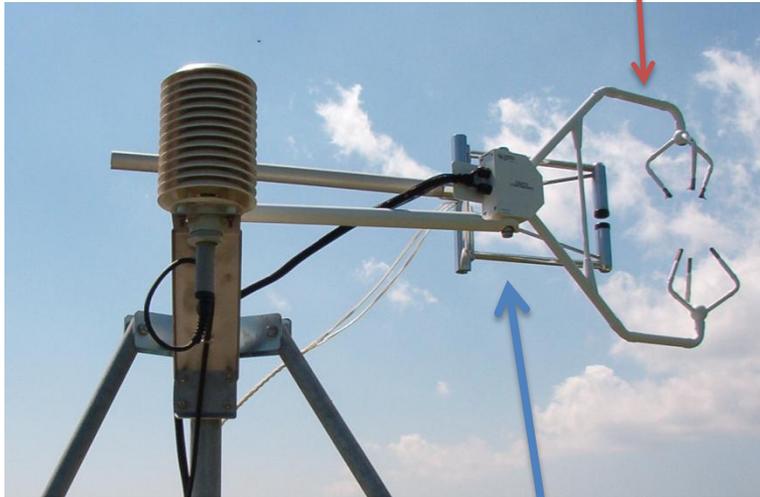
$$H = \rho C_p \overline{w'T'}$$



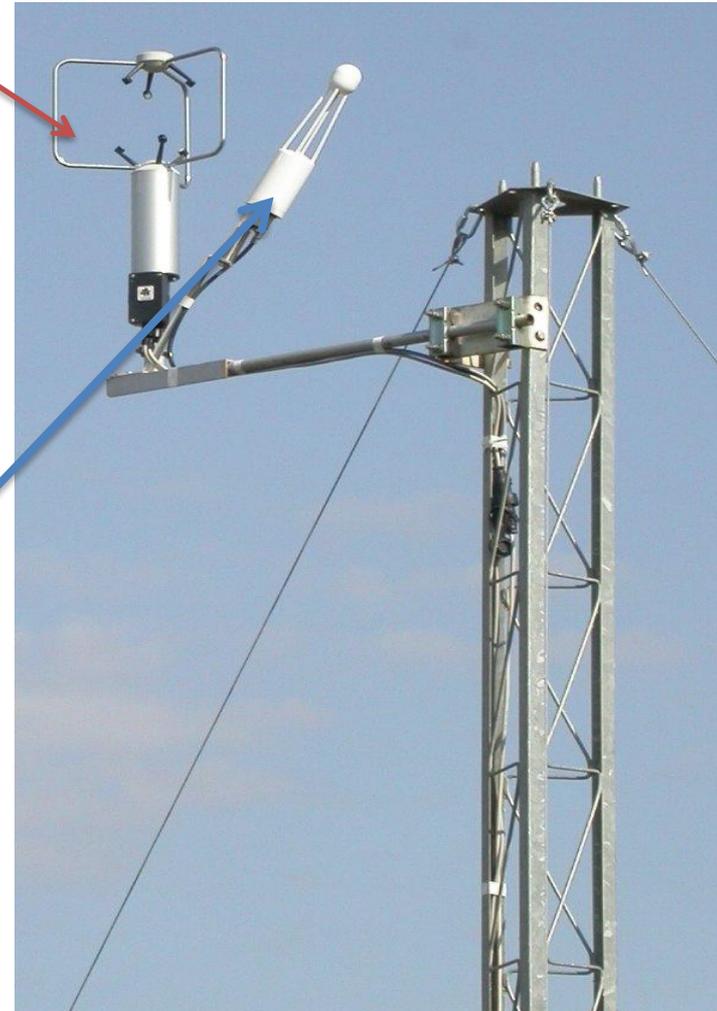
Instrumentes rapides mesurant w et c à la même fréquence.

Instruments de mesure

Anémomètre sonique à 3D
(u , v , w , T)

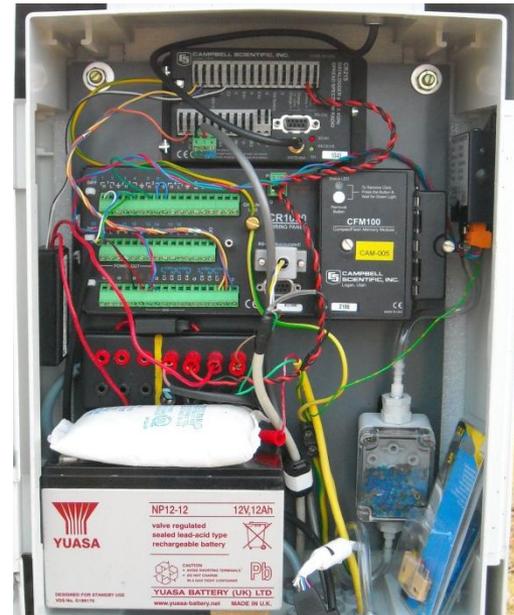
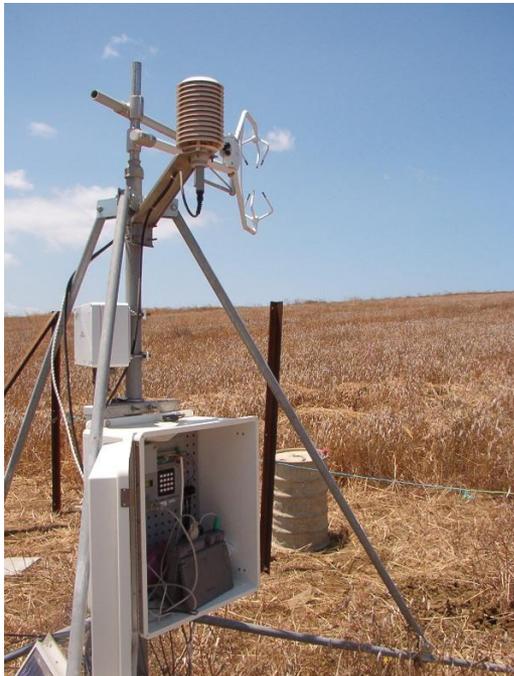


Hygromètre optique (q)



Acquisition de données

Acquisition de données en continu

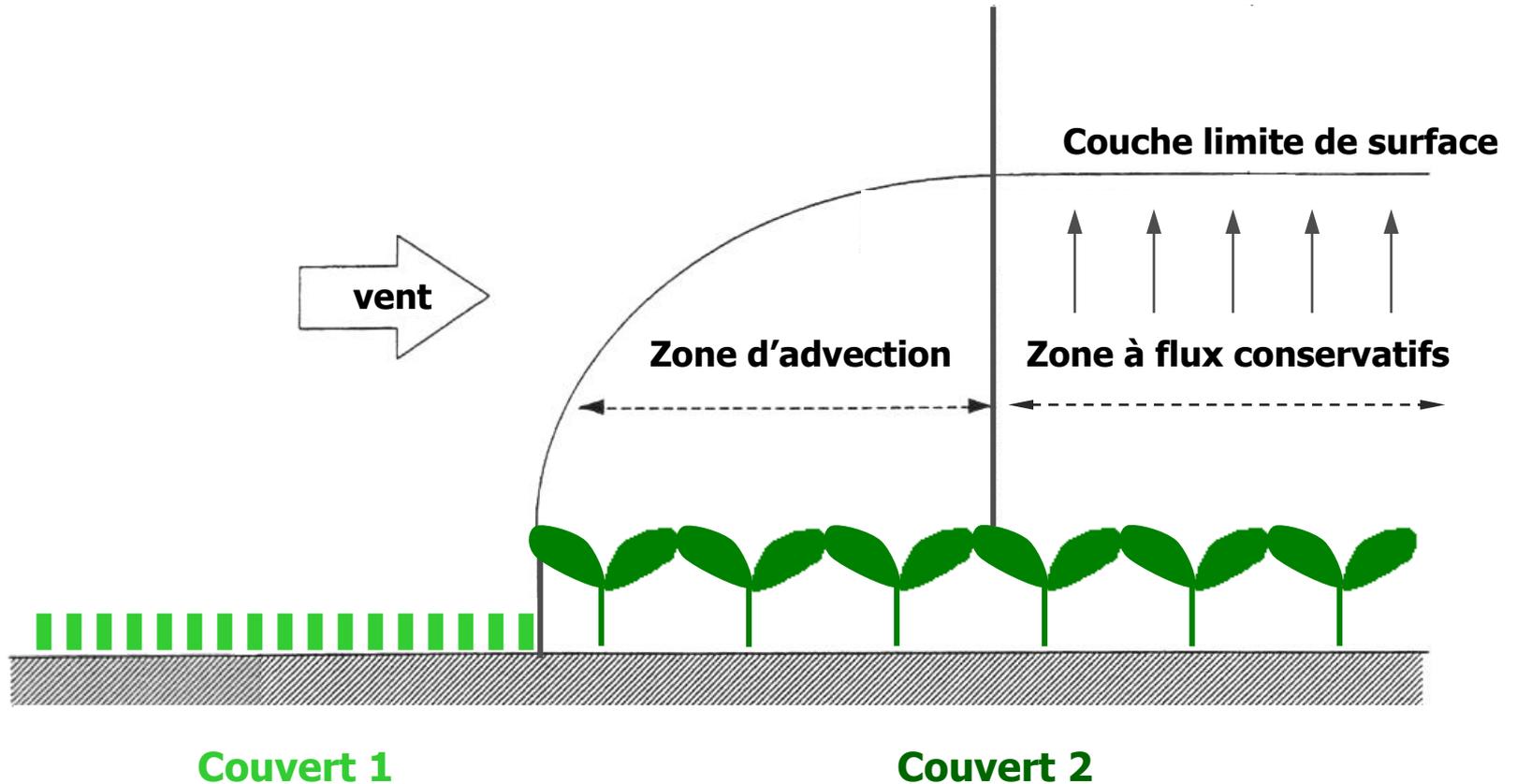


2- Méthode d'Eddy covariance

Hauteur de mesure



Fetch



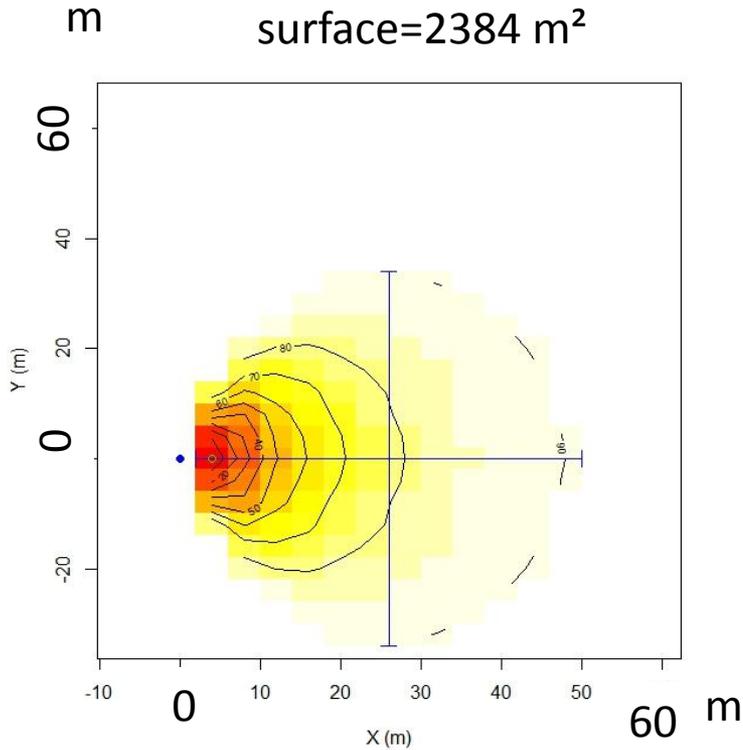
- une zone de flux transitoire existe entre deux couverts adjacents
- la zone de fetch est la distance à partir de laquelle l'influence de l'advection ne se fait plus sentir (la zone à flux conservatifs)

Footprint (1)

surface source ou surface d'influence

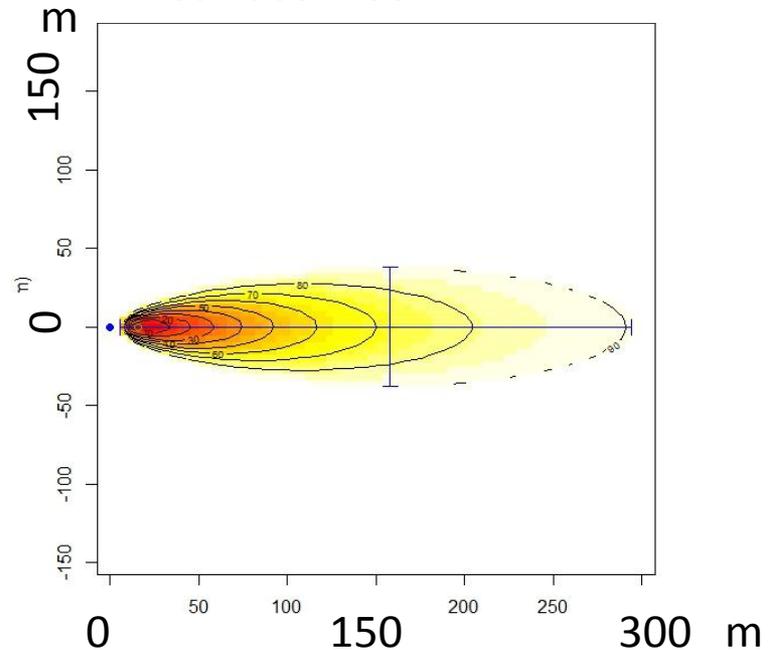
Model: Horst and Weil (1994)

$Z_m=6$ m, $z_h=3$ m, $u_*=0.2$ m/s,
surface= 2384 m²



la direction et la vitesse du vent
La stabilité atmosphériques

$Z_m=6$ m, $z_h=3$ m, $u_*=0.52$ m/s,
surface= 16622 m²

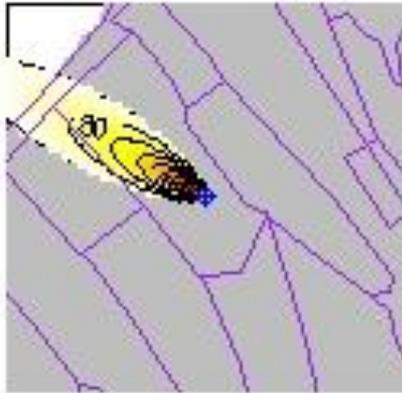


La hauteur de mesure
La hauteur du végétal
L'écart type du vent latéral

Footprint (2)

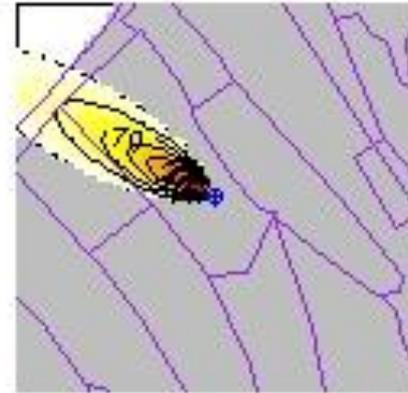
SOL COUVERT

Parc=A, $L_{MO}=-73$, $u_*=0.52$, $\sigma_v=1.1$
 $z_0=0.02$, $z_h=0.46$, $z_m=1.96$



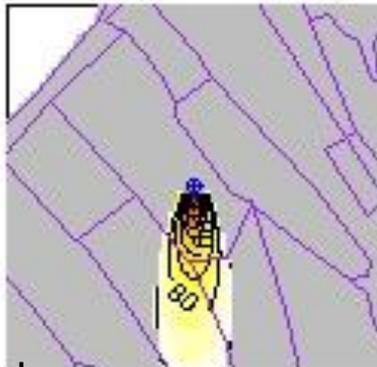
SOL NU

Parc=A, $L_{MO}=-37.8$, $u_*=0.43$, $\sigma_v=1.1$
 $z_0=0.01$, $z_h=0.16$, $z_m=1.96$



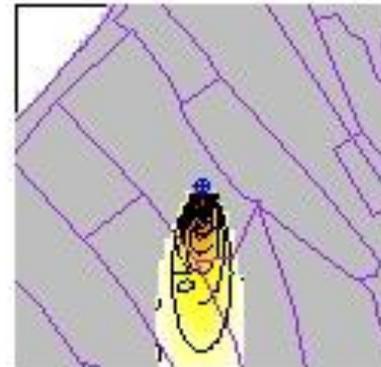
SOL COUVERT

Parc=A, $L_{MO}=-62$, $u_*=0.43$, $\sigma_v=1$
 $z_0=0.027$, $z_h=0.43$, $z_m=1.96$



SOL NU

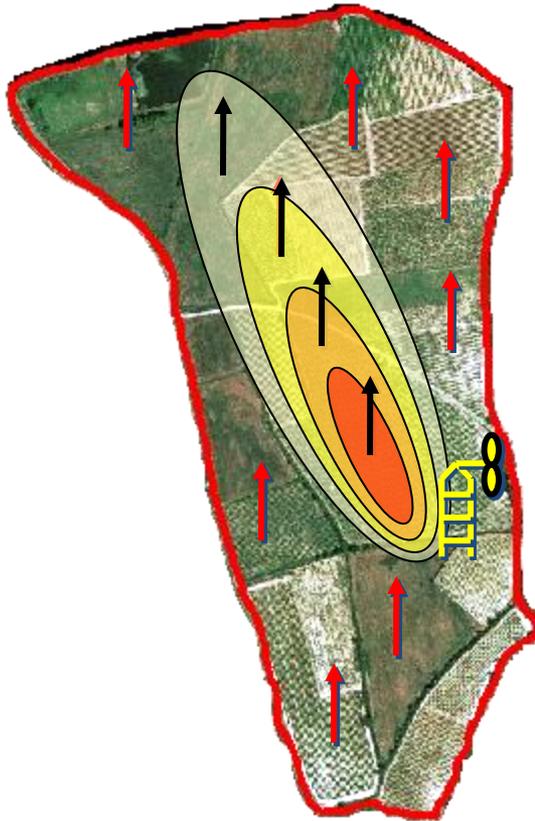
Parc=A, $L_{MO}=-53$, $u_*=0.4$, $\sigma_v=1.05$
 $z_0=0.0155$, $z_h=0.13$, $z_m=1.96$



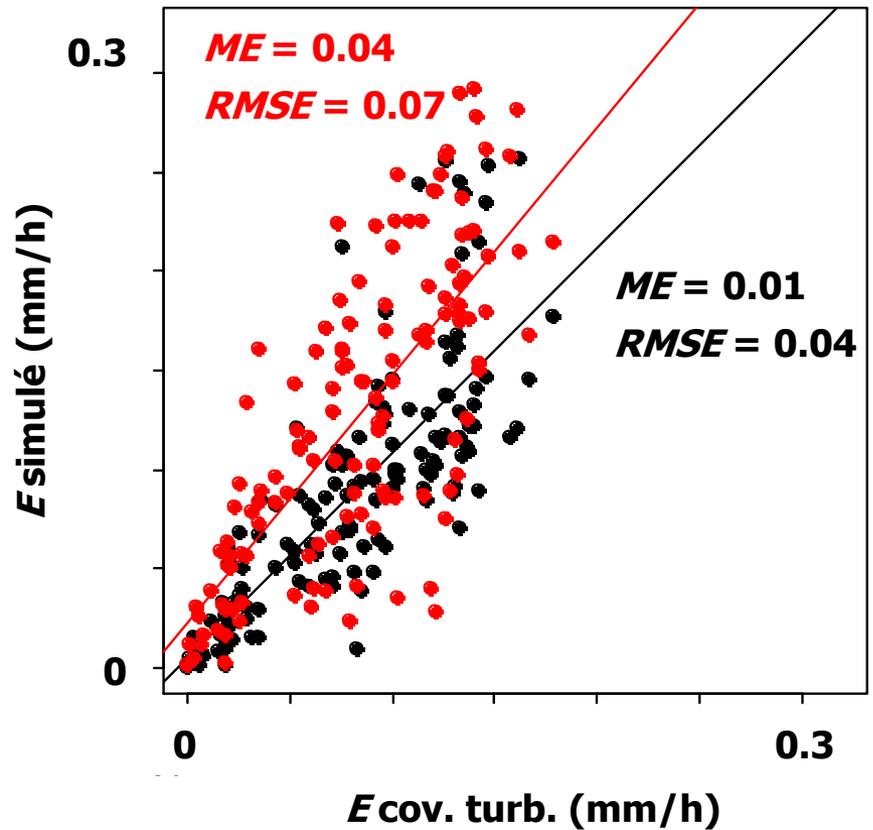
Footprint (3)

Vérification a posteriori

E footprint



E dépression



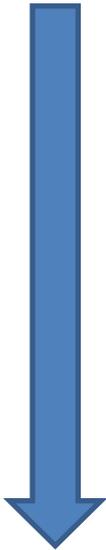
Bsaibes (2007)

Calcul des flux horaires

- Etape 1

Les données brutes
mesurées à haute
fréquence (u , v , w , T , q)

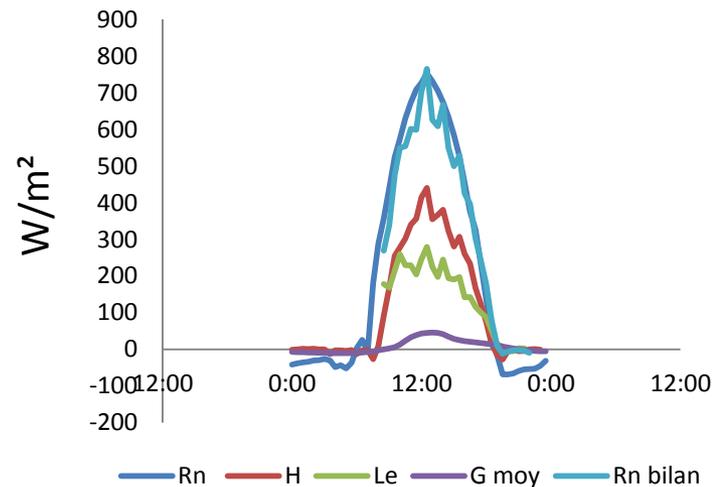
Plusieurs
logiciels
gratuits sur
le web:
Ex: EdyRe,
EddyPro,
EC-pack...



Corrections
instrumentales ou
statistiques

flux horaires (H , λE)

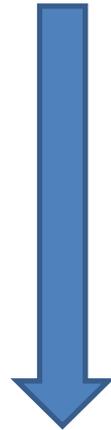
Mesure de flux sur Verger d'agrume
Béni Khalled 14/06/2014



Calcul des flux journaliers

Etape 2

Les données horaire



Contrôle qualité / filtres
+
Gap filling

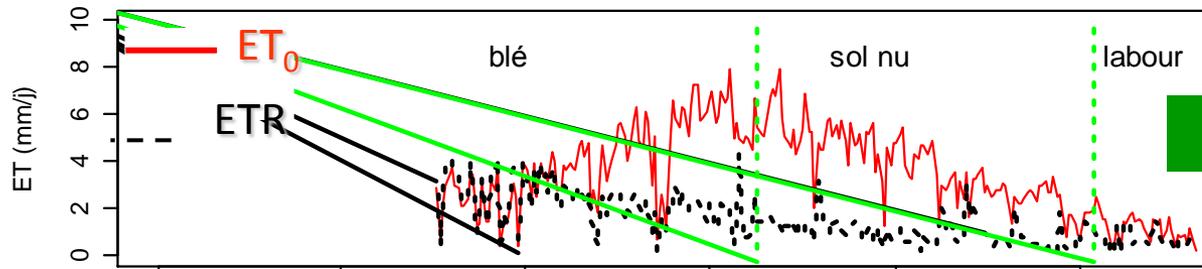
Les données journalières



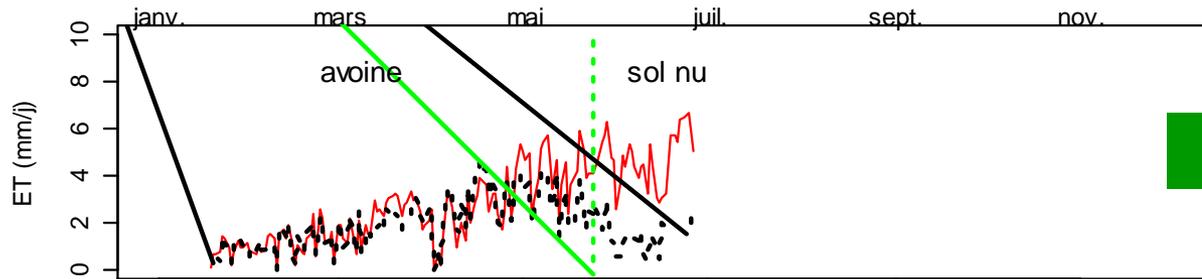
Gap filling

Long terme

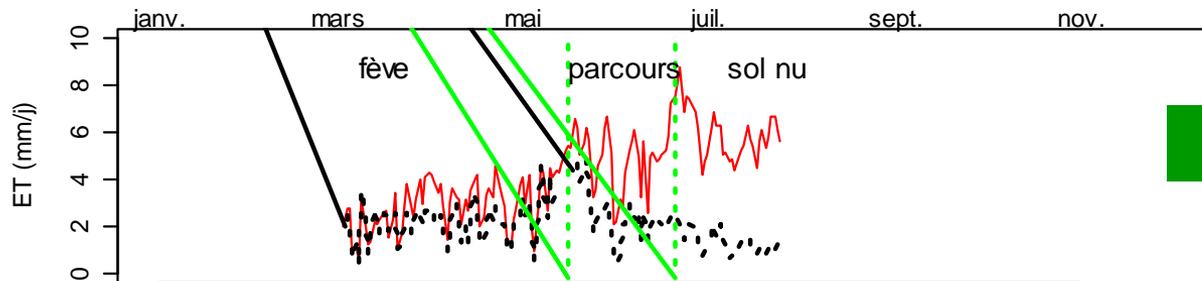
Variabilité de l'ETR à l'échelle de la saison de culture



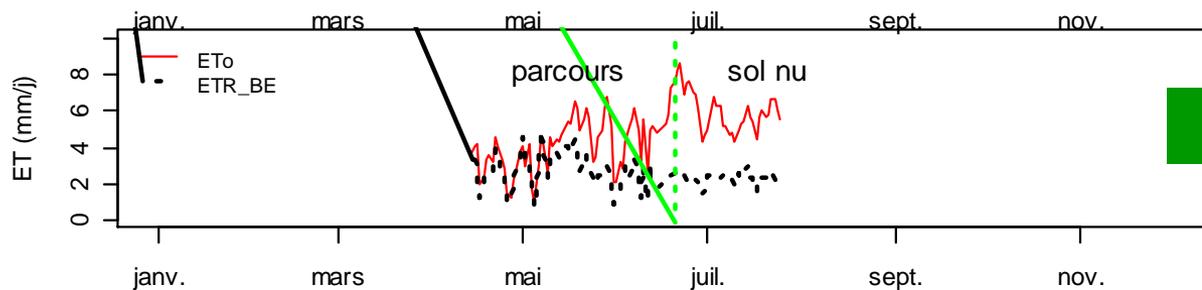
Parcelle A 2004



Parcelle B 2005



Parcelle A 2006

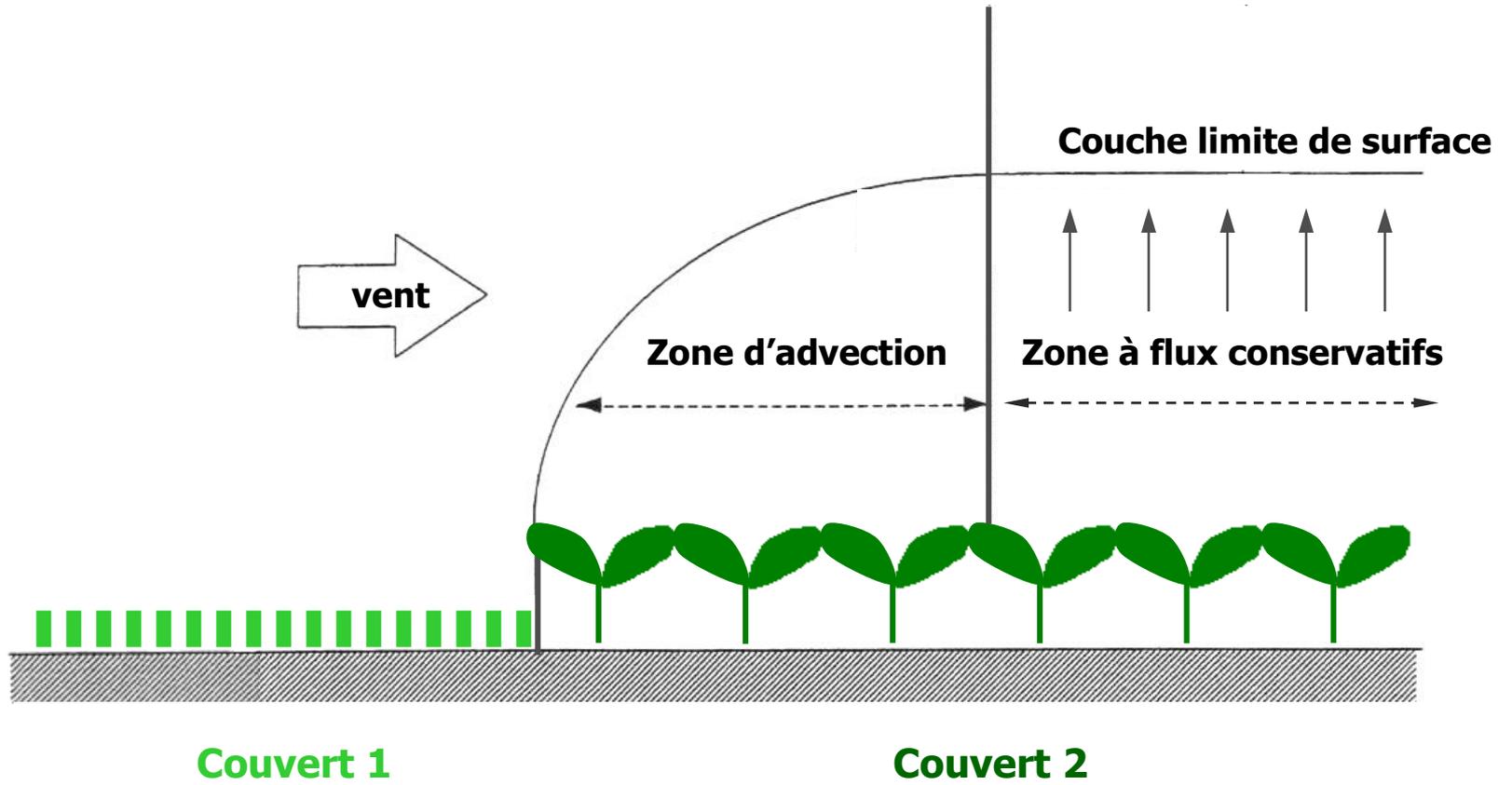


Parcelle C 2006

Application: mesures idéales

- Superficie adéquate : La zone d'influence doit être bien définie
- Terrain plat
- Homogénéité de la végétation
- S'éloigner des points d'eau
- Parcelles avoisinantes similaires (nature de couvert et apport d'eau)

Fetch



Questions de recherche: Intérêts de l'étude de l'advection

- à quelle distance du bord de la parcelle doit-on placer les mesures (fetch, anneau de garde) ?
- consommation en eau de petites parcelles irriguées dans un environnement sec (effet d'oasis)
- dispersion par le vent de substances diverses (germes, polluants...)
- estimation des flux à l'échelle du paysage