

Vers de nouvelles formulations pour le calcul  
des coefficients d'échange océan-atmosphère,  
basées sur l'entropie de l'air humide  
et un nombre de Lewis différent de l'unité.

*Pascal MARQUET*

*Météo-France. CNRM-GMAP*

*Sophie BELAMARI*

*Météo-France. CNRM-GMGEC*



# Plan

1

- Rappels de Belamari AMA-2016 (ECUME-v8)  
→ motivations pour faire bouger les choses ?

2

- Entropie de l'air humide ? Nombre de Lewis  $\neq 1$  ?  
→ conséquences possibles de Marquet (2011 à 2016)

3

- Tests : comparaisons aux observations ?

4

- Perspectives

# Plan

1

- Rappels de Belamari AMA-2016 (ECUME-v8)  
→ motivations pour faire bouger les choses ?

2

- Entropie de l'air humide ? Nombre de Lewis  $\neq 1$  ?  
→ conséquences possibles de Marquet (2011 à 2016)

3

- Tests : comparaisons aux observations ?

4

- Perspectives

## S. Belamari (AMA-2016)

- Une importance cruciale de la représentation des **flux turbulents océan-atmosphère** (tension de vent, flux de chaleur sensible et latente)
  - ✓ **En modélisation atmosphérique** (impact sur le cycle de l'eau, cyclogenèses des latitudes tempérées, cyclones tropicaux, ...)
  - ✓ **En modélisation océanique** (thermodynamique de l'océan supérieur, phénomène de formation des eaux profondes, ...)
  - ✓ Dans le cadre de **simulations forcées**, a fortiori **couplées océan-atmosphère**
- Une estimation qui demeure incertaine
  - ✓ Une estimation à l'aide de **formulations bulk** ou (*aérodynamiques globales*) permettant d'exprimer les flux turbulents en fonction des gradients de paramètres atmosphériques de base :

**vent :**  $|\vec{\tau}| = -\rho_a C_D U^2$

« **sensible** » :  $H = \rho_a c_{p_a} C_H U (\theta_s - \theta_a)$

« **latent** » :  $LE = \rho_a L_v C_E U (q_s - q_a)$

← **3 coefficients (univ.) à déterminer :  $C_D$   $C_H$   $C_E$**

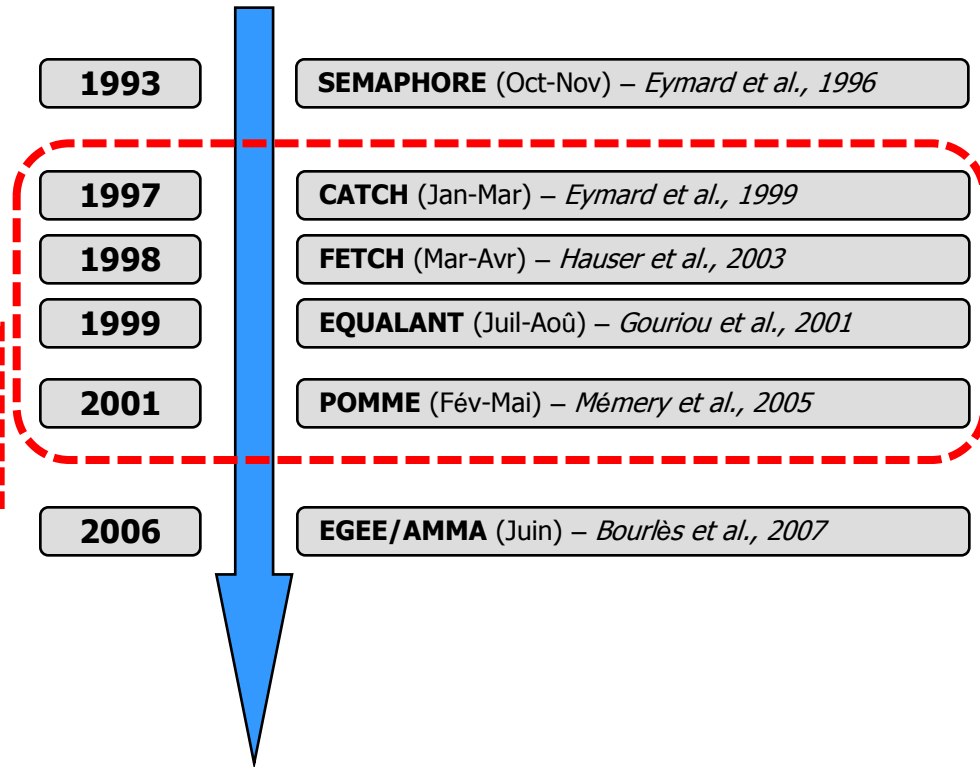
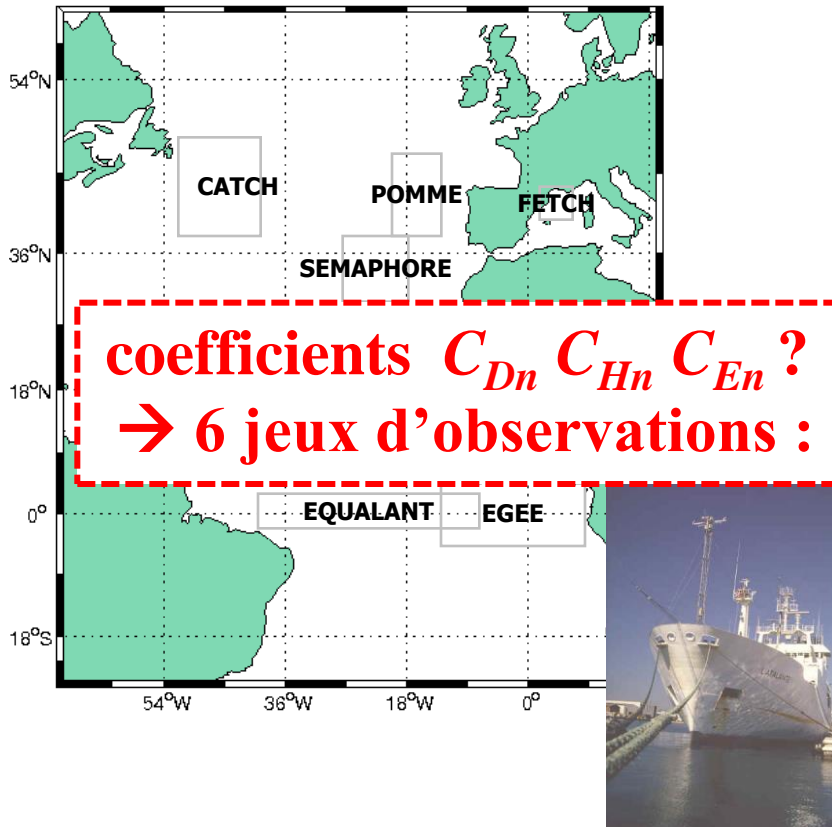
- ✓ **Hypothèses de fermeture** pour déterminer les coefficients d'échanges  $C_D$ ,  $C_H$ ,  $C_E$  (calcul direct / itératif des longueurs de rugosité ou des coeffs d'échange neutres à l'aide de paramétrisations ad'hoc)
  - Généralement issues de campagnes de mesures spécifiques
  - Présentant une forte dispersion
  - Valables pour des vents moyens à modérés

- Des défauts identifiés dans la version initiale d'ECUME

# S. Belamari (AMA-2016)

## Principe : la version initiale repose sur :

- ✓ Un algorithme **itératif** (version modifiée de l'algorithme Coare 2.5b, Fairall et al, 1996)
- ✓ L'utilisation de **3 fonctions**  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  établies à partir de mesures de flux issues de différentes campagnes et fournissant la valeur des **coefficients de transfert neutres** ( $C_{DN}$ ,  $C_{HN}$ ,  $C_{EN}$ ) en fonction du gradient de vent neutre entre la surface et 10 mètres ( $\Delta U_{10n}$ )



## S. Belamari (AMA-2016)

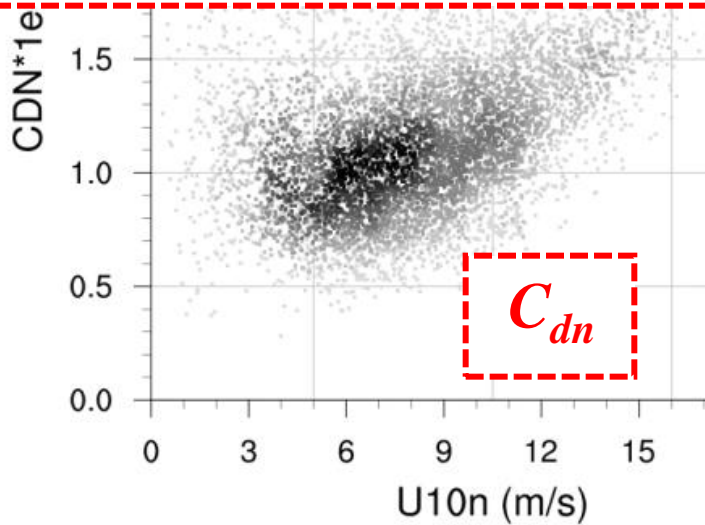
- Principe : Utilisation d'une nouvelle fermeture
  - Définition de **nouvelles variables**  $Param\_U$ ,  $Param\_θ$  et  $Param\_q$  telles que :

$$Param\_U = \left( \frac{C_{dn}}{\sqrt{C_{dn}}} \right) \times \Delta U_{10n}$$

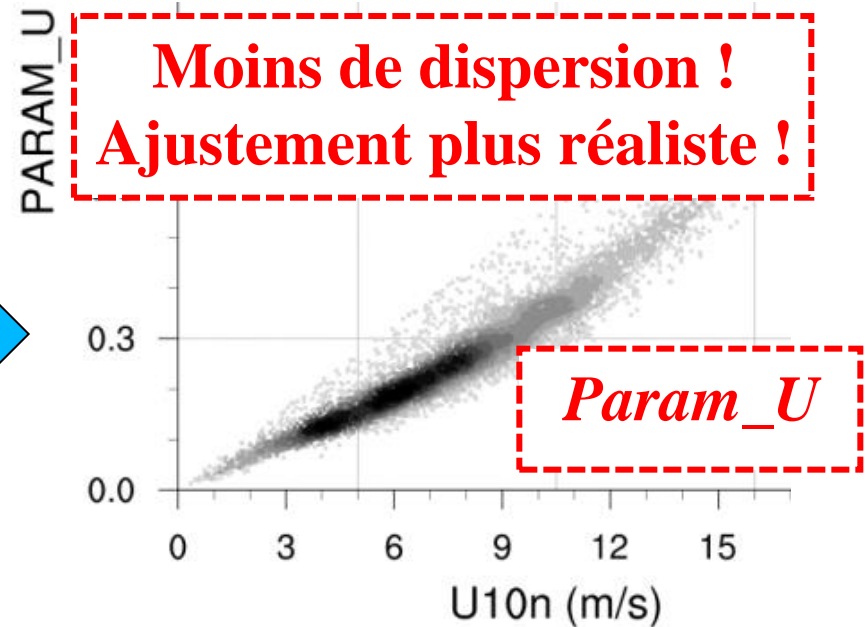
$$Param\_θ = \left( \frac{C_{hn}}{\sqrt{C_{dn}}} \right) \times \Delta U_{10n}$$

$$Param\_q = \left( \frac{C_{en}}{\sqrt{C_{dn}}} \right) \times \Delta U_{10n}$$

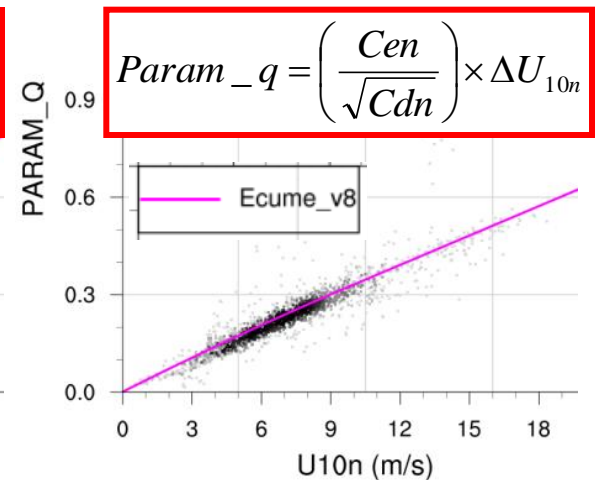
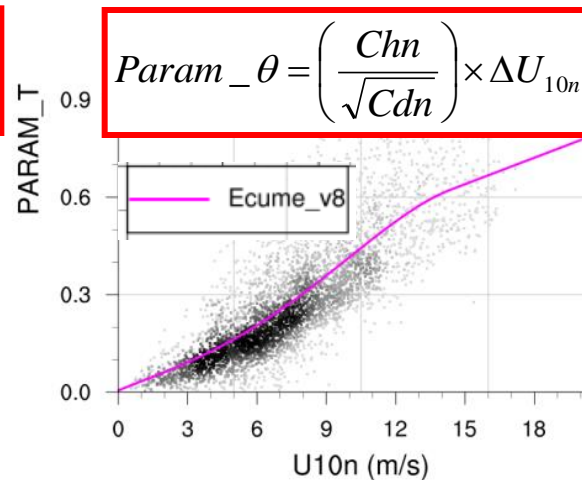
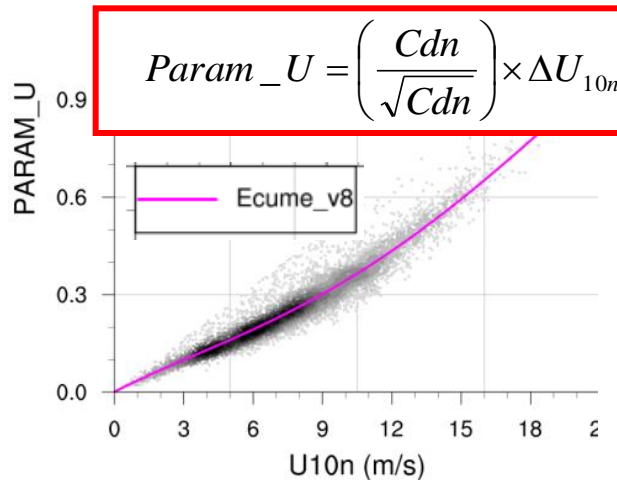
**Forte dispersion ! Ajustement ?**



**Moins de dispersion !  
Ajustement plus réaliste !**



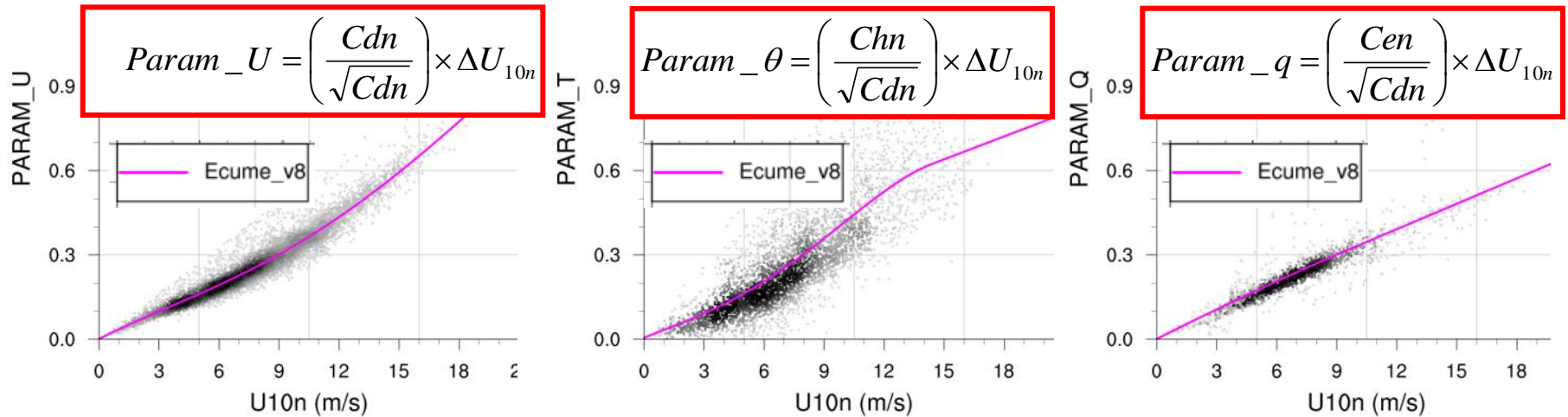
# S. Belamari (AMA-2016)



**Question 1 : pourquoi une dispersion plus grande pour  $\theta$  ?**

**Question 2 : pourquoi est-ce différent pour  $\theta$  et  $q_v$  ? ( $C_{hn} \neq C_{en}$ )**

## S. Belamari (AMA-2016)



**Question 1 : pourquoi une dispersion plus grande pour  $\theta$  ?**

**Question 2 : pourquoi est-ce différent pour  $\theta$  et  $q_v$  ? ( $C_{hn} \neq C_{en}$ )**

**Réponse 1 : car  $\theta$  n'est pas la bonne variable ← entropie humide**

**Réponse 2 : Nombre de Lewis =  $C_{hn} / C_{en} \neq 1$  ← océan  $\neq$  atm.**



# Plan

1

- Rappels de Belamari AMA-2016 (ECUME-v8)  
→ motivations pour faire bouger les choses ?

2

- Entropie de l'air humide ? Nombre de Lewis  $\neq 1$  ?  
→ conséquences possibles de Marquet (2011 à 2016)

3

- Tests : comparaisons aux observations ?

4

- Perspectives

**Richardson (1919) :**

$$\left. \frac{\partial \psi}{\partial t} \right|_{turb.} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho K_{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)$$

**Mais pour quelles variables  $\psi$  ?**

- 1) les composantes du vent :  $(u, v)$**
- 2) l'eau « totale »  $q_t = q_v + q_l + q_i + \dots$**
- 3) l'entropie de l'air humide «  $s \approx c_p \ln(\theta_{l/e}) + Cste$  » ?**

**Betts (1973) :**

$$\theta_l \approx \theta [1 - 9 (q_l + q_i)]$$

$$\theta_e \approx \theta_l [1 + 9 q_t]$$

**Richardson (1919) :**

$$\left. \frac{\partial \psi}{\partial t} \right|_{turb.} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho K_{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)$$

**Mais pour quelles variables  $\psi$  ?**

- 1) les composantes du vent :  $(u, v)$
- 2) l'eau « totale »  $q_t = q_v + q_l + q_i + \dots$
- 3) l'entropie de l'air humide «  $s \approx c_p \ln(\theta_{l/e}) + \text{Cste}$  » ?

**Betts (1973) :**

$$\theta_l \approx \theta [1 - 9(q_l + q_i)]$$

$$\theta_e \approx \theta_l [1 + 9q_t]$$

si  $q_l + q_i = 0$  on retrouve  $\theta_l \approx \theta$  et  $q_t = q_v \rightarrow \text{ECUME}$   
mais  $c_p$  et **Cste** ne sont pas constants !  $\theta_{l/e}$  pas pertinentes ?

**Richardson (1919) :**

$$\left. \frac{\partial \psi}{\partial t} \right|_{turb.} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho K_{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)$$

**Mais pour quelles variables  $\psi$  ?**

- 1) les composantes du vent :  $(u, v)$**
- 2) l'eau « totale »  $q_t = q_v + q_l + q_i + \dots$**
- 3) l'entropie de l'air humide «  $s = c_{pd} \ln(\theta_s) + Cste$  » ?**

**Marquet (2011) :**  $\theta_s \approx \theta_l [1 + 6 q_t]$   $c_{pd}$  et  $Cste$  constants !

**Richardson (1919) :**

$$\left. \frac{\partial \psi}{\partial t} \right|_{turb.} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho K_{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)$$

**Mais pour quelles variables  $\psi$  ?**

- 1) les composantes du vent :  $(u, v)$
- 2) l'eau « totale »  $q_t = q_v + q_l + q_i + \dots$
- 3) l'entropie de l'air humide «  $s = c_{pd} \ln(\theta_s) + \text{Cste}$  » ?

**Marquet (2011) :**  $\theta_s \approx \theta_l [1 + 6 q_t]$   $c_{pd}$  et **Cste constants !**

$$\theta_l \approx \theta [1 - 9 (q_l + q_i)] \quad \leftarrow \text{position 2/3} \rightarrow \quad \theta_e \approx \theta_l [1 + 9 q_t]$$

**Si  $q_l + q_i = 0$  on retrouve  $q_t = q_v$  ; mais  $\theta_s \neq \theta$  !**

**Richardson (1919) :**

$$\left. \frac{\partial \psi}{\partial t} \right|_{turb.} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho K_{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)$$

**Mais pour quelles variables  $\psi$  ?**

- 1) les composantes du vent :  $(u, v)$
- 2) l'eau « totale »  $q_t = q_v + q_l + q_i + \dots$
- 3) l'entropie de l'air humide «  $s = c_{pd} \ln(\theta_s) + \text{Cste}$  » ?

**Marquet (2011) :**

$$\theta_s \approx \theta [1 + 6 q_v] \quad c_{pd} \text{ et Cste } \underline{\text{constants !}}$$

$(q_l + q_i = 0)$

**Flux / gradients :**

$$\Delta \theta_s \approx [1 + 6 q_v] \Delta \theta + [6 \theta_s] \Delta q_v$$

**d'entropie**

$[\approx 1.06]$

↑  
2 K

$[\approx 1800]$

↑  
↔ 1 g/kg

# Plan

1

- Rappels de Belamari AMA-2016 (ECUME-v8)  
→ motivations pour faire bouger les choses ?

2

- Entropie de l'air humide ? Nombre de Lewis  $\neq 1$  ?  
→ conséquences possibles de Marquet (2011 à 2016)

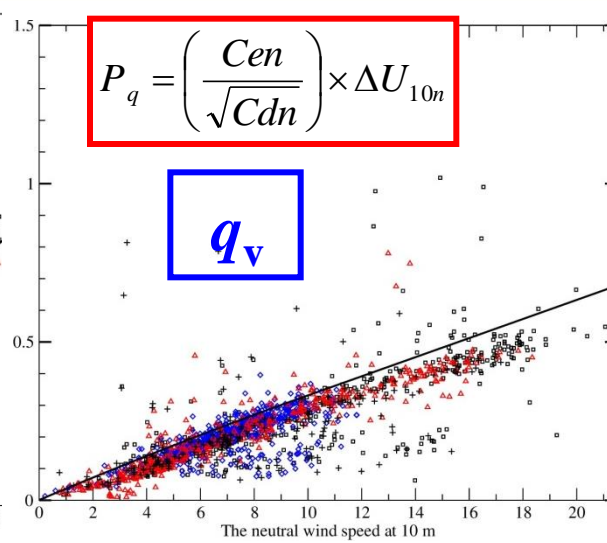
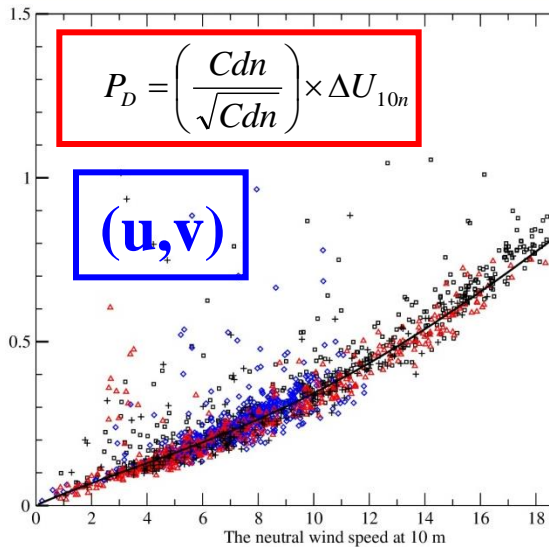
3

- Tests : comparaisons aux observations ?

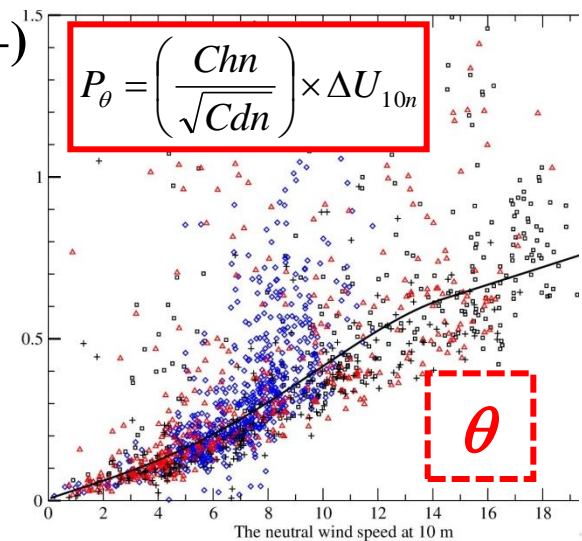
4

- Perspectives

# Marquet - Belamari (2016)

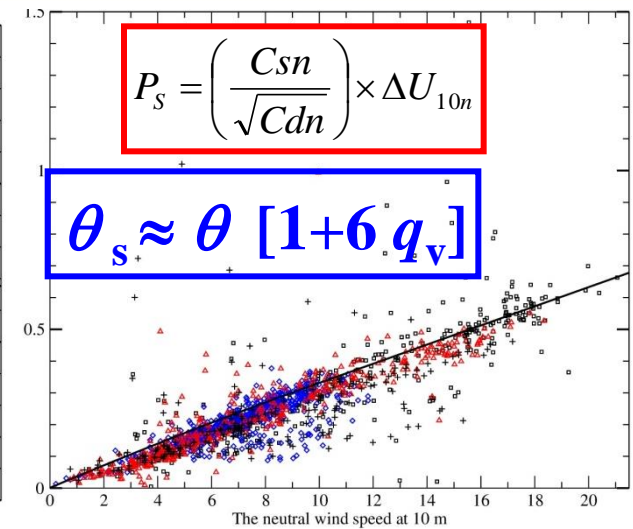
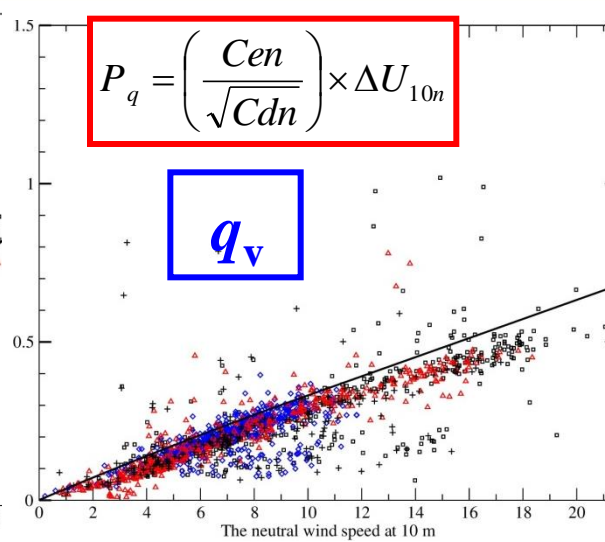
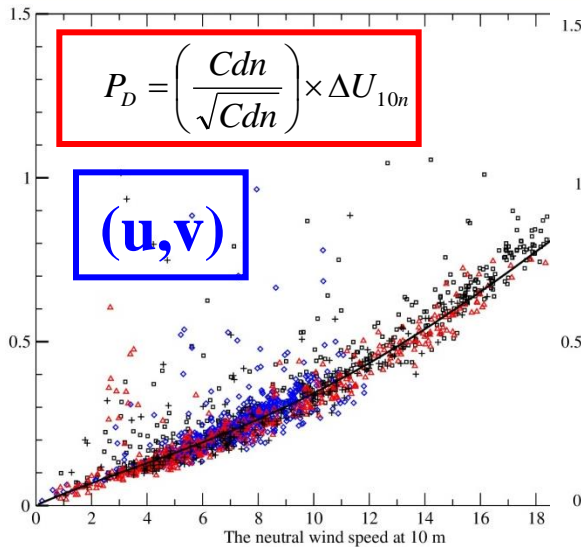


**CATCH** (□) **EQUALANT** (◇) **FETCH** (▲) **POMME** (+)





# Marquet - Belamari (2016)

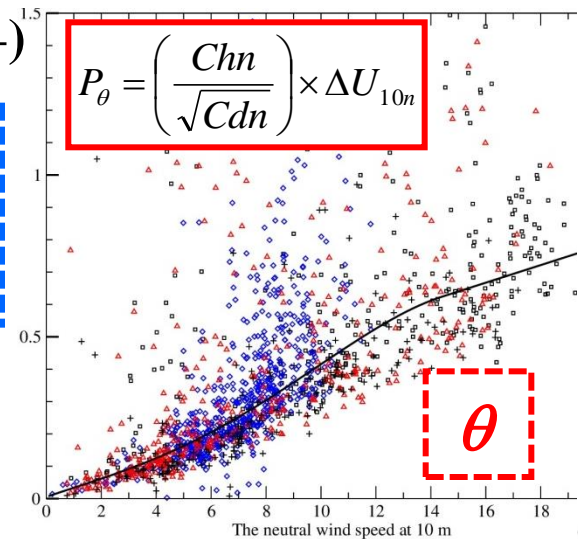


CATCH ( $\square$ ) EQUALANT ( $\diamond$ ) FETCH ( $\blacktriangle$ ) POMME (+)

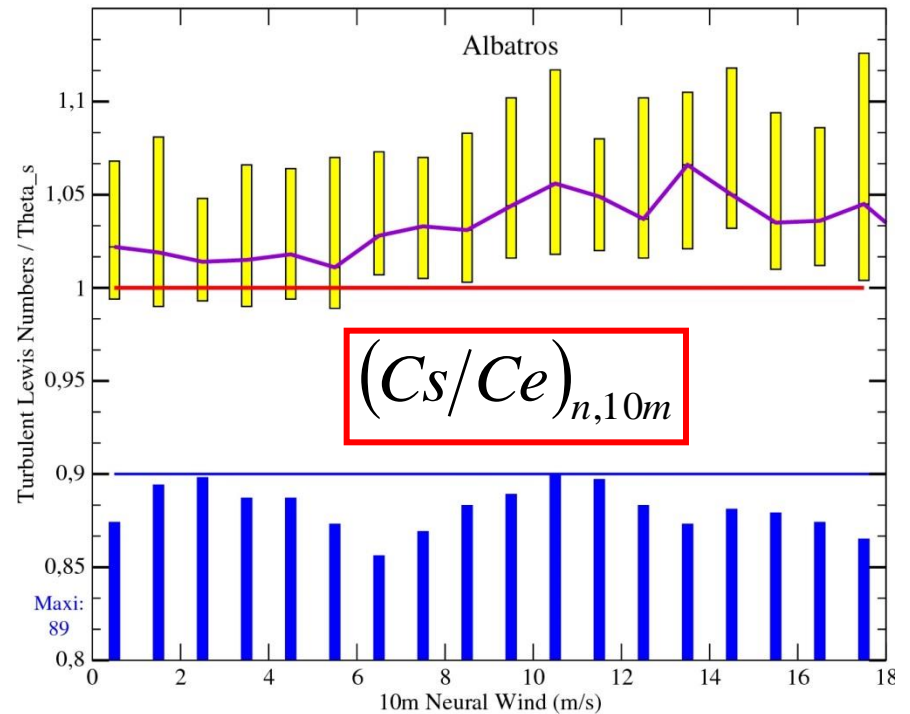
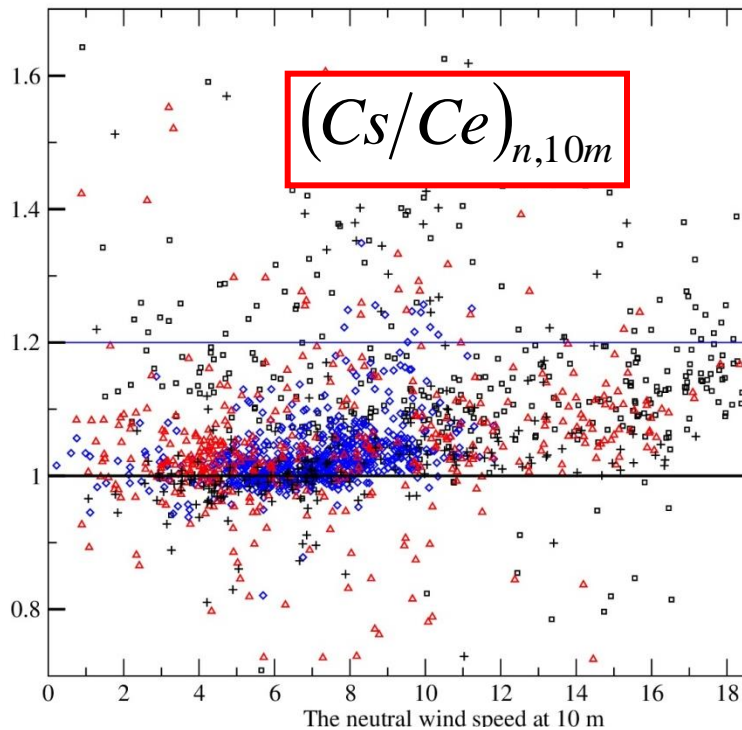
dispersion moindre pour  $\theta_s$  que pour  $\theta$   
 car  $\theta_s$  représente l'entropie humide !

Nombre de Lewis turbulent :

$$Le_{ts} = (C_{sn} / C_{en}) \neq 1 ?$$



# Marquet - Belamari (2016)



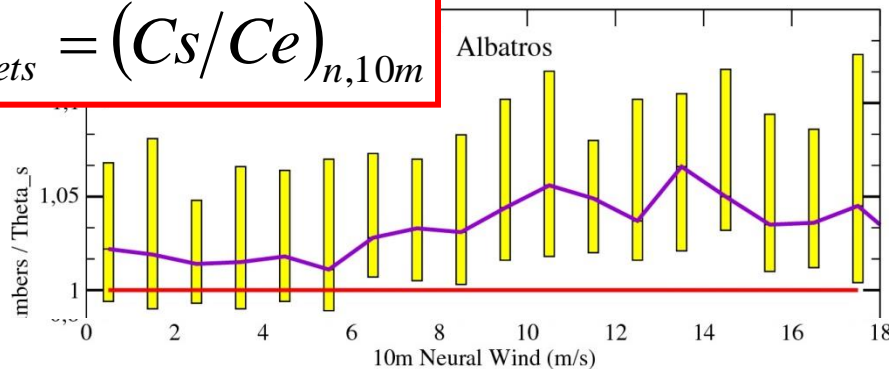
Nombre de Lewis fonction du vent :

$$Le_{ts} = (C_{sn} / C_{en}) \neq 1 !$$

CATCH (□) EQUALANT (◇) FETCH (▲) POMME (+)

## Marquet - Belamari (2016)

$$L_{ets} = (C_s / C_e)_{n,10m}$$



Conséquences de :  
 $Le_{ts} = (C_{sn} / C_{en}) \neq 1 ?$

Une diffusion de  $\theta_s$  revient à diffuser  $\theta$  avec :

$$C_{hn} \approx Le_{ts} C_{en} + \left[ 6 \theta (Le_{ts} - 1) (\Delta q / \Delta \theta) \right]$$

ce nouveau terme doit expliquer la **dispersion**  
 du nuage de point tracé pour  $C_{hn}$  et  $P_\theta$

# Plan

1

- Rappels de Belamari AMA-2016 (ECUME-v8)  
→ motivations pour faire bouger les choses ?

2

- Entropie de l'air humide ? Nombre de Lewis  $\neq 1$  ?  
→ conséquences possibles de Marquet (2011 à 2016)

3

- Tests : comparaisons aux observations ?

4

- Perspectives

## *Perspectives*

- DEPHY2 → ANR « COCOA » (Eric Blayo)

## *Perspectives*

- DEPHY2 → ANR « COCOA » (Eric Blayo)
- Revisiter ECUME-v8 en paramétrisant  $Le_{ts}$  en fonction de  $U_{10m}$  ?  
puis en remplaçant  $P_{\theta}$  par  $P_S$  (entropie de l'air humide) ?  
pour en déduire finalement un nouveau  $C_{hn}$  ?

## Perspectives

- DEPHY2 → ANR « COCOA » (Eric Blayo)
- Revisiter ECUME-v8 en paramétrisant  $Le_{ts}$  en fonction de  $U_{10m}$  ?  
puis en remplaçant  $P_{\theta}$  par  $P_S$  (entropie de l'air humide) ?  
pour en déduire finalement un nouveau  $C_{hn}$  ?
- Tests dans des modèles couplés 1D, puis 3D ?
- Ensuite, améliorer la prise en compte de  $Le_{ts} \neq 1$  plus en amont :  
confrontation à des formulations théoriques + LES = lab. num. ?  
→ Pb. avec la longueur de mélange ? (*voir exposé demain...*)
- Risques possibles de biais / erreurs observations ?





# Marquet – Bosvelt - Maurel – Honnert (2016)

