



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



CADARACHE



# Modélisation des effets orographiques et de stratification sur le transport et la dispersion atmosphérique à l'échelle régionale et locale autour de Cadarache

Florian Dupuy

Laboratoire d'Aérodynamique et CEA Cadarache

Encadrants

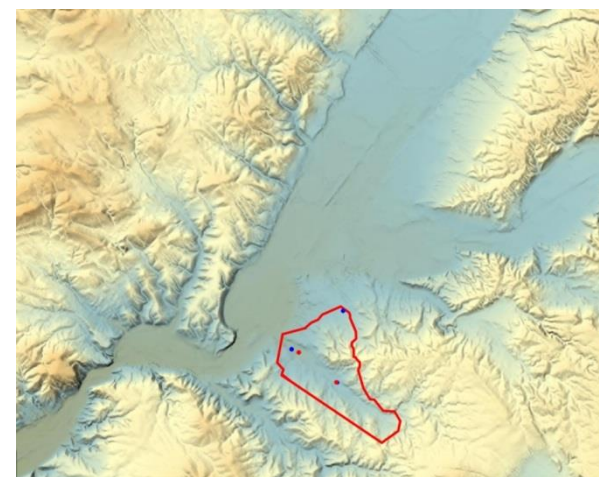
Pierre Durand, Laboratoire d'Aérodynamique

Thierry Hedde et Pierre Roubin, CEA Cadarache

# Motivation

Le CEA doit évaluer l'impact de la dispersion atmosphérique des rejets produits sur Cadarache.

- Orographie très marquée
  - Vallée de la Durance (~5km)
  - Vallée de Cadarache (~1km)
- Intérêt particulier pour les conditions stables (KASCADE, Duine et al, 2017) qui sont fréquentes dans la région et qui sont les plus pénalisantes du point de vue de la dispersion des polluants





Thèse de Gert-Jan Duine (LA - CEA, 2012 - 2015)

Basée sur la campagne de mesure KASCADE, dédiée à l'étude des conditions stables sur Cadarache (décembre 2012 – mars 2013)

- Beaucoup de conditions stables observées pendant la nuit
- Création de vents thermiques par conditions stables dont les directions sont forcées par le relief
- Apparition et disparition du vent thermique de la vallée de Cadarache synchronisé avec le levé et couché du soleil

→ **Vents produits par des effets locaux**

# Dispersion atmosphérique

Les vents sur Cadarache dépendent fortement de phénomènes locaux (grande variabilité spatiale)

↳ Besoin de connaître un champ de vent 3D sur Cadarache pour calculer le transport atmosphérique

↳ Couplage d'un modèle de prévision météorologique avec un modèle de dispersion atmosphérique

# Prévisions WRF quotidiennes (MISTRAU)

Simulations effectuées quotidiennement

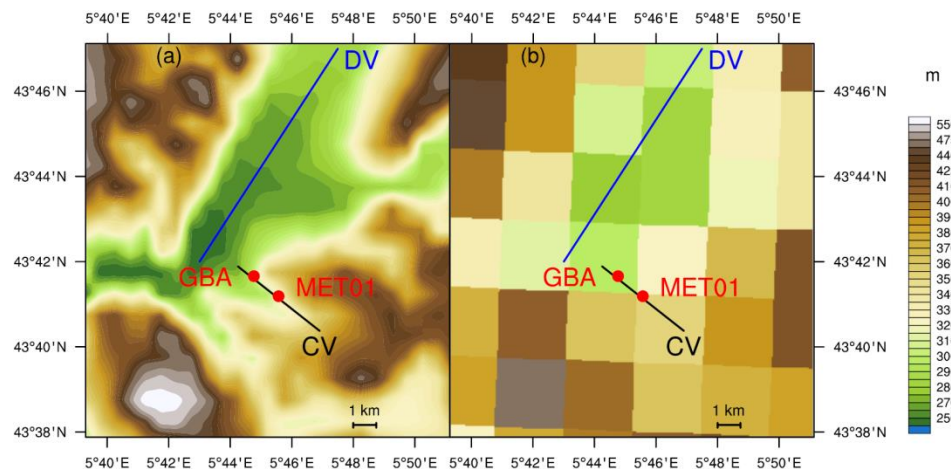
Prévision à +108h

Données d'entrées GFS à 0,25° de résolution

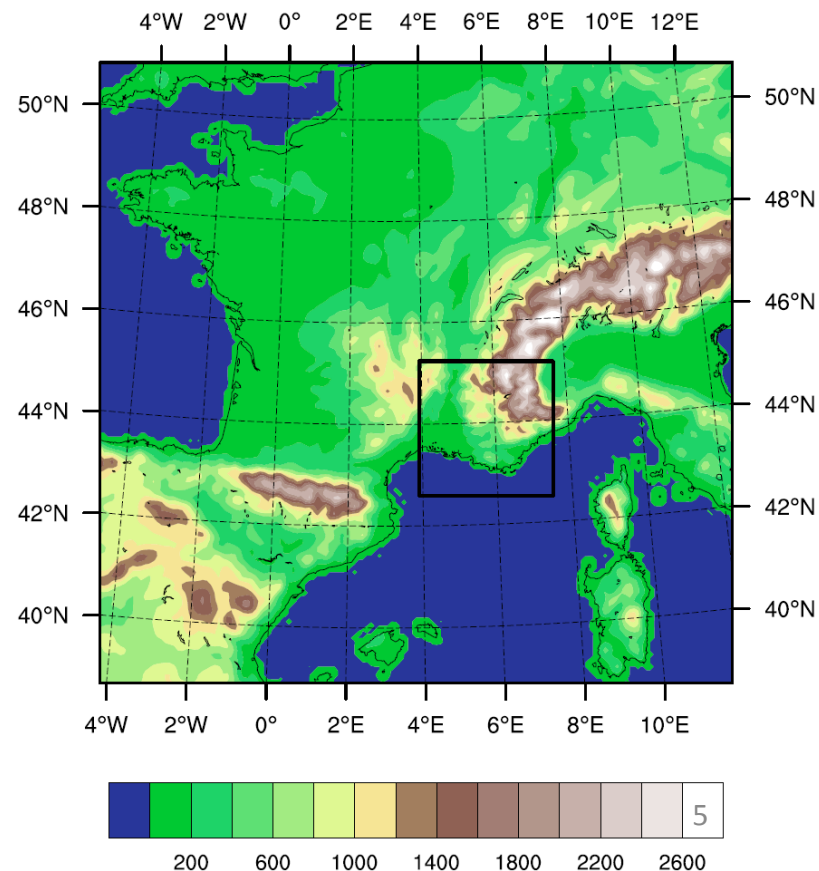
Topographie domaine à 9 km

Sorties toutes les heures

2 domaines imbriqués (9 et 3 km)



**Mauvaise prévision du vent près de la surface sur Cadarache**



# Prévisions WRF 1 km (Duine, 2015)

La vallée de Cadarache n'est pas représentée (1km de large)

Le vent de vallée non plus

Le vent nocturne descendant la vallée de la Durance (~5km de large) est bien représenté

**Besoin d'augmenter la résolution pour décrire la vallée de Cadarache ...**

**... ou de faire de la descente d'échelle statistique**

# Réseau de Neurones Artificiels (RNA)

- Très performants pour approximer n'importe quelle fonction non-linéaire entre des entrées et une sortie (Hornik et al., 1989)
- Utilisation assez répandue dans le cadre des études atmosphériques (Gardner and Dorling, 1998)
- Déjà utilisés avec succès pour calculer le module du vent:  
(Philippopoulos and Deligiorgi, 2012; Cadenas and Rivera, 2009; More and Deo, 2003)

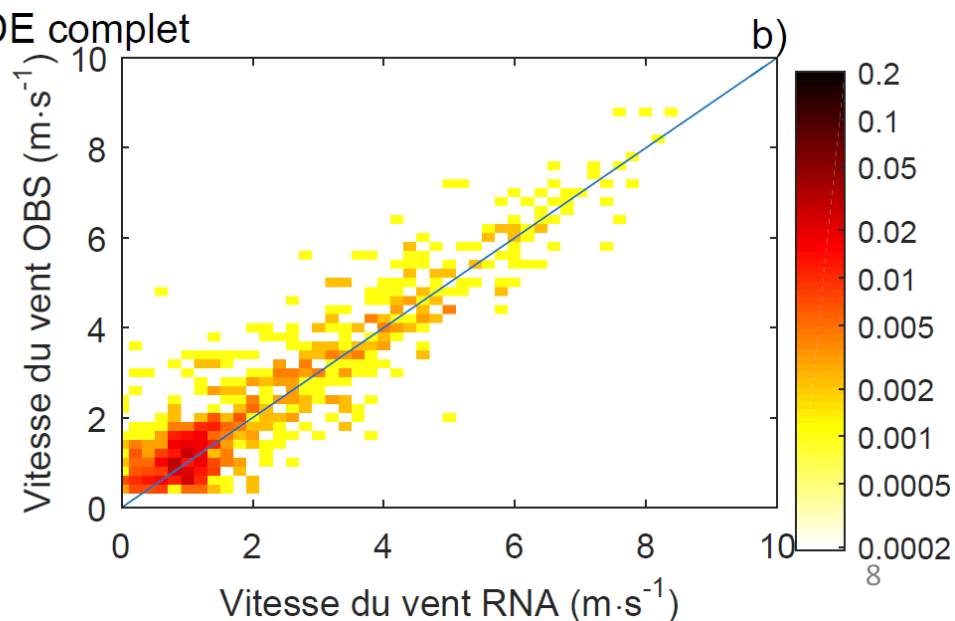
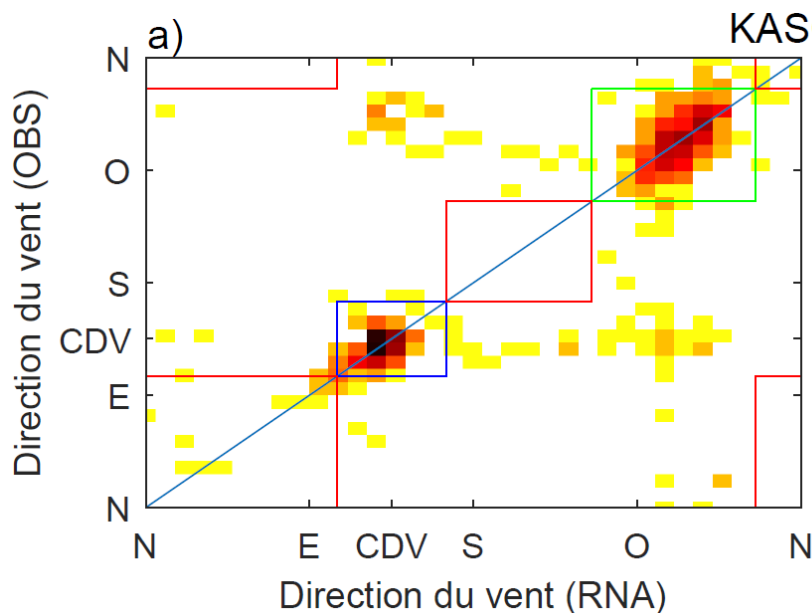
Pas vu d'utilisation pour le calcul de la direction du vent

*observations* → RNA → *vent*

# RNA (nowcasting)

Données de KASCADE 2013

RNA ( $\Delta T_{(110m-2m)}$ ,  $U_{110m}$ ,  $u_{10m}$  et  $v_{10m}$ )





# RNA (nowcasting)

Données de KASCADE 2013

**RNA** ( $\Delta T_{(110m-2m)}$ ,  $U_{110m}$ ,  $u_{110m}$  et  $v_{110m}$ )

PC3 = 0,89

$R_u = 0,96$

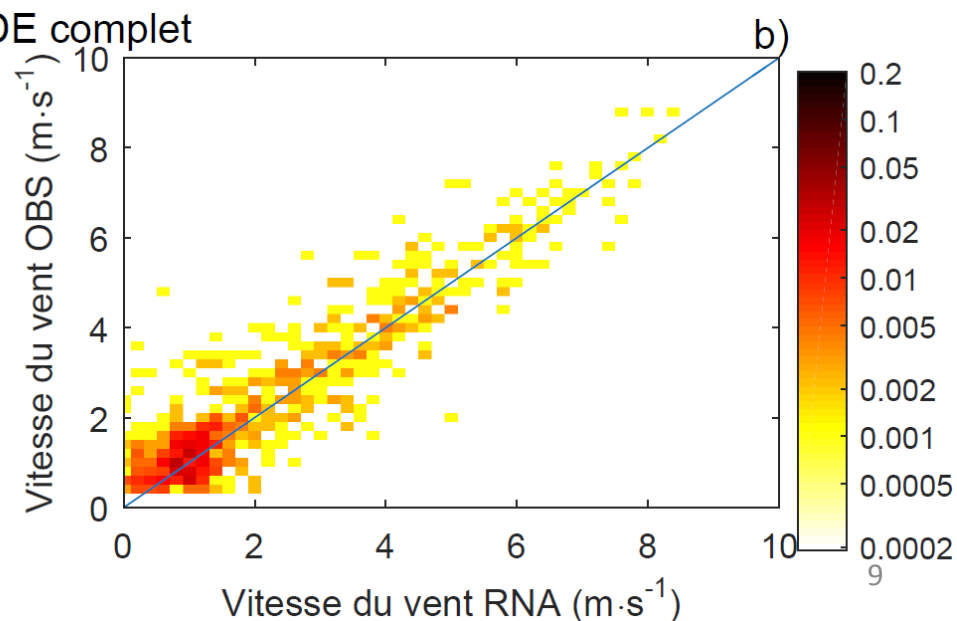
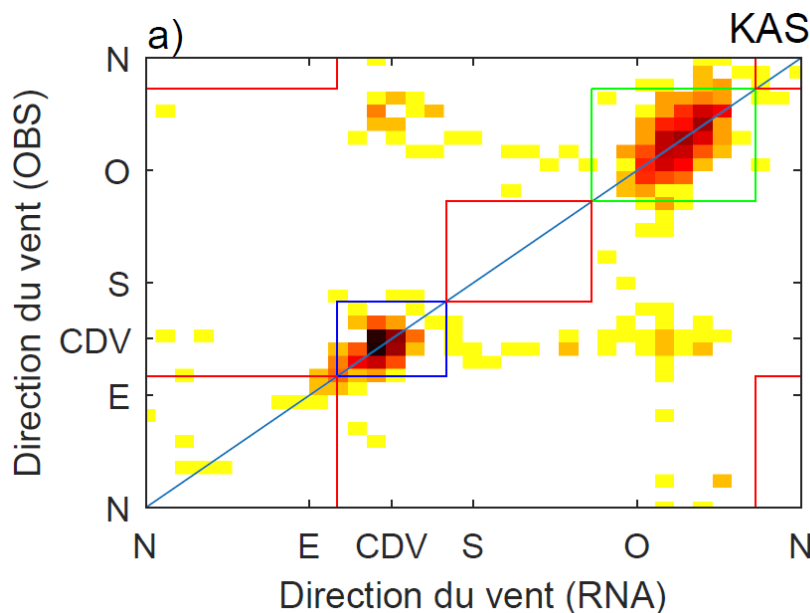
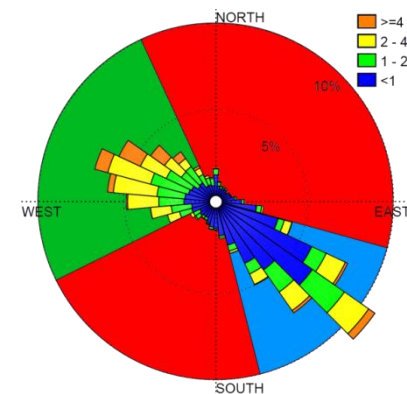
DACC = 0,91

$R_v = 0,93$

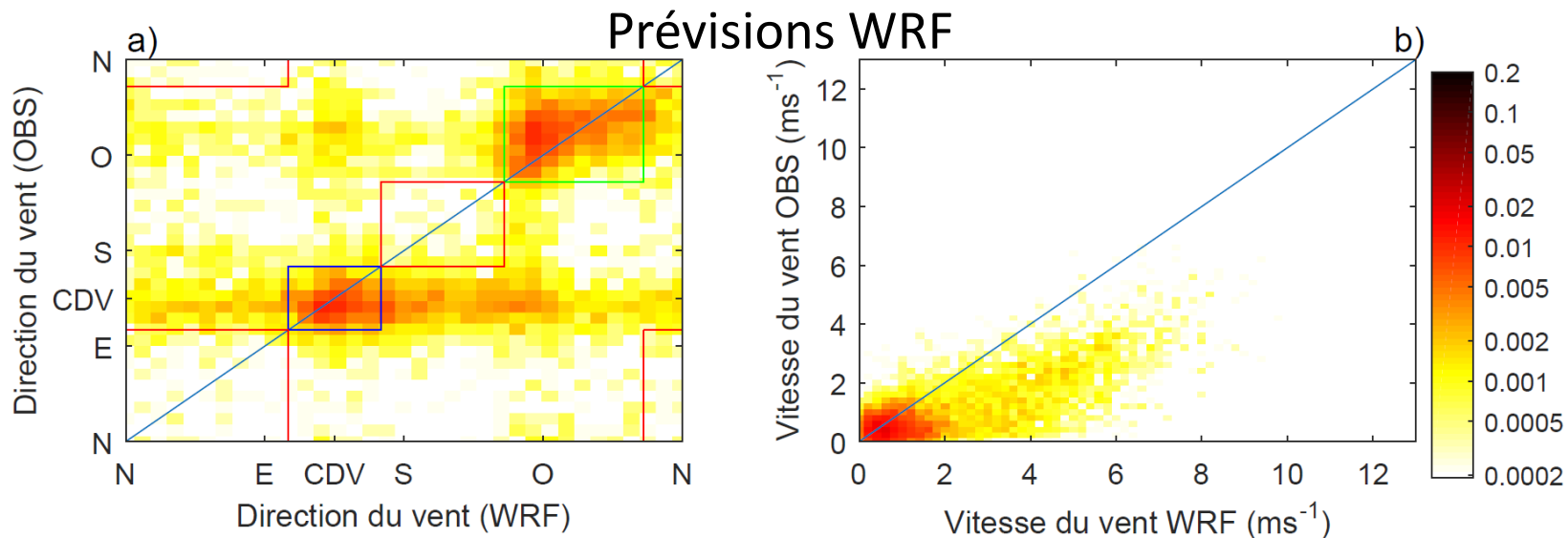
$R_{\text{module}} = 0,92$

Biais(module) = -0,20 m/s

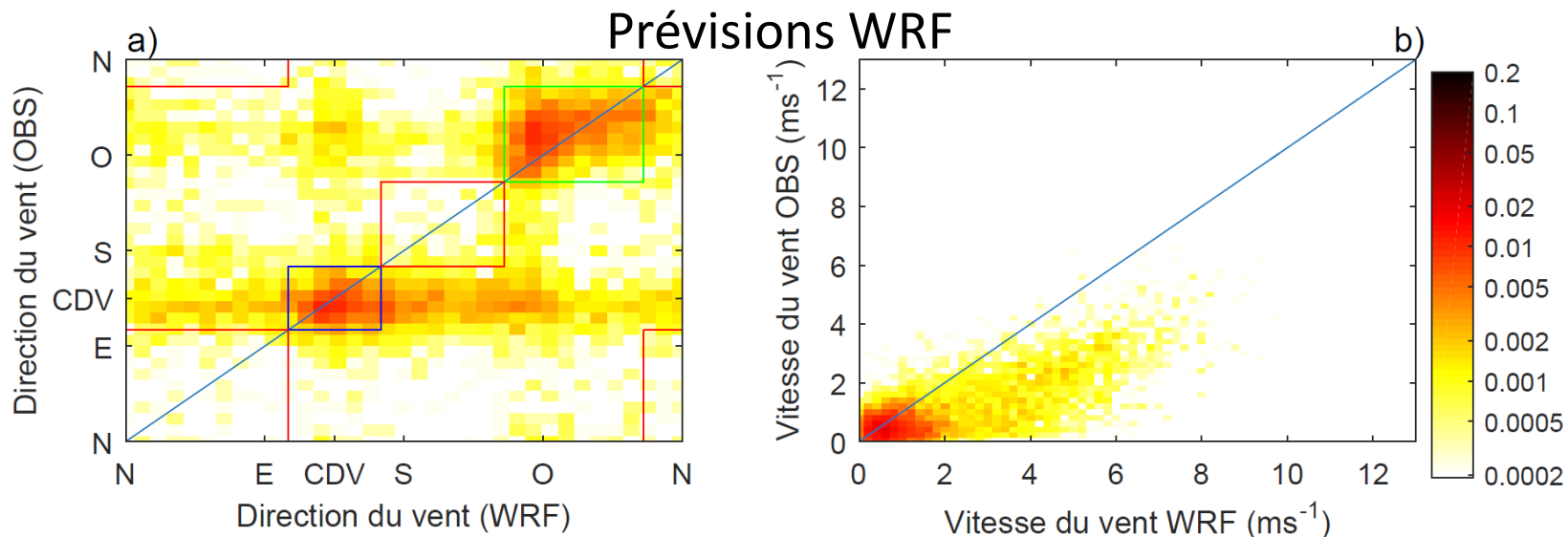
MAE(module) = 0,50 m/s



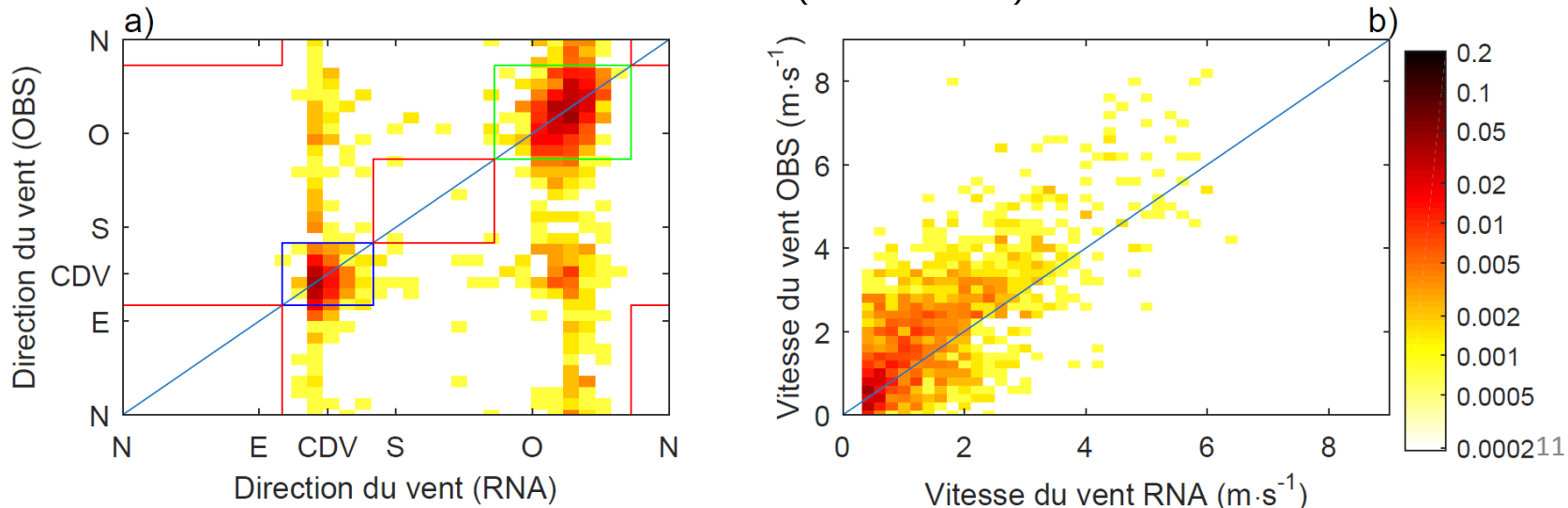
# Réseau de Neurones Artificiels (WRF)



# Réseau de Neurones Artificiels (WRF)



RNA avec 4 variables en entrée :  $\Delta\theta_{(110m-2m)}$ ,  $U_{110m}$ ,  $u_{10m}$  et  $v_{10m}$



# Réseau de Neurones Artificiels (WRF)

Performances des différents RNA et des prévisions WRF

Case	MSE		DACC	PC		Correlation			Speed ( $\text{m s}^{-1}$ )	
	train	test		2c	3c	Module	u	v	Bias	MAE
1. WRF <sub>10m</sub>	-	-	0.64	not relevant		0.70	0.78	0.60	+0.08	1.04
2. WRF <sub>10m</sub>	-	-	0.56	0.71	0.53	0.72	0.70	0.59	+1.79	2.00
3. ANN <sub>K</sub>	53.6	45.1	0.91	0.94	0.89	0.92	0.96	0.93	-0.20	0.50
4. ANN <sub>K-05</sub>	53.6	45.1	0.96	0.97	0.94	0.93	0.97	0.94	-0.15	0.48
5. ANN <sub>OBS-yr</sub>	77.9	77.2	0.86	0.94	0.82	0.89	0.93	0.86	-0.17	0.50
6. ANN <sub>WRF-14</sub>	76.8	80.5	0.76	0.84	0.71	0.76	0.81	0.71	-0.22	0.67
7. ANN <sub>WRF</sub>	79.0	79.0	0.75	0.86	0.74	0.74	0.80	0.71	-0.46	0.81
Gain (7)-(2)	-	-	+0.19	+0.15	+0.21	+0.02	+0.10	+0.12	-1.33	-1.19
Loss (5)-(7)	-	-	-0.11	-0.08	-0.08	-0.15	-0.13	-0.15	+0.29	+0.31

# Réseau de Neurones Artificiels (WRF)

La prévision du vent dans la vallée de Cadarache à partir des simulations WRF à méso-échelle et d'un réseau de neurones artificiels a permis d'améliorer la prévision

Le réseau de neurones artificiels est capable de prévoir avec une bonne précision le vent dans la vallée de Cadarache à partir des simulations WRF.

**Cependant, cette prévision est limitée à un point dans la vallée de Cadarache**

Et la précision chute pour les vents faibles

# KASCADE 2017

- Améliorer la compréhension des phénomènes météorologiques dans la vallée de Cadarache ...

→ KASCADE 2017

- ... pour avoir une meilleure prévision du champ de vent sur Cadarache ...

→ RNA sur plusieurs stations

→ avec WRF : simulations à haute résolution

- ... pour ensuite faire tourner un modèle de dispersion atmosphérique



KASCADE 2013 :

Structure verticale de l'atmosphère par conditions stables

KASCADE 2017 :

Spatialisation des mesures dans la vallée de Cadarache pour observer la formation et l'évolution du vent de vallée de Cadarache

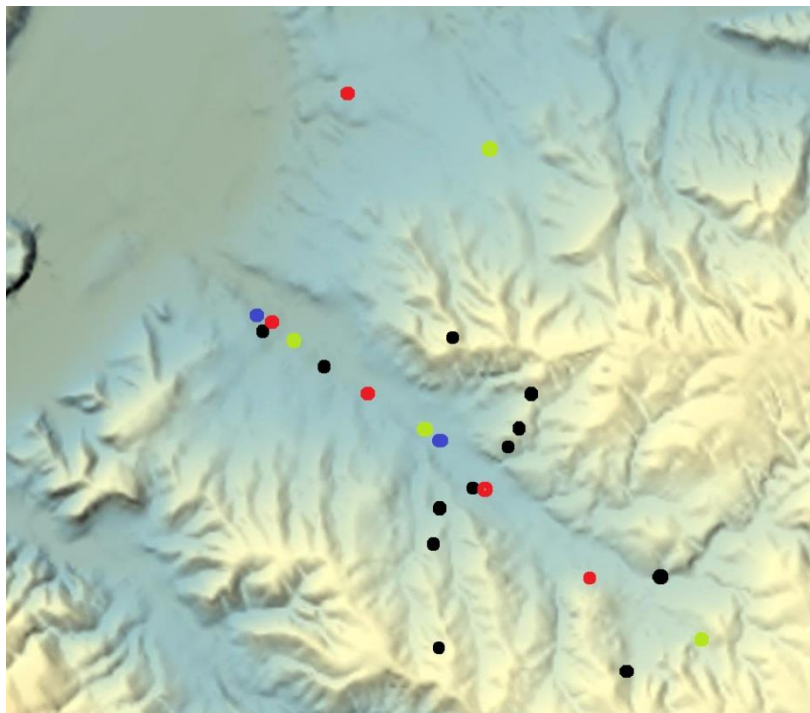
- mesures continues du 15/12/2016 au 31/05/2017
- inter-comparaison du 06/06/2017 au 28/06/2017
- 14 POI entre le 17/01/2017 et le 10/03/2017
  
- 23 stations

# KASCADE 2017 (12/2016 – 06/2017)



Spatialisation des mesures dans la vallée de Cadarache pour observer la formation et l'évolution du vent de vallée de Cadarache avec

- Radiosondages toutes les 3 heures
- Ballon captif instrumenté tous les 10m de la surface à 50m



- 12 stations LEMS



- 5 stations avec anémomètres soniques



- 4 stations CEA

- 2 sodars



# Premiers résultats

Beaucoup de conditions stables observées

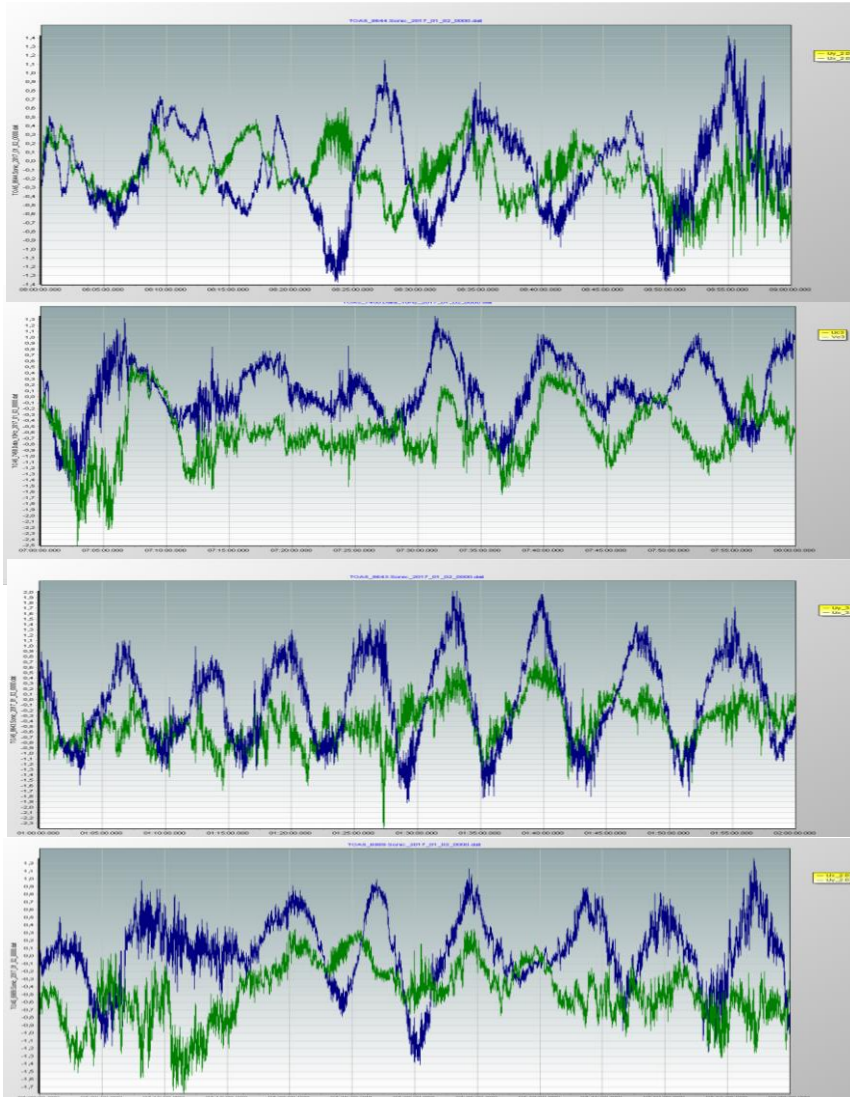
- le vent de vallée de Cadarache apparaît dès le coucher du soleil
- et il se maintient toute la nuit jusqu'au lever du soleil

Les LEMS permettent de voir les vents thermiques qui descendent les pentes et la grande hétérogénéité qui existe dans la vallée

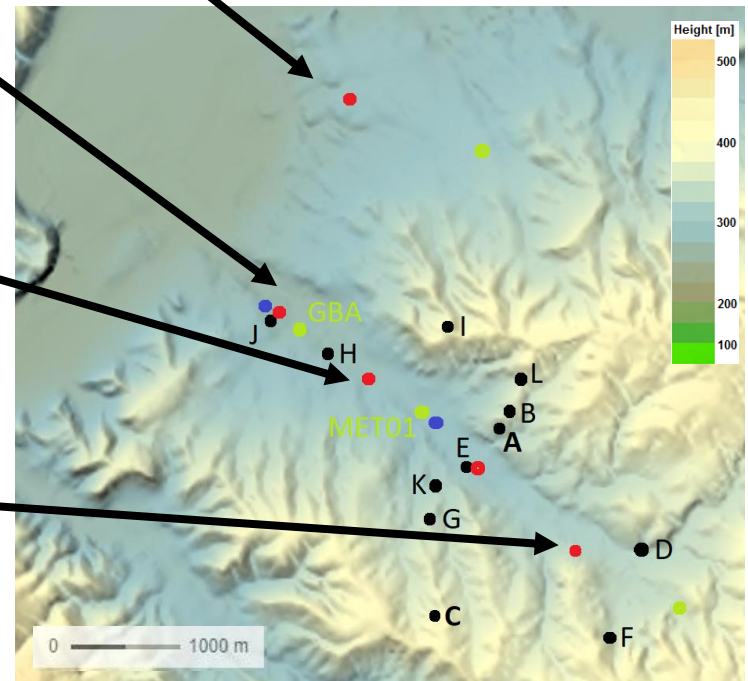
- grande hétérogénéité sur les directions de vent par conditions stables

Quelques phénomènes très particuliers

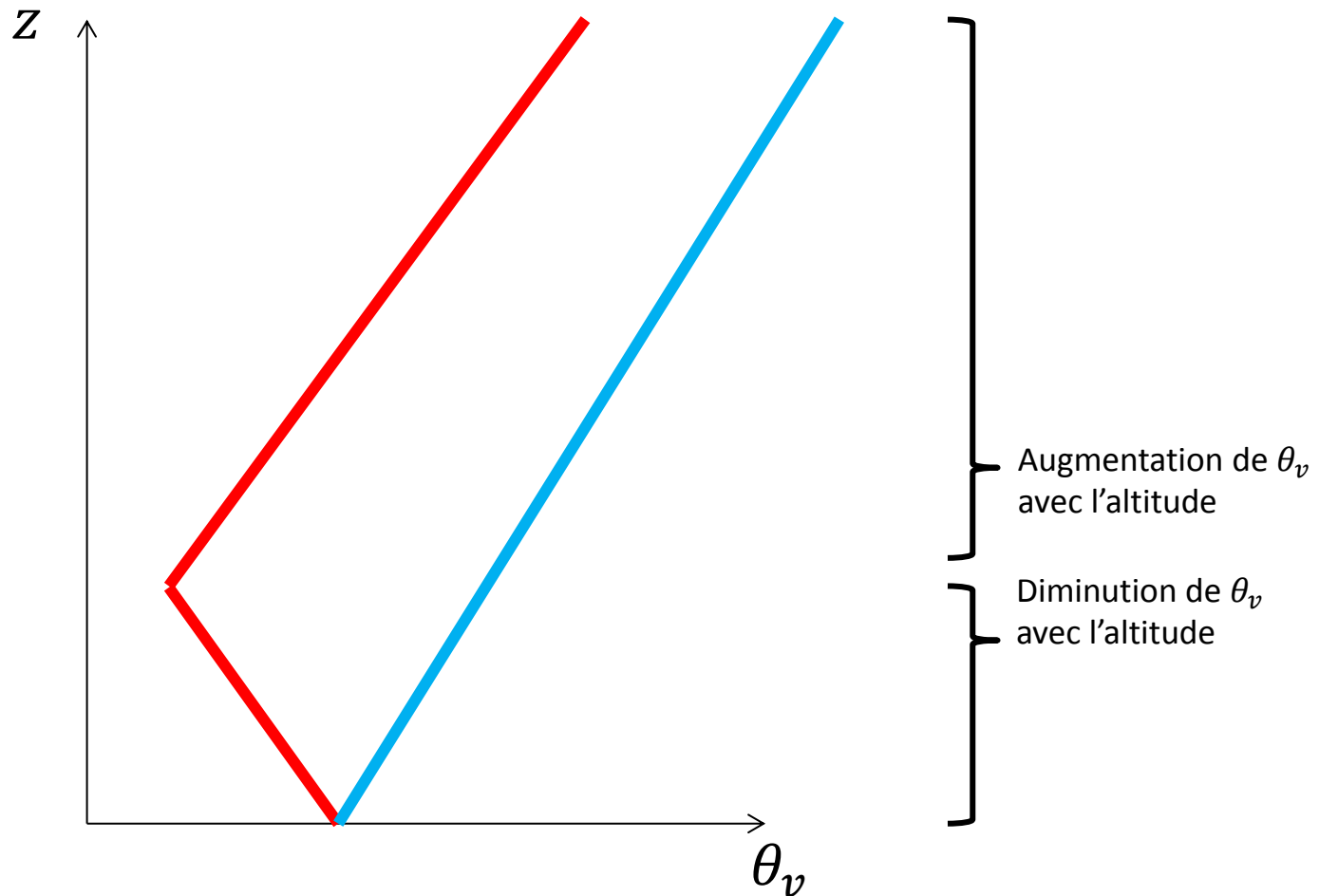
# Oscillations



Des oscillations observées dans la vallée certaines nuits



# Comportement particulier de la stratification



# Après KASCADE 2017

Objectif :

- Recréer un champ de vent avec un RNA en utilisant les vents observés sur les stations situées à différents endroits dans la vallée de Cadarache
- Atteindre une résolution d'environ 100 m dans les simulations WRF pour décrire la vallée de Cadarache (1 km de large)

**Merci pour votre attention**