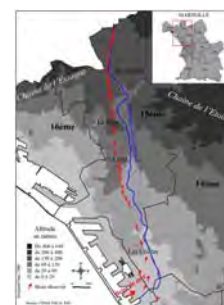
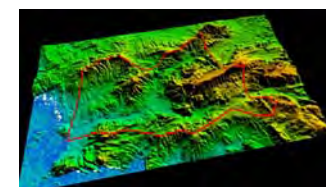
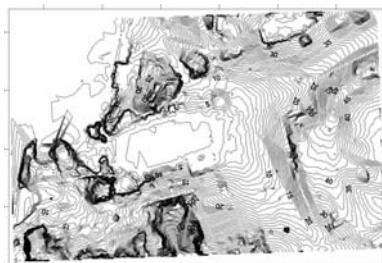


# Les facteurs de la distribution de la pollution en surface à Marseille :

Application aux lieux récréatifs du littoral entre le J4 et Borely

Bilan des travaux réalisés sur « climat urbain et pollution » entre 2007 et 2014

Par B. Pauc, B. Diakaby et M. Bril, sous la direction de S. Bridier



Le Projet Global : Climatologie urbaine aux échelles fines et pollution  
Modélisation et observation des brises thermiques en situation radiative.  
Influence des brises thermiques sur le transport des polluants en surface.

## Hypothèses

### Brises thermiques

Les brises thermiques se mettent en place durant les situations météorologiques dites radiatives, vent et couvert nuageux faibles ou nuls, favorisant les phénomènes locaux.

Les brises thermiques se mettent en place de manières différentes de jour et de nuit

De jour, les brises correspondent à une compensation entre les secteurs chauds et froids. Elles peuvent se mettre en place entre la mer et la terre, entre les points bas et les points hauts du relief dans les vallées.

De nuit les brises descendent du relief et se dirigent vers le niveau de référence (ici la mer).

Cartographier le relief et l'occupation du sol aide à identifier la localisation et l'intensité des brises thermiques.

# Hypothèses

## Brises thermiques :

### Schémas génériques

BRISE DE MER (le jour)



BRISE DE TERRE (la nuit)



**Brise de vallée**

*Brise d'aval*      *Brise montante*

**Brise de montagne**

*Brise d'aval*      *Brise descendante*

$L_1, L_2$  : coupe longitudinale  
 $T_1, T_2$  : coupe transversale

METEO FRANCE  
www.meteo.fr

## Hypothèses

### Transport des polluants émis en surface

Les polluants émis en surface peuvent être transportés par les brises, occasionnant des taux plus élevés en certain lieux favorables selon la période de la journée.

La cartographie des brises et la localisation des sources de pollution émis au sol permettent de comprendre la distribution spatiale et temporelle des polluants.

Vitesse des écoulements (en moyenne 3 m/s),

Distances parcourues importantes (>80km en 8h) le long des vallées

## Hypothèses

### Lieux récréatifs et pollution

Certains des lieux récréatifs les plus fréquentés à Marseille sont sur le littoral (MUSEM, plages, promenade de la corniche Kennedy)

Le littoral constitue un interface entre mer et terre incluant :

- une partie du réseau routier principal (tunnel Prado Carenage et tunnel du Vieux Port),
- un réseau secondaire très chargé (quai de Rive neuve, Bd Charles Livon, Corniche Kennedy, promenade G. Pompidou, avenue du Prado),
- ainsi que des lieux de parcours et de récréation pour la population
  - J4/MUSEM,
  - Vieux Port,
  - Corniche Kennedy,
  - plage des Catalants, plage du Prophète, plage Borely
- un relief variable

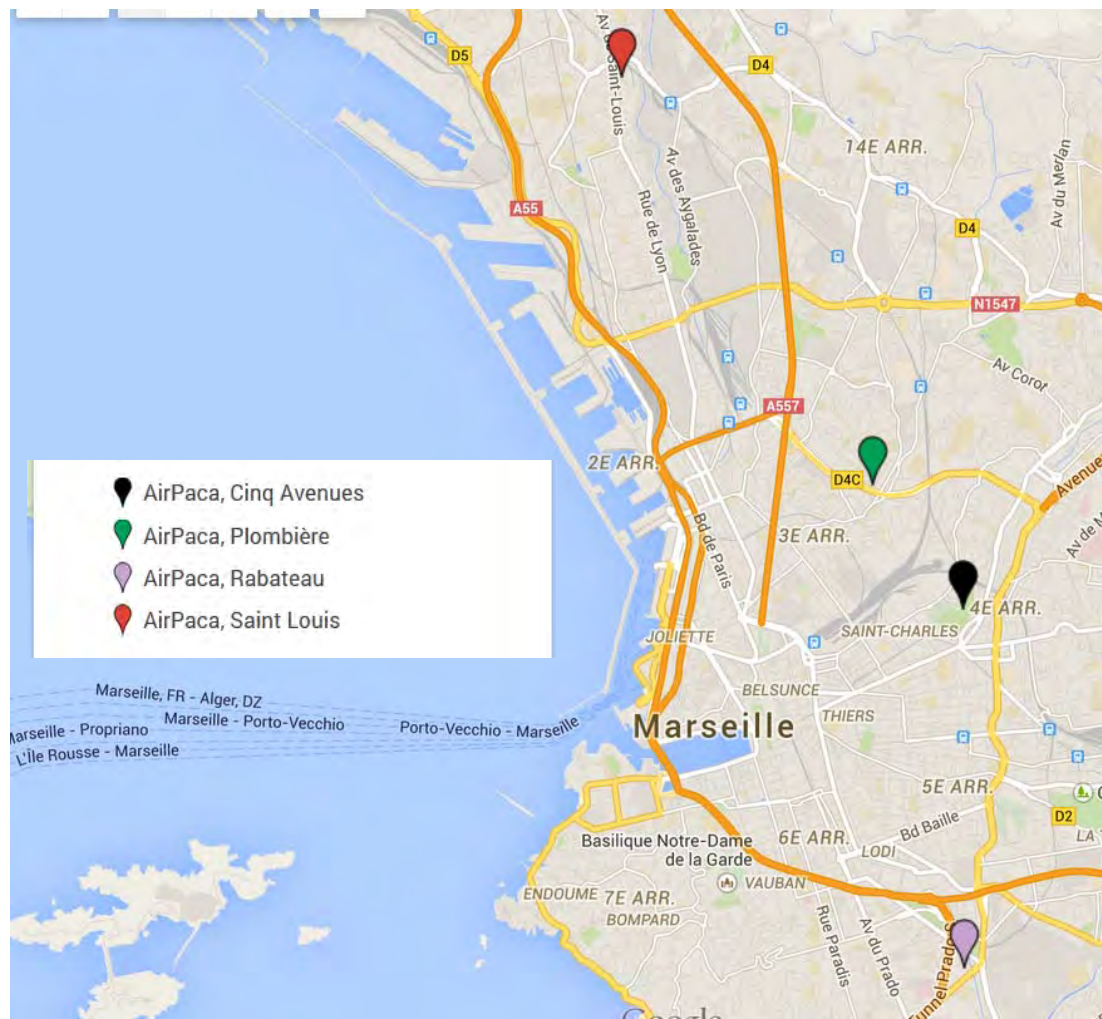
## Hypothèses

Lieux récréatifs et pollution :

les relations sont inconnues car il n'y a pas de mesures sur le littoral.

Mesures d'Airpaca à Marseille :

- Cinq avenues (bd Cassini),
- Plombière, (26 bd de Plombière),
- Rabateau, (93 bd Rabateau),
- Saint Louis (16 rue le Chatelier).



## La Méthode

Cartographie du relief et de l'occupation du sol à partir des données de la BDU de Marseille et de données génériques.

Observation des brises thermiques par des mesures itinérantes (girouette et anémomètre)

Observation de la pollution par des mesures ponctuelles et itinérantes dans les bonnes conditions météorologiques (situations radiatives).



## Les Données

MNT provenant du GLCF pour l'approche topoclimatologique

MNT provenant de la BD Alti pour l'approche microclimatologique

- Cartographie plus détaillée des formes du relief

Images satellites Landsat pour la distribution bâti/végétation

Couches vectorielles de la BDU (bâti, cadastre, voirie)

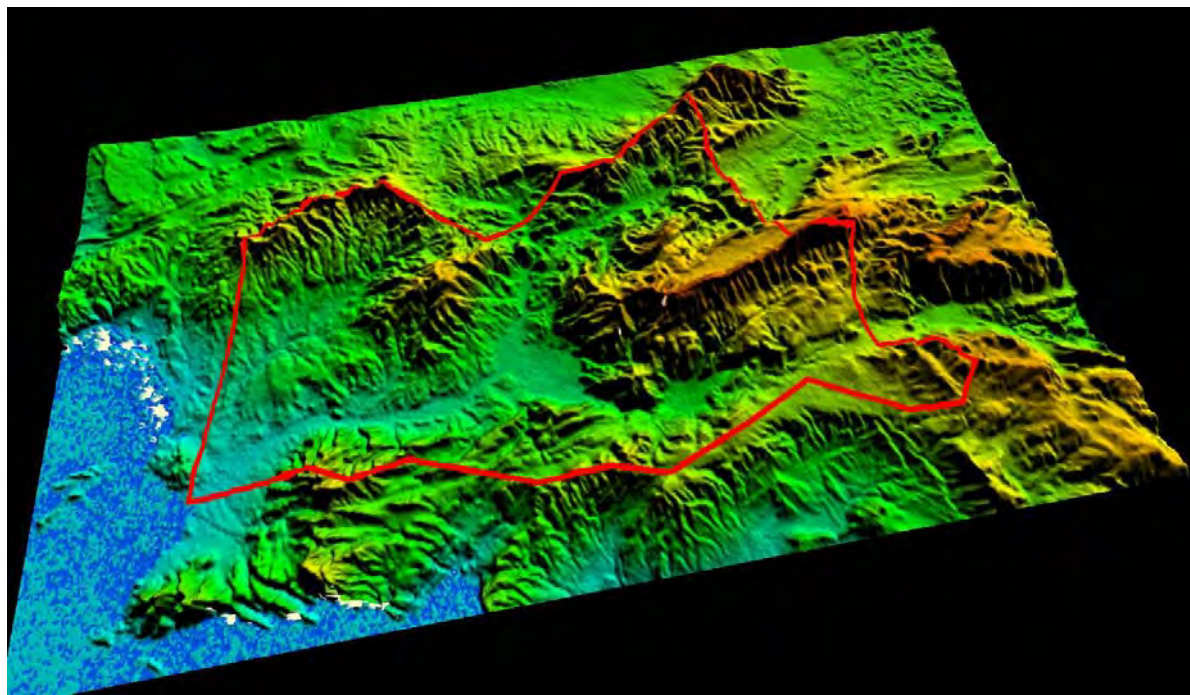
## Les traitements

### MNT

Construction et analyse du MNT de Marseille et des environs pour identifier les formes du réseau hydrographique

Identification des bassins versants des trois cours d'eau présents sur la commune de Marseille

Cartographie des pentes et orientations pour extraire la direction et l'intensité des brises thermiques de jour (ascendantes) et de nuit (descendantes).



Les traitements

Système d'Information  
Géographique

Combinaison de  
couches

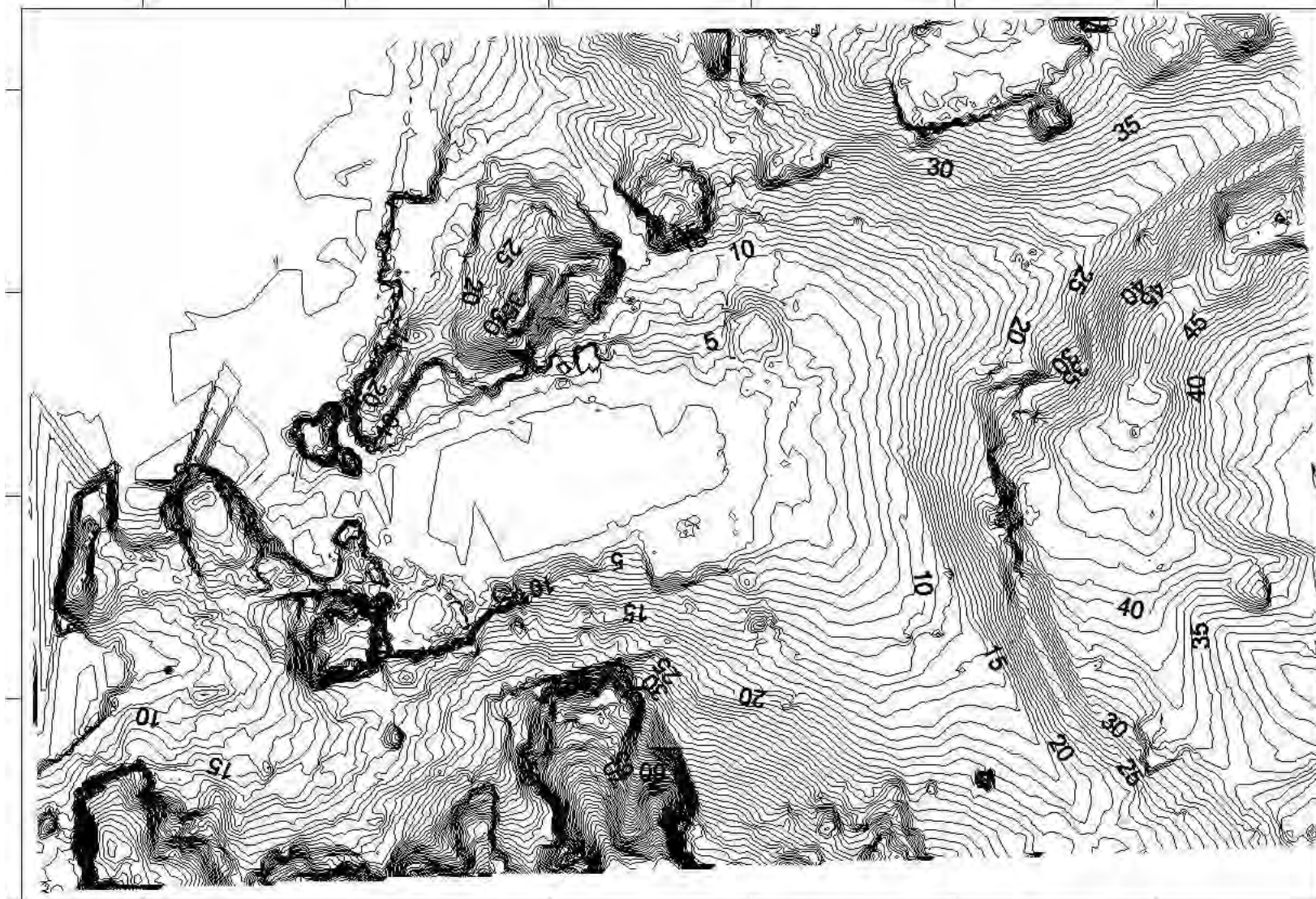
(limites administratives,  
MNT,  
hydrographie,  
risques,  
cartes topographiques,  
Bâtiments,  
réseau routier,  
indice de végétation)



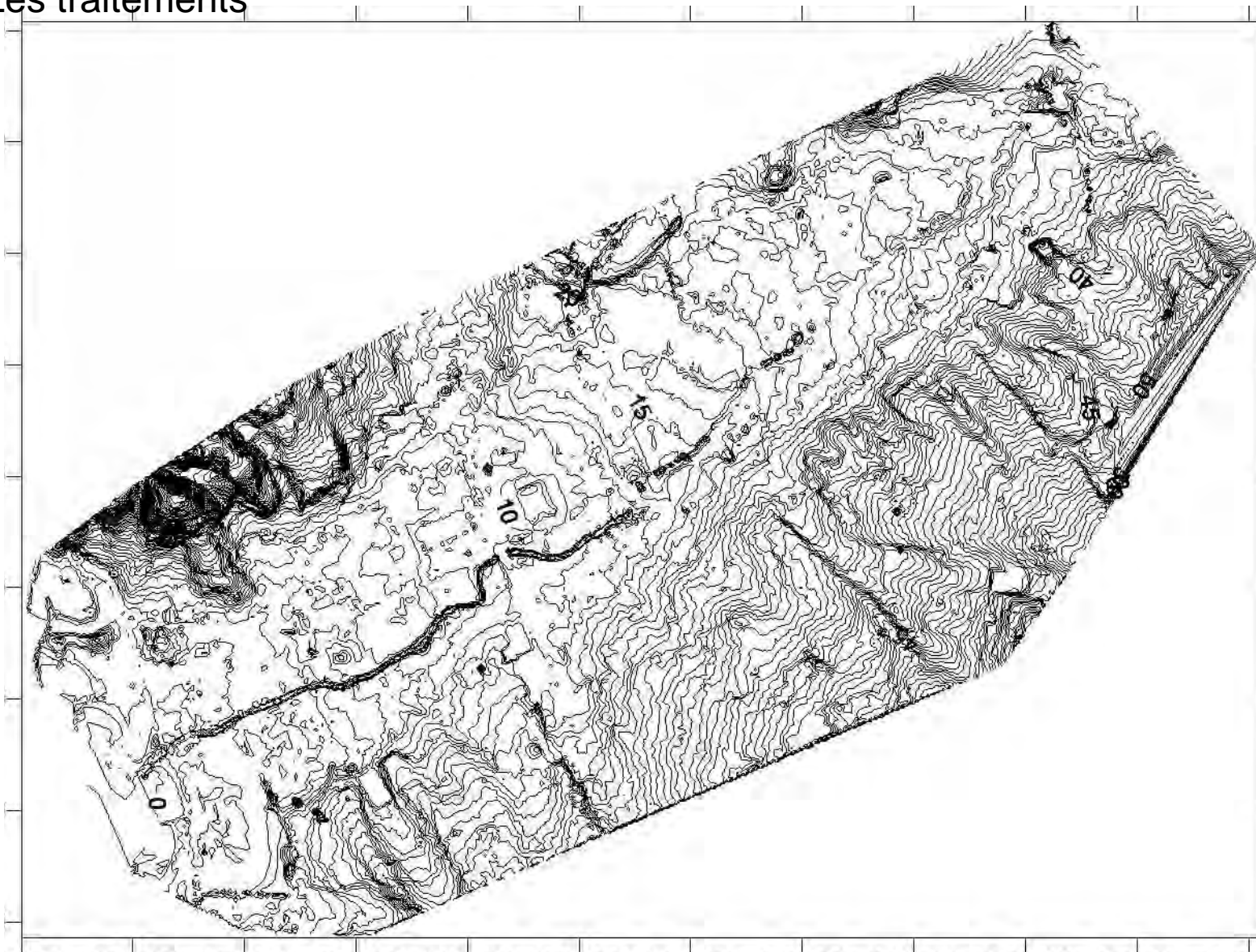
Sources : DGUH Ville de Marseille, IGN (CRIGE PACA), Landsat NASA;

Traitements : S. Bridier

## Les traitements



## Les traitements



Sources : DGUH Ville de Marseille; Traitements : S. Bridier

Les sources de pollution :

Trafic routier,

Trafic portuaire,

Usines chimiques

# Les sources de pollution : Trafic routier (aux abords du littoral)



# Les sources de pollution :

## Trafic routier (dans la vallée de l'Huveaune)

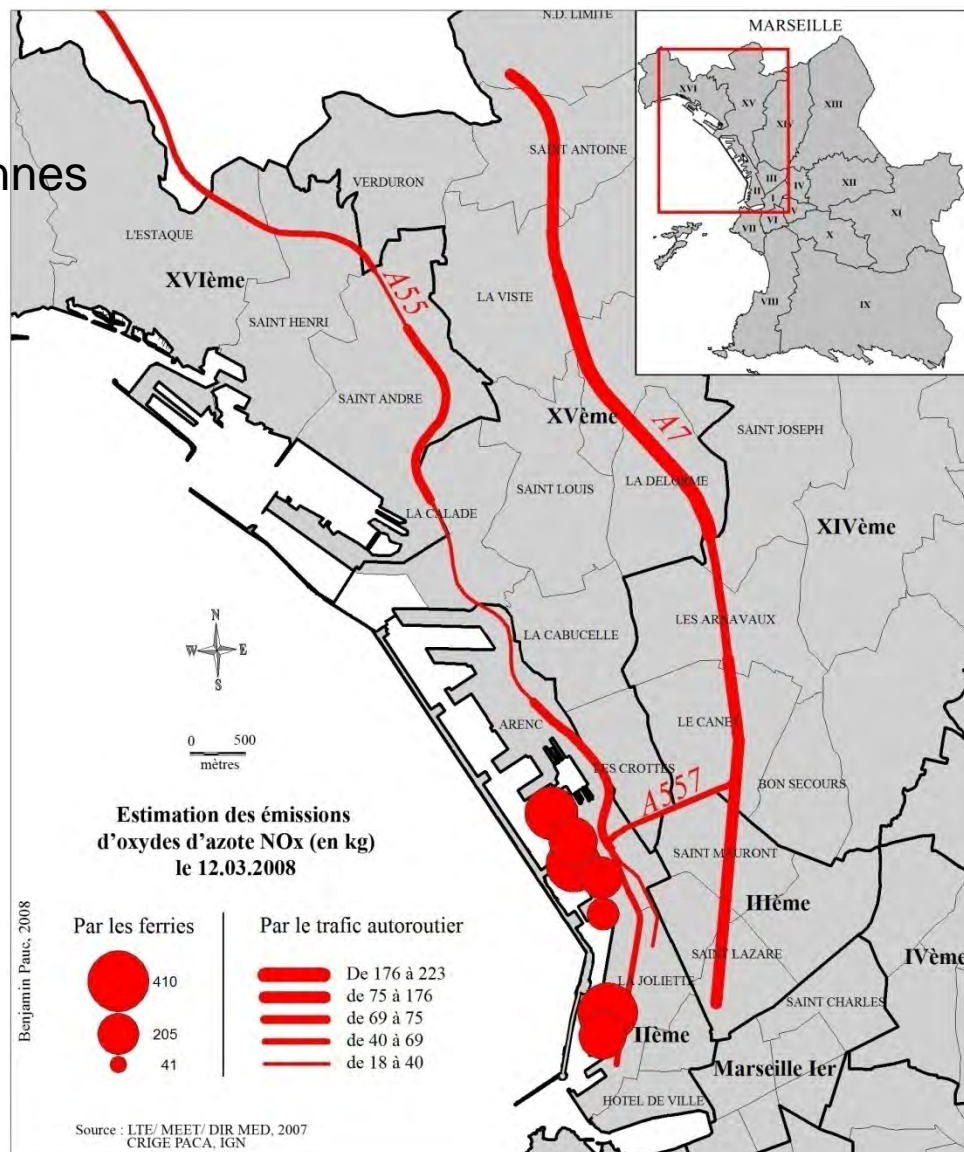


importance des routes

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- NC



Les sources de pollution :  
 Trafic routier,  
 Trafic portuaire.  
 Évaluation des émissions quotidiennes  
 de NOx par les ferries  
 et le trafic autoroutier à proximité  
 du PAM Marseille en 2008



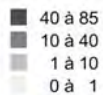
Les sources de pollution :

Usines chimiques :

*répartition du bâti industriel par rapport  
à la surface cadastrale*



bâti industriel/surface cadastre

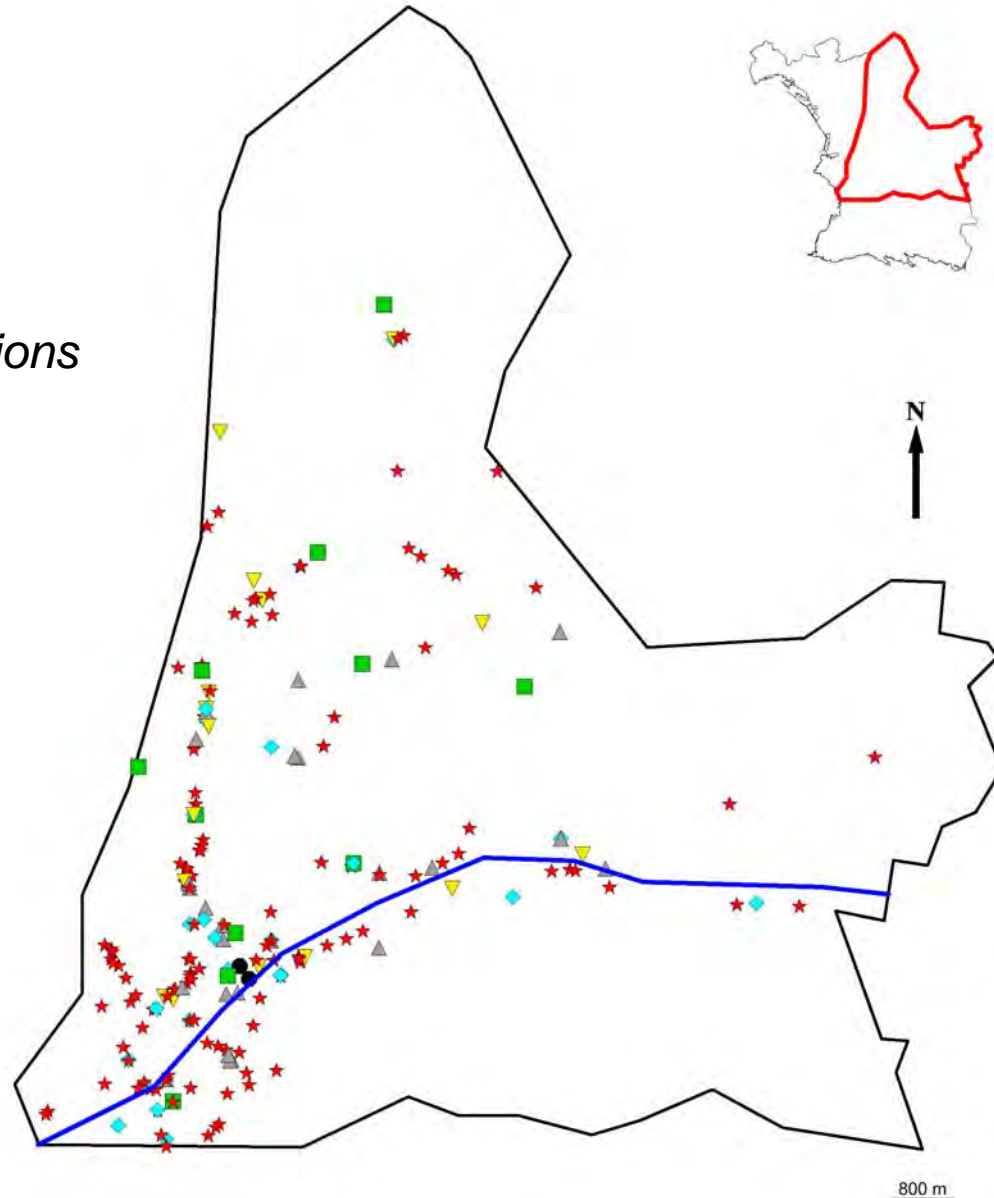


 Huveaune

Les sources de pollution :

Usines chimiques :

*répartition des différentes productions potentiellement polluantes*



libellé produit

- Charbon
- Colle, Mastic, Vernis, Résine, Huile siccativ
- ★ Hydrocarbures de type Carburant: fuel, essence...
- ▲ Métaux ferreux
- ▼ Savons, Détergents et Emulsions (Tensio-actifs)
- ◆ Solvants organiques: éthers, organo-chlorés...

Les sources de pollution :

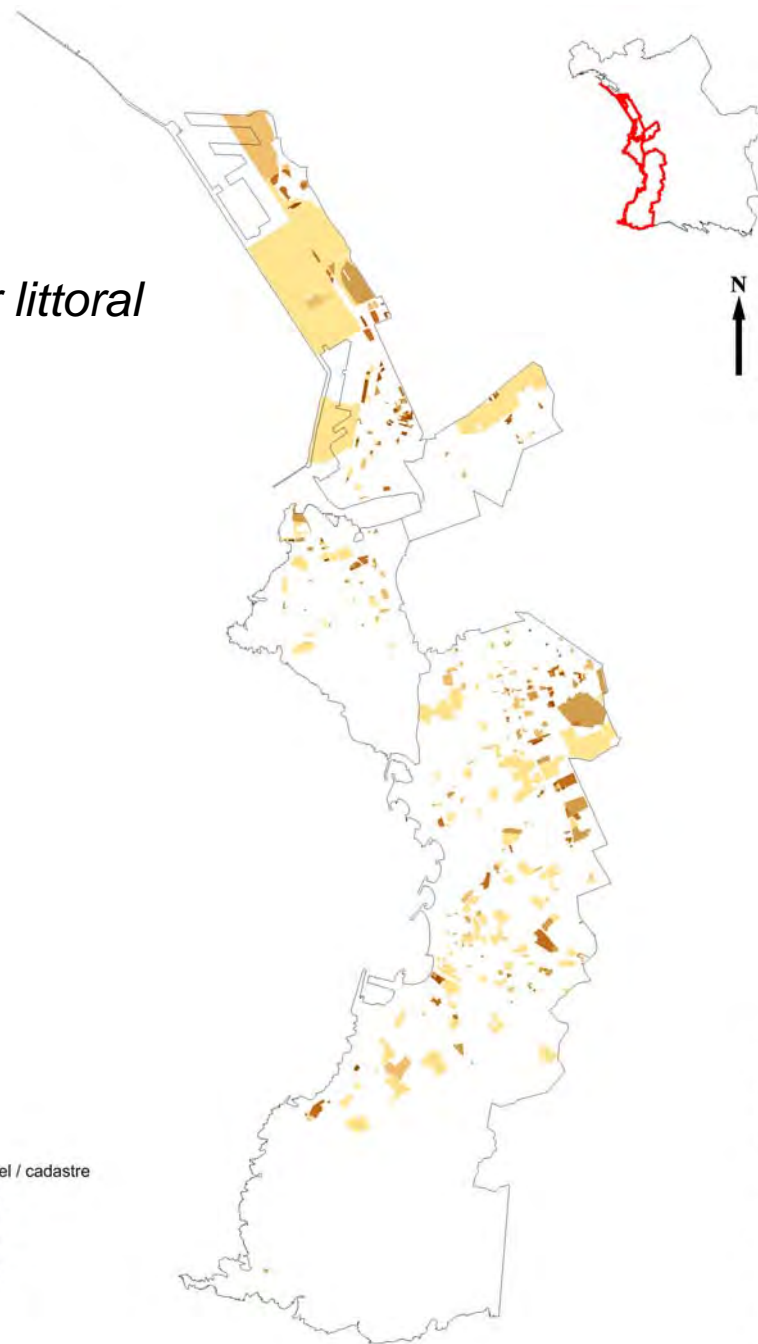
Usines chimiques :

*répartition du bâti industriel dans le secteur littoral*

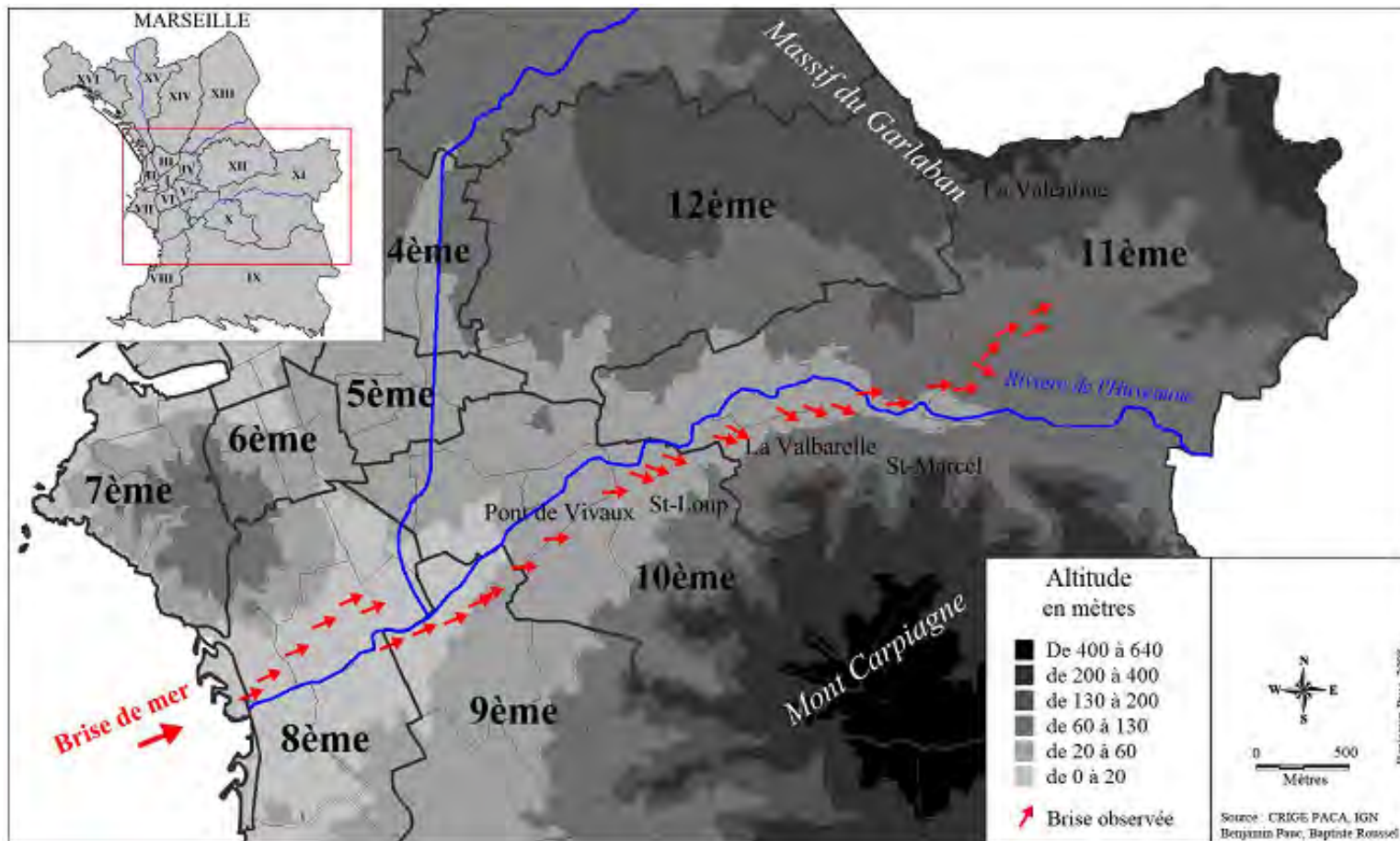
bâti industriel / cadastre



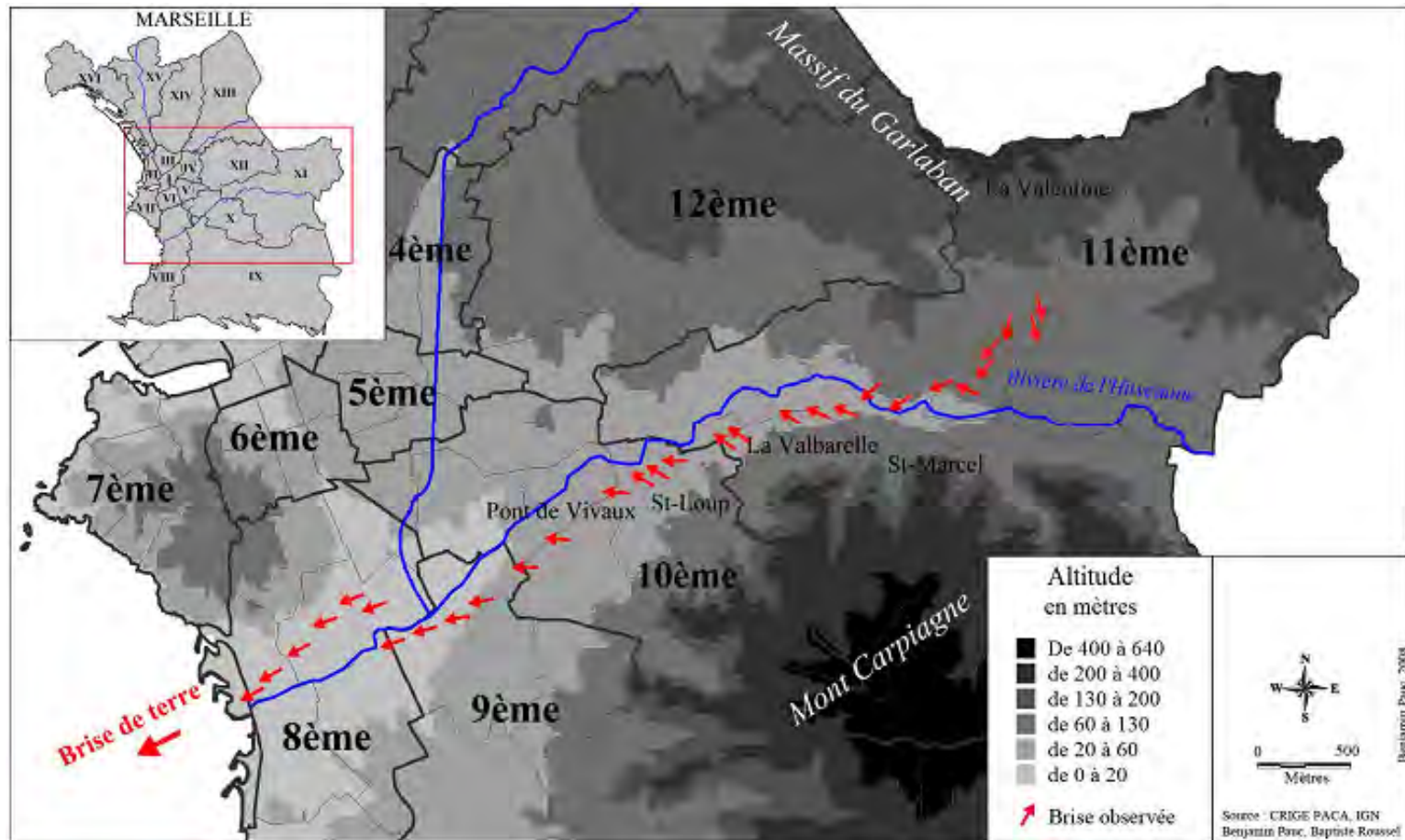
600 m



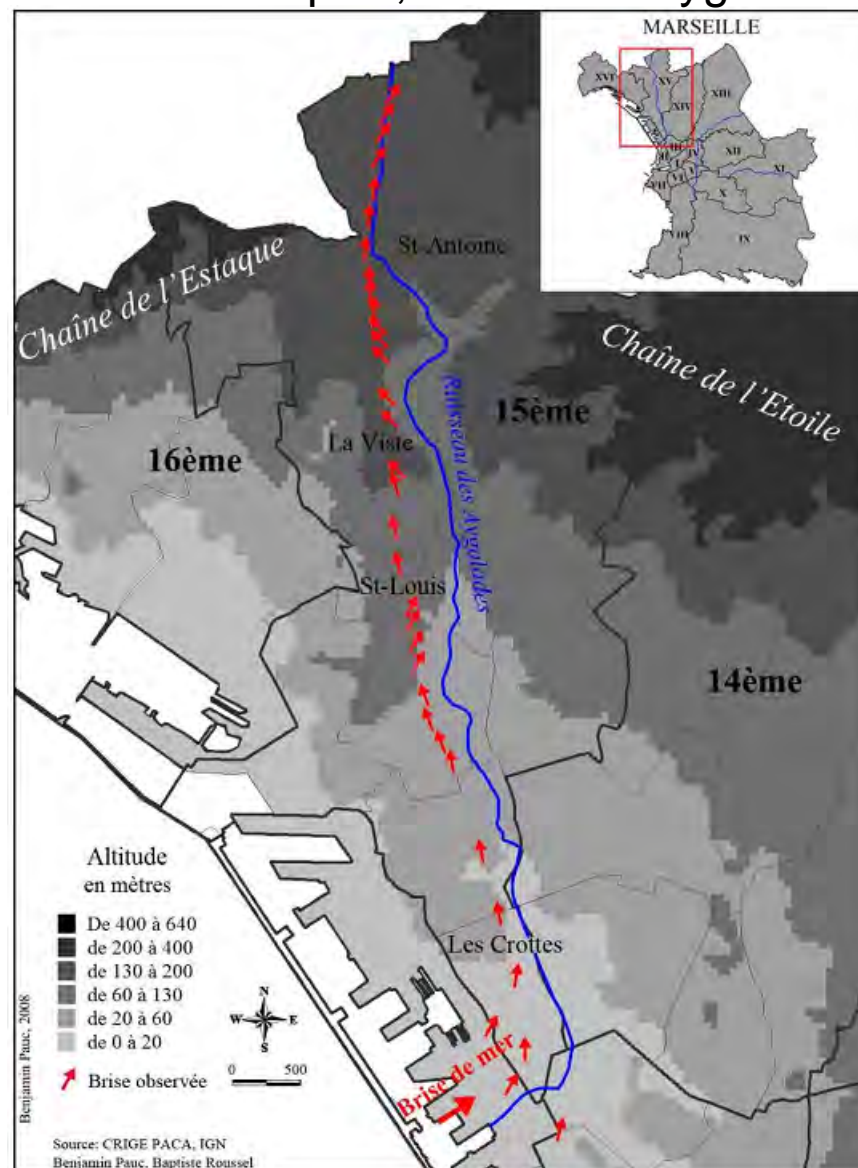
## Les observations : brises thermiques, vallée de l'Huveaune, de jour, été 2008



## Les observations : brises thermiques, vallée de l'Huveaune, de nuit, été 2008

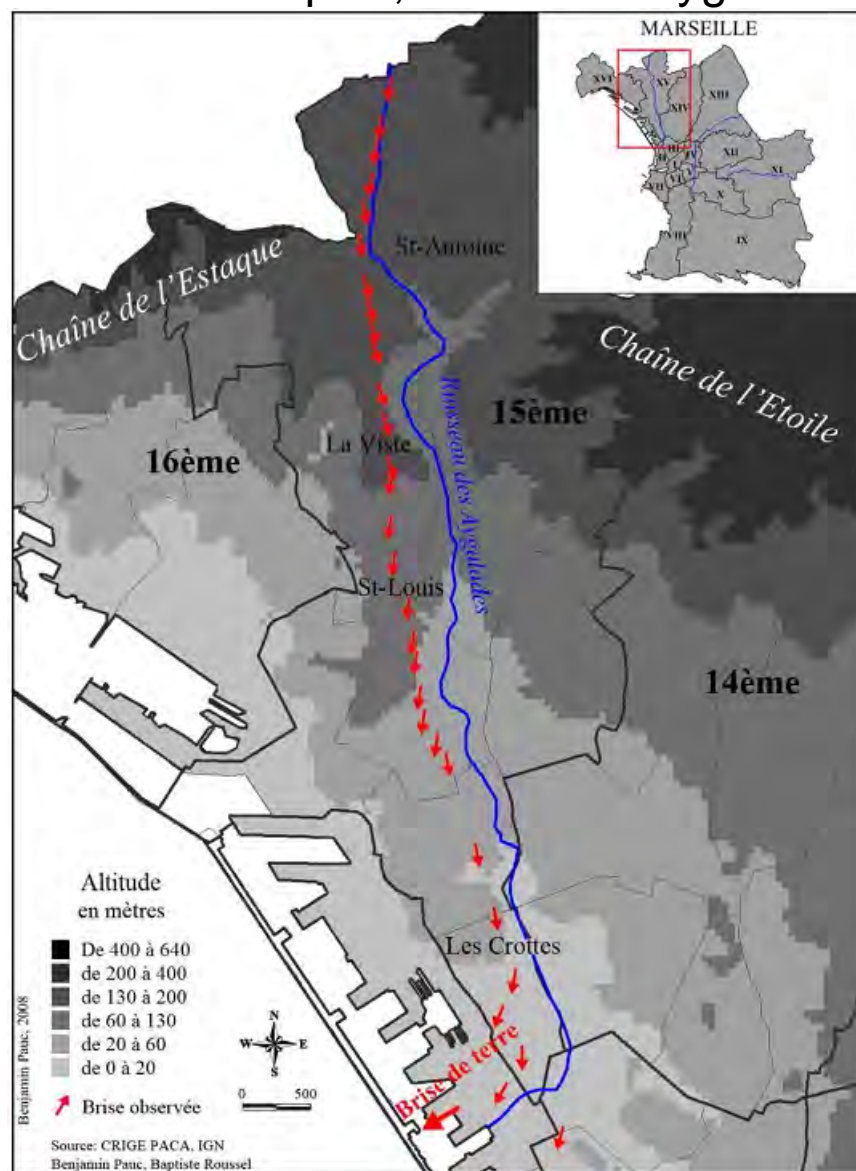


## Les observations : brises thermiques, vallée des Aygaldes, de jour, été 2008



Sources : DGUH Ville de Marseille; Traitements : B. Pauc

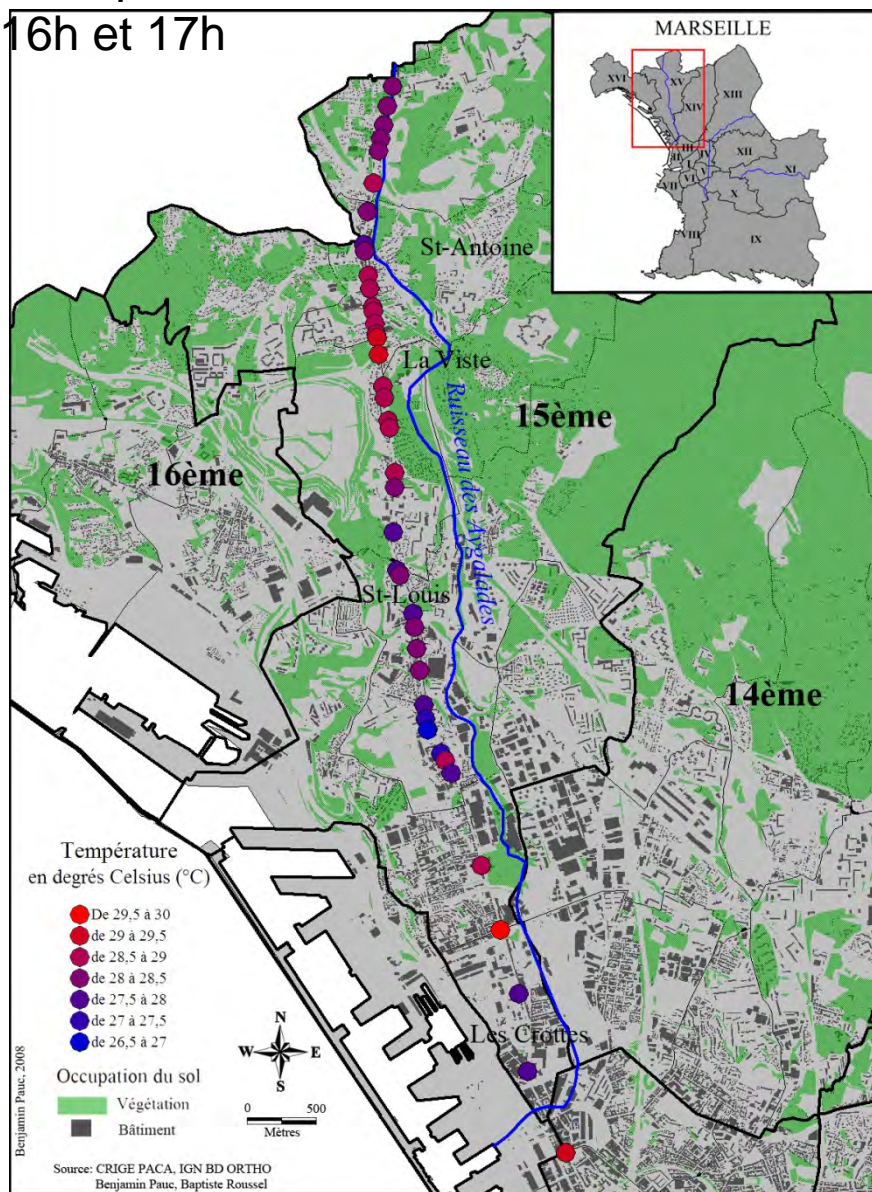
## Les observations : brises thermiques, vallée des Aygaldes, de nuit, été 2008



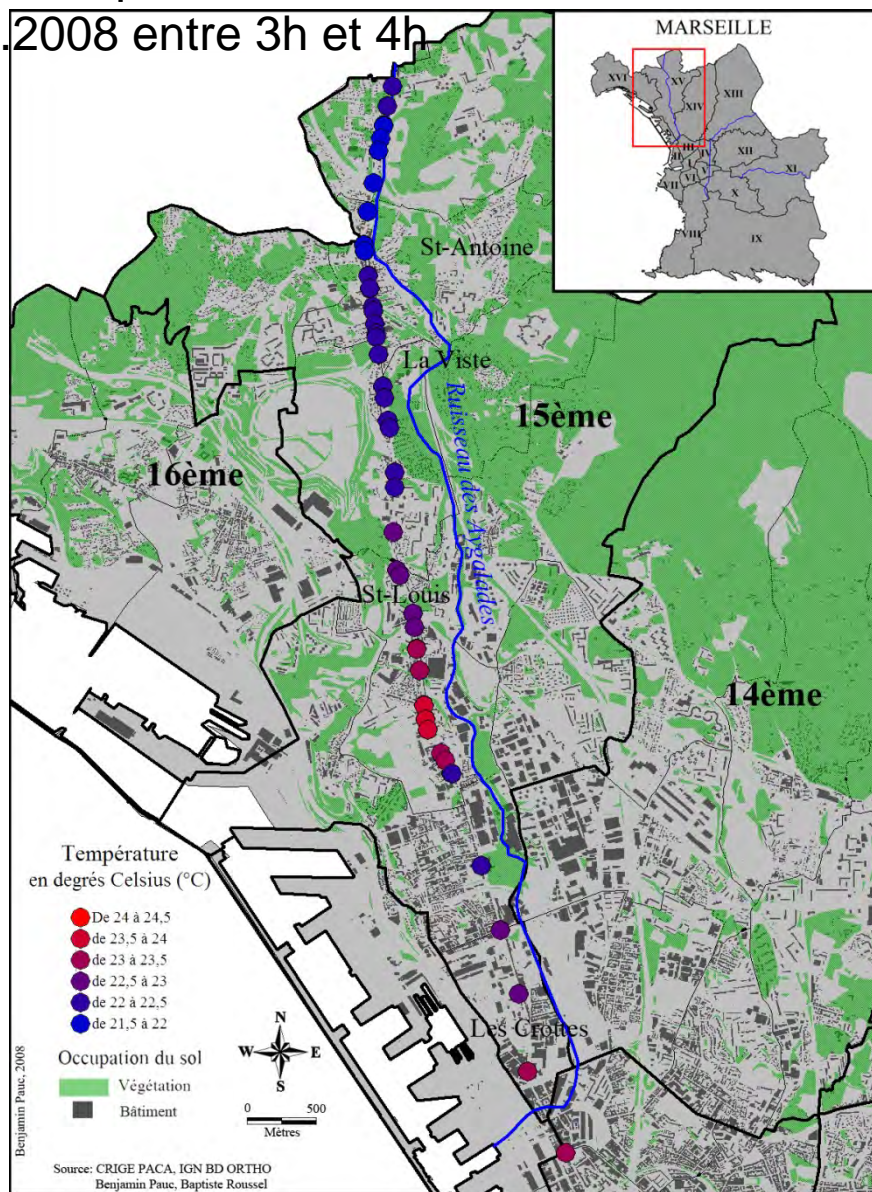
Sources : DGUH Ville de Marseille; Traitements : B. Pauc



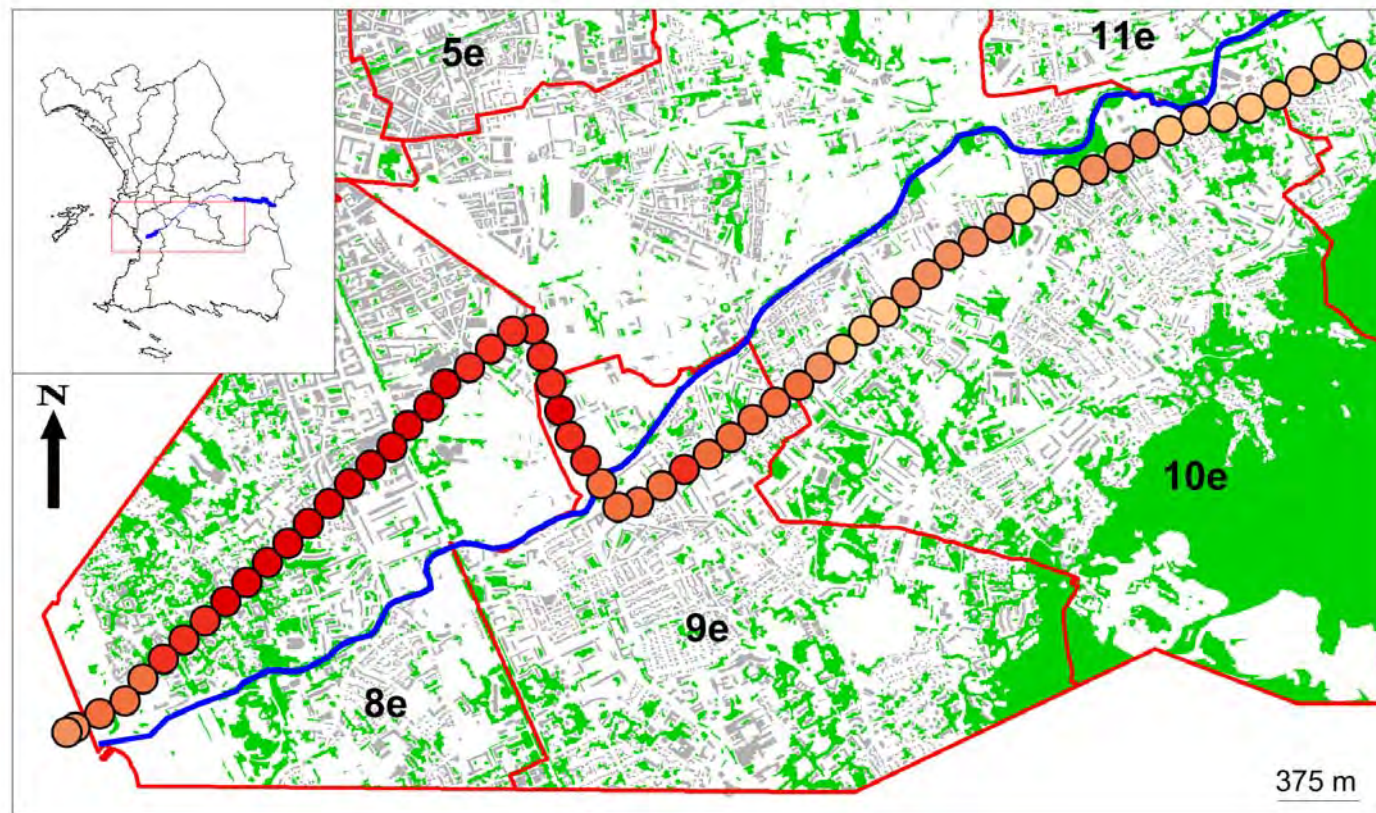
# Les observations : Températures diurnes dans la vallée des Aygaldes, le 19.06.2008 entre 16h et 17h



# Les observations : Températures nocturnes dans la vallée des Aygaldes, à Marseille le 21.06.2008 entre 3h et 4h



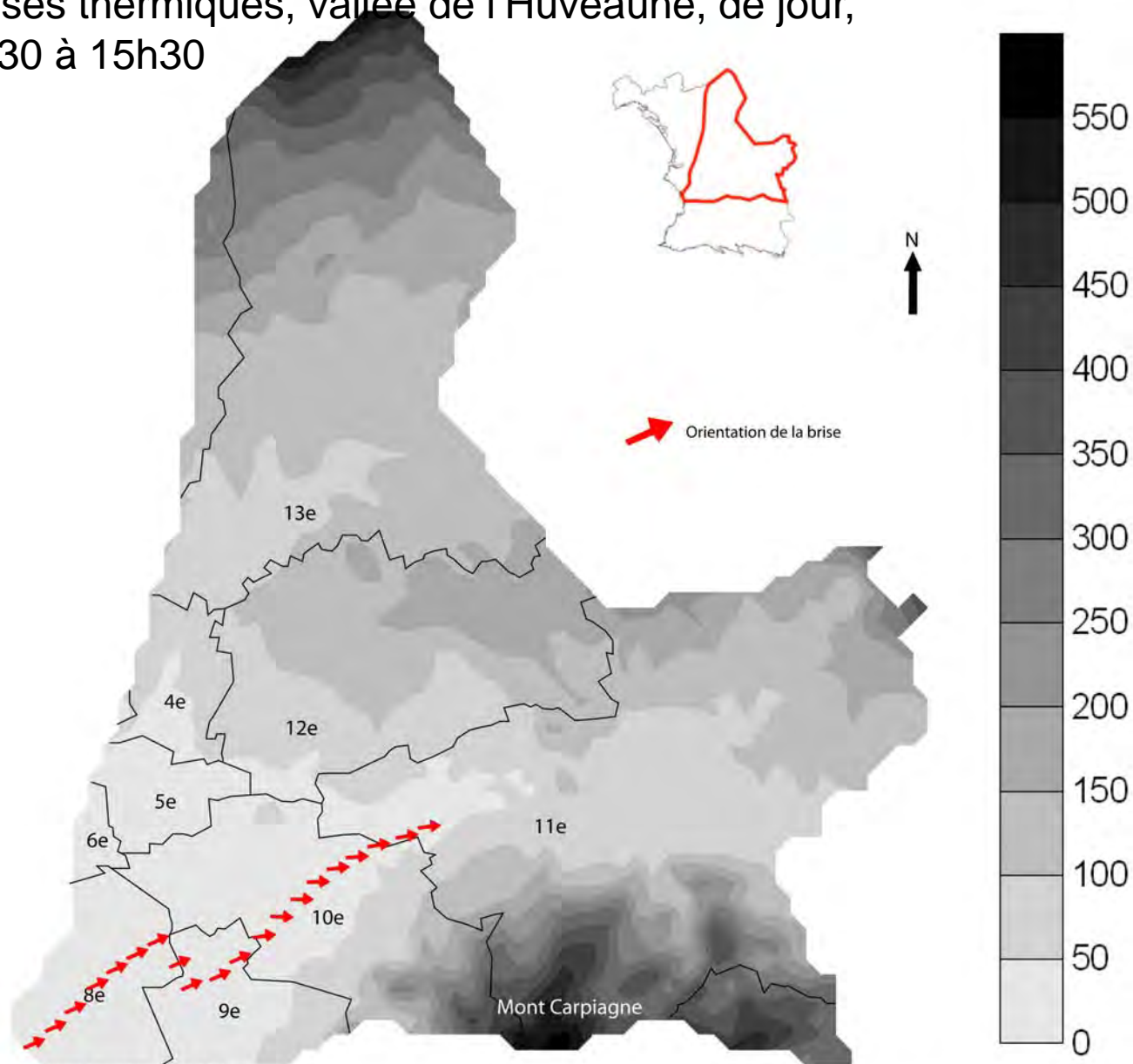
## Les observations : Températures diurnes dans la vallée de l'Huveaune, le 13.08.2013 de 14h30 à 15h30



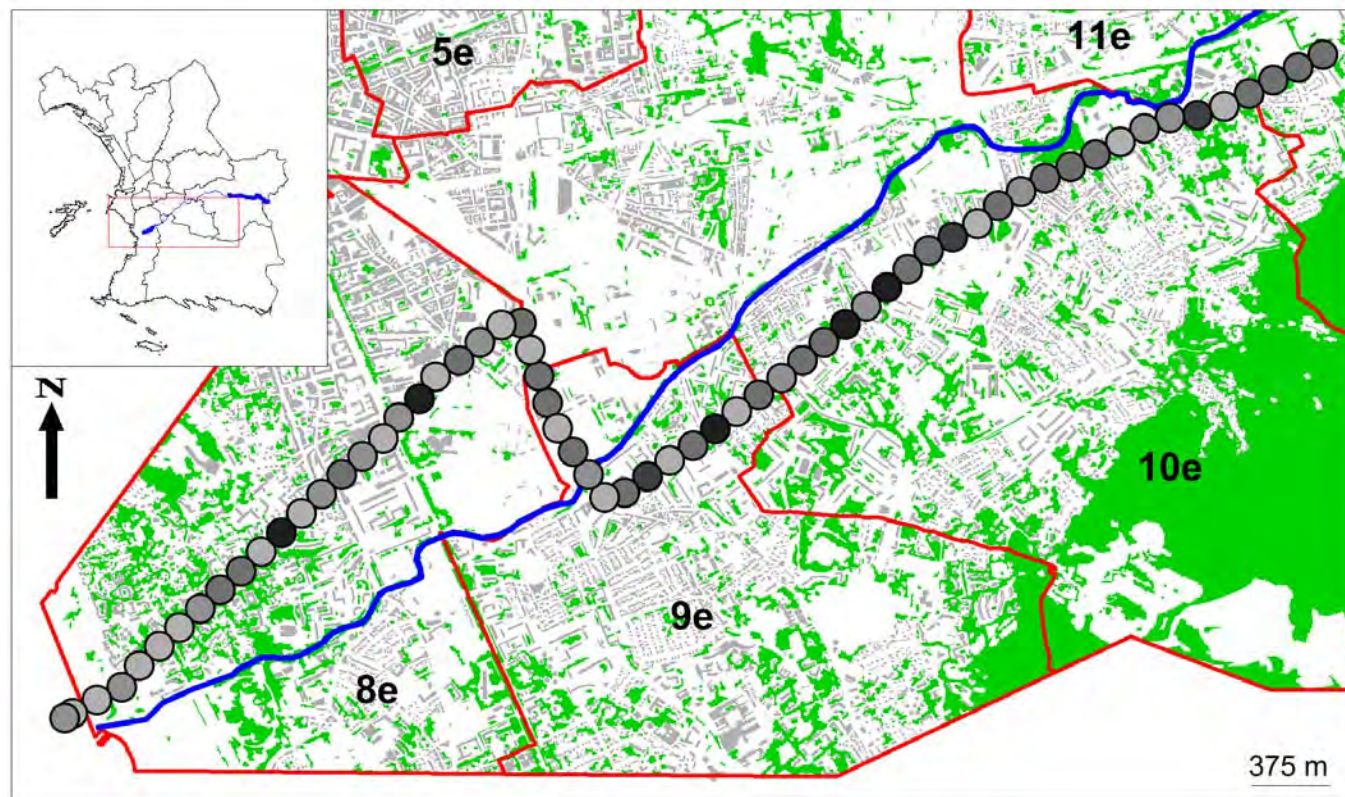
température en °C

- 36.4 to 37.1
- 35.2 to 36.4
- 34.1 to 35.2
- 33.6 to 34.1
- 32.5 to 33.6

## Les observations : brises thermiques, vallée de l'Huveaune, de jour, le 13.08.2013 de 14h30 à 15h30



## Les observations : taux de NO<sub>2</sub>, vallée de l'Huveaune, de jour, le 13-08-2013 de 14h30 à 15h30



pollution en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- 16 to 16
- 14 to 16
- 12 to 14
- 10 to 12
- 8 to 10

Les observations :

Points de mesures de la campagne 2014



Les observations :

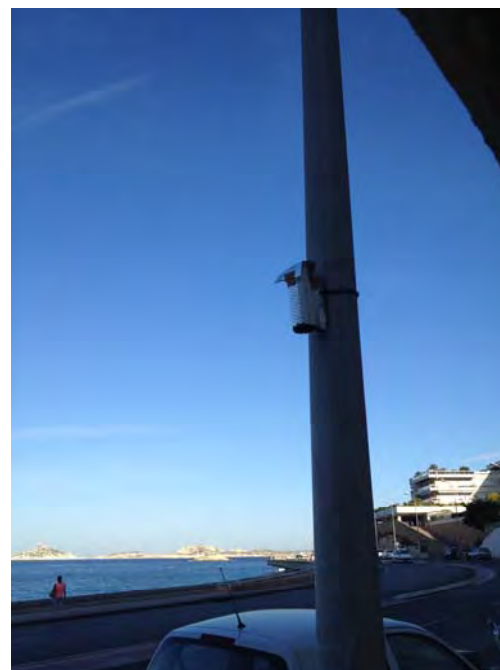
Points de mesures de la campagne 2014



J4/MUCEM



Plage des Catalants



Plage du Prophète

Les observations :

Mesures durant l'été 2014

Temps très perturbé durant le mois de juillet 2014

4 périodes de temps radiatifs durant le mois d'aout 2014

- du 18.08.14 9H au 19.08.14 9h

- du 21.08.14 9h au 22.08.14 9h

- du 25.08.14 9h au 26.08.14 9h

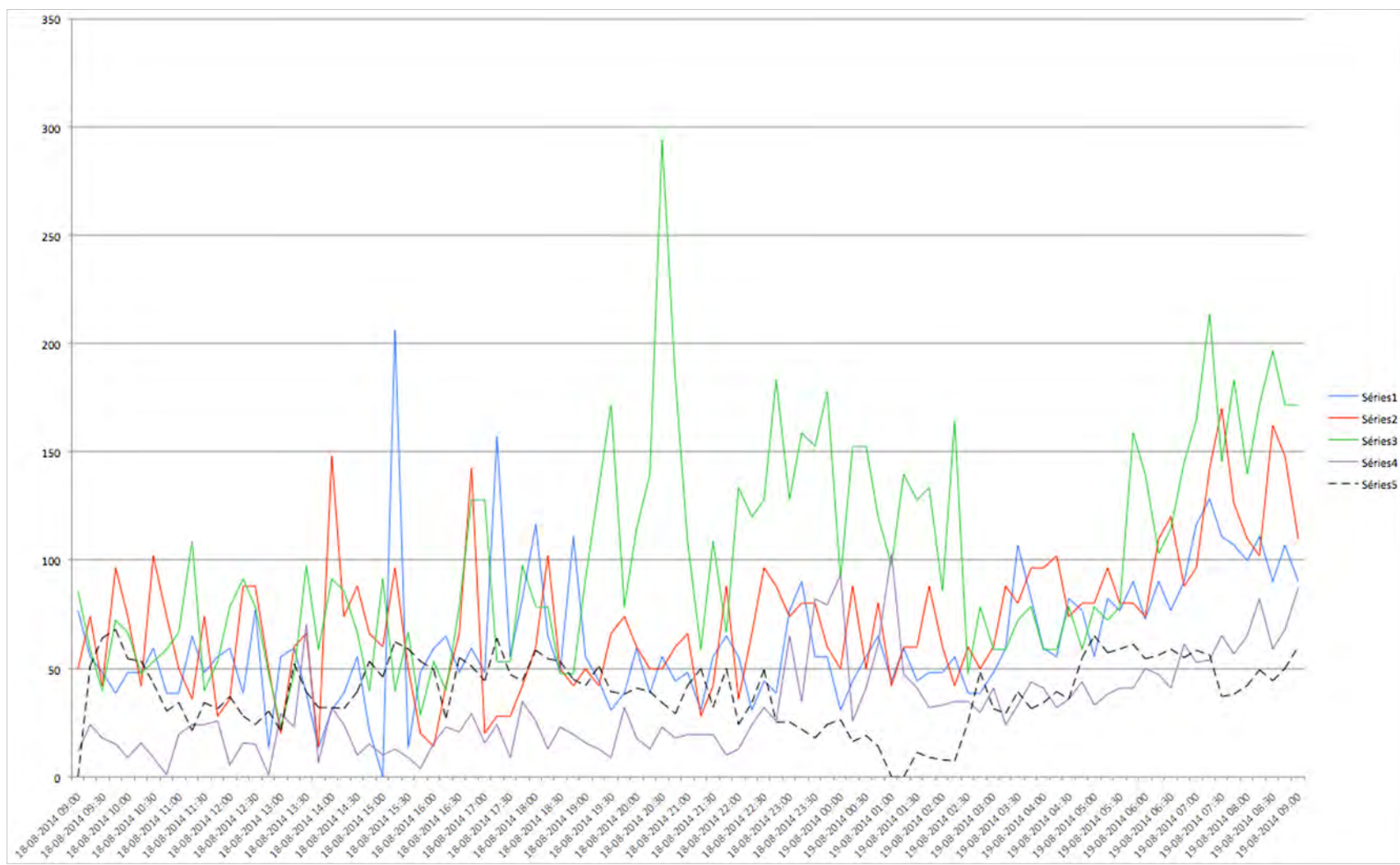
- du 27.08.14 9h au 28.08.14 9h

Contraintes de durée des périodes de mesures liées :

- aux conditions météorologiques,
- aux risques de prédation sur le matériel,
- à l'autonomie des capteurs



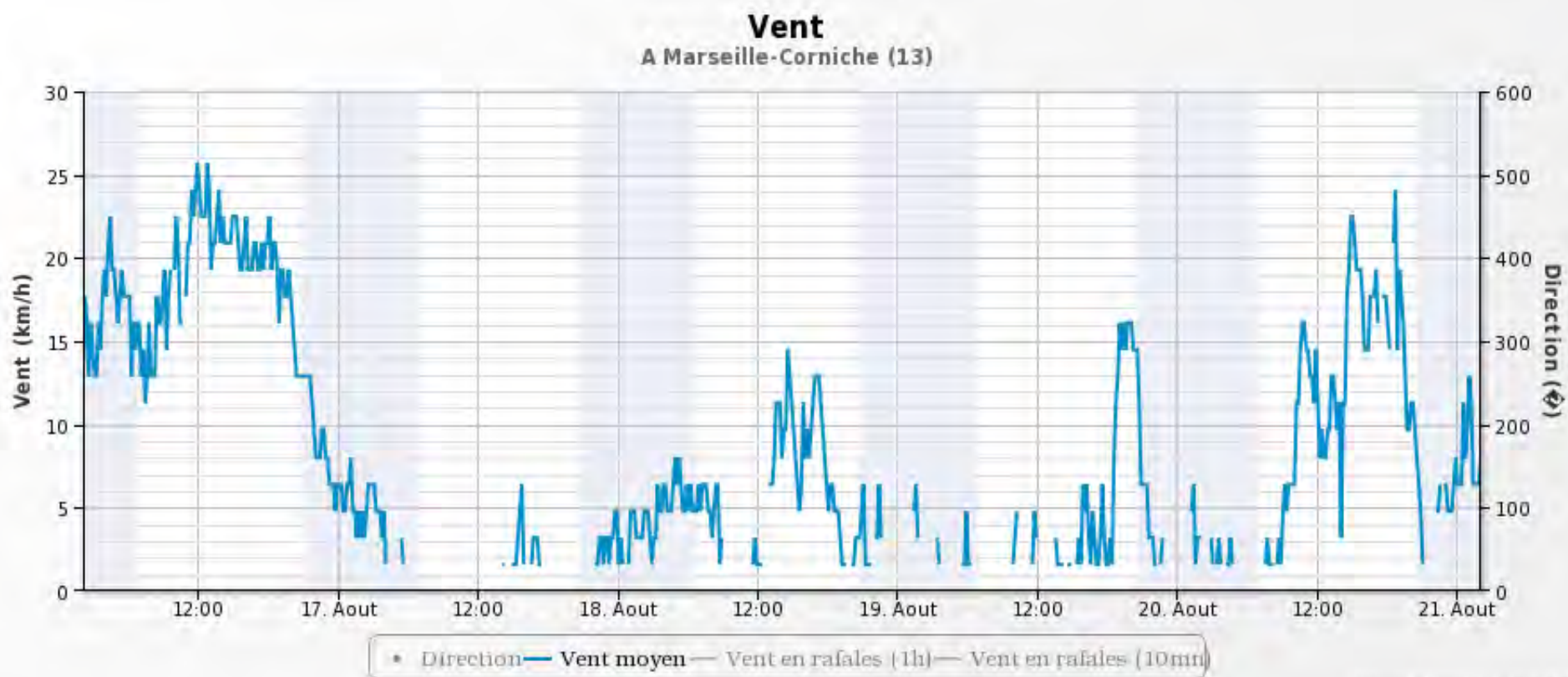
Les observations :  
Mesures durant l'été 2014  
du 18.08.14 9H au 19.08.14 9h



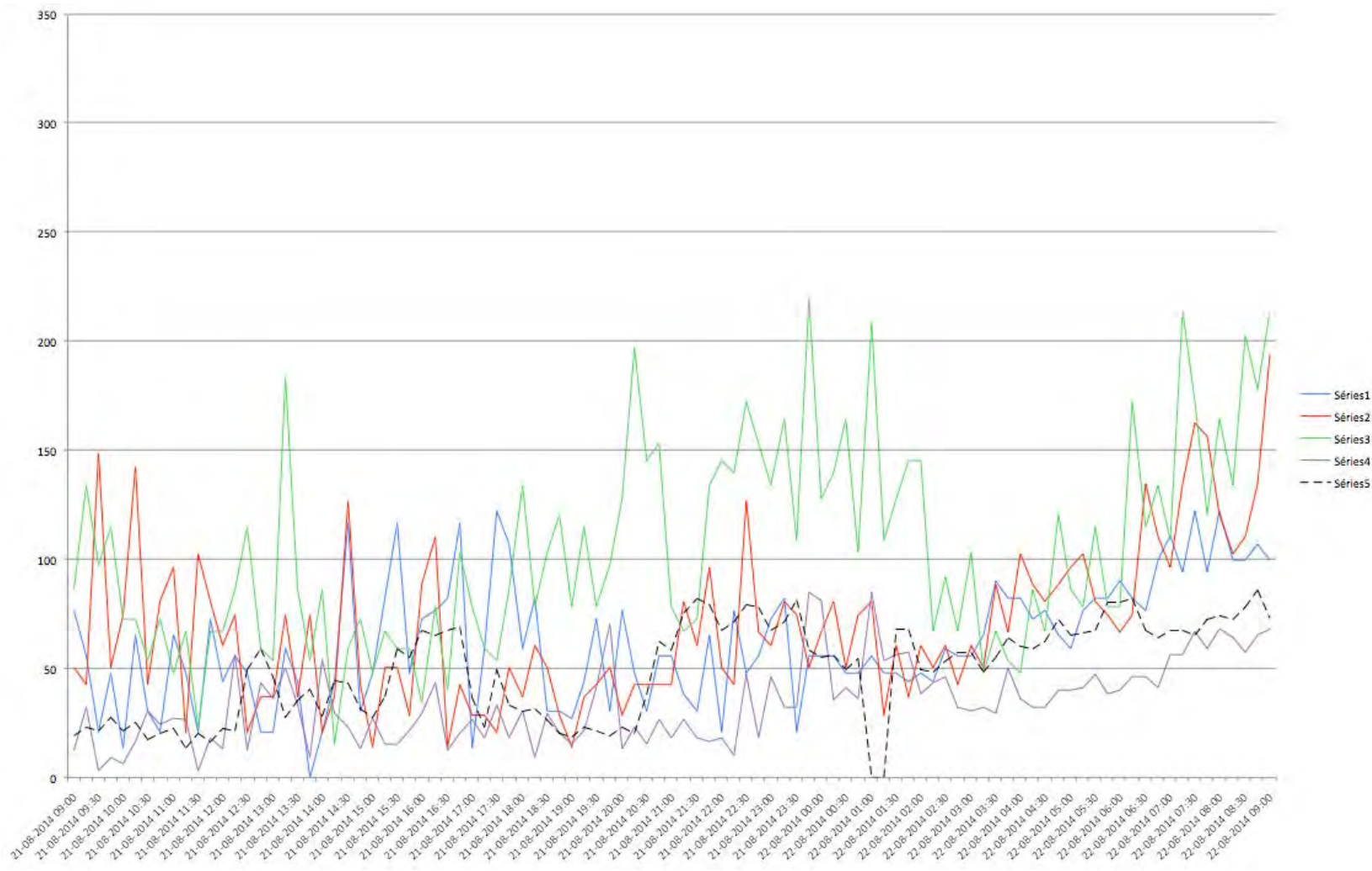
Les observations :

Mesures durant l'été 2014

du 18.08.14 9H au 19.08.14 9h



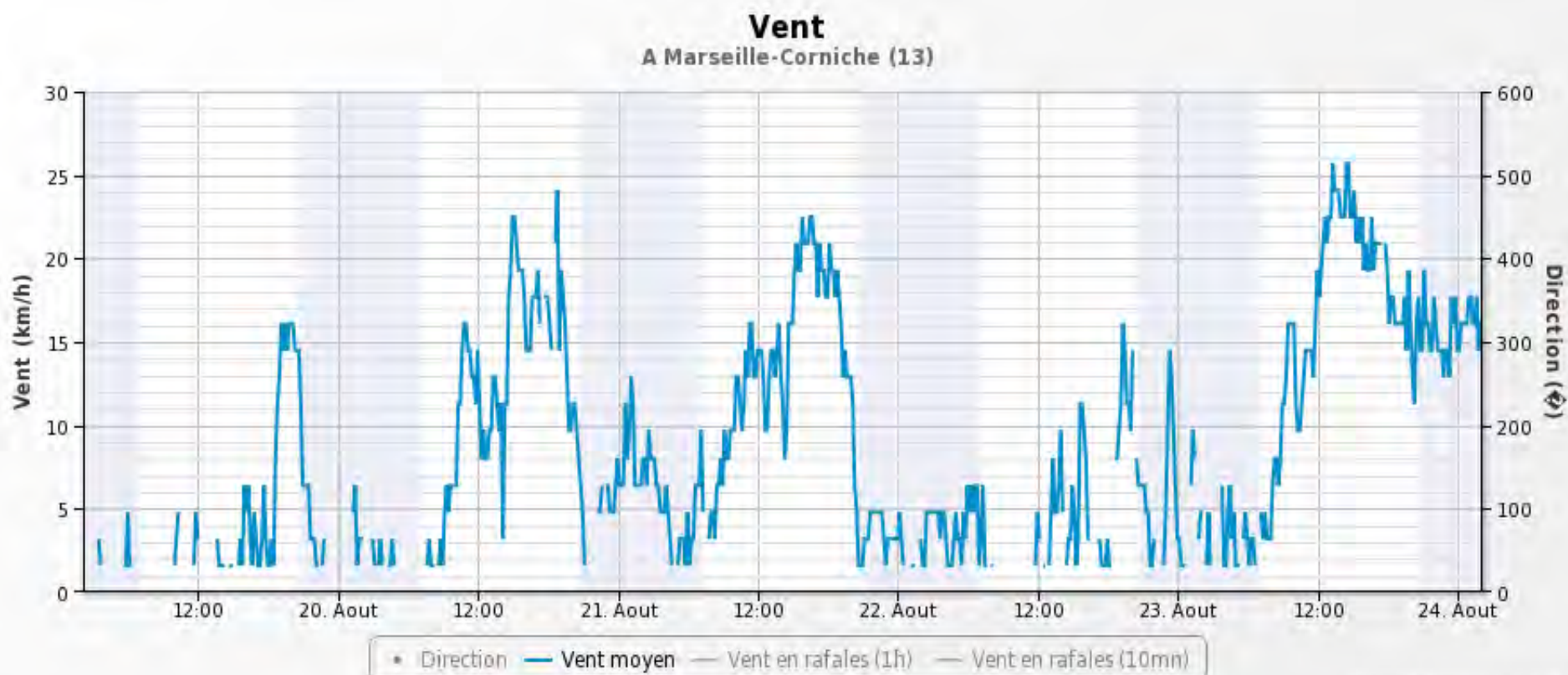
# Les observations : Mesures durant l'été 2014 du 21.08.14 9h au 22.08.14 9h



Les observations :

Mesures durant l'été 2014

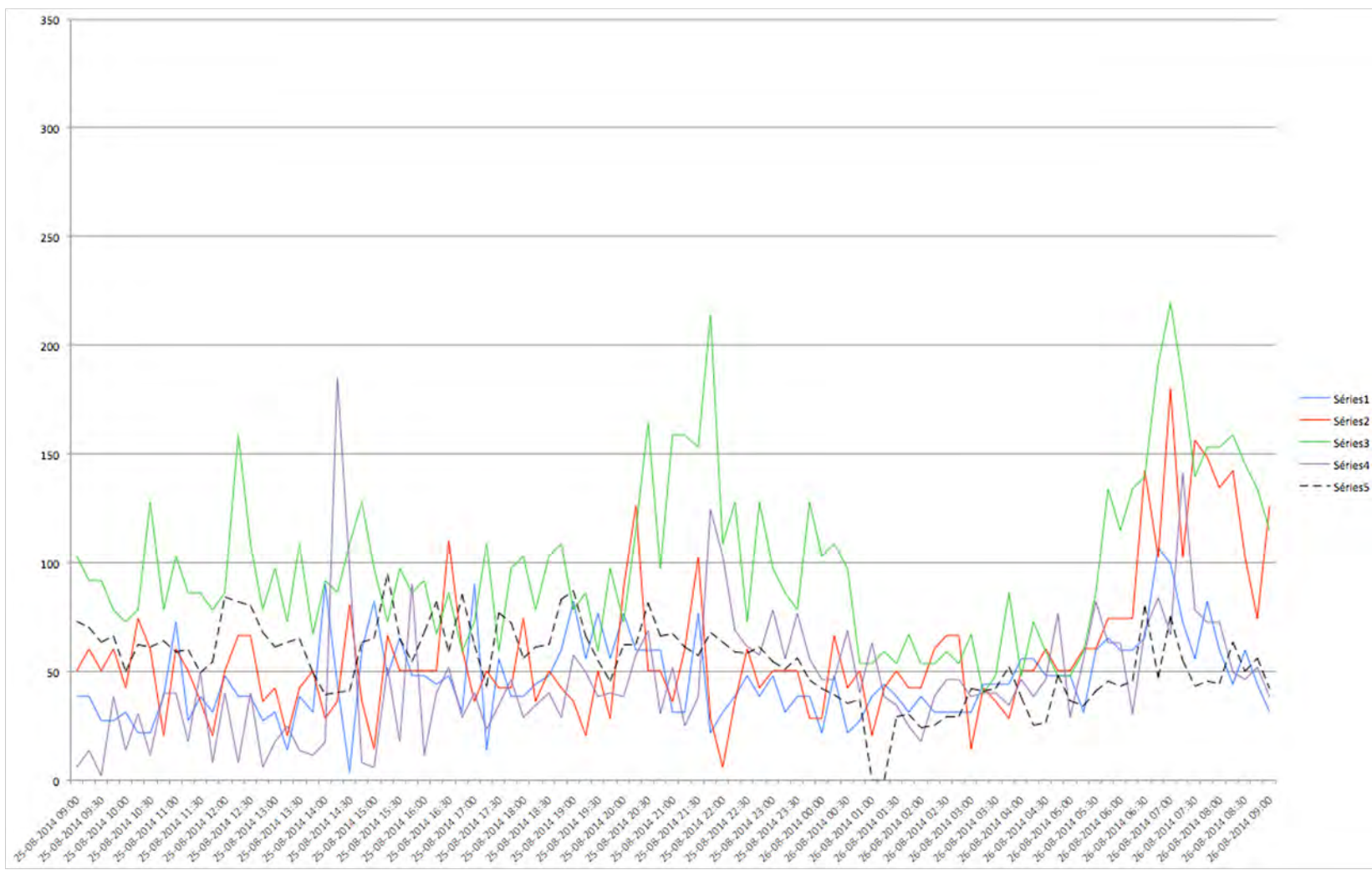
du 18.08.14 9H au 19.08.14 9h



Les observations :

Mesures durant l'été 2014

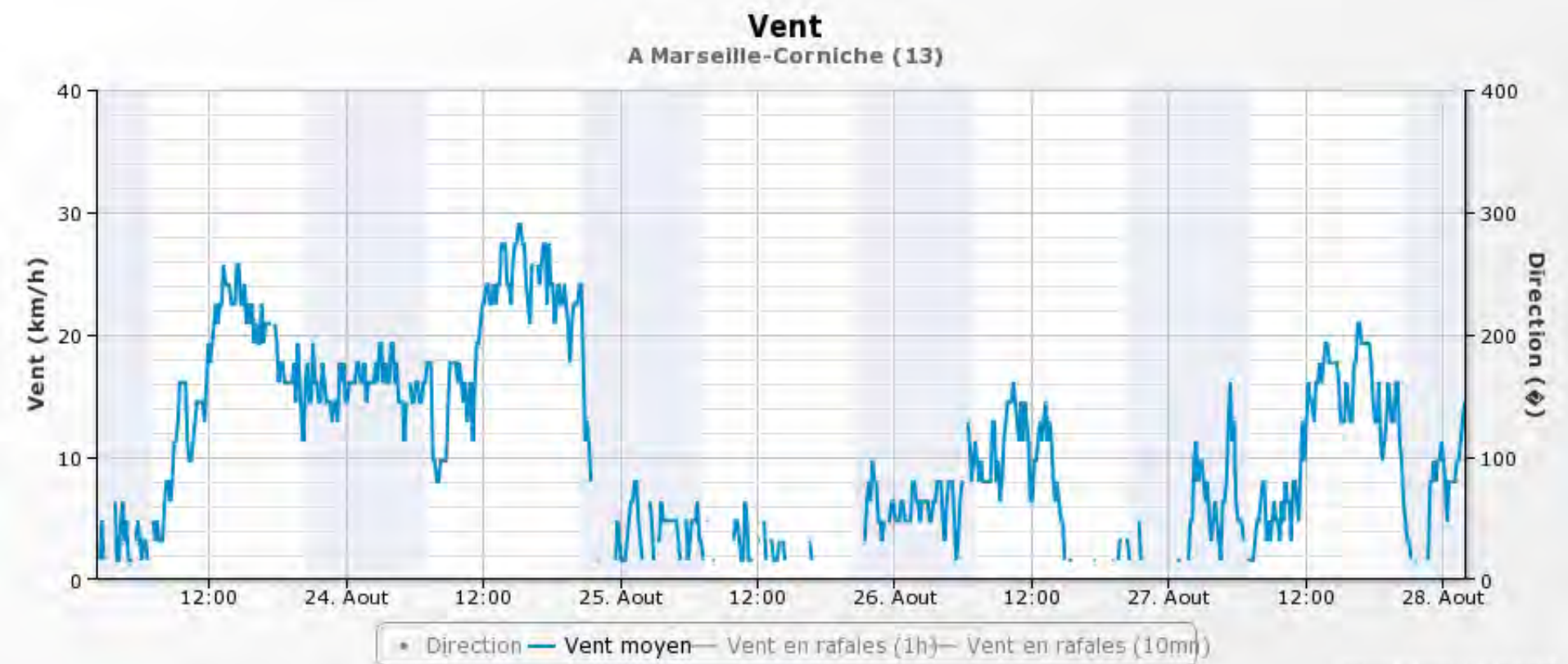
du 25.08.14 9h au 26.08.14 9h



Les observations :

Mesures durant l'été 2014

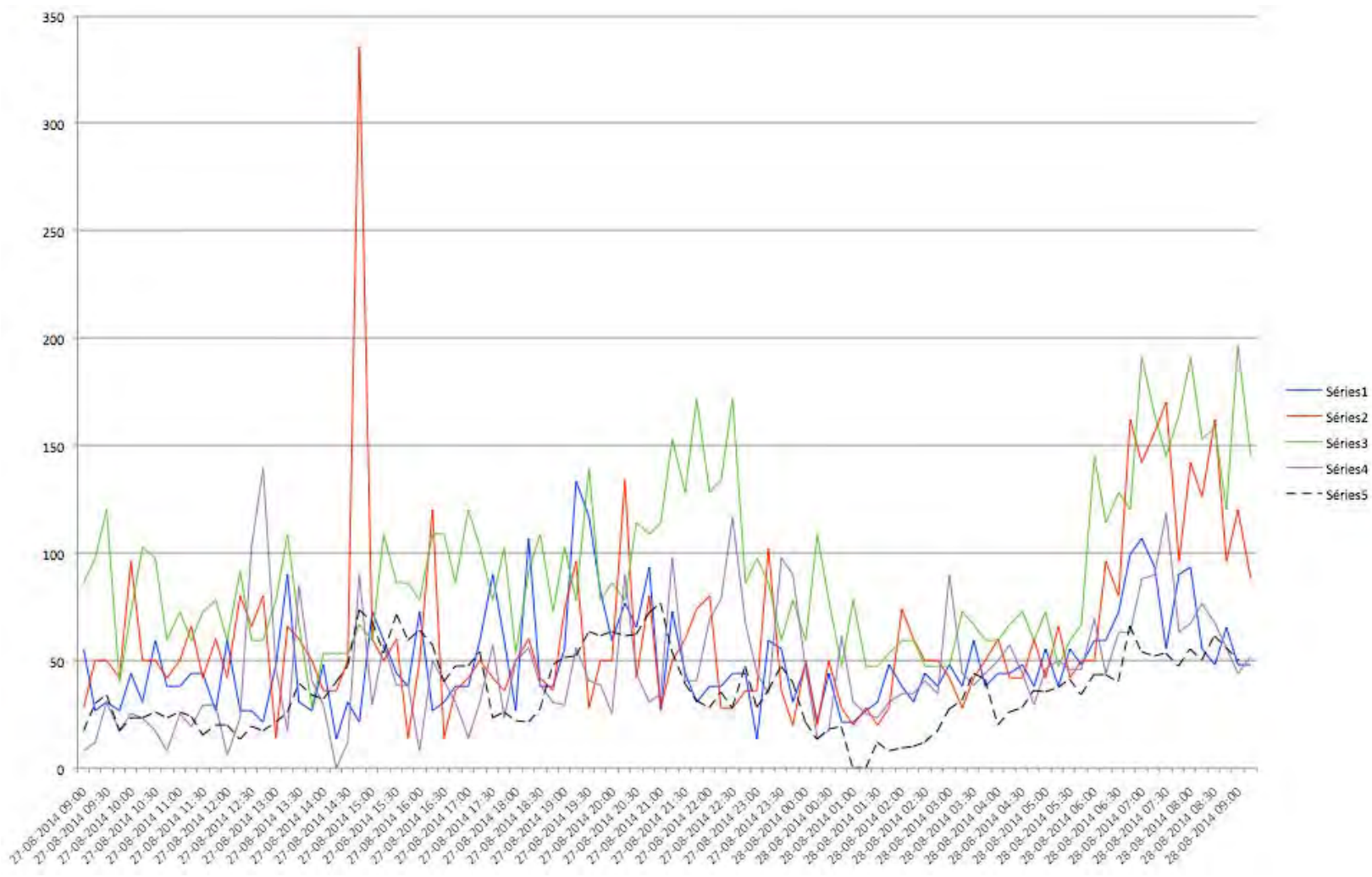
du 25.08.14 9h au 26.08.14 9h



Les observations :

Mesures durant l'été 2014

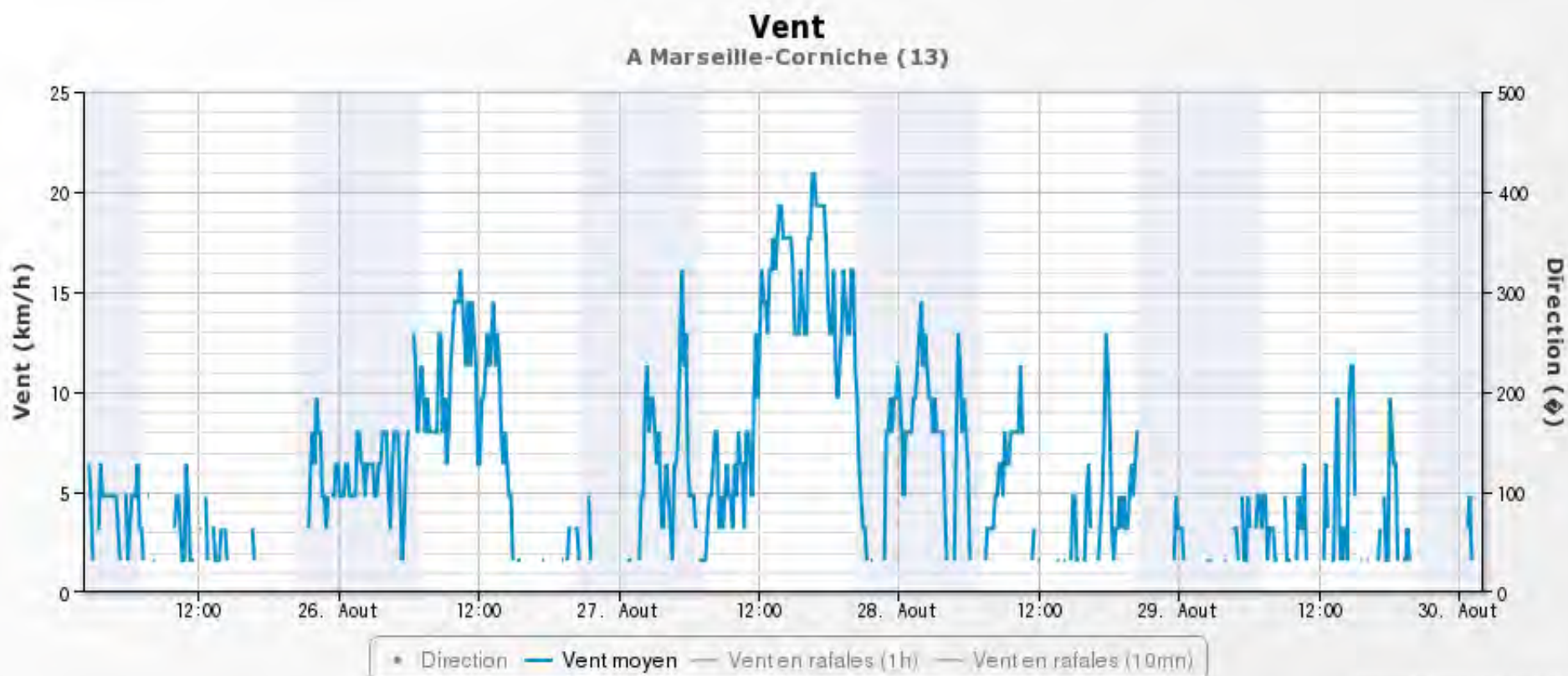
du 27.08.14 9h au 28.08.14 9h



Les observations :

Mesures durant l'été 2014

du 27.08.14 9h au 28.08.14 9h





Les observations :

## Bilan des 4 sessions de mesures sur les 4 points fixes

	<i>18.08 au 19.08</i>	<i>21.08 au 22.08</i>	<i>25.08 au 26.08</i>	<i>27.08 au 28.08</i>
<i>Esplanade du J4</i>	62,02	63,03	46,01	49,82
<i>Plage des Catalans</i>	71,73	67,47	58,3	62,66
<i>Plage du Prophète</i>	100,76	99,19	98,19	91,38
<i>Plage Borély</i>	32,15	32,55	45,8	45,94
<i>Station atmopaca</i>	39,55	48,78	54,2	36,8

Tableau 2.: Moyenne des mesures lors des différentes sessions. (Données en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Les observations :

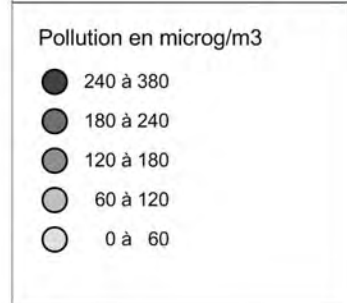
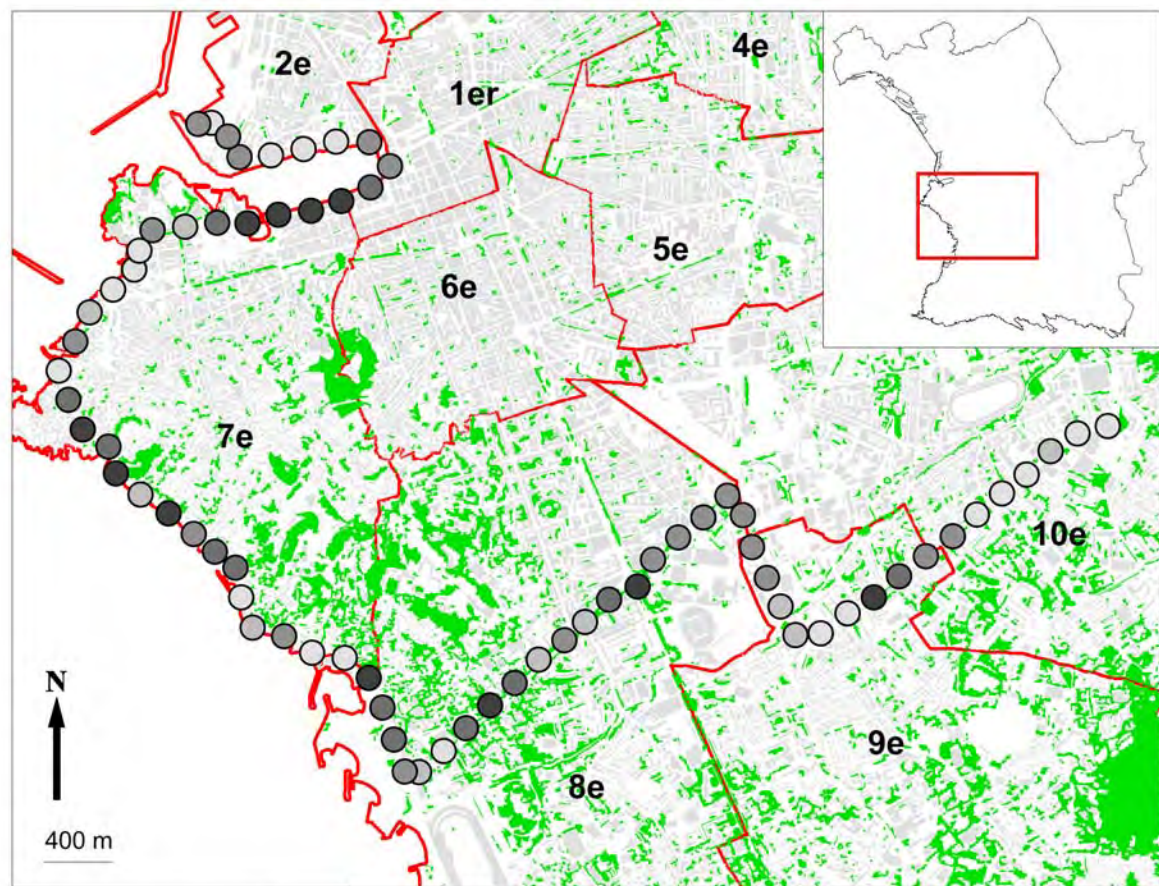
*Pollution lors du parcours itinérant le 18.08 de 9h20 à 10h30*

Gradient de pollution de la vallée vers la mer,

Taux plus élevés au prophète qu'à Borely ou aux Catalants

Taux élevés à la sortie du tunnel

Brises de la terre vers la mer



Les observations :

*Pollution lors du parcours itinérant du 28.08 de 13h50 à 15h00*

Taux plus élevés que le matin du 18.08

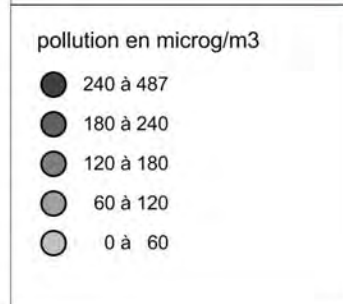
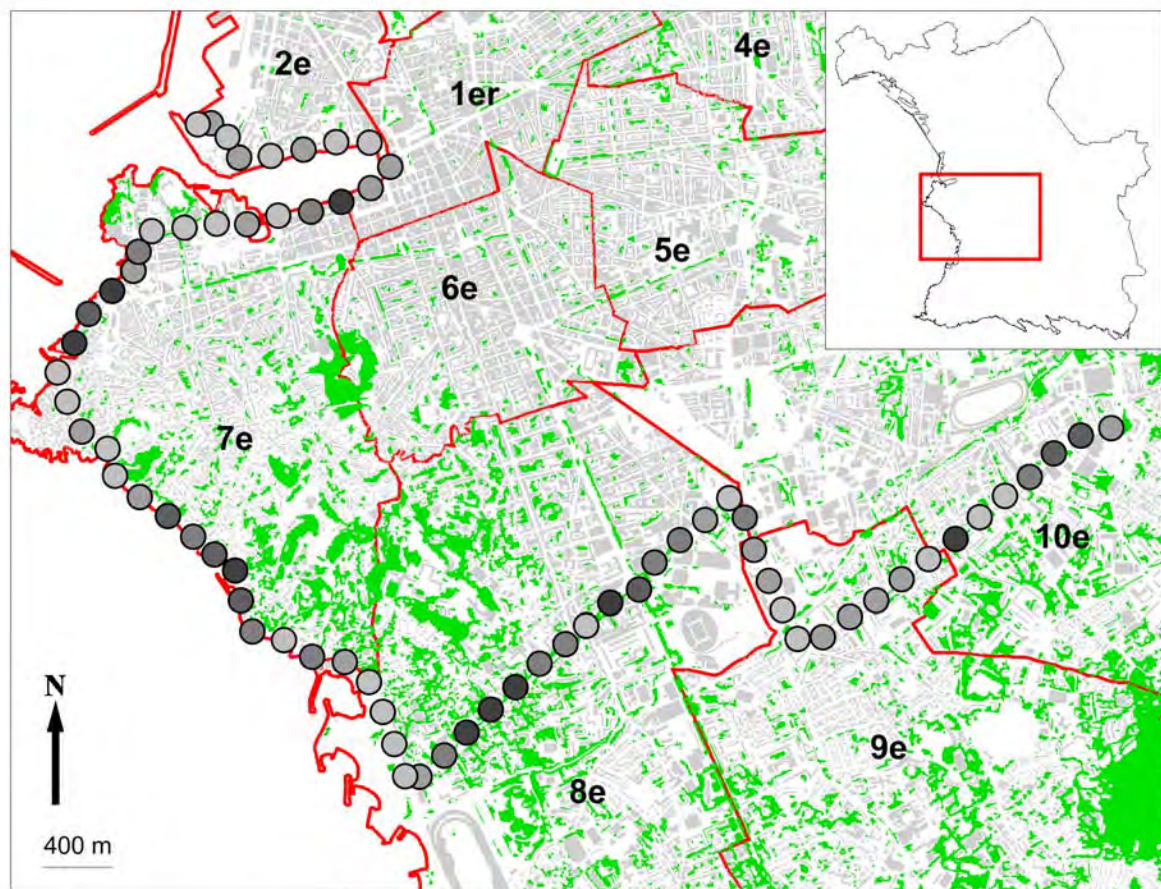
Pollution élevée à Saint Loup,

Baisse bd Schloesing

Augmentation vers la mer

Observations similaires au matin sur la corniche

Brise de la mer vers la terre



## Les observations : questionnaires

Questionnaire distribué pour la perception de la pollution.

Qu'évoque pour vous le terme "pollution" ?

Pensez-vous que l'air de Marseille est pollué ?

Si oui quel niveau de 1 à 6 ?

Quelles en sont les causes d'après vous ?

Usines ?

Transports ?

Incinération des déchets ?

Selon vous d'où provient cette pollution ?

Villes environnantes ?

Marseille elle même ?

De tout le territoire français ?

Quel moyen de transport utilisez vous le plus fréquemment ?

Selon vous, est ce que la pollution a un effet sur la santé ?

Si oui quel niveau de 1 à 6 ?

Avez vous vous même des problèmes de sante ?

Souhaiteriez vous avoir plus d'information concernant la qualité de l'air et son impact sur votre santé ?

## Les observations : questionnaires

Selon vous qui devrez lutter contre la pollution de l'air ?

OMS ?

UE ?

Etat ?

Mairie ?

Organismes privés ?

Organismes publics ?

Quel âge avez vous ?

Vous êtes : Un homme / Une femme

Dans quelle ville résidez vous ?

Si vous habitez à Marseille, depuis combien de temps y vivez vous ?

Quelle est votre profession ?

Pensez vous que la qualité de l'air à l'endroit où nous sommes est : Bonne/ Moyenne/ Mauvaise ?

(réalisés et passés par M. Bril, suivant les conseils de S. Robert, UMR ESPACE)

Les observations : questionnaires

Entretiens : 28 questionnaires (soit 7 par site)

	<i>Bonne</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Mauvaise</i>
<i>Esplanade du J4</i>	4	2	1
<i>Plage des Catalans</i>	3	3	1
<i>Plage du Prophète</i>	5	2	0
<i>Plage Borély</i>	1	4	2

*Tableau 3 : récapitulatif des réponses sur la qualité de l'air au points de mesure.*

## Les observations : questionnaires

sur les 28 personnes :

- 60% sont des touristes.
- 65% trouve que Marseille est très polluée,
- 30% trouve que Marseille est moyennement polluée
- 5% trouve que Marseille est peu polluée.

Parmi les 60% qui trouvent que Marseille est très polluée, la moitié des personnes habite Marseille.

Pour environ 80% des personnes interrogées, la pollution vient d'abord des transports,

Pour 60% des personnes, les usines sont le deuxième facteur de pollution de Marseille.

Pour l'ensemble des personnes interrogées, la pollution a bien des effets sur la santé.

## Conclusions :

Les relations entre la topographie du site et les systèmes de brises thermiques sont bien mises en évidence et confirment la théorie.

Les conditions météorologiques estivales ont limité les périodes mesures.

Le transport des polluants n'a pas pu être mis en évidence par la mesure de pollution durant l'été 2014.

La distribution de la pollution d'origine automobile le long du littoral est variable, et étonnante (différence très nette entre les différents points de mesures).

- Variation selon le trafic (effet du tunnel sur le Vieux Port).
- Variation selon la topographie (effet d'accumulation contre le relief aux Prophètes, pas d'effet aux Catalants, à Borely ou au J4).

La perception est décorrélée des mesures (les facteurs de ressenti / au paysage priment sur la proximité du trafic routier).

Manque de données sur le temps long pour voir les cycles selon les situations atmosphériques (sécurité et autonomie des capteurs en cause)



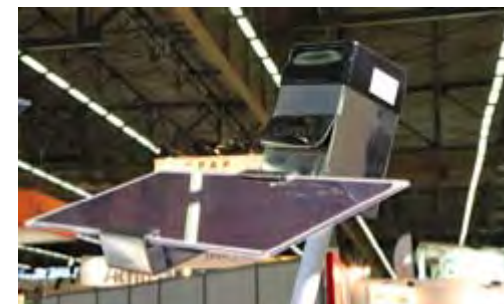
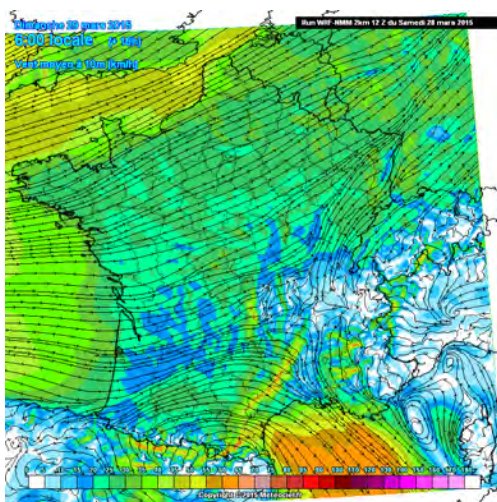
## Perspectives

Modélisation physique sur Marseille durant les observations avec l'OSU (Christophe Yohia) (ex : WRF sur Météociel, Meteosudest)

Mise en place d'un réseau de mesures de vent aux échelles fines par anémomètres soniques (CV7) reliés en temps réel (GSM)

Mise en place d'un réseau de capteurs de températures à l'échelle de la commune dans le cadre de l'OPEU au LPED (travaux sur le climat urbain, la biodiversité faune et flore)

Insertion de ces réseaux dans les réseaux de l'OSU pour une pérennisation de la mesure intraurbaine sur le temps long



## Remerciements :

A tous les étudiants qui ont travaillé avec moi en master 1 et 2 depuis 2007 sur les problématiques de climatologie urbaine, et/ou de pollution :

B. Pauc, B. Roussel, X. Foissart, B. Diakaby, E. Petit, S. Marcangeli, M. Bril.

A l'OHM (notamment S. Robert) pour l'obtention du financement ayant permis l'achat des capteurs de pollution.

A la ville de Marseille (DGUH) pour la mise à disposition des données SIG ayant permis de réaliser les traitements.