



UNIVERSITÉ DU SUD TOULON-VAR
MASTER SCIENCES ET TECHNOLOGIES 2^e ANNÉE
Mention : Sciences Physiques pour l'Ingénieur
Spécialité : Surveillance de l'environnement

Olivier BOISOT

- Caractérisation du climat local -

sur le territoire du SAN Ouest Provence et application aux études de qualité de l'air

Stage effectué du 1^{er} mars 2012 au 31 juillet 2012 au sein de l'Institut écocitoyen pour la connaissance des pollutions encadré par Mr. Julien DRON



- Septembre 2012 -

REMERCIEMENTS

Je remercie avant tout l'Université du Sud Toulon Var pour m'avoir offert, dans le cadre de mon master Physique Sciences de l'Ingénieur option Surveillance de l'Environnement, la possibilité d'acquérir de l'expérience au sein d'une structure scientifique pendant mon stage de fin de master.

Je remercie l'Institut Ecocitoyen pour m'avoir accueilli au sein de leur structure au cours de ces 5 mois et plus particulièrement Mr. Philippe Chamaret, directeur de l'Institut et Mr. Julien Dron, responsable scientifique à l'Institut et également mon responsable de stage pour m'avoir encadré, guidé quand cela était nécessaire, avoir su me replacer dans les objectifs quand je commençais à partir dans de mauvaises directions.

Je remercie également Alix Raucau et Amina Christ, toutes deux chargées de mission à l'Institut, Mr Gautier Revenko chargé de l'informatique et du site internet ainsi que Véronique Granier responsable de communication de l'Institut pour m'avoir intégré au sein de leur équipe.

Je tiens à remercier de plus AirPACA pour m'avoir permis de faire avancer mon stage et le centre MétéoFrance d'Aix en Provence pour nous avoir permis d'obtenir les données indispensables au bon déroulement de mon stage.

GLOSSAIRE

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

CAMESCOP : Campagne de Mesure des COv (Composés Organiques volatils) et des Particules à Fos en juin 2011

COV : Composés Organiques Volatils

ERS/Z : Evaluation de Risque Sanitaire de Zone

ESTAMPE : Etude des Sources et de leurs Traceurs dans les Aérosols pour la mesure des Profils d'Emissions

GPMM : Grand Port Maritime de Marseille

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

PACA : Provence Alpes Côte d'Azur

WMO : World Meteorological Organization

ZIP : Zone Industriale-Portuaire

Table des figures

1	Cartographie du territoire du SAN Ouest Provence (Source Insee 2009)	4
2	Cartographie de la ZIP de Fos-sur-Mer (Source image : <i>Google Earth</i>)	5
3	Localisation et description des différentes stations MétéoFrance dans l'ouest des Bouches-du-Rhône (Source image : <i>Google Earth</i> ; Source données stations météorologiques : <i>MétéoFrance</i>)	8
4	Localisation et description des différentes stations AirPACA dans l'ouest des Bouches-du-Rhône (Source image : <i>Google Earth</i> ; Source données stations météorologiques : <i>AirPACA</i>)	9
5	Exemple de normales de rose de vent annuelle (Source : <i>MétéoFrance</i>)	14
6	Normales de rose de vent annuelles 2002-2011 pour les différentes stations MétéoFrance dans l'ouest des Bouches-du-Rhône (Source données : <i>MétéoFrance</i>)	16
7	Représentation des différents vents régionaux (Source image : <i>Google Earth</i> ; Source vents régionaux : <i>MétéoFrance</i>)	19
8	Directions de provenance et cône d'ouverture des principaux régimes de vent selon les stations de mesures	21
9	Fréquences d'apparitions générales des différents régimes de vent par station	22
10	Fréquences d'apparitions mensuelles des différents régimes de vent pour la station d' Istres	24
11	Evolution des moyennes mensuelles de températures de l'air et de la surface de la Méditerranée (Source données températures air : <i>MétéoFrance</i> ; Source données températures mer [8])	26
12	Exemple d'alternance Mistral/Brise de mer au mois de juillet 2005 (Source données : <i>MétéoFrance</i>)	27
13	Instrumentation utilisée pour le prélèvement des sources d'émissions	29
14	Raffinerie ESSO (en rouge gras) et ses différents dépôts pétroliers (en rouge fin), ainsi que les deux emplacements potentiels du capteur (en bleu) (Source image : <i>Google Earth</i>)	30
15	Cônes de dispersion des deux points potentiels de mesure de l'air (Source image : <i>Google Earth</i>)	31
16	Exemple d'interpolation par krigeage du vent au niveau de la raffinerie ESSO du 01/06/2002 à 00h00	32
17	Normale de rose de vent interpolés au mois de juin 2002-2001 - raffinerie ESSO	33
18	Superposition cône de dispersion / normale de rose de vents interpolés de la raffinerie ESSO	34

Liste des tableaux

1	Récapitulatif des données des stations MétéoFrance : périodes ; types et pas de temps d'acquisition des données	12
2	Récapitulatif des points et de leurs coordonnées	31
3	Caractéristiques des points potentiels de mesures	32
4	Pourcentages absolus des vents établis dans les cônes de dispersion des différents points de mesures	34

Table des matières

INTRODUCTION	3
I DESCRIPTION GÉNÉRALE	4
1 Présentation de la zone d'étude	4
2 Présentation de l'Institut écocitoyen	6
II MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE	7
3 Localisation des stations météorologiques	7
3.1 Stations MétéoFrance	7
3.2 Stations AirPACA	8
4 Séries de données	10
5 Outils de représentation - <i>Normales de rose de vent</i>	12
5.1 Définition des normales de rose de vent	12
5.2 Etablissement des normales de rose de vent	15
III CARACTÉRISATION DES RÉGIMES DE VENTS	17
6 Approche générale - <i>Les Vents régionaux</i>	17
7 Interprétation des résultats - <i>Caractérisation des régimes de vent</i>	19
7.1 Présentation générale des vents	19
7.2 Caractérisation des vents régionaux sur la zone d'étude	22
7.3 Evolutions mensuelles	23
7.4 Phénomènes de brises	25
IV APPLICATIONS AUX ÉTUDES DE QUALITÉ DE L'AIR	28
8 Etude des sources d'émissions (Projet ESTAMPE) - Raffinerie ESSO	28
8.1 Positionnement de la raffinerie ESSO et des points potentiels de mesures	30
8.2 Normales de rose des vents interpolés sur la raffinerie ESSO	32

8.3 Discussions et conclusions	33
CONCLUSION	36
Références bibliographiques	37
ANNEXES	37
A Plan des différentes industries dans la zone de Fos-sur-Mer	38
B Notes sur les données MétéoFrance de la station d'Arles Valat	40
C Dossier normales de rose de vent pour les différentes stations MétéoFrance	43
D Pourcentages mensuels des différents régimes de vent en fonction de la station de mesure	72
E Campagne de Mesure des Composés Organiques Volatils et des Particules (CAMESCOP)	74
F Programme d'interpolation par krigeage pour la raffinerie ESSO	77

INTRODUCTION

Le pourtour de l'Etang de Berre est caractérisé par une très forte industrialisation qui a débuté dans les années 1950. Depuis de nombreuses industries se sont implantées telles que des raffineries, des aciéries, des complexes chimiques et pétrochimiques,... . Cette forte concentration industrielle entraîne, en contrepartie, de fortes émissions de gaz, de Composés Organiques Volatils (COV) et de particules dans l'air. A cela vient s'ajouter un fort trafic maritime et routier.

La zone autour de l'Etang de Berre se compose également d'une forte densité de population. Cette forte industrialisation entraîne donc chez la population un fort questionnement quant à l'impact de celle-ci sur leur santé et leur environnement.

Depuis plus de 20 ans, de nombreuses études font part des relations entre exposition aux particules et surmortalité [1]. Cependant, les liens de cause à effet restent difficiles à établir tant les sources d'exposition et leurs conséquences sont nombreuses et variées.

Dans ce cadre, l'Institut Ecocitoyen, situé en plein dans la Zone Industrielle de Fos-sur-Mer est chargé de répondre aux questionnements de la population. Pour ce faire, il lance en ce moment un projet nommé ESTAMPE (Etude des Sources et de leurs Traceurs dans les Aérosols pour la mesure des Profils d'Emissions) dont le but est la détermination des différentes sources d'émissions industrielles sur la Zone Industrielle de Fos-sur-Mer.

Mon stage s'inscrit alors dans le besoin de l'Institut d'une connaissance du climat de la zone de Fos-sur-Mer et particulièrement de la connaissance des vents dans le but de mener des études sur la qualité de l'air.

Les objectifs de mon stage sont, dans un premier temps, l'acquisition et la mise en forme, simple et accessible, de données de vents (direction et vitesse). L'objectif qui en découle ensuite est alors la caractérisation du climat local sur la zone de Fos-sur-Mer et principalement la caractérisation des différents régimes de vents, tout cela à partir des données précédemment acquises. Et enfin, l'application directe à la raffinerie ESSO, située en plein coeur de la Zone Industrielle de Fos-sur-Mer, dans le but de lancer les premières mesures du projet ESTAMPE.

Première partie

DESCRIPTION GÉNÉRALE

1 Présentation de la zone d'étude

Le territoire du Syndicat d'Agglomération Nouvelle (SAN) Ouest Provence est une intercommunalité qui regroupe six communes, Cornillon-Confoux, Fos-sur-Mer, Grans, Istres, Miramas et Port-Saint-Louis-du-Rhône (Figure 1). Son territoire s'étend sur 347,7 km² entre la mer Méditerranée, la Camargue, la plaine de la Crau, l'étang de Berre et la vallée du Rhône, il compte environ 100 000 habitants.



FIGURE 1 – Cartographie du territoire du SAN Ouest Provence (Source Insee 2009)

Le territoire d'Ouest Provence offre une grande diversité de paysages naturels et urbains, à cela s'ajoute la première Zone Industriale-Portuaire (ZIP) de France et d'Europe du sud avec le bassin ouest du *Grand Port Maritime de Marseille Fos*¹ (GPM) (voir plan détaillé en Annexe A).

Avec près de 10 000 Ha, celle-ci occupe plus du quart de la superficie de Ouest Provence, et comporte à la fois de nombreuses industries (sidérurgie, raffinerie, chimie-pétrochimie, incinérateurs de déchets industriels et d'ordures ménagères, cimenterie, centrales thermiques) et terminaux maritimes d'envergure internationale (Figure 2). Pour exemple, cette zone représente pas moins de 25% de la production d'acier en France, c'est également le premier port français et de la Méditerranée ainsi que le 3^{ème} port mondial pour le trafic pétrolier [2].

1. site internet du GPM : <http://www.marseille-port.fr>

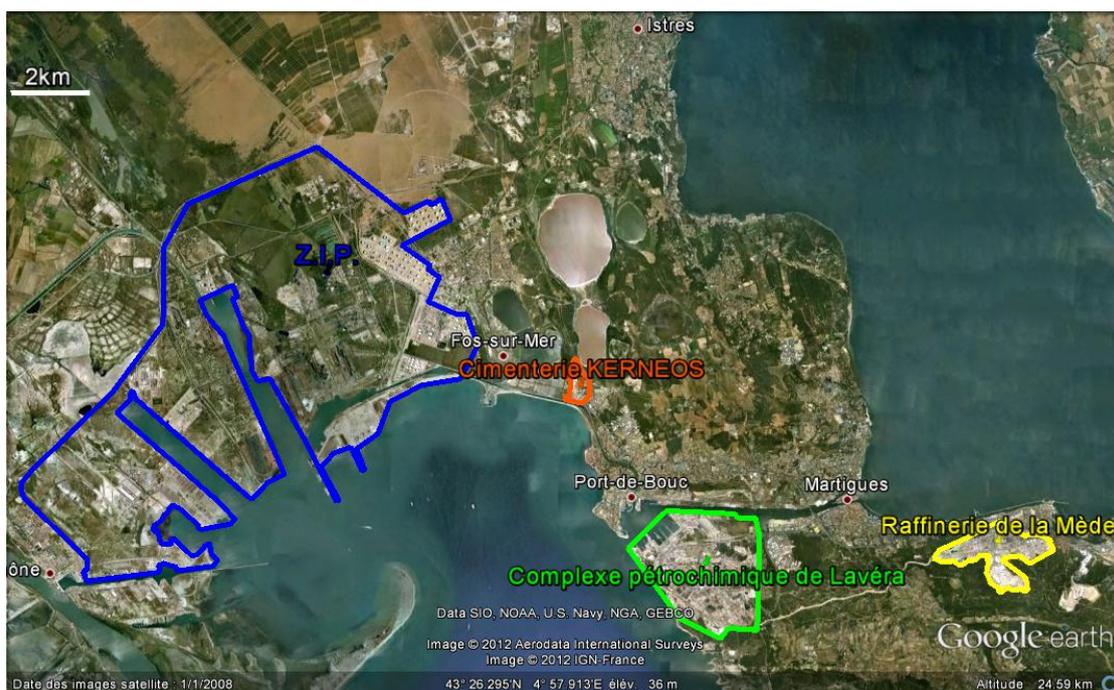


FIGURE 2 – Cartographie de la ZIP de Fos-sur-Mer (Source image : *Google Earth*)

Selon l’inventaire effectué lors de l’évaluation de risque sanitaire de la zone (ERS/Z) de Fos, des estimations montrent que 8978 t/an de $PM_{2,5}$ ² seraient émises par les industries de la zone de Fos en 2011, le trafic maritime compterait lui pour 230 t/an et le trafic routier pour 15 t/an [3].

Par ailleurs, la qualité de l’air mesurée sur le territoire de Ouest Provence fait tous les ans l’objet de nombreux dépassements des seuils réglementaires. En 2010, l’objectif de qualité de l’air français en PM_{10} ³ a été dépassé sur l’ensemble des stations du réseau de l’Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l’Air (AASQA) AirPACA traduisant une forte pollution de fond en particules [4].

L’association de ces deux caractéristiques sur le territoire, forte industrialisation et nombreux dépassements des seuils de la qualité de l’air, entraîne une forte préoccupation de la population et de l’ensemble des acteurs locaux par rapport aux conséquences éventuelles sur l’environnement et la santé.

2. les $PM_{2,5}$ sont des particules en suspension dans l’air dont le diamètre est inférieur à 2,5 μm d’où leur nom anglais *Particulate Matter 2,5*

3. les PM_{10} sont des particules en suspension dans l’air dont le diamètre est inférieur à 10 μm d’où leur nom anglais *Particulate Matter 10*

2 Présentation de l'Institut écocitoyen

La forte concentration d'installations et d'activités industrielles ainsi que la dégradation des différents milieux soulèvent un questionnement de la population du SAN Ouest Provence quant à leur santé et au devenir de leur environnement, ainsi que la constatation que leur avis dans l'aménagement de leur territoire n'est pas pris en compte. L'histoire récente de la ZIP de Fos-sur-Mer et de ces problématiques environnementales et de santé a mis en avant un profond désaccord entre les différents acteurs du territoire : citoyens, industriels, élus, services de l'état.

Sur ce constat, les élus locaux soutenus par la population et les associations environnementales ont alors décidé de doter le territoire d'une politique scientifique en vue de reconstruire le dialogue entre les différents acteurs et permettre alors une décision d'aménagement du territoire basée sur une réelle concertation.

Implanté sur le territoire intercommunal de Ouest Provence, en plein coeur de la ZIP de Fos-sur-Mer, l'Institut écocitoyen⁴ tend à relancer le dialogue entre les différents acteurs de la zone en se présentant comme structure d'échanges, d'actions et de concertations autour des risques environnementaux et sanitaires.

Associant, d'une part un Comité Scientifique composé :

- de chercheurs
- d'universitaires
- de médecins

et d'autre part, un Conseil d'Administration regroupant :

- collectivités
- industriels
- associations environnementales
- scientifiques
- services de l'état

L'Institut Ecocitoyen est une association dont les missions principales sont l'acquisition de connaissances scientifiques autour des questions sanitaires et environnementales, la transmission de ces savoirs et l'organisation d'actions de surveillance et de protection de l'environnement.

Mon stage s'inscrit dans le besoin de l'Institut Ecocitoyen d'une meilleure connaissance du climat local, notamment pour des applications à des études de qualité de l'air.

4. site internet de l'Institut Ecocitoyen : <http://www.institut-ecocitoyen.fr>

Deuxième partie

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

La connaissance des régimes de vent est essentielle dans l'objectif d'évaluation de la dispersion des différentes pollutions atmosphériques du territoire. Pour ce faire, l'acquisition de données météorologiques en est la première étape en vue d'une exploitation future. Sur le territoire du SAN Ouest Provence et alentour, deux principaux acteurs ont à disposition les données nécessaires à cette caractérisation des différents régimes de vent :

- **MétéoFrance**⁵, l'organisme français de référence en météorologie
- **AirPACA**⁶, Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air de la région de l'Ouest des Bouches-du-Rhône

3 Localisation des stations météorologiques

3.1 Stations MétéoFrance

Dans le cadre de la caractérisation du climat local et principalement des régimes de vents sur la région d'Ouest Provence, l'organisme français de la météorologie **MétéoFrance**, a mis à disposition pour mon stage et pour l'Institut écocitoyen une grande quantité de données téléchargées directement sur le site internet de MétéoFrance.

Ces données nous ont été fournies gratuitement sous conditions qu'elles ne soient pas utilisées à des fins lucratives mais à but de recherche scientifique uniquement.

Sur le territoire d'Ouest Provence et alentour, pas moins de 6 stations MétéoFrance sont implantées, dont une description est présentée sur la Figure 3 :

- Station d' **Arles Valat**
- Station d' **Istres**
- Station de **Marignane**
- Station de **Martigues Cap Couronne**
- Station de **Port-de-Bouc**
- Station de **Salon de Provence**

Il faut également préciser que nous nous sommes procurés uniquement les données de **vents (direction et vitesse)** et de **températures**, suffisantes pour répondre aux objectifs du stage.

5. site internet de MétéoFrance : <http://www.meteofrance.com>

6. site internet de AirPACA : <http://www.airfobep.org>

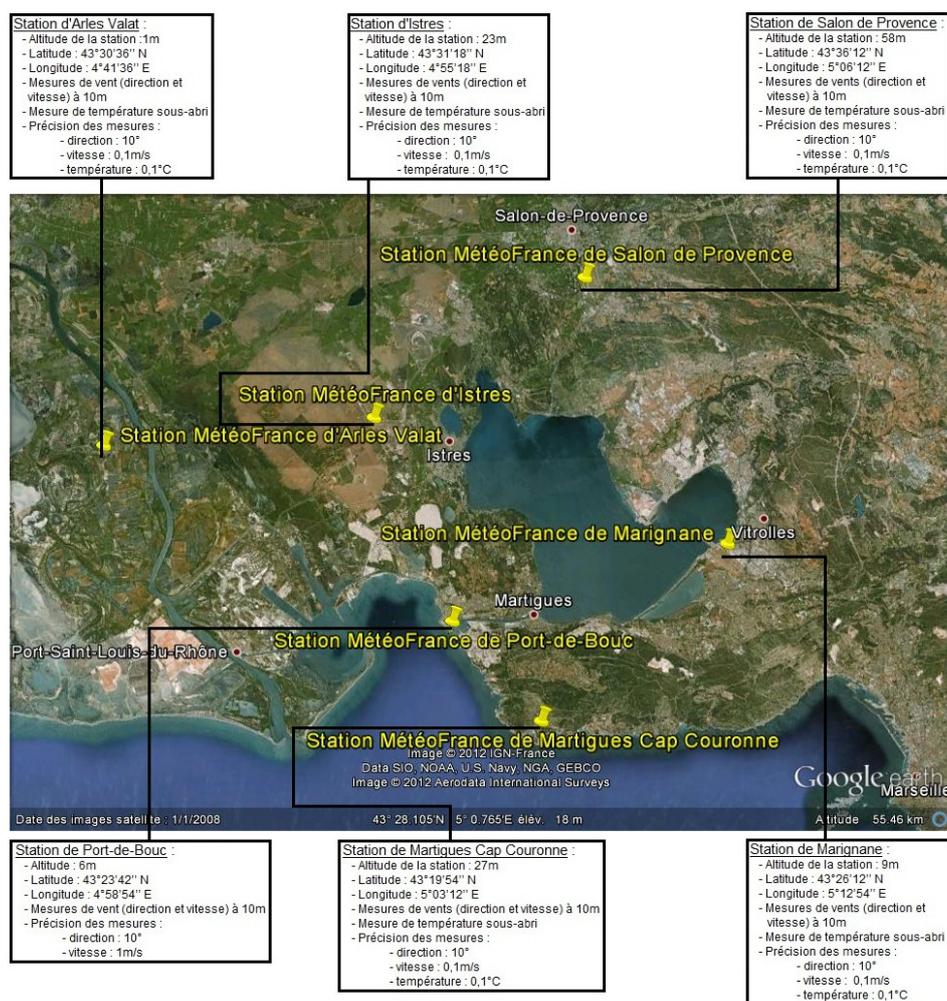


FIGURE 3 – Localisation et description des différentes stations MétéoFrance dans l’ouest des Bouches-du-Rhône (Source image : *Google Earth* ; Source données stations météorologiques : *MétéoFrance*)

3.2 Stations AirPACA

AirPACA, née en 2012 de la fusion des deux AASQA initialement présentes, Airfobep (Ouest des Bouches-du-Rhône) et AtmoPACA (reste de la région PACA), est l’Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l’Air (AASQA) de la région de l’étang de Berre et de l’Ouest des Bouches-du-Rhône.

Les AASQA sont membres de la Fédération **AtmoFrance**⁷ qui regroupe les 26 ASSQA chargées de la surveillance de la qualité de l’air sur l’ensemble du territoire français en

7. site internet d’AtmoFrance : <http://www.atmo-france.org>

collaboration avec les différents services de l'état, les différentes collectivités locales et territoriales, les émetteurs (transporteurs, industriels...) ainsi que les différentes associations environnementales.

Dans cet objectif de surveillance, d'information et de prévention de la qualité de l'air, l'association AirPACA et l'Institut écocitoyen travaillent en collaboration sur des études relatives à la qualité de l'air sur le territoire de Ouest Provence.

AirPACA a à sa disposition, en plus de la trentaine de stations de mesures fixes des différents polluants atmosphérique sur le territoire de l'ouest des Bouches-du-Rhône, 3 stations enregistrant également des données météorologiques telles que les données de vents, sur la zone concernée par l'étude présentée ici (Figure 4) :

- Station de **Crau**
- Station de **Martigues Notre Dame des Marins**
- Station de **Port-St-Louis-du-Rhône**

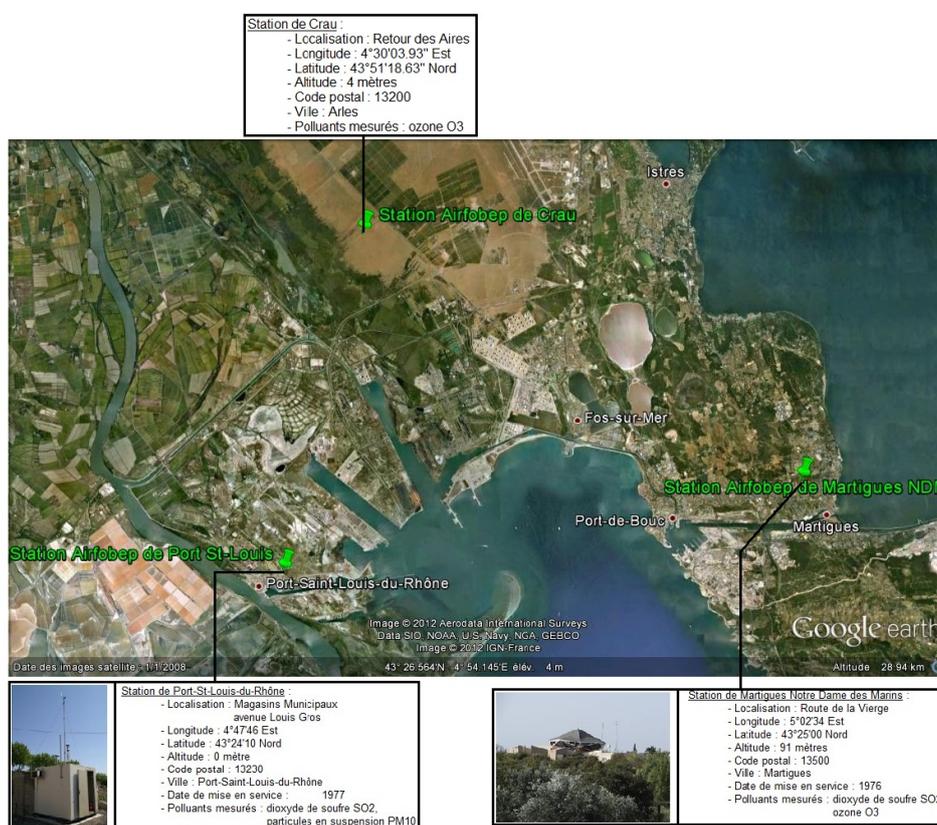


FIGURE 4 – Localisation et description des différentes stations AirPACA dans l'ouest des Bouches-du-Rhône (Source image : Google Earth ; Source données stations météorologiques : AirPACA)

4 Séries de données

Dans le but d'une exploitation fiable de données météorologiques et, dans notre cas, des données de vents, il est nécessaire de connaître précisément les conditions d'acquisitions de ces données. En effet, une mesure anémométrique ne peut se faire correctement si le dégagement autour du mat de mesure n'est pas suffisant. L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) ou *World Meteorological Organization*⁸ (WMO) a élaboré certains critères techniques [5] de mise en place et d'exploitation des stations météorologiques dans le but d'obtenir des mesures fiables et cohérentes entre elles :

- La **représentativité** : une station météorologique doit être représentative de sa région, au moins de manière qualitative
- La **morphologie de l'environnement** : les stations sont installées de préférence en situation dominante, et loin de tout obstacle majeur
- La **nature de l'environnement** :
 - type de sol
 - type de végétation
 - albédo⁹
 - extension présente et future des zones bâties
 - éloignement des sources d'humidité (lac, rivière...)
- Le **respect des règles de dégagement** :
 - maisons et arbres isolés : distance à l'obstacle > hauteur maximale de l'obstacle*10 (dans le cas de stations météorologiques implantées dans un champs dégagé de tout obstacle, les mesures de vent se font sur un mat anémométrique de 10m de haut)
 - villes et forêts : distance à l'obstacle > hauteur maximale de l'obstacle*20

Après acquisition des données, un traitement est effectué dans le but d'évaluer les éventuels biais ou erreurs dûs à la mesure afin de les valider, en vue d'exploitation future.

Dans ce cadre, les données fournies par MétéoFrance garantissent une uniformité dans leur acquisition et une validation post-acquisition et permettent donc une exploitation optimale. Il faut noter que les données météorologiques fournies par AirPACA ne respectent pas les conditions d'acquisition requises par l'OMM. En effet les stations

8. site internet de la WMO : <http://www.wmo.int>

9. L'albédo d'un milieu considéré est le rapport du flux de rayonnement réfléchi par ce milieu au flux de rayonnement incident. Ce nombre s'exprime généralement en fraction de 0 à 1. Il est entendu qu'il prend en compte aussi bien la réflexion spéculaire (analogue à celle d'un miroir) que la réflexion diffuse, dans laquelle un rayon réfléchi peut prendre un chemin de retour aléatoire dans le milieu adjacent. Les valeurs 0 et 1 correspondent ici à deux cas théoriques extrêmes : dans le premier cas, la surface serait entièrement absorbante ou transparente, la réflexion y étant nulle ; dans le second, elle serait au contraire entièrement réfléchissante.

ne disposent pas forcément du dégagement aux obstacles suffisant (à l'exception peut-être de la station de Crau). Cependant AirPACA dispose de stations météorologiques à titre indicatif en vue d'applications à ses études de qualité de l'air et non à but de connaissances précises de la météorologie.

*Par la suite nous favoriserons donc l'exploitation des données des stations météorologiques de **MétéoFrance**, sans en exclure les autres qui apportent néanmoins des indications supplémentaires aux données de MétéoFrance.*

Dans le but d'une exploitation future, un travail préliminaire de mise en forme et de classement des données est fondamental. Il faut d'abord préciser que nous avons récupéré des données de **vents** (direction et vitesse) et de **températures** remontant jusqu'à 1923 le cas échéant.

Les données ont été récupérées sous forme de fichier texte (.txt). Il faut préciser que pour des données remontant à plus de 20 ans en arrière le pas de temps de celles-ci est **tri-horaire** (1 donnée toute les 3 heures) et après, les données ont un pas de temps **horaires**, dans la plupart des cas (Table 1).

Au vu de cela, un classement des données selon la station et selon leur pas de temps a été fait (au format texte (.txt) et au format excel (.xlsx)), puis mis en ligne sur le réseau de l'Institut écocitoyen afin d'en avoir un accès simple et rapide pour l'ensemble des utilisateurs.

Pour chaque station, une *note sur les données MétéoFrance* (Exemple sur la station d'Arles Valat en Annexe B) a été jointe à ces fichiers afin d'en préciser :

- Le nom et les caractéristiques de la station
- La période couverte et le type de données associées (vent/température ; pas de temps)
- Le nom du fichier associé avec son extension
- Un tableau précisant le nombre de données théoriques pendant la période couverte, le nombre de données acquises pendant cette même période et finalement le pourcentage de données acquises

Ceci constitue également une étape de vérification du type, de la période, et du pas de temps des données acquises pour les différentes stations. Un regroupement de ces informations est résumé pour les stations MétéoFrance en Table 1 ci-après :

TABLE 1 – Récapitulatif des données des stations MétéoFrance : périodes ; types et pas de temps d’acquisition des données

STATIONS	PÉRIODE DES DONNÉES	TYPE DE DONNÉES	PAS DE TEMPS
Arles Valat	1988-1992	Vent & Température	tri-horaire
	1993-2011	Vent & Température	horaire
Istres	1923-1948	Température	journalier ^a
	1949-1990	Vent & Température	tri-horaire
	1991-1992	Vent & Température	tri-horaire
	1990-1991	Vent & Température	horaire
	1992-2011	Vent & Température	horaire
Marignane	1960-1992	Vent & Température	tri-horaire
	1993-2011	Vent & Température	horaire
Martigues Cap Couronne	1961-1969	Vent & Température	6-9-12-15-18 ^b
	1969-2003	Vent & Température	tri-horaire
	2009-2011	Vent	horaire
Port-de-Bouc	1991-1993	Vent	tri-horaire
	1994-1996 ^c	Vent	irrégulier ^c
	1996-2011	Vent	horaire
Salon de Provence	1947-1948	Température	journalier ^a
	1949-1991	Vent & Température	tri-horaire
	1991-2011	Vent & Température	horaire

^a L’enregistrement des données est fait manuellement à 12h.

^b L’enregistrement des données est fait manuellement aux heures suivantes : 6h ; 9h ; 12h ; 15h ; 18h.

^c L’enregistrement des données est très irrégulier pendant cette période.

5 Outils de représentation - Normales de rose de vent

5.1 Définition des normales de rose de vent

Dans de nombreuses études, le terme de **normale** est couramment utilisé pour comparer un événement isolé à une moyenne. Ceci consiste en général à calculer un ensemble de moyennes, sur différentes périodes, d’un paramètre bien défini.

Cependant, dans le cas de la climatologie, il existe deux définitions du terme normale. En effet, l’OMM distingue [6] :

- *normales climatologiques standard*, pour parler de moyennes de données climatologiques calculées sur une période de 30 années consécutives
- *normales opérationnelles*, nouveau terme introduit par l'OMM, pour parler de normales permettant de maximiser l'exactitude des prévisions météorologiques. Ces normales sont généralement calculées sur une période d'une dizaine d'années (pas de durée standard proposée) et doivent être renouvelées le plus régulièrement possible en se basant sur la dernière année de données disponibles comme limite finale.

Ces normales permettent alors une description du paramètre désiré pour une plus ou moins longue période après la période sur laquelle celles-ci sont établies, et offre à priori une bonne prévision du comportement climatologique à venir à plus ou moins long terme.

Dans notre objectif de caractériser le climat local, en vue de l'appliquer à des études de qualité de l'air, c'est la deuxième définition que nous utiliserons. De plus, l'outil de prédilection pour l'étude de régimes de vents à un point donné est la **rose des vents** : *Une Rose des vents est un outil graphique permettant de représenter les directions dominantes du vent en un point. En effet, sur un cercle (appelé Rose) allant de 0° (Nord géographique) à 359° en passant par les différents points cardinaux, on représente la fréquence des vents en fonction de leur direction de provenance. Cette fréquence, très souvent exprimée en %, s'exprime aussi en fonction des classes de vent, qui ne sont autres que des intervalles de vitesses des vents.*

Ces classes de vents sont caractéristiques des régimes de vent, et ont un impact sur la dispersion des polluants atmosphériques. Par la suite, nous définissons 3 grandes classes de vitesses de vents, comme suit :

- Les **vents nuls ou faibles** : $V^{10} \in [0; 1,5[m.s^{-1}$
- Les **vents établis** : $V \in [1,5; 8[m.s^{-1}$, eux-mêmes pouvant être séparés en deux classes de vent :
 - $V \in [1,5; 4,5[m.s^{-1}$
 - $V \in [4,5; 8[m.s^{-1}$
- Les **vents forts** : $V \geq 8m.s^{-1}$

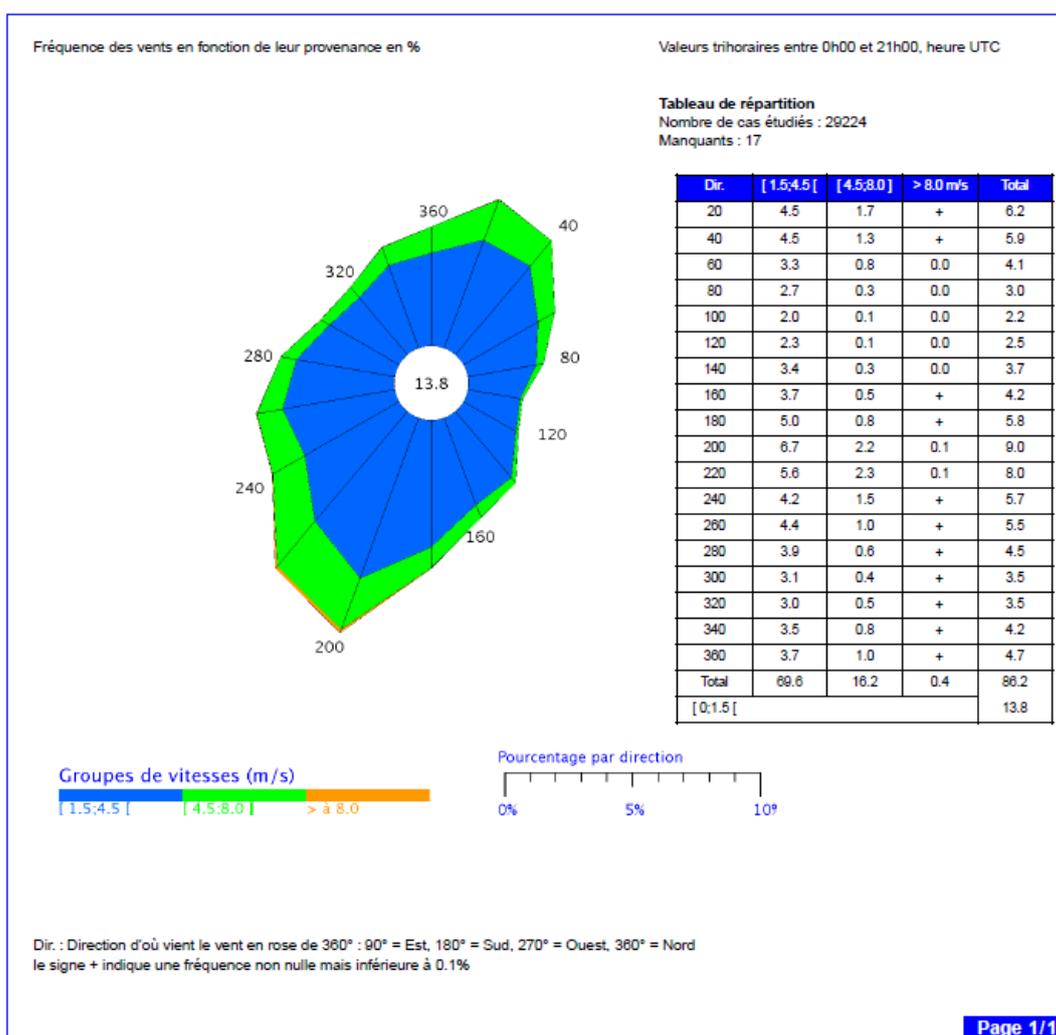
Pour notre étude, nous nous intéresserons plus particulièrement aux **normales de rose de vent** : *Une normale de rose de vent est une rose des vents permettant d'établir une normale des vents en un point donné en s'appuyant sur un grand nombre de données. (Nous avons choisi une période de 10 ans pour l'établissement de normales de rose de vent, d'après les recommandations de MétéoFrance). Les normales de rose de vent sont généralement **annuelles** (roses établies sur 10 années de données en un point) (Figure 5) ou **mensuelles** (roses établies sur 10 années de données de vent sur le mois voulu) en fonction de l'application que l'on veut en faire.*

10. V : vitesse du vent

NORMALES DE ROSE DE VENT

Vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 10 mn

Période 1991–2000



Edité le : 09/08/2010 dans l'état de la base

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Direction de la Production
 42 avenue Gustave Coriolis 31057 Toulouse Cedex
 Fax : 05 61 07 80 79 – Email : climatheque@meteo.fr

FIGURE 5 – Exemple de normales de rose de vent annuelle (Source : *MétéoFrance*)

5.2 Etablissement des normales de rose de vent

Dans le but de caractériser les différents régimes de vents dans la région de Fos-sur-Mer, au vu des définitions vues dans la Section 5.1, j'ai donc créé un dossier servant de base de données pour les données de vents au cours de ces 10 dernières années, ce dossier est intégralement reproduit en Annexe C.

Ce dossier, établi dans le but d'offrir une lecture simple et rapide des différentes normales de rose de vent créées pour les 6 stations MétéoFrance citées plus haut (Toutes les normales de rose de vent ont été réalisées sur le logiciel *Igor Pro 6.22A*, ©Wavemetrics Inc., Oregon/USA) regroupe :

- **Les normales de rose de vent annuelles**, représentées sur un fond de carte que j'ai réalisé à l'aide du logiciel *Matlab* ® et du logiciel *Paint.NET* ®, permettant de comparer rapidement l'évolution des directions et vitesses de vents sur le territoire étudié (Figure 6). Une planche, regroupant les normales de rose de vent de toutes les stations, permettant une lecture plus précise de ces données a également été ajoutée (p. 3/26 Annexe C).
- **Les normales de rose de vent mensuelles**, elles-mêmes regroupées en deux parties :
 - les normales de rose de vent mensuelles représentant *l'aspect spatial* de ces roses, c'est-à-dire la représentation, pour un même mois, de toutes les stations réunies.
 - les normales de rose de vent mensuelles représentant *l'aspect temporel* de ces roses, c'est-à-dire la représentation, pour une station, de l'évolution de ses normales de rose de vent au cours des différents mois de l'année.

En complément à ce dossier a été ajouté un tableau récapitulatif des données acquises et non acquises pour toutes les normales de rose de vent établies et pour toutes les stations afin d'offrir une lecture précise de celles-ci (p. 28/28 Annexe C).

La période sur laquelle ont été établies ces normales s'étend du 01/01/2002 (00h00) au 31/12/2011 (23h00) (ce qui représente 10 années en durée, dont la dernière année complète est 2011). Sur cette période, toutes les données ont un pas de temps horaire (voir Table 1).

Il faut également préciser que toutes les heures utilisées sont des heures T.U. (Temps Universel), afin de faciliter la comparaison des données entre elles.

Il faut noter que pour la station de **Martigues Cap Couronne** il y a un "trou" de données de 2003 à 2009 (Table 1) et on ne peut donc établir de réelles normales pour cette station à cette période (déf. en 5.1). Les "normales" de rose de vent pour cette station sont donc basées sur les données de 2009 à 2011 seulement. Les résultats de cette station sont donc donnés à titre *qualitatif* et en tant que *complément d'information* mais n'ont pas été utilisés en terme *d'interprétation* et de *conclusion*.

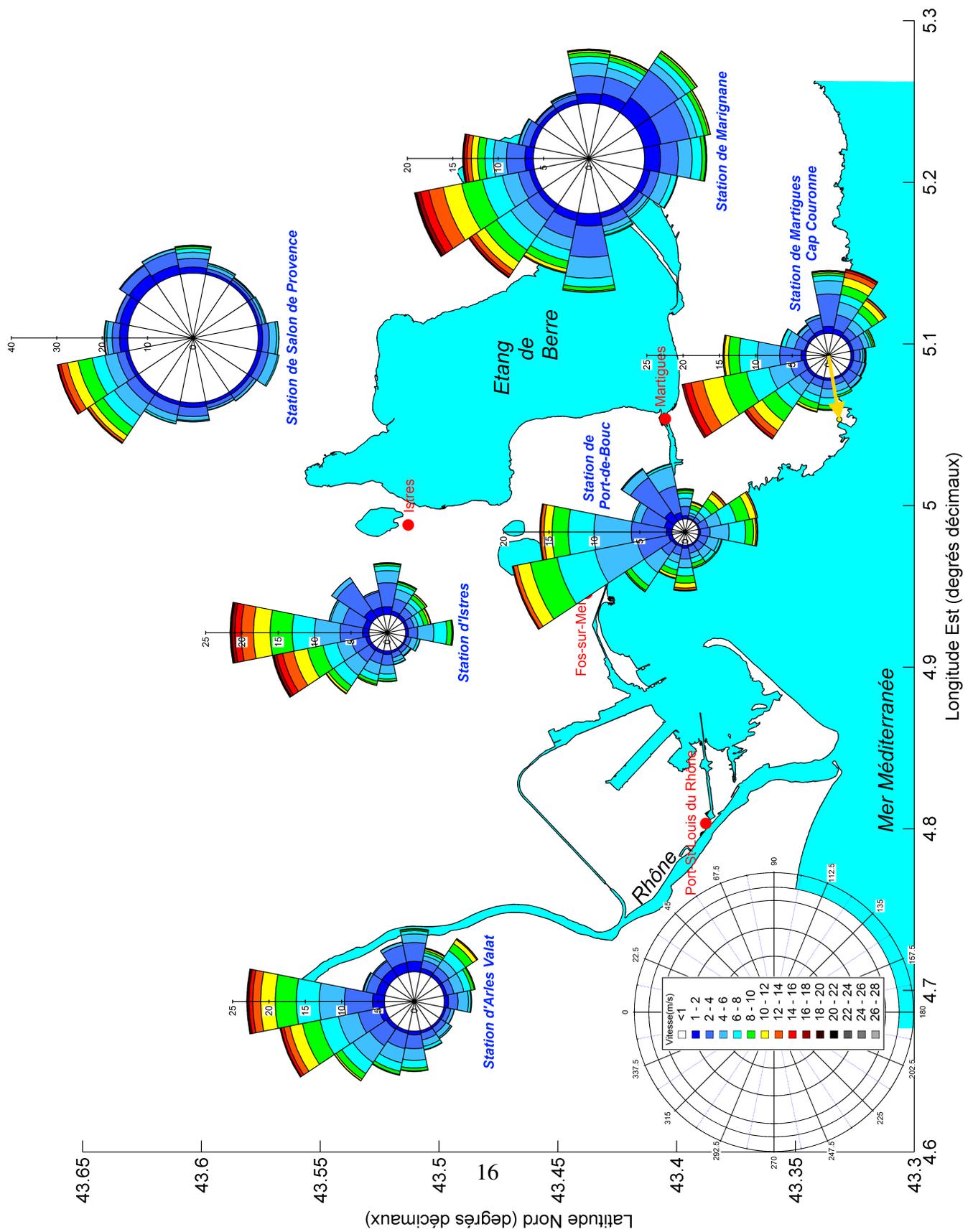


FIGURE 6 – Normales de rose de vent annuelles 2002-2011 pour les différentes stations MétéoFrance dans l'ouest des Bouches-du-Rhône (Source données : MétéoFrance)

Troisième partie

CARACTÉRISATION DES RÉGIMES DE VENTS

6 Approche générale - *Les Vents régionaux*

La direction et la vitesse du vent sont majoritairement imposées par les anticyclones et les dépressions. Dans l'hémisphère nord, le vent souffle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour d'une dépression et dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un anticyclone. Sa vitesse est proportionnelle à l'écart de pression entre deux points (on parle de « gradient » de pression). Cependant, le relief va canaliser l'écoulement d'air. Des vents apparaîtront plus fréquemment dans certaines régions et pourront être plus soutenus : il s'agit des **vents régionaux**. Ils deviennent alors de véritables acteurs du climat local.

Sur une région, les particularités d'un vent régional peuvent coïncider avec celles du vent à l'échelle synoptique¹¹. Les vents régionaux présentent des particularités en vitesse et direction qui les distinguent fortement des vents à l'échelle synoptique : ils révèlent l'existence d'une interaction entre certains facteurs topographiques et la situation météorologique à grande échelle.

Sur la région de l'Ouest des Bouches-du-Rhône, et plus généralement dans la région Provence Alpes Côtes d'Azur (PACA), les vents régionaux sont nombreux et bien connus. On en dénombre pas moins de 6 (Figure 7) [7] :

Le MISTRAL est un vent fort régional froid et généralement sec, pouvant atteindre des rafales supérieures à 100km/h. Il parcourt la basse vallée du Rhône et la Provence et envahit le littoral méditerranéen à l'est de la Camargue. De secteur nord dans la vallée du Rhône, la direction du Mistral devient de nord-ouest en région marseillaise, et d'ouest sur la côte varoise et la Corse. Ce vent régional, souvent plus fort en hiver et au printemps, peut durer plusieurs jours, voire plus d'une semaine.

-> Sa présence est liée à l'action conjuguée d'un anticyclone, s'étendant de l'Espagne vers le sud-ouest de la France à travers le golfe de Gascogne, et d'une dépression, s'établissant dans les parages du golfe de Gênes.

Le MARIN, ce vent de sud-est souffle sur toute la zone littorale méditerranéenne. Il est généralement fort et régulier, parfois violent et turbulent sur le relief, très humide,

11. L'échelle synoptique qualifie les phénomènes atmosphériques dont l'ordre de grandeur est de quelques milliers de kilomètres pour les dimensions horizontales, de quelques kilomètres pour la dimension verticale et de quelques jours pour la durée.

doux et amène souvent des précipitations abondantes. Il est plus fréquent au printemps et en automne. Il se charge d'humidité lors de son parcours au dessus de la Méditerranée. Il va ensuite la restituer sous forme de nuages bas, de brume ou de brouillards et de pluies, sur les hauteurs qui bordent la mer.

-> Le Marin est lié à la présence d'un centre dépressionnaire sur la Méditerranée occidentale (Baléares, Golfe du Lion) ou la Péninsule ibérique et d'un anticyclone vers les Alpes ou l'Europe Centrale. Le relief va ensuite canaliser ce vent, en lui faisant longer les côtes varoises et l'accélérer au niveau de l'embouchure du Rhône et du Languedoc-Roussillon.

Le LEVANT, ce vent d'est souffle sur les Alpes du Sud et le littoral méditerranéen jusqu'en Corse. Il peut être modéré à fort, généralement doux, très humide, et est associé à un ciel très nuageux et un temps pluvieux. Il souffle le plus fréquemment en fin d'automne, en hiver et au printemps.

-> Le Levant résulte de la présence d'une dépression sur le Golfe de Gascogne et d'un anticyclone sur l'Europe de l'est.

Le GREC, ce vent de nord-est souffle sur la Provence, la Côte d'Azur, le Languedoc-Roussillon et la Corse. Il s'agit d'un vent froid et sec en Provence et généralement en Corse. Il peut même amener les gelées printanières. Au contraire, au contact de la mer Méditerranée, le Grec devient humide et entraîne de la pluie (voire de la neige lors de vagues de froid hivernales) sur la Côte d'Azur, dans l'Aude et le Roussillon.

-> Il se charge en humidité au cours d'un long parcours maritime autour d'une dépression centrée au sud de la Méditerranée Occidentale : Baléares, Sardaigne, Sicile. Il est à l'origine de la formation de brouillards pouvant donner de la bruine sur la plaine du Roussillon. En Corse, il est généralement sec mais peut parfois amener de la pluie et des orages sur la plaine orientale.

Le LIBECCIO est un vent de sud-ouest présent sur la Côte d'Azur et la Corse. Il est chaud et sec sur la Côte d'Azur.

-> Le Libeccio est engendré par l'action d'un anticyclone sur le Golfe de Gascogne et le sud-ouest de la France, et d'une dépression vers le Golfe de Gênes.

Le SIROCCO est le vent du Sud, chaud et sec en été, que l'on observe assez rarement. Sa durée se limite à quelques heures en France. En provenance du Sahara, il souffle sur la Corse et les régions méditerranéennes et transporte du sable saharien. Il s'accompagne de températures caniculaires.

-> Il est engendré par un axe dépressionnaire s'étirant du Golfe de Gascogne à l'Espagne et au Maghreb et par de plus hautes pressions vers l'Italie et les Balkans.

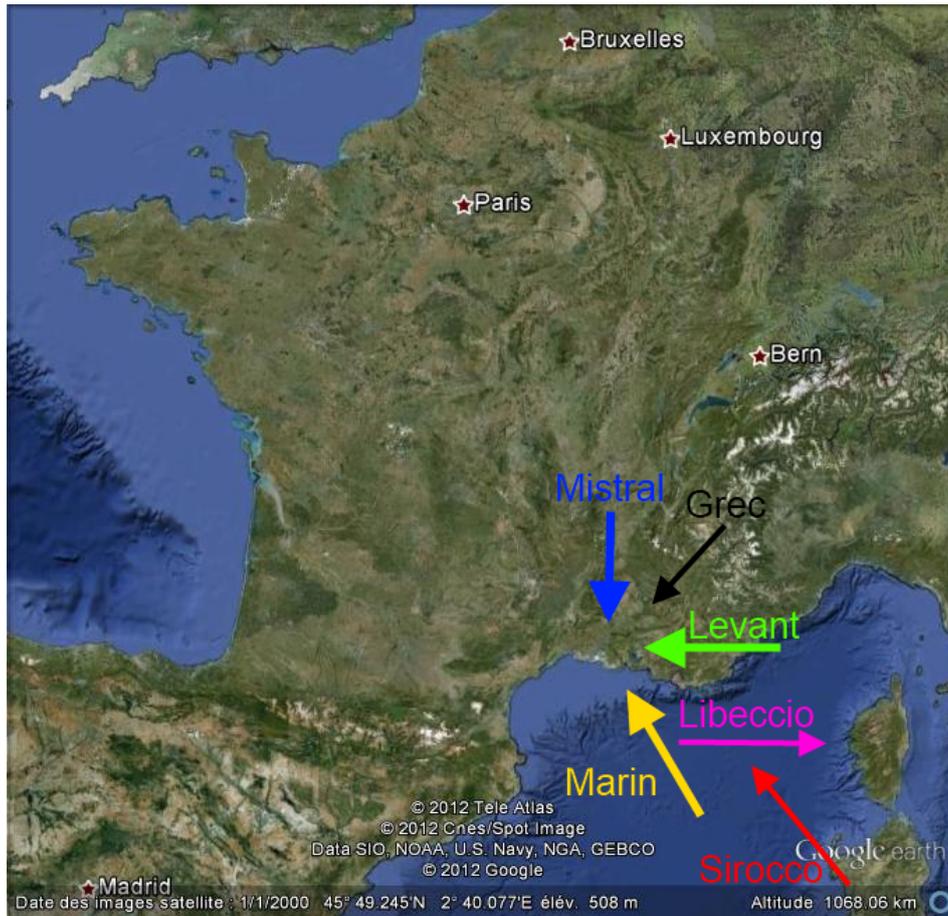


FIGURE 7 – Représentation des différents vents régionaux (Source image : *Google Earth* ; Source vents régionaux : *MétéoFrance*)

7 Interprétation des résultats - *Caractérisation des régimes de vent*

7.1 Présentation générale des vents

Après étude des différentes données de vents récoltées et des différentes normales de rose de vent (stations MétéoFrance 2002-2011), il en ressort des **régimes de vents** caractéristiques de la zone de l'étude. En effet, on constate qu'il existe des directions privilégiées de provenance du vent qui peuvent différer selon la station de mesure où l'on se trouve. Pour l'ensemble de ces stations il en est ressorti les régimes de vents suivants :

- Un **régime Nord/Nord-Ouest** dont la direction de provenance moyenne est d'environ **337°**
- Un **régime Ouest** dont la direction de provenance moyenne est d'environ **275°**
- Un **régime Sud** dont la direction de provenance moyenne est d'environ **168°**
- Un **régime Est** dont la direction moyenne de provenance est d'environ **92°**
- Un **régime Nord-Est** dont la direction moyenne de provenance est d'environ **41°**
- Des **régimes de transitions**, directions dans lesquelles les vents sont peu présents ou nuls.

La Figure 8 ci-après représente, sur le fond de carte établi précédemment, pour chaque station, les régimes de vent définis ci-dessus en présentant les cônes de provenance de ces différents régimes. Les couleurs sont liées aux différents régimes de vent et montrent ainsi, d'une station à l'autre, les différences de directions de provenance de ces régimes de vent.

Ces régimes de vents évoluent plus particulièrement selon la station de mesures mais également selon la période de l'année. En effet, comme vu dans le chapitre 6 certains vents sont plus présents selon la période de l'année.

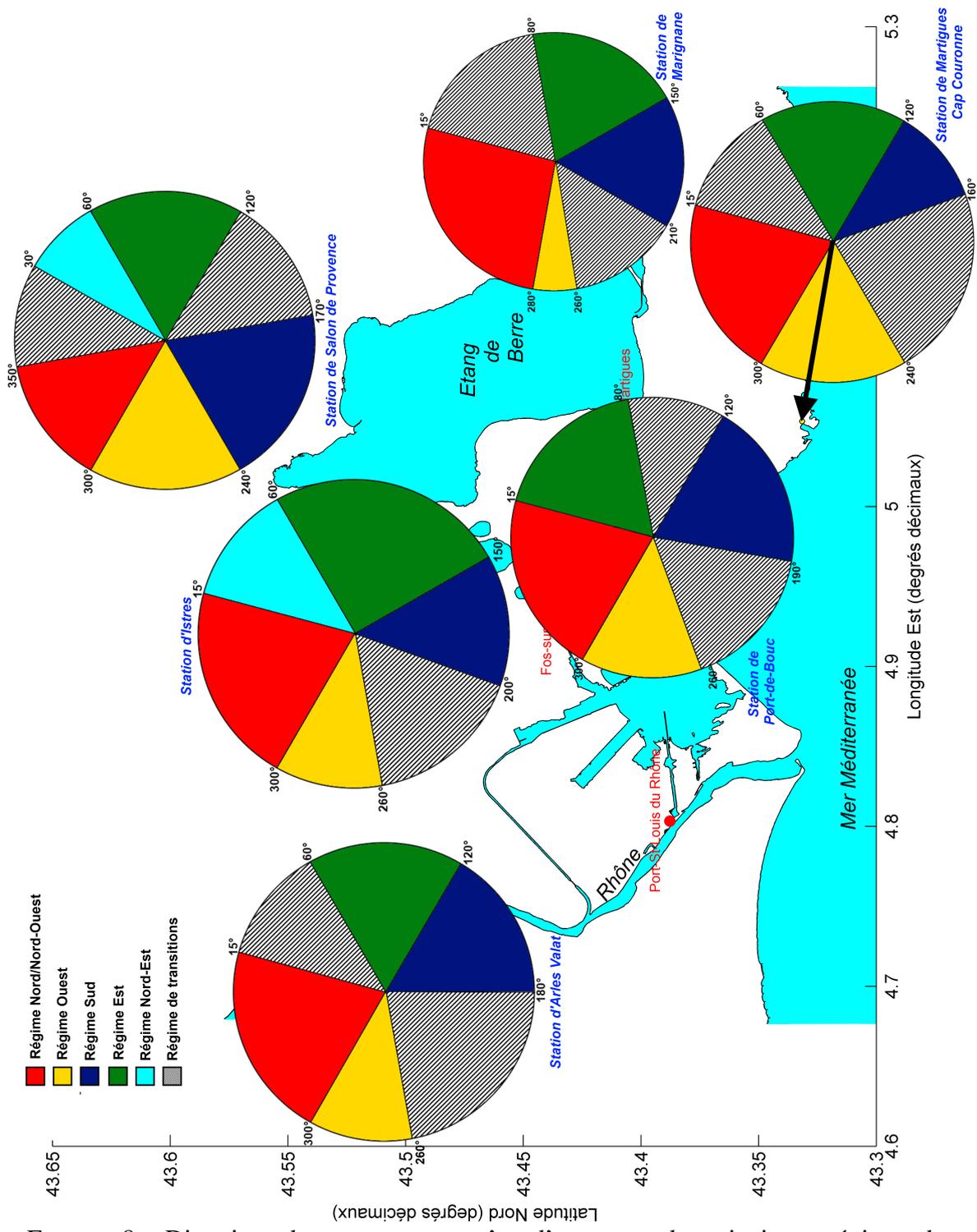


FIGURE 8 – Directions de provenance et cône d’ouverture des principaux régimes de vent selon les stations de mesures

7.2 Caractérisation des vents régionaux sur la zone d'étude

Afin d'évaluer les variations entre les différents régimes de vent en fonction des différentes stations, nous avons représenté sur la Figure 9 les pourcentages de ces différents régimes, selon la station de mesure, au cours des 10 années étudiées :

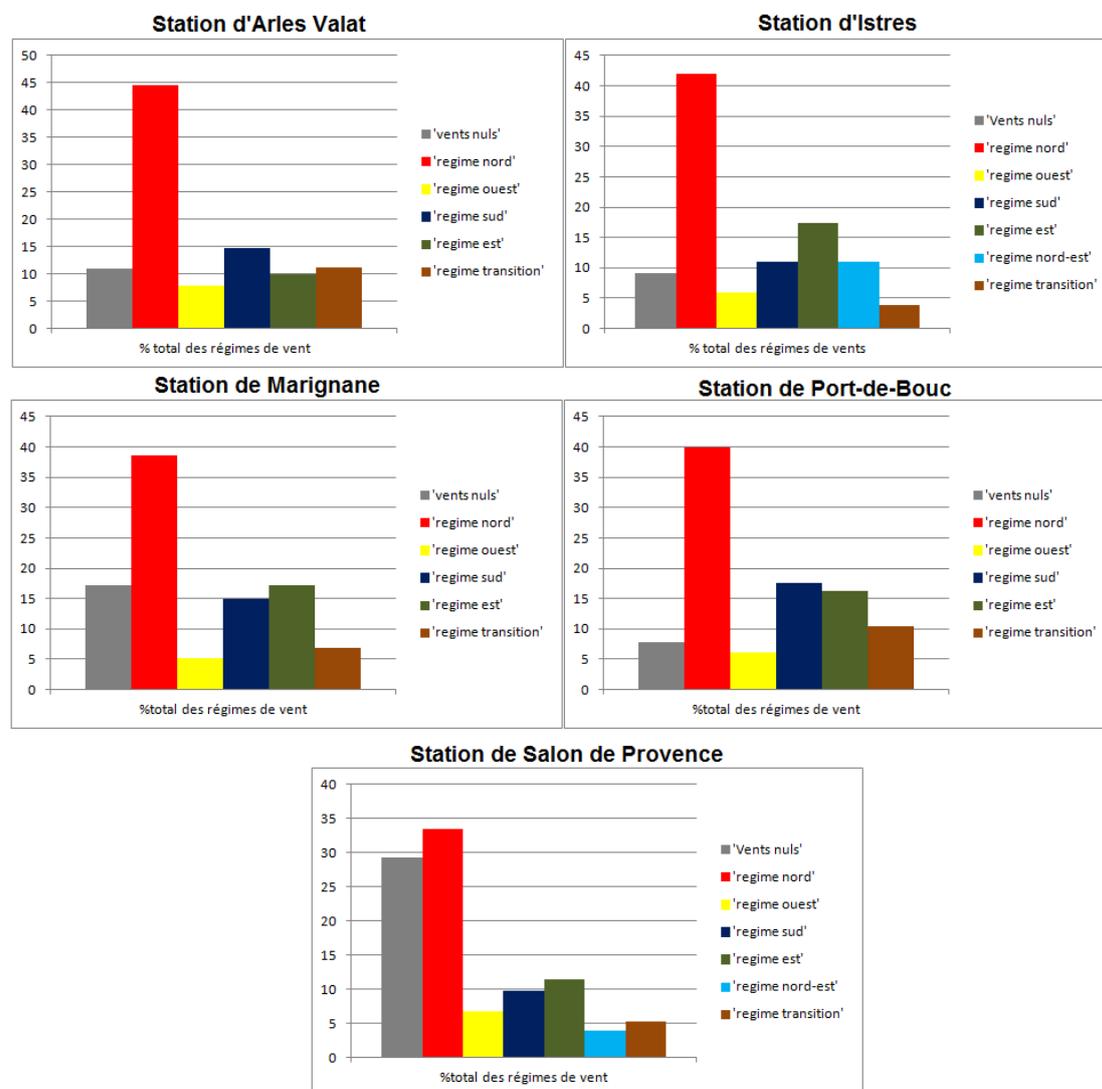


FIGURE 9 – Fréquences d'apparitions générales des différents régimes de vent par station

► Le **régime Nord/Nord-Ouest** est le régime dominant sur la région (allant de 33%, c'est-à-dire 1 jour sur 3 au niveau de la station de salon de provence à 45%, c'est-à-dire à quasiment 1 jour sur 2 au niveau de la station d'Arles Valat au cours de l'année). Ce régime est dû en grande majorité au Mistral soufflant sur la région.

► Un **régime Ouest** est à noter mais est relativement peu présent (environ 5% pour chaque station), il est probablement dû à une fin de Tramontane¹².

► Le **régime Sud** quant à lui apparaît entre 10% à 15% selon les stations, il est majoritairement dû au vent Marin soufflant de la mer vers la terre. Cependant, nous verrons dans le chapitre suivant que celui-ci est aussi dû à des phénomènes de Brise de Mer, principalement en été.

► Un **régime Est** est assez présent et généralement dû au Levant, qui traduit la plupart du temps du mauvais temps sur la région, sa présence varie entre 10% et 17% selon la station de mesure. En effet, il est plus présent sur les stations d'Istres, de Marignane et de Port-de-Bouc (environ 16%) car celles-ci sont, de par leur emplacement, plus soumises à ce régime. Les stations d'Arles Valat et de Salon de Provence sont moins influencées par ce **régime d'est**. La station d'Arles Valat est située plus au niveau où ce régime s'atténue pour disparaître en allant plus à l'Ouest, la station de Salon de Provence, quant à elle, étant située plus au Nord de la zone est moins influencée par ce régime.

► Il faut noter également un **régime Nord-Est** apparaissant principalement sur les stations d'Arles Valat et de Salon de Provence, traduisant l'apparition du vent Grec mais peu présent face aux autres vents dominants cités précédemment.

► Les **vents nuls**, c'est à dire les vents dont la vitesse est inférieure à $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, sont d'environ 5% pour les stations d'Arles Valat, d'Istres et de Port-de-Bouc alors qu'ils sont bien plus présents sur la station de Marignane (17%) et quasiment aussi présents que le **régime nord** sur la station de Salon de Provence (29%). Ceci est dû au fait que les stations de Marignane et de Salon de Provence ne sont pas directement à la sortie de la vallée du Rhône et sont donc beaucoup moins influencées par le **régime nord**.

7.3 Evolutions mensuelles

Il est intéressant maintenant de regarder l'évolution des différents régimes de vent mis en évidence précédemment au cours d'une année, c'est-à-dire de regarder l'évolution mensuelle de ces régimes de vent aux différentes stations MétéoFrance. Pour ce faire, nous allons nous intéresser plus particulièrement à la station d'**Istres**, celle-ci étant centrale à la zone d'étude et servant, la plupart du temps, de station météorologique de référence aux études menées sur la zone. Sont illustrés sur la Figure 10 suivante, l'évolution des fréquences d'apparition des différents régimes de vent à Istres en fonction du mois de l'année (Cette évolution est également disponible pour les autres stations en Annexe D) :

12. La tramontane est un vent violent et froid de secteur ouest à nord-ouest parcourant les contreforts des Pyrénées et les monts du sud du Massif central. Ce vent régional présente des similitudes avec le mistral.

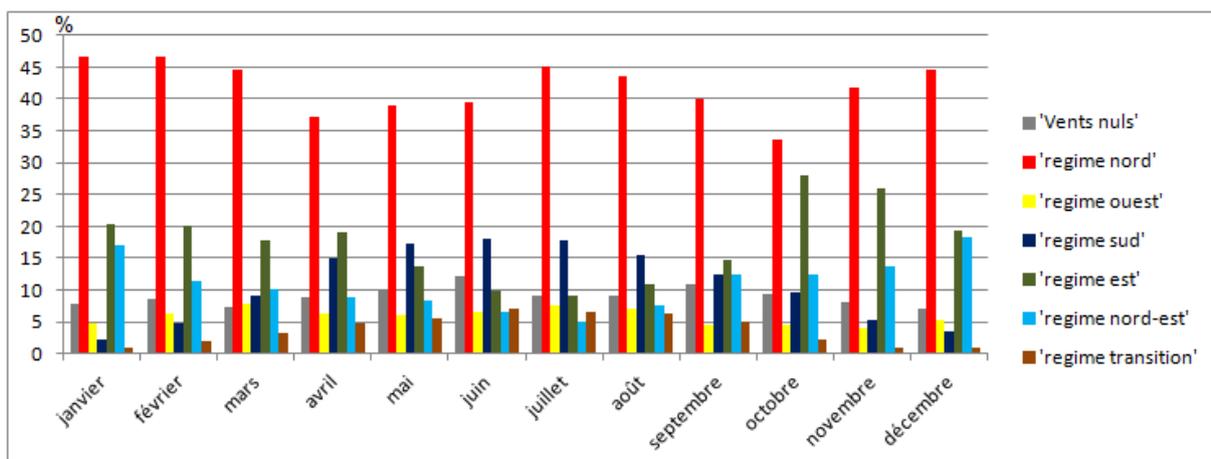


FIGURE 10 – Fréquences d'apparitions mensuelles des différents régimes de vent pour la station d'Istres

► Le **régime Nord/Nord-Ouest**, dû principalement au Mistral, est beaucoup plus présent sur la zone en période froide (pendant l'hiver) et au milieu de l'été (entre 40% et 47% des vents) alors que sa présence est plus faible pendant les saisons de transitions entre période froide et période chaude : au printemps et à l'automne (entre 35% et 40%). Ce régime reste néanmoins le régime de vent dominant tout au long de l'année.

► Le **régime Ouest**, quant à lui, est quasi-constant en terme de fréquence d'apparition, il augmente légèrement pendant la période chaude (7% en juillet contre 5% en janvier).

► Le **régime Est** est le plus présent à l'automne (27% des vents en octobre) et sa fréquence d'apparition reste quasi-constante pendant l'hiver et le début du printemps (environ 20% des vents). En été, celui-ci est présent mais moins fréquent (environ 10% des vents en été). Dû en majorité au Levant, il apporte en hiver des nuages et de la pluie sur la région, en été il est généralement plus sec et n'apporte pas de pluie, on parle alors généralement de *Levant blanc*.

► Le **régime Nord-Est**, pour sa part dû généralement au Grec, est plus présent au coeur de l'hiver (environ 17% des vents) qu'en été (environ 5% des vents). Il évolue de manière assez similaire au **régime d'est**.

► Le **régime Sud**, lié en partie au Marin, apparaît beaucoup plus présent pendant la période chaude (en été), il va de 3% d'apparition en hiver à 17% en été. Pendant l'été, la présence d'un **régime Nord** et d'un **régime Sud** assez présent entraîne donc des changements de directions des vents et ainsi l'apparition des **régimes de transitions**.

► **Régime de transitions et vents nuls** vont généralement de pair, en effet, il apparaît plus de **vents nuls** en été qu'en hiver (12% en été environ contre 7% en hiver environ). Les **régimes de transition** sont donc plus présent pendant l'été que pendant l'hiver (de 1% en hiver à 7% en été). Il faut noter également que cette augmentation de fréquence d'apparition des **régimes de transition** est liée à l'apparition du **régime**

Sud.

7.4 Phénomènes de brises

Le phénomène de **Brise** désigne un régime spécifique de vent local, généré par les différences de réchauffement ou de refroidissement s'établissant entre deux zones avoisinantes de la surface terrestre à la suite du rayonnement absorbé ou émis par ces deux zones. S'établit alors entre ces deux zones un gradient de température allant de la zone la plus froide (la moins réchauffée) à la zone la plus chaude (la plus réchauffée). En raison de ce processus, les brises finissent généralement par constituer la partie inférieure de cellules convectives¹³, en outre, elles se présentent fréquemment comme des phénomènes d'évolution diurne, puisque la convection thermique¹⁴ dépend du rythme du jour et de la nuit.

La région étudiée ici est composée de différentes surfaces. En effet, on trouve la mer Méditerranée au sud des terres ainsi que l'étang de Berre à l'est de la zone du SAN Ouest Provence. Ces différences de type de surface sont alors des éléments propices à l'apparition de phénomènes de **brises** et plus particulièrement de **brises marines** :

- La **brise de mer**, apparaissant pendant la journée, crée du fait de la différence de température entre la surface de la mer et les terres (les terres se réchauffent plus vite que la mer), un gradient de température laissant apparaître des vents dirigés de la mer vers la terre.
- La **brise de terre**, apparaissant pendant la nuit, est le phénomène inverse à la brise de mer, faisant apparaître des vents dirigés de la terre vers la mer mais de bien moins grande ampleur.

Des phénomènes similaires, mais beaucoup moins fréquents, sont à noter, ce sont les **brises d'étang**, basées sur les mêmes phénomènes que les **brises marines**, elles se produisent à proximité directe d'un étang ou d'une grande étendue d'eau.

Les phénomènes de brises sont, de par leur nature, présents principalement pendant la période chaude de l'année (en été). Comme vu sur la Figure 10, ces phénomènes apparaissent généralement entre le mois d'avril et de septembre et sont assez présent (jusqu'à 17% des vents). Ceci est dû au fait que la température de surface de la mer est, pendant cette période, inférieure à la température des terres comme illustré sur la Figure 11 ci-après.

13. Une cellule convective est une région de l'atmosphère soumise à des mouvements convectifs de l'air (verticaux) traduisant la persistance de courants ascendants et descendants entretenus par des échanges d'énergie, souvent thermique.

14. La convection thermique est le phénomène de convection dont l'énergie de mise en place de ce phénomène est la chaleur. La convection thermique crée alors des courants ascendants.

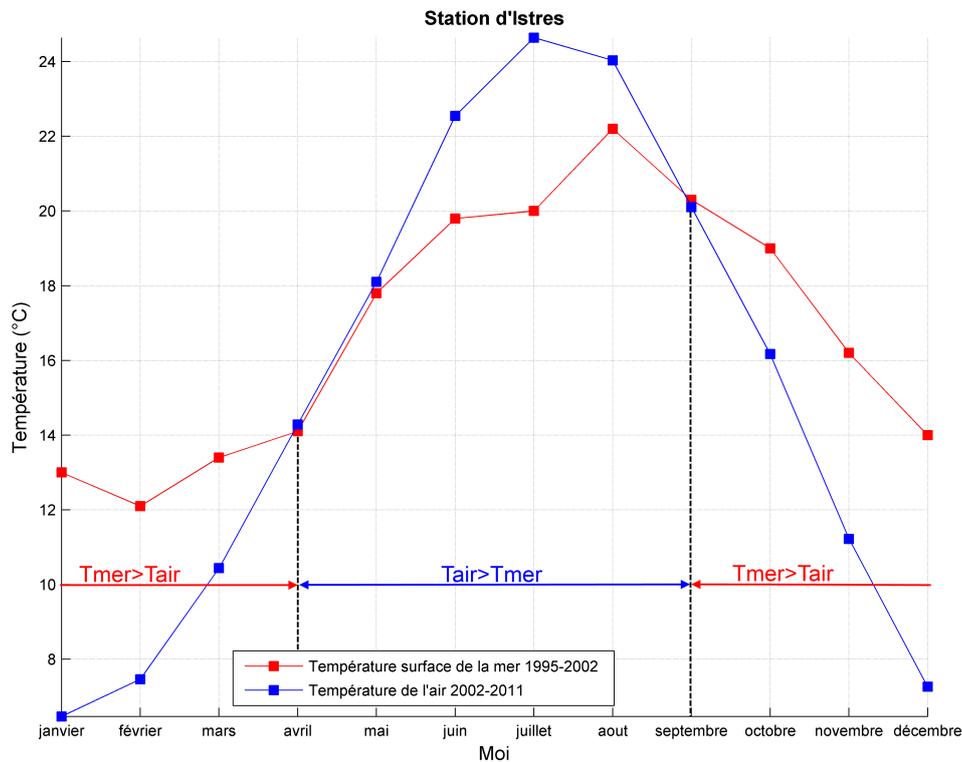


FIGURE 11 – Evolution des moyennes mensuelles de températures de l’air et de la surface de la Méditerranée (Source données températures air : *MétéoFrance* ; Source données températures mer [8])

Il faut préciser également, qu’en période froide (en hiver), le Mistral peut souffler pendant près de 10 jours en continu, alors que pendant la période chaude (en été) celui-ci souffle généralement pendant 4 à 5 jours maximum et laisse place ensuite à des vents d’origine plus locale qui ne sont autres que les **brises de Mer**. Apparaît alors une alternance pendant cette période entre **régime Nord** et **régime Sud** et donc laisse place à des **régimes de transition** plus présents (Figure 12).

La Figure 12 ci-dessous illustre l’alternance, pendant la période d’été, entre 5 jours de Mistral puis 5 jours de Brise de mer, séparés par quelques heures à une journée de régimes de transitions.

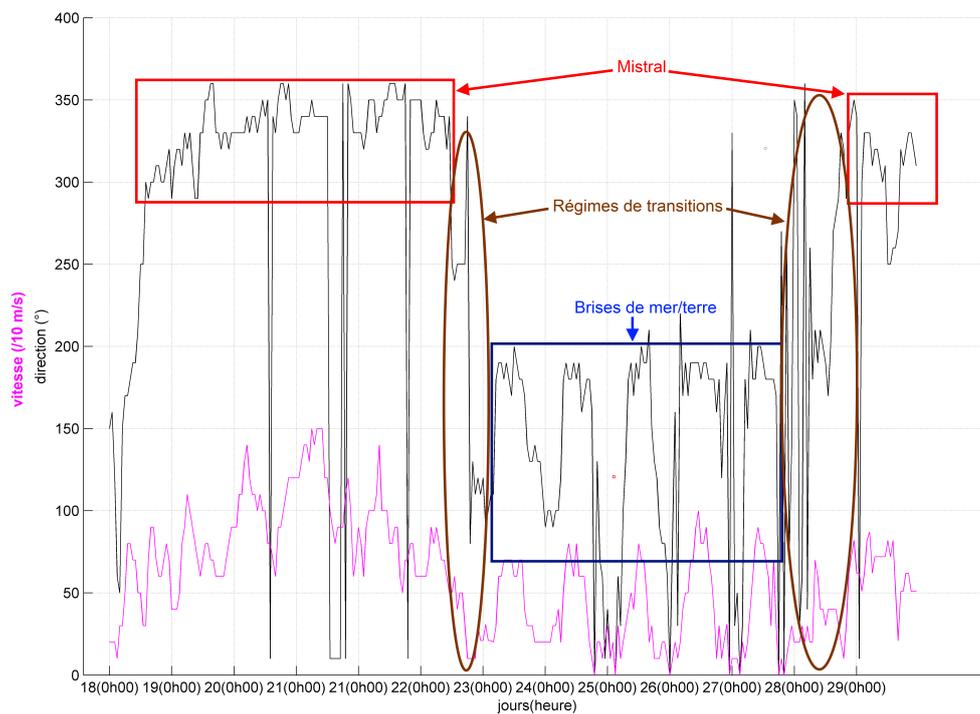


FIGURE 12 – Exemple d’alternance Mistral/Brise de mer au mois de juillet 2005 (Source données : *MétéoFrance*)

Quatrième partie

APPLICATIONS AUX ÉTUDES DE QUALITÉ DE L'AIR

8 Etude des sources d'émissions (Projet ESTAMPE) - Raffinerie ESSO

Le programme ESTAMPE (Etude des Sources et de leurs Traceurs dans les Aérosols pour la mesure des Profils d'Emissions) de l'Institut Écocitoyen vise à caractériser les signatures des sources des particules impactant la qualité de l'air à Fos-sur-Mer, et notamment les émissions industrielles qui n'ont fait l'objet que de peu d'études jusqu'à présent. Il s'inscrit dans la suite logique de la campagne CAMESCOP menée par l'Institut qui visait à déterminer les différents polluants contenus dans l'air sur la zone de Fos-sur-Mer (Annexe E).

Les résultats des analyses seront alors appliqués en site récepteur (mesures passives par l'AASQA AirPACA sur le territoire des Bouches-du-Rhône) et permettront de déterminer les contributions relatives des sources étudiées.

Dans le cadre de son programme ESTAMPE, l'Institut Écocitoyen prend en charge la réalisation des prélèvements des échantillons qui seront utilisés pour établir les signatures chimiques des principales sources de particules impactant la ville de Fos-sur-Mer. Pour cela, l'Institut Écocitoyen a recours à un préleveur sur filtres à haut-débit (Figure 13a) qui pourra être déplacé en fonction des sources d'émission étudiées dans une station mobile adaptée (Figure 13b).

Afin de réduire les prélèvements aux seules périodes de vent favorable, le préleveur sera asservi à une girouette-anémomètre de précision également installée sur la station mobile. L'ensemble de cet équipement sera mobilisé sur les sources industrialo-portuaires dans un premier temps, notamment les installations suivantes :

- Aciérie & Cokerie - Agglo - Hauts-Fourneaux
- Pétrochimie
- Raffinerie
- Incinération d'ordures ménagères
- Incinération de déchets industriels
- Cimenterie
- Port Minéralier

Les prélèvements sont effectués à quelques centaines de mètres, voire kilomètres du point d'émission, ceci dans le but de laisser aux aérosols le temps nécessaire à leur mises



(a) Préleveur sur filtre à haut-débit équipé d'une tête de prélèvement $PM_{2,5}$ (HVS DA-80, Digitel)



(b) Station mobile (remorque adaptée, Gensollen MGSA)

FIGURE 13 – Instrumentation utilisée pour le prélèvement des sources d'émissions

en équilibre avec les conditions atmosphériques. En effet, il a été montré que l'aérosol peut évoluer très rapidement pendant les premières minutes de son séjour dans l'atmosphère notamment en raison des forts différentiels de température et de concentration partielle entre l'intérieur des cheminées et l'atmosphère réelle.

Afin d'assurer un prélèvement représentatif de l'activité industrielle ciblée, certaines précautions ont été définies (en effet les aérosols émis par une activité industrielle peuvent être perturbés par les émissions des activités voisines) :

- La pompe du préleveur sera asservie aux conditions de vent (direction et vitesse) afin que les prélèvements n'aient lieu que lorsque la direction du vent sera parfaitement dans l'axe de l'installation industrielle. Un anémomètre-girouette sonique 2D (Vaisala WMT52) sera utilisé pour cet asservissement.
- Les durées de prélèvement seront réduites (4 heures) afin de prévenir les changements de direction des vents (et donc les risques d'interruption des prélèvements) au cours d'un même échantillonnage. Cette faible durée de prélèvement sera rendue possible par les fortes concentrations d'aérosol induites par la proximité de la source et par les hauts débits d'échantillonnage ($30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) du préleveur (DA-80 Digitel équipé d'une tête $PM_{2,5}$).

8.1 Positionnement de la raffinerie ESSO et des points potentiels de mesures

Dans le cadre du projet ESTAMPE, une première analyse des émissions a été lancée au niveau de la raffinerie ESSO au cours du mois de **juin 2012**.

J'ai eu pour mission de déterminer l'emplacement de mesure le plus propice à remplir les précautions de mesure définies précédemment et j'ai donc fourni à l'Institut un dossier regroupant cette étude.

La raffinerie ESSO, l'une des quatre raffineries de la zone de Fos-Berre, est l'installation industrielle émettrice de particules la plus proche de la ville de Fos-sur-Mer (Figure 2). Elle se compose d'un centre de raffinage avec ses différentes cheminées (au nombre de 4) ainsi que de nombreux dépôts pétroliers (Figure 14).

Deux points potentiels de mesure ont été définis préalablement pour des raisons d'accessibilité à la remorque et pour des raisons techniques (problèmes d'accès à l'électricité pour les instruments et emplacements à l'abri de tout vol ou détérioration), au niveau de la station de mesure d'AirPACA à Fos-Hauture et à proximité de la Maison de la Mer sur le port de Fos-sur-Mer (Figure 14). Leurs coordonnées respectives sont regroupées dans la Table 2.



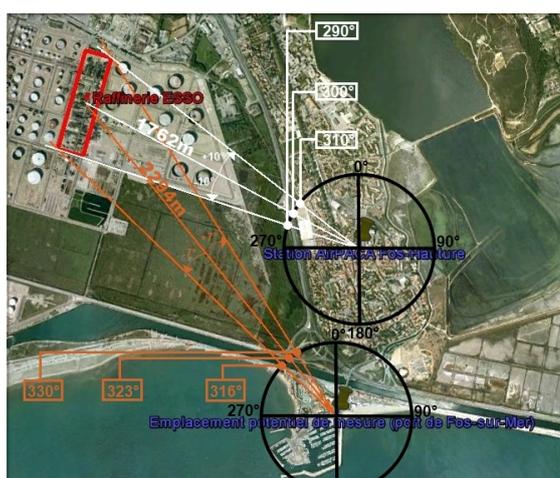
FIGURE 14 – Raffinerie ESSO (en rouge gras) et ses différents dépôts pétroliers (en rouge fin), ainsi que les deux emplacements potentiels du capteur (en bleu) (Source image : *Google Earth*)

TABLE 2 – Récapitulatif des points et de leurs coordonnées

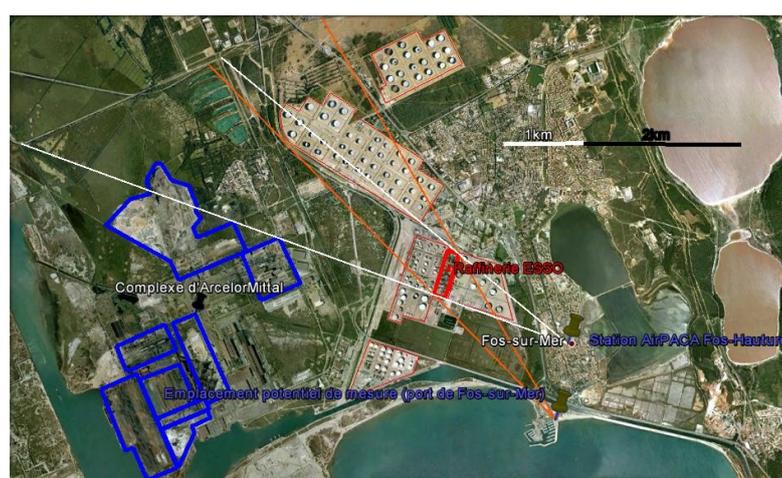
POINT CONSIDÉRÉ	LONGITUDE	LATITUDE
Position moyenne cheminées ESSO	4°55'34,59" Est	43°26'44,88" Nord
Station AirPACA Fos-Hauture	4°56'42" Est	43°26'16" Nord
Port de Fos-sur-Mer	4°56'35,59" Est	43°25'45,29" Nord

Afin de comparer les deux points de mesures potentiels nous avons établi les cônes de dispersion des émissions de la raffinerie rapportés à ces deux points de mesures (Figure 15a). Il faut noter également la proximité de la raffinerie ESSO avec l'aciérie d'ArcelorMittal (Figure 15b).

Au regard de la Figure 15b, on constate que pour le point de mesure au niveau de la station AirPACA de Fos-Hauture il y a possibilité que l'aciérie d'ArcelorMittal biaise la mesure alors que le point de mesure au niveau de la Maison de la Mer est à l'abri d'émissions de toute autre industrie. Ceci ne constitue pas cependant un critère valable d'exclusion car la contribution de l'aciérie aux émissions est très faible dans cette direction.



(a) Cônes de dispersion



(b) Cônes de dispersion élargis

FIGURE 15 – Cônes de dispersion des deux points potentiels de mesure de l'air (Source image : Google Earth)

Il en ressort alors les caractéristiques répertoriées dans la Table 3 suivante :

TABLE 3 – Caractéristiques des points potentiels de mesures

POINT DE MESURES	STATION AIRPACA	MAISON DE LA MER
Ouverture du cône de dispersion	20°	14°
Directions de provenance du cône	290° → 310°	316° → 330°
Distance au point de mesure	1762m	2294m

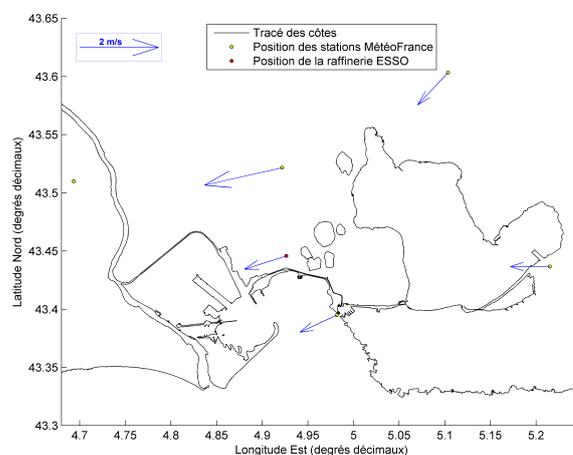
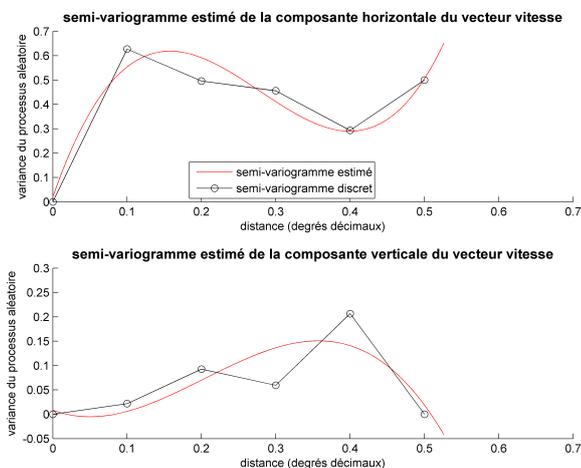
8.2 Normales de rose des vents interpolés sur la raffinerie ESSO

Afin d'évaluer le point de mesure le plus intéressant en terme de durée d'enregistrement des filtres selon la direction de provenance des vents il faut alors étudier les vents au niveau de la raffinerie ESSO.

Pour ce faire, j'ai effectué une **interpolation spatiale par krigeage** des données de vents (recommandée par l'OMM [9]) des stations MétéoFrance suivantes : Arles Valat, Istres, Marignane, Port-de-Bouc et Salon de Provence afin d'évaluer les vents à la position moyenne des cheminées de la raffinerie ESSO.

A partir des positions des différents points considérés (Table 2), des positions des différentes stations MétéoFrance citées ci-dessus (Figure 3) et des données de vents fournies par MétéoFrance pour les mois de juin de l'année 2002 à 2011 (programme d'interpolation par krigeage réalisé sous *Matlab*® disponible en Annexe F).

Un exemple des vents interpolés sur la raffinerie ESSO est montré Figure 16 suivante :

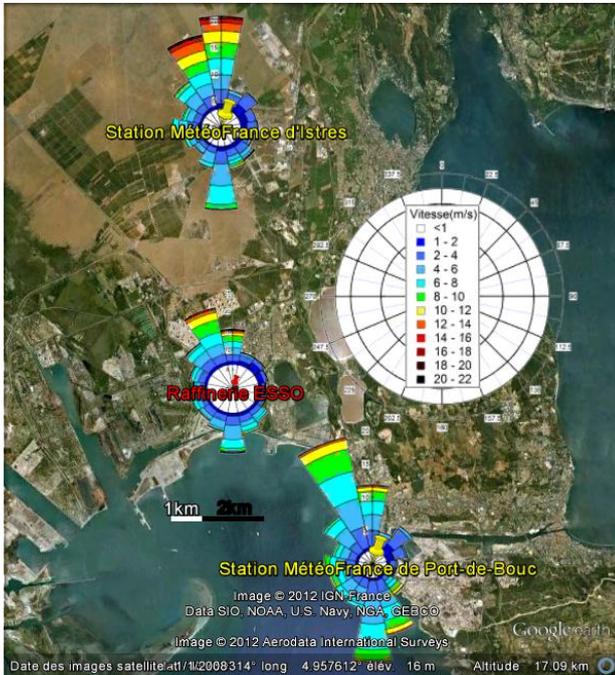


(a) Semi-variogrammes estimés pour le calcul du vecteur vitesse vent interpolé

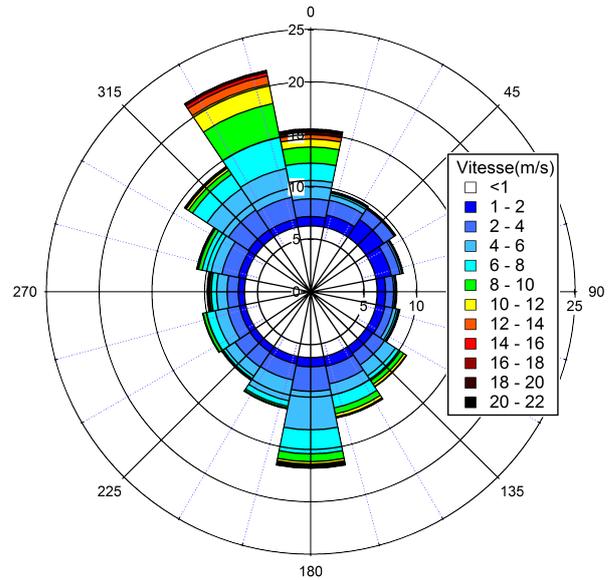
(b) Champ de vitesses du vent pour les stations MétéoFrance et vecteur vitesse vent interpolé de la raffinerie ESSO

FIGURE 16 – Exemple d'interpolation par krigeage du vent au niveau de la raffinerie ESSO du 01/06/2002 à 00h00

A partir de ces données de vents interpolés sur la raffinerie ESSO j'ai pu alors établir une normale de rose de vent mensuelle pour la raffinerie ESSO au cours du mois de juin (Figure 17).



(a) Normale de rose de vent pour les stations d'Istres, Port-de-Bouc et la raffinerie ESSO (Source image : Google Earth ; Source données : MétéoFrance)



(b) Normale de rose de vents interpolés - raffinerie ESSO

FIGURE 17 – Normale de rose de vent interpolés au mois de juin 2002-2001 - raffinerie ESSO

8.3 Discussions et conclusions

Au vu des éléments décrits dans les sections précédentes j'ai alors évalué le pourcentage des vents, sur les mois de juin, contenus dans les cônes de dispersion respectifs des deux points de mesures potentiels.

Il faut avant tout préciser que les vents pris en compte pour la mesure sont les **vents établis** définis en section 5.1, c'est-à-dire les vents dont les vitesses sont comprises entre $1,5m.s^{-1}$ et $8m.s^{-1}$. Par la suite, on parle de **pourcentage absolu**, cela sous-entend le pourcentage des vents compris à la fois dans le cône de dispersion voulu et pour la classe de vents établis par rapport à l'ensemble des vents du mois de juin.

Au vu de ces caractéristiques, il en ressort le pourcentage de vents souhaités suivant (Table 4) :

TABLE 4 – Pourcentages absolus des vents établis dans les cônes de dispersion des différents points de mesures

POINTS DE MESURES	STATION AIRPACA	MAISON DE LA MER
% absolu des vents établis	4,34	4,80
Equivalent horaire	~31h dans le mois	~35h dans le mois

Au regard des résultats exposés dans la Table 4, on constate que le point de mesures situé à **proximité de la Maison de la Mer est le point le plus potentiellement intéressant**. En effet, au regard de la normale de rose de vents sur 10 ans (Figure 17) on constate que dans le cône de dispersion de ce point de mesures il y a environ 35h de vent établi au cours du mois de juin, contre 31h pour la station AirPACA Fos-Hauture.

Cependant, il est intéressant de regarder le temps de mesures potentiel sur ce point dans le cas d'un cône de dispersion élargi. En effet, le cône de dispersion pour le point de mesure situé à proximité de la Maison de la Mer est plus étroit (14°) que celui du point de mesure situé à la station AirPACA de Fos-Hauture (20°). En élargissant alors le cône de dispersion de ce point (ce qui est justifié vis-à-vis de la mesure même) on constate, sur la Figure 18 suivante, montrant la superposition du cône de dispersion original avec le cône de dispersion élargi sur la normale de rose des vents au niveau de la raffinerie ESSO, que cette petite augmentation du cône de dispersion peut sensiblement augmenter le temps de mesure.

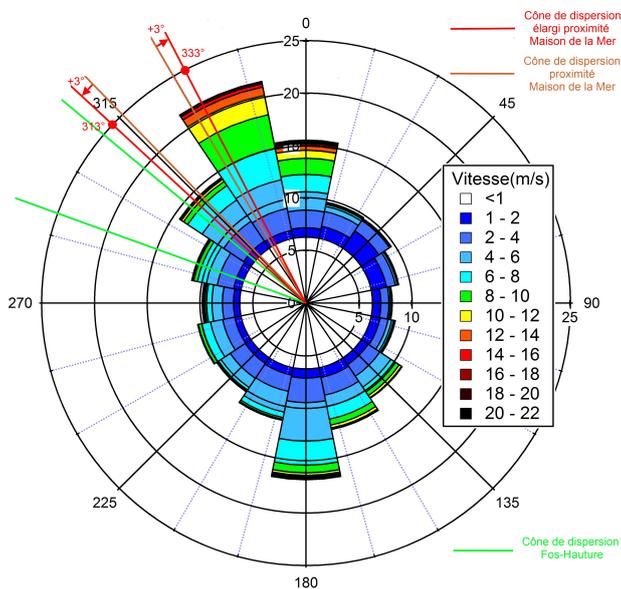


FIGURE 18 – Superposition cône de dispersion / normale de rose de vents interpolés de la raffinerie ESSO

Au regard de la Figure 18, on constate que l'augmentation du cône de dispersion de 14° d'ouverture à 20° (ce qui lui donne maintenant des directions de provenance s'étendant de 313° à 333°) augmente sensiblement la surface de superposition du cône de dispersion avec la normale de rose de vents de la raffinerie ESSO. Au contraire, pour le point de mesure à Fos-Hauture l'augmentation du cône de dispersion n'augmenterait quasiment pas la surface de superposition avec la normale de rose de vents de la raffinerie ESSO.

En procédant comme précédemment, on obtient alors **7,11% absolu** des vents établis pour le point de mesure à proximité de la Maison de la Mer. Ce qui donne un équivalent horaire d'environ **53h** d'enregistrements dans le mois de juin. Une augmentation du cône de dispersion de 6° augmente le temps de mesure d'environ 18h. Le point de mesure à proximité de la Maison de la Mer est d'autant plus préférable qu'au regard de la Figure 18 on constate qu'il est plus prêt des directions où le vent souffle majoritairement pendant le mois de juin, et dans le cas de la mesure de polluants émis, le temps de mesure ne peut en être qu'augmenté.

—> Le point de mesure à **proximité de la Maison de la Mer** a donc été choisi pour effectuer la mesure des émissions de polluants de la raffinerie ESSO.

En réalité, ce n'est pas ce point exact qui a été choisi mais un point juste à côté pour des raisons pratiques. Le résultat de ces mesures a permis de récolter 15 filtres enregistrés pendant 4h chacun, ce qui nous donne 60h de mesures. Cette différence vient du fait que le point choisi est légèrement à côté du point étudié mais aussi que l'asservissement du collecteur sur filtre a une limite de vitesse de vent inférieure ($1,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) mais pas de limite de vitesse supérieure. Les vents dont la vitesse dépassait les $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ont donc également été pris en compte dans la mesure.

CONCLUSION

Ainsi, j'ai réalisé mon stage de fin de Master au sein de l'Institut Ecocitoyen et réussi à mener à terme les différents objectifs fixés au début de ce stage.

En effet, j'ai mis en place sur le réseau de l'Institut une base de données classée et détaillée des différentes données de vent acquises durant le stage dans le but d'une utilisation ultérieure par l'Institut de ces données pour des études de surveillance de la qualité de l'air et d'autres études également. J'ai de plus fourni à l'Institut un dossier regroupant toute l'étude menée sur les vents ainsi que sur l'étude personnalisée des émissions de la raffinerie ESSO, point de départ au projet ESTAMPE.

De plus, le fond de carte réalisé de la zone de l'Etang de Berre est un plus apporté pendant le stage très utile et pratique pour l'Institut.

L'intégration au sein de l'équipe (que je remercie encore) s'est très bien déroulée. Ce stage m'a permis d'acquérir beaucoup d'autonomie dans le travail et a mis en avant les différentes difficultés auxquelles ce genre d'étude sont confrontées telles que la communication avec d'autres organismes, l'organisation de campagne de mesure, la difficulté de la mise en oeuvre d'une grande quantité de données. Ce stage m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur la climatologie et les applications concrètes que l'on peut en faire.

Je tiens à exprimer ma satisfaction d'avoir travaillé dans un environnement sympathique et agréable bien que pas toujours évident, mais cela m'a confronté aux problèmes du travail en entreprise. Ce stage m'a également permis de découvrir le monde de la surveillance de la qualité de l'air jusque lors peu connu pour ma part et à éveiller chez moi un fort intérêt dans ce domaine qui devrait s'intensifier aux vues des émissions anthropiques de polluants de plus en plus conséquentes dans notre société. La zone de Fos-sur-Mer est dans ce cas un lieu propices à ce genre d'étude.

Références

- [1] Ballester F., Medina S., Boldo E., and al., 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of American Medical Association* 287(11), 32-41.
- [2] Battedou C. Infos clé. In : Grand Port Maritime de Marseille. Site du Grand Port Maritime de Marseille. [en ligne]. Disponible sur : http://www.marseille-port.fr/presse/infos_cles/gpmm_infos_cle_2012.pdf. (Page consultée le 17 juillet 2012)
- [3] Burgéap, 2008. Evaluation des risques sanitaires dans la Zone Industrielle de Fos-sur-Mer dans les Bouches-du-Rhône. Rapport de synthèse, SPPPI-PACA.
- [4] Pakulic C. Bilan de la qualité de l'air 2010. In : AirPACA. Site d'AirPACA. Téléchargements. Publications. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.airfobep.org/docs/bilanqa2010net.pdf>. (Page consultée le 10 mai 2012)
- [5] Ehinger J., 1993. Instruments and observing methods, report no.55 : L'emplacement des sites et l'exposition des instruments météorologiques (section II). WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION.
- [6] WCDMP-No.61. WMO-TD No.1377., March 2007. The role of climatological normals in a changing climate. [O. Baddour, H. Kontongomde]. Geneva, Switzerland, 46pp.
- [7] Vialar J., Météorologie Nationale. Glossaire de MétéoFrance. Site de MétéoFrance.[enligne]. Disponible sur : http://comprendre.meteofrance.com/pedagogique/dossiers/phenomenes/vents_r%C3%A9gionaux?page_id=13742. (Page consultée le 10 mai 2012)
- [8] Romano J-C. and Lugrezi M-C., 2007. Série du marégraphe de Marseille : mesures de températures de surface de la mer de 1885 à 1967. *C. R. Geoscience* 339, 57-64.
- [9] WMO no.100. Guide to climatological practices. Third edition. [Boodhoo Y., Kenneth D. Davidson, Guttman N. and al.]. 182pp.

ANNEXES

A Plan des différentes industries dans la zone de Fos-sur-Mer

B Notes sur les données MétéoFrance de la station d'Arles Valat

➤ Station d' Arles Valat (N° :13004003(2)) :

Caractéristiques de la station :

- Altitude de la station :1m
- Latitude : 43°30'36" N
- Longitude : 4°41'36" E
- Mesures de vent (direction et vitesse) à 10m
- Mesure de température sous-abri
- Précision des mesures :
 - direction : 10°
 - vitesse : 0,1m/s
 - température : 0,1°C

• **Données de Vents (direction et vitesse) et Températures :**

- ➔ Les données de vents disponibles s'étendent de la période du :
01/02/1988 (00h00) au 31/12/2011 (23h00)
- ➔ Les données de températures disponibles s'étendent de la période du :
01/01/1991 (00h00) au 31/12/2011 (23h00)

Ces données sont réparties en deux types :

Données tri-horaires : - Période allant du **01/02/1988 (00h00) au 31/12/1992 (21h00)** pour le Vent
(Vent+Température) du **01/01/1991 (00h00) au 31/12/1992 (21h00)** pour la Température
Fichier noté : *données_météo_tri-horaires_arles_88-92 (.txt ou .xlsx)*

Données horaires : - Période allant du **01/01/1993 (00h00) au 31/12/2011 (23h00)**
(Vent+Température) Fichier noté : *données_météo_horaires_arles_93-11 (.txt ou .xlsx)*

- Informations relatives aux données de la station d'Arles Valat :

NOM FICHER	Nombre total de données théoriques			Nombre total de données acquises			Pourcentage de données acquises (%)		
	Température	Vitesse	Direction	Température	Vitesse	Direction	Température	Vitesse	Direction
<i>données_météo_tri-horaires_arles_88-92</i>	5848	14368	14368	5833	14195	14195	99,7435	98,7959	98,7959
<i>données_météo_horaires_arles_93-11</i>	166536	166536	166536	165289	165417	165368	99,2512	99,3281	99,2987
TOTAL :	172384	180904	180904	171122	179612	179563	99,2679	99,2858	99,2587

C Dossier normales de rose de vent pour les différentes stations MétéoFrance

- Normales de Rose de Vent - Zone de Fos-sur-Mer



- **Normales de rose de vent Générales**
(Pages 2-3)
- **Normales de rose de vent Mensuelles (Aspect spatial)**
(Pages 4-15)
- **Normales de rose de vent Mensuelles (Aspect temporel)**
(Pages 16-27)
- **Annexe**
(Page 28)

- Normales de Rose de Vent Générales (sur 10 ans)

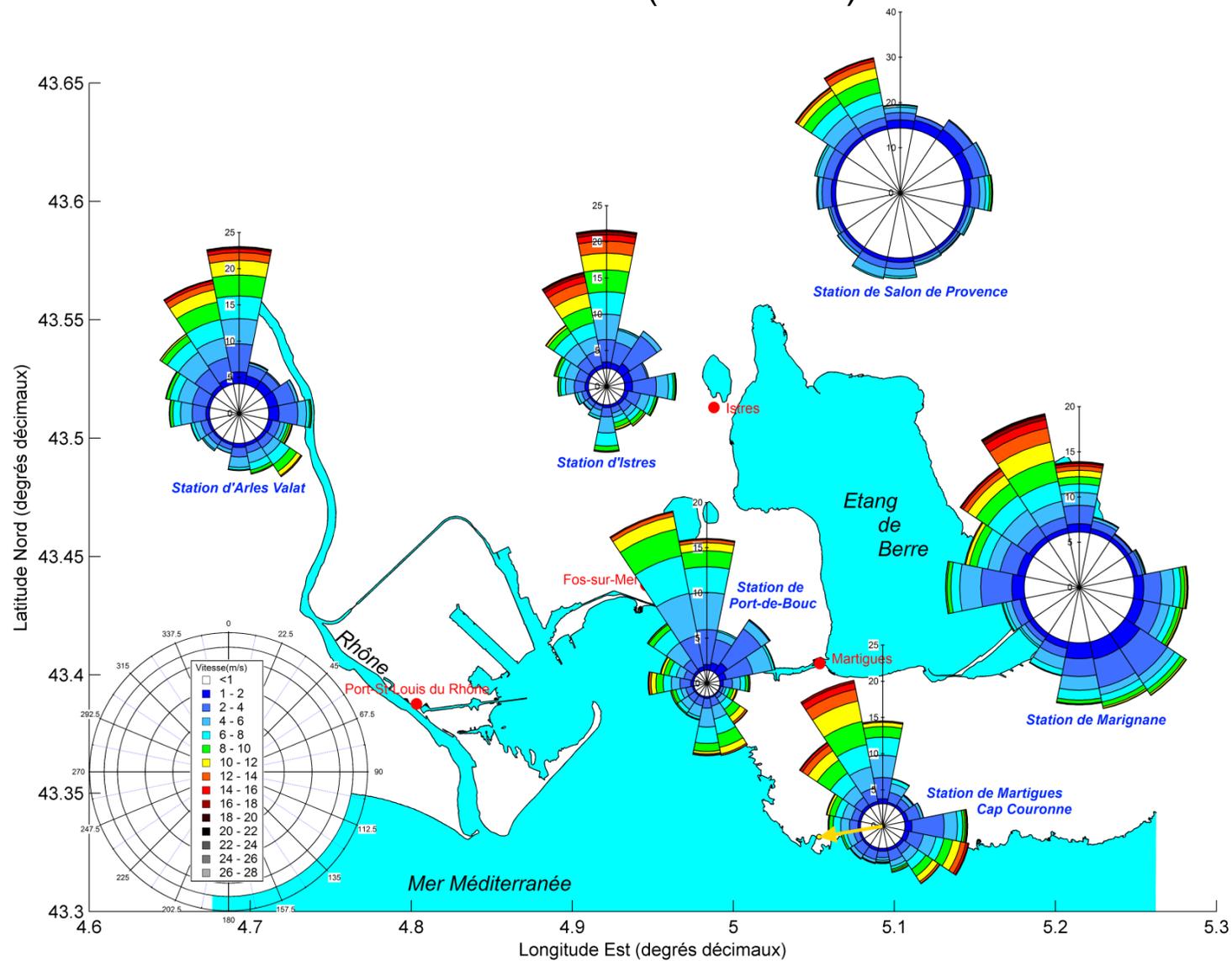
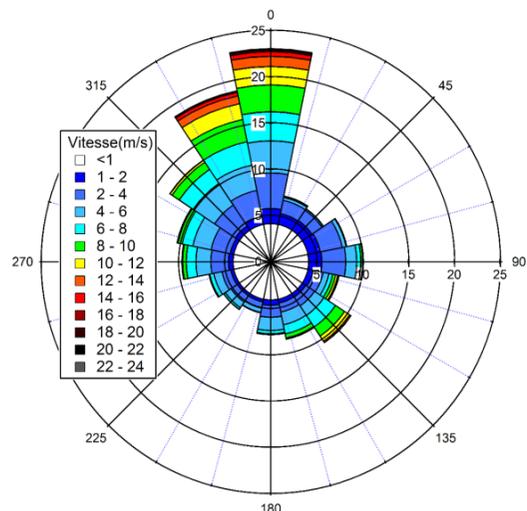
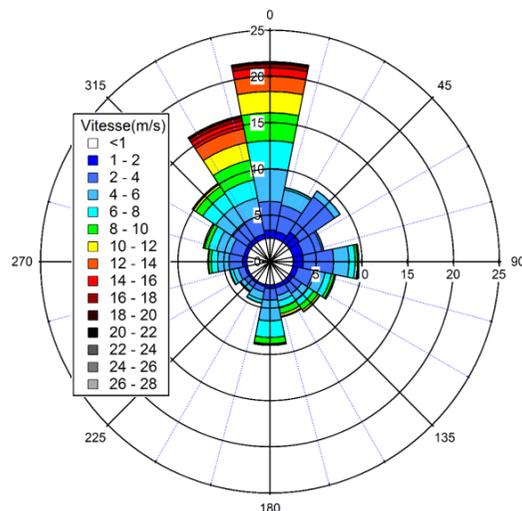


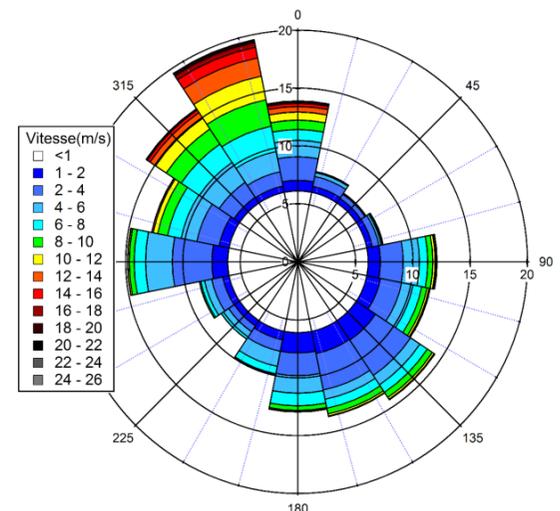
Figure 1 : Normales de rose de vent générales 02-11 pour les différentes stations MétéoFrance



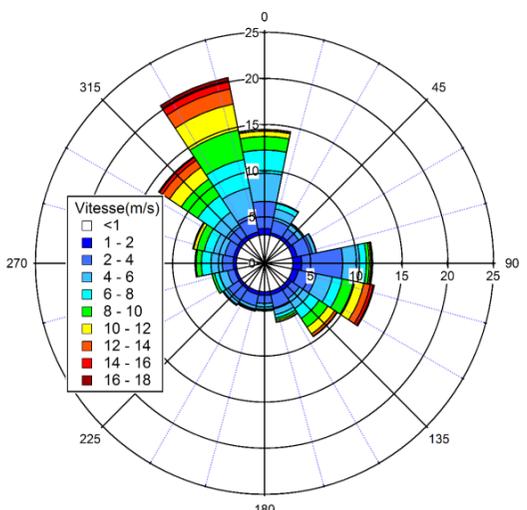
Station d'Arles Valat - 02/11



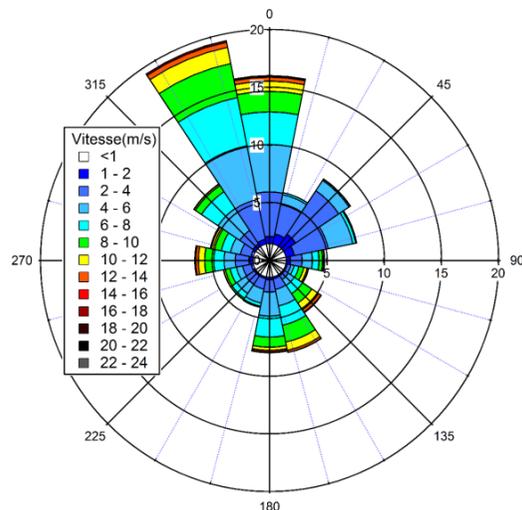
Station d'Istres - 02/11



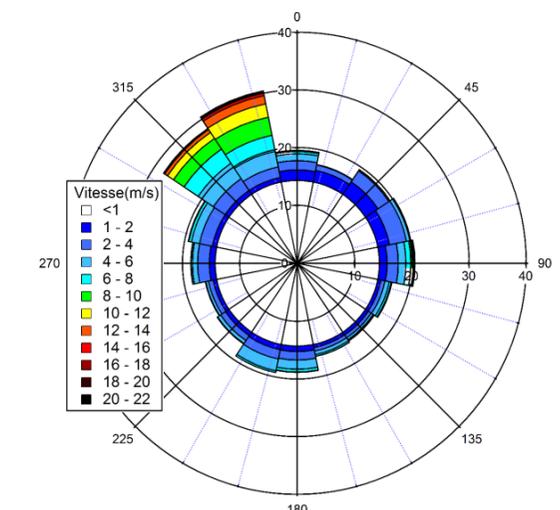
Station de Marignane - 02/11



**Station de Martigues Cap
Couronne - 09/11**



Station de Port-de-Bouc - 02/11



Station de Salon de Provence - 02/11

Figure 2 : Normales de rose de vent générales des différentes stations MétéoFrance

- Normales de Rose des Vents Mensuelles (Aspect spatial)

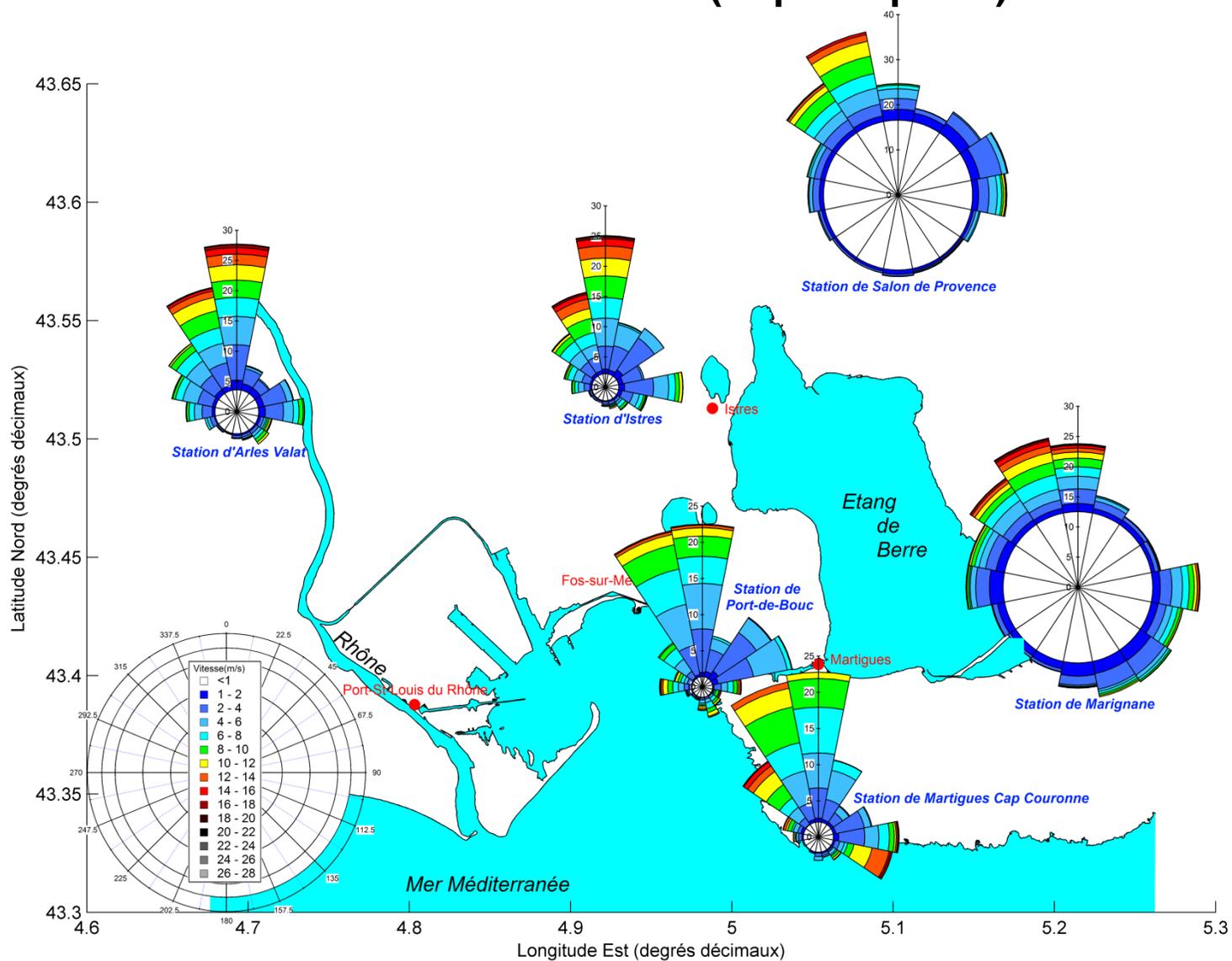


Figure 3 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - JANVIER 02/11

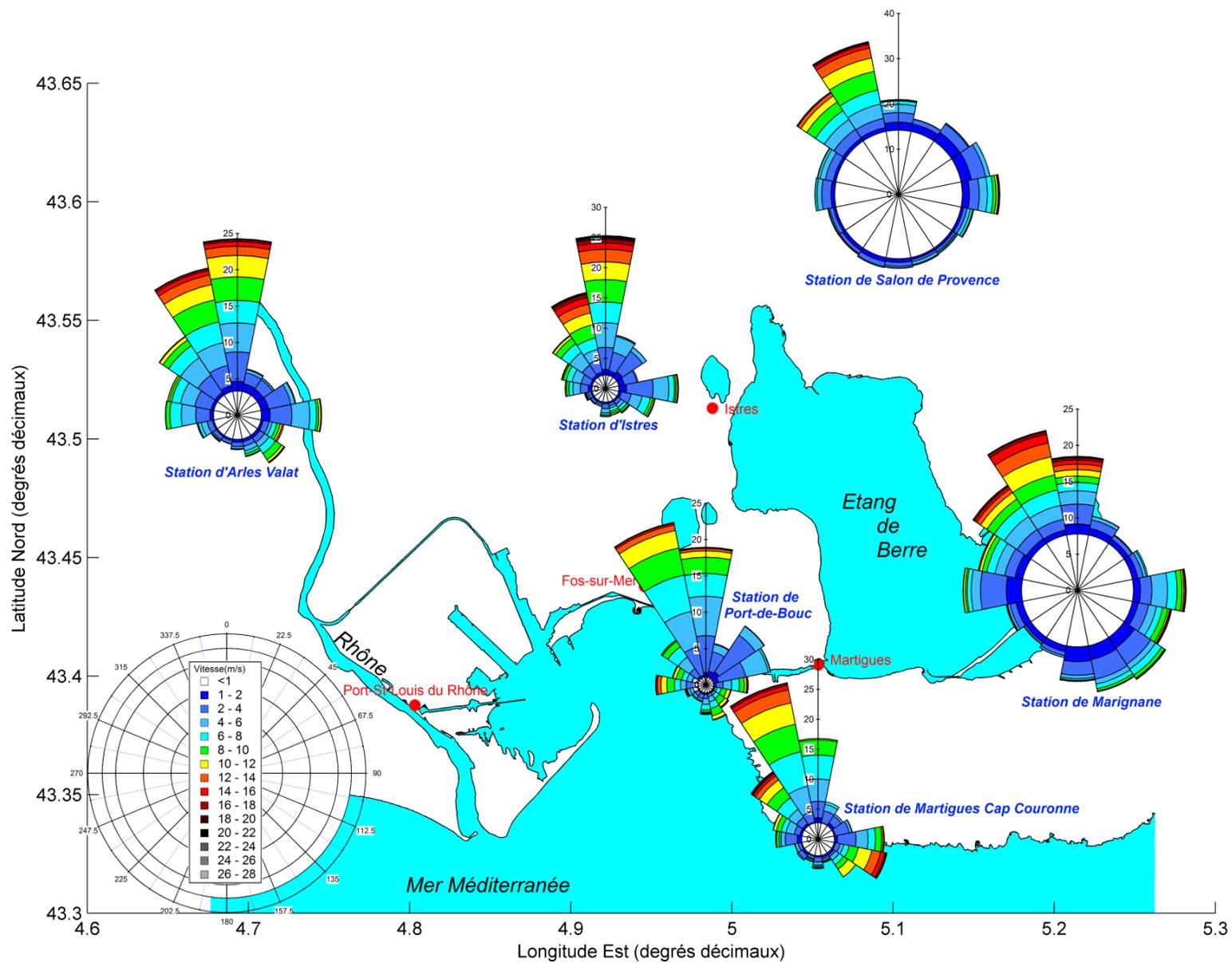


Figure 4 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - **FEVRIER 02/11**

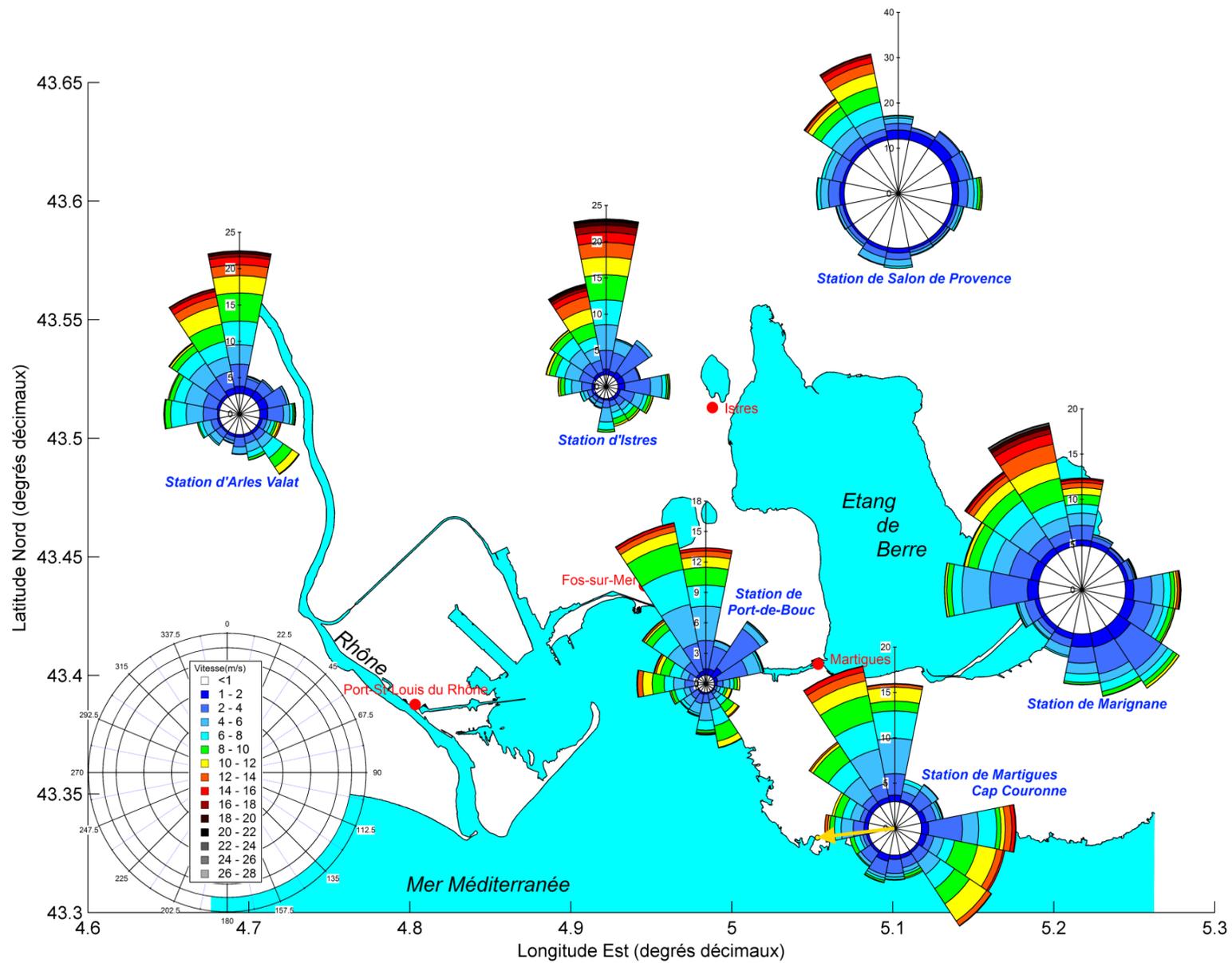


Figure 5 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - MARS 02/11

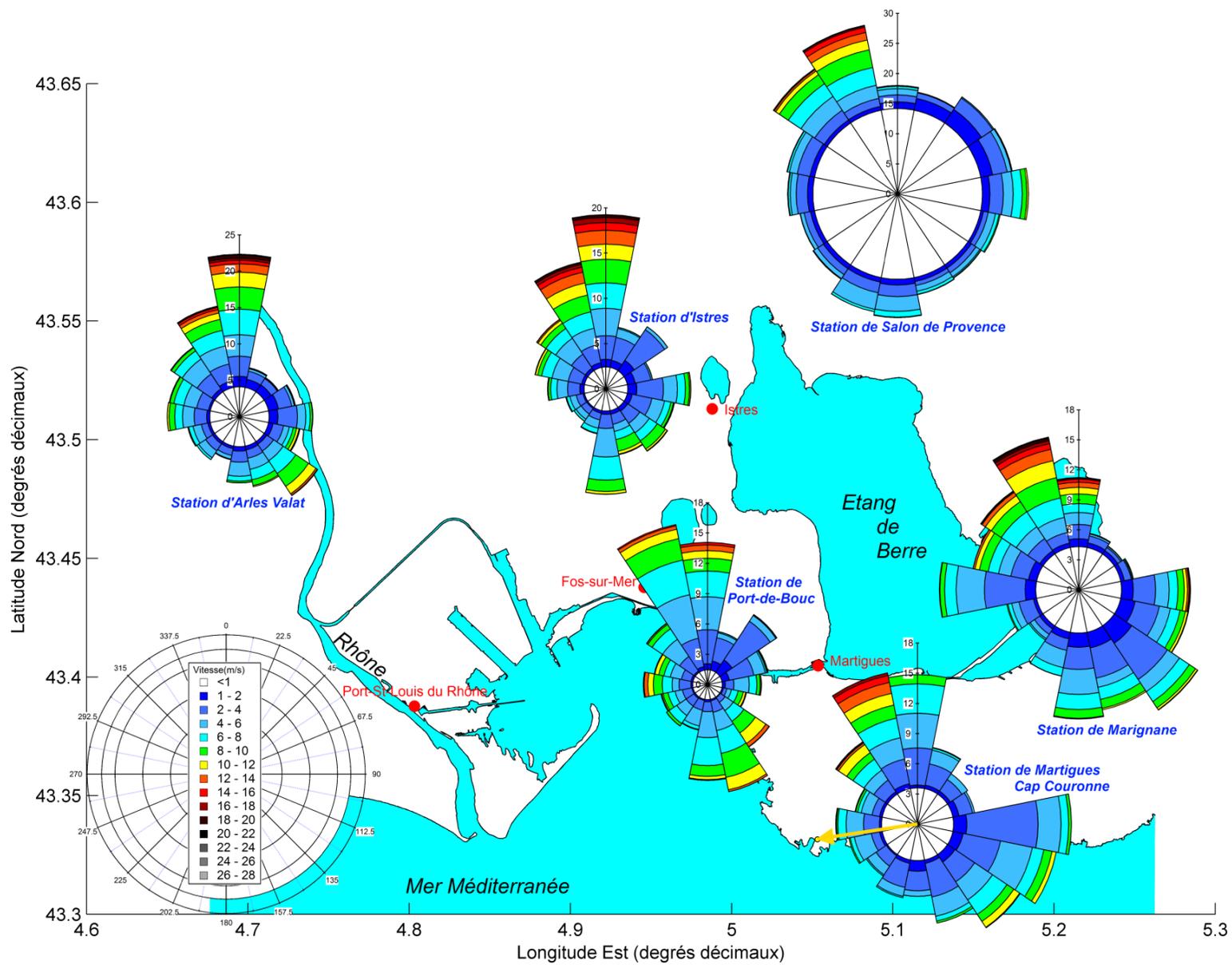


Figure 6 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - AVRIL 02/11

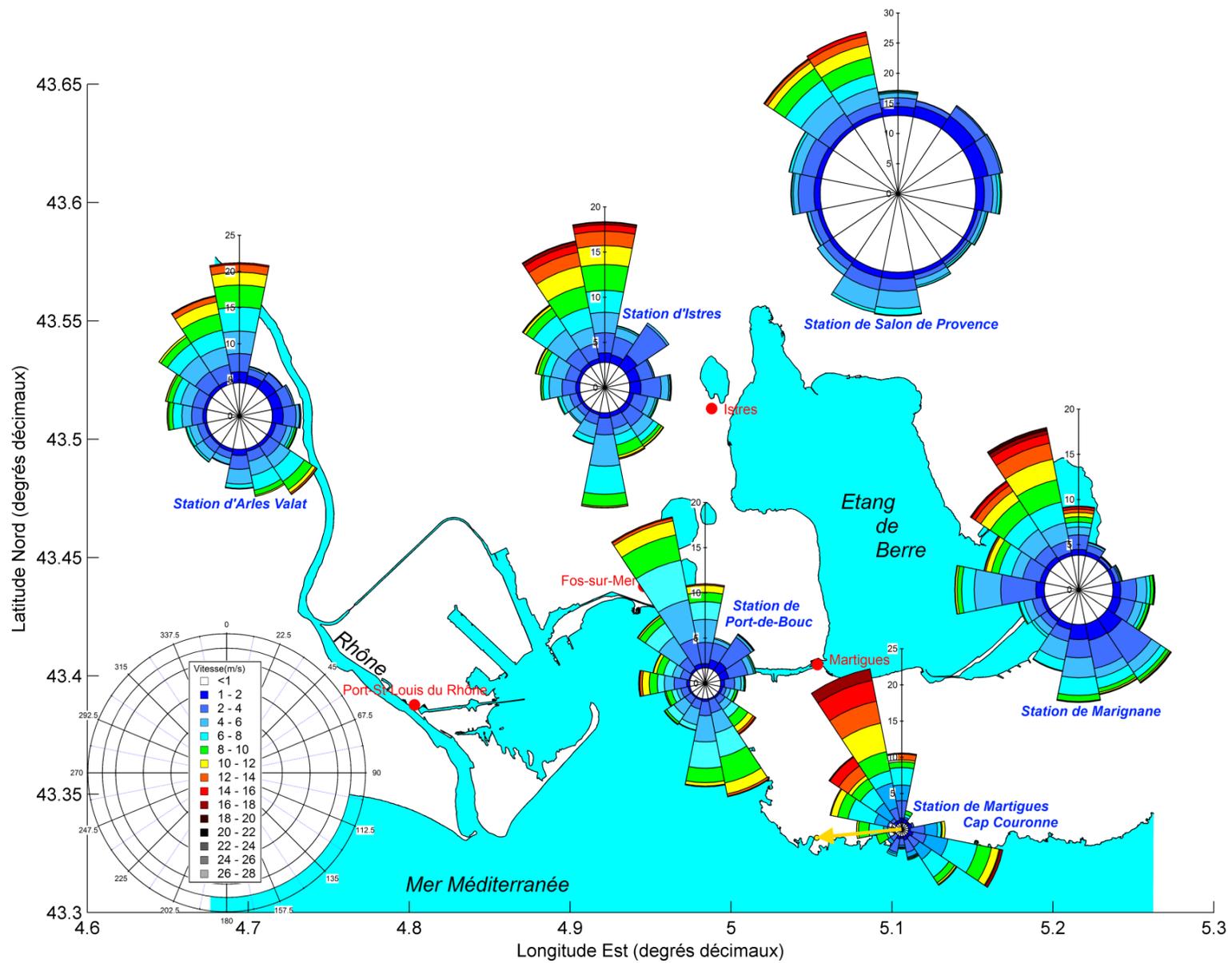


Figure 7 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - MAI 02/11

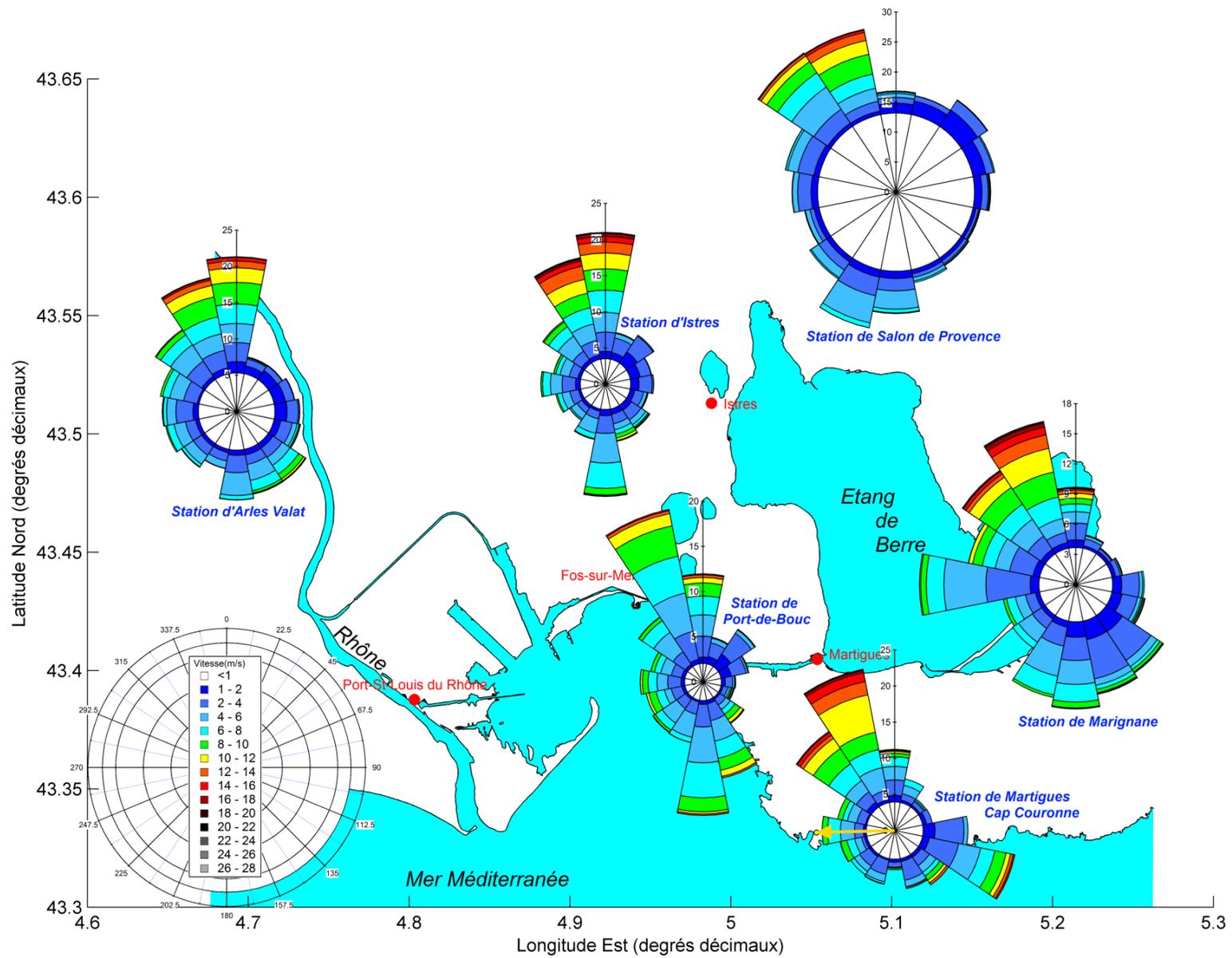


Figure 8 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - **JUIN 02/11**

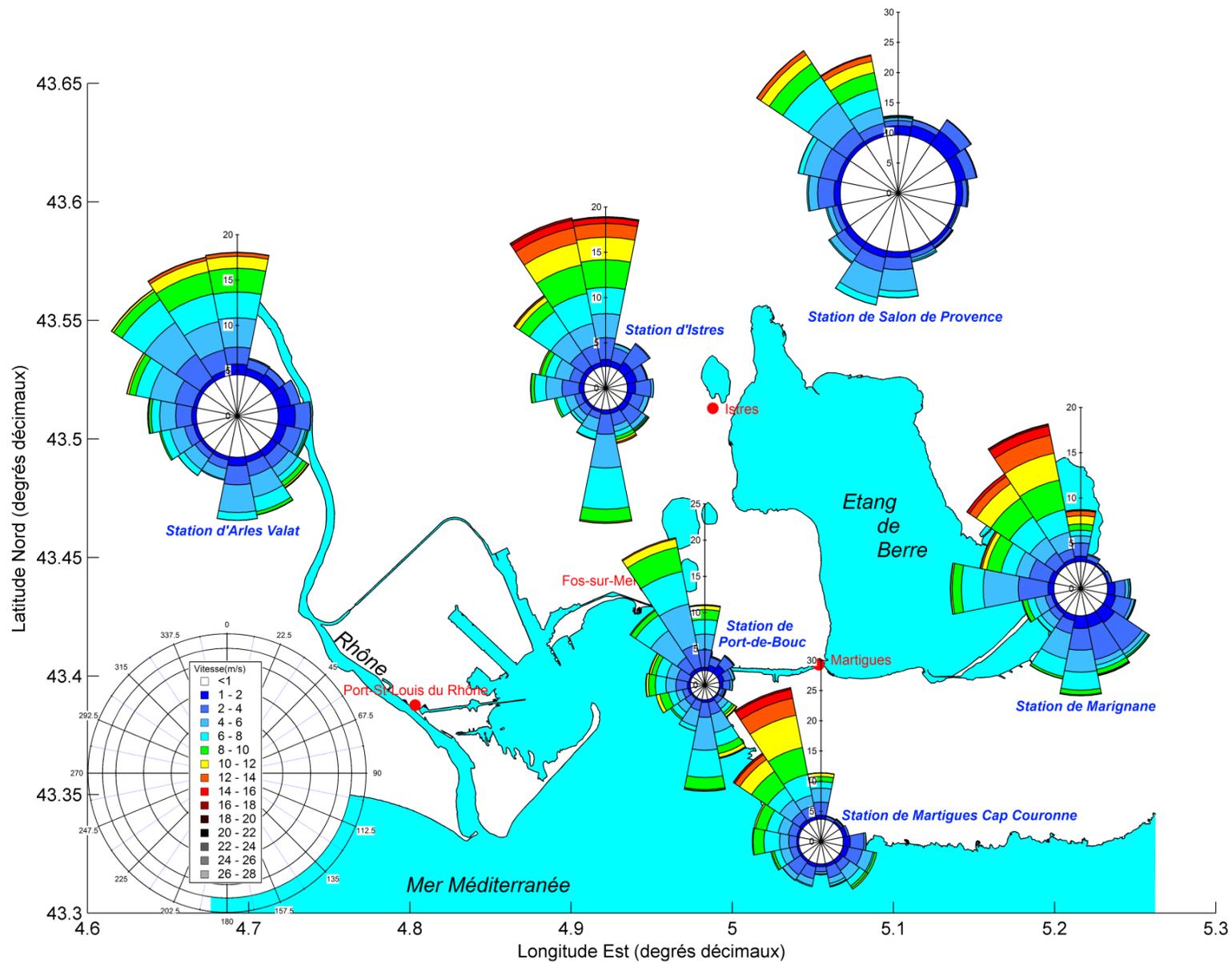


Figure 9 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - JUILLET 02/11

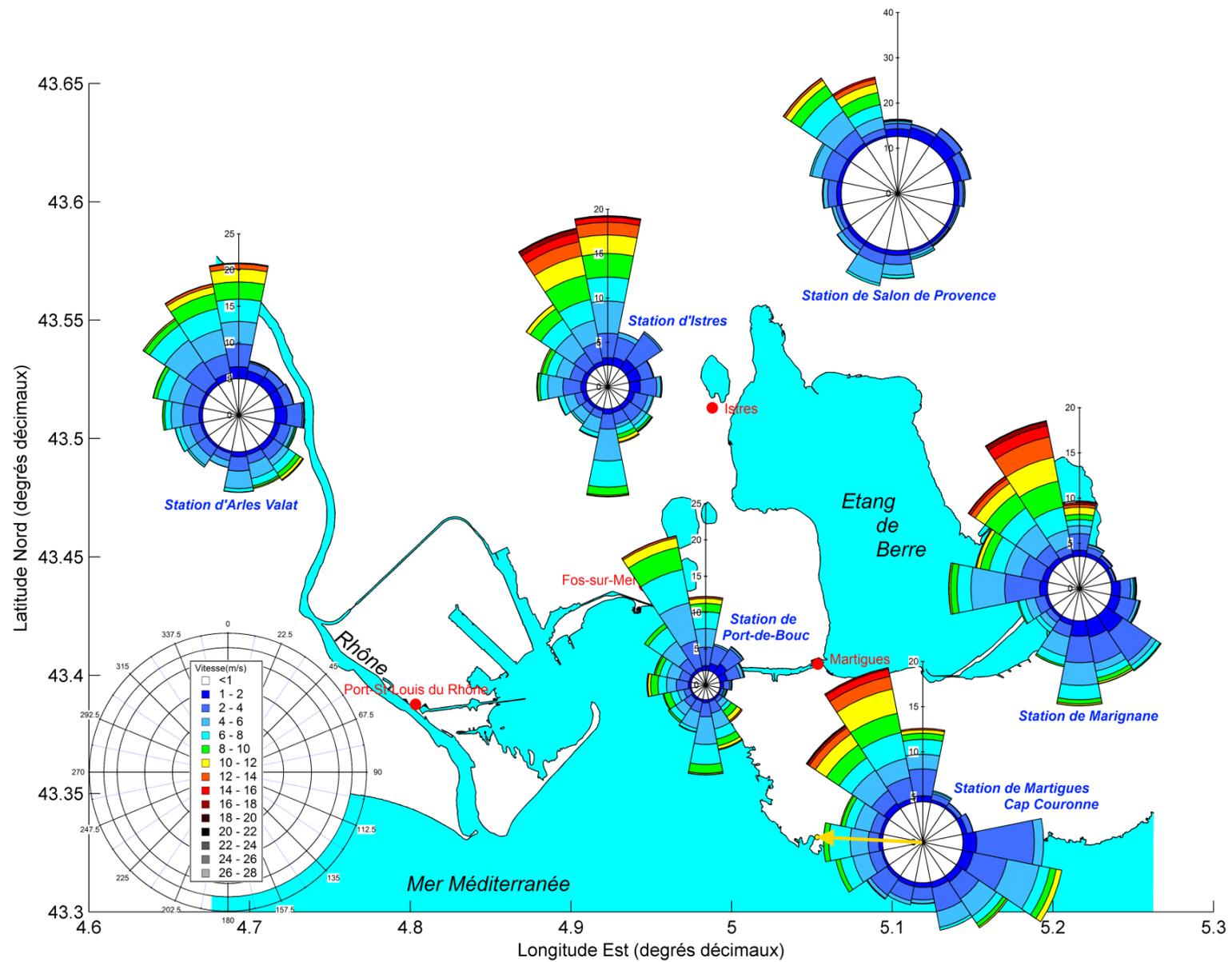


Figure 10 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - AOUT 02/11

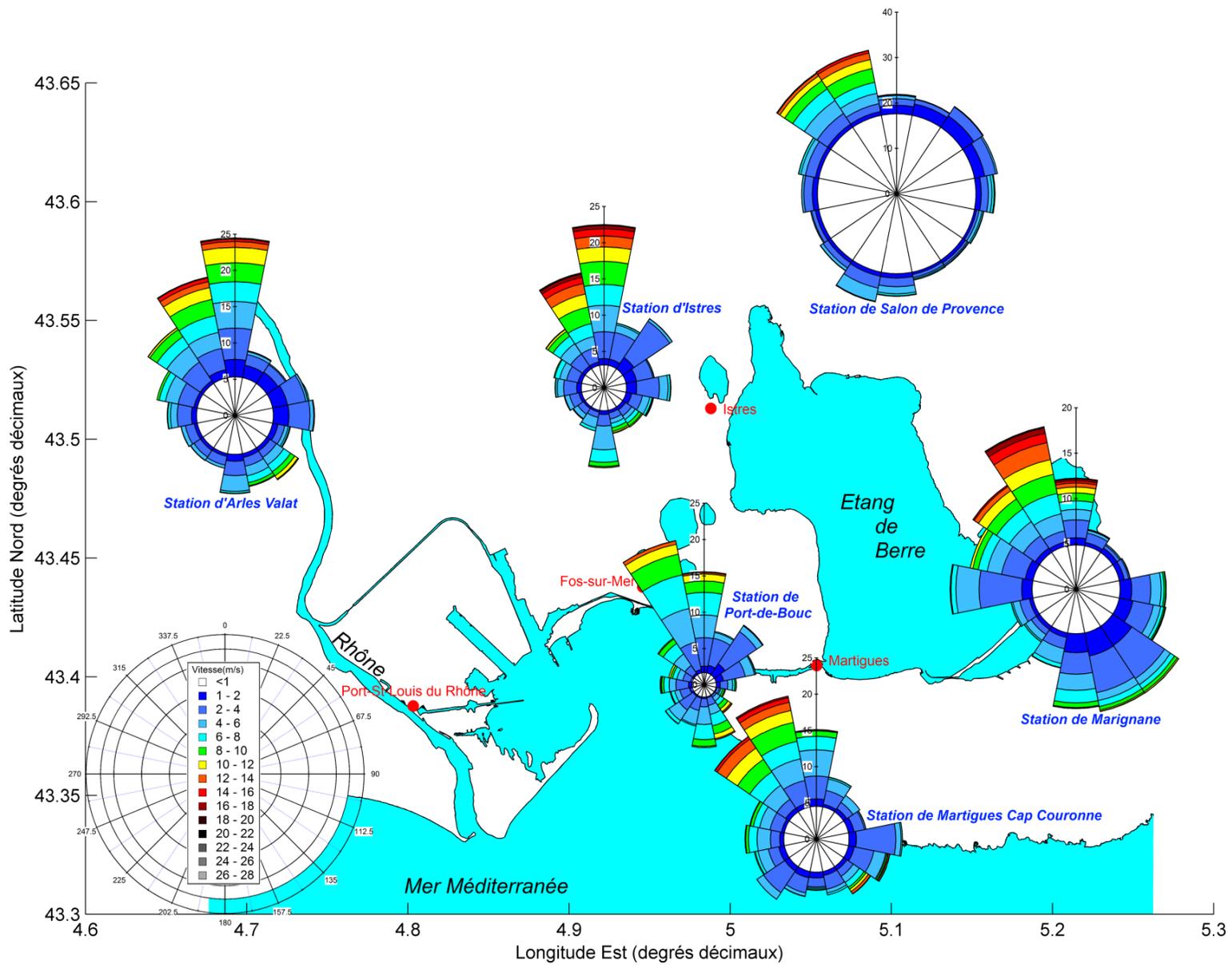


Figure 11 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - **SEPTEMBRE 02/11**

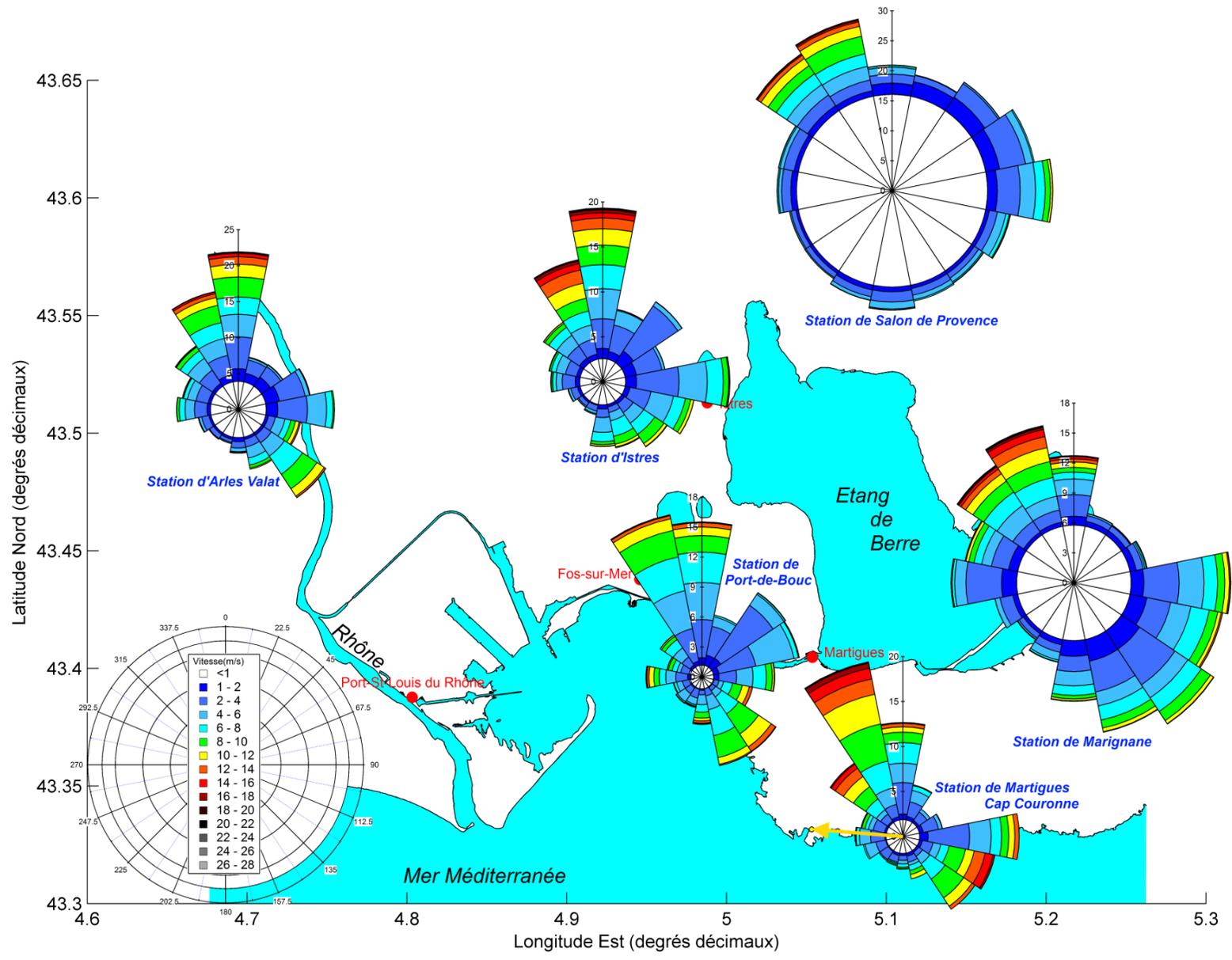


Figure 12 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - OCTOBRE 02/11

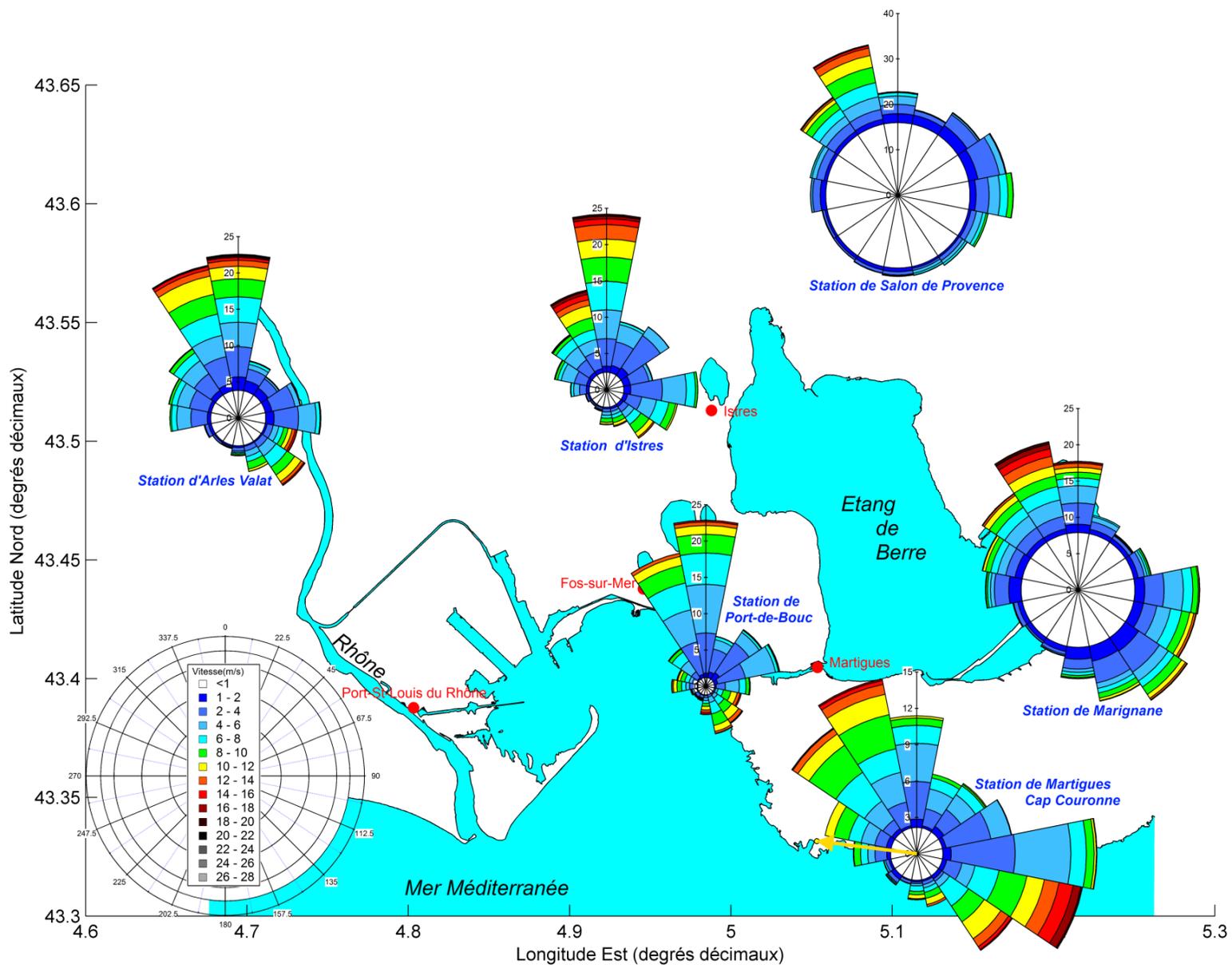


Figure 13 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - NOVEMBRE 02/11

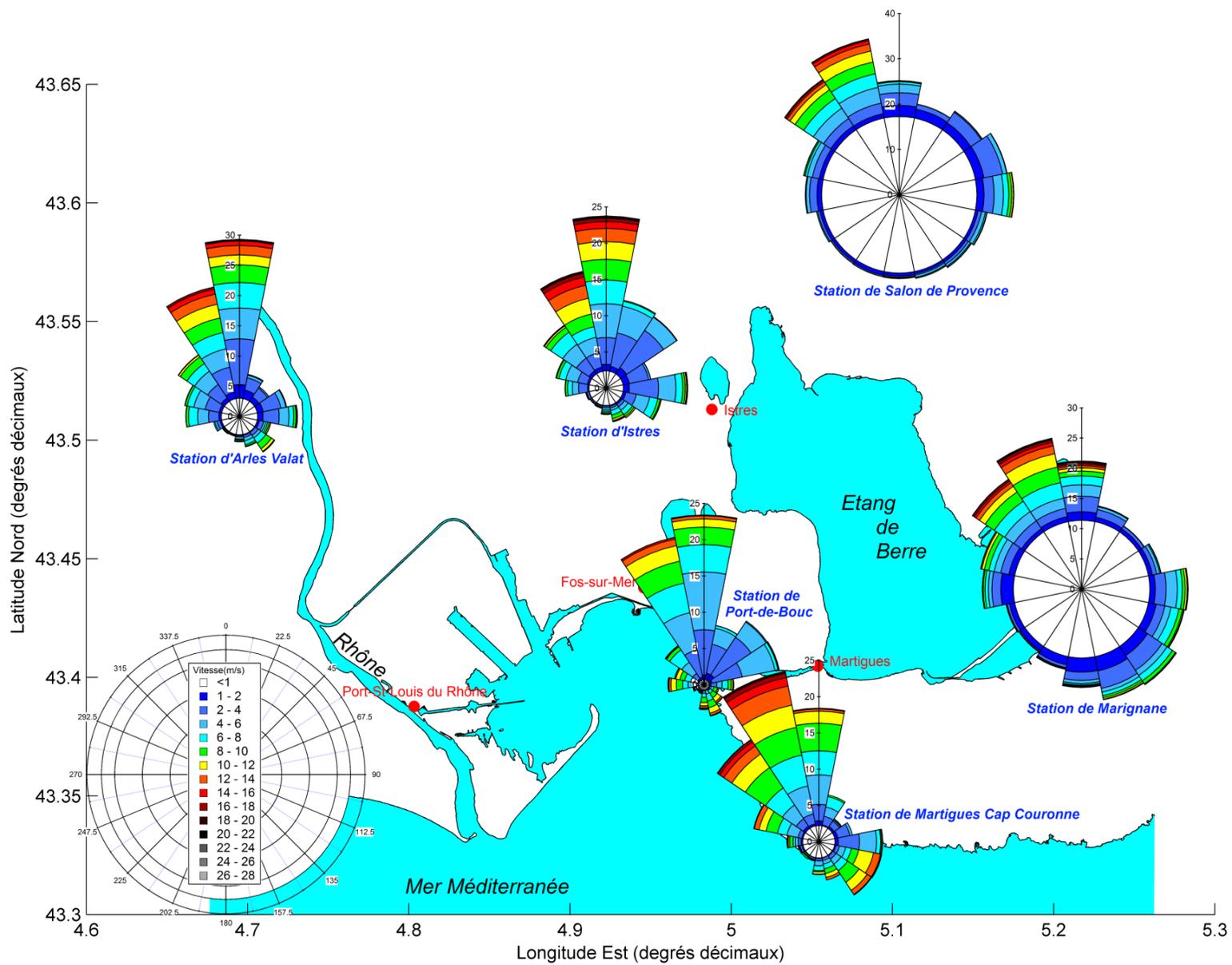
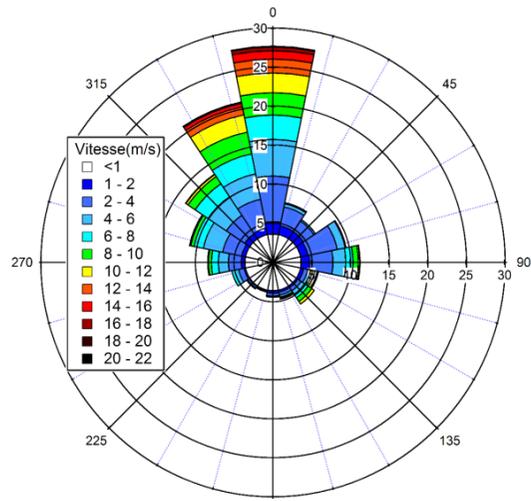
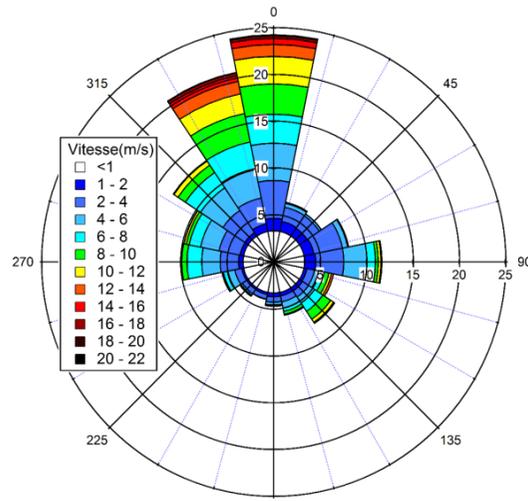


Figure 14 : Normales de rose de vent mensuelles des différentes stations MétéoFrance - **DECEMBRE 02/11**

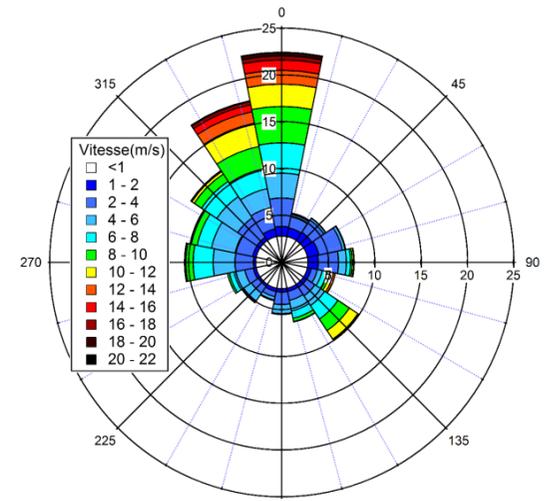
• Normales de rose des vents Mensuelles (Aspect temporel)



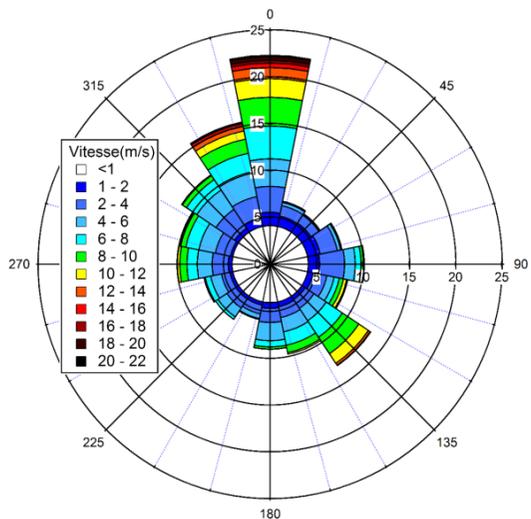
Janvier 02/11



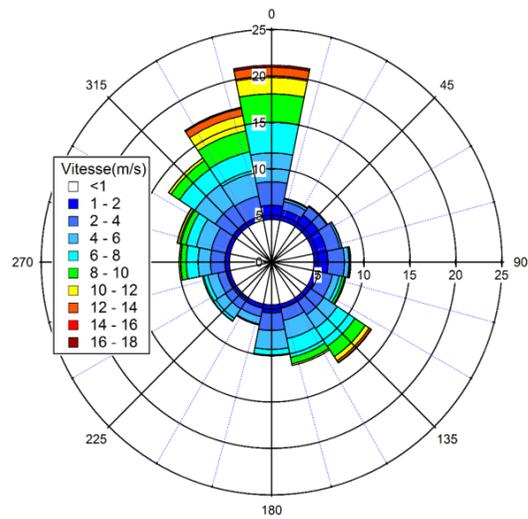
Février 02/11



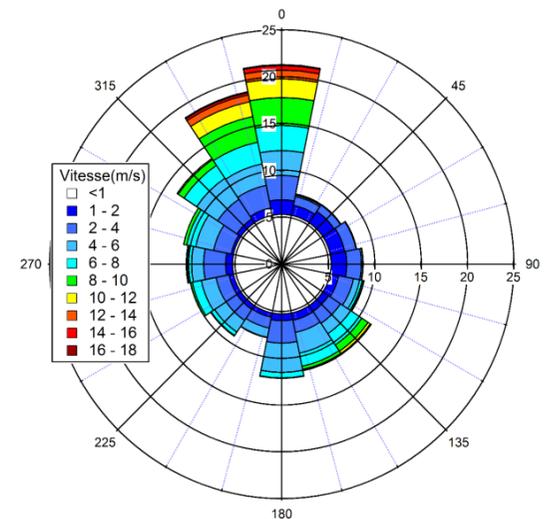
Mars 02/11



Avril 02/11

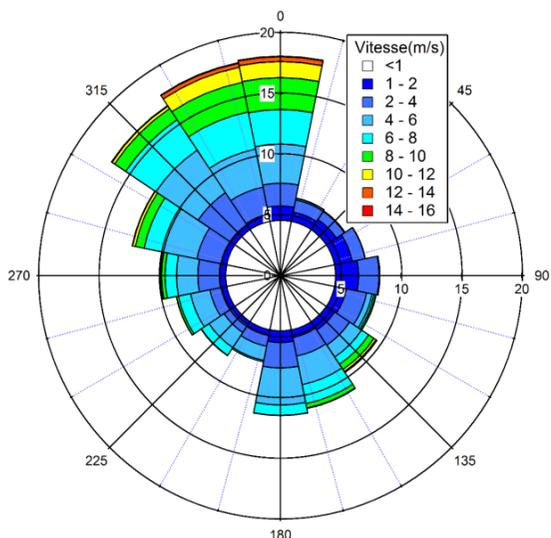


Mai 02/11

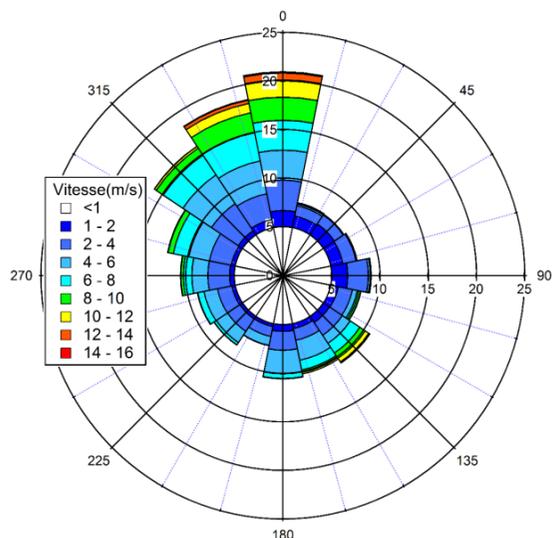


Juin 02/11

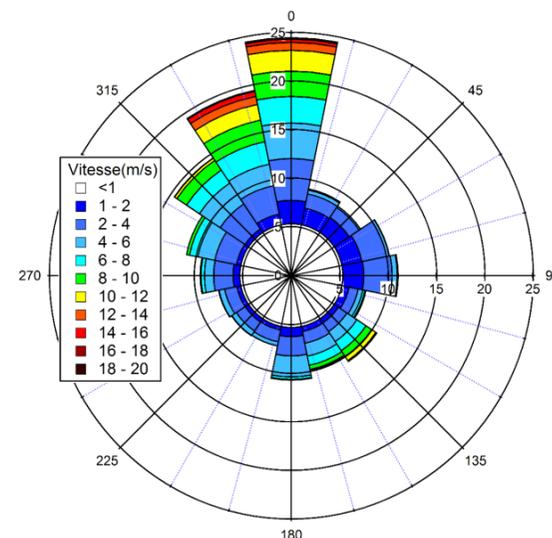
Figure 15.a : Normales de rose de vent mensuelle station D'ARLES VALAT - janvier à juin 02/11



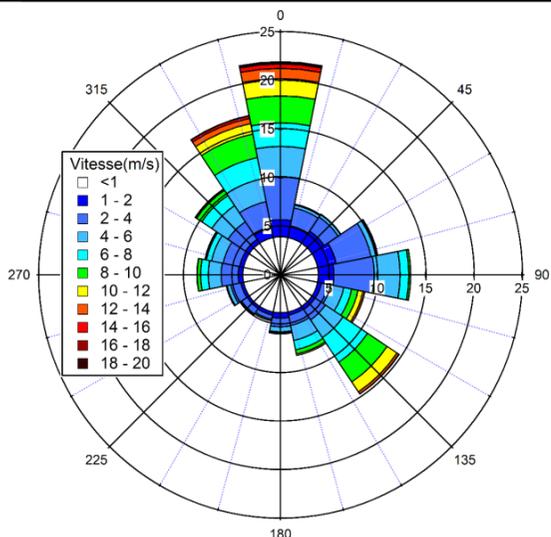
Juillet 02/11



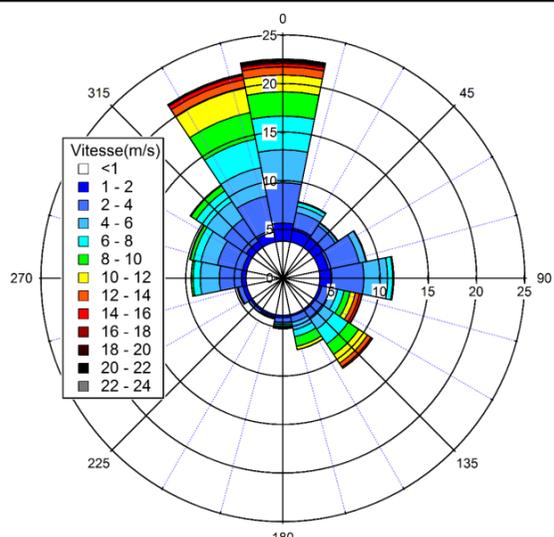
Aout 02/11



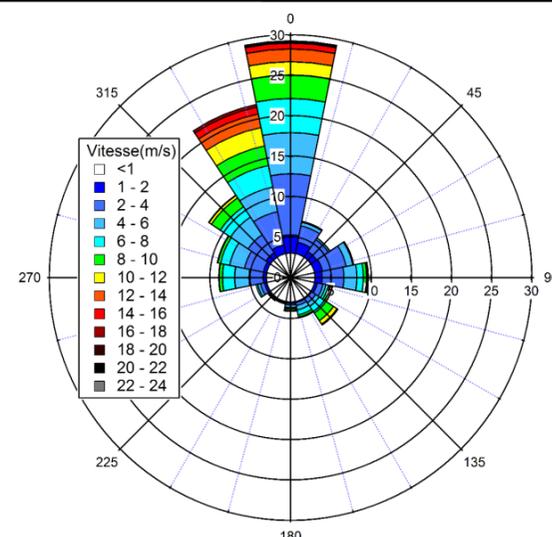
Septembre 02/11



Octobre 02/11

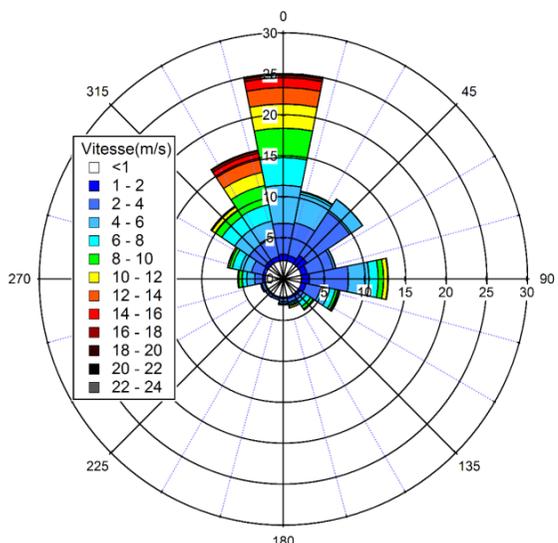


Novembre 02/11

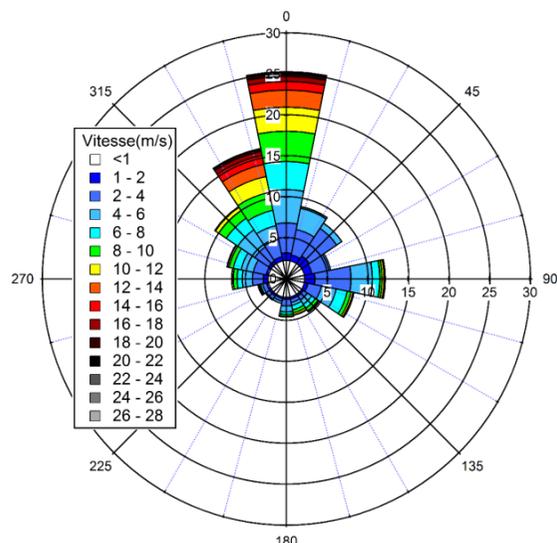


Décembre 02/11

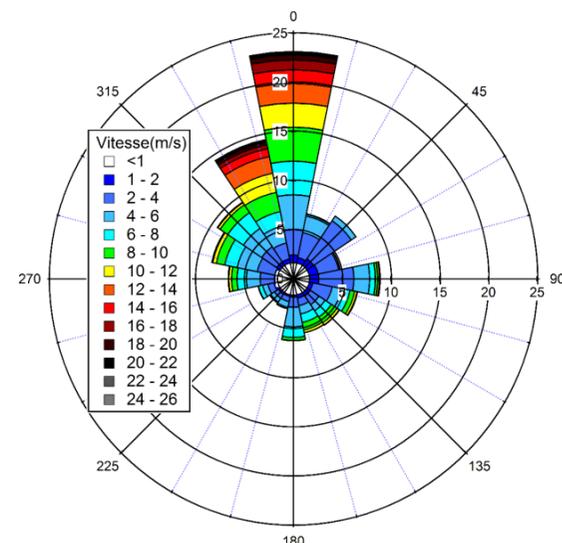
Figure 15.b : Normales de rose de vent mensuelles station D'ARLES VALAT - juillet à décembre 02/11



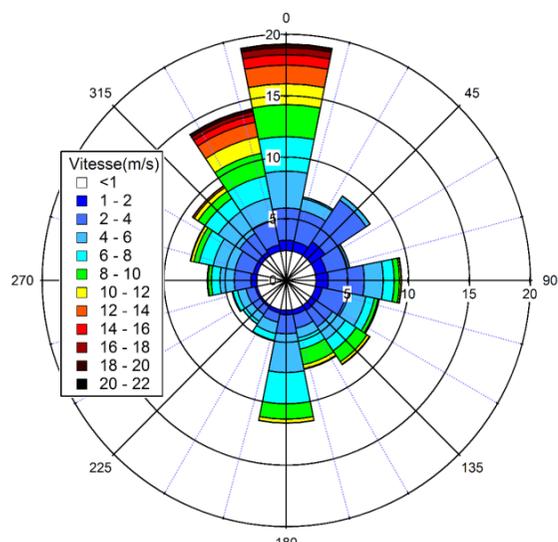
Janvier 02/11



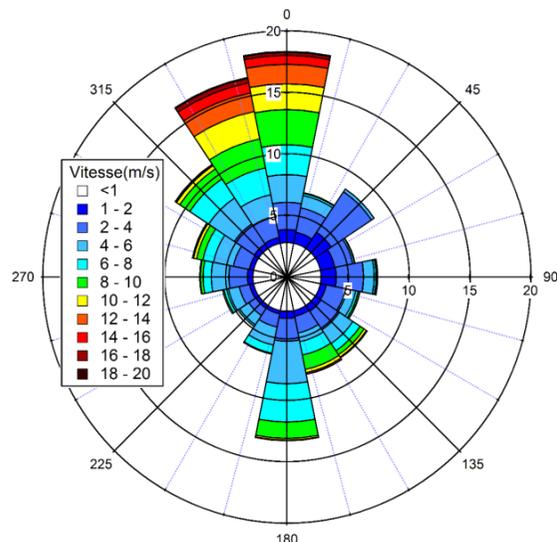
Février 02/11



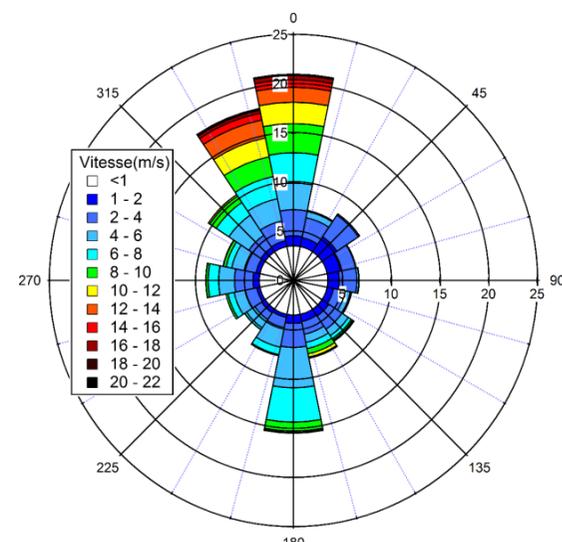
Mars 02/11



Avril 02/11

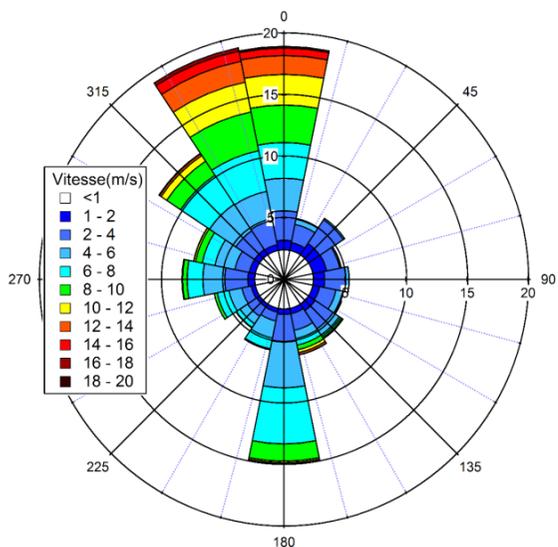


Mai 02/11

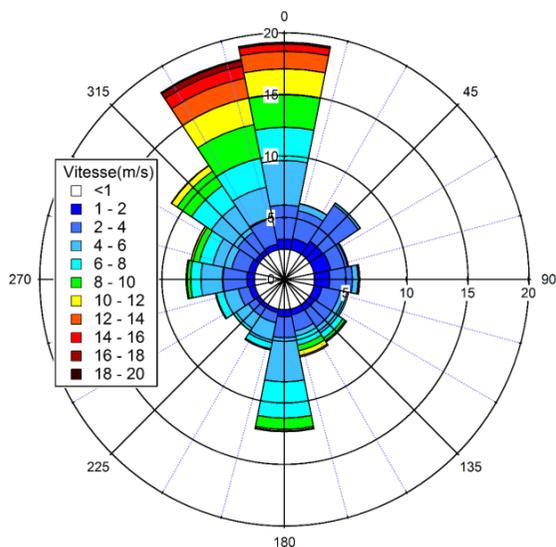


Juin 02/11

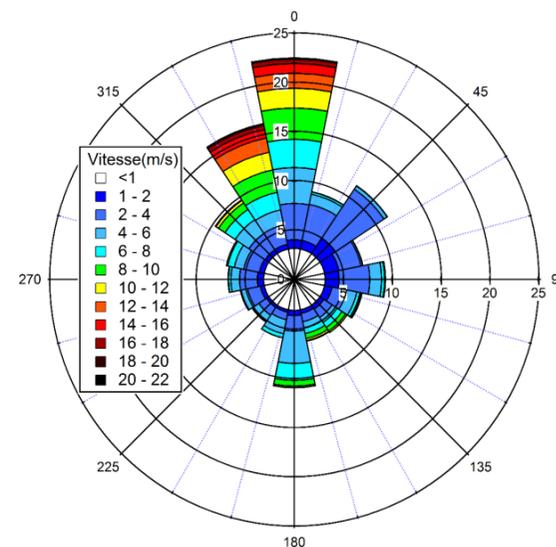
Figure 16.a : Normales de rose de vent mensuelles station D'ISTRES - janvier à juin 02/11



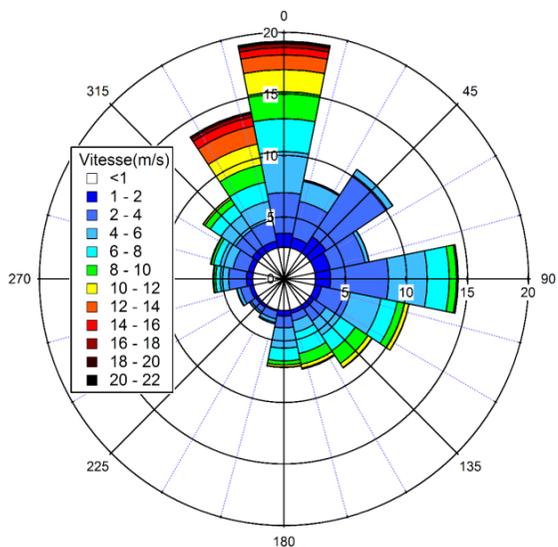
Juillet 02/11



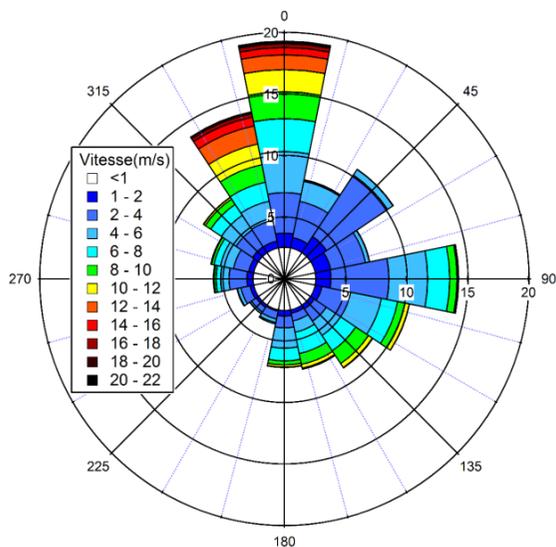
Aout 02/11



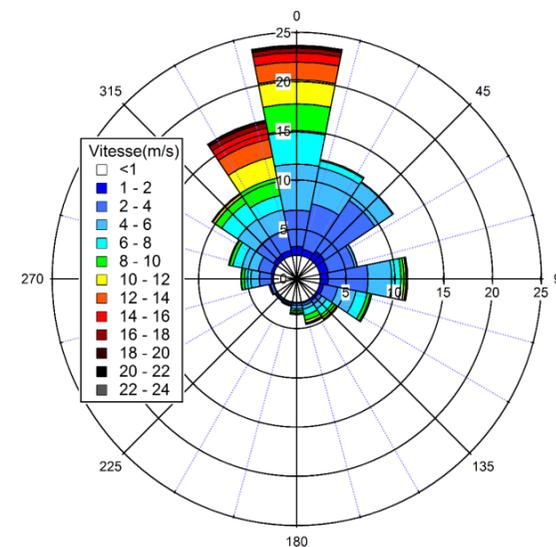
Septembre 02/11



Octobre 02/11

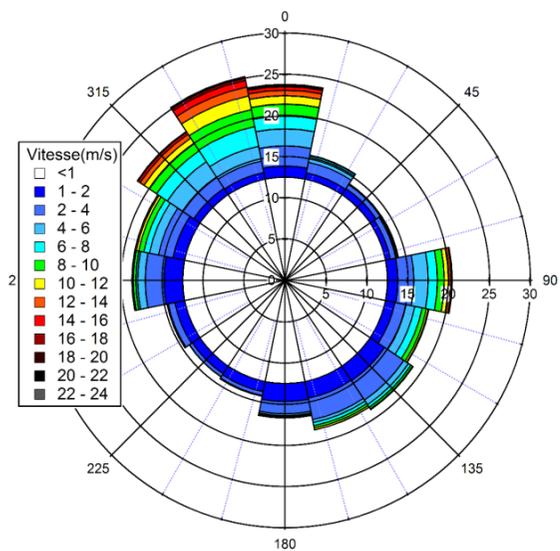


Novembre 02/11

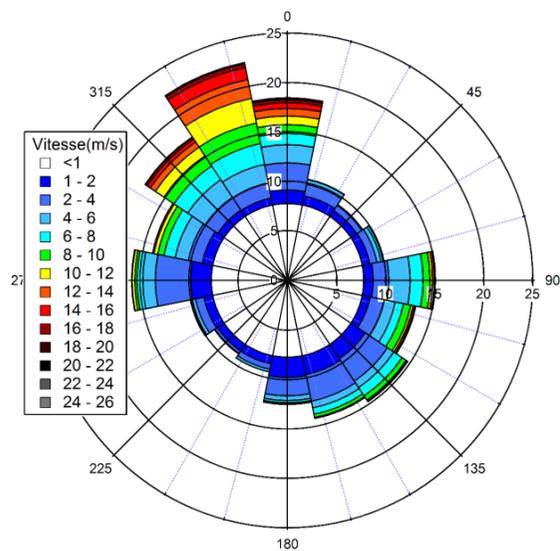


Décembre 02/11

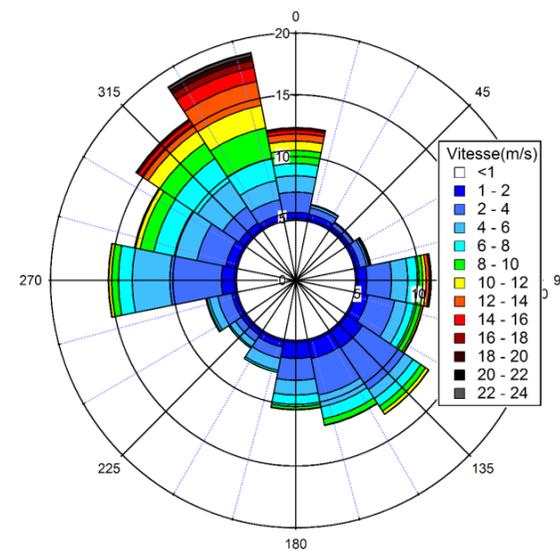
Figure 16.b : Normales de rose de vent mensuelles station D'ISTRES - juillet à décembre 02/11



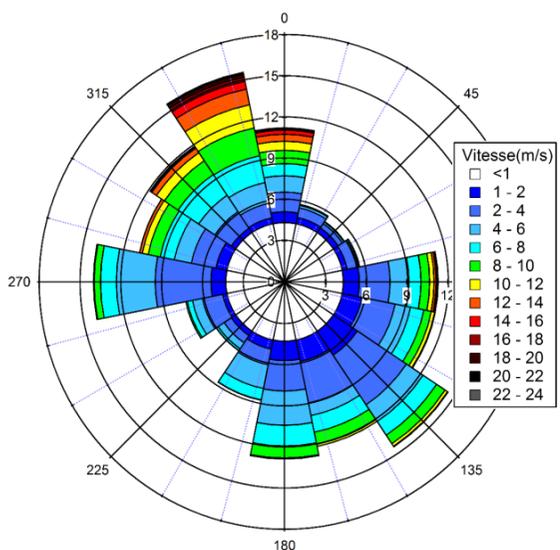
Janvier 02/11



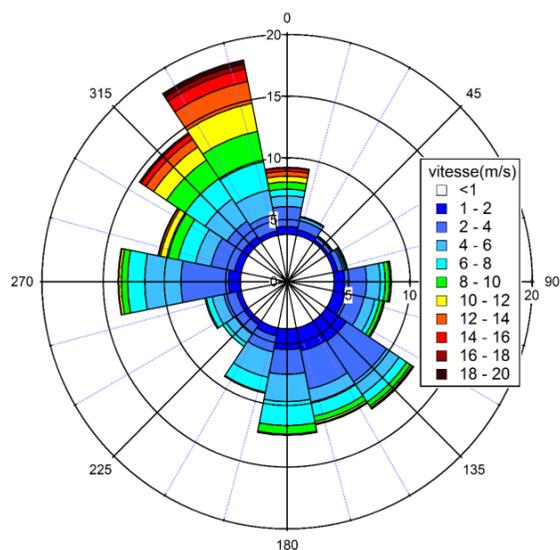
Février 02/11



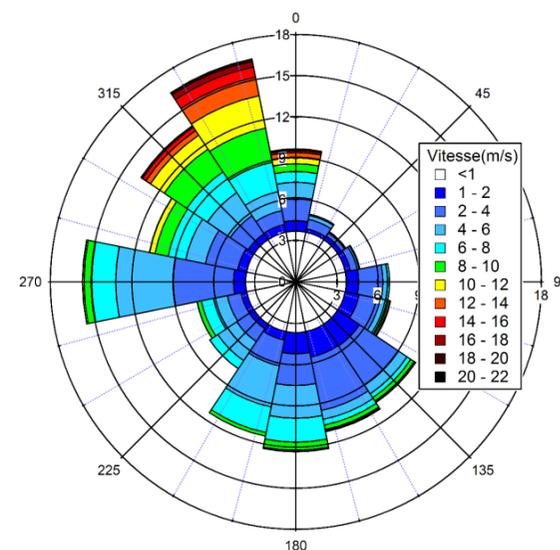
Mars 02/11



Avril 02/11



Mai 02/11



Juin 02/11

Figure 17.a : Normales de rose de vent mensuelles station DE MARIIGNANE - janvier à juin 02/11

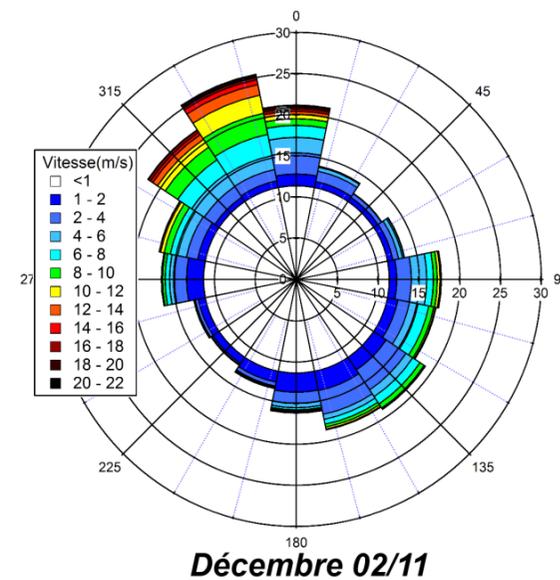
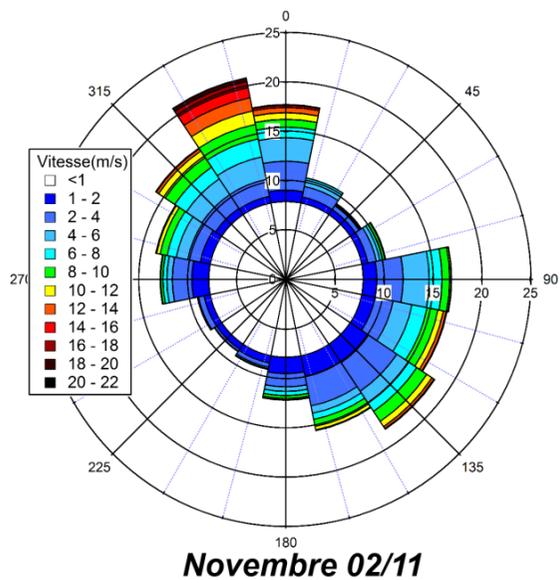
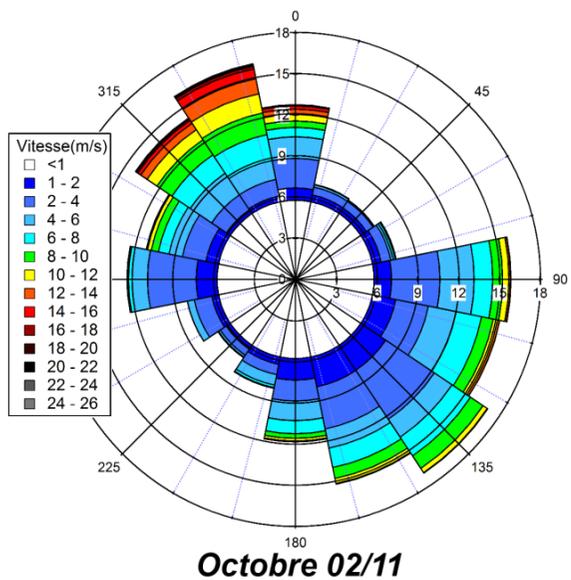
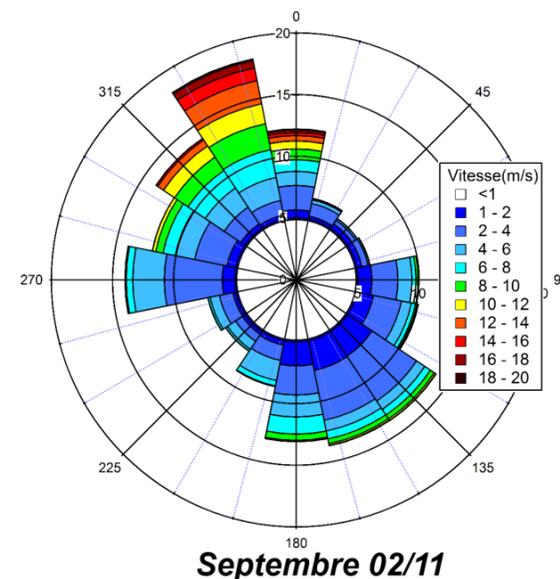
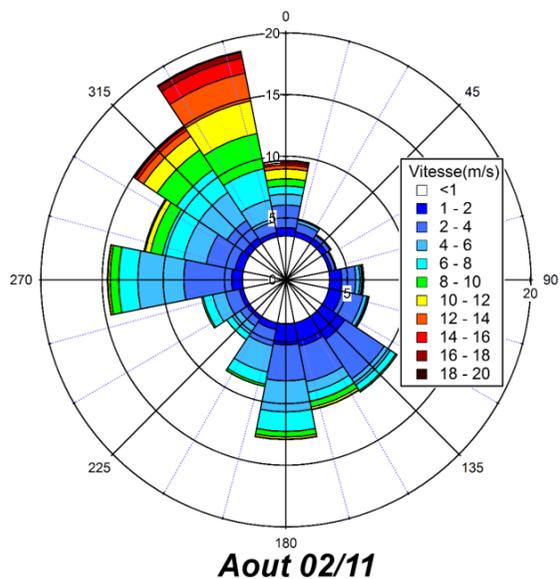
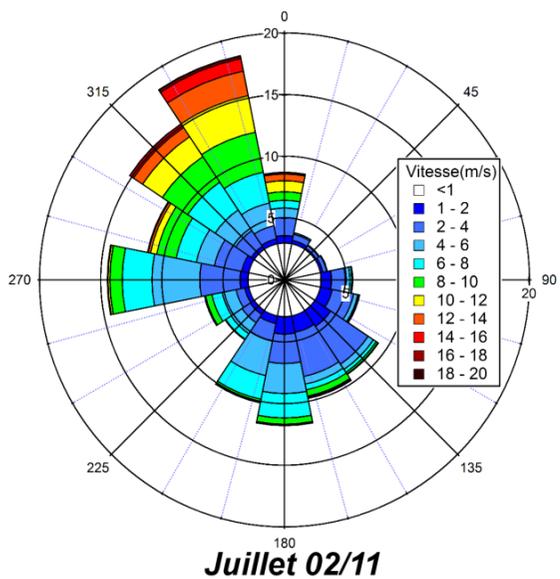


Figure 17.b : Normales de rose de vent mensuelles station **DE MARGNANE** - juillet à décembre 02/11

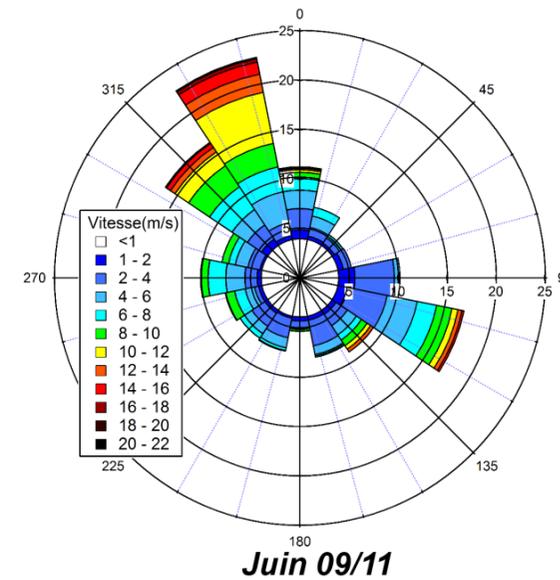
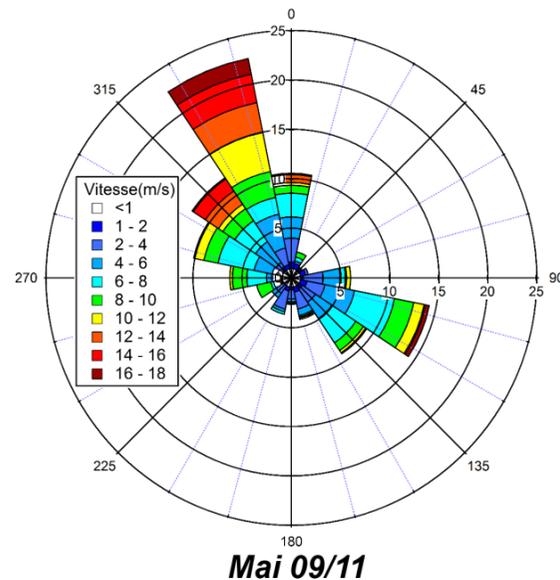
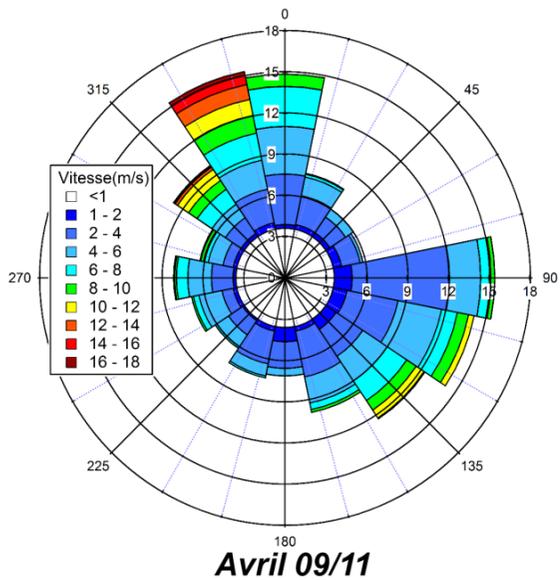
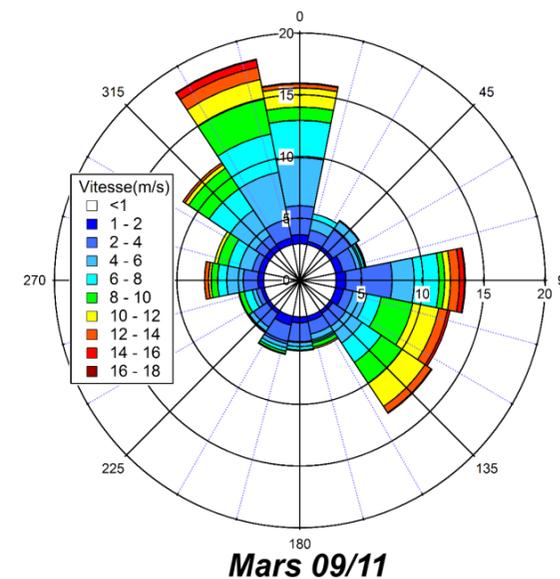
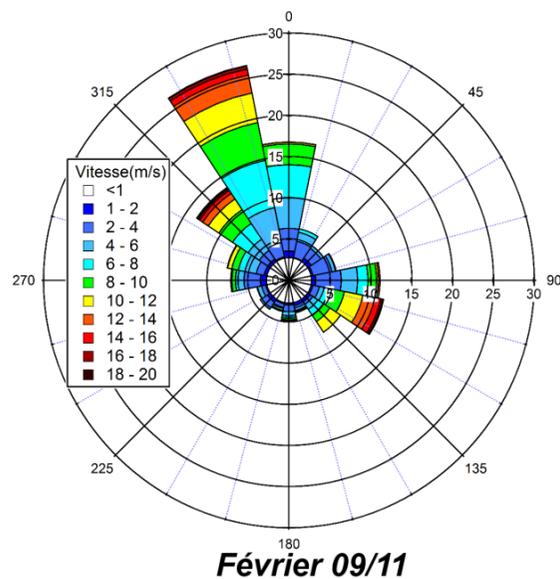
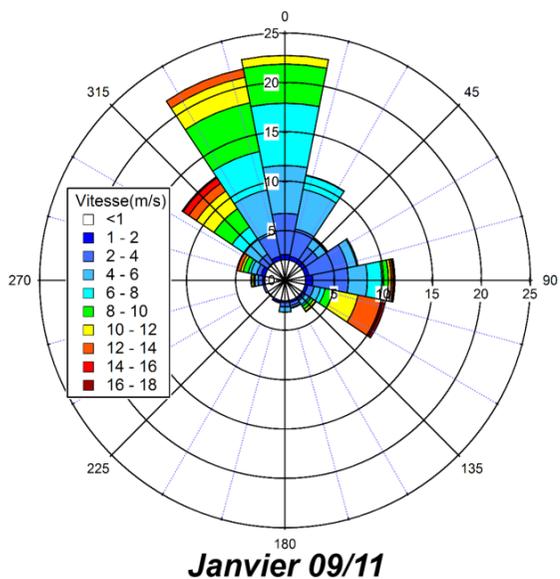
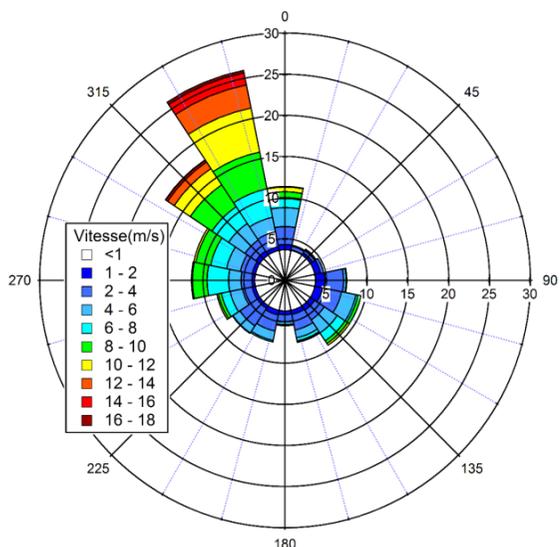
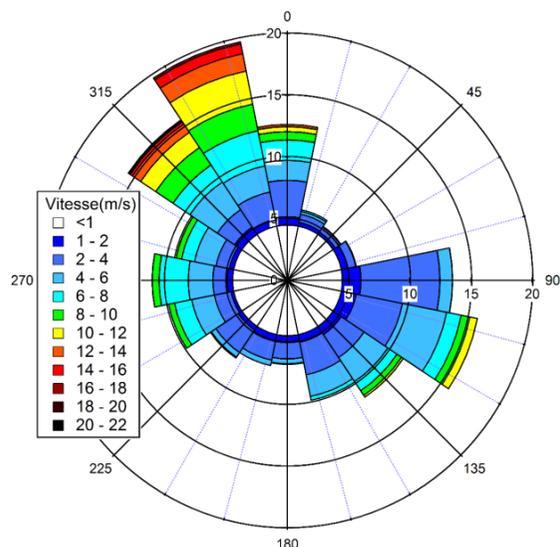


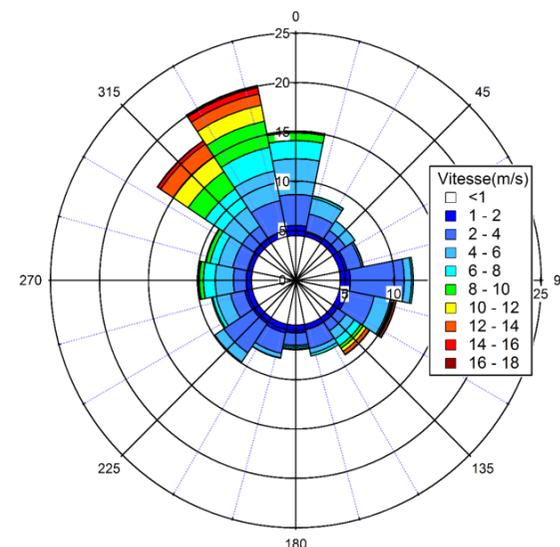
Figure 18.a : Normales de rose de vent mensuelles station **DE MARTIGUES CAP COURONNE** - janvier à juin 09/11



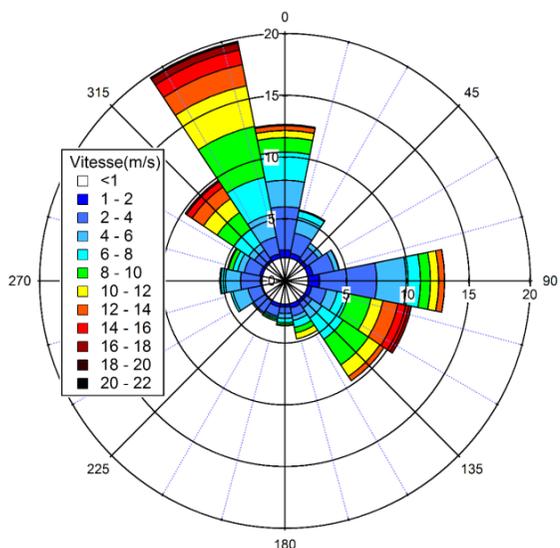
Juillet 09/11



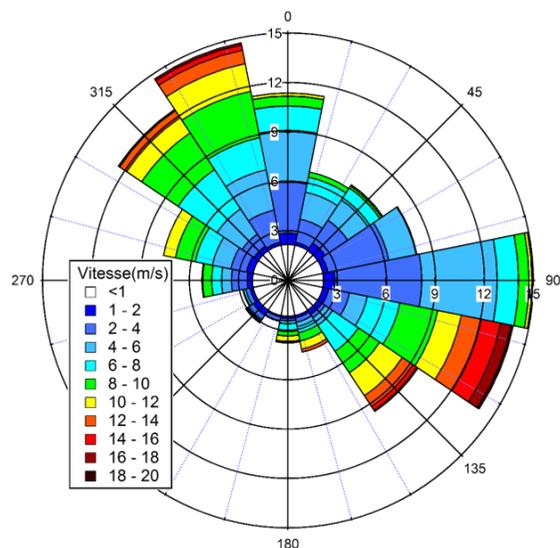
Aout 09/11



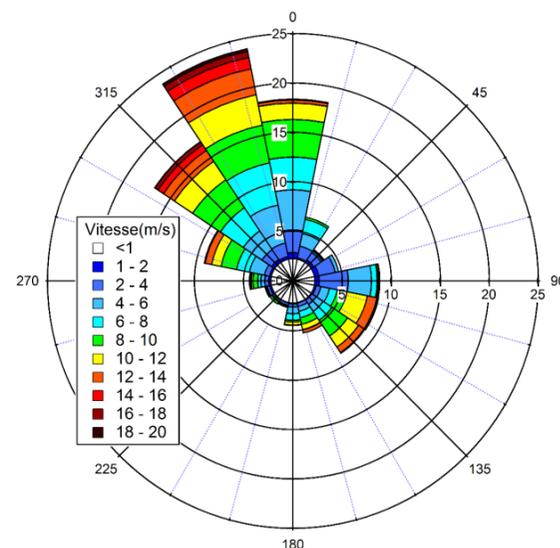
Septembre 09/11



Octobre 09/11



Novembre 09/11



Décembre 09/11

Figure 18.b : Normales de rose de vent mensuelles station DE MARTIGUES CAP COURONNE - juillet à décembre 02/11

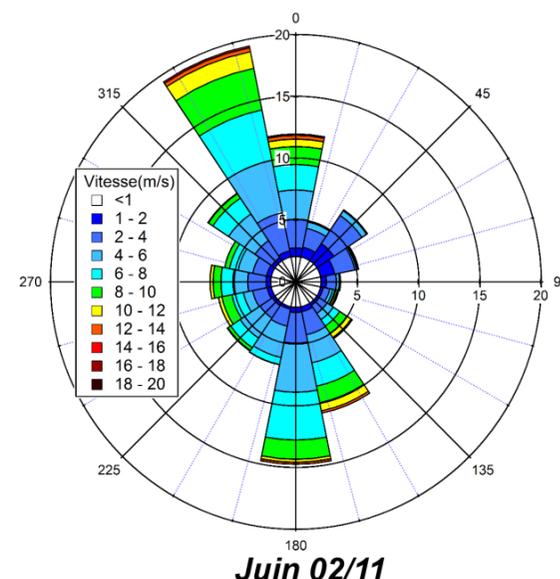
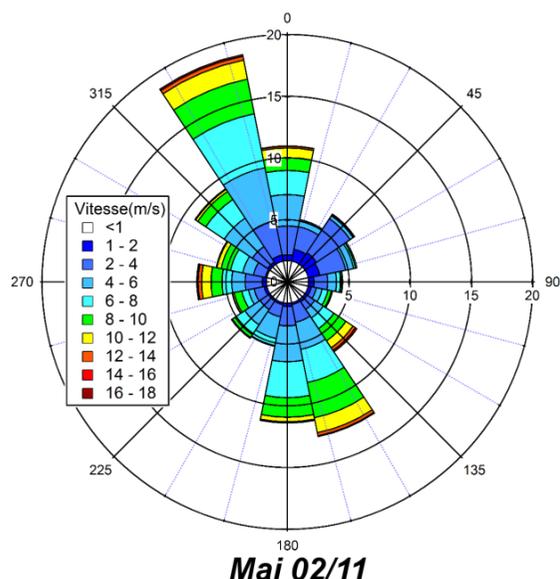
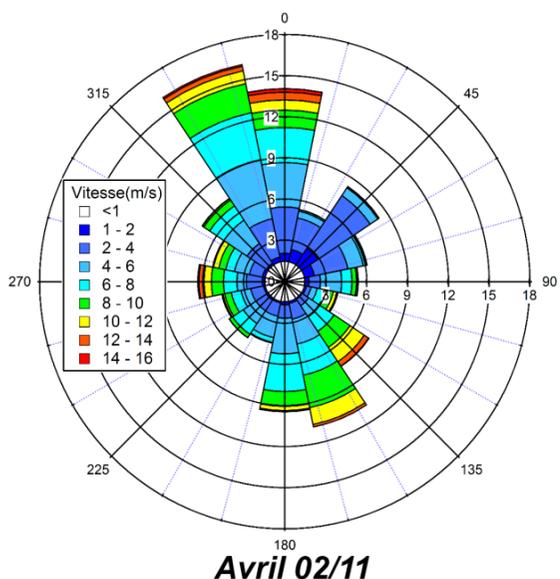
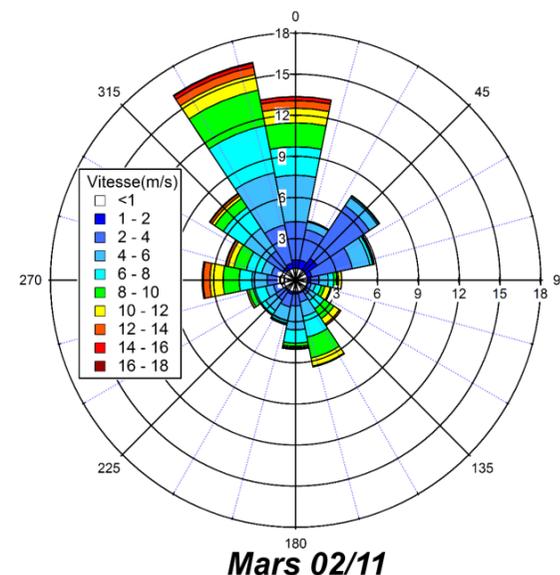
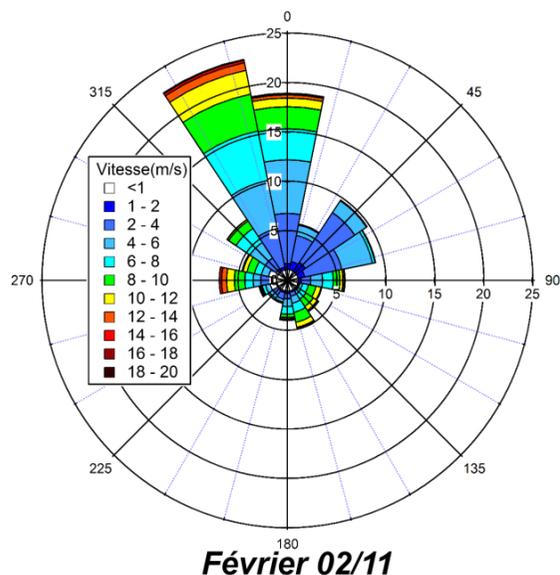
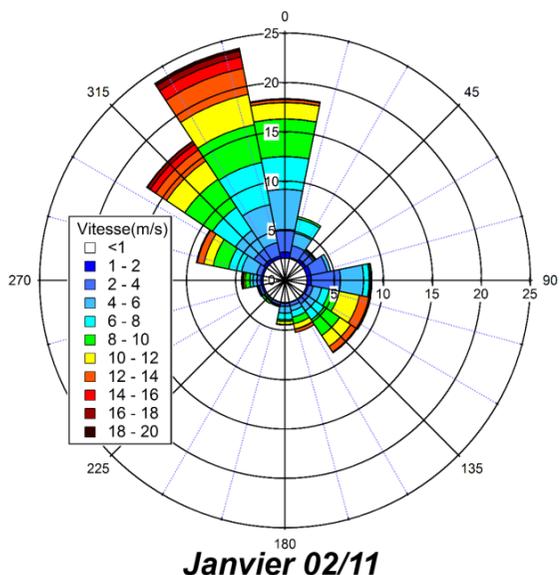
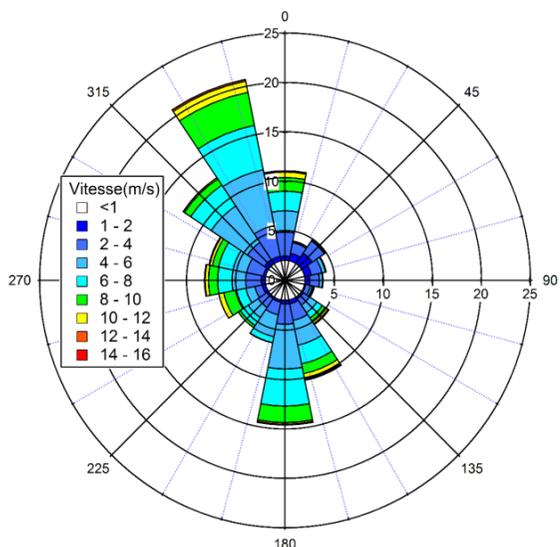
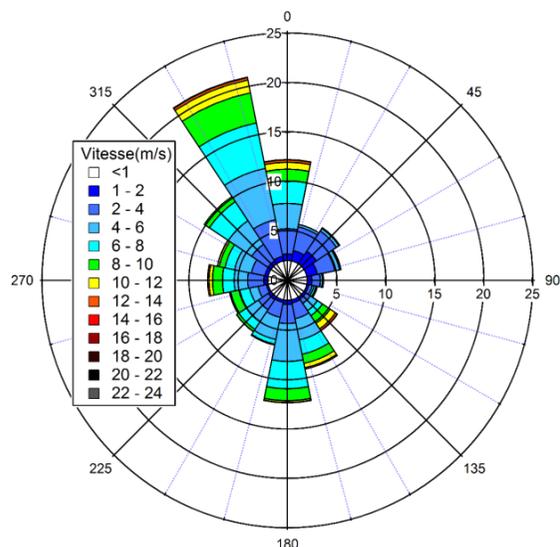


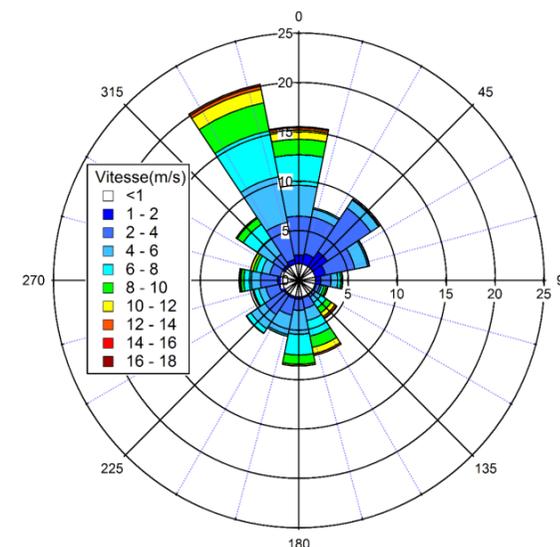
Figure 19.a : Normales de rose de vent mensuelles station **DE PORT-DE-BOUC** - janvier à juin 02/11



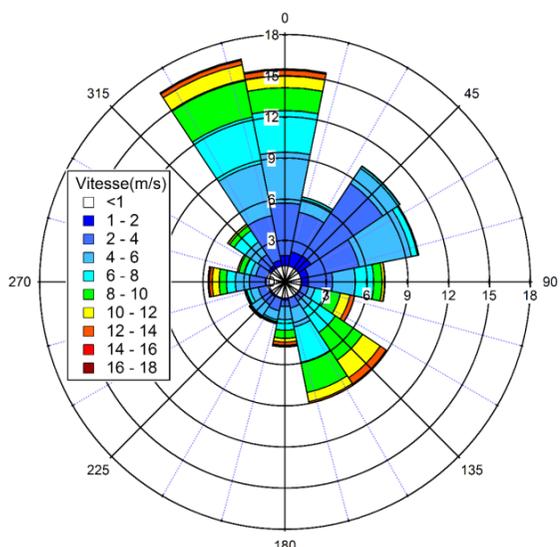
Juillet 02/11



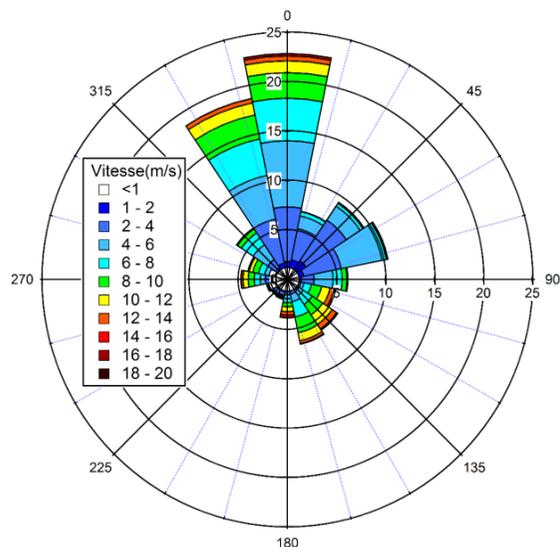
Aout 02/11



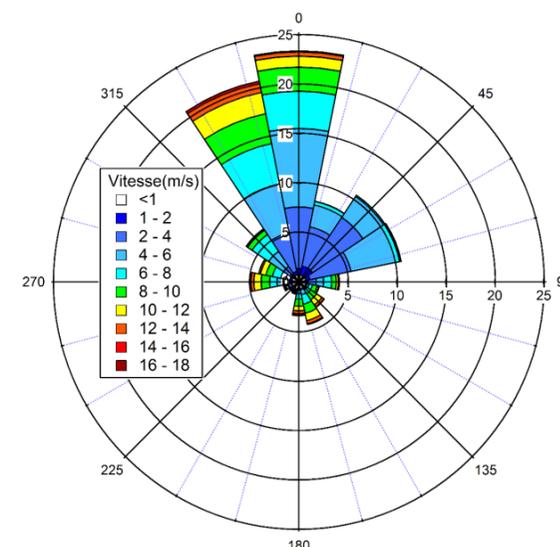
Septembre 02/11



Octobre 02/11



Novembre 02/11



Décembre 02/11

Figure 19.b : Normales de rose de vent mensuelles station DE PORT-DE-BOUC - juillet à décembre 02/11

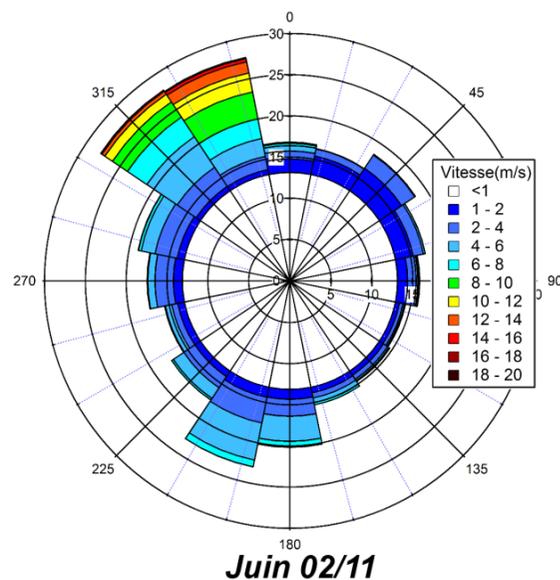
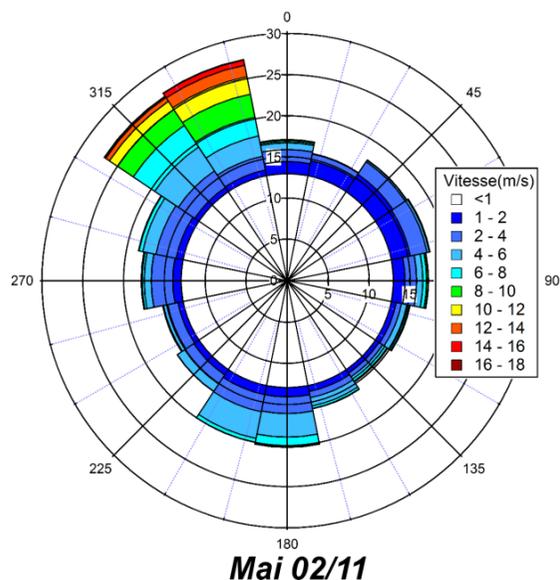
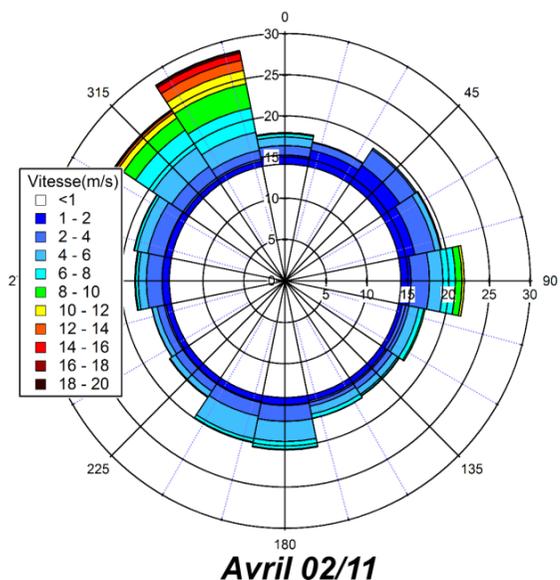
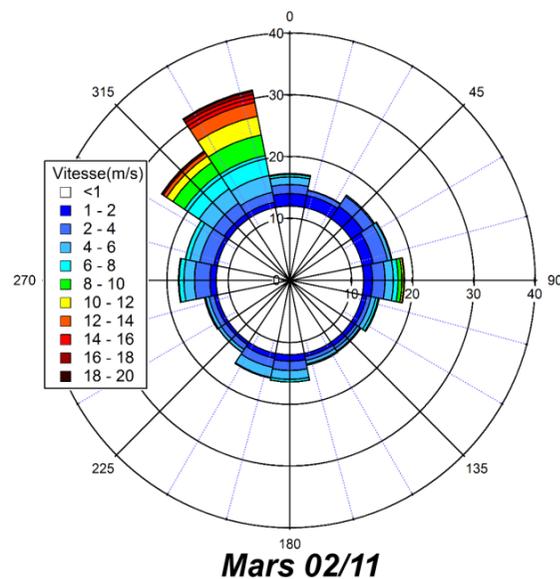
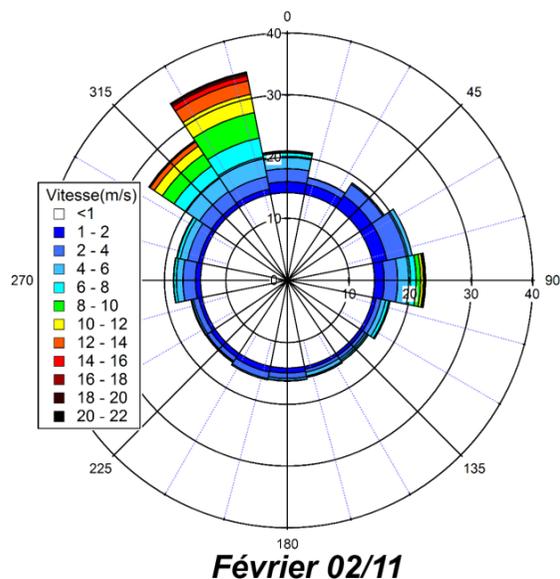
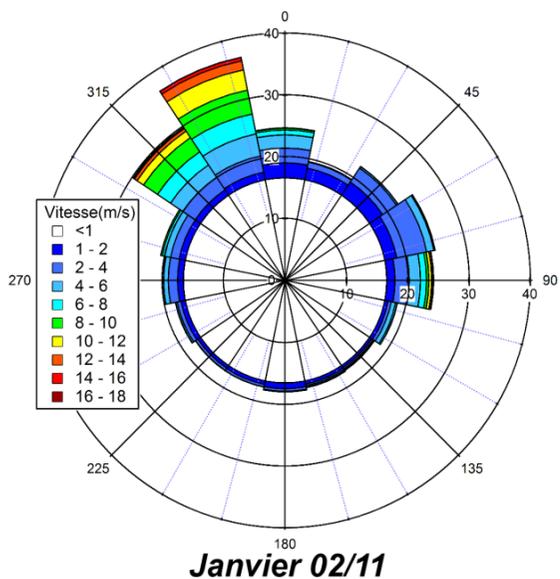
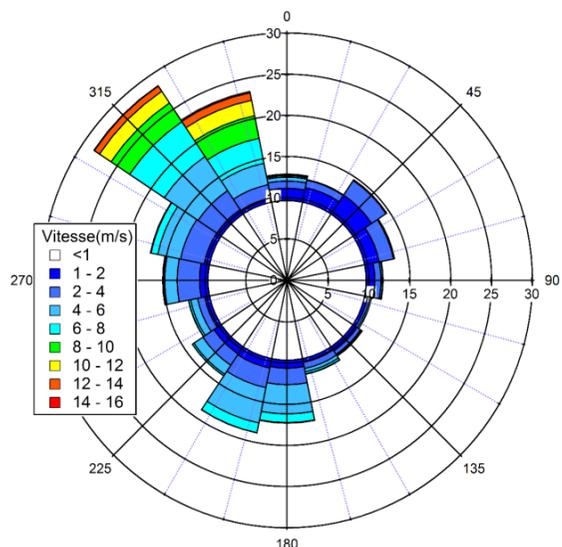
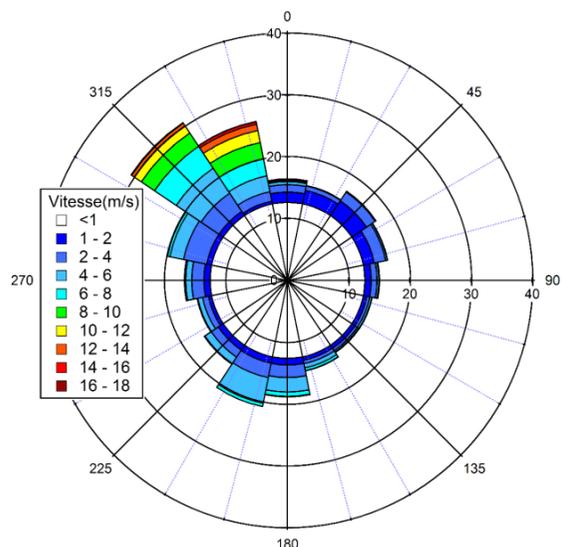


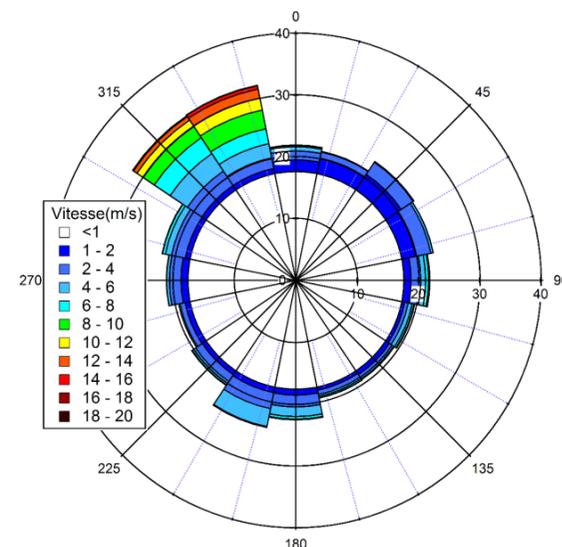
Figure 20.a : Normales de rose de vent mensuelles station **DE SALON DE PROVENCE** - janvier à juin 02/11



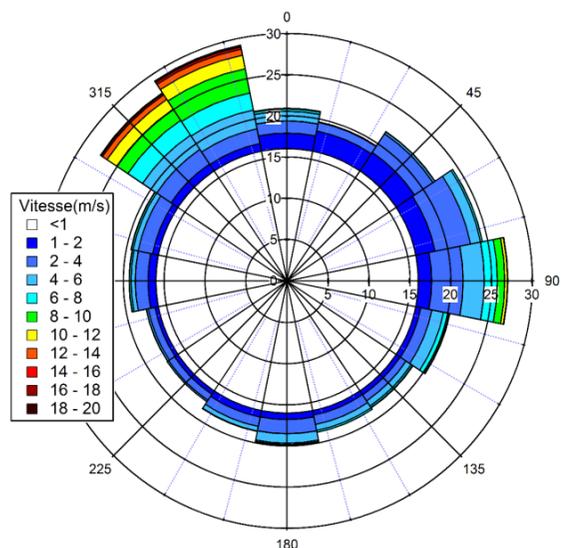
Juillet 02/11



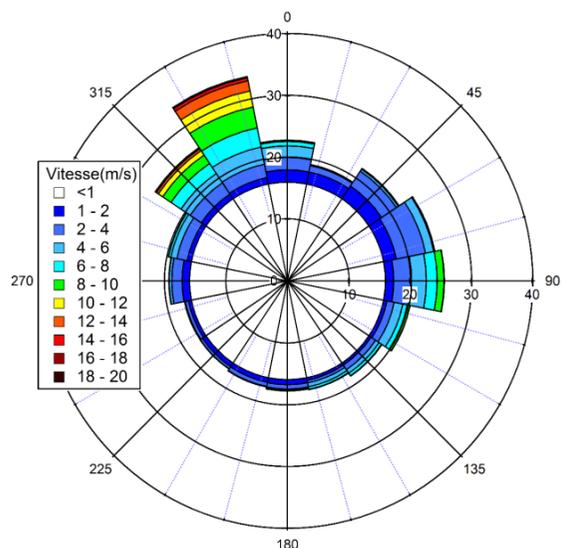
Aout 02/11



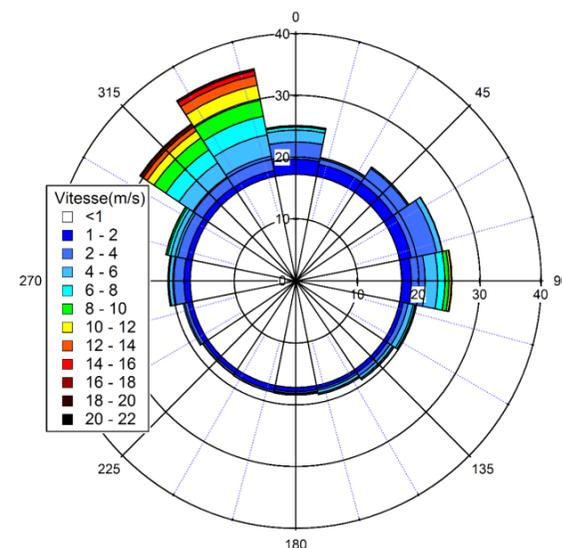
Septembre 02/11



Octobre 02/11



Novembre 02/11



Décembre 02/11

Figure 20.b : Normales de rose de vent mensuelles station DE SALON DE PROVENCE - juillet à décembre 02/11

• Annexes

Station Météo	Nb données acquises		Nb données non acquises		Total
Arles Valat	87234	99,53%	414	0,47%	87648
Istres	87547	99,88%	101	0,12%	87648
Marignane	87647	99,99%	1	0,01%	87648
Martigues Cap Couronne	20904	98,31%	360	1,69%	21264
Port-de-Bouc	85951	98,06%	1697	1,94%	87648
Salon de Provence	87541	99,88%	107	0,12%	87648

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des données acquises et non acquises pour les normales de rose de vent générales

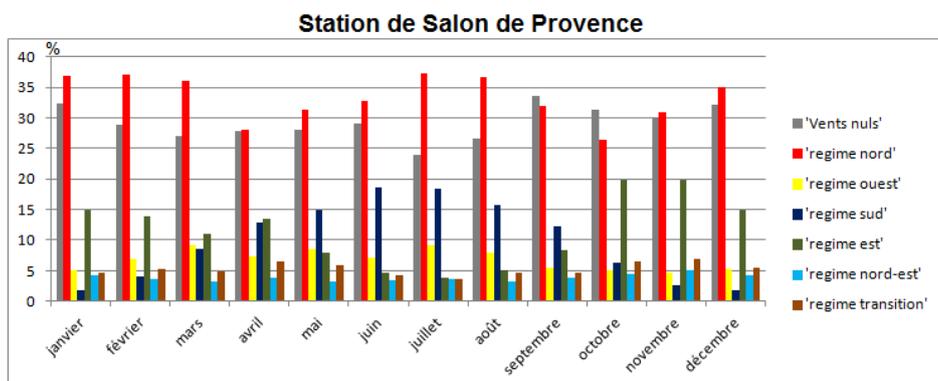
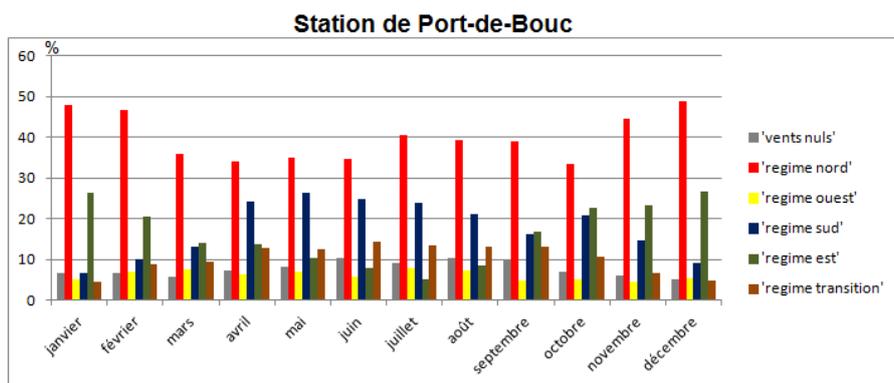
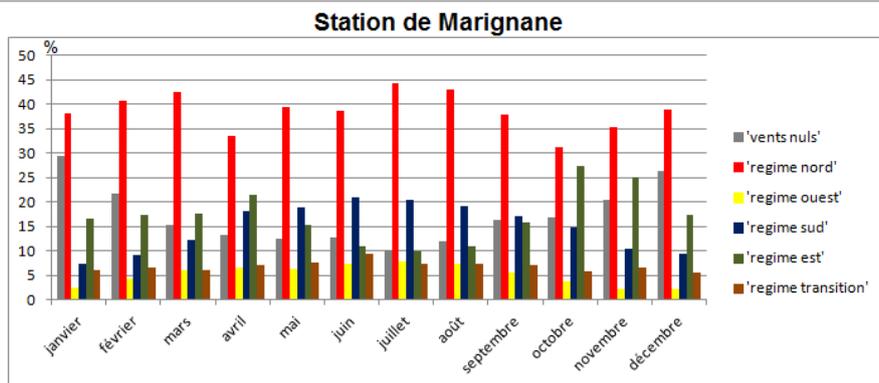
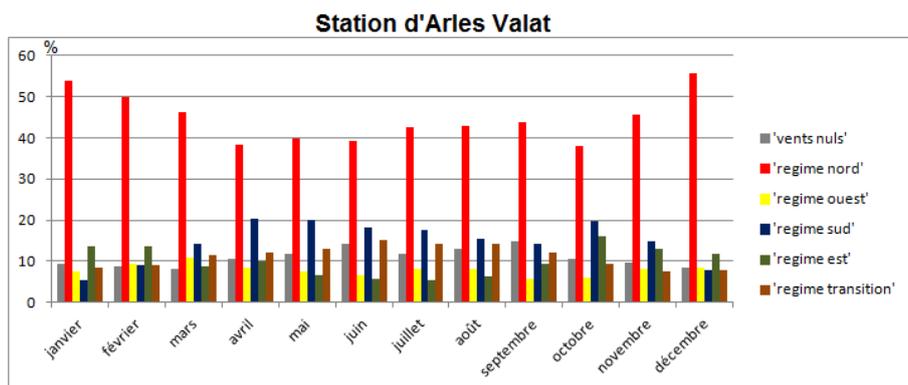
Station \ Mois	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises
Arles Valat	7290	150	6762	6	7435	5	7200	0	7374	66	7148	52
Istres	7439	1	6768	0	7426	14	7194	6	7439	1	7194	6
Marignane	7440	0	6768	0	7440	0	7200	0	7440	0	7200	0
Martigues Cap Couronne	1439	49	1339	5	1487	1	1438	2	746	0	1440	0
Port-de-Bouc	7220	220	6724	44	6401	1039	7101	99	7342	98	7055	145
Salon de Provence	7431	9	6768	0	7440	0	7198	2	7440	0	7187	13

Tableau 2.a : Tableau récapitulatif des données acquises et non acquises pour les normales de rose de vent mensuelles - janvier à juin 02/11

Station \ Mois	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises	Nb données acquises	Nb données non acquises
Arles Valat	7416	24	7440	0	7200	0	7422	18	7107	93	7440	0
Istres	7429	11	7439	1	7200	0	7440	0	7200	0	7379	61
Marignane	7440	0	7439	1	7200	0	7440	0	7200	0	7440	0
Martigues Cap Couronne	1553	7	2231	1	2158	2	2032	200	2077	83	2222	10
Port-de-Bouc	7432	8	7434	6	7196	4	7423	17	7196	4	7427	13
Salon de Provence	7440	0	7432	8	7197	3	7437	3	7196	4	7375	65

Tableau 2.b : Tableau récapitulatif des données acquises et non acquises pour les normales de rose de vent mensuelles - juillet à décembre 02/11

D Pourcentages mensuels des différents régimes de vent en fonction de la station de mesure



E Campagne de Mesure des Composés Organiques Volatils et des Particules (CAMESCOP)

La campagne CAMESCOP est la toute première campagne de mesure demandée par les acteurs locaux, conçue par le Conseil Scientifique et conduite par l'Institut éco-citoyen. Cette campagne de mesure a été organisée pendant le mois de juin 2011 afin de déterminer précisément la composition de l'air, tant en aérosol que les polluants gazeux.

Deux sites ont été observés parallèlement : un site de type industriel (Les Carabins à Fos-sur-Mer) représentatif d'une zone proche d'importantes émissions et un site plus urbain (la bibliothèque de Miramas) à priori moins exposé aux pollutions industrielles.

La mise en oeuvre de cette campagne a été réalisée en collaboration entre L'Institut, AirPACA et l'Université de Provence qui a utilisée une plate-forme mobile équipée d'instrumentation très sensible (camion MASSALYA placé aux Carabins à Fos-sur-Mer) afin d'effectuer les mesures.

Sur l'ensemble du mois de juin, les conditions météorologiques alternant orages et Mistral n'ont pas été favorables à l'enregistrement de pics de pollution particulaire. Cependant, quatre épisodes, dont trois atteignant plus de 100 000 particules.cm⁻³ d'air, ont été identifiés par régime de brise. L'étude des données recueillies est en cours, une **Rose de pollution particulaire** a déjà été établie (Figure 1) montrant les pics de pollutions particulaires. Cette rose de pollution particulaire se lit comme une normale de rose de vent, elle indique par un point (correspondant à une mesure) le nombre de particules par centimètres cube d'air enregistrées et sa direction de provenance.

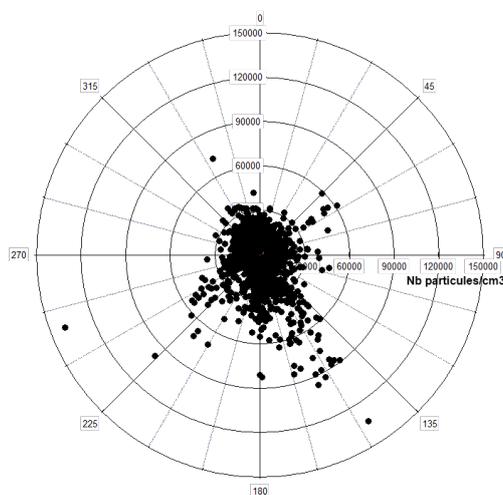


FIGURE 1 – Rose de pollution particulaire établie aux Carabins à Fos-sur-Mer entre le 01/06/2011 et le 30/06/2011 (Source données : campagne de mesure de l'air Massalya)

Le croisement avec les données de vents des stations météorologiques de Météo-France et AirPACA a permis de mettre en évidence que la commune de Fos-sur-Mer se trouve sous l'influence des installations industrielles de Martigues par **régime de Sud** (Figure 2).

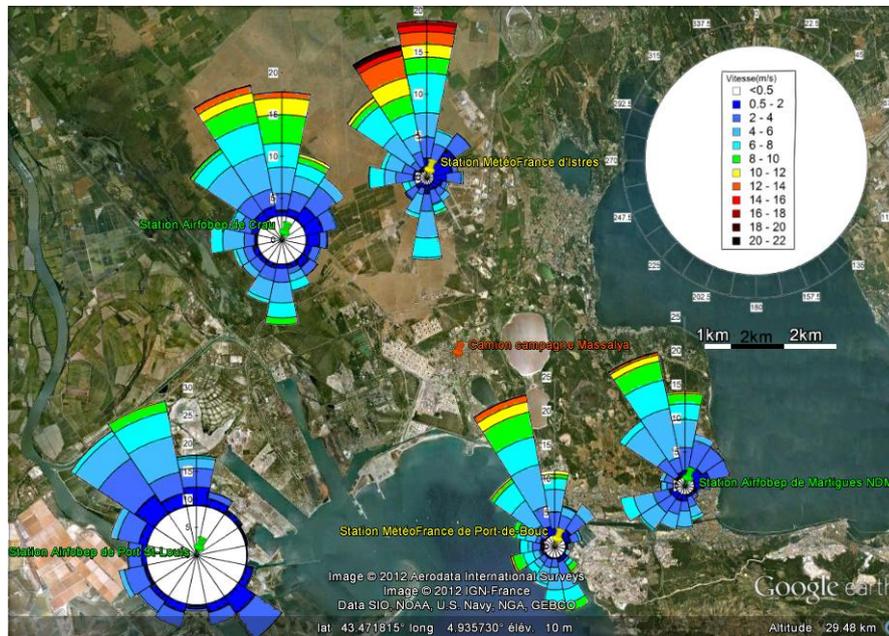


FIGURE 2 – Rose des vents du 01/06/2011 au 30/06/2011 sur la zone étudiée (Source image : *Google Earth* ; Source données météorologiques : *MétéoFrance* et *AirPACA*)

F Programme d'interpolation par krigeage pour la raffinerie ESSO

```

%% Interpolation spatiale données météo ESSO juin 02-11%%
clear all
close all

%% Préparation des données à interpoler
% Chargement des données météo pour l'interpolation
data_istres=load('données_horaires_istres_juin_02-11.txt');
data_arles=load('données_horaires_arles_juin_02-11.txt');
data_marignane=load('données_horaires_marignane_juin_02-11.txt');
data_port=load('données_horaires_port-de-bouc_juin_02-11.txt');
data_salon=load('données_horaires_salon_juin_02-11.txt');
%création d'une seule matrice contenant toutes les données météo des
%différentes stations. Ces données sont rangées dans l'ordre :
%colonnes:
% 1->2 : Istres : vitesse -> direction
% 3->4 : Arles Valat : vitesse -> direction
% 5->6 : Marignane : vitesse -> direction
% 7->8 : Port de Bouc : vitesse -> direction
% 9->10 : Salon de Provence : vitesse -> direction
data=data_istres(:,2:3);
data(:,3:4)=data_arles(:,2:3);
data(:,5:6)=data_marignane(:,2:3);
data(:,7:8)=data_port(:,1:2);
data(:,9:10)=data_salon(:,2:3);
clear data_istres data_arles data_marignane data_port data_salon
% Conversion des directions de PROVENANCE du vent dans le repère
% trigonométrique et de degré à radians
data(:,2)=mod(-90-data(:,2),360)*pi/180;
data(:,4)=mod(-90-data(:,4),360)*pi/180;
data(:,6)=mod(-90-data(:,6),360)*pi/180;
data(:,8)=mod(-90-data(:,8),360)*pi/180;
data(:,10)=mod(-90-data(:,10),360)*pi/180;
tf=size(data,1);
% Conversion des vecteur vent dans le repère cartésien (x,y)
% Avec le même ordre pour les stations et dans l'ordre U (projection du
% vecteur vitesse sur l'axe des X) puis V (projection du vecteur
% vitesse sur l'axe des Y)
for i=1:2:9
    data_cart(:,i)=data(:,i).*cos(data(:,i+1));
    data_cart(:,i+1)=data(:,i).*sin(data(:,i+1));
end

%% Domaine d'interpolation
%Position des points des stations météo
%dans l'ordre : Istres - Arles Valat - Marignane - Port de Bouc - Salon de
% Provence
X_st=[4.921666666666667,4.693333333333333,5.215,4.981666666666667,5.103333333333333];
Y_st=[43.52166666666667,43.51,43.43666666666667,43.395,43.60333333333333];
N=length(X_st);

%Point d'interpolation -> Raffinerie ESSO
X_interp=4.926273637494701;
Y_interp=43.44580085747781;
dimx=1;
dimy=1;
dimp=dimx*dimy;

%% Vitesses
for i=1:N
    %calcul de toutes les distances ri-rj
    for j=1:N
        if j>=i
            dist(i,j)=sqrt((X_st(i)-X_st(j))^2+(Y_st(i)-Y_st(j))^2);
        else
            dist(i,j)=NaN;
        end
    end
end
end
[dist,indice]=sort(reshape(dist,1,N^2));
dist=dist(1,1:(N^2+N)/2);
dist_min=min(dist);
dist_max=max(dist);

```

```

%création des n(h)
delta_h=0.1; %paramètre normalement optimal pour cette configuration
h=[dist_min:delta_h:dist_max];
dimh=size(h,2);

n=zeros(1,dimh);
for i=1:(N^2+N)/2
    for k=1:dimh
        if (dist(i)>=h(k) && dist(i)<h(k)+delta_h)
            n(k)=n(k)+1;
        end
    end
end
for k=1:dimh %message d'erreur si delta_h est trop faible afin d'éviter des
    if n(k)==0 %valeurs nulles dans le n(h)
        error('division par 0 -> Pas de discrétisation trop faible')
    end
end

tic
U_st=zeros(N,1);
V_st=zeros(N,1);
%% Boucle sur le temps
for t=1:tf
    if (isnan(data_cart(t,1))==0 && isnan(data_cart(t,3))==0 && isnan(data_cart(t,5))==0 &&...
        isnan(data_cart(t,7))==0 && isnan(data_cart(t,9))==0 && isnan(data_cart(t,2))==0 &&...
        isnan(data_cart(t,4))==0 && isnan(data_cart(t,6))==0 &&...
        isnan(data_cart(t,8))==0 && isnan(data_cart(t,10))==0)
        %%Calcul du semi-variogramme
        %Calcul des distances h entre couples
        U_st=[data_cart(t,1);data_cart(t,3);data_cart(t,5);data_cart(t,7);data_cart(t,9)];
        V_st=[data_cart(t,2);data_cart(t,4);data_cart(t,6);data_cart(t,8);data_cart(t,10)];
        Du=zeros(N,N);
        Dv=zeros(N,N);
        for i=1:N %calcul de toutes les distances ri-rj
            for j=1:N
                if j>=i
                    Du(i,j)=(U_st(i)-U_st(j))^2;
                    Dv(i,j)=(V_st(i)-V_st(j))^2;
                else
                    Du(i,j)=NaN;
                    Dv(i,j)=NaN;
                end
            end
        end
        %distance pour le calcul des n(h)
        Du=reshape(Du,1,N^2);
        Dv=reshape(Dv,1,N^2);
        Du=Du(indice);
        Dv=Dv(indice);
        Du=Du(1,1:(N^2+N)/2);
        Dv=Dv(1,1:(N^2+N)/2);

        %calcul du variogramme
        Du_calc=Du;
        Dv_calc=Dv;
        for k=1:dimh
            Gu(k)=sum(Du_calc(1:n(k)))/(2*n(k));
            Gv(k)=sum(Dv_calc(1:n(k)))/(2*n(k));
            Du_calc=Du_calc(n(k)+1:end);
            Dv_calc=Dv_calc(n(k)+1:end);
        end
        clear Du_calc
        clear Dv_calc

        %%Interpolation du semi-variogramme
        Gu=Gu';
        Gv=Gv';
        c2=0;c3=0;c4=0;
        for i=1:dimh

```

```

        c1=ones(dimh,1);
        c2=[c2;h(i)];
        c3=[c3;h(i)^2];
        c4=[c4;h(i)^3];
    end
    c2=c2(2:dimh+1);c3=c3(2:dimh+1);c4=c4(2:dimh+1);
    M=[c1 c2 c3 c4];

    Au=pinv(M'*M)*M'*Gu;%minimisation de l'erreur quadratique moyenne
    Av=pinv(M'*M)*M'*Gv;
        %rem : l'utilisation de la pseudo-inverse est beaucoup
        %plus efficace dans ce cas

clear Gu
clear Gv

%%Détermination des poids
dist_gamma=zeros(N);%calcul de toutes les distances ri-rj pour le calcul de la matrice gamma
for i=1:N
    for j=1:N
        dist_gamma(i,j)=sqrt((X_st(i)-X_st(j))^2+(Y_st(i)-Y_st(j))^2);
    end
end
gamma_u=Au(1)+Au(2)*dist_gamma+Au(3)*dist_gamma.^2+Au(4)*dist_gamma.^3; %calcul des différents
p3(hi,j)
gamma_v=Av(1)+Av(2)*dist_gamma+Av(3)*dist_gamma.^2+Av(4)*dist_gamma.^3;
gamma_u(:,N+1)=1; %création de la colonne de 1
gamma_u(N+1,1:N)=1; %création de la ligne de 1
gamma_v(:,N+1)=1; %création de la colonne de 1
gamma_v(N+1,1:N)=1; %création de la ligne de 1
clear dist_gamma

%calcul des gamma_p
compteur=1;
dist2=zeros(N,dimp);
for i=1:dimx
    for j=1:dimy
        for k=1:N
            dist2(k,compteur)=sqrt((X_interp(i)-X_st(k))^2+(Y_interp(j)-Y_st(k))^2);
        end
        compteur=compteur+1;
    end
end
gamma_p_u=Au(1)+Au(2)*dist2+Au(3)*dist2.^2+Au(4)*dist2.^3;
gamma_p_u(N+1,:)=1;
gamma_p_v=Av(1)+Av(2)*dist2+Av(3)*dist2.^2+Av(4)*dist2.^3;
gamma_p_v(N+1,:)=1;
clear dist2

%calcul des poids
W_p_u=zeros(N+1,1);
W_p_v=zeros(N+1,1);
inv_gamma_u=pinv(gamma_u);
inv_gamma_v=pinv(gamma_v);
W_p_u(:,1)=inv_gamma_u*gamma_p_u(:,1);
W_p_v(:,1)=inv_gamma_v*gamma_p_v(:,1);

%calcul des vitesses et directions interpolées
U_krig(t)=sum(W_p_u(1:N,1).*U_st);
V_krig(t)=sum(W_p_v(1:N,1).*V_st);

else
    U_krig(t)=NaN;
    V_krig(t)=NaN;
end
end

%% Données interpolées
W_krig=sqrt(U_krig.^2+V_krig.^2);
for i=1:tf
    if W_krig(i)>=22 % Condition permettant d'éliminer les valeurs abhèrentes
        W_krig(i)=NaN;
    end
end

```

```

end
end
%Elimination des valeurs abh erentes dans les vitesses exprimées dans le
%rep ere cartésien
for i=1:tf
    if isnan(W_krig(i))==1
        U_krig(i)=NaN;
        V_krig(i)=NaN;
    end
end
D_krig=zeros(1,tf);
for i=1:tf
    if (U_krig(i)==0 && V_krig(i)==0)
        D_krig(i)=360;
    end
    if U_krig(i)==0
        if V_krig(i)>0
            D_krig(i)=90;
        end
        if V_krig(i)<0
            D_krig(i)=270;
        end
    end
    if V_krig(i)==0
        if U_krig(i)>0
            D_krig(i)=0;
        end
        if U_krig(i)<0
            D_krig(i)=180;
        end
    end
    if (U_krig(i)>0 && V_krig(i)>0)
        D_krig(i)=atand(V_krig(i)/U_krig(i));
    end
    if (U_krig(i)<0 && V_krig(i)>0)
        D_krig(i)=180+atand(V_krig(i)/U_krig(i));
    end
    if (U_krig(i)<0 && V_krig(i)<0)
        D_krig(i)=180+atand(V_krig(i)/U_krig(i));
    end
    if (U_krig(i)>0 && V_krig(i)<0)
        D_krig(i)=360+atand(V_krig(i)/U_krig(i));
    end
    if (isnan(U_krig(i))==1 || isnan(V_krig(i))==1)
        D_krig(i)=NaN;
    end
end
Wind_krig=[W_krig' mod(-90-D_krig,360)'];
%save('C:\Users\Olive\Desktop\Stage_institut_ecocitoyen\Etude_donn ees_METEOFrance\Raffinerie
ESSO\Interpolation vents\donn ees_m et eo_interpol ees_ESSO_juin_02-11.txt','Wind_krig','-ascii');

%% Trac e sur la map
map=load('C:\Users\Olive\Desktop\Stage_institut_ecocitoyen\Fonds de carte\MapFos.txt');
for t=1:1
    %t=1;
    figure();
    axis([4.65 5.25 43.3 43.65]);
    hold on
    plot(map(:,1),map(:,2),'k')%,'linewidth',1.5);
    plot(X_st,Y_st,'ok','markersize',3,'markerfacecolor','y');
    plot(X_interp,Y_interp,'ok','markersize',3,'markerfacecolor','r');
    quiver([X_st X_interp 4.7],[Y_st Y_interp 43.625],[data_cart(t,1:2:9) U_krig(t)
    2],[data_cart(t,2:2:10) V_krig(t) 0],0.4)
    %remarque : le vecteur de norme 2m/s placé en bas   droite de la carte
    %correspond   un vecteur de dimension
    %quiver(X_interp,Y_interp,U_krig(:, :, t),V_krig(:, :, t),0.1);
    hold off
    xlabel('Longitude Est (degrés décimaux)')
    ylabel('Latitude Nord (degrés décimaux)')
    set(gcf,'color','w');
end
end

```