

Qualité de l'air

PROVENCE - ALPES - CÔTE D'AZUR



Estimations des interactions atmosphériques entre les régions PACA et Ligurie.

Projet Stratégique AERA :
Air Environnement Régions ALCOTRA

Action 5.5.6

Programme ALCOTRA 2007-2013

www.airpaca.org

AirPACA
QUALITÉ DE L'AIR

AUTEURS : P. DE FERAUDY ET M. BERNARD, L. CHEVALIER, G. GILLE, G. LUNEAU, F. PERON, B. ROCHER, R. SOUWEINE, J. VIRGA

RELECTEUR : A. ARVIENGAUD

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ACTION.....	4
2	RETROTRAJECTOIRES.....	5
2.1	REALISATION DES CARTES POUR L'ANNEE 2007 :	5
2.1.1	AVIGNON :	6
2.1.2	MARSEILLE :	6
2.1.3	TOULON :	7
2.1.4	NICE :	7
3	ANALYSE DE CORRELATIONS ENTRE LES STATIONS DE MESURE DES ALPES MARITIMES ET DE LA LIGURIE (ANNEE 2007 ET 2008)	8
4	ANALYSE DES CONCENTRATIONS EN PM₁₀ EN PACA, LIGURIE ET PIEMONTE	11
4.1	ROSES DE VENT ANNUELLES POUR LES SIX STATIONS METEO	12
4.2	EPISODES DE POLLUTION PAR LES PM ₁₀ EN FRANCE ET EN ITALIE EN 2007 ET 2008	13
4.2.1	EPISODE D'AVRIL 2007	13
4.2.2	EPISODE DE MAI 2007	18
4.2.3	EPISODE DE NOVEMBRE 2007	25
4.2.4	EPISODE DE JANVIER 2008	31
4.2.5	EPISODE DE FEVRIER 2008	37
4.2.6	EPISODE D'OCTOBRE 2008.....	42
5	ANALYSE DES SOURCES D'EMISSIONS DE PARTICULES FINES EN PACA	47
6	CONCLUSION ET PERSPECTIVE	50
7	REFERENCES	52
8	LISTE DES FIGURES	53
9	GLOSSAIRE	55

1 CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ACTION

AERA (AIR ENVIRONNEMENT REGIONS ALCOTRA) est un projet stratégique du programme Alcotra 2007-2013, plan de coopération transfrontalière le long de la frontière continentale franco-italienne, doté d'une contribution financière FEDER.

Il regroupe huit partenaires : Air PACA, DREAL PACA, les Régions Ligurie, Piémont et Val d'Aoste, les Provinces de Cuneo et de Turin, et la Région Rhône-Alpes.

Il a pour but de fournir aux régions et organismes du territoire Alcotra des moyens pour améliorer et harmoniser leurs connaissances et méthodologies relatives aux processus de planification et d'évaluation de la qualité de l'air.

Ce projet est décliné en 7 phases :

- 1) Etat initial de la qualité de l'air et des politiques de protection de l'air.
- 2) Analyse et recensement des outils pour la planification dans le cadre de la qualité de l'air.
- 3) Amélioration des outils pour la planification (mesures, cadastre des émissions, modélisation).
- 4) Construction des mesures et actions de planification communes.
- 5) Actions pilotes.
- 6) Communication et éducation, dissémination des résultats du projet.
- 7) Gestion du projet

Air PACA est responsable des actions 2.1 et 3.1, et travaille aussi sur quatre actions pilotes sur son territoire de compétence :

1. Etude spécifique des émissions de particules dans les vallées alpines et sur le littoral urbanisé ;
2. Mise en place d'un outil d'aide à la décision à l'échelle urbaine sur l'agglomération Niçoise ;
3. Etude spécifique des émissions du trafic poids lourds sur l'axe franco-italien ;
4. Estimations des interactions des émissions de polluants entre la région PACA et l'Italie ;

L'objectif de cette quatrième action pilote est d'estimer le transport de particules impactant par vents d'Ouest les concentrations en Ligurie et Piémont, et en cas de vents d'Est l'étude des apports vers la région PACA de particules en provenance d'Italie.

Une analyse des données de mesures en particules fines du domaine d'étude pour les années 2007 et 2008, issues de la base de données créée lors de l'action 3.1, permet d'identifier des épisodes de pollution par les PM₁₀ sur le domaine considéré. Une analyse fine des données météo, à partir des stations de mesures de Météo France ainsi que du modèle WRF est complétée par une étude sur les rétrotrajectoires, notamment sur les villes de Nice et Marseille. Enfin, le modèle Chimère développé lors de l'action 3.3 d'AERA permet de confirmer et de cartographier les situations de transport de polluants particuliers.

2 RETROTRAJECTOIRES

L'étude des rétrotrajectoires présentées ci-dessous permet de mettre en évidence la provenance des principales masses d'air sur les sites d'Avignon, Marseille, Toulon et Nice, mais aussi d'associer cette climatologie aux niveaux de PM₁₀, pour l'année 2007.

Cette étude regroupe ainsi deux types d'analyse :

- Statistiques des rétrotrajectoires sur les villes d'Avignon, Marseille, Toulon et Nice.
- Climatologie associée aux niveaux de PM₁₀ mesurées sur ces sites.

La méthodologie utilisée pour la réalisation de cartes statistiques de rétrotrajectoire est décrite ci-dessous :

- Réalisation d'une rétrotrajectoire (image 1, à gauche)
- Définition d'une grille de 1°x1° (image 2)
- Surimposition de la rétrotrajectoire sur la grille (image 3)
- Cumule de chaque point de la rétrotrajectoire (les points sont espacés temporellement de 1heure) sur chacune des mailles de la grille (image 4, à droite)
- Répétition de de ces 4 étapes pour chacune des rétros tracées sur la période d'étude
- Pondération par le maximum de la grille pour avoir des valeurs indexées

La carte finale permet ainsi de rendre compte de la climatologie des masses d'air arrivant sur une station d'étude.

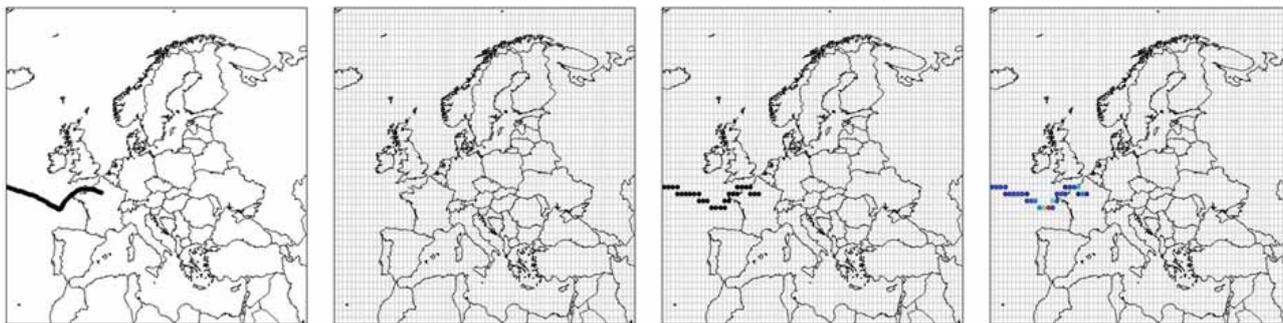


Figure 1 : Méthodologie pour la réalisation de cartes de rétrotrajectoires

2.1 REALISATION DES CARTES POUR L'ANNEE 2007 :

Les figures suivantes montrent les cartes des rétrotrajectoires statistiquement cumulées pour les villes d'Avignon, Marseille, Toulon et Nice.

La figure de droite indique les provenances des masses d'air, et la figure de gauche associe les teneurs en PM₁₀ à la climatologie des masses d'air, et permet ainsi d'estimer l'origine des masses d'air lors d'épisodes de pollution. Il est ainsi possible d'évaluer statistiquement les principales origines géographiques des masses d'air lors d'épisodes de pollution.

L'analyse des cartographies suivantes montre que statistiquement les masses d'air ne montrent pas d'origine bien définie pour les quatre sites. D'autre part, durant des épisodes de pollution, certaines origines sont par contre bien marquées.

2.1.1 AVIGNON :

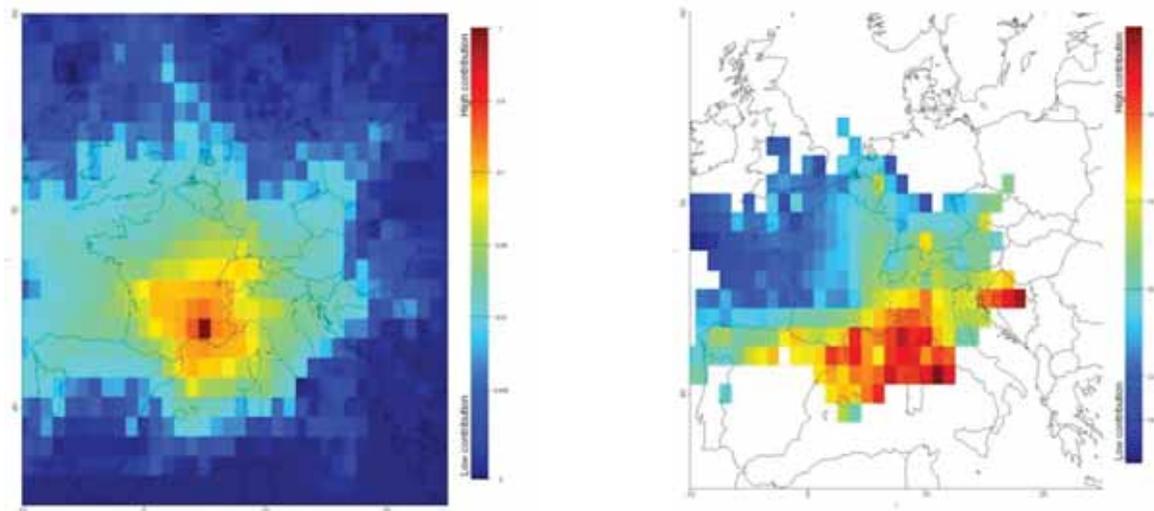


Figure 2 : Cartographie des rétrotrajectoires pour Avignon en 2007

La figure de gauche présente les principales origines géographiques des masses d'air à Avignon pour l'année 2007, et il apparaît qu'elles ont une distribution isotrope autour d'Avignon ; aucune origine géographique n'est privilégiée.

La figure de droite indique les trajectoires cadastrées durant l'année 2007, associées aux concentrations de particules fines PM₁₀ sur le site d'Avignon. Les masses d'air lors des journées de fortes concentrations en PM₁₀, proviennent majoritairement du sud du golfe du Lion et du golfe de Gênes, mais aussi du Piémont et de la Croatie

2.1.2 MARSEILLE :

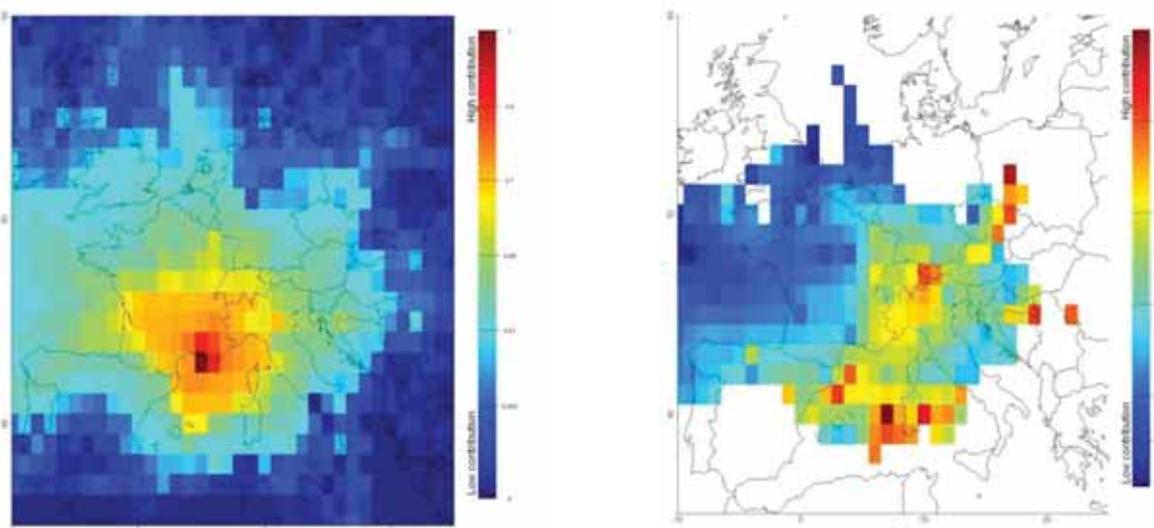


Figure 3 : Cartographie des rétrotrajectoires pour Marseille en 2007

La figure de gauche montre les origines géographiques principales des masses d'air à Marseille pour l'année 2007, elles ont une distribution isotrope autour de Marseille, aucune origine géographique n'est clairement privilégiée.

La figure de droite présente les trajectoires cadastrées durant l'année 2007, associées aux concentrations de particules fines PM₁₀ sur le site de Marseille. Les masses d'air lors des journées de fortes concentrations en PM₁₀, proviennent majoritairement du sud de la méditerranée occidentale, mais également de Suisse d'Italie et de certaines grandes agglomérations d'Europe de l'Est

2.1.3 TOULON :

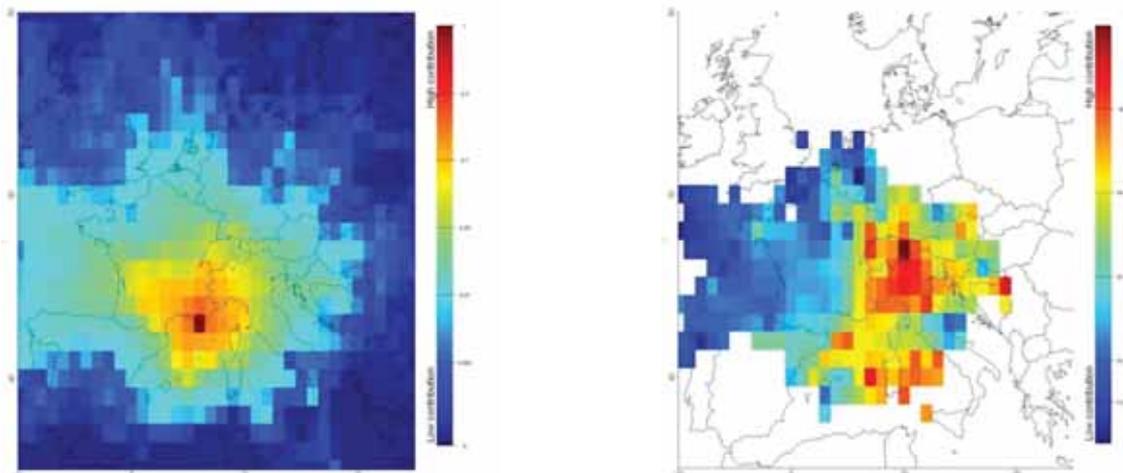


Figure 4 : Cartographie des rétrotrajectoires pour Toulon

La figure de gauche montre les origines géographiques principales des masses d'air à Toulon pour l'année 2007, elles ont une distribution isotrope autour de Toulon, aucune origine géographique n'est clairement privilégiée. La figure de droite indique les trajectoires cadrées durant l'année 2007, associées aux concentrations de particules fines PM₁₀ sur le site de Toulon. Les masses d'air lors des journées de fortes concentrations en PM₁₀, proviennent majoritairement de la plaine du Pô, des Alpes (Suisse, France et Italie), mais aussi du Sud-Est Méditerranée ; Golfe du Lion et Golfe de Gênes.

2.1.4 NICE :

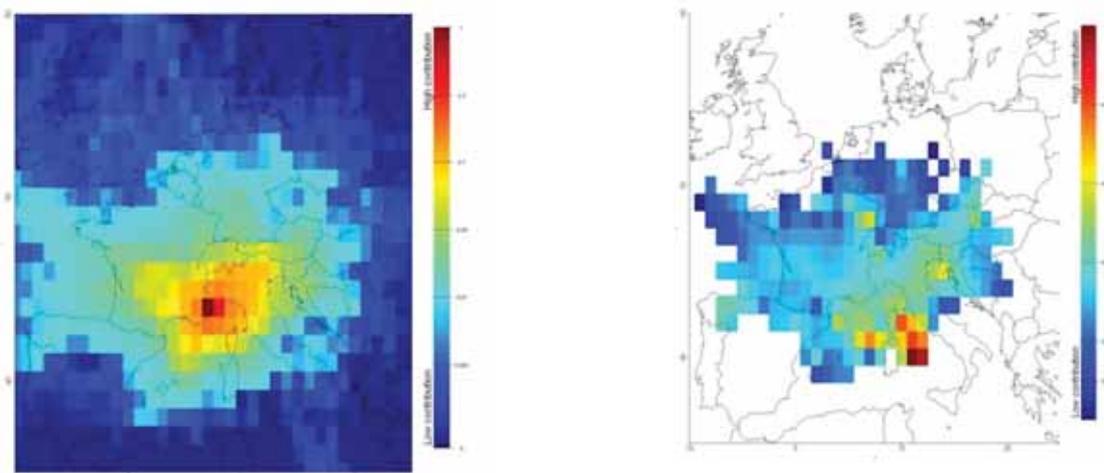


Figure 5 : Cartographie des rétrotrajectoires pour Nice

La figure de droite montre les origines géographiques principales des masses d'air à Nice pour l'année 2007, elles ont une distribution isotrope autour de Nice mais avec un décentrage sur le Piémont, la Ligurie et la plaine du Pô. La figure de gauche présente les trajectoires cadrées durant l'année 2007, associées aux concentrations de particules fines PM₁₀ sur le site de Nice. Les masses d'air lors des journées de fortes concentrations en PM₁₀, proviennent majoritairement de la plaine du Pô, Alpes (Suisse, France et Italie), Sud Méditerranée, Golfe du Lion et Golfe de Gênes. Cette analyse par rétrotrajectoires cadrées indique donc que les masses d'air ont des origines différentes sur ces quatre sites de mesure, notamment lorsque la climatologie est associée aux concentrations de particules fines PM₁₀.

Ces cartographies ont néanmoins de nombreuses limites et ne sont présentées ici que dans le but d'introduire la notion du transport de pollution atmosphérique, avec toute sa complexité associée.

3 ANALYSE DE CORRELATIONS ENTRE LES STATIONS DE MESURE DES ALPES MARITIMES ET DE LA LIGURIE (ANNEE 2007 ET 2008)

Le paragraphe précédent a montré que les masses d'air, lors d'épisodes de pollution par les PM₁₀, n'ont pas toujours la même provenance sur les quatre sites d'Avignon, Marseille, Toulon et Nice.

L'objectif du paragraphe suivant est d'identifier les corrélations entre les différentes stations de mesures des Alpes Maritimes, de la Ligurie et celles du piémont. L'identification de bonnes corrélations entre les stations du littoral méditerranéen français et italien, particulièrement pour les stations de typologie de fond (Urbaine, Périurbaine et Rurale), peut mettre en évidence des évolutions et des comportements communs, ainsi que des phénomènes de transport de pollution sur ces différents sites.

Les Figure 6 et Figure 7 présentent les stations de mesures présent en compte dans les Alpes Maritimes et la Ligurie :

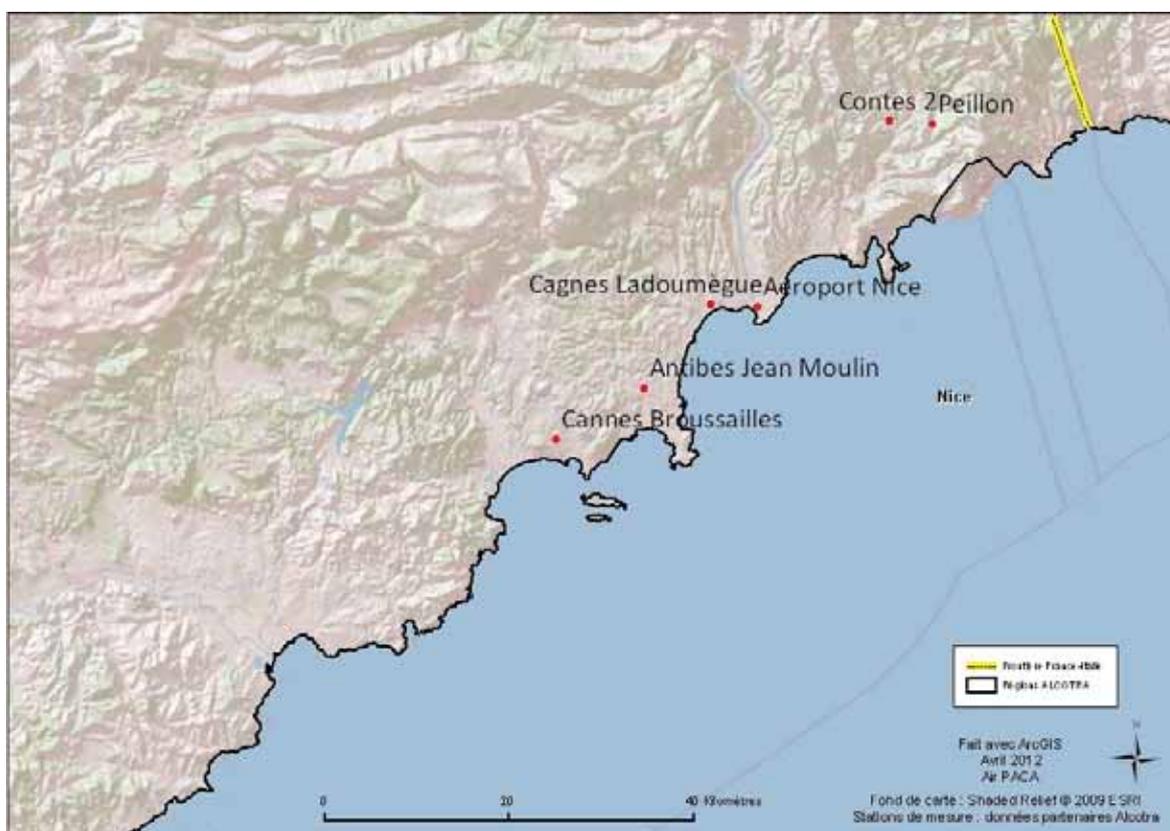


Figure 6 : Emplacement des stations de mesures de PM₁₀ sur les Alpes Maritimes



Figure 7 : Emplacement des stations de mesures de PM10 en Ligurie

Les graphiques suivants présentent les corrélations d'une part entre les sites de mesure des Alpes Maritimes mais aussi entre les sites des deux pays pour les années 2007 et 2008

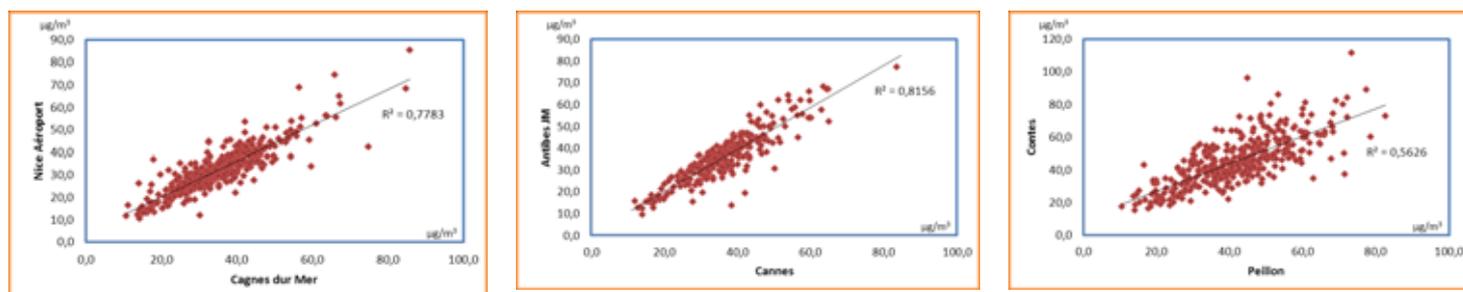


Figure 8 : Corrélations entre les stations de mesure des Alpes Maritimes pour les PM10

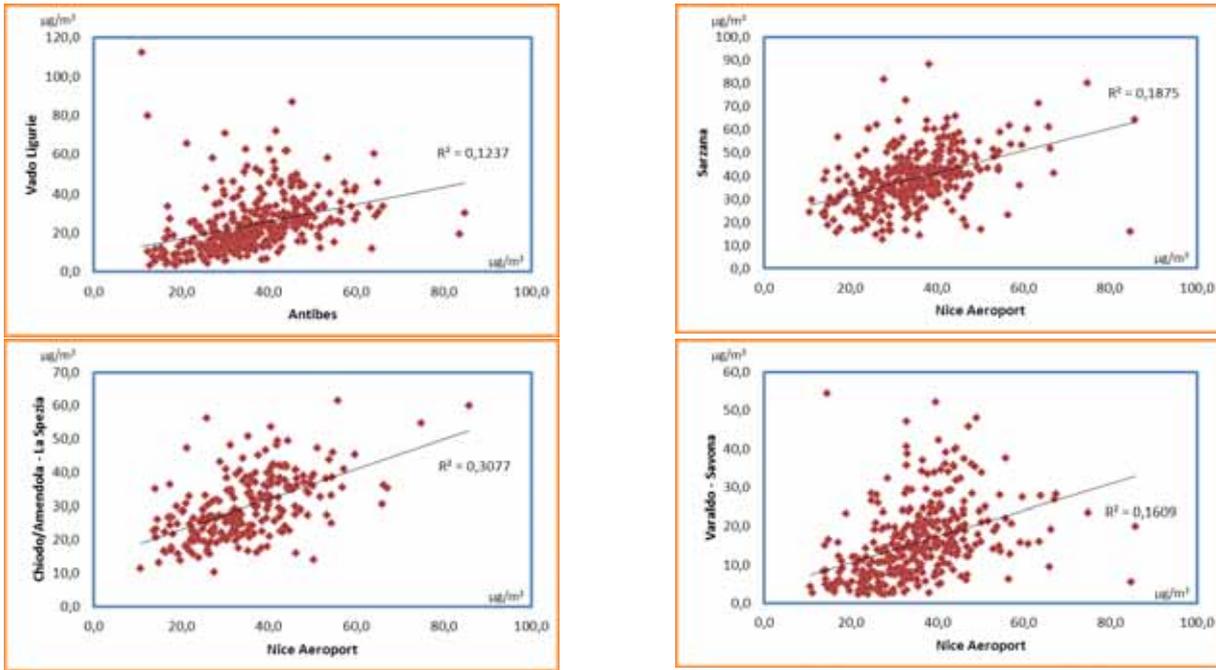


Figure 9 : Corrélations des valeurs en PM₁₀ des stations de mesures des Alpes Maritimes et de Ligurie pour l'année 2007

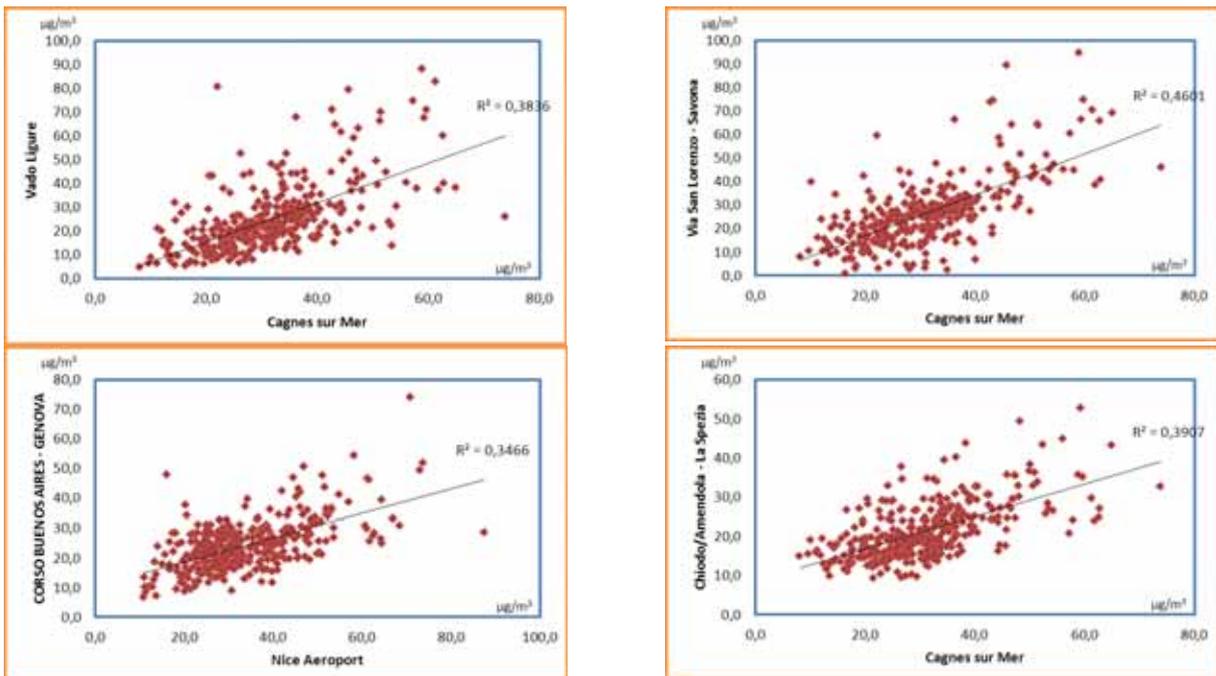


Figure 10 : Corrélations des valeurs en PM₁₀ des stations de mesures des Alpes Maritimes et de Ligurie pour l'année 2008

La Figure 8 montre de bonnes corrélations entre les différentes stations de mesure de PM₁₀ dans les Alpes Maritimes, corrélations moins significatives avec les sites de Contes et de Peillon du fait de la particularité industrielle et alpine de ces deux sites. Les Figure 9 et Figure 10 indiquent une corrélation non négligeable entre les Alpes Maritimes et la Ligurie, depuis Savone jusqu'à la Spézia.

Ces corrélations indiquent un comportement, temporairement, relativement identique entre ces stations de mesure. Ce comportement identique peut se traduire par des mouvements de masses d'air synoptiques, mais aussi par des conditions locales d'émissions et météorologiques similaires et favorables à l'accumulation des particules fines.

4 ANALYSE DES CONCENTRATIONS EN PM₁₀ EN PACA, LIGURIE ET PIEMONTE

A l'aide de la base de données commune aux différents partenaires d'AERA, créée lors de l'action 3.1 du projet AERA, les données de concentrations de PM₁₀ des régions Ligurie, Piémont et PACA ont été analysées pour les années 2007 et 2008. Cette analyse a mis en évidence plusieurs épisodes communs de pollution par les particules PM₁₀ aux trois partenaires en 2007 et 2008 :

- Du 20 au 22 avril 2007 ;
- Du 22 au 26 mai 2007 ;
- Du 27 novembre au 02 décembre 2007 ;
- Du 27 janvier au 2 février 2008 ;
- Du 15 au 18 février 2008 ;
- Du 10 au 19 octobre 2008.

En complément des données de PM₁₀, Air PACA s'est appuyée sur l'outil de modélisation Chimère sur la zone Alcotra, développé lors de l'action 3.3 du projet AERA. Ce modèle permet ainsi de discerner l'évolution temporelle des teneurs en PM₁₀ modélisées sur l'ensemble de la zone Alcotra, et donc d'appuyer les hypothèses de transport des masses d'air pollué.

Afin d'évaluer l'évolution des niveaux en PM₁₀ et analyser les origines et les éventuels transports synoptiques de pollution, Air PACA a utilisé sur 6 stations météorologiques : Avignon, Marignane, Toulon, Nice Aéroport, Monte Settepani, et Torino (Figure 11).

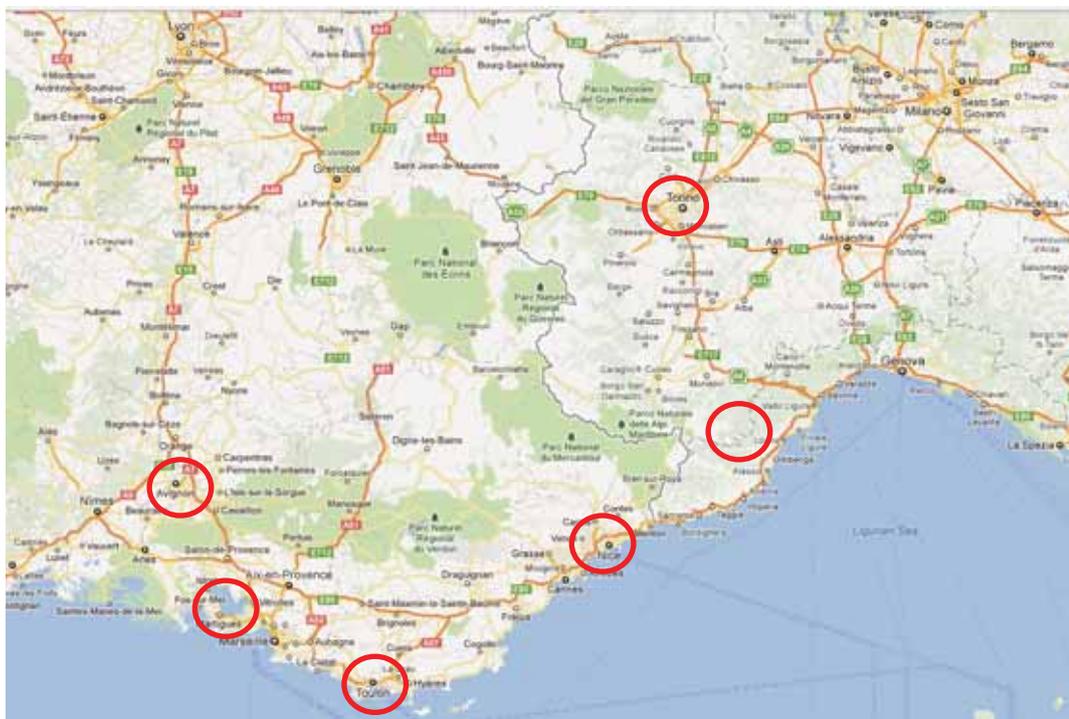


Figure 11 : Localisation des stations météo

L'analyse des données météo a été rapprochée des simulations du modèle météorologique WRF sur la zone Alcotra. Ce dernier permet de spatialiser les données de vents (vitesse et direction). Cette même analyse météo a également été comparée aux calculs de rétrotrajectoires des masses d'air pour les villes de Marseille et de Nice.

De fortes concentrations en PM₁₀ sont majoritairement rencontrées lors de conditions atmosphériques stables et ainsi favorables à l'accumulation des polluants, sur des zones présentant des sources d'émissions de ce polluant (chauffage, transport routier, industrie ...). En complément de ces deux paramètres, émissions et stabilité atmosphérique, un apport de particules fines peut provenir de sources d'émissions beaucoup plus lointaines, du fait du déplacement de masses d'air chargé en ce polluant.

Trois types de transport de polluants atmosphériques ont été rencontrés lors de cette étude sur la zone Alcotra en 2007 et 2008 :

- Un transport en provenance du sud de la Méditerranée et du Sahara,
- Un déplacement des masses d'air de type Est – Ouest autour du Golf de Gênes (littoral des Régions PACA et Ligurie),
- Un déplacement de type Ouest – Est toujours le long du littoral en PACA et Ligurie.

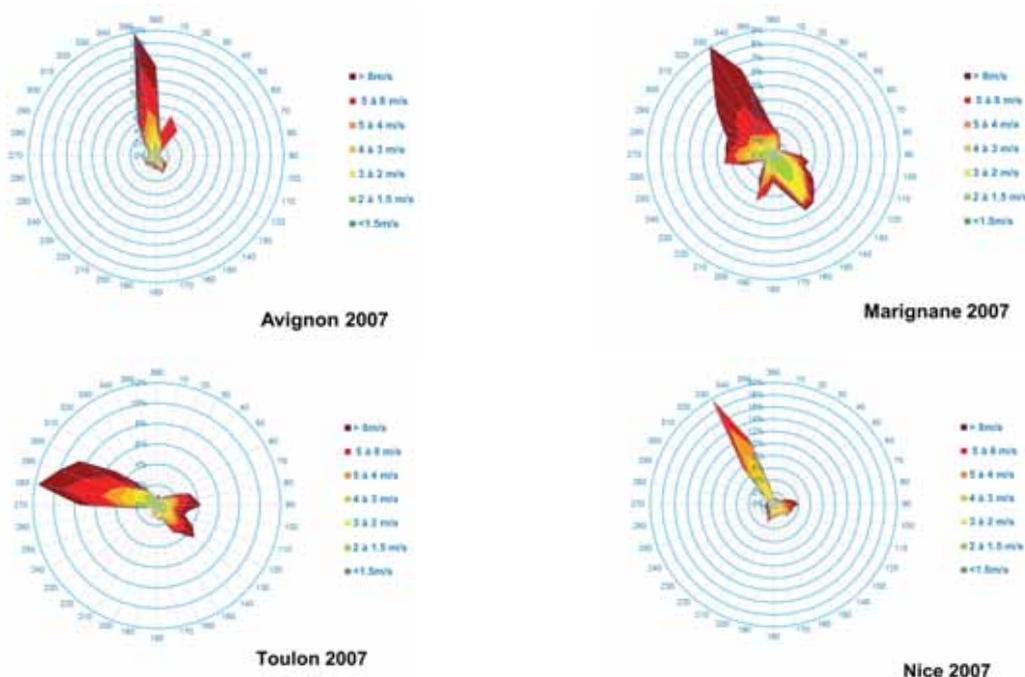
L'apport de particules en provenance du Sahara a été rencontré en mai 2007, avec des masses d'air, se déplaçant du sud vers le Nord, très chargées en particules fines impactant significativement la Région PACA.

Des épisodes de transport de type Est-Ouest ont été rencontrés en 2007 et 2008. Généralement, des masses d'air chargées en particules fines en provenance de la plaine du Pô en Italie se déplacent d'abord vers la Ligurie puis vers le littoral de la Région PACA. Ces phénomènes sont très majoritairement associés à une stabilité atmosphérique sur la plaine du Pô, et un vent synoptique modéré de Nord-Est.

Enfin, le transport Ouest-Est a aussi été rencontré durant cette période, et a pour origine des masses d'air polluées en provenance de la Région PACA qui se déplacent avec un vent modéré d'Ouest vers les Régions Ligurie et Piémont.

4.1 ROSES DEVENT ANNUELLES POUR LES SIX STATIONS METEO

Les roses des vents des six stations météo choisies, pour l'année 2007 sont présentées ci-dessous afin de présenter les régimes de vent, en direction et en force, majoritaires rencontrés sur la zone d'étude.



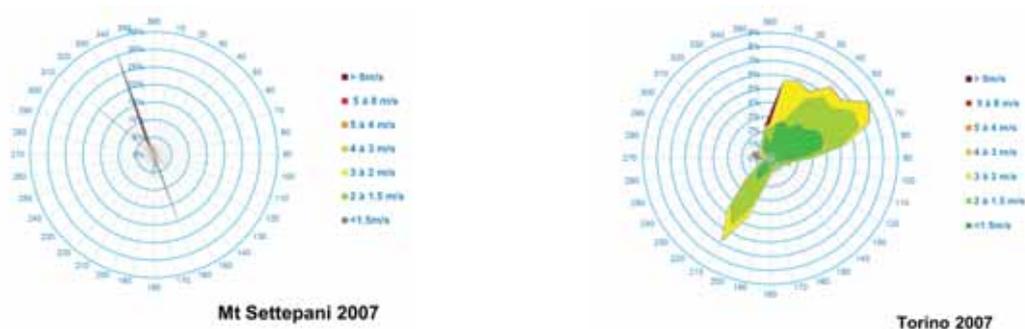


Figure 12 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin, pour l'année 2007

La rose des vents de la station météo d'Avignon indique des vents de tendance très majoritaires Nord assez fort (Mistral), ainsi que quelques épisodes de vent du sud. A Marignane, les vents les plus fréquents sont de direction Nord-Ouest (Mistral), et Sud-Est (Marin). A Toulon, le Mistral ; majoritaire, est de tendance Ouest, Nord-Ouest, et le vent marin Est, voire Sud-Est. La station météo de Nice montre des vents majoritairement de tendance Nord, Nord/Ouest, avec des coups de vent, minoritaires mais assez fort de direction Est. En Italie, sur la station de Monte Settepani, les vents sont de direction Nord-Ouest et sud-Est. Les données météo de la station de Monte Settepani concentrent majoritairement 3 directions. Les données météo de Turin montrent des vents de faibles intensités, orientés de tendance Nord-Est ou Sud-Ouest.

Ces roses des vents montrent ainsi que les zones situées sur l'axe de la vallée du Rhône et jusqu'au département du Var, sont fortement impactées par deux régimes de vent majoritaire : le Mistral et le vent marin. Plus à l'Est, dans les Alpes Maritimes, les vents sont plus aléatoires en termes de direction et surtout plus faible. En Ligurie, les vents sont également marqués « Nord – Sud », alors que sur la plaine du Pô, la climatologie montre des vents beaucoup plus faibles et de diverses directions.

4.2 EPISODES DE POLLUTION PAR LES PM₁₀ EN FRANCE ET EN ITALIE EN 2007 ET 2008

L'analyse ci-après comprend une étude précise des données météorologiques rencontrées, des stations de mesures météorologiques et du modèle WRF sur la zone Alcotra afin de comprendre la dynamique atmosphérique rencontrée durant ces épisodes. L'étude est complétée par une analyse des données de concentration des PM₁₀ en PACA, Ligurie et Piémont : moyennes journalières et moyenne horaire glissante sur 24h, afin d'évaluer la dynamique temporelle des concentrations en PM₁₀, associée par l'outil de modélisation déterministe (modèle Chimère sur la zone Alcotra) permettant un visuel fin de cette dynamique.

4.2.1 EPISODE D'AVRIL 2007

4.2.1.1 ANALYSE DES DONNEES METEO

Les six roses des vents pour la période considérée sont présentées sur la figure suivante. Ces dernières montrent des conditions atmosphériques stables avec des vents faibles, de direction généralement ouest à l'ouest de la zone, et sans réelle direction définie ailleurs.

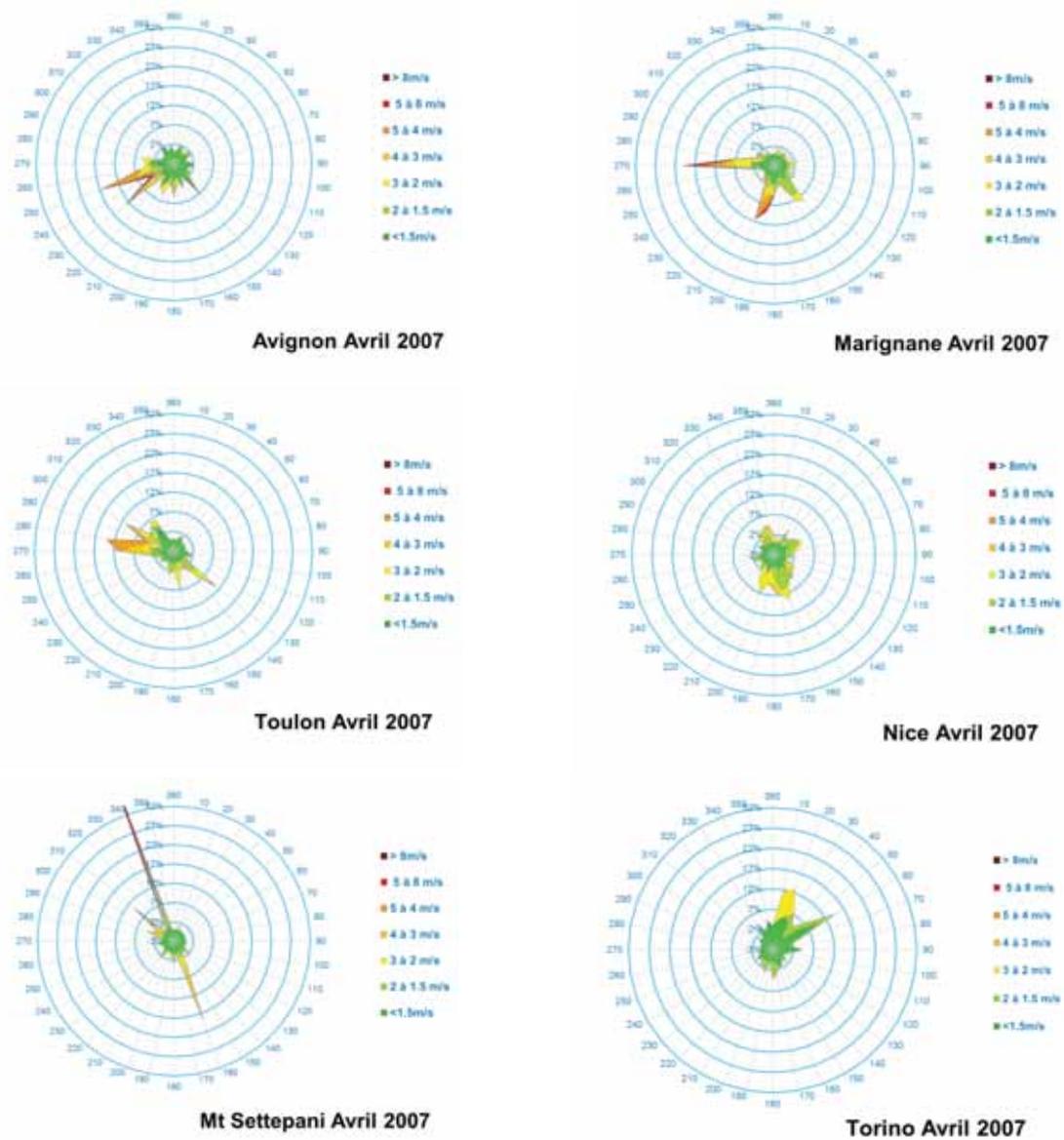


Figure 13 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 20 au 22 avril 2007

L'analyse temporelle des données météorologique (Figure 14) indique des profils assez similaires pour la vitesse et direction du vent et la température. Les régimes de vent sont plus faibles et présentent une signature de type brise de mer sur les sites proches de la méditerranée. En Italie, le vent est plus soutenu sur les hauteurs de la Ligurie de tendance Nord en première partie, alors que les vents sont très faibles sans réelle direction à Turin. Les températures sont douces et assez homogènes en France et sur la plaine du Pô, plus fraîches au Mont Settepani.

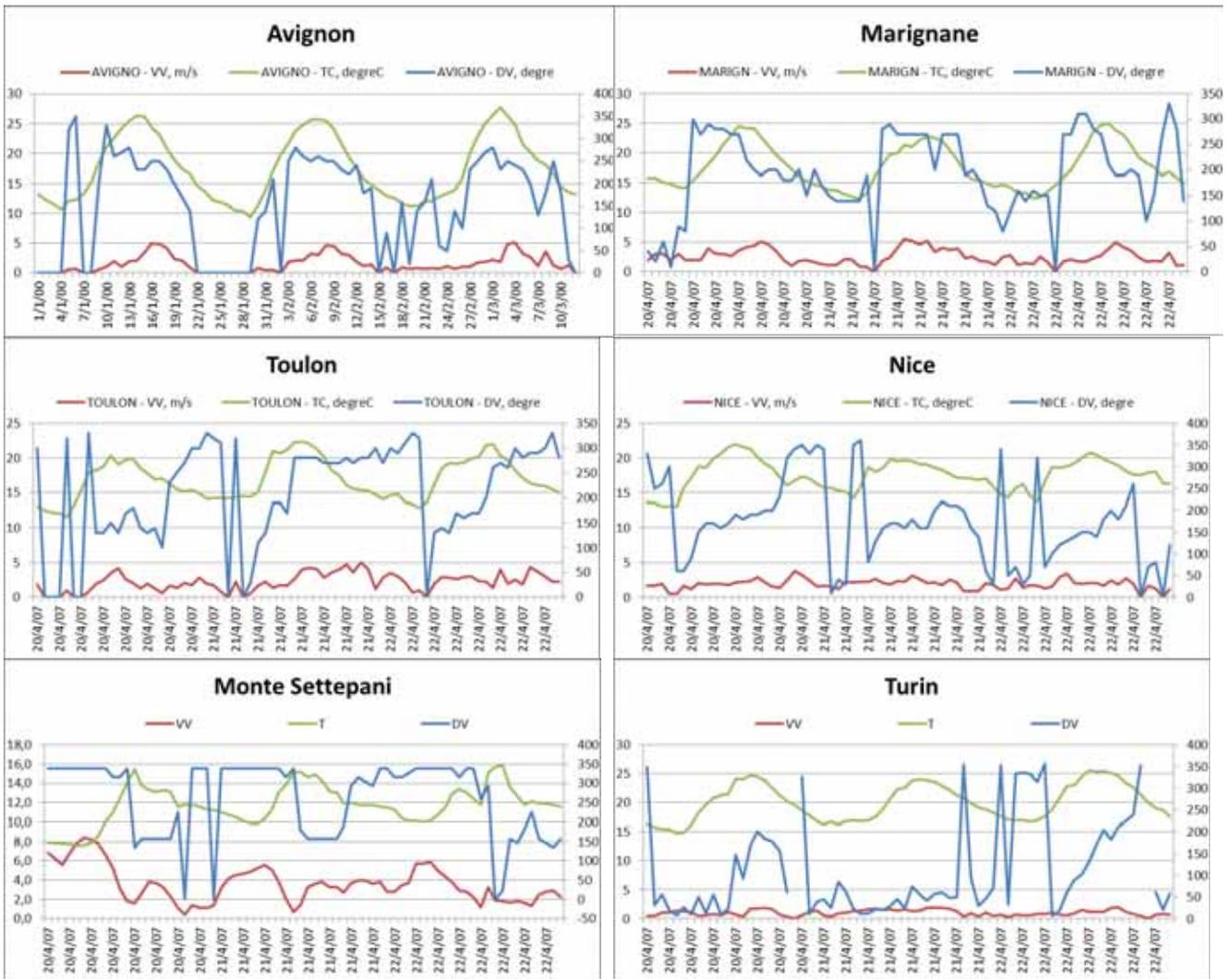
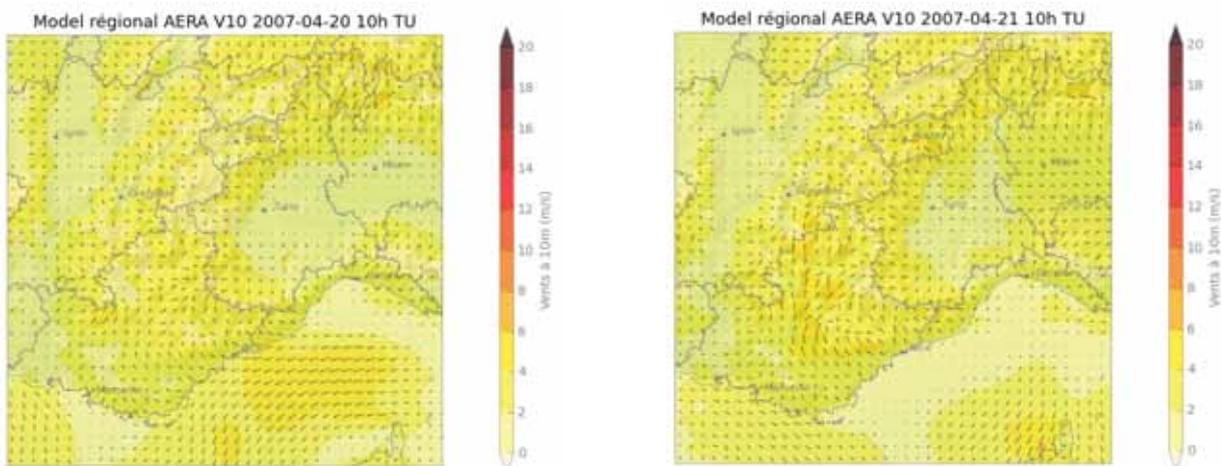


Figure 14 : Données météo à Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 20 au 22 avril 2007

Les données du modèle WRF ci-après décrivent bien des conditions atmosphériques très stables sur la zone, conditions très favorables à l'accumulation des polluants. Les rétrotrajectoires de Nice confirment ces conditions très stables.



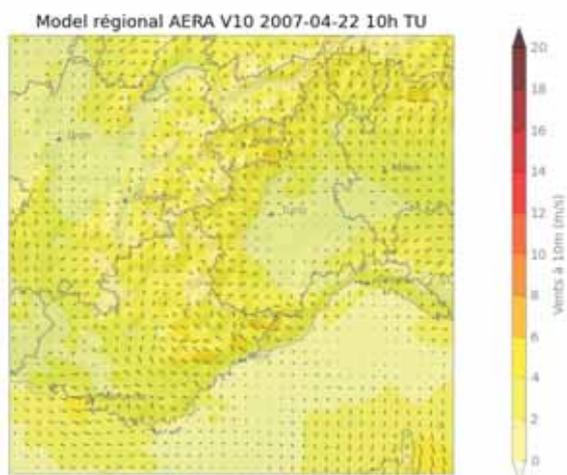


Figure 15 : Données météo WRF pour la période du 20 au 22 avril 2007

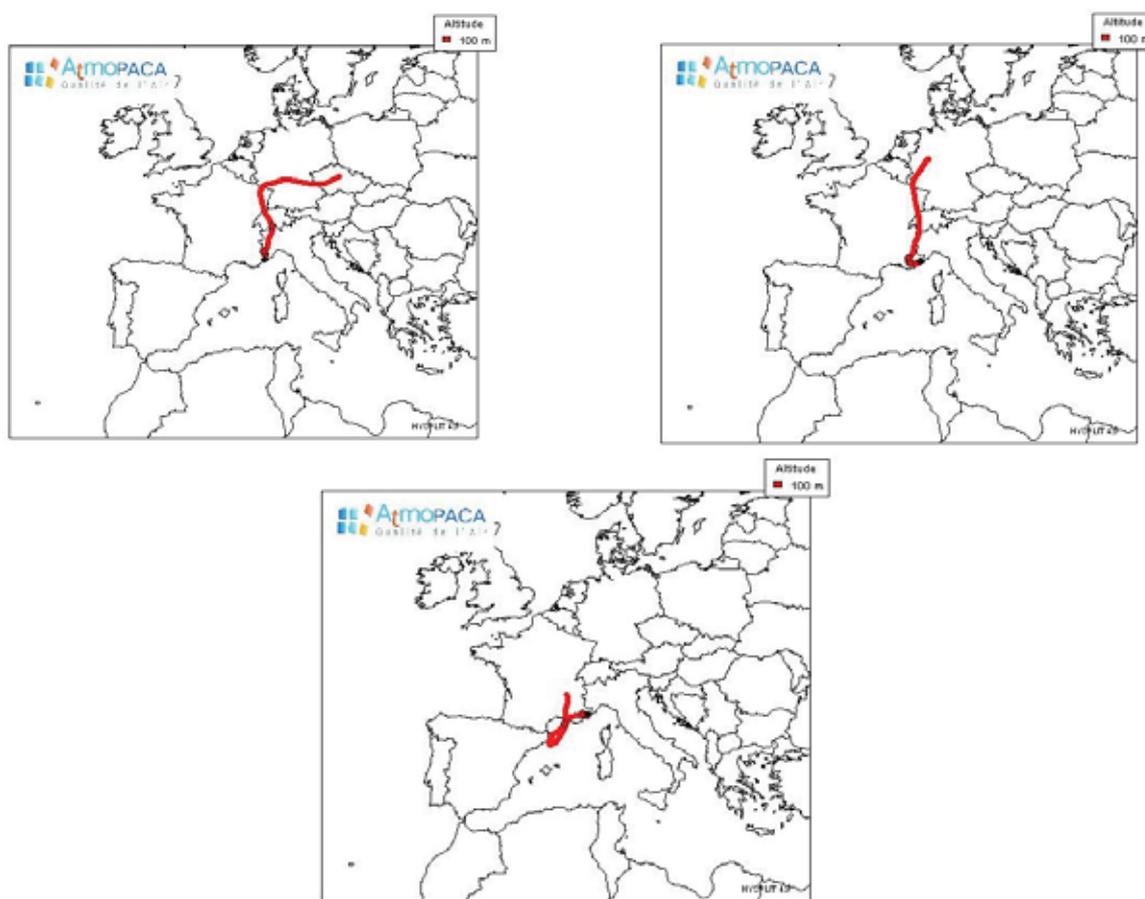


Figure 16 : Rétrotrajectoire à Nice pour les journées du 20 au 23 avril 2007

4.2.1.2 EVOLUTION DES NIVEAUX EN PM₁₀ MESURES ET SIMULES

La figure suivante montre l'évolution de la moyenne journalière en PM₁₀ sur le domaine d'étude pour les stations de mesures qui enregistrent des valeurs supérieures à 50 µg/m³. Les concentrations en PM₁₀ varient peu dans le temps, elles sont élevées autour de la Plaine du Pô et le long littoral méditerranéen durant l'épisode.

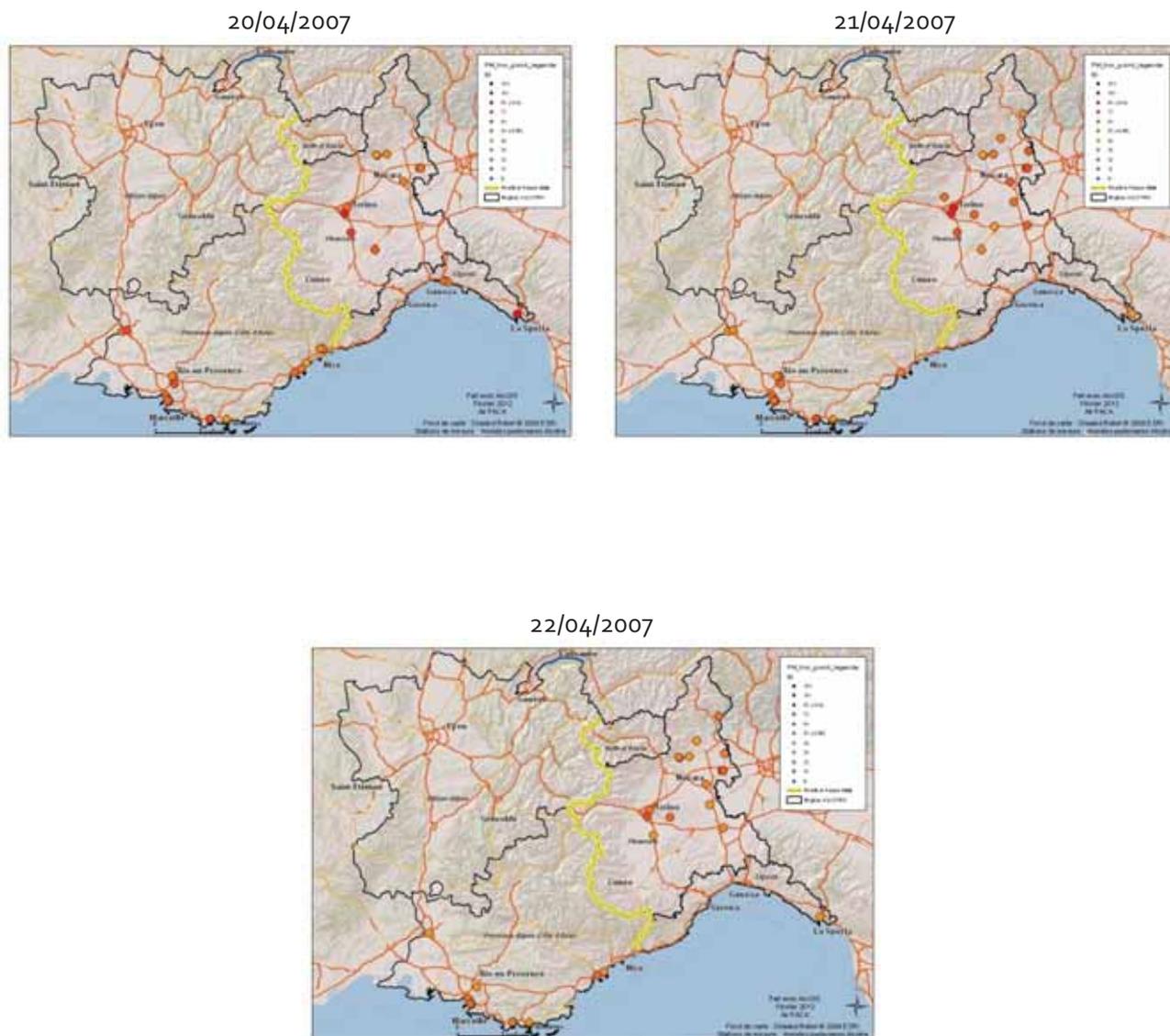


Figure 17 : Cartographie des moyennes journalières des PM₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont

La figure suivante montre les moyennes glissantes sur 24h des concentrations horaires de PM₁₀ en PACA et en Italie. L'évolution temporelle en pic est peu marquée sur la période entre les différents sites de mesure. Cette évolution traduit une dynamique commune des concentrations de PM₁₀ sur les différents sites de mesures de la zone d'étude. Cette hypothèse est appuyée par les cartographies issues du modèle Alcotra présenté sur la Figure 19.

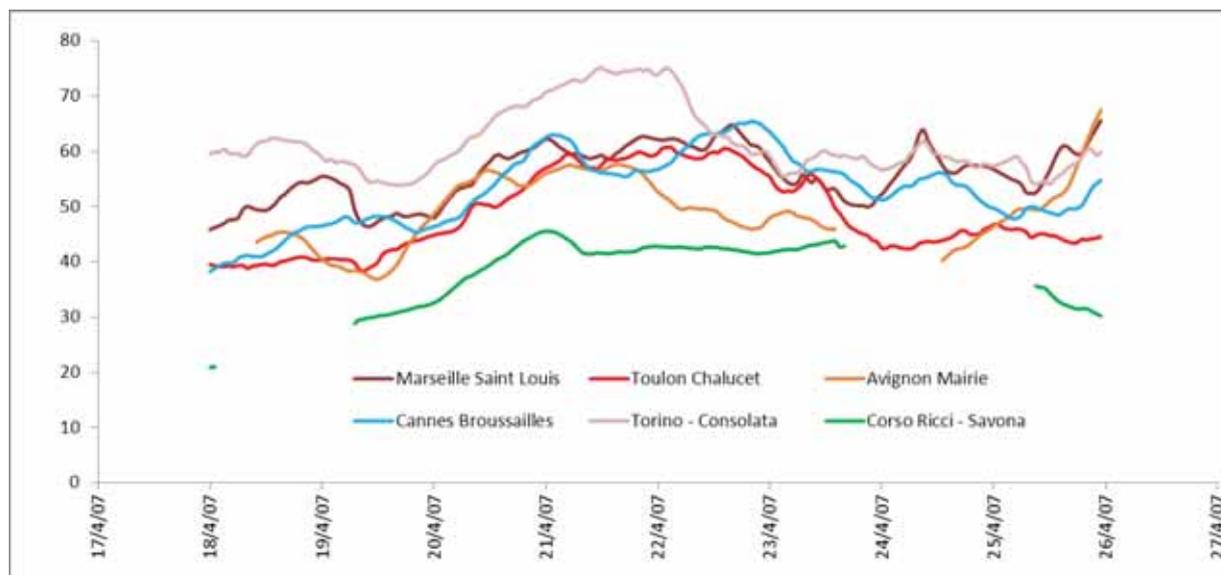


Figure 18 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 20 au 22 avril 2007

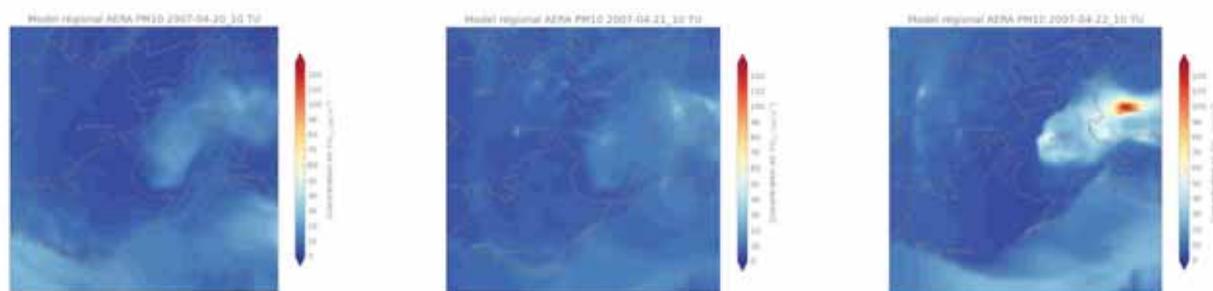


Figure 19 : Cartographie des moyennes horaires des PM₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 20 au 23 avril 2007

L'analyse des données de mesures de concentrations de PM₁₀ montre un épisode de pollution par les PM₁₀ sur une période de plusieurs jours. Cet épisode est peu visible à travers le modèle de dispersion Chimère de la zone Alcotra. Néanmoins, les données mesurées par les stations de mesure, complétées par les données de météorologie montre une tendance synoptique et commune aux trois Régions de la zone Alcotra, à savoir des conditions atmosphériques très stables et favorables à l'accumulation locales des polluants.

4.2.2 ÉPISODE DE MAI 2007

4.2.2.1 ANALYSE DES DONNÉES METEO

Les six roses des vents pour la période considérée présentent des vents de tendance sud assez forts sur une courte période le long de la vallée du Rhône, mais aussi à Toulon et en Ligurie. La station de mesures de Nice montre aussi ce régime de sud, moins marqué, alors que les vents sont plus faibles à Turin, sans directions privilégiées.

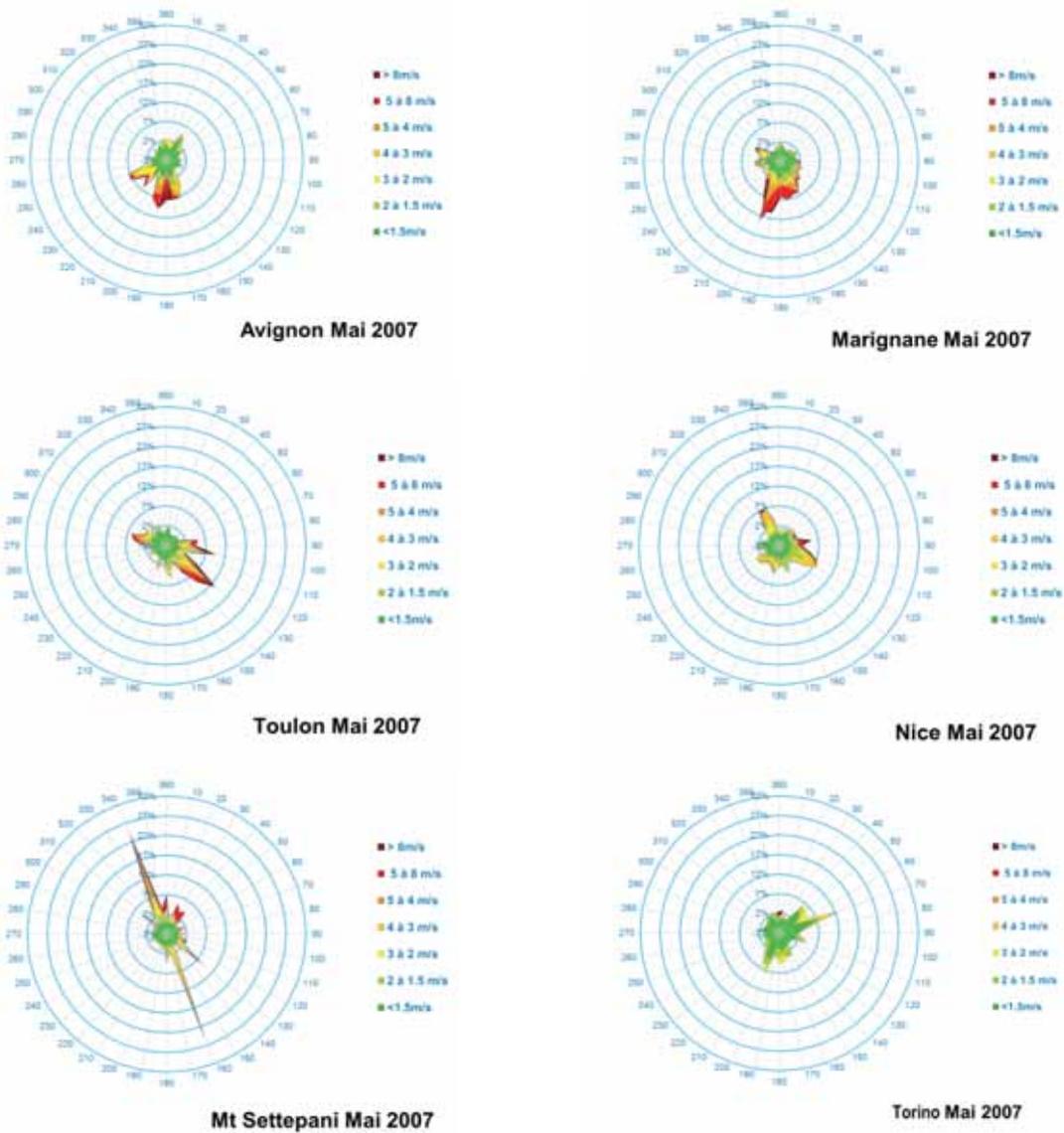
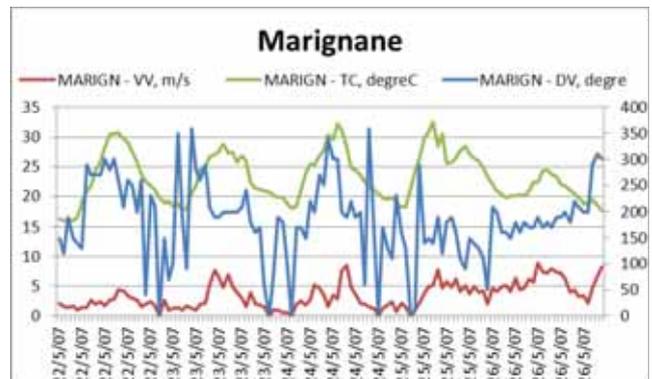
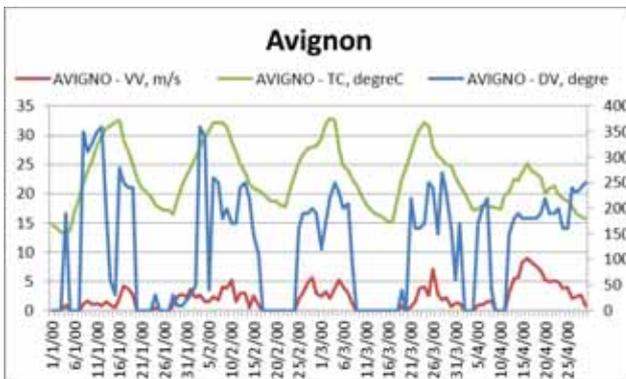


Figure 20 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 22 au 26 mai 2007

L'analyse temporelle des données météorologique indique des profils assez similaires avec un vent de direction Sud qui forçit surtout en fin d'épisode à Avignon, Marignane, Toulon et Nice. Les données de Ligurie et de Turin ne présentent pas réellement de régimes synoptiques bien marqués. Les températures sont aussi élevées en PACA avec une légère baisse en fin d'épisode.



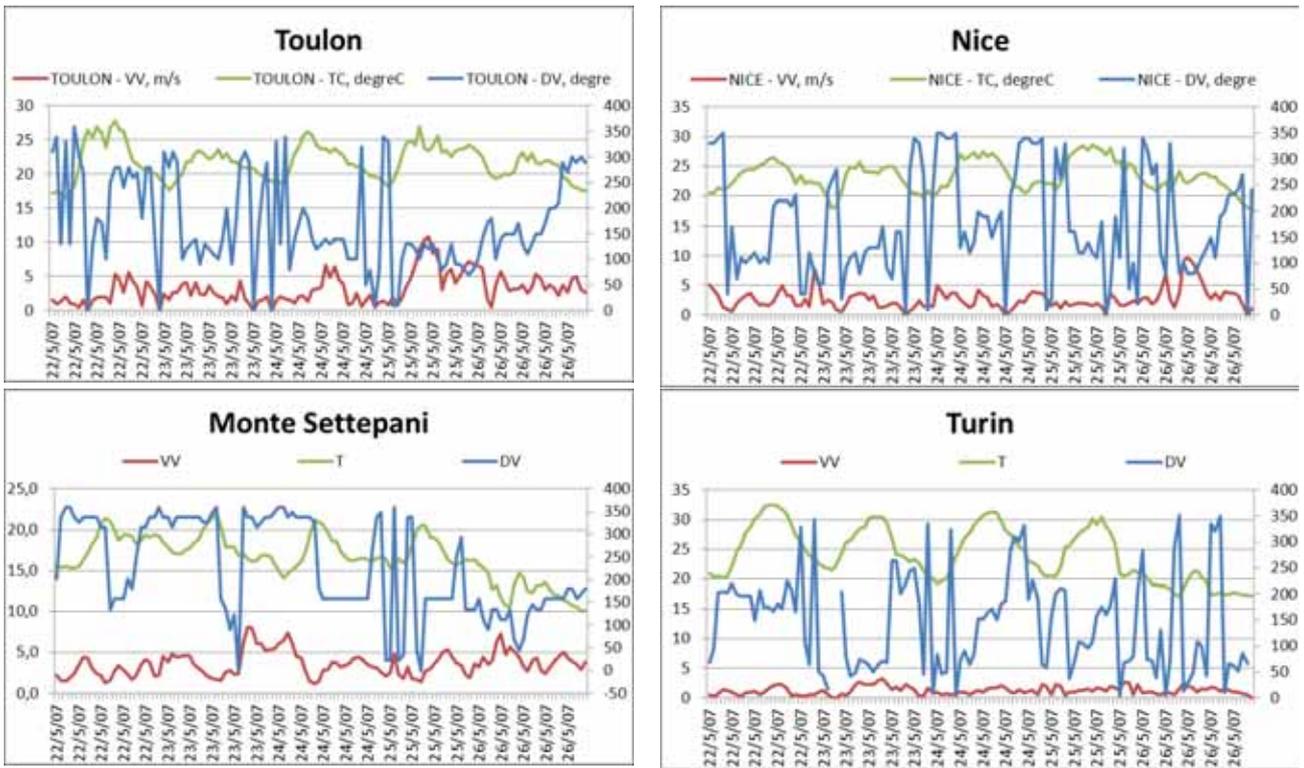
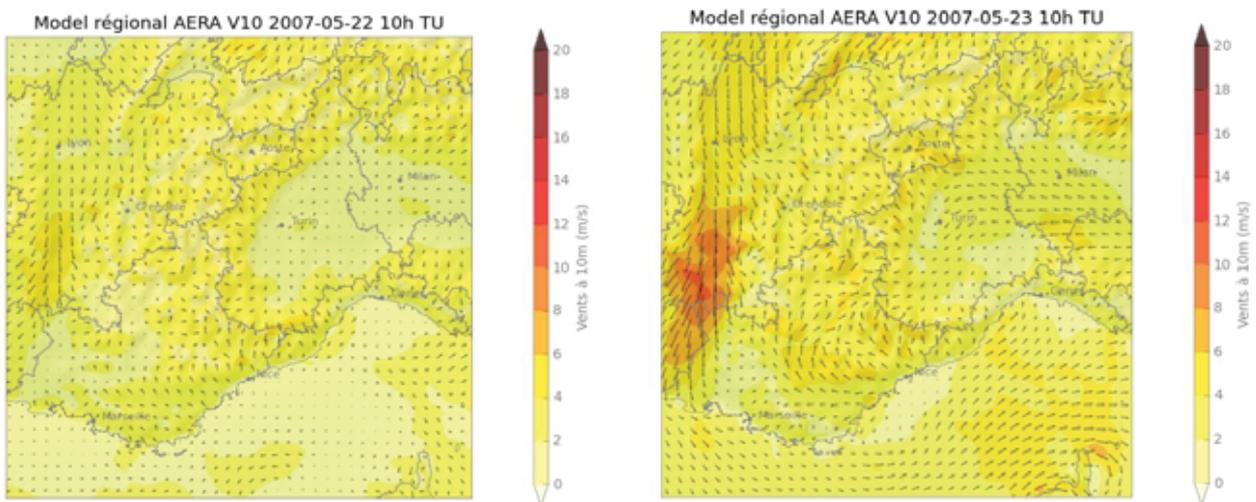


Figure 21 : Donnée météo à Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 22 au 26 mai 2007

Les données du modèle WRF ci-après confirment les conditions atmosphériques très stables sur la zone en début d'épisode, puis l'arrivée du vent de tendance Sud en fin d'épisode. Enfin, les rétrotrajectoires de Nice et de Marseille montrent des masses d'air en provenance du Sud de la Méditerranée en fin d'épisode, le 26 mai.



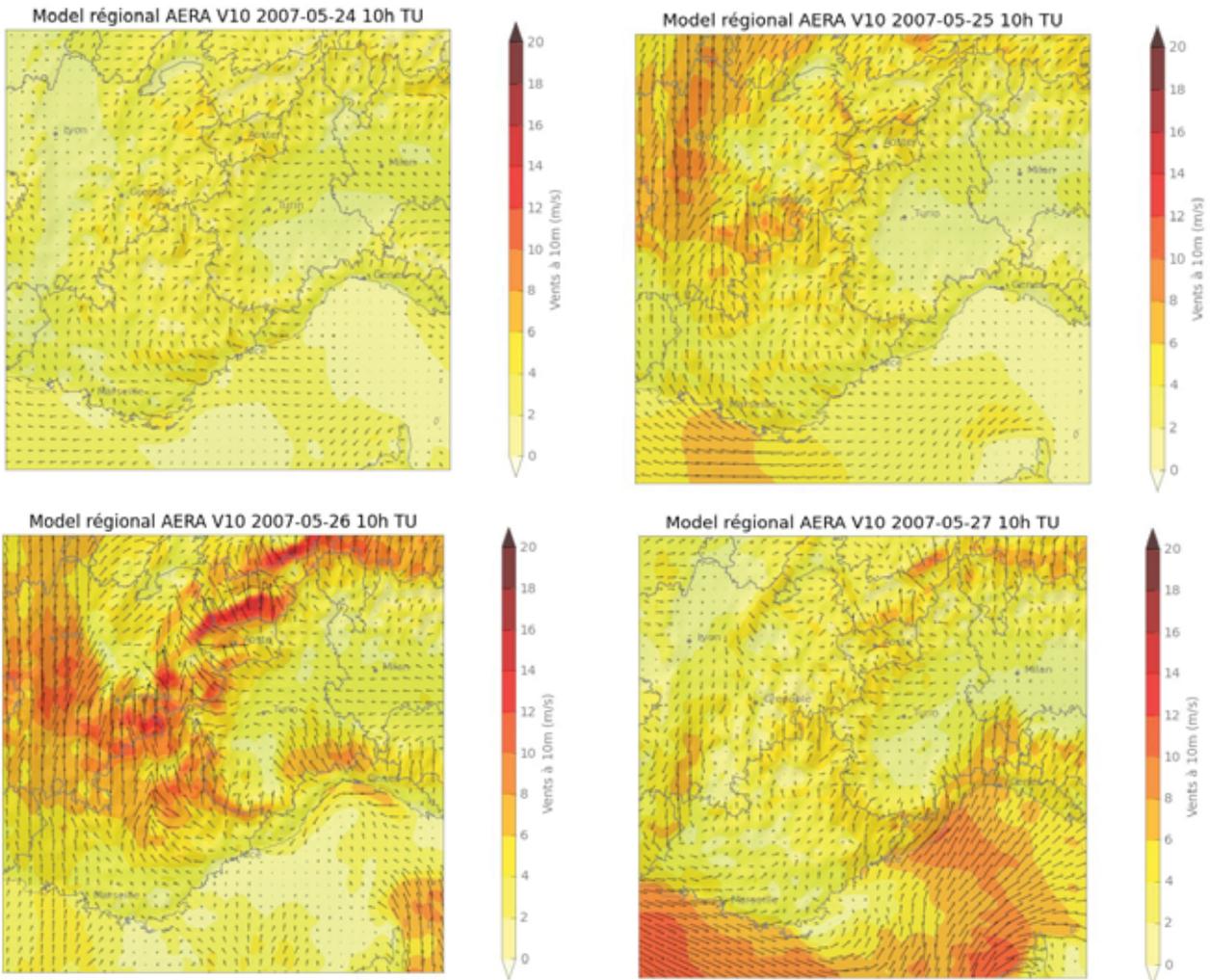


Figure 22 : Données météo WRF pour la période du 22 au 27 mai 2007

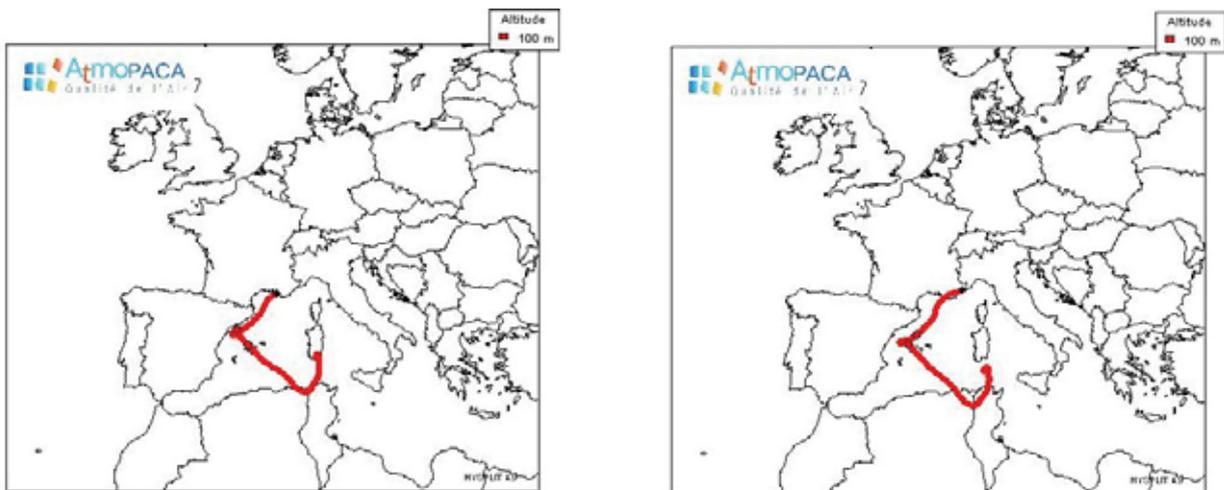


Figure 23 : Rétrotrajectoire à Nice et à Marseille pour la journée du 26 mai 2007

4.2.2.2 EVOLUTION DES NIVEAUX EN PM₁₀ MESURES ET SIMULES

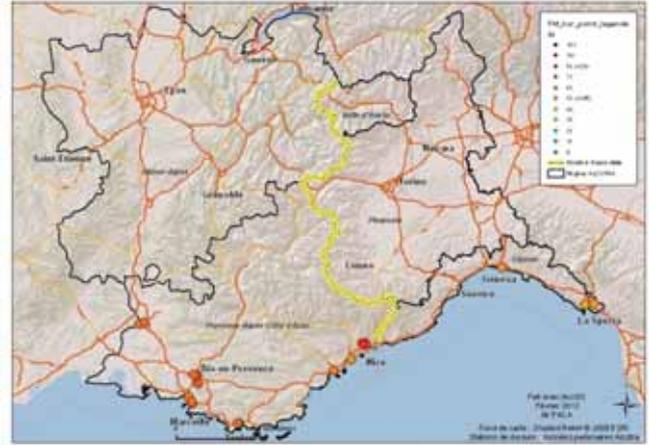
Les évolutions de la moyenne journalière en PM₁₀ sur le domaine d'étude pour les stations qui dépassent la valeur limite de 50 µg/m³ varient en fonction des sites de mesures et de la période considérée. Cet épisode de pollution par les particules fines est moins marqué en région Piémont et se concentre plus sur le

sud de la région PACA. Les concentrations sont globalement élevées le long du littoral vers la fin de l'épisode, notamment du 24 et 26 mai 2007. Les mesures indiquent une baisse significative des niveaux le 27 mai 2007 sans aucune valeur journalière supérieure à 50 µg/m³.

22/05/2007



23/05/2007



24/05/2007



25/05/2007



26/05/2007



Figure 24 : Cartographie des moyennes journalières des PM₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m³ pour la période du 22 au 26 mai 2007

La Figure 25 des moyennes glissantes sur 24h des concentrations horaires de PM₁₀ en PACA et en Italie montre une évolution globalement identique sur l'ensemble des sites, avec un pic marqué sur toutes les stations de mesure les 25 et 26 mai 2007.

Cette évolution traduit vraisemblablement un apport en particules commun aux différents sites de mesure. Cette masse d'air, en provenant du sud de la méditerranée (Sahara), est appuyée par les rétrotrajectoires de Nice et de Marseille en fin d'épisode. Les cartes de modélisation présentées ci-après confirment cet épisode de transport de particules fines en provenance du Sud de la Méditerranée. La modélisation présente par contre un épisode débutant le 25 mai, pour s'estomper le 28 mai au matin, alors que les mesures aux stations fixes ont marqué la fin de l'épisode dans la nuit du 26 mai 2007.

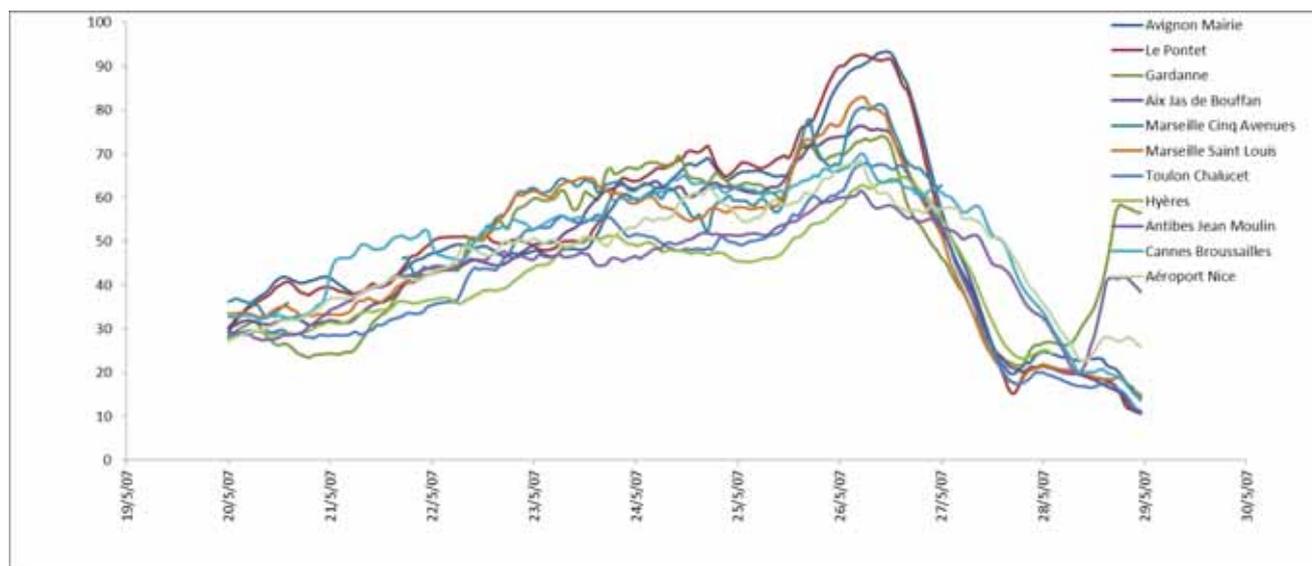


Figure 25 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 22 au 26 mai 2007

L'analyse des différentes données de mesures de concentrations de PM₁₀, météorologiques, et de la modélisation (modèle météo et modèle de dispersion atmosphérique) montre un épisode de pollution par les PM₁₀ sur une période de plusieurs jours communs aux différents sites de mesure proche du littoral méditerranéen.

Cet épisode présente plusieurs origines, la météorologie d'une part avec des conditions atmosphériques stables favorables à l'accumulation des polluants, mais surtout une source liée à un transport de polluants atmosphériques. Ce transport de pollution, mis en évidence par la mesure et la modélisation, a pour origine une masse d'air chargée en particules fines en provenance du Sud de la Méditerranée (désert du Sahara).

Cet apport extérieur en particules fines a donc induit un épisode de pollution avec des dépassements des valeurs réglementaires sur la quasi-totalité des stations de mesure situées le long du littoral de la Région PACA.

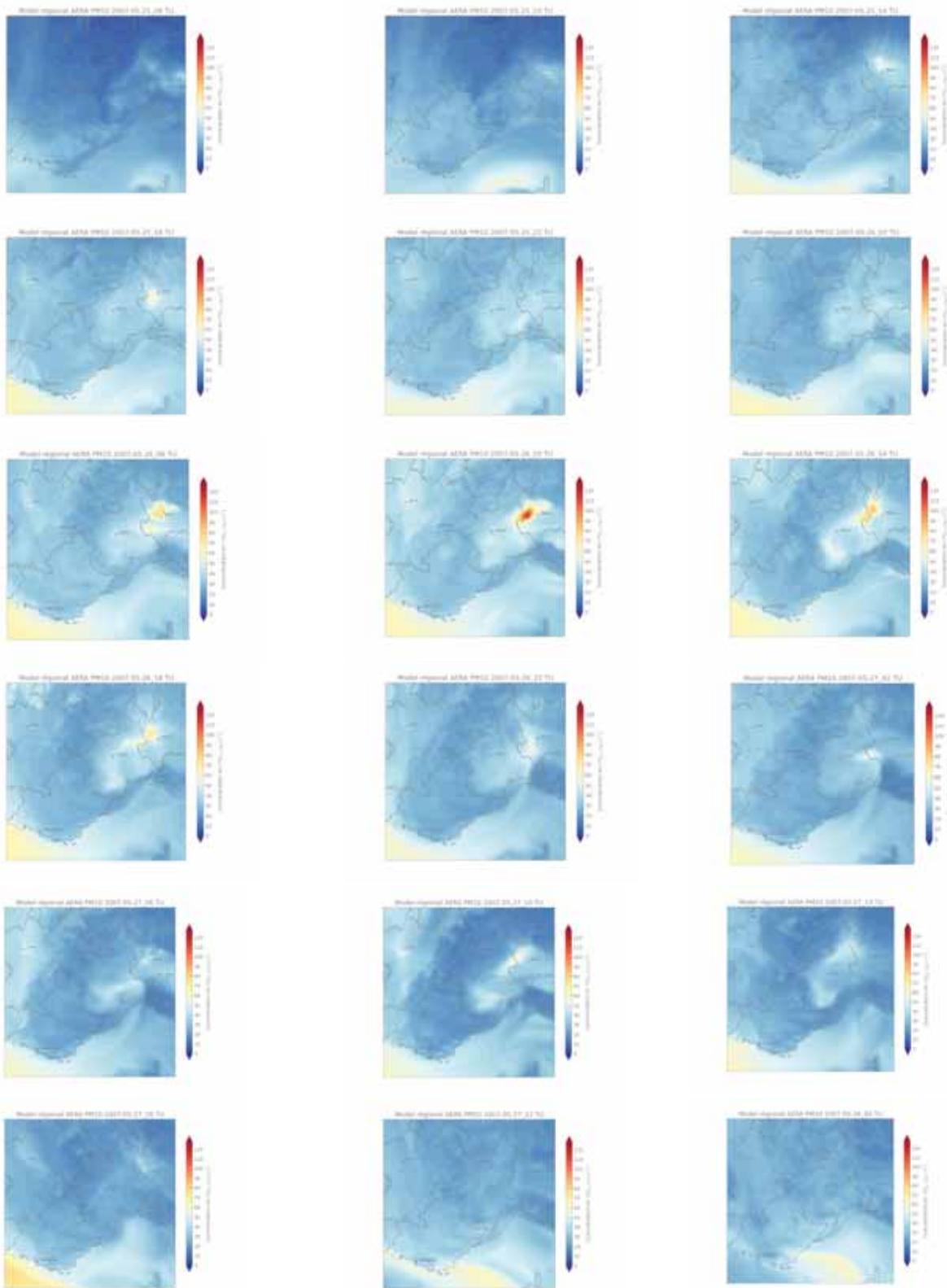


Figure 26 : Cartographie des moyennes horaires des PM₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 25 mai à 06h (haut à gauche) au 28 mai 2007 à 00h (bas à droite)

4.2.3 EPISODE DE NOVEMBRE 2007

4.2.3.1 ANALYSE DES DONNEES METEO

Les six roses de vent pour la période considérée sont marquées par le « Mistral » en PACA jusqu'à Nice : Nord à Nord-Ouest dans la vallée du Rhône, Ouest dans le Var (Toulon) et Nord-Ouest à Nice. En Italie, les vents sont forts de tendance Nord et Sud-Est sur les hauteurs de la Ligurie, et faibles de directions variables dans la plaine du Pô à Turin.

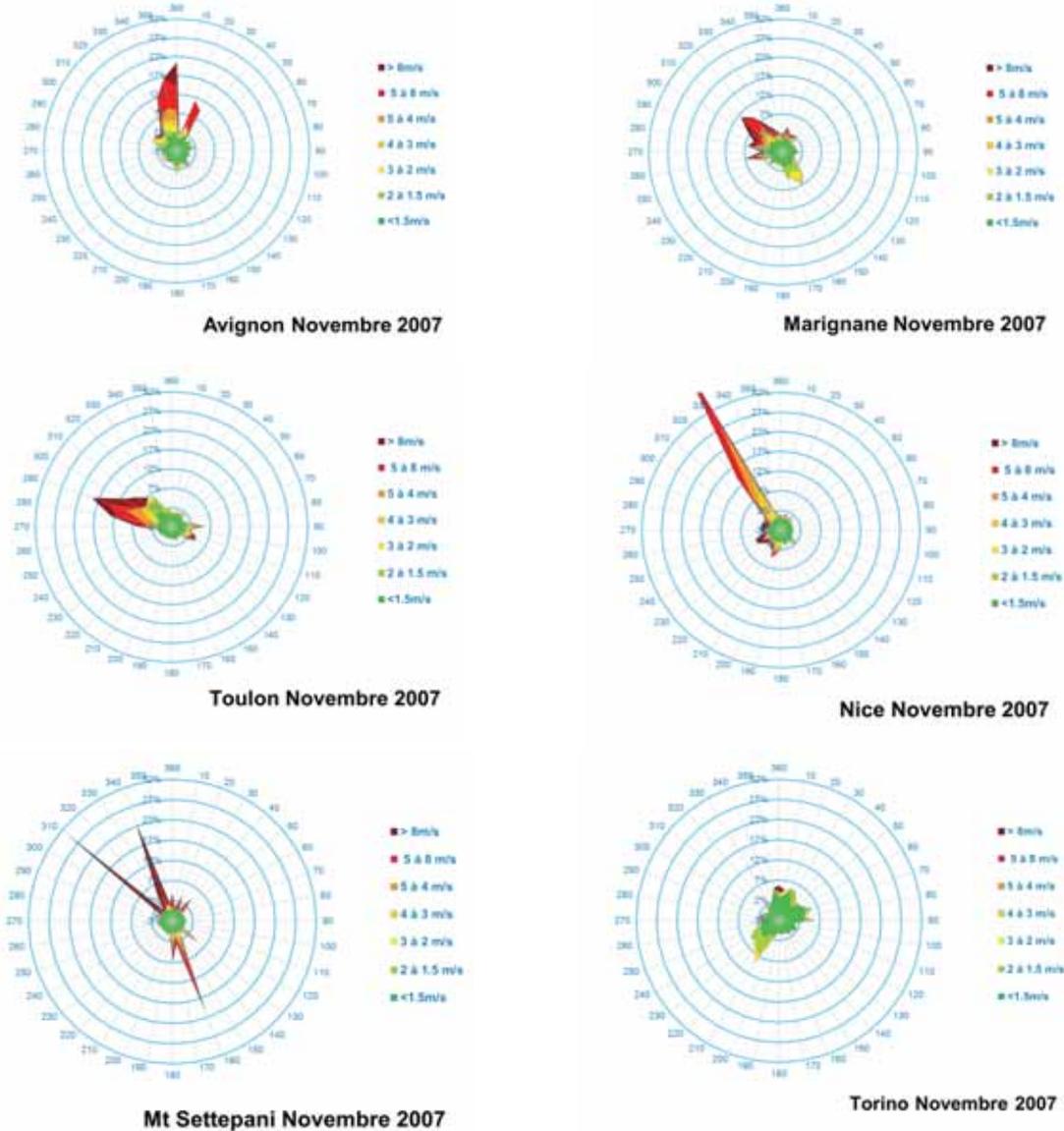


Figure 27 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007

L'analyse temporelle des données météorologiques montre des profils assez disparates en fonctions des stations de mesure. Le Mistral modéré est présent dans la vallée du Rhône en milieu et à la fin de l'épisode. A Toulon, le Mistral se lève en fin d'épisode avec des vitesses de vent modérées. La station de Nice montre des régimes de brises marines puis un vent modéré de nord-Ouest en fin d'épisode. Au Mont Settepani, le vent est de direction Nord en début et fin d'épisode, de vitesse modérée, et sud et plus faible en fin d'épisode. A Turin, dans la plaine du Pô, le vent est faible sans directions définies.

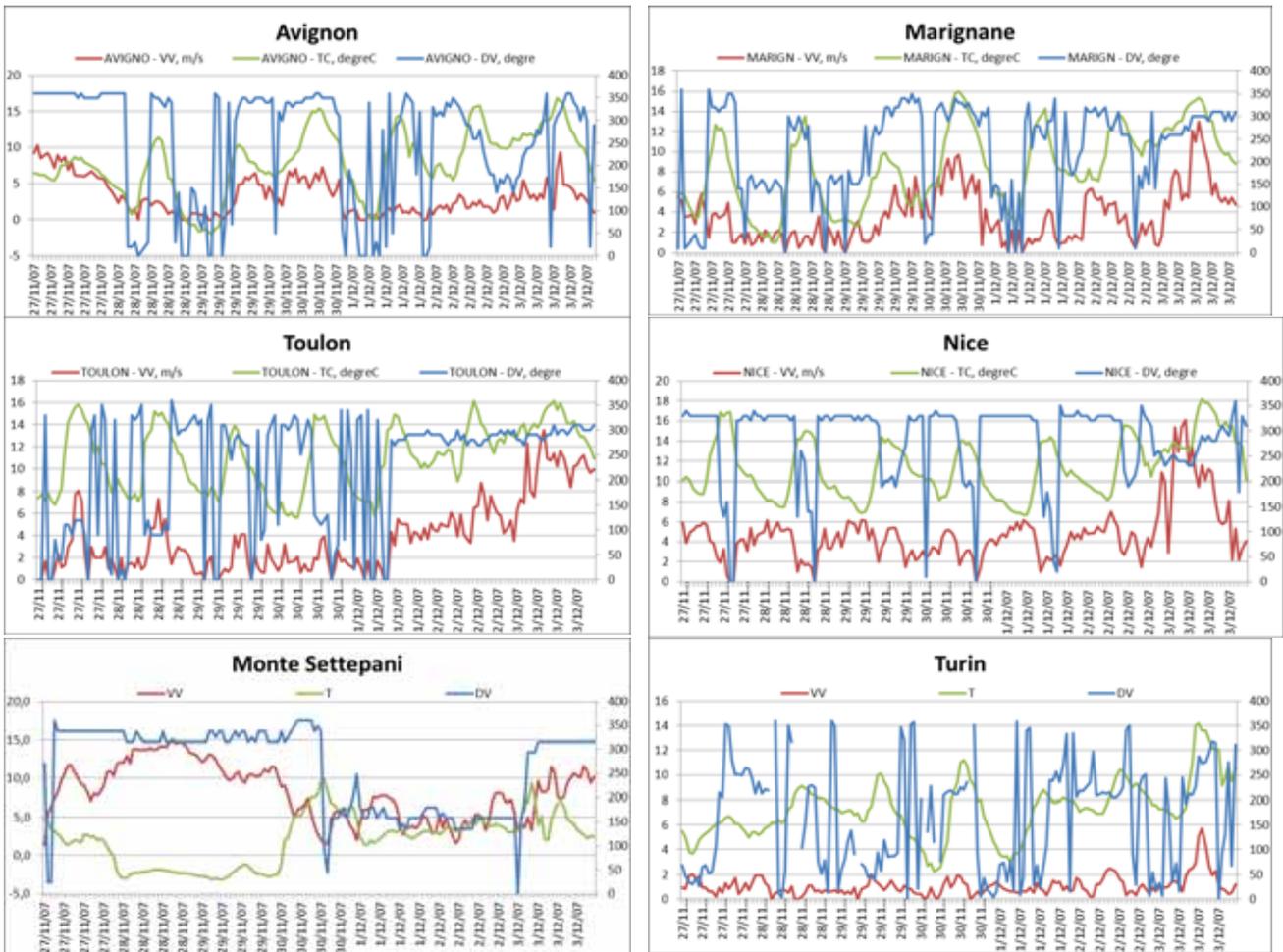


Figure 28 : Données météo à Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007

Les données du modèle WRF ci-après montrent des conditions météorologiques, en termes de vent (vitesse et direction) assez fluctuantes, avec un régime de nord sur la vallée du Rhône et de Nord-Est sur le littoral en début d'épisode, puis un régime d'est plus faible, puis d'ouest, Sud-Ouest, et enfin un Mistral soutenu en fin d'épisode. Les rétrotrajectoires de Nice et de Marseille montrent des masses d'air provenant de l'Est, notamment de la plaine du Pô en passant par la Ligurie en début d'épisode lorsque le vent est orienté Est.

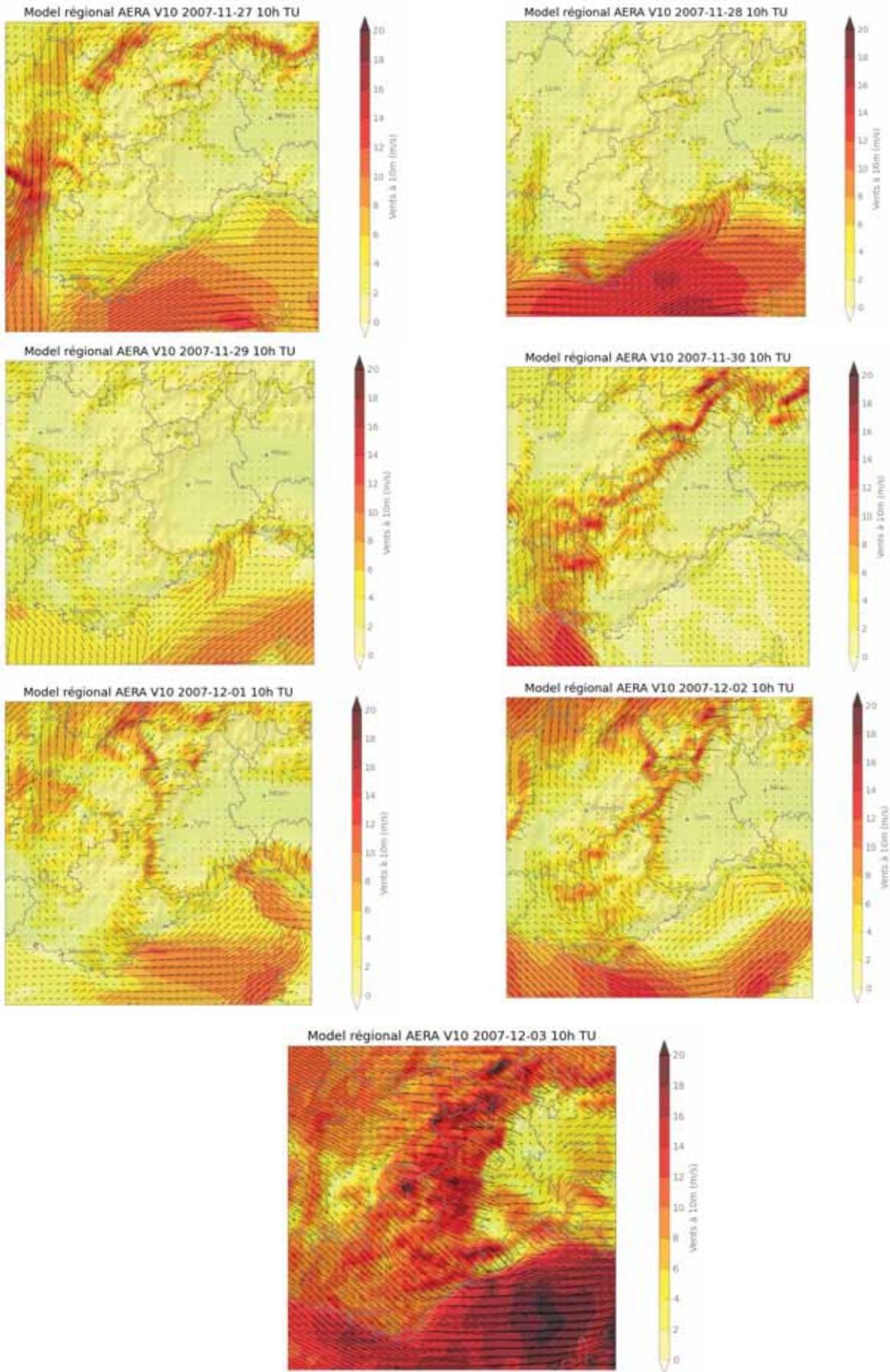


Figure 29 : Données météo WRF pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007

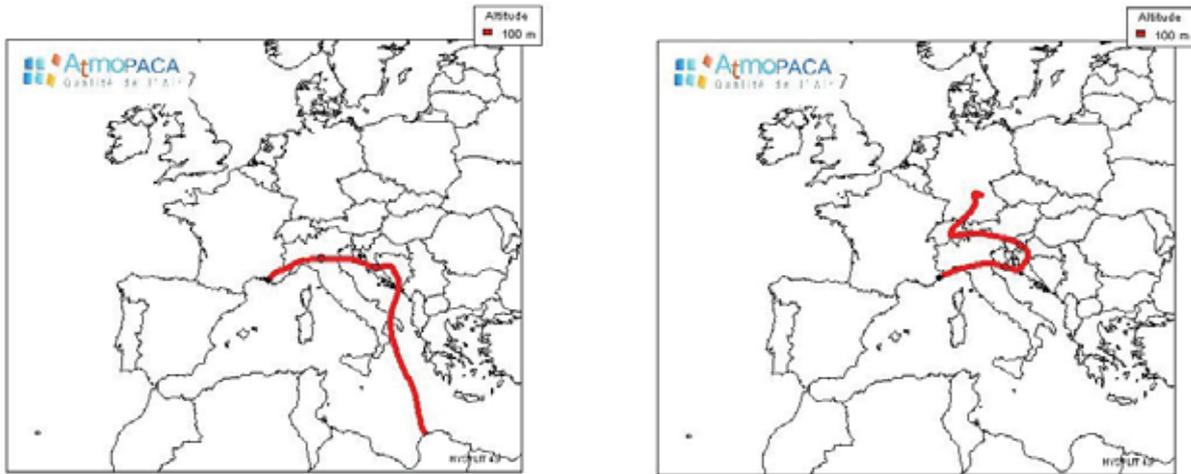


Figure 30 : Rétrotrajectoires à Nice et Marseille pour les journées du 29 novembre (Marseille) et du 28 novembre 2007 (Nice)

4.2.3.2 EVOLUTION DES NIVEAUX EN PM₁₀ MESURES ET SIMULES

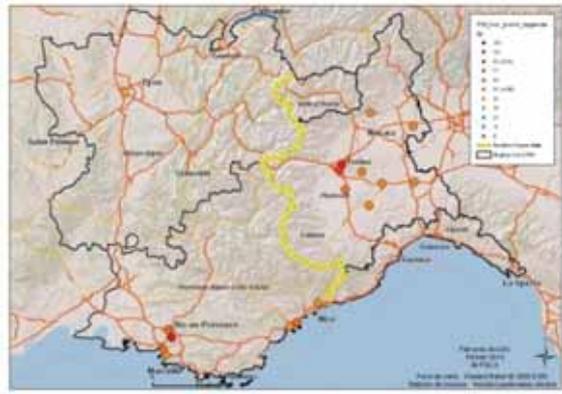
La figure suivante montre l'évolution de la moyenne journalière en PM₁₀ sur le domaine d'étude pour les stations qui enregistrent des valeurs supérieures à 50 µg/m³.

Les concentrations en PM₁₀ sont fortes sur l'ensemble de la période considérée dans la Plaine du Pô, du fait des conditions atmosphériques stable et favorable à l'accumulation des teneurs en PM₁₀. Elles sont assez élevées en début d'épisode, dans l'Est de la Région PACA au début puis vers l'ouest de la Région ensuite. Enfin, les teneurs en PM₁₀ diminuent en PACA et Ligurie en fin d'épisode suite à la force du vent qui favorise la dispersion des PM₁₀.

27/11/2007



28/11/2007



29/11/2007

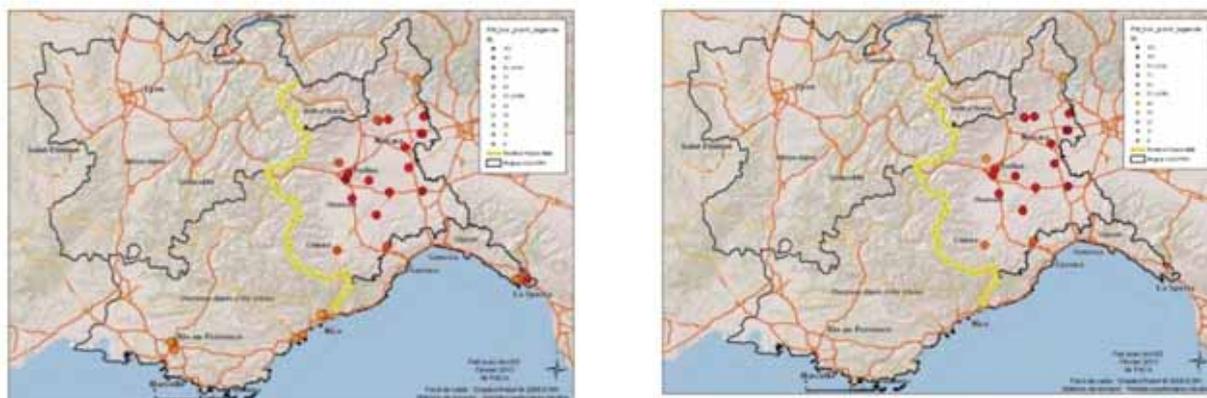


30/11/2007



01/12/2007

02/12/2007



03/12/2007



Figure 31 : Cartographie des moyennes journalières des PM₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m³ pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007

La figure des moyennes glissantes sur 24h des concentrations horaires de PM₁₀ en PACA et en Italie montre une évolution temporelle en pics décalés. Le premier pic est enregistré en Italie, puis dans les Alpes Maritimes et dans les Bouches du Rhône. Cette même figure montre un nouveau pic qui se dessine en fin d'épisode sur la zone de la plaine du Pô en fin d'épisode. Cette évolution, associée aux régimes de vent, traduit un déplacement des masses d'air avec donc un transport des particules fines de l'Est vers l'Ouest. Cette hypothèse est appuyée par les rétrotrajectoire de Nice et Marseille qui confirment que les masses proviennent, en début d'épisode, d'Italie. Les cartes de modélisation présentées ci-après confirment ce transport de PM₁₀ d'Est en Ouest. .

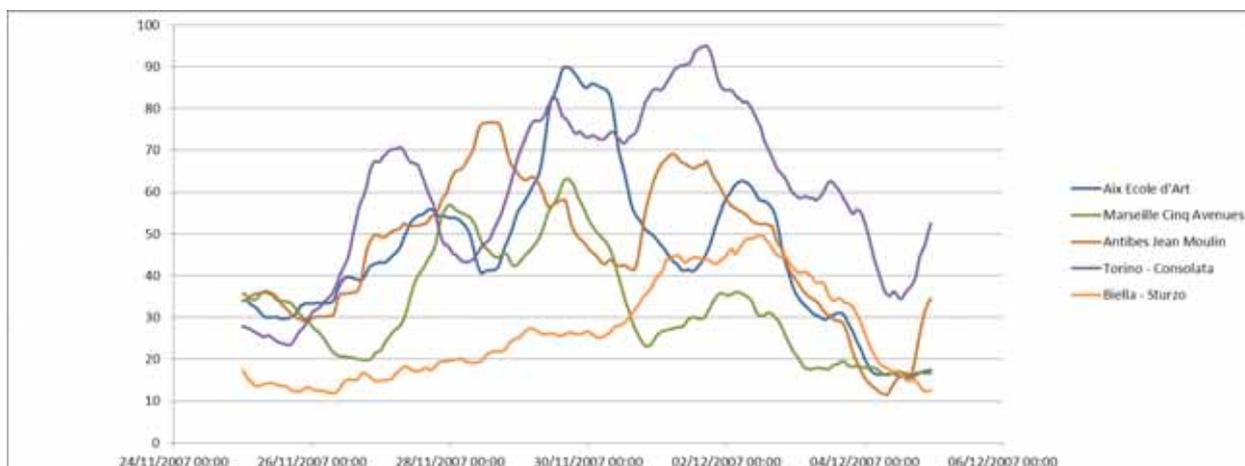


Figure 32 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007

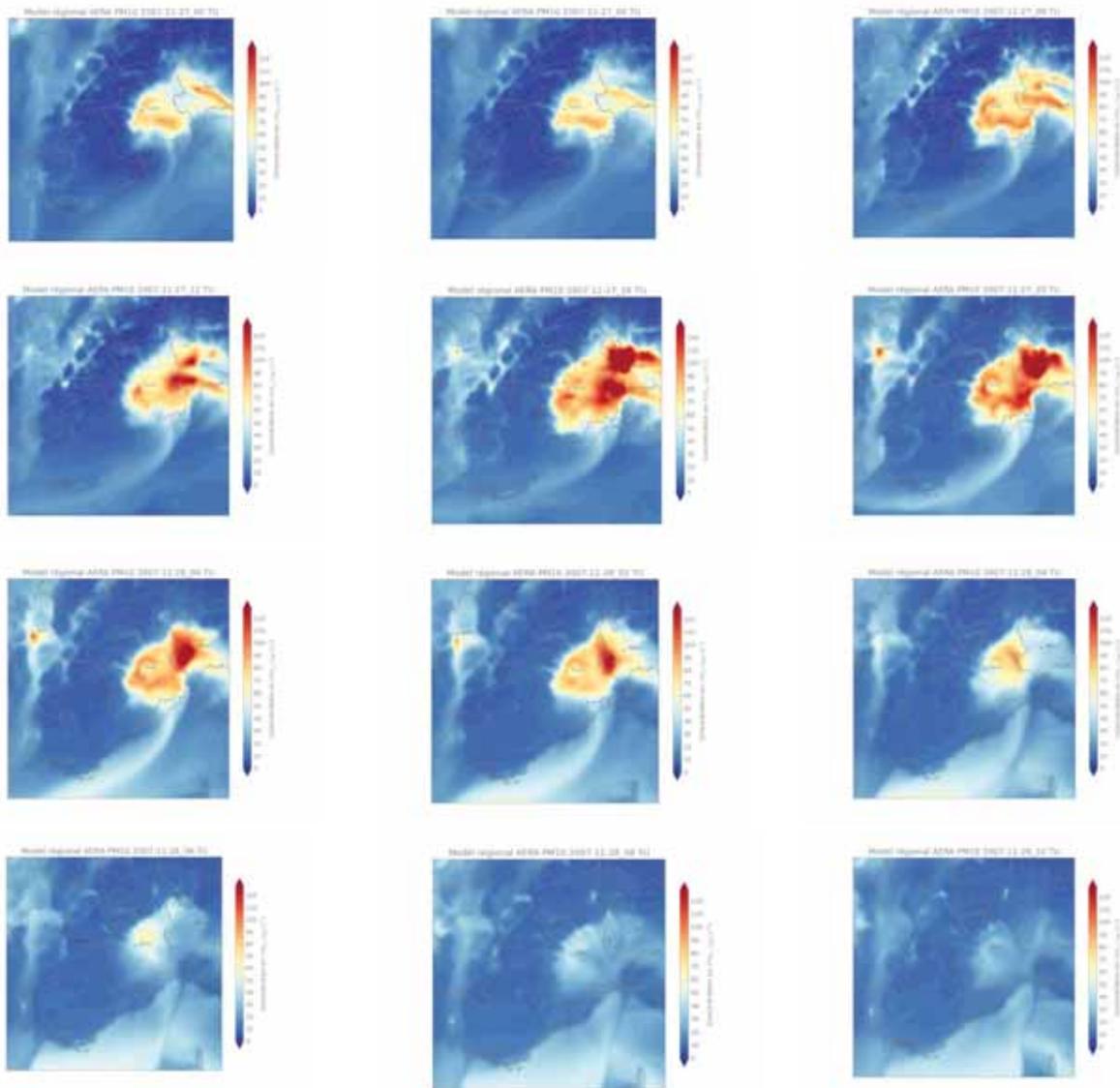


Figure 33 : Cartographie des moyennes horaires des PM₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 27 au 28 novembre 2007

La figure ci-dessus montre les concentrations en PM₁₀ modélisées les 27 et 28 novembre sur la zone Alcotra. Les cartographies montrent un transport de pollution (PM₁₀) d’Est –Ouest. Les fortes teneurs en PM₁₀ rencontrées dans la plaine du Pô en début d’épisode se déplacent vers la Ligurie puis le long du littoral Méditerranéenne de la Région PACA, poussées par un vent de Nord-Est modéré.

Ainsi, l’analyse des données de mesures de concentrations de PM₁₀, de données météorologiques, et de la modélisation montrent un épisode de pollution par les PM₁₀ commun entre la France et l’Italie sur une période de plusieurs jours.

La météorologie présente un rôle prépondérant en favorisant d’une part l’accumulation des polluants atmosphériques, mais aussi en termes de transport de pollution de l’Italie vers la France durant les journées du 27 au 28 novembre 2007.

4.2.4 EPISODE DE JANVIER 2008

4.2.4.1 ANALYSE DES DONNEES METEO

Les six roses des vents pour la période considérée présentent des vents de tendance sud assez forts sur une courte période le long de la vallée du Rhône, mais aussi à Toulon et en Ligurie. La station de mesure de Nice montre aussi ce régime de sud, mais moins marqué, alors que les vents sont plus faibles à Turin, sans directions privilégiées.

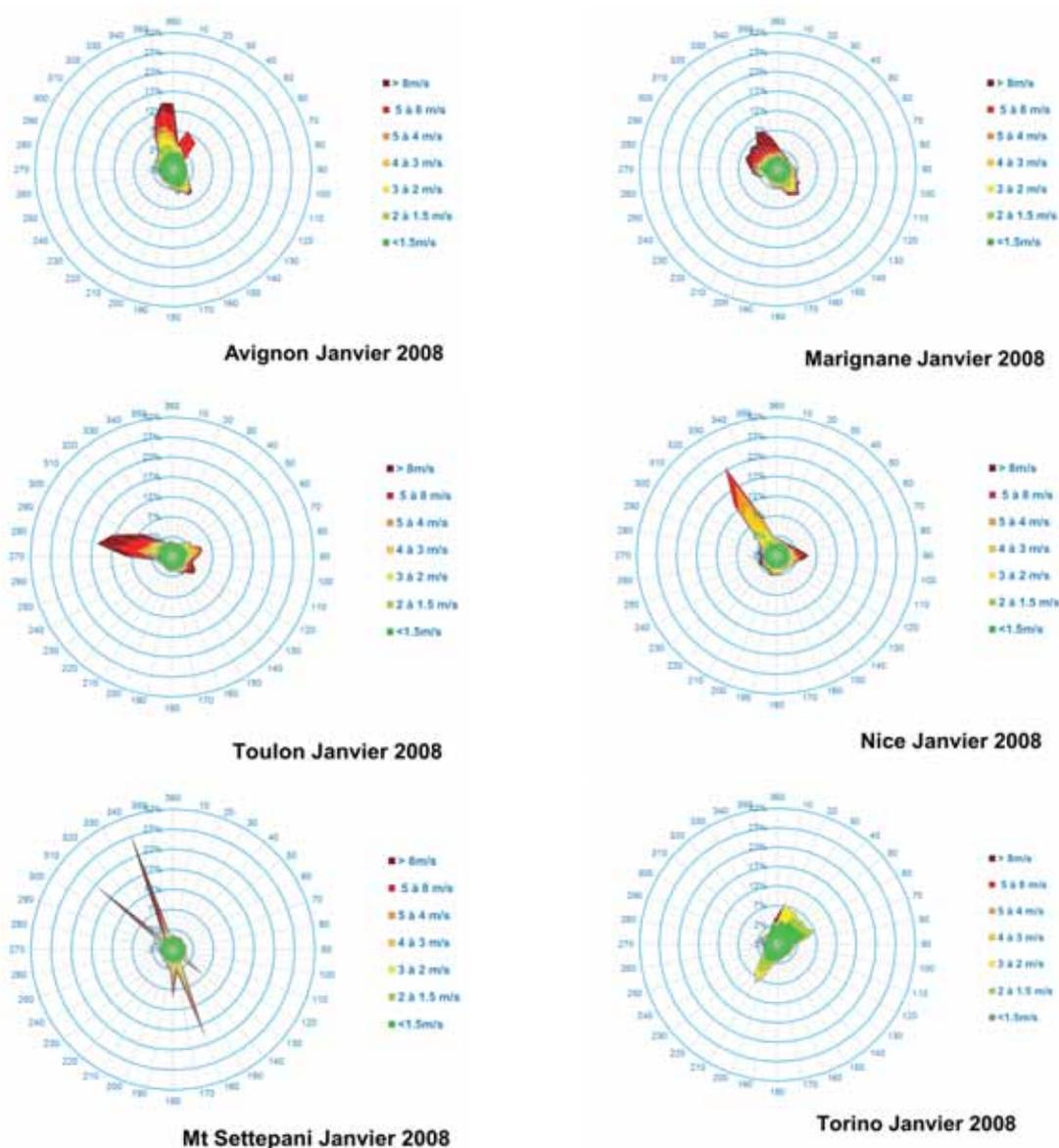


Figure 34 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 27 janvier au 02 février 2008

L'analyse temporelle des données météorologique décrit des régimes de Mistral sur la vallée du Rhône et le Var, un fort vent du Nord sur le Mont Settepani en Ligurie et des vents relativement faible à Nice (Régime de brise de mer) et à Turin. Les températures sont plus douces à Nice alors qu'elles chutent dans la vallée du Rhône avec le Mistral soutenu et froid.

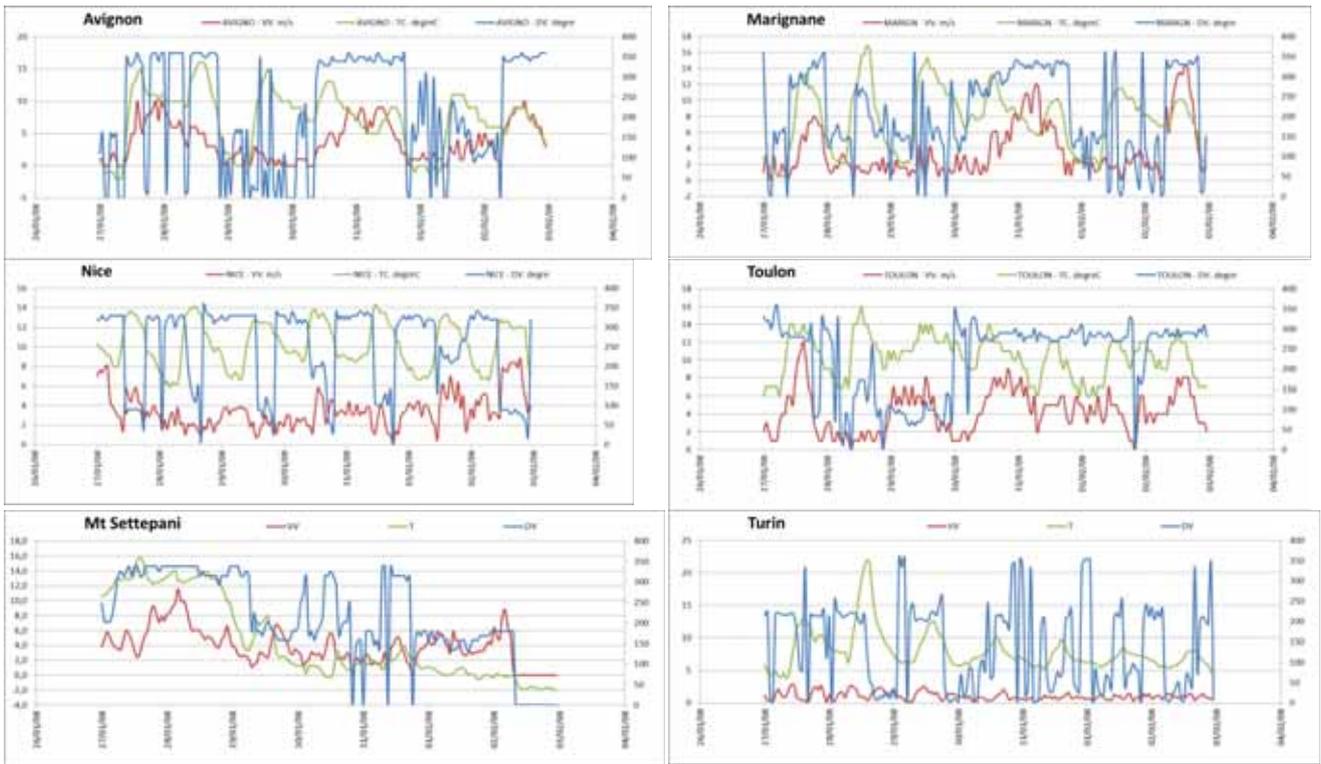


Figure 35 : Données météo à 'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 27 janvier au 02 février 2008

Les données du modèle WRF ci-après confirment les conditions météorologiques en termes de vent (vitesse et direction) assez fluctuantes sur l'ensemble du domaine d'étude, avec des données de vent très changeantes dans la vallée du Rhône, passant d'un régime de vent du Nord au sud. Les conditions sont plus calmes le 29 et 30 janvier, puis les conditions atmosphériques sont plus perturbées avec un fort vent d'est d'abord puis d'ouest sur le littoral. La plaine du Pô montre des vents plus calmes mais aussi des phénomènes de Foëne, notamment au début de l'épisode, confirmés par les données de températures.

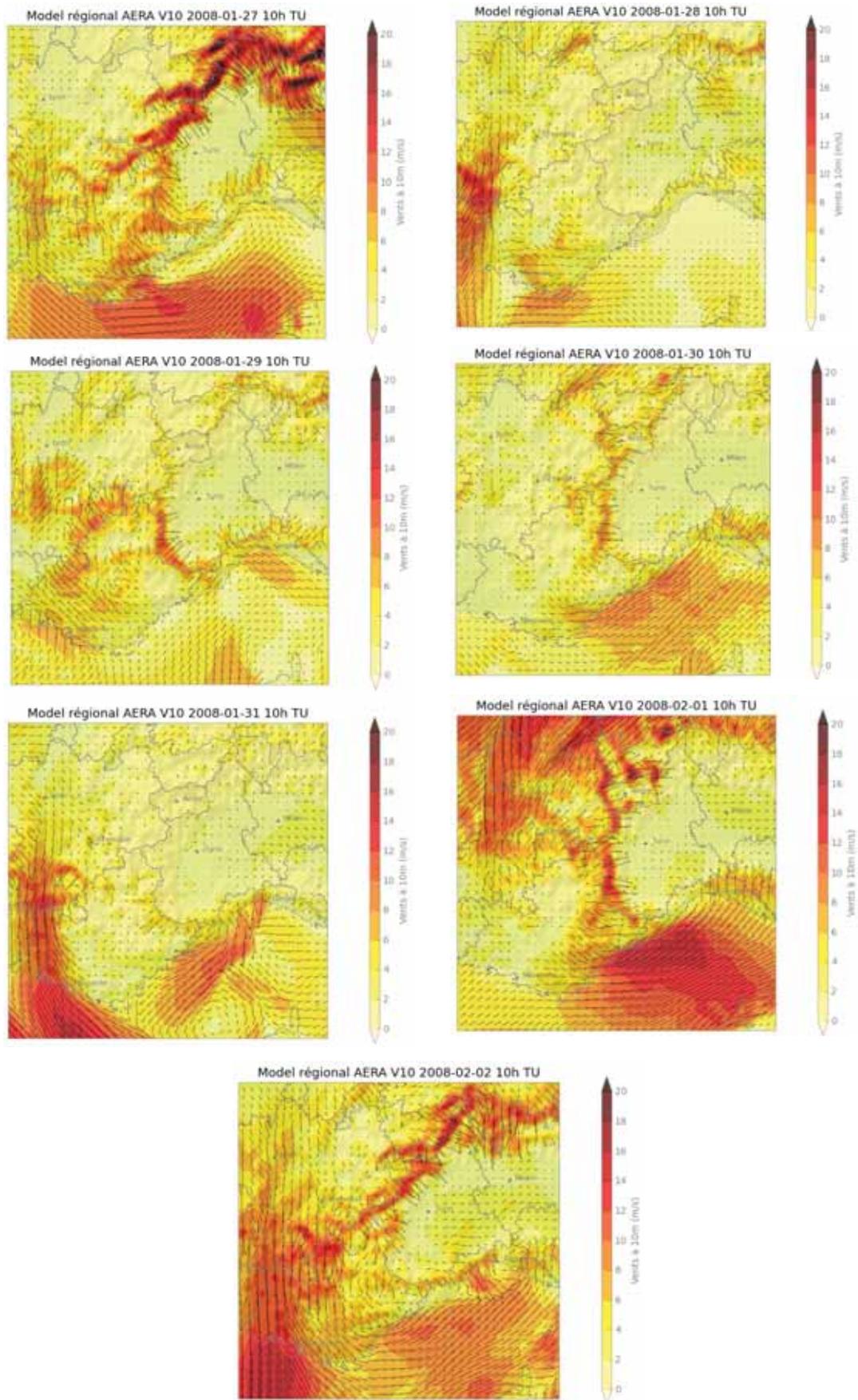


Figure 36 : Données météo WRF pour la période du 27 janvier au 2 février 2008

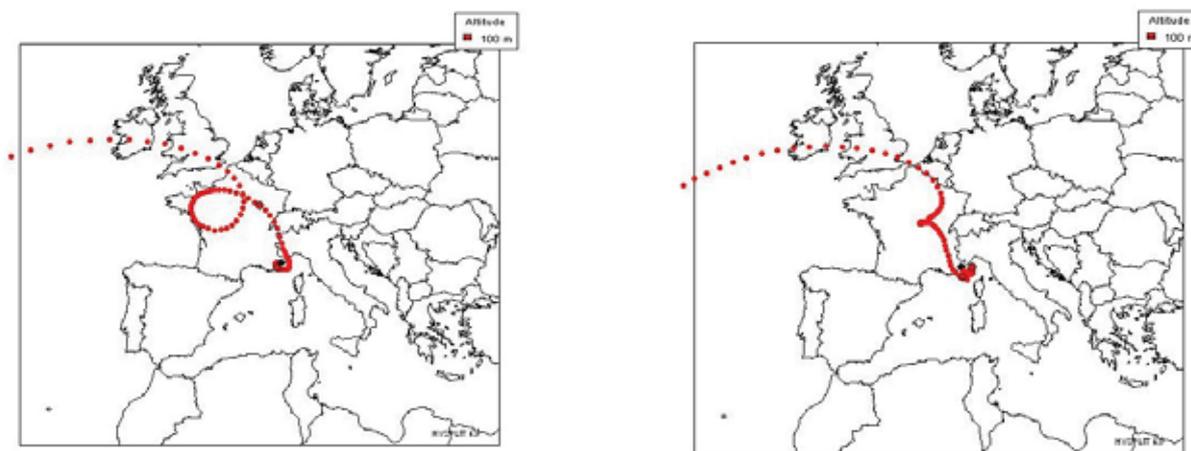


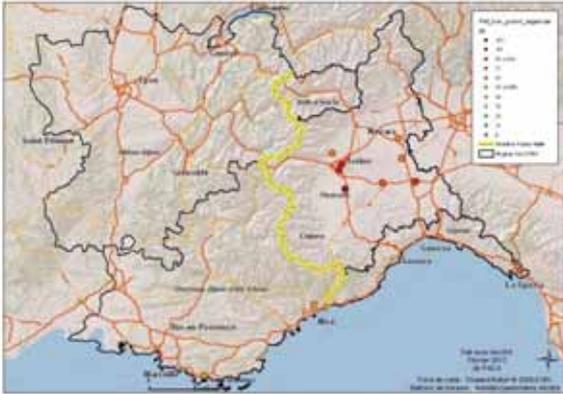
Figure 37 : Rétrotrajectoires à Nice pour la journée du 29 janvier 2008

4.2.4.2 EVOLUTION DES NIVEAUX EN PM₁₀ MESURES ET SIMULES

Les évolutions de la moyenne journalière en PM₁₀ sur le domaine d'étude pour les stations qui dépassent la valeur limite de 50 µg/m³ varient en fonction des journées concernées. Elles sont globalement élevées sur tout l'épisode dans la plaine du Pô. Du fait des conditions météorologiques, elles sont plus faibles dans la vallée du Rhône, et assez marquées le long du littoral les journées montrant des vents plus calmes.

Les moyennes glissantes sur 24h des concentrations horaires de PM₁₀ en PACA et en Italie montrent une évolution temporelle en Pics décalés. Le premier Pic est enregistré en Italie, puis dans les Alpes Maritimes et dans les Bouches du Rhône entre le 28 et le 29 janvier. Cette évolution, associée aux régimes de vent, traduit un transport des particules fines de l'Est vers l'Ouest. Cette hypothèse est appuyée par les rétrotrajectoires de Nice qui confirment que les masses proviennent, en début d'épisode, d'Italie. Les cartes de modélisation présentées ci-après confirment ce transport de PM₁₀ d'Est en Ouest.

27/01/2008



28/01/2008



29/01/2008



30/01/2008



31/01/2008



01/02/2008



02/02/2008

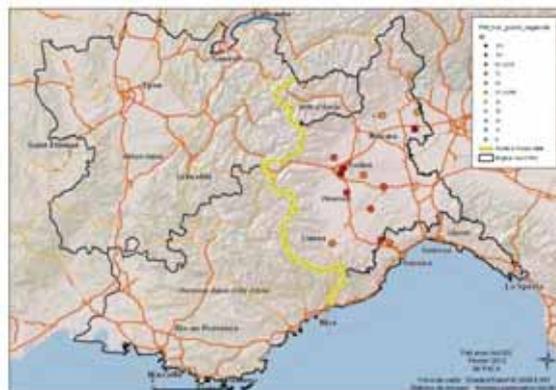


Figure 38 : Cartographie des moyennes journalières des PM₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m³ pour la période du 27 janvier au 02 février 2008

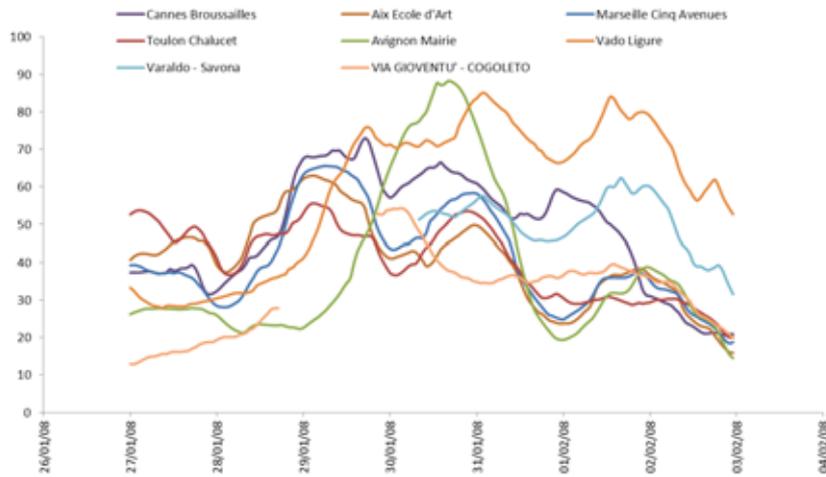


Figure 39 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM10 pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 27 janvier au 2 février 2008

Les figures suivantes montrent l'évolution des teneurs en PM10 simulées par le modèle chimère durant cette période

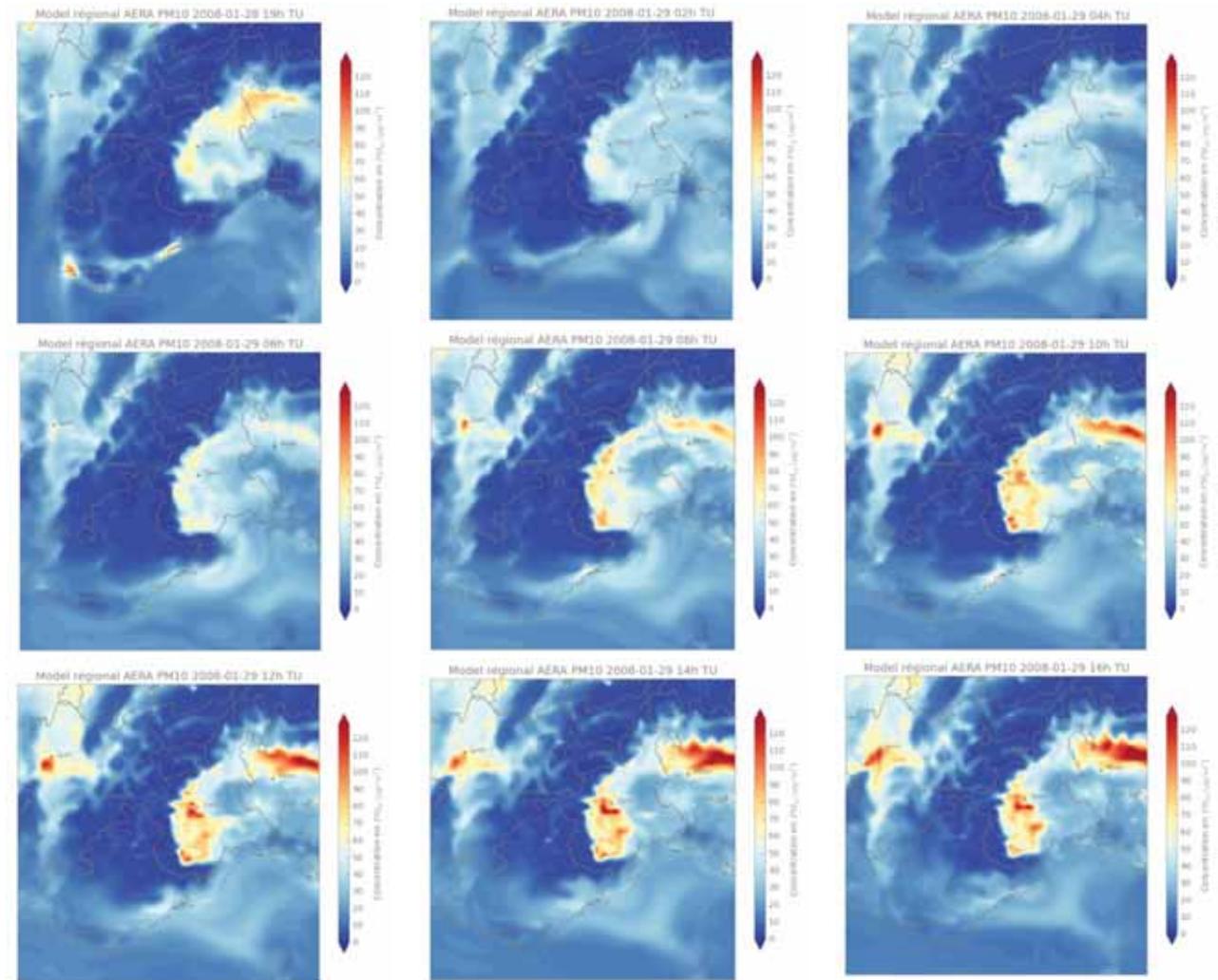


Figure 40 : Cartographie des moyennes horaires des PM10 modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 28 au 29 janvier 2008

Les différentes analyses exposées dans ce paragraphe, concernant les données de concentrations en PM10, de météorologies et les informations issues de modélisation confirme un transport de polluants atmosphériques (PM10), notamment les 28 et 29 janvier 2008.

4.2.5 EPISODE DE FEVRIER 2008

4.2.5.1 ANALYSE DES DONNEES METEO

Les roses des vents pour la période considérée présentes des vents de tendances Nord et sud assez fort sur une courte période le long de la vallée du Rhône, Sud-Est à Est le long du Littoral méditerranéen, avec tout de même des vents du Nord à Nice, Nord, Nord-Ouest sur les hauteur de la Ligurie, et calmes à Turin dans la plaine du Pô.

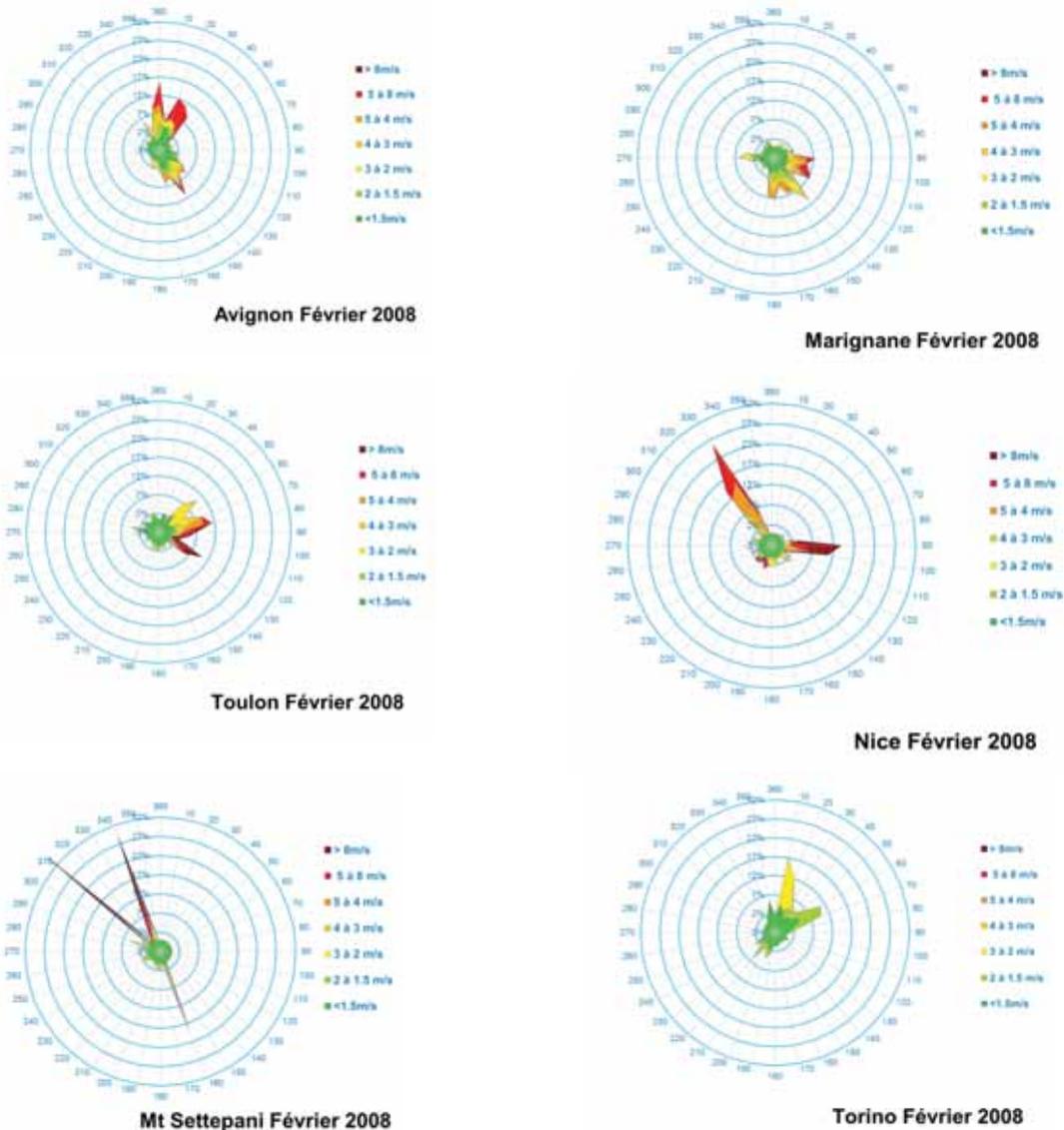


Figure 41 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 15 au 18 février 2008

L'analyse temporelle des données météorologique décrit des régimes de Mistral et du vent du Sud sur la vallée du Rhône, des vents de tendance Est à Sud Est sur le littoral en seconde partie de l'épisode. Les régimes de vent à Nice sont d'abord de direction Nord modéré, puis Est, Sud-Est soutenus puis de nouveau Nord. Les vents sont soutenus et de tendance Nord au Mont Settepani, faibles à la station de mesure de Turin.

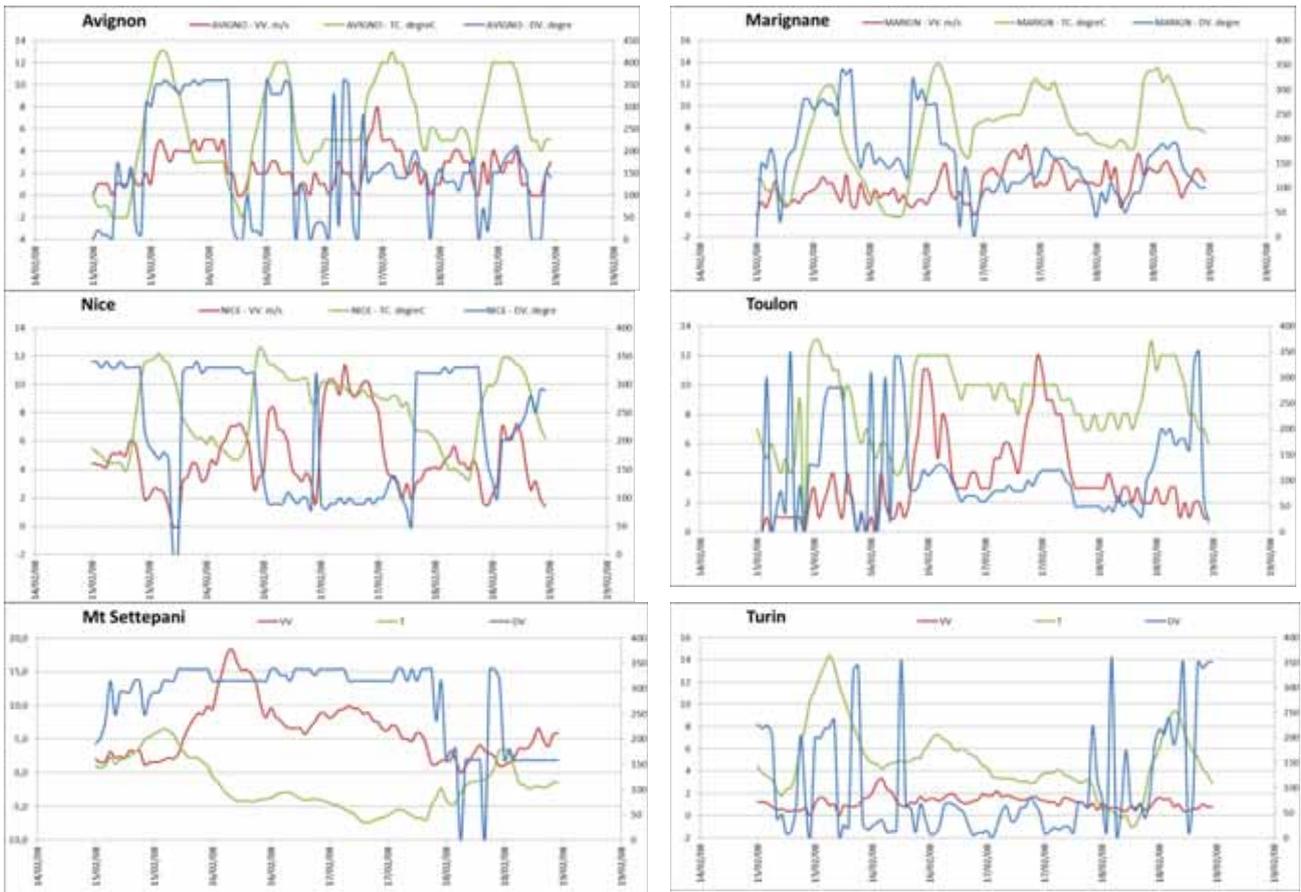


Figure 42 : Données météo à 'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 15 au 18 février 2008

Les données du modèle WRF ci-après confirment un régime de vent de direction Nord-Est en Ligurie, Est dans le Var et Sud Est dans le bas de la vallée du Rhône. Les vents dans la plaine du Pô restent faibles. Les rétrotrajectoires de Nice et de Marseille montrent des masses d'air en provenance d'Italie.

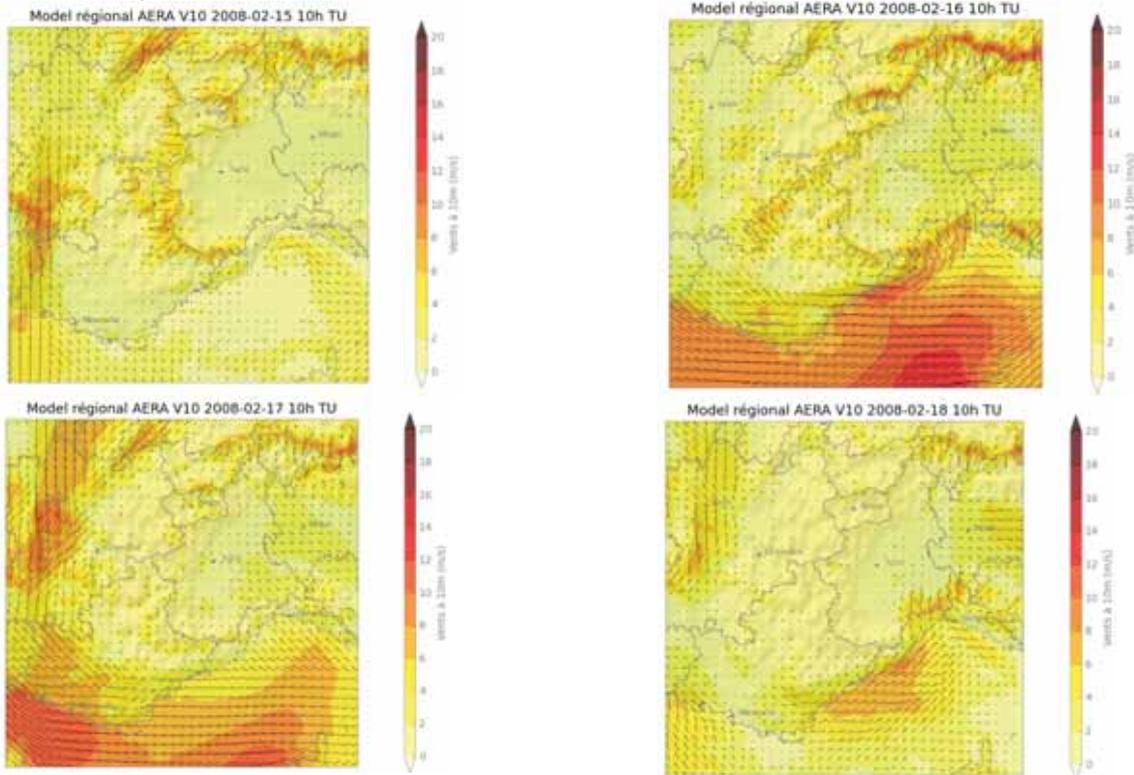


Figure 43 : Données météo WRF pour la période du 15 au 18 février 2008

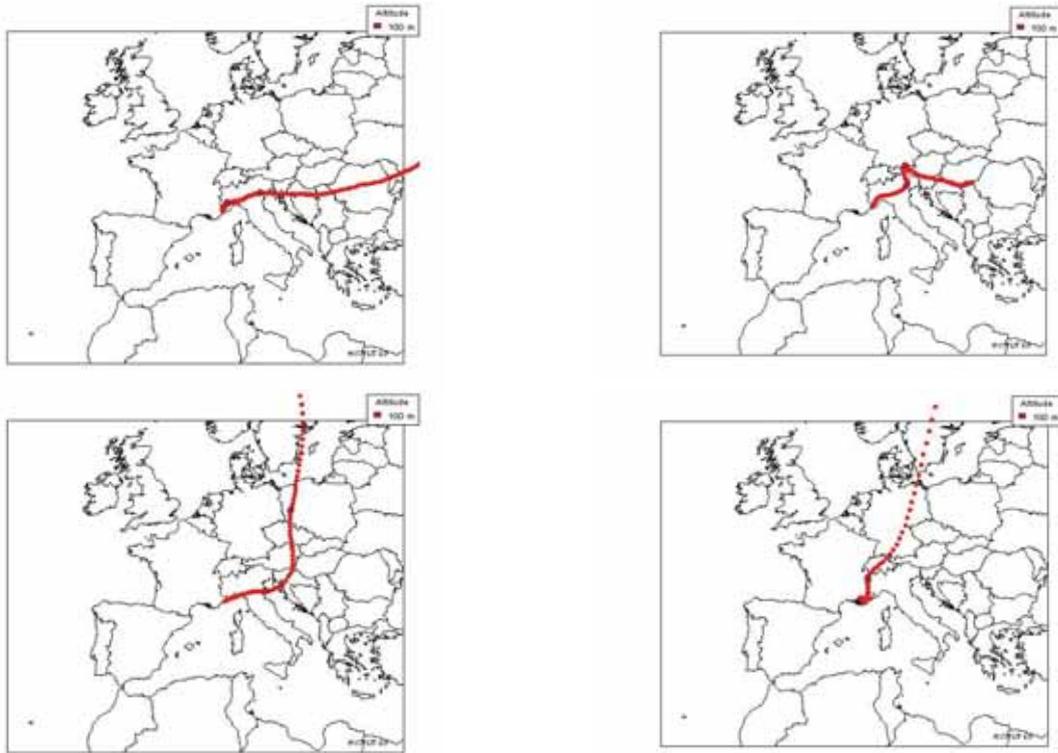


Figure 44 : Rétrotrajectoires à Nice pour les journées du 15 au 18 février 2008

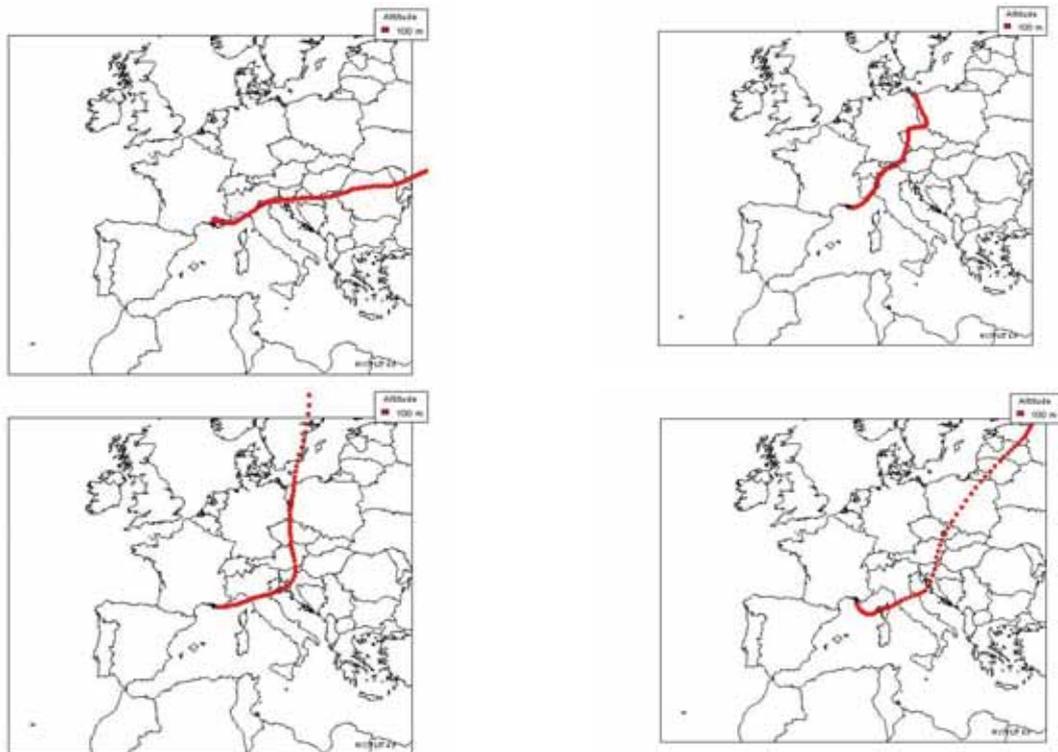
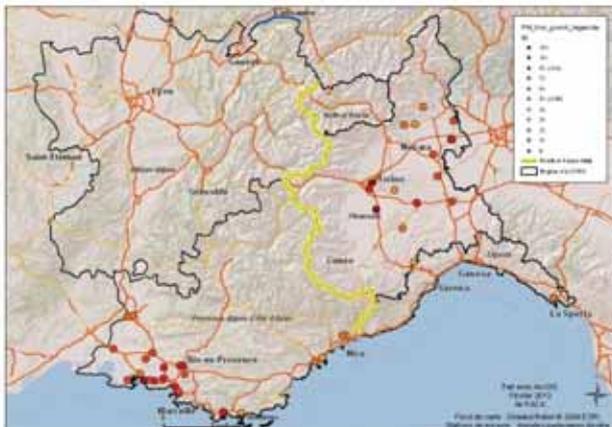


Figure 45 : Rétrotrajectoires à Marseille pour les journées du 15 au 18 février 2008

4.2.5.2 EVOLUTION DES NIVEAUX EN PM10 MESURES ET SIMULES

Les évolutions de la moyenne journalière en PM10 sur le domaine d'étude pour les stations qui dépassent la valeur limite de 50 µg/m³ varient en fonction des journées concernées. Elles sont élevées sur tout l'épisode dans la plaine du Pô, mais aussi en PACA et notamment dans les Bouches du Rhône en début d'épisode.

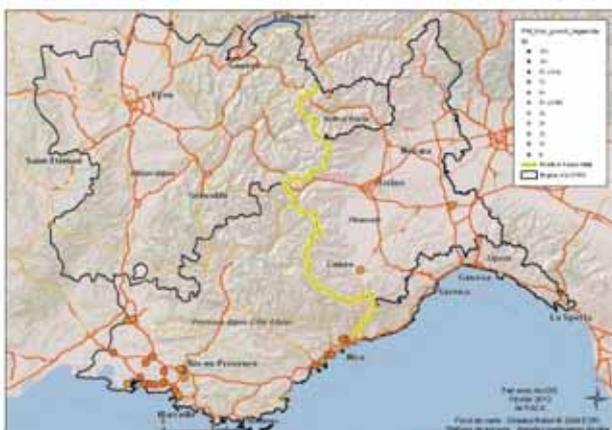
15/02/2008



16/02/2008



17/02/2008



18/02/2008

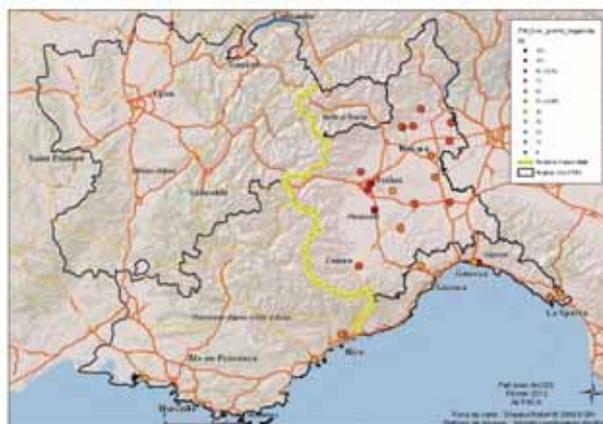


Figure 46 : Cartographie des moyennes journalières des PM10 pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m³ pour la période 15 au 18 février 2008

Les moyennes glissantes sur 24h des concentrations horaires de PM10 en PACA et en Italie montrent une évolution temporelle en Pics décalés. Le premier Pic est enregistré en Italie, puis dans les Alpes Maritimes et dans les Bouches du Rhône entre le 15 et 16 février. Cette évolution, associée aux régimes de vent, traduit un transport des particules fines de l'Est vers l'Ouest. Cette hypothèse est appuyée Les rétrotrajectoire depuis Nice qui confirment que les masses proviennent, en début d'épisode, d'Italie. Les cartes de modélisation présentées ci-après confirment aussi ce transport de PM10 d'Est en Ouest. .

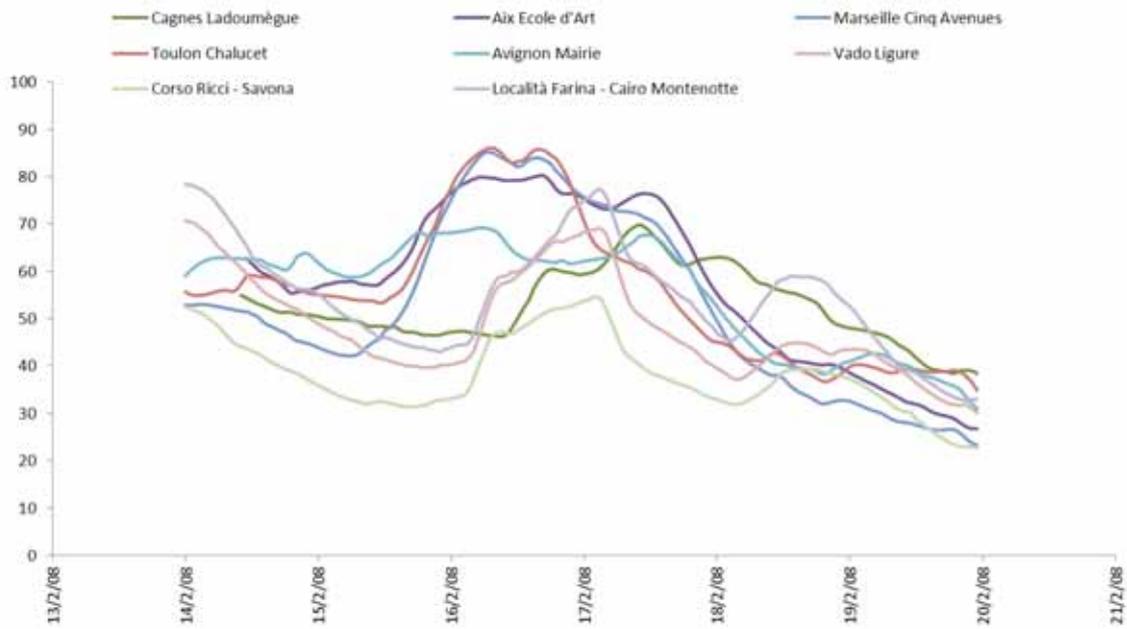


Figure 47 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM10 pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 15 au 18 février 2008

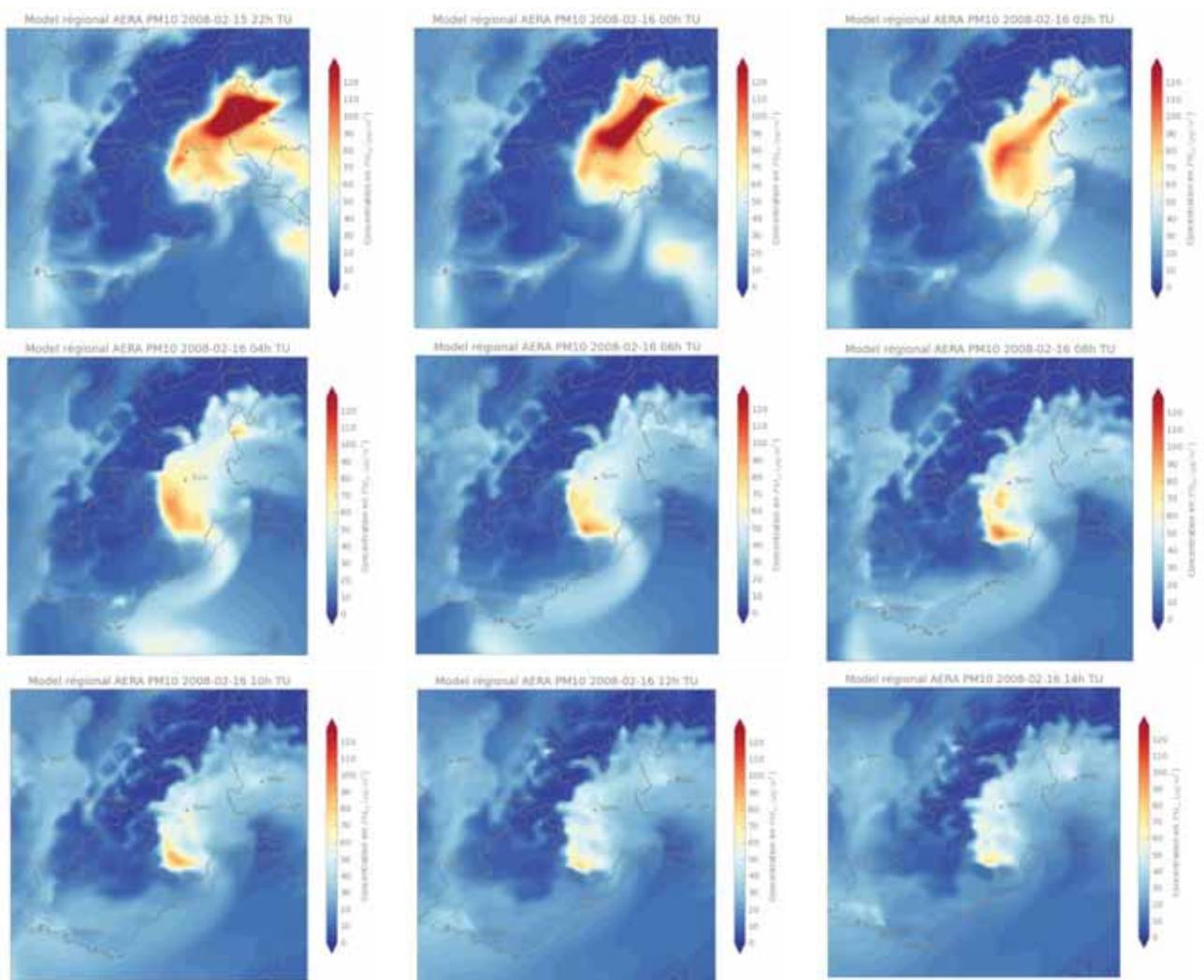


Figure 48 : Cartographie des moyennes horaires des PM10 modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 15 au 16 février 2008

4.2.6 EPISODE D'OCTOBRE 2008

4.2.6.1 ANALYSE DES DONNEES METEO

Les roses des vents pour la période considérée présentes des vents de tendances Nord assez fort sur une courte période le long de la vallée du Rhône, Mistral de direction Ouest dans le Var (Toulon), et régime de vent plus calme à Nice dans les Alpes Maritimes. Les vents sont de direction Nord, Nord-Ouest sur les hauteurs de la Ligurie, et calmes à Turin dans la plaine du Pô.

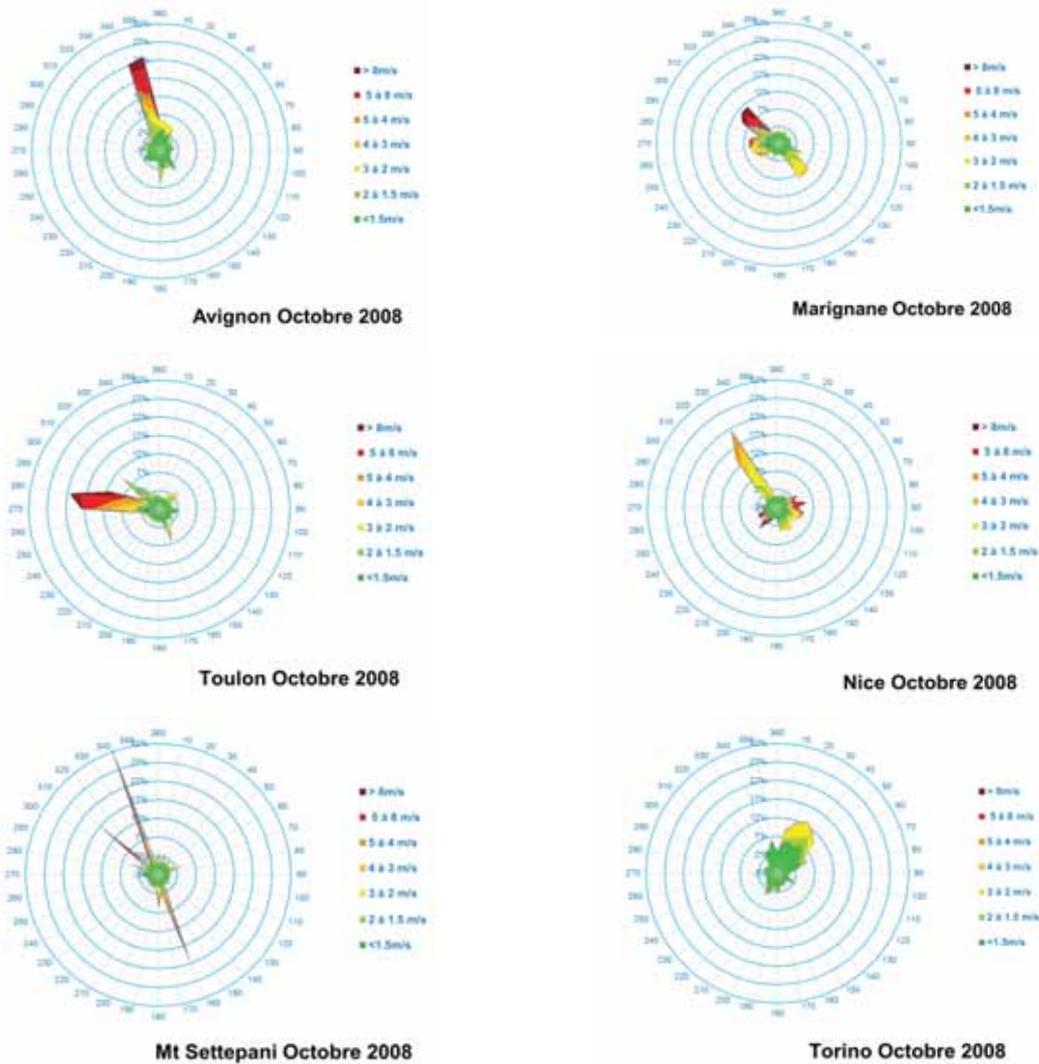


Figure 49 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 14 au 17 octobre 2008

L'analyse temporelle des données météorologique décrit des régimes de Mistral léger en début d'épisode puis soutenu à la fin dans la vallée du Rhône jusqu'au Var. Les régimes de vent à Nice sont d'abords de type brise de mer, puis d'ouest à sud-ouest modérés. Les vents sont soutenus et de tendance Nord puis sud au Mont Settepani, ils sont faibles à la station de mesure de Turin.

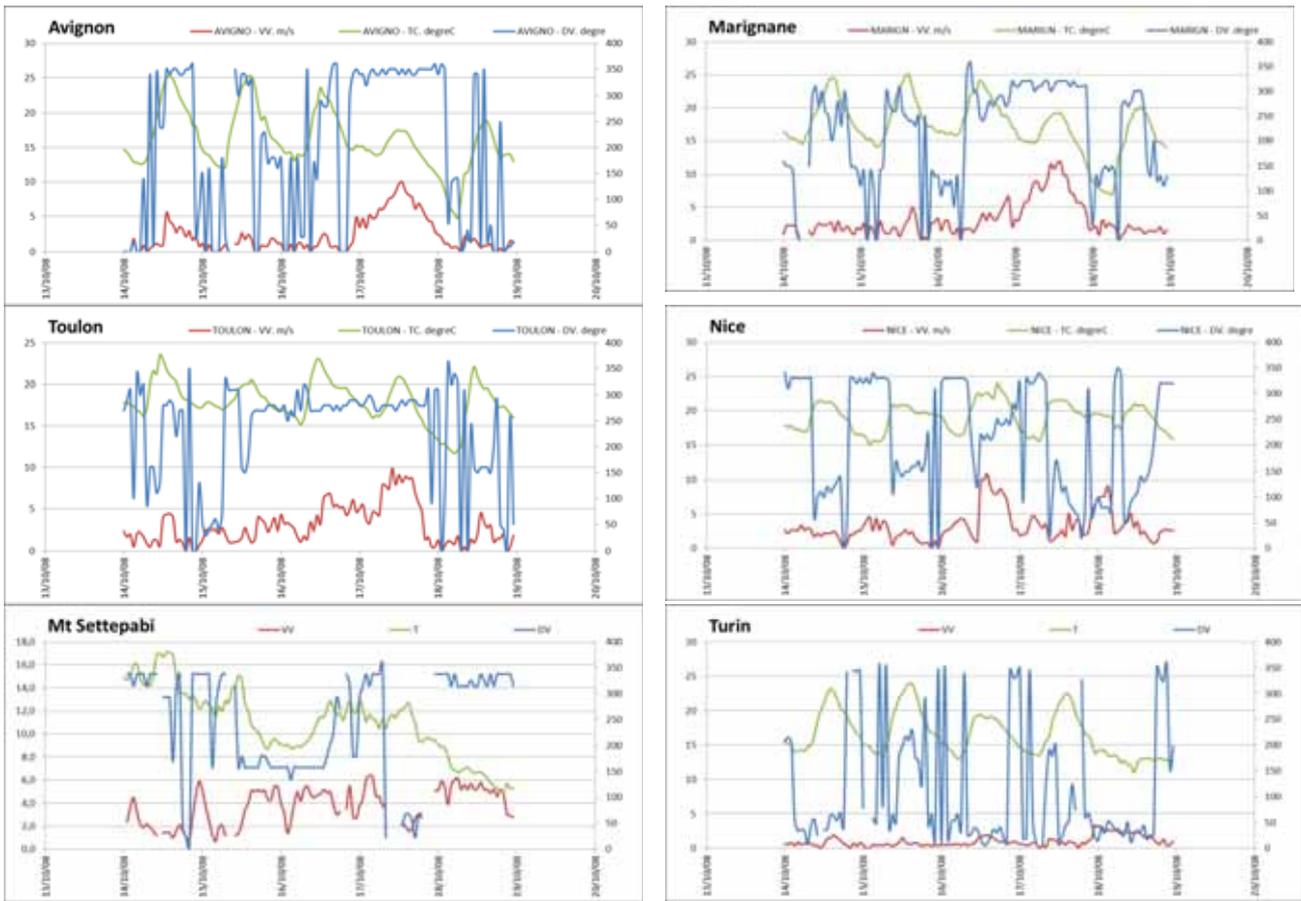
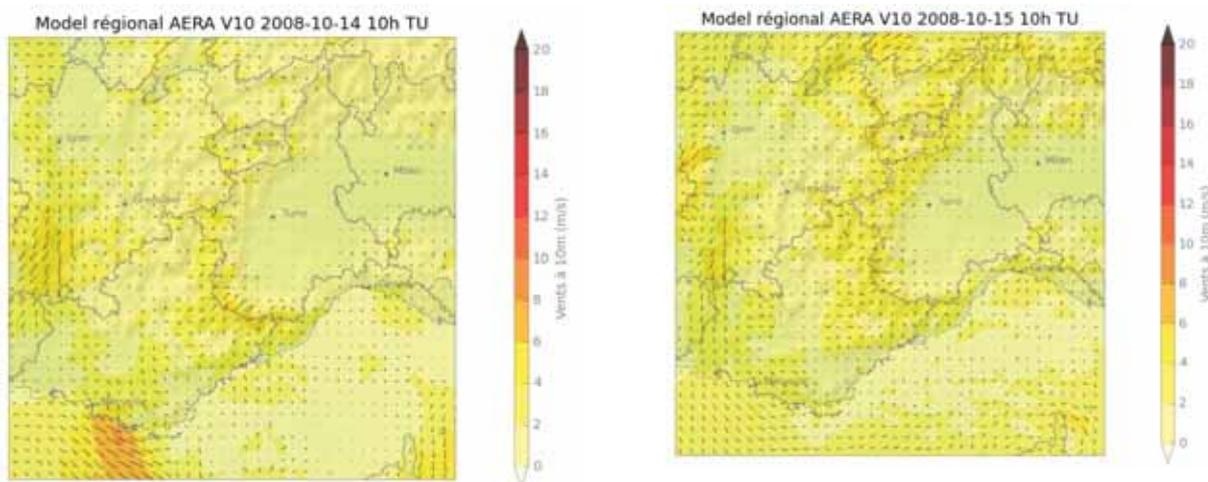


Figure 50 : Données météo à 'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 14 au 17 octobre 2008

Les données du modèle WRF ci-après confirment des conditions atmosphériques stables en début d'épisode, puis des vents modérés de sud-ouest dans le golfe de Gênes et enfin le Mistral soutenu en fin d'épisode, associé à un régime de Nord-est. Les vents dans la plaine du Pô restent faibles durant l'ensemble de l'épisode.

Les rétrotrajectoires de Nice montrent des masses d'air en provenance de l'Ouest, Sud-Ouest en début d'épisode, puis Ouest, Nord-Ouest ensuite.



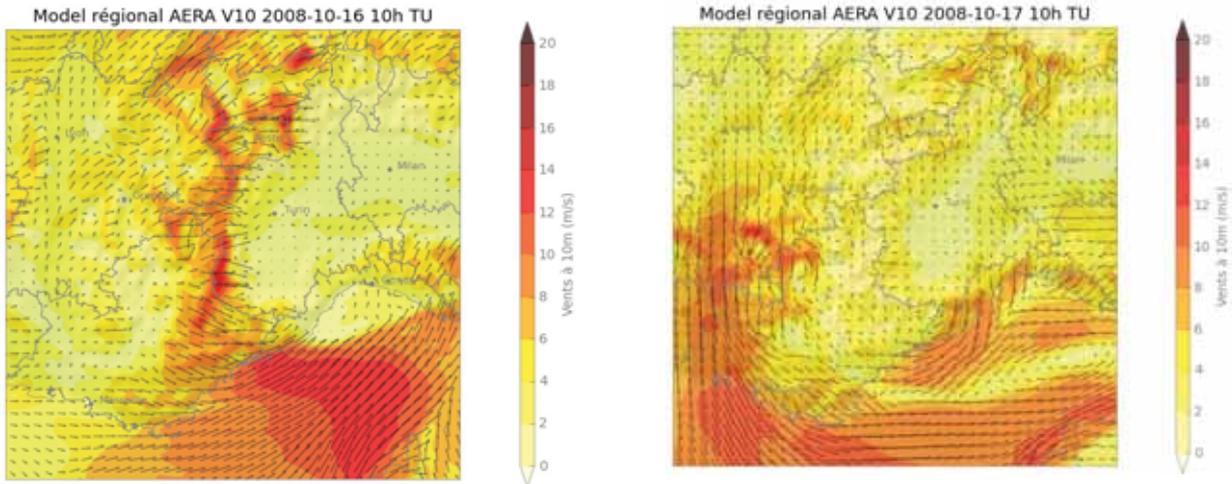


Figure 51 : Données météo WRF pour la période du 14 au 17 octobre 2008

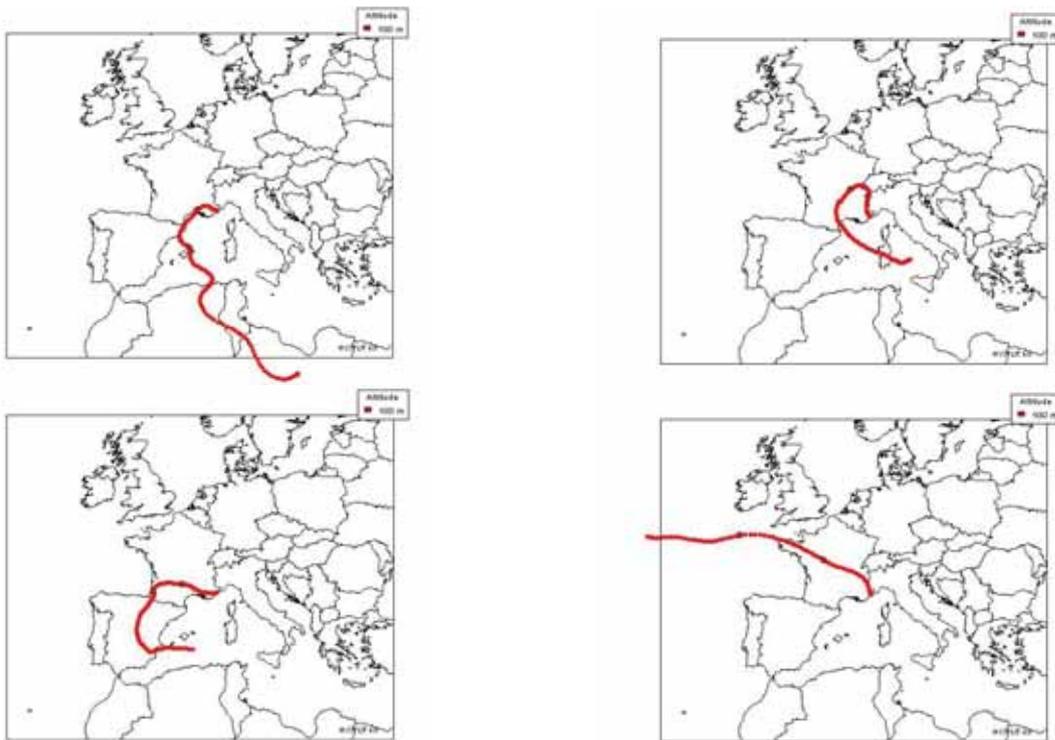


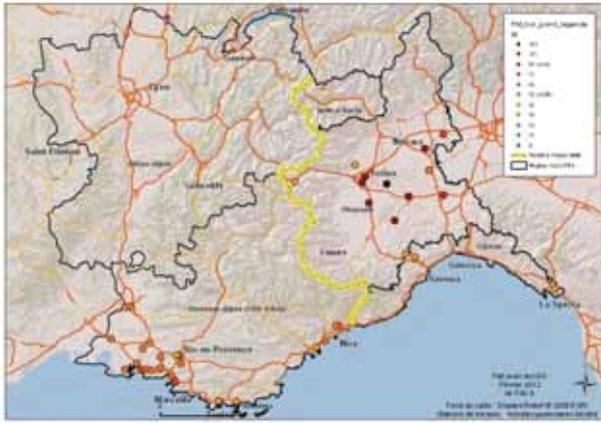
Figure 52 : Rétrotrajectoires à Nice pour les journées du 14 au 17 octobre 2008

4.2.6.2 EVOLUTION DES NIVEAUX EN PM₁₀ MESURES ET SIMULES

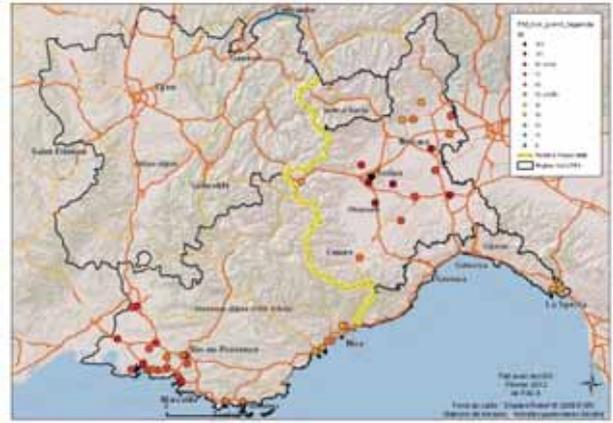
Les évolutions de la moyenne journalière en PM₁₀ sur le domaine d'étude pour les stations qui dépassent la valeur limite de 50 µg/m³ varient en fonction des journées concernées. Elles sont élevées sur tout l'épisode dans la plaine du Pô, mais aussi en PACA et notamment dans les Bouches du Rhône en début d'épisode, puis le long du littoral le 16 octobre. Les valeurs en PM₁₀ sont plus faibles en fin d'épisode suite à la levée du vent, hormis sur la plaine du Pô.

Les moyennes glissantes sur 24h des concentrations horaires de PM₁₀ en PACA et en Italie montrent une évolution temporelle en Pics décalés. Le premier Pic est enregistré en PACA, puis en Italie (Ligurie), notamment le 16 octobre 2008. Cette évolution, associée aux régimes de vent, traduit un transport des particules fines de l'Ouest vers l'Est. Cette hypothèse est appuyée Les rétrotrajectoire de Nice qui confirment que les masses proviennent de l'ouest. Les cartes de modélisation présentées ci-après confirment ce transport de PM₁₀ d'ouest en Est.

14/10/2008



15/10/2008



16/10/2008



17/10/2008

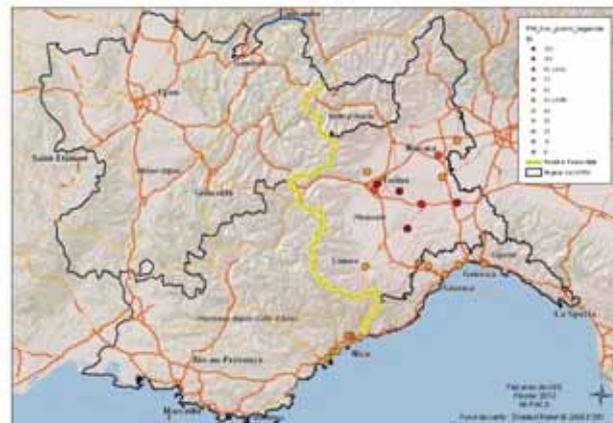


Figure 53 : Cartographie des moyennes journalières des PM₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m³ pour la période du 14 au 17 octobre 2008

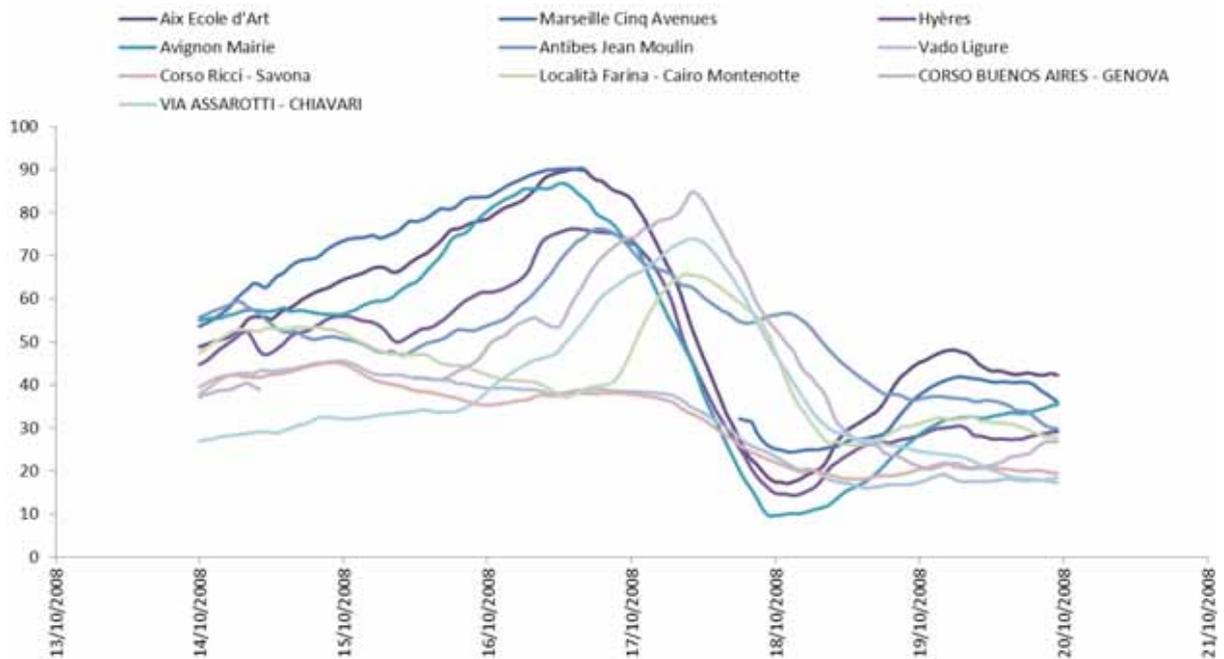


Figure 54 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, pour la période du 14 au 17 octobre 2008

Les figures suivantes montrent l'évolution des teneurs en PM₁₀ simulées par le modèle chimère durant cette période

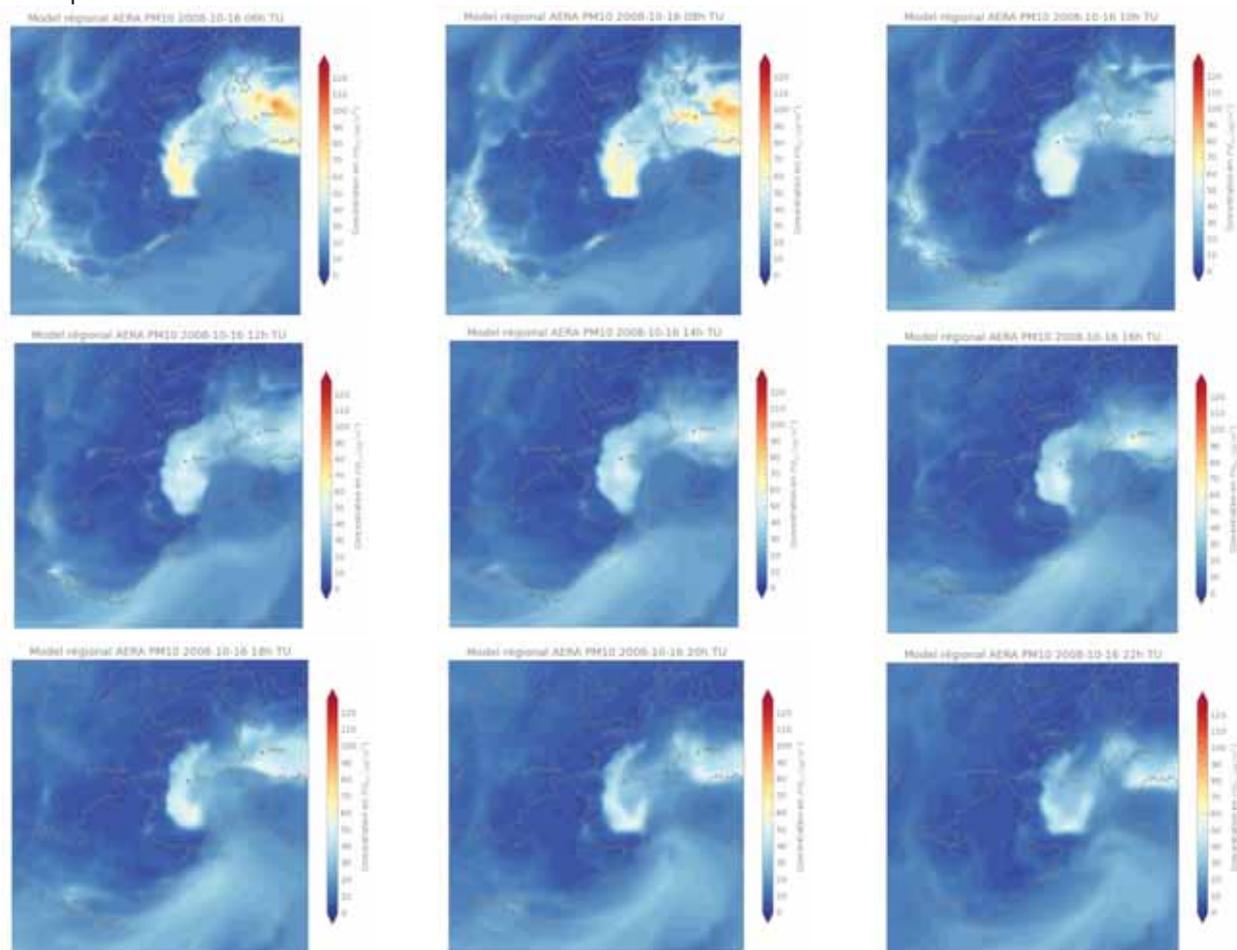


Figure 55 : Cartographie des moyennes horaires des PM₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la journée du 16 octobre 2008

L'analyse des données de mesures de concentrations de PM₁₀, météorologiques, et de la modélisation (modèle météo et modèle de dispersion atmosphérique) montre un épisode de pollution par les PM₁₀ sur une période de plusieurs jours communs aux différents sites de la zone Alcotra.

Les origines de cet épisode sont multiples, notamment les conditions météorologique, d'une part avec des conditions atmosphériques stables favorables à l'accumulation des polluants, mais aussi générant un phénomène de transport de polluants atmosphériques de type Ouest-Est. Ce transport de pollution, mis en évidence par la mesure et la modélisation, a pour origine une masse d'air chargée en particules fines en provenance de la région PACA qui se déplace vers l'Italie.

5 ANALYSE DES SOURCES D'ÉMISSIONS DE PARTICULES FINES EN PACA

L'action pilote 5.5.3 du projet AERA, Cf. Rapport « Etude spécifique des particules dans les vallées alpines et le littoral urbanisé » présente une étude détaillée sur les principales sources d'émission des particules fines dans les vallées alpines et le littoral urbanisé du territoire Alcotra, intégrant plusieurs résultats : une étude sur la spéciation de particules fines sur les vallées des Paillons, les villes de Cannes et Gap, et d'autres analyses connexes : projet européen Apice (www.apice-project.eu), le projet Formes, ...

Les conclusions indiquent qu'une part de particules « âgées », i.e. en provenance de sources d'émissions lointaines, sont mesurées sur les différents sites de la Région PACA et ce en quantités non négligeables.

Les cartographies réalisées par exemple lors du projet APICE indiquent qu'une part conséquente de particules ayant des sources d'émissions « lointaines » est présente sur les sites de Marseille 5 avenue, Cannes et Gap :

Les graphiques suivants présentent une répartition par secteurs d'activités des concentrations simulées obtenues grâce au projet APICE, sur ces trois sites en période hivernale et estivale.

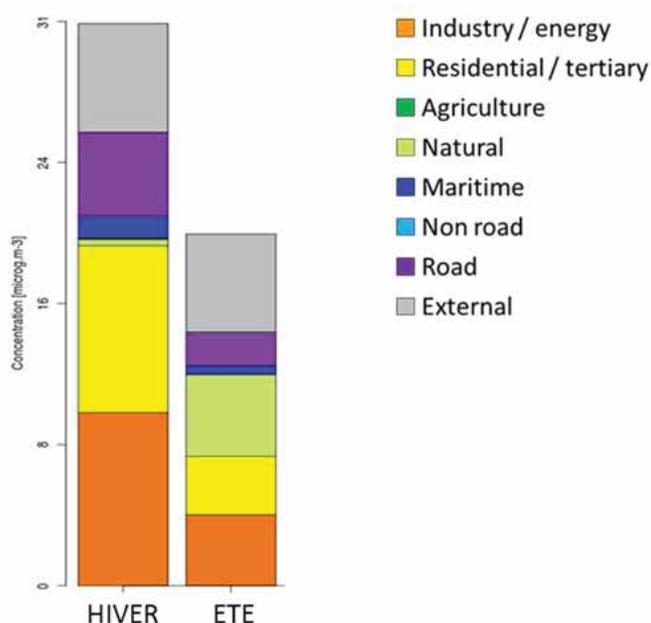


Figure 56 : Répartition par secteurs d'activités des Concentrations en PM₁₀ en moyenne sur les périodes d'études de février 2011 et de juillet 2008 à Marseille 5 Avenue

Cannes été 2011

Cannes hiver 2011

Gap été 2011

Gap hiver 2011

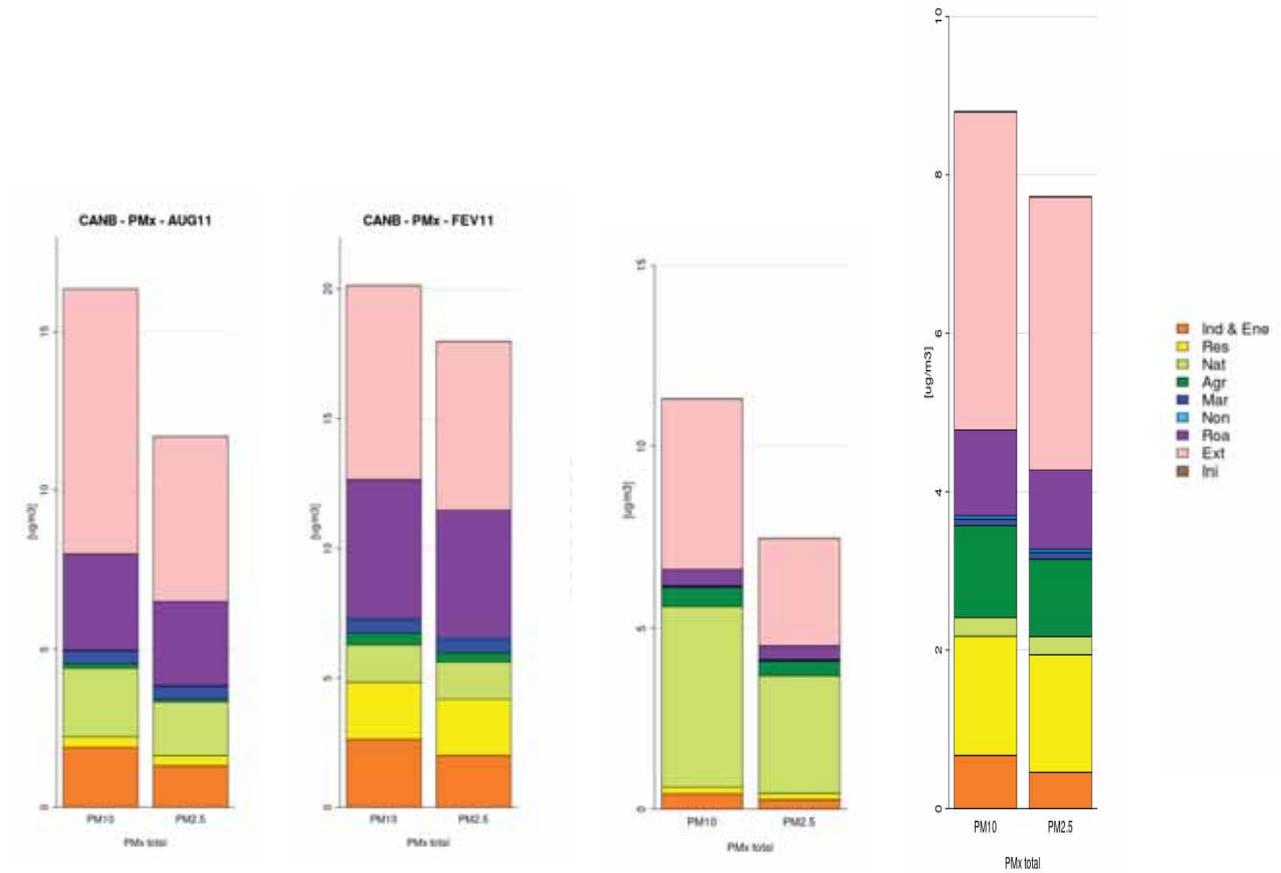
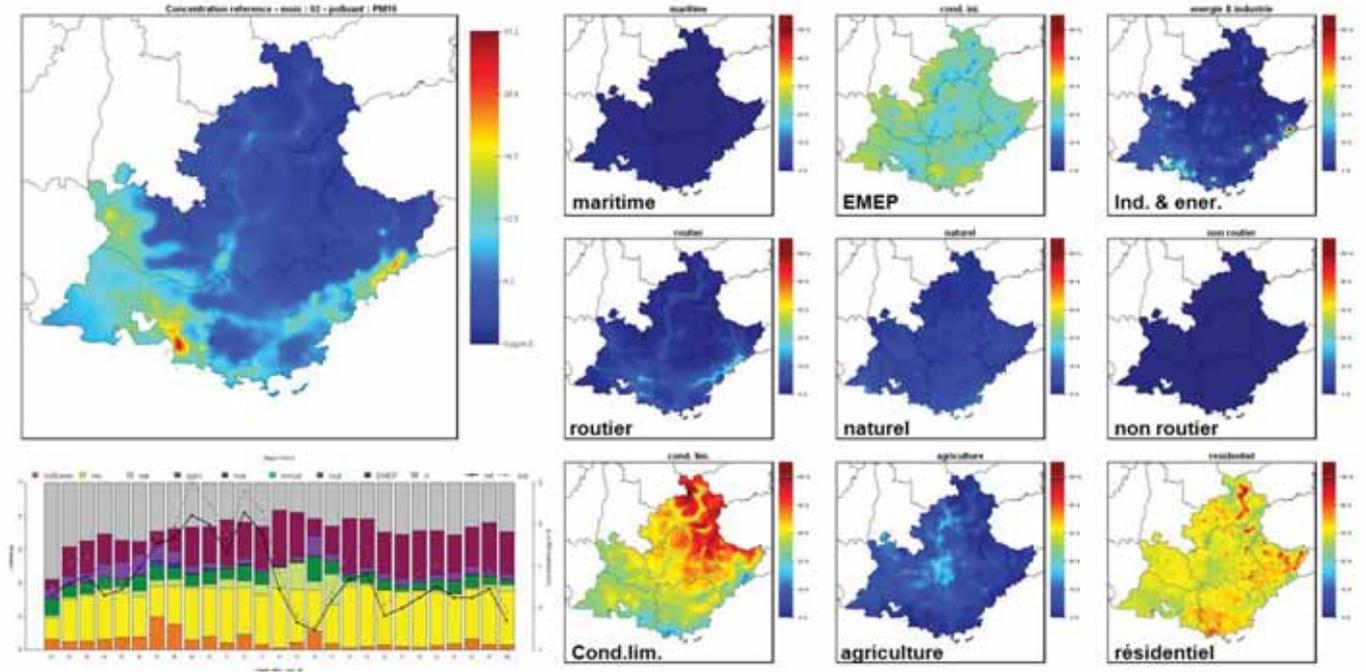


Figure 57 : Répartition par secteurs d'activités des Concentrations en PM10 en moyenne sur les périodes d'études de février 2011 et de juillet 2008 pour les sites de Cannes et Gap

PM10 Février 2011



PM10 Juillet 2008 :

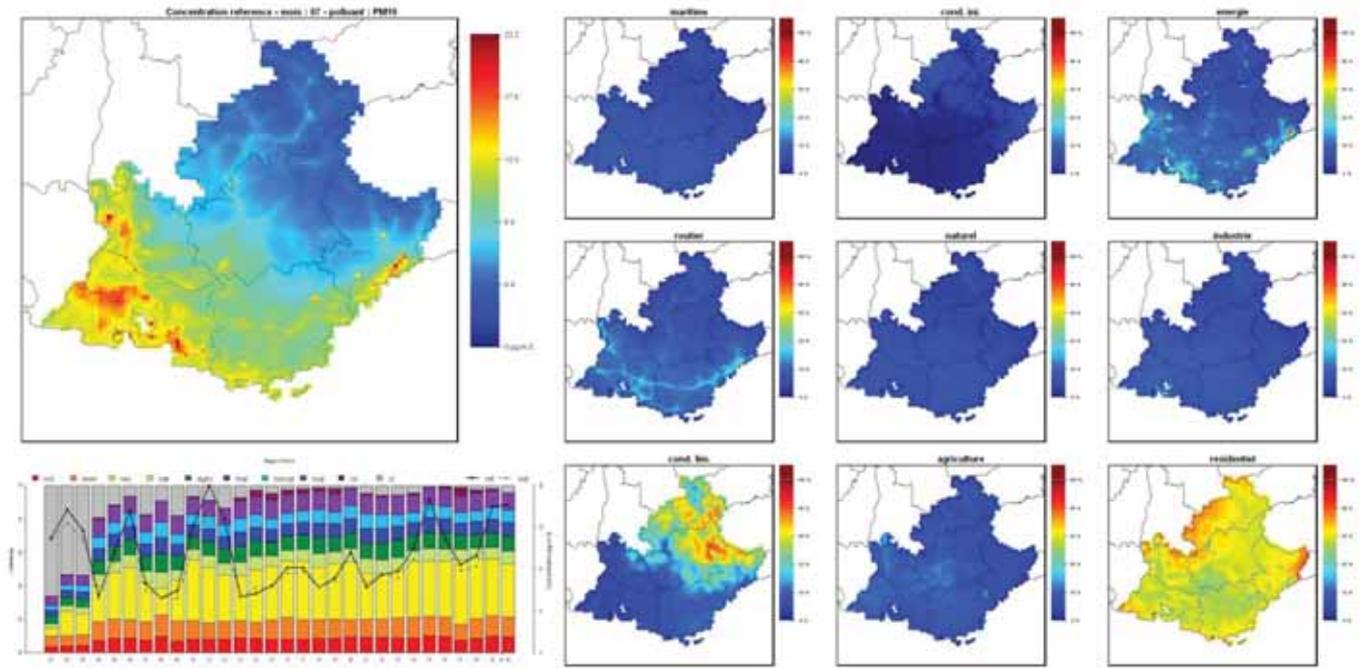


Figure 58 : Contributions sur les concentrations des différents secteurs d'activités en moyenne sur les périodes d'études de février 2011 et de juillet 2008 pour la région PACA

Ces graphiques et figures indiquent bien une composante « source extérieure exogène » pouvant représenter 20 à 40% de la masse des PM10. Ces résultats sont issus d'une étude de modélisation effectuée à l'aide du modèle de dispersion atmosphérique CAMx. Elle présente des incertitudes dues à une connaissance parcellaire des sources d'émissions et sur une période d'analyse de deux mois. Une part majoritaire de ce polluant provient bien sûr de sources d'émissions locales, mais il existe bien une part variable significative relative au transport exogène provenant de sources d'émissions lointaines.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

A l'aide de la base de données commune aux différents partenaires d'AERA, créée lors de l'action 3.1 du projet AERA, les données de concentrations de PM₁₀ des régions Ligurie, Piémont et PACA ont été analysées pour les années 2007 et 2008. Cette analyse a mis en évidence plusieurs épisodes de pollution par les particules fines PM₁₀ communs aux trois partenaires PACA, Ligurie et Piémont.

En complément des données de PM₁₀, Air PACA s'est appuyée sur l'outil de modélisation WRF/Chimère sur la zone Alcotra développé lors de l'action 3.3 du projet AERA. Ce modèle permet de discerner l'évolution temporelle et de spatialiser les teneurs en PM₁₀ modélisées sur l'ensemble de la zone Alcotra.

Afin d'évaluer l'évolution des niveaux en PM₁₀ et évaluer les origines et les éventuels transports de pollution, Air PACA s'est appuyée sur 6 stations météorologiques des régions PACA, Ligurie et Piémont. Cette analyse des données de météo a été soutenue d'une part par le modèle météorologique WRF sur la zone Alcotra qui permet un regard spatial plus précis des données de vents (vitesse et direction), et d'autre part par les calculs de rétrotrajectoires des masses d'air pour les villes de Marseille et de Nice.

Une analyse par rétrotrajectoire cadastrée a aussi été réalisée sur 4 villes de la Région PACA (Avignon, Marseille, Toulon et Nice) montrant que les masses d'air ont des origines différentes sur ces quatre sites de mesure, notamment lorsque la climatologie est associée aux concentrations de particules fines PM₁₀.

Les teneurs en PM₁₀ sont disparates sur le domaine d'étude, avec notamment des fortes concentrations sur la plaine du Pô. La météorologie impacte significativement les teneurs en PM₁₀ mesurées dans l'air ambiant. Des fortes concentrations en PM₁₀ sont majoritairement rencontrées lors de conditions atmosphériques stables et ainsi favorables à l'accumulation des polluants, sur des zones présentant déjà des sources d'émissions locales de ce polluant (transport routier, industrie, chauffage, ...) Trois transports grande échelle type ont été mis en avant lors de cette étude sur la zone Alcotra : un transport en provenance du Sud de la Méditerranée et du Sahara, un déplacement des masses d'air de type Est – Ouest autour du littoral des Régions PACA et Ligurie, et un déplacement de type Ouest – Est toujours le long du littoral en PACA et Ligurie.

L'étude réalisée lors de l'action pilote 5.5.3 du projet AERA, Cf. Rapport « Etude spécifique des particules dans les vallées alpines et le littoral urbanisé », souligne qu'une part non négligeable de particules en provenance de sources d'émissions lointaines (entre 2à et 40%), est mesurée sur différents sites en Région PACA . Ces données confirment l'importance du transport synoptique grande échelle et exogène de particules dans l'explication.

Perspectives :

Air PACA poursuit ses efforts d'investigations concernant La composition et les origines des PM₁₀. De nombreuses études ont illustré le transport d'ions secondaires « âgés » ainsi que la présence de la fraction crustale dans les PM₁₀. Une étude plus poussée sur la spéciation de particules fines, sur le territoire Alcotra, a été planifiée par le projet Part'AERA, projet simple du programme Alcotra. Ce projet débute en 2013. L'objectif principal de ce projet est d'approfondir et d'harmoniser les connaissances sur la métrologie et sur l'analyse des origines des particules fines et notamment la part exogène naturelle par rapport aux apports anthropiques. 4 super sites, représentatifs d'une large surface de son territoire seront équipés de plusieurs capteurs de particules PM₁₀ et PM_{2,5} pendant une année complète. Ce projet permettra très certainement de mettre en évidence des épisodes de transport de particules fines à grande échelle et de les analyser.

L'outil de modélisation de chimie-transport CAM_x, développé dans le cadre du projet APICE du programme MED (www.apice-project.eu) a été mis en place sur la région PACA. Il permet une analyse facilitée du transport de polluants atmosphériques. Le modèle CAM_x dispose d'un module permettant de

marquer les différentes zones géographiques potentiellement émettrices de particules. Il permet également de tracer l'origine des différents secteurs d'activités en lien avec le cadastre des émissions. Il s'agit du module PSAT (Particulate Source Apportionment Technology). Ce module présente l'avantage de ne pas multiplier le nombre de simulations par le nombre de secteurs étudiés, comme dans le cas de l'application de la méthode dite « zéro-émission » avec le modèle Chimère et permet également d'avoir une conservation de la masse entre les différents secteurs d'activités.

Une comparaison des résultats du projet PART'AERA et l'utilisation du modèle CAMx devraient permettre d'apporter de nouveaux éléments sur l'importance du transfrontalier lors des pics de pollution particulaire. Il sera également possible de quantifier la part exogène naturelle par rapport aux contributions anthropiques.

7 REFERENCES

- DREAL PACA, Air PACA (2012) : Plan de Protection de l'atmosphère dans les Bouches du Rhône.
- DREAL PACA, Air PACA (2012) : Plan de Protection de l'atmosphère dans les Alpes Maritimes.
- AERA (2013) : Air Environnement Regions ALCOTRA (www.aera-alcotra.eu)
- Air PACA (2013) : Projet ALCOTRA-AERA : Action pilote 5.5.3 : étude spécifique des particules dans les vallées alpines et sur le littoral urbanisé.
- Air PACA (2013) : Projet ALCOTRA-AERA : Action pilote 5.5.4 : plateformes de modélisation dans les Alpes Maritimes.
- Air PACA (2013) : Projet ALCOTRA-AERA : Action pilote 5.5.5 : impacts du trafic Poids Lourds sur l'autoroute A8.
- Air PACA (2013) : Projet ALCOTRA-AERA : Action pilote 5.5.6 : Estimation des interactions atmosphériques entre les régions PACA et Ligurie.
- Air PACA (2009), Ministère de l'Ecologie : FORMES, Fraction organique de l'aérosol urbain : méthodologie d'estimation des sources, CR 0001135 du Programme Primequal.

http://www.atmopaca.org/files/et/100301_Rapport%20final%20FORMES%20Science.pdf

- Air PACA (2009), DREAL PACA : Caractérisation des particules dans la vallée du Paillon.

http://www.atmopaca.org/files/et/110419_Rapport_Particules_Vallees_Paillons.pdf

- APICE (2013) : Common Mediterranean strategy and local practical Actions for the mitigation of Port, Industries and Cities Emissions. www.apice-project.eu

8 LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Méthodologie pour la réalisation de cartes de rétrotrajectoires.....	5
Figure 2 : Cartographie des rétrotrajectoires pour Avignon en 2007	6
Figure 3 : Cartographie des rétrotrajectoires pour Marseille en 2007	6
Figure 4 : Cartographie des rétrotrajectoires pour Toulon.....	7
Figure 5 : Cartographie des rétrotrajectoires pour Nice	7
Figure 6 : Emplacement des stations de mesures de PM ₁₀ sur les Alpes Maritimes.....	8
Figure 7 : Emplacement des stations de mesures de PM ₁₀ en Ligurie.....	9
Figure 8 : Corrélations entre les stations de mesure des Alpes Maritimes pour les PM ₁₀	9
Figure 9 : Corrélations des valeurs en PM ₁₀ des stations de mesures des Alpes Maritimes et de Ligurie pour l'année 2007.....	10
Figure 10 : Corrélations des valeurs en PM ₁₀ des stations de mesures des Alpes Maritimes et de Ligurie pour l'année 2008.....	10
Figure 11 : Localisation des stations météo	11
Figure 12 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin, pour l'année 2007	13
Figure 13 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 20 au 22 avril 2007.....	14
Figure 14 : Données météo à Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 20 au 22 avril 2007.....	15
Figure 15 : Données météo WRF pour la période du 20 au 22 avril 2007	16
Figure 16 : Rétrotrajectoire à Nice pour les journées du 20 au 23 avril 2007	16
Figure 17 : Cartographie des moyennes journalières des PM ₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont.....	17
Figure 18 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM ₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 20 au 22 avril 2007	18
Figure 19 : Cartographie des moyennes horaires des PM ₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 20 au 23 avril 2007.....	18
Figure 20 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 22 au 26 mai 2007	19
Figure 21 : Donnée météo à Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 22 au 26 mai 2007	20
Figure 22 : Données météo WRF pour la période du 22 au 27 mai 2007	21
Figure 23 : Rétrotrajectoire à Nice et à Marseille pour la journée du 26 mai 2007	21
Figure 24 : Cartographie des moyennes journalières des PM ₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m ³ pour la période du 22 au 26 mai 2007.....	22
Figure 25 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM ₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 22 au 26 mai 2007	23
Figure 26 : Cartographie des moyennes horaires des PM ₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 25 mai à 06h (haut à gauche) au 28 mai 2007 à 00h (bas à droite)	24
Figure 27 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007.....	25
Figure 28 : Données météo à Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007.....	26
Figure 29 : Données météo WRF pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007.....	27
Figure 30 : Rétrotrajectoires à Nice et Marseille pour les journées du 29 novembre (Marseille) et du 28 novembre 2007 (Nice).....	28
Figure 31 : Cartographie des moyennes journalières des PM ₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m ³ pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007	29
Figure 32 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM ₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 27 novembre au 3 décembre 2007	29

Figure 33 : Cartographie des moyennes horaires des PM ₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 27 au 28 novembre 2007	30
Figure 34 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 27 janvier au 02 février 2008	31
Figure 35 : Données météo à 'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 27 janvier au 02 février 2008	32
Figure 36 : Données météo WRF pour la période du 27 janvier au 2 février 2008	33
Figure 37 : Rétrotrajectoires à Nice pour la journée du 29 janvier 2008.....	34
Figure 38 : Cartographie des moyennes journalières des PM ₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m ³ pour la période du 27 janvier au 02 février 2008.....	35
Figure 39 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM ₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 27 janvier au 2 février 2008	36
Figure 40 : Cartographie des moyennes horaires des PM ₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 28 au 29 janvier 2008.....	36
Figure 41 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 15 au 18 février 2008.....	37
Figure 42 : Données météo à 'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 15 au 18 février 2008	38
Figure 43 : Données météo WRF pour la période du 15 au 18 février 2008	38
Figure 44 : Rétrotrajectoires à Nice pour les journées du 15 au 18 février 2008	39
Figure 45 : Rétrotrajectoires à Marseille pour les journées du 15 au 18 février 2008	39
Figure 46 : Cartographie des moyennes journalières des PM ₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m ³ pour la période 15 au 18 février 2008.....	40
Figure 47 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM ₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 15 au 18 février 2008.....	41
Figure 48 : Cartographie des moyennes horaires des PM ₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la période du 15 au 16 février 2008.....	41
Figure 49 : Roses des vents d'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 14 au 17 octobre 2008.....	42
Figure 50 : Données météo à 'Avignon, Marignane, Toulon, Nice, Monte Settepani et Turin pour la période du 14 au 17 octobre 2008.....	43
Figure 51 : Données météo WRF pour la période du 14 au 17 octobre 2008	44
Figure 52 : Rétrotrajectoires à Nice pour les journées du 14 au 17 octobre 2008	44
Figure 53 : Cartographie des moyennes journalières des PM ₁₀ pour les sites de mesures en PACA, Ligurie et Piémont, dépassant la valeur de 50 µg/m ³ pour la période du 14 au 17 octobre 2008	45
Figure 54 : Moyennes glissantes sur 24h des valeurs en PM ₁₀ pour les stations de mesures en PACA, Ligurie et Piméont, pour la période du 14 au 17 octobre 2008	45
Figure 55 : Cartographie des moyennes horaires des PM ₁₀ modélisées sur la zone Alcotra pour la journée du 16 octobre 2008.....	46
Figure 56 : Répartition par secteurs d'activités des Concentrations en PM ₁₀ en moyenne sur les périodes d'études de février 2011 et de juillet 2008 à Marseille 5 Avenue.....	47
Figure 57 : Répartition par secteurs d'activités des Concentrations en PM ₁₀ en moyenne sur les périodes d'études de février 2011 et de juillet 2008 pour les sites de Cannes et Gap	48
Figure 58 : Contributions sur les concentrations des différents secteurs d'activités en moyenne sur les périodes d'études de février 2011 et de juillet 2008 pour la région PACA	49

9 GLOSSAIRE

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramme (10^{-6} g) par mètre cube. Unité de concentration la plus couramment utilisée pour quantifier la masse d'un polluant par mètre cube d'air.

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

Aérosol : une particule solide ou liquide en suspension dans l'atmosphère.

BTX : Benzène - Toluène – Xylènes

BC : Black Carbon

Ca : calcium

Ca (NO₃)₂ : nitrate de calcium

COV : composés organiques volatils

C₂H₂O₄ : oxalate

Cl⁻ : anion chlorure

Chromatographie : technique analytique utilisée en chimie, permettant la séparation des constituants d'un mélange homogène liquide ou gazeux.

DMS : diméthylesulfure

DRE : Direction Régionale de l'Environnement.

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EC : (Elemental Carbon) carbone élémentaire.

EPA : United States Environmental Protection Agency

Fe: fer

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

H₂SO₄ : acide sulfurique

HNO₃ : acide nitrique

IARC : International Association for Research on Cancer

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change.

K⁺ : cation potassium

LIDAR : Light Detection And Ranging

LGGE : Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement - Grenoble

LCP : Laboratoire Chimie Provence - Marseille

NO_x : oxydes d'azote.

NO : monoxyde d'azote.

NO₂ : dioxyde d'azote.

NH₃ : ammoniac

NH₄⁺ : cation ammonium

NO₃⁻ : anion nitrate

NaNO₃ : nitrate de sodium

NH₄NO₃ : nitrate d'ammonium

(NH₄)₂SO₄ : sulfate d'ammonium

Na⁺ : cation sodium

Mg²⁺ : cation magnésium

O₃ : ozone.

OC : (Organic Carbon) carbone organique.

OM : matière organique

Objectif de qualité : valeur de prévention, à long terme, objectif à atteindre pour la protection de la santé humaine, ou référence spécifique en zone déterminée par les états membres de l'Union Européenne (UE)

PM₁₀ : Particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm.

PM_{2.5} : Particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2.5 µm.

PACA : Provence-Alpes-Côte-d'Azur.

SO₂ : dioxyde de soufre

SO₄²⁻ : anion sulfate

Synoptique : L'échelle synoptique, en météorologie, s'applique à un ou plusieurs systèmes atmosphériques de large échelle, et durant plusieurs jours

Valeur limite : valeur limite à ne pas dépasser pour la protection de la santé humaine sur l'ensemble du territoire des états membre de l'Union Européenne (UE).