



**METEO
FRANCE**

Recherche de couples d'analogues

en amont de l'étude d'Air-Breizh sur la rocade de Rennes



Unité mobile installée sur le point Sud de la rocade de Rennes

(rapport d'activité 2015)

version : octobre 2016

Client : AIR-BREIZH (CORRON Magali)	* Tour Alma 8 ^{ème} étage 3 rue Bosphore 35 200 RENNES @ mcorron@airbreizh.asso.fr ☎ +33 2 23 20 90 XX	
Chargé d'affaires : CORNEC Philippe	@ philippe.cornec@meteo.fr ☎ +33 2 22 51 53 21	
Responsable technique : BARAER Franck	@ franck.baraer@meteo.fr ☎ +33 2 22 51 53 31	

Rédacteur : MADEC Thumette	@ Thumette.madec@meteo.fr ☎ +33 2 22 51 53 37	
--------------------------------------	---	---

Livraisons successives :

Date	Description
22 juillet 2016	Livraison du premier lot de couples d'analogues concernant les mois de mai et juin 2016. Première description, dans les grandes lignes, de la méthode utilisée.
14 octobre 2016	Livraison du second lot de couples d'analogues concernant les mois de juillet, août et septembre 2016. Reprise de la description des couples du premier lot dans le même format que celui du second lot.
25 octobre 2016	Livraison d'un complément pour les mois d'août et septembre 2016, quasi absents du second lot (évolution de la méthode initiale).
07 novembre 2016	Livraison du rapport final.

Table des matières

I. Contexte de l'étude.....	1
II. Méthode suivie.....	2
II.1. Principe général.....	2
II.2. Données météorologiques utilisées.....	3
II.3. Enchaînement des actions.....	7
II.3.1. Phase exclusivement météorologique	7
II.3.2. Phase prenant en compte le trafic routier	9
II.3.2. Phase d'expertise	10
II.4. Tests effectués ou possibles.....	11
II.4.1. Combinaisons effectivement testées	11
II.4.2. Tests encore possibles	12
III. Premier lot de couples proposés.....	13
III.1. Lundi 02/05/2016 et mardi 08/09/2015.....	14
III.2. Mardi 03/05/2016 et lundi 15/06/2015.....	16
III.3. Lundi 30/05/2016 et lundi 15/06/2015.....	18
III.4. Mardi 31/05/2016 et lundi 14/09/2015.....	20
III.5. Mercredi 01/06/2016 et mardi 01/09/2015.....	23
III.6. Samedi 04/06/2016 et samedi 05/09/2015.....	25
III.7. Mercredi 08/06/2016 et mercredi 17/06/2015.....	27
III.8. Dimanche 19/06/2016 et dimanche 06/09/2015.....	29
III.9. Mardi 21/06/2016 et jeudi 18/06/2015.....	31
IV. Second lot de couples proposés.....	33
IV.1. Mercredi 06/07/2016 et jeudi 09/07/2015.....	33
IV.2. Vendredi 22/07/2016 et vendredi 07/08/2015.....	36
IV.3. Mardi 26/07/2016 et jeudi 23/07/2015.....	38
IV.4. Jeudi 28/07/2016 et lundi 20/07/2015.....	40
IV.5. Lundi 01/08/2016 et jeudi 30/07/2015.....	42
IV.6. Lundi 01/08/2016 et mercredi 19/08/2015.....	44
V. Conclusion générale.....	46

Annexe

Annexe : analyse complémentaire pour les mois d'août et septembre 2016.....	49
A.1. Préliminaires.....	49
A.2. Mardi 06/09/2016 et lundi 06/07/ 2015.....	51
A.3. Mercredi 07/09/2016 et mercredi 09/09/2015.....	53
A.4. Vendredi 09/09/2016 et vendredi 04/09/2015.....	55
A.5. Jeudi 22/09/2016 et jeudi 25/06/2015.....	57

I. Contexte de l'étude

À titre expérimental pour une durée d'un an, une baisse de 20 km/h de la limitation de vitesse sur la rocade rennais a été décidée à l'automne 2015. La DREAL, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, a demandé à l'association en charge de la surveillance de la qualité de l'air en Bretagne, Air-Breizh, d'étudier l'impact éventuel de ce changement sur les concentrations en dioxyde d'azote NO₂ et en particules en suspension (PM10). A cette fin, Air-Breizh a mené deux campagnes de mesures de ces polluants en 2015 et en 2016, à peu près à la même période de l'année :

- une première, avant la baisse de la vitesse autorisée, entre le 12 juin et le 18 septembre 2015 (état initial de la qualité de l'air) ;
- une seconde, après la baisse, entre le 1^{er} mai et le 30 septembre 2016.

Pour réaliser cette étude, Air-Breizh a souhaité disposer d'au moins dix couples de dates (campagne 2015, campagne 2016) comparables en termes de pouvoir dispersif des deux polluants retenus mais aussi en termes de trafic routier sur la rocade. En effet, ce dernier est très fluctuant au sein d'une même semaine et d'une semaine à l'autre, en fonction des périodes travaillées ou non (par exemple, il faut identifier les vacances d'été, les jours fériés, les ponts, les week-ends...) et en fonction des incidents provenus sur la rocade (par exemple, un accident, une manifestation, des travaux...). Or, à la période de l'année concernée, le transport constitue la principale source des polluants étudiés. Pour pouvoir comparer correctement les taux de pollution en NO₂ et en particules fines lors de deux journées avec des conditions dispersives de l'atmosphère semblables, il est nécessaire que le trafic routier soit analogue.

Air-Breizh a donc sollicité la collaboration de Météo-France et de la DIR Ouest (Direction Interdépartementale des Routes Ouest) en amont de son étude, afin d'identifier ces couples de journées analogues (2015, 2016).

Le temps imparti pour mettre au point la méthode d'identification de tels couples a été très réduit, du fait d'un premier rapport provisoire qui devait être fourni par Air-Breizh très rapidement après le début de l'étude (avant même la fin de la campagne de mesures 2016). Cette contrainte a imposé la livraison des couples à Air-Breizh en deux fois : les analogues des dates de mai et juin 2016 tout d'abord, puis ceux des dates de juillet, août et septembre 2016 après la fin de la campagne de mesures 2016. Par souci de cohérence, la même méthode d'identification a été appliquée pour les deux livraisons, et l'étape de pure investigation a donc été écourtée par rapport à toute la durée de l'étude (de ce fait tous les tests souhaités n'ont hélas pas pu être expérimentés).

II. Méthode suivie

II.1. Principe général

L'idée est d'utiliser l'année 2015 comme référence afin de mettre au point la procédure pour caractériser le pouvoir dispersif de l'air sur l'ensemble** d'une journée d'une part (Météo-France) et pour classer le trafic routier d'autre part (DIR Ouest).

Cette procédure est ensuite appliquée aux dates 2016 afin de les associer dans la mesure du possible à des dates 2015 ressemblantes.

De la sorte, sans devoir attendre la fin de la campagne de mesures 2016, il est possible de fournir progressivement à Air-Breizh des couples d'analogues (2015,2016) en fonction des jalons qui lui sont imposés.

Un inconvénient de procéder ainsi est que l'échantillon de référence 2015 n'est constitué que d'une centaine de dates en tout, dates qu'il faudrait même répartir en autant de groupes que la DIR Ouest préconise en termes de trafic routier. Certains de ces groupes ne seraient d'ailleurs constitués que de quelques éléments ! Comme, sur la région et entre mai et septembre, le pouvoir dispersif, contrairement au trafic routier, ne dépend pas vraiment, lui, du jour de la semaine, du mois... il est proposé de travailler en plusieurs phases.

La **première** phase est purement météorologique ; son objectif est de tenter de caractériser synthétiquement le pouvoir dispersif de l'atmosphère sur une journée entière quelconque, durant la période de l'année ciblée. L'échantillon de 2015 est utilisé dans son ensemble pour cela (même s'il reste encore de taille insuffisante pour décrire pleinement tous les cas qui peuvent être rencontrés en matière de pouvoir dispersif de l'atmosphère).

Ce n'est que dans un **deuxième** temps que l'exigence sur la similitude du trafic routier est prise en compte, après que chaque journée de 2016 a été associée à plusieurs dates 2015 équivalentes en termes de pouvoir dispersif (uniquement).

Remarque : il aurait été préférable de pouvoir caractériser le pouvoir dispersif à partir des conditions atmosphériques des deux années 2015 et 2016, mais alors il aurait fallu attendre la fin de la campagne de mesures 2016 (soit le mois d'octobre). Une autre possibilité aurait pu également être de prendre comme référence la période de mai à septembre de 2015 ainsi que des années précédentes, mais cela aurait demandé un temps de récupération des données nécessaires à l'étude trop important dans le temps imparti pour la première livraison (comme expliqué dans le paragraphe suivant, l'étude utilise des données du modèle AROME).

**Air-Breizh souhaite une ressemblance entre les pouvoirs dispersifs de deux journées sur l'ensemble des 24 heures et pas uniquement à certains créneaux horaires bien ciblés (aux heures de trafic routier dense par exemple : ces dernières jouent certes un rôle prépondérant dans les émissions de polluants d'une journée, mais ce ne sont pas forcément celles pendant lesquelles l'impact de l'abaissement des vitesses sera le plus remarquable).

En tout **dernier** lieu, une expertise des conditions météorologiques dans l'optique "pollution par le NO2 et les particules fines" permet d'analyser les couples potentiels (2015,2016) restant après le filtre sur le trafic routier afin de sélectionner les plus pertinents qu'Air-Breizh pourra étudier dans le cadre de l'étude d'impact qui lui est demandée.

En fait, dans cette recherche de couples d'analogues, l'accent est plus particulièrement mis sur le dioxyde d'azote. En effet, ce polluant est un meilleur traceur du trafic routier que ne le sont les particules fines pour lesquelles les sources sont plus diversifiées. Sur la région, le niveau de concentration du dioxyde d'azote s'abaisse bien durant la nuit. C'est pourquoi, dans la suite, l'effet d'accumulation d'un jour sur l'autre n'est absolument pas pris en compte pour déterminer deux analogues.

II.2. Données météorologiques utilisées

Le tout premier paramètre pris en considération est l'occurrence ou non de précipitations. En effet, la pollution est quasi inexistante en cas de pluie (lessivage) et l'étude de l'impact du changement de limitation de la vitesse sur la pollution n'a alors pas d'intérêt. Certains jours pluvieux peuvent donc être supprimés, en amont, en fonction de la durée des précipitations et de l'heure à laquelle elles se sont produites (écoute des besoins d'Air-Breizh).

Plusieurs tests sont effectués pour déterminer quand un jour avec pluie doit être retiré ; ils donnent des résultats très similaires (cf. remarque suivante). Finalement est considéré comme "un jour de pluie à retirer" un jour où il pleut plus de deux heures (pas nécessairement consécutives) entre 7 et 22 heures locales.

Les observations à la station de Rennes St-Jacques sont utilisées pour déterminer ces jours.

- Sept journées répondent à ces conditions en 2015 :

20150612
20150705
20150814
20150824
20150827
20150915
20150916

- Cinq journées répondent à ces conditions en 2016

20160522
20160613
20160614
20160620
20160916

Remarque : les deux autres tests réalisés sont plus destinés à cibler les "fortes" pluies :

- ✓ "1 heure entre 7 et 22 heures avec épisodes pluvieux d'intensité constante de cumul supérieur à 0,4 mm" (3 dates en plus que le test retenu)
- ✓ "1 heure entre 7 et 22 heures avec épisodes pluvieux d'intensité constante de cumul supérieur à 0,5 mm" (2 dates en moins que le test retenu).

Hormis les précipitations, tous les autres paramètres examinés sont issus du modèle AROME. Il s'agit du modèle régional de prévision numérique du temps à maille très fine exploité en opérationnel à Météo-France qui couvre un domaine limité à la France métropolitaine et aux pays voisins et permet de délivrer des informations détaillées de petite échelle. Parmi ses atouts, on peut citer sa résolution (horizontale et verticale), sa capacité à prendre en compte plusieurs centaines de types de surface différents (lacs, végétation, surfaces urbanisées...), sa faculté d'assimiler une plus grande quantité d'observations que les modèles de grande échelle...

La maille horizontale retenue ici est de 2,5 km.

En concertation avec tous les partenaires de l'étude, il est décidé de ne travailler qu'avec un seul point AROME pour décrire globalement les conditions dispersives sur l'ensemble de l'agglomération rennaise. En effet, il a semblé qu'employer plus de points alourdirait le travail sans apporter de réelles informations pertinentes supplémentaires.

Le point AROME retenu, de coordonnées 48,075 °Nord et 1,65 °Ouest, est le point le plus proche du point de mesure d'Air-Breizh situé sur la rocade Sud. Une distance d'un peu plus de 740 mètres sépare les deux sites.



Figure II.1 : emplacement du point AROME au sud du point de mesure Sud d'Air-Breizh

Le choix de n'utiliser que des données horaires modélisées est d'une part motivé par le souci de travailler avec des données cohérentes entre elles, car provenant d'une même et unique source, tout en étant réalistes. D'autre part, cela permet d'obtenir a priori la meilleure reconstitution des conditions dispersantes au-dessus de Rennes, qui soit disponible en trois dimensions et qui assure une description pour les 24 heures d'une journée.

En effet, pour décrire le pouvoir dispersif de l'atmosphère il est important de tenir compte des conditions au sol, mais aussi du profil vertical de l'atmosphère dans les basses couches (d'où le besoin des trois dimensions). En données observées, les premières peuvent être fournies toutes les heures par les nombreuses stations d'observation de Météo-France, dont celle de Rennes St-Jacques à environ 6 kilomètres à l'ouest du point de mesure d'Air-Breizh situé sur la rocade Sud. Le second peut être obtenu à partir des radiosondages réalisés deux fois par jour (loin des 24 heures souhaitées) sur seulement quelques sites spécialisés, comme celui de Brest, de Trappes ou de Bordeaux, pour les plus près de Rennes.

Les paramètres météorologiques horaires de base sélectionnés pour caractériser le pouvoir dispersif de l'atmosphère sur les premiers 1 500 mètres (il n'a pas été jugé utile d'aller au-delà) sont :

- près du sol :
 - ✓ la pression au niveau de la mer en hectoPascals (Pmer)
 - ✓ la température de l'air à 2 mètres en degrés Celsius (T2m)
 - ✓ l'humidité à 2 mètres en pourcents (HU2m)
 - ✓ la température du point de rosée** à 2 mètres en degrés Celsius (Td2m)
- sur 19 niveaux (Nk) du modèle entre 10 et 1 500 mètres (10, 20, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 375, 500, 625, 750, 875, 1 000, 1 125, 1 250, 1 375, 1 500 mètres) :
 - ✓ la température de l'air (Tk)
 - ✓ l'humidité (HUK)
 - ✓ la température du point de rosée (Tdk)
 - ✓ la direction et la force du vent (DDk et FFK) ou les deux composantes zonale Uk et méridienne Vk du vent.

Certains de ces paramètres sont redondants et plusieurs combinaisons sont possibles. Quelques-unes ont pu être testées malgré le peu de temps imparti (voir paragraphe II.4.1), elles ont abouti à la sélection de la pression au niveau de la mer, la force du vent à 10 mètres, la température de l'air et l'humidité à chacun des douze niveaux du modèle entre 2 et 500 mètres. Cependant, avec plus de temps, ce choix serait sans aucun doute encore perfectible et d'autres combinaisons pourraient être essayées (par exemple, retirer la pression, cf. paragraphe II.4.2).

Remarque : en parallèle, pour vérifier la pertinence des données du modèle AROME par rapport aux observations, les valeurs modélisées de la température à 2 mètres et de la force du vent à 10 mètres sont comparées aux observations à la station de Rennes St-Jacques. Les températures des deux sources sont tout à fait cohérentes. Pour la force du vent, les résultats sont plus discutables, sans être totalement aberrants. En fait, les vents en cause sont faibles ; de tels vents ont comme caractéristique d'être très variables entre deux sites, même proches, car ils sont très sensibles aux effets locaux. Ainsi, le vent de St-Jacques n'est pas nécessairement plus représentatif du vent affectant le site de mesure d'Air-Breizh que le point AROME ne l'est : il faudrait disposer d'un vent au niveau même des mesures de pollution (ce vent étant d'ailleurs probablement très fortement perturbé par la circulation sur la rocade). Mais il faut par ailleurs se rappeler qu'il s'agit ici de caractériser le pouvoir dispersif globalement sur l'ensemble de l'agglomération rennaise, à partir d'un seul point ; disposer d'un vent très précis pour le point Sud d'Air-Breizh ne permettrait pas d'assurer la même précision sur le reste de l'agglomération. L'utilisation du vent AROME est donc acceptable.

Nota : les observations de vent de la station de Rennes St-Jacques sont effectivement utilisées lors de la phase d'expertise, phase ultime pour sélectionner les couples d'analogues.

**température à laquelle il faut refroidir un volume d'air, à humidité et pression constantes, pour qu'il devienne saturé. Tout refroidissement ultérieur produit la condensation.

II.3. Enchaînement des actions

Preliminaire : les librairies FactoMineR et missMDA du logiciel R ont permis de mettre en œuvre les méthodes statistiques employées dans cette étude (différents types d'analyses factorielles, la méthode de classification hiérarchique ascendante consolidée par la méthode d'agrégation autour des centres mobiles).

II.3.1. Phase exclusivement météorologique

- Etape 1 : traitement de l'échantillon 2015

Entre le 12 juin et le 18 septembre 2015, les journées non pluvieuses (**rappel** : pas, ou moins de 2 heures, de pluie entre 7 et 22 heures locales) sont au nombre de 91 jours, soit 2 180 réseaux horaires AROME du fait de l'absence de quatre d'entre eux (le 11/07/2015 à 00, 01 et 02 UTC et le 13/09/2015 à 12 UTC).

Le pouvoir dispersif sur toute une journée est décrit par les cycles diurnes (de 00 à 23 UTC) de la pression au niveau de la mer, de la force du vent à 10 mètres et du profil vertical sur les 500 premiers mètres de l'atmosphère.

Les cycles diurnes de la pression et de la force du vent sont disponibles directement. Les quatre réseaux horaires manquants sont reconstitués à l'aide de deux Analyses en Composantes Principales itératives.

Le cycle diurne du profil vertical demande un traitement particulier. Une classification des profils verticaux horaires AROME de température et d'humidité permet de résumer en une seule valeur, la classe d'appartenance d'un profil, l'information disponible pour chacun des douze niveaux du modèle entre 2 et 500 mètres. A partir de l'échantillon des 2 180 données horaires de 2015, six classes-type de profils horaires sont définies (dans les résultats ultérieurs, elles sont ordonnées et nommées, de "disp1" à "disp6", en fonction croissante du pouvoir dispersif dans les basses couches). Pour chaque jour, des cycles diurnes des profils verticaux peuvent donc être établis comme une succession de classes de profils horaires entre 00 et 23 UTC (chaque heure d'une journée étant associée à la classe à laquelle le profil vertical appartient).

Il est important de souligner ici que si le choix de nommer les classes en termes de pouvoir dispersif croissant a été privilégié, mais ces classes sont également décrites par la température et l'humidité (variables ayant d'ailleurs été utilisées pour réaliser la classification) ou même l'heure. Aussi, dans les graphiques ultérieurs présentés pour comparer deux analogues, l'attribution à une classe pourra parfois paraître mal accordée avec le nom de la classe, car le critère prédominant justifiant le classement est davantage la température, par exemple, que le pouvoir dispersif.

Remarque : comme pour la pression et la force du vent, les classes des quatre réseaux manquants sont reconstituées à l'aide d'une Analyse des Correspondances Multiples itérative.

Les trois cycles diurnes de pression au niveau de la mer, de profil vertical et de force du vent à 10 mètres sont ensuite analysés simultanément au moyen d'une Analyse Factorielle Multiple (finale), chaque cycle constituant un groupe. Les dix-neuf premiers facteurs permettent de reconstituer 83 % de l'information initiale et sont conservés pour décrire le pouvoir dispersif de l'atmosphère sur l'ensemble d'une journée.

La proximité entre deux dates est enfin estimée avec le calcul de la distance euclidienne classique utilisant ces dix-neuf composantes.

Le nombre de 19 est un nombre de dimensions élevé, même s'il est nettement réduit par rapport aux quelque 150 dimensions initiales avant l'analyse factorielle. Cela peut d'ailleurs poser des problèmes d'interprétation de la distance produite entre deux dates par la suite. Par exemple, une même valeur de la distance peut cacher de multiples combinaisons ayant plus ou moins d'impacts en termes de qualité de l'air. L'étude de la distance seule ne peut pas être suffisante pour déterminer les couples (2015,2016) à retenir au final. La phase d'expertise humaine des conditions météorologiques est essentielle pour compléter les calculs statistiques. La fourniture de la distance est un moyen de limiter l'ensemble des couples à comparer (une date 2016 avec toutes les dates 2015) aux couples les plus probablement pertinents (chaque date de 2016 n'est plus comparée qu'aux premières dates 2015 les plus proches).

Remarque : pour avoir à l'esprit un ordre de grandeur de cette distance sur l'échantillon des dates de l'année 2015, elle varie entre 0,4 et 8,7, avec une moyenne de 3,8 et un premier quartile de 2,8.

Des tentatives pour réduire le nombre de facteurs conservés seraient envisageables, mais elles n'ont pas pu être menées ici faute de temps.

Le choix de retenir les 19 premiers facteurs est basé presque uniquement sur des critères mathématiques, mais il est validé dans la mesure où une phase finale d'expertise est prévue à la suite.

- Etape 2, application à une date de 2016

Au total, une fois les cinq jours "pluvieux" de 2016 retirés, 142 dates sont traitées, soit 3 408 réseaux horaires (aucun manque n'est à signaler parmi les réseaux horaires du modèle AROME, sur la période de la campagne de mesures 2016).

- ✓ Pour chaque date de 2016, les cycles diurnes AROME de la pression au niveau de la mer et de la force du vent à 10 mètres sont formés.
- ✓ Chaque profil vertical horaire est affecté à la classe dont le centre de gravité est le plus proche. Ce qui permet d'obtenir le cycle diurne des profils verticaux.
- ✓ Les trois cycles diurnes connus, il est normalement possible de calculer les 19 composantes de la date pour évaluer les distances qui la séparent de toutes les dates de 2015. En fait, la taille de l'échantillon 2015 étant assez réduite, tous les cas de figure n'y sont pas forcément rencontrés et il est possible que des classes de profils verticaux soient associées à certaines heures en 2016 alors qu'elles ne le sont jamais en 2015. Il s'agit de cas peu classiques d'un point de vue météorologique, mais possibles.

Ces cas sont donc systématiquement supprimés du traitement. Les quatre dates 2016 suivantes sont ignorées : le 12/05/2016, le 18/05/2016, le 03/06/2016 et le 23/08/2016.

Remarque : ces cas n'étant pas nombreux, leur suppression n'entame pas énormément le potentiel de couples d'analogues éventuels. De plus, du fait du caractère insolite de l'association "classe↔heure" qu'ils présentent, tout analogue 2015 proposé ne serait pas totalement satisfaisant. Enfin, le trafic du 18/05/2016 fait également partie de ceux considérés comme atypiques par la DIR Route (voir paragraphe suivant).

- ✓ Les dix dates 2015 les plus proches sont préférentiellement conservées. Ce nombre de dix est tout à fait subjectif, mais paraît largement suffisant. D'ailleurs, la différence entre la première distance et la dixième n'est parfois pas énorme. De plus, il convient de se rappeler les commentaires faits sur la distance utilisée, lors de la description de l'étape 1. En tout état de cause, l'expertise finale permet de trancher sur la pertinence ou non d'un analogue, même si la distance entre les dates 2015 et 2016 semble a priori assez "grande".

II.3.2. Phase prenant en compte le trafic routier

Parallèlement au travail de Météo-France, la DIR Ouest a constitué une classification du trafic routier sur la rocade rennaise fonction de la période dans l'année, entre mai et septembre, du jour de la semaine et des événements qui se sont produits sur la rocade. Cela a permis de définir une série de filtres.

- Période

Il convient de distinguer deux périodes par année : une période de trafic estival qui correspond globalement aux vacances scolaires d'été et une période de trafic normal.

Année	Période de trafic normal	Période de trafic estival
2015	du 12/06 au 12/07 et du 04/09 au 18/09	du 13/07 au 03/09
2016	du 02/05 au 13/07 et du 04/09 au 30/09	du 14/07 au 03/09

Un jour de la période de trafic estival 2016 (respectivement de la période de trafic normal 2016) ne peut être couplé qu'à un jour de la période de trafic estival 2015 (respectivement de la période de trafic normal 2015).

- Jour de la semaine

Au sein d'une même période, les vendredis ne peuvent être couplés qu'avec des vendredis, les samedis qu'avec des samedis, les dimanches qu'avec des dimanches, les jours de la semaine du lundi au jeudi qu'avec un jour de la semaine du lundi au jeudi.

- Cas atypiques

Enfin, la DIR Ouest a identifié pour une période et un jour de la semaine donnés quelques dates dont le trafic est vraiment atypique vis-à-vis de la classe à laquelle il est supposé appartenir. Ces dates ne doivent pas être prises en compte dans la recherche des couples d'analogues.

- ✓ en 2015 : du 13 au 15 juillet et le 15 août
- ✓ en 2016 : du 04 au 08 mai, du 15 au 26 mai, le 28 mai, les 14 et 15 juillet, le 17 juillet, le 27 juillet, le 03 août, le 13 août, les 15 et 16 août, les 30 et 31 août, du 26 au 30 septembre.

Remarque : du fait de l'annonce préfectorale des conclusions de l'expérimentation dès le 26 septembre 2016, la DIR Ouest a considéré que le trafic entre le 26 et le 30 septembre avait pu être perturbé.

Au sein de la saison estivale, la DIR Ouest a de plus identifié 10 dates 2016 (du 04 au 12 août, le 14, les 17 et 18 août 2016) qui ne peuvent être comparées qu'à 5 dates 2015 (le 06 août, du 10 au 13 août 2015). A cette restriction, il faut bien sûr ajouter celle sur le jour de la semaine (deuxième point précédent).

A l'issue de ces filtres dus au trafic routier, le nombre de couples potentiels (2015,2016) d'analogues est bien réduit. La phase d'expertise suivante peut débuter.

II.3.2. Phase d'expertise

L'intérêt se porte prioritairement sur les paramètres qui impactent le plus la dispersion des deux polluants analysés : la force du vent et les profils verticaux (caractéristiques de l'aspect dispersif ou non de l'atmosphère).

Une première présélection est fondée sur la comparaison rapide, pour les deux dates de chaque couple potentiel, des vingt-quatre profils verticaux horaires et des cycles diurnes du vent. Elle permet de retirer les couples pour lesquels trop de différences apparaissent très visiblement.

Puis, une étude plus approfondie des couples restants (une quarantaine environ) est réalisée. Tout d'abord, la situation météorologique de chaque date est brièvement résumée, afin de situer le contexte général de chaque situation.

Puis, la sélection à proprement parler des couples pertinents se fait par expertise des graphiques décrivant pour chaque date :

- les cycles diurnes AROME de la pression au niveau de la mer, de la température à 2 mètres, de la force du vent à 10 mètres et des classes des profils verticaux (c'est-à-dire les *paramètres utilisés pour calculer les distances entre les dates 2015 et les dates 2016*) ;
- les variations de la température de l'air et de la température du point de rosée (issues d'AROME) sur les 500 premiers mètres de l'atmosphère, toutes les heures entre 00 et 23 UTC (*description de la dispersion verticale*) ;
- les cycles diurnes du vent effectivement observés à la station de Rennes St-Jacques ; ce qui aide à interpréter (et à valider) ceux du modèle (*affinage de la dispersion horizontale*).

Dans les parties III et IV à suivre, plusieurs couples (2016,2015) sont proposés dans l'ordre chronologique des dates 2016. La partie III (respectivement la partie IV) correspond au premier lot (respectivement au second lot) de couples fournis à Air-Breizh en juillet (respectivement en octobre). Des commentaires, positifs et/ou négatifs, sont ajoutés pour décrire dans quelle mesure chaque couple répond aux critères d'acceptation en termes d'analogie des conditions météorologiques et éventuellement de trafic routier.

II.4. Tests effectués ou possibles

Il s'agit essentiellement de tests portant sur d'autres combinaisons possibles des paramètres météorologiques énumérés dans le paragraphe II.2. et non sur les méthodes statistiques qui sont toujours choisies parmi celles citées dans le préliminaire du paragraphe II.3.

Dans le premier paragraphe suivant, les essais qu'il a été possible d'effectuer sont succinctement décrits. Ils ont conduit de façon plus ou moins directe à la méthode effectivement déployée.

Dans le paragraphe II.4.2., sont listés les tests qui pourraient encore être accomplis pour essayer d'améliorer la méthode actuelle, ainsi que ceux qui n'ont pas pu être menés faute de temps.

II.4.1. Combinaisons effectivement testées

- Les cycles diurnes formés par les vingt-quatre forces horaires du vent à 10 mètres sont regroupées en sept classes. Ces dernières décrivent des cycles de vent réalistes et pertinents. Cette classification, simple, prend en compte le paramètre météorologique qu'Air-Breizh estime le plus important après la pluie. Elle est considérée comme une méthode par défaut au cas où les autres tests se seraient montrés inefficaces. Mais son grand défaut est l'absence de toute information sur la dimension verticale.
- Les vingt niveaux entre le sol et 1 500 mètres sont considérés, ils sont décrits par Pmer, T2m et Td2m pour le premier et T, Td, ff pour les autres, au pas de temps horaire. Ces profils verticaux horaires sont regroupés en onze classes intéressantes, bien qu'un peu trop nombreuses. Cependant, les deux paramètres de températures ne sont pas suffisamment distingués l'un de l'autre par les méthodes statistiques alors qu'ils jouent un rôle différent, d'où le test suivant où l'humidité, HU, se substitue à la température du point de rosée, Td.
- Les vingt niveaux entre le sol et 1 500 mètres sont considérés, ils sont décrits par Pmer, T2m et HU2m pour le premier et T, HU, ff pour les autres, au pas de temps horaire. Onze classes intéressantes, à nouveau, sont obtenues. Cette fois la température et l'humidité jouent des rôles bien distincts. En revanche, il apparaît que la pression intervient de façon trop dominante au niveau "sol" par rapport à la température T2m et l'humidité HU2m. Cela est un peu gênant car cela risque de masquer ce qui se passe près du sol en termes de températures, d'où le test suivant où la pression au niveau de la mer est traitée à part.

Avec les mêmes paramètres, un test où seuls les douze premiers niveaux entre le sol et 500 mètres sont conservés donne des résultats très satisfaisants, et suffisants semble-t-il pour cibler la dispersion dans les basses couches (point d'intérêt de l'étude) tout en allégeant la quantité d'informations à prendre en compte dans les analyses.

- Il s'agit de l'option finalement gardée avec : tout d'abord un travail à partir de la température et de l'humidité sur les 12 premiers niveaux entre 2 et 500 mètres, puis une prise en compte des cycles diurnes de la pression au niveau de la mer d'une part et des forces du vent moyen à 10 mètres d'autre part. De la sorte, les variations de la température dans les basses couches sont bien ciblées, les profils verticaux mieux étudiés (à part, sans intervention de la pression ni de la vitesse du vent). Les résultats étant encourageants et faute de temps pour tenter d'autres essais possibles, cette méthode est menée à terme pour identifier des couples d'analogues (2015,2016).

II.4.2. Tests encore possibles

Il serait envisageable de cibler uniquement le profil de la température de l'air dans les basses couches, sans notion d'humidité, dans un premier temps et de travailler avec les gradients de températures entre deux niveaux successifs de 2 à 500 mètres. Les cycles diurnes de la force du vent à 10 mètres, de la pression au niveau de la mer et de la température de l'air à 2 mètres seraient introduits dans un second temps.

Remarque : si le modèle est incontournable pour l'apport des informations sur la verticale, il est en revanche possible de tester l'utilisation des observations de Pmer, de FF10, de T2m à Rennes St-Jacques au lieu des paramètres AROME correspondants, avec le risque de perdre la cohérence entre les paramètres qui est assurée quand une seule source de données est exploitée (en particulier pour le vent qui peut être très variable entre deux sites proches lorsqu'il est faible). Il n'est d'ailleurs pas sûr que les résultats obtenus soient meilleurs, car il faut préciser ici que le modèle AROME se recale effectivement aux observations plusieurs fois par jour. Les données modélisées utilisées sont donc tout à fait réalistes.

L'interprétation de la méthode utilisée amène à se demander si le paramètre Pmer est vraiment fondamental. En effet, ce n'est pas le paramètre décisif lors de l'expertise finale et pourtant sa présence nécessite un certain nombre de facteurs de l'Analyse Factorielle finale pour le décrire. Ces facteurs pourraient être remplacés par d'autres servant à décrire des paramètres qui sont eux primordiaux pour la dispersion, comme le vent et les profils verticaux.

Il en va de même sur l'intérêt de prendre en compte la température à 2 mètres. Ce paramètre tient une part non négligeable dans l'interprétation des classes des profils verticaux, alors que c'est sur l'aspect plus ou moins dispersif de ces derniers que, lors de la phase d'expertise, repose le choix de garder ou non un couple (2015,2016).

Un test pourrait alors consister à n'utiliser que les cycles diurnes du gradient de température sur les 500 premiers mètres et la force du vent à 10 mètres.

Plusieurs fois, il a été souligné que la distance entre deux dates calculée à partir de dix-neuf dimensions était trop imprécise pour permettre un classement hiérarchique de proximité efficace (l'expertise postérieure permettant de pallier ce défaut). Il serait intéressant de tester jusqu'à quel nombre de dimensions il est possible de descendre pour garder une quantité suffisante de l'information initiale et permettre également une meilleure interprétation de la distance obtenue.

La taille de l'échantillon de référence 2015 qui a servi à classer les profils verticaux pourrait être augmentée en considérant non pas la période mai-septembre de la seule année 2015, mais de toutes les années depuis 2008 que contient l'archive AROME. Cela permettrait d'enrichir le panel des profils verticaux possibles et éviterait peut-être de devoir écarter des dates 2016, car le cycle diurne de leurs profils horaires est atypique par rapport à 2015.

Enfin, la direction du vent n'a pas du tout servi, faute de temps. Sa connaissance n'a pas paru, a priori, essentielle pour l'étude des concentrations de NO₂ et de particules fines. Cependant, des tests faisant intervenir la direction et la force du vent ou les composantes U et V du vent seraient sans doute opportuns.

III. Premier lot de couples proposés

Ce premier lot, livré le 25 juillet 2016, concerne les dates 2016 entre le 2 mai et le 3 juillet.

Après tous les traitements, 9 couples d'analogues (2015,2016) sont finalement retenus. Ils sont décrits ci-après par ordre chronologique de la date 2016.

Pour chaque couple proposé,

- le premier graphique représente les 24 profils verticaux de la température de l'air (lignes pleines) et de la température du point de rosée (points) de la date 2016 traitée (en rouge) et de la date 2015 analogue (en noir) ;
- le deuxième graphique reproduit les cycles diurnes, entre 00 et 23 UTC, des paramètres AROME pression au niveau de la mer (Pmer), température à 2 mètres (T2m), force du vent moyen à 10 mètres (FF10) et des classes des profils verticaux. Le cycle 2016 apparaît en rouge et celui 2015 en noir ;
- enfin, les cycles diurnes des vents observés à la station de Rennes St-Jacques permettent de compléter l'analyse de la dispersion horizontale (avec les mêmes conventions de couleurs). Il convient tout de même de rappeler que, lors de situations de vent faible (comme c'est généralement le cas ici), ce dernier peut être très variable entre deux points même proches l'un de l'autre.

III.1. Lundi 02/05/2016 et mardi 08/09/2015

Situation 2016 : dorsale s'affaissant à l'approche d'une onde très peu active qui arrive dans des champs élevés, flux de sud à sud-ouest puis nord-ouest.
 Situation 2015 : flux de nord à nord-est anticyclonique.

Les cycles diurnes des paramètres météorologiques sont a priori plutôt comparables.

A noter toutefois :

- le pic de vent vers 21 UTC en 2016 qui n'apparaît pas en 2015. Il est court mais prononcé (il semble justifié, en effet à Rennes St-Jacques, il est mesuré 8 m/s) ;
- les classes des profils verticaux horaires qui diffèrent parfois, essentiellement du fait des températures, d'où la nécessité d'expertiser aussi les profils horaires verticaux de températures uniquement dans l'optique "pollution".

Sur les sondages horaires, l'inversion de 2016 est plus prononcée entre 00 et 02 UTC que celle de 2015. Entre 04 et 07 UTC, l'inversion** disparaît des sondages de 2016 alors qu'elle persiste en 2015 (il s'agit là d'un créneau horaire important pour le trafic routier). En toute fin de journée, l'inversion de très basses couches est plus nette en 2015 qu'en 2016.

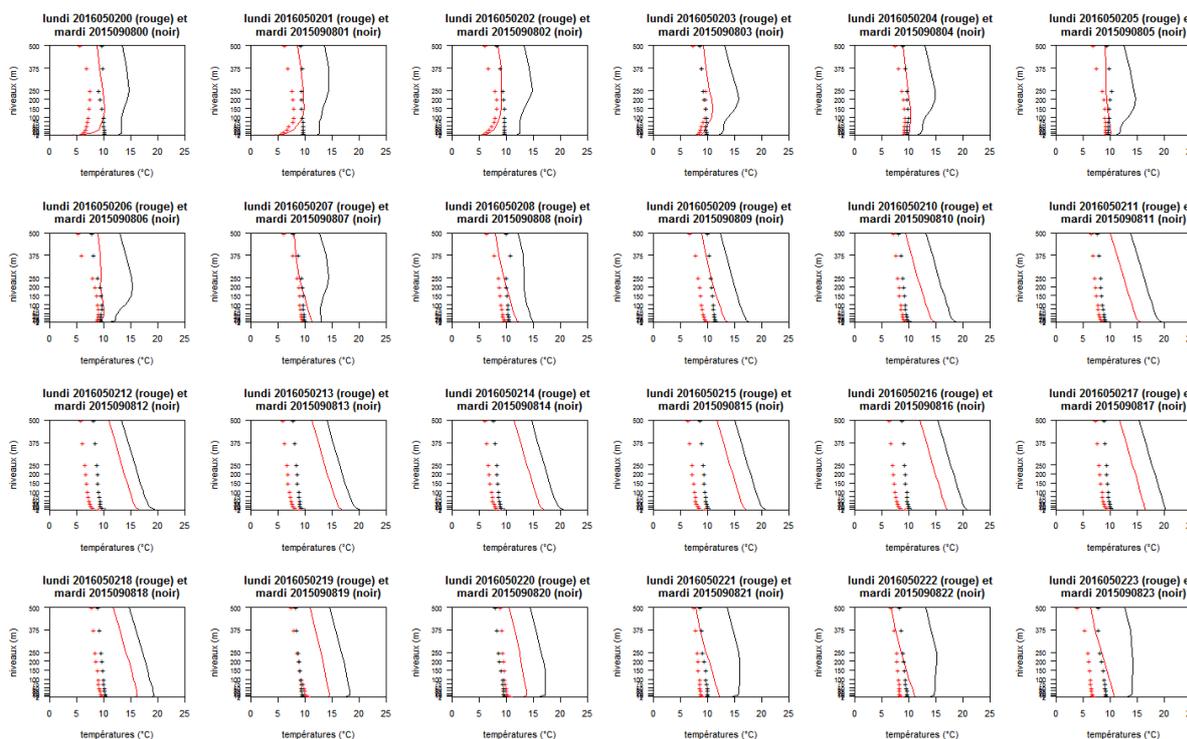


Figure III.1.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le lundi 02/05/2016 et le mardi 08/09/2015

** inversion de température : répartition verticale de la température telle que celle-ci croît avec l'altitude. Une telle situation ne favorise pas la dispersion des polluants dans les basses couches.

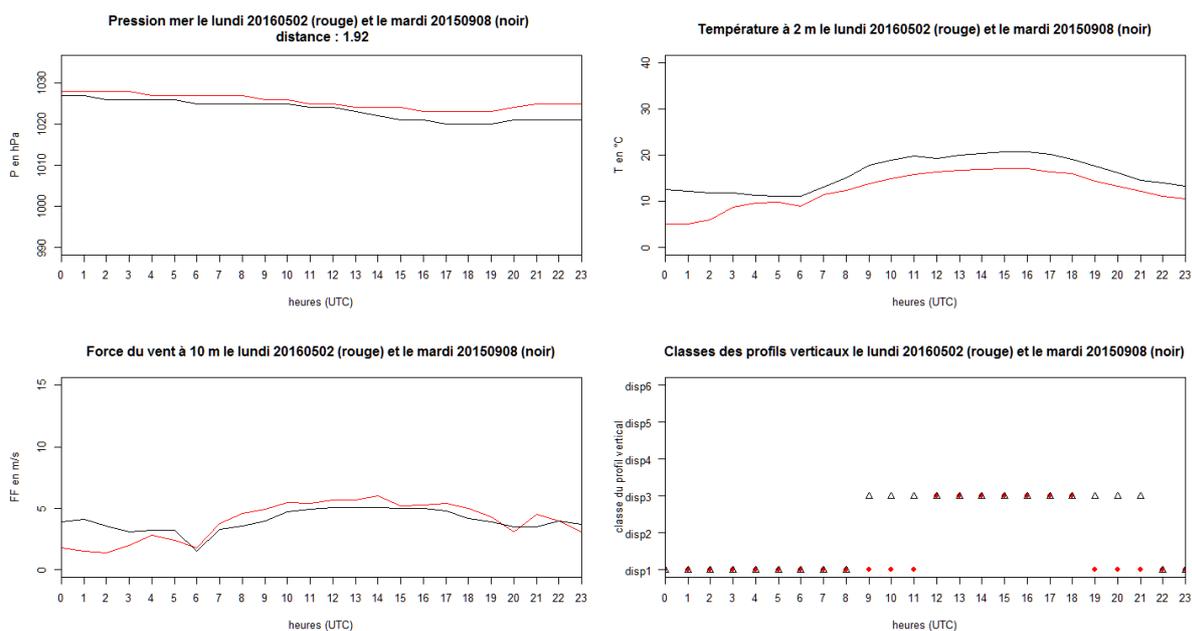


Figure III.1.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le lundi 02/05/2016 et le mardi 08/09/2015

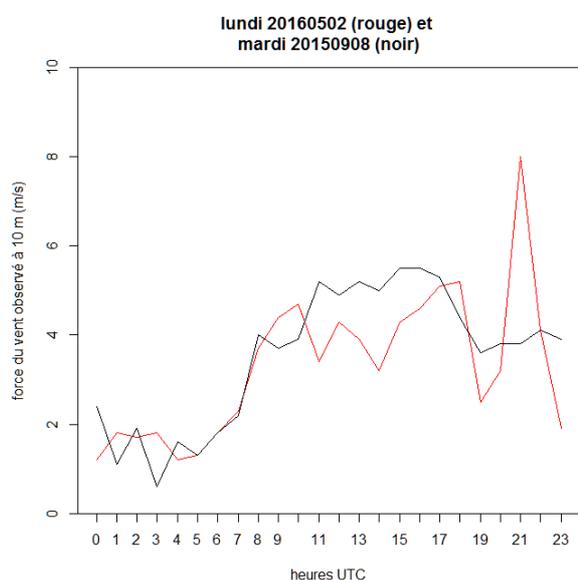


Figure III.1.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le lundi 02/05/2016 et le mardi 08/09/2015

En **conclusion**, les deux dates sont globalement similaires. Mais certains détails diffèrent dont il faudrait tenir compte lors d'une étude détaillée de la pollution (directions du vent, profils dans les basses couches décalés dans le temps à une période de la journée sensible au trafic routier).

III.2. Mardi 03/05/2016 et lundi 15/06/2015

Situation 2016 : flux anticyclonique de nord-ouest à nord.

Situation 2015 : flux de secteur nord sur la façade Est de la dorsale atlantique qui s'étire jusqu'au nord de l'Ecosse.

Bien que translatés, les cycles diurnes de la pression et de la température peuvent être considérés comme identiques. Ce ne sont en effet pas les deux paramètres les plus essentiels pour l'étude de la dispersion des polluants retenus, une ressemblance de la forme des cycles peut suffire. En revanche, l'écart systématique entre les températures des deux années peut expliquer les différentes classes des profils verticaux, à 08, 09, 10 UTC par exemple, alors que les profils ont la même forme (ils sont seulement décalés le long de l'axe des températures).

L'étude des profils horaires montre des profils très voisins jusqu'à 21 UTC, heure à laquelle une inversion semble vouloir apparaître en 2016 vers 200 mètres ; mais comme, parallèlement, une inversion de très basses couches se met en place en 2015 et en 2016, c'est l'impact de cette dernière qui primera sur la dispersion de l'éventuelle pollution.

Enfin, les deux cycles diurnes du vent AROME sont comparables, avec toutefois un peu plus de vent en 2015 pendant l'après-midi (cela est confirmé par les observations de la station de Rennes St-Jacques). Comme à ces heures-là les profils verticaux sont instables, l'impact sur la dispersion devrait être négligeable.

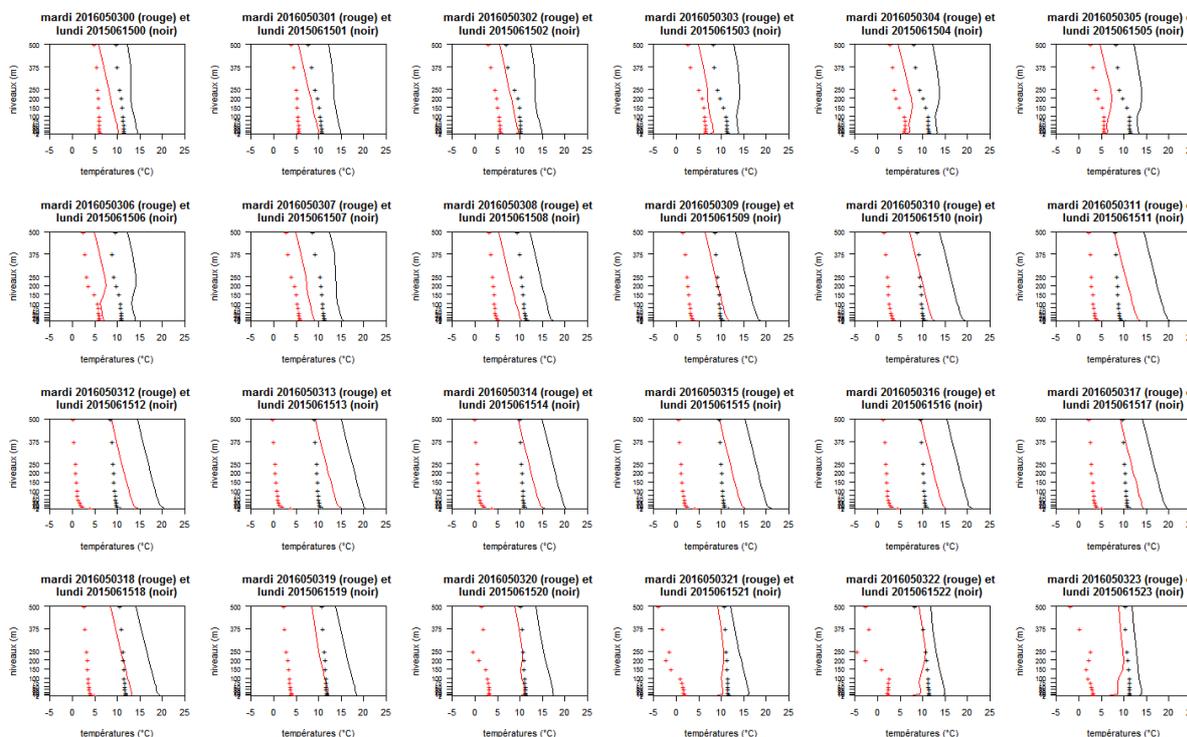


Figure III.2.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mardi 03/05/2016 et le lundi 15/06/2015

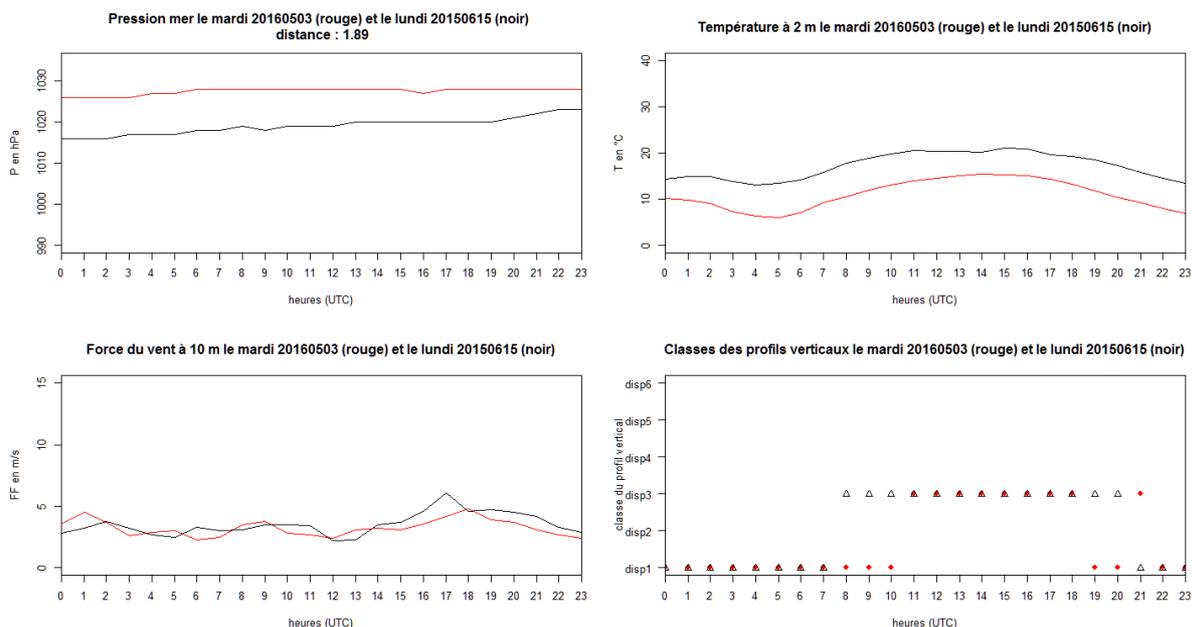


Figure III.2.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le mardi 03/05/2016 et le lundi 15/06/2015

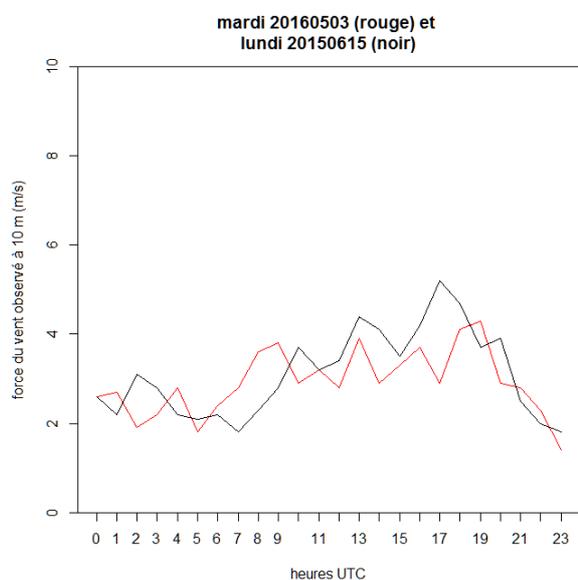


Figure III.2.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le mardi 03/05/2016 et le lundi 15/06/2015

En **conclusion**, ces deux dates sont des analogues plutôt bons. A noter que c'est un cas où les sondages en début de matinée sont tout à fait comparables (au niveau de température près). Les directions du vent sont voisines.

Cependant, il est possible que temporairement en début de soirée (entre 20 et 22 UTC) les conditions dispersives soient un peu différentes, l'inversion de basses couches ne se mettant pas en place de la même façon.

III.3. Lundi 30/05/2016 et lundi 15/06/2015

Situation 2016 : flux de nord cyclonique

Situation 2015 : flux de nord entre la dorsale atlantique et la vaste zone dépressionnaire recouvrant l'est de l'Europe.

La journée du 30 mai 2016 est un peu plus ventée que celle du 15 juin 2015, cependant c'est surtout en fin de nuit et début de matinée que l'écart de vitesse du vent entre les deux journées pourrait avoir un impact sur la dispersion.

Les profils verticaux horaires sont très semblables, sauf temporairement entre 00 et 02 UTC où une inversion est visible vers 200 mètres en 2016 alors qu'elle est inexistante en 2015. Par contre, elle apparaît bien en 2015 les heures suivantes, son évolution est un peu différente entre les deux années à 07 et 08 UTC (disparition plus lente en 2016).

Remarque : la différence de classes des profils verticaux entre les deux années à 19 et 20 UTC peut s'expliquer par des humidités différentes à 19 UTC et des humidités et des températures différentes à 20 UTC, alors que les formes des profils sont quant à elles similaires.

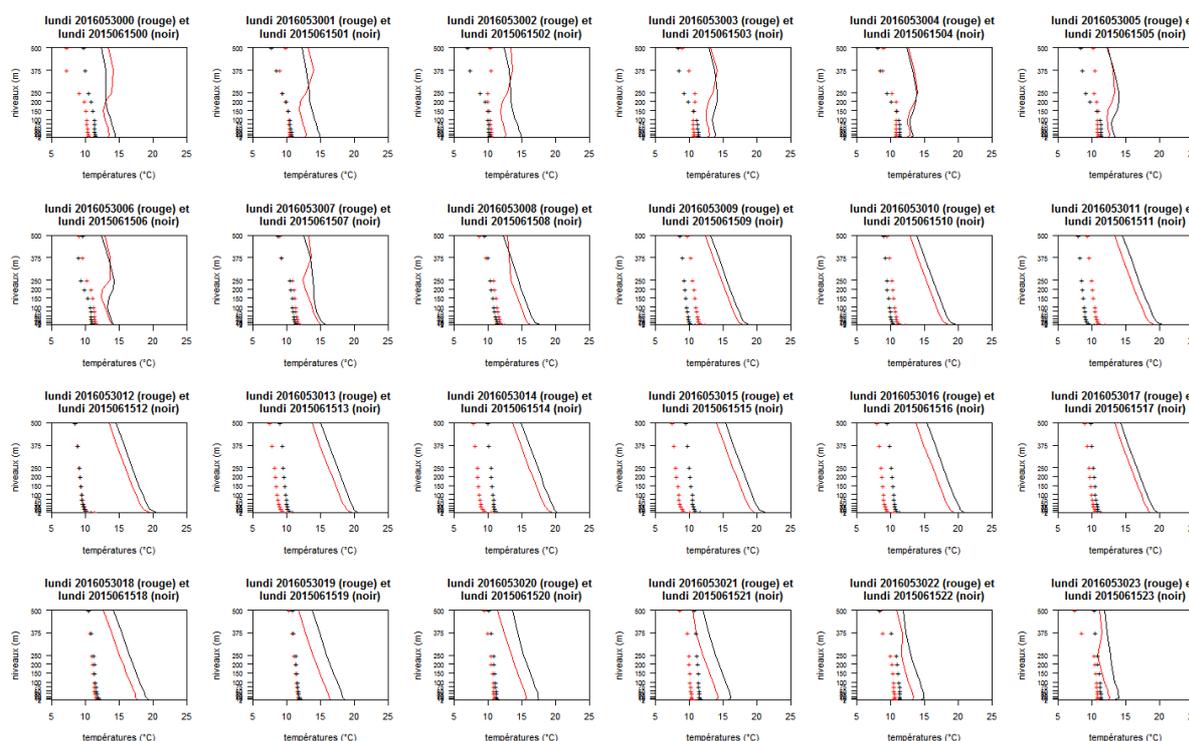


Figure III.3.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le lundi 30/05/2016 et le lundi 15/06/2015

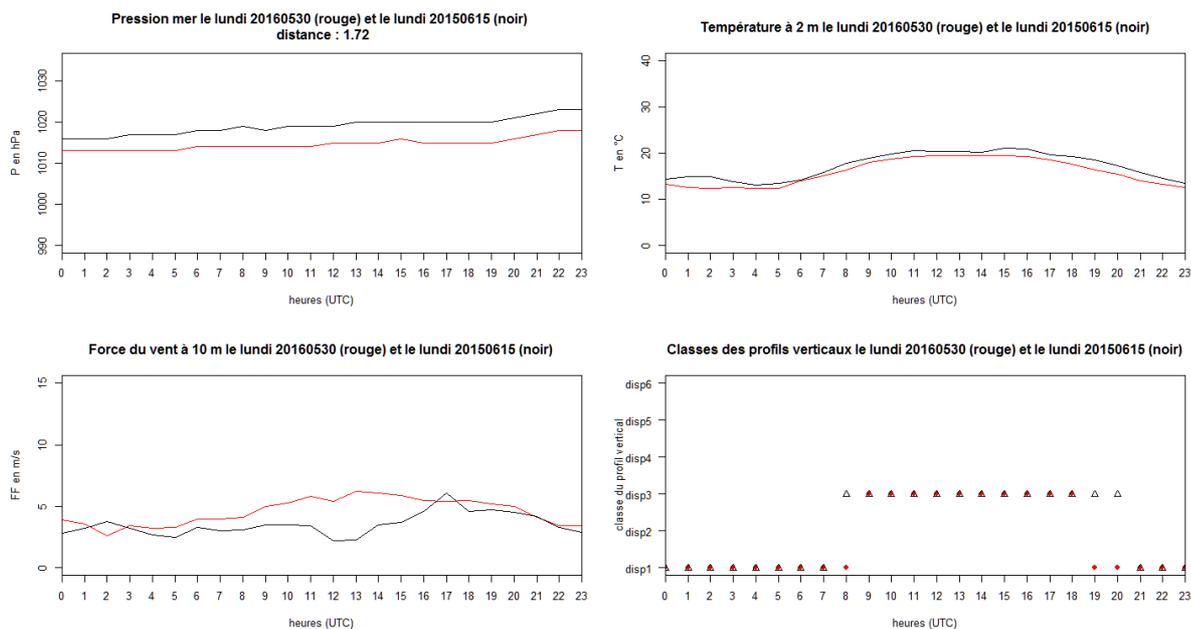


Figure III.3.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le lundi 30/05/2016 et le lundi 15/06/2015

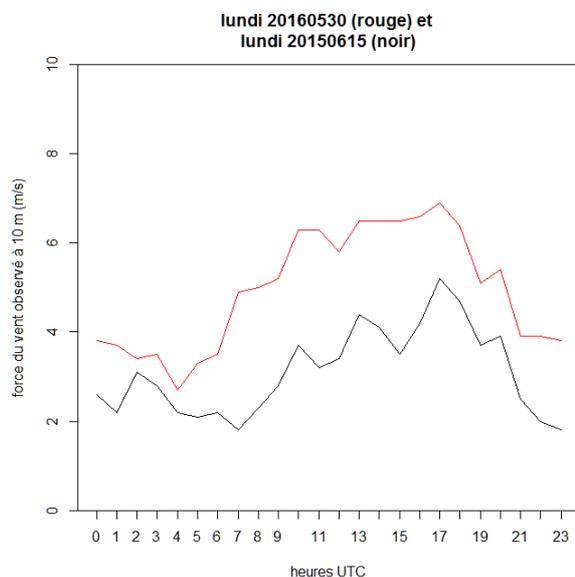


Figure III.3.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le lundi 30/05/2016 et le lundi 15/06/2015

En **conclusion**, avec un contexte météorologique assez semblable, ces deux journées sont globalement plutôt ressemblantes. Mais il faut garder à l'esprit que dans la matinée, en 2016, un vent un peu plus fort et l'existence d'une inversion vers 250 mètres peuvent interférer sur la dispersion de la pollution.

III.4. Mardi 31/05/2016 et lundi 14/09/2015

Situation 2016 : flux cyclonique de nord-ouest.

Situation 2015 : flux cyclonique perturbé de sud-ouest, quelques précipitations intermittentes (0,4 mm entre 02 et 03 UTC, 0,2 mm entre 11 et 12 UTC, 0,4 mm entre 15 et 16 UTC, 0,8 mm entre 16 et 17 UTC, 0,4 mm entre 22 et 23 UTC et 2 mm entre 23 UTC et 00 UTC du lendemain (voir détails en fin de paragraphe).

Le vent en 2016 est plus soutenu qu'en 2015, mais il s'agit dans les deux cas de journées ventées (ce qui autorise une certaine dispersion aussi bien en 2015 qu'en 2016). D'ailleurs, les vitesses de vent observées à Rennes St-Jacques en 2015 sont supérieures aux valeurs suggérées par le modèle.

La différence entre les cycles diurnes du vent du modèle peut expliquer à elle seule la distance supérieure à 3 entre les deux dates (la date 2015 est au rang 10 des dates les plus proches).

Les profils verticaux sont très ressemblants dans les **très basses** couches. C'est un peu moins vrai la nuit pour les niveaux plus élevés (par exemple, une inversion est à noter vers 200 mètres en 2016 entre 00 et 05 UTC, au-dessus de l'inversion de très basses couches).

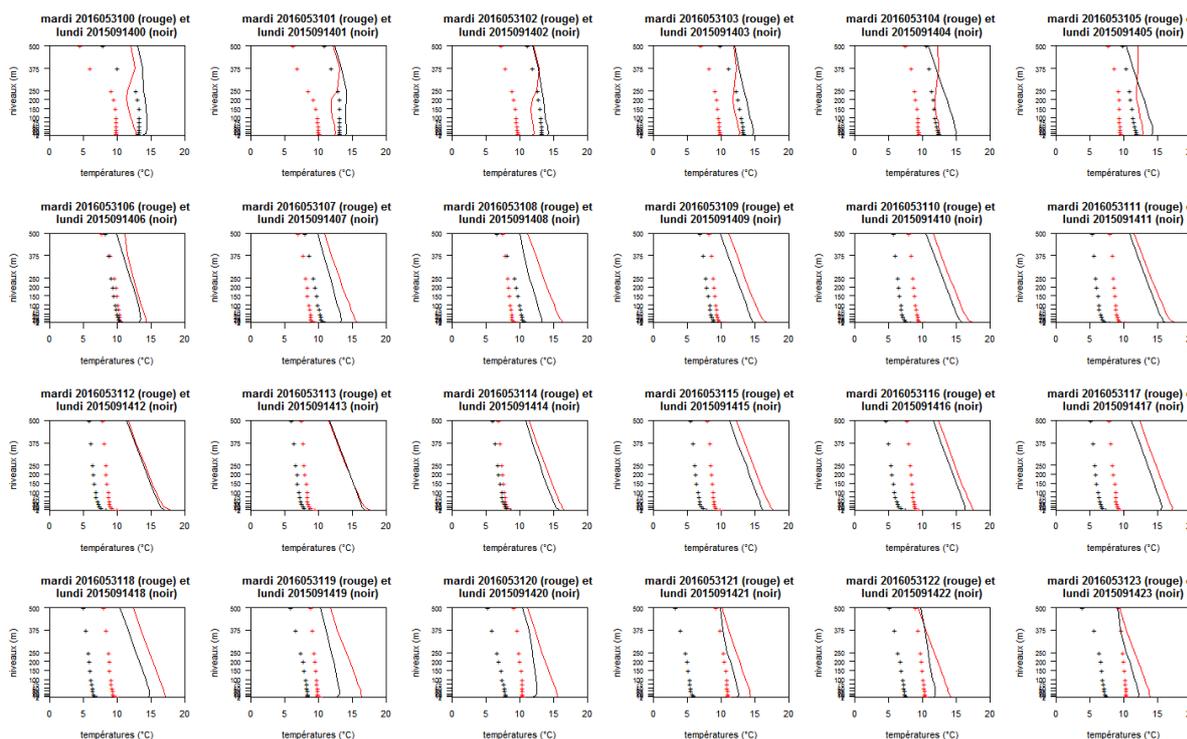


Figure III.4.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mardi 31/05/2016 et le lundi 14/09/2015

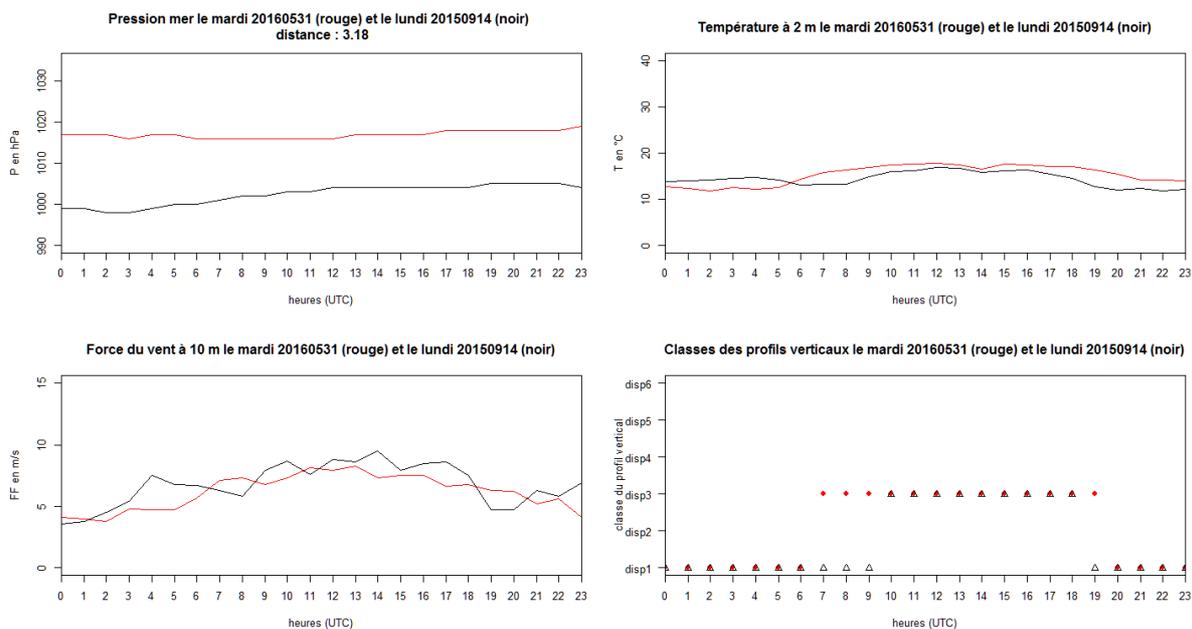


Figure III.4.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le mardi 31/052016 et le lundi 14/09/2015

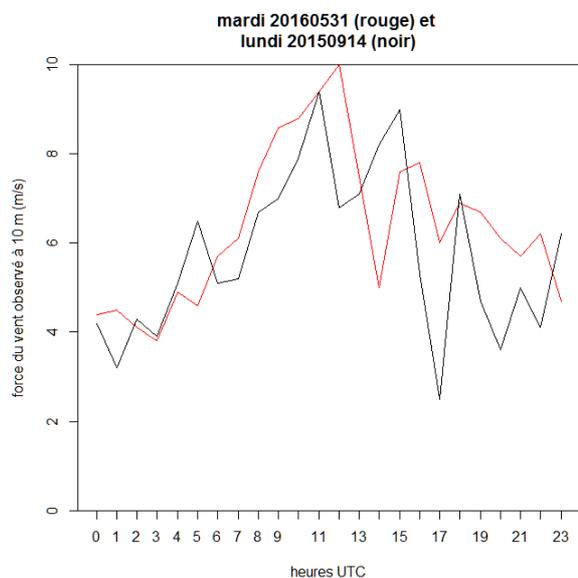


Figure III.4.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le mardi 31/05/2016 et le lundi 14/09/2015

En **conclusion**, ces deux dates peuvent à la toute rigueur être considérées comme ressemblantes. Elles pourraient être intéressantes à considérer essentiellement en tant qu'exemples de situations ventées. Cependant, il a plu en 2015 (même si les 2 heures de pluie entre 7 et 22 heures locales ne sont pas dépassées) ; de plus, les profils verticaux des deux années diffèrent un peu la nuit, surtout pour les niveaux étudiés les plus élevés.

Nota : détails des épisodes pluvieux à intensité constante de la journée du 14/09/2015

Heure de début	Durée (minutes)	Cumul (mm)
201509140218	6	0.2
201509140254	6	0.2
201509141142	6	0.2
201509141548	6	0.4
201509141612	6	0.6
201509141618	6	0.2
201509142254	6	0.4
201509142342	6	1
201509142348	6	0.8
201509142354	6	0.2

III.5. Mercredi 01/06/2016 et mardi 01/09/2015

Situation 2016 : flux très nuageux de nord entre la dorsale atlantique et la vaste zone dépressionnaire recouvrant un grande moitié est de l'Europe.

Situation 2015 : flux de nord-ouest entre l'anticyclone centré à l'ouest de l'Irlande et la vaste zone dépressionnaire recouvrant un grande moitié est de l'Europe.

Le mardi 01/09/2015 a été classifié a priori dans la période estivale en termes de trafic routier, mais après comparaison plus fine du trafic routier de ce jour et de la normale hors vacances scolaire, il peut être considéré comme une journée située en dehors de la période de trafic estival.

Les cycles diurnes AROME de pression, de température et de vent sont apparemment très comparables. Mais quelques commentaires s'imposent.

Les cycles diurnes des profils verticaux ne coïncident pas toujours, les différences entre les deux années peuvent s'expliquer plus en termes de température et/ou d'humidité qu'en termes de silhouette des sondages. En effet, en regardant tous les tracés horaires, il n'apparaît pas de différences fondamentales ayant un impact sur la dispersion, sauf éventuellement à partir de 20 UTC, heure à laquelle les sondages de 2015 affichent une inversion de très très basses couches. C'est également à ce moment de la journée que le vent observé à Rennes en 2015 devient bien inférieur à celui observé en 2016 (respectivement moins de 2 m/s contre 4 m/s). Cette diminution n'est pas aussi marquée sur le profil de vent AROME, pas plus que l'augmentation observée en 2015 vers 7/8 UTC. De fait, si, le 01/09/2015, le profil du vent avant 07 UTC sur la rocade a été plus proche de celui observé à Rennes St-Jacques que de celui AROME, la présence d'une petite inversion de basses couches simultanée a pu éventuellement impliquer une évolution de la pollution différente entre les deux années (plus de dispersion grâce au vent en 2016).

Nota : 0,2 mm relevé le 01/09/2015 à 0600 UTC, pendant 6 minutes

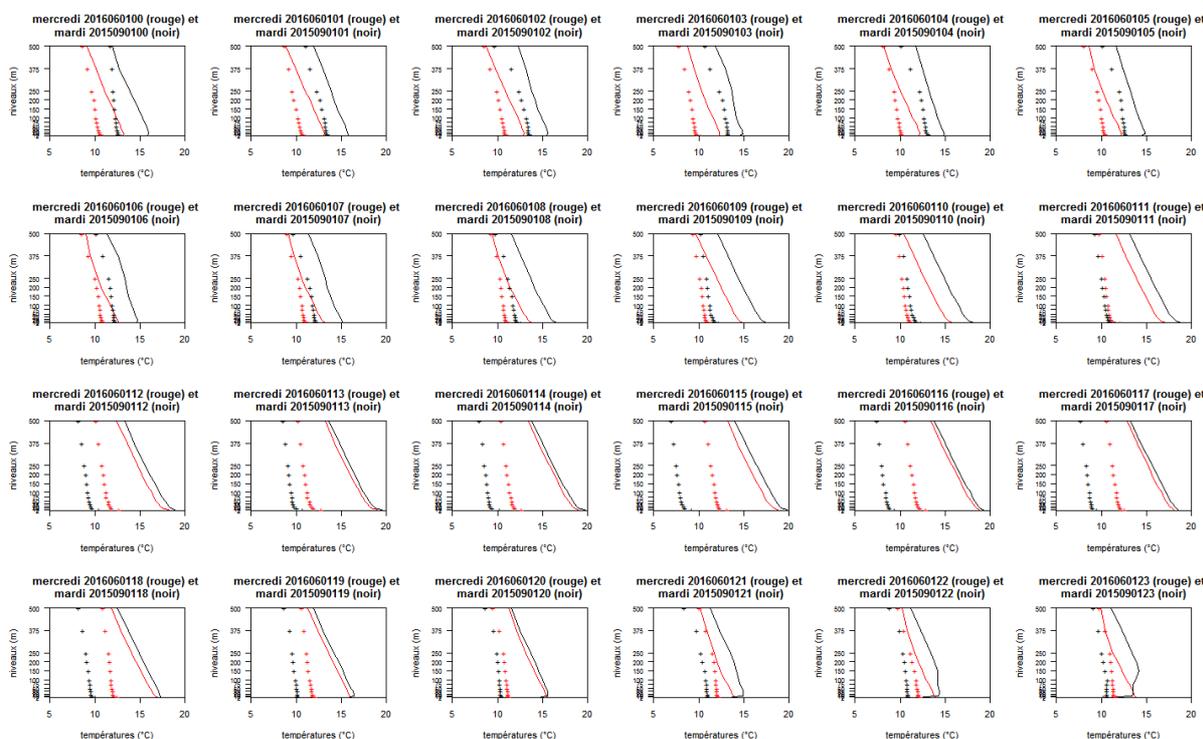


Figure III.5.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mercredi 01/06/2016 et le mardi 01/09/2015

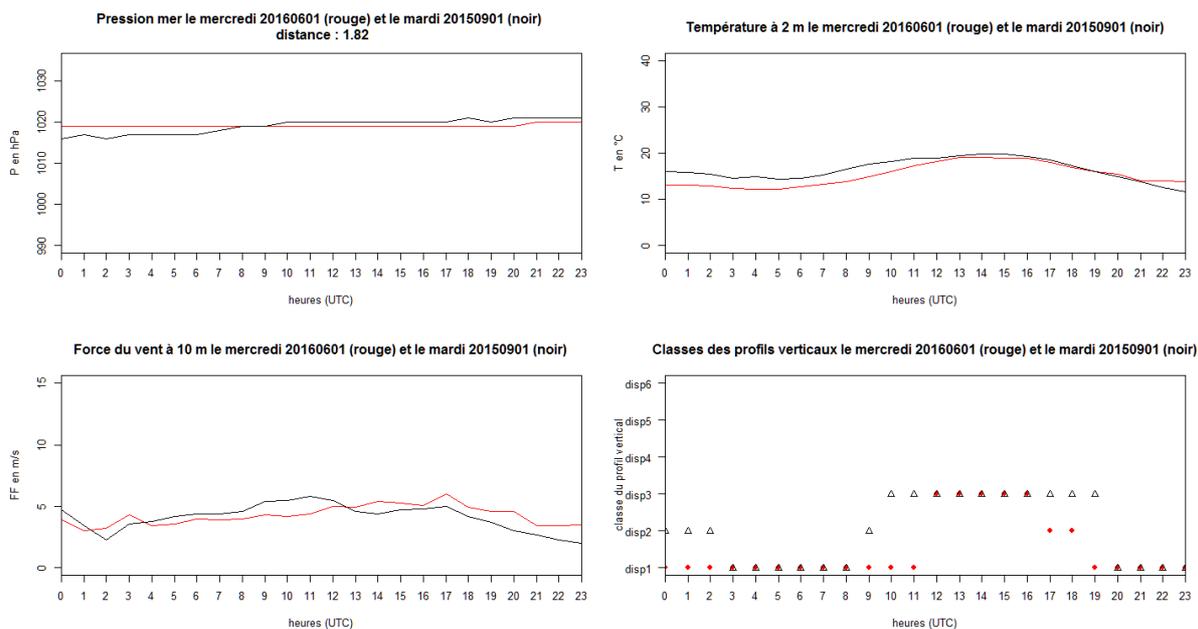


Figure III.5.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le mercredi 01/06/2016 et le mardi 01/09/2015

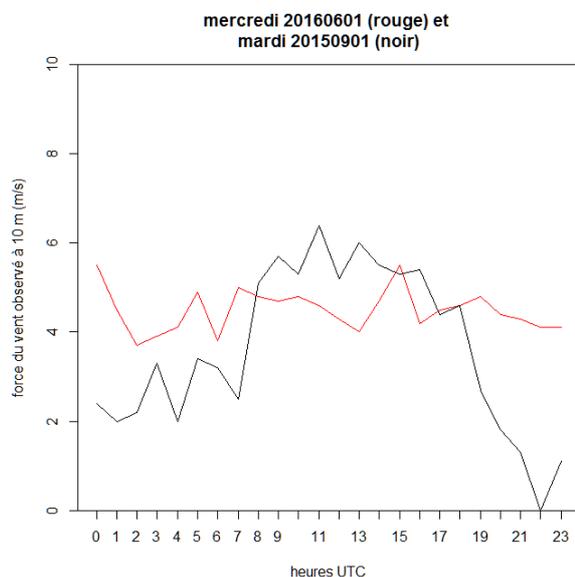


Figure III.5.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le mercredi 01/06/2016 et le mardi 01/09/2015

En **conclusion**, les deux dates se ressemblent (mêmes directions de vent, conditions dans l'ensemble très similaires). En cas d'utilisation de ce couple, il faudra peut-être être prudent dans la comparaison de la pollution entre 20 et 23 UTC et tenir compte des incertitudes au sujet du vent près de la rocade par rapport au vent observé et au vent AROME.

III.6. Samedi 04/06/2016 et samedi 05/09/2015

Situation 2016: faible flux de nord dans une vaste zone dépressionnaire (marais barométrique).
 Situation 2015 : faible flux de nord à nord-ouest entre l'anticyclone centré à l'ouest de l'Irlande et la zone dépressionnaire centrée sur les Pays Scandinaves.

Ces deux dates diffèrent essentiellement par les profils verticaux entre 06 UTC et 08 UTC : à 06 UTC, l'inversion (vers 150/200 mètres) est plus marquée en 2015 qu'en 2016. A 07 et 08 UTC, elle disparaît totalement en 2016 alors qu'elle persiste jusqu'à 08 UTC en 2015.

A partir de 22 UTC, à nouveau, une différence se dessine entre les profils verticaux des deux dates : cette fois, c'est en 2016 qu'une légère inversion apparaît vers 200 mètres. Mais, elle surplombe une inversion de très basses couches qui s'est formée vers 19 UTC pour les deux années.

Sinon, les cycles diurnes des quatre paramètres présentés sont très comparables.
 A relever le petit pic de vent vers 18 UTC en 2015 qui a également été observé à la station de Rennes St-Jacques.

Remarque : à 10 UTC, pour une évolution verticale de la température et des températures identiques, l'humidité moins importante en 2015 qu'en 2016 permet d'expliquer les classes différentes dans le cycle diurne des profils verticaux des deux dates.

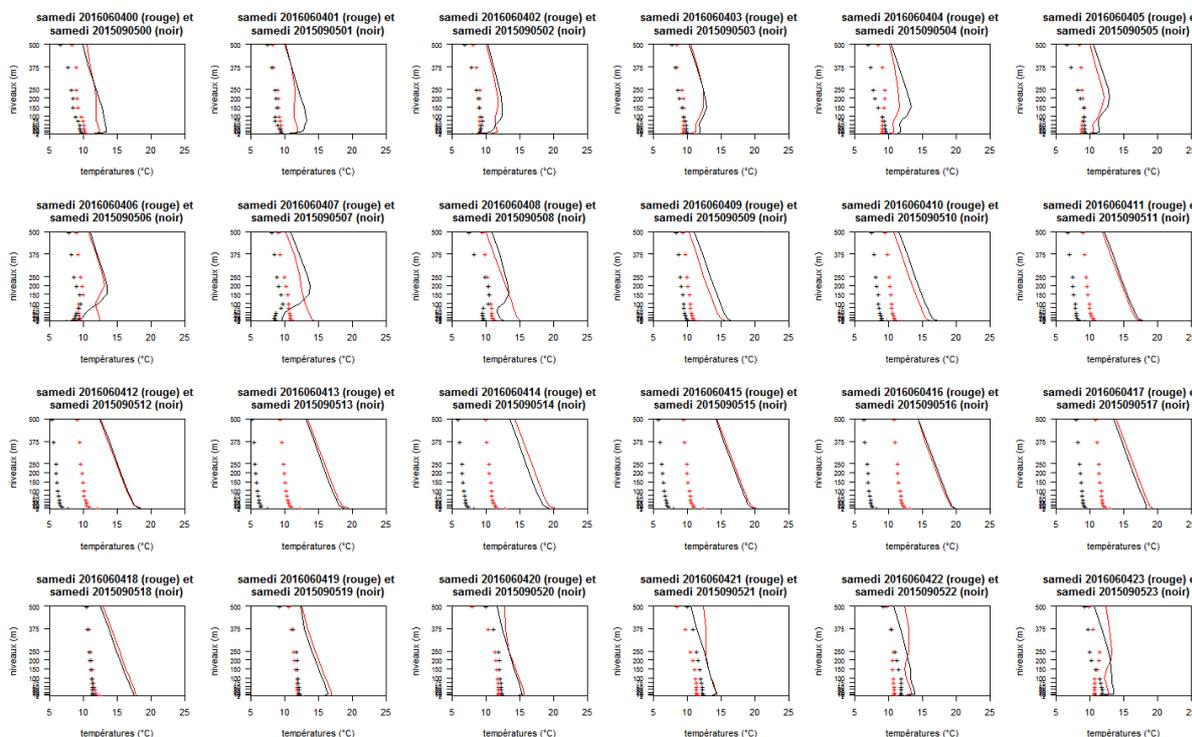


Figure III.6.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le samedi 04/06/2016 et le samedi 05/09/2015

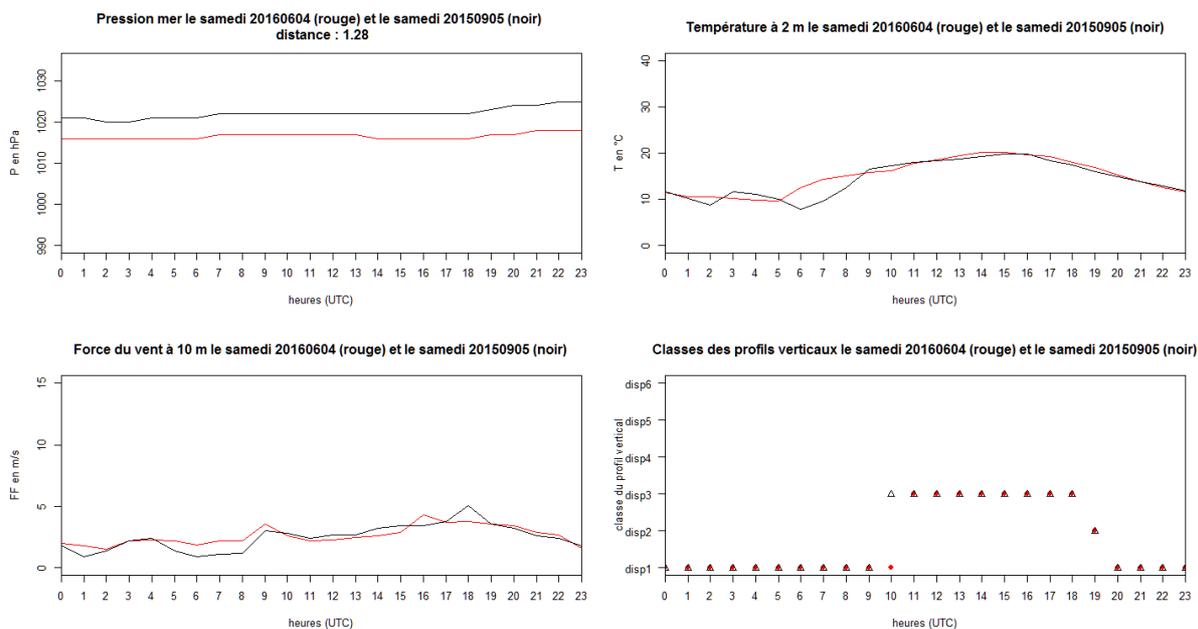


Figure III.6.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le samedi 04/06/2016 et le samedi 05/09/2015

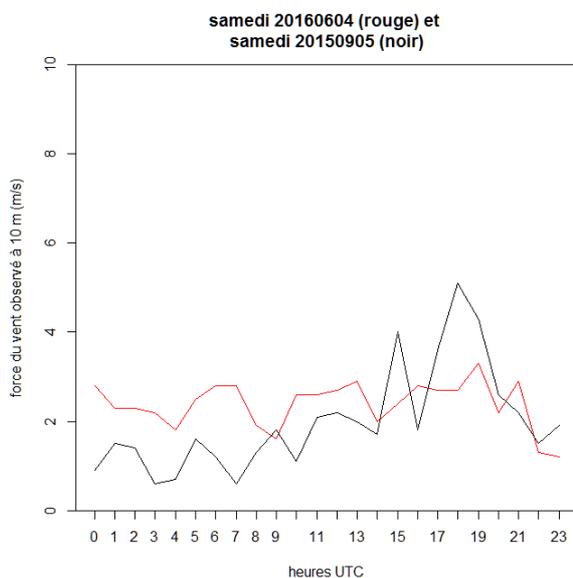


Figure III.6.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le samedi 04/06/2016 et le samedi 05/09/2015

En **conclusion**, ces deux dates pourraient être retenues. Mais il faudra tenir compte de la différence probable de dispersion en début de matinée durant quelques heures (cependant comme il s'agit de samedis, l'impact n'est peut-être pas aussi important à ces heures-là qu'en semaine ?).

III.7. Mercredi 08/06/2016 et mercredi 17/06/2015

Situation 2016 : faible flux de nord à nord-ouest dans un champ de pressions assez élevées, au sud de l'anticyclone centré au nord de l'Ecosse.

Situation 2015 : flux anticyclonique de nord-ouest à nord

Les cycles diurnes de pression (élevée) et de températures sont tout à fait comparables.

De même, les vents sont très ressemblants en direction et même en force. En effet, l'observation de Rennes St-Jacques laisse suggérer que, dans les deux cas, la vitesse du vent entre 00 et 07 UTC est restée inférieure à 3 m/s (un peu moins que le vent AROME) et que l'après-midi des vitesses de plus de 4 m/s ont permis une certaine ventilation.

Les sondages horaires appartiennent à des classes parfois différentes dans la journée. Mais, l'étude complémentaire des sondages horaires montre qu'entre 10 et 17 UTC les sondages sont très similaires en termes de dispersion. Ce sont en fait les sondages nocturnes qui présentent des disparités. Ainsi entre 00 et 07 UTC, une inversion existe dans les deux cas, mais à des niveaux différents (vers 200 mètres en 2015 et plus élevée en 2016) ; l'inverse se produit à partir de 20 UTC, avec deux heures de transition puisque l'inversion apparaît dès 18 UTC en 2015 (ce qui pourrait en partie expliquer l'appartenance à une classe de moins forte dispersion qu'en 2016).

Remarque : à 17 UTC, pour un même pouvoir dispersif et des températures identiques, c'est l'humidité plus faible en 2015 qu'en 2016 qui permet de justifier la classe "disp6" attribuée à 2015 et la classe "disp4" attribuée à 2016.

Nota : 0,2 mm relevé le 17/06/2015 à 0536 UTC, pendant 6 minutes

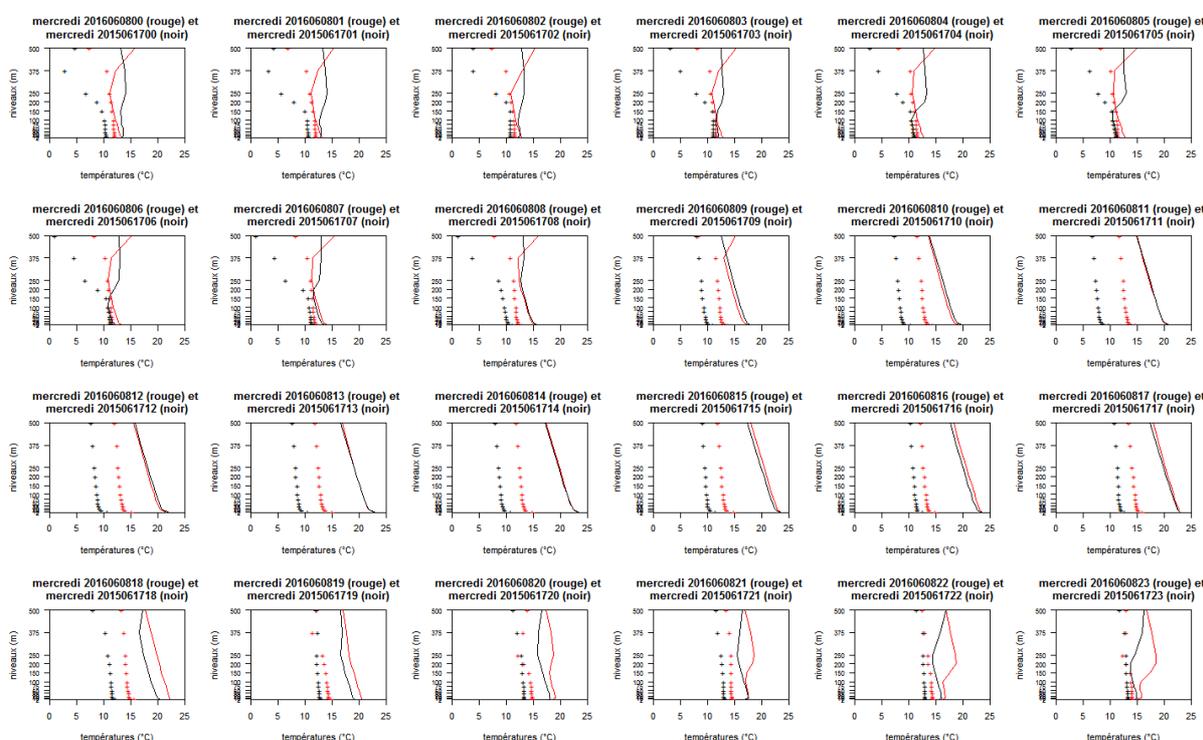


Figure III.7.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mercredi 08/06/2016 et le mercredi 17/06/2015

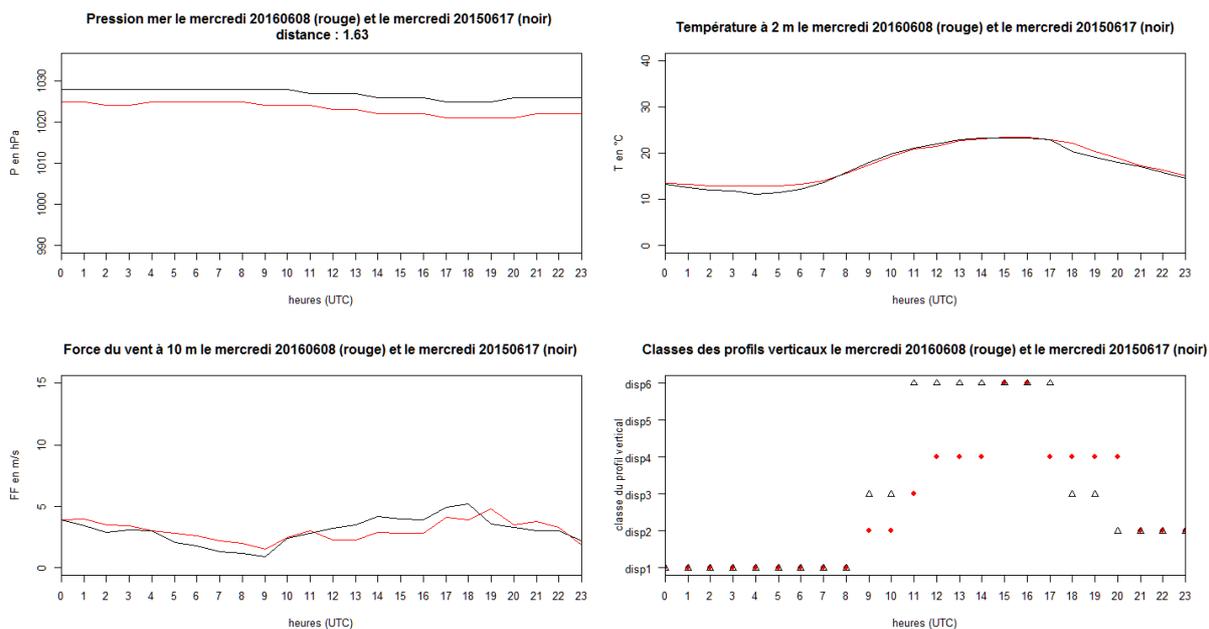


Figure III.7.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le mercredi 08/06/2016 et le mercredi 17/06/2015

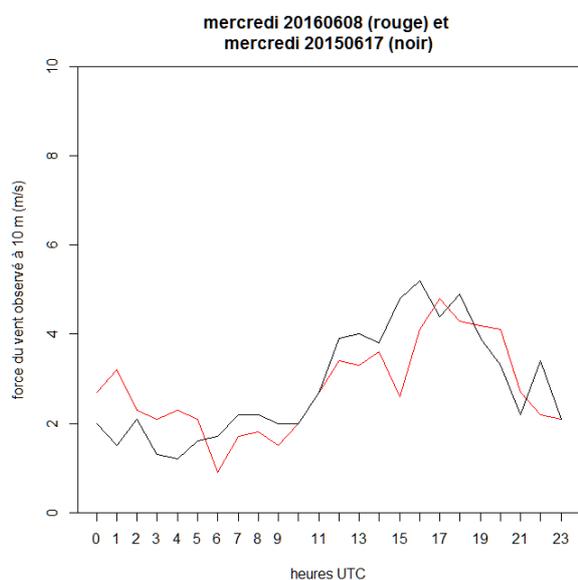


Figure III.7.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le mercredi 08/06/2016 et le mercredi 17/06/2015

En **conclusion**, ces deux dates peuvent être considérées comme ressemblantes, malgré des hauteurs d'inversions différentes mais quand même assez élevées.

III.8. Dimanche 19/06/2016 et dimanche 06/09/2015

Situation 2016 : dorsale s'étirant du proche Atlantique à la Belgique avant l'arrivée d'une perturbation la nuit suivante, flux d'ouest à nord-ouest puis sud-ouest.

Situation 2015 : hautes pressions centrées sur l'Irlande dirigeant un flux de nord-ouest à nord-est sur la région.

Les cycles diurnes sont très voisins.

A signaler tout de même

- un petit peu plus de vent dans la matinée en 2016, ce qui peut favoriser la dispersion ;
- les classes des profils diffèrent entre 19 et 22 UTC (principalement à cause de l'humidité beaucoup plus faible en 2015 qu'en 2016). L'étude des sondages heure par heure ne révèle des différences susceptibles d'affecter la dispersion qu'à 08 UTC (une légère inversion persiste vers 200 mètres en 2015 alors qu'elle a déjà disparu en 2016 ; elle n'existe plus à 09 UTC, c'est alors l'humidité qui peut justifier les classes différentes) ou en toute fin de journée (l'inversion de très basses couches semble être plus marquée en 2015 à partir de 21 UTC).

Nota : 0,2 mm relevé le 06/09/2015 à 0100 UTC, pendant 6 minutes.

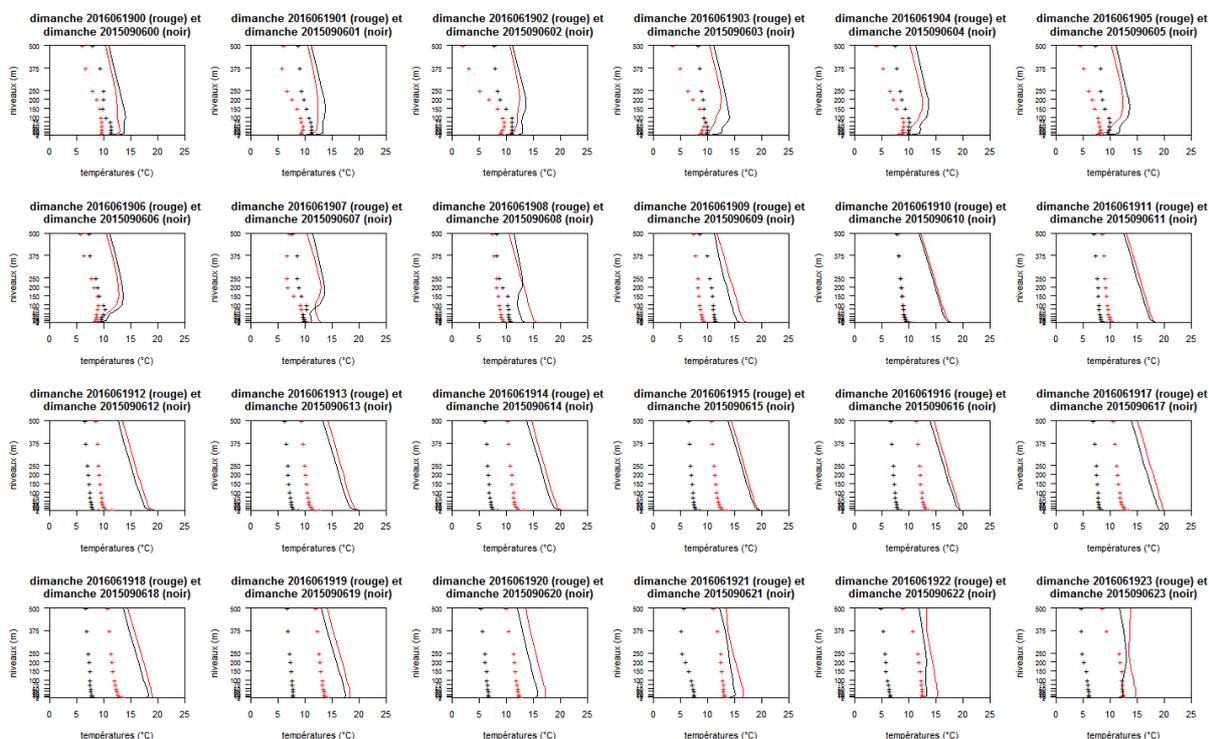


Figure III.8.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le dimanche 19/06/2016 et le dimanche 06/09/2015

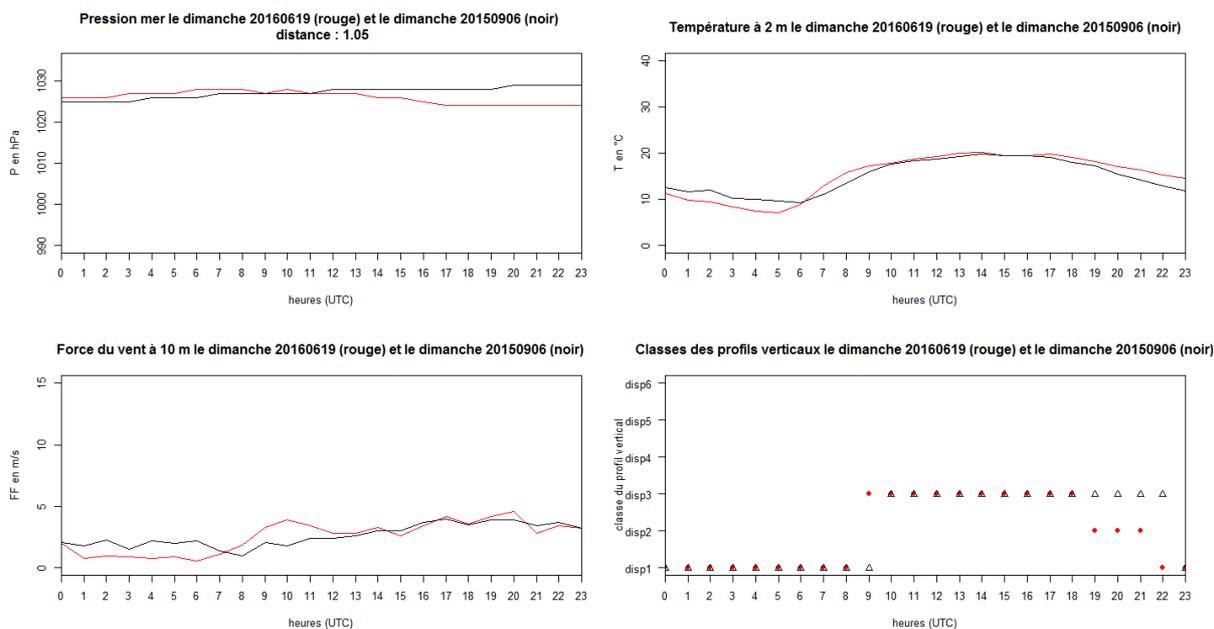


Figure III.8.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le dimanche 19/06/2016 et le dimanche 06/09/2015

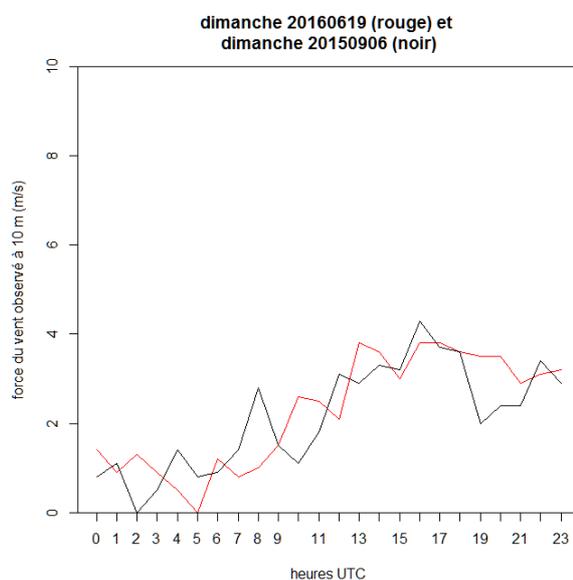


Figure III.8.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le dimanche 19/06/2016 et le dimanche 06/09/2015

En conclusion : plutôt bons analogues, même s'il s'agit de dimanches, que les situations météorologiques générales sont un peu différentes (en particulier directions du vent différentes) et qu'il est possible qu'en matinée du 19/06/2016 la dispersion soit temporairement un peu plus importante qu'en 2015.

III.9. Mardi 21/06/2016 et jeudi 18/06/2015

Situation 2016 : flux de secteur sud-ouest humide.

Situation 2015 : flux nuageux de nord-ouest en marge de la dorsale située sur le proche Atlantique.

Les cycles diurnes de la pression et de la température sont comparables.

D'après le cycle diurne du vent AROME, un renforcement se produit à partir du milieu de l'après-midi en 2015. Avec les données observées à Rennes St-Jacques, cela est confirmé mais les niveaux étant pour les deux années assez "élevés" (plus de 4 m/s) on peut penser que dans les deux cas une certaine dispersion est possible.

Pour le cycle diurne des profils verticaux, il apparaît des différences de classes entre les deux années. Mais, l'étude des sondages horaires ne laisse pas supposer une telle différence en termes de dispersion. Le caractère humide de l'air en 2016 peut expliquer en partie ces différences.

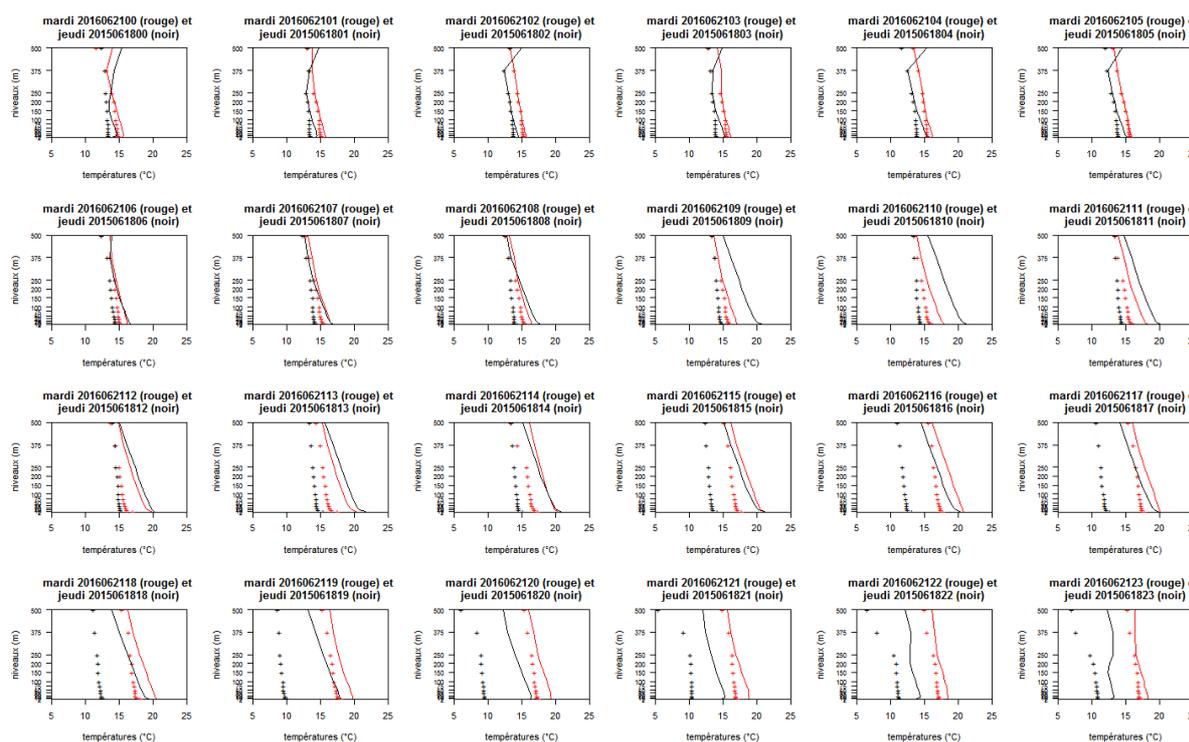


Figure III.9.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mardi 21/06/2016 et le jeudi 18/06/2015

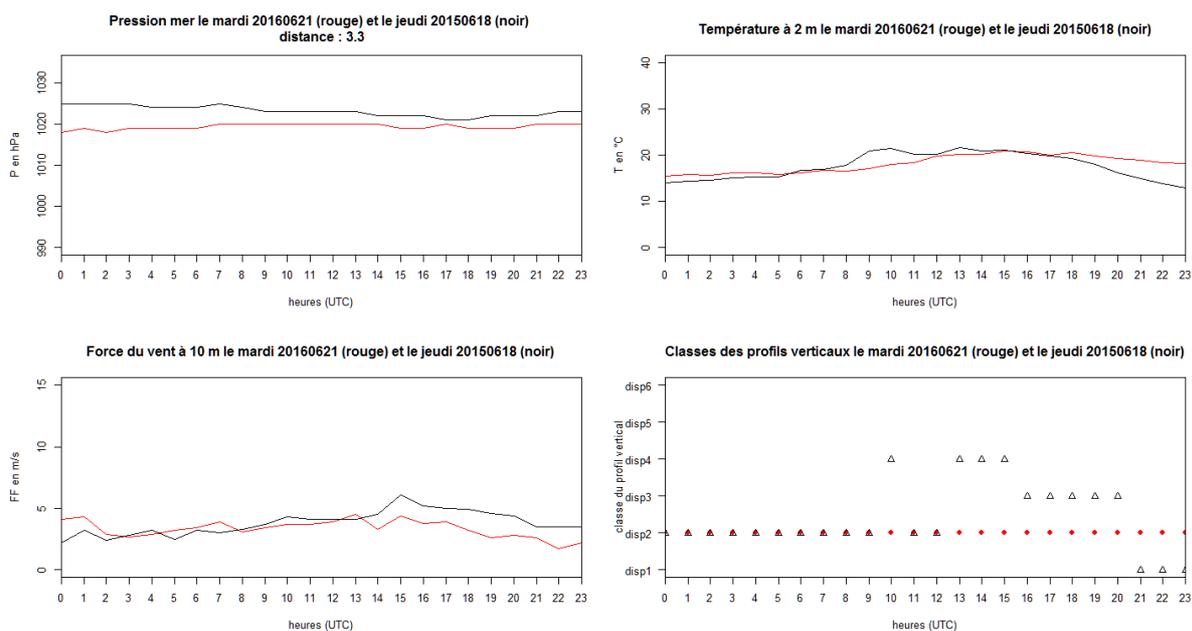


Figure III.9.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le mardi 21/06/2016 et le jeudi 18/06/2015

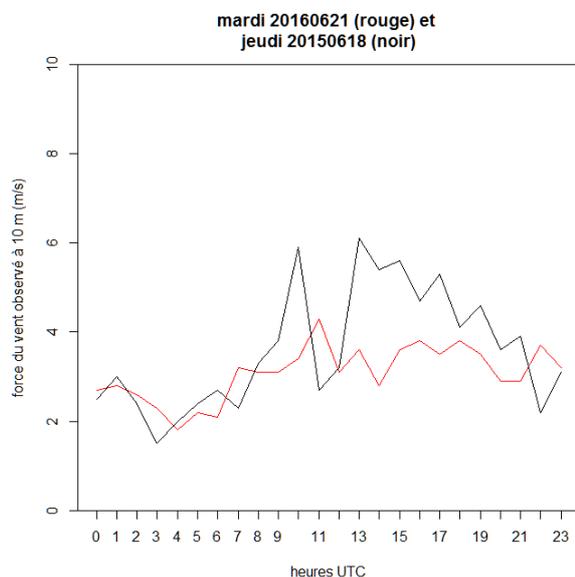


Figure III.9.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le mardi 21/06/2016 et le jeudi 18/06/2015

En **conclusion**, ces deux dates peuvent tout à fait être prises comme analogues, malgré la distance supérieure à 3 qui les sépare et qui pourrait sembler importante au premier abord.

IV. Second lot de couples proposés

Ce second lot, livré le 15 octobre 2016, concerne les dates 2016 comprises entre le 1^{er} juillet et le 25 septembre (trafic perturbé dès l'annonce préfectorale faite le 26 septembre au sujet des résultats de l'expérimentation, avant même la fin de celle-ci).

Après tous les traitements, six couples d'analogues sont proposés à Air-Breizh.

Rappel : pour tous les graphiques des paragraphes suivants, l'année 2015 est représentée en noir et l'année 2016 en rouge. Les couples sont ordonnés par ordre chronologique de la date 2016.

IV.1. Mercredi 06/07/2016 et jeudi 09/07/2015

Situations 2016 et 2015 : dans les deux cas, dorsale atlantique s'étirant du proche Atlantique aux Pays-Bas, d'où des conditions anticycloniques calmes sur la région.

Les cycles diurnes de la pression et de la température à 2 mètres sont très comparables.

Pour le cycle des profils verticaux, les quelques différences de classes peuvent être dues à des différences de températures entre les journées. En effet, on rappelle que les six classes de profil ne sont pas uniquement décrites par le pouvoir dispersif de l'atmosphère (même si c'est ce critère qui a été privilégié dans l'appellation et la représentation sur les graphiques) mais également par la température et l'humidité. Ainsi, à 12 UTC, le seul fait que les températures soient plus élevées en 2015 qu'en 2016 peut expliquer une classe "disp6" en 2015 et une classe "disp3" en 2016, à pouvoir dispersif quasi identique par ailleurs. D'où l'importance d'étudier les 24 profils en parallèle et d'expertiser dans l'optique "pollution" les résultats bruts de l'analyse statistique. Les écarts peuvent également être dus à une chronologie un peu différente dans l'évolution de la couche d'inversion : ainsi cette dernière se reforme un peu plus rapidement en 2016 (vers 19/20 UTC) qu'en 2015 (vers 21 UTC).

L'étude des 24 profils montre que c'est en fait à 05 UTC qu'une différence ayant un impact possible sur la dispersion peut être notée : le sommet de l'inversion de très basses couches s'élève vers 100 mètres en 2016 alors qu'elle reste encore très près du sol en 2015. A 06 UTC, cette différence d'évolution entre les deux journées s'est nettement atténuée.

Le cycle diurne du vent AROME est peu différent entre les deux années. Le vent est très faible (variable d'ouest à nord). Le modèle suggère néanmoins une légère différence dans les forces entre 8 et 11 UTC (confirmée avec les observations de Rennes St-Jacques) qui pourrait permettre un peu plus de dispersion en 2015.

Nota : des traces (0,2 mm) ont été relevées entre 09 et 10 UTC le 06/07/2016 à Rennes St-Jacques.

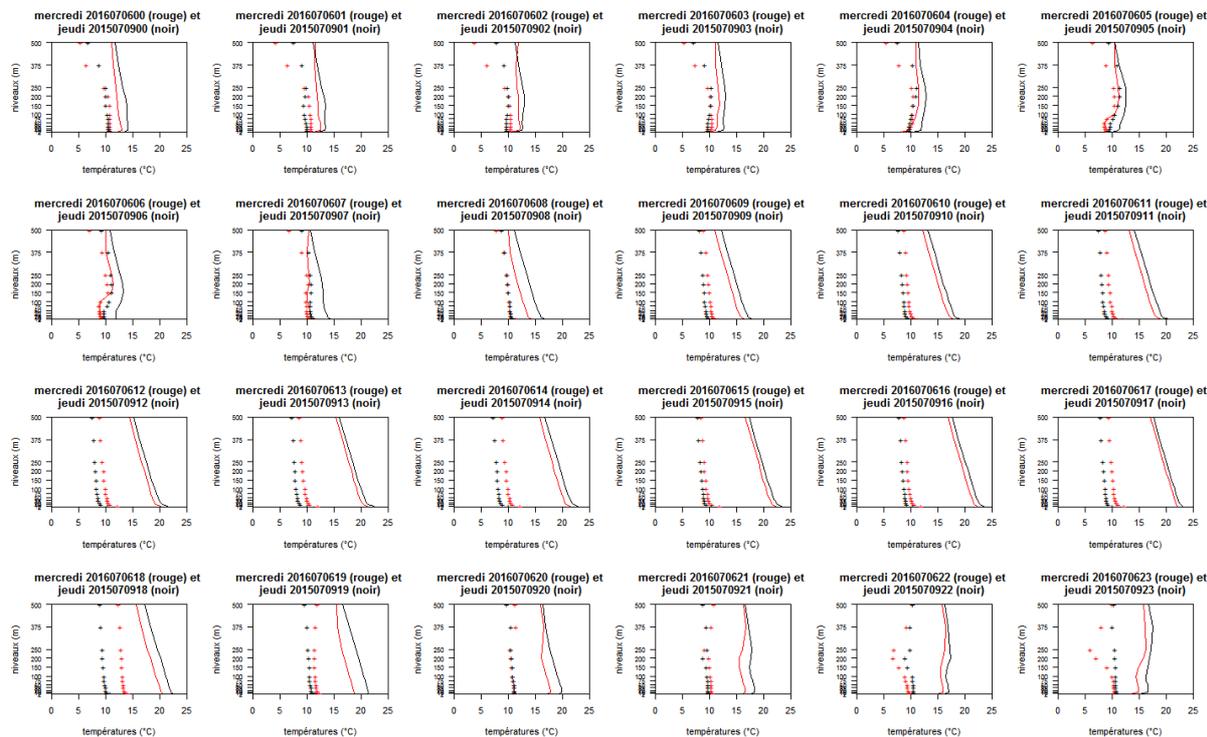


Figure IV.1.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mercredi 06/07/2016 et le jeudi 09/07/2015

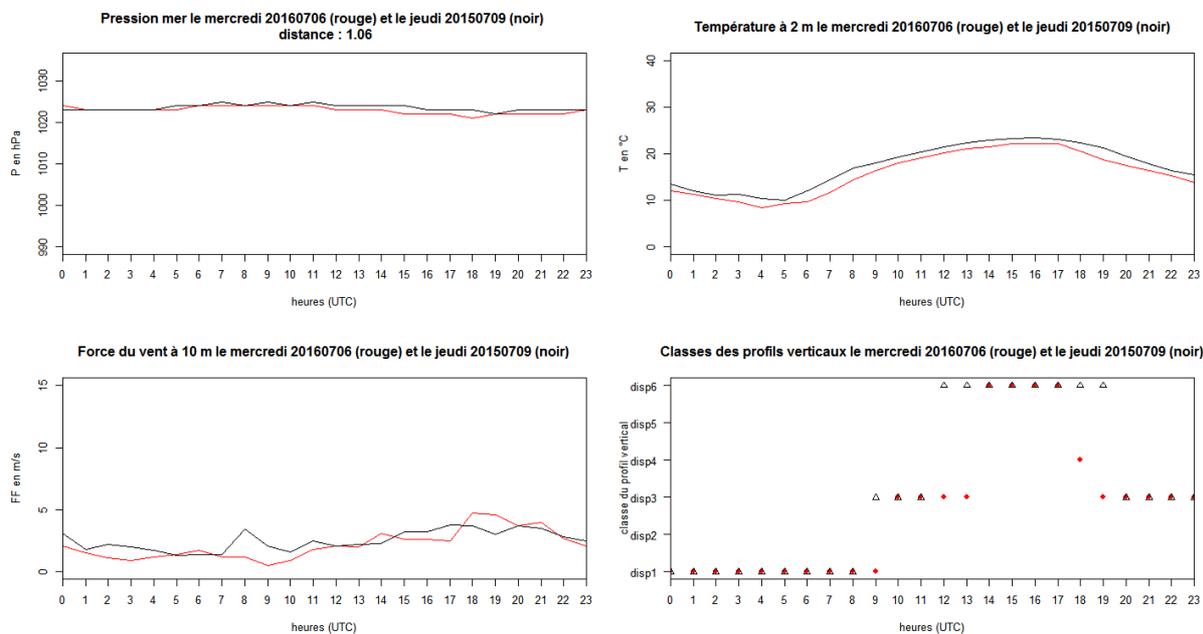


Figure IV.1.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le mercredi 06/07/2016 et le jeudi 09/07/2015

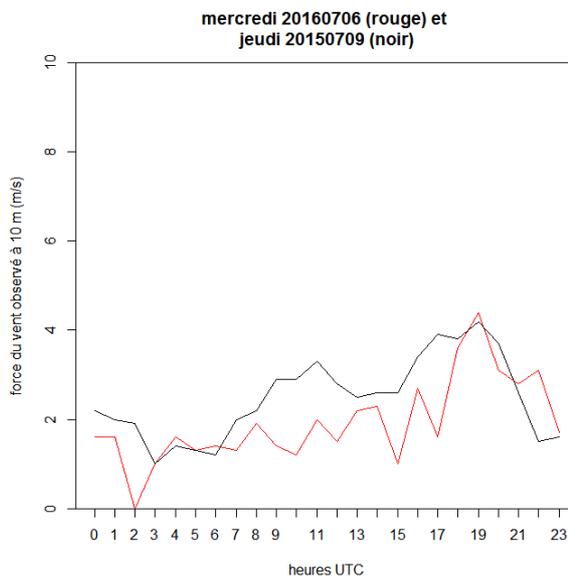


Figure IV.1.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le mercredi 06/07/2016 et le jeudi 09/07/2015

En conclusion : avec des conditions anticycloniques similaires générant un faible flux variable en direction d'ouest à nord, ces deux journées sont très ressemblantes en termes de dispersion. Il faut quand même garder à l'esprit les conséquences éventuelles sur la pollution du décalage dans la chronologie de l'évolution de la masse d'air, le matin et le soir, et du brassage légèrement plus présent dans la matinée en 2015.

IV.2. Vendredi 22/07/2016 et vendredi 07/08/2015

Situation 2016 : thalweg arrivant lentement par l'ouest sur de l'air chaud en basses couches.
 Situation 2015 : thalweg, axé îles Britanniques/Portugal, dirigeant un flux chaud de sud-ouest.

Les cycles diurnes de pression et de température à 2 mètres sont très comparables.

Les cycles de vent AROME se ressemblent avec dans les deux cas très peu de vent le matin puis une hausse progressive à partir de 10 UTC. L'observation à Rennes St-Jacques confirme cette évolution, en revanche la hausse est un peu plus rapide en 2016 que ne le fait le modèle ; en outre, après 20 UTC, l'affaiblissement observé est plus net pour les deux années.

Les différences de classes qui apparaissent sur les cycles diurnes des profils verticaux sont essentiellement dues à des disparités entre les températures et/ou les humidités des deux journées. Ainsi par exemple, entre 13 et 17 UTC, le fait d'avoir en 2015 des sondages plus secs et chauds que ceux de 2016 implique qu'une classe "disp5" est attribuée à l'année 2015, puisque cette classe correspond effectivement à des sondages très chauds et secs. De même entre 00 et 02 UTC, la différence de températures permet d'expliquer les classes différentes.

Du point de vue de la dispersion, l'analyse des 24 profils horaires permet de conclure à un pouvoir dispersif équivalent jusqu'à 18 UTC, sauf entre 08 et 09 UTC. Ce moment correspond à la disparition de l'inversion présente en fin de nuit, le processus est plus rapide en 2016. Cependant, même si l'inversion persiste encore en 2015, elle s'élève vers 250 mètres à 08 UTC et à 375 mètres à 09 UTC, avec au-dessous une couche dispersive qui peut permettre un certain brassage (évidemment moins important qu'en 2016). A partir de 19 UTC, une inversion de très basses couches apparaît en 2016, progressivement surmontée d'une autre inversion vers 200 mètres, alors qu'en 2015 l'inversion de très basses couches a du mal à se mettre en place.

Nota : pas de précipitations signalées à Rennes St-Jacques.

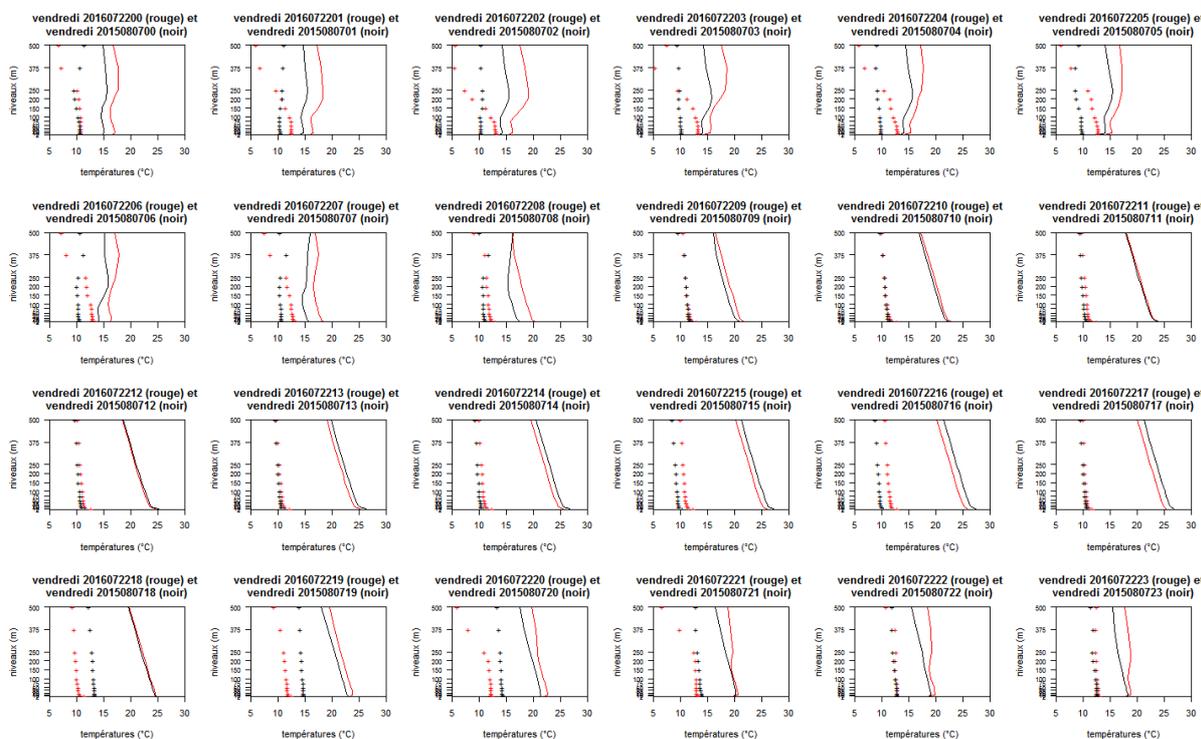


Figure IV.2.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le vendredi 22/07/2016 et le vendredi 07/08/2015

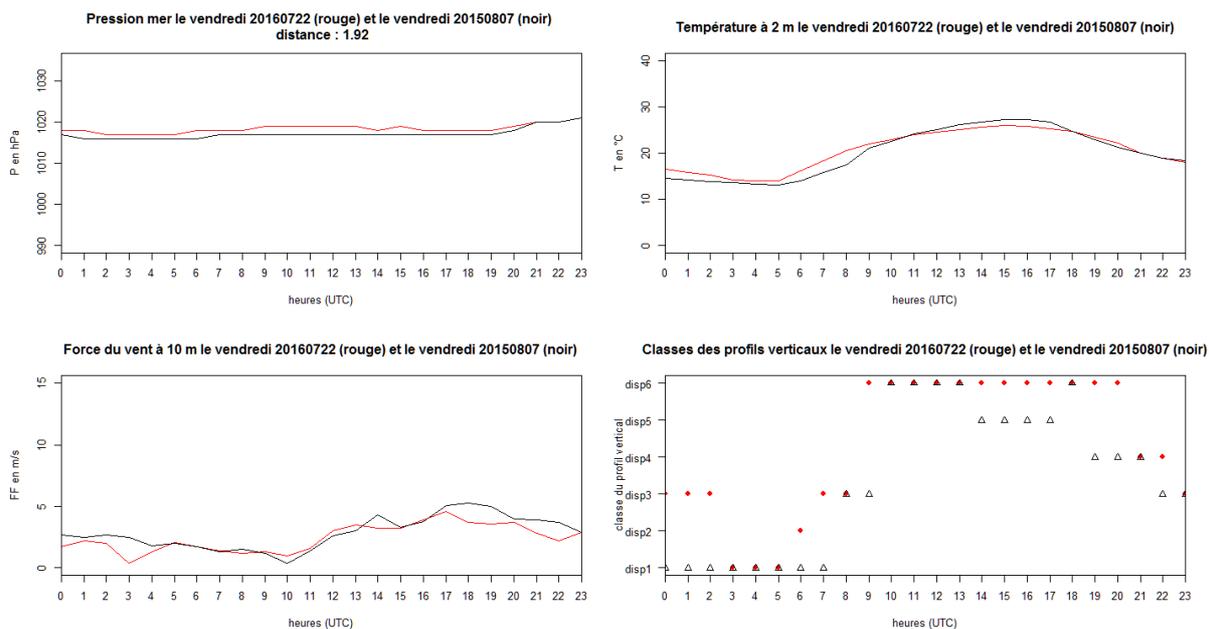


Figure IV.2.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le vendredi 22/07/2016 et le vendredi 07/08/2015

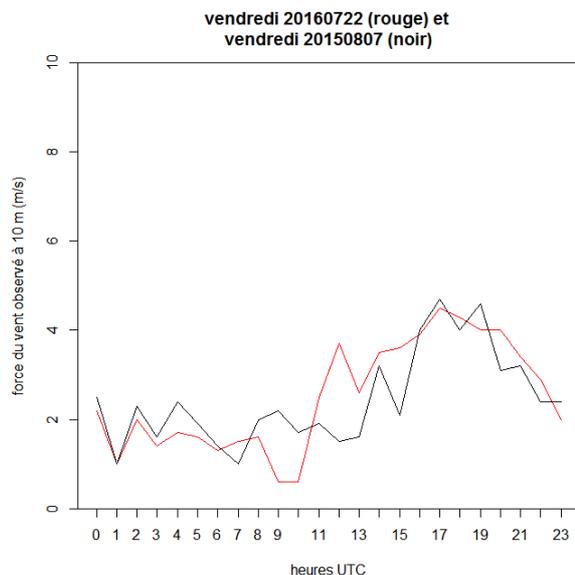


Figure IV.2.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le vendredi 22/07/2016 et le vendredi 07/08/2015

En conclusion : ce couple d'analogues est surtout intéressant jusqu'à 18 UTC (inversion sans vent puis dispersion avec brassage. Le vent souffle de sud-ouest en 2015 et de nord-nord-ouest en 2016). Après 19 UTC, l'évolution dans les très basses couches est un peu différente.

IV.3. Mardi 26/07/2016 et jeudi 23/07/2015

Situation 2016 : temps calme sous les nuages.

Situation 2015 : temps calme avant une perturbation qui aborde la région en cours de nuit suivante.

Les pressions sont élevées dans les deux cas ; stables en 2016, elles baissent progressivement en seconde partie de journée en 2015, signe précurseur de la perturbation qui arrive la nuit suivante. Les températures sont comparables.

Les sondages horaires des deux journées sont très similaires. Jusqu'à 05 UTC, une inversion de très basses couches est présente. A partir de 03 UTC, elle est passagèrement surmontée d'une seconde inversion dont le sommet se situe vers les 100/150 mètres. A 08 UTC, les inversions ont disparu dans les deux cas et les profils deviennent dispersifs. Ce n'est que vers 19/20 UTC qu'une inversion de très basses couches se reforme.

Le cycle du vent est un peu plus problématique. En effet, avec AROME, le vent reste quasi constant toute la journée et les deux journées ne sont pas très différentes. A Rennes St-Jacques, le vent observé évolue en cours de journée : très faible jusque 09/10 UTC, il se renforce légèrement ensuite (il reste néanmoins faible). Lorsque l'inversion de très basses couches se reconstitue en soirée, le brassage un peu plus marqué en 2015 pourrait avoir un impact sur la dispersion, temporairement jusque 21/22 UTC.

Nota : pas de précipitations signalées à Rennes St-Jacques.

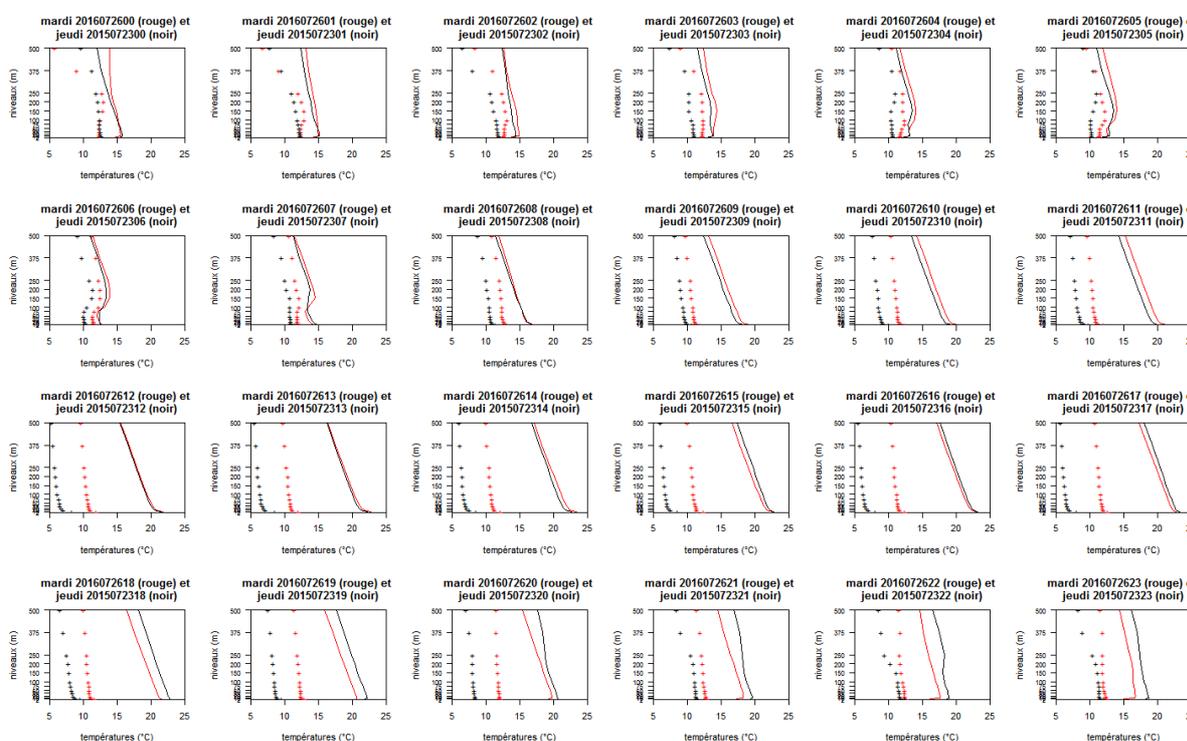


Figure IV.3.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mardi 26/07/2016 et le jeudi 23/07/2015

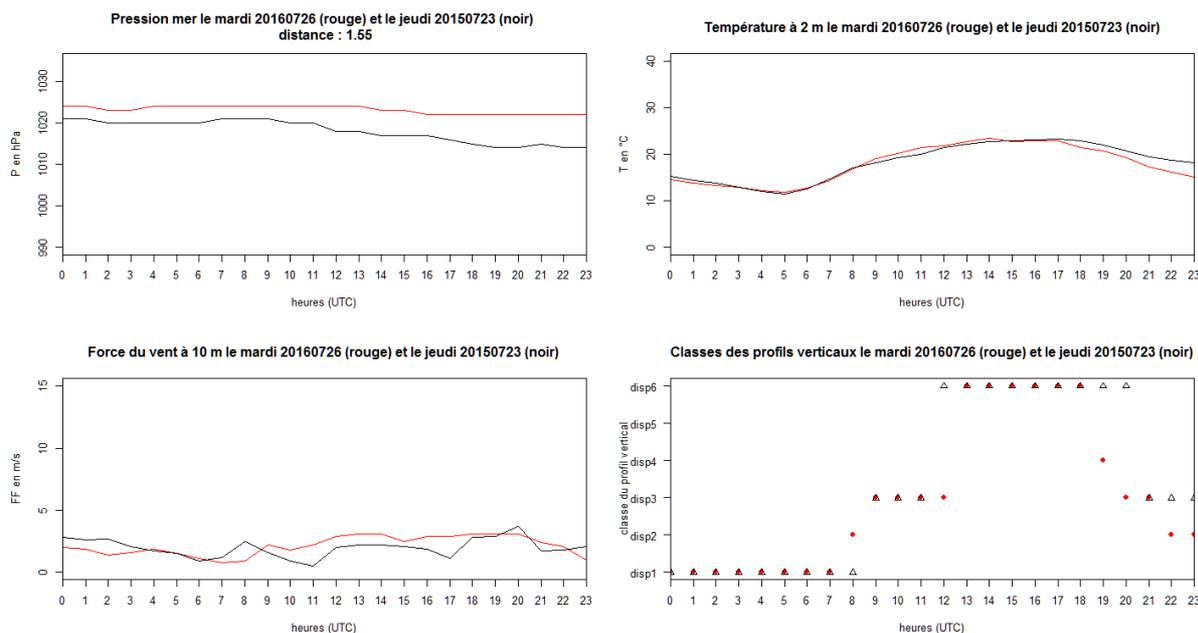


Figure IV.3.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le mardi 26/07/2016 et le jeudi 23/07/2015

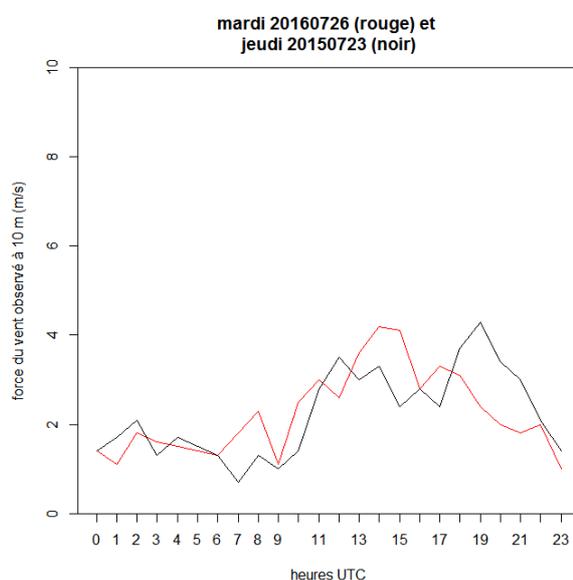


Figure IV.3.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le mardi 26/07/2016 et le jeudi 23/07/2015

En conclusion : ces deux journées forment un couple d'analogues satisfaisant. Les différences entre les vents se produisent plutôt lorsque les sondages sont les plus dispersifs : cela ne devrait pas, a priori, avoir trop d'influence sur la comparaison des concentrations des polluants étudiés.

IV.4. Jeudi 28/07/2016 et lundi 20/07/2015

Situations 2016 et 2015 : marge sud du courant perturbé circulant sur les îles Britanniques.

Dans les deux cas, les cycles diurnes de la pression, des températures à 2 mètres et des profils verticaux sont très comparables.

L'analyse des 24 profils horaires permet de confirmer que du point de vue la dispersion, les deux journées se ressemblent : avec un pouvoir dispersif de l'atmosphère toujours présent, même la nuit (pas d'inversion pour ces situations). Une différence peut être signalée tout de même : les sondages de 2015 sont beaucoup plus humides que ceux de 2016 jusqu'à 08 UTC (en marge sud du courant perturbé, quelques traces sont d'ailleurs signalées à la station, cf. nota suivant).

Le vent de sud-ouest est plus soutenu en 2015 qu'en 2016. En 2015, le brassage horizontal reste modéré toute la journée ; en 2016 il est moins important le matin que l'après-midi. L'observation permet de souligner une baisse notable vers 03/05 UTC à Rennes, qui pourrait peut-être avoir un impact sur la pollution, malgré les sondages dispersifs et l'heure pas particulièrement d'affluence.

Nota : 0,2 mm recueillis entre 00 et 01 UTC et entre 02 et 03 UTC le 20/07/2015. Pas de précipitations en 2016.

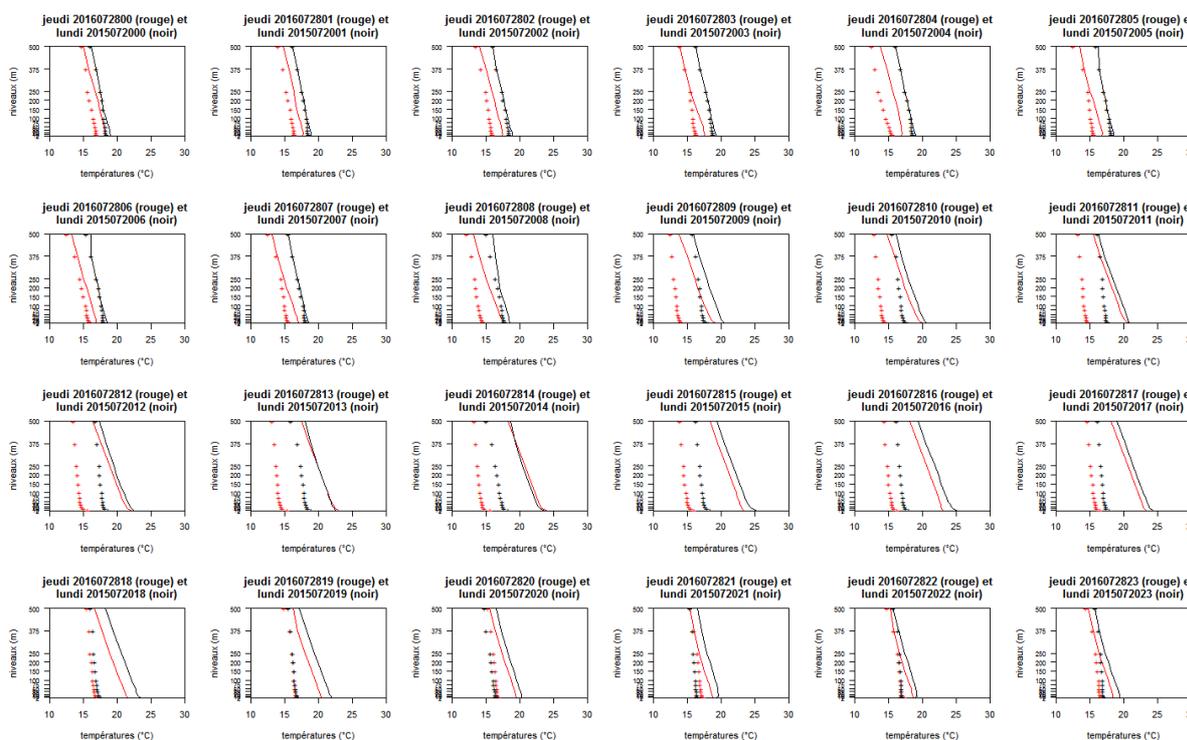


Figure IV.4.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le jeudi 28/07/2016 et le lundi 20/07/2015

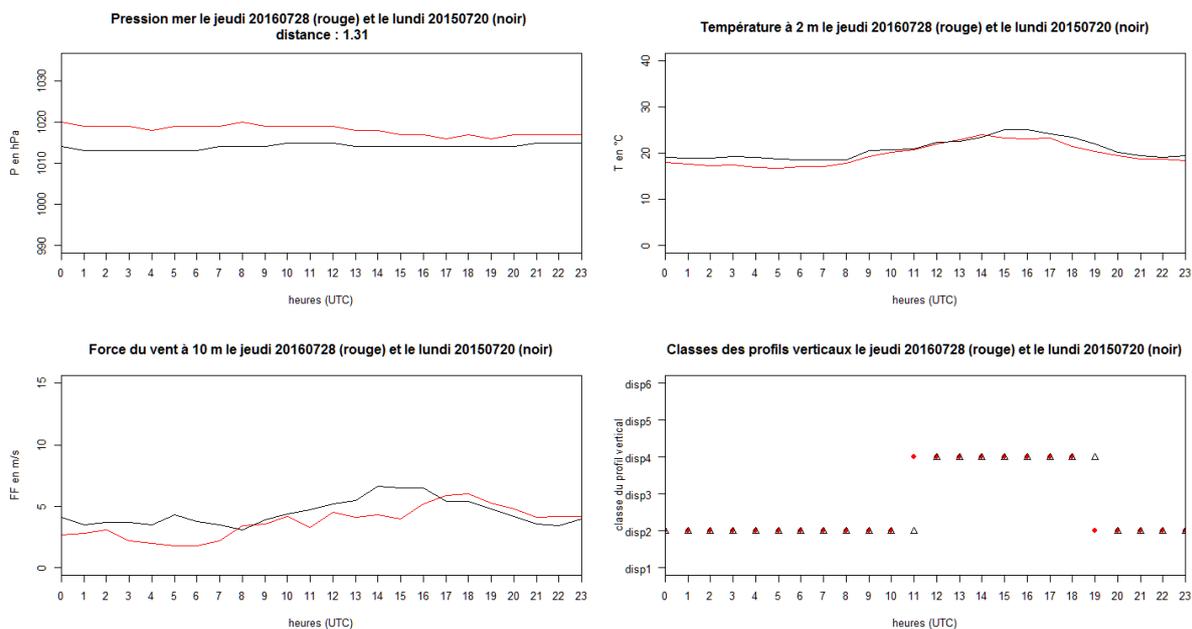


Figure IV.4.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le jeudi 28/07/2016 et le lundi 20/07/2015

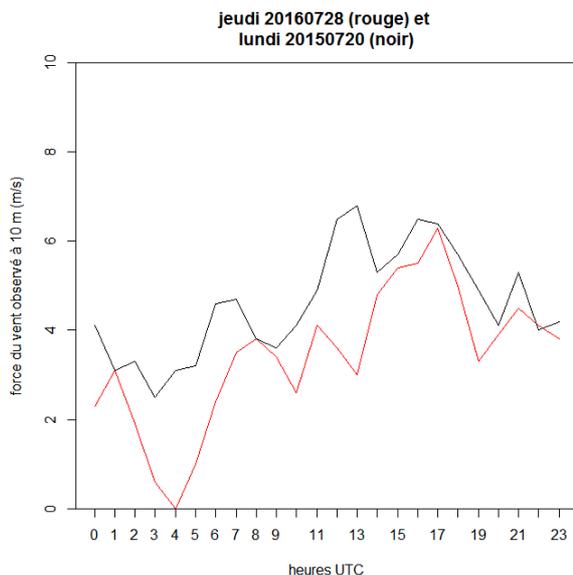


Figure IV.4.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le jeudi 28/07/2016 et le lundi 20/07/2015

En conclusion : les situations météorologiques de ces deux dates ne sont peut-être pas très propices à l'accumulation de la pollution dans les basses couches (brassages horizontal et vertical). Pour autant, elles constituent deux analogues acceptables d'un point de vue météorologique.

IV.5. Lundi 01/08/2016 et jeudi 30/07/2015

Situation 2016 : léger effet de dorsale avant l'arrivée par l'ouest d'une perturbation la nuit suivante.
 Situation 2015 : flux anticyclonique de nord.

Les quatre cycles diurnes proposés présentent beaucoup de similitudes entre les deux années. Les pressions sont élevées dans les deux cas, la légère décroissance en 2016 est un indice de l'arrivée de la perturbation signalée ci-dessus dans la description du contexte général. De même, la force du vent ne diminue pas après 19 UTC en 2016 (contrairement à 2015).

Le vent (de nord-ouest à nord en 2015 et d'ouest à sud-ouest en 2016) est très faible jusqu'à 06 UTC, il se renforce ensuite tout au long de la matinée, plus rapidement en 2015 ; les observations de Rennes St-Jacques confirment bien une légère supériorité de la force en 2015 entre 08 et 12 UTC. Cette supériorité se maintient également l'après-midi (contrairement à ce que suggère le cycle AROME présenté ci-après). En revanche, l'affaiblissement du vent en 2015 après 19 UTC, non visible en 2016, est quant à lui bien observé à la station. En termes de dispersion, des différences entre les deux années seront plus marquées durant la matinée ou pour les toutes dernières heures de la journée (entre 00 et 06 UTC, le vent est vraiment très faible et, l'après-midi, il devient suffisamment significatif dans les deux cas pour assurer un certain brassage).

L'étude des profils verticaux montre une très grande ressemblance entre les deux années jusqu'à 20 UTC : une inversion de très basses couches évolue à peu près de la même façon pour disparaître vers 08 UTC. A partir de 21 UTC, une inversion de très basses couches commence à se reconstituer en 2015 alors qu'avec l'approche de la perturbation suivante ce phénomène n'apparaît pas vraiment en 2016 (à noter qu'avec des forces de vent différentes entre les deux années (voir plus haut), il est fort probable que la dispersion soit nettement plus prononcée en 2016 qu'en 2015, pour ces dernières heures de la journée).

Nota : pas de précipitations signalées.

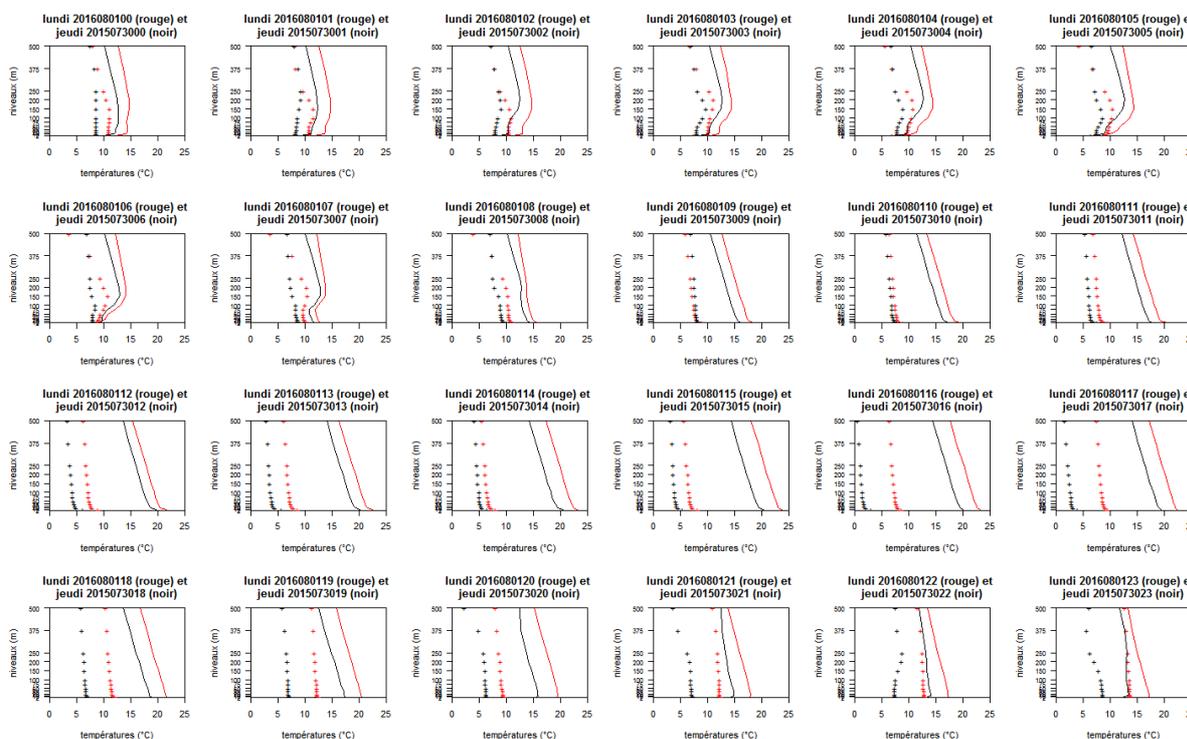


Figure IV.5.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le lundi 01/08/2016 et le jeudi 30/07/2015

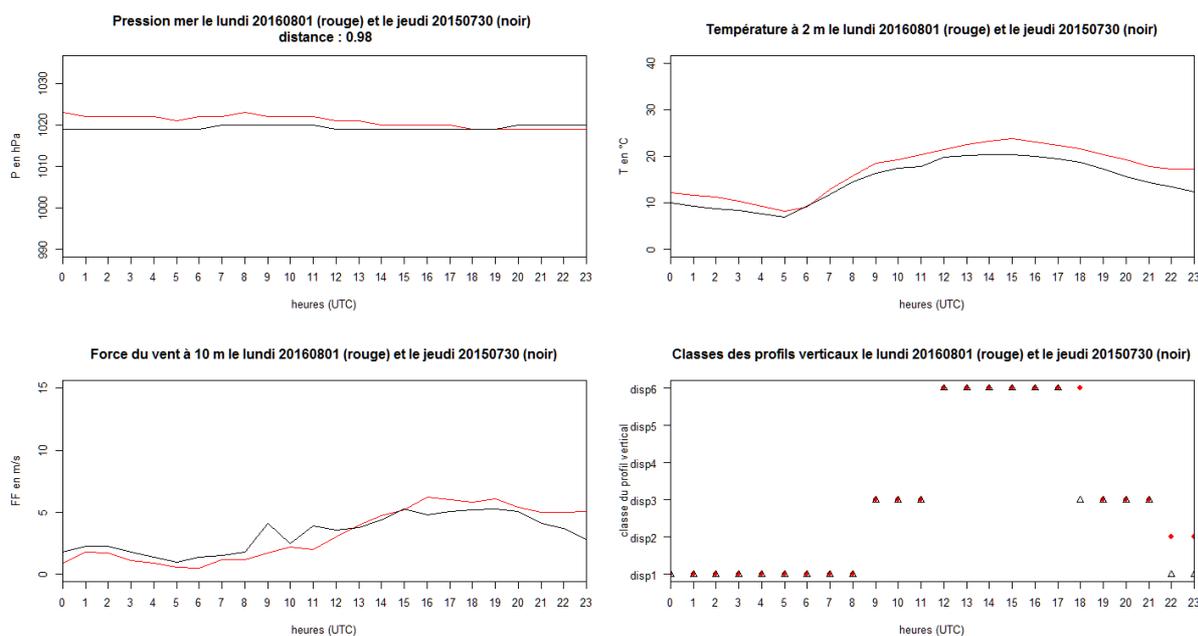


Figure IV.5.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le lundi 01/08/2016 et le jeudi 30/07/2015

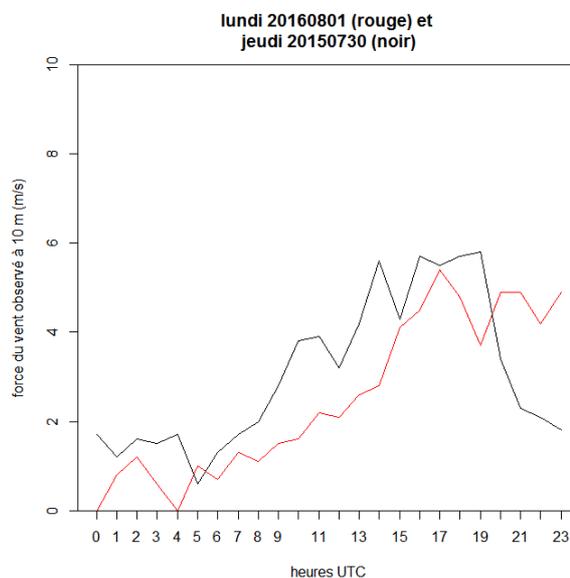


Figure IV.5.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le lundi 01/08/2016 et le jeudi 30/07/2015

En conclusion : c'est surtout en toute fin de journée que la différence des contextes généraux météorologiques (d'où par exemple des directions du vent distinctes) a une incidence sur les pouvoirs dispersifs de l'atmosphère en 2015 vs 2016 (force du vent et sondages). Sinon, les conditions locales sont très approchantes, si ce n'est un tout petit peu plus de vent dans la matinée en 2015 (et des directions différentes).

IV.6. Lundi 01/08/2016 et mercredi 19/08/2015

Situation 2016 : léger effet de dorsale avant l'arrivée par l'ouest d'une perturbation la nuit suivante.
 Situation 2015 : pressions élevées en légère hausse temporaire à l'avant du flux perturbé d'ouest qui concerne progressivement la région.

Les pressions élevées d'une part et les températures à 2 mètres d'autre part suivent une évolution similaire en 2015 et en 2016.

Le cycle diurne du vent d'ouest à sud-ouest est plutôt bien vu par le modèle AROME : jusqu'à 08/09 UTC, le vent est quasi inexistant dans les deux cas, avant de se renforcer un peu plus rapidement en 2015 qu'en 2016, ce qui pourrait accélérer la dispersion d'une éventuelle pollution en 2015 par rapport à 2016. L'après-midi, c'est le contraire, le brassage horizontal est un peu plus marqué en 2016 (à partir de 15 UTC) alors qu'il reste plus discret en 2015 et tend même à bien diminuer en toute fin de journée en 2015.

Les 24 profils verticaux se ressemblent énormément : une inversion de très basses couches, temporairement surmontée d'une seconde inversion, évolue à peu près de la même façon pour disparaître à 08 UTC en 2016 et à 09 UTC en 2015. En effet, à 08 UTC en 2015, une inversion résiduelle est encore visible vers 150 mètres, cela associé au vent faible peut impliquer une différence de dispersion à ce moment de la journée entre les deux années. Les sondages sont bien dispersifs ensuite, jusqu'à la réapparition d'une inversion de très basses couches vers 20/21 UTC. En 2016 cette inversion de très basses couches a en fait du mal à se mettre en place, et avec un vent un peu plus sensible qu'en 2015, il est possible que l'impact sur la pollution soit différent entre 2015 et 2016 pour ces dernières heures de la journée.

Nota : pas de précipitations signalées à la station de Rennes St-Jacques.

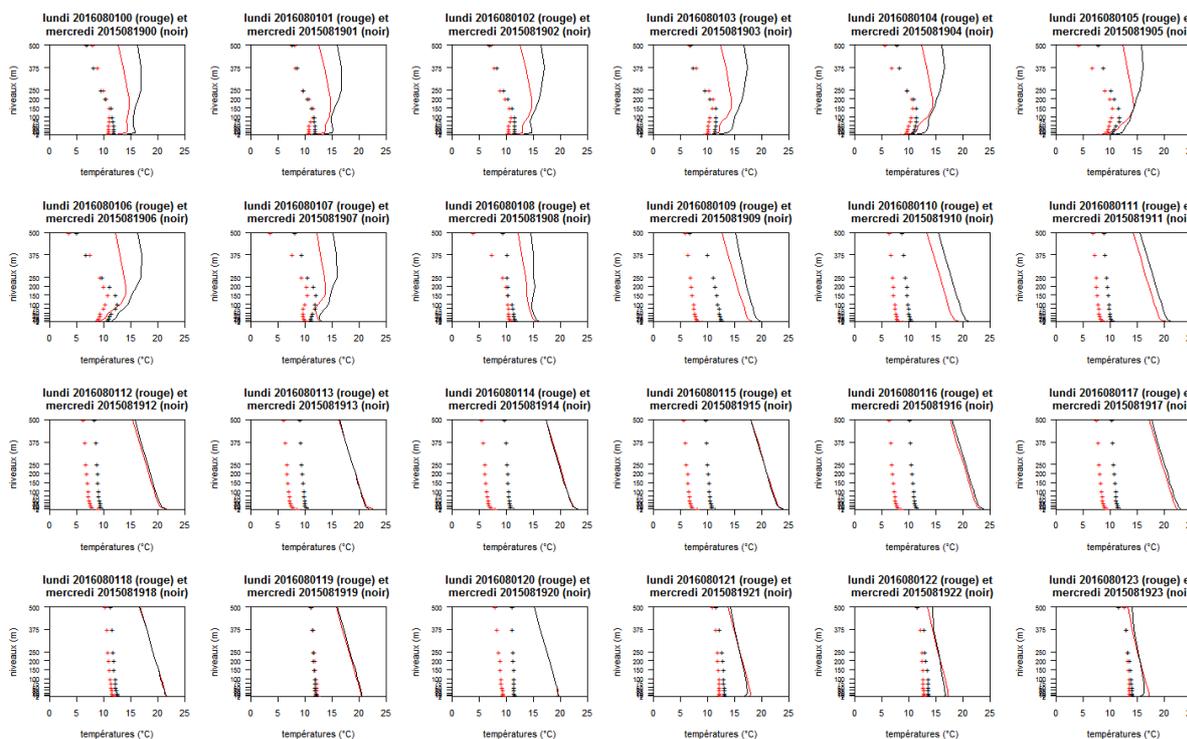


Figure IV.6.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le lundi 01/08/2016 et le mercredi 19/08/2015

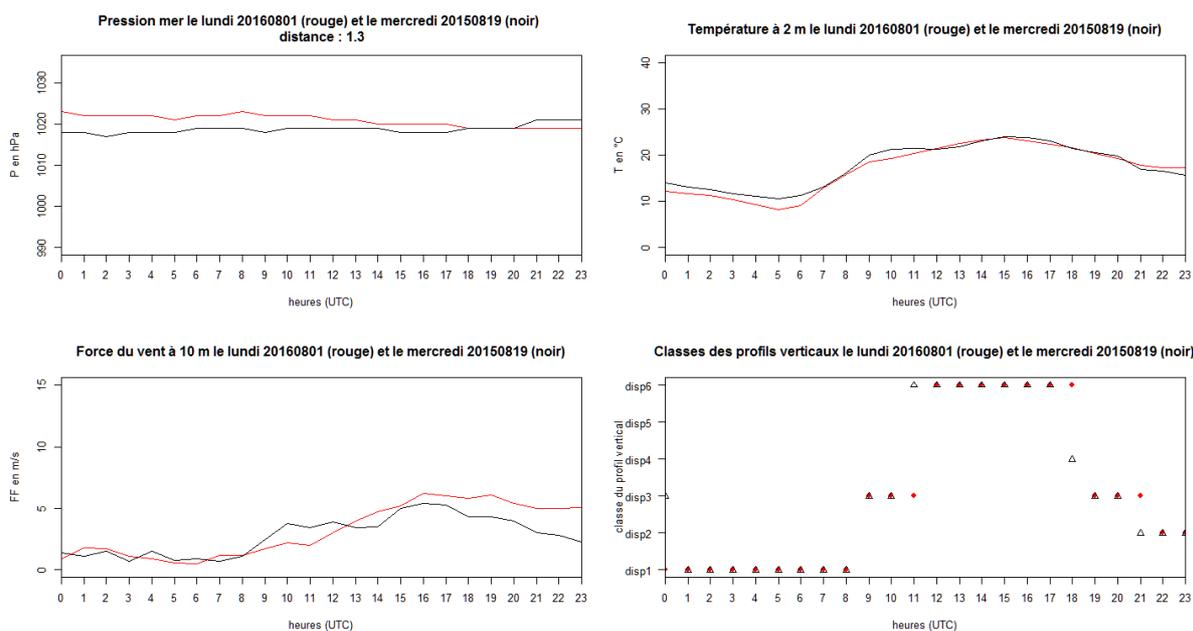


Figure IV.6.2 : cycles diurnes de la Pmer, T2m, FF10 et des classes des profils horaires pour le lundi 01/08/2016 et le mercredi 19/08/2015

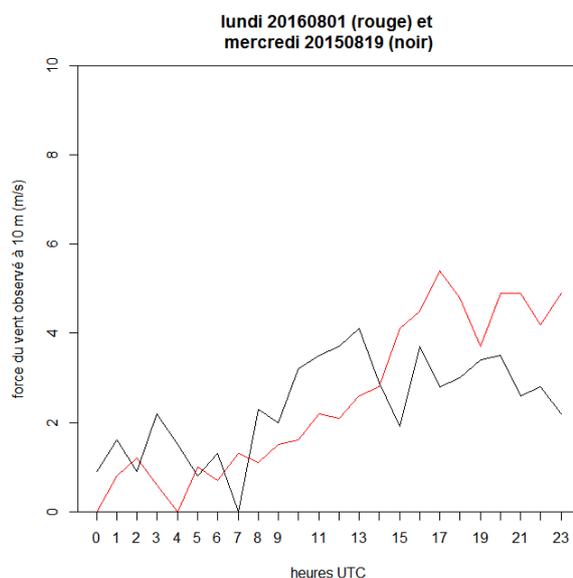


Figure IV.6.3 : cycles diurnes observés du vent moyen à 10 mètres à la station de Rennes St-Jacques pour le lundi 01/08/2016 et le mercredi 19/08/2015

En conclusion : avec beaucoup de points communs, ces deux dates constituent un couple d'analogues très satisfaisant, d'autant que, contrairement au précédent, les directions du vent sont identiques. Néanmoins, comme précédemment, il est possible qu'en toute fin de journée des différences soient sensibles en termes de dispersion.

V. Conclusion générale

Quinze couples d'analogues ont été identifiés entre les deux périodes de 2015 et 2016 étudiées. Ces couples sont plus ou moins ressemblants, il est en effet très difficile d'obtenir des équivalences à 100 % tout au long d'une journée et pour tous les paramètres, en particulier le vent et les profils verticaux. Des compromis ont dû être faits (signalés à chaque fois dans le document).

Le tableau suivant reprend ces couples d'analogues et la conclusion de la comparaison réalisée pour chacun. Ils sont ordonnés chronologiquement par rapport aux dates de 2016.

Date 2016	Date 2015	Conclusion
Lundi 02/05	Mardi 08/09	dates globalement similaires. Mais certains détails diffèrent dont il faudrait tenir compte lors d'une étude détaillée de la pollution (directions du vent, profils en basses couches décalés dans le temps à une période de la journée sensible au trafic routier)
Mardi 03/05	Lundi 15/06	de plutôt bons analogues. Les directions du vent sont voisines. Cependant il est possible que temporairement, en début de soirée (entre 20 et 22 UTC), les conditions dispersives soient un peu différentes, l'inversion de basses couches ne se mettant pas en place de la même façon
Lundi 30/05	Lundi 15/06	dans un contexte météorologique assez semblable, journées globalement plutôt ressemblantes. Mais il faut garder à l'esprit que dans la matinée, en 2016, un vent un peu plus fort et l'existence d'une inversion vers 250 mètres peuvent interférer sur la dispersion de la pollution
Mardi 31/05	Lundi 14/09	dates pouvant à la toute rigueur être considérées comme ressemblantes. Elles pourraient être intéressantes à considérer essentiellement comme exemples de situations ventées. Cependant, il a plu en 2015 (même si les 2 heures de pluie entre 7 et 22 heures locales ne sont pas dépassées). De plus, les profils verticaux diffèrent un peu la nuit entre les deux années, surtout pour les niveaux étudiés les plus élevés
Mercredi 01/06	Mardi 01/09	dates se ressemblant (mêmes directions de vent, conditions dans l'ensemble très similaires). En cas d'utilisation de ce couple, il faudra peut-être être prudent dans la comparaison de la pollution entre 20 et 23 UTC et tenir compte des incertitudes au sujet du vent près de la rocade par rapport au vent observé et au vent AROME
Samedi 04/06	Samedi 05/09	deux dates potentielles. Mais il faudra tenir compte de la différence probable de dispersion en début de matinée durant quelques heures (Cependant comme il s'agit de samedis, l'impact n'est peut-être pas aussi important à ces heures-là qu'en semaine ?).

Date 2016	Date 2015	Conclusion
Mercredi 08/06	Mercredi 17/06	deux dates pouvant être considérées comme ressemblantes, malgré des hauteurs d'inversions différentes mais quand même assez élevées
Dimanche 19/06	Dimanche 06/09	plutôt bons analogues, même s'il s'agit de dimanches, que les situations météorologiques générales sont un peu différentes (en particulier directions du vent différentes) et qu'il est possible qu'en matinée du 19/06/2016 la dispersion soit temporairement un peu plus importante qu'en 2015
Mardi 21/06	Jeudi 18/06	analogues tout à fait recevables, malgré la distance supérieure à 3 qui les sépare et qui pourrait sembler importante au premier abord
Mercredi 06/07	Jeudi 09/07	avec des conditions anticycloniques similaires générant un faible flux variable en direction d'ouest à nord, journées très ressemblantes en termes de dispersion. Il faut quand même garder à l'esprit les conséquences éventuelles sur la pollution du décalage dans la chronologie de l'évolution de la masse d'air, le matin et le soir, et du brassage légèrement plus présent dans la matinée en 2015
Vendredi 22/07	Vendredi 07/08	analogie surtout intéressante jusqu'à 18 UTC (inversion sans vent puis dispersion avec brassage, de sud-ouest en 2015 et de nord-nord-ouest en 2016). Après 19 UTC, l'évolution dans les très basses couches est un peu différente
Mardi 26/07	Jeudi 23/07	couple d'analogues satisfaisant. Les différences entre les vents se produisent plutôt lorsque les sondages sont les plus dispersifs : cela ne devrait pas, a priori, avoir trop d'influence sur la comparaison des concentrations des polluants étudiés
Jeudi 28/07	Lundi 20/07	les situations météorologiques de ces deux dates ne sont peut-être pas très propices à l'accumulation de la pollution dans les basses couches (brassages horizontal et vertical). Pour autant, elles constituent deux analogues acceptables d'un point de vue météorologique
Lundi 01/08	Jeudi 30/07	c'est surtout en toute fin de journée que la différence entre les contextes généraux météorologiques (d'où par exemple des directions du vent distinctes) a une incidence sur les pouvoirs dispersifs de l'atmosphère en 2015 vs 2016 (force du vent et sondages). Sinon, les conditions locales sont très proches, si ce n'est un tout petit peu plus de vent dans la matinée en 2015 (et des directions différentes).
Lundi 01/08	Mercredi 19/08	beaucoup de points communs pour ces deux dates qui constituent un couple d'analogues très satisfaisant, d'autant que, contrairement au couple précédent, les directions du vent sont identiques. Néanmoins, il est possible qu'en toute fin de journée des différences soient sensibles en termes de dispersion.

Remarque : les deux couples constitués du mardi 31 mai 2016 et du lundi 14 septembre 2015 d'une part et du jeudi 28 juillet 2016 et du lundi 20 juillet 2015 d'autre part ont été proposés comme deux exemples de situations pas vraiment propices à l'accumulation de la pollution dans les basses couches (respectivement la première est ventée et les sondages pour l'autre sont dispersifs). Il n'est peut-être pas judicieux de les étudier dans le détail dans le cadre d'une étude sur la pollution ?

La méthode de sélection des journées analogues se décompose en deux grandes phases : une phase statistique et une phase d'expertise. La première est importante puisqu'elle permet de réduire le nombre de couples potentiels à étudier, nombre qui serait considérable sinon. La seconde, manuelle, permet d'analyser les résultats fournis de façon statistique (et automatique) et de trier les couples.

Par souci de cohérence, tout le processus statistique a dû être mis au point au tout début de l'étude, dans un temps imparti assez réduit, pour être ensuite appliqué sans aucune modification sur toute la période de l'expérimentation de mai à septembre 2016.

Pourtant, lors de la description des couples analogues potentiels à l'issue de la première phase, il s'est avéré que des améliorations pouvaient sûrement être apportées. En particulier, il a pu être souligné le rôle trop important de la pression au niveau de la mer ou de la température à 2 mètres dans le choix des couples à expertiser, cela au détriment sans doute d'une meilleure prise en compte par les méthodes statistiques des deux paramètres primordiaux que sont le vent et les profils verticaux dans les basses couches. En outre, l'échantillon de référence 2015 à disposition est apparu un peu trop petit pour pouvoir bien décrire tous les cas de figures qui peuvent se produire entre mai et septembre sur la région.

La phase d'expertise se révèle alors être essentielle pour ne conserver que les couples qui répondent vraiment le mieux à la problématique sur la pollution ; par exemple elle a permis d'éliminer les couples retenus statistiquement principalement du fait d'une forte ressemblance entre les pressions et les températures à 2 mètres mais avec des sondages parfois peu ressemblants, surtout à certaines heures déterminantes pour la pollution. Mais, inversement, il se peut que des couples n'aient pas été étudiés ici car pas proposés à l'expertise uniquement parce qu'ils présentent des pressions et/ou des températures à 2 mètres très dissemblables alors que le vent et les profils verticaux auraient pu être considérés comme plutôt similaires. En cela, la sélection de couples proposée au final risque de ne pas être exhaustive : les couples fournis sont pertinents, mais il en existe peut-être encore quelques autres.

Ainsi, lors de la livraison de la mi-octobre, portant sur les mois de juillet, août et septembre 2016, les couples d'analogues identifiés ne concernent que des dates 2016 antérieures au 1^{er} août. Pour le mois d'août, le filtre relevant du trafic routier est très pénalisant et peut expliquer en partie la difficulté de trouver des couples. Pour septembre, les conditions climatiques un peu atypiques de l'année 2016 seraient plus à incriminer. Il a donc semblé opportun, pour ces deux mois, de tenter d'approfondir les pistes d'amélioration mentionnées tout au long de l'étude. Cela a été fait a posteriori et les résultats obtenus sont fournis en "complément" dans l'annexe.

Annexe : analyse complémentaire pour les mois d'août et septembre 2016

A.1. Préliminaires

La méthode retenue n'ayant pas permis d'obtenir des couples d'analogues pour les dates ultérieures au 1^{er} août 2016, une analyse complémentaire est proposée pour tester certaines des pistes d'amélioration suggérées dans le corps du document :

- l'échantillon de référence n'est plus restreint aux seules dates de 2015, mais l'ensemble des dates de 2015 et de 2016 est utilisé dès le départ (soit 233 jours, sans pluie). Cela permet, d'une part, d'éviter de devoir supprimer quelques dates de 2016 parce la classe de l'un des profils horaires du cycle diurne n'a jamais été rencontrée en 2015 à cette même heure et, d'autre part, d'augmenter la taille d'échantillon ;
- l'analyse de la dispersion verticale est basée uniquement sur l'évolution avec l'altitude du gradient de températures entre deux niveaux successifs, en dessous de 500 mètres. Cela permet de se concentrer sur l'aspect dispersif sans que la notion de différence de températures entre deux dates à comparer ne vienne interférer ;
- le cycle diurne de la pression au niveau de la mer n'intervient plus pour caractériser l'analogie entre deux dates.

L'enchaînement des différentes étapes est repris :

- tout d'abord, pour disposer de cycles diurnes des profils verticaux de gradient de température, ces derniers sont répartis dans cinq classes différentes, au pas de temps horaire. Dans les graphiques suivants, les classes apparaissent dans l'ordre croissant du pouvoir dispersif de l'atmosphère (classe "C1" pas ou peu de dispersion verticale, classe "C5" beaucoup de dispersion verticale) ;
- une AFM est appliquée sur les cycles diurnes du vent AROME à 10 mètres et ceux des classes des profils de gradient. Les six premiers facteurs sont retenus et les distances sont calculées entre toutes les dates prises deux à deux ;
- pour une date 2016, les cinq dates 2015 les plus proches sont conservées ;
- le filtre routier est ensuite appliqué ;

- les couples restants sont expertisés (comparaison des conditions générales, comparaison des cycles diurnes du vent moyen à 10 mètres, AROME d'une part et observé à Rennes St-Jacques d'autre part, comparaison de l'évolution au fil des heures des classes des profils de gradient).

Quatre couples d'analogues peuvent venir compléter la liste fournie mi-octobre. Ils concernent des jours de septembre 2016, le filtre routier appliqué pour les journées d'août étant trop restrictif.

Ces couples sont décrits ci-après (triés par ordre chronologique des dates 2016). La même convention est conservée pour représenter les deux années sur un même graphique : en rouge pour 2016 et en noir pour 2015.

A.2. Mardi 06/09/2016 et lundi 06/07/ 2015

Situation 2016 : conditions anticycloniques, temps ensoleillé et chaud.
 Situation 2015 : flux de sud-ouest chaud, non perturbé. Temps ensoleillé.

La journée est très peu ventée dans les deux cas. Le modèle AROME marque une différence dans l'après-midi, mais comme il s'agit d'un moment où la dispersion verticale est à son maximum, cela ne devrait pas avoir trop d'impact sur l'éventuelle pollution. En revanche, avec AROME, les deux cycles de vent sont très proches avant 07 UTC ; ce n'est pas confirmé avec l'observation : le vent de 2016 peut permettre un léger brassage qui n'existe pas en 2015.

Jusqu'à 06 UTC, les formes des sondages des deux dates sont très proches (existence d'une inversion de basses couches). A 07/08 UTC, l'évolution de l'inversion est un peu différente : elle est plus rapide en 2015, donc la dispersion verticale près du sol est probablement plus prononcée en 2015 qu'en 2016. Mais à l'inverse, comme décrit ci-dessus, c'est le moment où le brassage horizontal 2016 est quant à lui un peu plus marqué. Globalement, il est possible que l'impact sur la pollution soit à peu près le même les deux années. Entre 09 et 17 UTC, les sondages sont très dispersifs. C'est vers 18/19 UTC qu'une inversion de très basses couches réapparaît, elle est parfois surmontée temporairement d'une autre inversion (plus ou moins marquée, comme à 21 UTC en 2016).

Nota : pas de précipitations signalées à la station de Rennes St-Jacques.

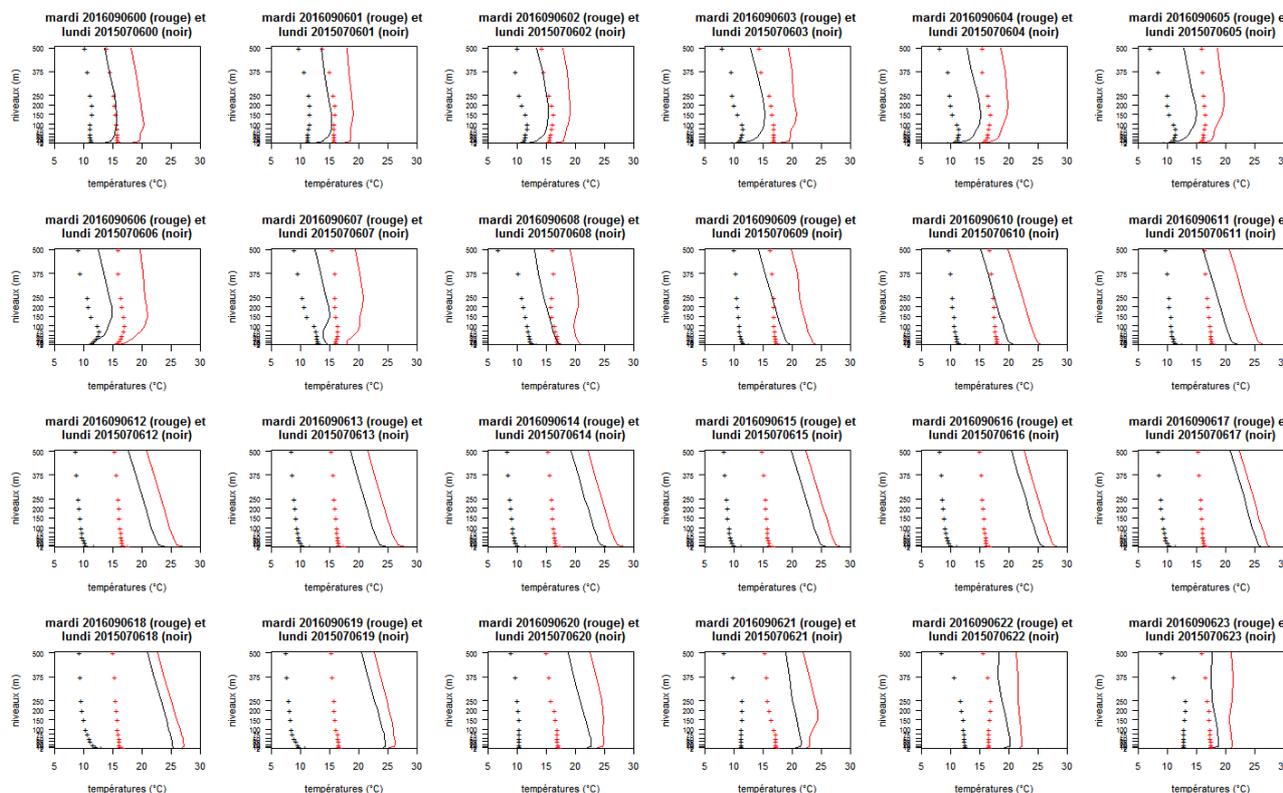


Figure A.2.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mardi 06/09/2016 et le lundi 06/07/2015

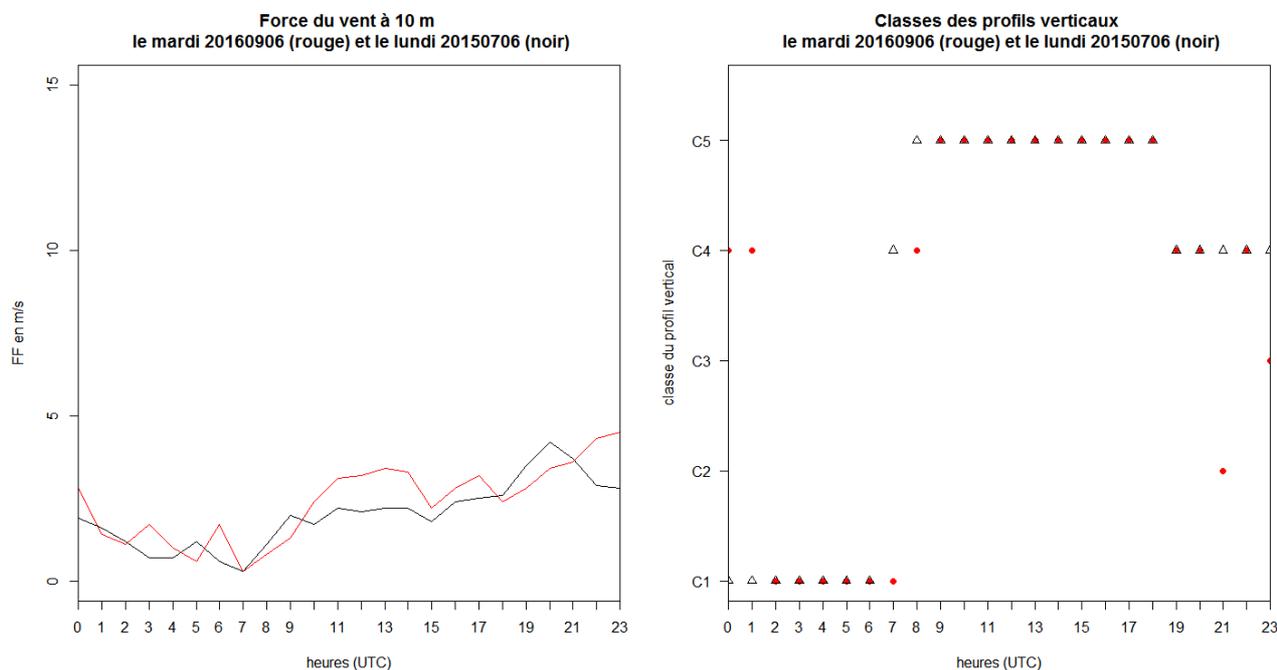


Figure A.2.2 : cycles diurnes de FF10 et des classes des profils horaires pour le mardi 06/09/2016 et le lundi 06/07/2015

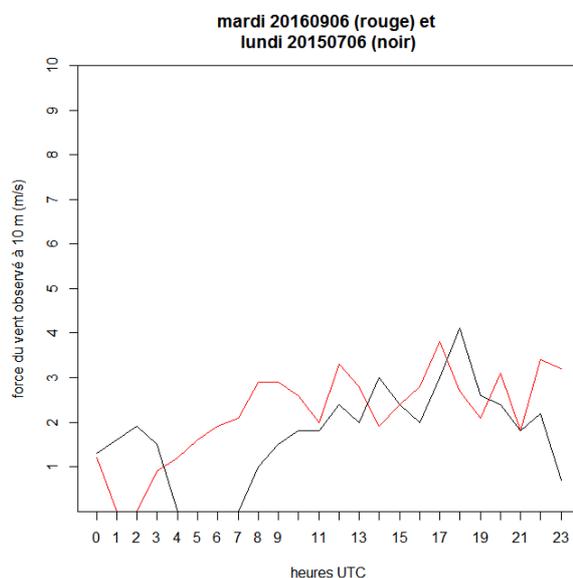


Figure A.2.3 : vents moyens à 10 mètres observés à la station de Rennes St-Jacques le mardi 06/09/2016 et le lundi 06/07/2015

En conclusion : ces deux dates ont beaucoup de points communs et constituent un couple d'analogues très satisfaisant. Quelques petites réserves peuvent toutefois être formulées : s'agissant des mois (juillet comparé à septembre) et au sujet du vent (direction de sud-est à ouest en 2015 et d'est à sud-est en 2016, incertitude sur la force en fin de nuit : force faible sûrement, mais dans une gamme où toute incertitude peut avoir une influence sur la pollution).

A.3. Mercredi 07/09/2016 et mercredi 09/09/2015

Situations 2016 et 2015 : flux d'est à l'avant d'une limite qui remonte par le golfe de Gascogne.

Les cycles diurnes du vent observé sont très approchants.

Même s'il fait plus chaud en 2016 qu'en 2015, la dispersion verticale, quant à elle, est très similaire pour les deux années, sauf peut-être entre 00 et 05 UTC où la dispersion verticale dans les premiers cent mètres semble un peu plus marquée en 2016 (en dessous de l'inversion). Cette différence tend à disparaître à 05/06 UTC.

Nota : pas de précipitations signalées à la station de Rennes St-Jacques.

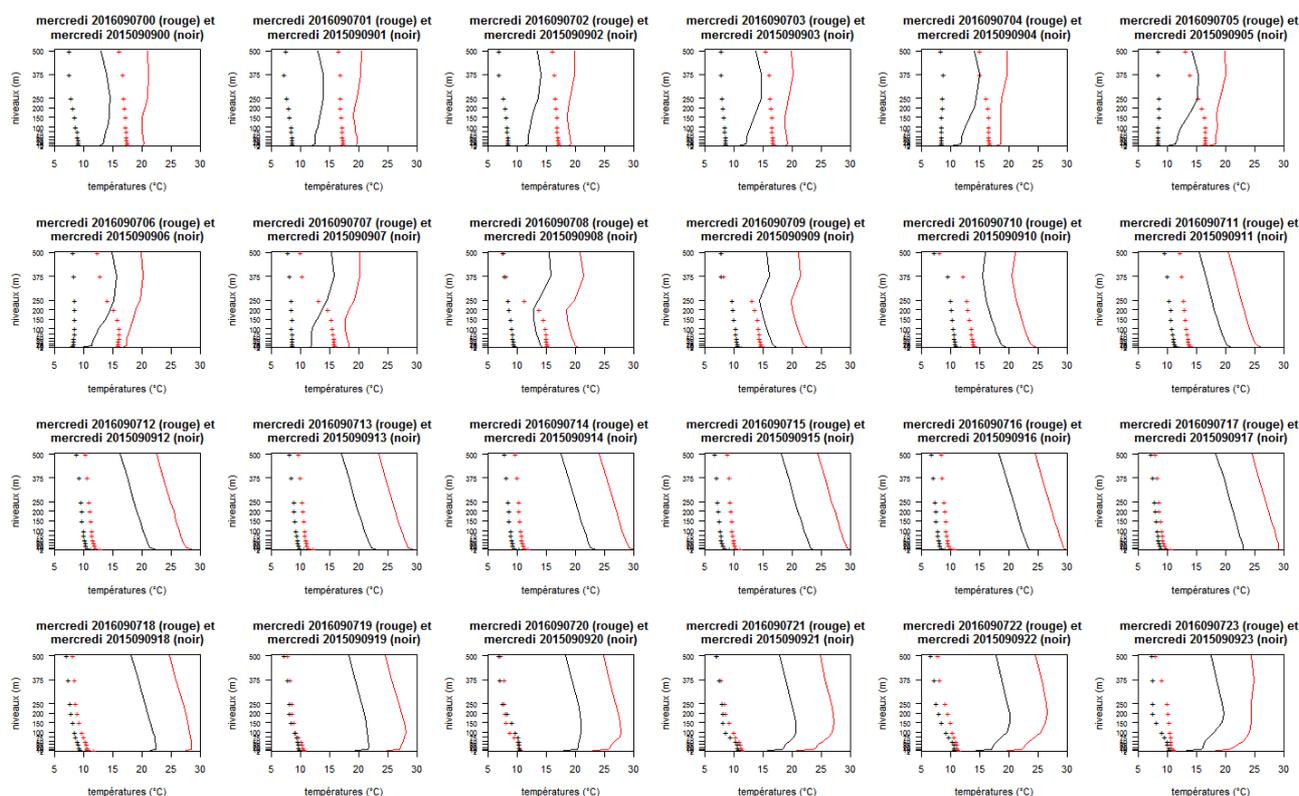


Figure A.3.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le mercredi 07/09/2016 et le mercredi 09/09/2015

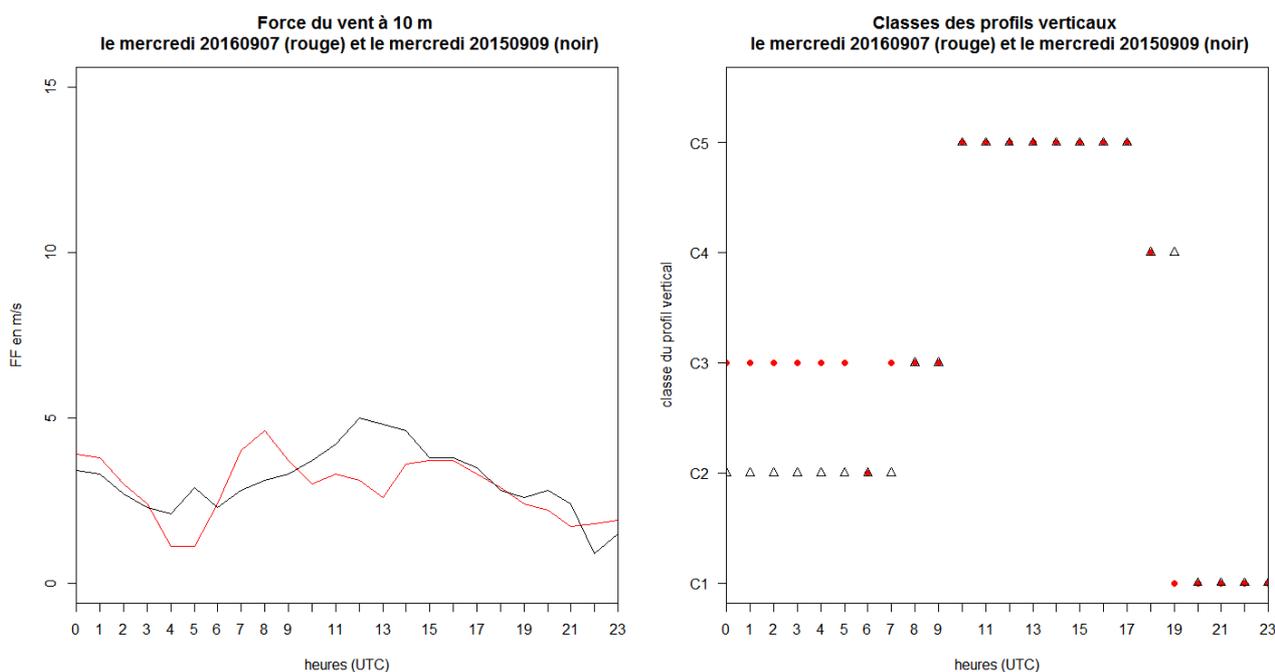


Figure A.3.2 : cycles diurnes de FF10 et des classes des profils horaires pour le mercredi 07/09/2016 et le mercredi 09/09/2015

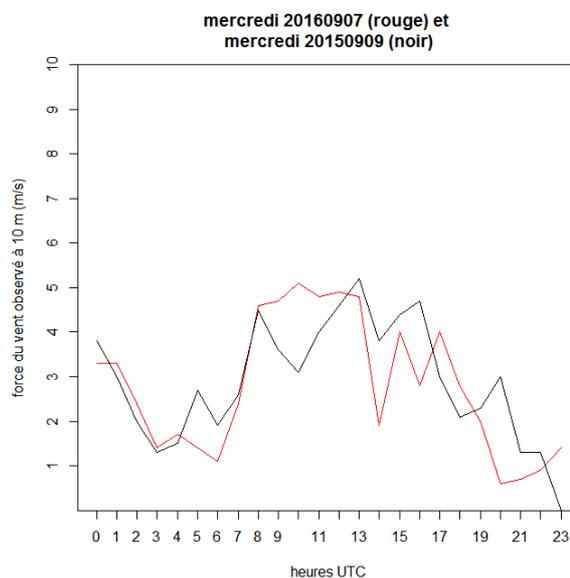


Figure A.3.3 : cycles diurnes du vent moyen à 10 mètres observé à la station de Rennes St-Jacques pour le mercredi 07/09/2016 et le mercredi 09/09/2015

En conclusion : ce couple d'analogues est intéressant, avec toutefois quelques différences sur la dispersion verticale à prendre en compte entre 00 et 05 UTC. Un atout de ce couple est d'être constitué de deux mercredis situés à peu près à la même période de septembre, ce qui devrait impliquer un trafic routier très comparable en termes de comportement des usagers.

A.4. Vendredi 09/09/2016 et vendredi 04/09/2015

Situation 2016 : pseudo-limite pas active donnant juste des nuages.

Situation 2015 : flux frais et humide de nord-ouest à ouest. Très nuageux.

Les forces du vent évoluent de la même façon en cours de journée : d'abord très faibles jusqu'à 07 UTC, elles présentent une hausse sensible entre 08 et 14 UTC, puis une baisse ensuite. Si les niveaux restent équivalents entre les deux années jusqu'à 14 UTC, ensuite le vent (même s'affaiblissant) est plus fort en 2016.

Les directions du vent, en revanche sont différentes, de sud-ouest puis de nord-ouest en 2015 et de sud-est puis de sud-ouest en 2016.

Avec la présence d'une inversion dans les basses couches, les profils verticaux laissent supposer une dispersion verticale atténuée dans les deux cas, jusqu'à 06 UTC (à associer avec un vent très faible au même moment). Entre 07 et 09 UTC, l'inversion évolue, mais différemment selon l'année : il semblerait que sa disparition soit plus rapide en 2015 (plus d'inversion à 09 UTC) mais qu'à contrario son sommet s'élève plus vite en 2016, permettant dès 08 UTC un brassage vertical en dessous. Les heures suivantes, les sondages sont dispersifs. Une inversion de très basses couches se reforme vers 19/20 UTC. C'est peut-être alors, et les heures suivantes, que le brassage horizontal un peu plus présent en 2016 aura un impact sur l'éventuelle pollution.

Nota : pas de précipitations signalées à la station de Rennes St-Jacques.

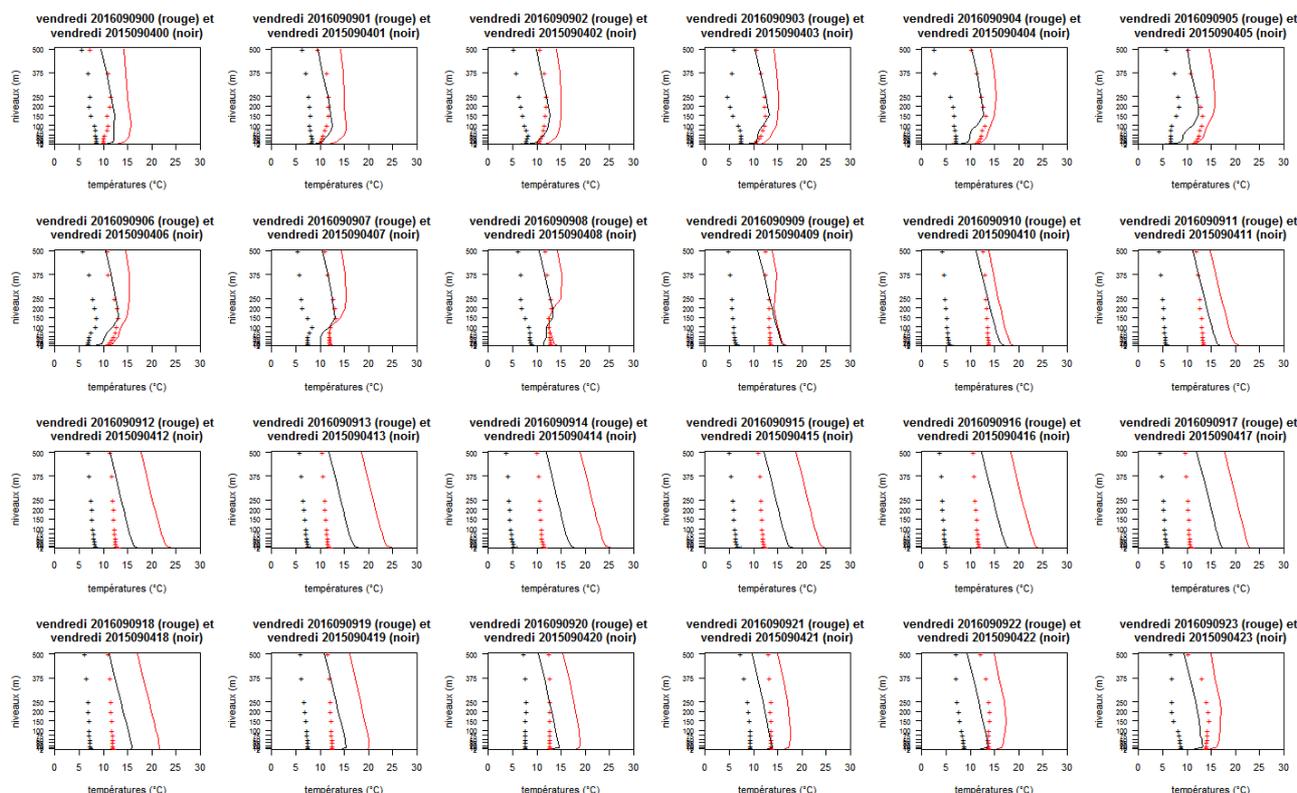


Figure A.4.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le vendredi 09/09/2016 et le vendredi 04/09/2015

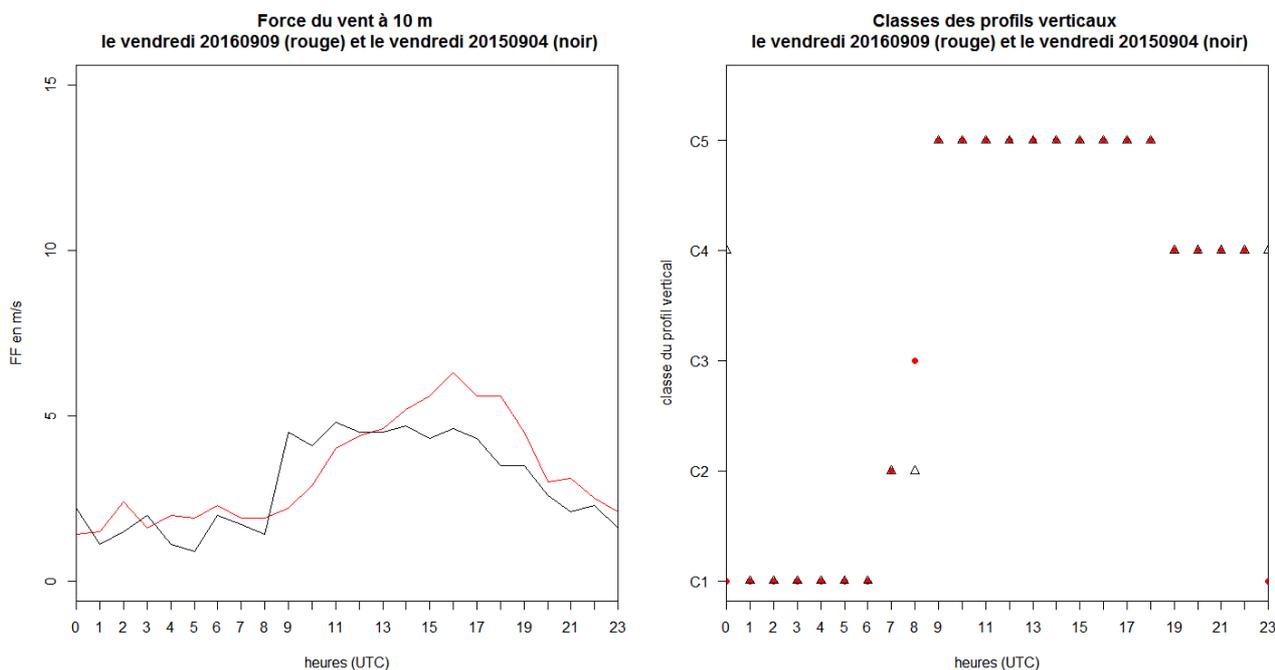


Figure A.4.2 : cycles diurnes de FF10 et des classes des profils horaires pour le vendredi 09/09/2016 et le vendredi 04/09/2015

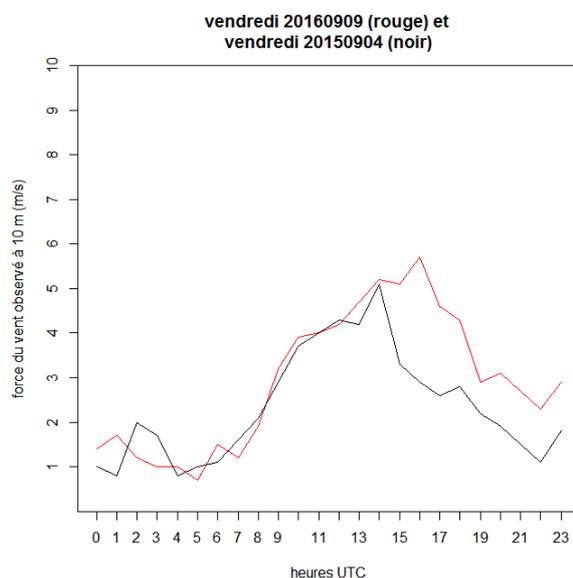


Figure A.4.3 : cycles diurnes du vent moyen à 10 mètres observé à la station de Rennes St-Jacques pour le vendredi 09/09/2016 et le vendredi 04/09/2015

En conclusion : malgré des conditions générales assez différentes, ces deux journées sont similaires d'un point de vue du pouvoir dispersif de l'atmosphère (sauf après 19 UTC, où la dispersion est a priori possible en 2016 mais pas en 2015). Comme pour le couple précédent, le fait d'avoir deux vendredis de début septembre peut être un point positif au regard du trafic routier.

A.5. Jeudi 22/09/2016 et jeudi 25/06/2015

Situation 2016 : temps calme assez nuageux à l'avant d'une perturbation très atténuée qui effleure la région dans un champ de pressions élevées.

Situation 2015 : temps calme, sec, chaud et très ensoleillé dans un champ de pressions élevées.

Le vent faible souffle principalement d'ouest à sud-ouest dans les deux cas. Il est très faible jusqu'à 09 UTC ; il se lève à peine ensuite en 2016, alors qu'en 2015 un certain brassage horizontal est plus probable entre 09 et 21 UTC.

Même si la forme des sondages est un peu différente selon l'année, le point commun est l'existence d'une inversion de très basses couches dans les deux cas, qui limite les mouvements verticaux. L'évolution au plus près du sol est un peu plus rapide en 2015 (vers 06/07 UTC, contre 08 UTC en 2016). Ensuite, les sondages deviennent dispersifs, c'est le moment d'ailleurs où le vent se renforce un peu venant ainsi favoriser la dispersion (un peu plus en 2015, comme mentionné précédemment). Une inversion se reforme dans les très basses couches en soirée, vers 17 UTC en 2016 et 18 UTC en 2015. Comme le vent est un peu plus senti entre 18 et 21 UTC en 2015, il est probable que dans ce laps de temps la dispersion est un peu différente entre les deux années. A partir de 21 UTC, elle devient très réduite quelle que soit l'année.

Nota : pas de précipitations signalées à la station de Rennes St-Jacques.

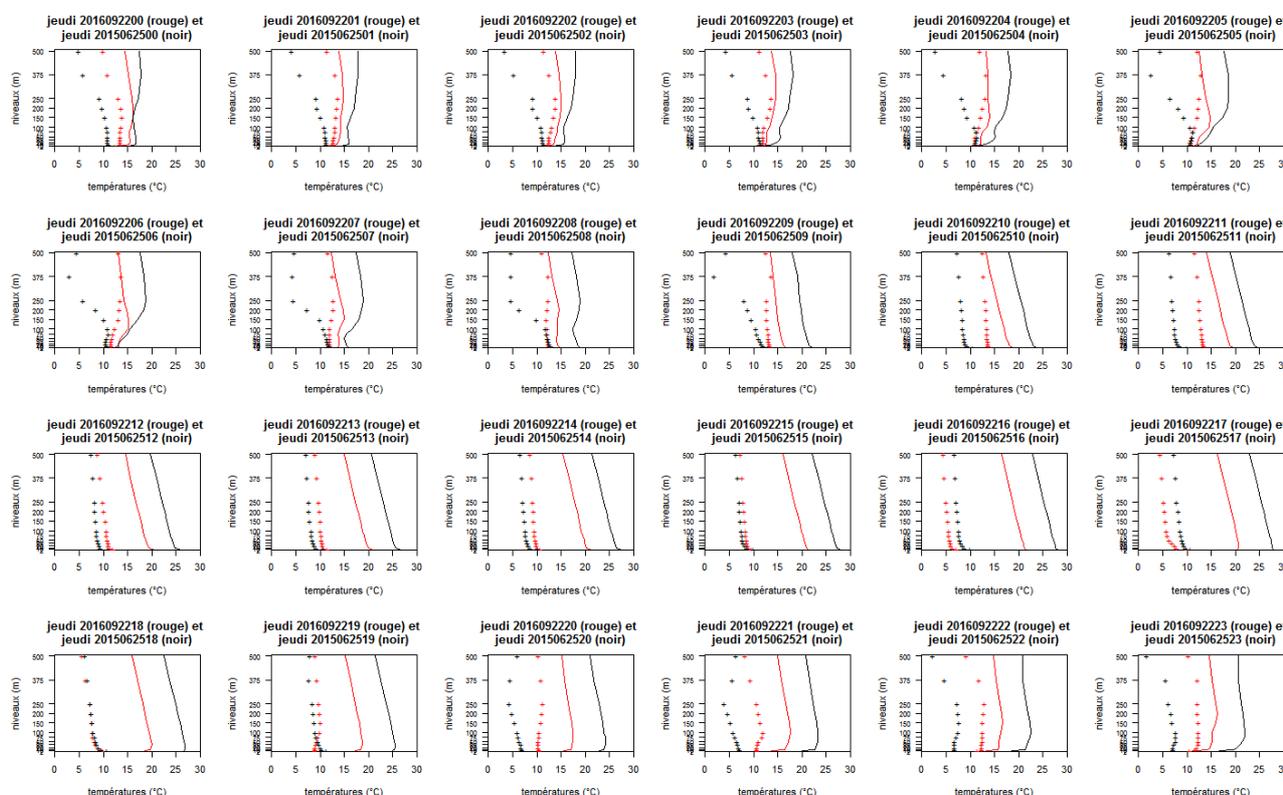


Figure A.5.1 : profils verticaux de la température de l'air et du point de rosée pour le jeudi 22/09/2016 et le jeudi 25/06/2015

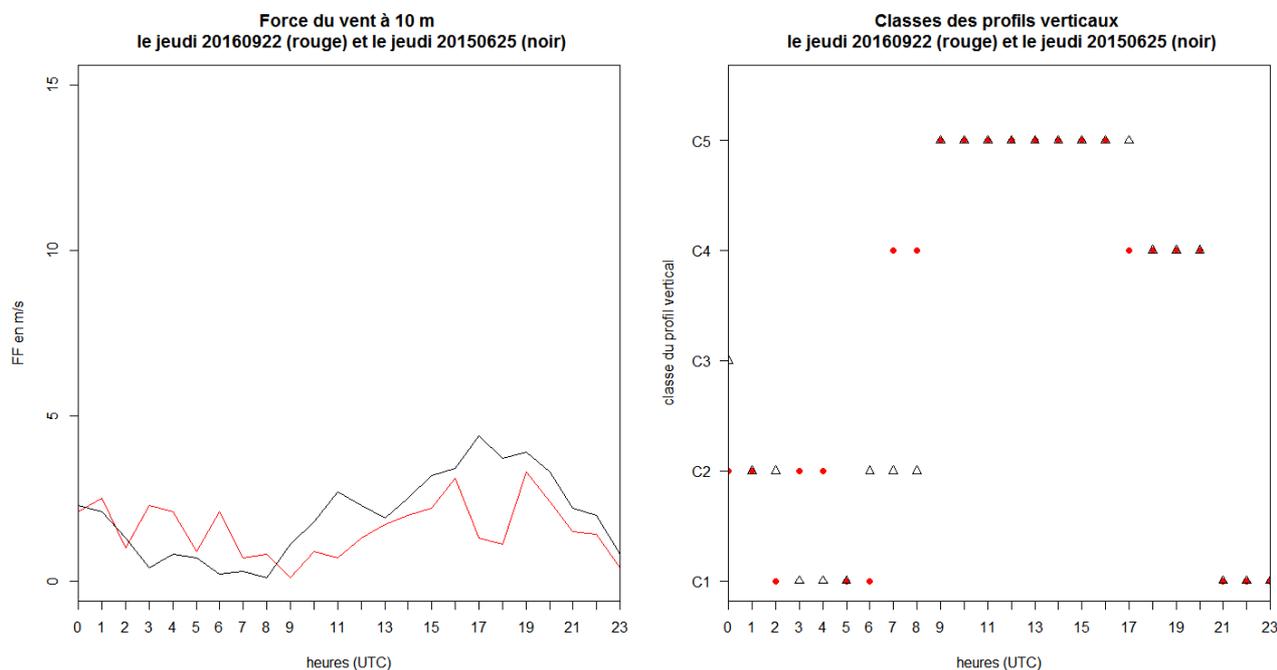


Figure A.5.2 : cycles diurnes de FF10 et des classes des profils horaires pour le jeudi 22/09/2016 et le jeudi 25/06/2015

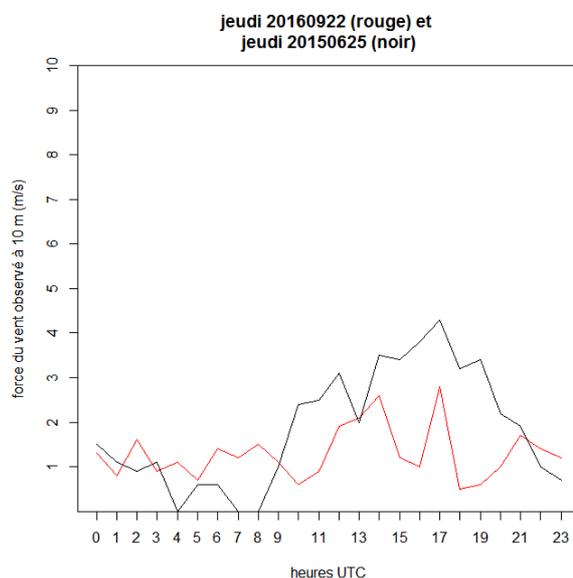


Figure A.5.3 : cycles diurnes du vent moyen à 10 mètres observé à la station de Rennes St-Jacques pour le jeudi 22/09/2016 et le jeudi 25/06/2015

En conclusion : en termes de dispersion verticale, ces deux jeudis sont très ressemblants, à la chronologie près de l'évolution des inversions de basses couches, le matin et le soir. Le vent, un peu plus soutenu en 2015, peut avoir un impact sur l'éventuelle pollution en soirée.