

Songeon Joan

Pierre CAMPS

M1 DTRN

pierre.camps@umontpellier.fr

Laboratoire géoscience Montpellier

Université de Montpellier

Place Eugène bataillon 34090 MONTPELLIER-France

Suivi de la pollution de l'air aux particules fines par Bio-monitoring sur le site expérimental de Saint-Aunès

Université de Montpellier-Laboratoire Géoscience Montpellier

Master 1 géoscience- Spécialité Dynamique Terrestre et Risque Naturels Rapport de stage

(Du 2 mai au 23 juin 2017)



Remerciement

Je tiens sincèrement à remercier Mr Pierre CAMPS, mon maitre de stage, pour son dévouement total à ce projet et pour toute l'attention et la patience dont il a fait preuve à mon égard pour me former, m'expliquer et me guider durant la période de ce stage. Je remercie également Mr Thierry POIDRAS ainsi que Mr Patrick NICOL pour leurs conseils et leur vision pratique des choses.

Je remercie Madame Corinne CABERO, d'ATMO-Occitanie, Mr Georges FANDOS, président de l'association AMDPA9, et le jardinier de la commune pour leur collaboration dans le projet.

Je souhaite remercier le maraicher de Saint-Aunès pour son don généreux d'un kilo de fève et deux énormes têtes de salade.

Table des matières

REMERCIEMENT	1
INTRODUCTION	1
I. NOTIONS SUR LES PARTICULES FINES	2
1) TYPES DE PARTICULES	2
2) ORIGINE.....	2
3) MODE DE DEPOT	3
II. METHODE DE TRAVAIL	3
1) ECHANTILLONNAGE.....	3
2) METHODE DE TRAITEMENT.....	4
III. RESULTATS	5
1) CAPACITE DES FEUILLES A RETENIR LES PARTICULES	5
2) CARTE DES CONCENTRATIONS EN PARTICULES FINES A L'ECHELLE DE LA VILLE	5
3) ZOOM SUR LA PROPAGATION DES PARTICULES PERPENDICULAIREMENT A L'AUTOROUTE	6
4) COMPARAISON DES CONCENTRATIONS A DES NIVEAUX DE REFERENCE ET VARIABILITE DE LA MESURE	6
5) NATURE DES PARTICULES	7
IV. DISCUSSION	9
V. CONCLUSION	10
BIBLIOGRAPHIE	11
ANNEXES	12

Introduction

A l'échelle mondiale, la qualité de l'air est prise très au sérieux par l'organisation mondiale de la santé (OMS). En effet la pollution de l'air a un impact non négligeable allant jusqu'à la réduction de l'espérance de vie selon Marie-Amélie Cuny [1] chargée d'études à L'APPA (Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique). En 2012 on estimait à 3 millions le nombre de décès par an liés à la pollution de l'air extérieur [2]. En Europe, c'est en 1999 que des normes sur la qualité de l'air ont été établies (99/30/EG) pour les particules de 10 microns (PM10) : Le taux d'exposition quotidien ne devra pas être atteint plus de 10 fois pendant l'année. Le taux annuel maximum recommandé par l'OMS est, quant à lui, de $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ces normes sont en permanente évolution dans une problématique de gestion du risque sanitaire. C'est pourquoi en 2010, l'exposition quotidienne ne devra pas être atteinte plus de 7 fois dans l'année alors que l'exposition annuelle moyenne est revue à la baisse à $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ [3]. On comprend dès lors la nécessité de pouvoir mesurer précisément la concentration de ces particules dans l'air.

Saint-Aunès, une commune d'un peu plus de 3000 habitants située à L'Est de Montpellier, est bordée à la fois par une voie ferrée et l'autoroute A9. Le doublement de cette autoroute a suscité une réaction d'inquiétude chez les riverains qui, organisés en association, ont demandé à la société VINCI autoroutes (un des pôles de la firme VINCI, spécialisée dans la concession d'infrastructures autoroutières) des garanties concernant un risque sanitaire qui pourrait être induit par une dégradation de la qualité de l'air si le trafic venait à se densifier. Cette mobilisation a abouti à la réalisation d'un site expérimental, composé de 3 merlons arborés, et au lancement d'une étude dont le but est d'estimer le rôle des haies pour filtrer les particules fines émises par le trafic. Le système expérimental se compose de 14 micro-capteurs installés et gérés par ATMO-Occitanie (un organisme de surveillance de la qualité de l'air agréé par l'état), de deux stations météorologiques et des arbres et arbustes jouant le rôle de capteurs passifs de particules qu'il nous est demandé d'étudier.

Il existe une forte corrélation entre la présence de particules ferromagnétiques anthropogéniques - produites par l'activité industrielle, la combustion d'hydrocarbures ou l'abrasion de métal - et la saturation des feuilles en magnétisme rémanent [4]. Ces polluants, de taille variable (de quelques dizaines de nm à quelques dizaines de μm) sont captés grâce à la cire et la rugosité dues aux poils des feuilles. Il devient dès lors possible de suivre l'évolution de la concentration des polluants en se basant sur les feuilles des plantes car elles pourvoient une large surface de dépôt pour les particules fines [5] : On parle de « bio-monitoring ». En bio-monitoring, plusieurs approches expérimentales sont utilisées (chimie, étude de la biomasse, etc...). Nous utiliserons la mesure des propriétés magnétiques de ces dépôts sur les végétaux. Le travail réalisé dans le cadre de ce stage s'inscrit dans cette thématique.

J'ai à réaliser la phase initiale d'une tâche d'observation prévue sur 10 ans, au cours de laquelle il incombera de mesurer les concentrations en polluants avant l'ouverture du doublement de l'A9 pour avoir un état zéro. Tout au long de ce stage, nous nous sommes posés les questions suivantes :

Quelles sont les concentrations des particules fines aux abords de l'autoroute et quelle est la variabilité des mesures associées. Quelle est la nature et l'origine de ces particules? Pour cela nous présenterons une cartographie de la concentration des particules sur la commune. Puis nous représenterons un graphique de l'évolution des mesures suivant les différents jours d'échantillonnage, avant de déterminer par une approche statistique la nature des particules.

I. Notions sur les particules fines

Les particules fines sont responsables chaque année de la mort de plusieurs millions de personnes dans le monde. Elles provoquent des complications respiratoires et des inflammations du système nerveux. Mais que sont-elles vraiment ? Quels en sont l'origine et le mode d'action ?

1) Types de particules

Les particules fines sont définies comme des éléments très hétérogènes en termes de taille, poids et composition. Elles ont une vitesse de chute négligeable. Autrement dit, elles restent facilement en suspension. On les caractérise grâce à leur diamètre aérodynamique défini comme le diamètre d'une sphère de masse volumique 1000 kg.m^{-3} qui aurait la même vitesse de chute que la particule.

Dans le langage courant, on parle de mesures de PM10 et PM2.5 en référence à l'acronyme anglais de « Particulate Matter » pour désigner les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 et 2.5 μm , respectivement. Ces normes s'expliquent parce qu'au-dessus de 10 μm , les particules sont peu dangereuses car elles n'atteignent pas le système respiratoire étant filtrées par la toux ou encore par des remontées de mucus produit dans les poumons, et qu'en dessous de 2.5 μm , elles deviennent difficilement mesurables.

2) Origine

a) Les particules d'origine naturelle proviennent de 3 sources principales [6]:

i) La source terrigène :

Ces particules sont générées par l'érosion des sols sous l'action du vent, notamment dans les régions désertiques

ii) La source marine :

Sous l'action des vagues, des gouttelettes d'eau sont projetées dans l'atmosphère. Après évaporation de l'eau, les sels marins se retrouvent dans l'atmosphère et constituent des aérosols dont la composition est proche de celle de l'eau de mer

iii) La source biogénique

L'aérosol biogénique provient de l'émission directe par les plantes : d'hydrocarbures lourds, de pollens, de spores ainsi que des débris végétaux (Pollen, feu de forêt, érosion du sol par le vent...)

b) Les particules d'origines anthropique [6] : Les principales activités humaines responsables de l'émission de particules primaires sont l'agriculture, l'industrie manufacturière (les chantiers, le BTP et l'exploitation de carrières), le secteur résidentiel/tertiaire (combustion de bois, du charbon et du fioul), les transports routiers et la transformation d'énergie.

3) Mode de dépôt

Les petites particules (PM2.5) se déposent par mouvement brownien (mouvement instable et aléatoire résultant de l'agitation thermique des particules). Les particules de taille moyenne ($2.5\mu\text{m} < \text{ } > 10\mu\text{m}$) se déposent par impaction et interception (elles sont transportées par le vent puis se déposent sur les obstacles rencontrés). Les plus grosses ($>10\mu\text{m}$) se déposent par sédimentation.

II. Méthode de travail

1) Echantillonnage

a) Choix des espèces

Nous avons échantillonné des plantes dans la ville, à proximité de l'autoroute et de la voie ferrée. Car les éléments magnétiques issus de ces sources, se retrouvent piégés dans les particules que l'on retrouve à la surface des feuilles.

Nous nous sommes initialement focalisés sur 3 espèces (Figure 1): Les *Rubus Fruticosus* (ronces) car elles sont nombreuses le long du « Valat des Pruniers », un petit ruisseau perpendiculaire à l'autoroute; les *Acers* (Erables), et les *Quercus pubescens* (chêne pubescent) qui, un peu plus présents dans la ville, permettraient d'avoir une idée de la dispersion des particules dans la zone habitée et de réaliser une cartographie. Cependant, au cours de l'échantillonnage sur le terrain, les Erables se sont avérés être en quantité trop peu suffisante pour l'étude. Nous nous sommes donc concentrés sur les ronces et les chênes.



Figure 1: De gauche à droite : ronces (*Rubus Fruticosus*), chêne pubescent (*Quercus pubescens*), Erable (*Acer*)

Pour contraindre la période d'accumulation des particules sur les feuilles, il nous faut savoir l'âge de ces dernières. Les feuilles des espèces choisies étant caduques, on peut estimer cette période d'accumulation inférieure ou égale à quelques mois.

Les critères d'échantillonnage ont été principalement morphologiques : Nous avons sélectionné, autant que faire se peut, les feuilles de la même taille en faisant l'hypothèse que deux feuilles de même taille ont sensiblement le même âge. A l'aide de sacs plastiques et de ciseaux, les feuilles ont été prélevées en quantité suffisante pour en faire 3 échantillons sur chaque stations - ce qui permet de moyennner l'âge des échantillons - et plusieurs jours différents pour discuter de la variabilité des mesures suivant les conditions météorologiques. Au cours de ce stage, 6 sorties de terrain ont été réalisées.

b) Préparation de laboratoire

Au laboratoire, nous avons séparé les feuilles de leurs tiges avant de les disposer sous un appareil photographique pour en prendre des clichés afin d'estimer la surface des échantillons. Une fois la photo prise, les feuilles ont été placées dans des cubes de polystyrène cristal transparent. Ces cubes furent préférés à un autre matériau car ils sont très faiblement magnétiques et auront donc un impact moindre sur les mesures.

2) Méthode de traitement

On cherche à obtenir une valeur d'aimantation, ce qui donnera des informations sur la concentration des particules sur la feuille. Une aimantation est un moment magnétique normalisé à un volume, une masse ou une surface. Ici on choisit de normaliser par rapport à une surface (a) car le pouvoir de captation dépend de la surface et non du volume de la feuille. Puis les échantillons seront ré-aimantés selon deux façons (b) et (c) pour qu'ils soient orientés dans le sens du champ magnétique appliqué et qu'ils produisent un signal interprétable en terme d'intensité. Une ARI cumulée (d) est également réalisée pour déterminer la nature des particules mesurées.

c) calcul de surface

On effectue ce calcul à l'aide d'un logiciel de traitement d'image. Les photos préalablement prises, sont traitées à l'aide d'un outil de sélection qui permet d'isoler chaque feuille sur l'image et d'en donner la quantité de pixels qui la compose. On la compare ensuite à une zone normalisée.

d) Aimantation rémanente anhystérétique : ARA

C'est une rémanence acquise par exposition à des champs faibles constants (en général fixés à quelques dizaines de μT) couplés à un champ magnétique alternatif que l'on réduit progressivement d'une valeur pic jusqu'à zéro [7]. Ce procédé est réalisé par l'appareil à désaimanter 2G-600 par champ alternatif en appliquant simultanément un champ magnétique continu avec le 2g-615.

e) Aimantation rémanente isotherme : ARI

C'est une rémanence acquise par exposition à un champ magnétique fort [7]. On utilise un générateur d'impulsion magnétique avec lequel on applique un champ magnétique (jusqu'à 1.5 T en général) pour ré-aimanter toutes les particules ferromagnétiques contenues sur la feuille. La nouvelle aimantation de la feuille sera proportionnelle à la quantité de particules magnétiques présentes à sa surface. Les aimantations ainsi acquises sont mesurées avec le magnétomètre cryogénique 2G-760R.

f) Aimantation rémanente isotherme cumulée

Le travail de Robertson et France [8] a mis en lumière le fait que, s'il n'y a pas d'interaction magnétique, la dérivée première de la courbe d'acquisition de l'ARI correspond à une somme de fonctions de probabilité de densité log-normales. Une inférence statistique, réalisée ici par approche bayésienne, permet de discriminer les différentes populations de particules magnétiques en se basant sur leur différence de champ coercitif [9]. Cette méthode fournit trois paramètres : $B(1/2)$ qui est le champ qu'il faut appliquer pour que l'échantillon atteigne la moitié de sa valeur de saturation, ce qui donne la coercivité moyenne de la population; M_{ri} , la magnitude de la distribution, ce qui donne une

information relative sur la proportion de la population ; DP, le paramètre de dispersion, qui informe sur l'homogénéité de chaque population.

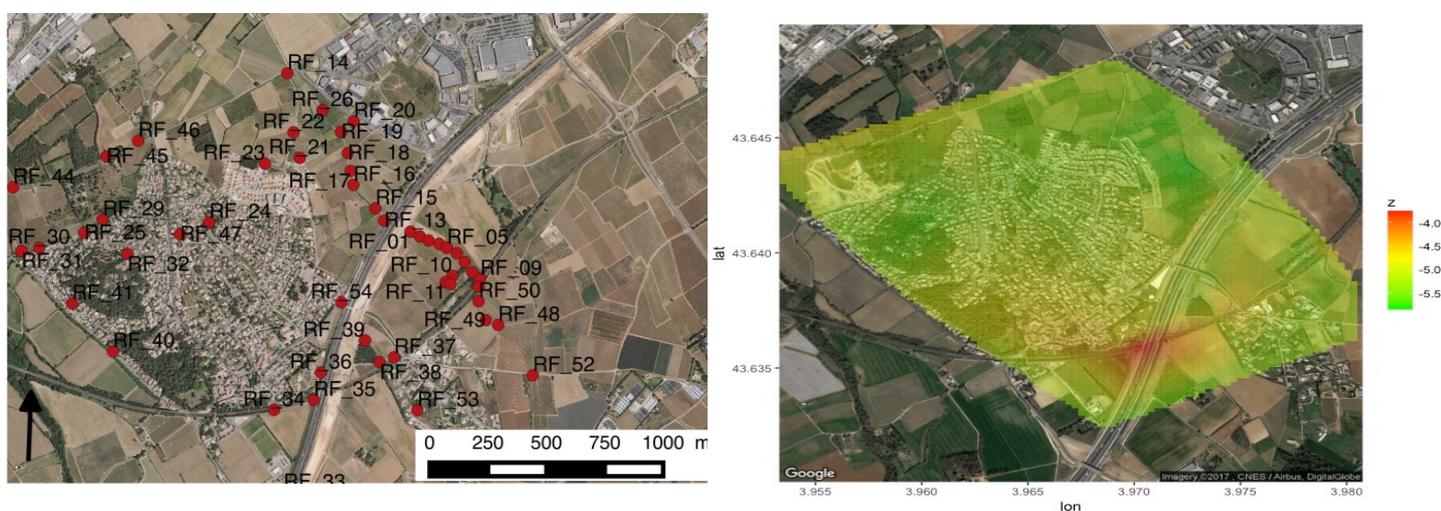
III. Résultats

1) Capacité des feuilles à retenir les particules

On compare les feuilles de *Rubus Fruticosus* et de *Quercus Pubescens* entre elles pour discuter de leur capacité à retenir des particules fines. Des deux espèces, les feuilles de ronces enregistrent un signal d'aimantation plus élevé : $2.31 \cdot 10^{-5} A$ contre $2.17 \cdot 10^{-5} A$ pour les feuilles de chênes. Les feuilles de chênes captent 6% de particules en moins comparé aux feuilles de ronces. Ce résultat n'est pas surprenant car les espèces dont les feuilles sont les plus larges, rugueuses et/ou poilues sont celles qui piègent le mieux les particules fines. C'est le cas des ronces qui ont des feuilles à la fois larges et rugueuses alors que le chêne les a petites mais lisses.

2) Carte des concentrations en particules fines à l'échelle de la ville

Nous présentons ici la carte de concentration des particules fines de la Commune de Saint-Aunes. Les valeurs transformées en logarithme ont été interpolées sur une grille régulière (150x150) avec un code écrit par P. Camps sous R-Cran. Cette carte a été réalisée à partir des échantillons de ronces numérotés de 1 à 54 et représentés en rouge sur la [Figure 2](#) (partie gauche).



[Figure 2](#) : à gauche : localisation des stations de ronces sur la carte ; à droite : carte de concentration des particules obtenue à partir des stations de ronces.

Quatre grandes zones semblent se dégager de cette carte. Une zone où la concentration y est relativement faible -5.5 A : On la retrouve principalement dans la partie nord de la commune : au niveau du parc mais aussi des lotissements. Une zone où les particules sont légèrement plus concentrées -5.0 A observable plutôt en périphérie de la commune. Une autre zone à -4.5 A qui inclut les habitations au sud de la commune et semble également se propager le long de l'autoroute. Et enfin la zone la plus concentrée en particule qui s'étend au niveau de l'intersection entre la route et la voie ferrée.

La deuxième approche choisie est la réalisation d'un profil perpendiculaire à l'autoroute. On pourra par la suite faire l'hypothèse que cette répartition est partout la même le long de l'autoroute.

3) Zoom sur la propagation des particules perpendiculairement à l'autoroute

Nous avons échantillonné les ronces le long du « Valat des pruniers », petit ruisseau perpendiculaire à l'autoroute (stations : de 1 à 9, 13 à 20, 26, 48 à 52 sur la Figure 3). Le graphique représente les valeurs d'ARI 300 mT à la surface des feuilles en fonction de la distance à l'autoroute.

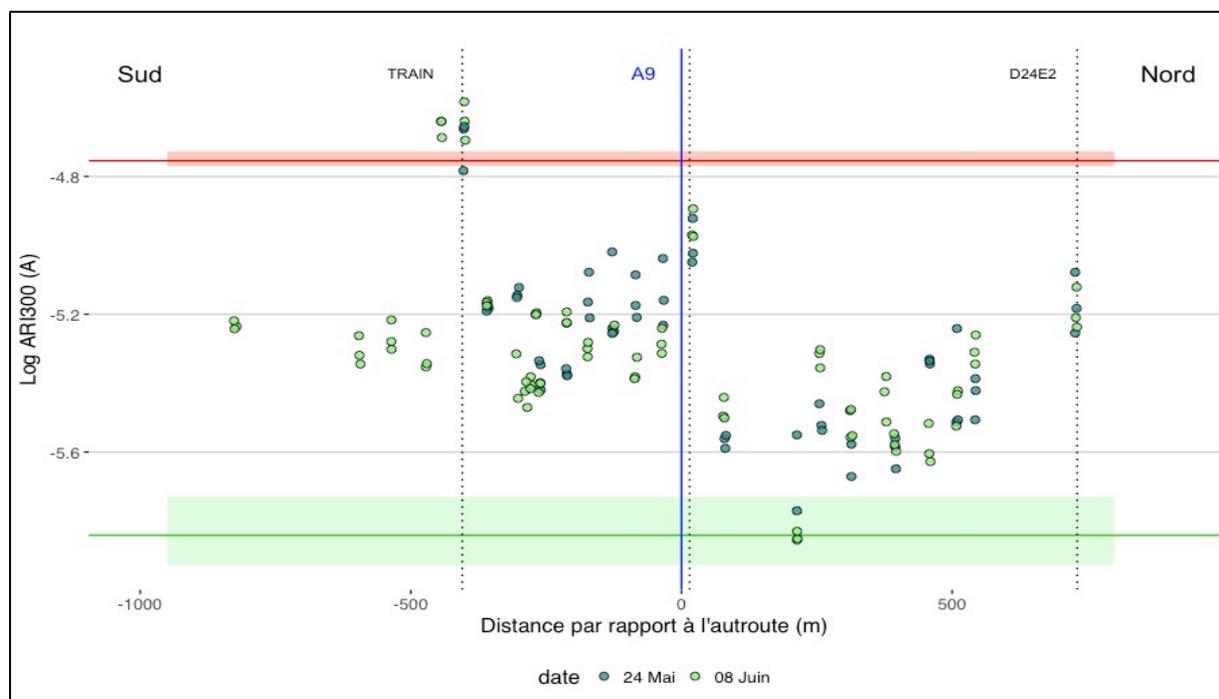


Figure 3 : Graphique confrontant les mesures de deux jours d'échantillonnage (24 Mai et 8 Juin). Ces données sont comparées à celles de la ville de Montpellier et Clapiers représentées par des droites de type $y=b$ (moyenne) et zones colorées (intervalle de confiance). La droite verte correspond aux valeurs de fond (Pinède de Clapiers), la droite rouge aux valeurs de trafic urbain (Av. Agropolis, Montpellier). La droite bleue (origine des abscisses) correspond à la position de l'autoroute. Les droites en pointillés montrent la localisation des autres voies de circulation.

Globalement, les valeurs décroissent de l'autoroute vers la plaine. On observe cependant des pics de l'aimantation qui viennent casser la tendance générale : A -400m, le point au chemin de fer ; à 21m, le route derrière le mur antibruit, parallèle à l'autoroute : et vers 730m, la départementale D24E2. En omettant les pics cités précédemment, les stations côté Sud (de -400 à 0m) et côté Nord (de +25 à +720m), forment deux groupes de valeurs très distincts avec des valeurs plus élevées au Sud qu'au Nord (Figure 1 en Annexe).

Les mesures que nous présentons étant des valeurs relatives, nous proposons de les comparer à des sites déjà étudiés dont on sait qu'ils sont plus ou moins concentrés en particules fines.

4) Comparaison des concentrations à des niveaux de référence et variabilité de la mesure

On compare les valeurs d'aimantations le long du ruisseau à celles des échantillons prélevés dans une pinède sur la commune de Clapiers, site protégé de la pollution urbaine, et à Montpellier au niveau

de la descente d'Agropolis (Figure 3 droite de type $y=b$): c'est une zone qui avait été notée comme très concentrée en particules fines, lors d'une étude sur le suivi de la pollution à Montpellier par bio-monitoring en 2016 [10].

Les concentrations de particules fines à Saint-Aunès sont au-dessus du niveau de référence le plus bas (Clapiers). Cependant, de façon générale, les valeurs restent inférieures à celles de Montpellier. A un seul endroit, à Saint-Aunès, les particules fines sont plus concentrées qu'à Montpellier : c'est au niveau de la voie ferrée.

On s'intéresse maintenant à la variabilité de la mesure entre le 10 mai, le 24 mai et le 8 juin en réalisant une distribution des mesures sous forme de boîte à moustache (Figure 4).

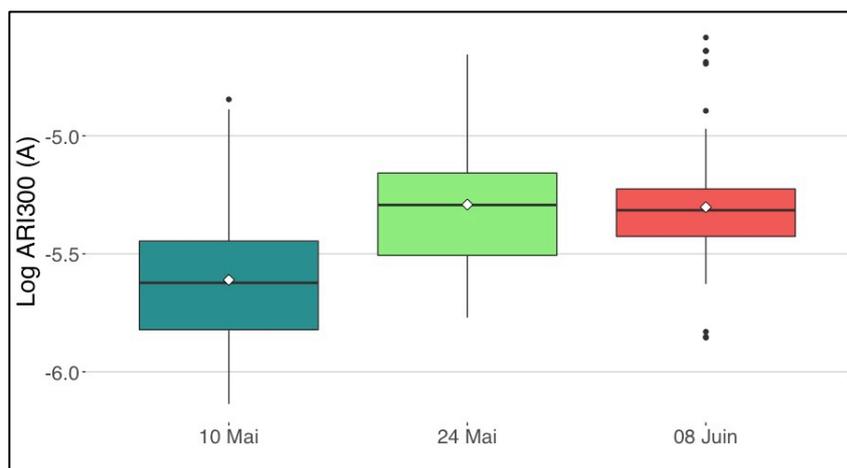


Figure 4 : Boîte à moustache représentation la variabilité des mesures en fonction du jour d'échantillonnage

Bien que les mesures du 10 mai (en vert foncé) aient quasiment la même distribution que celles du 24 mai (en vert), elles présentent des aimantations plus faibles que les deux autres. Quant à ces dernières, leur distribution apparaît similaire.

A la lumière de ces informations on se fait aisément une idée des concentrations d'aérosols dans la zone d'étude, néanmoins on peut se demander quelles sont les particules dont on enregistre la signature.

5) Nature des particules

Les données sont traitées suivant une approche probabiliste de type Bayésienne. Une fois dérivées, elles sont représentées par une fonction de densité dont on estime le nombre de loi de type gaussienne nécessaire pour la former. Pour cela nous avons lancé 15000 itérations avec une phase d'apprentissage de 5000 itérations. Chaque Gaussienne ainsi trouvée, correspond à une population d'éléments magnétiques ayant des champs coercitifs différents et donc pouvant provenir de sources différentes (Figure 5).

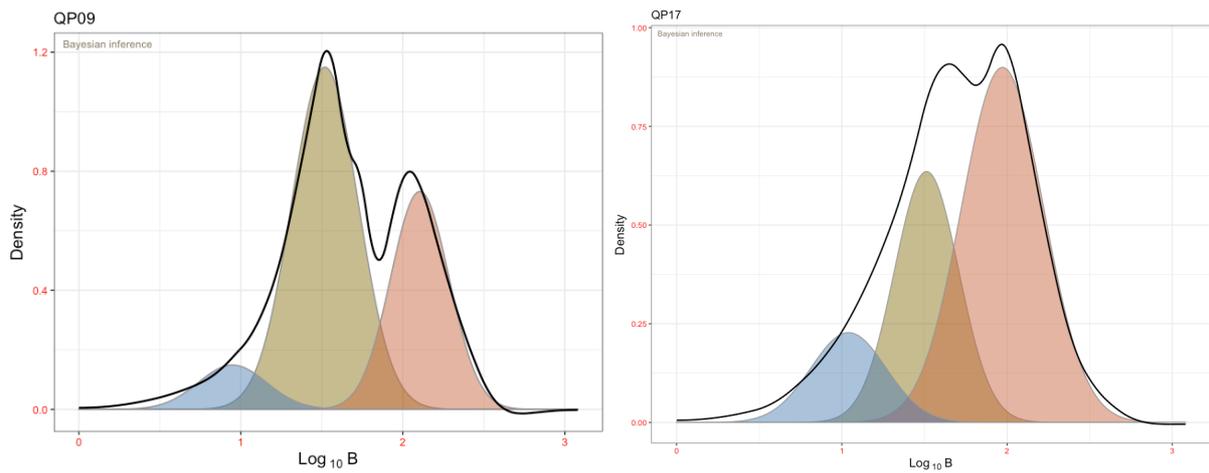


Figure 5: représentation des populations d'éléments magnétiques qui composent les échantillons de chênes pubescents : à gauche proche de l'autoroute, à droite : proche de la voie ferrée.

L'échantillon QP09, situé près de la route, présente 3 populations d'éléments magnétiques. La population dominante a une moyenne de 1.51 ce qui correspond à un champ coercitif en valeur naturelle de 32.3 mT que l'on peut qualifier de faible. L'échantillon QP 17 présente les mêmes populations mais dans des proportions différentes.

Pour vérifier ce résultat, on s'intéresse au S ratio qui est le rapport de l'ARI300 sur l'ARI100 (Figure 6).

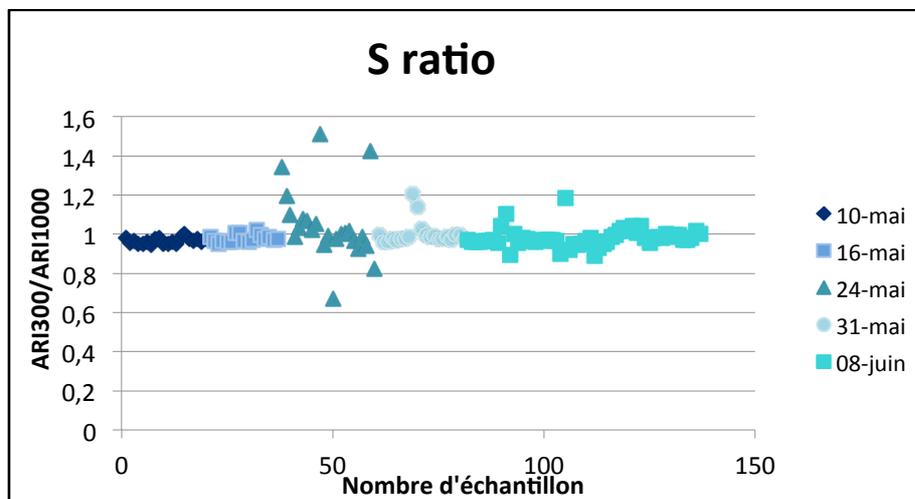


Figure 6 : S ratio calculé à partir du rapport ARI300/ARI1000 sur 137 mesures étalées sur plusieurs jours.

Les valeurs de S ratio laissent observer une dominance majeure d'éléments de champ coercitif faible avec des valeurs très proche de 1 et ce indépendamment du jour d'échantillonnage.

IV. Discussion

La carte permet de discriminer plusieurs zones dont les concentrations en particules fines varient ; cependant, la résolution ne permet pas de contraindre rigoureusement leur étendue. En effet, la méthode d'interpolation consiste en un calcul qui estime la valeur de concentration sur une grille régulière. Si les points sont trop éloignés ou trop peu nombreux dans une zone, les valeurs calculées peuvent être plus faibles que les valeurs vraies. C'est le cas ici, car la méthode du bio-monitoring est limitée en terme de choix de station dans le sens où l'on ne peut prélever qu'aux endroits où les espèces poussent. C'est pourquoi, sur la figure de gauche, une large zone au niveau du centre de la commune et du Sud-Ouest n'a pas été couverte par notre jeu de donnée. Ajouté à cela, la géométrie de la zone d'étude vient porter une complexité supplémentaire. Des géométries rectilignes permettraient une meilleure appréciation des résultats de l'interpolation plutôt que des objets incurvés comme le sont l'autoroute et la voie ferrée. Il devient difficile d'obtenir une résolution spatiale fine. C'est pour pallier à la répartition inhomogène des stations, que nous avons décidé de nous concentrer sur le ruisseau, à l'Est de la commune, qui est positionné perpendiculairement à l'autoroute et le long duquel les ronces abondent. Ceci nous permet de couvrir la zone de manière satisfaisante et donc *in fine* d'avoir une plus haute résolution sur un profil 2D.

En faisant un zoom sur le ruisseau du « Valat des pruniers » on peut apprécier des variations de concentration à plus petite échelle. On observe une dissymétrie des valeurs d'aimantation de part et d'autre de l'autoroute avec des concentrations globalement plus élevées au Sud qu'au Nord (Figure 3). Cette asymétrie peut s'expliquer par le fait que le vent dominant vient du Nord. Ainsi il entrainerait la majorité des particules vers le Sud de l'autoroute. De plus, un mur antibruit est présent au nord de l'autoroute, ce qui limite la retombée des particules portées par les vents du Sud sur ce côté de l'autoroute. On notera, qu'en dépit du fait que les feuilles du Sud sont plus concentrées, le premier point au Nord est tout de même plus concentré que son homologue. Ceci s'explique par le fait que ce point a été échantillonné près d'une petite route où le passage des voitures semble très fréquent. Ainsi localement on note cette forte concentration en particule. Et c'est en cela que la méthode est intéressante, puisqu'il est possible de voir un point qui se démarque de la tendance générale et d'en discuter les causes.

Lorsqu'on compare les données du profil aux concentrations en particule fines de la ville de Montpellier, une seule station se trouve à un niveau de concentration plus élevé : C'est la station située près de la voie ferrée. Il semble que la voie ferrée produise plus de particules fines que le trafic automobile en ville. On peut imaginer qu'au niveau de la jonction entre l'autoroute et la voie ferrée, le niveau est encore plus élevé.

Entre le 10 mai et le 24 mai, on note une variation des mesures d'aimantation. La surface des feuilles à la date du 10 mai peut être remise en cause. En effet, la quantité de feuille introduite dans les échantillons ce jour-là était moins importante ce qui a donné lieu à des surface calculées faibles par rapport à celle du 24 mai. Ceci a un impact direct sur la mesure d'aimantation car plus il y a de feuilles plus la mesure est représentative de l'échantillon. Entre les campagnes d'échantillonnage du 24 mai et du 8 juin, les taux de concentrations restent quasiment inchangés.

Or c'est dans cette période, le 29 mai, que le doublement de l'A9 a été rendu fonctionnel. Ainsi on comprend que sur d'aussi courtes périodes, l'impact de l'autoroute n'est pas visible sur nos mesures.

Pour traiter la problématique de l'origine des particules, nous avons utilisé une approche statistique mais également le paramètre S ratio. A la lumière de l'approche statistique, nous avons pu identifier plusieurs populations d'éléments magnétiques, qui globalement présentent tous des champs coercitifs faibles. Ces champs sont compris dans la gamme de champ de la magnétite, qui varie de 10 mT à 200 mT environ [11]. Les particules issues de l'action anthropogénique sont principalement constituées d'oxydes de fer composés d'un mélange d'éléments à fort champ coercitif (hématite) et à champ coercitif plus faible (magnétite) [12]. Aux abords des voies de circulation, elles sont souvent issues des résidus de combustion [9]. Le S-Ratio donne une idée de l'importance relative des éléments antiferromagnétiques et des éléments ferrimagnétiques. Si on se rapproche de 1 cela signifie que l'ARI 300 est plus importante et que l'on a une plus grande proportion de magnétite (Ferrimagnétique). Si on se rapproche de 0 cela signifie que l'ARI 1000 est plus élevée. La coercitivité est très élevée : on a une forte proportion d'hématite (antiferromagnétique) [7]. Les S ratios de cette étude tournent tous autour de 1. On peut donc conclure que les éléments ferrimagnétiques, en l'occurrence la magnétite, dominent.

V. Conclusion

L'objectif premier de cette étude était de proposer une répartition spatiale de la variation des concentrations en particules fines dans la commune de Saint-Aunes. Pour cela nous avons proposé une carte de concentration et un profil perpendiculaire à l'autoroute dont nous avons extrapolé les valeurs à la commune de Saint-Aunes. La carte a permis de faire ressortir une zone où les concentrations sont les plus élevées : celle située à la croisée entre l'autoroute et la voie ferrée. Le profil, quant à lui, a complété cette information en démontrant que des deux sources de particules fines, la plus polluante est la voie ferrée. Ajouté à cela, le profil permet de constater une distribution dissymétrique des concentrations entre le Nord et le Sud, avec des concentrations plus élevées au Sud. Ceci est non négligeable dans la mesure où l'enjeu, Saint-Aunes, se trouve au Nord de l'autoroute.

Le second objectif a été d'étudier la variabilité des valeurs du profil. Nous avons représenté les valeurs de manière statistique, ce qui nous a permis de mettre en relief la variation faible, sinon nulle, des valeurs d'aimantation entre le 24 mai et le 8 juin. Il est tout de même à noter que ces groupes de valeurs ont des distributions différentes.

Enfin nous nous sommes appliqués à déterminer la nature des particules à la fois par une approche statistique et par l'usage du paramètre S ratio. Les populations d'éléments magnétiques mises en avant par l'approche statistique présentaient principalement des champs coercitifs faibles. Ce que nous avons associé à la présence de magnétite. C'est d'ailleurs ce qu'a confirmé le S ratio, en révélant une proportion de magnétites prévalant sur celle des hématites.

Ainsi, au vu de nos résultats, Le doublement de l'autoroute A9 ne semble pas constituer un risque particulier puisque la commune paraît moins exposée aux particules fines que la ville de Montpellier. De plus, la particularité de Saint-Aunes réside dans le fait qu'il s'agit d'une ville ouverte. N'ayant pas d'obstacle comme de grands bâtiments, l'air et les particules qu'il transporte peuvent librement se disperser dans l'atmosphère en minimisant les dépôts.

Bibliographie

- [1] Cuny M.-A., Végétation urbaine : les enjeux pour l'environnement et la santé, **Pollution atmosphérique - 2015 - N°226, Juin-Septembre 2015 - Analyses et enjeux**
- [2] burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2012, world health organization, consulté sur <http://www.who.int> le 4 mai 2017.
- [3] Mitchell R. & Maher B.A., evaluation and application of biomagnetic monitoring of traffic-derived particulate pollution, **Atmospheric Environment 43 (2009) 2095-2103**
- [4] Flanders Ph. J., Collection, Measurement and analysis of airborne magnetic particles from pollution in environment, **Journal of Applied Physics 75, 5931 (1994)**
- [5] Matza , J ., Maher, B.A., 1999, Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves : identification of spatial and temporal variation in vehicle-derived particulates , **Atmospheric Environment 33, 4565-4569**
- [6] Synthèse des connaissances sur les particules en suspension dans l'air et des travaux d'AIRPARIF sur ces polluants, AIRPARIF-Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France-octobre 2008, consulté www.airparif.asso.fr le 15 mai 2017
- [7] Evans M.E. & Heller F., Environmental magnetisme : principes and applications of Enviromagnetics, **international geophysics series vol 86, 2003, p 19,20,21,22**
- [8] Robertson, D.J. & France D.E., Discrimination of remanence-carrying minerals in mixtures, using isothermal remanent magnetisation acquisition curves, phys, **Earth Planet inter. 82 (1994) 223-234**
- [9] Kruiver P., Dekkers M.J., and Heslop D., Quantification of magnetic coercitivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation, **Earth and Planetary Science Letters 189 (2001) 269-276**
- [10] Mérel S., La bio-surveillance magnétique des particules en suspension dans l'air induite par le trafic urbain dans la Métropole de Montpellier, Stage Master 1, Montpellier 2016
- [11] Tauxe L., Paleomagnetic principles and practices, **KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2002, p73,41, 45**
- [12] Maher B.A., Moore C., and Matzka J., Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves, **Atmospheric environment 42 (2008), p365**

Annexes

Tableau A1 : Impact du matériau choisi sur les mesures

	Sans rien	Avec porte échantillon	Avec tube en quartz	Quartz+ cellophane	Quartz desaimanté	porte échantillon + boîte
x	-102	-110	-2925	-2927	3327	-90
y	8	17	-2617	2511	3410	-180
z	-132	-109	-459	512	1723	-138

	Ari : quartz+cellophane	ARI: Porte échantillon	ARI: porte échantillon + boîte	Ari : boîte
X	11995	-69	-7858	-2658
Y	8828	-124	-7784	-183
z	1601	-148	6503	4884

Valeur en ampère m² : 10^e-12

Figure A1 : Comparaison des stations au Nord et au Sud de l'autoroute.

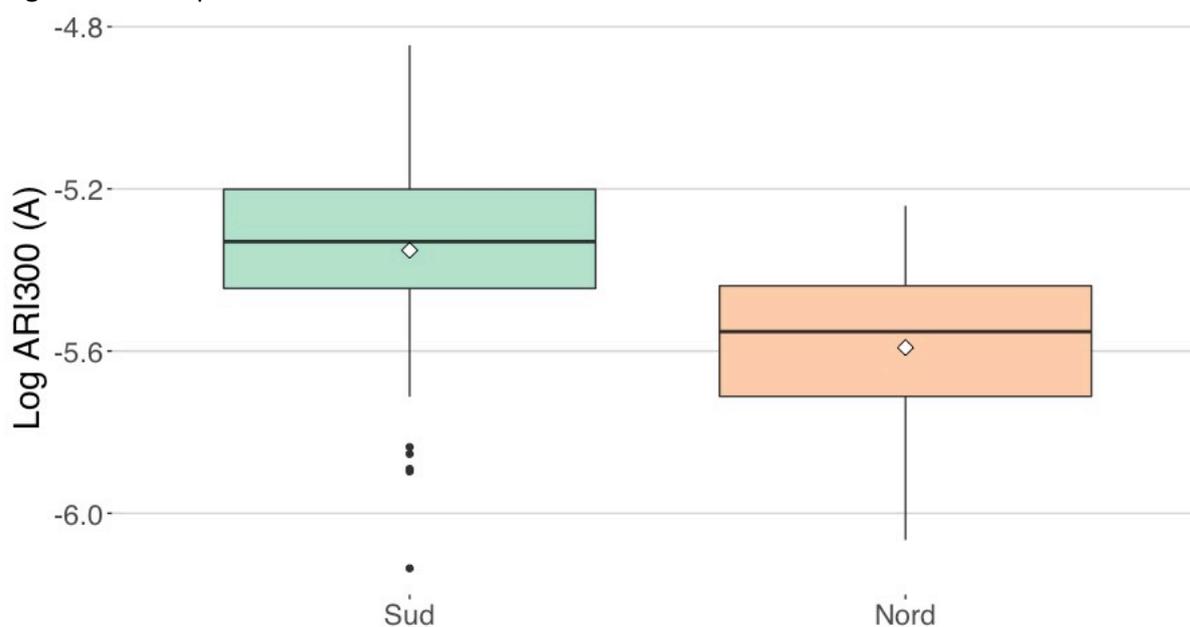


Figure A2 : Mesures ARI 300 mT réalisées sur les chênes pubescents prélevés le 31 Mai 2017.



Figure A3 : Mesures ARI 300 mT réalisées sur les ronces prélevées le 8 juin 2017. Ce sont ces mesures qui ont été interpolées pour réaliser la Figure 2.

