

OBSERVATOIRE « HOMMES-MILIEUX »
Littoral méditerranéen



PALISTO

Particules Atmosphériques du Littoral par les Isotopes du Strontium :

Traçage et Origine

Rapport final

30/03/2015

Responsable scientifique

Myriam Janin

Université de Nîmes EA 7352 CHROME - Laboratoire de Géochimie Isotopique Environnementale (GIS) //
Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE)
Myriam.janin@unimes.fr

Sommaire

Sommaire	2
Table des figures.....	3
Résumé du projet	4
1. Informations générales concernant le projet	5
2. Contexte problématique	6
3. Mise au point analytique	9
3.1. Echantillons.....	9
3.2. Protocoles appliqués.....	9
4. Application	14
4.1. Variabilité temporelle des PM	14
4.1.1. Recensement des sources potentielles de PM	15
4.1.2. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des sources potentielles de PM et discussion	18
4.2. Variabilité spatiale des PM.....	20
4.3. Discussion générale	22
Conclusion	24
Remerciements :	25
○ Le Labex DRIIHM, le CNRS, les investissements d'avenir, et bien sur l'Observatoire Hommes - Milieux « Littoral Méditerranéen ».....	25
○ l'agence AIR-LR	25
○ le Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE / Aix-Marseille Université).....	25
○ les étudiants et personnels du laboratoire de Géochimie ISotopique environnementale (GIS / Université de Nîmes)	25

Table des figures

<i>Figure 1: cadastre des émissions de PM 10 en Languedoc-Roussillon [Source AIR-LR 2007]</i>	8
<i>Figure 2: Signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des différents tests réalisés sur filtres vierges et filtres tests (cf. texte pour discussion):</i>	11
<i>Figure 3: signature $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ mesurées et/ou recensées (cf. texte pour discussion):</i>	15
<i>Figure 4: cartographie des sources d'émission potentielles de PM dans la zone Hérault-Gard [André, 2014]</i>	17
<i>Figure 5: Carte géologique du Languedoc-Roussillon</i>	17
<i>Figure 6: Roses des vents moyens annuels sur les stations du Mont-Aigoual, Nîmes, Carcassonne, Montpellier et Cap Béar pour la période 1981 à 2000</i>	18
<i>Figure 7: Schéma du profil vertical des concentrations de PM 2.5 dans l'air ambiant selon la méthode de Lenschow [Air-Parif]</i>	18
<i>Figure 8: localisation des échantillons bio-collectés dans la ville de Nîmes. Le fond cartographique représente les niveaux de PM 10 moyen pour l'année 2013. La couleur du figuré est relative à l'influence du trafic (rouge = fort trafic / vert = faible trafic)</i>	21

Résumé du projet

Le projet PALISTO correspond à une étude pilote de faisabilité de caractérisation de l'origine géographique des particules fines (PM) captées par les réseaux de surveillance permanente de la qualité de l'air du Languedoc-Roussillon. En effet, bien que la faisabilité d'un traçage isotopique de l'origine géographique des particules atmosphériques en milieu urbain, ainsi que de la discrimination des sources industrielles/ urbaine / rurales, ait déjà été démontrée par Guéguen et al. [2012], leur approche via un biomonitoting (particules déposées sur des écorces d'arbres) rend inapplicable cette méthodologie d'un point de vue de la surveillance permanente.

L'objectif de la première phase du projet PALISTO a donc été de démontrer la faisabilité d'une analyse isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sur des particules atmosphériques collectées par les réseaux de surveillance Air-LR. Ainsi, un protocole d'analyse spécifique a été mis au point. Ce protocole a été validé via l'utilisation de standards qui ont permis de démontrer l'aspect non-contaminant d'une dissolution directe des filtres collecteurs, ainsi que de l'ensemble des étapes et réactifs du protocole d'analyse.

L'application du protocole mis au point à des échantillons réels a montré qu'une caractérisation isotopique des PM était possible dans les conditions de collectes du réseau Air-LR. Les données obtenues sont conformes à l'ordre de grandeur des sources potentielles d'émissions de PM. L'analyse systématique des PM collectées sur période donnée (rythme hebdomadaire entre le 30/05/2014 au 18/07/2014) a permis de mener une réflexion sur leur origine géographique et sur les implications en termes de sources d'émissions. Nous avons ainsi pu démontrer une variabilité temporelle dans les apports particulaires, variabilité pouvant être attribuée à des variations de sources conditionnées par le contexte environnemental (densité du trafic, sens des vents dominants). Cette variabilité relative aux conditions de l'environnement a été confirmée par l'analyse de particules collectées à l'aide d'un bio-collecteurs à divers endroits de la ville de Nîmes, et démontre l'impact significatif du lieu de prélèvement (et donc des conditions de l'environnement) sur la signature isotopique.

Ainsi, bien que les signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des PM collectées par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air soient déterminables et identifiables, leur interprétation ne peut se faire, à ce stade, qu'en lien avec leur environnement. Cela signifie donc qu'une connaissance rigoureuse de l'environnement, et surtout des signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des sources potentielles est nécessaire afin de pouvoir préciser l'origine PM.

Cette première approche est donc prometteuse, mais démontre le besoin d'un travail rigoureux de recensement dans un objectif de caractérisation précise des sources potentielles et de leur origine géographique. De plus, une approche multi-proxy, c'est-à-dire en combinaison avec d'autres paramètres géochimiques ou isotopiques, permettrait probablement de préciser des signatures exclusives pour chaque source (dans le cas de signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proches), et ainsi en discriminer l'impact sur la signature totale des PM collectées, et donc sur la qualité de l'air d'un lieu donné.

Mots clés : particules, qualité de l'air, source, origine géographique, strontium, isotopes

1. Informations générales concernant le projet

Responsable(s) scientifique(s)

Myriam JANIN - Maître de Conférences / Géochimiste

Université de Nîmes EA 7352 CHROME - Laboratoire de Géochimie Isotopique Environnementale (GIS) // Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE)

150 rue Georges Besse, 30 035 NIMES Cedex 1

Tel : 04 66 70 99 78 / Fax : 04 66 70 99 89

myriam.janin@unimes.fr

Nom-Prénom	Fonctions et laboratoire	Spécialité
BOUTTONNET Fabien	AIR Languedoc	
FROMAGE-MARIETTE Anne	AIR Languedoc	
ANDRE Julien	Master 1 Environnement - Risques, Université de Nîmes	Sciences de l'Environnement / Cartographie
GUINAT Yohan	Master 1 Environnement - Risques, Université de Nîmes	Sciences de l'Environnement / Géochimie
ROUX Margaux	Master 1 Environnement - Risques, Université de Nîmes	Sciences de l'Environnement / Géochimie

Temporalité

Date de début des travaux : 15/04/2014

Date de fin des travaux pour la rédaction du rapport : 15/03/2015

Poursuite de l'étude en cours : **Oui** / Non

Demande de soutien financier à l'OHM pour l'année 2014 : Oui / **Non**

2. Contexte problématique

Les particules fines sont connues pour leur rôle non négligeable dans les effets sanitaires de la pollution atmosphérique [Afsset/Anses, 2009]. Le programme CAFE (Clean Air For Europe) a mis en évidence que les PM 2,5 (particules de diamètre inférieur à 2,5 μm) seraient responsables de 386 000 décès prématurés en Europe chaque année [EEC, 2005 ; Boldo et al., 2006]. La qualité des milieux atmosphériques a donc un impact direct en termes de santé publique et ce à l'échelle mondiale.

Actuellement, les PM10 et PM2,5 sont réglementées dans l'air ambiant. Les réglementations européennes et françaises imposent notamment des valeurs limites annuelles (valeur limite en 2014 = 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10, et 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5) ainsi que des objectifs de qualité annuels (niveau à atteindre et à maintenir à long terme ; = 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10, 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5). La France, et notamment la région Ile de France, présente des dépassements récurrents de ces valeurs limites ce qui l'expose (1) pour les PM 10, à un contentieux avec l'Union Européenne, et (2) à une problématique de santé publique non négligeable. Bien que moins exposée que la région parisienne, la forte urbanisation côtière du littoral méditerranéen et la présence d'un axe autoroutier majeur l'exposent également à des concentrations en PM supérieures aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé [AIR LR, 2012].

Les PM 2,5 représentent un nombre important de composés différents, aux origines diverses, et à la toxicité variable, tels que les composés organiques, les poussières minérales, les sels marins. L'analyse du fond particulaire d'un milieu, sa toxicité, et la contribution des différents types de particules aux niveaux observés est un prérequis indispensable à la mise en place de moyens de prévention efficaces.

Les concentrations atmosphériques en particules dans un environnement urbain résultent de la superposition (1) d'un fond régional, (2) d'un fond local et (3) du trafic routier. Des études Air-Parif [2011] ont montré que le fond régional, c'est-à-dire les particules importées, représentent une part non négligeable (de l'ordre de 40%) de la concentration totale en particules. Ce fond régional est constitué de particules d'origine à la fois naturelle et anthropique. Les méthodes actuelles d'analyse des particules fines dans les réseaux de surveillance permanente donnent un accès précis à la nature de la pollution particulaire, à sa composition chimique, mais ne permettent pas d'en déterminer précisément l'origine géographique.

Le projet PALISTO s'inscrit dans cette ligne et correspond à une étude pilote de faisabilité de caractérisation de l'origine géographique des particules fines captées par les réseaux de surveillance permanente de la qualité de l'air du Languedoc-Roussillon. L'objectif est d'utiliser les outils de la géochimie isotopique afin de discriminer les sources naturelles et anthropiques, locales et lointaines, de la pollution particulaire, et ainsi permettre un meilleur suivi territorial des émissions

et donc la mise en place de moyens de prévention spécifiques. En effet, bien que la qualité de l'air fasse l'objet d'un suivi permanent, ce suivi est qualitatif et quantitatif mais ne permet une caractérisation géographique des sources d'émissions. Néanmoins, la faisabilité d'un traçage isotopique de l'origine géographique des particules atmosphériques en milieu urbain, ainsi que de la discrimination des sources industrielles/ urbaine / rurales, a déjà été démontrée par Guéguen et al. [2012], mais leur approche via un biomonitoring (particules déposées sur des écorces d'arbres) rend inapplicable cette méthodologie d'un point de vue de la surveillance permanente. Elle n'est donc pas adaptée à un objectif d'aide à la décision rapide des autorités locales quant à l'aménagement et à la gestion des milieux urbains et des espaces naturels. L'objectif du projet PALISTO est donc d'étudier la faisabilité d'un tel traçage via l'utilisation des moyens de surveillance des AASQA et la collecte des PM sur filtres.

Cette problématique n'est pas spécifique au Languedoc-Roussillon ou au littoral méditerranéen, mais cette position littorale et les caractéristiques géographiques et météorologiques résultantes en font une localisation idéale pour une étude de faisabilité. En effet, la zone côtière est caractérisée par des apports terrestres et/ou marins dont les caractéristiques isotopiques diffèrent. Ces différents apports sont en outre amenés via une dynamique des vents qui est connue et mesurée. Il est ainsi possible de comparer les résultats d'analyses à des données afin de connaître les apports naturels de PM.

Par ailleurs, le Languedoc-Roussillon présentent des spécificités d'usage qui en font un terrain d'étude particulièrement intéressant. En effet, le golfe d'Aigues-Mortes est caractérisé par :

- Une forte urbanisation côtière et la présence d'un axe autoroutier majeur (particules d'origine anthropique, issues notamment du trafic routier et du secteur résidentiel) tout en conservant des espaces naturels remarquables (particules d'origine naturelle) => nature variable des particules émises localement
- Une saisonnalité de l'occupation des territoires par la population résidente et touristique => rythmicité variable des émissions de particules
- Une interface terre-mer impliquant des problématiques de pollutions particulières d'origine marine (naturelles mais aussi activités portuaires et maritimes) qui nécessiterait d'être quantifiées (AIR LR, communication personnelle) => nature variable des particules importées.

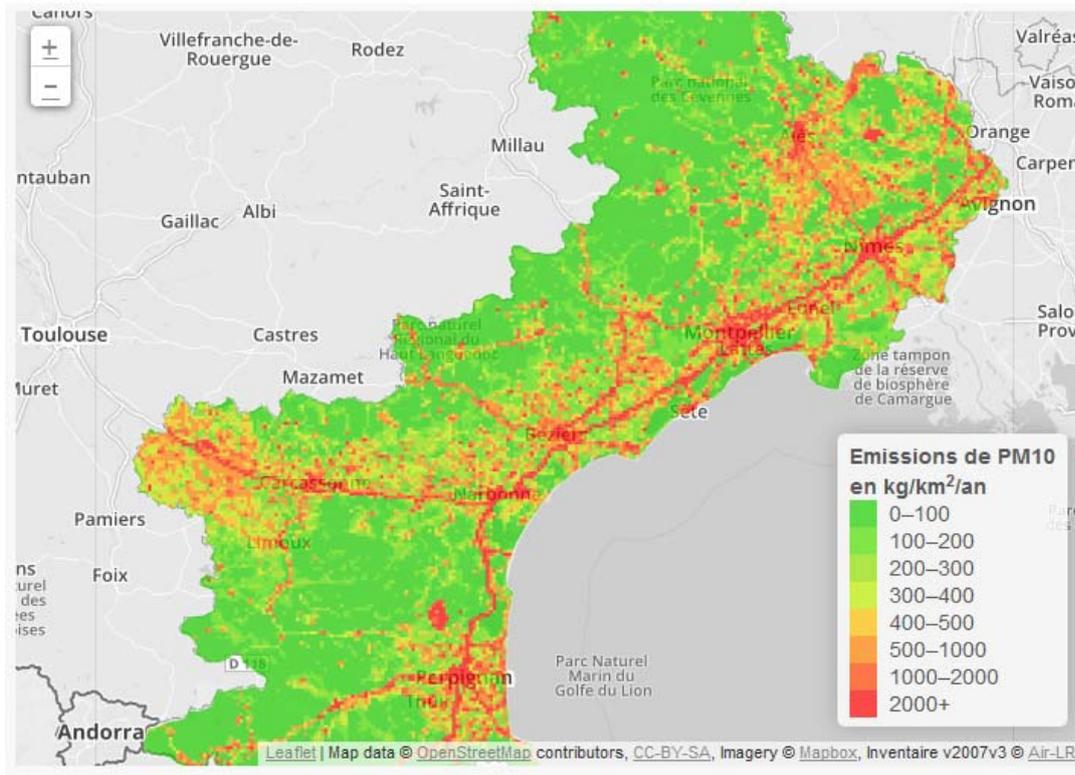


Figure 1: cadastre des émissions de PM 10 en Languedoc-Roussillon [Source AIR-LR 2007]

La méthodologie envisagée consiste à la mise au point d'une méthode non-contaminante d'extraction/de mesures des particules fines collectées, puis à l'appliquer à des filtres imprégnés afin de montrer la faisabilité d'une caractérisation de la signature isotopique des PM. Une fois cette signature identifiée l'objectif est l'interprétation en termes d'origine géographique. Pour cela nous avons donc :

(1) Appliqué le protocole mis au point à des PM collectées de manière systématique sur période donnée par un collecteur AIR-LR présent dans la ville de Montpellier et spécialement reprogrammé à cet effet

(2) Entrepris une étude bibliographique approfondie afin d'étudier sources potentielles de PM (émetteurs possibles, conditions environnementales, ...) pouvant impacter le dit-collecteur

(3) Mener une réflexion quant à la pertinence d'un collecteur unique en regard de l'éventuelle variabilité spatiale de la pollution particulaire qui pouvait exister au sein d'une ville. Pour cela une étude annexe a été réalisé et à consister en une étude de la variabilité spatiale des signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de particules collectées à l'aide d'un bio-collecteurs à divers endroits de la ville de Nîmes.

3. Mise au point analytique

La méthodologie envisagée consiste en premier lieu à la mise au point d'une méthode non-contaminante d'extraction/de mesures des particules fines collectées. En effet, les outils de la géochimie isotopiques sont des outils de haute précision et la signature isotopique des filtres pourrait perturber la lecture de la signature isotopique du spectre de particules. Pour cela des filtres collecteurs « vierges » certifiés en métaux par l'école de mines de Douai ont été fournis par Air-LR et ont fait l'objet de différents tests nécessaires à la certification de la méthode (mesure directe, extraction nécessaire, ..). En première approche l'analyse mono-isotopique par les isotopes du strontium est envisagée du fait de la robustesse avérée de la méthode de mesure isotopique, ainsi que des signatures en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ souvent distinctes entre les différentes sources potentielles de PM. Une fois la méthodologie validée en termes de contamination potentielle celle-ci a été appliquée à des filtres imprégnés afin de montrer la faisabilité d'une caractérisation de la signature isotopique.

3.1. *Echantillons*

- Echantillons blanc = filtres vierges en fibres de quartz certifié en métaux par l'EM de Douai.
 - PM B1
 - PM B2

Avec 1 μL de standard NBS 987

Le 1^{er} objectif est de confirmer ou d'infirmer la contamination potentielle de la signature isotopique des PM par les filtres en cas de dissolution directe. En effet, selon différents auteurs (Querol2001, De La Rossa2010) les filtres collecteurs ne seraient pas contaminants, mais les différences de conditions d'analyse, notamment en termes de quantité de PM, ne rendent pas directement applicables leurs conclusions. L'objectif à termes étant une analyse la plus fine possible avec une haute résolution temporelle il est donc nécessaire de s'assurer que la signature isotopique des PM n'est pas perturbée par leur support, et si cela s'avère être le cas, de mettre au point une nouvelle méthodologie.

- Echantillons imprégnés :
 - PM 02 = Montpellier urbain / près d'Arènes, prélèvement du 15/02 au 16/03/2013 = 549 m³ soit potentiellement 11 μg de Sr
 - PM 08 = Montpellier urbain / près d'Arènes, prélèvement du 06/08 au 13/08/2013 = 155 m³ soit potentiellement 3 μg de Sr

3.2. *Protocoles appliqués*

Dans le cas des filtres vierges, le protocole suivant a été appliqué et validé (cf. Résultats):

- Découpage de 1/8 de filtre et imprégnation par 1 μL de standard NBS 987.
- Attaque acide 1mL HNO_3 + 1mL HF à 90° pendant 48h

- Evaporation
- 1mL HNO₃ + H₂O₂
- Evaporation
- Purification sur résine échangeuse d'ions selon Pin2003
- Analyse TIMS

Dans le cas des filtres imprégnés, 4 protocoles ont été appliqués, détaillés dans le tableau ci-après :

Nom	Description
0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Découpage de 1/8 de filtre ▪ Attaque acide 1mL HNO₃ + 1mL HF à 90° pendant 48h ▪ Evaporation ▪ 1mL HNO₃ + H₂O₂ ▪ Evaporation ▪ Purification sur résine échangeuse d'ions selon Pin2003 ▪ Analyse TIMS = échantillons PM02-0 et PM08-0
L	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Découpage de 1/8 de filtre ▪ Rinçage par HNO₃ ▪ Récupération et évaporation ▪ Attaque acide 1mL HNO₃ + 1mL HF à 90° pendant 48h ▪ Evaporation ▪ 1mL HNO₃ + H₂O₂ ▪ Evaporation ▪ Purification sur résine échangeuse d'ions selon Pin2003 ▪ Analyse TIMS = échantillons PM02-L et PM08-L
U-eau	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Découpage de 1/8 de filtre ▪ Bain d'ultrasons dans 3ml d'eau UP ▪ Récupération et évaporation du surnageant ▪ Attaque acide 1mL HNO₃ + 1mL HF à 90° pendant 48h ▪ Evaporation ▪ 1mL HNO₃ + H₂O₂ ▪ Evaporation ▪ Purification sur résine échangeuse d'ions selon Pin2003 ▪ Analyse TIMS = échantillons PM02-U-eau et PM08-U-eau
U-acide	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Découpage de 1/8 de filtre ▪ Bain d'ultrasons dans 3ml d'eau d' HNO₃ ▪ Récupération et évaporation du surnageant ▪ Attaque acide 1mL HNO₃ + 1mL HF à 90° pendant 48h ▪ Evaporation ▪ 1mL HNO₃ + H₂O₂ ▪ Evaporation ▪ Purification sur résine échangeuse d'ions selon Pin2003 ▪ Analyse TIMS = échantillons PM02-U-acide et PM08-U-acide

L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans le tableau et le graphique ci-après et sur la figure 2 :

Type échantillon	Nom	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Standard	NBS 987	0,710245
Filtres vierges	PM-B1	0,710252 +/- 7
	PM-B2	0,710261 +/- 9
Filtres imprégnés	PM02-0	0,710110 +/- 15
	PM02-L	0,710559 +/- 10
	PM02-U-eau	0,710376 +/- 11
	PM02-U-acide	0,710092 +/- 9
	PM08-0	0,710831 +/- 11
	PM08-L	0,710952 +/- 16
	PM08-U-eau	0,710984 +/- 12
	PM08-U-acide	0,710842 +/- 15

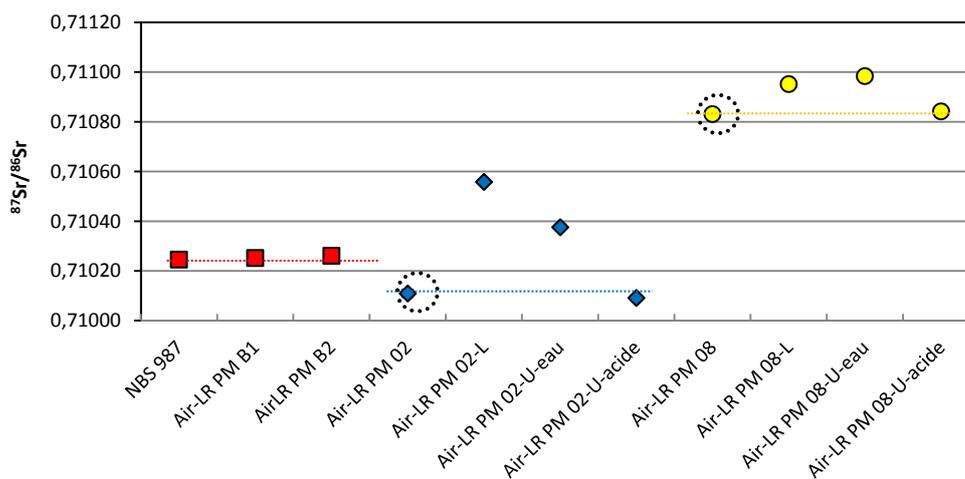


Figure 2: Signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des différents tests réalisés sur filtres vierges et filtres tests (cf. texte pour discussion):

Dans le cas des filtres vierges, les valeurs obtenues sont conformes à la valeur certifiée du standard NBS 987 pour les 2 tests effectués (pointillés rouges). Cela implique donc :

- (1) Que le protocole de purification et d'analyse employé est non-contaminant et donc que l'apport des réactifs et manipulations dans la signature isotopique est négligeable.
- (2) Que les filtres employés sont non-contaminants et que la signature isotopique obtenue n'est pas entachée d'un biais du fait de la méthode de collecte des particules.

En conclusion les échantillons collectés sur des filtres en fibres de quartz certifié l'EM de Douai peuvent être analysés selon le protocole décrit sans risque de biais dans la signature isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Les interprétations des différents tests effectués sur filtres imprégnés sont recensées dans le tableau ci-après :

Test	Interprétation
0	Du fait de la validation précédente, les valeurs obtenues via ce protocole (entourées sur le graphique) sont considérées comme « valeurs vraies ». Leur signification en termes de sources sera discutée plus loin, mais à noter que les PM collectées en février, et celles collectées en août présentent un $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ significativement différent.
L	Les valeurs obtenues sont significativement différentes des valeurs « 0 ». Ce protocole de récupération des PM imprégnées sur filtre engendre donc un biais dans la mesure de la signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, probablement du fait d'une récupération incomplète des PM.
U-eau	Les valeurs obtenues sont significativement différentes des valeurs « 0 ». Ce protocole de récupération des PM imprégnées sur filtre engendre donc un biais dans la mesure de la signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, probablement du fait d'une récupération incomplète des PM. On peut néanmoins noter que les valeurs obtenues se rapprochent des valeurs « 0 » par rapport au test « L », la récupération des PM est donc possiblement plus efficace du fait de l'ultra-sonification des filtres.
U-acide	Les valeurs obtenues ne sont significativement pas différentes des valeurs « 0 » (pointillés bleus et jaunes respectivement pour PM02 et PM08). Ce protocole de récupération des PM imprégnées sur filtres est donc applicable dans le cas d'une campagne de mesure utilisant d'autres types de filtres, notamment des filtres non certifiés.

Le protocole d'analyse de la signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de PM imprégnés sur filtres a été validé par analyse via des standards isotopique et a permis d'obtenir une signature pour 2 échantillons réels. Les différents tests effectués permettent de proposer un protocole alternatif de récupération des PM imprégnées sur filtre dans le cas où la qualité/pureté des filtres de collecteur serait mise en doute.

Les deux échantillons réels (PM02 et PM08) présentent des signatures isotopiques conformes à l'ordre de grandeur des sources potentielles d'émissions de PM, mais néanmoins distinctes entre elles. Ces deux échantillons ayant été prélevés sur un même lieu, mais à une période de l'année différente, la différence de valeur implique donc une différence dans les apports atmosphérique. Cette différence peut donc être discutée en termes de sources.

D'un point de vue général, les sources potentielles de particules atmosphériques collectées par le réseau Air-LR dans la zone près d'Arènes de Montpellier peuvent être catégorisées selon le tableau ci-après. Ces différentes sources présentent généralement des signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ propres dont les ordres de grandeurs sont également résumés dans le tableau suivant :

Types de PM		$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Références
Naturelles			
	origine pyrénéenne	0.706 +/- 1	Callegaro et al. [2014]
	origine saharienne	0.716 +/-1	Janin&Mathé (in home)
	origine rhodanienne	0.707 +/- 1	Medini (in home)
	origine marine	0.710 +/- 1	Faure&Mensig [2005]
Anthropiques			
	trafic routier	0.708 +/- 1	Lahd Geagea et al. [2008]
	industries	0.710 +/-1	Lahd Geagea et al. [2008]
	apports agricoles	0.707+/- 2	Lahd Geagea et al. [2008]
	apports urbains	0.710 +/- 1	Gueguen et al. [2012]

PM02 et PM08 (respectivement 0,710110 +/- 15 et 0,710831 +/- 11) présentent des signatures isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proches, mais néanmoins distinctes. PM08 présente une valeur sensiblement plus naturelle (tend vers PM saharienne) que PM02. Cela pourrait s'expliquer par un trafic routier et une activité urbaine diminués au mois d'aout (date de collecte de PM08) par rapport au mois de février (date de collecte de PM02), ainsi que d'un vent du sud plus important en été (drainant donc des PM naturelles sahariennes en plus grande quantité).

Par ailleurs, lors des phases de test, le fractionnement observé entre les valeurs vraies de PM02 et PM08 et les valeurs obtenues avec les protocoles L et U-eau est plus important dans le cas de PM02 que de PM08. De plus, les valeurs fractionnées tendent systématiquement vers un $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus naturel. Cela pourrait traduire une récupération préférentielle des PM naturelles par rapport aux PM anthropiques lors des étapes de lavage des filtres.

Néanmoins ces premières interprétations ne sont que des pistes de réflexion, la signature isotopique ne pouvant être contrainte qu'en relation avec les conditions environnementales.

La présente étude fait l'objet d'un article actuellement soumis pour publication au journal « Environmental Monitoring and Assessment »

La faisabilité d'une analyse isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sur des particules atmosphériques collectées par les réseaux de surveillance Air-LR ayant été démontrée, la deuxième phase de cette étude consiste donc en une analyse systématique des PM collectées sur période donnée afin de mener une réflexion sur leur origine géographique et sur les implications en termes de sources d'émissions en lien avec les conditions environnementales.

4. Application

4.1. Variabilité temporelle des PM

Du 30/05/2014 au 18/07/2014 le collecteur d'AIR-LR « Montpellier près d'Arènes » a été reprogrammé dans le cadre du projet PALISTO. Des filtres hebdomadaires ayant filtré 168m³ d'air chacun ont ainsi été collectés et préparés pour analyse selon le protocole mise au point lors de la phase 1. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après et sur la figure 3.

Code échantillon	Date début	Date fin	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Incertitude (+/- *10 ⁻⁶)
14PMW27	30/05/14	06/06/14	0,710215	9
14PMW28	06/06/14	13/06/14	0,710275	11
14PMW29	13/06/14	20/06/14	0,710257	8
14PMW30	20/06/14	27/06/14	0,710098	8
14PMW31	27/06/14	04/07/14	0,709684	14
14PMW32	04/07/14	11/07/14	0,709975	16
14PMW33	11/07/14	18/07/14	0,709222	10

Les résultats obtenus font apparaître une diminution significative du ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr dans le temps, à l'exception de l'échantillon 14PMW31 qui ne suit pas cette tendance générale. Afin de pouvoir discuter de ces variations en termes de sources, nous avons procédé à (1) une cartographie des potentielles sources d'émissions de PM à l'échelle régionale, et (2) à l'établissement d'une base de données des ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de PM à partir de la littérature.

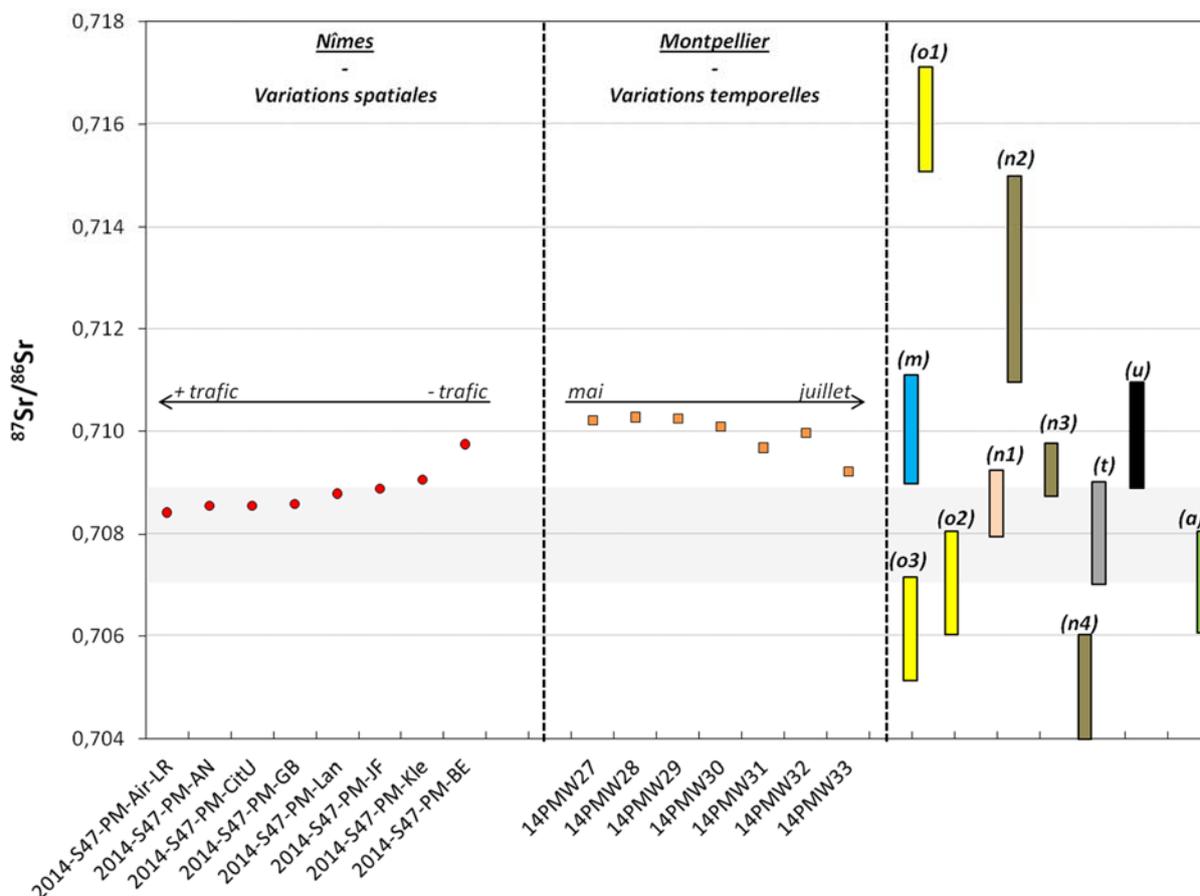


Figure 3: signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mesurées et/ou recensées (cf. texte pour discussion):

- (1) Des échantillons du projet PALISTO "Phase Montpellier - Variabilité temporelle" : les échantillons sont classés dans l'ordre chronologique et tendent à se rapprocher de la signature (t) trafic
- (2) Des échantillons du projet PALISTO "Phase Nîmes - Variabilité spatiale" : les échantillons sont classés par influence décroissante du trafic routier sur le lieu de collecte
- (3) Des sources potentielles recensées : (m) origine marine, (o1) origine saharienne, (o2) origine pyrénéenne, (o3) origine rhodanienne, (n1) calcaires et argiles du LR, (n2) gneiss, (n3) granites, (n4) basaltes et pyroclastes, (t) trafic, (u) apports urbains et industriels, (a) apports agricoles [Faure (2005); Lahd Geagea et al. (2008); Hartman et al. (2010); Guegen et al. (2012); Frei et al. (2013); Callegaro et al. (2014); Janin et al. (soumis); et références incluses]

4.1.1. Recensement des sources potentielles de PM

Les particules atmosphériques peuvent avoir une origine naturelle ou anthropique, et proximale ou éloignée. Nous avons donc dans un premier temps cherché à établir une cartographie des conditions de l'environnement et des potentielles sources d'émissions de PM à l'échelle régionale (figure 4).

La zone prise en compte dans le cadre de ce recensement est une zone de plaines et de basses collines (300m de hauteurs) encadrée de massif montagneux au Nord et limitée par la mer Méditerranée au Sud. Dans cette zone de plaines on retrouve 3 grandes agglomérations de plus de

100 000 habitants: Montpellier, Nîmes et Avignon ; ainsi qu'un nombre important de villes plus petites (telles que Alès, Arles, Sète, Beaucaire ou Tarascon). Ces agglomérations et leurs apports peuvent donc être prise en compte d'un point de vue isotopique selon (1) les apports urbains, (2) les apports industriels, et (3) les voies et moyens de communications (route, aéroport,)

La zone d'étude est encadrée de massifs montagneux (Massif Central, Alpes, Pyrénées) qui vont à la fois (1) favoriser la formation de grands vents (mistral en provenance du Nord, tramontane en provenance de l'Ouest), (2) drainer des PM en provenance d'autres régions, et (3) être eux-mêmes une source de PM naturelles de nature magmatique ou métamorphique, telle que le montre la carte géologique du Languedoc Roussillon (figure 5). D'un point de vue géologique, la région est également caractérisée par l'existence de nombreux terrains calcaires d'âge jurassique, et de terrains détritiques tertiaire à quaternaire. La diversité géologique des terrains implique (1) une diversité de signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (cf. plus loin) et (2) une végétalisation et une occupation des sols variables. En outre, la zone autour de Montpellier présente des terrains laissés dans leur état naturel ainsi que des zones de culture dont l'apport (épandage par exemple) peut être à considérer.

Les PM étant des éléments transportables sur de longues distances les apports transméditerranéen (sables sahariens notamment) sont également à considérer et ils sont par ailleurs connus dans la région pour être non négligeables du fait du facteur « vent » prépondérant dans la zone d'étude. Les grands vents présents sur la région sont le mistral, la tramontane, le marin et l'autan (figure 6). Le mistral et la tramontane proviennent d'invasions d'air froid dont le déclenchement est dû à la présence d'un anticyclone sur le proche Atlantique, créant une dépression sur le golfe de Gênes. Dans le delta du Rhône, les rafales de mistral dépassent les 60 km/h environ 100 jours par an, soit près d'un jour sur trois [Météo France, 2000]. Les zones littorales sont affectées par des brises marines de vitesses modérées qui induisent une humidité de l'air, tandis que des dépressions sur le Golfe de Gascogne provoque un régime marin sur l'ensemble du Languedoc-Roussillon. Ce vent assez fort, venant de la Méditerranée, est très humide et souffle sur l'ensemble de la région. L'autan, lui aussi vent de Sud-est, étend son action de l'Aude jusqu'à la région Midi-Pyrénées.

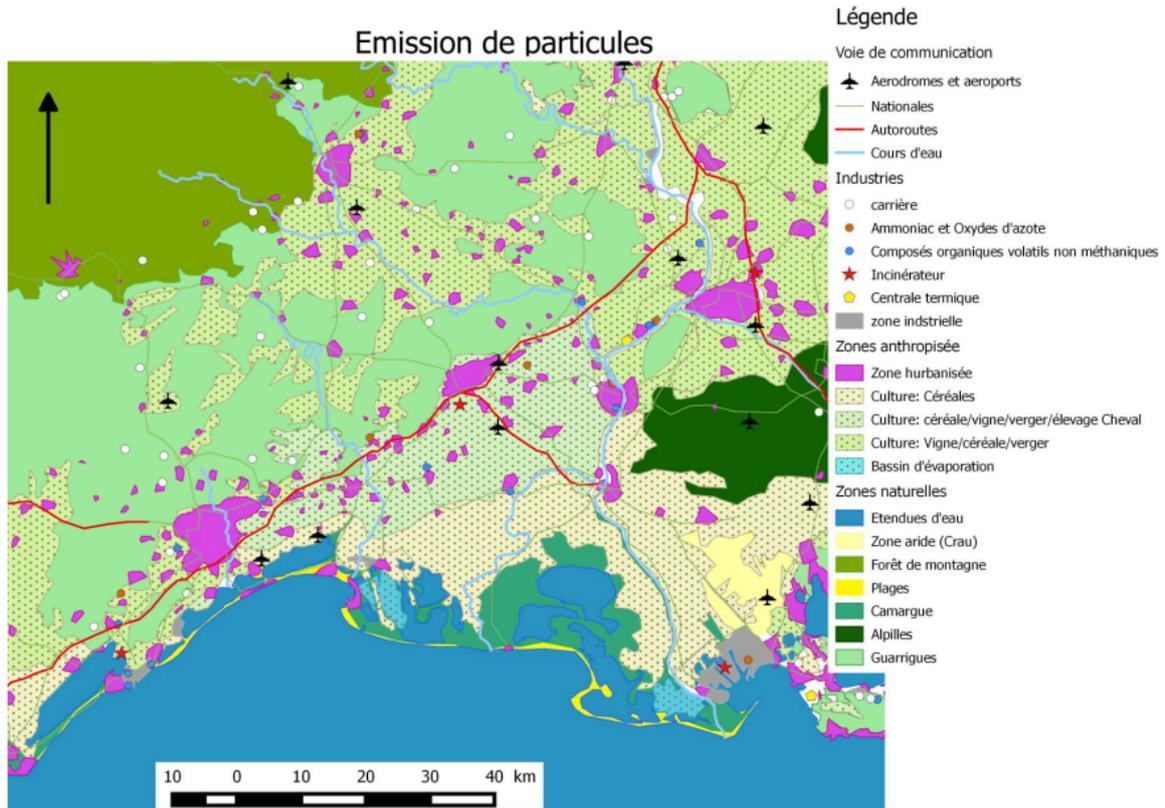


Figure 4: cartographie des sources d'émission potentielles de PM dans la zone Hérault-Gard [André, 2014]

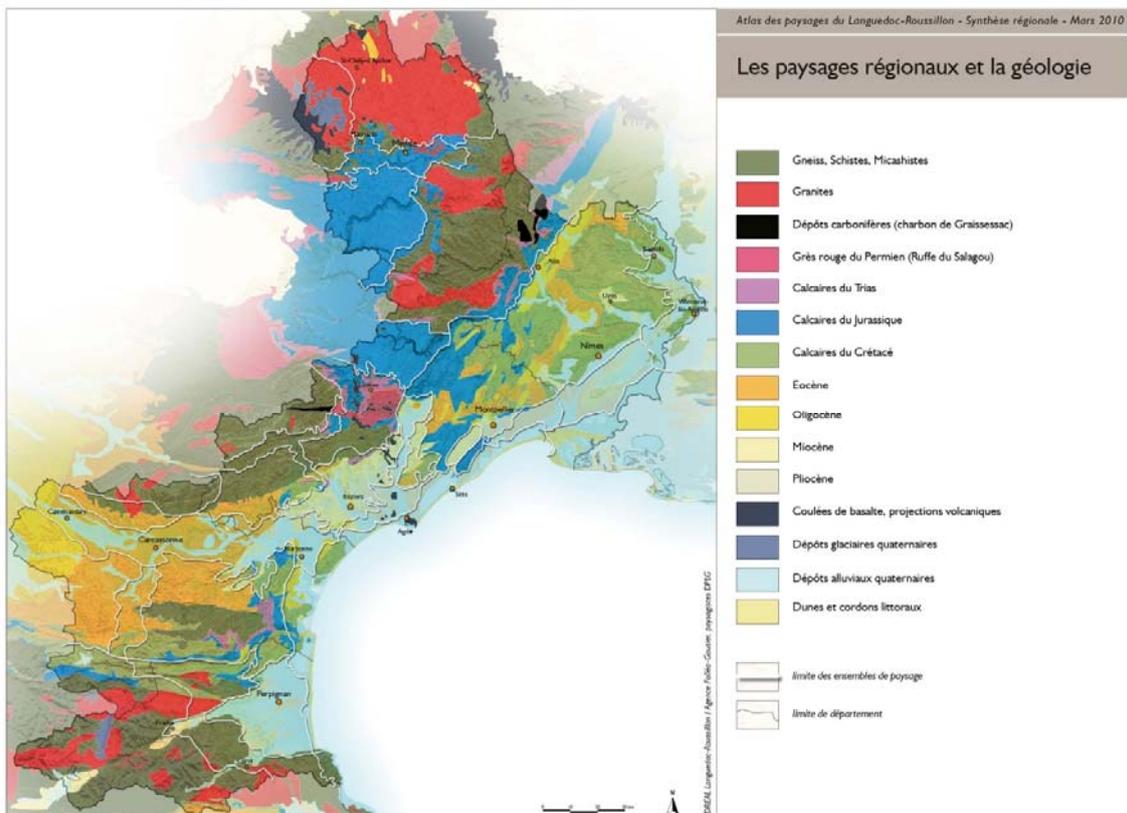


Figure 5: Carte géologique du Languedoc-Roussillon

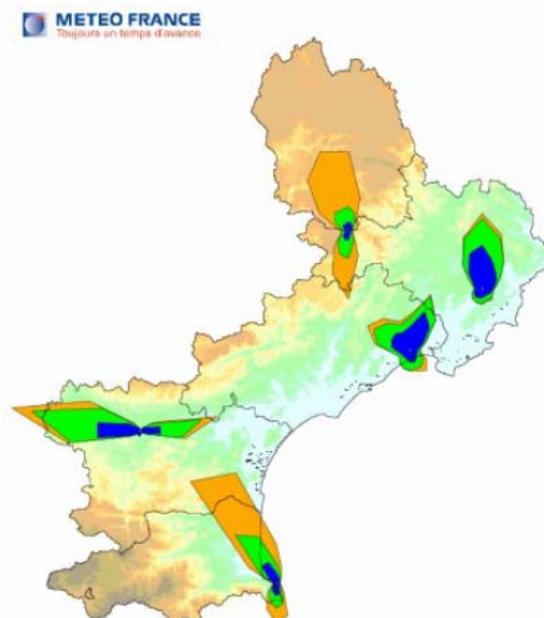


Figure 6: Roses des vents moyennes annuelles sur les stations du Mont-Aigoual, Nîmes, Carcassonne, Montpellier et Cap Béar pour la période 1981 à 2000

4.1.2. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des sources potentielles de PM et discussion

Des études réalisées par Air-parif ont montré que les PM collectées dans un environnement urbain étaient le résultat d'un mélange entre (1) les sources locales, telles que le trafic, (2) le fond urbain, et (3) les imports régionaux d'origine plus ou moins lointaine (figure 7).

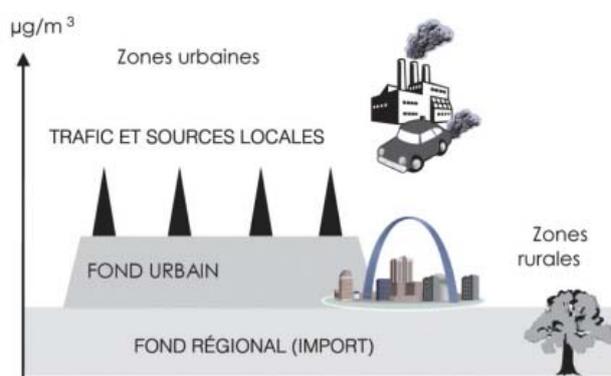


Figure 7: Schéma du profil vertical des concentrations de PM 2.5 dans l'air ambiant selon la méthode de Lenschow [Air-Parif]

Une recherche bibliographique approfondie a permis d'établir une base de données des signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ potentielles des sources de PM. La variabilité observée indique parfois des signatures possiblement similaires entre différentes sources. L'interprétation des résultats obtenus

sur le site de Montpellier devra donc être réalisée en regard des conditions de l'environnement. Par exemple, bien que les signatures enregistrées sur les PM collectées soient proches d'une signature dite « urbaine » il est peu probable que celle-ci en soit la source. En effet, la signature « urbaine » est majoritairement attribuée au chauffage urbain, alors que les échantillons ont été collectés durant les mois de juin et juillet. Nous pouvons donc dans notre cas considérer deux types de source principales = (1) les sources locales telles que le trafic, et (2) les imports régionaux d'origine plus ou moins lointaine.

Les signatures isotopiques enregistrées sur la période 30/05/2014 – 17/07/2014 montrent des valeurs proches mais une tendance générale à la baisse au fur et à mesure du temps. Ces valeurs sont supérieures aux valeurs de référence établies pour le trafic routier mais tendent à s'en rapprocher. On peut donc supposer une influence croissante de la part « trafic » dans les PM collectées. La période d'échantillonnage correspondant à une période où l'affluence touristique est croissante dans la région et où on peut donc d'attendre à une augmentation globale du trafic routier. L'interprétation de la signature isotopique en ce sens est donc cohérente avec les conditions de l'environnement.

L'échantillon 14PMW32 collecté entre le 04/07/2014 et le 11/01/2014 ne suit pas la tendance la tendance générale ce qui démontre une variation dans les apports particuliers durant cette période. L'augmentation du $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pourrait être attribuée à un apport extérieur d'origine saharienne, marine, ou de gneiss. Néanmoins, ces 3 sources ont des localisations géographiques distinctes (Sud et Est pour les origines saharienne et marine, et Ouest pour les gneiss). L'analyse des bilans météorologiques, et plus précisément des vents mesurés, à montrer un vent particulièrement fort en provenance de l'Ouest durant cette période (contrairement aux autres périodes où le vent était faible). L'hypothèse d'un import de PM d'origine naturelle et de nature gneissique en provenance des massifs cristallisés situés à l'Ouest du Languedoc est donc pertinente en regard des conditions de l'environnement durant la période d'échantillonnage. L'analyse des concentrations en Sr des PM collectées permettrait d'établir des courbes de mélanges entre les différentes sources, et donc de les quantifier, mais cette première approche permet déjà de démontrer que la signature isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des PM collectées par le réseau AIR-LR est attribuable à une nature et une origine géographique donnée. La présente étude fera donc l'objet d'une communication lors de la 25^e "Goldschmidt Conference" (Août 2015).

Les signatures enregistrées, bien que cohérentes entre elles, démontrent une variabilité temporelle dans les apports de PM dans l'air ambiant. Le trafic routier et les vents étant des vecteurs prépondérants, on peut alors également se questionner sur la représentativité d'un collecteur unique à l'échelle d'une ville. C'est à ce titre qu'une phase 2 bis a été adjointe au projet afin d'étudier la variabilité spatiale de la répartition des PM.

4.2. Variabilité spatiale des PM

Le suivi de la qualité de l'air dans la ville de Nîmes est également assuré par le réseau AIR-LR et consiste en un collecteur de PM localisé, tout comme à Montpellier, à proximité d'un axe routier majeur. L'objectif de cette deuxième étude est de contraindre l'éventuelle variabilité temporelle qui peut exister dans la répartition des PM au sein d'une ville comme Nîmes, en réalisant un échantillonnage systématique de plusieurs points le même jour. Pour ce faire, l'utilisation de collecteurs type AIR-LR n'est pas possible car cela nécessiterait de déployer un nouveau réseau afin de pouvoir collecter et analyser des PM de la même période d'échantillonnage. Nous avons donc choisi de nous tourner vers l'utilisation de bio-collecteurs, c'est-à-dire d'organismes végétaux connus pour adsorber à leur surface les PM qui sont alors « collectables ».

Les PM ont ici été collectés via leur dépôt sur des feuilles d'oliviers, qui ont ensuite « lavées » de manière à isoler la fraction déposée à leur surface. Cette stratégie a été choisie car (1) l'utilisation de bio-collecteurs a montré sa pertinence dans d'autres études, (2) l'utilisation de bio-collecteurs présente un coût moindre par rapport au déploiement d'un nombre équivalent de collecteurs mécaniques, (3) l'olivier est un arbre courant dans la ville de Nîmes, ce qui permet un bon quadrillage de la ville et donc un échantillonnage pertinent, et (4) l'olivier est un arbre dont les feuilles sont persistantes, permettant ainsi un échantillonnage en toutes saisons. Huit points d'échantillonnage ont été sélectionnés dans la ville de Nîmes de manière à refléter l'ensemble du paysage urbain (figure 8).

Lieu de prélèvement	Code échantillon	Situation géographique	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Langlade	2014-S47-PM-Lan	Domicile, environnement rural, chauffage au bois	0,708788 +/- 9.10 ⁻⁶
Parc George-Besse	2014-S47-PM-GB	Sur rond point, trafic routier	0,708591 +/- 2.10 ⁻⁵
Aérodrome	2014-S47-PM-AN	Proche des routes	0,708549 +/- 8.10 ⁻⁶
Proche collecteur Air-LR	2014-S47-PM-AirLR	Fort trafic, remise en suspension par les trains	0,708421 +/- 9.10 ⁻⁶
Jardin de Kleber	2014-S47-PM-Kle	Peu de circulation	0,709062 +/- 2.10 ⁻⁵
Jardin de la fontaine	2014-S47-PM-JF	Milieu isolé, peu de trafic	0,708881 +/- 2.10 ⁻⁵
Bois des Espeisses	2014-S47-PM-BE	Milieu très isolé	0,709751 +/- 3.10 ⁻⁵
Cité U	2014-S47-PM-CitU	Trafic important, nombreuses habitations	0,708554 +/- 1.10 ⁻⁵

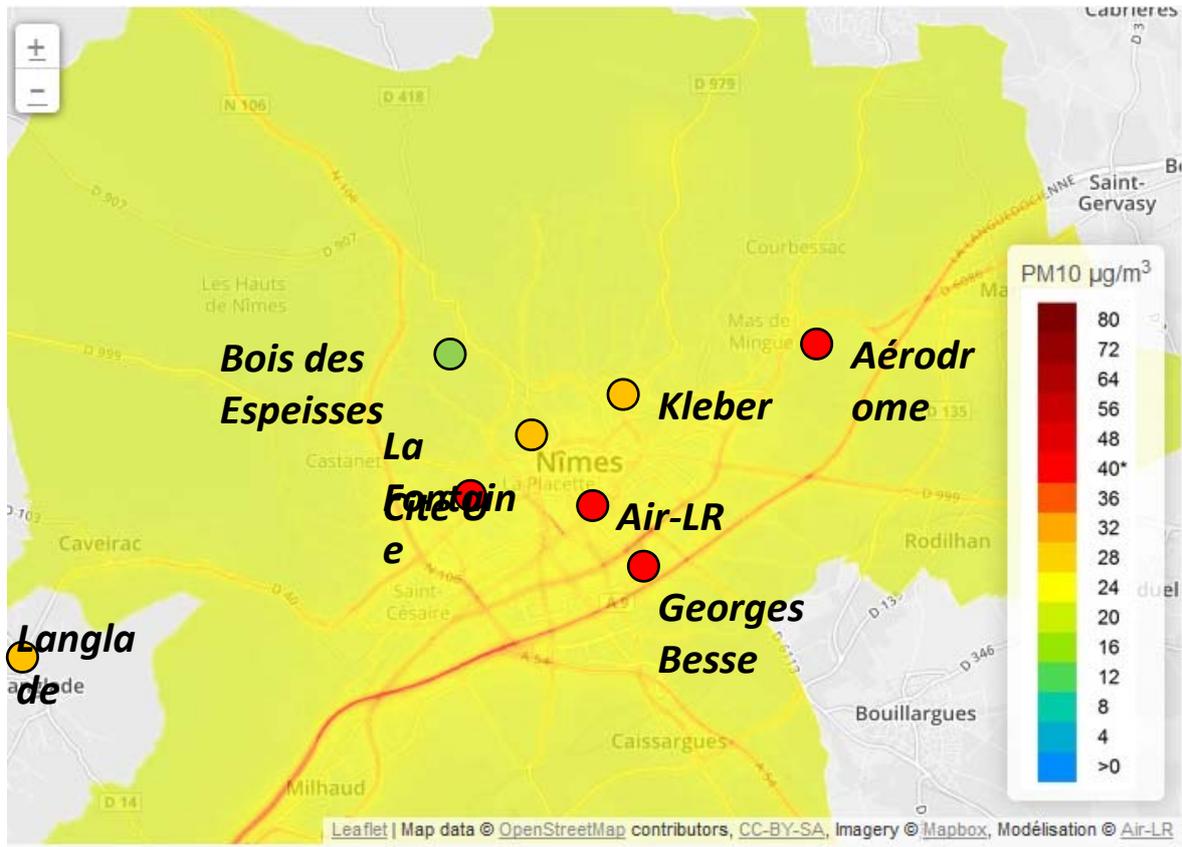


Figure 8: localisation des échantillons bio-collectés dans la ville de Nîmes. Le fond cartographique représente les niveaux de PM 10 moyen pour l'année 2013. La couleur du figuré est relative à l'influence du trafic (rouge = fort trafic / vert = faible trafic)

L'utilisation de bio-collecteurs présente néanmoins le désavantage de ne pas permettre un tri des PM. Ainsi, en termes de tailles des particules, les PM collectées ne sont pas strictement comparable à celle collectées via le réseau AIR-LR.

Un suivi de la météo et des vents a été réalisé en amont de l'échantillonnage des feuilles afin de contraindre les conditions de dépôts. Cet échantillonnage a été réalisé pour tous les oliviers le mercredi 19/11/2014. Sachant que le dernier jour de pluie avant cette date était le lundi 17/11/2014, nous pouvons donc considérer un dépôt passif des particules durant une durée de deux jours. Les PM déposées sur les feuilles ont été collectées via un bain aux ultrasons avant mise à sec de la solution et re-dissolution du résidu suivant le même protocole que celui mis au point pour la phase 1 du projet.

Les signatures isotopiques mesurées montrent une variabilité en fonction du lieu d'échantillonnage, variabilité qui ne semble pas être aléatoire. En effet, les résultats peuvent être répartis en trois groupes distincts :

- Groupe 1, aux signatures isotopiques « faibles » = Air-LR, Aéroport, CitéU, Georges Besse
- Groupe 2, aux signatures isotopiques intermédiaires = Langlade, Jardin de la Fontaine, Kléber
- Groupe 3, aux signatures isotopiques « fortes » = Bois des Espeisses

Ces différents groupes correspondent à des zones où la concentration du trafic routier décroît depuis le point d'échantillonnage Air-LR jusqu'au « Bois des Espeisses » (figure 3), précisément sélectionné afin de représenter un environnement protégé des influences urbaines. Les signatures isotopiques des groupes 2 et 3 sont cohérentes avec la signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ du trafic routier. La valeur croissante pour les échantillons les plus éloignés des influences urbaines indiquent que fond régional est quant à lui constitué de PM d'origine saharienne, marine, ou gneissique. La même tendance que dans le cas des échantillons de Montpellier peut donc être observée mais avec un niveau « de base » pour les échantillons soumis à un fort trafic plus proches de la signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ « trafic ». L'influence du fond régional semble donc être, en proportion, plus important à Montpellier et, pourrait être expliqué par une proximité à la mer plus importante. Néanmoins, la taille différente des PM collectées pourrait également constituer un biais dans ce « niveau de base ». Cette hypothèse pourra être testée en comparant les PM collectés par le collecteur AIR-LR et sur le bio-collecteur situé dans son voisinage immédiat.

A l'échelle d'une ville on peut observer une variation significative de la signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des PM. Les échantillons collectés et analysés en partie 4.1. ne peuvent donc pas être considérés comme représentatifs de la qualité de l'air de la ville de Montpellier, ni des PM ambiantes dans leur globalité. Néanmoins, les collecteurs étant disposés généralement à proximité de sites urbanisés, ils collectent les PM « urbaines » mais également les PM « naturelles ». La signature résultante est donc « majorée » en facteur anthropique, ce qui en termes de suivi et de préservation de la qualité reste tout à fait pertinent.

4.3. Discussion générale

La présente étude constitue une étude pilote de faisabilité de caractérisation de l'origine géographique des particules fines captées par les réseaux de surveillance permanente de la qualité de l'air du Languedoc-Roussillon via les isotopes du Sr. La première étape a donc consisté en la mise au point d'une méthode d'analyse spécifique applicable aux modes d'échantillonnage des PM effectué par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Cette étape ensuite permis un suivi de la signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des PM collectées sur une durée de 7 semaines à un rythme hebdomadaire entre juin et juillet 2014 dans la ville de Montpellier. Ces PM ont été collectés à proximité d'une zone à fort trafic routier et sont comparables en termes de zone de dépôts au site AIR-LR de la ville de Nîmes (à noter cependant que ces PM ont été collectées en novembre 2014). La signature moyenne des échantillons « Montpellier » est de $0.7100 \pm 4 \cdot 10^{-4}$ tandis que l'échantillon 2014-S47-PM-Air-LR présente une signature de $0,708421 \pm 5 \cdot 10^{-5}$. Cette différence significative peut avoir origine :

- une différence dans la période temporelle analysée (juin-juillet # novembre)
- une différence dans la taille des PM collectées (PM 10 # PM ?)
- un différence dans les différents apports du fait de localisations différentes (Montpellier # Nîmes).

Considérant que la signature de Nîmes est la plus proche de la signature « trafic », la valeur supérieure en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des échantillons de Montpellier pourrait s'expliquer par une influence moins importante du trafic routier dans la signature isotopique (et donc une part supérieure du fond régional puisque nous avons vu que l'activité dite « urbaine » n'était pas pertinente dans ce cas). Les sources potentielles présentant des valeurs importantes en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sont les formations géologiques de type gneiss, les PM d'origine saharienne, et les entrées maritimes. Sachant que, par rapport à Nîmes, Montpellier est située à proximité de massifs gneissiques et à une distance moins importante de la mer, la variabilité d'impact des différentes sources et la part importante de signature « environnement » est une explication pertinente. De plus, la situation géographique de la ville de Nîmes, et notamment son caractère « encaissé », la rendra probablement moins sensible aux apports externes.

Bien que les signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des PM soient donc déterminables et identifiables, leur interprétation ne peut se faire, à ce stade, qu'en lien avec leur environnement. Cela signifie donc qu'une connaissance rigoureuse de l'environnement, et surtout des signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des sources potentielles est nécessaire afin de pouvoir préciser l'origine PM. Cette première approche, basée sur une analyse principalement bibliographique des signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, est donc prometteuse, mais démontre le besoin d'un travail rigoureux de recensement dans un objectif de caractérisation précise des sources. La méthodologie telle que décrite est donc principalement adaptée à une vision globale des influences atmosphériques, mais nécessite d'être optimisée dans un objectif d'aide à la décision en regard des problématiques de qualité de l'air.

Toutefois, le temps d'intégration utilisé (7 jours) est très suffisant pour collecter la quantité de matière requise pour analyse, et permet également de mettre en lumière des variations dans les apports. Une diminution de ce temps d'intégration semble donc possible afin d'affiner la résolution des variations observées. De plus, une autre source d'optimisation de la méthode pourrait être l'utilisation des concentrations en Sr des différents échantillons et sources potentiels afin de quantifier précisément les mélanges possibles et les proportions requises de chacune des parties. Enfin, il s'avère que plusieurs sources potentielles et pertinentes présentes des signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proches, ne permettant une discrimination affirmative au vu des mélanges possibles. Une approche multi-proxy, c'est-à-dire en combinaison avec d'autres paramètres géochimiques ou isotopiques, permettrait probablement de déterminer des signatures exclusives pour chaque source, et ainsi en discriminer l'impact sur la signature totale des PM collectées, et donc sur la qualité de l'air.

Conclusion

Le projet PALISTO correspondait à une étude pilote de faisabilité de caractérisation de l'origine géographique des particules fines captées par les réseaux de surveillance permanente de la qualité de l'air du Languedoc-Roussillon. L'objectif de la première phase a donc été de démontrer la faisabilité d'une analyse isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sur des particules atmosphériques collectées par les réseaux de surveillance Air-LR. Ainsi, un protocole d'analyse spécifique a été mis au point. Ce protocole a été validé via l'utilisation de standards qui ont permis de démontrer l'aspect non-contaminant d'une dissolution directe des filtres collecteurs, ainsi que de l'ensemble des étapes et réactifs du protocole d'analyse.

L'application du protocole mis au point à des échantillons réels a montré qu'une caractérisation isotopique des PM était possible dans les conditions de collectes du réseau Air-LR. Une recherche bibliographique approfondie a permis d'établir une base de données des signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ potentielles des sources de PM. Les données obtenues sont conformes à l'ordre de grandeur des sources potentielles d'émissions de PM et l'analyse systématique des PM collectées sur période donnée (rythme hebdomadaire entre le 30/05/2014 au 18/07/2014) a permis de mener une réflexion sur leur origine géographique et sur les implications en termes de sources d'émissions. La variabilité observée indique parfois des signatures possiblement similaires entre différentes sources et l'interprétation des résultats obtenus sur le site de Montpellier a donc été réalisée en regard des conditions de l'environnement. Deux types de sources ont été considérés dans ce cas (1) les sources locales telles que le trafic, et (2) les imports régionaux d'origine plus ou moins lointaine. Les signatures isotopiques enregistrées sur la période 30/05/2014 – 17/07/2014 montrent tendance générale à se rapprocher de la signature « trafic routier » au fur et à mesure du temps, ce qui est cohérent avec l'augmentation de l'affluence touristique (et donc du trafic) durant cette période. Un échantillon ne suit pas la tendance générale mais l'analyse des conditions météorologiques durant cette période à montrer l'occurrence de vents particulièrement fort en provenance de l'Ouest. La signature isotopique de l'échantillon 14PMW32 étant cohérente avec l'influence de PM naturelle de nature gneissique, dont certains massifs sont localisés à l'Ouest du Languedoc, la signature enregistrée est pertinente en regard des conditions de l'environnement durant la période d'échantillonnage.

Nous avons ainsi pu démontrer une variabilité temporelle dans la signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des PM, variabilité pouvant être attribuable à des variations de sources conditionnées par le contexte environnemental (densité du trafic, sens des vents dominants). La signature isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ est donc un outil pertinent d'analyse des particules atmosphériques dans un objectif de caractérisation de leur origine géographique.

Cette variabilité relative aux conditions de l'environnement a été confirmée par l'analyse de particules collectées à l'aide d'un bio-collecteur à divers endroits de la ville de Nîmes, et démontre l'impact significatif du lieu de prélèvement (et donc des conditions de l'environnement) sur la signature isotopique. En effet, les signatures isotopiques mesurées montrent une variabilité en

fonction du lieu d'échantillonnage, variabilité corrélée à la concentration du trafic routier à proximité du point d'échantillonnage. Les variations observées entre les villes de Montpellier et Nîmes sont quant à elles attribuables à leur position géographique différente, et donc aux différences potentielles d'import liées à la variabilité de l'environnement proche et des vents dominants.

En conclusion, cette étude a permis de démontrer la faisabilité d'une caractérisation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des PM collectées par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Les signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sont ainsi déterminables et identifiables, bien que leur interprétation ne puisse, à ce stade, que se faire en lien avec leur environnement. Cette première approche est donc prometteuse, mais démontre le besoin d'un travail rigoureux de recensement dans un objectif de caractérisation précise des sources potentielles et de leur origine géographique. L'analyse élémentaire des PM collectées permettrait par ailleurs d'établir des courbes de mélanges entre les différentes sources, et donc de les quantifier. Une approche multi-proxy, c'est-à-dire en combinaison avec d'autres paramètres géochimiques ou isotopiques, permettrait probablement de préciser des signatures exclusives pour chaque source (dans le cas de signatures $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proches). L'impact de chaque source sur la signature totale des PM collectées, et donc sur la qualité de l'air d'un lieu donné, pourra donc affiner, et ainsi aider à la mise en œuvre de mesures adaptées.

Remerciements :

Pour avoir contribué à la mise en œuvre et à l'aboutissement de ce projet les auteurs remercient :

- ***Le Labex DRIIHM, le CNRS, les investissements d'avenir, et bien sur l'Observatoire Hommes - Milieux « Littoral Méditerranéen »***
- ***l'agence AIR-LR***
- ***le Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE / Aix-Marseille Université)***
- ***les étudiants et personnels du laboratoire de Géochimie ISotopique environnementale (GIS / Université de Nîmes)***