



Caractérisation chimique des particules et contributions des sources – Vallées des Paillons –

Année 2009

INTRODUCTION :

La surveillance réglementaire des niveaux de particules en PACA a permis de constater un non respect de la réglementation dans les vallées des Paillons. Les services de l'Etat, la **DREAL PACA**, ont sollicité Atmo PACA pour améliorer la connaissance sur les particules en suspension dans ces deux vallées et comprendre l'origine des dépassements de valeur limite.

La grande complexité de la phase particulaire, la multitude des sources existantes et la topographie complexe justifient un protocole d'étude important, avec 6 sites échantillonnés par laboratoire mobile, 451 filtres prélevés et un travail en partenariat avec les laboratoires de recherche scientifique le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement – Grenoble (LGGE) et le Laboratoire Chimie Provence Instrumentation et Réactivité Atmosphérique – Marseille (LCP-IRA). Une grande partie des moyens mobiles d'Atmo PACA a été mobilisée pendant près d'un an pour cette étude, dont les objectifs sont les suivants :

- Améliorer les connaissances sur la pollution particulaire dans les vallées des Paillons et mieux comprendre les processus qui en sont à l'origine,
- Evaluer, pour les PM₁₀, les contributions respectives des différents émetteurs : niveau de fond terrigène, part de l'activité industrielle, part des transports, brûlage de déchets verts, chauffage...
- Estimer l'étendue des zones dépassant la valeur limite en PM₁₀ dans la vallée.

MOYENS DE MESURES MIS EN ŒUVRE

- 2 stations permanentes à Contes et Peillon,
- 4 sites temporaires équipés d'analyseurs ;

- Contes – quartier du Pilon
- Peillon – salle polyvalente
- Borghéas – proximité trafic RD21
- Escarène – site rural

- 4 sites avec prélèvement été et hiver de filtres pour caractérisation chimique ;

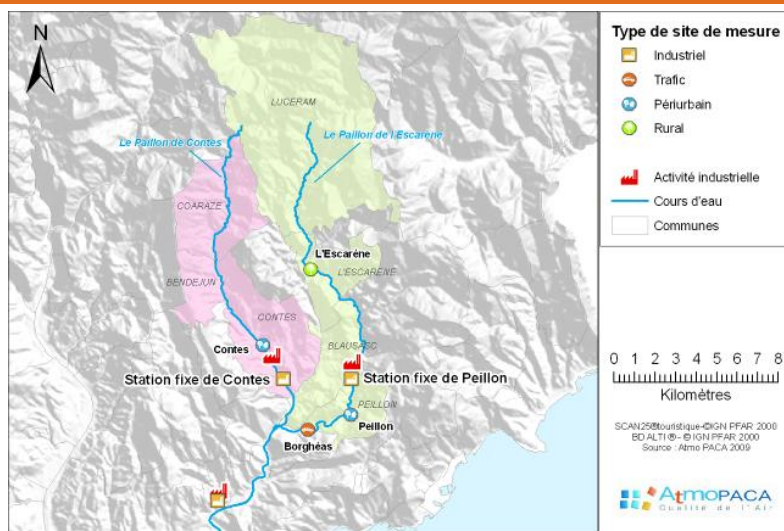
- 451 filtres prélevés
- 151 filtres analysés
- 38 analyses complètes et Chemical Mass Balance CMB.



- Mesure par échantillonneur passifs, dioxyde d'azote (NO₂)



- Mesure des particules par pDR,



Carte du périmètre de l'étude et des sites de mesure

- Mesure par tir LiDAR dans les deux vallées, par la société Leosphère dans le cadre d'un programme d'études exploratoires sur la pollution particulaire sollicité par l'ADEME.





Caractérisation chimique des particules et contributions des sources – Vallées des Paillons –

MÉTÉOROLOGIE DANS LES VALLÉES DES PAILLONS :

Les données relevées sur les vallées des Paillons montrent que les conditions météorologiques sont régulièrement favorables à l'accumulation des polluants émis dans ces vallées :

Le régime de brise mesuré à Peillon, montre que l'hiver, la brise diurne est comprise entre 11h et 14h avec des vents faibles (1.3 m/s) et donc peu dispersifs, tandis que l'été, la brise est mesurée entre 9h et 17h avec des vitesses de vent plus importantes (2.5 m/s).

Les inversions thermiques dans ces vallées sont présentes la nuit durant toutes les saisons. Elles sont beaucoup plus persistantes en journée pendant les périodes hivernales, la dispersion des polluants ne s'effectue que de 11h à 14h avec le réchauffement de l'atmosphère et la levée de la brise diurne.



Exemples d'inversion thermique produisant une accumulation de polluants au niveau du sol. (Gauche : forte inversion sur les deux vallées (brume + émission + panaches cimenteries, Droite : panache d'un brûlage de déchets verts en aval à Peillon)

LE DIOXYDE D'AZOTE DANS LES VALLÉES DES PAILLONS :

Les mesures en dioxyde d'azote sur les six sites de mesures (Contes, quartier du Pilon, Peillon, salle polyvalente, Borghéas et l'Escarène) respectent les valeurs limites réglementaires. **Les niveaux constatés dans les vallées des Paillons restent les plus faibles des sites de surveillance des Alpes-Maritimes.**

L'étude des *profils horaires hebdomadaires* à Peillon et à Contes indique que les poids lourds sont principalement à l'origine de l'augmentation du pic de concentration en dioxyde d'azote pendant les jours ouvrés, par rapport au weekend.

Une décroissance rapide des concentrations moyennes en dioxyde d'azote a été montrée à proximité des deux stations de Peillon et Contes, avec respectivement 35 µg/m³ sur la RD15 et 25 µg/m³ sur le site de Contes, 31 µg/m³ sur la RD21 et 22 µg/m³ sur le site de Peillon.

LES PARTICULES DANS LA VALLÉE DE CONTES

En 2009, les concentrations en PM10 sur la station de Contes respectent la valeur limite annuelle avec 38 µg/m³ en moyenne annuelle. Néanmoins, **avec 53 dépassements de la valeur limite journalière de 50 µg/m³, la tolérance réglementaire de 35 dépassements n'est pas respectée.**

L'étude des *profils horaires hebdomadaires* à Contes indique une bonne corrélation entre le trafic des véhicules légers et l'augmentation du pic de concentration en PM10 pendant les jours ouvrés. Les profils horaires sont marqués quotidiennement en milieu de journée par une baisse de concentration induite par une augmentation de la vitesse du vent. Plus les températures sont élevées en journée et plus la durée de la période dispersive est importante de 12h à 14h en hiver, de 9h à 17h en été.

Les relevés réalisés dans le quartier du Pilon, au nord du site de la cimenterie, indiquent que la représentativité de la station de Contes s'étend nettement au nord de la vallée de Contes.

Les tirs LiDAR réalisés en altitude (402 mètres) ont détecté la présence de particules dans **le panache de la cimenterie**, mais également de celles issues de **la combustion de biomasse au niveau de la Vernéa.**



Caractérisation chimique des particules et contributions des sources – Vallées des Paillons –

LES PARTICULES DANS LA VALLEE DE PEILLON

En 2009, les concentrations en PM₁₀ sur la station de Peillon respectent la valeur limite annuelle avec 32 µg/m³ en moyenne annuelle. De même, avec 24 dépassements de la valeur limite journalière de 50 µg/m³, la tolérance réglementaire de 35 dépassements est respectée pour la seconde fois depuis le début des mesures en 2003.

Comme à Contes, les concentrations en particules dépendent des conditions météorologiques particulières des vallées. Les profils horaires sont aussi marqués quotidiennement en milieu de journée par une baisse de concentration induite par l'augmentation de la vitesse du vent.

L'étude des profils horaires en PM₁₀ et PM_{2,5} montre qu'en été, les pics de PM₁₀ sont essentiellement dus aux particules les plus grosses (supérieures à 2.5 µm), tandis qu'en hiver, ils sont majoritairement composés de particules plus fines (inférieures à 2.5 µm). **L'étude des profils horaires hebdomadaires** à Peillon a également montré que l'ensemble du trafic (poids lourds + véhicules légers) contribue à des concentrations plus élevées durant les jours ouvrés.

Sur le site trafic de Borghéas et sur celui de la salle polyvalente de Peillon, le risque de dépassement est possible, mais atténué par rapport à la station fixe de Peillon. Les concentrations moyennes et les évolutions dans la vallée sont bien corrélées sur les trois sites, toutefois les dépassements sont moins nombreux sur les deux sites en aval de la station de Peillon. Les périodes de dépassements ne sont pas bien corrélées entre l'amont et l'aval de la vallée.

Les tirs LiDAR réalisés en altitude au dessus de la vallée ont mis en évidence la présence de particules dans **le panache de la cimenterie**, mais également de celles issues de **la combustion de biomasse** au dessus de la Grave de Peille.

LES PARTICULES A L'ESCARÈNE

Les concentrations en PM₁₀ à l'Escarène, mesurées uniquement sur la période estivale, sont légèrement inférieures aux niveaux de Contes et Peillon (-5 µg/m³). Les concentrations estivales élevées sur les sites trafic et rural, indiquent une ou plusieurs sources de particules supplémentaires, autres que les combustions locales durant cette période.

Malgré l'absence de données hivernales, les analyses chimiques, effectuées sur les deux saisons indiquent comparativement aux autres sites, des concentrations hivernales moindres en situation rurale. Par conséquent, il est fort probable que la réglementation annuelle soit respectée (moins de 18 dépassements journaliers sur l'année).

LE BENZO(A)PYRENE B(A)P DANS LES VALLEES DES PAILLONS

Les concentrations en B(a)P à Contes et à Peillon sont plus élevées que les niveaux mesurés sur les grandes agglomérations de PACA durant l'hiver et l'été. Un risque de dépassement de la valeur cible existe dans les deux vallées, notamment dans la vallée de Contes.

Le site en proximité trafic de Borghéas mesure des niveaux équivalents à ceux de Peillon, tandis que les mesures sur le site rural apparaissent nettement inférieures aux concentrations mesurées dans les deux vallées.

LES METAUX LOURDS REGLEMENTES DANS LES VALLEES DES PAILLONS (ARSENIC, CADMIUM, NICKEL, PLOMB)

Durant la période hivernale, les concentrations en nickel à Contes (les 23 et 24 décembre 2008) ainsi que les concentrations en arsenic à Contes et Peillon présentent des niveaux plus élevés que ceux habituellement observés en PACA. Toutefois, eut égard aux niveaux mesurés, les concentrations en métaux lourds (As, Ni, Cd, Pb) devraient respecter les valeurs cibles européennes.

Le nombre de prélèvements en B(a)P et métaux lourds n'est pas suffisamment représentatif de l'année pour réaliser une comparaison avec les valeurs cibles européennes. Ces mesures donnent cependant des indications sur les concentrations de ces polluants dans les zones où la surveillance n'est pas obligatoire à l'heure actuelle.



Caractérisation chimique des particules et contributions des sources – Vallées des Paillons –

CARACTERISATION CHIMIQUE DES PARTICULES

L'analyse des particules en suspension dans l'air ambiant est complexe. La grande diversité des sources d'émissions, dont chacune a une composition chimique distincte, l'état physique, la granulométrie des particules ainsi que les évolutions de conversion de gaz en particules sont autant d'éléments qui rendent leur caractérisation complexe.

Les nombreuses analyses chimiques réalisées par les laboratoires LGGE et LCP-IRA ont permis d'améliorer les connaissances sur la pollution particulaire dans les vallées des Paillons et de mieux comprendre les processus qui en sont à l'origine.

Composition hiver des particules dans les vallées des Paillons

Les concentrations de la phase carbonée des particules (OC et EC) sont atypiques dans les deux vallées en comparaison de celles collectées dans la littérature. Elles représentent entre 50 % et 90 % des particules, caractérisant la présence de particules issues de combustion locale.

Le lévoglucosan, composé organique, affiche des concentrations élevées avec une variation importante d'une journée à l'autre sur les deux stations fixes. Ce composé, spécifique de la combustion de cellulose, permet de tracer les combustions de biomasse.

La fraction ionique est mesurée dans des concentrations faibles sur les deux stations fixes. Une diminution des niveaux de sulfates a été observée à Contes entre les périodes de fonctionnement et de non fonctionnement de la cimenterie.

La part crustale est estimée à partir des travaux menés par le LGGE. Elle constitue, sur les filtres analysés, une part importante des particules (de 12 % à 43 % selon les prélèvements).

Composition été des particules dans les vallées des Paillons

La composante carbonée estivale est beaucoup plus faible qu'en hiver, avec 20 % à Peillon et 22 % à Contes. Les sources locales d'émissions dues à la combustion sont toujours présentes l'été, mais elles représentent une proportion des particules bien moins importante.

Les concentrations en lévoglucosan sont très faibles, à l'exception de quelques journées en mai. La combustion de biomasse est identifiée ponctuellement mais dans des proportions beaucoup plus faibles qu'hiver. Le chauffage au bois n'est plus une source d'émission à cette saison, suite à l'arrêté du 19 juin 2009 interdisant les brûlages du 1^{er} juillet au 30 septembre 2009.

La fraction ionique est plus élevée l'été. A l'exception du calcium (Ca^{2+}), les composés ioniques sont mesurés dans les mêmes concentrations sur les différents sites : rural, trafic, Peillon et Contes.

La phase crustale est prédominante l'été sur la composition des particules à Peillon et Contes. Elle constitue plus de 40 % de la phase particulaire. Ces résultats concordent avec ceux des comparaisons PM_{2,5} et PM₁₀ sur le site de Peillon, car les particules minérales sont principalement des grosses particules ($>2,5\mu\text{m}$).



Caractérisation chimique des particules et contributions des sources – Vallées des Paillons –

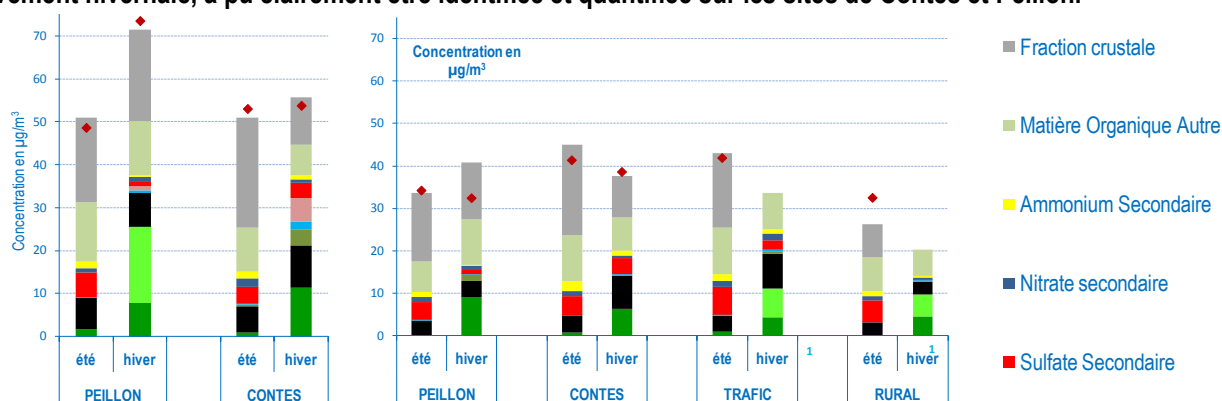
CONTRIBUTION MOYENNE DES SOURCES EN PARTICULES DANS LES VALLEES DES PAILLONS

Les contributions des sources primaires en PM₁₀ ont été calculées à l'aide de deux approches : l'une permettant d'accéder à la fraction crustale (LGGE) et l'autre, approche Chemical Mass Balance (CMB), destinée à quantifier les autres principales sources primaires (LCP-IRA).

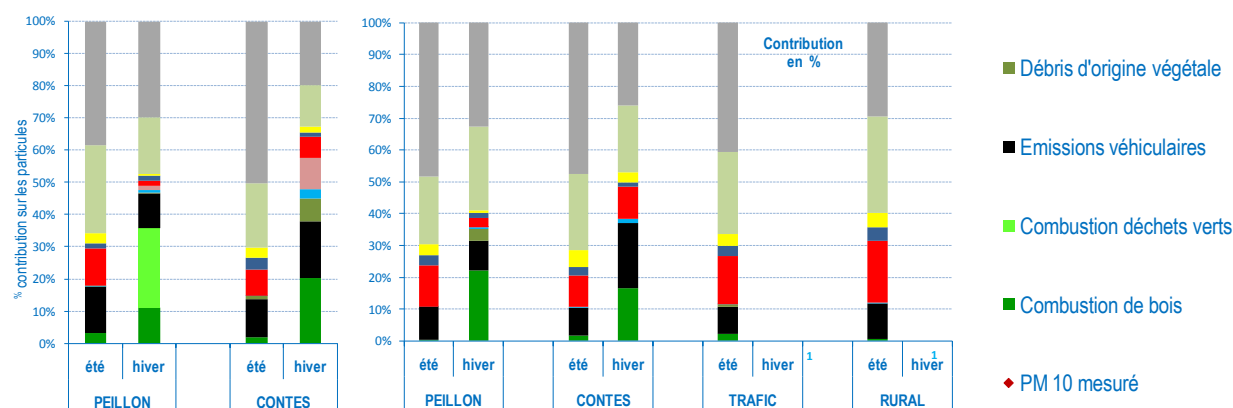
L'approche CMB est basée sur une déconvolution des empreintes chimiques établies pour une série de marqueurs de sources organiques et métalliques. **Les sources primaires dont les empreintes chimiques sont bien identifiées et pouvant être déconvoluées avec un excellent niveau de confiance ($\pm 20\%$ sur la concentration calculée) sont :**

- combustion de biomasse (chauffage résidentiel et combustion de déchets verts) ;
- émissions véhiculaires ;
- débris d'origine végétale ;
- combustion de gaz naturel.

Une des limites dans le cadre de cette étude est la connaissance des empreintes chimiques des sources ponctuelles. Les sources industrielles, étroitement liées à l'activité même de l'industrie, sont par conséquent, très variables. **Ne disposant pas d'empreintes chimiques fiables pour les industries présentes dans les vallées, la contribution spécifique de ces sources n'a pas pu être nettement mise en évidence. Seule la combustion de fuel lourd, au cours de la campagne de prélèvement hivernale, a pu clairement être identifiée et quantifiée sur les sites de Contes et Peillon.**



Concentrations par site et par saison, périodes de dépassement à gauche et situation moyenne à droite.



Contributions par site et par saison, périodes de dépassement à gauche et situation moyenne à droite.

¹ en hiver les sites rural et trafic n'étaient pas équipés d'un laboratoire mobile en parallèle des prélèvements.



Caractérisation chimique des particules et contributions des sources – Vallées des Paillons –

Les contributions des sources crustales sont élevées sur les deux vallées, elles atteignent près de 30 % l'hiver et 50 % l'été, alors que les contributions crustales habituellement mesurées en Europe sont en moyenne comprises entre 4 % et 28 % de la masse des particules (Putaud et al 2010). Les niveaux mesurés mettent en évidence l'impact des sources crustales locales : les activités de la carrière, la remise en suspension de particules crustales par le trafic, ainsi que l'érosion des sols par le vent. Cette contribution crustale, plus importante l'été, est cohérente avec les résultats PM_{2,5}/PM₁₀ à Peillon et les contributions en calcium plus marquées sur les deux sites industriels que sur les sites rural et trafic.

Les contributions des sources véhiculaires sont élevées pour des vallées desservant de 4 500 habitants (Peillon) à 9 000 habitants (Contes). La contribution à Peillon est assez constante avec 11 à 12 % de la masse des particules. Sur Contes, la contribution en hiver est beaucoup plus importante, avec 19 % contre 11 % en été. Ces contributions sont supérieures à celles mesurées l'hiver sur Rouen (10 %), Grenoble (10 %) et Lyon (11 %).

La combustion de bois représente une contribution significative en hiver : 18 % à 20 % sur les deux vallées. Elle est également présente sur les sites rural et trafic. Ce pourcentage est comparable à celui d'une zone urbaine en hiver (elle atteint 35 % à Lyon).

Les combustions de déchets verts sont bien identifiées les 16 et 18/11 à Borghéas, le 17/11 et le 9/12 à Peillon, les 20-21/12 à l'Escarène. De plus, les 20 et 21/12 à Contes (en journée et dans la nuit), 7% de la masse de particules sont associées à une contribution d'origine végétale. Cette valeur inhabituelle est probablement à mettre en relation avec des combustions de déchets verts. Ces combustions n'ont pas été identifiées durant l'été.

Le 9 décembre 2008, les combustions de déchets verts, observées avec le tir LiDAR au dessus de la Grave de Peille, ont contribué à hauteur de **45 %**, à une concentration de 105 µg/m³ sur 24h. Cette journée, les conditions atmosphériques étaient très défavorables à la dispersion des polluants.

La combustion de fuel lourd a pu être identifiée à deux reprises le 18/11 à Peillon (8%) et les 20 et 21/12 (en journée) à Contes (18.5%). Cette source peut donc être significative quand elle impacte l'atmosphère dans ses plus basses couches.

Les concentrations en ions secondaires ne représentent que 15 à 20 % des contributions l'été sur les sites des deux vallées. A titre de comparaison, les sulfates et les nitrates représentent à eux seuls 30 % des PM₁₀ dans les environnements ruraux du Sud de l'Europe (Putaud et al, 2010). Cette faible proportion témoigne très probablement du relatif isolement de la vallée vis-à-vis des apports extérieurs.

Les contributions des autres matières organiques représentent en moyenne entre 18 % (Contes) et 22 % (Peillon) de la masse des particules. Cela constitue la part non identifiée de la matière organique. Des proportions similaires ont été obtenues sur Marseille, dans le cadre du projet FORMES. Ces pourcentages comprennent les sources pour lesquelles les profils ne sont pas encore connus dans la littérature, telles que la fraction biogénique secondaire et les sources de combustion du four des cimenteries en fonction du combustible (coke, grignon, ...).



Caractérisation chimique des particules et contributions des sources – Vallées des Paillons –

SYNTHESE DE L'ETUDE

L'étude des contributions et des concentrations en particules met en évidence des phénomènes complexes et variables en fonction des saisons, des conditions météorologiques et des activités locales épisodiques, récurrentes et permanentes.

Les sources d'émissions récurrentes ou permanentes sont :

- **Le trafic routier** représente de 11 à 19 % de la masse des particules. Cette source est plus importante pendant les jours ouvrés.
- **Les activités de la cimenterie hors four** (carrière, roulage des véhicules, stockage et transport des matières), contribuent à augmenter la part des sources crustales. L'ensemble de ces sources crustales atteint près de 50% de la masse des particules durant l'été, tandis que le site rural à l'Escarène mesure une contribution de 29%.
- **Le chauffage au bois** représente **en hiver** 18% de la masse des particules.
- **La combustion du four des cimenteries** est quasiment permanente, toutefois du fait de l'absence d'empreintes chimiques fiables, la contribution spécifique de ces sources n'a pas pu être mise en évidence. Le post-traitement des analyses chimiques et des concentrations en PM10, avec et sans fonctionnement des fours, n'a pas permis d'identifier clairement cette combustion. En raison des hauteurs de cheminées, des vitesses et des températures de rejets favorisant la dispersion, cette source **ne semble pas contribuer majoritairement aux concentrations de particules dans les vallées.**

Certaines sources épisodiques de particules ont été identifiées comme facteur aggravant lors des dépassements :

- **La combustion de fuel lourd** a pu atteindre jusqu'à 18 % de la masse des particules. La présence de combustion de fuel lourd, est identifiée une fois dans chacune des vallées. Elle peut être associée à l'activité des cimenteries.
- **Les brûlages de déchets verts** peuvent représenter jusqu'à 45 % de la masse des particules. Cette source de particules a été identifiée l'hiver sur les 4 sites de prélèvement.

A ces sources d'émissions s'ajoutent l'influence des conditions météorologiques particulièrement défavorables dans les vallées. Le régime de brises thermiques associé aux inversions thermiques importantes en toutes saisons favorise l'accumulation des polluants. Ce phénomène est d'autant plus présent l'hiver, période où les émissions de combustion sont plus également nombreuses.