

EMCAIR

émissions des carrières dans l'air rapport d'étude

mars 2018

air | pays de
la loire
www.airpl.org



sommaire

synthèse	1
introduction et objectifs	2
contexte de l'étude	3
les polluants étudiés.....	3
le site étudié : la carrière E.....	4
dispositif de mesure	7
résultats de l'étude	11
contexte météorologique.....	11
niveau de fond régional.....	14
statistiques générales sur les données de mesure.....	15
analyse détaillée des résultats	26
conclusions et perspectives	34
annexes.....	35
bibliographie.....	49
glossaire	50

contributions

Coordination de l'étude : Corentin Lemaire - Exploitation statistique et rédaction : Zoé Brasseur, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire, Sonia Cécile, Validation : François Ducroz, David Bréhon.

conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 1^{er} août 2016 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet www.airpl.org, etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

remerciements

Air Pays de la Loire remercie l'ensemble des partenaires du projet : l'Unicem et l'UNPG, l'ADEME, le Citepa, Air Breizh, Atmo Hauts-de-France et le LSCE, ainsi que l'INERIS et la DREAL Pays de la Loire.

synthèse

contexte : émissions des carrières dans l'air

Les industries extractives, et plus précisément les industries du granulat, peuvent être associées à l'image d'une activité fortement génératrice de poussières. Afin d'en savoir plus sur ces émissions de poussières, l'UNPG a sollicité Air Pays de la Loire, Air Breizh et Atmo Hauts-de-France pour participer au projet EMCAIR, financé par l'ADEME dans le cadre de l'appel à projets CORTEA.

objectifs : améliorer les connaissances sur les particules émises

Le projet répond à deux objectifs complémentaires :

- améliorer la connaissance scientifique des émissions des particules des carrières, en déterminant une composition chimique caractéristique de ces particules,
- mieux identifier les différents postes émetteurs dans la carrière afin de préciser les facteurs d'émissions utilisés pour le suivi des installations. Aujourd'hui ces facteurs d'émissions ne rendent pas assez bien compte de la répartition granulométrique des particules émises par les carrières.

moyens : trois laboratoires mobiles et de nombreux préleveurs

Une carrière de Loire-Atlantique a été équipée d'un laboratoire mobile pendant deux mois (du 15 juin au 13 juillet 2016 et du 16 novembre au 14 décembre 2016) pour la mesure automatique des PM_{10} et des $PM_{2,5}$ ainsi que de préleveurs sur filtres et d'une jauge Owen pour collecter les dépôts.

Deux sites en dehors de la carrière, l'un au vent, l'autre sous le vent, ont également été équipés de ces dispositifs (les vents dominants sur la zone sont de sud-ouest).

résultats : un apport marqué en PM_{10} dans la carrière

L'analyse des mesures automatiques en PM_{10} et $PM_{2,5}$ a permis de montrer que :

- la carrière est un site qui connaît de forts pics de concentrations en PM_{10} mais des niveaux en $PM_{2,5}$ similaires au fond régional,
- les sites en dehors de la carrière ont des niveaux en PM_{10} et $PM_{2,5}$ similaires au fond régional. Quand ces sites sont sous les vents de la carrière, une influence peut être notée sur le niveau de PM_{10} , dans des proportions relativement faibles et sans que les niveaux moyens s'en trouvent sensiblement modifiés. En hiver, cette influence ne s'observe pas en raison de niveaux moyens plus élevés sur toute la région.

Par ailleurs, les retombées en dehors de la carrière sont faibles et respectent les valeurs prescrites par l'arrêté de surveillance des exploitations d'extraction de granulats.

Les analyses chimiques, non détaillées dans ce rapport, confirment ces résultats.

conclusions et perspectives

Les campagnes de mesure réalisées en 2016 permettent de mieux apprécier la répartition granulométrique réelle des émissions de particules et de vérifier que l'influence de la carrière est faible pour les riverains, même proches.

Des approches complémentaires (tests sur les activités, modélisation) pourraient être déployées par les professionnels du secteur et les AASQA pour comprendre encore plus finement les mécanismes d'émissions et agir le plus efficacement à la source.

introduction et objectifs

Dans le cadre de l'appel à projets CORTEA, Air Pays de la Loire a participé au projet EMCAIR (Émissions des carrières dans l'air) financé par l'ADEME et piloté par l'UNPG, l'Union Nationale des Producteurs de Granulats. Ce projet s'intéresse aux industries extractives qui peuvent être associées à une image d'activité fortement émettrice de poussières.

Les objectifs de ce projet ont été :

- mieux comprendre le rôle des différents postes d'émissions au sein d'une carrière, notamment sur la granulométrie des émissions, par une mesure quantitative des concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5},
- améliorer la connaissance des particules émises par les carrières, en étudiant la composition chimique et minéralogique de ces particules, pour différentes gammes de granulométrie,
- affiner les facteurs d'émissions relatifs aux exploitations des granulats. En effet, les carrières étant des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), elles sont soumises à un suivi des émissions de poussières.

Afin de répondre aux différentes problématiques soulevées par le projet EMCAIR, un partenariat a été mis en place entre les acteurs suivants :

- l'UNPG et l'UNICEM, syndicats professionnels en charge de la coordination du projet,
- les AASQA *Air Pays de la Loire*, *Air Breizh* et *Atmo Hauts-de-France*, en charge des campagnes de mesure et de l'exploitation des données,
- le CITEPA qui apporte son expertise sur les facteurs d'émissions et qui a notamment développé l'outil permettant aux exploitants carriers de calculer leurs émissions [1] ,
- le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) qui prend en charge les analyses minéralogiques des échantillons,
- l'ADEME, pour le financement et l'aide au pilotage.

Pour répondre à ces objectifs, deux campagnes de mesure de poussières sont réalisées dans et aux alentours d'un gisement situé en Loire-Atlantique et exploité par trois industriels.

Ce rapport présente les résultats de ces campagnes de mesure, qui ont eu lieu du 15 juin au 13 juillet 2016 et du 16 novembre au 14 décembre 2016, sur le bassin d'extraction de Rouans, en Loire-Atlantique.

contexte de l'étude

les polluants étudiés

Les polluants étudiés dans cette étude sont les particules en suspension PM_{10} et $PM_{2,5}$ ainsi que les poussières sédimentables.

les particules en suspension (PM_{10} et $PM_{2,5}$)

Elles sont aujourd'hui l'un des principaux indicateurs de la qualité de l'air. Ces particules varient beaucoup du point de vue de la taille, des origines, et de la composition chimique. Elles sont classées selon leurs propriétés aérodynamiques : ainsi les PM_{10} représentent les particules de taille inférieure à $10\ \mu m$ et les $PM_{2,5}$ correspondent aux particules de taille inférieure à $2,5\ \mu m$.

Ces particules peuvent être d'origine naturelle (sel de mer, éruptions volcaniques, feux de forêt et érosion des sols par le vent) ou d'origine anthropique. Dans ce dernier cas, les principales sources de particules sont les installations de combustion, les transports (moteurs diesels, usure des pneus,...), les activités industrielles ou encore l'agriculture. La grande variété de sources d'émissions rend difficile l'estimation de la composition chimique des particules en suspension dans l'atmosphère. Les particules primaires, directement émises dans l'atmosphère, sont par ailleurs à différencier des particules secondaires issues de la transformation de polluants déjà présents dans l'atmosphère.

Les particules en suspension ont une incidence sur la santé humaine. Plus elles sont fines et plus elles pénètrent profondément dans les voies respiratoires. Certaines particules ont également des propriétés mutagènes et cancérigènes du fait de leur aptitude à adsorber des polluants tels que les hydrocarbures aromatiques ou les métaux lourds.

Pour prévenir ces effets, qui peuvent survenir même à faible concentration, une réglementation Européenne a été mise en place et prévoit notamment de ne pas dépasser certains seuils de concentrations afin de limiter l'exposition des populations. Cette réglementation a été transposée en droit français dans le code de l'environnement. Les différentes valeurs de ces seuils réglementaires, ainsi que les valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé sont présentes en annexe 4.

A noter que cette réglementation s'applique pour l'air ambiant, « à l'exclusion des lieux de travail tels que définis à l'article R. 4211-2 du code du travail » [2]. Ainsi le site de la carrière étudié dans ce projet n'est pas soumis à la même réglementation et n'est donc pas concerné par les mêmes seuils réglementaires.

En outre, les particules en suspension peuvent également avoir des effets sur l'environnement notamment par la salissure des bâtiments ou par leur intervention dans les processus météorologiques et climatiques (formation de nuages, réchauffement et refroidissement de l'atmosphère...).

les poussières sédimentables

Ce sont des particules qui se déposent au niveau du sol soit par dépôt sec (gravité), soit en étant entraînées par la pluie ou la neige. Les poussières sédimentables sont donc constituées de particules de diamètre aérodynamique variable (du dixième de micromètre au millimètre). Elles peuvent être d'origine naturelle (feux de forêts, volcans, pollens, érosions des sols...) ou bien d'origine anthropique (fours à chaux, carrières, industries chimiques, sidérurgie...).

Malgré leur taille, les poussières sédimentables peuvent avoir des effets néfastes sur la santé, notamment parce qu'elles peuvent être ingérées et provoquer des effets liés à leur éventuelle toxicité. Selon leur composition, elles peuvent également avoir un impact sur l'environnement en provoquant des salissures ou encore en infectant l'eau et les sols.

Aujourd'hui, le code de l'environnement ne prévoit aucun suivi réglementaire de ces poussières sédimentables. Toutefois, dans le cas des exploitations extractives, l'arrêté du 30/09/2016 prévoit le suivi des retombées atmosphériques totales via l'utilisation de jauges de retombées comme les jauges Owen [3].

le site étudié

description de la carrière



La carrière est située à environ 30 kilomètres au sud-ouest de Nantes dans le département de la Loire-Atlantique (44), entre les communes de Rouans et de Chéméré. Il s'agit d'un gisement métamorphique (gneiss principalement). Le site a été ouvert à l'exploitation en 1973 et présente une superficie de plus de 100 hectares. Il s'agit de carrières de roche massive produisant des granulats et qui répond aux besoins en matériaux dans un rayon de 40 kilomètres. Ces granulats sont principalement utilisés pour la fabrication de béton et d'infrastructures routières et ferroviaires.

principe de fonctionnement d'une carrière de roche massive :



Figure 1 : schéma de principe de fonctionnement d'une carrière de roche massive [6]

La première étape consiste à extraire les roches à l'aide d'explosifs : c'est **l'extraction**. Les éclats de roche, également appelés **tout-venant**, sont ensuite chargés dans des **dumpers** et transportés vers les installations de traitement.

Les matériaux bruts vont alors subir différents **traitements** afin d'obtenir une gamme variée de granulats qui répondront à différents critères techniques.

- ⇒ le **concassage** : consiste à réduire la taille des morceaux de roche. Le concassage primaire permet d'obtenir des matériaux relativement grossiers alors que les concassages secondaires et tertiaires permettent d'obtenir des matériaux de plus en plus fins.
- ⇒ le **criblage** ou tamisage : permet de sélectionner les grains et de les séparer selon leur granulométrie. Cette opération peut être répétée plusieurs fois afin d'obtenir des granulats dans tous les calibres souhaités.
- ⇒ le **lavage** : permet d'éliminer les poussières agglomérées sur les granulats. Il s'agit d'une opération destinée à la production de granulats dits « propres », en particulier pour la fabrication de béton.

L'étape de **stockage** est une des étapes intermédiaires dans le processus de fabrication des granulats. Ce stockage peut s'opérer sous forme de tas individualisés au sol ou en trémies, en particulier pour les granulométries plus fines.

Enfin viennent les étapes de **chargement** et **livraison clients**. Les camions sont chargés à partir des stockages au sol ou des trémies et ils sont ensuite pesés sur un pont-basculé. Un arrosage ou un bâchage est recommandé avant la sortie de la carrière.

Voici un plan détaillé de la carrière E :

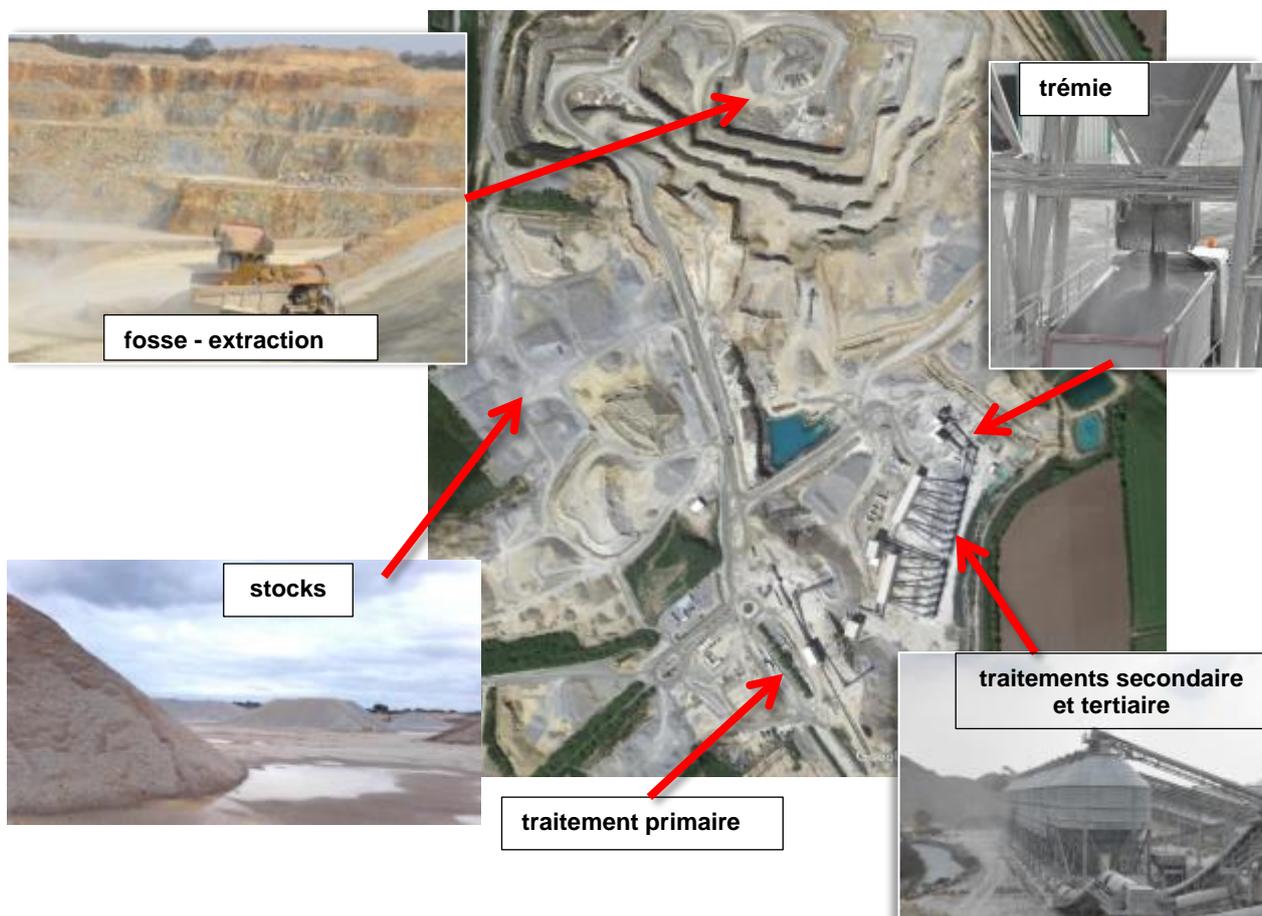


Figure 2 : plan détaillé de la carrière E

les postes émetteurs de poussières

Pour chaque étape de production citée dans le paragraphe précédent, la nature des poussières émises, leur granulométrie, leur quantité ainsi que le processus de mise en suspension sont très différents. Le rapport « Carrières, poussières et environnement » de l'UNICEM [4] propose ainsi un classement des différentes activités en fonction des quantités de poussières produites :

Sources d'émission modérée	Sources d'émission importante	Sources d'émission très importante
Décapage	Transport par verse	Circulation des engins et tombereaux en carrière
Foration	Stockage/déstockage	Concassage
Minage	Évacuation des matériaux	Criblage
Transport par convoyeur		
Lavage		

Tableau 1 : classification des postes d'activité en fonction des quantités de poussières produites

Pour réduire ces émissions de poussières, plusieurs mesures ont été mises en place dans la carrière :

- **l'arrosage des pistes** : il peut être effectué à l'aide d'un camion-citerne équipé d'une rampe d'arrosage à l'arrière. Dans ce cas le camion-citerne parcourt les pistes en les arrosant. La consommation en eau de ce procédé est assez importante et l'effet reste temporaire mais il permet une première réduction des émissions et remises en suspension des poussières.

- **l'abattage des poussières**: la pulvérisation d'eau sur un certain nombre de points fixes permet de réduire les envols. Par exemple à l'alimentation ou à la sortie de certains appareils (concasseur), dans certaines goulottes, ou encore au poste de chargement des camions.

- **le bâchage des camions** : après l'étape de chargement du client, les véhicules qui évacuent les matériaux peuvent être bâchés au niveau de leur benne. A noter que dans certains départements, cette étape de bâchage peut être rendue obligatoire.

- **le dépoussiérage** : il consiste à confiner une série d'appareils (par capotages, tôleries et dispositifs d'étanchéité adaptés) afin de les mettre en dépression et de filtrer le débit d'air aspiré. De tels dispositifs sont mis en place sur les installations de la carrière E notamment sur les postes de concassage et de criblage.

représentativité de l'activité de l'exploitation pendant la campagne

Les concentrations en particules mesurées au cours de la campagne EMCAIR dépendent évidemment de l'intensité des activités de la carrière. Afin de savoir si ces mesures sont représentatives, il est important de comparer les données d'activités de l'exploitation pendant la campagne avec celles du reste de l'année.

D'après les données d'activité de l'entreprise, les périodes auxquelles ont été effectuées les campagnes de mesure représentent environ 10 % et 7 % de l'activité de l'année, concernant le déstockage et les ventes directes. Ces périodes d'études sont donc bien représentatives de l'activité annuelle de la carrière, bien qu'il s'agisse d'une année de plutôt faible activité au regard de la production départementale de granulats, fournie par la DREAL.

dispositif de mesure

Afin de bénéficier de conditions météorologiques contrastées, deux campagnes de mesure d'un mois chacune ont été mises en place. Ces deux phases se sont déroulées :

campagne 1, campagne estivale	campagne 2, campagne hivernale
du 15 juin au 13 juillet 2016	du 16 novembre au 14 décembre 2016

localisation des sites de mesure

La carte ci-dessous indique l'emplacement des trois sites de mesure installés pour cette étude : deux sites se situent hors de la carrière et un site a été placé au sein même de celle-ci.

A noter que la localisation des sites de mesure est identique entre la campagne été et la campagne hiver.



Figure 3 : localisation des trois sites de mesure aux alentours et dans la carrière

Les sites de mesure ont été choisis en fonction de différents critères tels que l'accessibilité, la sécurité, la direction dominante du vent ou encore la proximité de la carrière.

Dans cette région des Pays de la Loire les vents dominants sont issus du sud-ouest. Il a donc été nécessaire de respecter cette diagonale lors du choix d'implantation des sites afin d'optimiser les chances d'être sous les vents de la carrière. Le site des Béchis pourra ainsi être nommé « site amont », tandis que le site des Rinières correspondra au « site aval ».

les Béchis, site amont



Figure 4 : photo et vue satellite du site amont, « Les Béchis »

Le site des Béchis se situe à moins d'un kilomètre de la carrière et la station mobile a été installée à proximité d'une ferme.

site carrière



Figure 5 : photo et vue satellite du site en carrière

Une station mobile a également été installée au sein de la carrière E, à proximité des installations de traitement et de chargement (voir description de la carrière), dans la partie Est de l'exploitation.

les Rinières, site aval



Figure 6 : photo et vue satellite du site aval, « Les Rinières »

Le site des Rinières se situe à un peu plus de 1,5 kilomètre de la carrière et la station mobile a été installée à proximité d'une ferme.

le dispositif de mesure

Deux types de mesure ont eu lieu pendant cette campagne :

- des mesures automatiques de concentrations, afin **d'estimer quantitativement** l'impact de la carrière,
- des prélèvements sur filtre ou en jauge, afin de conduire les analyses minéralogiques qui permettent de **caractériser l'empreinte des poussières** émises par la carrière.

Une caméra a également été installée dans la carrière, afin d'effectuer une surveillance à 360° autour du point de prélèvement et de repérer les différentes sources de poussières. De même, la vitesse et la direction du vent ont été mesurées au sein de la carrière pour connaître des conditions de vent sur le site.

Le tableau ci-dessous présente les différents appareils de mesure employés en fonction des sites de mesure et des paramètres mesurés :

Paramètres étudiés	Type de mesure	Appareils utilisés		
		• site des Béchis	• site carrière	• site des Rinières
Particules fines PM₁₀ et PM_{2,5}	<i>mesure automatique</i>	néphélomètre GRIMM	2 TEOM-FDMS	2 TEOM-FDMS
Composition chimique des particules fines	<i>mesure active - Prélèvements sur filtres</i>	partisol impacteur en cascade	partisol Impacteur en cascade	partisol impacteur en cascade
Particules sédimentables	<i>mesure passive - Sur dépôt</i>	jauge Owen	jauge Owen	jauge Owen
Conditions météorologiques	<i>mesure automatique</i>	-	girouette anémomètre	-
Conditions expérimentales	<i>mesure automatique</i>	-	caméra	-

Tableau 2 : liste des appareils de mesure utilisés pour chaque site de mesure. Les principes de fonctionnement de ces appareils sont présentés en annexe 3.

Équiper le site des Béchis d'un analyseur automatique avait pour objectif d'avoir une idée des concentrations en particules fines dans un environnement non impacté par la carrière, dans le cas où le site est bien en amont de celle-ci. Ainsi, les profils de concentrations relevés sur ce site pourront être comparés à ceux relevés sur le site des Rinières, en aval de la carrière, pour évaluer l'impact de celle-ci sur l'air extérieur.

Les appareils de mesures automatiques utilisés pour ces différents sites (Néphélomètre pour les Béchis et TEOM-FDMS pour les autres sites) n'étant pas basés sur la même technologie, il est possible qu'il y ait des différences dans les résultats des mesures de particules fines (biais métrologique). Le TEOM-FDMS utilise une méthode équivalente à la méthode gravimétrique prescrite par la norme NF EN 12341.

le dispositif de référence

Afin d'interpréter les résultats obtenus depuis les différents sites mobiles installés à proximité de la carrière et au sein même de celle-ci, les données seront comparées à celles de la station fixe de Saint-Denis-d'Anjou, qui fait partie du réseau de surveillance d'Air Pays de la Loire. Cette station, située à environ 150 kilomètres de la carrière, correspond à un site rural et permet donc de connaître les niveaux de fond en polluants de la région.

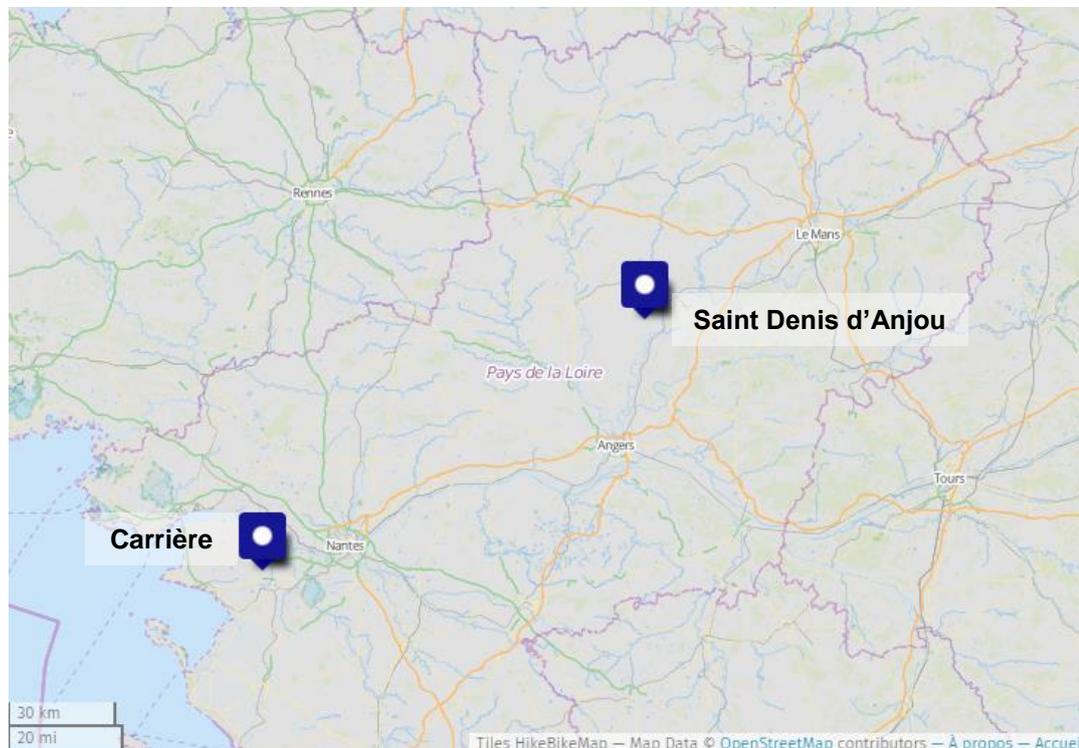


Figure 7 : localisation de Saint-Denis-d'Anjou par rapport à la carrière étudiée

résultats de l'étude

contexte météorologique

vents

La direction et la vitesse du vent sont des paramètres importants à prendre en compte lorsqu'il s'agit de comprendre la dispersion des polluants dans l'environnement et d'analyser la qualité de l'air extérieur. Grâce aux données mesurées à partir de la station mobile installée dans la carrière, il est possible de retracer les conditions de vent durant les campagnes.

Guide de lecture des roses des vents

- la direction d'où provient le vent est indiquée via les graduations du cercle. 360° correspond au nord, 270° correspond à l'ouest, 180° correspond au sud et 90° correspond à l'est.
- la vitesse du vent est indiquée via la couleur des cellules.
- la fréquence du vent est indiquée en pourcentage par les cercles concentriques.

campagne estivale

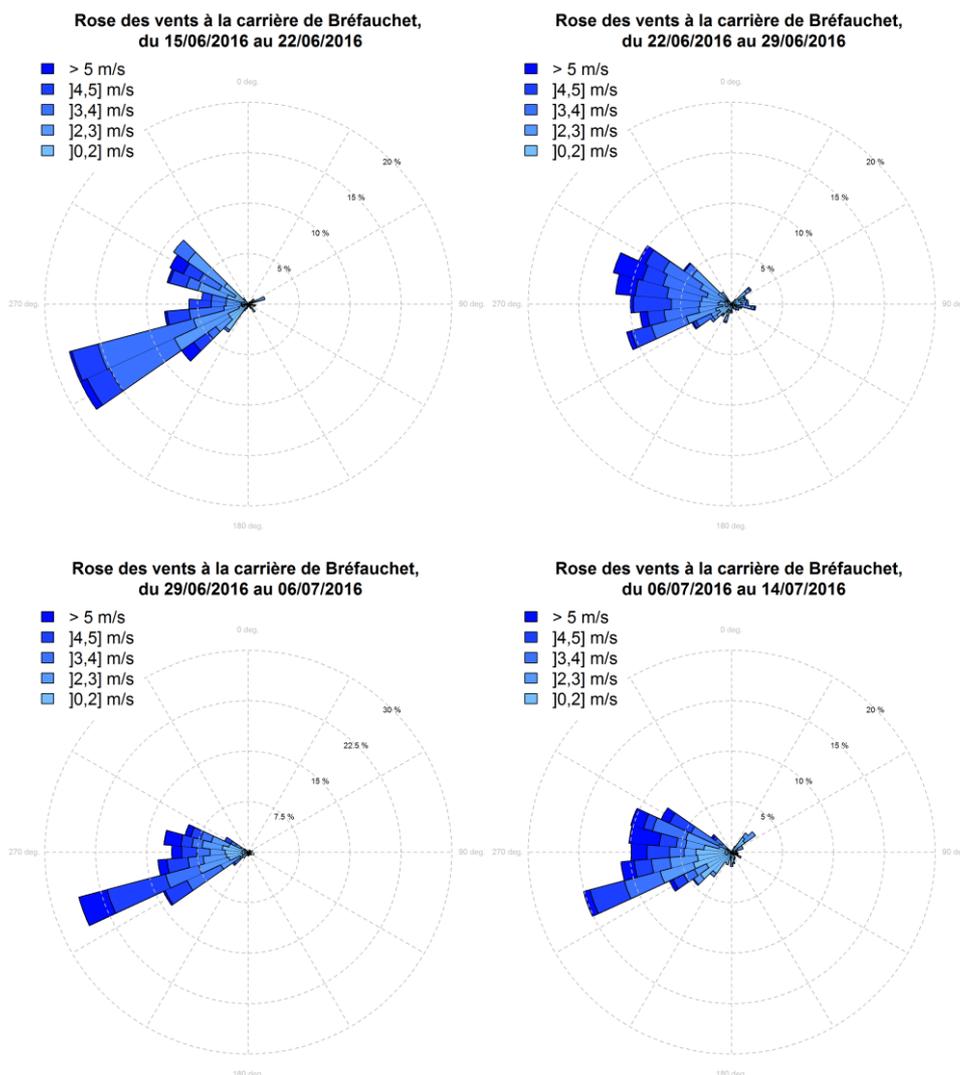


Figure 8 : roses des vents hebdomadaires au sein de la carrière durant la campagne estivale

La représentation hebdomadaire des roses des vents dans la carrière montre que les conditions de vent sont stables au cours de cette première campagne. La direction ouest (entre 240 et 300°) est prédominante, et des vitesses de vent assez fortes sont relevées. Etant donnée la direction prédominante, le site des Béchis ne devrait pas être influencé par la carrière tandis que le site des Rinières sera directement sous les vents provenant de la carrière, ce qui permettra d'évaluer l'impact de la carrière sur celui-ci.

campagne hivernale

En revanche lors de la seconde campagne les conditions de vent sont plus changeantes, comme le montre la représentation hebdomadaire ci-dessous. La direction du vent change d'une semaine à l'autre entre les directions sud-ouest et nord-est et des vitesses de vent assez fortes sont relevées lors des deux premières semaines de la campagne. ¹

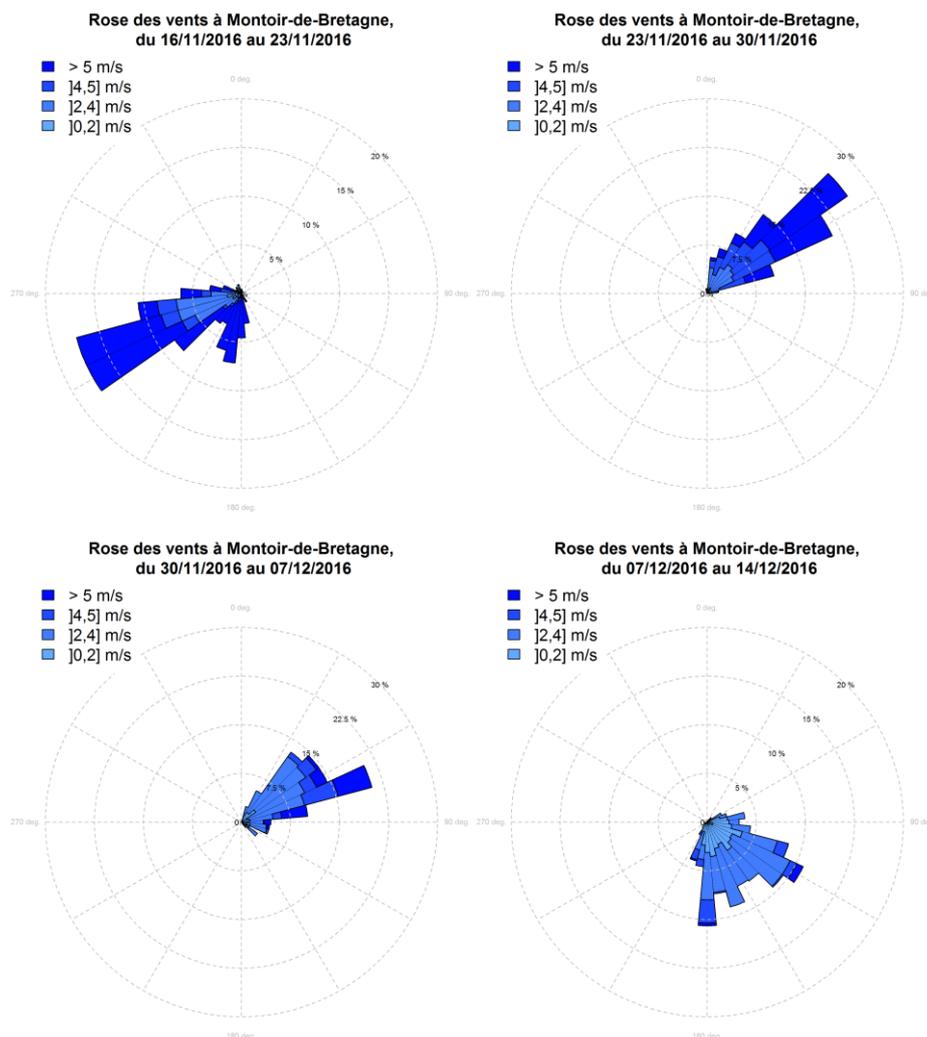


Figure 9 : roses des vents hebdomadaires à Montoir-de-Bretagne durant la seconde campagne (16/11/2016 au 14/12/2016)

Ces résultats permettent de conclure que le site des Rinières n'a pas été sous les vents de la carrière durant la deuxième et la troisième semaine de cette campagne.

En revanche le site des Béchis a été influencé par la carrière pendant ces semaines.

Durant la quatrième semaine, étant donné la direction du vent, aucun des deux sites n'est sous les vents de la carrière.

¹ A noter que pour cette seconde campagne ce sont les données de Météo France, mesurées à Montoir-de-Bretagne (situé à 45 km de la carrière E), qui ont été utilisées.

précipitations

Les données de pluviométrie ont été récupérées depuis la station de Météo-France située à Montoir-de-Bretagne. Durant les deux campagnes les précipitations sont plutôt faibles :

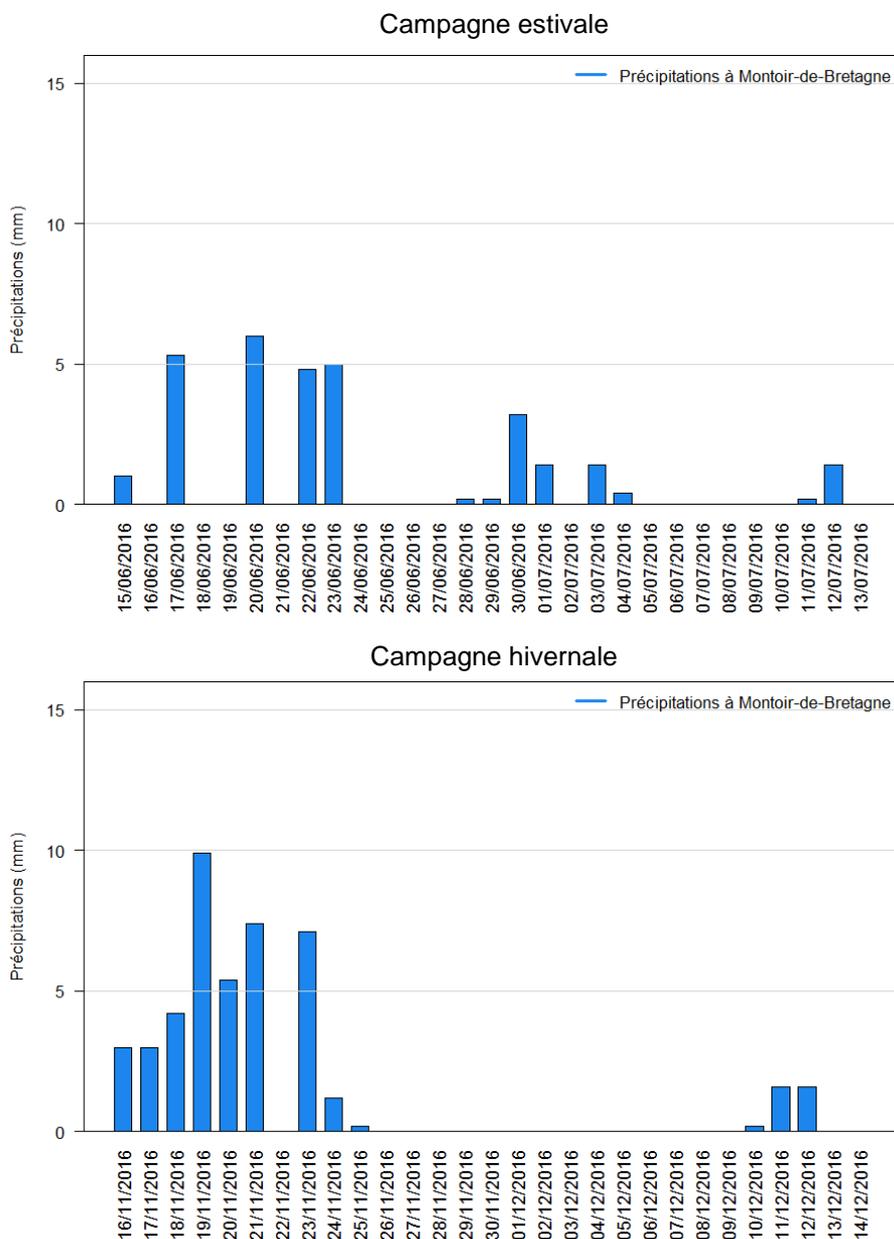


Figure 10 : précipitations au cours des deux campagnes

Pour les deux campagnes, les valeurs sont inférieures aux normales de saison :

	Campagne estivale	Campagne hivernale
Mesures	37,4 mm	45,6 mm
Normales de saison	45 mm	93 mm

Tableau 3 : normales de saison concernant les précipitations

De plus, tandis qu'en campagne estivale les jours de pluie sont dispersés tout au long du mois, en campagne hivernale les précipitations apparaissent surtout lors de la première semaine. Malgré cela les campagnes restent majoritairement sèches, ce qui permet de conclure que les deux campagnes ont connu des conditions favorables à un empoussièrément de la carrière.

niveau de fond régional

Un épisode de pollution correspond à une période pendant laquelle les concentrations de polluants dans l'atmosphère dépassent les seuils réglementaires. Les particules en suspension PM_{10} font partie des polluants qui peuvent faire l'objet d'une procédure de déclenchement d'épisode de pollution de l'air. Pour ces épisodes, deux niveaux sont à distinguer : le seuil d'information et de recommandation, fixé à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les moyennes journalières en PM_{10} et le seuil d'alerte, à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les moyennes journalières également. Le dépassement du premier seuil entraîne une information particulièrement renforcée auprès des publics sensibles, le dépassement du second seuil entraîne des mesures ciblées de réduction des émissions.

Au cours de cette étude, aucun épisode de pollution n'a été constaté. Cependant, lors de la seconde campagne de mesure réalisée du 16 novembre au 14 décembre 2016, le niveau régional de particules fines a augmenté considérablement : sur le site de fond situé à Saint-Denis-d'Anjou, on observe une moyenne de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant la campagne estivale alors que ce niveau passe à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant la campagne hivernale.

Cette augmentation peut être expliquée par l'utilisation renforcée des dispositifs de chauffage en cette période hivernale, qui sont des procédés fortement émetteurs de particules en suspension PM_{10} et $PM_{2,5}$. Ce contexte régional particulier a impacté les résultats des mesures effectuées sur les différents sites de l'étude, avec une augmentation du niveau de fond pour les particules fines, en carrière comme en dehors de celle-ci.

statistiques générales sur les données de mesure

a) bilan métrologique

Les données obtenues par mesure automatique ont un pas de temps quart-heure : une valeur est disponible toutes les quinze minutes, elle représente la mesure moyenne sur le quart d'heure. Ces données sont ensuite agrégées pour obtenir des moyennes horaires ou journalières. Afin de garantir un résultat représentatif, les données sont validées et agrégées uniquement si un certain taux de fonctionnement est atteint. Ce taux représente le pourcentage de données valides d'un appareil de mesure sur une période donnée. Pour le suivi réglementaire, un taux minimum de 75 % est requis, c'est-à-dire qu'il faut au moins trois valeurs sur quatre valides pour calculer une moyenne.

Dans le cas du projet EMCAIR, certains appareils ont présenté un dysfonctionnement et n'ont donc pas été utilisés pour l'analyse.²

Pour le reste des appareils utilisés, tous les taux de fonctionnement ont été supérieurs à 90 % comme indiqué dans le tableau suivant :

Données mesurées	Sites de mesure	Taux de fonctionnement (%) campagne estivale	Taux de fonctionnement (%) campagne hivernale
PM ₁₀	les Béchis	97,8	0%
	Carrière E	97,5	99,5
	les Rinières	95,7	98,6
	Saint-Denis-d'Anjou	99,1	98,9
PM _{2,5}	les Béchis	97,8	0%
	Carrière E	95,8	98,8
	les Rinières	96,1	96,8
	Saint-Denis-d'Anjou	99,2	99,2
Vitesse du vent	Carrière E	91,2	0%
Direction du vent	Carrière E	98,4	0%

Tableau 4 : taux de fonctionnement pour les différents paramètres mesurés durant les deux campagnes du projet EMCAIR

² Le compteur de poussières GRIMM, utilisé sur le site des Béchis, n'a pas fonctionné durant la campagne hivernale. L'anémomètre et la girouette installés en carrière ont affiché des valeurs aberrantes durant la campagne hivernale. Ces données ont donc été invalidées et nous avons décidé d'utiliser les données du site de Météo-France à Montoir-de-Bretagne.

b) les particules en suspension PM₁₀

L'analyse des résultats de mesure de particules fines PM₁₀ permet de connaître les niveaux de concentrations relevés sur les différents sites afin de conclure sur l'influence de la carrière sur la qualité de l'air extérieur. Cette partie permet de vérifier le respect des valeurs réglementaires concernant les PM₁₀ pour les sites des Béchis et des Rinières. A noter que les industries extractives, et donc les mesures effectuées au sein de la carrière, ne sont pas soumises à cette même réglementation et ne sont donc pas concernées par le seuil journalier de 50 µg/m³ relatif aux PM₁₀.

au sein de la carrière

Les figures suivantes représentent l'évolution des concentrations quart-horaire en particules fines PM₁₀ relevées au cours des campagnes, au sein de la carrière.

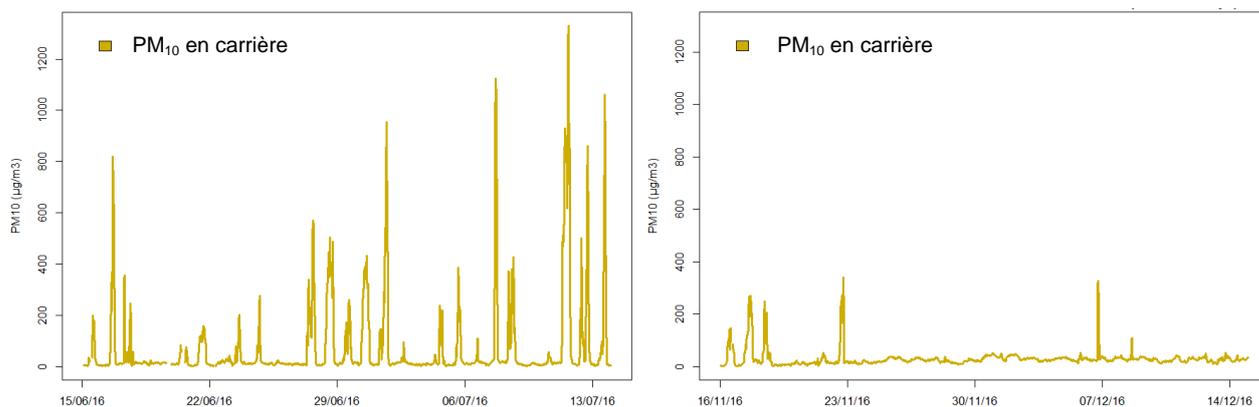


Figure 11 : évolution des particules fines PM₁₀ au sein de la carrière durant les campagnes été (à gauche) et hiver (à droite) – données quart-horaires

La campagne estivale est marquée par de nombreux pics de concentrations très élevées (presque un par jour ouvré) avec un maximum de 1 300 µg/m³ en valeur quart-horaire. Ces valeurs sont largement supérieures à celles mesurées généralement sur une station du réseau permanent mais s'expliquent par la localisation du point de mesure, à l'intérieur de la carrière.

Concernant la campagne hivernale, les pics sont moins nombreux et sont de concentrations moins élevées. A noter que la plupart des pics sont relevés en début de campagne alors qu'il s'agissait également de la période la plus pluvieuse pour cette phase de mesure. On s'attendrait pourtant à observer de moindres concentrations lors des jours de pluie, celle-ci lessivant l'atmosphère et entraînant le dépôt des particules. L'explication la plus vraisemblable est que les pics de concentrations ont lieu sur des périodes de temps très courtes, uniquement le jour, lorsque la carrière est en activité, alors que les précipitations sont mieux réparties tout au long de la journée et de la nuit. Il est donc difficile de tirer une conclusion quant au rôle précis des épisodes pluvieux sur les concentrations mesurées.

Concernant le niveau de fond (niveau hors des pics de concentration), il est plus élevé en campagne hivernale qu'en campagne estivale. Ces observations suggèrent l'influence d'autres sources de pollution particulaire durant la campagne hivernale. Par ailleurs, les conditions météorologiques, notamment le faible vent, sont plus propices à une accumulation des polluants près du sol.

sur l'ensemble des sites de la zone d'étude

Les figures suivantes représentent l'évolution journalière des concentrations en particules fines PM_{10} relevées au cours des campagnes, sur trois sites de mesure (en carrière, sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou).

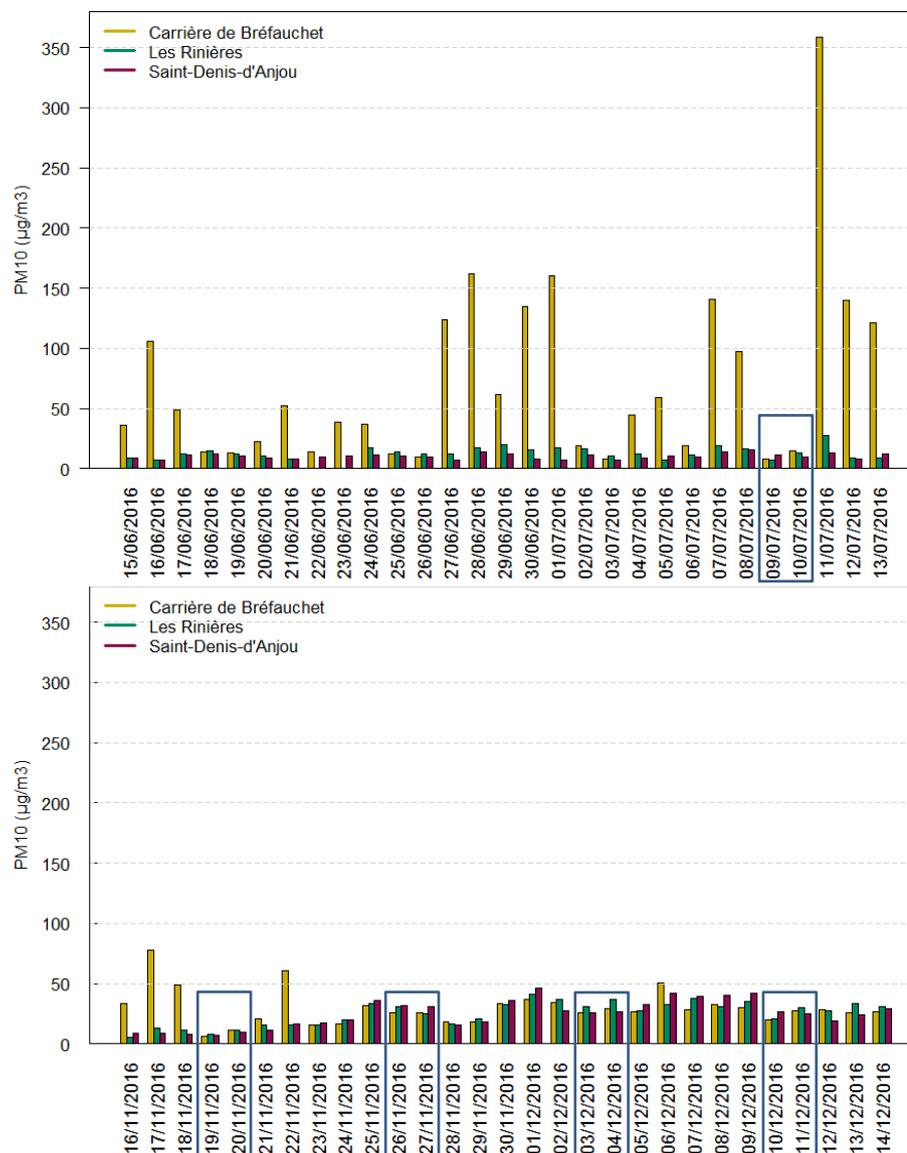


Figure 12 : évolution des PM_{10} sur tous les sites durant les campagnes estivale (partie supérieure) et hivernale (partie inférieure) en moyennes journalières. Les week-ends sont encadrés

Concernant la campagne estivale les concentrations mesurées en carrière se démarquent nettement des concentrations mesurées sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou. Il est notamment facile de repérer les week-ends qui correspondent aux jours avec les valeurs les plus basses pour les concentrations mesurées en carrière. De plus, il semblerait que les concentrations mesurées sur le site des Rinières soient supérieures à celles mesurées à Saint-Denis-d'Anjou qui est un site rural. Cette observation permet de suggérer que le site des Rinières subit l'influence d'une source de particules fines.

En ce qui concerne la campagne hivernale, les concentrations mesurées en carrière se démarquent moins, à part pour certains pics en début de campagne. Cependant, les concentrations obtenues en dehors de la carrière, sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou, sont supérieures à celles obtenues lors de la campagne estivale. Cette observation confirme que la campagne hivernale, est influencée par une pollution de fond plus importante à l'échelle régionale notamment liée aux chauffages collectifs et individuels.

Une autre représentation graphique, **la boîte à moustache** (ou boxplot), permet d'avoir un autre aperçu des données de PM₁₀ sur les différents sites. Elles ont été réalisées « sans outliers », c'est-à-dire sans valeurs atypiques qui correspondent ici aux valeurs des pics de concentrations :

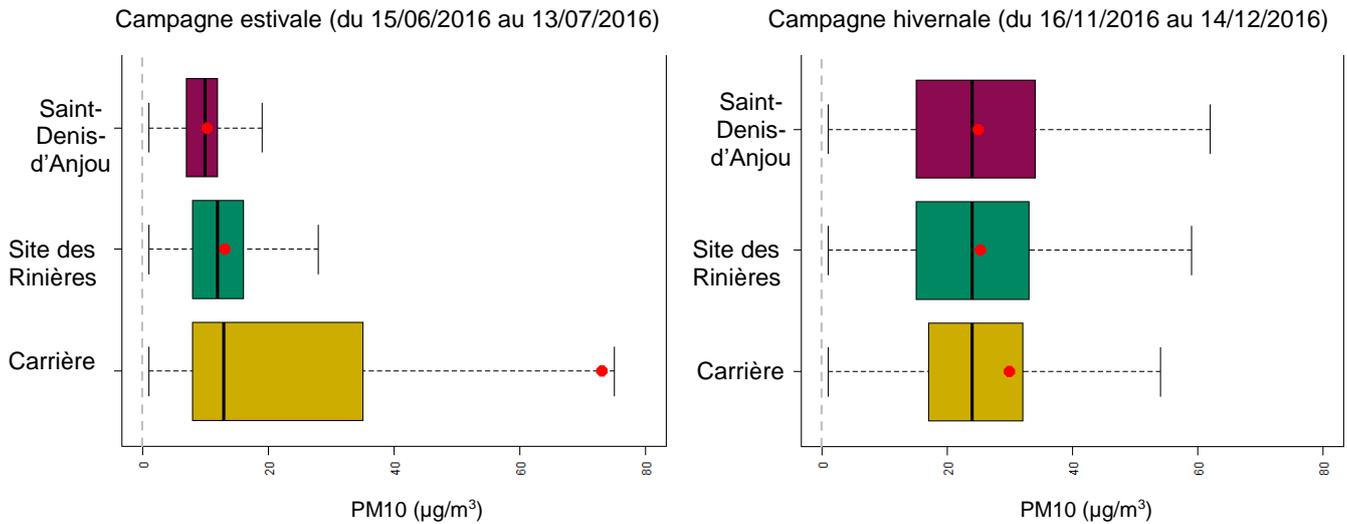


Figure 13 : boîtes à moustache des concentrations de PM₁₀ sur les différents sites, pour la campagne estivale (à gauche) et la campagne hivernale (à droite) réalisées avec les données quart-horaires

La ligne noire représente la concentration médiane, le point rouge la moyenne

Pour la campagne estivale, l'influence des pics de concentration est lisible sur la boîte à moustache des mesures en carrière, notamment car la moyenne des PM₁₀ sur ce site (de 73,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) est proche des valeurs maximales et largement supérieure à la médiane (de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ; la moyenne semble donc majoritairement gouvernée par les pics de concentrations. Cette représentation graphique permet également de confirmer que les valeurs moyennes en carrière sont significativement supérieures à celles des deux autres sites. De même les valeurs sur le site des Rinières sont elles-mêmes légèrement supérieures à celles mesurées à Saint-Denis-d'Anjou. Les valeurs médianes marquent des différences moins significatives.

En campagne hivernale les boîtes à moustache sont très proches (les outliers ne sont pas non plus représentés). Seule la moyenne en carrière laisse deviner la présence de quelques pics de concentrations élevées car elle est plus élevée que la médiane et que les moyennes des autres sites.

en dehors de la carrière

Les graphiques suivants présentent l'évolution journalière de la concentration en particules fines PM₁₀ en dehors de la carrière, au cours de la campagne estivale.

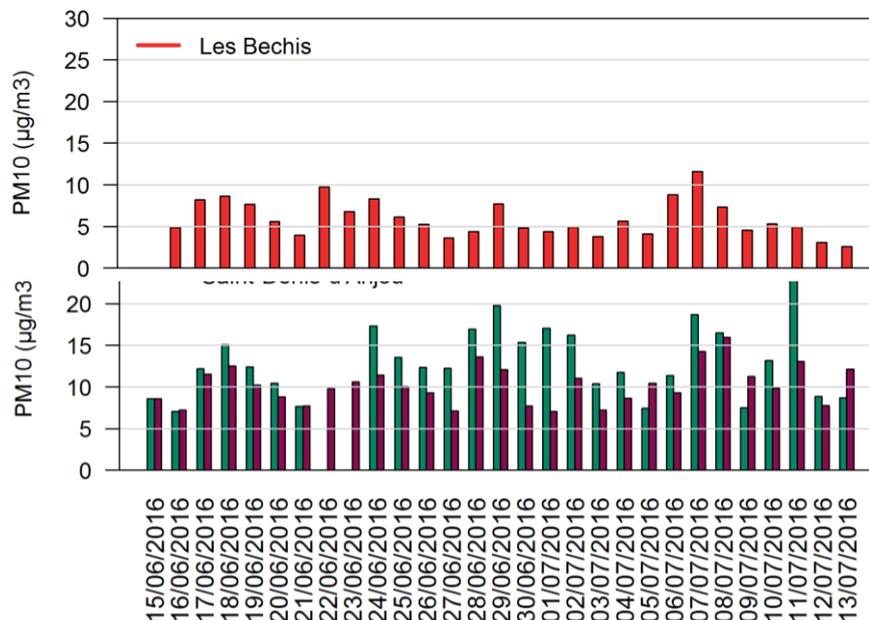


Figure 14 : évolution des particules fines PM₁₀ sur les sites des Béchis, des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou durant la campagne estivale, en données journalières

Les profils des concentrations sur les trois sites sont proches les uns des autres :

- les concentrations mesurées au niveau du site des Béchis sont légèrement inférieures à celles mesurées sur le site des Rinières. Cette différence de concentrations peut être en partie expliquée par la différence de méthode de mesure entre les deux (comptage optique aux Béchis, micro balance sur les deux autres sites),
- les concentrations mesurées sur le site des Rinières sont légèrement supérieures à celles obtenues à Saint-Denis-d'Anjou qui est un site rural. Etant donné la direction du vent durant cette campagne estivale, ces observations suggèrent une possible influence de la carrière ou d'une autre source locale sur le site des Rinières.

Les concentrations mesurées en dehors de la carrière sont supérieures lors de la campagne hivernale, comme l'indique la représentation graphique ci-dessous. Comme expliqué précédemment, cette augmentation des niveaux de particules fines est due à une pollution régionale plus importante durant cette période hivernale.

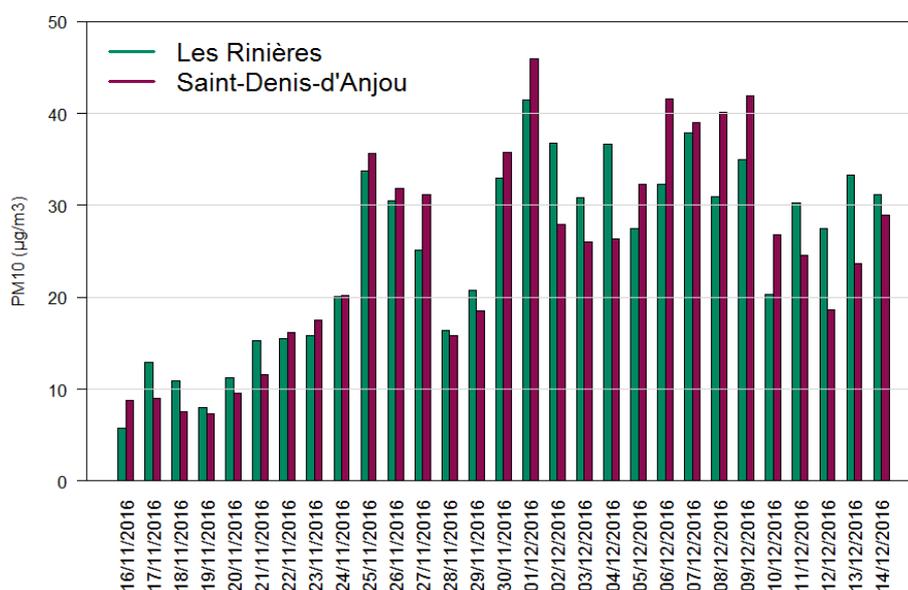


Figure 15 : évolution des particules fines PM_{10} sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou durant la campagne hivernale, en données journalières

Les concentrations mesurées sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou restent proches, bien qu'en début et en fin de campagne les concentrations sur le site des Rinières soient supérieures à celle du site rural. La possible influence de la carrière est donc moins visible durant cette phase de mesure, notamment car les vents étaient moins favorables pour cette campagne.

c) les particules en suspension PM_{2,5} au sein de la carrière

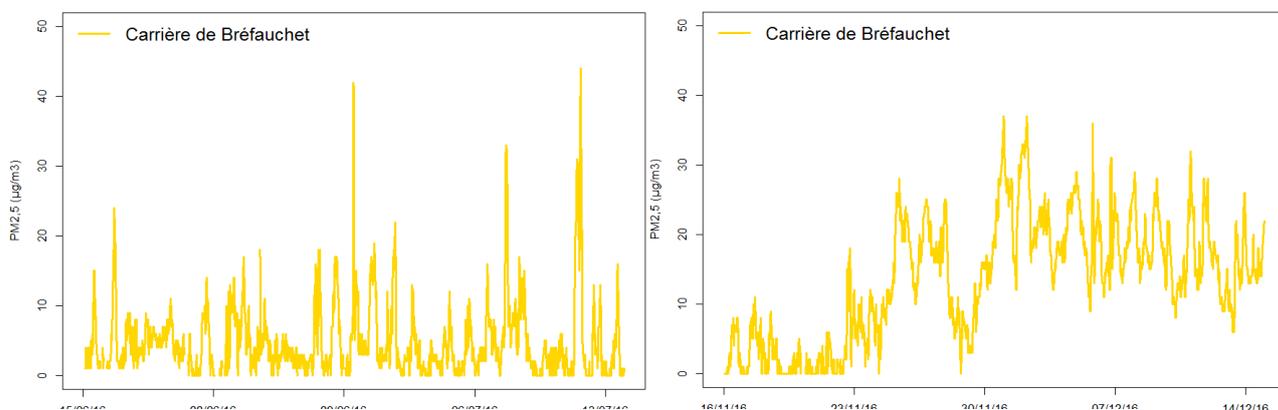


Figure 16 : évolution des particules fines PM_{2,5} au sein de la carrière durant les campagnes estivale (à gauche) et hivernale (à droite) – données quart-horaires

A première vue les tendances des concentrations en particules fines PM_{2,5} rejoignent celles des particules PM₁₀. En campagne estivale le niveau de fond est relativement bas mais plusieurs pics de concentrations élevées apparaissent. En revanche la campagne hivernale est moins marquée par des pics mais le niveau de fond est plus élevé à partir du 21 novembre 2016.

sur l'ensemble des sites de la zone d'étude

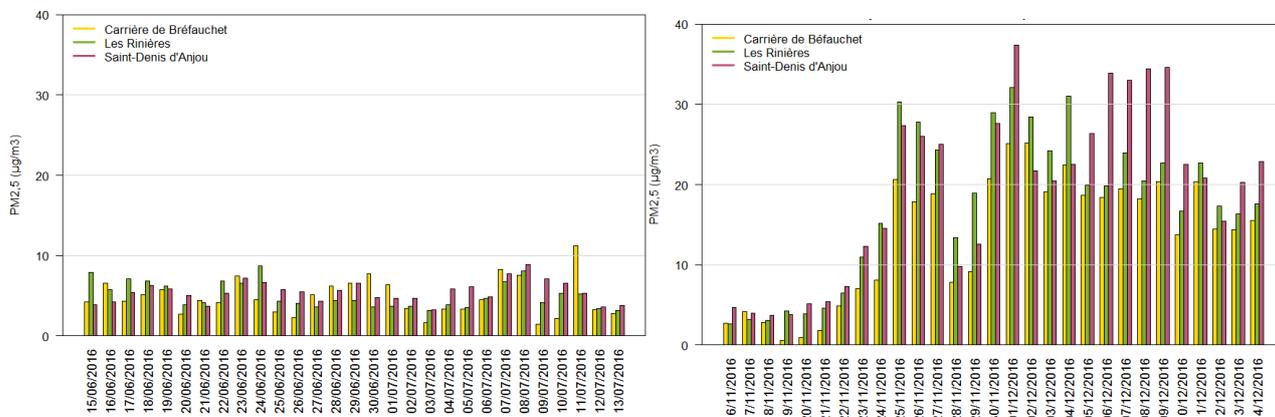


Figure 17 : évolution des particules fines PM_{2,5} au sein de la carrière durant les campagnes estivale (à gauche) et hivernale (à droite) – données journalières

Concernant la campagne estivale, les concentrations sont du même ordre de grandeur entre les différents sites. Quelques pics sont relevés en carrière (le 11 juillet 2016 par exemple), mais de moindre ampleur comparés aux pics obtenus pour les particules fines PM₁₀.

Les concentrations mesurées durant la campagne hivernale sont également du même ordre de grandeur entre les différents sites. Cette seconde campagne est marquée par une forte augmentation des concentrations à partir du 21 novembre 2016, et ce sur tous les sites. Ces observations confirment que la campagne hivernale a été fortement marquée par une pollution particulaire généralisée.

Les niveaux de PM_{2,5} relevés ne permettent donc pas d'observer des différences significatives entre le site en carrière, le site de proximité et le site de fond pour ce polluant.

d) granulométrie

La granulométrie représente la répartition des particules selon leur taille (PM_{10} ou $PM_{2,5}$), afin de mieux caractériser les propriétés des particules émises par les carrières. Un des indicateurs granulométriques est le ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$. Ce ratio a été calculé pour les différents sites puis représenté sous forme de distributions statistiques et d'évolutions temporelles :

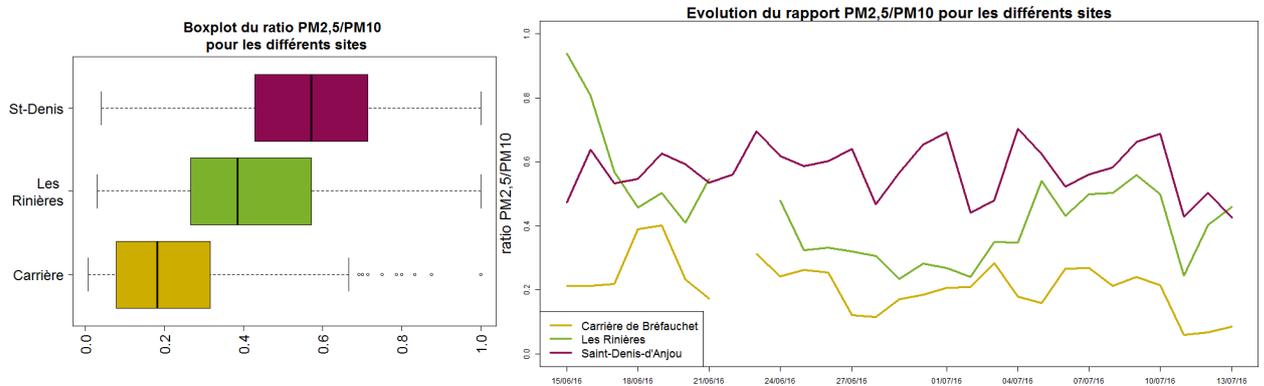


Figure 18 : à droite : boîte à moustaches du ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ pour les différents sites, lors de la campagne estivale

A gauche : évolution journalière de ce même ratio pour les différents sites, lors de la campagne estivale

Durant la campagne estivale, le site de Saint-Denis-d'Anjou se différencie des deux autres sites avec des valeurs de ratio assez élevées, 0,6 en moyenne.

En carrière en revanche, le ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ est très bas avec une valeur moyenne de 0,2. Les émissions en carrière semblent donc principalement caractérisées par des grosses particules visibles à l'œil nu et des PM_{10} .

Au niveau du site des Rinières, le ratio est inférieur à celui obtenu à Saint-Denis-d'Anjou. Avec une valeur moyenne de 0,4 il se rapproche donc du ratio obtenu en carrière ce qui permet de supposer une possible influence de la carrière sur le site des Rinières.

Concernant la campagne hivernale, voici les résultats obtenus :

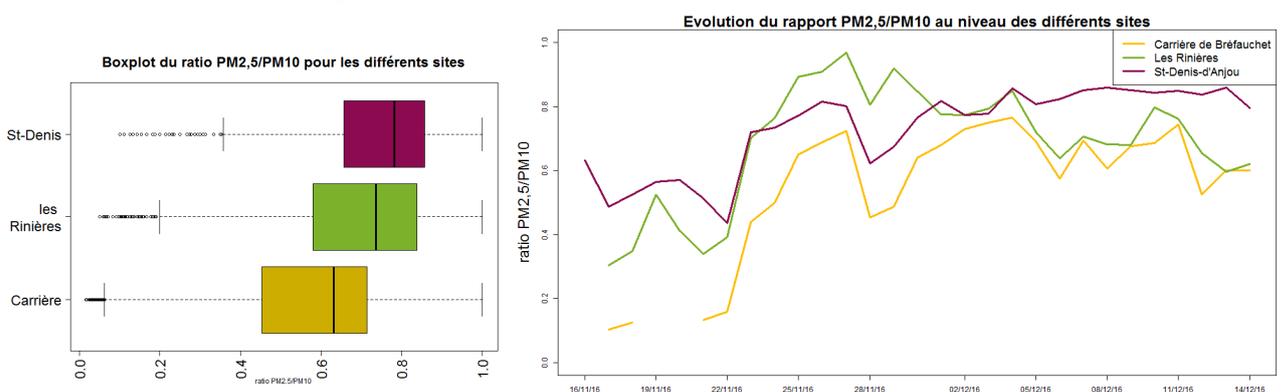


Figure 19 : à droite : boîte à moustaches du ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ pour les différents sites, lors de la campagne hivernale

A gauche : évolution journalière de ce même ratio pour les différents sites, lors de la campagne hivernale

Pour cette campagne, les ratios des différents sites sont plus élevés, ce qui rejoint les hypothèses formulées pour cette campagne hivernale, plus touchée par des émissions de $PM_{2,5}$ dues au chauffage résidentiel.

Malgré cela, les remarques formulées pour les ratios de la campagne estivale sont valables pour la campagne hivernale, bien que les différences de ratios soient moins marquées. En effet le ratio à Saint-Denis-d'Anjou, avec une moyenne de 0,7, reste le plus élevé des différents sites. En carrière le ratio moyen est de 0,6 tandis que pour le site des Rinières le ratio moyen est de 0,7. Ainsi lors de cette campagne hivernale, la possible influence de la carrière sur le site des Rinières est moins visible.

Ces différentes conclusions permettent de mettre en avant un marqueur fort de la carrière : un ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ faible. Comme l'indiquent les figures suivantes, ce ratio est d'autant plus faible lors des pics de concentrations. En effet, le ratio se rapproche de zéro lorsque les concentrations en PM_{10} augmentent, formant un mode particulier pour des valeurs de ratio comprises entre 0 et 0,2.

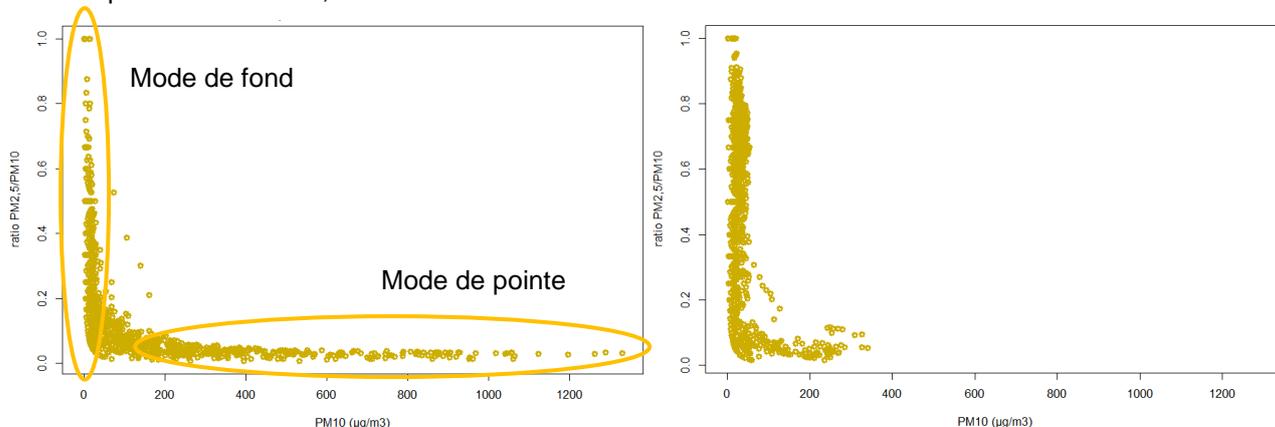


Figure 20 : ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ en fonction des PM_{10} pour le site carrière, lors de la campagne estivale (graphique de gauche) et lors de la campagne hivernale (graphique de droite)

Les modes observés dans la carrière sont moins marqués pour le site des Rinières, comme l'indiquent les figures suivantes :

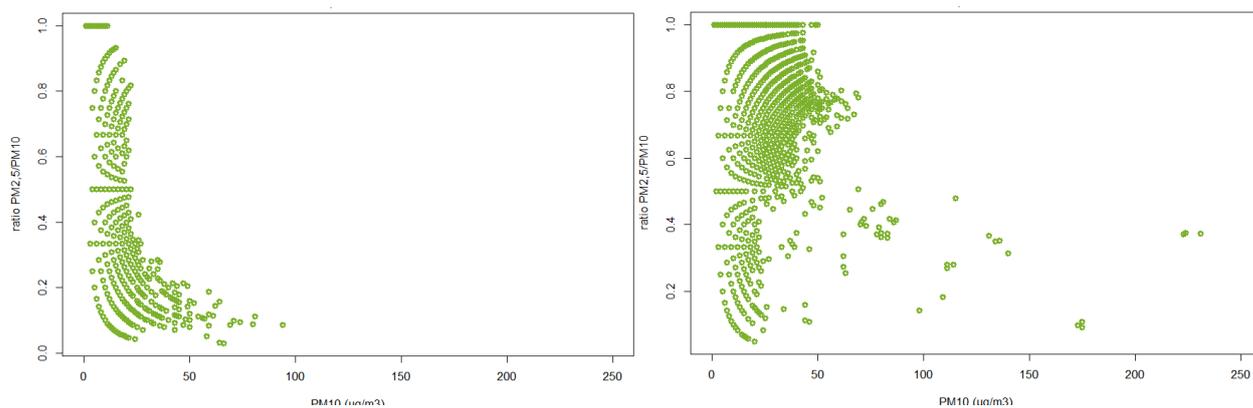


Figure 21 : ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ en fonction des PM_{10} pour le site des Rinières, lors de la campagne estivale (graphique de gauche) et lors de la campagne hivernale (graphique de droite)

Sur la campagne estivale il est tout de même possible d'observer le même phénomène. De plus, de manière générale le ratio est plus élevé, surtout en hiver lors de la seconde campagne.

L'étude de la granulométrie permet de conclure que la carrière est marquée par des ratios faibles à cause des importants niveaux de PM_{10} atteints lors des pics de concentrations. En comparant ce ratio à ceux des différents sites encadrant la carrière, **il semble que la carrière ait une influence sur le site des Rinières, avec un apport de plus grosses particules** car ce site possède un ratio plus proche de celui de la carrière que celui du site de Saint-Denis-d'Anjou.

e) sources de particules

Guide de lecture des roses de pollution

- la direction d'où provient le vent est indiquée via les graduations du cercle, de 0 à 360°
- la fréquence de la direction du vent est indiquée via la couleur de la cellule
- la concentration moyenne du polluant pour une direction de vent est indiquée à partir des cercles concentriques

Plus une cellule sera foncée, plus les vents dans cette direction seront fréquents ; de même plus une cellule sera longue et plus les concentrations de ce secteur seront élevées.

La répartition des concentrations en PM₁₀ en fonction des vents est présentée ci-dessous, pour les différents sites et sur l'ensemble de la campagne estivale.

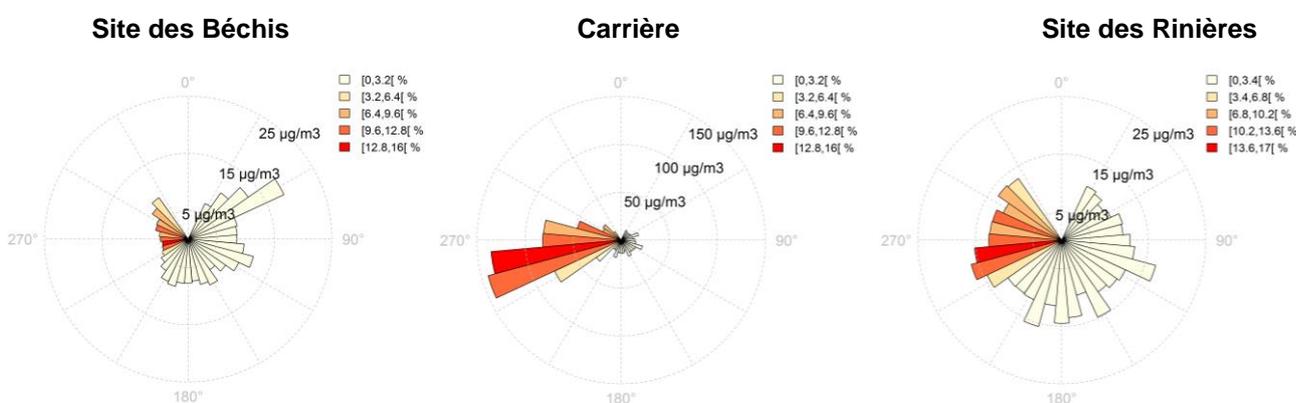


Figure 22 : roses de pollution des PM₁₀ pour le site des Béchis, de la carrière et du site des Rinières lors de la campagne estivale

en dehors de la carrière

Pour les deux sites à l'extérieur de la carrière, les concentrations sont homogènes et bien réparties sur les différentes directions de vent relevées durant cette campagne. Sur le site des Béchis, quelques pics de concentrations sont relevés lorsque le vent vient de la carrière, mais il s'agit d'une direction peu représentative comme l'indique la couleur de la pâle à 60°. Pour le site des Rinières, certains pics sont relevés dans la direction de la carrière avec une fréquence non négligeable.

au sein de la carrière

En carrière la composante Ouest est également présente avec des concentrations élevées. En comparant cette rose de pollution avec la carte de la carrière, il semble que la rose pointe les zones de traitement et de vente, comme l'indique la figure suivante :



Figure 23 : rose de pollution des PM_{10} au niveau du site mobile installé dans la carrière

Concernant la **campagne hivernale**, les vents étaient beaucoup moins stables pour cette période, et le site des Rinières est sous les vents de la carrière uniquement lors de la première semaine :

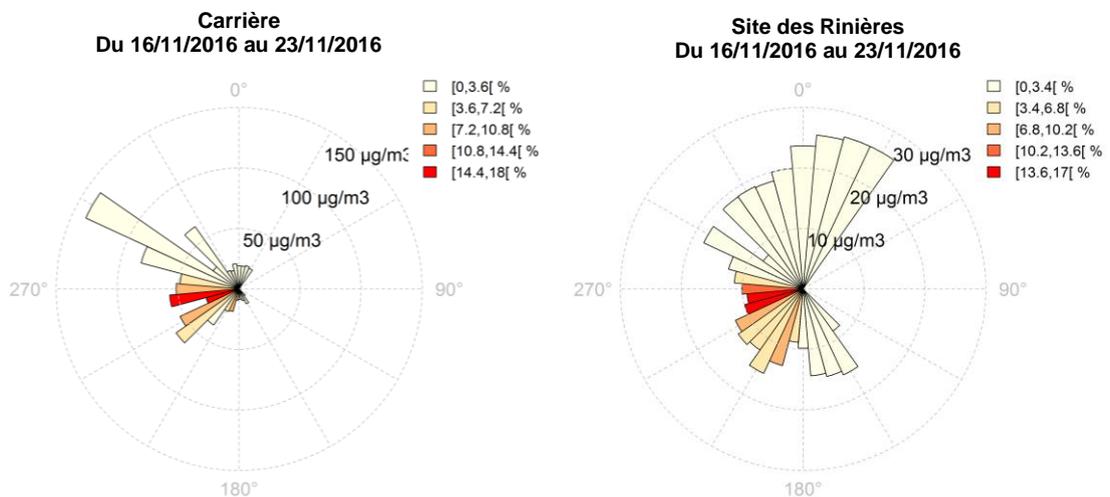


Figure 24 : roses de pollution des PM_{10} pour le site de la carrière et le site des Rinières lors de la première semaine de la campagne hivernale

En carrière, plusieurs pics sont relevés pour la direction Ouest, dont un pic majeur à 310° , mais avec des fréquences peu représentatives. Sur le site des Rinières, les concentrations sont plus élevées que durant la campagne estivale, et différentes directions sont pointées bien que les fréquences soient peu représentatives. Ces résultats confirment qu'en campagne hivernale le site des Rinières est influencé par un niveau de fond régional élevé, plutôt que par la carrière.

Les autres semaines de la campagne ayant des directions de vent différentes, il est difficile de conclure sur l'origine des particules à partir des données disponibles. Une analyse plus approfondie, menée sur des périodes plus courtes comme une journée, semble nécessaire.

Les roses de pollution pour le reste de la campagne hivernale sont présentées en annexe 5.

f) les poussières sédimentables

Les retombées atmosphériques, ou poussières sédimentables, ont été mesurées à partir des jauges Owen installées au sein de la carrière E et en dehors de celle-ci, au niveau des sites des Béchis et des Rinières. La détermination des Matières en Suspension (MES) a ensuite été effectuée par le laboratoire d'analyses IANESCO et les échantillons ont également été envoyés au LSCE pour des analyses chimiques complémentaires.

Site de mesures	Retombées (mg/m ² /jour)
Carrière E	1019
Les Rinières	27
Les Béchis	26

Tableau 5 : poussières sédimentables ou « retombées atmosphériques totales » mesurées lors de la campagne estivale

Site de mesures	Retombées (mg/m ² /jour)
Carrière E	97
Les Rinières	12
Les Béchis	28

Tableau 6 : poussières sédimentables mesurées lors de la campagne hivernale

Pour les deux campagnes, les retombées mesurées en dehors de la carrière sont du même ordre et faibles. Les retombées en carrière sont plus importantes, notamment pendant la campagne estivale. On en déduit que les grosses particules, fortes contributrices en masse, restent dans la carrière et ne contribuent pas aux retombées en dehors de celle-ci.

Ces valeurs peuvent être comparées à la réglementation en vigueur concernant les carrières. En effet, l'arrêté du 30 septembre 2016 relatif aux exploitations de carrières [3] fixe un objectif à ne pas dépasser de **500 mg/m²/jour** pour les retombées atmosphériques totales pour des jauges installées sur un site « à proximité immédiate des premiers bâtiments accueillant des personnes sensibles (centre de soins, crèche, école) ou des premières habitations situées à moins de 1 500 mètres des limites de propriétés de l'exploitation, sous les vents dominants ». Cette valeur de seuil ne concerne donc que les sites des Béchis et des Rinières, et les résultats des mesures permettent de conclure que le seuil a été largement respecté sur ces sites.

analyse détaillée des résultats

Afin d'expliquer l'origine des pics relevés lors de la campagne estivale à l'aide des paramètres connus, une analyse approfondie a été mise en place pour certains jours. Pour cela, en plus des données présentées dans les statistiques générales, sont également utilisées les données d'activité de la carrière, retraçant les activités des différents postes au cours des campagnes. L'objectif de cette partie est donc de « zoomer » sur certains jours marqués par des pics, pour essayer de les expliquer à partir des données d'activités.

a) méthode

sélection des journées marquées par un pic de concentration

Cette analyse approfondie a été effectuée sur 5 pics sélectionnés parmi la vingtaine de pics relevés en carrière lors de la campagne estivale. Afin d'avoir une sélection la plus représentative possible, plusieurs paramètres ont été pris en compte pour le choix des pics :

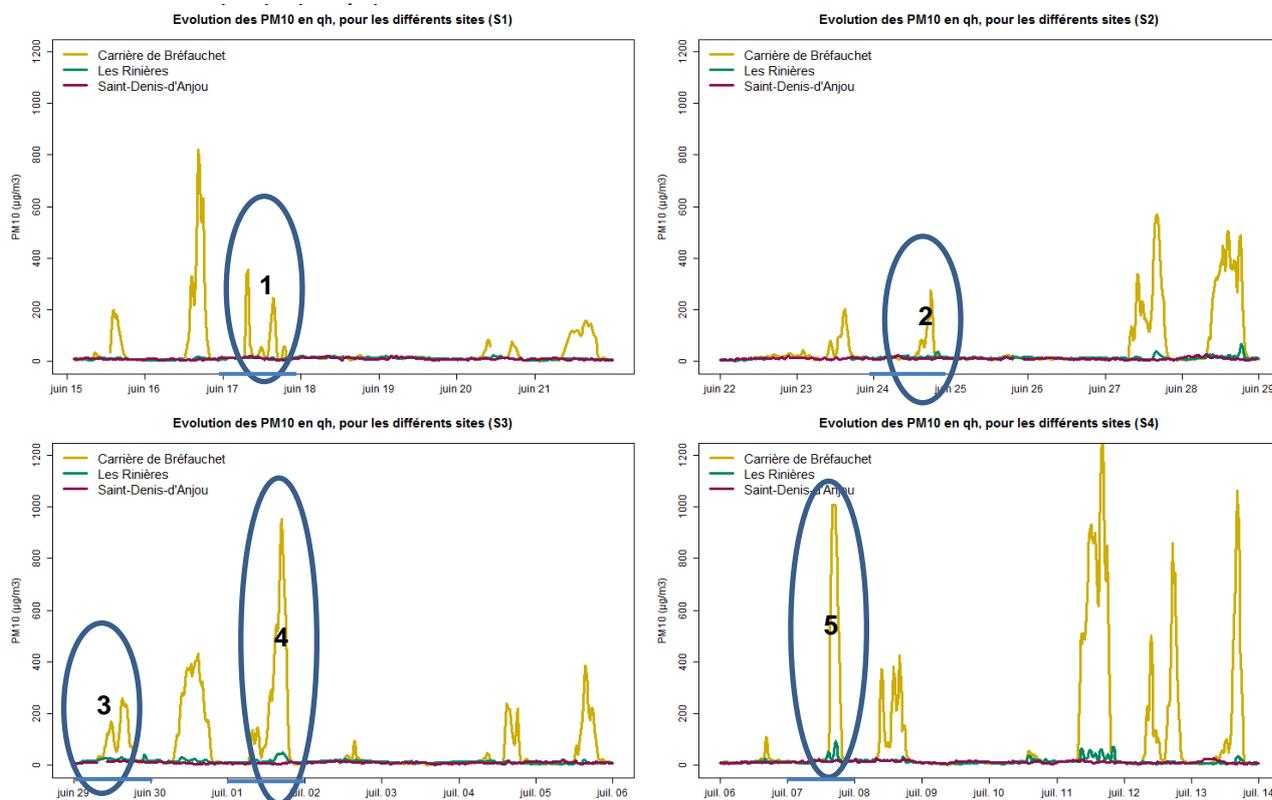


Figure 25 : évolution des particules fines PM10 sur les différents sites, semaine par semaine pour la campagne estivale ; Les pics sélectionnés pour une étude approfondie sont marqués par des numéros

Numéro du pic	Date
1	17 juin 2016
2	24 juin 2016
3	29 juin 2016
4	1 ^{er} juillet 2016
5	7 juillet 2016

Tableau 7 : liste des pics sélectionnés ; campagne estivale

données analysées

Pour chaque journée caractérisée par un pic en carrière qui a été sélectionnée, différentes données ont été étudiées en détail :

- les **paramètres météorologiques** tels que le vent et la pluviométrie.
- les concentrations en **particules fines PM₁₀ et PM_{2,5}** afin de suivre l'évolution de ces dernières tout au long de la journée et sur les différents sites.
- les **données d'activité de la carrière (données journalières)** qui seront analysées afin d'essayer d'assimiler les pics à des postes précis au sein de la carrière. Les principales variables utilisées seront les tonnages journaliers associés à chaque poste et les horaires de début et fin de ces mêmes postes.

Grâce à l'analyse approfondie de toutes ces données, certaines hypothèses ont pu être formulées afin d'expliquer l'origine des pics de PM₁₀ en carrière.

b) analyse des journées sélectionnées

pic du mercredi 29 juin 2016

Ce jour-là, deux pics sont relevés en carrière : le premier se forme entre 8 h et 12 h et atteint une concentration maximale de 175 µg/m³ (donnée quart-horaire) tandis que le second apparaît entre 14 h et 18 h avec un maximum à 250 µg/m³ (donnée quart-horaire).

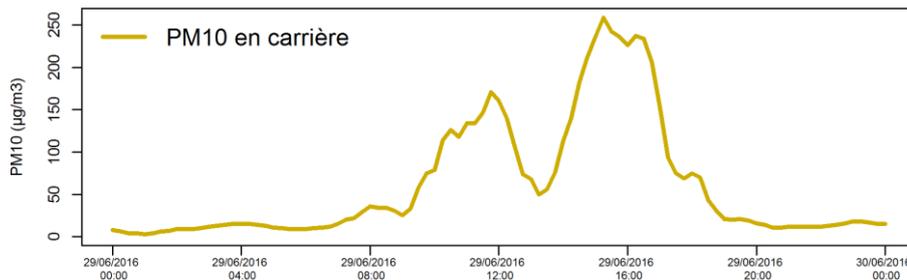


Figure 26 : évolution des particules fines PM₁₀ en carrière au cours de la journée du 29 juin 2016, données quart-horaires

Le premier pic apparaît à partir de 8 h alors qu'au même moment la vitesse du vent augmente de 1 à 5 m/s et la direction se stabilise à 250°, comme l'indiquent les deux figures suivantes :

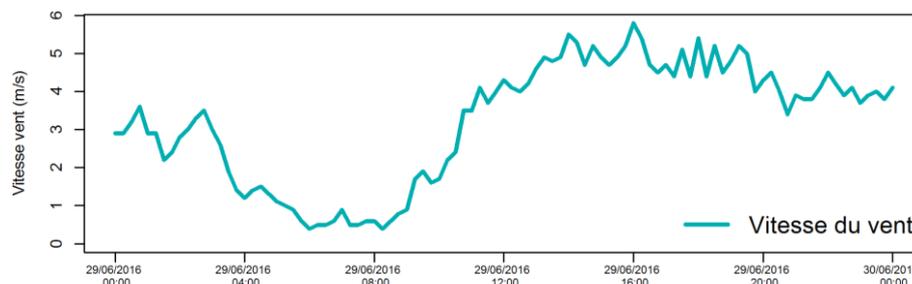


Figure 27 : évolution de la vitesse du vent en carrière au cours de la journée du 29 juin 2016

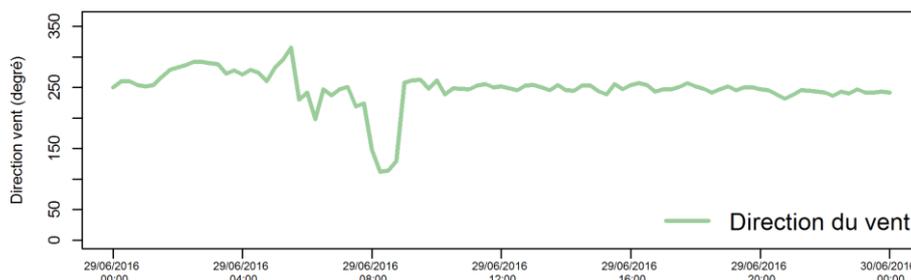


Figure 28 : évolution de la direction du vent en carrière au cours de la journée du 29 juin 2016

Avec ces conditions de vent, le site installé au sein de la carrière est directement sous les vents de celle-ci, ce qui explique l'augmentation des concentrations en PM₁₀ mesurées en début de journée. A noter qu'il n'a plu que 0,6 mm dans la nuit du 28 au 29 juin. L'humidité relative descend notamment à 60 % aux alentours de 12 h et aucun arrosage des pistes n'est effectué sur l'exploitation. Les conditions sont donc relativement sèches, ce qui favorise la remise en suspension des poussières.

Cependant, un creux est observé entre 12 h et 14 h alors que les conditions météorologiques n'ont pas changé : la vitesse du vent est toujours élevée et l'environnement est relativement sec. Afin d'expliquer le profil du pic, les données d'activité fournies par l'entreprise sont analysées :

Poste		Activité
Extraction		Elevée
Ventes		Elevée
Traitement	Primaire	A partir de 13 h 45
	Secondaire	Nulle - Maintenance
	Tertiaire	Nulle - Maintenance
Transport interne	Evacuation tout venant	Nulle
	Déstockage	Nulle

Tableau 8 : données d'activité de la carrière E le 29 juin 2016

Ce jour-là, les deux activités principales sont l'extraction et la vente. Les activités de traitement sont faibles et seul le poste de traitement primaire fonctionne, à partir de 13h45. De plus il n'y a aucun transport interne que ce soit pour le déstockage ou pour l'évacuation du tout-venant.

L'extraction ayant lieu dans la fosse de la carrière, c'est-à-dire sur un terrain très encaissé (60 mètres de profondeur environ), il est peu probable que cette activité ait une influence sur les niveaux de particules fines en carrière.

Cependant les activités de vente pourraient expliquer les concentrations de poussières relevées ce jour-là. En effet, la trémie de chargement utilisée pour les ventes est un poste fortement générateur de poussières, qui a une activité élevée ce jour-là. Ainsi, le creux relevé sur le profil des PM₁₀ pourrait être dû à l'arrêt des activités de vente pendant la pause déjeuner. Puis l'après-midi, la reprise des activités de vente et le démarrage du poste de traitement primaire, qui est aussi un poste fortement émetteur de poussières, pourraient expliquer le second pic relevé dans les niveaux de particules fines PM₁₀.

La rose de pollution, présentée ci-dessous, confirme les remarques formulées grâce aux données d'activité :

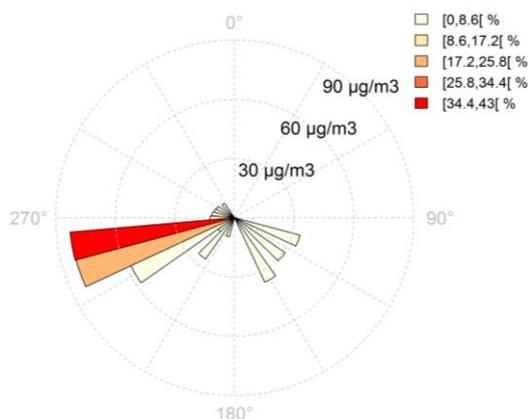


Figure 29 : rose de pollution pour les particules fines PM₁₀ en carrière le 29 juin 2016

En effet, des concentrations en PM₁₀ élevées sont mesurées pour les directions prédominantes, entre 240° et 270°, qui correspondent aux zones de traitement et de vente.

De plus, les vidéos issues de la caméra installée au sein de la carrière révèlent plusieurs nuages de poussières qui se forment au niveau de la trémie dès lors que celle-ci est utilisée. Ce poste en particulier émet donc beaucoup de poussières.

Finalement, ce jour-là, les niveaux mesurés en carrière peuvent être expliqués par la combinaison de conditions météorologiques favorables à la remise en suspension de poussières et l'activité élevée d'un poste fortement émetteur de particules : la trémie de chargement.

D'autre part, l'étude des conditions de vent ce jour-là laisse penser que le site des Rinières a été sous les vents de la carrière à partir de 10 h. Il a ainsi pu être impacté par les activités de cette dernière. Le profil des particules fines PM_{10} mesurées sur le site des Rinières laisse effectivement penser qu'une source locale a influencé le site :

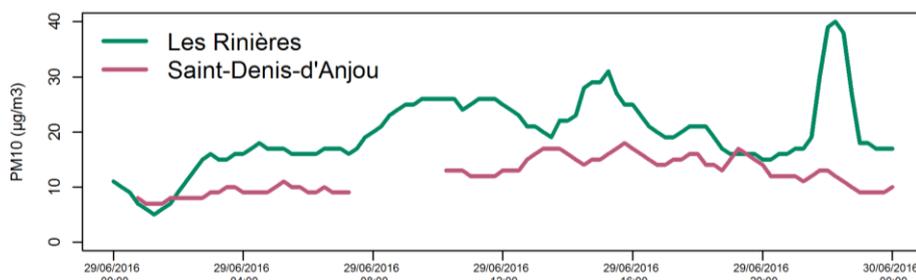


Figure 30 : évolution des particules fines PM_{10} sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou au cours de la journée du 29 juin 2016

Les concentrations mesurées sur le site des Rinières sont en effet légèrement supérieures à celles mesurées à Saint-Denis-d'Anjou. Elles le sont d'autant plus pour les périodes comprises entre 8 h et 12 h et entre 14 h et 18 h, soit lorsque les deux pics de particules fines sont mesurés en carrière.

De plus, le ratio sur le site des Rinières semble plus proche de celui de la carrière que de celui de Saint-Denis-d'Anjou, comme le montre la figure suivante :

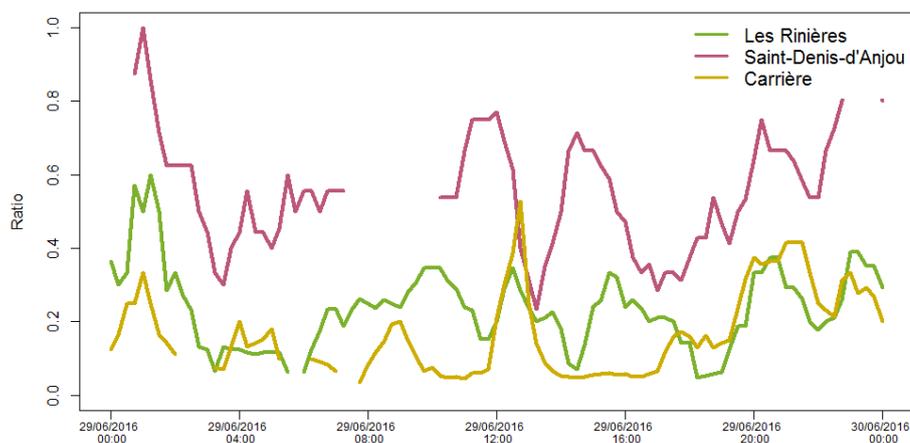


Figure 31 : ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ en fonction du temps pour la journée du 29 juin 2016

Il est donc probable que le site des Rinières ait été impacté par la carrière, via un apport de particules fines PM_{10} en provenance de celle-ci.

pic du mercredi 7 juillet 2016

Ce jour-là, un pic très net de valeur très élevée est relevé en carrière entre 14 h et 18 h. Le niveau en particules fines PM_{10} monte jusqu'à près de $1\,200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en deux heures, tandis que le reste de la journée la concentration est inférieure à $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

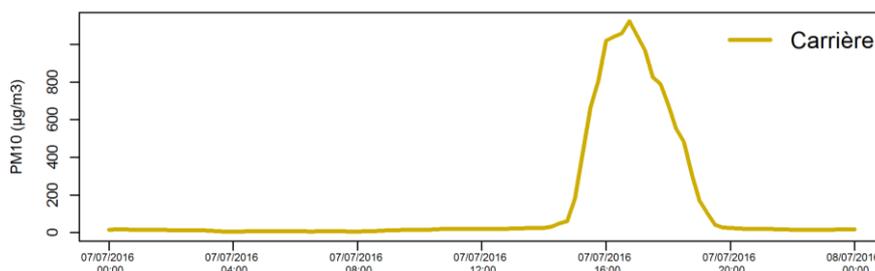


Figure 32 : évolution des particules fines PM_{10} en carrière au cours de la journée du 7 juillet 2016

Ce pic apparaît à partir de 14 h alors que la vitesse du vent augmente brusquement, comme l'indique la figure suivante. De même, la direction se stabilise aux alentours de 250° à partir de 14h, alors qu'elle était plutôt vers 50° en début de journée.

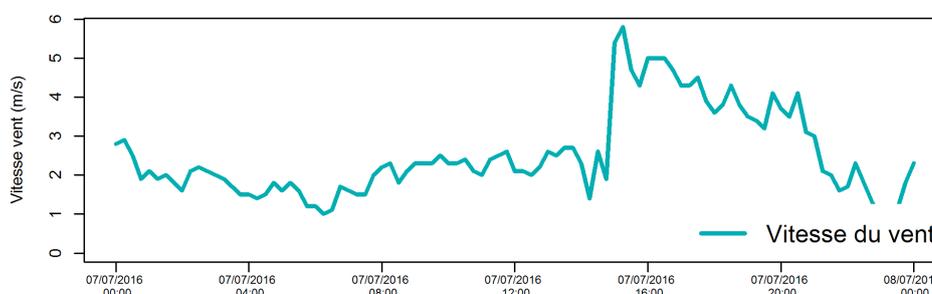


Figure 33 : évolution de la vitesse du vent en carrière au cours de la journée du 7 juillet 2016

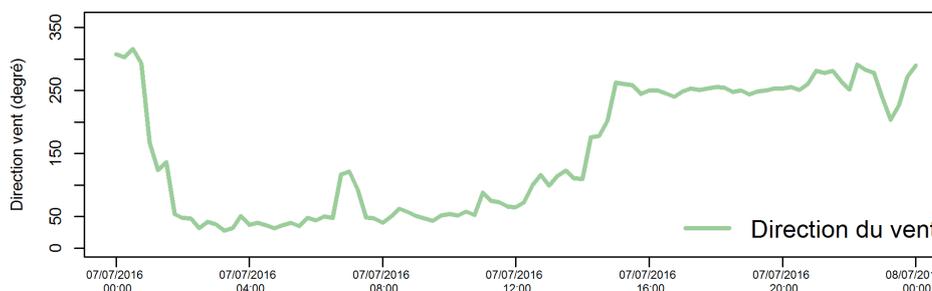


Figure 34 : évolution de la direction du vent en carrière au cours de la journée du 7 juillet 2016

Ce jour-là les conditions sont également sèches : il ne pleut pas et un seul arrosage des pistes est effectué. Les conditions sont donc favorables à une accumulation de particules fines au sein de la carrière.

Les activités les plus importantes ce jour-là sont le transport interne et les traitements, comme l'indique le tableau ci-dessous :

Poste		Activité
Extraction		Faible
Ventes		Faible
Traitement	Primaire	Moyenne (démarrage à 7 h)
	Secondaire	Faible (démarrage à 9 h 30)
	Tertiaire	Faible (démarrage à 11 h 30)
Transport interne	Evacuation tout-venant	Elevée
	Déstockage	Faible

Tableau 9 : données d'activité de la carrière E le 7 juillet 2016

L'évacuation tout-venant, qui se traduit par des allers-retours de dumpers entre la fosse où a lieu l'extraction et les stocks, est une activité connue pour être fortement génératrice de poussières. Même si, dans le cas de la carrière E, il s'agit d'une zone éloignée du point de mesure, il est tout à fait possible que cette activité puisse expliquer les niveaux de particules fines atteint ce jour-là.

De plus, même si les activités de vente sont faibles ce jour-là, cela n'en reste pas moins un poste fortement émetteur de poussières. En effet, les vidéos de surveillance indiquent des nuages de poussières en provenance de la trémie de chargement à partir de 14 h et à chaque fois que celle-ci est utilisée. La rose de pollution présente ci-dessous confirme une source de particules fines PM_{10} en provenance de la trémie et des installations de traitement :

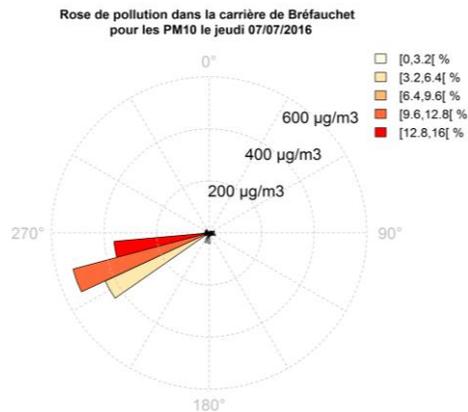


Figure 35 : rose de pollution pour les particules fines PM_{10} en carrière le 7 juillet 2016

Finalement, les niveaux de particules fines PM_{10} atteints ce jour-là peuvent être expliqués avec les activités de vente, de transport interne et de traitement, accompagnées de conditions météorologiques sèches et favorables à l'accumulation de poussières. A noter que le pic en carrière n'est relevé qu'après 14 h car avant cela le vent n'est pas favorable et le site de mesure installé en carrière n'est pas sous les vents de celle-ci.

Etant donné les conditions venteuses ce jour-là, le site des Béchis est sous les vents de la carrière en début de journée tandis que le site des Rinières l'est à partir de 14 h. Les profils de particules fines relevés sur ces sites sont donc logiques : dans les deux cas des niveaux de particules élevés sont relevés lorsque le site est sous le vent de la carrière :

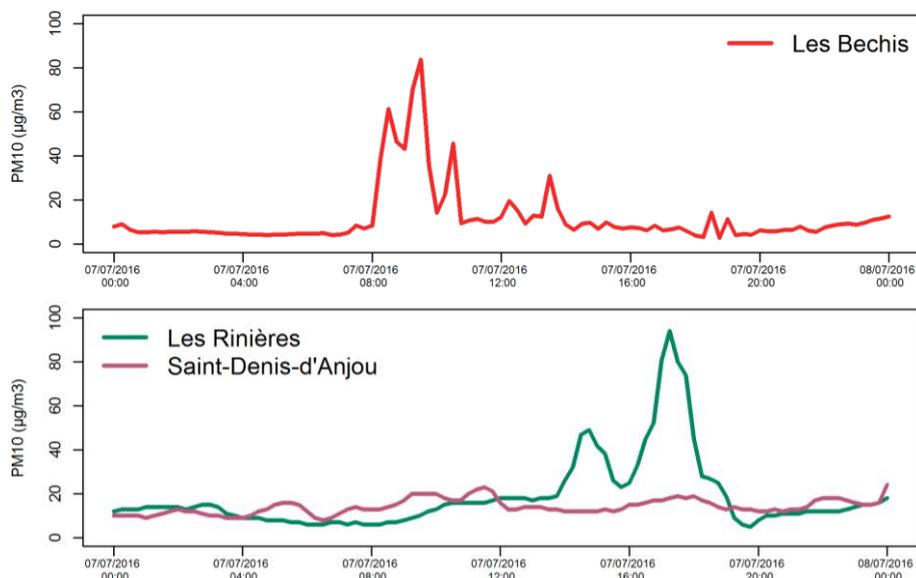


Figure 36 : évolution des particules fines PM_{10} sur le site des Béchis (figure du haut), sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou (figure du bas) au cours de la journée du 7 juillet 2016

L'étude du ratio permet d'émettre l'hypothèse que les augmentations des concentrations de particules fines PM_{10} sur les deux sites extérieurs à la carrière sont dues aux activités de cette dernière :

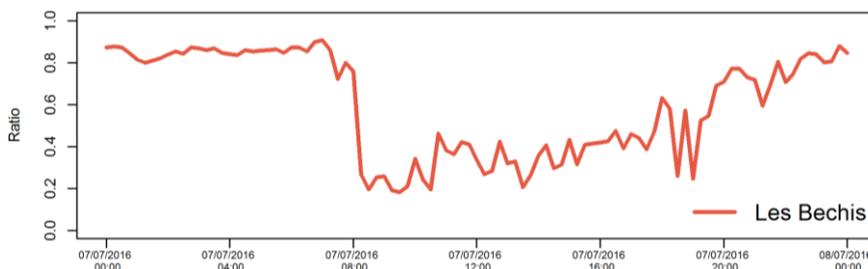


Figure 37 : évolution du ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ pour la journée du 7 juillet 2016 sur de site des Béchis

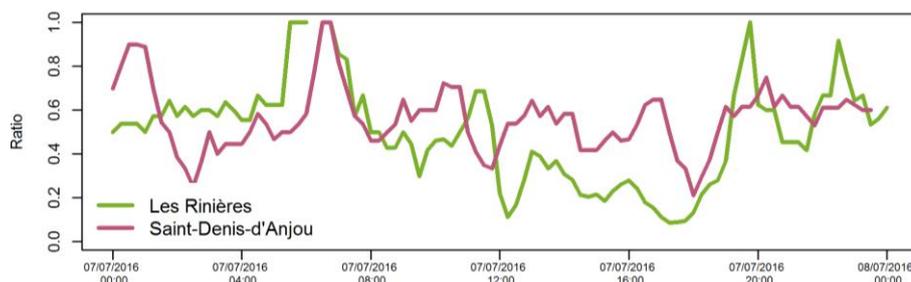


Figure 38 : évolution du ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ pour la journée du 7 juillet 2016 sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou

Le site des Béchis semble directement impacté, avec une baisse significative du ratio en début de journée. Il est plus difficile de conclure pour le site des Rinières, le ratio de ce site étant proche de celui du site rural de Saint-Denis-d'Anjou. Entre 14 h et 18 h cependant, c'est-à-dire lorsque le site des Rinières est sous les vents de la carrière, le ratio de ce site diminue.

Les analyses des autres pics sélectionnés pour la campagne estivale sont présentées en annexe 6.

c) conclusion des analyses de pics

Comme le montrent les deux exemples présentés précédemment, l'analyse approfondie menée sur certains jours des campagnes permet d'en apprendre plus sur l'origine des pics relevés en carrière. Cette analyse, menée sur sept pics de la campagne estivale, a par exemple permis de mettre en avant des postes plus émetteurs de poussières que d'autres :

- **le poste de vente : les trémies de chargement.** Pour chaque pic étudié, le visionnage des vidéos de la caméra placée sur le site en carrière a permis de repérer d'importants nuages de poussières en provenance de ce poste dès lors qu'un camion s'installe pour récupérer sa commande. Ces nuages de poussières se dispersent ensuite sur l'ensemble de la zone, selon les conditions venteuses de la journée. Ainsi, même lorsque ce poste a une activité faible, il reste fortement émetteur de poussières. Pour ces raisons, il semble donc qu'il s'agisse du poste le plus émetteur de particules dans la carrière.
- **les postes de traitement :** moins visibles à partir de la caméra installée, ces postes n'en restent pas moins d'importants émetteurs de poussières. Le pic maximal relevé en campagne estivale a par exemple lieu le jour où les activités de traitement sont les plus importantes de l'étude.
- **les transports,** regroupant aussi bien les trajets internes effectués par les dumpers ou le passage des camions clients, peuvent causer une remise en suspension des poussières. Les deux campagnes de mesure ayant été réalisées avec des conditions météorologiques plutôt sèches, il s'agit d'un poste non-négligeable concernant les émissions de poussières.

Les mesures de concentrations élevées en particules fines et les observations visuelles permettent de conclure que les poussières observées sur les différents postes ne sont pas uniquement des poussières grossières visible à l'œil nu, mais également des particules fines PM₁₀.



Figure 39 : différentes sources de poussières au sein de la carrière

L'analyse approfondie a également permis de mieux évaluer l'impact de la carrière sur la qualité de l'air dans l'environnement de la carrière. En effet, bien qu'aucun dépassement de seuil réglementaire ne soit relevé en dehors de la carrière, le site des Rinières semble avoir un niveau moyen plus élevé qu'un site rural comme Saint-Denis-d'Anjou.

La comparaison entre ces deux sites, via l'étude des concentrations ou du ratio, permet généralement de conclure que la carrière a un impact relatif sur les sites extérieurs (1 km et 1,5 km de distance), lorsque les conditions météorologiques placent le site des Rinières sous les vents de la carrière.

conclusions et perspectives

Depuis 2016, l'Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air de la région des Pays de la Loire, *Air Pays de la Loire*, participe au projet EMCAIR (Emissions des Carrières dans l'Air) dont le but est de mieux comprendre les émissions de particules des carrières afin d'affiner les facteurs d'émissions relatifs aux exploitations de granulats et d'évaluer l'impact de ces activités sur la qualité de l'air extérieur.

Dans un premier temps, l'exploitation des données recueillies au cours de deux campagnes de mesure organisées par *Air Pays de la Loire* a permis de mieux comprendre les émissions de poussières des carrières, notamment en analysant les concentrations et les granulométries des particules émises :

A l'intérieur de la carrière :

- les poussières observées sur site ne sont pas uniquement des poussières grossières mais également des particules fines PM₁₀,
- l'analyse des données, notamment pour la campagne estivale, met en avant des niveaux de particules fines PM₁₀ très élevés en carrière et marqués par de nombreux pics,
- la contribution des PM_{2,5} dans ces particules reste faible.

Sous les vents de la carrière, durant la campagne estivale, le site des Rinières se distingue des autres sites extérieurs avec un niveau moyen plus élevé en particules fines PM₁₀ et semble subir un léger impact de la carrière.

Dans un second temps, une analyse approfondie menée sur certains jours des campagnes a permis d'en savoir plus sur les sources de particules au sein même de la carrière. Les données d'activité fournies par l'entreprise ont ainsi apporté des compléments à cette analyse et ont permis d'isoler certains postes de la carrière qui émettent plus de poussières que d'autres : la trémie de chargement, les postes de traitement ou encore les différents transports ayant lieu au sein de la carrière.

Ces différents résultats permettront au CITEPA de conduire à la mise à jour des facteurs d'émissions des carrières pour les affiner et les rendre plus précis.

Les exploitants des carrières peuvent également utiliser ces informations pour cibler les postes les plus émetteurs de poussières et étudier les solutions envisageables pour réduire ces émissions.

Des approches complémentaires restent à déployer pour renforcer la compréhension des activités émettrices et permettre la mise en œuvre efficace de mesures d'abattement ciblées. Par exemple :

- ➔ un protocole expérimental détaillé sur les conditions d'exploitation d'une carrière (mesure avec et sans arrosage des pistes, capotage ou non des convoyeurs, chargement uniquement par la trémie ou sur les stocks,...) permettrait de prioriser les actions de réduction d'émission pour chaque poste.
- ➔ une approche par modélisation fine qui prendrait en compte la topographie des sites, notamment l'encaissement, permettrait de mieux évaluer la répartition spatiale des particules au sein de la carrière et dans son environnement immédiat.

annexes

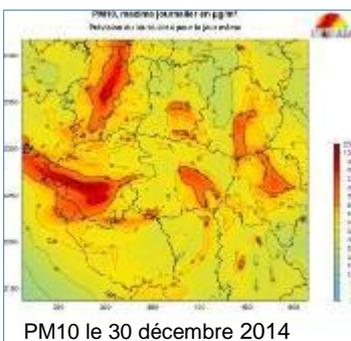
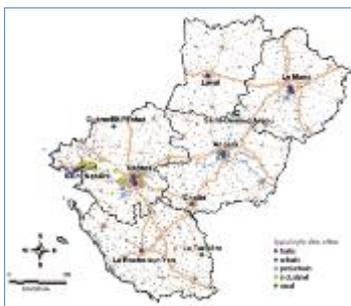
- annexe 1 : Air Pays de la Loire
- annexe 2 : types des sites de mesure
- annexe 3 : techniques d'évaluation
- annexe 4 : seuils de qualité de l'air 2016
- annexe 5 : Roses de pollution pour la campagne hivernale
- annexe 6 : Compléments de l'analyse approfondie

annexe 1 : Air Pays de la Loire

Dotée d'une solide expertise riche de trente ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréée par le Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer pour surveiller la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire. Air Pays de la Loire regroupe de manière équilibrée l'ensemble des acteurs de la qualité de l'air : services de l'État et établissements publics, collectivités territoriales, industriels et associations et personnalités qualifiées.

Air Pays de la Loire mène deux missions d'intérêt général : surveiller et informer.

surveiller pour savoir et comprendre



l'air de la région sous haute surveillance

Fonctionnant 24 heures sur 24, le dispositif permanent de surveillance est constitué d'une trentaine de sites de mesure, déployés sur l'ensemble de la région : principales agglomérations, zones industrielles et zones rurales.

mesurer où et quand c'est nécessaire

Air Pays de la Loire s'est doté de systèmes mobiles de mesure (laboratoires mobiles, préleveurs...). Ces appareils permettent d'établir un diagnostic complet de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Des campagnes de mesure temporaires et ciblées sont ainsi menées régulièrement sur l'ensemble de la région.

la fiabilité des mesures garantie

Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le Cofrac et raccordé au Laboratoire National d'Essais.

simuler et cartographier la pollution

Pour évaluer la pollution dans les secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire utilise des logiciels de modélisation. Ces logiciels simulent la répartition de la pollution dans le temps et l'espace et permettent d'obtenir une cartographie de la qualité de l'air. La modélisation permet par ailleurs d'estimer l'impact de la réduction, permanente ou ponctuelle, des rejets polluants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour les autorités publiques compétentes et les acteurs privés.

prévoir la qualité de l'air

Si le public souhaite connaître la pollution prévue pour le lendemain afin de pouvoir adapter ses activités, les autorités politiques ont, elles, besoin d'anticiper les pics de pollution pour pouvoir prendre les mesures adaptées. En réponse à cette attente, Air Pays de la Loire réalise des prévisions de la pollution atmosphérique grâce à la plateforme interrégionale ESERALDA.

informer pour prévenir



pics de pollution : une vigilance permanente

En cas d'épisode de pollution, une information spécifique est adressée aux autorités publiques, aux médias et à tous les internautes inscrits gratuitement. Suivant les concentrations de pollution atteintes, le préfet de département prend, si nécessaire, des mesures visant à réduire les émissions de polluants (limitations de vitesse, diminution d'activités industrielles...)

sur Internet : tous les résultats, tous les dossiers

Le site Internet www.airpl.org donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées toutes les heures. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices de la qualité de l'air, les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

annexe 2 : types des sites de mesure

Les sites de mesure sont localisés selon des objectifs précis de surveillance de la qualité de l'air, définis au plan national.



sites urbains

Les sites urbains sont localisés dans une zone densément peuplée en milieu urbain et de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution ; ils caractérisent la pollution moyenne de cette zone.



sites périurbains

Les sites périurbains sont localisés dans une zone peuplée en milieu périurbain, de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.



sites de trafic

Les sites de trafic sont localisés près d'axes de circulation importants, souvent fréquentés par les piétons ; ils caractérisent la pollution maximale liée au trafic automobile.



sites industriels

Les sites industriels sont localisés de façon à être soumis aux rejets atmosphériques des établissements industriels ; ils caractérisent la pollution maximale due à ces sources fixes.

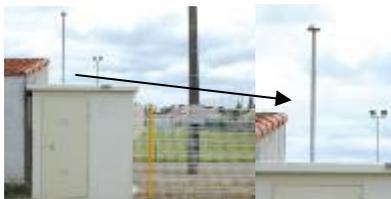


sites ruraux

Les sites ruraux participent à la surveillance de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond (notamment photochimique).

annexe 3 : techniques d'évaluation

mesures



les sites fixes

C'est le principal moyen de surveillance : il existe une trentaine de sites fixes dans les Pays de la Loire. Ils surveillent en continu la qualité de l'air des principales agglomérations de la région, des zones industrielles de Basse-Loire, et également dans un secteur rural dans l'est de la Vendée. Fonctionnant 24 heures sur 24, ils sont équipés d'analyseurs spécifiques des principaux indicateurs de pollution atmosphérique : dioxyde de soufre, oxydes d'azote, ozone, particules PM₁₀ ou PM_{2,5}, monoxyde de carbone, BTX. Ces stations sont reliées au poste central d'Air Pays de la Loire où elles envoient les données.



les laboratoires mobiles

La région des Pays de la Loire est dotée de deux laboratoires mobiles de surveillance de la qualité de l'air. Ces systèmes, équipés d'analyseurs spécifiques (NO_x, SO₂, O₃, PM₁₀, CO) comme les sites fixes, permettent d'établir un diagnostic de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Les applications sont diverses : impact industriel ou urbain, validation de futurs sites fixes, communication...

Dans le cadre du projet EMCAIR, plusieurs appareils de mesures ont été utilisés, dont voici les principes de fonctionnement :

- pour la **mesure automatique des concentrations en particules fines**, les appareils utilisés sont les suivants :

Un Néphélomètre (ou compteur de poussières) GRIMM : utilisé pour mesurer les concentrations en particules fines PM₁₀ et PM_{2,5} (µg/m³) au niveau du site des Béchis. L'air est aspiré par une pompe de débit constant (1,2 L/min généralement) puis passe dans une cellule de mesure optique. Lorsqu'une particule entre dans la cellule de mesure, elle traverse un faisceau laser et produit une diffraction de la lumière qui est mesurée par un photo-détecteur. Cette diffraction dépend directement de la taille de la particule ce qui permet ensuite de classer les particules en fonction de leur calibre. La mesure, donnée en µg/m³, est instantanée et se fait en continu avec un pas de 15 minutes dans le cas du projet EMCAIR.

Quatre **analyseurs de poussière TEOM-FDMS** : utilisés pour mesurer les concentrations en particules fines PM₁₀ et PM_{2,5} au niveau du site en carrière et du site des Rinières. Le principe du TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) est basé sur une microbalance à élément oscillant. Lorsque les particules, prélevées dans l'air ambiant, se déposent sur le filtre du TEOM, cela augmente la masse du système oscillant et provoque un ralentissement de la fréquence d'oscillation. Cette variation de fréquence est ensuite convertie en variation de masse des particules déposées. Avec la mesure du débit volumique utilisé il est possible de calculer la concentration en microgrammes de particules par mètre cube d'air (µg/m³).

- concernant **l'analyse de la composition chimique** des échantillons, des préleveurs actifs ont été utilisés :

Trois **Partisols** : utilisés pour les particules fines PM₁₀ sur les trois sites (Béchis, carrière et Rinières). L'appareil est équipé d'une tête PM₁₀ à travers laquelle est aspiré un débit d'air. Ce dernier s'écoule à travers un filtre qui sera ensuite analysé en laboratoire.

Trois **impacteurs en cascade Dekati** : utilisés pour les trois sites (Béchis, carrière et Rinières) ces appareils permettent d'analyser différentes particules en fonction de leur granulométrie. Basés sur le principe d'impaction, ces appareils permettent de séparer les particules en plusieurs fractions granulométriques : particules de taille inférieure à 2,5 µm (PM_{2,5}), particules de taille comprise entre 2,5 et 10 µm (différence entre PM₁₀ et PM_{2,5}) et particules de taille supérieure à 10 µm. Les filtres correspondants sont ensuite analysés en laboratoire.

Ces différents appareils permettent généralement d'obtenir des données de concentrations de particules, via la pesée des filtres et connaissant les débits d'air utilisés. A cause d'un dysfonctionnement, ces pesées n'ont pas pu être réalisées lors du projet EMCAIR. Les filtres issus des appareils ont donc été directement envoyés au laboratoire LSCE pour analyses chimiques.

- pour les **mesures de particules sédimentables** ce sont des préleveurs passifs qui ont été utilisées :

Trois **jauges Owen** : utilisées pour mesurer les concentrations en particules sédimentables sur les trois sites (Béchis, carrière et Rinières). Ces poussières sont collectées dans un grand flacon puis les dépôts sont pesés. A partir du temps de mesure, le dépôt en particules sédimentables est calculé. Les dépôts issus des jauges Owen ont également été envoyés au laboratoire LSCE pour mener des analyses minéralogiques sur ces échantillons.

annexe 4 : seuils de qualité de l'air 2016

Les particules en suspension PM_{10} et $PM_{2,5}$ sont soumises à une réglementation basée sur plusieurs échelles de temps (journalière ou annuelle) afin de ne pas dépasser certains seuils de concentrations. Il existe ainsi des valeurs limites imposées au sein de l'Union Européenne ; elles s'appuient sur les valeurs guide de l'OMS :

Particules fines	Moyenne annuelle		Moyenne journalière	
	Valeur réglementaire Union Européenne	Valeur guide de l'OMS	Valeur réglementaire Union Européenne	Valeur guide de l'OMS
PM_{10}	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an
$PM_{2,5}$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an

Tableau 10 : tableau comparatif des valeurs limites de concentration en PM_{10} et $PM_{2,5}$, en UE et selon l'OMS [5]

SEUILS DE DÉCLENCHEMENT DES ÉPISODES DE POLLUTION

Décret 2010-1250 du 21/10/2010 – arrêté ministériel du 26/03/2014

TYPE DE SEUIL (µg/m ³)	DURÉE CONSIDÉRÉE	POLLUANTS			
		OZONE (O ₃)	DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	PARTICULES FINES (PM10)	DIOXYDE DE SOUFRE (SO ₂)
Seuil de recommandation et d'information	Moyenne horaire	180	200	-	300
	Moyenne 24-horaire	-	-	50	-
Seuil d'alerte	Moyenne horaire	240 ⁽¹⁾ 1 ^{er} seuil : 240 ⁽²⁾ 2 ^{ème} seuil : 300 ⁽²⁾ 3 ^{ème} seuil : 360	400 ⁽²⁾ 200 ⁽²⁾	-	500 ⁽²⁾
	Moyenne 24-horaire	-	-	80 ou après 3 jours de dépassement du seuil de recommandation et d'information (persistance).	-

(1) pour une protection sanitaire pour toute la population, en moyenne horaire.

(2) dépassé pendant 2h consécutives.

(3) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et la jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

Seuil de recommandation et d'information : niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée.

Seuil d'alerte : niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

AUTRES SEUILS RÉGLEMENTAIRES

Décret 2010-1250 du 21/10/2010

TYPE DE SEUIL (µg/m ³)	DURÉE CONSIDÉRÉE	POLLUANTS												
		OZONE (O ₃)	DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	OXYDES D'AZOTE (NOX)	PARTICULES FINES (PM10)	PARTICULES FINES (PM2.5)	PLOMB	BENZÈNE	MONOXYDE DE CARBONE (CO)	DIOXYDE DE SOUFRE (SO ₂)	ARSENIC	CADMIUM	NICKEL	BENZO(a) PYRÈNE
Valeur limite	Moyenne annuelle	-	40	30 ⁽¹⁾	40	25	0,5	5	-	20 ⁽¹⁾	-	-	-	-
	Moyenne hivernale	-	-	-	-	-	-	-	-	20 ⁽¹⁾	-	-	-	-
	Moyenne journalière	-	-	-	50 ⁽¹⁾	-	-	-	-	125 ⁽²⁾	-	-	-	-
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	-	-	-	10 000	-	-	-	-	-
	Moyenne horaire	-	200 ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-	350 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
Objectif de qualité	Moyenne annuelle	-	40	-	30	10	0,25	2	-	50	-	-	-	-
	Moyenne journalière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne horaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ADT 40	4 000 ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valeur cible	ADT 40	18 000 ⁽⁶⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne annuelle	-	-	-	-	20	-	-	-	-	0,004	0,005	0,02	0,001
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) pour la protection de la végétation

(2) à ne pas dépasser plus de 25 par an [percentile 90,4 annuel]

(3) à ne pas dépasser plus de 3 par an [percentile 99,2 annuel]

(4) à ne pas dépasser plus de 18h par an [percentile 99,8 annuel]

(5) à ne pas dépasser plus de 24h par an [percentile 99,7 annuel]

(6) pour une protection sanitaire pour toute la population, en moyenne horaire

(7) en moyenne sur 5 ans, calculé à partir des valeurs enregistrées sur 1 heure de mai à juillet

(8) pour la protection de la santé humaine : maximum journalier de la moyenne sur 8 heures, à ne pas dépasser plus de 25 j par an en moyenne sur 3 ans

Valeur limite : niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement.

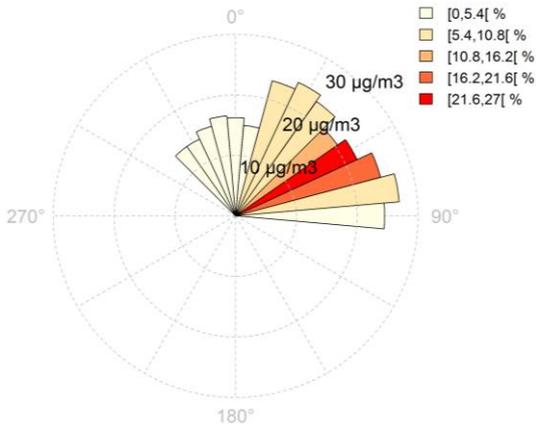
Objectif de qualité : niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

Valeur cible : niveau de pollution fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

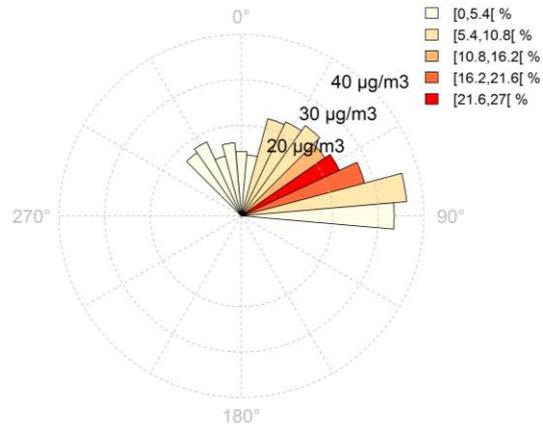
annexe 5 : roses de pollution pour la campagne hivernale

Semaine 2 :

Rose de pollution dans la carrière de Bréfauchet du 23/11/2016 au 30/11/2016

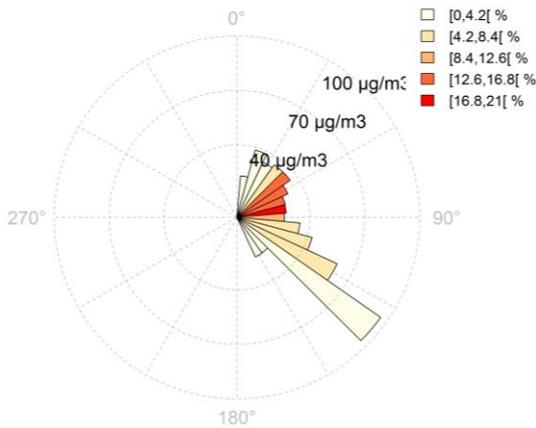


Rose de pollution en aval du 23/11/2016 au 30/11/2016

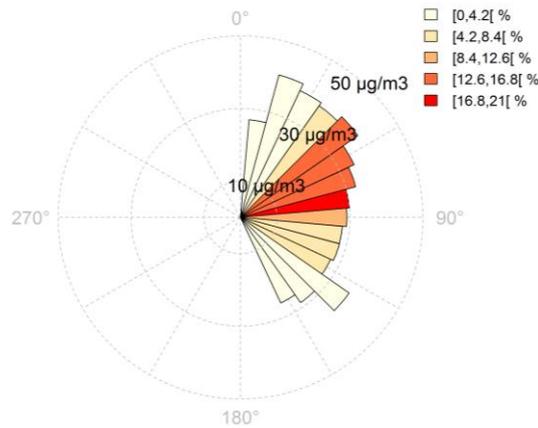


Semaine 3 :

Rose de pollution dans la carrière de Bréfauchet du 30/11/2016 au 07/12/2016

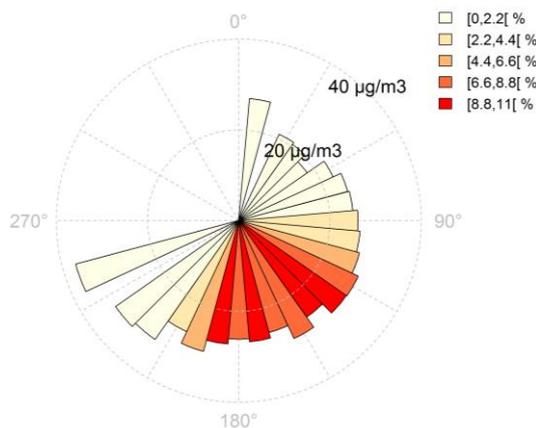


Rose de pollution en aval du 30/11/2016 au 07/12/2016

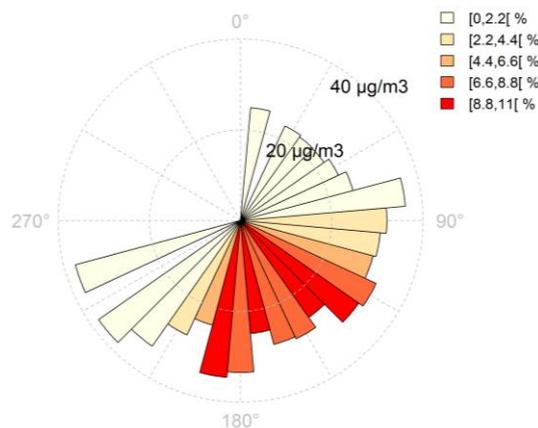


Semaine 4 :

Rose de pollution dans la carrière de Bréfauchet du 07/12/2016 au 14/12/2016



Rose de pollution en aval du 07/12/2016 au 14/12/2016



annexe 6 : compléments de l'analyse approfondie

vendredi 17 juin 2016

Ce jour-là deux pics sont relevés en carrière : le premier se forme entre 6 h et 8 h et atteint une concentration maximale de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tandis que le second apparaît entre 14 h et 16 h avec un maximum à $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (données en quart-horaire).

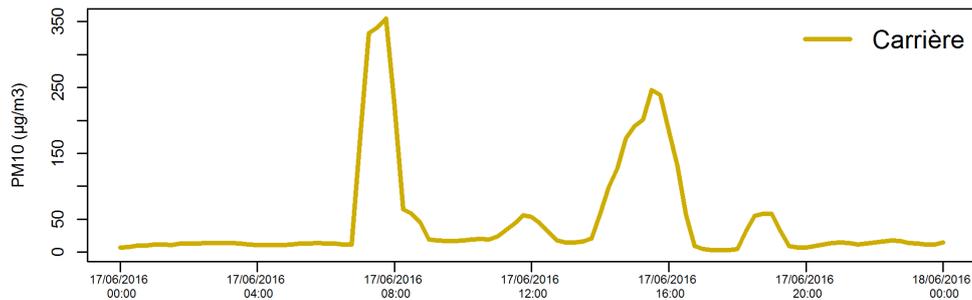


Figure 40 : évolution des particules fines PM_{10} en carrière au cours de la journée du 17 juin 2016

L'analyse du contexte météorologique ce jour-là apporte une première explication quant au profil des PM_{10} en carrière, notamment pour le pic visible dans l'après-midi. En effet la deuxième augmentation des PM_{10} a lieu après que la vitesse du vent ne soit passée de 2 m/s à environ 4 m/s ou plus, entre 10 h et 14 h. Ce pic pourrait donc être dû à une remise en suspension des poussières. De même, le niveau en particules mesuré diminue rapidement à 16h, ce qui peut être expliqué par le brusque changement de direction du vent, qui passe de 250° à 50° : le site installé en carrière n'est plus sous les vents de celle-ci.

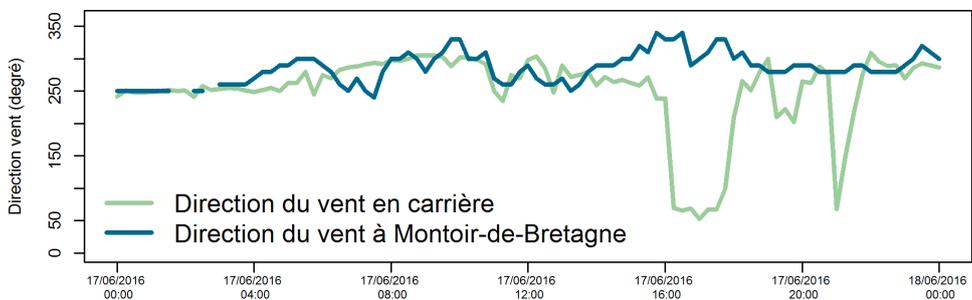


Figure 41 : évolution de la vitesse du vent en carrière au cours de la journée du 17 juin 2016

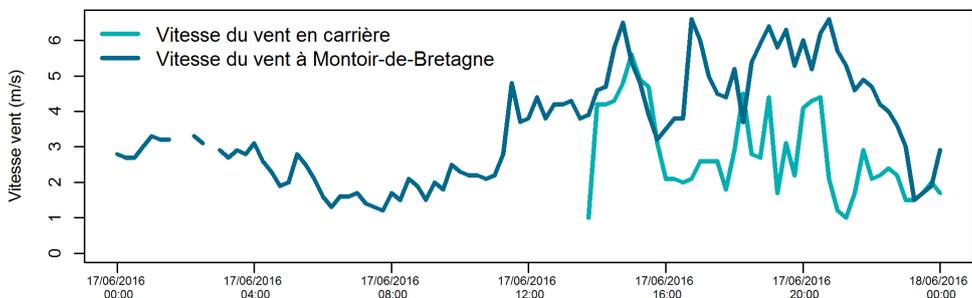


Figure 42 : évolution de la direction du vent en carrière au cours de la journée du 17 juin 2016

A noter que ce jour-là il a plu entre 11 h et 13 h, avec un total de 5 mm, ce qui pourrait expliquer le creux relevé entre les deux pics principaux.

En revanche, les données météorologiques ne permettent pas d'expliquer le premier pic relevé à 7 h, qui apparaît alors que la vitesse du vent est faible.

Ce jour-là les activités principales de la carrière E sont l'extraction, les traitements et l'évacuation de tout-venant :

Poste		Activité
Extraction		Moyenne
Ventes		Faible
Traitement	Primaire	Elevée, démarrage à 7 h
	Secondaire	Faible, démarrage à 13 h
	Tertiaire	Faible, démarrage à 13 h
Transport interne	Evacuation tout-venant	Moyenne
	Déstockage	Faible

Tableau 11 : données d'activité de la carrière E le 17 juin 2016

Le traitement primaire pourrait notamment expliquer le premier pic de PM_{10} relevé en carrière, puisque cette activité débute tôt dans la journée et que la direction du vent est favorable à ce moment-là. De même le second pic peut être expliqué par la mise en fonctionnement des traitements secondaire et tertiaire en début d'après-midi.

La rose de pollution indique les zones de traitement, comme l'indique la pale à 240° présente sur la figure suivante, mais cette direction de vent reste peu représentative.

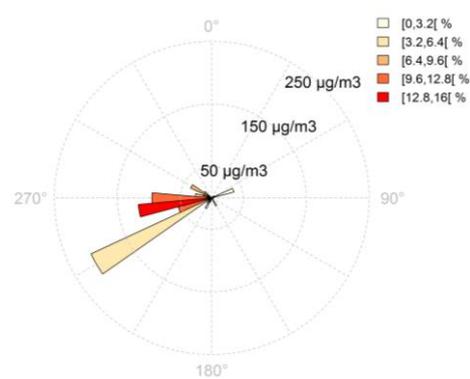


Figure 43 : rose de pollution pour les particules fines PM_{10} en carrière le 17 juin 2016

La trémie de chargement est également pointée par cette rose de pollution, mais avec des concentrations de PM_{10} moins importantes. Malgré tout, sachant qu'il s'agit d'un poste très fortement émetteur de poussières dans la carrière E, il est tout à fait possible que ce poste soit à l'origine de premier pic visible ce jour-là.

Finalement cette journée permet de compléter les différentes remarques formulées lors de l'étude de la journée du 7 juillet 2016. En effet pour ces deux journées, ce sont les activités de traitement, de transport interne et de vente qui permettent d'expliquer les niveaux de particules fines PM_{10} atteints.

vendredi 24 juin 2016

Cette journée est marquée par une augmentation des PM_{10} en carrière à partir de 14 h, avec un maximum d'environ $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atteint à 18 h (données quart-horaire).

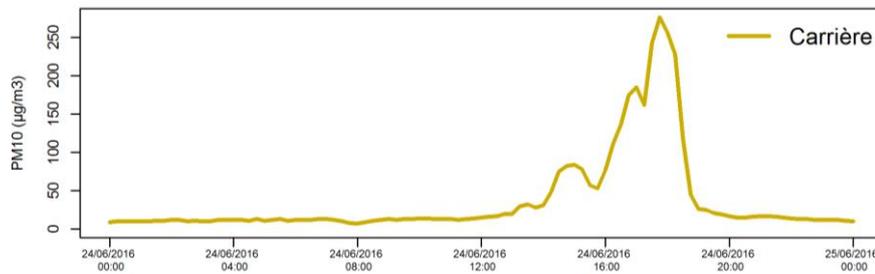


Figure 44 : évolution des particules fines PM_{10} en carrière au cours de la journée du 24 juin 2016

L'analyse des données de vent permet de conclure que ce pic est mesuré en carrière car la direction du vent, instable jusque-là, se stabilise à partir de 12 h pour la direction Ouest. Avant cela le site de mesure installé en carrière n'était donc pas sous les vents de cette dernière.

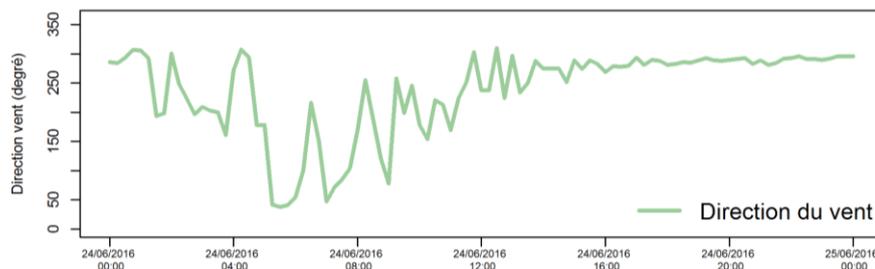


Figure 45 : évolution de la direction du vent en carrière au cours de la journée du 24 juin 2016

D'autre part, les conditions sont sèches ce jour-là : l'humidité relative diminue fortement dans la journée avec un minimum de 50 % aux alentours de 16 h, et il ne pleut pas. Ces conditions favorisent donc la remise en suspension des poussières dans la carrière, ce qui pourrait expliquer les niveaux de particules fines mesurés à partir de 14 h dès lors que les vents sont favorables.

Par ailleurs, les activités les plus importantes ce jour-là sont les traitements secondaires et tertiaires et le transport interne dû au déstockage, comme l'indique le tableau ci-dessous :

Poste		Activité
Extraction		Faible
Ventes		Faible
Traitement	Primaire	Faible
	Secondaire	Elevée
	Tertiaire	Moyenne
Transport interne	Evacuation tout-venant	Faible
	Déstockage	Elevée

Tableau 12 : données d'activité de la carrière E le 24 juin 2016

En complément à ces données, la rose de pollution suivante met en avant des directions de vent comprises entre 270 et 300°, ce qui pourrait correspondre aux zones de stockage :

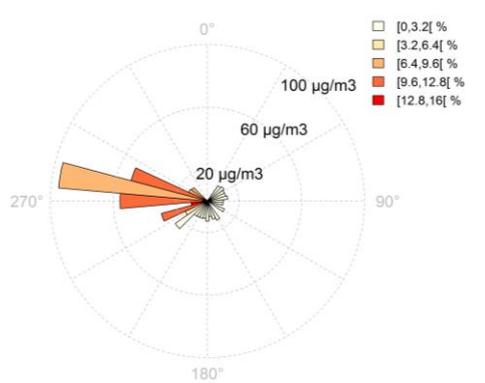


Figure 46 : rose de pollution pour les particules fines PM_{10} en carrière le 24 juin 2016

D'autre part, la rose de pollution pointe également la zone de la trémie de chargement, mais avec des concentrations relativement faibles. Les vidéos de la caméra installée en carrière montrent plusieurs nuages de poussières en provenance de ce poste, même si cette activité est faible ce jour-là. Ces différentes observations confirment que la trémie de chargement reste un poste fortement émetteur de poussières même à faible utilisation.

Etant donné les conditions venteuses ce jour-là, le site des Rinières a été sous les vents de la carrière à partir de 12 h environ. D'après la figure suivante, la concentration en particules fines PM_{10} sur le site des Rinières est légèrement supérieure à celle mesurée à Saint-Denis-d'Anjou, à partir de 10 h :

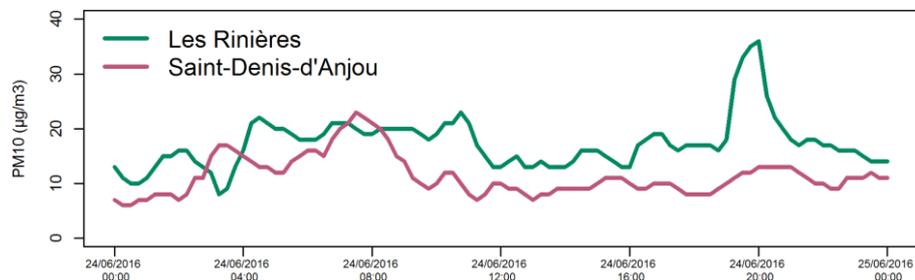


Figure 47 : évolution des particules fines PM_{10} sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou au cours de la journée du 24 juin 2016

Il est donc possible que la carrière ait influencé le niveau en particule du site des Rinières. Le pic relevé sur ce même site aux alentours de 20 h est quant à lui difficilement explicable à partir des activités de la carrière étant donné l'horaire de l'évènement.

Le ratio du site des Rinières ce jour-là semble confirmer que la carrière a eu un impact sur ce site. En effet, dès lors que les vents placent le site des Rinières en aval de la carrière, le ratio diminue par rapport à celui de Saint-Denis-d'Anjou.

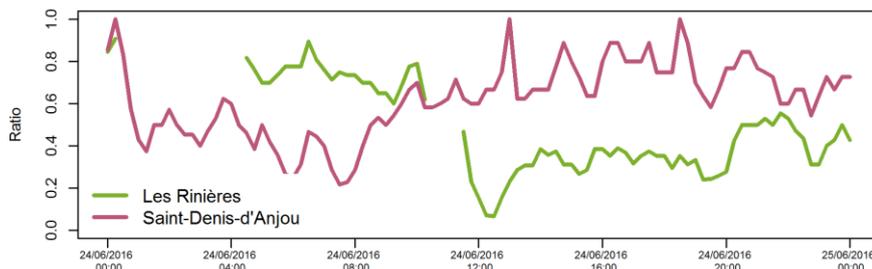


Figure 48 : ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ en fonction du temps pour la journée du 24 juin 2016 sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou

vendredi 1^{er} juillet 2016

Cette journée est marquée par l'un des pics les plus importants de l'étude. En effet la concentration en particules fines PM₁₀ en carrière augmente à partir de 12 h pour atteindre un maximum de 1 000 µg/m³ aux alentours de 17 h.

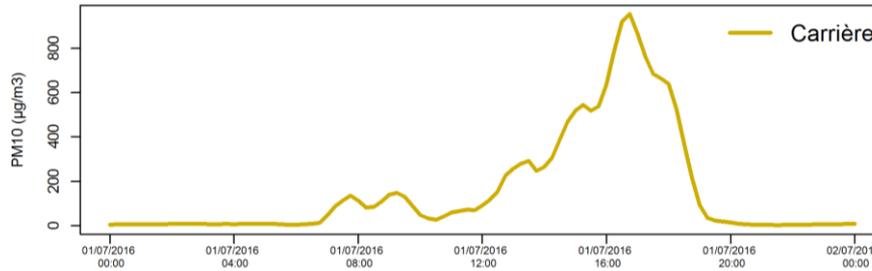


Figure 49 : évolution des particules fines PM₁₀ en carrière au cours de la journée du 1^{er} juillet 2016

Ce jour-là, la direction du vent est très stable aux alentours de 250°, plaçant les sites des Rinières et de la carrière directement sous les vents de la carrière. La vitesse du vent augmente quant à elle à partir de 8 h pour passer progressivement de 3 m/s à environ 6 m/s.

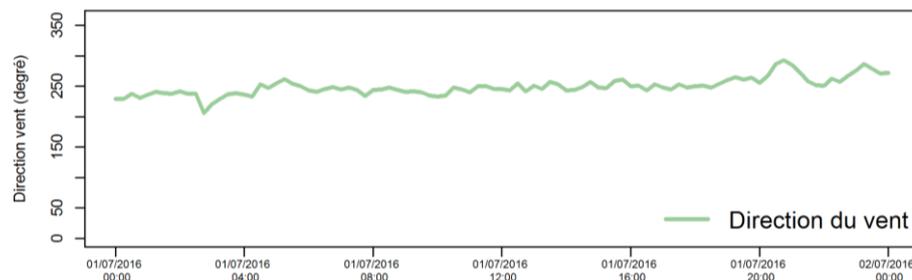


Figure 50 : évolution de la direction du vent en carrière au cours de la journée du 1^{er} juillet 2016

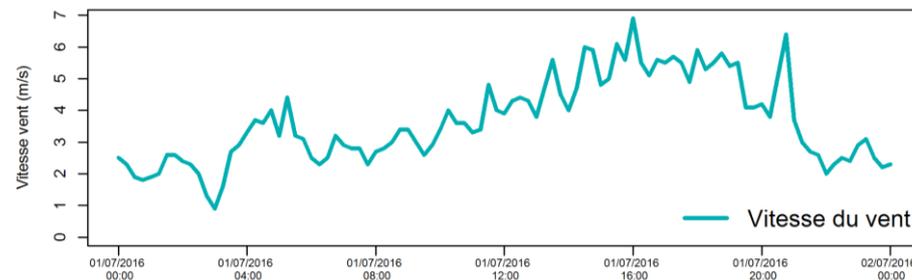


Figure 51 : évolution de la vitesse du vent en carrière au cours de la journée du 1^{er} juillet 2016

L'humidité relative est assez élevée ce jour-là, avec un minimum de 70 % aux alentours de 16 h. Les conditions météorologiques sont donc moins favorables à l'accumulation des particules que d'autres journées étudiées dans cette partie malgré un niveau de particules fines très important.

Ce jour-là les activités les plus importantes sont les traitements primaire et secondaire, le transport interne et l'extraction, comme l'indique le tableau suivant :

Poste		Activité
Extraction		Moyenne
Ventes		Faible
Traitement	Primaire	Elevée, démarrage à 6 h 30
	Secondaire	Moyenne, démarrage à 11 h
	Tertiaire	Faible, démarrage à 13 h
Transport interne	Evacuation tout venant	Elevée
	Déstockage	Elevée

Tableau 13 : données d'activité de la carrière E le 1^{er} juillet 2016

Ce jour-là, beaucoup de postes ont une activité élevée, ce qui peut expliquer que la concentration maximale en particules fines PM_{10} soit si élevée en carrière. De même, à partir de 13 h tous les postes sont en fonctionnement, ce qui pourrait expliquer que ce soit à ce moment-là que la concentration en PM_{10} augmente fortement.

La rose de pollution indique la zone de vente où se situe la trémie de chargement, alors qu'il s'agit d'un poste à faible activité ce jour-là :

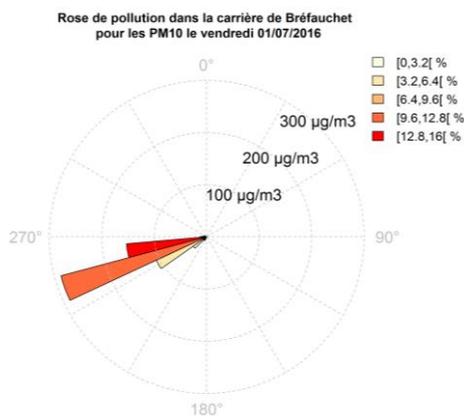


Figure 52 : rose de pollution pour les particules fines PM_{10} en carrière le 1^{er} juillet 2016

De même, les vidéos de la caméra de surveillance installée en carrière laissent apparaître des nuages de poussières en provenance de la trémie tout au long de la journée, avec des nuages plus importants entre 12 h et 16 h. Cette activité de vente reste donc un poste qui influence fortement les concentrations atmosphériques.

La direction du vent ayant été très stable pour la direction Ouest ce jour-là, le site des Rinières a toujours été en aval de la carrière, sous les vents de celle-ci. Ce site semble d'ailleurs directement impacté étant donné les niveaux de particules fines atteints :

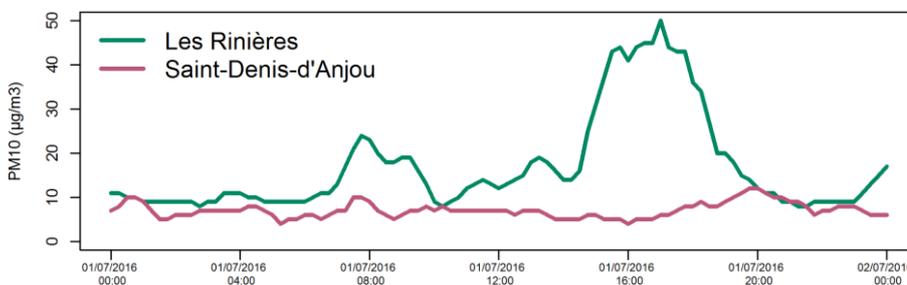


Figure 53 : évolution des particules fines PM_{10} sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou au cours de la journée du 1^{er} juillet 2016

Finalement, le profil des particules fines relevé sur le site des Rinières est très proche de celui relevé dans la carrière. Un pic apparaît en effet au niveau du site des Rinières au même moment que le pic relevé en carrière, entre 12 h et 20 h. De plus, les concentrations mesurées sur le site des Rinières sont largement supérieures à celles mesurées à Saint-Denis-d'Anjou.

La rose de pollution du site des Rinières semble pointer directement la zone de la carrière, comme l'indique la figure suivante :

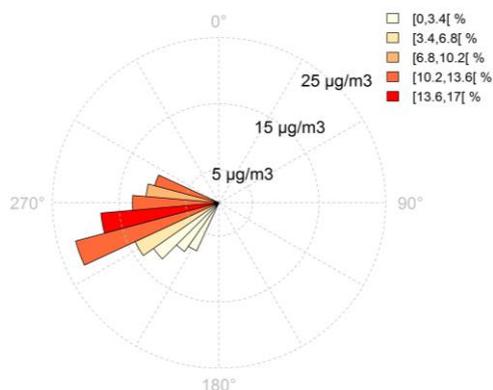


Figure 54 : rose de pollution pour les particules fines PM10 en carrière le 1^{er} juillet 2016

A cette observation s'ajoute les ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ pour les sites des Rinières et de Saint-Denis-d'Anjou, qui laissent penser que le site des Rinières a été fortement impacté par la carrière :

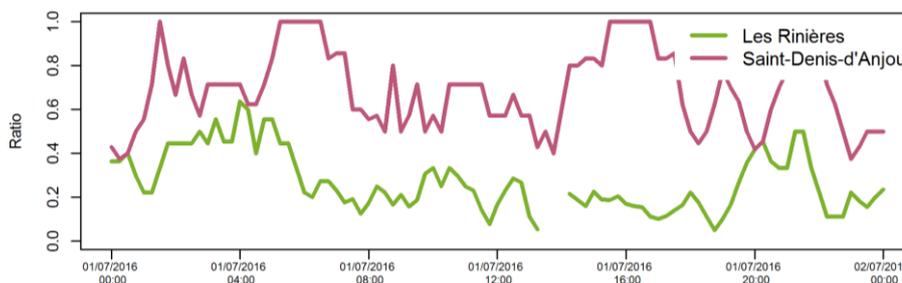


Figure 55 : ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ en fonction du temps pour la journée du 1^{er} juillet 2016 sur le site des Rinières et à Saint-Denis-d'Anjou

En effet le ratio calculé sur le site des Rinières est relativement inférieur à celui de Saint-Denis-d'Anjou. Une telle diminution du ratio sur le site des Rinières peut ainsi être expliquée par un apport de PM_{10} en provenance de la carrière.

Finalement ce jour-là le site des Rinières, situé en aval de la carrière, semble fortement impacté par les activités de cette dernière. Cela peut s'expliquer par les vents plutôt forts tout au long de la journée et également car il s'agit d'une journée intense concernant les activités de la carrière.

bibliographie

- [1] UNICEM, CITEPA, Outi Excel «Carrière GEREP».
- [2] *Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air.*
- [3] *Arrêté du 30 septembre 2016 modifiant l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières.*
- [4] UNICEM, «Carrières, poussières et environnement», 2011.
- [5] ANSES, «Les normes de qualité de l'air ambiant», 2017.
- [6] Lafarge, «Fabrication des granulats» [<https://www.lafarge.fr/fabrication-des-granulats>]

glossaire

abréviations

AASQA	Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l’Air
ADEME	Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d’Etudes de la Pollution Atmosphérique
CORTEA	Connaissances, Réduction à la source et Traitement des Emissions de polluants dans l’Air (appel à projets de l’ADEME)
DREAL	Direction Régionale de l’Environnement, de l’Aménagement et du Logement
EMCAIR	Emissions des Carrières dans l’Air
LCSE	Laboratoire des Sciences du Climat et de l’Environnement
OMINEA	Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions
PC(A)ET	Plans Climat-(Air-)Energie Territorial
UNICEM	Union Nationale des Industries de Carrières et des Matériaux
UNPG	Union nationale des producteurs de granulats (membres de l’UNICEM)

définitions

année civile	période allant du 1er janvier au 31 décembre
AOT40	somme des différences entre les moyennes horaires supérieures à 80 µg/m ³ et 80 µg/m ³ , calculée sur l'ensemble des moyennes horaires mesurées entre 8 h et 20 h de mai à juillet
heure TU	heure exprimée en Temps Universel (= heure solaire)
hiver	période allant du 1er octobre au 31 mars
moyenne 8-horaire	moyenne sur 8 heures
percentile x	niveau de pollution respecté par x % des données de la série statistique considérée
taux de représentativité	pourcentage de données valides sur une période considérée
valeur cible	niveau de pollution fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre là dans la mesure du possible sur une période donnée
objectif de qualité	niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée
valeur limite	niveau maximale de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement
seuil de recommandation et information	niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée
seuil d'alerte	niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises



airpays de la loire

5 rue Édouard-Nignon – CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3

Tél + 33 (0)2 28 22 02 02

Fax + 33 (0)2 40 68 95 29

contact@airpl.org

air | pays de
la loire
www.airpl.org