

Avril
2018

EMISSIONS DES CARRIERES DANS L'AIR

Etude des émissions de poussières
autour de quatre carrières de granulats
dans trois régions françaises.

Synthèse

ADEMEAgence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :

**air** pays de
la loire
www.airpl.org THE CYPRUS
INSTITUTE

REMERCIEMENTS

L'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (UNICEM) tient à remercier d'abord les entreprises adhérentes qui se sont engagées dans ce programme d'étude expérimentale et qui ont bien voulu mobiliser leurs équipes pour accueillir, sur leurs sites, les scientifiques et techniciens de la qualité de l'air. Elle remercie chaleureusement les associations agréées de la qualité de l'air des régions Bretagne, Hauts-de-France et Pays de la Loire pour les travaux menés durant les trois années de l'étude. Un grand merci au CITEPA, l'INERIS, l'Institut Chypriote de la qualité de l'air et à l'ADEME pour leur expertise et leur accompagnement tout au long du programme. Merci aux étudiants et enseignants de l'Université du Littoral de la Côte d'Opale (ULCO) qui ont participé au dépouillement de la première campagne de mesures sur le bassin de Marquise, ainsi qu'à l'ingénieur-stagiaire qui a rassemblé les données d'exploitation pendant la campagne estivale en Pays de la Loire tout en essayant de faire fonctionner les micro-capteurs. Merci à l'entreprise TERA de s'être prêtée de cette prise au teste des micro-capteurs en carrière en assurant le meilleur soutien technique pour le déroulement des essais.

L'UNICEM remercie particulièrement les membres du comité de pilotage :

- E. Fiani, D. Vermaut (ADEME)
- O. Cesbron (Air BREIZH)
- A. Anquez, N. Dufour, R. Gimeno, S. Vermeesch (ATMO Haut de France)
- C. Lemaire (Air Pays de la Loire)
- N. Taïeb, L. Nicco (CITEPA)
- B. Brouard-Foster, F. Gautier (INERIS)
- J. Sciare (LSCE/The Cyprus Institute)
- Y. Adam, F. Bio Beri, D. Collonge, M. Hiblot, J-P. Queros, A. Vasseur, S. Rimey, N. Ziamni (UNICEM)
- C. Corlay, F. Habasque, A. Herbel, Y. Legout, S. Lebreton (UNICEM Bretagne)
- Y. Boraccino, C. Foquet, A-E. Coubel, M. Huszak, P. Leclerc, O. Poulain, F. Quehen, V. Ribard (UNICEM Haut de France)
- D. Buckel, B. Gardeton, J-M. Hellier, Y. Huiban, E. Torlasco (UNICEM Pays de la Loire)
- J-P. Estacaille (SFIC)
- A. Specq, V. Perrouchet, J.Gnamien (Université du Littoral de la Côte d'Opale – Calais)
- C. Jeanne (ICAM- Nantes)

CITATION DE CE RAPPORT

Cesbron O. (Air BREIZH), Anquez A., Dufour N., Gimeno R., Vermeesch S. (ATMO Haut de France), Lemaire C. (Air Pays de la Loire), Nicco L., Taïeb N., (CITEPA), Sciare J. (LSCE/The Cyprus Institute), Adam Y., Bio Beri F., Collonge D. (UNICEM) 2018, Emissions des carrières dans l'air : Etude des émissions de poussières autour de quatre carrières de granulats dans trois régions françaises. 16 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1581C0026

Étude réalisée par UNPG, ATMO Hauts-de-France, Air Pays de la Loire, Air Breizh, CITEPA, The Cyprus Institut LSCE pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : UNPG

Appel à projet de recherche : CORTEA

Coordination technique - ADEME : FIANI Emmanuel, VERMAUT Denis

Service Entreprises et Dynamiques Industrielles (SEDI),

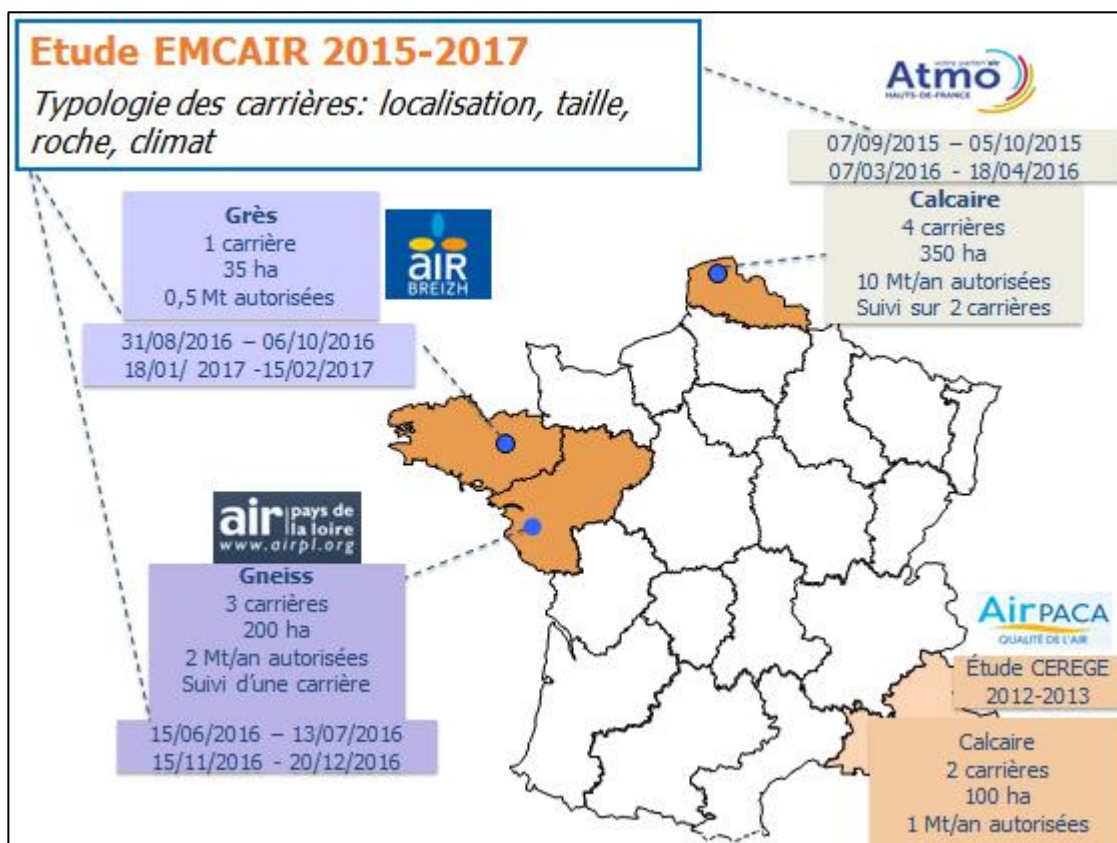
Direction Productions et Energies Durables (DPED)



Synthèse

Depuis l'année 2000, le bilan annuel de la qualité de l'air en France montre que, malgré une tendance globale à l'amélioration pour les principaux polluants, demeurent de profondes disparités sur le territoire national avec des épisodes de pollution significatifs. Les seuils réglementaires ne sont pas respectés et des épisodes de pollution restent récurrents sur certaines régions, à tel point que la France est contrainte par la Commission européenne de mettre en place des dispositifs pour y remédier.

Dans ce contexte de politique publique renforcée sur la qualité de l'air, l'industrie extractive, encore trop souvent associée à l'image d'une activité fortement génératrice de poussières, a souhaité améliorer les connaissances concernant le niveau réel des émissions atmosphériques des carrières en lançant un programme d'études "EMCAIR" – Emissions des Carrières dans l'Air. Suivant une même méthodologie expérimentale, EMCAIR regroupe trois séries de deux mois de campagnes de mesures dans des conditions climatiques différentes (été/hiver) de 2015 à 2017, autour de quatre carrières (regroupées en trois ensembles) dans trois régions françaises dans le but d'en cerner les caractéristiques communes à travers : les suivis des particules atmosphériques en suspension (normes PM10 et PM2.5) et des dépôts atmosphériques en fonction des conditions météorologiques et d'exploitation des carrières concernées.



La méthode expérimentale mise en place consiste à enregistrer, par des mesures en ligne et des analyses chimiques intégrées sur une semaine, l'empreinte de la carrière et d'en suivre l'influence en champ proche en disposant d'au moins un site de référence (hors influence de la carrière).

Le **champ proche** est défini dans EMCAIR en fonction de la taille des carrières et de leur contexte respectif : 400 à 600 m de distance pour une carrière isolée de 0,35 Mt de capacité d'extraction annuelle (cas Bretagne – carrière H), 300 à 1500 m pour une carrière de 1 Mt de capacité annuelle avec deux autres carrières voisines (cas Pays de la Loire – carrière E), jusqu'à 2,500 m autour de deux des quatre carrières du bassin de Marquise pour une capacité totale de plus de 10 Mt (cas Hauts de France – carrières A et B). Les stations de collecte des particules en champ proche ont été implantées en tenant compte des vents dominants afin qu'une soit en amont (au vent) de la carrière et une autre en aval (sous le vent). Cette diversité de situation et de conditions d'exposition aux facteurs climatiques locaux

est complétée par une autre diversité, celle de la géologie des roches exploitées : grès quartzite (carrière H), gneiss (carrière E), calcaire (carrières A et B).



Cette approche a été réalisée par des experts de la mesure et du contrôle de la qualité de l'air pour chacune des régions (les AASQAs), de la chimie des particules (LSCE/Cyprus Institute) et de l'inventaire des émissions nationales (CITEPA) sous la coordination du syndicat professionnel de l'industrie des granulats (UNPG).

1. Principaux résultats

L'exploitation des données recueillies au cours des campagnes de mesures permet de mieux comprendre les émissions de poussières en carrière et en champ proche par analyses et recoupements :

- Des **concentrations** et des **granulométries** des particules émises en périodes mensuelles sur deux saisons contrastées (été/hiver) ;
- Des **évolutions horaires/journalières** afin de caractériser les pics relevés et leurs impacts ;
- La **composition chimique** des particules par classe de taille afin de mieux quantifier l'empreinte « chimique » de la carrière par les concentrations de traceurs spécifiques, en se référant à la composition des roches exploitées.

Les premières améliorations des connaissances commencent **par les carrières**. Certes le programme n'avait pas l'ambition de détailler les émissions poste par poste, mais le fait d'implanter systématiquement une station à l'intérieur du périmètre d'une carrière, donc nécessairement à proximité de certaines des sources d'un site a permis de mieux en caractériser les traits dans diverses conditions d'exploitation et de météorologie et ainsi de dégager les grandes tendances suivantes :

- Les stations **en carrières, enregistrent logiquement les plus forts taux de dépôts (secs/humides), ainsi que les plus fortes concentrations en PM ; les profils de ces concentrations sont caractérisés par des pics journaliers corrélés à l'activité ; l'empreinte chimique de ces PM (et les dépôts) est bien celle de la roche exploitée ; le fait que les carrières enregistrent les dépôts les plus importants, souligne qu'elles fonctionnent également comme « puits à particules » en ce qui concerne les plus grosses particules produites dans leur périmètre.**
- Les sources identifiées en carrière **produisent majoritairement des PM10, peu de PM2.5 avec un ratio PM2.5/PM10 évoluant typiquement en dessous de 0,2 et ce quel que soit le type de roche exploitée ;**

En champs proches, les stations enregistrent :

- Une influence des émissions de carrière très **limitée pour les dépôts atmosphériques, visible en concentrations de PM10** au moment de certains épisodes météorologiques, influence déterminable par la chimie ou par le rapport PM2.5/PM10 ; influence **non visible en**

concentrations de PM2.5, uniquement **décelable par la chimie** des particules fines et sur des prélèvements intégrés sur une semaine;

- Pour les **dépôts atmosphériques** (résultats des jauges « Owen »), la dispersion en champ proche reste limitée. La chimie souligne l’empreinte de la carrière par les marqueurs des roches exploitées (Ca dans le Nord pour le calcaire, Fe/Al et Mg/Al dans l’Ouest pour le gneiss et le grès) tout en pointant d’autres influences (maritimes avec Na⁺ et Cl⁻ rencontrées sur le bassin de Marquise, agricoles dans les Pays de la Loire avec des éléments comme P).
- Dans la **fraction PM10**, l’influence des carrières en champ proche est visible à la fois sur les mesures en ligne (quart horaire) et sur les mesures intégrées (hebdomadaires) de chimie indépendamment des saisons avec des contributions qui évoluent dans l’intervalle + 0,9 à 11,15 µg/m³ avec des pointes estivales liées aux envols pouvant représenter des pics de concentration importants : + 57% sur une semaine.
- Dans la **fraction PM2.5**, l’influence de la carrière sur les sites en champs proches n’est pas significative ; la mesure chimique intégrée sur la semaine permet de préciser qu’elle évolue en moyenne entre +0,14 et 1,48 µg/m³ avec un pic estival sur l’une des carrières mesurées à 2,75 µg/m³.
- Comme attendu, la **composante minérale** des particules est dominante en carrière par rapport au fond rural ; elle est davantage marquée dans la fraction PM10 (jusqu’à 57% et notamment l’été) que dans la fraction PM2.5 (44% pointe estivale).
- Il convient de noter que par rapport aux critères de qualité de l’air, les mesures réalisées en champs proches et extrapolées sur une année entière ne montrent aucun dépassement de seuil réglementaire (en moyenne journalière ou en moyenne annuelle), ni en PM10, ni en PM2.5.

Les carrières sont donc caractérisées par **des points d’émissions multiples de poussières minérales**, le plus souvent **diffuses** et comprenant des **particules grossières** dont la plus grande masse reste sur le périmètre de la carrière sous forme de dépôts et dont la **fraction en suspension** se retrouve **majoritairement dans la fraction PM10**.

2. Rapport PM2,5/PM10

Ce rapport peut-être un bon indicatif de caractérisation des émissions primaires de particules. Ainsi, en milieu urbain, dominé par le trafic routier et le chauffage au bois, ce rapport est classiquement de l’ordre de 0,7 à 0,8. Pour mémoire, certains épisodes de pollution régionale ont montré dans l’agglomération de Lille des ratios supérieurs à 0,85.

En carrière (extraction et traitements), l’analyse des ratios PM2.5/PM10 a permis de mettre en évidence une valeur **caractéristique inférieure à 0.2** qui varie peu entre les semaines, les saisons et les sites, excepté durant les épisodes de pollution régionale (du fait d’apports en PM2.5). Ce point vient conforter le fait que les carrières émettent peu de particules PM2.5.

- En région Hauts de France, les mesures horaires permettent de noter des rapports évoluant entre 0,07 et 0,17 sur les 2 carrières (indépendamment de la saison) dès que les concentrations en PM10 sont significativement influencées par les émissions de la carrière (i.e. supérieures à un seuil fixé à 150 µg/m³) ;
- En Pays de la Loire, l’asymptote à 0,07 se retrouve en période estivale pour les pics d’émissions, alors qu’en période hivernale, la limite se situerait plutôt à 0,15 ;
- En Bretagne, le ratio des 0,20 se retrouve en carrière dès que les concentrations de PM10 sont supérieures au seuil fixé ici à 70 µg/m³ en période estivale ; sur ce site l’évolution du ratio en période hivernale est plus complexe.

Ce constat du ratio « caractéristique » PM2.5/PM10 pour les émissions primaires des carrières avait déjà été fait au cours des premiers suivis dans le Sud de la France (CEREGE-CNRS-AirPACA). De même, les conclusions sur la nature des particules émises par les carrières et les installations de premier traitement confirment les premières déductions faites en PACA au cours des suivis expérimentaux de deux carrières calcaires sur la période 2012-2014.

3. Poussières sédimentables

Les dépôts secs et humides dans le cas des carrières ont été caractérisés expérimentalement de façon plus poussée :

- Ils sont constitués de particules **de taille étendue – de 0,1 à 250 µm de diamètre –**



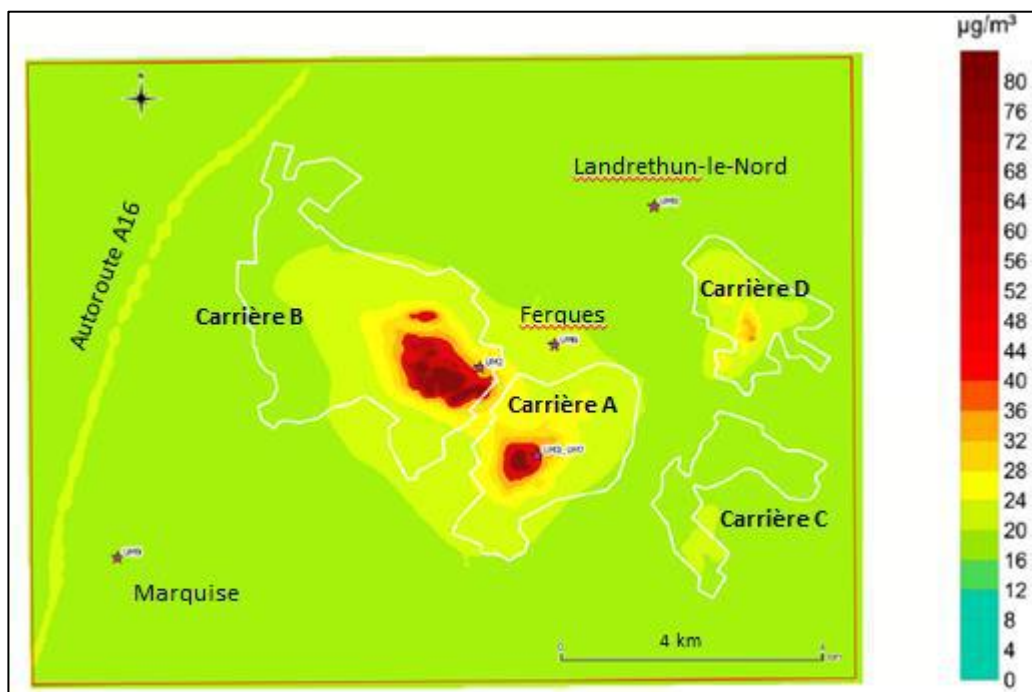
- Leur **masse est dictée par celle des particules de plus de 10µm de diamètre**, c'est-à-dire les plus concernées par les phénomènes de sédimentation ;
- Des **corrélations entre dépôts et particules en suspension existent pour les PM10** ; ces dernières, représentatives des émissions de carrières, sont **co-émises** avec toutes les autres par les différentes sources ; ces corrélations sont clairement liées à la configuration de chaque site ; le suivi des poussières sédimentables pourrait ainsi être utilisé comme indicateur de tendance des PM10 des carrières (à calibrer pour chaque carrière);
- Il n'a **pas de corrélations entre dépôts et PM2,5** car leurs proportions sont très faibles dans les émissions de carrières et que, même présentes dans les dépôts, leur masse est non significative par rapport à la masse globale.
- La **mobilisation des poussières sédimentables peut remettre en suspension des fractions comme les PM10 et dans une moindre mesure les PM2,5** ;

Pour les **TSP (poussières totales en suspension)**, les essais de mesures directes n'ont pas abouti en raison de la difficulté métrologique intrinsèque liée à leur collection quantitative; cependant, de manière indirecte, les résultats des mesures permettent de comprendre qu'au-delà de quelques (dizaines de) mètres d'une source (hors influence météorologique) les TSP en carrière sont des PM10 puisque les particules supérieures ont sédimenté et donc ne sont plus en suspension.

4. Modélisation

Une modélisation de la dispersion des émissions de PM10 des carrières du bassin de Marquise (48 km²) a été réalisée par ATMO Hauts-de-France sur le modèle ADMS-Urban (version 4.0) à partir des potentiels d'émissions estimés par l'outil GEREP et des données d'inventaire régional pour les sources d'émission hors carrières. Cet exercice s'est montré concluant et semble donc confirmer la pertinence de la méthodologie proposée par le CITEPA, tout au moins pour les facteurs d'émissions de PM10.

Les cartographies produites à l'issue des simulations sur l'ensemble du domaine d'étude montrent l'influence des activités extractives sur le champ proche du domaine d'étude. La simulation des épisodes relevés au cours des campagnes vient corroborer les enregistrements opérés illustrant pour certains épisodes l'impact de l'activité des carrières sur les concentrations en particules en suspension PM10 vers les sites de Ferques et Marquise.



Modélisation : concentration en moyenne annuelle de PM10 en 2015 sur la zone d'étude de 48 km² du bassin de Marquise (Hauts de France)

La cartographie par **groupe de points sources d'émission** a permis de déterminer la contribution de chacune des activités d'extraction/traitement des carrières à l'impact global du site sur son environnement proche. Il apparaît ainsi tout l'intérêt à développer la **modélisation à l'intérieur d'un**



périmètre de la carrière afin de mieux comprendre les interactions des divers points sources d'émission ainsi que les résultats en termes d'émissions au sein du périmètre du site puis dans un second temps au-delà afin d'anticiper l'impact sur le voisinage. Dans le cas modélisé on a ainsi observé que les points **sources d'émission qui contribuent le plus au gradient de concentration** autour des carrières sont ceux appartenant aux « traitements » et « stockages » Pour les **transports internes et l'extraction**, leurs influences apparaissent secondaires. Malgré une configuration topographique enclavée, les **émissions se dispersent dans un volume d'air important car la géométrie du site est très ouverte**.

5. Micro-capteurs

Des tests de micro-capteurs optiques pouvant assurer une télésurveillance instantanée des PM10 et PM2.5 ont été réalisées à l'occasion de certaines des campagnes sur 3 des 4 carrières, mais les résultats n'ont pas été concluants.

6. Comparaison avec des travaux similaires dans d'autres pays

Une revue bibliographique des publications sur les aérosols et plus spécifiquement des articles concernant les carrières et les poussières, a pu être réalisée au moment de la consolidation des travaux régionaux d'EMCAIR. Elle montre que les sujets abordés par le programme EMCAIR font aussi l'objet de travaux et de publications (pour les études d'intérêt général et libres de droit) dans bien des pays. Ainsi, nous pouvons relever la **grande convergence des résultats** publiés avec ceux issus des différentes étapes d'EMCAIR. En particulier nous retiendrons principalement :

- La quantification des émissions liées à certaines sources caractéristiques des carrières (roulage, foration) pour une modélisation précise, montrant la forte atténuation des concentrations en fonction de l'éloignement (Ian LOWNDES, Joseph DOCX, Sam KINGMAN déc 2006- Suzanne Oudwater, sept 2017);
- L'importance de disposer de facteurs d'émissions pertinents évalués sur la base de données locales pour représenter les émissions des carrières avec la mise en œuvre des données de l'US-APE 42 pour une carrière de roche meuble (UK) ;
- La modélisation ADMS semble apporter une bonne approche des émissions en carrière et de leur dispersion en champ proche

Enfin, nous avons pu noter que certaines techniques (LIDAR) pouvaient être employées en carrières avec succès notamment pour réaliser des suivis non seulement en termes de concentrations mais également de nature de particule (quartz). Cela pourra être mis à profit dans le cadre de nouvelles études, en particulier si elles s'orientaient sur une meilleure caractérisation des facteurs d'émissions et des flux associés.

7. Techniques de réduction des émissions

Au **plan théorique**, l'ajustement des **facteurs d'émissions** tels qu'ils sont définis dans la méthode d'inventaire national ou dans l'outil GEREP n'a pas été possible à partir des mesures ambiantes réalisées sur EMCAIR. En effet, les facteurs d'émissions sont liés à une source précise d'émission (forage, concasseur, stockage, transport, etc.) qui n'a généralement pas été identifiable parmi les séries de mesures de concentrations réalisées, puisque l'approche EMCAIR était à l'échelle plus large du contexte de la carrière.

Au **plan pratique**, les campagnes de mesures réalisées, notamment par l'analyse des données issues des stations implantées en carrière donnent les premières clés aux exploitants pour réduire les émissions les plus massives avec les techniques reconnues. Ensuite, ces observations permettent de comprendre comment construire une méthode robuste pour évaluer par type de source, les différentes techniques et moyens de réduction des émissions en fonction des conditions météorologiques. Les essais de micro-capteurs ont été profitables dans ce sens : avec une technologie plus fiable ils pourraient contribuer à la maîtrise des émissions que l'exploitant cherche à optimiser.



8. Perspectives

Les émissions en carrières proviennent donc de points **sources multiples disséminés dans un espace vaste et changeant dans le temps** du fait du fonctionnement des exploitations. Elles sont constituées par des **particules grossières de nature minérale, majoritairement au-dessus des PM10**, dont le rayon d'influence est le plus souvent très limité : le nom de « panaches » est généralement attribué à ces émissions localisées. Les roches n'ont pas toutes le même **comportement** en termes de **fragmentation ou d'attrition** aux sollicitations mécaniques : EMCAIR a commencé à le mettre en évidence par la granulométrie des dépôts secs, ou encore par les rapports de concentration de certains événements. Il faut poursuivre en étendant les investigations et les recoupements avec un cadre méthodologique approprié. Après ce premier programme d'études appliquées plusieurs perspectives se présentent pour lesquelles la profession des industries de carrières devra se prononcer en fonction des enjeux et opportunités :

→ Amélioration des connaissances – Méthodes d'évaluation

Pour réduire l'influence des activités extractives il est donc important maintenant de progresser dans la **connaissance** détaillée de ces **points sources à l'intérieur d'un périmètre de carrière**. Les objectifs des étapes suivantes peuvent être :

- **Affiner les données d'émissions sur chaque type de points sources** (approche statistique) en fonction des conditions d'exploitation (approche métier) et des mesures de réduction adoptées (approche prévention) : un cadre méthodologique nouveau est à bâtir;
- **Améliorer les facteurs d'émissions** qui sont employés dans la méthode d'évaluation du potentiel d'émission des carrières (dite méthode GEREP mise au point avec le CITEPA) : c'est l'étape qui suivra la caractérisation des sources par des données fiables.
- **Améliorer la méthode d'évaluation** du potentiel d'émission des carrières : les facteurs d'émissions actualisés et précisés à l'étape précédente ne suffisent pas à eux seuls à l'amélioration de l'évaluation. Il y a besoin de recouper les calculs avec les informations d'exploitation (énergie électrique consommée, masse d'explosifs utilisés...) pour éviter certaines dérives ou surestimations.

L'intérêt de la **modélisation** a été testé avec succès une nouvelle fois autour des carrières. Plusieurs pistes de progrès ont été identifiées :

- **Mieux estimer la temporalité** les pics et valeurs importantes de concentrations de PM10. Pour cela des informations sur l'activité de chaque source sont nécessaires afin d'établir des profils temporels d'émissions. Ils traduiraient les périodes d'arrêt de l'activité, des périodes de production plus grande, les heures de chargement/déchargement etc.
- **Mieux représenter les concentrations** réelles en périphérie des carrières. A partir des potentiels d'émissions évalués suivant la méthode CITEPA sur la base des facteurs d'émissions, il s'agirait de tenir compte dans la modélisation des carrières **de la nature particulaire du polluant et de sa sédimentation sous forme de dépôts secs et humides**. En effet, comme il est précisé dans les hypothèses de départ, cette option n'avait pas été retenue faute d'expérience. Or, les analyses des suivis réalisés sur les différents sites au cours du programme EMCAIR soulignent dans leurs conclusions cette particularité des carrières à la fois sources et puits pour les particules.
- **Mieux individualiser les points sources d'émissions** au sein d'un périmètre de carrière en tenant compte de données issues de l'exploitation et d'autres plus spécifiques qui pourraient être mises en place dans le cadre d'un programme de travail sur les facteurs d'émissions avec le CITEPA ; ainsi la modélisation pourrait intervenir comme test pour valider plus finement les facteurs d'émissions et la méthodologie retenue pour les carrières.

→ Amélioration des moyens et techniques de réduction des émissions

On a vu à l'occasion des développements autour de la problématique des dépôts/particules en suspension que les mécanismes qui décrivent les comportements de particules sont importants à connaître non seulement pour expliquer les phénomènes relevés en carrières et autour des sites, mais également pour **mettre en œuvre les meilleures techniques de prévention et de réduction** des émissions par rapport aux types et tailles de particules émises (contacts particules/gouttes d'eau, caractéristiques des médias filtrants, effets électrostatiques, etc.) Deux objectifs se dégagent :

- **Guider les exploitants vers les techniques et méthodes les plus efficaces** pour réduire leurs impacts dans le domaine des poussières et particules en suspension.

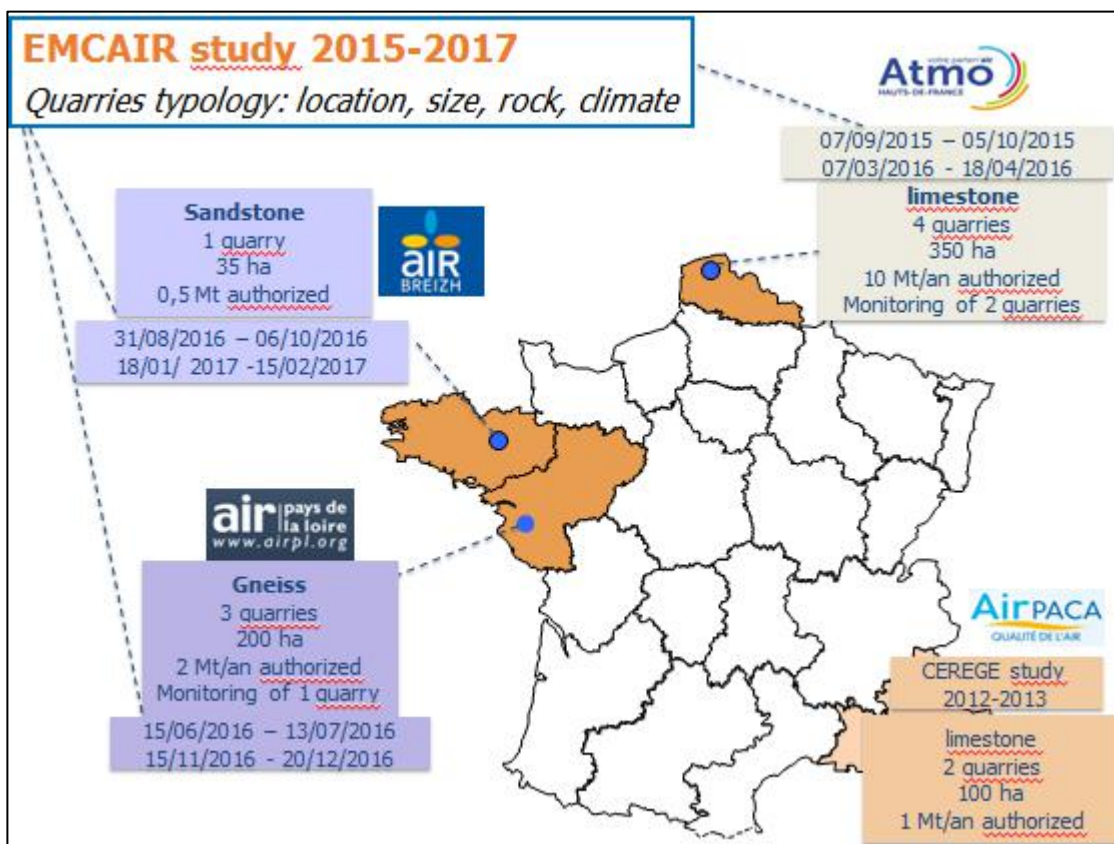
Inciter les partenaires de nos activités à développer des techniques innovantes pour plus d'efficacité



Abstract

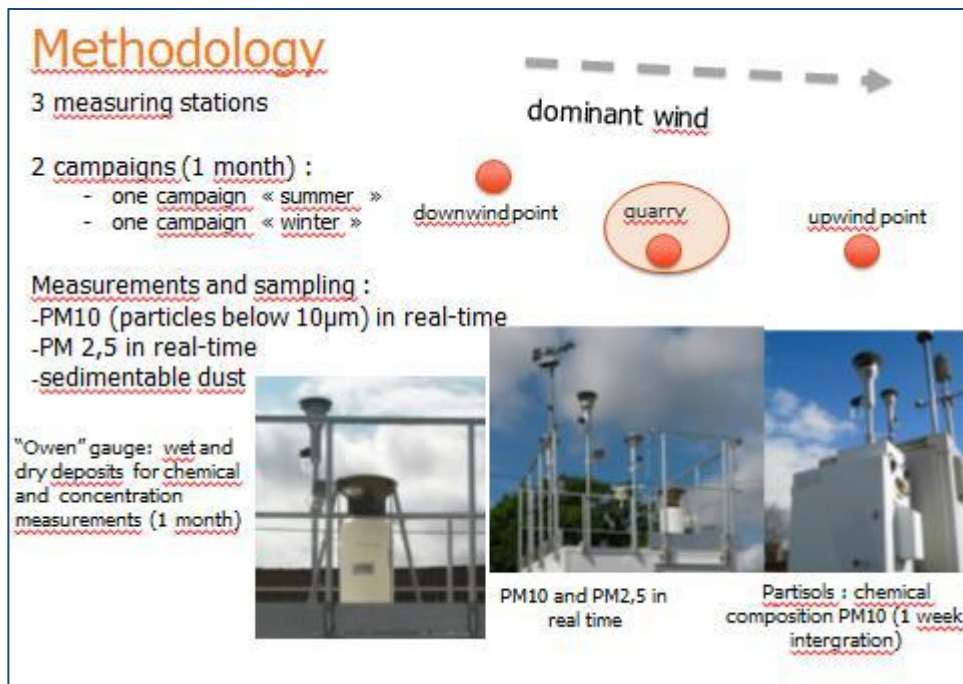
Since the year 2000, the annual evaluation of air quality in France shows that, despite an overall improvement trend for the main pollutants, there are still wide disparities across the country with significant episodes of pollution. Regulatory thresholds are not respected, and pollution episodes remain recurrent in certain regions, to such an extent that the European Commission oblige France to put in place mechanisms to remediate this situation.

In this context of public policies related to air quality, the extractive (quarry) industry still suffers from a reputation associated with activities that generate a lot of atmospheric dust. The EMCAIR project (Emissions from Quarries in the Air) aims at improving our knowledge on real-world air emissions from quarrying activities and quantify their impacts in the vicinity of the extraction sites. Four representative quarries were studied in the framework of EMCAIR (from 2015 to 2017) using a similar and well-defined experimental strategy targeting on-line/off-line measurements of EU regulated PM_{2.5}/PM₁₀ and their chemical characterization. Summer and winter intensive (1-month) field campaigns of measurements were performed for each quarry to better infer the driving role of meteorological conditions on ambient PM concentrations and their influence on dispersion processes and deposition (dry/wet) mechanisms.



The “near-field” defined in EMCAIR is function of the size of the quarries and their respective context. More specifically for this study:

400 to 600 m for an isolated quarry with 0.35 Mt of annual extraction capacity (Bretagne case - H quarry), 300 to 1,500 m for a quarry with an annual extraction capacity of 1 Mt with two other nearby quarries (Pays de la Loire - quarry E), up to 2,500 m around two of the four quarries in the Marquise basin for a total extraction capacity of more than 10 Mt (Hauts de France – quarries A and B). The sampling stations were established taking into account the prevailing winds so that one was upwind of the quarry and the other downwind. This diversity of situations and exposure conditions to local climatic factors is complemented by the geology of mined rocks: quartzite sandstone rock (quarry H), gneiss rock (quarry E), calcareous rock (quarries A and B).



This experimental study was performed by air quality measurements and control experts for each region (AASQAs), by a laboratory specialized in particulate chemistry (LSCE/Cyprus Institute) and the national (French) operator in emission inventories (CITEPA), led and coordinated by the national association of aggregate producers (UNPG).

1. The main results

The use of data collected during measurement campaigns provides a better understanding of quarry and near-field dust emissions by analysing and crosschecking:

- concentration and granulometry of emitted particles for field campaigns of 1 month duration over two contrasting seasons (summer/winter)
- **hourly/daily changes** in order to characterise the peaks recorded and their impacts
- **the chemical composition** of PM by size class in order to better quantify the fingerprint of the quarry made by the composition of the rock mined

The first improvements in knowledge concern **the quarries**. Admittedly, EMCAIR did not have the ambition to characterize the quarry emissions, but setting up a sampling station inside the perimeter of a quarry, so necessarily close to the emission sources, and thus identify the following major trends:

- quarry sampling stations, logically record the highest deposit rates, as well as the highest PM concentrations; the profiles of these concentrations are characterized by daily peaks correlated to various activities taking place inside the quarry; the chemical fingerprint is indeed similar to the exploited rock; the fact that quarries record the largest dry/wet deposition mass, and behave as sinks for the very large particles (PM above 10µm diameter) they produce.
- The emission sources identified within the quarry mainly produce PM10 and few PM2.5 with a PM2.5/PM10 ratio typically evolving below 0.2 and this, whatever the type of emission source.

In near-fields, sampling stations recorded:

- Limited influence in atmospheric (dry/wet) deposition, noticeable influence in PM10 concentrations during specific weather conditions, influence can be determined by chemistry or by the ratio PM2.5/PM10; the influence is not noticeable in PM2.5 concentrations, and only detectable using weekly-integrated filter chemistry.
- For atmospheric deposition ("Owen" gauge results), near-field dispersion remains limited. Chemistry underlines the fingerprint of the quarry by specific markers of exploited rocks (calcium in the North for limestone, Fe/Al and Mg/Al in the West for gneiss and sandstone), while considering other influences (marine with Na⁺ and Cl⁻ encountered in the Marquise basin, agricultural in the Pays de la Loire with trace elements such as phosphorus).
- In the PM10 fraction, the influence of near-field quarries is visible on on-line measurements and on integrated (filter-based) measurements made for chemistry independently of the seasons

with contributions evolving in the interval + 0.9 to 11.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and summer peaks linked to re-suspension, which can represent important peaks: + 57% over a week.

- In the PM_{2.5} fraction, the influence of the quarry emission in near-field is not significant; the integrated chemical measurement over the week makes it possible to specify that it evolves on average between +0.14 and 1.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with a summer peak in one of the quarries measured at 2.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- As expected, the mineral component of sampled particles is dominant in quarries compared to the rural background; it is more evident in the PM₁₀ fraction (up to 57% and especially in summer) than in the PM_{2.5} fraction (44% summer peak).
- It should be noted that, in relation to air quality criteria, measurements taken in near-fields and extrapolated over an entire year show no regulatory threshold exceedance (daily average or annual average), neither in PM₁₀, nor in PM_{2.5}.

Quarries are therefore characterised by multiple emission sources, most often made by very large particles (above 10 μm diameter), the largest mass of which remains within the quarry perimeter in the form of dry/wet deposition and whose suspended fraction consists mainly of PM₁₀.

2. Ratio PM_{2.5}/PM₁₀

This ratio can be used as an indicator of primary particulate matter sources. Thus, in urban areas, dominated by road traffic and domestic (wood) heating, this ratio is typically in the order of 0.7 to 0.8. As a reminder, certain episodes of regional pollution in the agglomeration of Lille showed ratios higher than 0.85 (see § 3.1.3).

In the quarry (extraction and processing), analysis of PM_{2.5}/PM₁₀ ratios revealed a characteristic value of less than 0.2 that varies little between weeks, seasons and sites, except during regional pollution episodes (due to PM_{2.5} inputs). This point reinforces the conclusion made that quarries emit few PM_{2.5} particles.

- In the Hauts de France region, hourly measurements show ratios ranging between 0.07 and 0.17 for the 2 quarries (regardless of the season) when using a threshold of PM₁₀ concentrations exceeding 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ is taken to better discriminate local (quarry emissions);
- In Pays de la Loire, the asymptote at 0.07 is found in the summer period for peak emissions, whereas in the winter period, the limit is rather at 0.15
- In Bretagne, the ratio of 0.20 is found in quarries when a threshold of PM₁₀ concentrations exceeding 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ taken in summer to better discriminate local; on this site the evolution of the ratio in winter is more complex

This observation of the characteristic ratio PM_{2.5}/PM₁₀ had already been made during preliminary studies performed in the South of France during experimental monitoring of two calcareous quarries over the 2012-2014 period (CEREGE-CNRS-AirPACA). Similar conclusions were also made on the chemical (mineral) composition of particles emitted by quarries.

3. Deposited dust particles

Dry and wet depositions in quarries have been better characterized:

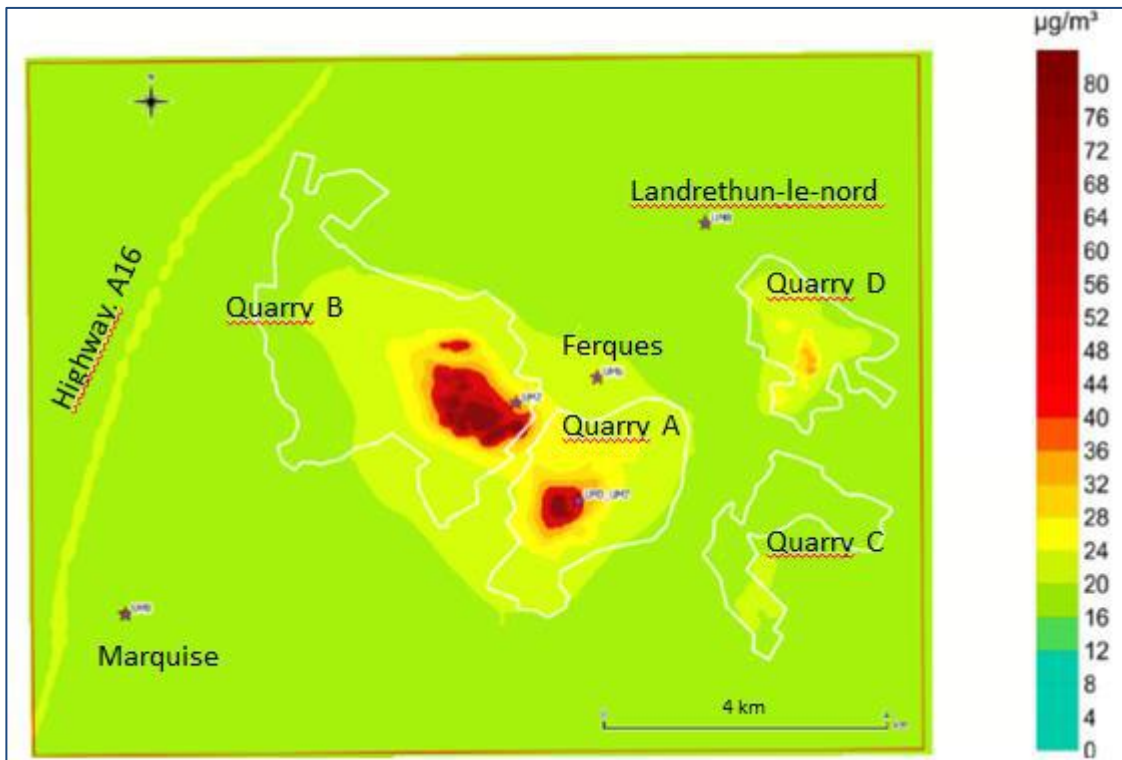
- They are constituted by particles of extended size – diameter from 0.1 to 250 μm -.
- Their mass is influenced by the largest ones (more than 10 μm diameter) which are the most affected by sedimentation processes
- Correlations between deposition and suspended particulate mass do exist for PM₁₀ in quarries; the latter (PM₁₀) are co-emitted with the largest ones by the different emission sources; these correlations are clearly linked to the configuration of each site ; the monitoring of deposited dust particles could thus be used as an indicator of the trend of PM₁₀ in quarries
- It has no correlation between deposition and PM_{2.5} because their proportions are very low in quarry emissions and, even present in deposits, their mass is not significant compared to the overall mass.
- Mobilisation of deposited dusts can re-suspend fractions like PM₁₀ and PM_{2.5};
- For TSP (total suspended dust), direct measurement tests have not been successful due to metrology issues related to the difficulty to sample very large particles; however, indirectly, the results of the measurements make it possible to understand that beyond a few (tens of) metres from a emission source the TSP in the quarry are mainly PM₁₀ because the higher particles have deposited and are therefore no longer in suspension



4. The modelling

A dispersion modelling of PM10 emissions from quarries in the Marquise basin (48 km²) was performed by ATMO Hauts-de-France with the ADMS-Urban model (version 4.0) based on emission factors estimated by the GEREP tool and regional inventory data for emission sources outside quarries. This exercise was conclusive and therefore seems to confirm the pertinence of the methodology proposed by CITEPA, at least for PM10 emission factors.

The concentration maps obtained by simulations during the whole duration of the field of study show the influence of extractive activities in the near-field environment. The simulation of the episodes recorded during the campaigns corroborates the experimental records, illustrating for certain episodes the impact of quarry activity in PM10 suspended particle concentrations at the Ferques and Marquise sites.



Modelling: annual average concentration of PM10 in 2015 in the study area of 48 km² in the Marquise basin (Hauts de France)

Mapping the emission sources in the quarry made it possible to identify the contribution of each of the extractive/processing activities to the overall impact of the quarry site and its near-field environment. It thus appears to be of great interest to develop modelling within a quarry perimeter in order to better understand the interactions of the various emission sources as well as the results in terms of emissions within the site perimeter and then beyond in order to anticipate the impact on the neighbourhood.

In this study, it was observed that the sources that contribute the most to the concentration gradient around quarries are those belonging to "treatments" and "storage". Internal transport and extraction influences appear secondary. Despite an isolated topographic configuration, emissions are dispersed in a large volume of air because the geometry of the site is very open.

5. Micro sensors

Tests of optical micro-sensors capable of instantaneous in-situ monitoring of PM10 and PM2.5 were performed during some of the campaigns on 3 of the 4 quarries, but the results were not conclusive.

6. Comparison with similar studies in other countries

A literature review on aerosols and, more specifically on quarries and atmospheric dust, was achieved during the consolidation of EMCAIR's regional works. It shows that the topics covered by the EMCAIR program are also the subject of many works and publications in many countries. Thus, we can note the great convergence of the published results with those resulting from the different stages of EMCAIR. In particular we will retain mainly:

- The need for quantification of emissions related to specific sources of quarries (rolling, drilling) for more accurate modelling, showing the strong decrease of concentrations as a function of distance (Ian LOWNDES, Joseph DOCX, Sam KINGMAN Dec. 2006- Suzanne Oudwater, Sept. 2017);
- The importance of relevant emission factors evaluated on the basis of local data to represent quarry emissions with the implementation of US-EPA 42 data (UK);
- ADMS modelling seems to provide a good approach to evaluate emissions from quarries

Finally, we noticed that specific techniques (such as LIDAR) could be used in quarries with success, notably to carry out monitoring not only in terms of concentrations but also of particle geometry (quartz). This can be used in new studies, particularly if they focus on better characterization of emission sources.

7. Emission reduction techniques

The experimental evaluation of theoretical emission factors defined in the national inventory or in the GEREP tool was not possible from the atmospheric measurements made in EMCAIR. Indeed, the emission factors are linked to a specific emission source (drilling, crusher, storage, transport, etc.) which has generally not been identifiable /apportioned, since the EMCAIR approach was aimed at the broader scale of the quarry context.

The measurement campaigns realized, in particular by the analysis of data from quarries stations, give the first keys/insights to quarry operators to reduce the strongest emitting activities. Then, these observations help to understand how to build a robust method to evaluate, by type of emission source, the different techniques and means of reducing emissions according to weather conditions. Micro-sensor tests have been profitable in this sense: with a more reliable technology they could contribute to the control of emissions that the operator seeks to optimize.

8. Perspectives

Emissions in quarries come from multiple point (emission) sources disseminated within a vast area and changing in time along with the operation of the exploitation. They are constituted by coarse mineral particles, mainly in the PM10 fraction, whose geographical region of influence is often very limited: the name "plumes" is generally attributed to these localized emissions. Not all rocks have the same behaviour in terms of fragmentation or attrition to mechanical solicitations: EMCAIR has begun to highlight this fact by the use of granulometry of dry deposits, or by PM concentration ratios during specific events. We shall continue by extending such investigations and crosscheck them with an appropriate methodological framework.

Following the results of this first applied study program, several perspectives are presented here for which the quarrying industry profession will have to decide according to the stakes and opportunities.

➔ Improving Knowledge - Evaluation Methods

To reduce the influence of extractive activities it is therefore important now to advance our knowledge of these sources within the quarry perimeter. Objectives can be established through the following steps:

- **Refine the data on each type of emission source** (statistical approach) according to the exploitation conditions (business approach) and the reduction measures adopted (prevention approach): a new methodological framework is to be built here
- **Improve emission factors** that are used in the quarry emission potential assessment method (the so-called GEREP method developed with the CITEPA): this is the step that will follow the characterisation of emission sources by reliable data



- **Improving the method for evaluating** the emission potential of quarries: the emission factors updated and specified in the previous step alone are not sufficient to improve the evaluation. It is necessary to cross-check the calculations with the operating information (electrical energy consumed, mass of explosives used,...) to avoid certain drifts or overestimates.

The benefits of **modelling** have been successfully tested around quarries. Several areas for progress have been identified.

- **Better estimate the temporality** of important peaks and values of PM10 concentrations. This requires information on the activity of each emission source within the quarry in order to establish emission time-dependent profiles. They would have to translate downtime periods, longer production periods, loading/unloading hours etc.
- **Better represent actual concentrations** at the periphery of quarries. From the emission potentials evaluated according to the CITEPA method on the basis of emission factors, and the particulate nature of the pollutant and its sedimentation in the form of dry and wet deposition should be taken into account in quarry modelling. Indeed, as specified in the initial assumptions (ADMS parameters table §3.2.1), this option had not been retained due to lack of experience. However, the monitoring carried out at the various sites during the EMCAIR programme highlight quarries as both sources and sink for particles.
- **Better identify the sources of emissions** within a quarry perimeter by considering data from operations and other more specific data that could be set up as part of a work programme on emission factors with CITEPA; modelling could thus be used as a test to more accurately validate the emission factors and the methodology chosen for quarries.

➔ **Improving the means and techniques for reducing emissions**

We have seen developments around the problem of deposits/particles in suspension that the mechanisms describe the behaviour of particles are important to know, not only to explain the phenomena observed in quarries and around sites, but also to implement the best techniques for preventing and reducing emissions in relation to the types and sizes of particles emitted (particle/drip water, filter media characteristics, electrostatic effects, etc.). Two objectives emerge:

- **Provision of guidance to operators towards the most effective techniques and methods** to reduce dust emissions in quarries.
- **Incentives towards our business partners to develop innovative techniques** for greater efficiency in emission reduction



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.





EMISSIONS DES CARRIERES DANS L'AIR EMCAIR

Résumé : L'industrie extractive a souhaité améliorer ses connaissances par le programme d'études "EMCAIR" – EMISSIONS des Carrières dans l'AIR. Suivant une même méthodologie répétée dans différentes conditions d'exploitation, pour différentes roches et sous différentes conditions, il se confirme que :

- les carrières produisent majoritairement des PM10, peu de PM2,5 avec un ratio PM2,5/PM10 évoluant typiquement en dessous de 0,20; elles enregistrent les dépôts les plus importants, soulignant qu'elles fonctionnent également comme « puits des particules les plus grossières qu'elles libèrent » ;
- les stations en champ proche enregistrent une influence limitée, que les analyses chimiques permettent (par la méthode dite de Lenschow) de quantifier ;
- la granulométrie des dépôts est large (0,1 à 250 µm) ; leur mobilisation peut remettre en suspension des fractions de PM10 et dans une moindre mesure, de PM2,5;
- une modélisation satisfaisante a pu être construite sur la dispersion des émissions de PM10 des carrières du bassin de Marquise par ATMO Hauts-de-France (ADMS-Urban) confirmant sur une surface significative (48 km²) la pertinence de la méthodologie proposée par le CITEPA pour évaluer le facteur facteurs d'émission;
- pour les poussières totales en suspension (TSP), les résultats permettent de comprendre qu'au-delà de quelques mètres d'une source (hors influence météorologique), les TSP en carrière sont des PM10 puisque les particules supérieures ont sédimenté et donc ne sont plus en suspension.

Réalisée par des experts de la mesure et du contrôle de la qualité de l'air (AASQA), de la chimie des particules (LSCE/Chyprus Institute) et de l'inventaire des émissions (CITEPA) sous la coordination du syndicat professionnel de l'industrie des granulats (UNPG), l'étude EMCAIR montre que les émissions en carrières proviennent de points sources multiples disséminés dans un espace vaste et changeant dans le temps du fait du fonctionnement des exploitations. Ces émissions sont constituées par des particules grossières de nature minérale, majoritairement au-dessus des PM10, dont le rayon d'influence est le plus souvent très limité.

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr

