



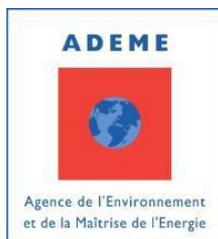
.....

RAPPORT D'ETUDE

Modélisation de la qualité de l'air

Bassin de Marquise

Projet EMCAIR (EMissions des
Carrières dans l'AIR)







Observatoire de l'Air

55, Place Rihour

59044 Lille Cedex

Tél. : 03 59 08 37 30

contact@atmo-hdf.fr

www.atmo-hdf.fr

Modélisation de la qualité de l'air du bassin de Marquise sur l'année 2015

Rapport d'étude N°01/2017/RGi

54 pages (hors couvertures)

Parution : septembre 2017

Téléchargeable librement sur www.atmo-hdf.fr (rubrique Publications)

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom	Robin Gimeno	Arabelle Patron - Anquez	Nathalie Dufour
Fonction	Chargé d'Etudes	Ingénieur d'Etudes	Responsable Etudes

Conditions de diffusion

Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit être signalée par « source d'information : Atmo Hauts-de-France, rapport d'étude N°01/2017/RGi ».

Les données contenues dans ce document restant la propriété d'Atmo Hauts-de-France peuvent être diffusées à d'autres destinataires.

Atmo Hauts-de-France ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels l'association n'aura pas donné d'accord préalable.

Remerciements

Nous remercions les différents collaborateurs de Carrière du Boulonnais et Vallée Heureuse pour leur disponibilité et leurs travaux sur les émissions de poussières de chaque activité au sein des carrières.

Nous remercions également l'UNPG et l'UNICEM, tous deux porteurs de ce projet.

Trame vierge : E-ETU-020 – Version 1 du 14/04/2015



SOMMAIRE

atmo Hauts-de-France	6
Ses missions	6
Stratégie de surveillance et d'évaluation	6
ENJEUX ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	7
Origines et impacts des particules en suspension (PM10)	8
PRINCIPAUX RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES	9
Localisation des différents points de mesures	9
Synthèse des résultats	10
PARAMETRES DE LA MODELISATION	11
Le modèle ADMS-Urban	11
Domaine de simulation.....	13
Grille de calcul en sortie de modèle.....	13
Les périodes de simulation.....	14
Données météorologiques	15
Concentrations de fond	15
Topographie et occupation des sols	17
Tableau récapitulatif des paramètres dans ADMS.....	18
INVENTAIRE DES EMISSIONS	19
Les sources d'émissions	19
Estimation des émissions de PM10 (hors industrie extractive)	21
Estimation des émissions de PM10 pour l'industrie extractive.....	27
COMPARAISON MODELE / MESURE	31
Principe et critères d'acceptation.....	31
Résultats sur la campagne de mesure - Phase 1	32
Résultats sur la campagne de mesure - Phase 2	33
RESULTATS DE L'ETUDE	35
Cartographies générales et interprétation.....	35
Cartographies par groupe de sources	40
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	42



Annexes	44
Annexe 1 : Glossaire.....	45
Annexe 2 : Modalités de surveillance.....	47
Annexe 3 : Précisions sur les principaux émetteurs anthropiques de la zone d'études.....	51
Annexe 4 : Fiches émissions.....	54
Annexe 5 : Le schéma chimique Generic Reaction Set (GRS).....	55
Annexe 6 : Des émissions aux concentrations.....	56
Annexe 7 : Méthodologie des fiches GEREP par type d'activité.....	57
Annexe 8 : Valeurs réglementaires.....	59
Annexe 9 : Roses des vents sur les périodes de mesures.....	60
Annexe 10 : Différentes tailles de particules fines.....	61





ATMO HAUTS-DE-FRANCE

Ses missions

Depuis le 1er janvier 2017, les associations **Atmo Picardie** et **atmo Nord - Pas-de-Calais** ont fusionné pour créer la structure **Atmo Hauts-de-France**.

Notre association régionale pour la surveillance et l'évaluation de l'atmosphère surveille la qualité de l'air dans la région et informe la population sur l'ensemble de la région.

Elle s'appuie sur son expertise, sur des techniques diversifiées (station de mesures, modèles de prévisions, ...) **et sur ses adhérents** (collectivités, associations, services de l'Etat, industriels). Ensemble, ils définissent le programme de surveillance et d'évaluation de l'atmosphère, en réponses aux enjeux régionaux et territoriaux.

Association loi 1901, agréée par le Ministère en charge de l'Ecologie et du Développement Durable, Atmo Hauts-de-France repose sur les principes de **collégialité, d'impartialité et de transparence des résultats pour :**

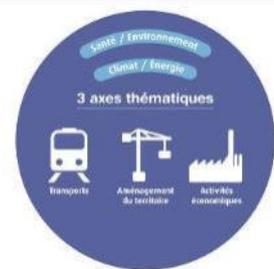
- **Surveiller – mesurer** les concentrations de polluants (données fiables, continues ou ponctuelles) ;
- **Etudier** – comprendre les phénomènes de pollution atmosphérique ;
- **Alerter** immédiatement et informer nos publics ;
- **Sensibiliser** les différents acteurs aux enjeux de la pollution atmosphérique ;
- **Inform** en permanence sur l'état de la qualité de l'air ;
- **Accompagner – Conseiller – Aider – Former** les acteurs régionaux et les autorités (simulation, identification d'indicateurs, évaluation des actions...).

Atmo Hauts-de-France mesure les concentrations d'une trentaine de polluants gazeux et particulaires, dont douze sont soumis à des valeurs réglementaires. Les modalités de cette surveillance sont présentées en [annexe 2](#).

Cette surveillance est menée en application des exigences européennes, nationales et locales dans le cadre de programmes d'études en air ambiant et en environnements intérieurs, pour les différentes composantes atmosphériques (Air, Climat et Energie).

Stratégie de surveillance et d'évaluation

Forte de 40 ans d'expertise, Atmo Hauts-de-France ajuste sa stratégie de surveillance et d'évaluation de l'atmosphère en fonction des **enjeux territoriaux et locaux** : la santé et l'environnement, le climat, l'aménagement du territoire, les transports, les activités économiques...





ENJEUX ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

De plus en plus relayée par les différents médias, la pollution atmosphérique est devenue l'une des premières préoccupations des français en matière d'environnement. La France, contrainte par l'Europe à réduire ses émissions polluantes, a d'ores et déjà mis en place des procédures et des outils de planification visant à limiter les effets de la pollution atmosphérique sur les populations.

La politique établie au niveau européen fixe de nouveaux objectifs, de plus en plus contraignants, avec notamment la révision des plafonds d'émissions issues du secteur industriel, appliquée au 1^{er} janvier 2017.

Dans ce contexte et dans le cadre de l'appel à projet CORTEA (Connaissances, Réduction à la source et Traitement des Émissions dans l'Air) lancé par l'Ademe, le secteur de l'industrie extractive et tout particulièrement l'industrie du granulat, souvent associée à l'image d'une activité fortement génératrice de poussières, a souhaité pousser les investigations sur le sujet.

Après une première étude de même envergure réalisée en Provence-Alpes-Côte-D'azur (en partenariat avec plusieurs acteurs dont Air PACA, homologue d'Atmo Hauts-de-France en région PACA), l'Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG), accompagnée au niveau régional de l'Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction (UNICEM), a sollicité **atmo** Nord - Pas-de-Calais dans le cadre du projet EMCAIR (EMissions des Carrières dans l'Air), pour la réalisation d'une campagne de mesures des particules et d'une modélisation de la qualité de l'air au niveau du bassin de Marquise (Pas-de-Calais). Cette étude, jugée conforme au Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA) établi pour l'ex région Nord-Pas-de-Calais, vise à répondre à quatre objectifs majeurs :

- améliorer les connaissances sur la qualité de l'air,
- affiner les facteurs d'émissions relatifs aux exploitations de granulats,
- optimiser les connaissances sur la granulométrie des particules fines émises,
- optimiser la pertinence des modèles de dispersion.

Ces objectifs nécessitent la coordination de pôles d'activités divers : mise en place technique, étude de la chimie des particules, étude de sources, estimation des émissions, modélisation des émissions... Pour ce faire, différents acteurs, techniques et scientifiques, ont été sollicités.

Ainsi, le CITEPA (Centre Interprofessionnel d'Etudes de la Pollution Atmosphérique) est chargé de travailler sur les facteurs d'émissions et de veiller ainsi à la cohérence de la méthode d'inventaire nationale.

Le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) prend en charge la partie chimie des particules.

L'INERIS intervient en tant qu'expert sur la quantification des émissions et la modélisation.

L'ENCENM, bureau d'études et de conseils spécialisé dans l'environnement, suit le projet à travers la compilation et la diffusion des résultats.

Enfin, le projet intégrant des campagnes de mesures dans l'Ouest de la France, les deux associations Air Breizh et Air Pays-de-la-Loire ont également été associées à l'étude.

Ce rapport présente les résultats de la modélisation en PM10 sur le domaine du bassin carrier de Marquise. Il fait suite au rapport sur l'évaluation de la qualité de l'air des deux campagnes de mesures, lesquelles se sont déroulées du **7 septembre au 5 octobre 2015 et du 7 mars au 4 avril 2016** (cf. rapport d'étude « Campagne d'évaluation de la qualité de l'air au niveau du bassin de Marquise N°01/2016/SV »). Ce volet d'étude vient clore les travaux d'expertise d'Atmo Hauts-de-France pour le projet EMCAIR.

Le premier objectif de cette étude est de venir confirmer ou infirmer les facteurs d'émissions issus de l'approche AP-42 et calculés par une méthodologie mise en place par le CITEPA. La méthodologie mise au point pour l'estimation des émissions de poussières de l'industrie extractive sera présentée. Pour discuter de la pertinence de ces facteurs, une validation du modèle sera effectuée à partir de la comparaison statistique des concentrations mesurées par des laboratoires mobiles placés au sein même des carrières et sur des zones amont/aval du site. Des illustrations cartographiques témoignant de l'état de la qualité de l'air seront présentées.



ORIGINES ET IMPACTS DES PARTICULES EN SUSPENSION (PM10)

Un polluant est une substance, introduite dans l'atmosphère, dont la concentration augmente et dont les effets sont mesurables sur l'environnement, l'homme, la faune, la flore et les matériaux.

La pollution de l'air peut être d'origines naturelles (éruption volcanique, incendies de forêts...), mais elle provient majoritairement des activités humaines (transports, chauffages individuels et collectifs, industries, agriculture, incinération des ordures ménagères, activités domestiques, ...).

Cette partie explicitera l'origine et les impacts des polluants mesurés dans cette étude.

[Sources](#)

Les particules en suspension varient du point de vue de la taille, des origines, de la composition et des caractéristiques physico-chimiques. Elles sont classées selon leurs propriétés aérodynamiques : pour les particules PM10, on parle de particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 μm , les particules PM2.5 correspondent aux particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 2,5 μm (illustration donnée en annexe 10). Parmi les poussières présentes dans l'air, certaines sont d'origine naturelle (sable du Sahara, embruns marins, pollens...), d'autres sont d'origine anthropique. Ces dernières sont notamment émises par les installations de combustion, les transports (moteurs diesels, usure des pneus...), les activités industrielles (construction, secteur minier...), l'érosion de la chaussée, ou encore par le secteur agricole. La multiplicité des sources d'émissions rend ainsi difficile l'estimation de la composition exacte des particules en suspension dans l'atmosphère.

Si les poussières présentes dans l'atmosphère peuvent être issues directement des rejets dans l'atmosphère (on parle de particules primaires), elles peuvent également résulter de transformations chimiques à partir des polluants gazeux (on parle alors de particules secondaires). Bien qu'elle constitue une source importante de particules, la génération de particules secondaires est difficile à quantifier, car elle met en jeu des mécanismes complexes, mal connus qualitativement et quantitativement. Les inventaires des émissions ont pour objet de quantifier les émissions de particules primaires.

Contrairement aux polluants gazeux, les particules ne constituent pas une espèce chimique unique et homogène. Elles sont constituées d'un mélange complexe de matière organique et inorganique. Chimiquement, les poussières sont constituées des éléments suivants :

- des espèces carbonées : carbone élémentaire, carbone organique, matière organique. On y trouve les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les aldéhydes, les cétones, les pesticides, les dioxines...
- une fraction minérale : poussières minérales, ions inorganiques (sulfates, nitrates, ammonium, calcium, sodium, chlorures...), métaux (plomb, nickel, cadmium, arsenic, titane, fer, cuivre, aluminium...)

[Impacts sanitaires](#)

La taille des particules est un facteur important : plus elles sont fines, plus elles pénètrent profondément dans les voies respiratoires. Elles peuvent ainsi irriter et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes, du fait notamment de leur propension à adsorber des polluants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les métaux lourds. Selon une récente étude réalisée sur plusieurs villes européennes dont Lille, les particules en suspension seraient responsables de 42 000 décès prématurés par an en France (programme Clean Air for Europe) et réduiraient de 6 mois en moyenne notre espérance de vie (programme Aphekom – résultats pour Lille).

[Impacts environnementaux](#)

Les effets de salissure des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

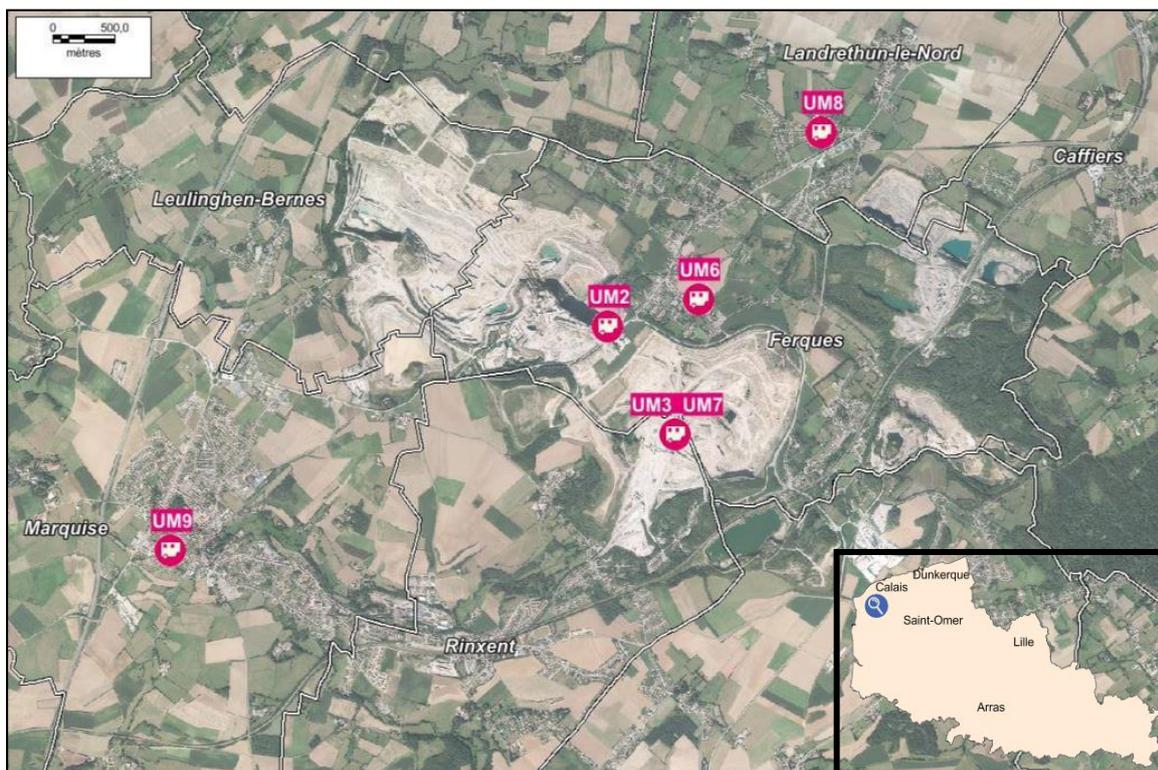


PRINCIPAUX RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

On rappelle ci-dessous les principaux résultats des campagnes de mesures précédentes, dont une partie de l'exploitation sera reprise pour la construction de l'étude sur l'état de la qualité de l'air du bassin de Marquise par modélisation numérique.

Localisation des différents points de mesures

La carte ci-dessous représente la répartition des 5 points de mesures sélectionnés : les unités mobiles (UM) 8, 6 et 9 se trouvent respectivement sur les communes de Landrethun-le-Nord, Ferques et Marquise. Les unités mobiles 2 et 3/7 se trouvent au sein même des carrières. La station mobile 2 est installée au sein du site des Carrières du Boulonnais, à l'extrémité Est de l'exploitation. Dans la suite du rapport, cette carrière correspondra à la Carrière B. Les stations mobiles 3 et 7 sont installées au cœur de l'activité du site de la Vallée Heureuse. Dans la suite du rapport, cette carrière correspondra à la Carrière A.



Unité mobile de mesures (UM)

Les sites de mesures ont été choisis en fonction de différents critères : accessibilité, sécurité, direction dominante de vents, proximité des carrières. Dans le département du Pas-de-Calais, les vents dominants sont généralement issus soit du sud-ouest, soit du nord-est. Il était donc nécessaire de respecter cette diagonale nord-est/sud-ouest lors du choix d'implantation des sites afin d'optimiser les chances d'être sous les vents des carrières (et donc d'observer les plus fortes concentrations possibles pour le secteur). Cette configuration, avec des sites implantés à la fois à l'intérieur et à l'extérieur des carrières, a également pour but d'estimer si les particules émises depuis les carrières se transportent sur une plus ou moins longue distance, ou si elles retombent rapidement.



Synthèse des résultats

A l'issue des deux campagnes de mesures des particules (PM_{2,5}, PM₁₀ et sédimentables) ayant été réalisées du 7 septembre au 5 octobre 2015 et du 7 mars au 4 avril 2016, de grandes tendances se dégagent :

- D'une manière générale, les courbes de concentrations PM_{2,5} et PM₁₀ se suivent pour les trois sites de mesures périurbains. Les deux sites implantés au sein des carrières se distinguent des trois sites périurbains par des comportements spécifiques et de nombreuses valeurs isolées et élevées. En extrapolant que l'étude ait été faite sur une seule année civile :

Pour les PM₁₀, la comparaison aux valeurs réglementaires à l'intérieur-même des carrières en air ambiant est faite à titre indicatif uniquement : le site de la Carrière A dépasserait les valeurs réglementaires en moyenne journalière et en moyenne annuelle civile, et le site de la Carrière B dépasserait probablement la valeur réglementaire en moyenne journalière sur une année complète. Il est toutefois nécessaire de préciser que les sites de mesures en carrières ne sont pas soumis à la même réglementation que les sites de mesures périurbains (réglementation spécifique aux industries extractives). Les trois sites périurbains respecteraient les valeurs réglementaires, que ce soit en moyenne journalière ou en moyenne annuelle.

Pour les PM_{2,5}, si l'on compare, en extrapolant, les valeurs obtenues à la valeur réglementaire, celle-ci serait respectée sur l'ensemble des sites (sites des carrières compris) de la zone d'étude.

- En termes de concentrations en poussières, un impact potentiel de l'activité des carrières sur les concentrations en particules en suspension PM₁₀ au niveau des sites périurbains de Ferques et Marquise est possible mais non systématique : d'autres sources locales potentielles (agricole, urbaine...) peuvent également impacter les concentrations en PM₁₀ observées.

En revanche, en ce qui concerne les concentrations en particules fines PM_{2,5}, aucune influence des activités des carrières n'a été démontrée sur les concentrations relevées au niveau des trois sites périurbains alentours.

- Les concentrations les plus élevées en PM₁₀ ont été relevées au sein-même des carrières, en particulier au niveau de la Carrière A. Ce qui est cohérent avec l'implantation du site de mesures : au niveau de la Carrière A, le site se trouve à proximité des installations de concassage-criblage, dans un milieu encaissé donc peu exposé aux vents, tandis que le site ayant été installé au niveau de la Carrière B se situe aux abords des installations non loin du poste de chargement des trains, à un endroit surélevé et bien dégagé. Par ailleurs, les concentrations en particules sont anti-corrélées à la vitesse de vent.
- Les essais de caractérisation des différentes fractions granulaires (au granulomètre) n'ont pas permis d'obtenir de résultats probants. L'intérêt de ces prélèvements portera donc uniquement sur les analyses chimiques, visant à définir qualitativement la composition des particules selon leur taille, lesquelles seront réalisées par le LSCE.
- En termes de retombées atmosphériques, des différences s'observent entre les phases 1 et 2 : davantage de poussières ont été relevées en phase 2, sauf pour le site de Ferques. Les analyses chimiques effectuées par le LSCE viendront compléter l'étude par la composition des particules insolubles et solubles.

Cette étude va désormais être complétée par les résultats issus du volet modélisation, dont l'outil numérique principal, le modèle ADMS-Urban (« Atmospheric Dispersion Modelling System »), a permis le calcul des concentrations de particules fines dans la couche de surface atmosphérique sur l'ensemble du site étudié.



PARAMETRES DE LA MODELISATION

Le modèle ADMS-Urban

[La modélisation de la qualité de l'air, un outil en développement](#)

Dans de nombreux domaines d'études, comme celui de l'environnement, les moyens de calcul numérique permettent aujourd'hui de « simuler », ou « modéliser », de nombreux phénomènes qu'il nous est difficile de mesurer et d'observer. En pollution atmosphérique, la modélisation permet de déterminer les concentrations de divers polluants sur un territoire étendu où l'on ne dispose pas d'un grand nombre de stations de mesure fixes. La modélisation de la dispersion de polluants atmosphérique repose sur la résolution numérique du comportement d'un grand nombre de variables physiques et d'espèces chimiques (équations physiques et chimiques), en essayant de refléter la grande complexité des réactions se produisant dans l'atmosphère. La modélisation est un outil permettant de répondre à des attentes réglementaires et sanitaires, elle sert donc d'étude à l'appui pour de nombreux décideurs publics dans l'évaluation environnementale de projets locaux. En effet, sur la base d'indicateurs de suivi représentatifs de la pollution, des planifications réglementaires à court terme ou long terme peuvent être entreprises par les pouvoirs publics, comme les plans de protection de l'atmosphère (PPA), les études d'impact environnementales et d'évaluation de la qualité de l'air à l'échelle de l'agglomération ou du quartier.

[Le physique du modèle](#)

Atmo Hauts-de-France choisit pour réaliser ses modélisations annuelles d'utiliser le logiciel ADMS-Urban qui est une version du système de modélisation de dispersion atmosphérique développé par les chercheurs du CERC (Cambridge Environmental Research Consultant). Il est actuellement commercialisé en France par la société Numtech qui est le référent technique pour tout besoin opérationnel. La version utilisée pour cette étude est « ADMS Urban, V3.4 ». Elle intègre différents modules couplés qui décrivent les effets complexes de la dispersion des effluents : topographie (relief et rugosité de la zone, particulièrement important dans une carrière), turbulence liée au trafic, phénomènes météorologiques particuliers (inversion de température)... D'un point de vue physique, le modèle s'appuie sur des équations décrivant une distribution gaussienne de l'évolution des concentrations. Ce modèle gaussien consiste à supposer que la dispersion des polluants à partir de leurs différents points d'émissions s'effectue à l'intérieur du panache dont la répartition des concentrations est gaussienne par rapport à l'axe du panache. La Figure 1 illustre l'ouverture du panache selon un modèle gaussien, pour une hauteur modélisée Z_p . La variable calculée par ADMS en fonction des paramètres d'écoulement et météorologiques est la diffusion turbulente σ . Finalement, pour un même écoulement la dispersion des polluants dépendra intégralement des conditions météorologiques.

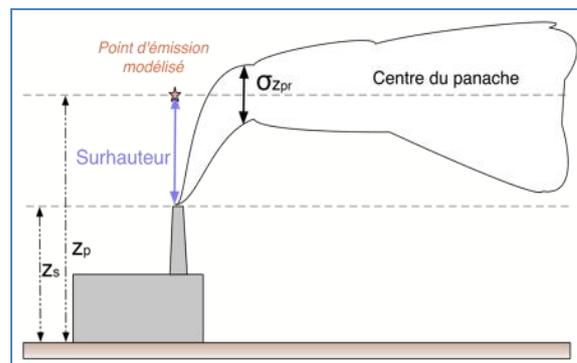


Figure 1 : Schéma de dispersion d'un panache sous ADMS-Urban

Ce modèle gaussien consiste à supposer que la dispersion des polluants à partir de leurs différents points d'émissions s'effectue à l'intérieur du panache dont la répartition des concentrations est gaussienne par rapport à l'axe du panache. La Figure 1 illustre l'ouverture du panache selon un modèle gaussien, pour une hauteur modélisée Z_p . La variable calculée par ADMS en fonction des paramètres d'écoulement et météorologiques est la diffusion turbulente σ . Finalement, pour un même écoulement la dispersion des polluants dépendra intégralement des conditions météorologiques.

[Le module chimique](#)

Les polluants qui font l'objet de cette étude sont les particules PM10. L'inventaire des émissions utilisé pour cette étude répertorie les émissions de chaque polluant par secteur d'activité, sur l'année de référence 2012. Quand ces polluants sont émis directement par une source d'activité dans le milieu extérieur, on parle alors de polluants primaires. On inventorie donc les sources de pollution directes, afin d'injecter au modèle cette pollution primaire sur l'ensemble du périmètre d'étude.



Cependant, ces polluants étudiés peuvent être formés dans le milieu extérieur de manière indirecte, par des réactions faisant intervenir d'autres composés chimiques précurseurs de transformations. On parle alors de polluants secondaires. Pour tenir compte de cette réalité, ADMS possède un module avancé qui retranscrit de manière plus simplifiée la chimie troposphérique réelle. Le schéma chimique comprend les réactions qui gouvernent l'oxydation du dioxyde de soufre SO₂ menant à la formation de particules de sulfate d'ammonium, répertoriés dans ADMS comme des particules fines PM₁₀ et PM_{2.5}. Les réactions de cette chimie des sulfates sont détaillées en **annexe 5**. C'est pourquoi, on le verra par la suite, on a renseigné pour chaque source d'émission quand cela est possible la quantité de SO₂ émise.

[Les grandes étapes d'une étude de modélisation](#)

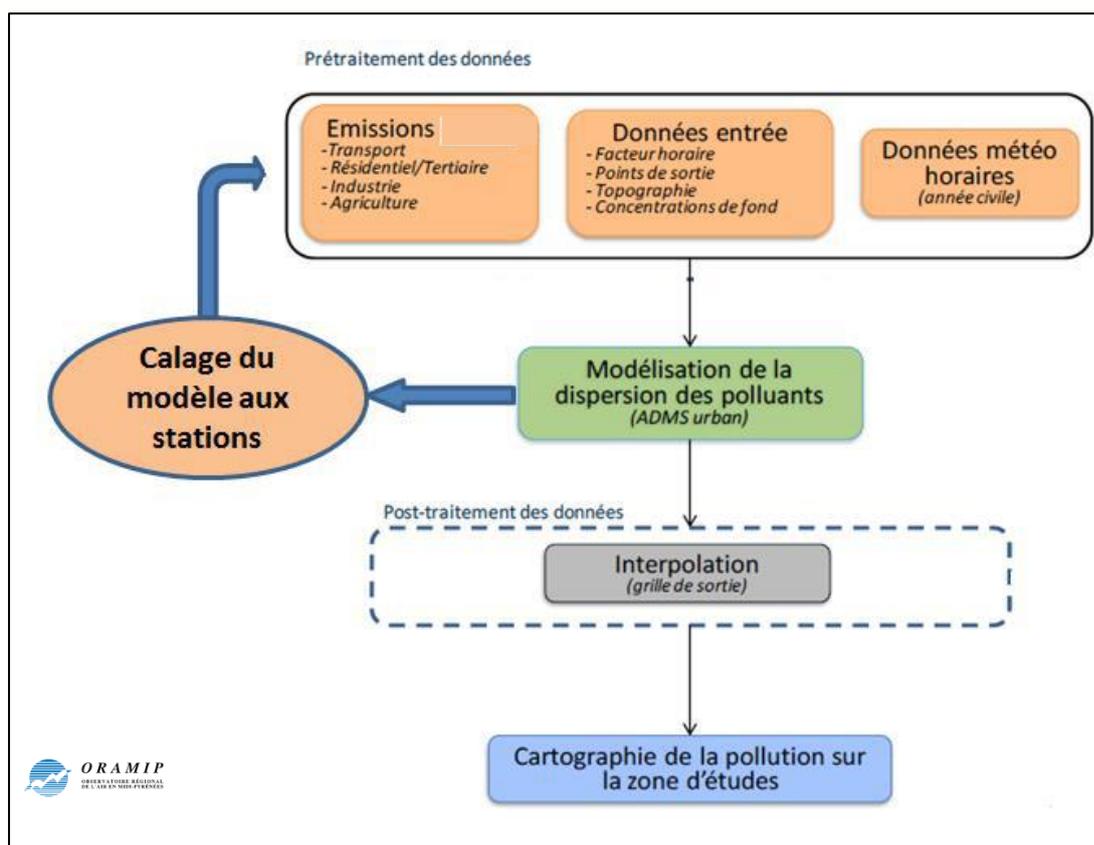


Figure 2 : Schéma général pour la construction d'une modélisation avec le modèle ADMS-Urban

La figure ci-dessus reprend les différentes étapes à réaliser pour mener à bien une modélisation de la dispersion des polluants sur un territoire. On peut retenir trois grandes phases de production :

- Le pré-traitement de données en entrée de modèle, où l'on paramètre le modèle (météo, topographie, grille de sortie etc...) et où l'on définit qualitativement et quantitativement les sources d'émissions (géométrie, hauteur, taux d'émission etc...).
- Une phase intermédiaire de calage du modèle sur la mesure de terrain, pour s'assurer que l'on modèle décrit une situation proche de la réalité. L'ajustement de certains paramètres d'entrée est possible si cela est nécessaire, et le choix de la pollution de fond est validée par des calculs de scores statistiques entre la mesure et le modèle.
- Le post-traitement des données issues des calculs numériques, qu'il faut pouvoir traduire au format cartographique sur l'ensemble de la zone d'étude. Des techniques d'interpolation géostatistique sont d'usages lors de cette phase.



Domaine de simulation

Le périmètre d'étude (cadre rouge), au sein duquel les concentrations en polluants sont calculées, est centré sur les carrières A et B. Il comprend entièrement ou en partie un ensemble de 10 communes du bassin (fond jaune). D'une dimension de 8 par 6 km, il inclut l'ensemble des sources d'émissions anthropiques de la zone, tout particulièrement celles liées aux activités de l'industrie extractive. La dimension du domaine permet de prendre en compte les sources de polluants extérieures aux carrières et ainsi considérer l'ensemble des sources de pollutions locales. Les stations mobiles de mesure déployées lors des campagnes de terrain sont dans le périmètre d'étude et sont matérialisées par une étoile violette.

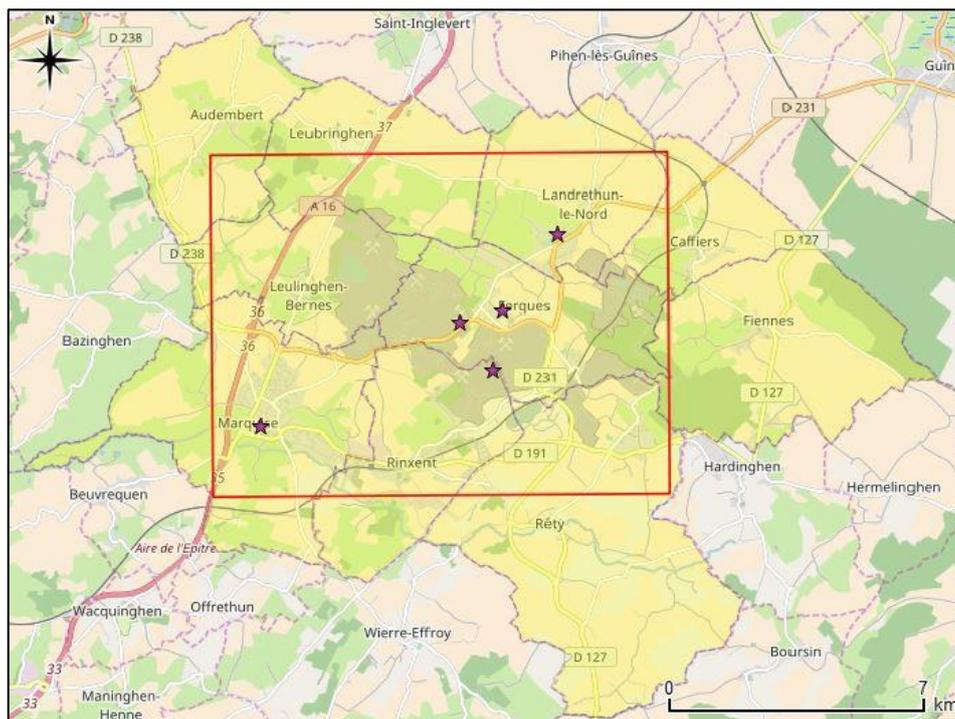


Figure 3 : périmètre de l'étude

Grille de calcul en sortie de modèle

Il est nécessaire d'explicitier au modèle les points de la zone d'étude où les calculs de la simulation seront retenus. On ne peut lui demander de calculer les concentrations mètre par mètre sur toute la surface de la zone de modélisation, le temps de calcul serait beaucoup trop important. L'idée ici est donc de définir un maillage le plus fin possible, adapté aux contraintes opérationnelles du modèle, et qui assurerait tout de même un rendu cartographique de qualité pour le résultat final.

Pour cela, la grille est composée de 14 000 points de calcul répartis dans le domaine de simulation selon un maillage régulier (100 mètres), complété par un maillage fin (40 mètres) au niveau des surfaces de carrières et un maillage dit « intelligent » de points positionnés de part et d'autres des tronçons routiers et ferroviaires.

Tous les points de calcul des concentrations sont positionnés à une hauteur de 1,5 m par rapport au sol.

Les points matérialisés par la couleur bleu correspondent au maillage régulier défini par sa résolution 100 mètres par 100 mètres. Les points matérialisés par le marron correspondent aux maillages intelligent et fin défini par une résolution de 40 mètres par 40 mètres.



Figure 4 : grille des points de calcul du modèle

Les périodes de simulation

Plusieurs périodes ont été simulées pour les besoins de l'étude.

Pour la phase de calage du modèle, les concentrations ont été simulées sur deux périodes correspondantes aux périodes de campagnes de mesures terrain :

- au niveau des stations mobiles uniquement pour une période allant du **7 septembre au 5 octobre 2015**, qui correspond à la campagne de mesure dite « phase 1 ».
- au niveau des stations mobiles uniquement pour une période allant du **7 mars au 4 avril 2016**, qui correspond à la campagne de mesure dite « phase 2 ».

Pour les besoins de résultats cartographiques, et sur la base de la validation de l'étape de calage, les concentrations ont été simulées sur :

- l'ensemble de la zone d'étude lors de la phase 1,
- l'ensemble de la zone d'étude lors de la phase 2,
- l'ensemble de la zone d'étude sur l'année civile 2015.

Lors de chaque simulation, les concentrations ont été calculées sur un pas de temps horaire, afin d'être comparables aux valeurs réglementaires. Les données horaires calculées par le modèle sont ensuite agrégées en moyennes annuelles et en percentiles journaliers.



Données météorologiques

Ce modèle de dispersion travaille en régime stationnaire, c'est-à-dire pour une météo supposée constante et homogène dans le panache pour chaque heure de données. C'est pourquoi ADMS nécessite des données météorologiques séquentielles horaires pour lui permettre de prendre en compte l'évolution temporelle des conditions météorologiques durant la journée. Pour une étude de qualité de l'air à l'échelle d'une carrière, l'utilisation d'un schéma de dispersion fonctionnant en régime stationnaire pendant des échelles de temps de l'ordre de l'heure est tout à fait adéquate. Les conditions météorologiques conditionnent pour une grande part le transport et la transformation chimique des polluants dans l'air (module physique et chimique décrit précédemment).

Les paramètres météorologiques pour l'année 2015 sont issus de la station de mesure Météo France, représentative de la zone d'étude et localisée au niveau de Boulogne-sur-mer. Les paramètres retenus sont la température (°C), la vitesse et direction du vent mesuré à 10 m (secteur 10°), la précipitation (mm/h). Ils sont complétés par des paramètres caractérisant la stabilité de la couche de surface provenant de notre modèle régional MM5 (Esmeralda) de l'atmosphère sur Boulogne-sur-mer : la hauteur de couche limite, le flux de chaleur sensible et la longueur de Monin-Obukhov sont les variables retenues. Les mesures enregistrées par les mats météo placés sur les UM n'ont pas été utilisées pour cette modélisation. En effet, cela se justifie par plusieurs raisons. Le jeu de données était incomplet (uniquement mesures de la vitesse et de la direction du vent), certaines spécificités locales sur l'emplacement des UM n'étaient pas représentatives de l'ensemble de la zone de dispersion. De plus, les paramètres de stabilité proviennent d'une station sur Boulogne-sur-mer, aussi nous avons considéré qu'il était plus pertinent de s'orienter sur des données Météo France de Boulogne-sur-mer afin que l'ensemble des paramètres soit issu du même site météorologique.

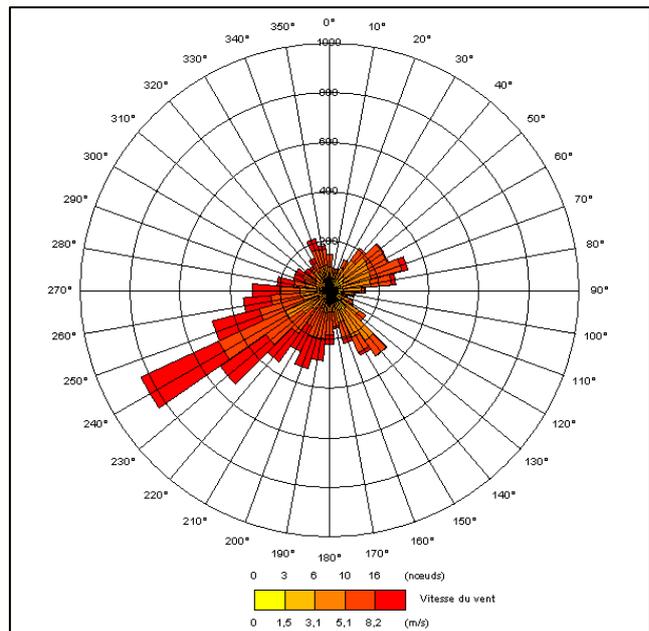


Figure 5 : rose des vents à Boulogne sur Mer – 2015

Ces données sont présentées en une série de moyennes horaires sur une année. Le préprocesseur météo d'ADMS effectue alors les calculs heure par heure des paramètres caractérisant la couche limite pour une modélisation en 3D de la dispersion (entre le sol et 2000 mètres d'altitude).

Concentrations de fond

Le modèle ADMS Urban requiert une pollution de fond pour mettre en œuvre son module de chimie. Cette pollution de fond est également nécessaire pour évaluer la quantité de polluant présente en conditions initiales et aux limites du domaine de simulation pour chaque échéance simulée. Il est d'usage d'utiliser des mesures établies sur une station rurale ou périurbaine située en dehors du domaine.

Pour cette étude, les mesures horaires en PM10 de la station rurale de Campagne-lès-Bouloonnais ont été utilisées. Cette station fixe du réseau Atmo Hauts-de-France se trouve au sud du bassin de Marquise, et est plus révélatrice du niveau de fond rural de la zone que la station de Boulogne-Outreau, pourtant plus proche géographiquement. En effet, la station de Boulogne-Outreau est sous influence directe du littoral (vent, embrun marin etc...), ce qui n'est pas nécessairement l'idéal pour déterminer une concentration en pollution de fond représentative de la région.



Aucune mesure de fond n'a été renseignée pour le SO₂, car il est considéré que les concentrations de fond sont inférieures aux limites de détection pour ce polluant. En métrologie, la limite de détection admise pour le dioxyde de soufre est de 1 ppb soit 2.67 µg/m³.

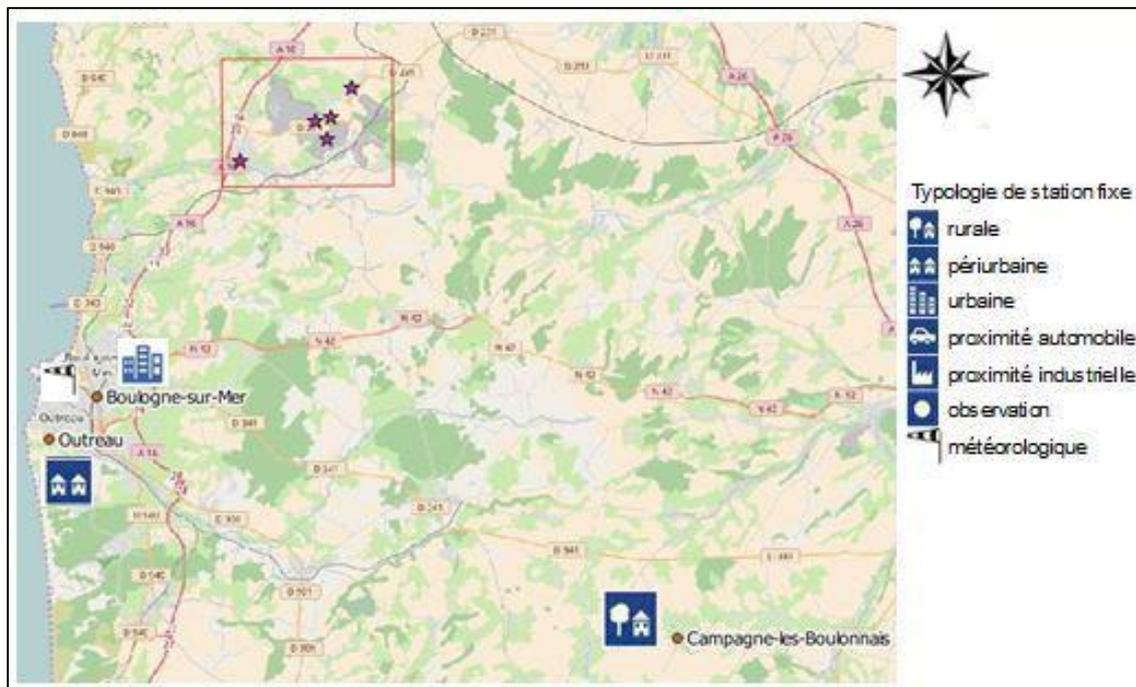


Figure 6 : Localisation et typologie des stations fixes sur le territoire littoral.



Topographie et occupation des sols

La topographie et l'occupation des sols peuvent influencer la dispersion et la turbulence des masses d'air. Dans la construction du modèle, il s'avère que la zone d'étude est très hétérogène en matière de type de sol (carrière, forêt, étang, rase campagne, habitation), et les reliefs y sont marqués au sein des carrières. L'activité extractive provoque des encaissements pouvant atteindre 200m en différents points des sites d'extraction. La figure 7 témoigne de cette irrégularité de hauteur du terrain sur la zone au niveau des carrières. L'échelle de couleur varie du vert clair au centre des carrières pour des hauteurs inférieures au niveau de la mer (échelle en mètres), jusqu'au bleu foncé pour les points culminants du site étudié. Aussi l'intégration de cette variable « relief » nous a semblé primordiale pour tenir compte de la disparité du champ de dispersion. Avec son modèle de terrain, ADMS-Urban offre la possibilité suivante : à partir de paramètres météorologiques moyens et de la couche de relief IGN (points d'altitude), le modèle d'écoulements fluides FLOWSTAR calcule en 3D tous les champs de vent (résolution de l'ordre de 100 m) et de turbulence en prenant en compte l'effet de la topographie et de la rugosité du sol (occupation des sols en surface).

La topographie utilisée provient des données reliefs IGN (Modèle Numérique de Terrain avec une résolution de 50 m). Les données de rugosité sont calquées sur l'occupation des sols à partir de la base de données européenne Corine Land Cover. Pour ses calculs de transport et de dispersion, le modèle tiendra compte de ces données de terrains complexes.

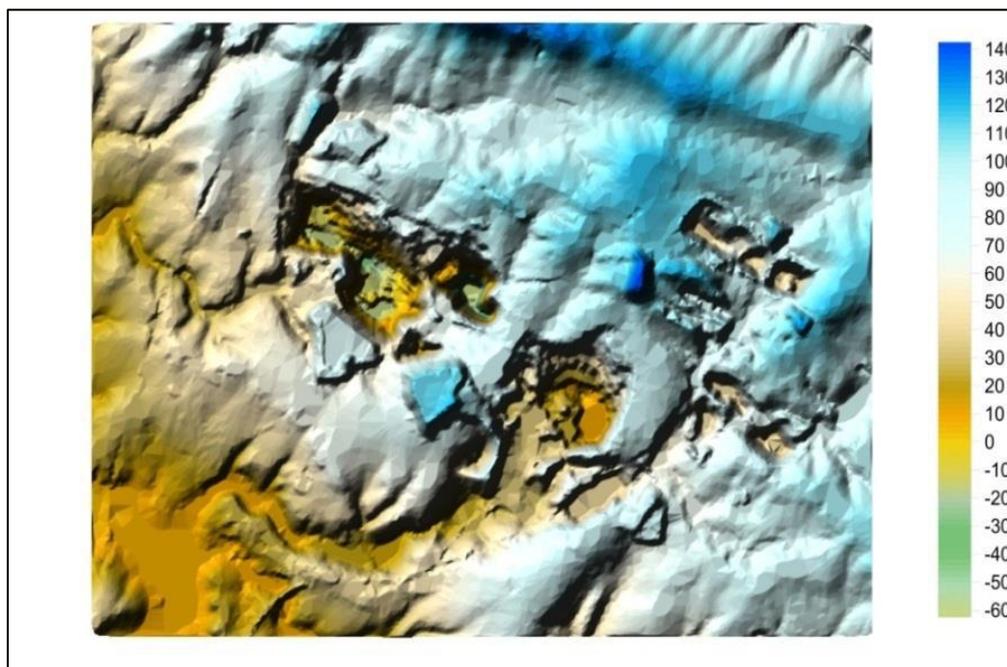


Figure 7 : Topographie de la zone d'étude – données reliefs IGN



Tableau récapitulatif des paramètres dans ADMS

Phénomène physique	Pris en compte par le modèle dans l'étude	Commentaires
Météorologie locale et description verticale de la turbulence atmosphérique	oui	Données horaires mesurées à la station Météo France de Boulogne-sur-mer. Paramètres : année, jour, heure, vitesse du vent (m/s), direction du vent (°), température (degré C), précipitations (mm), hauteur de couche limite (m), flux de chaleur sensible (w/m²), longueur de Monin-Obukhov (m)
Cycle diurne du développement de la couche de mélange	oui	Les données météorologiques ne sont pas traitées de façon indépendante mais en considérant toujours les 24h précédentes
Nature de sols rencontrés	oui	Grille de champ pour la hauteur de rugosité adaptée sur le domaine d'étude
Pollution de fond et production de particules soufrés à partir des sources de SO ₂	oui	Utilisation des mesures de la station rurale de Campagne-lès-Boulonnais
Effet de la topographie (relief) sur la dispersion des panaches	oui	Le modèle de dispersion est couplé au modèle découlement fluide FLOWSTAR qui recalcule les champs de vent et de turbulence en 3D sur tout le domaine
Nature particulière des poussières	non	Pas de prise en compte du dépôt sec (chute de gravité) et humide (lessivage par les précipitations).***
Variabilité temporelle des émissions	non	Pas de profil horaire disponible sur les activités d'émissions des carrières

*** Ce module n'a pas été choisi pour cette modélisation. Nous verrons plus tard que la chute de gravité (granulométrie des PM) et le rabattement humide des poussières (de manière artificielle sur les installations ou par temps pluie) sont pris en compte dans le calcul des émissions des différentes activités au travers des facteurs d'émissions. Aussi, et par manque de retour d'expérience de ce module dans nos missions, il a été préférable de ne pas le tester dans cette modélisation.



INVENTAIRE DES EMISSIONS

Un inventaire des émissions est communément considéré comme une « description qualitative et quantitative des rejets de certaines substances dans l'atmosphère issues de sources anthropiques et/ou naturelles ».

La réalisation d'un inventaire des émissions consiste en un calcul théorique des flux de polluants émis dans l'atmosphère (masses de composés par unité de temps). Ce calcul est généralement réalisé par un croisement entre les données d'activités dites primaires (statistiques, comptages routiers, enquêtes, consommations énergétiques ...) et des facteurs émissions issus d'expériences métrologiques ou de modélisation. Le calcul des émissions peut se résumer à la formule simple suivante :

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} * F_{s,a}$$

Avec :

- ✓ E : émission relative de la substance « s » et à l'activité « a » pendant un temps « t » ;
- ✓ A : quantité d'activité relative à l'activité « a » pendant un temps « t » ;
- ✓ F : facteur d'émission relatif à la substance « s » et à l'activité « a ».

Les données d'activité sont actuellement réparties en 5 grandes thématiques :

- ✓ Transport : routier, ferroviaire, aérien et fluvial ;
- ✓ Industrie : grandes sources ponctuelles, industrie manufacturière, ... ;
- ✓ Résidentiel : chauffage, brûlage des déchets verts, ... ;
- ✓ Tertiaire : chauffage, eau chaude sanitaire, ... ;
- ✓ Agriculture : cultures, engins agricoles,

L'inventaire des émissions d'Atmo Hauts-de-France s'appuie sur le guide de référence nationale OMINEA développé par le CITEPA. Ce guide est la finalité d'un travail entre le Pôle national de Coordination des Inventaires Territoriaux (PCIT) animé par le CITEPA, l'INERIS et la fédération nationale des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (ATMO France). Il détaille les données d'entrée utilisées pour la construction de notre inventaire régional spatialisé.

Les sources d'émissions

[Les différentes sources intégrées](#)

L'inventaire des émissions sur la zone d'étude est une estimation des flux de polluants émis dans l'atmosphère pour divers types de sources anthropiques et naturelles. Ces émissions sont exprimées en masses de composés émis par année. A partir de la base communale de l'inventaire, les émissions sont ensuite redistribuées spatialement à l'échelle du kilomètre, de manière exhaustive pour les besoins de la modélisation. Toujours selon l'inventaire 2012 propre à **atmo** Nord – Pas-de-Calais, il est possible d'identifier les principaux secteurs d'activités émetteurs de particules à modéliser sur la zone d'étude du bassin carrier (**voir annexe 3 et 4**). Le pourcentage est exprimé par rapport au total régional des émissions. Les fiches **en annexe 4** sont réalisées sur le périmètre de la communauté de communes de la Terre des deux caps. Pour les fiches, ce découpage cible les six principaux secteurs SECTEN définis par le CITEPA.

Pour en savoir plus voir <http://www.atmo-hdf.fr> rubrique émissions régionales.

La méthode de modélisation employée dans cette étude est basée sur une simulation de la dispersion et du transport des polluants émis par des sources linéaires, ponctuelles et volumiques, avec utilisation d'une pollution de fond rurale et d'un cadastre des émissions. Au regard de l'inventaire, nous avons identifié les secteurs prépondérants sur le territoire de la communauté de communes de la Terre des Deux Caps. En **annexe 3** est détaillé l'ensemble des émetteurs anthropiques renseignés pour cette modélisation, afin de rendre compte de l'état de la qualité de l'air d'une manière la plus complète possible.



Les sources modélisées sont donc issues du :

- Secteur « Transports » comprenant les émissions du transport routier sur les axes principaux et secondaires et des modes de transport autres que routier (ici uniquement le trafic ferroviaire) ;
- Secteur « autres » comprenant principalement les émissions agricoles et biogéniques ;
- Secteur résidentiel et tertiaire comprenant les émissions issues des secteurs résidentiel, tertiaire, commercial et institutionnel ;
- Secteur industriel comprenant les émissions issues de l'extraction, la transformation et la distribution d'énergie ainsi que celles issues de l'industrie manufacturière, le traitement des déchets et la construction.

[La géométrie des sources dans le modèle](#)

Ces sources d'émissions sont représentées selon un type de géométrie bien précis dans le modèle, qui s'approche au mieux de la description physique réelle des sources. Les émissions sont retranscrites dans le modèle selon un taux d'émission, dont l'unité dépend de la nature de la source. Ainsi on intègre :

- Les sources routières principales et secondaires selon un flux linéique (g/km/s)
- Les sources ferroviaires selon un flux linéique (g/m/s)
- Les sources industrielles selon un flux ponctuel (g/s) et volumique (g/m³/s)
- Les sources résidentielles, tertiaires et agricoles selon un flux volumique cadastré (g/m²/s)

Le travail consiste ici à définir spatialement, dans une projection en coordonnées Lambert II Carto de référence nationale, les différentes géométries appropriées selon le type de source :

- Les **sources linéiques** sont définies comme des émissions émises uniformément le long d'une droite d'une certaine largeur en fonction du type de voirie modélisée, à une certaine hauteur constante (hauteur moyenne des pots d'échappements pour le routier) et spatialisées par les coordonnées des points à ses extrémités. On choisit d'intégrer les sources ferroviaires et routières ainsi.
- Les **sources volumiques** sont considérées comme des sources surfaciques avec une épaisseur verticale dans laquelle se mélangent les polluants. La surface définie doit être polygonale et convexe délimitée par plusieurs sommets.
- Les **sources ponctuelles** correspondent à un rejet à une hauteur spécifiée, localisé en un point supposé horizontal et circulaire dans la section transversale, dont le diamètre est une caractéristique.



Estimation des émissions de PM10 (hors industrie extractive)

Les données utilisées et présentées dans les parties suivantes sont issues de **l'inventaire régional des émissions de l'année 2010¹**, réalisé par atmo Nord Pas-de-Calais, selon la méthodologie définie en 2012 (source Base_A2010_M2012_V3). Elles sont présentées **à l'échelle du domaine de modélisation** (cadre de la zone d'étude), chacune des sources identifiées plus haut donnant lieu à une estimation pondérale pour l'année 2015 dans un tableau..

Seules les carrières sont traitées dans une partie à part (données non issues de l'inventaire régional), car leurs émissions sont le fruit d'un autre travail spécifique entre le CITEPA et les carriers.

Le secteur des transports routier

L'activité industrielle du bassin étant importante (nombreux déplacements par route), et la présence à proximité des carrières de l'autoroute A16 imposent de modéliser explicitement les émissions de polluants liées au trafic routier. Pour cela, il convient tout d'abord de représenter les tronçons routiers pour pouvoir calculer leurs émissions et ensuite les intégrer dans ADMS sous forme de sources linéaires.

Construction des réseaux routiers

Les tronçons routiers ont été assemblés sous Mapinfo depuis la BDTOPO de l'IGN en fonction de leur importance, du nombre de voies, de la largeur et de la pente. La pente est calculée à partir de l'altitude des extrémités de chaque tronçon puis exprimée selon un code de 1 à 5 : 1 étant une descente à plus de 4% et 5 une montée à plus de 4%. Ces tronçons sont utilisés dans l'inventaire d'émissions régional d'**atmo** Nord-Pas-de-Calais (version A2010_M2012_v3).

Le réseau primaire (autoroutes et axes principaux) est représenté par un trait jaune épais. Le réseau secondaire (voies urbaines) est représenté par un trait fin bleu clair.

Pour ADMS-Urban, les tronçons routiers ne doivent pas être composés de plus de 50 points d'inflexion et ne peuvent pas être séparés en plusieurs sections disjointes. Il a donc fallu regrouper et simplifier certains tronçons comme par exemple les embranchements de ronds-points ou d'intersections.

On obtient le réseau routier sur la figure ci-contre.

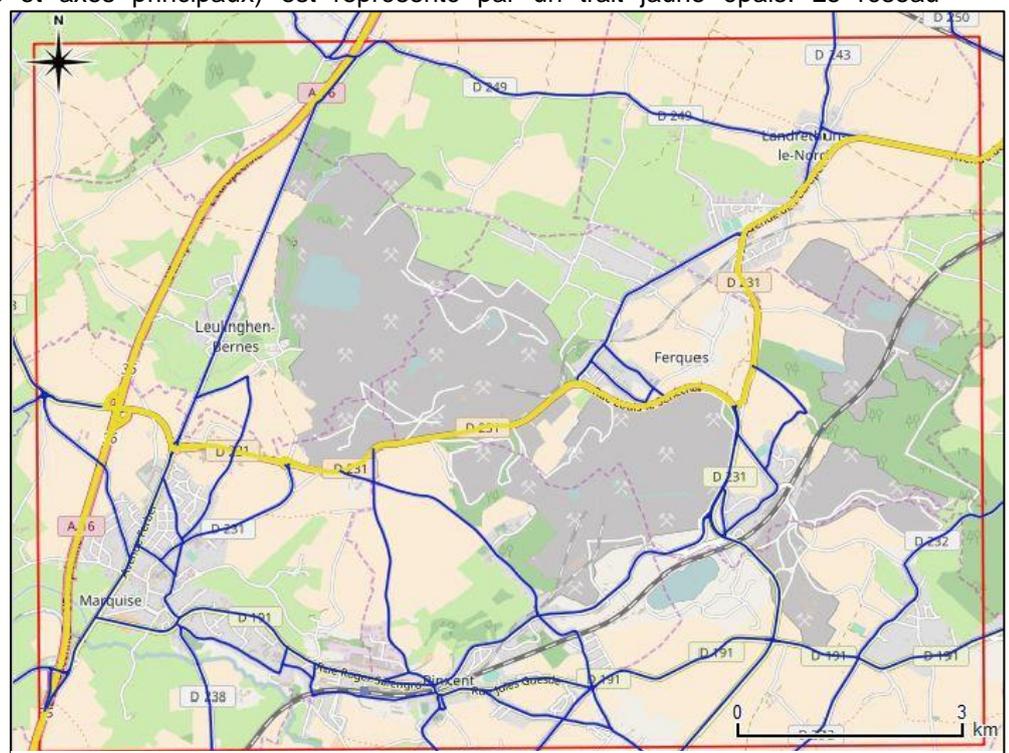


Figure 8 : Réseau routier issu de l'inventaire 2010 méthodologie 2012



Placement des comptages de trafic routier

Les comptages sont attribués aux tronçons routiers une fois l'assemblage géométrique des tronçons effectué. Les données de comptage les plus récentes utilisées pour cette étude datent de l'année 2012 : ces comptages ont donc été placés en priorité, suivis de ceux des années antérieures en cas d'absence de comptage récent. Dans ce cas précis, les valeurs de trafics des années antérieures sont mises à jour pour l'année 2012 grâce aux données d'évolution du trafic du SOeS¹.

En cas de tronçons parallèles (exemple : autoroute ou voies rapides 2 fois 2 voies) le trafic est réparti entre les 2 sens de circulation, soit précisément si l'information est disponible, soit par répartition par moitié de TMJA² s'il n'y a pas de détail.

Pour les tronçons sans donnée de comptage, on appliquera une valeur moyenne calculée à partir des tronçons de même largeur, même nombre de voies et d'importance identique pour lesquels des comptages existent.

Les données horaires de trafic routier, disponibles pour les comptages obtenus par le biais de boucles SIREDO permettent de calculer des profils temporels de circulation en fonction des jours et des heures de la journée. Ces profils sont utilisés lors du calcul des émissions pour déterminer les taux de saturations et donc les vitesses de circulation de chaque route et pour chaque heure de l'année. Les voies de circulation n'ayant pas de profils calculés à partir des données de comptage (absence de données horaires de comptage) se verront attribuer des profils types correspondant à la nature des voies (autoroute, nationales, voies urbaines...). Ces profils ne correspondant pas exactement à la route en question, ils induisent donc des incertitudes liées aux spécificités locales de trafic.

Paramètres nécessaires avant le lancement des calculs des émissions

Ces paramètres sont :

- la capacité totale de la route, c'est à dire capacité de la voie multipliée par le nombre de voies (1650 véhicules/voie pour les autoroutes et assimilées, 1300 véhicules/voie pour le réseau primaire hors autoroute, 800 véhicules/voie pour le réseau secondaire hors réseau urbain, et 1080 véhicules/voie pour le réseau urbain). Ces capacités sont des valeurs théoriques fournies par le CITEPA.
- les pourcentages de poids lourds et autres ; le pourcentage de poids lourd est disponible avec les données de comptage, les pourcentages de véhicules roulant à froid ou d'autocars sont déterminés en fonction du type de routes.
- le parc automobile 2012, fourni par le CITEPA.
- les données météo utilisées sont les mêmes sur l'ensemble de la région (température moyenne servant par exemple à estimer l'évaporation des carburants, humidité, etc.)

Calcul des émissions

Le calcul des émissions par tronçon se fait à l'aide de l'outil Circul'air de référence nationale développé par l'ASPA (Association de surveillance de la qualité de l'air en Alsace, devenue depuis ATMO Grand-Est). Les données d'entrées sont regroupées dans une fiche Excel et les émissions calculées seront exportées dans une base SQL.

Chaque tronçon a été affecté d'un identifiant unique et, pour chaque tronçon, les émissions par type de véhicule seront calculées pour l'année.

¹ Service de l'Observation et des Statistiques, Commissariat Général au Développement Durable, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.

² Trafic Moyen Journalier Annuel



[Résultats : émissions trafic](#)

Les émissions pour le trafic routier calculées suivant la méthodologie présentée plus haut sont estimées par tronçons (230 au total) puis regroupées dans le tableau suivant pour l'année 2015 et pour la zone étudiée :

Année 2015		
Sources	SO ₂ (kg)	PM10 (kg)
Réseau Primaire	164	11286
Réseau Secondaire	52	4114
TOTAL	216	15 400

Ces émissions seront ensuite converties en gramme/km/seconde pour chaque tronçon. Elles serviront pour la modélisation des concentrations de polluants pour la zone d'étude.

Secteur du transport ferroviaire

L'inventaire des émissions 2012 nous permet de disposer des émissions issues du secteur ferroviaire. Les données brutes permettant le calcul des rejets de ce secteur sont de plusieurs sortes.

[De la consommation de carburant](#)

Les émissions sont principalement issues de la combustion fossile des trains fonctionnant au diesel. Le matériel roulant électrique émet seulement du CO₂ indirect.

[De l'usure](#)

Tous les types de matériels (électrique et diesel) sont pris en compte pour le calcul de l'usure des équipements : usure des freins, roues, rails et caténaires. L'absence d'éléments sur les émissions de particules liées à la remise en suspension ne permet pas de les inclure.

[Méthodologie générale](#)

Elle est définie et disponible de manière détaillée dans le guide PCIT (Pôle de coordination des Inventaires Territoriaux (PCIT), 7 novembre 2012).

Pour résumer, les consommations liées au transport ferroviaire sont estimées à partir du nombre moyen annuel de kilomètres parcourus sur les voies ferrées, ventilé par le type de matériel (électrique et diesel) et multiplié respectivement par un facteur de consommation, fonction du type de matériel. Les trafics moyens journaliers annuels sont fournis par le Réseau Ferré de France (RFF), les facteurs de consommation par la SNCF et les longueurs de voies ferrées sont extraites de la BD Carto (IGN).

Les émissions liées à la combustion d'énergies fossiles sont déduites des consommations à l'aide de facteurs d'émission (OMINEA 2013). Les émissions produites par l'usure des équipements sont quant à elles calculées directement à partir du nombre de kilomètres parcourus, en multipliant par des facteurs d'émission par kilomètre parcouru (OMINEA). Les consommations et les émissions sont ensuite ventilées à l'échelle de la commune à partir du kilométrage communal de voies ferrées.



 Résultats : émissions ferroviaires

Le réseau obtenu se découpe en 42 sections sur lesquelles les émissions en PM10 et SO₂ sont calculées. Les émissions estimées suivant la méthodologie présentée plus haut sont exprimées en gramme/mètre/seconde pour chaque tronçon, puis regroupées dans le tableau suivant :

Année 2015		
Sources	SO ₂ (kg)	PM10 (kg)
Réseau Ferroviaire	2	1886

Le plan du réseau défini pour les calculs du modèle est le suivant :

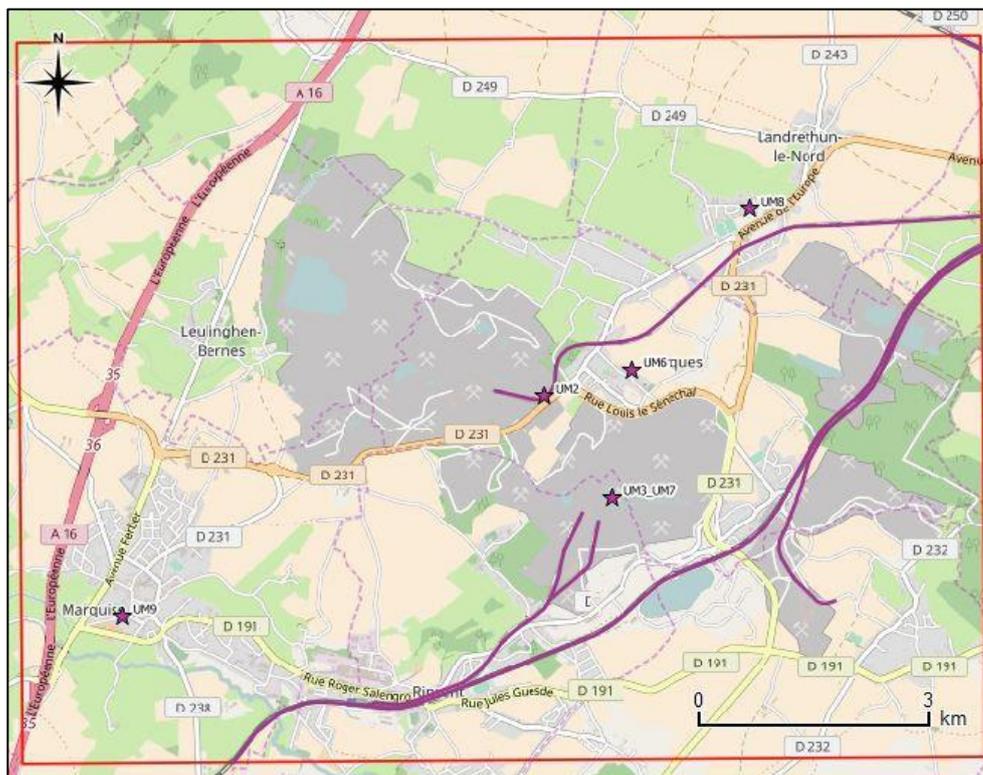


Figure 9 : Réseau ferroviaire issu de l'inventaire 2010 méthodologie 2012



Secteurs résidentiel et tertiaire

Traité dans le modèle ADMS-Urban en tant que source volumique cadastrée, le secteur résidentiel, tertiaire et commercial regroupe un ensemble de sources, répertoriées au préalable dans l'inventaire régional des émissions de polluants (version A2010_M2012_v3) et agrégées sous la catégorie SECTEN « Résidentiel & Tertiaire ».

Les données brutes permettant le calcul des rejets de ce secteur sont de plusieurs sortes. En premier lieu, l'activité humaine que représente l'habitat est comptabilisée par le biais du fichier de détails logements de l'INSEE. Y sont répertoriés, pour chaque commune, les différents logements présents ainsi qu'un certain nombre de paramètres comme le combustible employé pour le chauffage et la production d'eau chaude, la surface, l'ancienneté, le type individuel ou collectif.

Des facteurs de consommation unitaires sont ensuite appliqués par type de combustible, puis ces produits sont multipliés par des facteurs d'émissions de polluants. On obtient donc des valeurs de rejets de polluants par commune.

Bien que le logement constitue la majorité des rejets du secteur, les rejets des chauffages des activités tertiaires sont également inventoriés et leurs rejets estimés. Ainsi par exemple, les rejets des établissements d'enseignement sont estimés d'après leur population d'élèves.

L'inventaire régional des émissions de polluants a une résolution spatiale à la commune. Pour tenir compte de l'occupation du sol dans la répartition des émissions de ce secteur qui se cantonne aux zones habitées et commerciales, les rejets ont été spatialisés sur des polygones qui incluent de façon schématique les surfaces catégorisées 111 (Tissu urbain continu) et 112 (Tissu urbain discontinu) dans la nomenclature CORINE Land Cover.

Une hauteur moyenne de 5 mètres est ensuite affectée à ces polygones pour les transformer en sources volumiques dans le modèle (hauteur maximale des habitations sur la zone d'étude dans laquelle sont émis les polluants).

Le tableau suivant reprend les émissions communales du secteur résidentiel et tertiaire estimées en 2012 pour être utilisées dans le cadre de cette étude en 2015.

Année 2015		
Sources	SO ₂ (kg)	PM10 (kg)
Secteur Résidentiel Tertiaire	10 115	19 346



Secteur agricole

La méthodologie générale pour le calcul des émissions de ce secteur d'activité est définie et disponible de manière plus détaillée dans le guide PCIT (Pôle de coordination des Inventaires Territoriaux (PCIT), 7 novembre 2012). Nous indiquons ici uniquement les sous-secteurs d'activité (SNAP selected nomenclature for air pollution) traités et intégrés au cadastre des émissions de la zone d'étude.

[Culture](#)

Les émissions sont calculées à partir des surfaces agricoles communales provenant de l'inventaire agricole 2012. Les facteurs d'émission utilisés proviennent du guide OMINEA du CITEPA ou sont recalculés à l'aide de données régionales concernant le traitement des déjections animales et les utilisations d'engrais selon les méthodes fournies dans le guide PCIT.

[Les installations de combustion](#)

Les émissions sont calculées à partir des consommations énergétiques régionales du secteur issues du SOeS. Ces consommations énergétiques sont ventilées sur chaque commune en utilisant une donnée d'activité à échelle communale. Un bouclage énergétique est réalisé sur les données de consommations pour s'assurer de la cohérence avec les données régionales.

Les émissions communales sont alors calculées à l'aide des facteurs d'émissions par carburant fournis dans le guide OMINEA du CITEPA.

[Les engins agricoles spéciaux](#)

Les émissions du secteur sont calculées à partir des consommations communales de combustibles. Ces consommations sont calculées pour chaque canton, par type d'engin en fonction de leur carburant et des durées d'utilisations annuelles, à partir du parc d'engins agricoles fourni dans le recensement agricole 2000 de l'AGRESTE et des pourcentages d'évolution annuels.

Les émissions communales sont alors calculées à l'aide des facteurs d'émissions par carburant fournis dans le guide OMINEA du CITEPA.

[Les feux ouverts de déchets agricoles](#)

Les émissions sont calculées en multipliant les quantités de déchets brûlés par commune par les facteurs d'émissions du CITEPA.

Toutes ces émissions calculées sont spatialisées à l'échelle communale dans un premier temps, puis à l'échelle d'une maille kilométrique dans un second. Cette spatialisation s'effectue à partir de l'occupation des sols fournis par la base de données européenne CORINE Land Cover pour ces trois catégories de sols de la nomenclature : terre arables et parcelles labourées ; prairie pâturées ; système culturaux et parcellaires complexes.

Année 2015		
Sources	SO ₂ (kg)	PM10 (kg)
Secteur Agricole	674	12 498

NB : Nous avons jugé non nécessaire d'intégrer les **émissions biogéniques** (secteur biotique) au modèle car la quantité d'émissions de ce secteur répertoriée dans notre inventaire était trop faible et donc sans impact sur une évaluation de l'état de la qualité de l'air du bassin carrier de Marquise.



Synthèse des émissions 2015 intégrées au modèle (hors activités extractives)

Secteur	SO ₂ 2015 (kg)	PM10 2015 (kg)
Transports routiers	216	15 400
Ferroviaire	2	1 886
Résidentiel et tertiaire	10 115	19 346
Agriculture	674	12 498
TOTAL	11 007	49 130

Estimation des émissions de PM10 pour l'industrie extractive

Une étude précédente, réalisée par l'association de surveillance de la qualité de l'air en Provence Alpes et Cotes d'Azur (Air PACA), avait envisagé différents scénarios selon des facteurs d'émissions différents. Dans cette étude nous nous sommes focalisés sur l'aspect qualitatif des différentes sources d'émissions, en détaillant de manière poussée la localisation et la géométrie de chaque source. Le scénario retenu pour les facteurs d'émission est celui s'appuyant sur la méthode AP-42 développé par le CITEPA conjointement avec les professions concernées par l'industrie extractive et régulièrement mis à jour pour permettre les évaluations des émissions dans l'air de cette activité dans GEREP.

[Etat de l'art et travaux sur les facteurs d'émissions](#)

Cette étude s'est appuyée sur la méthode mise au point par l'Agence de l'Environnement Américaine (US-EPA) et décrite dans le document AP42, 5ème édition Volume 1 (« *Mineral product industry* ») de la base de données AP42, et reprise par le CITEPA. Cette approche, de plus en plus partagée sur la scène des acteurs environnementaux à l'international, a permis au CITEPA d'affiner et d'actualiser les facteurs d'émissions nationaux dans le cadre de son inventaire national des émissions polluantes :

- En schématisant l'activité extractive en cinq étapes principales : forage-minage, transport interne, installations de traitement, mise en stocks et érosion éolienne.
- En intégrant un ensemble de paramètres dans les équations de calculs des émissions : conditions climatiques locales, volume de production, moyens mis en œuvre pour la réduction des émissions, qualité de revêtement des routes etc...



Pour cette étude afin de respecter un certain nombre de contraintes liées au modèle, nous avons convenu en concertation avec les carriers du bassin de Marquise, qu'une carrière pouvait être schématisée en 3 systèmes d'activités émettrices de poussières :

- **La zone d'extraction et de transport interne regroupant les activités de forage-minage et pistes de roulage, manutention et transport du tout-venant jusqu'aux installations;**
- **Les installations de traitement (primaire, secondaire, tertiaire) regroupant les activités de concassage, broyage, criblage, lavage et transfert vers les stocks ;**
- **Les zones de stockage, avec la gestion des stocks jusqu'à l'expédition (chargements /déchargements éventuels en cas de déplacements du matériau) et l'érosion des stocks à l'air libre.**

Ce schéma simplifié permet de condenser certaines hypothèses sur la spatialisation des sources d'émissions sans en dégrader la géométrie à l'interface modèle.

En prolongement de ce travail sur les facteurs d'émissions, une seconde action a été conduite pour mieux répondre aux obligations de déclaration annuelle des émissions polluantes sur le portail GEREPA (conformément à l'application de l'arrêté du 31 janvier 2008 modifié relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets). Il s'agit de la réalisation d'un outil de calcul simple au format tableur Excel, mis à disposition des industriels pour estimer les émissions de poussières dans l'air. Cet outil a été développé par le CITEPA en collaboration avec l'UNICEM et l'ATILH (l'Association Technique de l'industrie des Liants Hydrauliques) et le MEDDE. Nous disposons de cette fiche d'évaluation pour les 4 principaux exploitants de carrière de la zone d'étude, ainsi que pour un sous-traitant de transformation du matériau. Les fiches retournées par les carriers sont établies pour chaque phase de mesure (phases 1 et 2) et sur l'année civile entière 2015. Ces fiches renseignent uniquement sur l'activité des deux principales carrières (A et B).

Le détail du calcul des émissions selon la méthodologie « type » CITEPA est présenté en **annexe 7** pour chaque activité référencée dans la carrière. L'évaluation globale tient compte des facteurs d'émissions définis dans le chapitre 11 du document AP-42 (5^{ème} édition, Volume 1) et des émissions annuelles pour les TSP et les PM10 en intégrant les différentes activités et paramètres suivants dans les équations :

- ❖ Informations sur le forage-minage : nombre annuel de trous forés, surface minée moyenne, nombre annuel de tirs
- ❖ Informations sur le transport interne : distance parcourue par les véhicules d'exploitation sur des routes non revêtues, revêtues, le poids moyen d'un véhicule, la teneur en particules fines du matériau de surface, un facteur d'abattement selon la fréquence d'arrosage journalière.
- ❖ Informations sur le traitement de la roche : production annuelle traitée, débit traversant l'une des étapes du procédé, facteur d'émission (différent pour chaque étape de concassage, tamisage, point de transfert) variant selon le taux d'humidité de la roche, facteur d'abattement par unité de transformation.
- ❖ Information sur le stockage (manipulation et érosion des stocks) : vitesse moyenne du vent, teneur en humidité du matériau, quantité de matériau manipulé, nombre de jours de pluie au cours de l'année, teneur en particule fine de la pile de stockage, et rayon et la hauteur de la pile de stockage.

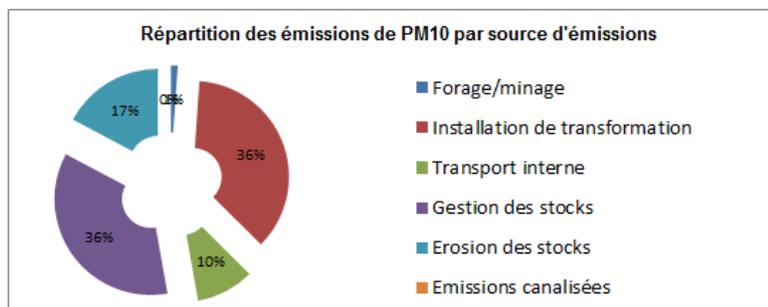


Figure 10 : Répartition des émissions de PM10 par activité pour la carrière B sur l'année 2015.

Synthèse des quantités de poussières émises

Le modèle est donc alimenté par des émissions en PM10 estimées sur la base des fiches GERE pour chacune des campagnes réalisées (septembre 2015 et mars 2016) ainsi que pour l'ensemble de l'année 2015. Pour respecter la confidentialité des données industrielles, nous présentons la somme des émissions PM10 des carrières par type de source dans le tableau et pour chaque période de simulation sur l'ensemble de la zone d'étude.

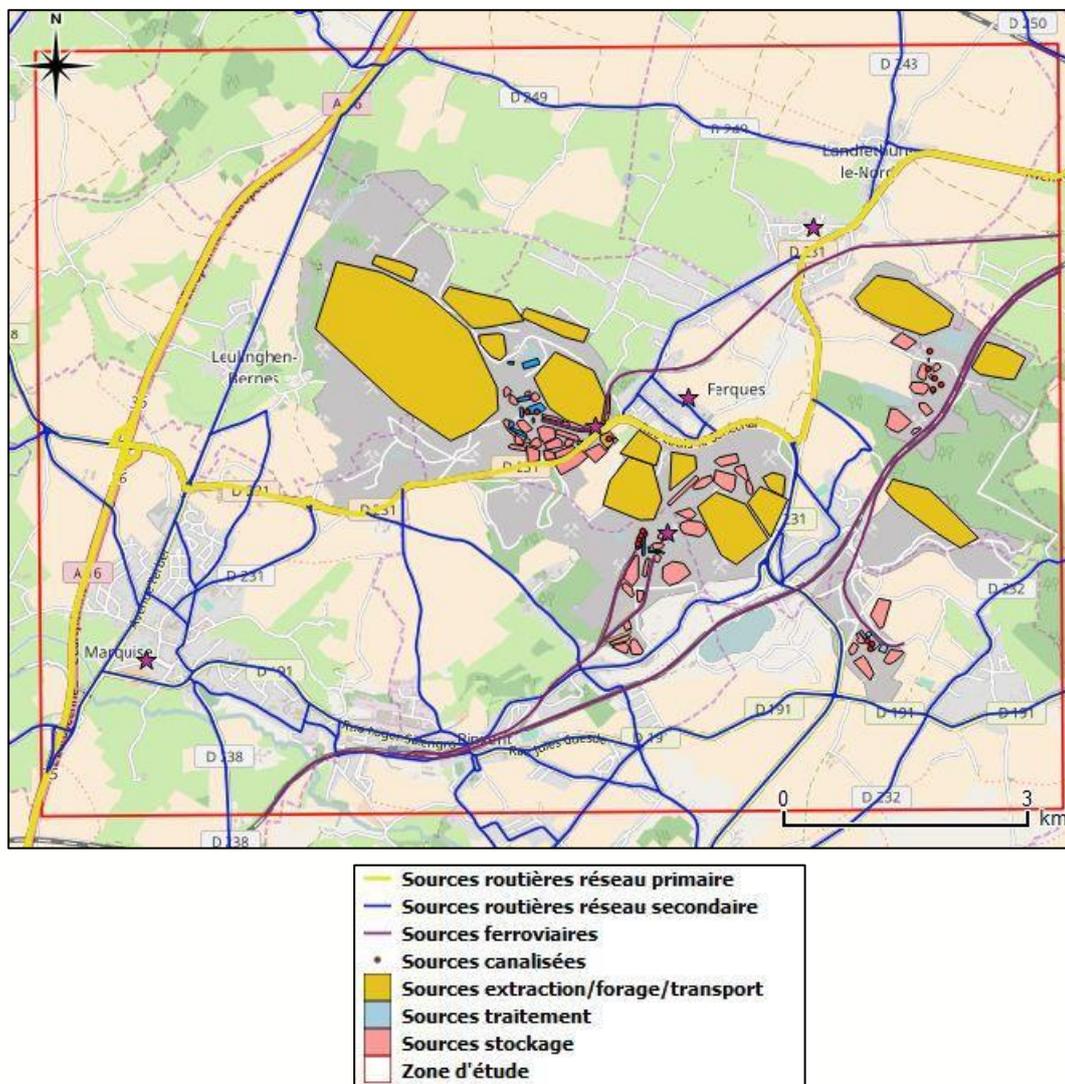
Type d'activité	2015	PHASE 1	PHASE 2
Extraction/Transport interne (kg)	40 091	3 559	3 909
Traitement (kg)	148 355	14 228	19 801
Stockage (kg)	95 960	10 688	10 095
TOTAL (kg)	284 406	28 475	33 805

Pour les besoins du modèle au niveau des sources canalisées, nous disposons de rapport de contrôle des rejets atmosphériques (mesures effectuées par des bureaux d'études spécialisés) transmis par les carriers. Dans ces rapports sont décrites les caractéristiques nécessaires pour chaque cheminée modélisée : hauteur d'éjection (m), diamètre du conduit (m), température (°C) et vitesse d'éjection du panache (m/s).

NB : Ces fiches permettent de disposer également des quantités de poussières sédimentables (TSP) rejetées par l'industrie extractive. Cependant le réseau de mesure d'Atmo Hauts-de-France ne dispose pas de mesure de fond annuelle en TSP (polluant non réglementé), or cette mesure est indispensable au modèle pour pouvoir réaliser un calage aux stations. Le problème est inverse pour les PM2,5, nous disposons de mesures continues pour le calage, mais les fiches GERE ne nous renseignent pas sur la quantité émise pour cette fraction de poussière (facteurs d'émissions non disponibles). C'est pourquoi dans cette étude **la modélisation des poussières issues des carrières porte uniquement sur les PM10.**



Plan de situation des sources à l'intérieur des carrières



Le plan de situation a été validé conjointement par nos interlocuteurs de la Carrière B et A. On peut donc considérer qu'il se rapproche le plus possible de la situation réelle dans la limite technique offerte par le modèle ADMS-Urban.

Au total sur l'ensemble de la zone d'étude, ont été renseignées dans le modèle :

- 230 sources routières ;
- 42 sources ferroviaires ;
- 34 sources volumiques pour l'activité extraction/forage/transport ;
- 23 sources volumiques et 16 sources ponctuelles pour l'activité de traitement ;
- 57 sources volumiques pour l'activité de stockage.

Le modèle va donc simuler la dispersion des PM10 pour 402 sources définies explicitement dans le cadastre des émissions de la zone d'étude.



COMPARAISON MODELE / MESURE

Une fois les données d'entrée du modèle préparées et avant de lancer la simulation finale sur l'ensemble de la zone de modélisation, une phase de calage sur les périodes de campagne de mesure (phases 1 et 2) est nécessaire pour s'assurer de la cohérence des résultats simulés avec les mesures enregistrées aux stations mobiles du réseau d'**atmo** Nord-Pas-de-Calais.

Principe et critères d'acceptation

L'écart entre le modèle et la mesure est fixé par la législation européenne, qui impose des objectifs de qualité des données modélisées en termes d'incertitude. La directive 2008/50/CE définit « l'incertitude pour la modélisation comme l'écart maximal des niveaux de concentrations mesurés et calculés de 90% des points de surveillance particuliers, sur la période considérée pour la valeur limite, sans tenir compte de la chronologie des événements ». Cependant certaines exigences sont jugées pas assez sévères aux yeux du groupe expert des AASQA qui préconise des erreurs relatives moins grandes. Finalement, les erreurs relatives exigées pour les moyennes mensuelles et trimestrielles en PM10, selon le type de station de mesure, sont les suivantes :

Typologie du site	Erreurs relatives exigées
Fond	30 %
Proximité industrielle	50 %

Tableau 1 : Critères statistiques exigés par type de station

Le groupe expert des AASQA au travers du « Guide pour une modélisation avec une résolution spatiale fine des concentrations en milieu urbain » (GREXURB) recommande également le calcul de paramètres statistiques complémentaires pour juger du bon comportement du modèle à l'échelle horaire. Les paramètres statistiques pris en compte sont les paramètres normalisés afin de pouvoir comparer les performances à l'échelle nationale. Les paramètres retenus par le groupe expert des AASQA sont : le biais normalisé, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne normalisée (NMSE) et le coefficient de corrélation.

Paramètres statistiques	Intervalle acceptable pour une comparaison modèle / mesure
Biais normalisé	-30 % à 30 %
NMSE	Non défini
Coefficient de corrélation	0,6 à 1

Le modèle ADMS offre la possibilité de prendre en compte une pollution de fond en PM10 sur le domaine. La pollution de fond intégrée au modèle est séquencée heure par heure, et est pour chaque heure uniforme sur l'ensemble de la zone de modélisation. L'utilisation de données horaires issues de stations mobiles permet d'apprécier :

Tableau 2 : Critères statistiques complémentaires pour le calage d'un modèle urbain

- La dynamique spatiale du modèle, c'est-à-dire si les niveaux absolus et relatifs de concentrations modélisés sont bien reproduits au niveau des unités mobiles.
- La dynamique temporelle du modèle, c'est-à-dire d'évaluer si le modèle reproduit bien la temporalité de certains pics d'émission liés à des phénomènes grande échelle/moyenne échelle de transfert de masse d'air pollués.

Les valeurs de fond correspondent à un niveau de fond « naturel » induit par les apports extérieurs au domaine de modélisation. Il ne s'agit pas de la contribution de sources secondaires non explicitées locales. On rappelle que les concentrations de fond horaires pour chaque simulation sont issues de la station fixe de typologie « rurale » Campagne-lès-Boulonnais (voir explication p 13-14).



Résultats sur la campagne de mesure - Phase 1

Station et polluant (typologie)	Moyenne mesures $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne Modèle $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coefficient de corrélation	Erreur relative %	NMSE %	Biais normalisé %
UM3 et UM7 - Carrière A (prox. Industrielle)	46,6	44,8	0,12	- 3,83	1,51	- 3,9
UM2 - Carrière B (prox. Industrielle)	33,7	30,8	0,31	- 8,56	1,05	- 8,9
UM6 - Ferques (fond)	18,8	20,1	0,61	6,8	-	6,6
UM9 - Marquise (fond)	20,3	19,6	0,76	- 3,39	-	- 3,4
UM8 - Landrethun le Nord (fond)	16,2	18,7	0,69	15,56	-	14

La comparaison modèle / mesure sur la période de la campagne 1 du 07/09/15 au 05/10/15 inclut l'ensemble des stations mobiles déployées sur la zone d'étude. Les stations de Ferques, Marquise et Landrethun-le-Nord sont en situation de fond, tandis que les stations de la carrière A et B sont en situation de proximité industrielle.

- ✓ L'**erreur relative**, qui témoigne de l'erreur globale des données du modèle par rapport à la réalité, est très faible en moyenne pour les PM10 et respecte donc le critère de +/- 30 %. L'erreur relative en situation de fond est très satisfaisante au regard de la directive et de la période d'échantillonnage (presque 1 mois). De manière générale, la qualité des comparaisons modèle-mesure s'améliore à mesure que l'on augmente la durée de l'échantillonnage (annuelle par rapport à mensuelle ou horaire). En situation de proximité industrielle, le modèle est en légère sous-estimation, de 3,83% et 8,56% respectivement pour les carrières A et B. Ces scores sont très satisfaisants dans une telle configuration.
- ✓ Au regard du **biais normalisé**, il n'y a pas d'erreur systématique commise par le modèle, puisque la moyenne des différences entre observation et modèle est faible. Une valeur nulle indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne des concentrations et cela pour toutes les typologies d'unités mobiles. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs. C'est pourquoi ce paramètre doit être accompagné de l'analyse du NMSE.
- ✓ Le **NMSE** (l'erreur quadratique moyenne normalisée) renseigne lui aussi sur l'écart relatif entre les données simulées et les observations. Plus le NMSE est faible, plus les quantités simulées par le modèle sont proches des observations. Le critère n'est pas défini dans le guide référence du GREXURB pour les PM10, cependant on peut avancer que pour les UM en situation de proximité industrielle le NMSE est très bon avec 1,51% d'écart moyen pour la carrière A et 1,05% d'écart pour la carrière B.
- ✓ Le **coefficient de corrélation** permet de qualifier l'intensité de la liaison linéaire existante entre observation et valeur modélisée. En outre, il permet d'évaluer si la temporalité des différents pics et creux journaliers du modèle sont bien reproduits. Les valeurs obtenues remplissent toutes les critères de validité (>0,6) aux stations mobiles de « fond ». Cependant, aux niveaux des carrières, la corrélation ne respecte pas le critère de corrélation avec des valeurs de 0,12 et 0,31 respectivement pour la carrière A et B.



Ce score était attendu, dans la mesure où aucun profil temporel d'émission lié aux activités n'a pu être renseigné dans le modèle. On peut voir ici un point d'amélioration à mener pour la pertinence du modèle, même s'il est parfois difficile d'imaginer des profils d'émissions pour certains types de sources (érosion et manipulation des stocks, transport interne etc...).

Sur la base de cette analyse, le calage du modèle aux stations de mesure est validé pour la première phase. Et la concentration de fond moyenne en PM10 injectée dans ADMS sur la phase 1 est de 18,1 µg/m³.

Résultats sur la campagne de mesure - Phase 2

Station et polluant (typologie)	Moyenne mesures µg/m ³	Moyenne Modèle µg/m ³	Coefficient de corrélation	Erreur relative %	NMSE %	Biais normalisé %
UM3 et UM7 - Carrière A (prox. Industrielle)	64,6	59,2	0,25	-8,31	1,22	-8,6
UM2 - Carrière B (prox. Industrielle)	34,9	33,6	0,38	-3,84	1,04	-2,7
UM6 - Ferques (fond)	29,8	28,1	0,74	-5,82	-	-6,0
UM9 - Marquise (fond)	24,9	27,5	0,81	10,41	-	9,0
UM8 - Landrethun le Nord (fond)	22,2	26,9	0,83	21,14	-	18,0

La comparaison modèle / mesure sur la période de la campagne 2 du 07/03/16 au 04/04/16 inclut l'ensemble des stations mobiles déployées sur la zone d'étude. Les stations de Ferques, Marquise et Landrethun-le-Nord sont en situation de fond, tandis que les stations de la carrière A et B sont en situation de proximité industrielle.

- ✓ **L'erreur relative**, qui témoigne de l'erreur globale des données du modèle par rapport à la réalité, est très faible en moyenne pour les PM10 et respecte donc le critère imposé par la directive européenne de +/- 30 %. L'erreur relative en situation de fond et de proximité industrielle est très satisfaisante, avec les mêmes remarques que pour la phase 1 de mesure. Le modèle sous-estime la mesure de 8,31% et 3,84% respectivement pour les carrières A et B.
- ✓ **L'ensemble des autres critères** définis par le GREXURB est respecté, mis à part le coefficient de corrélation linéaire pour les UM placées en proximité industrielle. Tout comme lors de la phase 1, la modélisation des pics liés à une activité extractive plus importante à un moment de la journée n'a pas pu être reproduite par le modèle, du fait de l'absence de profils temporels sur les émissions. Même si la corrélation linéaire entre le modèle et la mesure est légèrement meilleure pour la phase 2 que lors de la phase 1, elle ne rentre pas dans le critère fixé à 0,6.

En situation de fond (UM6, UM8, UM9) l'intensité de la liaison linéaire satisfait au critère, ce qui certifie au-delà du simple niveau de concentration de la qualité de la pollution fond choisie. Cela confirme dès lors que l'absence de profil temporel sur les émissions des sources carrières a une influence directe sur les profils de concentrations mesurées par les UM situées sur les sites carriers à proximité des sources.



Sur la base de cette analyse, le calage du modèle aux stations de mesure est validé pour la deuxième phase. Et la concentration de fond moyenne en PM10 injectée dans ADMS sur la phase 2 est de 20,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

On peut noter sur les deux phases de mesures, que le niveau de « production » de PM10 par le modèle est important puisque le modèle est capable de modéliser en moyenne 44,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (phase 1) et 59,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (phase 2) pour une pollution de fond « injectée » respectivement de 18,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 20,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La chimie soufrée du modèle, qui produit des PM10 dites « secondaires » à la suite de réaction chimique particulière, est très limitée au sein des carrières, car aucune source d'émissions de dioxyde de soufre n'y est recensée. Dans l'ensemble sur tout le domaine de modélisation, la part de production de PM10 secondaires dues à des combinaisons chimiques est faible.

Aussi sur la base de ces constats, on peut se satisfaire de la quantité d'émission en PM10 estimée sur les différentes sources « carrières » recensées. Et à fortiori de la méthodologie mise en place par le CITEPA qui aboutit à ces estimations, avec l'utilisation de facteurs d'émissions de l'approche AP-42 de l'US EPA (Chapitre 1 « Mineral Product Industry »). La spatialisation détaillée des sources d'émissions selon le type d'activité et le paramétrage géométrique propre à chacune ont indéniablement permis au modèle de reproduire de manière plus détaillée les phénomènes de dispersion et de transport des polluants. Pour Atmo Hauts-de-France, cela vient conforter la pertinence du modèle dans son utilisation permanente pour ses missions de modélisation.

Enfin, après validation du modèle dans cette configuration, nous pouvons conclure sur l'utilisation des nouveaux facteurs d'émissions définies par le CITEPA pour le polluant PM10. Ces facteurs ont permis d'estimer des émissions dont la modélisation de la dispersion et du transport des concentrations est en accord avec la mesure. Les scores statistiques répondent à la fois aux exigences de la directive européenne sur les modèles urbains, et aux préconisations notifiées par le GREXURB. Par expérience et recul avec ce que l'on peut calculer sur nos modèles urbains quotidiennement, les scores calculés ici en situation de « proximité industrielle » sont plus que satisfaisants. A l'avenir, si des besoins plus poussés sont demandés pour des études impact autour de sites carriers, un travail approfondi de temporalisation devra être mené afin d'obtenir une meilleure corrélation entre la concentration mesurée et celle modélisée.

La validation du modèle aux stations étant terminée, les simulations finales peuvent être lancées sur chaque période de mesure, ainsi que sur l'année entière de référence du 01/01/2015 au 31/12/2015.



RESULTATS DE L'ETUDE

Les cartographies de concentrations de polluants sont les résultats couplés du travail d'estimation des émissions, des calculs numériques de la modélisation et du travail géostatistique d'interpolation. Les échelles de couleur pour les niveaux de concentrations des différents polluants sont issues de groupes de travaux engagés par le LCSQA et les AASQA pour harmoniser et améliorer la lecture des cartographies pour le public. Les échelles utilisées suivent les palettes de couleurs nationales. Pour chaque période modélisée sont réalisées les cartographies en PM10 sur la base de deux valeurs réglementaires : en moyenne annuelle et percentile 90,41, c'est-à-dire un nombre de jours pour lesquels la concentration moyenne journalière ne doit pas dépasser $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rappelons les valeurs limites :

- $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne annuelle PM10
- $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le percentile 90.4 des valeurs journalières PM10. Concentration pour laquelle la valeur journalière de PM10 ne doit pas être supérieure plus de 35 fois par an.

Les concentrations calculées en sorties du modèle sont interpolées sur une grille de 10 mètres par 10 mètres sur l'ensemble de la zone d'étude. L'outil géostatistique utilisé est le logiciel Surfer 10, la technique d'interpolation appliquée est un krigeage linéaire.

Cartographies générales et interprétation

 [Année 2015](#)

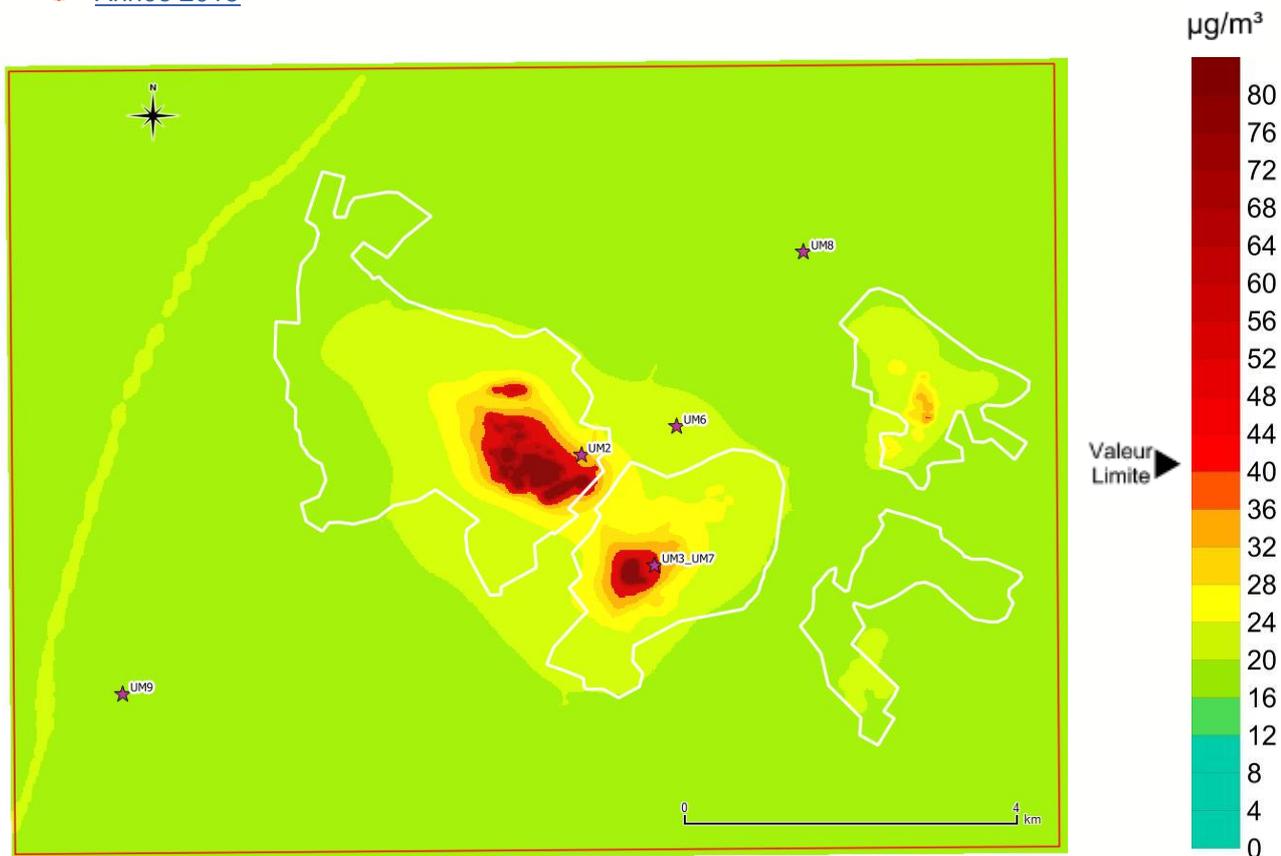


Figure 11 : Concentration en moyenne annuelle de PM10 en 2015 sur la zone d'étude – VL $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

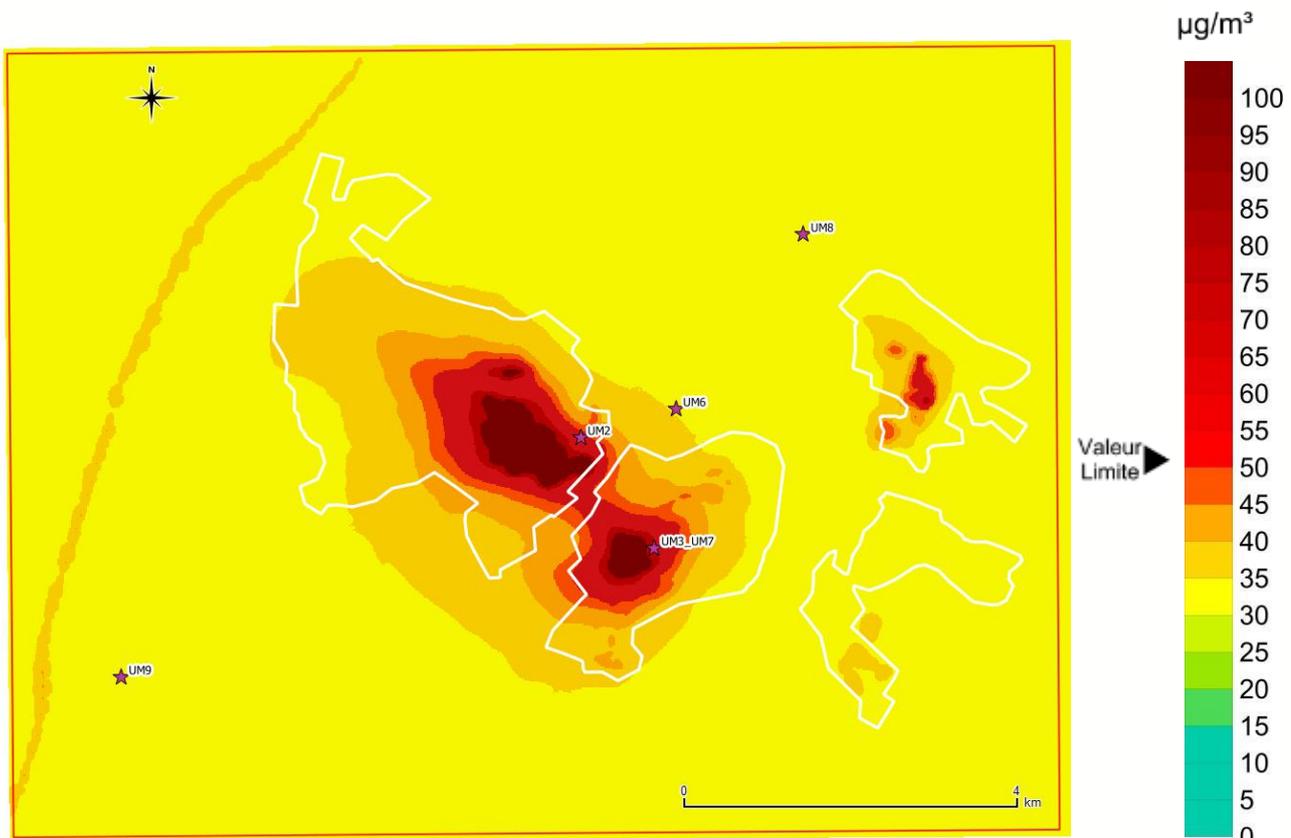


Figure 12 : Percentile 90.4 des concentrations journalières en PM10 sur la zone d'étude
– VL 50 µg/m³ en moyennes journalières à ne pas dépasser plus 35 jours par an.

La carte des concentrations moyennes annuelles en particules PM10 pour 2015 montre un gradient de concentration assez net entre la proximité des principales sources industrielle (Carrière B et Carrière A) et la situation dite « de fond », c'est-à-dire hors proximité d'une source particulière. Dans une moindre mesure, on peut aussi distinguer du niveau de fond, la part des activités liées aux 2 autres carrières C et D.

La valeur limite en moyenne annuelle fixée à 40 µg/m³ est dépassée sur une surface se cantonnant au domaine des exploitants de granulats, mis à part un débord sur la D231, route qui sépare la carrière B à l'exploitant EX 2. La concentration maximale calculée est de 150,2 µg/m³ au niveau d'une source dite « traitement », tandis que le niveau de fond moyen est en dessous de la valeur guide (20 µg/m³) avec une valeur de 17 µg/m³. Sur la zone de modélisation, la contribution des autres sources d'émissions locales (résidentiel/tertiaire, ferroviaire, agricole) à l'exception du routier (A 16) n'est pas visible sur la cartographie. Leur impact sur la qualité de l'air est donc très limité.

La carte de percentile 90,4 montre également un gradient qui va décroissant de la proximité des principales sources d'émission de Carrière du Boulonnais et Vallée Heureuse jusqu'à la situation de fond. La valeur limite de 50 µg/m³ en moyenne journalière est dépassée plus de 35 fois dans l'année au sein des carrières. Néanmoins en dessinant un contour autour de cette valeur limite on constate qu'aucune habitation du bassin n'est affectée par ce dépassement de seuil réglementaire. En situation de fond, la valeur limite sur le percentile est respectée.

On constate qu'il existe une influence des activités extractives dans un rayon variable en dehors des domaines carriers, mais qu'elle n'induit pas un dépassement de la valeur limite en percentile 90,4 ou en moyenne annuelle. Tout comme sur la cartographie de moyenne annuelle, sur la zone de modélisation, la contribution des autres sources d'émissions locales (résidentiel/tertiaire, ferroviaire, agricole) à l'exception du routier (A 16) n'est pas visible sur la cartographie. Leur impact sur la qualité de l'air est donc très limité.



Phase 1

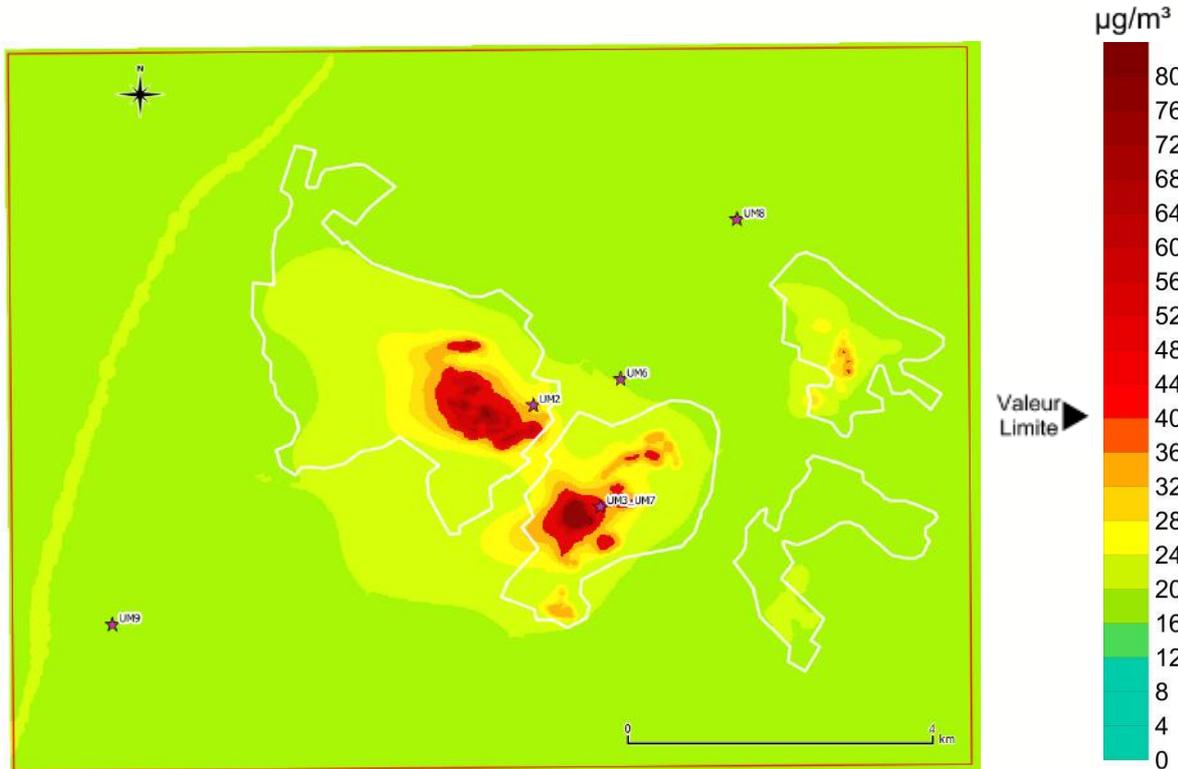


Figure 13 : Concentration moyenne de PM10 sur la zone d'étude du 07/09/15 au 05/10/15

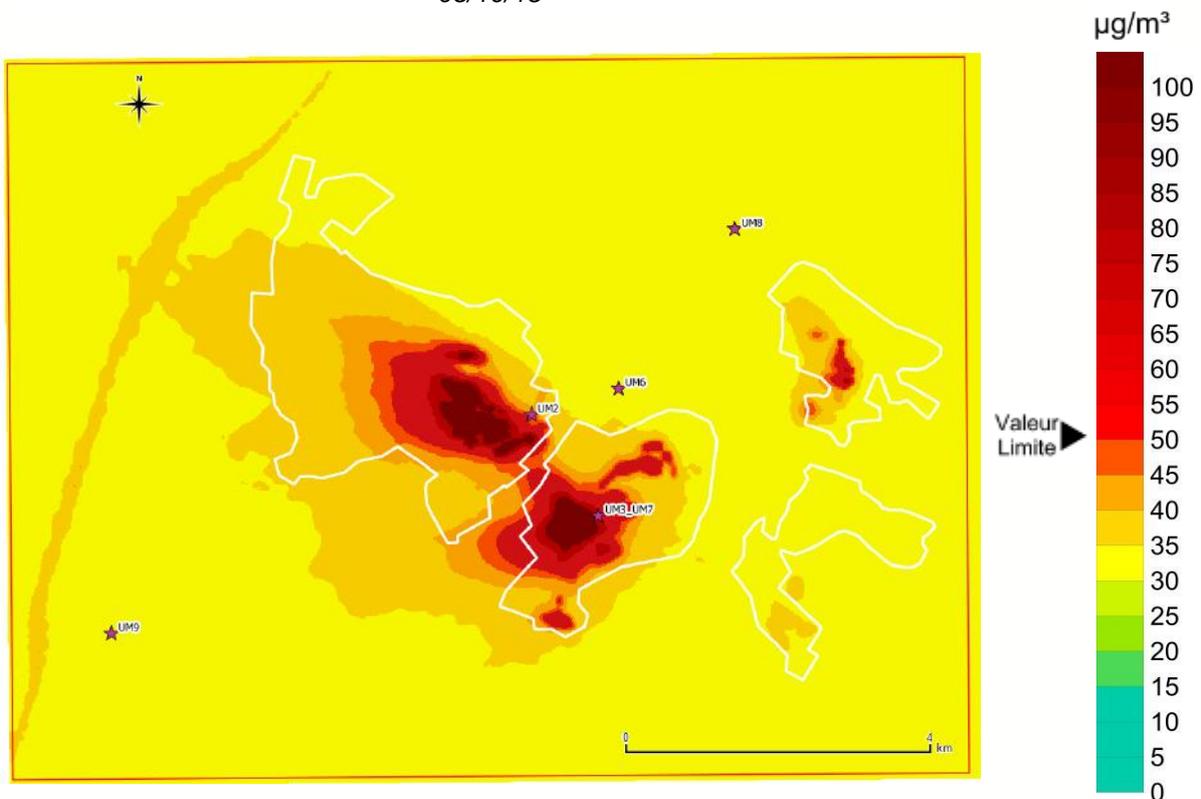


Figure 14 : Percentile 90.4 des concentrations journalières en PM10 sur la zone d'étude du 07/09/15 au 05/10/15



L'observation de la cartographie pour la moyenne en PM10 sur la phase 1 est sensiblement la même que celle en moyenne sur l'année 2015. La petite différence observée se trouve sur la carte du percentile : l'étendue de la surface d'influence des émissions des carrières (surface orangée allant de 32 à 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'échelle de couleur) est légèrement plus grande sur cette première phase de mesure que sur l'année 2015. Néanmoins le dépassement de l'une des valeurs réglementaires ne concerne aucune habitation du bassin. L'influence des sites carriers se fait plus sentir sur la partie du sud-ouest de la zone d'étude, du fait de l'orientation moyenne du régime de vent sur la période (**voir rose des vents annexe 9**). En effet nous retrouvons un vent d'est-nord-est (2,6 m/s en moyenne) sur la période, ce qui a des conséquences sur l'allure du champ de concentration de la zone étudiée.

[Phase 2](#)

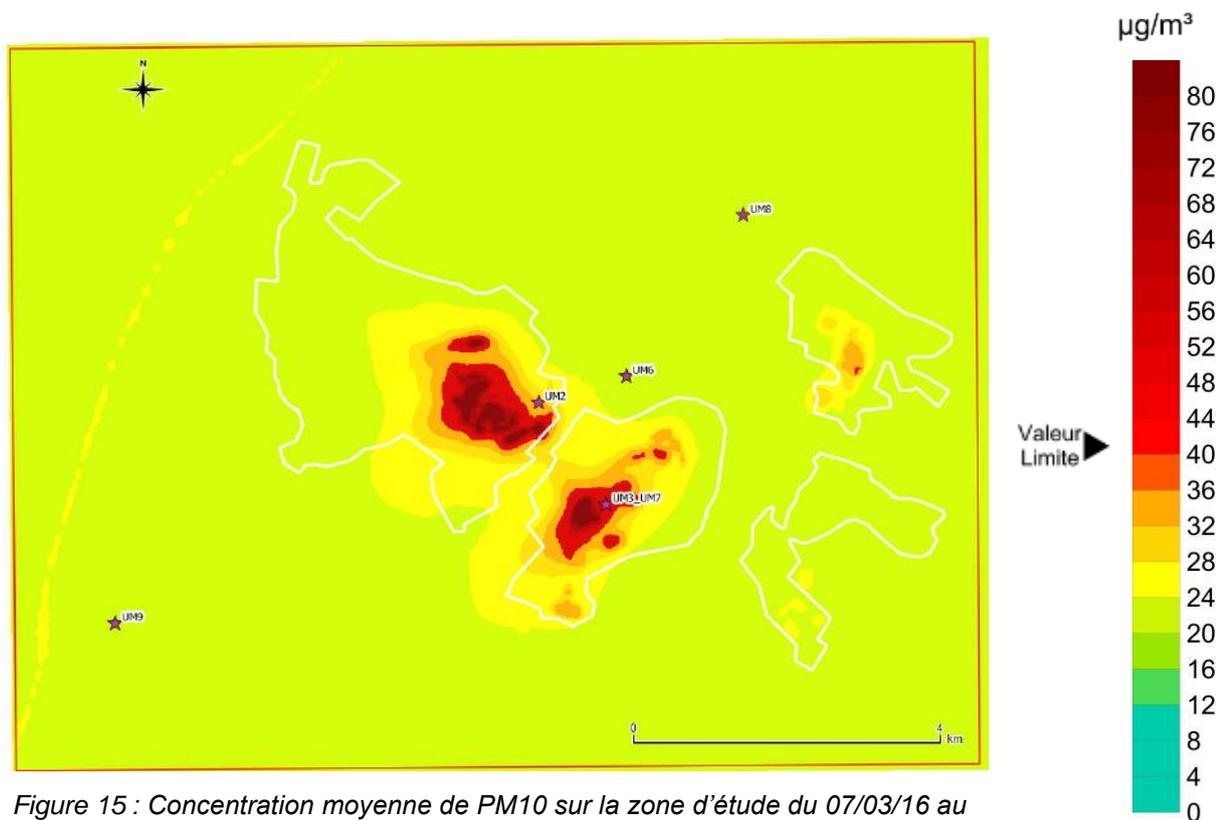


Figure 15 : Concentration moyenne de PM10 sur la zone d'étude du 07/03/16 au 04/04/16

Sur la phase 2 de campagne de mesure, la pollution de fond moyenne injectée dans le modèle est plus importante que lors la phase 1, respectivement de 20,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au lieu de 18,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Inévitablement l'ensemble des concentrations moyennes de PM10 s'en retrouve augmenté, autant en situation de fond qu'en situation de proximité industrielle. De plus, les quantités émises par les différentes sources carrières sont légèrement plus importantes que lors de la première phase en particulier pour l'activité de traitement et transformation (cf partie « Estimation des émissions de PM10 pour l'industrie extractive »).

La différence de niveau modélisée entre les phases 1 et 2 est donc une combinaison d'un facteur local, augmentation de la quantité émise de PM10, et d'un facteur grande échelle, avec le transport de masses d'air plus chargées en poussière sur cette seconde période.

En moyenne sur la phase 2, la concentration de PM10 en situation de fond est comprise entre les valeurs 20 et 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui correspond à la valeur de fond rural de la région sur cette période. La moyenne maximale modélisée atteint 176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau d'une source d'émission de type « traitement », largement au-dessus de la valeur limite fixée à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

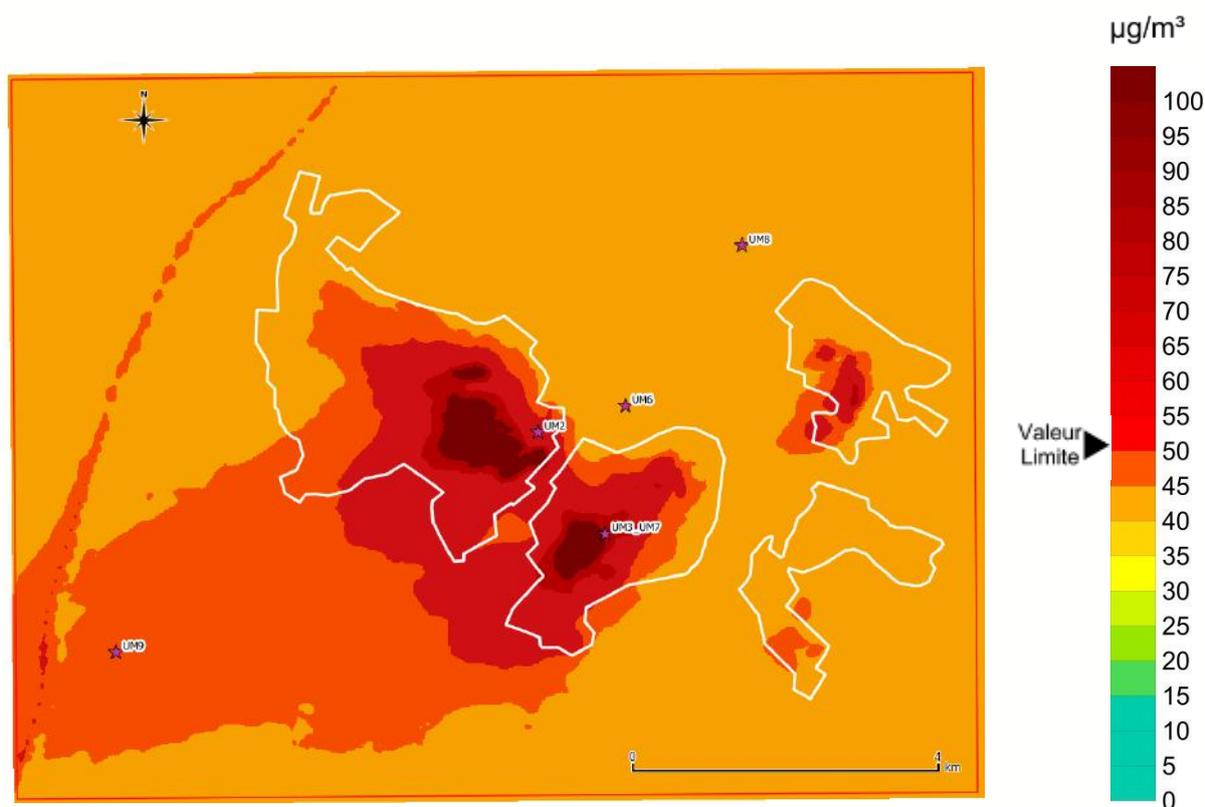


Figure 16 : Percentile 90.4 des concentrations journalières en PM10 sur la zone d'étude du 07/03/16 au 04/04/16

Concernant les jours en dépassements pour le percentile 90,4, en situation de fond la concentration atteint des valeurs comprises entre 40 et 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La valeur limite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassée sur une zone plus importante que lors de la phase 1 recouvrant notamment des habitations. Cette information est à relativiser, car la valeur limite sur le percentile a du sens uniquement lorsque l'échantillonnage du modèle s'étale sur une année complète. Sur cette période de mesure (30 jours) le percentile 90,4 donne une valeur limite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 2,8 jours. Il suffit de conditions météorologiques ponctuellement défavorables à la dispersion pour dépasser la valeur réglementaire.

Il est à noter que, tout comme lors de la première phase, la dispersion et le transport par la force des vents dominants nord nord-est (majoritaire) et sud-ouest (**voir rose des vents annexe 9**) sont visibles sur les deux cartographies. Les gradients de concentrations pour les deux valeurs limites (annuelle et percentile) suivent les champs de vents. Un comportement physique toujours bien reproduit par le modèle.



Cartographies par groupe de sources

Pour pouvoir visualiser la contribution de chaque type de source rattaché à l'industrie extractive, nous avons regroupé les concentrations issues des différentes sources prises individuellement pour chaque activité. On présente ci-dessous les résultats sur l'année 2015 pour les 3 groupes de sources définis précédemment dans la partie émission : le groupe « extraction/forage/transport interne » ; le groupe « traitement » ; le groupe « stockage ».

Groupe extraction/transport interne

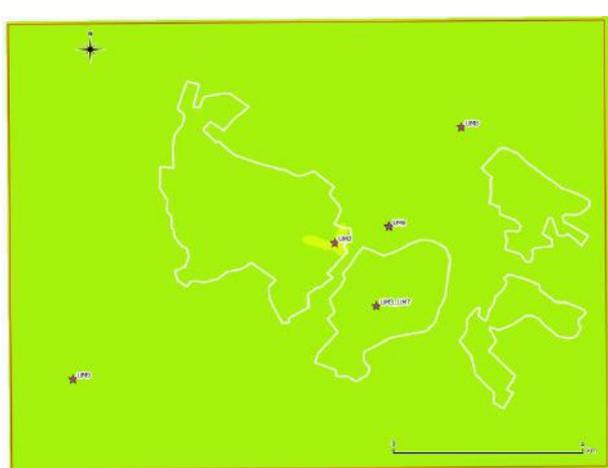


Figure 17 : Concentration en moyenne annuelle de PM10 pour les sources du groupe extraction/transport interne.

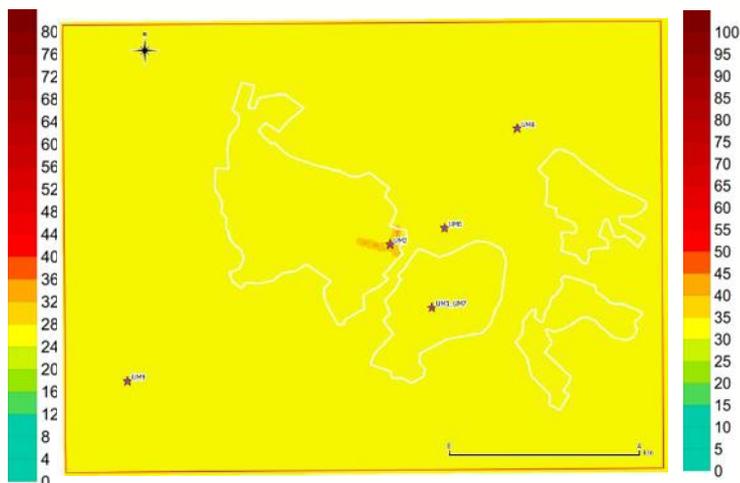


Figure 18 : Percentile 90.4 des concentrations journalières en PM10 pour les sources du groupe extraction/transport interne.

Groupe traitement et transformation

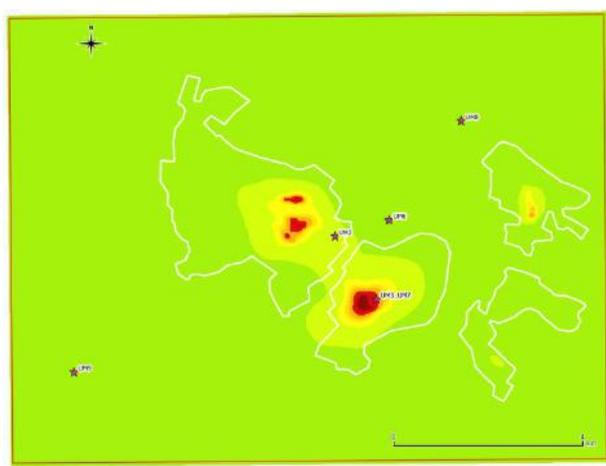


Figure 19 : Concentration en moyenne annuelle de PM10 pour les sources du groupe traitement et transformation.

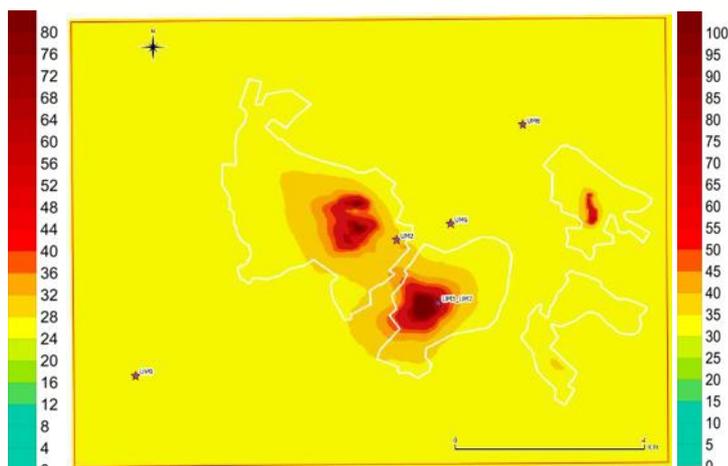


Figure 20 : Percentile 90.4 des concentrations journalières en PM10 pour les sources du groupe traitement et transformation.



Groupe stockage

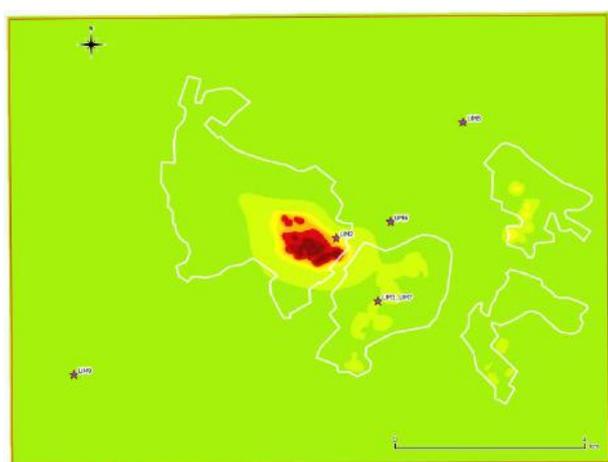


Figure 21 : Concentration en moyenne annuelle de PM10 pour les sources du groupe stockage.

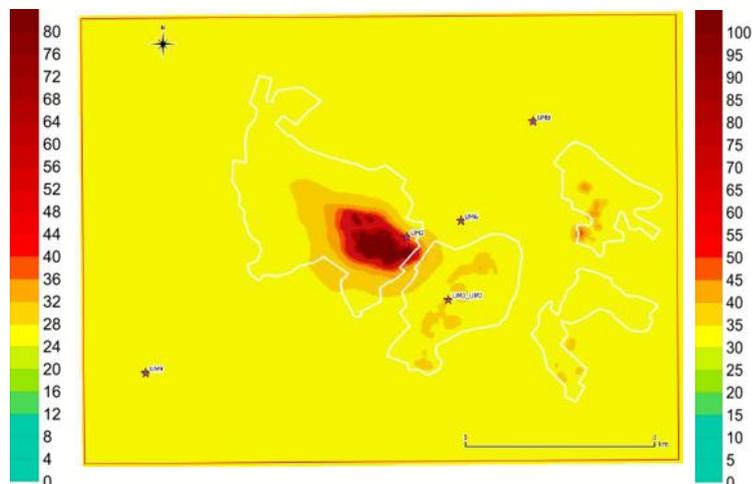


Figure 22 : Percentile 90.4 des concentrations journalières en PM10 pour les sources du groupe stockage.

On observe que les groupes de sources qui contribuent le plus au gradient de concentration autour des carrières sont ceux appartenant aux activités de « traitement » et de « stockage ». C'est également au sein de ces sources et à proximité de leurs émissions que l'on a simulé les concentrations maximales de PM10 en moyenne annuelle : $147,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les activités de traitement de la roche et $108,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les activités de stockage du matériau.

Il faut rappeler que les rejets issus du traitement de la roche ont été modélisés sous forme de sources volumiques, dont certains bâtiments atteignent une hauteur de 30 mètres. A cela s'ajoute, la présence de rejets canalisés modélisés sous forme ponctuelle par le biais de cheminées dont la hauteur est du même ordre de grandeur que la hauteur du volume. Le cumul des deux types de rejets est à l'origine de concentrations importantes en proximité immédiate de ce type de source. La surface en dépassement de la VL $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reste comprise à l'intérieur des deux carrières, dans l'environnement proche des infrastructures de traitement et transformation.

Pour ce qui est des concentrations en particules dues à la gestion et à l'érosion des stocks, elles sont aussi très élevées. Le gradient de concentration est tout aussi marqué que pour les sources « traitement », avec une surface en dépassement plus importante que les sources « traitement » dans laquelle la concentration reste supérieure à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. Cependant le dépassement de la valeur limite pour les activités de « stockage » se concentre autour des stocks de la carrière B, où les émissions inventoriées sont bien plus importantes que pour la carrière A. La hauteur moyenne du volume simplifié dans laquelle se dispersent les émissions liées aux activités de stockage a été estimée à 4 mètres pour chaque stock.

Pour le groupe rattaché aux activités de transports et d'extraction, son influence sur la répartition des concentrations au sein de la carrière semble secondaire. En effet, au niveau des zones des fosses d'exploitation les concentrations modélisées sont à peine plus élevées que la concentration en situation de fond, mais pas assez pour que l'on puisse l'observer sur les cartographies. Malgré une configuration topographique enclavée, les émissions se dispersent dans un volume très important au niveau de ces fosses d'exploitation, ce qui a tendance à diluer conséquemment la concentration en PM10. C'est pourquoi on ne distingue pas ces rejets sur les cartographies du groupe « extraction/forage/transport interne ».

Les seules émissions visibles sont celles émises par le transport (évacuation de matériau) sur voie ferrée au niveau de la carrière B. La concentration maximale calculée en moyenne annuelle est de $25,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aucun dépassement de valeurs limites n'est à signaler, et la zone d'influence directe de cette source est limitée.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Atmo Hauts-de-France en collaboration avec l'Ademe, l'UNPG et l'UNICEM Nord - Pas-de-Calais a lancé le programme EMCAIR (EMissions des Carrières dans l'AIR) qui s'est échelonné entre 2015 et 2017 en plusieurs volets. Ce rapport rend compte de l'étude de modélisation menée sur le bassin Marquise et fait suite aux campagnes de mesure qui avaient été réalisées en septembre 2015 et mars 2016.

Le bassin carrier étudié est composé de quatre carrières principales, valorisant des roches massives issues de gisements de calcaire. L'approche de cette modélisation se fait à l'échelle du bassin sur une surface recouvrant 48 km². Le modèle de dispersion et de transport des polluants utilisé est ADMS-Urban version 4.0 (dernière en date disponible lors de la réalisation de l'étude).

Ce volet s'est appuyé sur les résultats de la campagne de mesure mobile réalisée en amont. Les mesures n'ont pas été individualisées sur chaque poste d'activité (tir de mine, concassage, stocks, pistes), ne permettant pas dès lors de rendre compte spécifiquement de la contribution de chaque source d'émission, sans influence extérieure.

C'est pourquoi, par rapport à l'étude réalisée par AIR PACA en 2015 intitulée « Modélisation du transport de particules en suspension », Atmo Hauts-de-France n'a pas orienté ses travaux de modélisation sur la réalisation de différents scénarios changeant selon le type de facteurs d'émissions utilisés pour l'estimation des émissions de l'activité extractive.

La modélisation construite dans ce rapport s'appuie sur des données d'émissions de l'inventaire régional 2012 pour l'ensemble des secteurs identifiés sur la zone d'étude, mis à part celui de l'industrie extractive. Pour les sources d'émissions se rapportant aux carrières, les quantités estimées sont fournies par les carriers après un travail de traitement réalisé à partir de fiches de calcul mises à disposition par le CITEPA, dont la méthodologie reprend l'approche de l'AP-42 (US EPA). Les facteurs d'émissions des guides OMINEA 2010 et 2014, jugés simplistes par l'étude d'AIR PACA, n'ont pas été repris.

La modélisation choisie tient compte des points suivants :

- ❖ **Trois périodes sont modélisées**, reprenant les deux phases de mesures et sur l'année civile 2015, afin de pouvoir comparer les calculs à des valeurs réglementaires définies sur une année.
- ❖ **Un inventaire des émissions complet** du site du bassin de Marquise et des communes environnantes, réalisé sur la base de l'inventaire régional 2012 d'Atmo Nord - Pas-de-Calais pour les secteurs résidentiel/tertiaire, routier, ferroviaire, agricole.
- ❖ Un **inventaire des émissions** des activités extractives **détaillant qualitativement l'emplacement des sources et leur caractéristiques d'émission (géométrie, hauteur etc...)**, et complétée par une validation du plan de situation par les différents exploitants du bassin. Simplification du schéma d'émission pour les activités selon 3 systèmes.
- ❖ Un **inventaire des émissions** des activités extractives **détaillant quantitativement l'estimation des émissions** avec l'utilisation de la **méthodologie et des facteurs d'émission du CITEPA** inspiré de l'approche **AP-42** de l'US-EPA.
- ❖ La **prise en compte de la topographie et de l'occupation des sols** du bassin dans le calcul de la dispersion.
- ❖ Les tests de calage réalisés selon **plusieurs scénarios météorologiques**, avec des variables décrivant la stabilité atmosphérique différentes.



Les simulations réalisées à l'issue de ces travaux ont permis de valider la capacité du modèle à reproduire la dispersion et le transport de la pollution dans la proportion des niveaux de concentration mesurées. Les calculs de scores de comparaison modèle/mesure sont très satisfaisants compte tenu de la nouveauté pour le modèle d'évoluer dans ce type de configuration en proximité industrielle, et sur des zones encaissées. Les critères de la directive européenne en matière d'évaluation de modèle sont respectés.

Nous pouvons dès lors **confirmer la pertinence des facteurs d'émission issus de l'approche AP-42 et de la méthodologie mise en œuvre par le CITEPA**. Il sera important à l'avenir pour d'autres études de ce type, de bien s'attacher à définir précisément l'ensemble des sources des carrières selon la **décomposition en 3 systèmes d'activités**. Autant quantitativement que qualitativement, le détail de préparation des données d'entrée des sources d'émission est primordial. Tout comme la réalisation d'un cadastre d'émissions de la zone d'étude complet. L'utilisation de ces facteurs est garantie dans la configuration des sites d'exploitation du bassin de Marquise.

Les cartographies réalisées à l'issue des simulations sur l'ensemble du domaine d'étude montrent logiquement des dépassements de la valeur limite en moyenne annuelle pour les PM10 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), localisés à l'intérieur du périmètre des carrières. L'influence des activités extractives sur le reste du domaine d'étude se note légèrement dans un petit périmètre aux abords des carrières sans pour autant atteindre des niveaux en PM10 dépassant la valeur limite en moyenne annuelle à l'extérieur du domaine des carrières. Dans ce sens ces résultats viennent corroborer ceux du rapport de la campagne de mesures N°01/2016/SV où un « impact potentiel mais non systématique de l'activité des carrières sur les concentrations en particules en suspension PM10 a été mesuré sur les sites de Ferques et Marquise ».

Une étude par groupe de sources a permis de déterminer la contribution de chacune des activités. On a ainsi pu montrer, la **part prépondérante des activités de stockage et de traitement** sur les niveaux de concentration en PM10. Les émissions des activités d'extraction, de forage et de transport interne sont secondaires et plus limitées en surface exposée.

En perspective, des améliorations peuvent être apportées afin de permettre au modèle d'estimer dans une bonne 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'émission. Ils traduiraient les périodes d'arrêt de l'activité, des périodes de production plus grande, les heures de chargement/déchargement etc...

Pour plus d'informations sur les activités d'Atmo Hauts-de-France, retrouvez-nous sur :

www.atmo-hdf.fr





ANNEXES



Annexe 1 : Glossaire

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,001 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,001$ milligramme de polluant par mètre cube d'air.

μm : micromètre. $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm} = 0,001$ millimètre.

AASQA : Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air.

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

Anthropique : Relatif à l'activité humaine. Qualifie tout élément provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme.

Concentration : la concentration d'un polluant représente la quantité du composé présent dans l'air et s'exprime en masse par mètre cube d'air. Les concentrations des polluants caractérisent la qualité de l'air que l'on respire.

Conditions de dispersion : ensemble de conditions atmosphériques permettant la dilution des polluants dans l'atmosphère et donc une diminution de leurs concentrations (vent, température, pression, rayonnement...).

DREAL NPdC : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Nord Pas-de-Calais.

Emissions : rejets d'effluents gazeux ou particuliers dans l'atmosphère issus d'une source anthropique ou naturelle (exemple : cheminée d'usine, pot d'échappement, feu de bioamasse...).

Episode de pollution : période pendant laquelle la procédure d'information et d'alerte a été déclenchée traduisant le dépassement du niveau d'information et de recommandations voire du niveau d'alerte pour l'un ou plusieurs des polluants suivants : SO_2 , NO_2 , O_3 et PM_{10} .

ASPA : Association de surveillance de la qualité de l'air en Alsace Lorraine.

ORAMIP : Observatoire régional de l'air en Midi-Pyrénées

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.

AGRESTE : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie.

OMINEA : Organisations et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques.

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la pollution Atmosphérique.

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

mg/m^3 : milligramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,001 \text{ g}/\text{m}^3 = 0,001$ gramme de polluant par mètre cube d'air.

ng/m^3 : nanogramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \text{ ng}/\text{m}^3 = 0,000001 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,000001$ milligramme de polluant par mètre cube d'air.

Objectif à long terme : niveau d'ozone à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

Objectif de qualité : niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

PM_{10} : particules en suspension de taille inférieure ou égale à $10 \mu\text{m}$.



PM2.5 : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 2,5 µm.

SO₂ : Dioxyde de soufre

Polluant primaire : polluant directement émis par une source donnée.

Polluant secondaire : polluant non émis directement, produit de la réaction chimique entre plusieurs polluants présents dans l'atmosphère.

PSQA : Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air.

Valeur guide : Concentration dans l'air d'une substance chimique en dessous de laquelle aucun effet sanitaire direct ou indirect n'est attendu pour la population générale.

Valeur cible : niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

Valeur limite : niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.



Annexe 2 : Modalités de surveillance

Les stations de mesures

En 2016, la région Nord Pas-de-Calais comptait **46 sites de mesures fixes de la qualité de l'air** (cf. site atmo-hdf.fr¹), toutes typologies confondues, et **6 stations mobiles**.

[Station fixe](#)

Par définition, une station de mesures fixe fournit des informations sur les concentrations de polluants atmosphériques sur un même site en continu ou de manière récurrente.

[Station mobile](#)

La station mobile mesure également des concentrations de polluants atmosphériques et des paramètres météorologiques mais de manière ponctuelle et sur différents sites. Autrement dit, elle constitue un laboratoire de surveillance de la qualité de l'air amené à être déplacé sur l'ensemble de la région pour répondre à des campagnes de mesures ponctuelles, en complément de la mesure en continu de la qualité de l'air par le dispositif de mesures fixe.



Critères d'implantation des stations fixes

Chaque station de mesures vise un objectif de surveillance particulier. Selon cet objectif et en application des recommandations² de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), du LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) et de la Fédération Atmo, elle doit respecter des critères d'implantation en lien avec :

- la métrologie (bonnes conditions de dispersion des polluants, absence d'obstacle, alimentation électrique, accès pour les techniciens...);
- la sécurité de la population (la station ne doit pas gêner ni mettre en danger la population);
- une exposition de la population la plus représentative (installation du site dans une zone à forte densité de population, absence de source de pollution très locale);
- sa typologie.

¹ <http://www.atmo-hdf.fr/mesures-et-previsions/mesures-en-direct/carte-d-identite-des-stations.html>

² Guide de recommandations de l'ADEME, du LCSQA et de la Fédération Atmo, *Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air*, 2002, ADEME Editions, Paris.



Typologies des stations fixes

Pour définir l'objectif de leurs mesures, les stations sont classées selon leur typologie.

[Station urbaine](#)

Les sites urbains suivent l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits « de fond » dans les centres urbains, sans cibler l'impact d'une source d'émission particulière.

[Station périurbaine](#)

La station périurbaine participe au suivi de l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique « de fond » et notamment photochimique, à la périphérie du centre urbain.

[Station rurale](#)

Les stations rurales surveillent l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique « de fond », notamment photochimique, à l'échelle régionale. Elles participent à la surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble de la région et notamment dans les zones rurales.



[Station de proximité automobile](#)

Les stations de proximité automobile mesurent les concentrations des polluants atmosphériques dans des zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située en proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée.

[Station de proximité industrielle](#)

Les stations de proximité industrielle fournissent des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum auquel la population riveraine d'une source industrielle est susceptible d'être exposée par des phénomènes de panache ou d'accumulation.

[Station d'observation](#)

La station d'observation répond à des besoins spécifiques tels que l'aide à la modélisation ou la prévision, le suivi d'émetteurs autres que l'industrie et la circulation automobile, ou encore le maintien d'une station « historique ».





Techniques de mesures

Afin de mesurer les concentrations des polluants atmosphériques, les stations sont équipées de plusieurs appareils électriques et de capteurs spécifiques. En fonction des polluants étudiés, différentes techniques de mesures peuvent être utilisées.

Analyseurs automatiques

Ces mesures sont effectuées par **des appareils électroniques** qui fournissent les concentrations des polluants 24h/24h, selon un pas de temps défini de 10 secondes à 15 minutes. Ces mesures permettent de suivre **en temps réel** les concentrations en polluants PM10, PM2,5, CO, NOx, SO₂, O₃, et BTEX et d'identifier d'éventuels pics de pollution. Elles nécessitent l'installation de matériels assez encombrants et une alimentation électrique.



Analyseur d'ozone

Pour les **particules (PM10 et PM2.5)**, la technique normée est la pesée gravimétrique (normes EN 12341 pour les PM10 et EN 14907 pour les PM2.5). En France, d'autres méthodes sont utilisées, dont l'équivalence est démontrée par le LCSQA¹ : le TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) associé au module FDMS (Filter Dynamics Measurement Systems), basé sur la variation d'une fréquence de vibration du quartz, ainsi que la jauge radiométrique bêta associée au module RST (Regulated Sampling Tube), basée sur la variation de l'absorption d'un rayonnement beta.

Dans le cadre de l'étude EMCAIR, des jauges radiométriques et un analyseur type BAM - 1020 ont été déployés au niveau du bassin de Marquise pour la mesure des PM10 et PM2,5. Ces appareils permettent de réaliser, dans le premier cas, des moyennes de concentrations sur un pas de temps de deux heures, et, dans le second cas, des moyennes de concentrations sur un pas de temps d'une heure.

Préleveurs actifs

Ces mesures sont réalisées en deux étapes : d'une part, le prélèvement d'une granulométrie de poussières définie (particules PM10, particules PM2.5 ou particules PM1.0) sur support (filtre, mousse...) par des **appareils électroniques**, type Partisol (aspiration d'un volume d'air), puis une **analyse en laboratoire**. Une alimentation électrique est nécessaire 24h/24h au bon fonctionnement de l'appareil de mesure. Une valeur moyenne est calculée pour la période de mesure (en général, les prélèvements ont lieu sur des périodes de 1 à 7 jours). Les fluctuations des concentrations sur une période plus fine, par ce biais, ne sont pas mises en évidence. De plus, le résultat n'est pas obtenu immédiatement, car il nécessite une analyse en laboratoire. Ce principe permet d'analyser de nombreux polluants : les métaux lourds (norme EN 14902), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (norme EN 1554), les dioxines, les furanes, les polychlorobiphényles dioxin like (PCB DL), les pesticides, le carbone élémentaire, les ions inorganiques, le levoglucosan...



Préleveur à métaux

Les granulomètres (type Dekati) constituent également une technique de prélèvement actif, à la différence que ceux-ci permettent un fractionnement granulométrique. Les particules prélevées sont ainsi séparées en fonction de leur taille selon trois catégories : supérieures à 10 µm, comprises entre 2,5 et 10 µm et inférieures à 2,5 µm. A la suite des prélèvements, les filtres peuvent être analysés en laboratoire afin d'étudier la composition chimique des particules obtenues.

¹ Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Les limites de quantification (LQ), du laboratoire Micropolluants Technologies, en charge des pesées issues des prélèvements des granulomètres, dépendent des conditions de pesées et du matériel utilisé (balances), elles sont donc variables :

- LQ = 0,28 mg pour la phase 1,
- LQ = 0,08 mg pour la phase 2.

Préleveurs passifs

Ces mesures sont réalisées en deux étapes : d'une part, le prélèvement passif sur un support (tubes, jauges...) puis une analyse en laboratoire. Cette technique repose sur les mouvements naturels de l'air, sans aspiration mécanique. Elle permet d'obtenir une concentration moyenne sur une à plusieurs semaines.

Ces techniques peuvent être de plusieurs types :

- par **tubes passifs** : les polluants sont piégés au passage de l'air par simple diffusion moléculaire sur un milieu absorbant ou adsorbant en fonction de la nature du polluant. Cette méthode permet de mesurer divers polluants : dioxyde d'azote, aldéhydes, composés organiques volatils, BTEX...
- par **jauge owen** : les poussières sédimentables sont collectées dans un grand flacon (retombées sèches par sédimentation ou humides par les précipitations). L'analyse de ces poussières permet de rechercher une grande diversité de polluants, dont les métaux, les dioxines, les furane et les polychlorobiphényles dioxin like.



Atmo Hauts-de-France sous-traite les analyses à des laboratoires certifiés, qui participent aux campagnes d'inter-comparaison mises en œuvre par le LCSQA :

- Pour les jauges owen : le laboratoire Micropolluants de Saint-Julien-les-Metz ;
- Pour les tubes passifs : le laboratoire LASAIR de Paris ou la Fondazione Salvatore Maugeri en Italie



Annexe 3 : Précisions sur les principaux émetteurs anthropiques de la zone d'études

La carte ci-dessous représente les principaux émetteurs pouvant influencer la qualité de l'air locale à l'échelle de la Communauté de Communes de la Terre des Deux Caps (activités économiques industrielles et agricoles, routiers et autres transports, urbanisation).

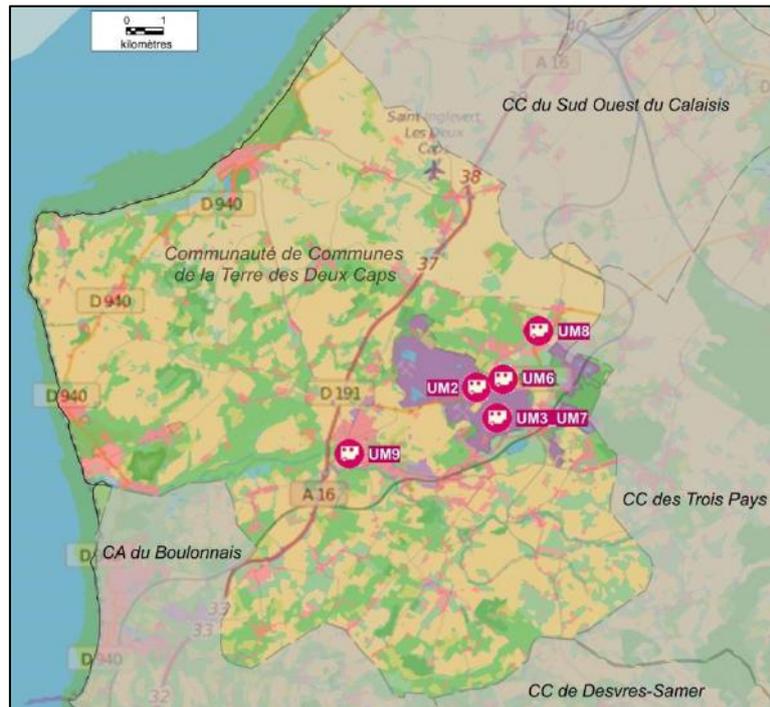


Figure 17 : Localisation des principaux émetteurs anthropiques de la zone d'études



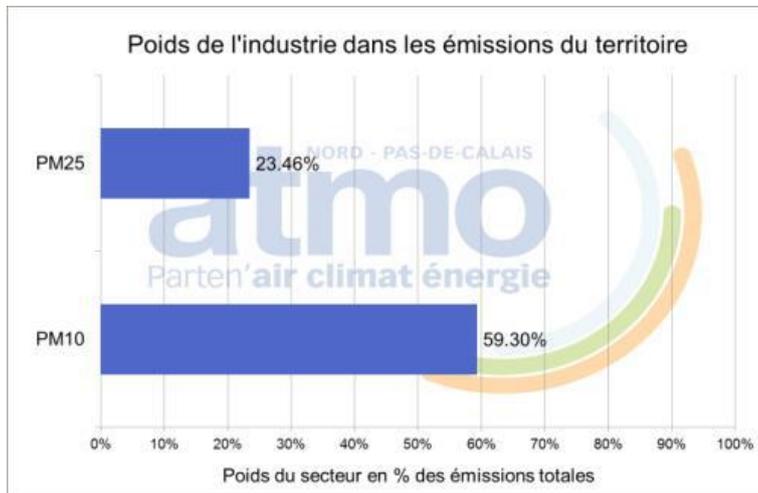
Le territoire est principalement composé de terres agricoles, de forêts et de milieux semi-naturels. La zone violette, correspondant aux territoires industrialisés, est essentiellement composée de carrières, dont :

- Les Enrobés de Marquise,
- Chaux et Dolomies du Boulonnais,
- Littoral Enrobés,
- Carrières du Boulonnais,
- SAS Stinkal.



[Précisions sur les principaux émetteurs industriels locaux](#)

Le secteur industriel comprend les émissions issues de l'extraction, la transformation et la distribution d'énergie ainsi que celles issues de l'industrie manufacturière, le traitement des déchets et la construction.



Dans l'inventaire des émissions d'atmo Nord – Pas-de-Calais et à l'échelle de **la Communauté de communes de la Terre des Deux Caps**, le secteur industriel est le principal émetteur de particules en suspension PM10 du territoire.

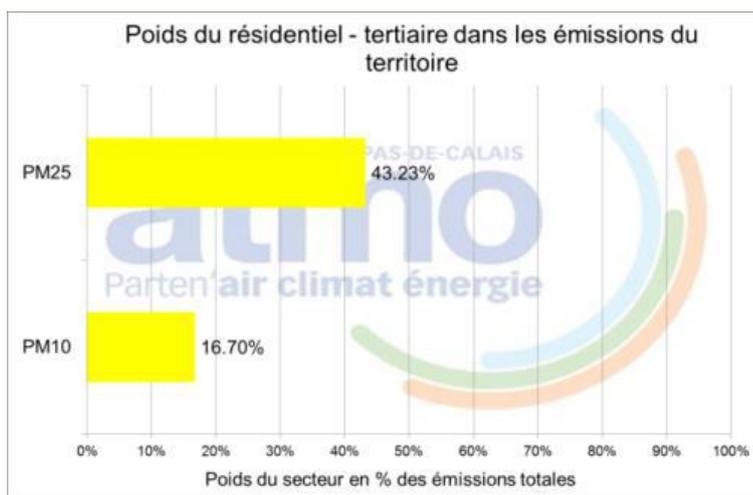
Les données contenues dans l'inventaire étant soumises à des règles de confidentialité strictes, seules les données d'émissions des industriels les plus importants sont disponibles librement sur la base IREP¹. En ce qui concerne les 21 communes de la Terre des Deux Caps, 5 industries sont connues : Les Enrobés de Marquise (à Marquise), Chaux et Dolomies du Boulonnais et Littoral Enrobés SARL (à Rety), Carrières du Boulonnais et

SAS Stinkal (à Ferques). L'IREP ne recense pas d'émissions liées aux poussières pour ces industries. A noter que l'industrie SCORA est également présente à l'est du site de Landrethun-le-Nord, à Caffiers, mais n'est pas recensée pour des émissions polluantes dans l'atmosphère (émissions dans l'eau essentiellement).

[Précisions sur les principales émissions issues du secteur résidentiel tertiaire](#)

Le secteur résidentiel et tertiaire comprend les émissions issues des secteurs résidentiel, tertiaire, commercial et institutionnel.

A l'échelle de **la Communauté de communes de la Terre des Deux Caps**, le secteur résidentiel tertiaire (dont les émissions sont principalement issues du chauffage) est le principal émetteur de particules fines PM2.5 du territoire : plus de 40% des émissions de PM2.5 relevées sur le territoire proviennent du secteur résidentiel tertiaire et la part s'élève à 16,7% pour les particules PM10.

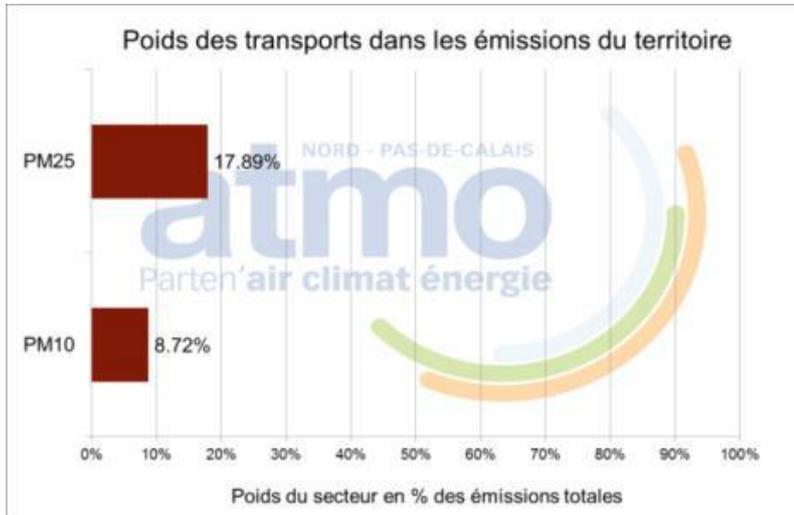


¹ Source : <http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>



[Précisions sur les principaux axes routiers](#)

Le secteur transport comprend les émissions du transport routier et des modes de transport autres que routier.



A l'échelle de la **Communauté de communes de la Terre des Deux Caps**, le secteur routier contribue aux émissions de poussières du territoire, à hauteur respective d'environ 18% et 9% pour les PM_{2,5} et les PM₁₀. Selon notre inventaire des émissions, voici les Trafics Moyens Journaliers Annuel (TMJA) obtenus et disponibles pour l'année 2012 :

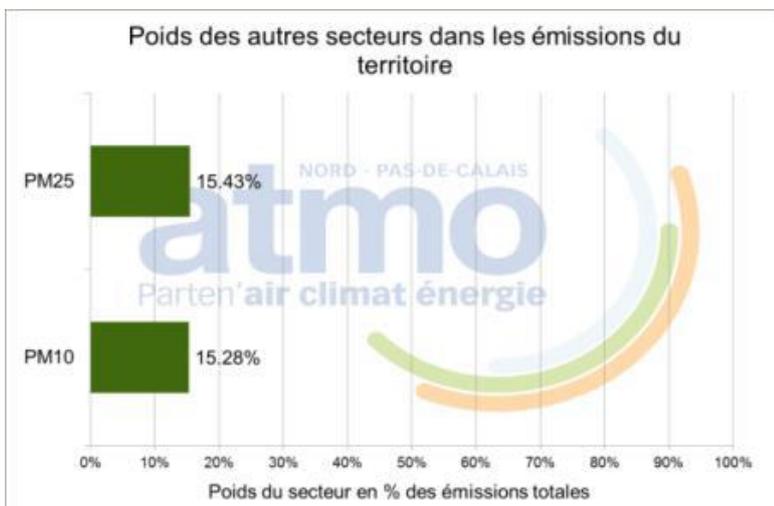
- La D231 (passant près de l'UM2, au sud de l'UM6, et rejoint l'UM8 au nord) affiche un TMJA de 1226 véhicules dont 16% de poids lourds,
 - L'A16 (« L'Européenne ») à l'ouest de Marquise, affiche un TMJA de 13 432 véhicules, dont 14% de poids lourds.
- La D191, au sud-est de Marquise dénombre un TMJA de 3 056 véhicules dont 7% de poids lourds.
 - La D249 au nord de l'UM8, passant par Landrethun-le-Nord, compte un TMJA de 867 véhicules dont 7% de poids lourds.

Ainsi, le trafic routier du secteur n'est pas dense et les unités mobiles de mesures sont suffisamment éloignées des axes pour que l'influence des émissions liées au trafic routier sur les concentrations observées en polluants puisse être négligée dans cette étude.

[Précisions sur les principales émissions agricoles et biotiques](#)

A l'échelle de la **Communauté de communes de la Terre des Deux Caps**, le secteur agricole - biotique est également un émetteur de poussières à hauteur d'environ 15% pour les particules en suspension PM₁₀ et 15% également pour les particules fines PM_{2,5}.

L'agriculture, en particulier l'élevage, est par ailleurs une source importante de précurseurs des particules secondaires (non comptabilisées ici).

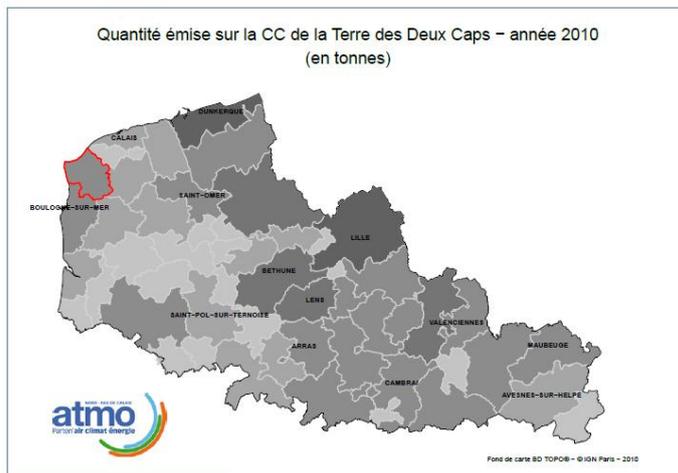




Annexe 4 : Fiches émissions



Particules (PM10)

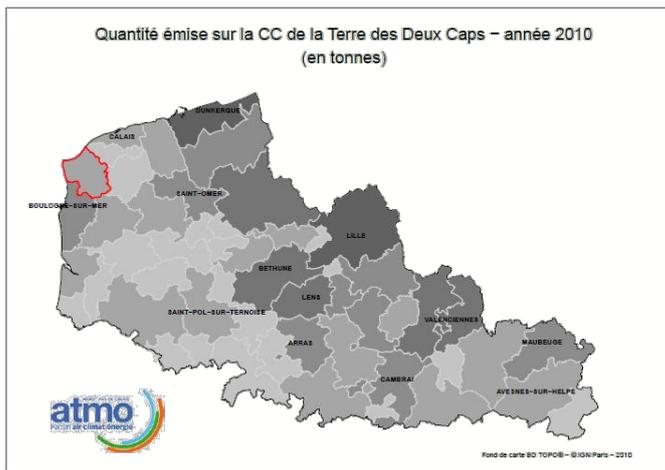


Fiche d'identité réalisée à partir de l'inventaire des émissions d'atmo Nord-Pas-de-Calais pour les 6 activités principales. L'inventaire recense une quarantaine de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre. Voir rubrique Emissions régionales – www.atmo-npdc.fr. Données A2010-M2012-V2

- > 1889 tonnes
- 658 – 1889 tonnes
- 330 – 658 tonnes
- 162 – 330 tonnes
- > 0 – 162 tonnes



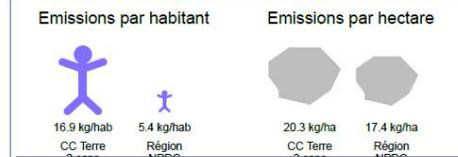
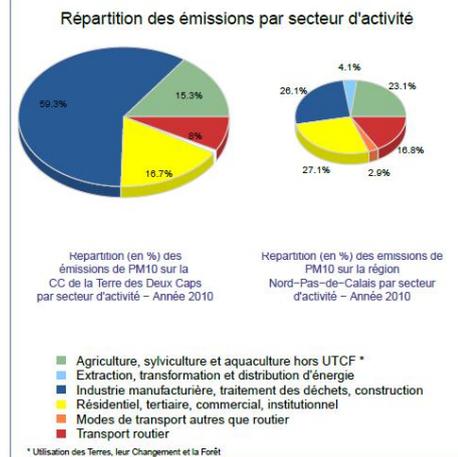
Particules (PM2.5)



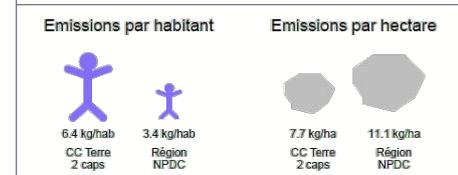
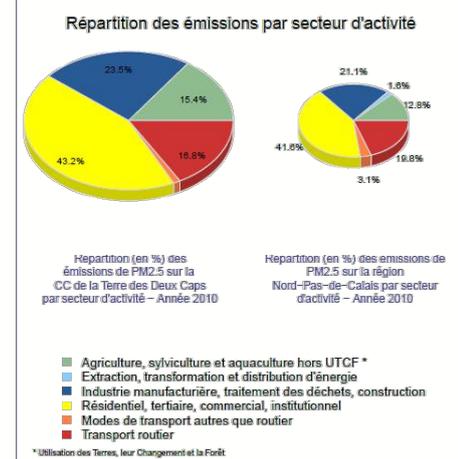
Fiche d'identité réalisée à partir de l'inventaire des émissions d'atmo Nord-Pas-de-Calais pour les 6 activités principales. L'inventaire recense une quarantaine de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre. Voir rubrique Emissions régionales – www.atmo-npdc.fr. Données A2010-M2012-V2

- > 1255 tonnes
- 398 – 1255 tonnes
- 253 – 398 tonnes
- 121 – 253 tonnes
- > 0 – 121 tonnes

CC Terre 2 caps
1.7% des émissions régionales



CC Terre 2 caps
1% des émissions régionales





Annexe 5 : Le schéma chimique Generic Reaction Set (GRS)

Parmi les 3 schémas chimiques proposés dans le modèle ADMS-Urban, le schéma GRS simple permet de prendre en compte un certain nombre de réactions connues, expliquée ci-après.

Chimie des NOx :

Les sources industrielles et automobiles émettent un mélange complexe de composants chimiques incluant un grand nombre de composés organiques (par exemple des composés organiques volatiles, COV) et d'oxydes d'azote, qui sont impliqués dans des réactions conduisant à la formation d'ozone. Prendre en compte l'ensemble de ces réactions n'est pas approprié dans le cadre d'un modèle de dispersion rapide et efficace. Toutefois, ADMS-Urban utilise le schéma Generic Reaction Set (Venkatram et al., 1994), qui modélise les réactions importantes impliquant les NOx, les COV et l'ozone. Le schéma chimique GRS est un modèle photochimique semi-empirique qui réduit les réactions chimiques compliquées impliquant NO, NO₂, O₃ et de nombreux hydrocarbures aux 7 réactions suivantes :

1. $ROC + hv = RP + ROC$
2. $RP + NO = NO_2$
3. $NO_2 + hv = NO + O_3$
4. $NO + O_3 = NO_2$
5. $RP + RP = RP$
6. $RP + NO_2 = SGN$
7. $RP + NO_2 = SNGN$

Où : ROC = Composés Organiques Réactifs (équivalent de COV pour le modèle)

RP = Somme des radicaux

SGN = produits azotés gazeux stables

SNGN = produits azotés non-gazeux stables

Les équations (3) et (4) représentent les réactions chimiques exactes qui ont lieu, à une vitesse très rapide. Les autres équations sont des approximations.

Chimie des sulfates :

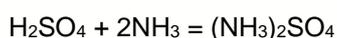
Le processus de réaction utilisé est issu du modèle EMEP (Tsyro, 2001) utilisé par le MSC-West- Norwegian Meteorological Institute en Norvège.

SO₂ est oxydé suivant la réaction : $2 SO_2 + O_2 = 2 SO_3$

Le taux de réaction dépend seulement du jour de l'année et le temps maximum de réaction est de 1h. Tout le SO₃ produit réagit immédiatement avec l'eau pour former de l'acide sulfurique selon :

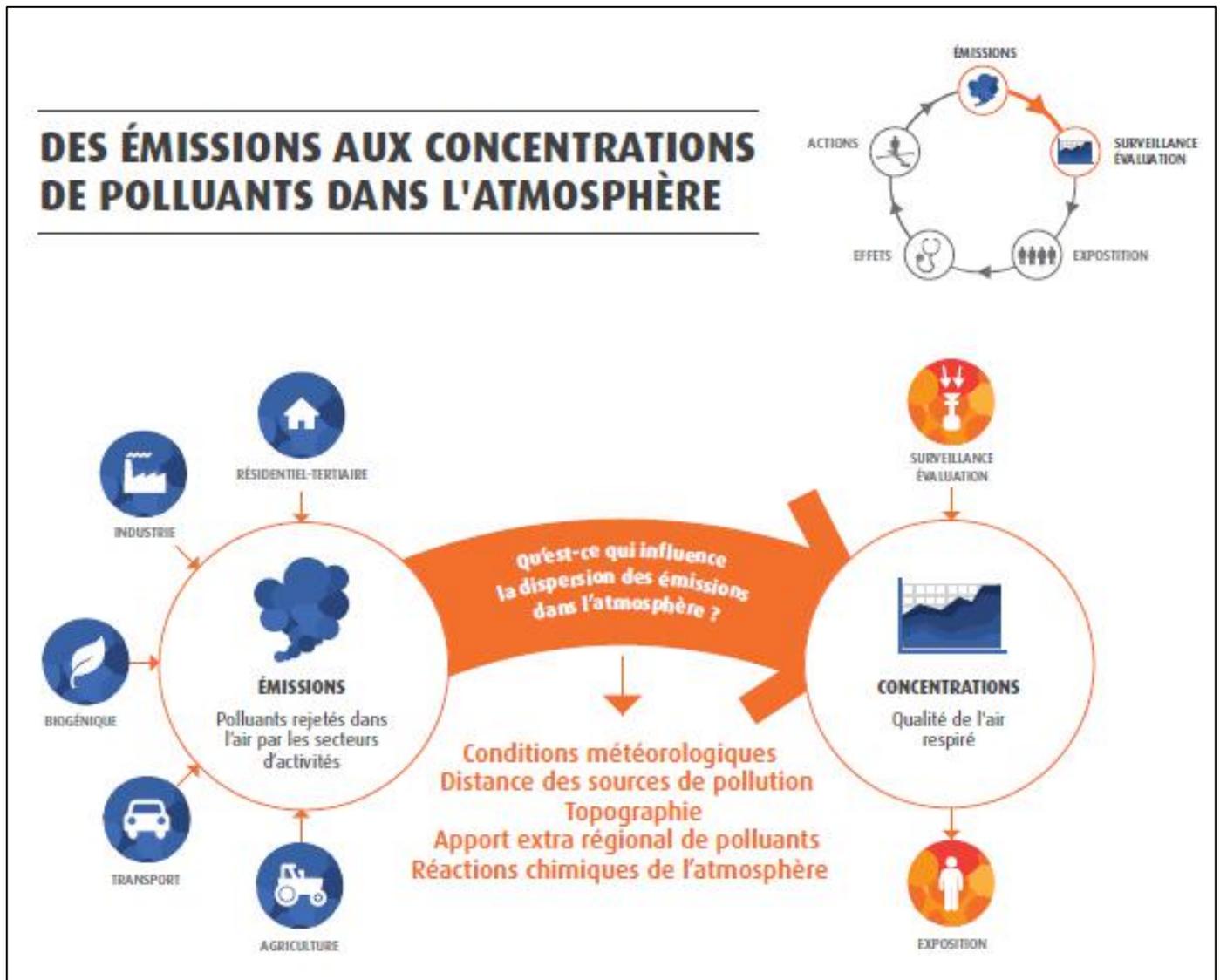


L'acide sulfurique réagit avec l'ammoniac contenu dans l'atmosphère pour former du sulfate d'ammonium qui est additionné aux concentrations simulées en poussières PM10 et PM2,5





Annexe 6 : Des émissions aux concentrations





Annexe 7 : Méthodologie des fiches GEREP par type d'activité

Cette annexe présente pour chaque activité émettrice dans les carrières, les différentes méthodologies et équation mise au point par le CITEPA dans le calcul des émissions de PM10, et repris par les carriers pour cette étude afin d'estimer leurs émissions.

[Forage/Minage](#)

Méthodologie

Dans cette activité sont considérées les émissions du forage en général ou du forage de trous de minage particulier et du minage (fracturation, détachement, glissement) de roche solide à l'aide d'explosifs. Seules les installations déclarées ou autorisées pour la rubrique ICPE 2510 peuvent être concernées par cette fiche de calcul.

Les émissions de poussières totales et de PM10 sont calculées dans l'outil Excel à partir des équations suivantes :

$$E_{TSP} = 0,59 \times N_{\text{trou}} + 0,00022 \times S^{1,5} \times N_{\text{tir}}$$

$$E_{PM10} = 0,31 \times N_{\text{trou}} + 0,00022 \times S^{1,5} \times N_{\text{tir}} \times 0,52$$

E_{TSP} et E_{PM10} sont respectivement les masses de TSP et PM_{10} émises (en kg) ;

N_{trou} est le nombre annuel de trous forés ;

S est la surface minée moyenne (en m^2) ;

N_{tir} est le nombre annuel de tirs.

Référence bibliographique : US-EPA, AP-42, 5^{ème} édition recueil de facteurs d'émission de polluants atmosphériques – Volume 1, chapitre 11 Mineral Products Industry

[Transport interne](#)

Méthodologie

Dans cette activité sont considérées les émissions du transport interne au sein des carrières sur les routes revêtues et non revêtues. Il s'agit d'unités déclarées ou autorisées pour la rubrique 2516 ou 2517.

Les émissions de poussières totales et de PM10 sont calculées dans l'outil Excel à partir des équations suivantes :

$$E_{TSP} = 1,381 \times \left(\frac{s}{12}\right)^{0,7} \times \left(\frac{P_{\text{véhicule}}}{2,72}\right)^{0,45} \times d_{\text{non revêtue}} \times (1 - ER) + 0,076 \times d_{\text{revêtue}}$$

$$E_{PM10} = 0,423 \times \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} \times \left(\frac{P_{\text{véhicule}}}{2,72}\right)^{0,45} \times d_{\text{non revêtue}} \times (1 - ER) + 0,038 \times d_{\text{revêtue}}$$

Où :

- E_{TSP} et E_{PM10} sont respectivement les masses de TSP et PM_{10} émises (en kg),
- $d_{\text{non revêtue}}$ est la distance totale parcourue par les véhicules durant l'année sur des routes non revêtues (km),
- $d_{\text{revêtue}}$ est la distance totale parcourue par les véhicules durant l'année sur des routes revêtues (km),
- $P_{\text{véhicule}}$ est le poids moyen d'un véhicule (en t),
- s est la teneur en fines du matériau de surface (en %), par défaut cette valeur est de 1,6% pour les roches massives et recyclage et 0,8% pour les roches meubles,
- ER est le facteur d'abattement (en %) variant selon la technique de réduction mise en œuvre

Techniques de contrôle des poussières	ER (Facteur d'abattement)
Pourcentage de jours de pluie au cours de l'année	(Nombre de jour de pluie/365) %
Arrosage 2 fois par jour	55%
Arrosage plus de 2 fois par jour	70%
Aucun contrôle	0%

Référence bibliographique :

US-EPA, AP-42, 5^{ème} édition recueil de facteurs d'émission de polluants atmosphériques – Volume 1, chapitre 11 Mineral Products Industry / (routes non revêtues)
EMEP/IEEA air pollutant emission inventory guidebook – Technical report N°9/2009-1.A.3.b Road transport (update June 2012) / (routes revêtues)



Traitement de la roche

Méthodologie

Dans cette activité sont considérées les émissions des installations de transformation des carrières. Il s'agit d'unités déclarées ou autorisées pour la rubrique 2515. Les émissions de poussières totales et de PM10 sont calculées dans l'outil Excel à partir des équations suivantes :

$$E_{TSP} = P \times \left(\sum_{conc} FE_{TSP_{conc}} \times Débit_{conc} \times (1 - ER_{conc}) + \sum_{crib} FE_{TSP_{crib}} \times Débit_{crib} \times (1 - ER_{crib}) + \sum_{tran} FE_{TSP_{crib}} \times Débit_{tran} \times (1 - ER_{tran}) \right)$$

$$E_{PM10} = P \times \left(\sum_{conc} FE_{PM10_{conc}} \times Débit_{conc} \times (1 - ER_{conc}) + \sum_{crib} FE_{PM10_{crib}} \times Débit_{crib} \times (1 - ER_{crib}) + \sum_{tran} FE_{PM10_{crib}} \times Débit_{tran} \times (1 - ER_{tran}) \right)$$

- Où :
- ETSP et EPM10 sont respectivement les masses de TSP et PM10 émises (en kg),
 - P est la production annuelle traitée (en t),
 - Débit est le débit traversant l'étape du procédé de traitement dont la valeur varie selon chaque étape du traitement,
 - FE_{TSP} et FE_{PM10} sont respectivement les facteurs d'émission de TSP et PM10 (en kg/t) dont la valeur varie selon chaque étape du traitement et selon le taux d'humidité de la roche
 - FE_{TSP} et FE_{PM10} sont respectivement les facteurs d'émission de TSP et PM10 (en kg/t) dont la valeur varie selon chaque étape du procédé (concassage/tamassage/point de transfert) et selon le taux d'humidité de la roche
 - ER est le facteur d'abattement (en %), variant selon la technique de réduction mise en œuvre au sein de l'unité de transformation

Les facteurs d'émission utilisés sont des facteurs par défaut : ils ne tiennent pas compte du type de matériaux

Etape du traitement	Débit (% de la production traitée)		
	Primaire	Secondaire	Tertiaire
Concassage	100	50	30
Criblage	100	120	170

Etape de l'unité de traitement	FE _{TSP} (kg/t)		FE _{PM10} (kg/t)	
	Sec non contrôlée	Humide	Sec non contrôlée	Humide
Concassage	0.0027	0.0006	0.0012	0.00027
Criblage	0.0125	0.0011	0.0043	0.00037
Point de transfert	0.0015	0.00007	0.00055	0.000023

Etapas de l'unité de traitement		ER (Facteur d'abattement)
Concasseur	Bardage partiel	85%
	Bardage complet	90%
	Aspersion d'eau	75%
	Aspiration	95%
Crible	Encinte complète	50%
	Aspersion d'eau	75%
Point de transfert	Aspersion d'eau	95%
	-	Aucun contrôle

Référence bibliographique : US-EPA, AP-42, 5^{ème} édition recueil de facteurs d'émission de polluants atmosphériques – Volume 1, chapitre 11 Mineral Products Industry.

Stockage

Méthodologie

Dans cette activité sont considérées les émissions liées à la manipulation des stocks (création du stock et chargement dans la benne) et à l'érosion par le vent des surfaces de stocks. Il s'agit d'unités déclarées ou autorisées pour la rubrique 2516 ou 2517. Les émissions de poussières totales et de PM10 sont calculées dans l'outil Excel à partir des équations suivantes :

Manipulation des stocks

$$E_{TSP} = 0.74 \times 0.0016 \times \left(\frac{U}{1.5} \right)^{1.3} \times \left(\frac{M}{2} \right)^{1.1} \times Q_{matériau\ manipulé}$$

$$E_{PM10} = 0.35 \times 0.0016 \times \left(\frac{U}{1.5} \right)^{1.3} \times \left(\frac{M}{2} \right)^{1.1} \times Q_{matériau\ manipulé}$$

- kg)
- U est la vitesse moyenne du vent (en m/s)
 - M est la teneur en humidité du matériau (en %), par défaut roche meuble 6% et autre 2%
 - Q matériau manipulé est la quantité de matériau manipulé (en t), il est considéré que chaque pile est manipulée à deux reprises.

Erosion :

$$E_{TSP} = 1.12 \cdot 10^{-4} \times 1.7 \times \left(\frac{S}{1.5} \right) \times \left[365 \times \frac{(365 - P)}{235} \right] \times \left(\frac{I}{15} \right) \times \pi \times R \times \sqrt{(R^2 \times H^3)}$$

$$E_{PM10} = 1.12 \cdot 10^{-4} \times 1.7 \times 0.5 \times \left(\frac{S}{1.5} \right) \times \left[365 \times \frac{(365 - P)}{235} \right] \times \left(\frac{I}{15} \right) \times \pi \times R \times \sqrt{(R^2 \times H^3)}$$

- où :
- ETSP et EPM10 sont respectivement les masses de TSP et PM10 émises (en kg),
 - P est le nombre de jours de pluie au cours de l'année,
 - I est le pourcentage de jour où la vitesse du vent a été supérieure à 19,3 km/h,
 - S est la teneur moyenne en fine de la pile de stockage (en %),
 - R est le rayon de la pile de stockage (en m),
 - H est la hauteur de la pile de stockage (en m),
 - A est l'aire de la surface exposée de la pile (en m²)



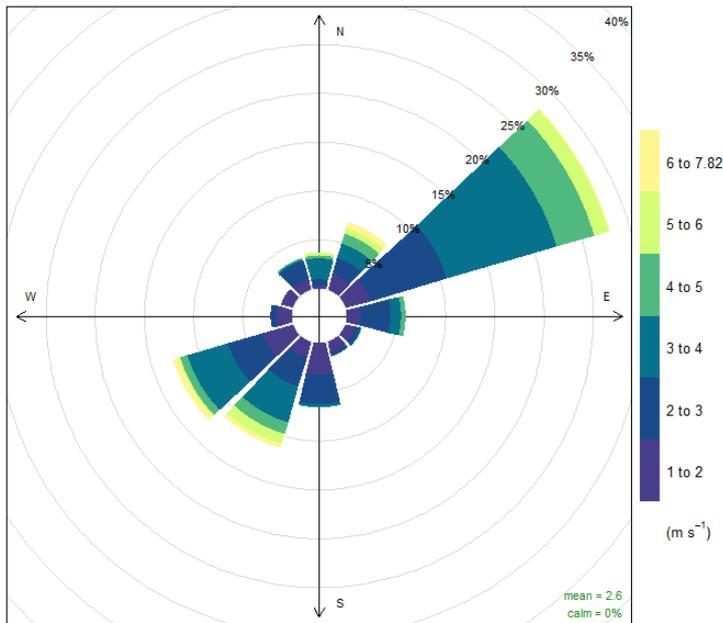
Annexe 8 : Valeurs réglementaires

Polluant	Normes en 2015		
	Valeur limite	Objectif de qualité / Objectif à long terme	Valeur cible
Particules en suspension (PM10)	40 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i> 50 µg/m ³ <i>en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 35 jours/an</i>	30 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i>	-
Particules en suspension (PM2.5)	25 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i>	10 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i>	20 µg/m ³ <i>en moyenne annuelle</i>

(Source : Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air)



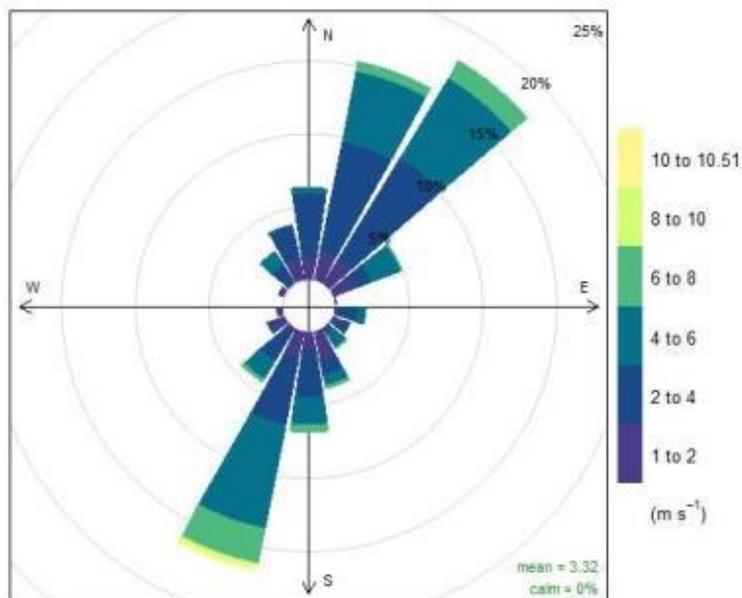
Annexe 9 : Roses des vents sur les périodes de mesures



Frequency of counts by wind direction (%)

Rose des vents (UM6) - Phase 1

Vitesse moyenne : 2,6 m/s
 Vitesse maximale : 7,8 m/s
 Direction majoritaire : vent d'est-nord-est



Rose des vents de UM6 [07/03 au 05/04/2016]

Rose des vents (UM6) - Phase 2

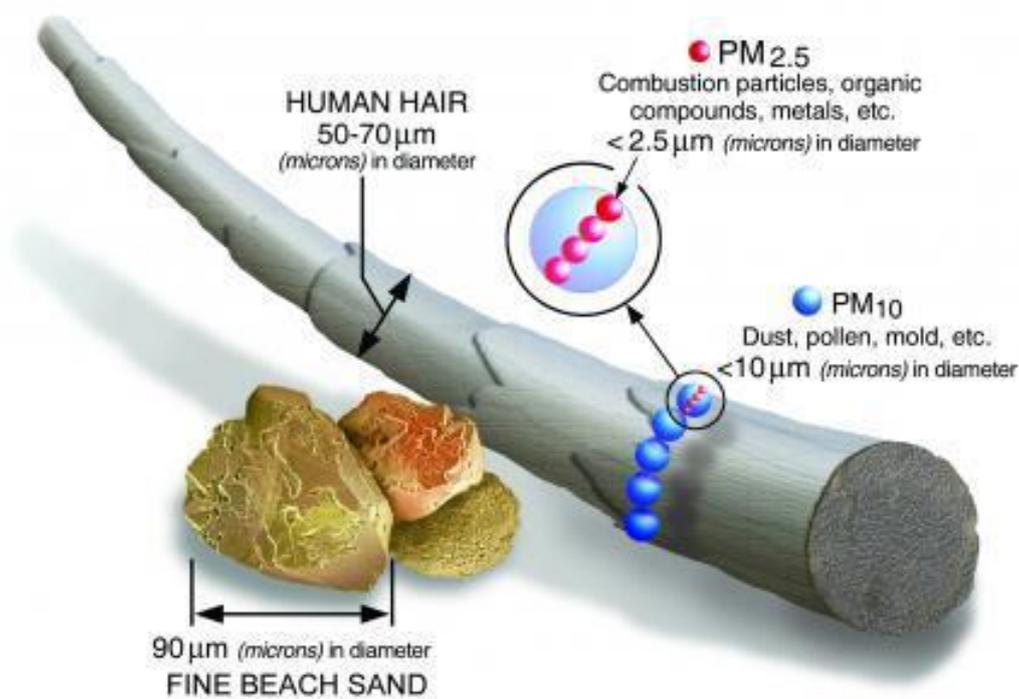
Vitesse moyenne : 3,3 m/s
 Vitesse maximale : 10,5 m/s
 Direction majoritaire : nord- est et sud-ouest



Annexe 10 : Différentes tailles de particules fines

Le diamètre aérodynamique est une longueur utilisée pour décrire le comportement de particules solides ou liquides dans un fluide gazeux. Le diamètre aérodynamique est défini comme le diamètre d'une sphère de densité unitaire ayant la même vitesse de décantation (ou sédimentation, ou encore vitesse terminale de chute) que la particule dans un fluide au repos.

L'illustration ci-dessous permet de situer la taille de ces particules au niveau de la dimension microscopique.





RETROUVER TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmo-hdf.fr

Atmo Haut-de-France
Observatoire de l'Air
55, place Rihour
59044 Lille Cedex
Tél. : 03 59 08 37 30
contact@atmo-hdf.fr

