

## **Attività T.2.1**

**Comparaison entre les différents modèles utilisés par les partenaires**

### **Produit T.2.1.1**

**Rapports de comparaison des modèles utilisés par les partenaires**

**Partner Responsabile: ARPAL**

## Sommaire

<b>1. Objectif du produit et encadrement dans le projet AER NOSTRUM</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Introduction aux stratégies de modélisation</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Analyse des modèles eulériens</b> .....	<b>8</b>
3.1. Utilise du modèle Chimère: l’expérience de Arpal .....	8
3.2. Utilise du modèle Chimère: L’expérience de Atmosud et Qualitair Corse.....	16
<b>4. Modélisation lagrangienne: Calpuff et PMSS</b> .....	<b>22</b>
4.1. Utilise du modèle Calpuff: l’expérience de UNIGE .....	22
4.2. Utilise du modèle PMSS: les expériences de Atmosud et Qualitair Corsae .....	24
<b>5. Analyse des modèles Gaussian</b> .....	<b>26</b>
5.1. Description du modèle Adms-Urban.....	26
5.2. Utilisation du modèle Adms-Urban: l’expérience de Atmosud .....	27
<b>6. Conclusion</b> .....	<b>31</b>

## 1. Objectif du produit et encadrement dans le projet AER NOSTRUM

L'objectif de l'action T2 du projet est de mettre en synergie les expériences des partenaires dans le domaine de la modélisation de la qualité de l'air, de réaliser une étude conjointe dans les zones pilotes identifiées, afin d'améliorer la performance des modèles, d'intégrer différentes approches de modélisation, pour la description des phénomènes de pollution dans la zone portuaire et urbaine. Cet objectif répond à l'attention croissante des institutions et de la société civile en général à l'égard de la pollution et des émissions dans les ports résultant des activités maritimes-portuaires - en particulier des navires.

La modélisation est un outil clé prévu par la législation pour intégrer la surveillance de la qualité de l'air effectuée par les stations de détection: leur utilisation dans les organismes de contrôle environnemental est nécessaire pour une connaissance intégrée des processus de pollution, qui met en relation les pressions (émissions), les processus chimiques et les variables météorologiques, les particularités du territoire, etc....

Dans ce rapport, nous comparons les différentes approches et modèles utilisés par les partenaires afin de décrire l'état de l'art et les expériences acquises dans l'application des codes. C'est sur cette base que sont définies les nouvelles fonctionnalités ou exigences à mettre en œuvre dans les modèles utilisés.

En particulier, en réalisant les activités de la composante T 2.1, les partenaires travailleront à l'amélioration de la résolution spatiale et à une reconstruction correcte des phénomènes verticaux (un aspect critique dans une zone urbaine avec un accent sur les sources d'émission en altitude) afin de mieux adapter la modélisation à l'étude des zones pilotes.

Une partie essentielle du travail consistera également à construire les bases de données d'entrée des émissions dans les modèles (activité T 2.2) sur la base des inventaires déjà existants, convenablement intégrés à une échelle détaillée avec les données fournies par les autorités du système portuaire et élaborées par les universités (respectivement, les sujets affiliés et les partenaires du projet).

En outre, les actions T2 et T1 se dérouleront simultanément: les résultats des modèles produits pendant les campagnes de surveillance seront comparés aux données réelles observées sur le terrain afin d'évaluer la fiabilité des simulations. Ce travail sera finalisé avec la composante T3 pour la définition des scénarios locaux de référence et ceux qui devraient se produire après l'application des différentes mesures d'atténuation.

La modélisation impliquera l'Agence Régionale pour la Protection de l'Environnement Ligure et l'Université de Gênes sur la zone de Gênes, ATMOSUD sur celles de Toulon et Nice et Qualitair Corse sur Bastia et Ajaccio. Les partenaires utilisent des modèles eulériens (CHIMERE), gaussiens (ADMS Urban) et lagrangiens (CALPUFF, PMSS), adaptés pour simuler les phénomènes de dispersion à différentes échelles, avec différents paramétrages et pour différents domaines d'application.

Les rapports relatifs à ces études constitueront des lignes directrices applicables également aux partenaires qui, à l'heure actuelle, ne mettent pas en œuvre d'outils de modélisation pour la surveillance de leurs ports pilotes, tels que l'ARPA Sardaigne pour le port de Cagliari et l'ARPA Toscane pour le port de Livourne. En outre, la composant T2 capitalisera sur l'expérience acquise par les partenaires d'autres projets Interreg, tels que le projet ALCOTRA CLIMAERA, les projets MED APICE et CAIMAN et le projet Horizon2020 SCIPPER.

- Objectif 1 du produit: faire le point sur les outils de modélisation
- Objectif produit 2: expliquer les exigences en matière de données d'émission pour les modèles
- Objectif 3 du produit: intégration possible entre les résultats des modèles.

## 2. Introduction aux stratégies de modélisation

Simuler le comportement d'un polluant relâché dans l'atmosphère signifie déterminer le champ de concentration produit par celui-ci en tout point de l'espace et à tout instant après l'émission.

Il existe essentiellement trois stratégies pour simuler la dispersion des polluants dans l'atmosphère. La première est appelée stratégie eulérienne: l'équation de concentration obéit à l'équation de transport et de diffusion, avec des termes de forçage appropriés et le paramétrage de processus non explicitement décrits (souvent décrits par des techniques de type diffusion par tourbillons), qui est résolue sur une grille de calcul tridimensionnelle avec une résolution suffisamment élevée pour capturer les effets locaux de nature dynamique (par exemple, causés par la stabilité de l'atmosphère) ou géométrique (c'est-à-dire causés par l'orographie particulière).

Les modèles eulériens produisent généralement des champs horaires de concentration des principaux polluants atmosphériques ainsi que de dépôt sec et humide, estimés à partir des valeurs de concentration initiales et aux limites de la zone de calcul et des émissions horaires introduites dans les points de grille, auxquels sont appliqués les mécanismes de transport, de dispersion et de dépôt dérivés de la météorologie, réalisés avec des modèles diagnostiques ou pronostiques, dans des conditions orographiques même complexes et des phénomènes de transformation déterminés par le mécanisme chimique utilisé et par un module de traitement des particules atmosphériques. Ils ont besoin des informations relatives à toutes les sources présentes dans le domaine du calcul, qui peuvent être obtenues à partir de l'inventaire des émissions; ils trouvent une application dans les études à court et à long terme, ce qui nécessite d'importantes ressources de calcul. Cette catégorie comprend le modèle CHIMERE, utilisé pour l'évaluation de la qualité de l'air dans les régions de Provence - Côte d'Azur, Corse et Ligurie.

Les modèles analytiques gaussiens font également partie de la classe des modèles eulériens. Ces modèles ont été développés pour décrire la tendance au niveau du sol de la concentration émise par une source ponctuelle continue, en supposant une série de simplifications: stationnarité et homogénéité des conditions météorologiques, vitesse du vent horizontale non nulle, terrain plat, absence de transformations chimiques. Dans les modèles gaussiens, les polluants sont transportés dans la direction de l'advection par le champ de vent uniforme et subissent une dispersion turbulente sur des plans orthogonaux à la direction de l'air selon une distribution gaussienne (figure n.1).

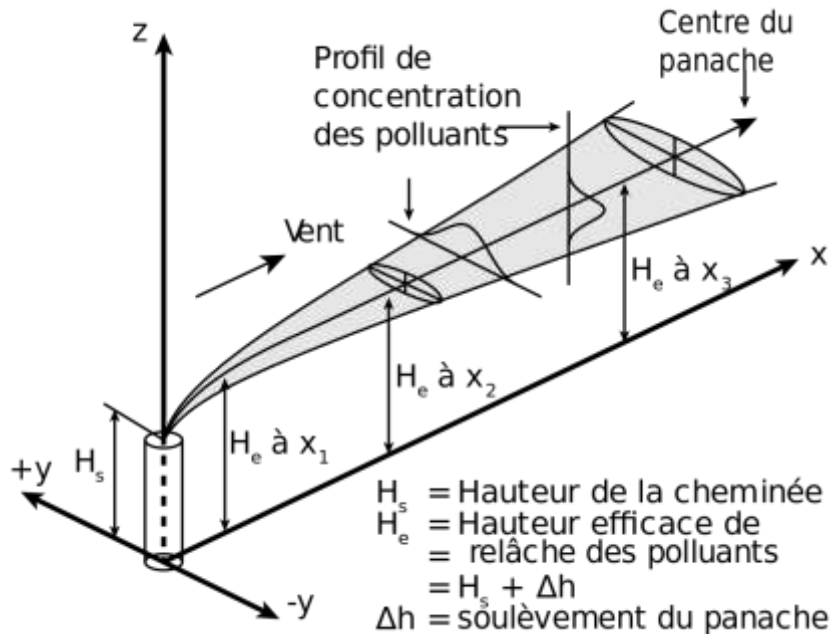


Fig.1: Illustration d'un profil de diffusion gaussien (source: Wikipedia)

Ces modèles sont donc faciles à utiliser et permettent de réaliser des études sur un grand nombre de cas grâce à des temps de calcul très courts par rapport à d'autres types. Leur champ d'application s'étend de quelques centaines de mètres jusqu'aux dix premiers kilomètres d'une source.

ADMS, un modèle dont ATMO SUD et ARPAL ont l'expérience d'utilisation, adopte une approche gaussienne plus évoluée, utilisant une formulation asymétrique (non-histropique) des fonctions de dispersion turbulente qui lui permet d'opérer également sur des orographies complexes et est capable de configurer des sources de géométrie complexe (non seulement ponctuelle, mais aussi linéaire, aréolaire et volumétrique).

La seconde stratégie, dite lagrangienne, suit directement l'évolution spatiale de chaque particule polluante (assimilée à une particule fluide). Cela signifie que les particules polluantes peuvent être traitées, d'un point de vue dynamique, comme des particules d'air, donc soumises aux mêmes forces, dotées de la même densité et caractérisées dans leur mouvement par les mêmes phénomènes qui caractérisent le mouvement des particules d'air (transport, turbulence, etc.). Il existe différents modèles de ce type qui, dans la plupart des cas, utilisent l'équation de Langevin pour décrire le mouvement des particules dans un champ de vitesse donné. Cette équation correspond à l'équation classique pour les trajectoires des particules fluides avec l'ajout d'un terme stochastique qui imite la contribution du mouvement brownien dans la dynamique de la particule. En vérité, dans les applications géophysiques, le terme brownien suppose un caractère de quantité effective (ou effective ou aussi appelée renormalisée) par laquelle les contributions de transport dues au champ

de vitesse non explicitement résolues par le modèle dynamique (la composante dite turbulente du champ de vitesse) sont incorporées dans la dynamique des particules.

Les modèles lagrangiens de particules nécessitent des données d'entrée météorologiques (généralement des données horaires sur la vitesse et la direction du vent, la température, l'humidité, la pression et les variables décrivant la turbulence atmosphérique) générées par des préprocesseurs météorologiques de diagnostic ou de pronostic. Ils sont capables de reproduire le transport, la dispersion, le dépôt sec et humide et la désintégration radioactive de substances chimiquement inertes libérées dans des conditions météorologiques complexes (vents calmes, écoulements sur une topographie complexe). Dans un modèle lagrangien de particules, la dispersion du polluant dans l'atmosphère est simulée par l'émission d'un certain nombre de particules virtuelles, chacune représentant une partie de la masse du polluant; ces particules suivent le mouvement turbulent des particules d'air dans lesquelles elles sont immergées, de sorte que leur distribution spatiale à un certain instant permet de déterminer la concentration des espèces émises. Ils peuvent être utilisés dans l'étude de l'impact d'une ou plusieurs sources, tant pour l'étude des épisodes de pollution (jours, semaines) que pour les évaluations à long terme (année), mais ils nécessitent des ressources informatiques importantes. Cette technique est particulièrement adaptée pour saisir les effets dynamiques sur le processus de dispersion causés par les variations orographiques à haute fréquence.

Le modèle PMSS (adopté par ATMO SUD) appartient à la catégorie des modèles lagrangiens. Il se compose des modèles uniques PSWIFT et PSPRAY et est optimal pour l'étude de la dispersion à une échelle sous-régionale, comme les zones urbaines ou industrielles. Le modèle de flux PSWIFT est la version parallèle du préprocesseur météorologique de diagnostic de masse SWIFT. Le PSWIFT produit des champs de vent, de température, de turbulence et d'humidité sur des terrains complexes. Il a été amélioré pour tenir compte explicitement des bâtiments en utilisant l'approche développée à l'origine par Röckle. Le modèle de dispersion PSPRAY est une version parallèle du modèle de particules SPRAY. Il intègre les trajectoires des particules dans le temps dans un champ de vitesse donné par la somme de la composante de transport associée au vent moyen local (fournie par PSWIFT) et d'une composante stochastique qui modélise l'influence de la turbulence atmosphérique ainsi que tout effet de flottabilité.

Une autre stratégie utilisée avec succès dans de nombreuses applications géophysiques est une stratégie hybride, connue sous le nom d'approche Euler-Lagrangienne ou de bouffée (PUFF).

Cette stratégie représente une extension des modèles gaussiens et combine les avantages de la formulation gaussienne (principalement en raison de la facilité d'utilisation et des faibles ressources de calcul nécessaires) avec la grande précision de l'approche lagrangienne, en particulier pour l'analyse dans des zones à l'orographie complexe. L'idée à la base de cette stratégie est de décrire le mouvement du centre de masse d'une bouffée par une approche lagrangienne, décrivant la dispersion relative (c'est-à-dire le processus d'élargissement de la bouffée dans le temps) en exploitant la solution analytique gaussienne.

Cette approche permet de reconstruire les valeurs de concentration dans des conditions non homogènes et non stationnaires. La valeur de la concentration en un point est obtenue en additionnant les contributions des concentrations des différentes bouffées au sein du domaine. Le modèle CALPUFF s'inscrit dans cette dernière catégorie. Il nécessite un préprocesseur météorologique, CALMET (en aval du modèle météorologique WRF), qui calcule le champ de mouvement tridimensionnel (et toutes les autres quantités météorologiques nécessaires, y compris

la stabilité atmosphérique). La chaîne dispersive basée sur WRF-CALMET-CALPUFF est celle utilisée par l'UNIGE dans le présent projet.

### 3. Analyse des modèles eulériens

CHIMERE est un modèle eulérien de la chimie et du transport (Chemical Transport Model) principalement conçu pour reproduire la dynamique complexe à grande échelle de toutes les espèces chimiques constituant l'atmosphère, qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle: ozone, aérosols et polluants gazeux. CHIMERE est un modèle multi-échelle, qui peut être appliqué à des domaines d'extension très variable: hémisphère (pas de grille: dizaines de km), continental (résolution 5-7 km), régional/local (jusqu'à 1 km de grille). Il est utilisé pour les prévisions quotidiennes de la qualité de l'air, pour les simulations à long terme des scénarios d'émissions.

CHIMERE est un modèle non stationnaire qui développe dynamiquement et simultanément les relations complexes entre l'advection, la dispersion, les transformations des espèces chimiques gazeuses et aérosols dans l'atmosphère, et leur dépôt au sol. Elle nécessite les forçages externes d'un modèle météorologique, les conditions limites en termes de concentration atmosphérique d'un ensemble complexe de polluants, la description détaillée des émissions de polluants primaires à la résolution spatiale de la grille du modèle.

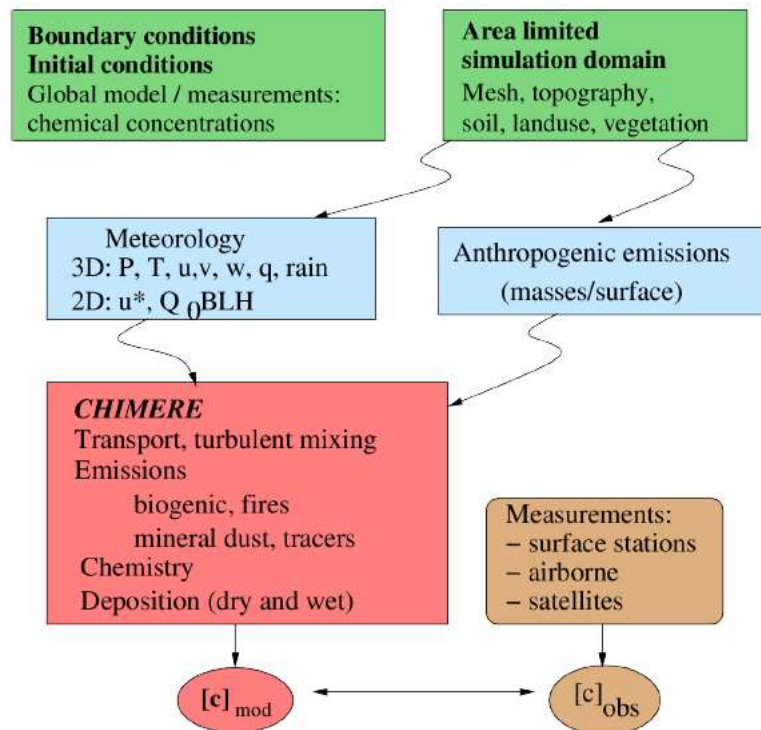


Fig. 2: Schéma conceptuel de la chaîne CHIMERE (source: documentation du logiciel CNRS, INERIS)

### 3.1. Utilise du modèle Chimère: l'expérience de ARPAL

ARPA Liguria a adopté CHIMERE (v. 2014b) comme modèle de CTM afin de se conformer aux dispositions de la législation nationale (décret législatif 155/2010) et de mettre pleinement en œuvre le programme d'évaluation de la qualité de l'air. LINEA - *Ligurian Network to Evaluate Aerosol and photochemical pollution* (Réseau ligurien d'évaluation de la pollution par les aérosols et la photochimie) est le système mis en place et géré par l'ARPAL pour produire annuellement les cartes de concentration de PM10, PM2,5, O3, SO2 et NO2 sur le territoire ligurien. Le modèle a été développé comme une réduction d'échelle (downscaling) du système de prévision de la pollution photochimique mis en œuvre dans la vallée du Pô par l'ARPA Emilia-Romagna (denominata NINFA (*Northern Italy Network to Forecast Aerosol and photochemical pollution*)).

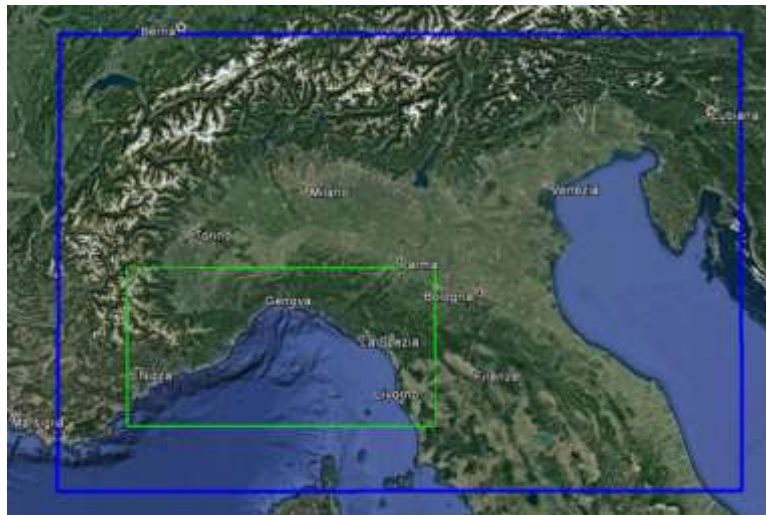


Fig. 3: Modélisation des domaines de calcul de la chaîne Chimere Liguria et Italie du Nord

Le domaine d'intégration de LINEA couvre l'ensemble du territoire ligurien, avec une résolution horizontale de 3 km (le bon compromis entre des temps de calcul raisonnables et une orographie complexe du territoire) et 9 niveaux verticaux. Le système est composé comme suit:

- **Conditions au contour:** du modèle NINFA "père", également basé sur CHIMERE;
- **Météorologie:** modèle COSMO-LAMI, mise en œuvre italienne du modèle de zone limitée non hydrostatique développé au sein du consortium international COSMO (<http://www.cosmo-model.org/>). L'interface météorologique de CHIMERE est en charge du post-traitement des variables pronostiques du modèle météorologique (u,v,T,p,...), produites à la résolution horizontale de 5 ou 2 km, pour générer les variables micro-météorologiques permettant de décrire la turbulence et la dispersion atmosphériques (hauteur de la couche limite, longueur de Monin-Obukhov, vitesse de frottement, flux de chaleur, ...). Il produit ensuite l'interpolation horizontale et verticale des données sur la grille de calcul du modèle photochimique.
- **Émissions anthropiques:** intégration et chevauchement sur le domaine de calcul des inventaires régionaux, nationaux et européens.

La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au coeur de la Méditerranée



L'application de la modélisation CTM, dans le cadre des activités de l'Agence de protection de l'environnement, devient un outil fondamental pour une approche intégrée de l'évaluation et de la gestion de la qualité de l'air, avec le réseau de surveillance (RMQA), et l'inventaire des émissions atmosphériques (IE).

Parmi les objectifs qui permettent de poursuivre la modélisation: atteindre un niveau plus élevé d'efficacité, d'homogénéité et de comparabilité dans l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air sur le territoire national, améliorer la connaissance des contributions transfrontalières à la pollution atmosphérique, améliorer les synergies dans les politiques de qualité de l'air entre les Régions et les Agences.

La mise en œuvre de systèmes de modélisation intégrés permet d'évaluer les phénomènes à différentes échelles de référence, locale, régionale, nationale, et les interactions complexes des polluants secondaires. En voici quelques exemples:

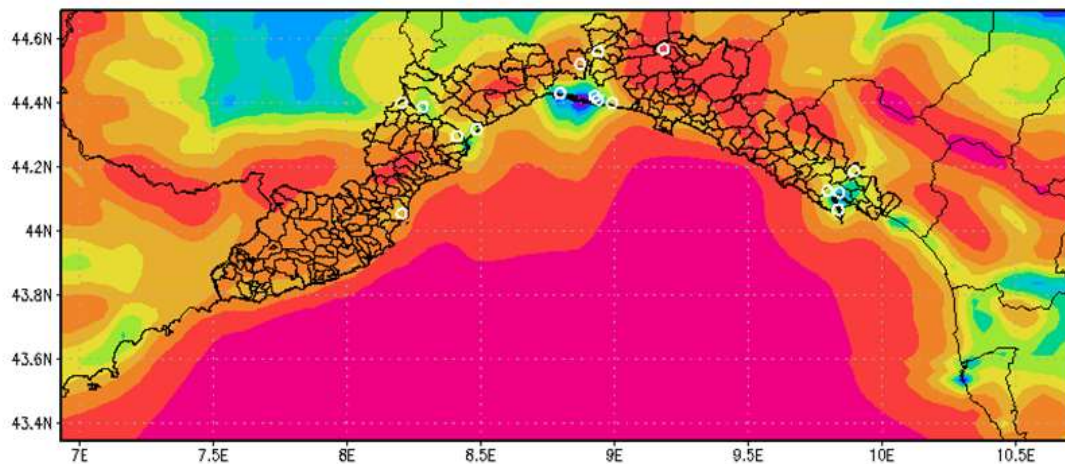
- la spéciation chimique des particules atmosphériques pour mieux comprendre l'origine et la toxicité du polluant;
- l'évaluation des niveaux des précurseurs de l'ozone, pour lutter contre la pollution par l'ozone;
- l'évaluation des contributions des sources naturelles;
- le développement de techniques intégrées de modélisation et d'observation pour la caractérisation du territoire en ce qui concerne les indices de qualité de l'air en vue de la planification de mesures d'assainissement efficaces;

Le modèle CHIMERE - LINEA a été appliqué dans le cadre du projet Alcotra CLIMAERA, afin d'entraîner les fonctions des sources réceptrices à intégrer dans la suite de calcul SHERPA-RIAT+, dans le but de créer un outil pour l'évaluation efficace des effets environnementaux et économiques de l'application des politiques de réduction des émissions.

L'expérience de l'ARPA Liguria en matière de modélisation photochimique eulérienne est relativement récente. La chaîne, opérationnelle depuis 2017 pour l'analyse de l'état de la qualité de l'air (pas encore de prévisions), a donné des résultats satisfaisants dans l'estimation de l'ozone et des particules (ces dernières faisant l'objet de sous-estimations physiologiques) et a montré des tendances en matière d'oxydes d'azote très dépendantes des situations locales. CHIMERE est un modèle conçu pour estimer le transport des polluants à l'échelle continentale, et son application sur un territoire à l'orographie complexe et à la répartition extrêmement non homogène des sources d'émission a révélé des marges d'amélioration. Les activités prévues dans le cadre du projet AER NOSTRUM serviront à trouver le bon compromis entre la résolution du modèle, le temps de calcul et la précision de la désagrégation spatiale des émissions sur la grill



*Fig. 4: Concentration annuelle moyenne de NO<sub>2</sub> en Ligurie pour l'année 2018*



*Fig. 5: Concentration moyenne annuelle d'O<sub>3</sub> en Ligurie pour l'année 2018*

### **Inventaire des Emissions**

Une grande partie du travail de modélisation CTM est représentée par la description adéquate des entrées d'émissions (input) dans le domaine du calcul, qui sont normalement fournies par les inventaires d'émissions. Cet apport est essentiel pour une modélisation efficace et représente la première source d'incertitude et d'approximation dans la chaîne.

Les données d'entrée sont elles-mêmes sujettes à l'incertitude, car la plupart des polluants émis dans l'environnement par l'ensemble des activités sur le territoire ne font pas l'objet d'une analyse quantitative directe, mais proviennent d'élaborations indirectes basées sur des estimations statistiques (consommation d'énergie, données ISTAT) et l'application de facteurs d'émission, soumis à des mises à jour continues. Ensuite, la distribution de ces informations dans les cellules de calcul (désagrégation spatiale et temporelle) est une opération complexe, soumise à différents degrés de liberté et qui peut être poussée à des résolutions croissantes en fonction des champs d'application du modèle, et des ressources de calcul disponibles. La justesse et l'adéquation de ces étapes affectent considérablement la capacité du modèle à reproduire la réalité.

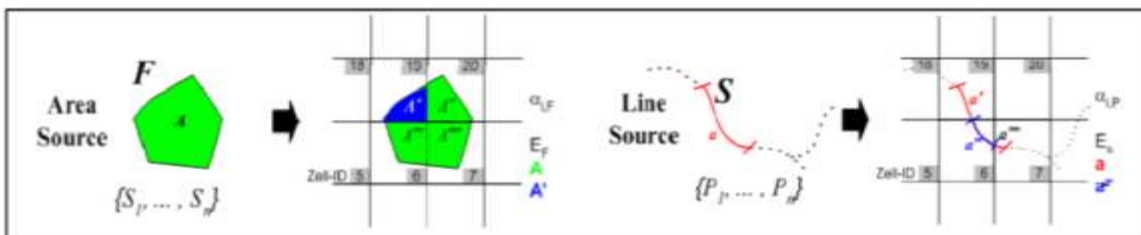
Les informations fournies par les inventaires font l'objet d'une moyenne temporelle ou d'une agrégation et sont rapportées spatialement aux unités administratives. Les émissions se répartissent entre les sources "diffuses", c'est-à-dire réparties sur le territoire, et celles qui se réfèrent spatialement à des entités physiques, telles que les structures ponctuelles (cheminées), les structures linéaires (routes), les zones (sites de production, cultures, quais portuaires, etc.).

Les sources d'émission couvrent un large éventail d'activités qui doivent être classées afin de mettre en évidence la nature spécifique de l'activité, les processus de production impliqués et les différentes technologies de réduction des polluants utilisées. Les émissions sont estimées, sur la base de critères établis par des normes européennes et nationales, par référence à une liste d'activités dont le nomenclature est adoptée au niveau international SNAP par EMEP-CORINAIR. Le nomenclature est organisée selon une structure hiérarchique à travers un code à huit chiffres qui identifie et regroupe les sources d'émissions connexes selon quatre niveaux d'agrégation croissante: macro-secteur, secteur, activité.

L'inventaire contient les quantités estimées d'émissions, de sources naturelles et anthropiques, présentes sur l'ensemble du territoire:

- les principaux polluants, c'est-à-dire les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), les oxydes de soufre (SO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), les particules solides fines d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres et 2,5 micromètres (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>), les composés organiques volatils (COV);
- les gaz à effet de serre;
- le benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>);
- les métaux (arsenic, cadmium, nickel, plomb, chrome, mercure, cuivre, sélénium, zinc).

Les émissions, tant diffuses que géoréférencées dans l'espace, doivent être attribuées à l'élément de grille auquel elles contribuent. L'affectation est effectuée en utilisant des variables de substitution (c'est-à-dire des variables de remplacement), basées sur une combinaison de thèmes (objets géographiques, couches cartographiques et statistiques) utiles pour effectuer la répartition des activités sources sur les cellules.



En résumé, les quantités émises entrent dans le modèle structuré selon une matrice qui identifie le polluant et le macrosecteur d'origine:

#### POLLUANT

- - SO<sub>x</sub> - Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>+SO<sub>3</sub>)
- - NO<sub>x</sub> - Oxydes d'azote (NO+NO<sub>2</sub>)
- - NMVOC - Composés organiques volatils non méthaniques
- - CH<sub>4</sub> - Méthane
- - CO - Monoxyde de carbone
- - CO<sub>2</sub> - Dioxyde de carbone (carbon dioxide)

- - N<sub>2</sub>O - Protoxyde d'azote
- - NH<sub>3</sub> – Ammoniac
- - PM<sub>10</sub> - Particules (< 10 micron)
- PM<sub>25</sub> - Particules (< 2.5 micron)
- PTS - particules totale

## MACROSECTEUR

01. Combustion dans l'industrie énergétique et transformation des sources d'énergie
02. Installations de combustion non industrielles
03. Installations et procédés de combustion industriels avec combustion
04. Processus de production
05. Extraction de la distribution de combustibles fossiles et de l'énergie géothermique
06. Utilisation de solvants
07. Transport routier
08. Autres sources et machines mobiles
09. Traitement et élimination des déchets
10. Agriculture
11. Autres sources et prélèvements (Biogénique)

Après l'attribution des quantités émises sur une base annuelle à chaque point de grille du modèle, la ventilation temporelle est effectuée au sein du code sur la base des courbes de modulation saisonnière, hebdomadaire et quotidienne pour chaque macro-secteur et chaque polluant. De cette façon, le schéma temporel des émissions sur une base horaire pour toute la période de l'année est fourni comme entrée au modèle.

### **3.2. Utilise du modèle Chimere: l'expérience de ATMOSUD et QUALITAIR CORSE**

#### Contexte d'utilisation du modèle CHIMERE

AtmoSud utilise le modèle CHIMERE pour ses calculs de modélisation de la qualité de l'air depuis plus de 10ans. Ce modèle de Chimie-Transport fait partie de la chaîne de prévisions AIRES<sup>1</sup> Méditerranée, utilisée quotidiennement pour la prévision journalière des concentrations en particules fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>), en Ozone (O<sub>3</sub>) et en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Le modèle CHIMERE est également utilisé pour l'analyse des situations passées, notamment dans le cadre des recalculs annuels qui alimentent le reporting européen des populations et surfaces exposées à des dépassements de seuils réglementaires. Enfin, il est utilisé dans le cadre de scénarios pour accompagner les politiques d'aménagements du territoire et produire des éléments d'aides à la décision.

---

<sup>1</sup> AIRES: Atmospheric Integrated Regional System

Le principe général de fonctionnement des chaînes de modélisation utilisant CHIMERE est homogène pour toutes les applications. Seules les versions de modèles, les configurations paramétriques et les résolutions spatiales peuvent varier suivant l'utilisation finale des modélisations.

Le modèle WRF (Weather Forecast Research<sup>2</sup>) est utilisé pour calculer l'ensemble des paramètres météorologiques nécessaires aux calculs de la dispersion et de la chimie atmosphériques. Ce modèle, libre et ouvert, est développé de manière collaborative par un consortium scientifique composé notamment du NCAR (National Center for Atmospheric Research) et de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), et d'autres organismes de recherche ou de défense. Les conditions limites et initiales requises par le premier domaine de calculs sont des données GFS (Global Forecast System) pour la prévision ou GDAS (Global Data Assimilation System) pour l'analyse produites par le NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

Les émissions anthropiques utilisées dans les premiers domaines aux échelles continentales ou interrégionales sont issues de la base de données EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme). Ces émissions sont redistribuées en fonction de l'occupation du sol avec des résolutions spatiales similaires aux domaines de simulation. Les émissions anthropiques des domaines les plus fins (échelle régionale ou infrarégionale) sont issues de l'inventaire régional des émissions produit annuellement par AtmoSud à l'échelle communale et conformément aux recommandations du guide nationale PCIT<sup>3</sup> sur l'élaboration des inventaires spatialisés. Lors de l'élaboration de l'inventaire, les informations spatiales et temporelles des sources d'émissions sont conservées afin de permettre l'élaboration la plus précise possible des données d'émissions sous forme de grille, appelée cadastre des émissions, aux mêmes résolutions que les domaines de calcul de CHIMERE. Pour les émissions du secteur résidentiel, celles-ci sont modulées pour chacune des mailles de calculs en fonction des prévisions quotidiennes de températures réalisées avec le modèle WRF.

Les émissions biogéniques sont calculées par le modèle MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature<sup>4</sup>) et contraintes par les données météorologiques issues de WRF. Les émissions de poussières minérales dues à l'érosion et à la resuspension ainsi que les émissions de sels marins sont calculées par des modules supplémentaires intégrés directement au modèle CHIMERE. Ces émissions sont également contraintes par les données météorologiques issues de WRF.

Les conditions limites et initiales en concentration utilisées pour le domaine le plus large de CHIMERE sont issues du modèle LMDz-INCA<sup>5</sup>.

### Utilisation et configuration dans le cadre de la prévision quotidienne

<sup>2</sup> <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

<sup>3</sup> [https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/MTES\\_Guide\\_methodo\\_elaboration\\_inventaires\\_PCIT\\_mars2019.pdf](https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/MTES_Guide_methodo_elaboration_inventaires_PCIT_mars2019.pdf)

<sup>4</sup> Guenther A., Karl T., Harley P., Wiedinmyer C., Palmer P. I., Geron, C. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). Atmos. Chem. Phys., 6 :3181–3210, 2006

<sup>5</sup> Hauglustaine D. A., Hourdin F., Jourdain L., Filiberti M.A., Walters S., Lamarque J.F., Holland E.A. Interactive chemistry in the Laboratoire de Meteorologie Dynamique general circulation model : Description and background tropospheric chemistry evaluation. Journal of Geophysical Research, 109, 2004

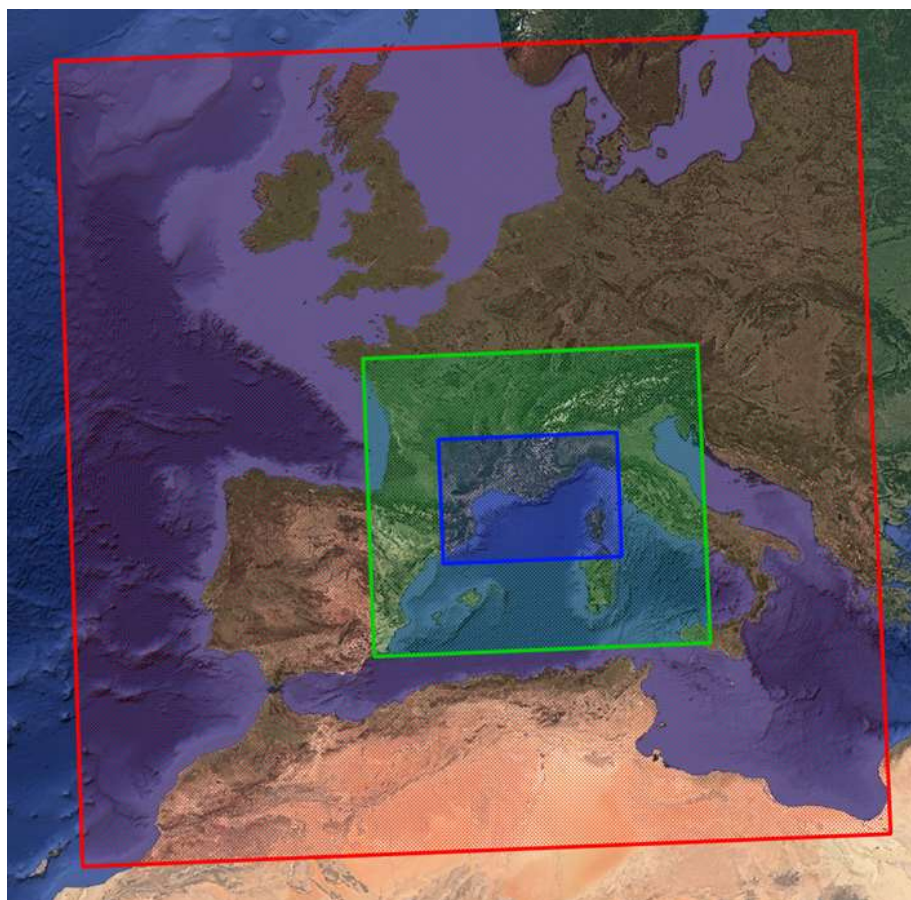
La prévision quotidienne opérationnelle à l'échelle régionale de la qualité de l'air est réalisée par la plateforme nommée AIREs qui regroupe au sein d'une chaîne de calcul le calcul des champs météorologiques, le calcul des émissions, le calcul des champs de concentration et les différents post-traitement réalisés afin d'adapter statistiquement les prévisions dites brutes et d'exploiter les résultats produits sous forme cartographique, d'indices de la qualité de l'air, de calculs de population soumise à un dépassement de seuil réglementaire ou encore pour alimenter des chaînes de calculs à hautes résolutions.

La configuration de la chaîne de calcul opérationnelle la plus récente est donnée dans le Tableau 1.

*Tableau 1 : configuration de la chaîne de prévision AIREs*

	Calculs des champs météorologiques	Calculs des Champs de concentrations
<b>Version du modèle</b>	WRF v3.8	CHIMERE v2017r4
<b>Domaines de calculs</b>	Europe36 > Méditerranée12 > SUD4 (Figure )	Europe36 > Méditerranée12 > LR+PACA4 et CORSE4 (Fig. )
<b>Conditions limites initiales</b>	Données GFS (0.5°)	Données limites : climatologie (LMDZ) Données initiales: restart à partir du J-1 de la veille

Les calculs des champs météorologiques et de concentrations sont réalisés sur des domaines imbriqués allant de 36km de résolution à l'échelle continentale jusqu'à 4km pour les domaines régionaux (Figure 6 et Fig. ). Pour ne pas ralentir la production opérationnelle quotidienne, les calculs des champs de concentration pour la région SUD et la région Corse sont réalisés sur deux domaines séparés (Fig. ).

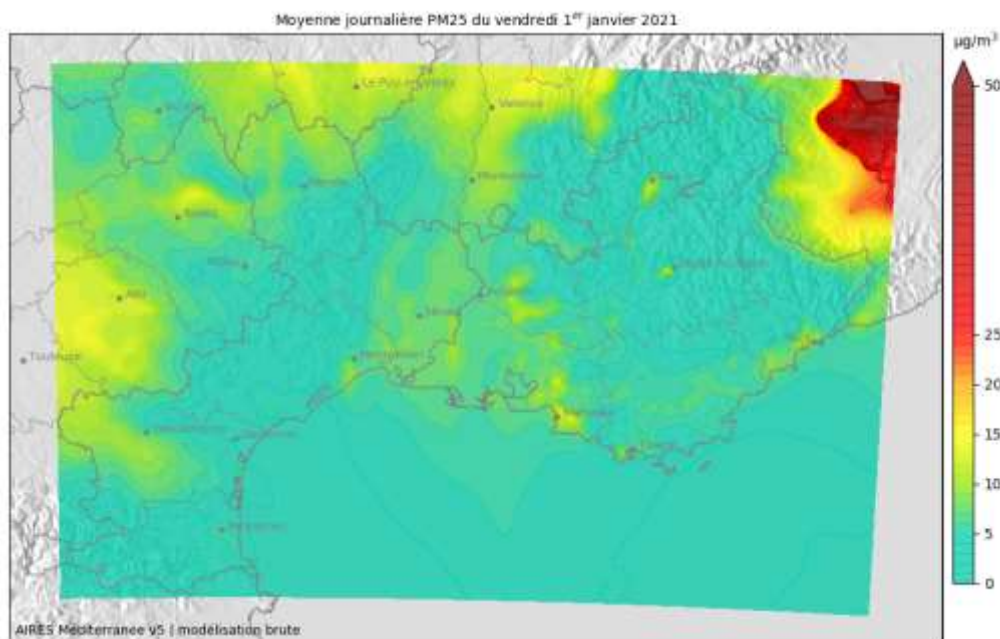


*Figure 6 : Domaines de calculs des champs météorologiques de la chaîne de prévision AIREs*



*Fig. 7 : Domaines de calcul des champs de concentrations de la chaîne de prévision AIRE5*

La chaîne de calculs donne une prévision des concentrations horaires ou journalières de nombreux polluants (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, pOCAR, pBCAR, ...) sur des domaines couvrant la région Sud (Fig. 8) ainsi que la Corse (Fig. 9).



*Fig 8: Prévision journalière en PM<sub>2.5</sub> du 1<sup>er</sup> janvier 2021 sur la région Sud par le système AIRE5*



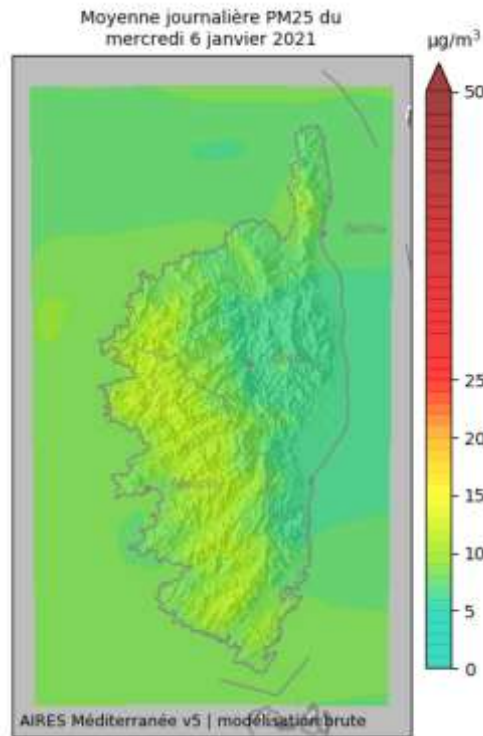


Fig. 9 : Prédiction journalière en PM2.5 du 6 janvier 2021 sur la Corse par le système AIRES

#### Utilisation et configuration dans le cadre de l'analyse

Le recalcul des champs de concentrations en mode analyse permet plus de flexibilité dans le choix des configurations, notamment sur la question des résolutions spatiales puisque la contrainte sur les temps de calculs est moins forte. Toutefois, dans un souci de cohérence, la configuration de la chaîne opérationnelle de prévisions est conservée. Seuls les post-traitements de la chaîne de production diffèrent : descente d'échelle, assimilations des données d'observations, ...

#### Utilisation et configuration dans le cadre de scénario

Comme pour l'analyse, l'utilisation de la chaîne en mode scénario offre une plus grande liberté dans le choix des configurations. De plus, il est alors nécessaire de s'adapter à la problématique étudiée. Au cours de différents projets, AtmoSud a ainsi mis en œuvre le modèle CHIMERE dans de nombreuses configurations. La liste suivante des projets n'est pas exhaustive mais offre une perspective de l'expérience d'AtmoSud dans l'utilisation du modèle CHIMERE.

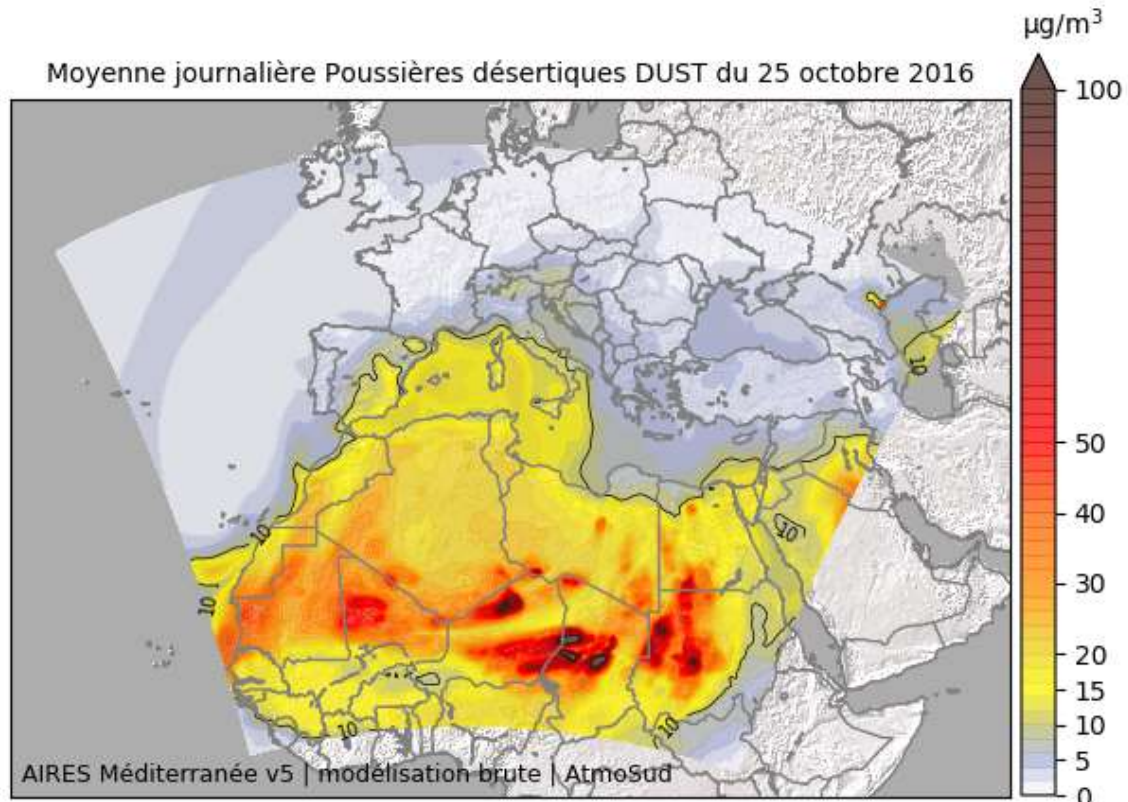
#### ➤ Projet GABES<sup>6</sup>

Dans le cadre de ce projet, AtmoSud a étudié les capacités du modèle CHIMERE à reproduire les émissions et le transport des poussières désertiques. Ces travaux ont été menés en collaboration

<sup>6</sup> <https://www.atmosud.org/fiche-etude/gouvairance-gabes>

avec le LISA (Laboratoire Inter-universitaire des Systèmes Atmosphériques) qui a réalisé un audit de la chaîne de calculs AIRES d'AtmoSud ainsi que différents tests paramétriques pour aboutir à la meilleure configuration pour simuler le transport des poussières désertiques.

Ainsi, des ajustements sur les calculs des champs météorologiques ainsi que sur la configuration du modèle CHIMERE ont été apportés. L'une des principales évolutions a été l'extension du domaine de calculs, à la fois dans la dimension verticale que dans les dimensions horizontales. La figure n. 10 donne une illustration des résultats obtenus au cours de ce projet.



*Fig. 10 : Simulation de la contribution des poussières désertiques à la moyenne journalière en PM10 pour la journée du 25 octobre 2016*

#### ➤ Projet TEMMAS

Ce projet avait pour objectif d'étudier finement l'impact d'un site industriel sur le territoire de surveillance d'AtmoSud. Pour cela, des simulations à une résolution spatiale réduite de 1km x 1km ont été effectuées avec CHIMERE. La figure n.11 illustre une sortie de simulation sur la période d'étude. Les résultats de ses simulations ont montré une sous-estimation de la fraction organique dans les situations de fond ainsi qu'une sous-estimation de la fraction sulfate en champs proche.

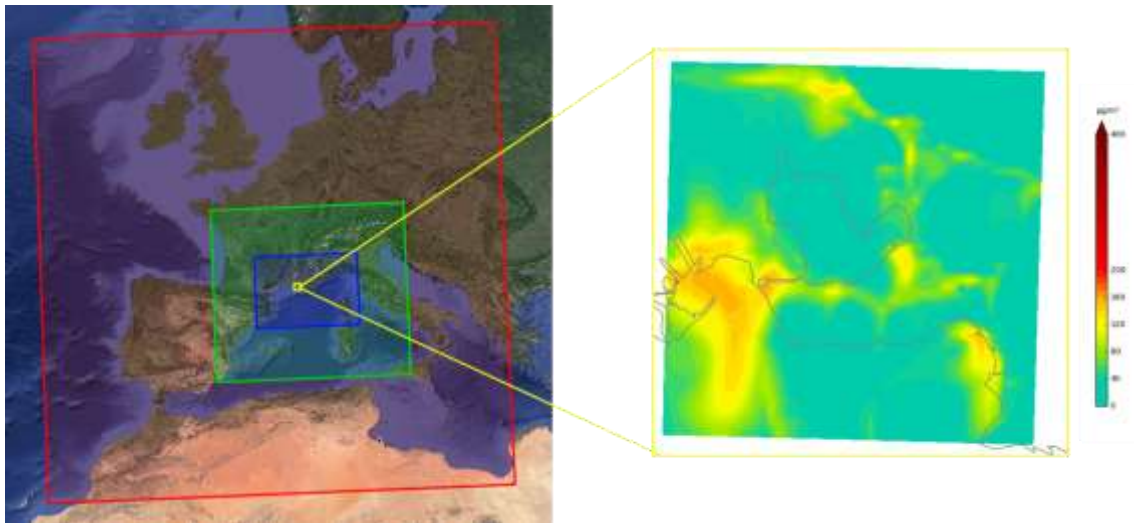


Figure 11: Sortie de simulation (maximum journalier en  $\text{NO}_2$ ) sur un domaine de 1km de résolution sur le pourtour de l'Etang de Berre (Bouches du Rhône).

#### ➤ Projet CAIMANS

Le projet CAIMANS<sup>7</sup> a étudié l'impact du transport maritime dans différentes villes du bassin méditerranéen ainsi que des solutions d'atténuation. Parmi les scénarios étudiés, AtmoSud a travaillé sur un changement de carburant des navires en simulant l'impact à grande échelle (Figure n.12) de l'utilisation du GNL (Gaz Naturel Liquifié) par l'ensemble de la flotte de navires croisant en Mer Méditerranée.

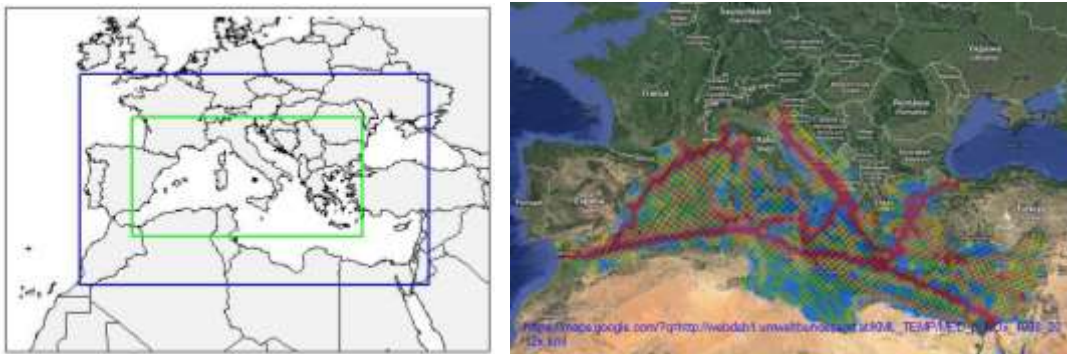


Fig. 12: domaine de simulation sur l'ensemble du bassin méditerranéen et sources d'émissions du transport maritime utilisées dans les simulations

<sup>7</sup> [https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/150600\\_airpaca\\_caimans\\_final\\_report\\_0.pdf](https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/150600_airpaca_caimans_final_report_0.pdf)

Les simulations effectuées avec un modèle de chimie-transport ont permis de montrer l'intérêt de cette action sur la pollution photochimique à grande échelle en réduisant les émissions de précurseurs de l'ozone et des particules secondaires (Figure n.13).

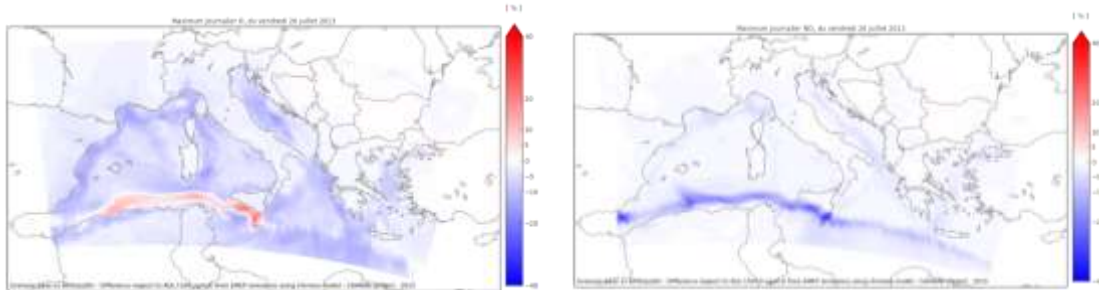
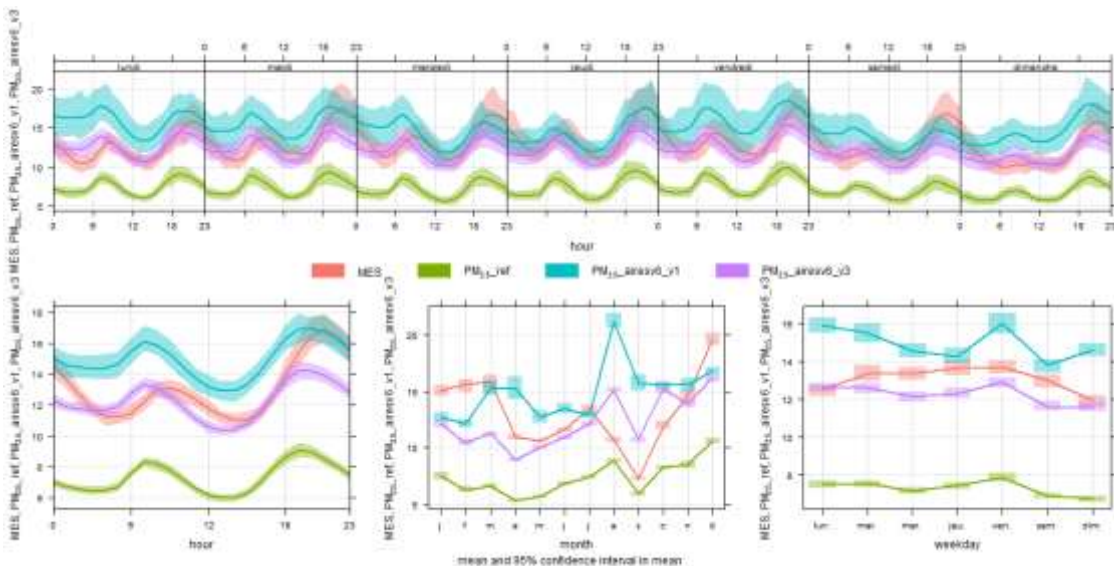


Fig. 13: Difference between “Base scenario” and “LNG - All ships scenario” in relation to AQL for  $O_3$  (left) and  $NO_2$  (right) during July 26<sup>th</sup> 2013 over the CAIMANs domain.

#### ➤ Projet CLIMAERA

Le projet CLIMAERA<sup>8</sup> a permis à AtmoSud d'améliorer ses connaissances et sa maîtrise du modèle CHIMERE. Un travail important de tests paramétriques a été mené, permettant d'obtenir une configuration optimisée sur le domaine de la région Sud pour les concentrations en particules fines notamment. La configuration finale retenue a permis de réduire significativement les sous-estimations des concentrations en particules sur l'ensemble du réseau de surveillance d'AtmoSud (Figure n. 14). Ses améliorations ont porté à la fois sur les moyennes journalières en particules, valeurs réglementaires, mais également sur la dynamique horaire des concentrations.



<sup>8</sup> <https://www.atmosud.org/fiche-etude/climaera-climat-et-qualite-de-lair>

*Fig. 14: Graphiques synthétiques de comparaison mesures-modèles pour les PM2.5 sur l'ensemble des stations de mesures du réseau de surveillance d'AtmoSud, hors stations trafics et industrielles. Les courbes rouges représentent les observations, les violette les simulations de la version optimisée.*

Dans le cadre de ce projet, des travaux ont également été menés afin de définir des relations sources-récepteurs entre les variations d'émissions et les variations de concentrations des différents polluants. Les résultats de ces travaux ont alimenté un outil, RIAT+ (Regional integrated assessment Tool Plus), permettant la sélection et la hiérarchisation des actions d'amélioration de la qualité de l'air les plus efficaces sur le territoire d'étude.

#### ➤ Projets en cours et développements

Un des projets en cours de réalisation a pour objectif de développer un module d'émissions des pollens d'ambrosie. Les sorties de ce module seront ensuite adaptées et formatées pour être intégrées directement dans le coeur du système de CHIMERE afin de reproduire les champs de concentrations de cette nouvelle espèce.

Un autre projet, SCIPPER<sup>9</sup>, regroupe un consortium scientifique de modélisateurs européens important sur la thématique du transport maritime. Dans le cadre de ce projet, une intercomparaison de plusieurs modèles de chimie-transport est en cours de réalisation. Cet exercice confronte les résultats des modèles CHIMERE, CAMx, CMAQ, EMEP et MARSaero sur deux domaines à l'échelle de l'Europe et du bassin méditerranéen (Figure n. 15). Les résultats de cet exercice permettront une meilleure maîtrise des outils de modélisation.



<sup>9</sup> <https://www.scipper-project.eu/>

*Figure 15: Domaines de simulation de l'exercice d'intercomparaison des modèles utilisés dans le cadre du projet SCIPPER.*

## 4. Modélisation lagrangienne: CALPUFF et PMSS

### 4.1. Utilise du modèle CALPUFF: l'expérience de UNIGE

L'étude de dispersion sera menée par l'UNIGE en utilisant la chaîne de modélisation CALPUFF (Scire et al., 2001, v. 5.7) utilisée en cascade avec le modèle météorologique éolien de diagnostic CALMET (Scire et al., 2000, v.5.6).

Comme déjà mentionné au chapitre 2, CALPUFF est un modèle à bouffées non stationnaires pour le calcul de la dispersion des polluants rejetés par différentes catégories de sources d'émission (ponctuelle, aréolaire, linéaire, volumétrique). CALPUFF met en œuvre des algorithmes pour le traitement des dépôts secs et humides, de certaines transformations chimiques et de certains effets proches de la source (construction en aval, fumigation, montée progressive du panache, pénétration partielle dans la couche remélangée). Même si l'option d'utiliser des données météorologiques ponctuelles est prévue (de manière similaire aux modèles gaussiens stationnaires les plus courants), le plein potentiel du code CALPUFF est activé s'il est utilisé en conjonction avec les champs météorologiques tridimensionnels générés par CALMET. CALMET, quant à lui, est un modèle météorologique de diagnostic qui, à partir de données observées (sol et profil) et de données géophysiques, produit des champs de vent horaires tridimensionnels et des champs bidimensionnels de différentes variables météorologiques et micrométéorologiques. CALPUFF est indiqué par l'US-EPA comme modèle de référence pour les applications impliquant le transport de polluants sur de longues distances, ou pour les applications en champ proche lorsque les effets non stationnaires tels que la variabilité du temps, les calmes du vent, les discontinuités terre-mer, l'orographie complexe, etc. sont importants. ([http://www.epa.gov/scram001/dispersion\\_prefrec.htm](http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm)).

En ce qui concerne l'incertitude inhérente aux estimations de modélisation, il est fait référence à la "Guideline on Air Quality Models" (US-EPA, 2005) où il est expliqué que les modèles sont plus fiables pour les estimations des concentrations moyennes à long terme que pour les concentrations à court terme sur des sites spécifiques et que les estimations des concentrations maximales doivent être considérées comme raisonnablement fiables par ordre de grandeur. Des surestimations de maxima de l'ordre de 10 à 40% sont citées comme typiques. De même, la législation italienne (DM 60/02) exige une incertitude de 30 % pour les moyennes annuelles et de 50 % pour les moyennes horaires et journalières.

Le modèle WRF fournira dans ce projet les champs de vitesse tridimensionnels à une résolution d'environ 1 km sur la ou les zones d'intérêt, qui seront ensuite traités par CALMET pour atteindre les champs de vent à une résolution allant jusqu'à environ 200 m. La base d'initialisation du WRF est fournie par le modèle météorologique américain, fonctionnant à l'échelle mondiale, GFS (Global Forecast System, <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>).

L'ensemble de la chaîne météo sera rendu opérationnel sur une infrastructure informatique haute performance AWS-Amazone sur laquelle l'UNIGE a acquis une expérience consolidée.

L'Université de Gênes a collaboré activement à la réalisation du projet MEMORIA, cofinancé dans le cadre du programme POR-FESR parmi les actions de soutien aux activités de recherche et développement menées par les petites et moyennes entreprises (bénéficiaires SIGE Srl et PM\_TEN Srl). L'objectif principal du projet était de créer un outil d'évaluation de la qualité de l'air basé sur l'intégration de simulations de la qualité de l'air produites par des modèles

numériques à micro-échelle et les mesures d'un réseau de capteurs à faible coût. Le projet prévoyait le développement et la mise en œuvre d'une chaîne de modélisation pour l'étude de la dispersion atmosphérique composée par le modèle météorologique WRF-ARW, interfacé par le préprocesseur CALMET au code de dispersion atmosphérique CALPUFF. Des procédures spécifiques ont été développées pour simplifier l'exécution des simulations et pour le post-traitement des résultats de la chaîne de modélisation afin de produire les cartes de concentration de la qualité de l'air et l'analyse de la contribution des sources d'émission. De plus, la procédure d'intégration entre les données du réseau de capteurs et les résultats des simulations du modèle a été développée avec les finalités suivantes :

1. La produzione di un flusso costante di dati su tutta l'area di monitoraggio, ottenuto integrando mediante l'analisi delle simulazioni le eventuali lacune nei rilevamenti dei sensori.
2. La correzione dei risultati della simulazione modellistica per meglio adattare la catena a descrivere le condizioni puntuali osservate (che includono eventuali effetti occasionali e/o locali impossibili da includere nella configurazione modellistica standard), incrementando il livello complessivo di affidabilità dello strumento di simulazione e permettendo quindi di sfruttarne al meglio tutte le possibili applicazioni (estensione del dato di concentrazione su tutta la griglia di calcolo, analisi del contributo delle singole sorgenti emissive, previsione e breve/medio termine).

A titre d'exemple, nous présentons ci-dessous l'une des cartes produites dans le cadre du projet, en particulier celle relative aux valeurs de concentration atmosphérique des oxydes d'azote émis par les sources de circulation automobile à l'un des instants simulés (01/06/2017 à 08:00).

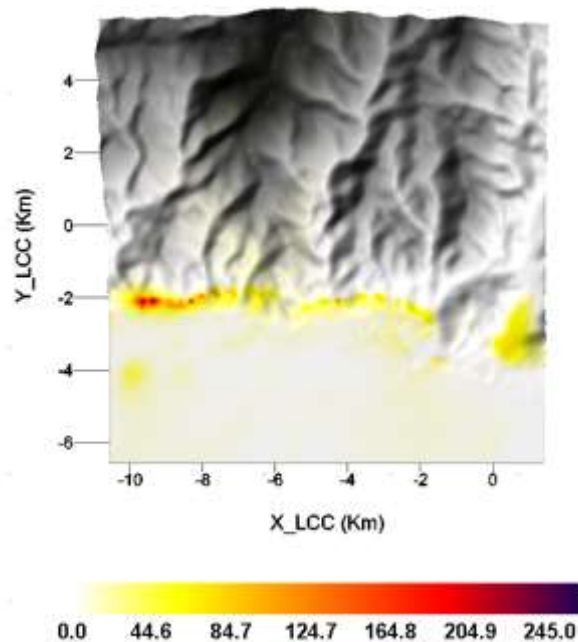


Fig. 16 : NOx du trafic routier - Valeur moyenne horaire 01/06/2017 h 08:00 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



## 4.2. Utilise du modèle PMSS: les expériences de ATMOSUD et QUALITAIR CORSE

### Description du modèle PMSS

Le modèle 3D Parallel Micro Swift Spray (PMSS) est développé par ARIA Technologies. Il permet de simuler la dispersion des polluants à très haute résolution en tenant compte des modifications d'écoulement dues à la présence d'obstacle. Il est donc adapté pour étudier l'impact sur la qualité de l'air dans des environnements complexes tels que les zones urbaines denses. La Figure n. 17 présente la chaîne de calcul avec les différentes données d'entrée nécessaires.

PMSS est composé d'un premier module d'interpolation des champs météorologiques sur des terrains complexes, nommé SWIFT. Ce module reconstitue les champs de vent dans les 3 dimensions à partir de données d'observation ou issues d'un modèle météorologique type WRF. Les données produites alimentent le module SPRAY qui reproduit la dispersion de pseudo-particules le long de lignes de courant.

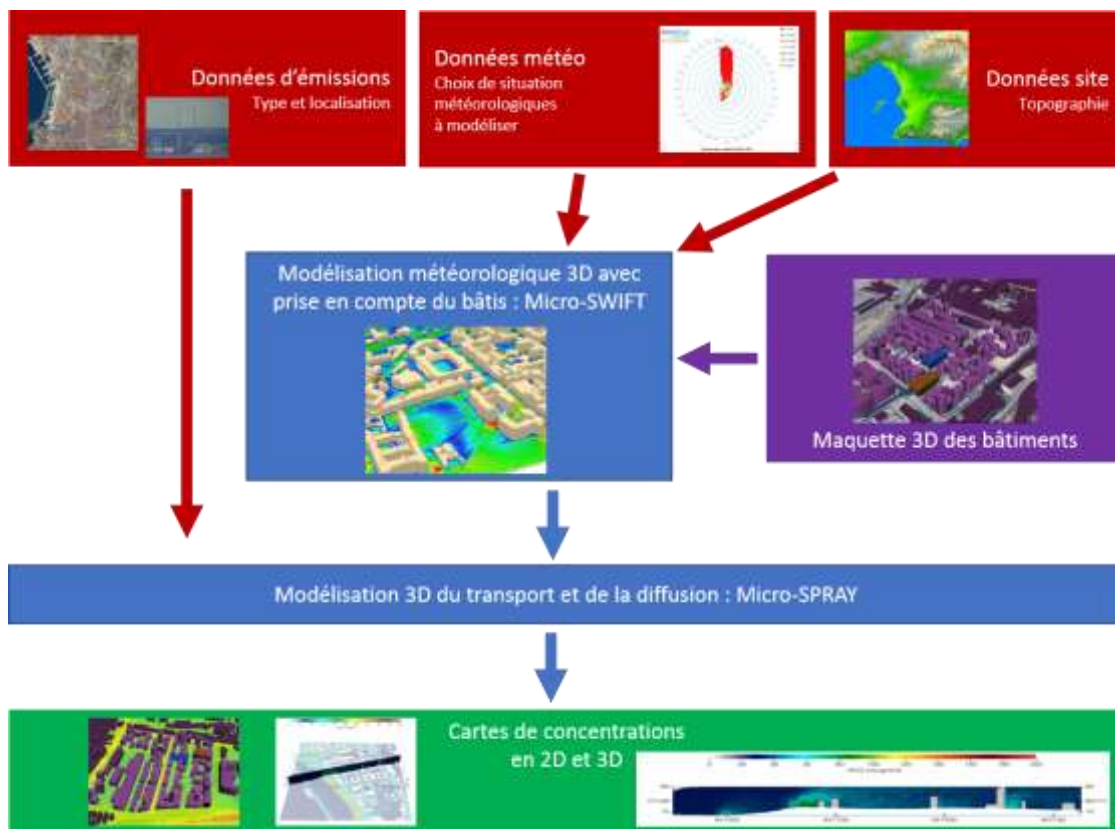


Fig. 17 : Chaîne PMSS pour aboutir aux cartographies de la qualité de l'air

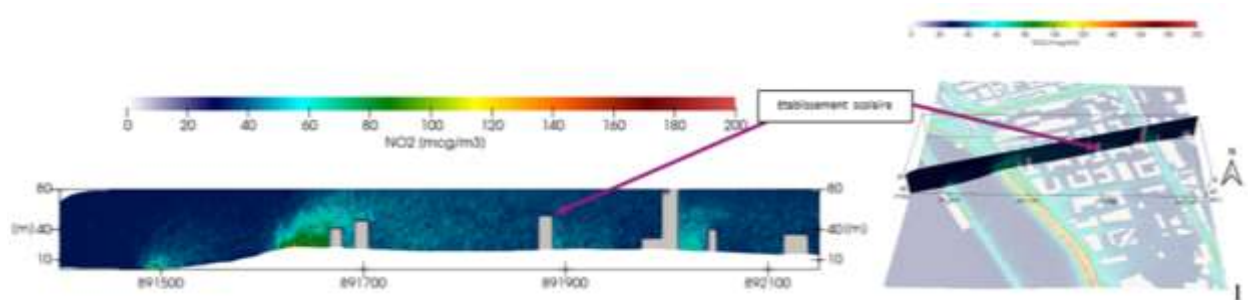
### Contexte d'utilisation du modèle PMSS

PMSS est utilisé par AtmoSud dans sa chaîne de modélisation des situations incidentelles ou accidentelles au travers d'une interface simplifiée qui permet à l'opérateur de simuler la dispersion de sources ponctuelles de manière opérationnelle dans un délais inférieur à 4h (Figure n. 18).



*Fig. 18: Exemple de simulation d'un panache de particules dans le centre ville de Marseille avec une résolution de 10m*

PMSS a également été utilisé dans le cadre de scénarisation d'aménagement urbain pour un nouveau quartier dans Marseille (Figure n. 19)



*Fig. 19 : Coupe verticale des concentrations en NO<sub>2</sub> dans le quartier d'Euroméditerranée - Vue en direction du Nord.*

AtmoSud dispose seulement d'une expérience de quelques projets avec PMSS. Toutefois, les développements récents effectués par l'équipe de modélisation ont permis d'optimiser les chaînes de préparation des données d'entrée et d'accroître les capacités d'AtmoSud en termes d'opérationnalité avec ce modèle.

Qualitair Corse ne dispose pas de retour d'expérience avec PMSS pour le moment mais l'équipe de modélisation est en cours de formation afin de pouvoir réaliser des études portuaires. La dispersion des panaches sera influencée par la prise en compte des surfaces bâties. Ainsi les rendus de résultats devraient au plus proche de la réalité.

## 5. Analyse des modèles GAUSSIAN

### 5.1. Description du modèle ADMS-Urban

Le modèle ADMS-Urban (Atmospheric Dispersion Modelling System) est développé par le CERC (Cambridge Environmental Research Consultant). Il permet de reproduire le transport des polluants émis dans l'atmosphère par différents types de sources (industrielles, routières, résidentielles, ...) en fonction des conditions météorologiques.

La formulation du modèle permet d'intégrer ces sources de pollution suivant différentes configurations afin de reproduire au mieux leurs impacts sur les concentrations de polluants : sources ponctuelles, linéaires, surfaciques ou volumiques.

La dispersion des panaches dans le modèle est contrainte par les champs météorologiques provenant soit d'observation sur site, soit de modèle numérique. Les variables nécessaires permettent de caractériser l'état de l'atmosphère et de reproduire les mouvements de l'air dans les trois dimensions ainsi que de reproduire les phénomènes d'élimination des polluants tels que le dépôt humide par les précipitations.

Le modèle permet également de considérer les différents paramètres environnementaux du domaine d'étude pouvant induire une modification de l'écoulement tels que la topographie, l'occupation du sol, la rugosité...

Sa formulation de type gaussienne est adaptée aux études réalisées à des résolutions spatiales fines en permettant une grande liberté dans le positionnement des points de calculs. Il est possible de répartir ces points à des distances plus ou moins proches des sources d'émissions pour reproduire le plus finement possible les variations de concentrations dans les zones d'intérêts (Figure 20).

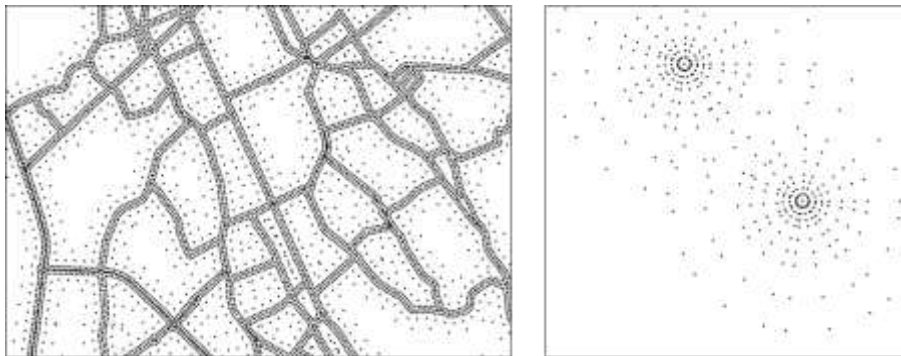


Fig. 20: Exemple de positionnement des points de calculs pour le traitement des sources linéaires (gauche) et des sources ponctuelles (droite)

## 5.2. Utilisation du modèle ADMS-Urban: l'expérience ATMOSUD

### Contexte d'utilisation du modèle ADMS

Le modèle ADMS-Urban est utilisé dans le cadre des analyses (recalculs annuels) avec une adaptation de certaines parties du logiciel afin d'en faciliter son utilisation. ADMS-Urban est également utilisé dans le cadre de projets pour de l'analyse d'impact ou de la scénarisation.

### Utilisation et configuration dans le cadre de l'analyse

ADMS-Urban est utilisé pour le recalcul annuel des champs de concentrations du NO<sub>2</sub> et des PM10 sur l'ensemble de la région avec une résolution spatiale de 25m. Le recalcul des PM2.5 est en cours de développement sur 2021.

Dans le cadre de ces recalculs, l'intégralité des sources d'émissions, calculée par AtmoSud dans le cadre de la réalisation annuelle de l'inventaire<sup>10</sup> régional des émissions sur la région Provence-Alpes-Côte-D'azur est intégrée dans le calcul de dispersion. Cela comprend l'intégralité des émissions dues aux activités industrielles et à la production d'énergie, la gestion des déchets, les transports routiers et non routiers tels que le transport aérien et maritime, les activités du secteur tertiaire ainsi celles du résidentiel, les activités du secteur agricole et toutes les sources naturelles d'émissions.

Pour contourner les limites de formulation du modèle, dont l'homogénéité des conditions météorologiques sur le domaine de simulation, la région est découpé en multiples sous-domaines permettant d'intégrer des conditions météorologiques adaptées à chaque sous-domaine et pouvoir tenir compte de propriétés physiques différentes telles que la rugosité, l'albedo, ... Ce découpage permet également de contourner les limites numériques du modèle qui ne permettent pas le traitement d'un nombre trop important de source d'émissions. La majorité des sous-domaines pour le recalcul annuel sont de 6km x 6km avec un découpage plus fin sur les hyper-centres des grandes agglomérations de la région (Figure n. 21).

<sup>10</sup> AtmoSud, Les inventaires territoriaux Air-Climat-Energie, 2019 -  
[https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/190724\\_plaquette\\_inventaires\\_territoriaux\\_0.pdf](https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/190724_plaquette_inventaires_territoriaux_0.pdf)



Figure 21: Illustration des sous-domaines de calculs sur le territoire d'Aix-Marseille-métropole

Cette chaîne de calculs basée sur ADMS-Urban est développée depuis plusieurs années par les équipes d'AtmoSud. Ces sorties permettent d'estimer les surfaces et populations exposées aux dépassements des valeurs limites en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) ainsi qu'en particules fines (PM<sub>10</sub>) pour alimenter les rapports annuels au niveau européen. Un exemple de cartographie annuelle en NO<sub>2</sub> calculée avec ce modèle à l'échelle régionale est donné en Figure 22.

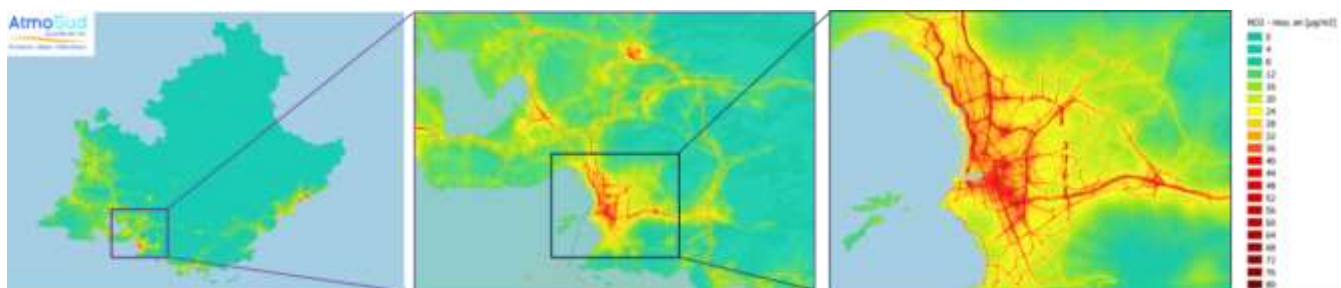


Fig. 22 : Cartographie de la moyenne annuelle en NO<sub>2</sub> pour l'année 2017 à l'échelle régionale

#### Utilisation et configuration dans le cadre de scénario

ADMS-Urban est utilisé dans de nombreuses études de scénarisation, notamment pour évaluer l'impact de sites industriels ou dans des études liées à la mobilité. A titre d'exemple, ADMS-Urban a été utilisé pour simuler l'impact de sites d'extraction par une représentation de la source sous forme de surface (Figure n. 23), pour l'étude de scénarisation d'aménagement d'une zone portuaire avec la création d'un nouveau terminal dans le port de Marseille, avec une représentation des sources sous forme de volume (Figure n. 24), pour étudier l'impact d'une réduction de trafic des poids lourds sur une section autoroutière avec une représentations des sources sous forme de linéaires (Figure n. 25) ou encore pour simuler l'impact d'un site industriel complet avec des représentations des sources ponctuelles et surfaciques.

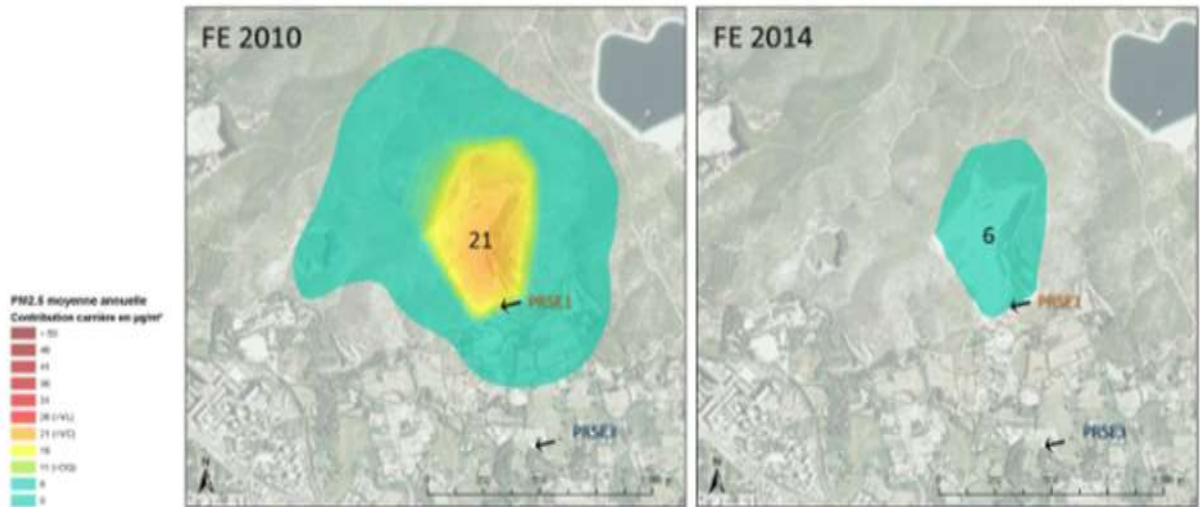


Fig. 23 : Cartographies des moyennes annuelles en PM2.5 au niveau d'une carrière (source : AtmoSud<sup>11</sup>)



Fig. 24 : Différence relative entre le scénario «Future Référence» et le scénario «Aménagement du terminal croisière» pour les concentrations en PM2.5 durant la période hivernale sur le domaine de simulation urbain des bassins Est du port de Marseille-Fos (source : AtmoSud<sup>12</sup>)

<sup>11</sup> [https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/160601\\_rapport\\_carriere\\_2014\\_aa\\_versionfinale.pdf](https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/160601_rapport_carriere_2014_aa_versionfinale.pdf)

<sup>12</sup> [https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/130200\\_apice\\_final\\_publication\\_v-anglaise.pdf](https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/130200_apice_final_publication_v-anglaise.pdf)

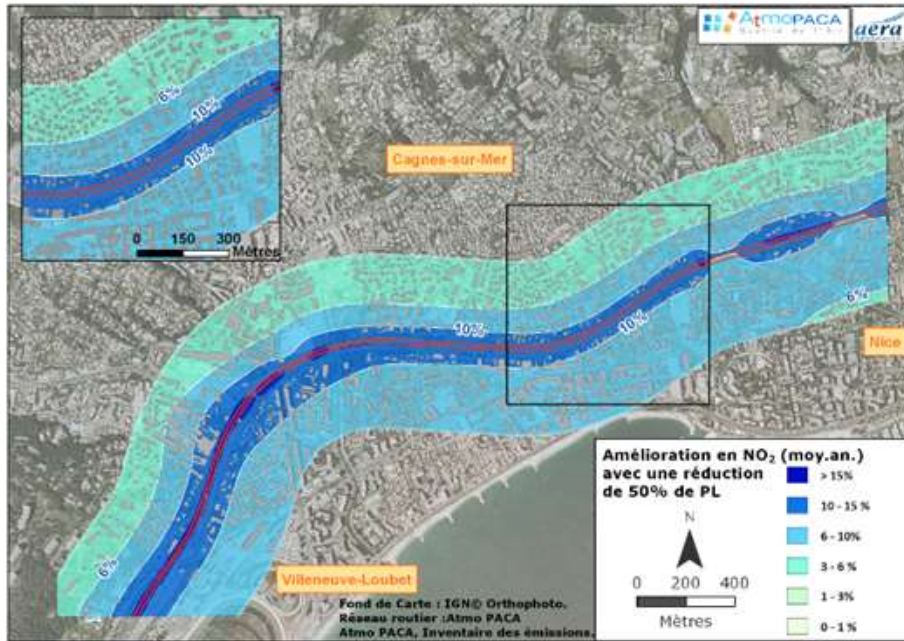
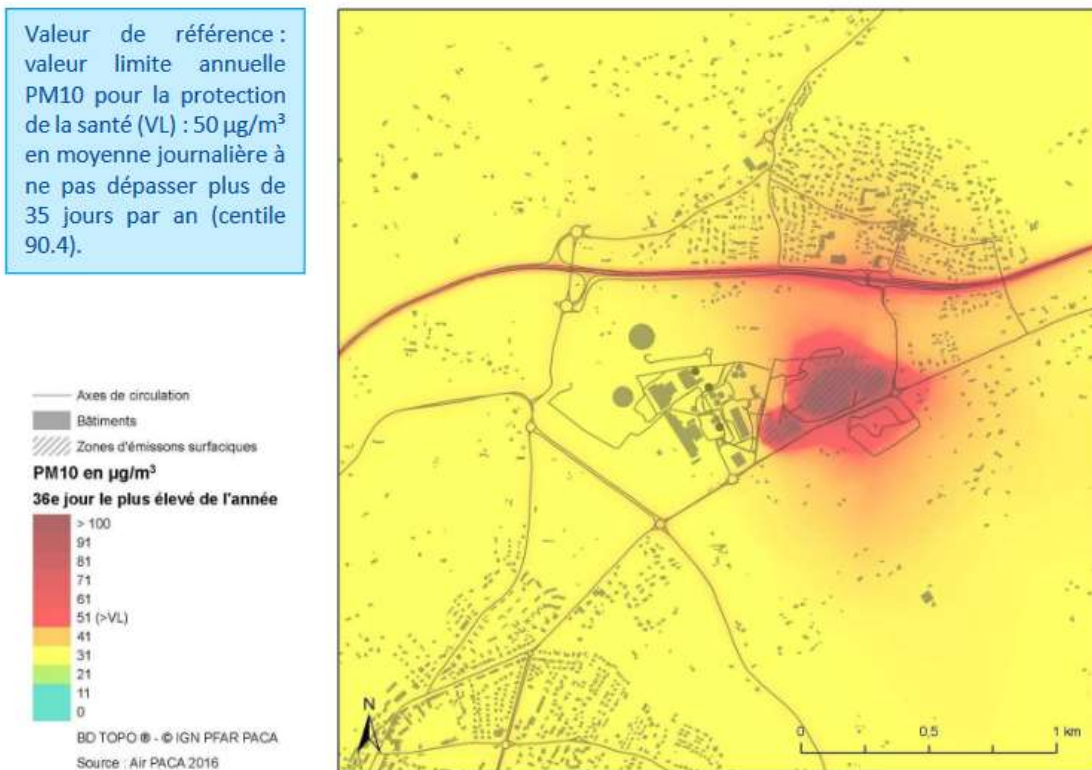


Fig. 1 : Amélioration (en %) de la concentration annuelle en NO<sub>2</sub> avec une réduction de -50% de PL à Cagnes (source AtmoSud<sup>13</sup>)



<sup>13</sup> [https://www.atmosud.org/sites/paca/files/publications\\_import/files/121200\\_AirPACA\\_AERA\\_impact\\_Poids\\_Lourds\\_A8\\_net.pdf](https://www.atmosud.org/sites/paca/files/publications_import/files/121200_AirPACA_AERA_impact_Poids_Lourds_A8_net.pdf)

*Figure 2 : Concentrations en PM10 autour de la centrale thermique de Provence en 2015 – centile 90.4 annuel des moyennes journalières (source AtmoSud<sup>14</sup>)*

Les principales limites des simulations faites avec ADMS-Urban sont l’homogénéité des conditions météorologiques à l’intérieur du domaine, ne permettant pas les perturbations d’écoulement dues à la présence d’obstacle comme des bâtiments ainsi que la déformation du panache au cours du temps.

---

<sup>14</sup> [https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/170523\\_airpaca\\_uniper\\_modelisation\\_etat0.pdf](https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/170523_airpaca_uniper_modelisation_etat0.pdf)



## 6. Conclusion

Dans les zones pilotes identifiées par le projet, une combinaison d'approches de modélisation et d'analyse de terrain sera appliquée pour caractériser au mieux la contribution du trafic maritime et portuaire à la qualité de l'air urbain. La meilleure stratégie sera développée au cours du projet, parallèlement à la planification et à l'exécution des campagnes de mesure, en fonction des particularités des zones portuaires étudiées, telles que la configuration géographique ou la prévalence des types de sources (ponctuelles, linéaires, surfaciques) à inclure dans le domaine d'investigation.

Sur la base de ces considérations, une approche de modélisation pourrait être préférée à une autre, ainsi que une intégration de plusieurs modèles.

L'approche eulérienne, telle qu'utilisée par Chimere, permet la description complète de toutes les espèces chimiques entrées dans le domaine de calcul et provenant de ses bords, ainsi que de leurs interactions photochimiques. Étant déjà intégré à l'inventaire des émissions, il fournit une estimation des contributions des polluants provenant des ports, des villes et d'autres sources (y compris les sources naturelles). En outre, ces contributions peuvent être comparées aux résultats du "modèle récepteur", qui est utilisé à partir des concentrations mesurées des principales espèces chimiques dont la matière particulaire est composée, fournissant ainsi également les données nécessaires à la fermeture du bilan massique. Toutefois, la résolution de ces modèles ne descend pas en dessous d'une maille de 1 km, de sorte qu'ils peuvent fournir des indications sur les tendances de concentration moyennées dans l'espace. En outre, Chimere n'est pas le choix le plus efficace lorsqu'il s'agit d'inclure des sources ponctuelles d'émission à variante temporelle spécifique au site, comme dans le cas de la surveillance des approches et des départs de navires.

Pour ce dernier aspect, le meilleur choix se porte sur les modèles lagrangiens (PMSS et CALPUFF) qui peuvent aller jusqu'à la résolution suffisante pour distinguer les bâtiments et peuvent reproduire fidèlement le comportement d'un effluent dans les cas les plus complexes. D'autre part, les champs de concentration calculés par les modèles à haute résolution ne retraceront que la contribution des émissions portuaires, de sorte que la validation avec les données observées fera l'objet de stratégies appropriées : soit en se référant à des unités de contrôle positionnées avec précision de manière à être principalement affectées par les émissions des navires, soit en utilisant un traceur caractéristique.

Du point de vue de la modulabilité des scénarios, une approche gaussienne évoluée telle que celle d'ADMS permettrait une gestion aisée (linéaire) de la superposition des effets des différentes sources de pollution, ainsi que de leur variation dans le temps, au prix d'une simplification dans la précision de la dispersion, en particulier sur des terrains complexes et urbanisés. Il faut dire aussi que l'approche stationnaire rend difficile la reproduction réaliste d'un événement réel suivi sur le terrain, comme c'est le cas avec l'allumage et l'extinction des moteurs des navires tout au long de la journée.

Par conséquent, l'application de deux modèles "couplés" ou parallèles n'est pas exclue, ou plutôt probable, afin de vérifier mutuellement la cohérence des relations entre les émissions insérées et les retombées au sol, en espérant obtenir un feedback utile pour tester les informations fournies par les inventaires d'émissions.

En conclusion, l'activité 2.2 devrait conduire à la définition d'un scénario de base fiable à partir duquel développer de futurs scénarios de réduction. La particularité des années 2020 et 2021, caractérisées par la pandémie en cours, pourrait ajouter une difficulté supplémentaire dans l'estimation de ce qui devrait être considéré comme l'année "de base", étant donné que nous sommes dans une situation très atypique de tendance des émissions du trafic routier et des ports. Il peut donc s'avérer nécessaire de rééchelonner les données d'émissions à une année antérieure au confinement (lockdown).