

L'air et le climat n'ont pas **de frontières**



**ANALYSE DES IMPACTS FUTURS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
SUR LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES VALLÉES ALPINES**

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Cofinanziato
dall'Unione Europea

AtmoSud
Inspirer un air meilleur

vosre parten'air
Atmo
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Arpa
Agencia Regionale
per la Protezione Ambientale

ARPA
Valle d'Aosta

ARPAL
Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure

France – Italia ALCOTRA

ALP'AERA : le projet et ses objectifs

Les Alpes changent. Des températures record depuis plus de vingt ans, un isotherme zéro degré de plus en plus haut, des glaciers en recul et des événements extrêmes de plus en plus fréquents confrontent ce territoire unique à des défis inédits.

Au-delà de ses effets les plus visibles, le changement climatique influence aussi la qualité de l'air dans les vallées alpines, avec des conséquences qui exigent une analyse approfondie pour en évaluer l'impact futur sur un écosystème aussi vulnérable.

ALP'AERA est né pour répondre à ces défis : une coopération transfrontalière entre la France et l'Italie pour comprendre comment le climat en évolution influencera la qualité de l'air au cours des prochaines décennies.



ALP'AERA en bref

Projet transfrontalier financé par le Programme Interreg ALCOTRA France-Italie 2021-2027. Il soutient la gouvernance dans l'adaptation aux effets du climat sur la qualité de l'air dans les vallées alpines, avec des indicateurs partagés et un tableau de bord pour suivre les changements en cours.



Pourquoi c'est important

Les gaz à effet de serre et les aérosols modifient le climat alpin avec des effets concrets : recul des glaciers, hivers moins enneigés et répercussions sur le tourisme, vagues de chaleur et sécheresses estivales, impacts sur la santé liés à la qualité de l'air.

Objectifs du projet



Effets du climat sur l'air

Comprendre comment le changement climatique influencera la qualité de l'air dans l'espace ALCOTRA, aujourd'hui et dans les décennies à venir, en corrélant paramètres climatiques et polluants.



Tendances des émissions

Tendances d'évolution des polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre face aux changements en cours des activités humaines et des processus naturels.



Scénarios futurs 2050-2070

Projections détaillées du climat et de la qualité de l'air comme base de connaissances pour les choix d'adaptation que les administrations de l'espace ALCOTRA devront faire.

Les activités

Le travail s'articule autour de trois axes stratégiques complémentaires.

1

Surveillance des polluants atmosphériques

Renforcer et harmoniser l'observation des polluants et des paramètres climatiques associés pour obtenir des séries fiables et comparables entre les territoires.

2

Inventaires des émissions harmonisés

Mettre à jour et intégrer les inventaires des polluants et des gaz à effet de serre, pour créer une base solide d'analyses et de scénarios partagés.

3

Modélisation des scénarios futurs

Simuler avec des modèles avancés l'évolution du climat et de la qualité de l'air à moyen et long terme, en évaluant les impacts et les mesures d'adaptation.

Résultats attendus



Réseau de surveillance renforcé

Optimisation des points de mesure et standardisation des protocoles d'acquisition des données, pour une couverture plus fine du territoire transfrontalier et des mesures plus fiables.



Indicateurs partagés

Indicateurs clés harmonisés à l'échelle transfrontalière pour suivre les dynamiques climatiques et la qualité de l'air dans l'espace ALCOTRA : des références pour les politiques environnementales et les plans d'action locaux.



Recommandations stratégiques

Un ensemble complet de leviers d'action concrets pour les décideurs publics aux niveaux local, régional et national, fondés sur des données scientifiques partagées et validées par le comité scientifique transfrontalier.



Tableau de bord interactif

Une plateforme numérique accessible aux techniciens, aux élus et aux citoyens, pour consulter des données à jour, visualiser des indicateurs pertinents et analyser les tendances de façon simple et immédiate.

Gouvernance scientifique

Un comité scientifique transfrontalier, composé d'experts, d'observatoires et d'agences environnementales régionales, guide et supervise les activités pour garantir la qualité méthodologique, la cohérence et la transférabilité des résultats.

Budget

	Budget total	Budget FEDER	Contreparties
Italie	955 250 €	764 200 €	191 050 €
France	1 044 540 €	835 632 €	208 908 €
Total	1 999 790 €	1 599 832 €	399 958 €



Découvrez le projet
www.alpaera.eu



Vidéos du projet
YouTube @AlpAera

NOS PARTENAIRES

ALP'AERA réunit l'expertise d'organismes de référence dans la surveillance environnementale transfrontalière.

France

AtmoSud (chef de file)
Qualité de l'air en Provence-Alpes-Côte d'Azur

Atmo AURA
Qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes

Italie

ARPA Piemonte
Protection de l'environnement du Piémont

ARPA Valle d'Aosta
Protection de l'environnement de la Vallée d'Aoste

ARPA Liguria
Protection de l'environnement de Ligurie



Surveillance des polluants atmosphériques

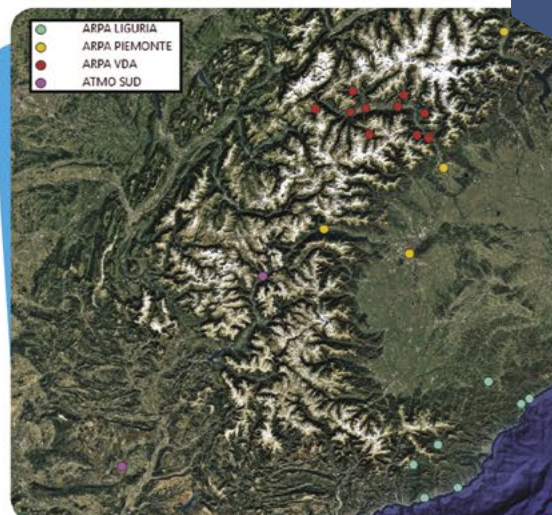
L'atmosphère ne connaît pas de frontières administratives : les masses d'air circulent librement à travers les cols alpins et transportent les polluants d'une région à l'autre. C'est pourquoi il est important de surveiller, à l'échelle transfrontalière, la qualité de l'air dans les vallées alpines, en particulier dans le contexte du changement climatique.

Mesures partagées et nouvelles campagnes de mesure

Les activités menées dans le cadre du projet ALP'AERA ont permis non seulement de mettre en commun les mesures réalisées par les différents partenaires, mais aussi de les compléter grâce à des campagnes de surveillance supplémentaires. Ces activités visaient à :

- étudier des portions de territoire encore peu connues ;
- estimer des polluants dits « émergents » comme le black carbon et les particules ultrafines ;
- évaluer l'utilisation d'instruments non conventionnels (micro-capteurs, aethalomètre) pour la mesure des polluants atmosphériques.

Sites de mesure du projet ALP'AERA



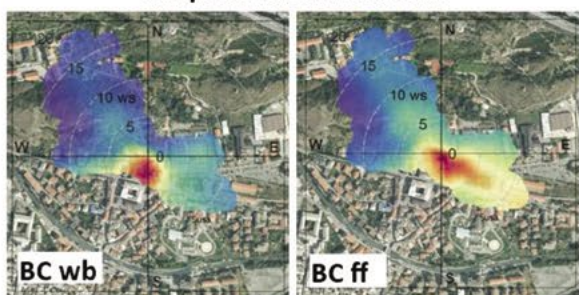
Un polluant peu connu : le black carbon

Le black carbon (BC) est une composante carbonée des particules atmosphériques, avec des effets sur la santé et le climat, issue principalement des processus de combustion. La nouvelle directive européenne sur la qualité de l'air en impose la mesure (UE 2024/2881).

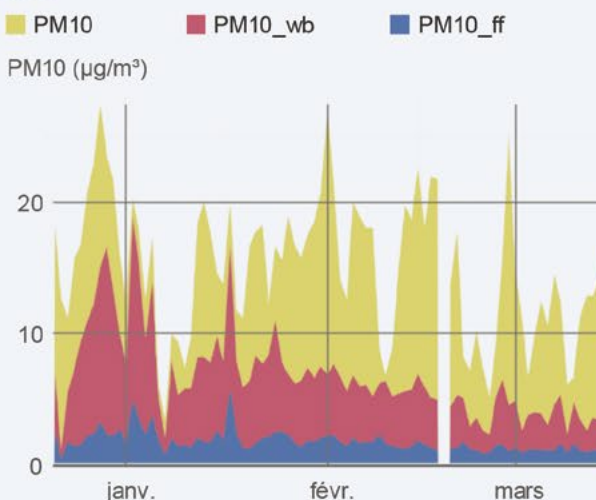
AtmoSud et ARPA Piemonte ont mesuré le BC sur 4 sites (Briançon et l'Observatoire de Haute-Provence en France, Ivrea et Susa en Italie) à l'aide d'aethalomètres. Ces instruments fournissent, outre la concentration de BC, des informations sur la composante issue des combustibles fossiles, BCff (c'est-à-dire le trafic routier), et sur celle issue de la biomasse, BCwb (c'est-à-dire le chauffage ou les brûlages). Des traitements complémentaires permettent en outre d'estimer la contribution du BC aux niveaux de PM10 (voir série temporelle à Briançon ci-dessous).

Le traitement des données de black carbon mesurées lors des campagnes indique une prédominance de la composante liée au trafic routier sur les 4 sites de mesure.

Composantes du BC à Suse



Pour la composante issue de la combustion de biomasse (BCwb, à gauche sur la figure), les concentrations les plus élevées s'observent par vent faible, ce qui suggère l'influence prédominante de sources locales, proches du point de mesure. Pour la composante issue de la combustion de combustibles fossiles (BCff, à droite sur la figure), les concentrations restent significatives même par vent plus fort, ce qui indique des sources plus lointaines.

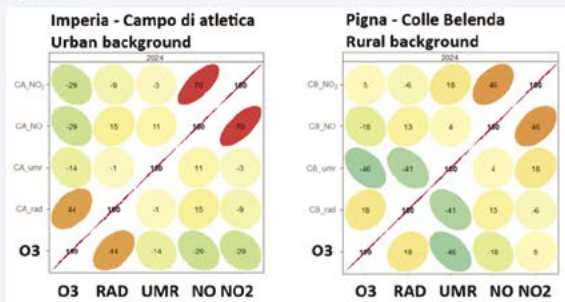


Contribution de la combustion de combustibles fossiles et de biomasse aux concentrations de PM10 à Briançon, de décembre 2023 à mars 2024

L'ozone : polluant secondaire et gaz à effet de serre

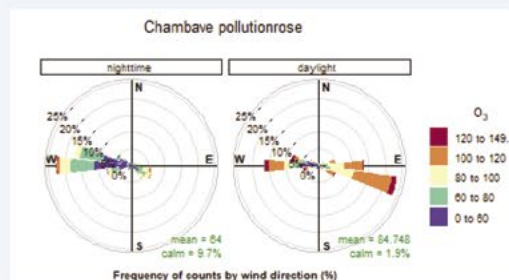
L'ozone est un polluant d'origine secondaire, dont la formation dépend fortement de la présence de composés précurseurs et des conditions météo-climatiques, avec des effets sur la santé humaine et sur l'environnement. Mais c'est aussi un **gaz à effet de serre**. Cette double nature rend particulièrement importants sa surveillance et la compréhension des dynamiques de formation et de transport.

Les mesures d'ARPA Liguria réalisées avec des instruments conventionnels sur deux sites montrent la **forte dépendance météo-photochimique** de l'ozone et le rôle de réduction locale exercé par le trafic sur les sites urbains.



Matrice de corrélation entre les mesures pour les deux sites de Ligurie

ARPA Vallée d'Aoste quant à elle mis en place un réseau de micro-capteurs qui a permis d'évaluer la répartition spatiale des niveaux d'ozone et de mettre en évidence la hausse des valeurs causée **par l'arrivée de masses d'air polluées** depuis les régions voisines.

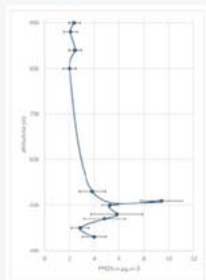


Concentration d'ozone sur un site de fond de vallée (Chambave) en Vallée d'Aoste

Campagnes de mesure par drone dans les vallées alpines

Dans le cadre de la campagne de mesure prévue par le projet, ALP'AERA a testé l'utilisation de drones équipés de capteurs avancés pour surveiller la qualité de l'air dans les vallées alpines, souvent difficiles d'accès avec les techniques de mesure traditionnelles.

En Haute-Savoie, l'équipe d'Atmo AURA a mené une mission expérimentale près de Bonneville pour évaluer en conditions réelles les émissions d'une cheminée à bois, ainsi que les profils verticaux de pollution en altitude.



Le drone en vol et le profil vertical mesuré

En parallèle, AtmoSud, chef de file du projet, a développé avec AirCarto des capteurs MobileAir capables de mesurer non seulement les particules fines, mais aussi l'ozone et les oxydes d'azote, grâce aux nouvelles sondes ENVEA qualifiées à la station de référence de Marseille Longchamp.



L'un des drones utilisés lors des campagnes de mesure

Cette approche complémentaire – expérimentation sur le terrain d'une part, développement et qualification des instruments d'autre part – pose les bases d'une utilisation fiable et systématique de cette technologie. Les drones offrent un avantage sans précédent pour la surveillance de l'air dans les vallées alpines : ils atteignent des zones inaccessibles, caractérisent les profils de pollution en altitude et permettent d'intervenir rapidement en cas d'épisode de pollution aiguë ou d'accident industriel.

Pour en savoir plus

Rapports et données complètes sur le site : alpaera.eu > Résultats > Surveillance



Densification du réseau de mesure des polluants atmosphériques dans les départements alpins.



Mesures expérimentales par drone des concentrations de particules fines dans l'air ambiant d'une vallée alpine



Données d'ensoleillement par satellite : potentiel d'utilisation pour améliorer la modélisation de l'ozone



Regardez les vidéos des mesures par drone

Les émissions atmosphériques

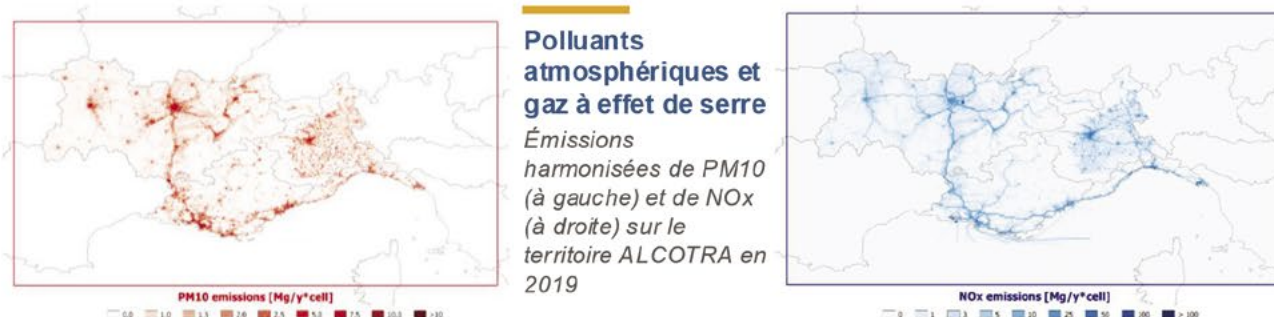
La connaissance des sources et du total des émissions des différents polluants est essentielle pour élaborer des scénarios d'émissions et mettre en œuvre des actions d'amélioration de la qualité de l'air. Les émissions ne sont pas figées : elles évoluent avec les technologies, les consommations, les habitudes quotidiennes et le changement climatique.

Inventaire harmonisé

À partir des inventaires régionaux, une base d'émissions unique et harmonisée a été construite pour l'espace ALCOTRA, selon trois axes :

- **Harmonisation géographique** – les données des régions italiennes, disponibles à l'échelle communale, et celles des régions françaises, disponibles à une résolution de 1 km, ont été réunies dans une base de données unique, spatialisée sur une grille régulière.
- **Harmonisation des catégories d'émission** – pour les besoins de la modélisation, toutes les données ont été classées selon la nomenclature SNAP97, avec un code à trois chiffres (macro-secteur, secteur et activité). Ainsi, pour chaque région de l'espace ALCOTRA, les émissions de chaque polluant peuvent être réparties entre les différents secteurs émetteurs.
- **Harmonisation des profils temporels** – les modulations mensuelles, hebdomadaires et journalières des différents partenaires ont été uniformisées, afin de passer des émissions annuelles à des données désagrégées au pas horaire.

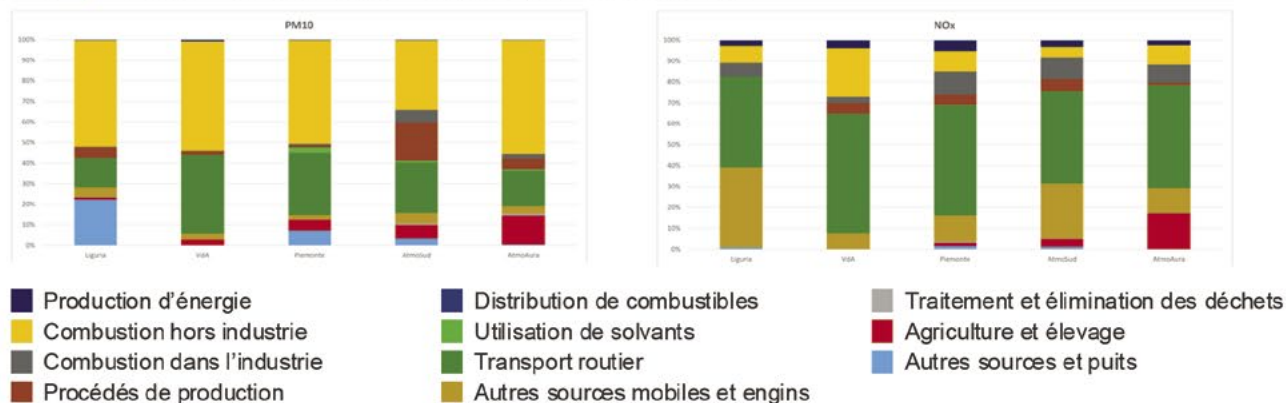
L'inventaire harmonisé est la base sur laquelle construire le scénario de référence, c'est-à-dire la description de l'état actuel de la qualité de l'air, point de départ pour définir les scénarios futurs de l'espace transfrontalier.



Les sources d'émission

Pour toutes les régions du domaine ALCOTRA, les émissions de PM10 proviennent principalement du secteur du **chauffage résidentiel**.

Le **transport routier** est en revanche la principale source de NOx.



Les sources d'émission par région

Répartition en pourcentage des émissions de PM10 (à gauche) et de NOx (à droite) par secteur et par région

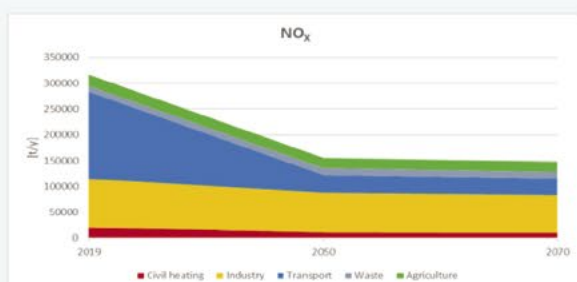
L'évolution des émissions aux horizons 2050 et 2070

Les scénarios d'émissions pour l'**horizon moyen terme 2050** ont été construits en projetant les émissions selon les tendances issues du modèle GAINS-Europe17 (Greenhouse gas–Air pollution Interactions and Synergies, Amann et al., 2011). Le scénario d'émissions le plus récent a été utilisé, à savoir le CLE ECLIPSE v6 publié par l'IASA en 2019 : **il tient compte de toutes les réglementations en vigueur et des politiques de lutte contre la pollution atmosphérique à l'année de référence, soit 2015 (Current Legislation).**

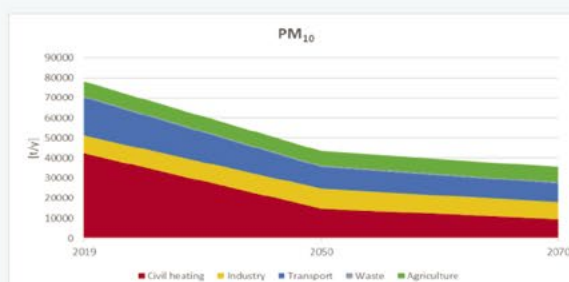
Pour l'**horizon long terme 2070**, les scénarios d'émissions ont été estimés en projetant les émissions selon les tendances diffusées par ECCAD-AERIS20. Le scénario retenu est le SSP3-7.0 CLE (Current Legislation) développé en 2018 : un scénario global qui décrit comment les émissions futures pourraient **évoluer en fonction du développement socio-économique, de la démographie et des progrès technologiques**, dans le contexte de l'atténuation du changement climatique et de l'adaptation à ses effets au cours du XXI^e siècle.

À partir de l'inventaire harmonisé, l'évolution a été différenciée à la fois selon l'État (France, Italie) et selon le macro-secteur.

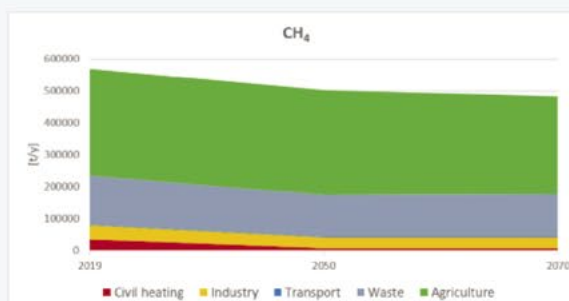
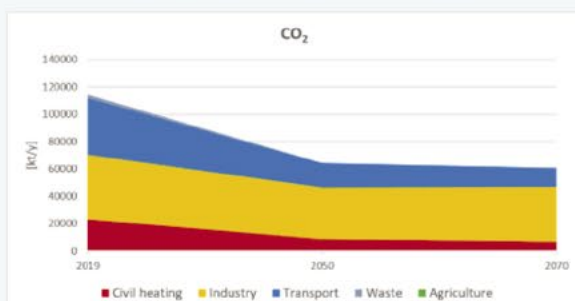
Pour les **oxydes d'azote**, une forte baisse des émissions du secteur des transports est attendue.



Pour les **PM10**, le secteur du chauffage résidentiel joue un rôle important dans la baisse des émissions.



Pour les **gaz à effet de serre**, une baisse des émissions est également attendue dans les transports et le chauffage résidentiel (surtout pour le CO₂). Pour les émissions liées aux activités agricoles et au traitement des déchets, aucune variation notable n'est observée.



Toutes les émissions sont exprimées en t/an, sauf celles de CO₂ en kt/an

Pour en savoir plus

Rapports et données complètes sur le site :
alpaera.eu > Résultats > Émissions



Espèces de composés organiques volatils - État de l'art et potentiel de formation d'ozone dans l'espace ALCOTRA



Systèmes de réfrigération et de climatisation : recensement des usages et des méthodes de calcul des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre



Évolution des émissions de composés organiques volatils biogéniques en lien avec le changement climatique



Évolution des émissions du chauffage dans le contexte du changement climatique



Usages des outils numériques : Bibliographie des impacts sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre et méthodologie d'estimation

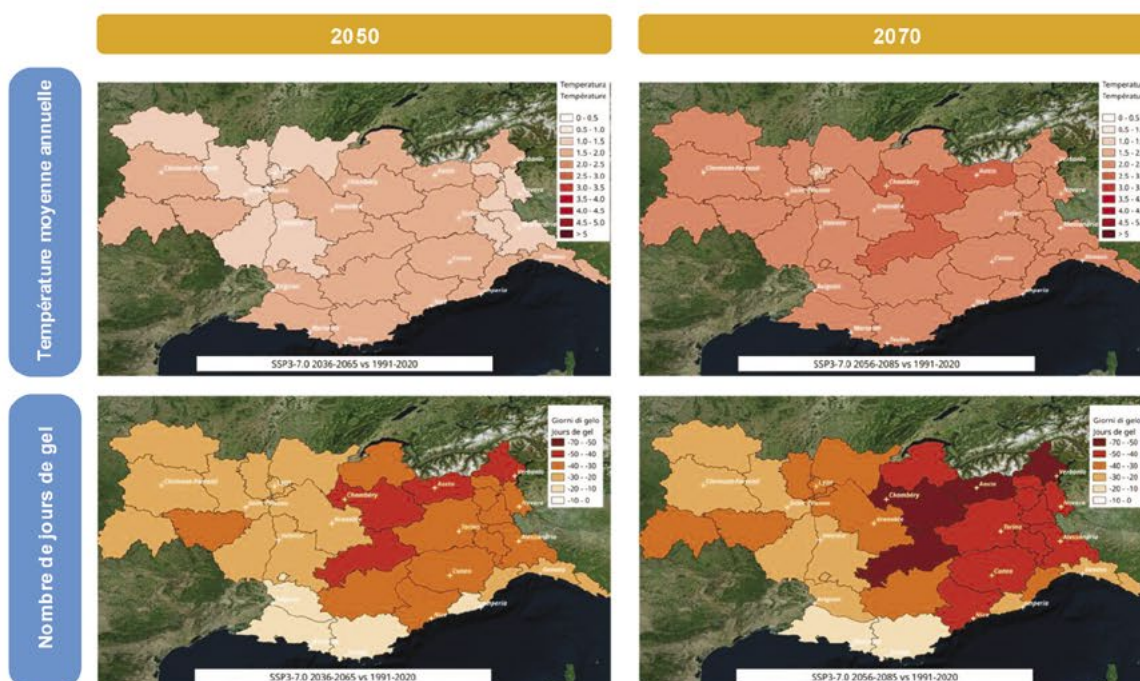
L'impact du changement climatique sur la qualité de l'air dans le territoire ALCOTRA

Évolution du climat et scénarios de qualité de l'air aux horizons 2050 et 2070.

Évolution du climat aux horizons 2050 et 2070

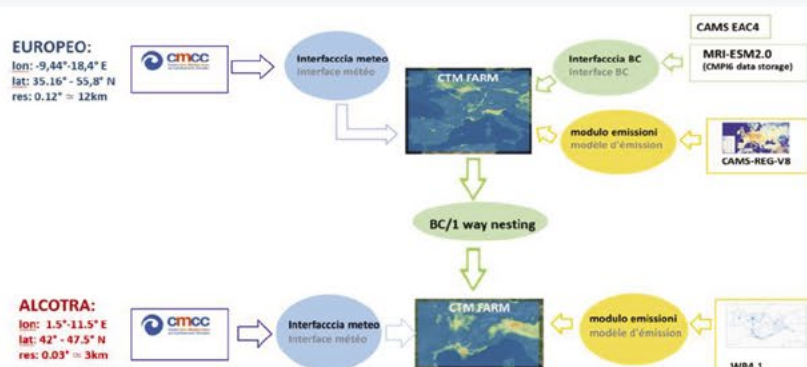
Les simulations climatiques ont été réalisées par le CMCC avec le modèle climatique COSMO-CLM, en utilisant le forçage climatique SSP3-7.0, qui correspond au récit « Regional Rivalry », caractérisé par une faible coopération internationale, un développement socio-économique inégal et une ambition limitée des politiques environnementales. Par rapport à la moyenne 1991-2020 :

- pour la **température moyenne**, une hausse de 1 à 2 °C est attendue dans toutes les régions à l'horizon moyen terme 2050, plus marquée à l'horizon 2070.
- pour le **nombre de jours de gel**, une baisse générale est prévue, plus marquée à l'horizon 2070 qu'à l'horizon 2050, surtout dans les zones de montagne alpines, avec 40 à 60 jours de gel en moins par an.



Scénarios de qualité de l'air aux horizons 2050 et 2070

Les simulations de la qualité de l'air future ont été réalisées avec une chaîne intégrée de modèles numériques, mise en œuvre par ARPA Piemonte, qui produit des simulations de la qualité de l'air à haute résolution spatiale (environ 3 km) sur l'ensemble du territoire transfrontalier. Le cœur du système est un modèle numérique tridimensionnel de chimie et de transport des polluants atmosphériques, FARM.



Les données d'entrée

Les données météorologiques d'entrée sont les **scénarios climatiques 2050 et 2070** ; pour les émissions, ont été utilisés les scénarios d'émissions construits à partir du scénario de référence de **l'inventaire harmonisé** sur le territoire ALCOTRA.

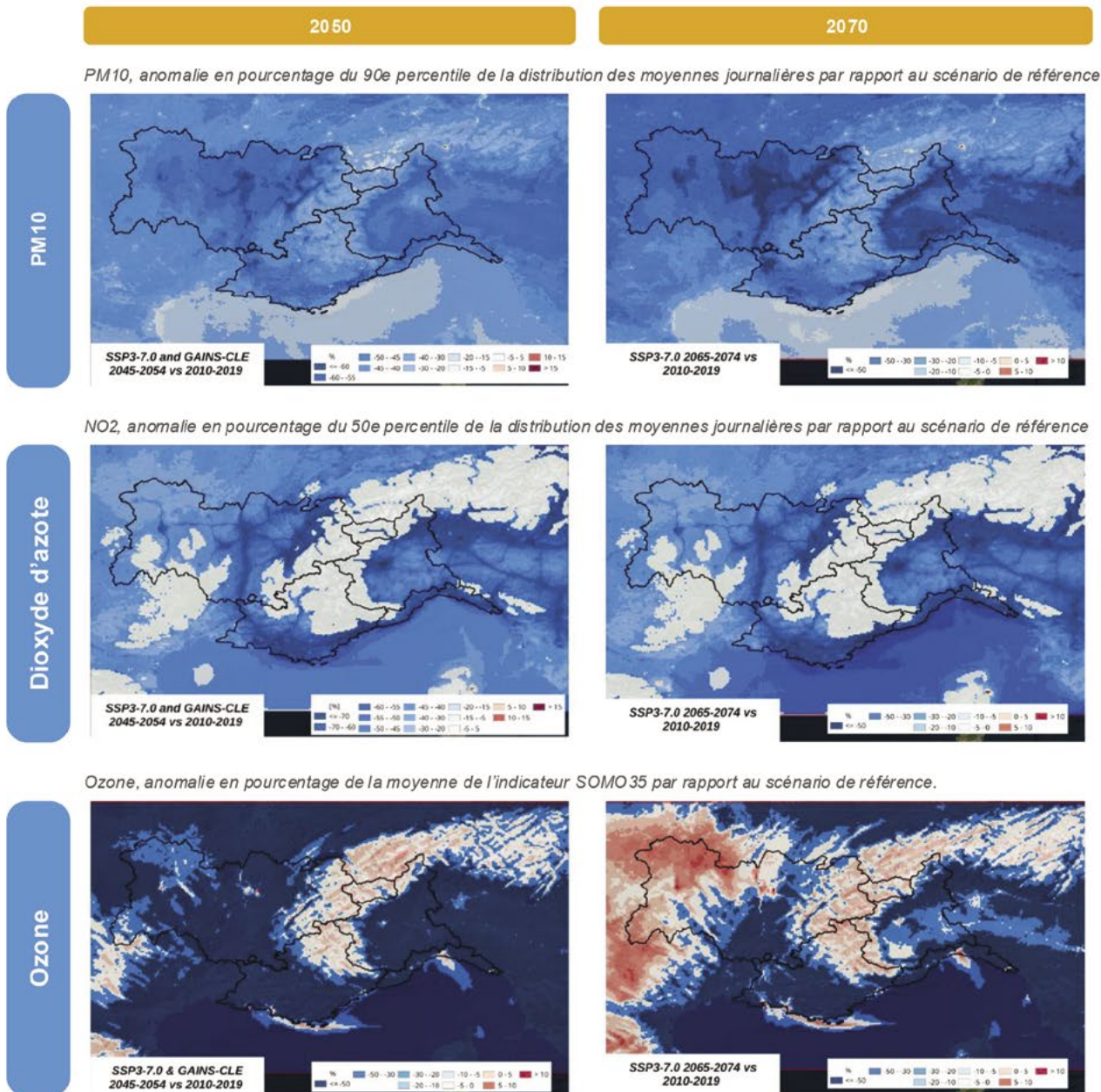
Évolution de la qualité de l'air aux horizons 2050 et 2070

Pour les **PM10** et **PM2,5**, des baisses généralisées sont prévues sur tout le territoire, plus marquées dans les zones les plus urbanisées et en hiver, surtout pour les percentiles les plus élevés de la distribution des moyennes journalières.

Pour le **dioxyde d'azote**, une forte baisse des concentrations moyennes journalières est attendue sur tout le domaine, plus importante dans les zones urbaines et le long des principaux axes routiers, plus limitée en montagne. Pour l'**ozone**, les résultats sont plus complexes : les concentrations médianes tendent à augmenter, en particulier en zone urbaine, tandis que les valeurs les plus élevées varient peu ou diminuent légèrement.

L'exposition de la population, évaluée avec l'indicateur **SOMO35**, augmente dans les zones de montagne et les principaux pôles urbains (en particulier pour l'horizon long terme), et diminue ailleurs.

Malgré la baisse généralisée des concentrations, la projection sur la période 2045-2054 des données mesurées par les stations de surveillance en 2010-2019 montre qu'un risque résiduel de dépassement des nouvelles valeurs limites journalières introduites par la directive 2024/2881 pourrait persister.



Indicateurs Climat & Air ALCOTRA

Le tableau de bord ALP'AERA au service de l'espace transfrontalier France-Italie

Observations, émissions et scénarios 2050 et 2070 réunis dans un portail unique au service des territoires alpins franco-italiens.

Pour rendre les **résultats scientifiques accessibles et utiles** à l'action publique, le projet ALP'AERA a développé le **tableau de bord Climat & Air ALCOTRA**, disponible sur le site du projet. Cet outil réunit en un seul espace les indicateurs issus des **quatre volets** du projet — surveillance, émissions, scénarios climatiques et qualité de l'air — enrichis par les échanges du **comité d'experts transfrontalier**. Il permet de suivre à la fois l'**évolution actuelle des polluants** (particules fines, ozone, black carbon) et les **tendances climatiques attendues** aux horizons 2050 et 2070 sur le territoire ALCOTRA. Conçue conjointement par les **partenaires français et italiens**, la plateforme offre une **lecture harmonisée** des mesures et des scénarios futurs à l'échelle de l'ensemble de l'espace alpin transfrontalier entre la France et l'Italie.



Le tableau de bord des observations

Séries historiques depuis 2012 pour les particules (PM10 et PM2,5), l'ozone et les oxydes d'azote : tendances de long terme, zones les plus exposées et comparaison avec les valeurs réglementaires et les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé.

Le tableau de bord des émissions

Analyse des émissions par secteur (résidentiel, transports, industrie, agriculture...) et par région, pour orienter les politiques locales – des Plans Climat-Air-Énergie français aux Plans de protection de la qualité de l'air italiens – vers les actions les plus efficaces.

Le tableau de bord des scénarios futurs

Le module le plus innovant : des projections du climat et de la qualité de l'air aux horizons 2050 et 2070, obtenues en combinant plusieurs scénarios d'émissions et climatiques pour anticiper les défis environnementaux et les phénomènes émergents, comme la diffusion croissante de la climatisation, y compris dans les régions alpines.



Un outil pour l'avenir

Destiné à rester opérationnel après la fin du projet, le tableau de bord se veut un outil de référence pour orienter les décideurs publics dans les politiques d'adaptation au changement climatique et de lutte contre la pollution atmosphérique.



Explorez le portail
alpaera-data.atmosud.org

Comité d'experts et communication

Le comité d'experts transfrontalier et les canaux de communication du projet

Le comité d'experts

Pour garantir la rigueur scientifique du projet, ALP'AERA s'est doté d'un comité d'experts transfrontalier composé de chercheurs et de spécialistes français et italiens en climatologie et en qualité de l'air. Réuni deux fois par an en visioconférence pendant toute la durée du projet, le comité a orienté les choix méthodologiques et discuté les résultats scientifiques au fur et à mesure de leur production, en favorisant un dialogue réellement interdisciplinaire entre le monde de la recherche et les partenaires opérationnels.

Juin
2024

Émissions et météorologie

Le lien entre émissions et conditions météorologiques dans le contexte du changement climatique : chauffage au bois, climatisation, usages numériques et émissions biogéniques, avec les premières modélisations de la qualité de l'air aux horizons 2050 et 2070.

Décembre
2024

Focus sur l'ozone

Polluant secondaire sensible à la météorologie : si les pics estivaux diminuent, les concentrations moyennes restent préoccupantes. Analyse de l'influence du climat et des apports transfrontaliers d'ozone dans l'espace ALCOTRA.

Juillet
2025

Projections climatiques

Projections à moyen et long terme selon le scénario SSP3-7.0, présentées par le CMCC : la base des modélisations de la qualité de l'air, à commencer par les particules fines.

Juin
2026

Impacts sur la qualité de l'air

Les projections climatiques et leurs effets sur la qualité de l'air dans l'espace ALCOTRA aux horizons 2050 et 2070, en clôture du cycle des quatre comités.

Le comité d'experts est un pilier de la gouvernance technique du projet ALP'AERA : il a permis d'identifier les leviers d'action les plus pertinents à communiquer aux décideurs publics.

Les comptes rendus des comités sont disponibles sur le site du projet.

La communication d'ALP'AERA



Site web et newsletters

Le site www.alpaera.eu rassemble **les actualités, documents et résultats du projet**, ainsi que quatre newsletters qui présentent les activités, les campagnes de mesure et les résultats du projet aux élus locaux, aux professionnels du secteur et aux citoyens.



Réseaux sociaux et vidéos

Le projet est présent sur Instagram, LinkedIn, Facebook et YouTube (@AlpAera). Sur la chaîne YouTube, les vidéos des campagnes de mesure, des vallées alpines aux mesures de particules par drone.



Études et approfondissements

Dans la rubrique **Résultats** du site web, les rapports techniques sur les campagnes de **surveillance**, l'inventaire des **émissions** et les **scénarios** climat et air aux horizons 2050 et 2070.



Regardez les vidéos du projet
youtube.com/@AlpAera

**Suivez-nous
pour en savoir
plus !**

L'air et le climat n'ont pas de frontières

SUIVEZ ALP'AERA : DONNÉES, RÉSULTATS ET OUTILS
POUR LA GOUVERNANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR
DANS LES TERRITOIRES ALPINS



Restez en contact avec le projet

Site web du projet www.alpaera.eu

Tableau de bord alpaera-data.atmosud.org

Site ALCOTRA interreg-alcotra.eu

Contact alpaera@arpa.vda.it

Instagram [@alpaera_alcotra](https://www.instagram.com/alpaera_alcotra)

LinkedIn [linkedin.com/showcase/alp-aera](https://www.linkedin.com/showcase/alp-aera)

Facebook ALP'AERA

YouTube [youtube.com/@AlpAera](https://www.youtube.com/@AlpAera)



SITE WEB



TABLEAU DE BORD



VIDÉOS DU PROJET

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Cofinanziato
dall'Unione Europea

AtmoSud
Inspirer un air meilleur

Atmo
votre partenaire
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Arpa
Agencia Regionale
per la Protezione Ambientale

ARPA
Valle d'Aosta

ARPAL
Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure

France – Italia ALCOTRA