Pollution de l'air : quelle exposition des populations et des écosystèmes dans le Rhin supérieur ?

Luftverschmutzung: Wie stark sind Bevölkerung und Ökosysteme am Oberrhein betroffen?

Interreg

Oberrhein | Rhin Supérieur

Kofinanziert von der Europäischen Union
Cofinancé par l'Union Européenne

atmo rhena PLUS

Atmo-Rhena PLUS : préservation transfrontalière de l'atmosphère

Co-financé par le programme Interreg VI Rhin Supérieur de l'Union européenne de 2023 à 2026, Atmo-Rhena PLUS a pour mission de fournir des états des lieux et des indicateurs de suivis chiffrés et harmonisés des enjeux air, climat, énergie, afin d'encourager les décideurs politiques du Rhin supérieur à agir de concert dans la lutte contre les dérèglements climatiques et la pollution atmosphérique. Ces informations permettent de développer des plans et actions sur l'amélioration de la qualité de l'air et l'atténuation du changement climatique à l'échelle transfrontalière.

Pourquoi des cartes de concentration pour le Rhin supérieur ?

La spatialisation des concentrations permet, en complément des mesures ponctuelles, d'identifier les secteurs à enjeux et d'effectuer des croisements avec d'autres données géolocalisées. Il est ainsi possible de calculer les surfaces exposées à des dépassements de valeurs réglementaires et lignes directrices de l'OMS.
Si des données de population ou des cartes d'écosystèmes sont disponibles, leurs expositions peuvent être évaluées. Des liens peuvent aller plus loin et permettre des calculs d'impact sur la santé, des aspects sociaux-économiques, des pertes de rendement agricole et forestier.

Le portail sur la qualité de l'air dans la région du Rhin supérieur

Atmo-Rhena PLUS: Grenzüberschreitender Schutz der Atmosphäre

Atmo-Rhena PLUS ist ein von der Europäischen Union kofinanziertes Interreg-VI-Projekt für das Oberrhein-Gebiet, welches von 2023 bis 2026 läuft. Das Ziel des Projekts ist es, eine Bestandsaufnahme vergleichbarer und quantifizierbarer Daten aus den Bereichen Luft, Klima und Energie für das Oberrheingebiet bereitzustellen, um die politischen und gesellschaftlichen Entscheidungsträger am Oberrhein zu ermutigen, gemeinsam beim Einsatz gegen den Klimawandel und die Luftverschmutzung zu handeln. Diese Informationen ermöglichen die Entwicklung von Plänen und Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität und Minderung des Klimawandels auf grenzüberschreitender Ebene.

Warum sind Konzentrationskarten für das Oberrheingebiet wichtig?

Die räumliche Darstellung der Konzentrationen von Luftschadstoffen ermöglicht ergänzend zu punktuellen Messungen, betroffene Gebiete zu identifizieren und Abgleiche mit anderen geolokalisierten Daten durchzuführen. So lassen sich die Flächen bestimmen, in denen Normen, Zielwerten und Leitlinien der WHO überschritten werden.
Liegen Bevölkerungsdaten oder Karten zu Ökosystemen vor, kann auch deren Belastung bewertet werden. Darüber hinaus sind weiterführende Analysen möglich, etwa zu gesundheitlichen Auswirkungen, sozioökonomischen Aspekten oder zu Ertragsausfällen in der Land- und Forstwirtschaft.

Das Luftqualitätsportal für den Oberrhein

Méthode et définitions

Methoden und Definitionen

Les concentrations de polluants atmosphériques dans l'air ambiant

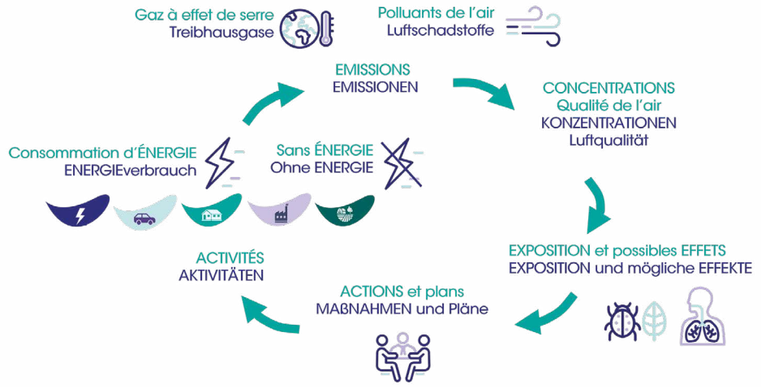
La qualité de l'air se définit en fonction des concentrations, ou immissions, de polluants atmosphériques présents dans l'air, qui peuvent avoir un effet sur la santé et/ou les écosystèmes et/ou les bâtiments. Ces concentrations résultent des fluctuations des émissions (selon les variations des activités ou suite à des actions d'amélioration), mais également des conditions météorologiques qui jouent sur la dispersion, la transformation chimique et le dépôt de polluants : c'est le cycle de la qualité de l'air.

Konzentrationen der Luftschadstoffe in der Umgebungsluft

Die Luftqualität wird durch die Konzentrationen, bzw. Immissionen, der in der Luft vorhandenen Schadstoffe definiert, die die Gesundheit, Ökosysteme und Gebäude beeinträchtigen und schaden können. Die Höhe der Konzentrationen hängt dabei sowohl von den Emissionen ab, die infolge von Veränderungen der Aktivitäten oder Verbesserungsmaßnahmen schwanken können, als auch von den meteorologischen Bedingungen, welche die Ausbreitung und die chemische Umwandlung in der Luft sowie die Ablagerung von Schadstoffen beeinflussen: Dies wird als Kreislauf der Luftqualität bezeichnet.

Différence entre émissions et concentrations de polluants dans l'air

Unterschied zwischen Schadstoffemissionen und Schadstoffkonzentrationen in der Luft



Modélisation des concentrations

En fonction de leur nature et des données disponibles, les polluants ont été modélisés et sont présentés à 1km (O_3, $PM_{2,5}$, NH_3) ou à 10m (NO_2, PM_{10}). Les cartes de NH_3 sont une première dans le Grand Est. L'évaluation des concentrations en polluants à haute résolution représente un enjeu important puisque des dépassements des seuils réglementaires y sont observés. Sur certains territoires les émissions linéaires n'ont pas été fournies donc les modélisations peuvent avoir des incertitudes plus élevées. Les modèles CHIMERE et SIRANE sont utilisés pour la modélisation :

- **Modélisation jusqu'au kilomètre avec le modèle CHIMERE :** CHIMERE est un modèle de chimie-transport atmosphérique co-développé en France par l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) et l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), permettant d'évaluer les niveaux de concentration en polluants de l'échelle régionale jusqu'à l'échelle continentale avec une résolution kilométrique. Il est un composant essentiel de la plateforme de modélisation PREVEST/Atmo~rhenA/ATMO-BW qui permet de réaliser des diagnostics, de la prévision et de la scénarisation sur le Rhin supérieur depuis le programme INTERREG III.

- Modélisation **jusqu'à 10 mètres de résolution avec le modèle SIRANE :** Pour réaliser les cartes jusqu'à 10 mètres de résolution, une deuxième étape est nécessaire. CHIMERE a été utilisé pour alimenter le modèle SIRANE en import de pollution. SIRANE est un logiciel de modélisation de la pollution atmosphérique développé par le Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique de l'Ecole Centrale de Lyon. Cet outil est adapté à la représentation de la qualité de l'air en milieu urbain et à proximité de sources de polluants avec une résolution de l'ordre de 10 mètres. Il permet le traitement d'un grand nombre de tronçons de rues dans un temps de calcul limité.

Modellierung der Konzentrationen

Je nach Schadstofftyp und verfügbaren Daten wurde die Konzentration der Schadstoffe entweder mit einer räumlichen Auflösung von 1 km (O_3, $PM_{2,5}$, NH_3) oder 10 m (NO_2, PM_{10}) modelliert und dargestellt. Für die Region Grand Est liegen damit erstmals NH_3 Konzentrationskarten vor. Die Bewertung von Schadstoffkonzentrationen in hoher räumlicher Auflösung ist wichtig, da dadurch Überschreitungen gesetzlicher Grenzwerte festgestellt werden können. Da für einige Gebiete keine Emissionsdaten als Linienquellen vorlagen, ist dort die Genauigkeit der Modellierungen eingeschränkt. Es werden die Modelle CHIMERE und SIRANE für die Modellierung verwendet:

- **Modellierung mit einer räumlichen Auflösung von 1 km mit dem Modell CHIMERE:** Das Modell CHIMERE ist ein atmosphärisches Chemie Transport Modell, das gemeinsam in Frankreich vom Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) und vom Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) entwickelt wird. Es ermöglicht die Berechnung von Schadstoffkonzentrationen in der Luft von der regionalen bis zur kontinentalen Ebene mit einer Auflösung im Kilometerbereich. CHIMERE ist ein zentraler Bestandteil der Modellierungsplattform PREVEST/Atmo~rhenA/ATMO-BW, die seit dem INTERREG-III-Programm zur Durchführung von Analysen, Prognosen und Szenarioberechnungen am Oberrhein eingesetzt wird.

- **Modellierung mit einer Auflösung von 10 m mit dem Modell SIRANE:** Um Karten mit einer Auflösung von bis zu 10 Metern zu erstellen, ist ein zweiter Schritt erforderlich. Die mit dem Modell CHIMERE modellierten Schadstoffkonzentrationen (siehe erster Punkt) wurden im Modell SIRANE für die Hintergrundbelastungen der Schadstoffe verwendet. SIRANE ist eine Software zur Modellierung der Luftverschmutzung, die vom Labor für Strömungsmechanik und Akustik (Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique) der École Centrale de Lyon entwickelt wurde. Das Modell ist für die Bestimmung der Luftqualität in städtischem Gebiet und in der Nähe von Emissionsquellen geeignet und arbeitet mit einer Auflösung von etwa 10 Metern. Es ermöglicht die Berechnung einer großen Anzahl von Straßenabschnitten innerhalb kurzer Rechenzeiten.

Tableau des normes et objectifs de qualité de l'air présentés dans la brochure
Tabelle der in der Broschüre vorgestellten Luftqualitätsnormen und -ziele

Polluant Schadstoff	Indicateur Indikator	Seuils UE actuels Aktueller EU-Schwellenwerte	Seuils UE 2030 EU- Schwellenwerte für 2030	Lignes directrices Organisation Mondiale de la Santé (OMS) Weltgesundheitorganisation-Leitlinien (WHO)
Ozone Ozon O_3	Moyenne 8h 8-Stunden Mittelwert	120 µg/m³ 25j/an (valeur cible, calculée sur 3 ans Zielwert, als 3 Jahresmittel berechnet)	120 µg/m³ 18j/an (valeur cible, calculée sur 3 ans Zielwert, als 3 Jahresmittel berechnet)	100 µg/m³ 3j/an
	Pic saisonnier* Saisonhöhepunkt			60 µg/m³
	Seuils d'information et d'alerte Informations- und Alarmschwelle und	180 et /und 240 µg/m³ (valeur horaire Stundenwert)		
	AOT Forêt AOT40-Wert für Wälder	20 000 (µg/m³)h (plus exigé / Nicht mehr verlangt)		
	AOT végétation AOT40-Wert für Vegetation	18 000 (µg/m³)h, calculé sur 5 ans aus 5 Jahresmittel berechnet		
Dioxyde d'azote Stickstoffdioxid NO_2	Moyenne annuelle Jahresmittelwert	40 µg/m³ (valeur limite – Grenzwert)	20 µg/m³ (valeur limite – Grenzwert)	10 µg/m³
	Moyenne 24h 24-Stundige Mittelwert		50 µg/m³ (18 j/an max)	25 µg/m³ (3 j/an max)
Particules Feinstaub PM_{10}	Moyenne annuelle Jahresmittelwert	40 µg/m³ (valeur limite – Grenzwert)	20 µg/m³ (valeur limite – Grenzwert)	15 µg/m³
	Moyenne 24h Tagesmittelwert	50 µg/m³ (35 j/an max)	45 µg/m³ (18 j/an max)	45 µg/m³ (3 j/an max)
Particules fines Feinstaub $PM_{2.5}$	Moyenne annuelle Tagesmittelwert	25 µg/m³ (valeur limite – Grenzwert)	10 µg/m³ (valeur limite – Grenzwert)	5 µg/m³
	Moyenne 24h Tagesmittelwert		25 µg/m³ (18 j/an max)	15 µg/m³ (3 j/an max)
NH_3	Protection de la végétation Schutz der Vegetation	3 µg/m³ (Littérature - Literatur)**		
	Protection de la végétation sensible Schutz der empfindlichen Vegetation	1 µg/m³ (Littérature - Literatur)**		

* Pic saisonnier : moyenne des maximums journaliers des moyennes sur 8h, sur les six mois consécutifs avec les moyennes les plus élevées.
Saisonale Spitze: Durchschnitt der Tageshöchstwerte der 8-Stunden-Mittelwerte in den sechs aufeinanderfolgenden Monaten mit den höchsten Durchschnittswerten.

** Cape, John & Eerden, Ludger & Fangmeier, Andreas & Ayres, John & Bareham, Simon & Bobbink, Roland & Branquinho, Cristina & Crittenden, Peter & Cruz, Cristina & Dias, Teresa & Leith, Ian & Martins-Loução, Maria Amélia & Pitcairn, C.E.R. & Sheppard, Lucy & Spranger, T. & Sutton, Mark & van Dijk, Netty & Wolseley, Patricia. (2009). Critical Levels for Ammonia. 10.1007/978-1-4020-9121-6_22.

Calcul des expositions

- Les concentrations modélisées sont ensuite croisées avec la population résidente (base MAJIC de l'INERIS pour la France, données du Statistisches Amt Basel pour la Suisse) pour évaluer un nombre d'habitants exposé à un dépassement d'une valeur de gestion.

- Pour le calcul des surfaces d'écosystèmes exposés, la base de données Corin Land Cover (Copernicus 2018) a été utilisée.

Berechnung der Betroffenheit

- Die modellierten Luftschadstoffkonzentrationen werden mit den Einwohnerzahlen abgeglichen (MAJIC-Datenbank des INERIS für Frankreich, Daten des Statistischen Amts Basel für die Schweiz), um die Anzahl der Einwohner zu ermitteln, die einer Überschreitung eines Verwaltungsgrenzwerts ausgesetzt sind.

- Für die Berechnung der Flächen der gefährdeten Ökosysteme wurde die Datenbank Corin Land Cover (Copernicus 2018) Datenbasis verwendet.

Ozone : non-respect des valeurs cibles et lignes directrices pour protéger la santé des populations et des écosystèmes

Ozon: Nichteinhaltung der Zielwerte und Leitlinien zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Ökosysteme

Ozone : définition en 30 secondes

- L'ozone est produit dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire par des réactions chimiques complexes entre certains polluants primaires tels que les oxydes d'azote (NO_x c'est-à-dire NO et NO_2) et les composés organiques volatils (COV).
- La présence de ce gaz irritant peut provoquer toux, inconfort thoracique, essoufflement, irritations nasale et oculaire. Elle augmente aussi la sensibilité aux pollens. Lorsque le niveau ambiant d'ozone augmente, dans les jours qui suivent, une hausse de l'ordre de 1 à 4% des indicateurs sanitaires (mortalité anticipée, admissions hospitalières, etc.), est observée[1].

Ozon: Definition in 30 Sekunden

- Ozon entsteht in der Atmosphäre unter dem Einfluss der Sonneneinstrahlung durch komplexe chemische Reaktionen von Vorläufersubstanzen (primäre Schadstoffe) wie Stickstoffoxide (NO_x d. h. NO und NO2) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC).
- Die Anwesenheit von Ozon kann zu Husten, Brustbeschwerden, Kurzatmigkeit sowie Nasen- und Augenreizungen führen. Ozon erhöht auch die Sensibilisierung gegenüber Pollen. Wenn der Umgebungsozonwert ansteigt, wird in den darauffolgenden Tagen ein Anstieg der Gesundheitsindikatoren – wie vorzeitige Mortalität oder Krankenhausaufnahmen – um etwa 1 bis 4 % beobachtet[1].

Normes et objectifs de qualité de l'air pour la santé

- Dans la Directive européenne sur l'air ambiant, le nombre de jours pour lesquels une moyenne glissante sur 8h a dépassé 120 µg/m³, en moyenne sur 3 ans, est utilisé comme indicateur. La valeur cible pour la protection de la santé humaine est actuellement de ne pas dépasser 25 jours, et à l'horizon 2030 pas plus de 18 jours.
  Dans le cadre de cette étude les concentrations d'ozone d'une seule année sont confrontées à la valeur cible, soit le minimum requis par la directive.
- La ligne directrice OMS 2021 demande de ne pas avoir plus de 3 jours par an avec une moyenne glissante sur 8h supérieure à 100 µg/m³ (calcul sur 1 an).

Luftqualitätsnormen und -ziele für die Gesundheit

- In der europäischen Richtlinie zur Luftqualität wird die Anzahl der Tage, an denen ein gleitender 8-Stunden-Mittelwert 120 µg/m³ überschritten hat, im Dreijahresdurchschnitt, als Indikator verwendet. Der Zielwert liegt derzeit bei höchstens 25 Tagen und ab dem Jahr 2030 bei höchstens 18 Tagen. Im Rahmen dieser Studie werden die Ozonkonzentrationen eines einzelnen Jahres mit dem Zielwert verglichen, d. h. dem in der Richtlinie geforderten Mindestwert.
- Nach der Leitlinie 2021 der WHO darf an nicht mehr als 3 Tagen pro Jahr ein gleitender 8-Stunden-Mittelwert 100 µg/m³ überschreiten (Berechnung für 1 Jahr).

Analyse spatiale

La carte montre une forte concentration d'ozone (en rouge foncé) dans la plaine d'Alsace, notamment autour de Strasbourg, Mulhouse, et Freiburg-im-Breisgau. Les agglomérations comme Karlsruhe et Bâle sont également concernées. Les concentrations diminuent progressivement vers les zones montagneuses (Vosges, Forêt Noire, Alpes suisses). Le différentiel est lié à la présence de davantage de polluants précurseurs d'ozone dans les centres urbains et de températures potentiellement plus élevées dans la vallée rhénane que sur les massifs montagneux. La situation s'est améliorée entre 2018 (Atmo-VISION) et 2023 dans le Rhin supérieur (voir les cartes du projet Atmo-VISION dans la brochure Modélisation).

Geographische Verteilung

Die Karte zeigt eine hohe Ozonkonzentrationen (dunkelrot) in der elsässischen Ebene, insbesondere rund um Straßburg, Mulhouse und Freiburg im Breisgau. Auch Ballungsräume wie Karlsruhe und Basel sind betroffen. Die Konzentrationen nehmen in Richtung der Berggebiete (Vogesen, Schwarzwald, Schweizer Alpen) allmählich ab. Diese Verteilung ist auf ein höheres Vorkommen von Ozonvorläuferstoffen in Ballungsräumen und auf potenziell höheren Temperaturen im Rheintal im Vergleich zu den Höhenlangen zurückzuführen. Zwischen 2018 (Atmo-VISION) und 2023 hat sich die Situation am Oberrhein verbessert (Siehe Karten des Atmo-VISION-Projekts in der Broschüre Modellergebnisse).

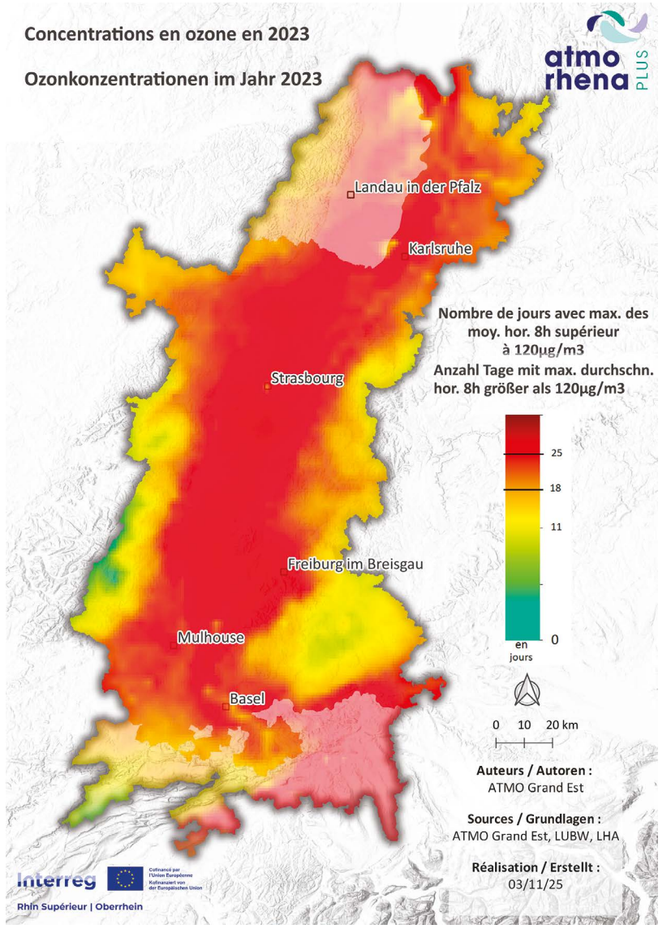
Exposition à l'ozone dans le Rhin supérieur en 2023

- 25% du territoire se situe au-dessus de la valeur cible de 120 µg/m³ en moyenne sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 jours par an (limite actuelle) et 73% pour la valeur cible prévue pour 2030.
- Le dépassement de la valeur cible actuelle concerne 51% de la population alsacienne et 4% des habitants des Cantons de Bâle. Pour la valeur cible 2030, 94% de la population alsacienne et 96% des habitants des Cantons sont concernés par un dépassement.

Ozonbelastung am Oberrhein im Jahr 2023

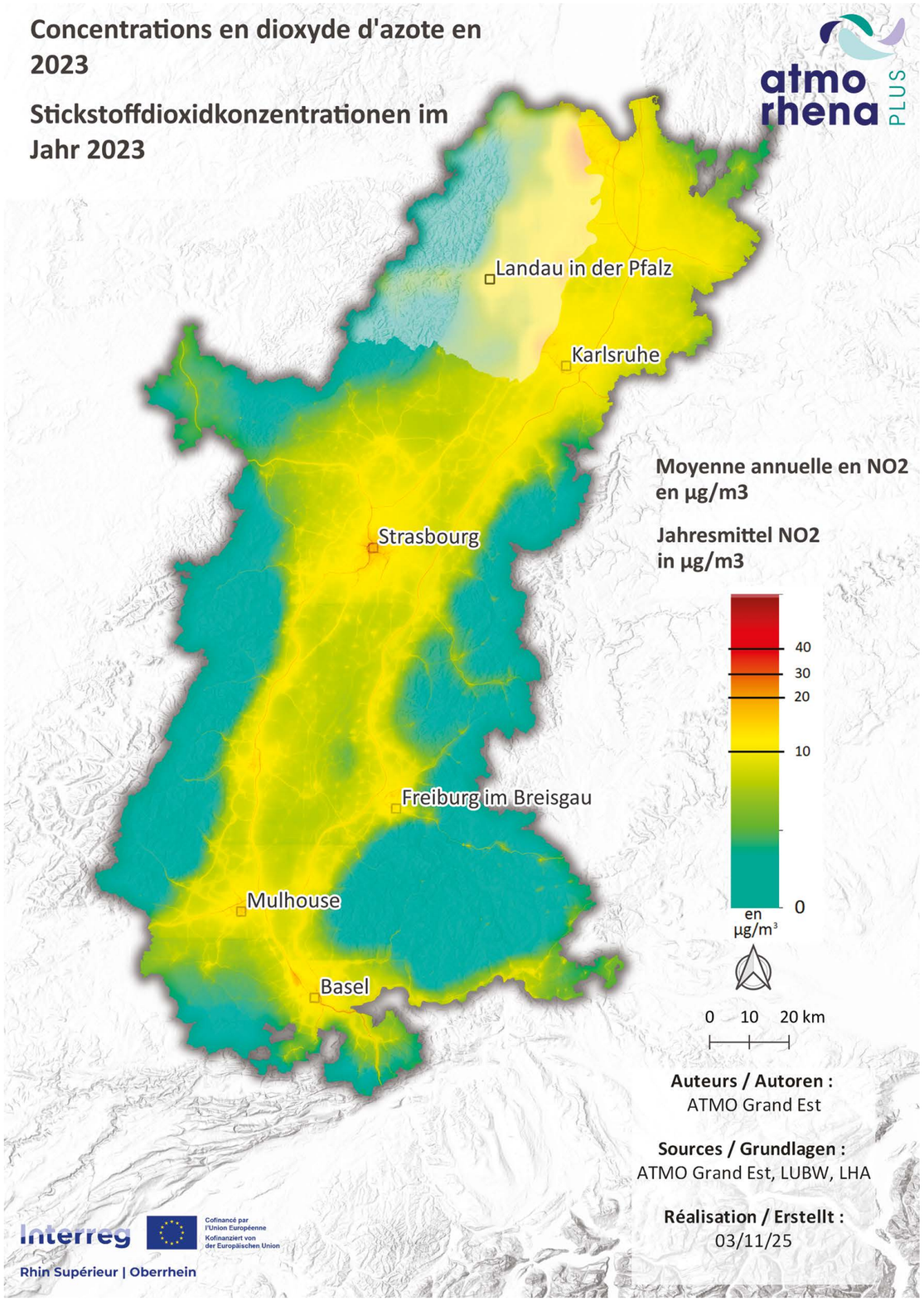
- 25 % des Oberrheingebiets liegen über dem Zielwert von 120 µg/m³ im 8-Stunden-Mittel, der an höchstens 25 Tagen im Jahr überschritten werden darf, und 73 % über dem ab 2030 vorgesehenen Zielwert von 18 Tagen.
- Die Überschreitung des aktuellen Zielwerts betrifft 51 % der elsässischen Bevölkerung und 4 % der Einwohner der Kantone Basel. Was den Zielwert für 2030 betrifft, so sind 94 % der elsässischen Bevölkerung und 96 % der Einwohner der Kantone Basel von einer Überschreitung betroffen.

[1] DIAGNOSTIC SANTÉ ENVIRONNEMENT des habitants de la Métropole de Lyon, Observatoire Régional de la Santé Rhône-Alpes, CEREMA, Grand Lyon, 2018, https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/environnement/plan-metropolitain-sante-environnement_diagnostic-sante.pdf



Ozone en 2023 Ozon im Jahr 2023	Superficie (km²) Fläche (km²)			
Nombre de jours avec maximum des moyennes horaires glissantes sur 8h au-dessus de 120 µg/m³ Anzahl der Tage mit max. 8-h-Wert über 120 µg/m³	Rhin supérieur Oberrhein	Alsace Elsass	Ouest du Bade-Wurtemberg Westen von Baden-Württemberg	Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Valeur cible de l'UE actuelle Aktueller EU-Zielwert > 25 jours Tage	4 620 **25 %**	2 700 **32 %**	1 910 **20 %**	11 **2 %**
Valeur cible de l'UE à partir de 2030 EU-Zielwert ab 2030 > 18 jours Tage	13 390 **73 %**	6 430 **77 %**	6 520 **69 %**	440 **79 %**
Ozone en 2023 Ozon im Jahr 2023	**Population exposée (hab) Betroffene Bevölkerung (Einw.)**			
Nombre de jours avec maximum des moyennes horaires glissantes sur 8h au dessus de 120 µg/m³ Anzahl der Tage mit max. 8-h-Wert über 120 µg/m³		Alsace Elsass		Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Valeur cible de l'UE actuelle Aktueller EU-Zielwert > 25 jours Tage		978 440 **51%**		17 800 **4%**
Valeur cible de l'UE à partir 2030 EU-Zielwert ab 2030 > 18 jours Tage		1 809 270 **94 %**		479 020 **96%**

Pour aller plus loin / Weiterführende Informationen:
- Ozone troposphérique / Bodennahes Ozon
- Biodiversité et forêts / Biodiversität und Wälder



NO_2 : Dépassements localisés de la valeur limite européenne 2030 pour protéger la santé des populations

NO_2: Vereinzelte Überschreitungen des EU-Grenzwertes 2030 zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Le dioxyde d'azote (NO_2) : définition en 30 secondes

Le dioxyde d'azote est émis principalement par les véhicules et les installations de combustion. À forte concentration, le dioxyde d'azote est un gaz toxique et irritant pour les yeux et les voies respiratoires. Chez les asthmatiques, il augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires. Par ailleurs, il participe à la formation de l'ozone troposphérique, dont il est un des précurseurs.

Stickstoffdioxid (NO_2): Definition in 30 Sekunden

Stickstoffdioxid wird hauptsächlich von Fahrzeugen und Verbrennungsanlagen ausgestoßen. In hohen Konzentrationen ist Stickstoffdioxid ein giftiges Gas, das Augen und Atemwege reizt. Bei Asthmatikern erhöht es die Häufigkeit und Schwere von Anfällen. Bei Kindern begünstigt es Lungeninfektionen. Darüber hinaus trägt es zur Bildung von troposphärischem Ozon bei.

Normes et objectifs de qualité de l'air

Les valeurs limites réglementaires en vigueur concernent la moyenne annuelle, il s'agit de 40 µg/m³ en Allemagne et en France (Directive européenne) et 30 µg/m³ en Suisse. Les seuils français et allemand ont été révisés et seront de 20 µg/m³ à respecter à compter de 2030. La ligne directrice de l'OMS est de 10 µg/m³ en moyenne annuelle.

Luftqualitätsnormen und -ziele

Die geltenden gesetzlichen Grenzwerte für den Jahresdurchschnitt sind in Deutschland und Frankreich 40 µg/m³ (europäische Richtlinie) und in der Schweiz 30 µg/m³. Die französischen und deutschen Grenzwerte wurden überarbeitet und sollen ab 2030 bei 20 µg/m³ liegen. Die Leitlinie der WHO liegt bei 10 µg/m³ im Jahresdurchschnitt.

Analyse spatiale

La répartition spatiale des concentrations en dioxyde d'azote met en évidence les principales zones d'activité du Rhin supérieur. Les niveaux les plus faibles sont observés dans les massifs montagneux des Vosges et de la Forêt Noire avec des valeurs inférieures à 10 µg/m³ en moyenne annuelle. A contrario, les niveaux les plus élevés sont modélisés dans les zones urbanisées denses ainsi que le long du réseau routier principal du territoire, en cohérence avec l'origine majoritairement trafic (53 %) et industrielle (21 %) de ce polluant.
Les secteurs concernés par les concentrations les plus importantes, sont essentiellement localisés en bordures des principaux axes routiers des grandes agglomérations. Cette carte illustre une pollution au NO_2 structurellement liée à l'urbanisation et aux transports, avec un gradient très net entre la plaine du Rhin (plus exposée) et les reliefs environnants (moins exposés).
La situation s'est améliorée entre 2018 (Atmo-VISION) et 2023 dans le Rhin supérieur (voir les cartes du projet Atmo-VISION dans la brochure Modélisation).

Geographische Verteilung

Die räumliche Verteilung der Stickstoffdioxidkonzentrationen verdeutlicht die wichtigsten Aktivitätsgebiete am Oberrhein. Die niedrigsten Werte treten in den Gebirgsmassiven der Vogesen und des Schwarzwaldes mit Werten unter 10 µg/m³ im Jahresdurchschnitt auf. Die höchsten Konzentrationen kommen in dicht besiedelten Gebieten sowie entlang der Hauptverkehrsachsen vor, aufgrund der überwiegend verkehrsbedingten (53 %) und industriellen (21 %) Herkunft dieses Schadstoffs. Die am stärksten belasteten Bereiche liegen überwiegend an den Rändern der großen Verkehrsachsen der großen Ballungsräume. Die Karte verdeutlicht eine strukturell durch Urbanisierung und Verkehr geprägte NO_2-Belastung, mit einem ausgeprägten Gradienten zwischen der stärker belasteten Rheinebene und den weniger belasteten umliegenden Höhenzügen. Zwischen 2018 (Atmo-VISION) und 2023 hat sich die Situation am Oberrhein verbessert (Siehe die Karten des Atmo-VISION-Projekts in der Broschüre Modellergebnisse).

Exposition au NO_2 dans la région du Rhin supérieur en 2023

A l'échelle du Rhin supérieur, le territoire n'est pas concerné par un dépassement du seuil des 40 µg/m³ en vigueur en France et en Allemagne jusqu'en 2030 pour le NO_2, ni du seuil suisse de 30 µg/m³. Seulement 0,2% de la superficie du Rhin supérieur est au-dessus de la future valeur limite (20 µg/m³) à respecter à partir de 2030, ce qui expose 2% et 0,7% des populations respectives alsacienne et des Cantons de Bâle à un dépassement. En revanche, la ligne directrice de l'OMS, plus restrictive (10 µg/m³) est dépassée sur 13% de la zone et concerne 52% des habitants de l'Alsace et 72% de ceux des Cantons de Bâle.

NO_2-Belastung am Oberrhein im Jahr 2023

Im Oberrheingebiet liegt keine Überschreitung des bis 2030 in Frankreich und Deutschland geltenden Grenzwertes von 40 µg/m³ vor, noch des Schweizer Grenzwerts von 30 µg/m³. Nur 0,2 % der Fläche des Oberrheins liegen über dem künftigen ab 2030 einzuhaltenden Grenzwert (20 µg/m³). Dadurch sind 2 % der Bevölkerung im Elsass und 0,7 % der Bevölkerung in der Kantone Basel von einem Überschreitungsrisiko betroffen. Die strengere Leitlinie der WHO (10 µg/m³) wird hingegen auf 13 % der Fläche überschritten und betrifft 52 % der Einwohner des Elsass sowie 72 % der Einwohner der Kantone Basel.

NO_2 en 2023 NO_2 im Jahr 2023	Superficie (km^2) Fläche (km^2)			
Moyenne annuelle Jahresmittelwert	Rhin supérieur Oberrhein	Alsace Elsass	Ouest du Bade-Wurtemberg Westen von Baden-Württemberg	Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Ligne Directrice OMS WHO-Leitlinie 10 µg/m³	2370 **13 %**	710 **9 %**	1570 **17 %**	100 **17 %**
Valeur limite de l'UE à partir de 2030 EU-Grenzwert ab 2030 20 µg/m³	44 0.2 %	19 0.2 %	21 0.2 %	4 0.7 %
Valeur limite Suisse Schweizer Grenzwert 30 µg/m³	4 < 0.1 %	1 < 0.1 %	2 < 0.1 %	1 0.1 %
Valeur limite de l'UE actuelle Aktueller EU-Grenzwert 40 µg/m³	0.1 < 0.01 %	< 0.1 < 0.01 %	< 0.1 < 0.01 %	< 0.1 < 0.01 %

NO_2 en 2023 NO_2 im Jahr 2023	Population exposée (hab) Betroffene Bevölkerung (Einw.)	
Moyenne annuelle Jahresmittelwert	Alsace Elsass	Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Ligne Directrice OMS WHO-Leitlinie 10 µg/m³	1 001 400 **52 %**	357 080 **72 %**
Valeur limite de l'UE à partir de 2030 EU-Grenzwert ab 2030 20 µg/m³	31 140 **2 %**	3 240 **0.7 %**
Valeur limite Suisse Schweizer Grenzwert 30 µg/m³	630 <0.1 %	140 0.3 %
Valeur limite de l'UE actuelle Aktueller EU-Grenzwert 40 µg/m³	80 <0.1 %	< 10 <0.1 %

Pour aller plus loin / Weiterführende Informationen:
- Pollution atmosphérique et santé dans le Rhin supérieur / Luftverschmutzung und Gesundheit am Oberrhein
- Emissions de polluants / Schadstoffemissionen
- Mesures à l'échappement des véhicules dans la région de Bâle / RSD-Messungen in der Region Basel

PM_{10} : Dépassements localisés de la valeur limite européenne 2030 pour protéger la santé des populations

PM_{10}: Vereinzelte Überschreitungen des EU-Grenzwertes 2030 zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Les particules PM_{10} : définition en 30 secondes

Les PM_{10} sont des particules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres (millièmes de millimètre). Sur le territoire du Rhin supérieur les sources importantes d'émissions de PM_{10} sont le secteur résidentiel et tertiaire et les transports routiers. Selon leur granulométrie (taille), les particules pénètrent plus ou moins profondément dans l'arbre pulmonaire. Les particules fines peuvent, à des concentrations relativement basses, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes.

Feinstaub PM_{10} : Definition in 30 Sekunden

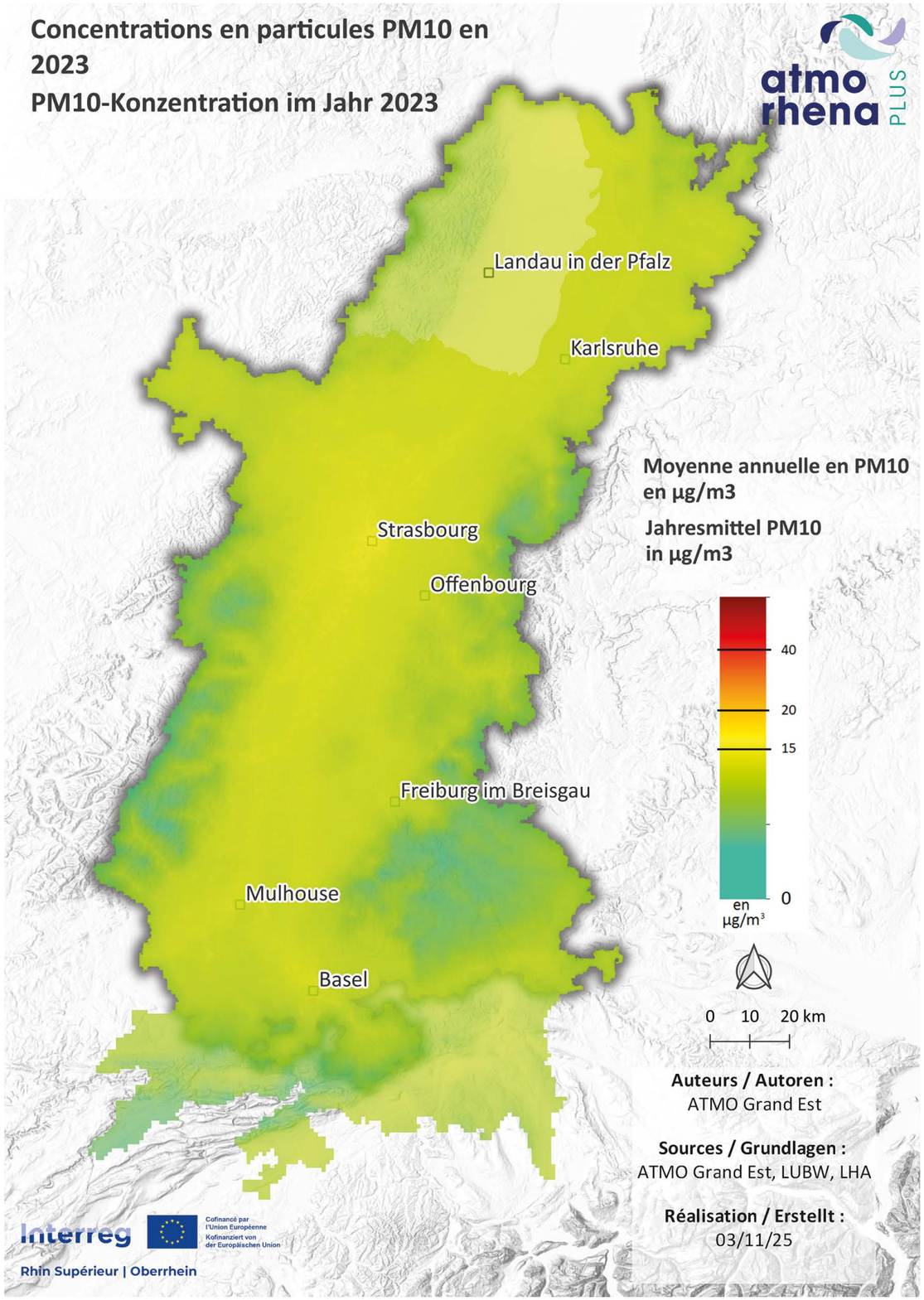
Feinstaub PM_{10}-Partikel sind Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometern (Tausendstel Millimeter). Im Oberrheingebiet sind der Wohn- und Dienstleistungssektor sowie der Straßenverkehr die wichtigsten Quellen für PM_{10}-Emissionen. Je nach ihrer Korngröße (Partikelgröße) dringen die Partikel mehr oder weniger tief in die Atemwege ein. Feinstaubpartikel können bereits bei relativ niedrigen Konzentrationen die unteren Atemwege reizen und die gesamte Lungenfunktion beeinträchtigen. Bestimmte Partikel haben zudem mutagene und krebserregende Eigenschaften.

Normes et objectifs de qualité de l'air

Les valeurs limites réglementaires en vigueur pour les PM_{10} sont les suivantes pour la moyenne annuelle : Allemagne et France : 40 µg/m³ jusqu'en 2030 et 20 µg/m³ en 2030, Suisse : 20 µg/m³. La ligne directrice de l'OMS est de 15 µg/m³ en moyenne annuelle.

Luftqualitätsnormen und -ziele

Die geltenden gesetzlichen Grenzwerte für PM_{10} für den Jahresdurchschnitt sind in Deutschland und Frankreich 40 µg/m³ (ab 2030 20 µg/m³) und in der Schweiz 20 µg/m³. Die Leitlinie der WHO liegt bei 15 µg/m³ im Jahresdurchschnitt.



Analyse spatiale

La cartographie de la moyenne annuelle en particules PM_{10} met en évidence la vallée rhénane selon un axe nord-nord-est/sud-sud-ouest de Ludwigshafen à Bâle en passant par Strasbourg, avec des niveaux plus élevés. Les massifs montagneux des Vosges et de la Forêt Noire sont moins affectés, à l'exception des vallées les plus passantes. Cette répartition est cohérente avec l'origine des émissions de particules PM_{10}, provenant majoritairement de deux secteurs d'activité, le chauffage résidentiel-tertiaire et le transport routier. Les concentrations de PM_{10} en plaine sont également influencées par les émissions de NH_3 du secteur agricole.

Geographische Verteilung

Die modellierten jährlichen Durchschnittswerte für PM_{10}-Feinstaub zeigen höhere Konzentrationen entlang der Rheinebene auf einer Nord-Nordost/Süd-Südwest -Achse von Ludwigshafen über Straßburg bis nach Basel. Die Gebirgsmassive der Vogesen und des Schwarzwaldes sind weniger betroffen, mit Ausnahme der verkehrsreichsten Täler. Diese Verteilung steht im Einklang mit der Herkunft der PM_{10}-Emissionen, die überwiegend aus zwei Tätigkeitsbereichen stammen: der Heizung von Wohn- und Dienstleistungsgebäuden sowie dem Straßenverkehr. Die PM_{10}-Konzentrationen in der Ebene werden ebenfalls durch die NH_3-Emissionen aus der Landwirtschaft beeinflusst.

Exposition aux PM_{10} dans la région du Rhin supérieur en 2023

A l'échelle du Rhin supérieur, quelques dépassements très localisés des seuils réglementaires de 40 µg/m³, 30 µg/m³ et 20 µg/m³ sont modélisés. En complément, 27 km² seraient exposés à un dépassement de la valeur guide de l'OMS fixée à 15 µg/m³ pour la moyenne annuelle, soit 0,2% du territoire, représentant 4% de la population alsacienne et 0,3% de celle des Cantons de Bâle.
La situation s'est améliorée depuis 2018 (voir les cartes du projet Atmo-VISION dans la brochure Modélisation).

PM_{10}-Belastung am Oberrhein im Jahr 2023

Im Oberrheingebiet werden einige sehr lokal begrenzte Überschreitungen der gesetzlichen Grenzwerte von 40 µg/m³, 30 µg/m³ und 20 µg/m³ modelliert. Eine Fläche von 27 km² ist jedoch von einer Überschreitung des Zielwerts der WHO von 15 µg/m³ für den Jahresdurchschnitt betroffen, was 0,2 % des Oberrheingebiets entspricht und 4 % der elsässischen Bevölkerung sowie 0,3 % der Bevölkerung der Kantone Basel betrifft.
Die Lage hat sich seit 2018 verbessert (Siehe Karten des Atmo-VISION-Projekts in der Broschüre Modellergebnisse).

PM_{10} en 2023 PM_{10} im Jahr 2023	Superficie (km²) Fläche (km²)			
Moyenne annuelle Jahresmittelwert	Rhin supérieur Oberrhein	Alsace Elsass	Ouest du Bade-Wurtemberg Westen von Baden-Württemberg	Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Ligne Directrice OMS WHO-Leitlinie 15 µg/m³	27 **0.2 %**	20 **0.2 %**	5 **< 0.1 %**	2 **0.4 %**
Valeur limite Suisse actuelle et valeur limite de l'UE à partir de 2030 Aktueller Grenzwert in der Schweiz und EU-Grenzwert ab 2030 20 µg/m³	0.6 0 %	0.6 < 0.1 %	<0.01 0 %	0 0 %
Objectif de qualité Qualitätsziel 30 µg/m³	<0.01 0 %	<0.01 0 %	0 0 %	0 0 %
Valeur limite de l'UE actuelle Aktueller EU-Grenzwert 40 µg/m³	<0.01 0 %	<0.01 0 %	0 0 %	0 0 %
PM_{10} en 2023 PM_{10} im Jahr 2023	**Population exposée (hab) Betroffene Bevölkerung (Einw.)**			
Moyenne annuelle Jahresmittelwert		Alsace Elsass		Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Ligne Directrice OMS WHO-Leitlinie 15 µg/m³		82 400 **4 %**		1 300 **0.3 %**
Objectif de qualité Qualitätsziel 30 µg/m³		60 < 0.1 %		0 0 %
Valeur limite Suisse Schweizer Grenzwert 30 µg/m³		<10 < 0.1 %		0 0 %
Valeur limite de l'UE actuelle Aktueller EU-Grenzwert 40 µg/m³		<10 < 0.1 %		0 0 %

Pour aller plus loin / Weiterführende Informationen:
- Emissions de polluants de l'air / Emissionen von Luftschadstoffen
- Consommation d'énergie / Energieverbrauch

$PM_{2.5}$: Non-respect de la ligne directrice de l'OMS pour protéger la santé des populations

$PM_{2.5}$: Nicht-Einhaltung der WHO-Leitlinie zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Les particules fines $PM_{2.5}$: définition en 30 secondes

Les particules $PM_{2.5}$ sont des particules dont le diamètre est inférieur à 2.5 micromètres (millièmes de millimètre). Sur le territoire du Rhin supérieur les sources importantes d'émissions de $PM_{2.5}$ sont le secteur résidentiel et tertiaire et les transports routiers. Selon leur granulométrie (taille), les particules pénètrent plus ou moins profondément dans l'arbre pulmonaire. Les particules les plus fines peuvent, à des concentrations relativement basses, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes.

Feinstaub $PM_{2.5}$: Definition in 30 Sekunden

Feinstaub $PM_{2.5}$-Partikel sind Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometern (Tausendstel Millimeter). Im Oberrheingebiet sind der Haushalt- und Dienstleistungssektor sowie der Straßenverkehr die wichtigsten Emissionsquellen für $PM_{2.5}$. Je nach ihrer Korngröße (Partikelgröße) dringen die Partikel mehr oder weniger tief in die Atemwege ein. Die feinsten Partikel können bereits bei relativ niedrigen Konzentrationen die unteren Atemwege reizen und die gesamte Lungenfunktion beeinträchtigen. Bestimmte Partikel haben zudem mutagene und krebserregende Eigenschaften.

Normes et objectifs de qualité de l'air

Les valeurs limites réglementaires en vigueur sont les suivantes pour la moyenne annuelle : Allemagne et France : 25 µg/m³ jusqu'en 2030 et 10 µg/m³ à partir de 2030, Suisse : 10 µg/m³. La ligne directrice de l'OMS est de 5 µg/m³ en moyenne annuelle.

Luftqualitätsnormen und -ziele

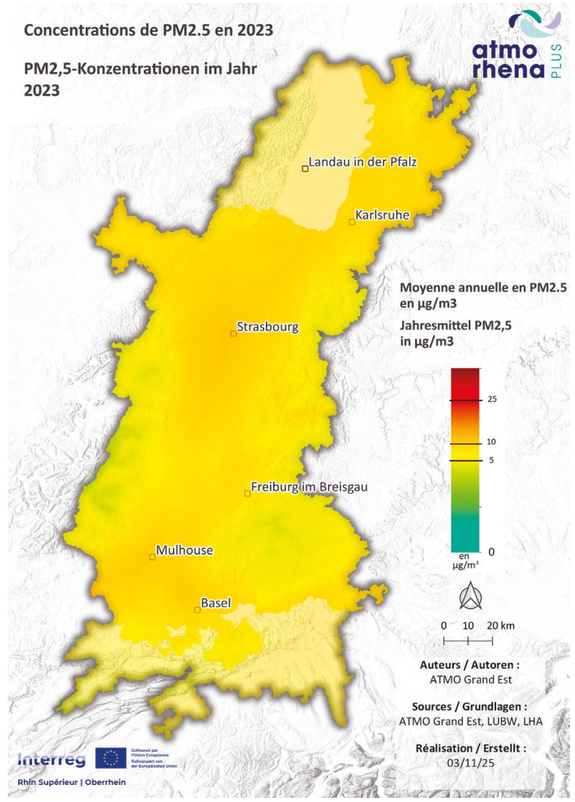
Die geltenden gesetzlichen Grenzwerte für den Jahresdurchschnitt sind in Deutschland und Frankreich 25 µg/m³ (ab 2030 10 µg/m³) und in der Schweiz 10 µg/m³.
Die Leitlinie der WHO liegt bei 5 µg/m³ im Jahresdurchschnitt.

Analyse spatiale

Les concentrations en $PM_{2.5}$ sont assez homogènes le long de la vallée du Rhin, s'établissant au maximum aux alentours de 10 µg/m³, dans les grandes agglomérations et vallées urbanisées et habitées susceptibles d'être équipées de systèmes de chauffage principal ou d'appoint au bois.

Geographische Verteilung

Die $PM_{2.5}$-Konzentrationen sind entlang des Rheintals relativ gleichmäßig verteilt und liegen in den großen Ballungsräumen sowie in den besiedelten und bebauten Tälern, in denen oft Holzfeuerungsanlagen als Haupt- oder Zusatzheizungen zum Einsatz kommen, bei maximal etwa 10 µg/m³.



Exposition aux $PM_{2.5}$ dans la région du Rhin supérieur en 2023

A l'échelle du Rhin supérieur, des dépassements ponctuels de normes réglementaires actuellement en vigueur ou à respecter dans le futur (à compter de 2030) sont modélisés. 16 880 km² seraient exposés à un dépassement de la ligne directrice de l'OMS fixée à 5 µg/m³ pour la moyenne annuelle, soit 92% du territoire. Tous les habitants de l'Alsace et des Cantons de Bâle seraient concernés.

$PM_{2.5}$-Belastung am Oberrhein im Jahr 2023

Im Oberrheingebiet werden vereinzelte Überschreitungen der derzeit geltenden oder künftig (ab 2030) einzuhaltenden gesetzlichen Grenzwerte modelliert. Eine Fläche von 16 880 km² ist zudem von einer Überschreitung der Leitlinie der WHO von 5 µg/m³ für den Jahresdurchschnitt betroffen, was 92 % des Oberrheingebiets entspricht. Davon wären alle Einwohner des Elsass und der Kantone Basel betroffen

$PM_{2.5}$ en 2023 $PM_{2.5}$ im Jahr 2023	**Superficie (km²) Fläche (km²)**			
Moyenne annuelle Jahresmittelwert	Rhin supérieur Oberrhein	Alsace Elsass	Ouest du Bade-Wurtemberg Westen von Baden-Württemberg	Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Ligne Directrice OMS WHO-Leitlinie 5 µg/m³	16 880 **92 %**	7 730 **93 %**	8 600 **91 %**	540 **98 %**
Valeur limite Suisse actuelle et valeur limite de l'UE à partir de 2030 Aktueller Grenzwert in der Schweiz und EU-Grenzwert ab 2030 10 µg/m³	3 < 0.1 %	3 < 0.1 %	<0.01 0 %	0 0 %
Valeur cible Zielwert 20 µg/m³	<0.1 0 %	<0.1 0 %	0 0 %	0 0 %
Valeur limite de l'UE actuelle Aktueller EU-Grenzwert 25 µg/m³	<0.1 0 %	<0.1 0 %	0 0 %	0 0 %

$PM_{2.5}$ en 2023 $PM_{2.5}$ im Jahr 2023	**Population exposée (hab) Betroffene Bevölkerung (Einw.)**	
Moyenne annuelle Jahresmittelwert	Alsace Elsass	Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Ligne Directrice OMS WHO-Leitlinie 5 µg/m³	**1 914 760** 100 %	**497 327** 100 %
Valeur limite de l'UE à partir de 2030 EU-Grenzwert ab 2030 10 µg/m³	2 950 0.2 %	0 0 %
Valeur cible Zielwert 20 µg/m³	<10 < 0 %	0 0 %
Valeur limite de l'UE actuelle Aktueller EU-Grenzwert 25 µg/m³	<10 < 0 %	0 0 %

Pour aller plus loin / Weiterführende Informationen:
- Emissions de polluants de l'air / Emissionen von Luftschadstoffen
- Pollution atmosphérique et santé dans le Rhin supérieur / Luftverschmutzung und Gesundheit am Oberrhein
- Origine des particules fines dans l'air du Rhin supérieur / Herkunft der Feinstaubpartikel am Oberrhein

NH_3 : Non-respect des seuils pour protéger la végétation

NH_3: Nichteinhaltung der Grenzwerte zum Schutz der Vegetation

Ammoniac : Définition en 30 secondes

L'ammoniac (NH_3) est un composé gazeux dans l'atmosphère. A très fortes concentrations, ce gaz devient irritant pour les voies respiratoires et les yeux. Aux concentrations habituellement rencontrées en air ambiant ses effets sanitaires directs sont faibles, à la différence des effets environnementaux engendrés. De plus, l'ammoniac réagit avec d'autres substances présentes dans l'atmosphère pour former des particules fines secondaires. En Europe, l'ammoniac est en effet responsable de 50 % des $PM_{2.5}$ d'après une étude réalisée en 2022[2]. Ces particules fines présentes toute l'année sont un enjeu sanitaire majeur.

Ammoniak: Definition in 30 Sekunden

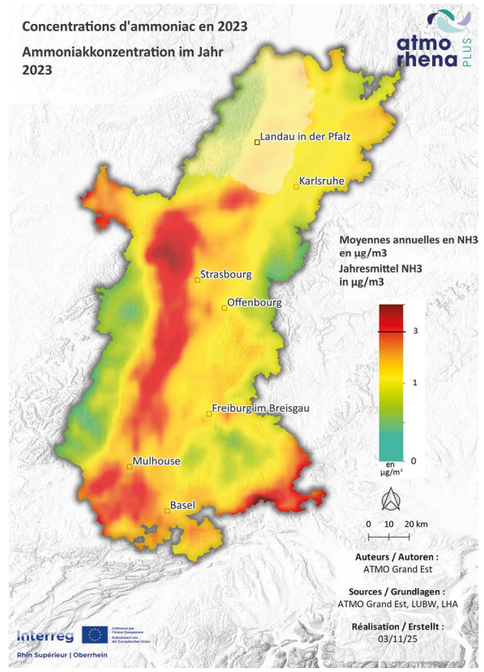
Ammoniak (NH_3) ist eine gasförmige Verbindung in der Atmosphäre, die bei sehr hohen Konzentrationen die Atemwege und die Augen reizen kann. Bei den üblichen Konzentrationen in der Umgebungsluft sind die direkten gesundheitlichen Auswirkungen jedoch gering. Des Weiteren reagiert Ammoniak mit anderen Substanzen in der Atmosphäre und bildet sekundäre Feinstaubpartikel. In Europa ist Ammoniak laut einer Studie aus dem Jahr 2022 für 50 % der $PM_{2.5}$-Konzentrationen verantwortlich[2]. Diese ganzjährige Feinstaubbelastung führt zu einem erhöhten Gesundheitsrisiko.

Exposition au NH_3 dans la région du Rhin supérieur en 2023

Dans le Rhin supérieur, 74 % de la surface d'écosystème est exposée à des concentrations annuelles d'ammoniac supérieures à 1 µg/m³, seuil de protection de la végétation sensible (type lichens) selon la littérature scientifique**. Le seuil de protection de la végétation, qui s'élève à 3 µg/m³ en moyenne annuelle, est dépassé sur 6 % de la surface d'écosystème du Rhin supérieur.

NH_3-Belastung am Oberrhein im Jahr 2023

Am Oberrhein sind 74 % der Ökosystemfläche jährlichen Ammoniakkonzentrationen von über 1 µg/m³ ausgesetzt, was laut wissenschaftlicher Literatur** dem Schwellenwert für den Schutz der empfindlichen Vegetation (typischerweise Flechten) entspricht. Der Schwellenwert für den Schutz allgemeiner Vegetation, der im Jahresdurchschnitt bei 3 µg/m³ liegt, wird auf 6 % der Ökosystemfläche des Oberrheins überschritten.



NH_3 en 2023 NH_3 im Jahr 2023	**Superficie d'écosystème en km² Ökosystemfläche in km²**			
Moyenne annuelle Jahresmittelwert	Rhin supérieur Oberrhein	Alsace Elsass	Ouest du Bade-Wurtemberg Westen von Baden-Württemberg	Cantons de Bâle Schweizer Kantone
Superficie totale d'écosystème en km² Gesamte Ökosystemfläche in km²	16 294	7 426	8 429	539
Moyenne annuelle Jahresmittelwert > 1 µg/m³	12 050 **74 %**	5 530 **75 %**	6 080 **72 %**	440 **99 %**
Moyenne annuelle Jahresmittelwert > 3 µg/m³	980 **6 %**	860 **12 %**	110 **1 %**	0 **0 %**

Pour aller plus loin / Weiterführende Informationen:
- Mesures d'ammoniac / Ammoniakmessungen
- Biodiversité et forêts du Rhin supérieur / Biodiversität und Wälder am Oberrhein
- Emissions de polluants de l'air / Emissionen von Luftschadstoffen

[2] Wyer, K. E. et al. Ammonia emissions from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications for human health. Journal of Environmental Management. 2022
**Cape, John et al. (2009). Critical Levels for Ammonia. 10.1007/978-1-4020-9121-6_22.

Travaux exploratoires pour améliorer et optimiser les modélisations

Studien zur Verbesserung und Optimierung der Modellierung

Travaux sur les microcapteurs et l'intelligence artificielle

L'utilisation de microcapteurs et d'intelligence artificielle pour améliorer les cartes de qualité de l'air à haute résolution en temps réel est envisagée depuis quelques années :

- Il s'agit de compléter géographiquement le réseau fixe de stations de mesures, notamment d'effectuer des corrections en temps réel lors de la survenue de phénomènes imprévisibles tels que des bouchons, des accidents pour le trafic routier etc.
- L'intégration de ces données complémentaires, avec une résolution temporelle horaire devrait se faire à terme à l'aide d'IA pour gagner en temps de traitement.

Dans le cadre du programme Atmo-Rhena PLUS, des microcapteurs ont été installés afin d'étudier la faisabilité d'assimiler leurs données dans les cartographies modélisées en complément des stations fixes. Ces travaux qui se poursuivent, ont également été l'occasion de partager les retours d'expériences sur les microcapteurs entre partenaires, de faciliter l'appropriation de ce type de matériel et permettre l'homogénéisation des pratiques et des process.

Studie zu Mikrosensoren und künstliche Intelligenz

Seit einigen Jahren wird erwogen, Mikrosensoren und künstliche Intelligenz einzusetzen, um hochauflösende Luftqualitätskarten in Echtzeit zu verbessern:

- Dabei geht es darum, das stationäre Messstationen-Netz geografisch zu ergänzen, insbesondere um bei unvorhersehbaren Ereignissen wie Staus oder Unfällen im Straßenverkehr usw. Korrekturen in Echtzeit vornehmen zu können.
- Die Integration dieser ergänzenden Daten mit einer zeitlichen Auflösung im Stundentakt soll langfristig mithilfe von KI erfolgen, um die Verarbeitungszeit zu verkürzen.

Im Rahmen des Programms Atmo-Rhena PLUS wurden Mikrosensoren installiert, um zu untersuchen, ob deren Daten zusätzlich zu den Daten der ortsfesten Messstationen in die modellierten Karten integriert werden können. Diese noch andauernden Arbeiten boten den Partnern zudem die Gelegenheit, Erfahrungen mit den Mikrosensoren auszutauschen, den Umgang mit dieser Art von Geräten zu erleichtern und die Vereinheitlichung der Vorgehensweisen und Prozesse zu ermöglichen.

Travaux sur les données satellitaires : essai sur les concentrations de méthane

Dans le cadre d'Atmo-Rhena PLUS, ATMO Grand Est a mené des travaux exploratoires d'exploitation de données satellitaires relatives au méthane dans le Rhin supérieur, via l'instrument TROPOMI installé sur le satellite Sentinel-5P. Ces données constituent un complément intéressant aux dispositifs existants pour améliorer la connaissance sur ce gaz. Les données satellitaires sont obtenues grâce à des instruments embarqués sur des satellites en orbite autour de la Terre, capables de détecter la présence de polluants dans l'atmosphère. En complément des mesures réalisées au sol par les stations de surveillance, elles apportent des informations sur la répartition spatiale des concentrations ainsi que sur leur évolution dans le temps.

Les premiers résultats témoignent d'une variabilité spatiale du CH_4 sur le Rhin supérieur, avec des niveaux plus élevés sur les zones agricoles, les zones urbaines et plus faibles en forêt et dans les zones montagneuses. L'étude de l'évolution temporelle des niveaux met en évidence une variabilité mensuelle, avec une franche tendance à l'augmentation entre 2018 et 2024, et ce sur l'ensemble des villes du Rhin supérieur.

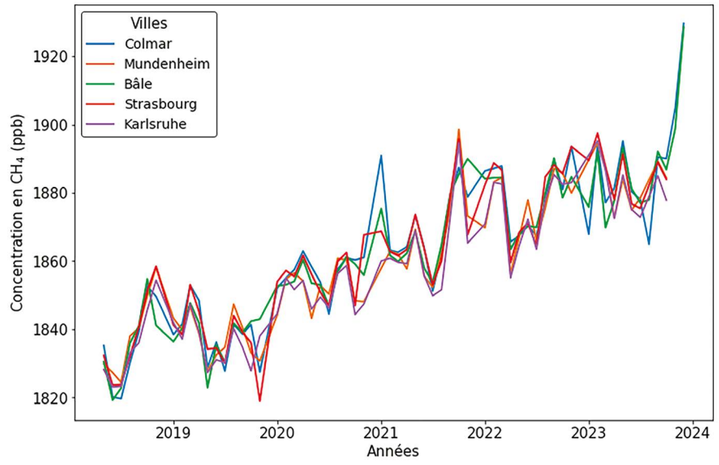
Ces premières exploitations montrent le potentiel et l'intérêt des données satellitaires pour compléter la modélisation et un dispositif de mesures au sol peu dense pour certains composés tels que le CH_4.

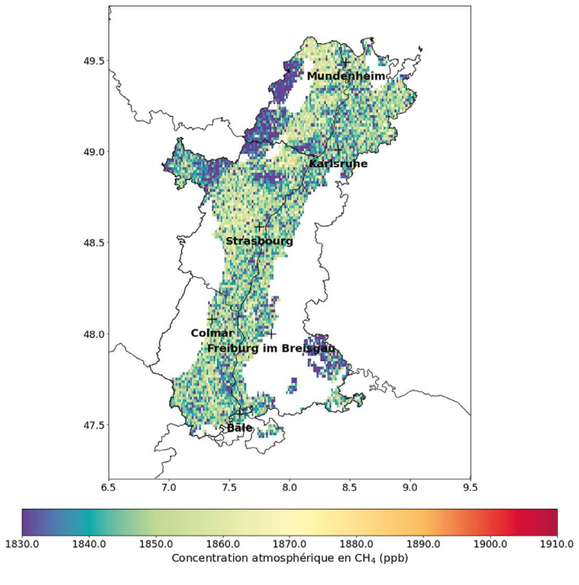
Studie zu Satellitendaten: Versuch mit den Methankonzentrationen

Im Rahmen von Atmo-Rhena PLUS hat ATMO Grand Est Vorarbeiten zur Auswertung von Satellitendaten über Methan am Oberrhein durchgeführt, und zwar mithilfe des auf dem Satelliten Sentinel-5P installierten Instruments TROPOMI. Diese Daten stellen eine interessante Ergänzung zu den bestehenden Instrumenten dar, um das Wissen über dieses Gas zu erweitern. Die Satellitendaten werden mithilfe von Instrumenten gewonnen, die an Bord von Satelliten in der Erdumlaufbahn installiert sind und in der Lage sind, Schadstoffe in der Atmosphäre nachzuweisen. Ergänzend zu den bodengestützten Messungen der Überwachungsstationen liefern sie Informationen über die räumliche Verteilung der Konzentrationen sowie über deren zeitliche Entwicklung.

Die ersten Ergebnisse zeigen eine räumliche Variabilität der CH_4-Konzentrationen am Oberrhein, mit höheren Werten in landwirtschaftlichen sowie städtischen Gebieten und niedrigeren Werten in Wald- und Berggebieten. Die Untersuchung der zeitlichen Entwicklung der Konzentrationen zeigt eine monatliche Variabilität mit einem deutlichen Anstiegstrend zwischen 2018 und 2024, und zwar in allen Städten am Oberrhein.

Diese ersten Auswertungen zeigen das Potenzial und den Nutzen von Satellitendaten zur Ergänzung der Modellierung und eines für bestimmte Verbindungen wie CH_4 nur wenig dichten Messnetzes am Boden.





Concentrations moyennes annuelles en CH_4 dans le Rhin Supérieur entre 2018 et 2020 via les données satellitaires TROPOMI

CH_4-Konzentrationen im Jahresmittelwert im Oberrhein zwischen 2018 und 2020 anhand der TROPOMI-Satellitendaten

Le portail sur la qualité de l'air dans la région du Rhin supérieur

Das Luftqualitätsportal für den Oberrhein

Le nouveau site web bilingue Atmo~rhenA (https://atmo-rhena.eu/) constitue un portail facilement accessible permettant aux décideurs et aux citoyens intéressés de s'informer sur la qualité de l'air dans la région du Rhin supérieur.

Die neu aufgebaute zweisprachige Webseite Atmo~rhenA (https://atmo-rhena.eu/) ist eine einfach zugängliche Anlaufstelle für Entscheidungsträger und interessierte Bürger, um sich über die Luftqualität im Oberrheingebiet zu informieren.

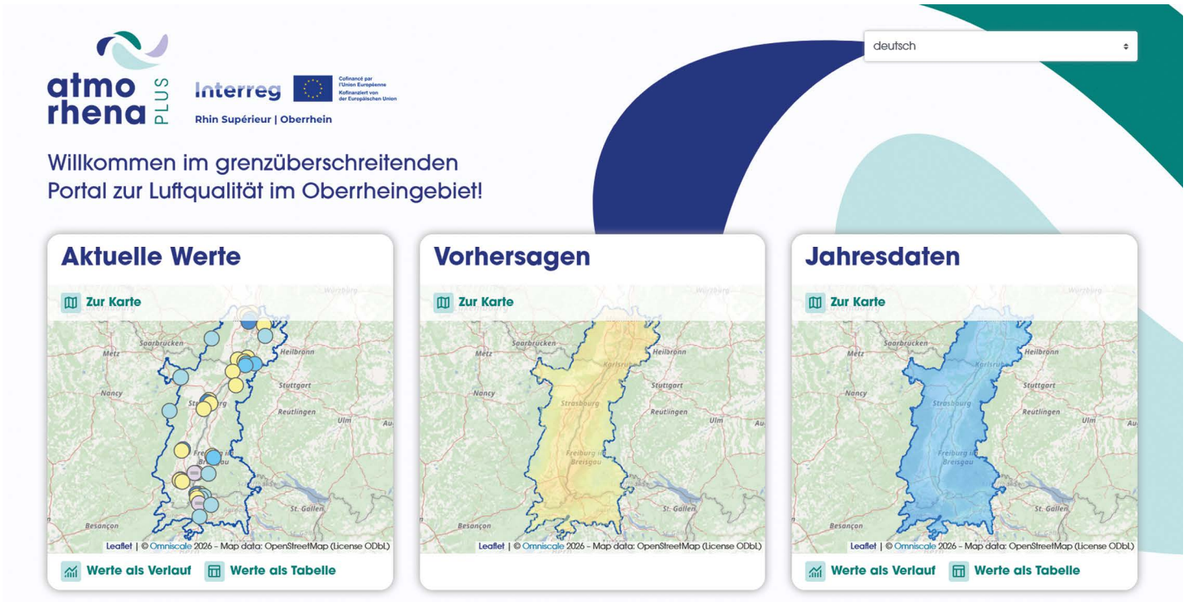
Le nouveau site web s'appuie sur le site « Qualité de l'air » mis en place dans le cadre du projet INTERREG III Atmo~rhenA. Ce site, qui existe depuis 2006, a été entièrement remanié et actualisé. Lors de cette refonte, l'accent a été mis en particulier sur une nouvelle mise en page et sur la mise à jour des données relatives à la qualité de l'air. Le nouveau site web est désormais facilement consultable depuis un téléphone portable.

La mise à disposition et la présentation sont harmonisées :
- des valeurs de mesure actuelles de la qualité de l'air,
- des prévisions pour les trois prochains jours,
- et des données annuelles,afin d'obtenir en un coup d'œil un aperçu complet de la qualité de l'air dans la région du Rhin supérieur.

Die neue Webseite baut dabei auf die im Rahmen des INTERREG-III-Projekts Atmo~rhenA eingerichtete Webseite „Luftqualität“ auf. Diese seit 2006 bestehende Webseite wurde grundlegend erneuert und aktualisiert. Ein besonderer Fokus bei der Überarbeitung lag auf einem neuen Layout und der aktualisierten Darstellungen der Luftqualität. Die neue Webseite ist nun auch bequem vom Handy aus nutzbar.

Die Darstellung und Bereitstellung sind einheitlich gestaltet:
- Echtzeit-Messwerte zur Luftqualität,
- Vorhersagen der nächsten drei Tage,
- Jahresdaten,

um auf einen Blick einen umfassenden Überblick über die Luftqualität im Oberrheingebiet zu bekommen.



Les données actuelles relatives à la qualité de l'air sont présentées sous forme de cartes, de tableaux et de graphiques chronologiques. Ces derniers permettent de consulter les données des six dernières semaines. Outre l'indice de qualité de l'air ou l'indice de pollution à court terme, les concentrations des polluants atmosphériques réglementés que sont le dioxyde d'azote (NO_2), l'ozone (O_3) et les particules fines PM_{10} et $PM_{2,5}$ sont également présentées. Afin de garantir l'actualité des données, les mesures des stations sont mises à jour toutes les trois heures.

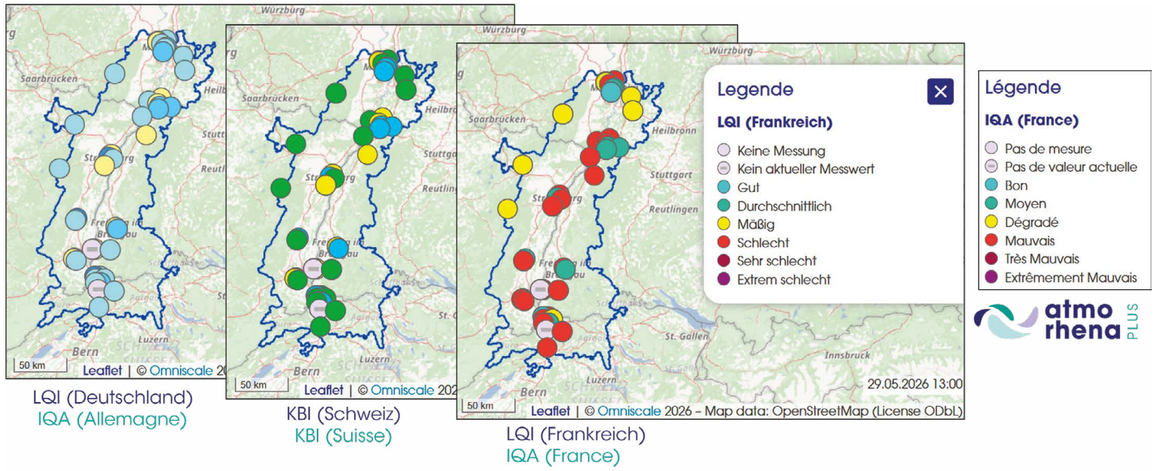
Pour la présentation de la qualité actuelle de l'air (indice de qualité de l'air ou indice de pollution à court terme) ainsi que des concentrations actuelles de toutes les stations de mesure, il est possible de choisir entre les trois indices de qualité de l'air différents utilisés dans les différentes sous-régions de la région du Rhin supérieur (Allemagne, France et Suisse). Cela permet à chacun de comparer directement les stations de mesure sous une forme et avec une palette de couleurs familières.

Die aktuellen Messwerte der Luftqualität werden als Karten, Tabellen und Verläufe zur Verfügung gestellt. Mit letzteren lassen sich die Messwerte der letzten 6 Wochen anzeigen. Neben dem Luftqualitätsindex bzw. Kurzzeitbelastungsindex werden auch die Konzentrationen der klassischen Luftschadstoffe Stickstoffdioxid (NO_2), Ozon (O_3) und der Feinstäube PM_{10} und $PM_{2,5}$ dargestellt. Um aktuell zu bleiben, werden die Messwerte der Stationen alle drei Stunden aktualisiert.

Bei der Darstellung der aktuellen Luftqualität (Luftqualitätsindex bzw. Kurzzeitbelastungsindex) sowie der aktuellen Konzentrationen aller Messstationen kann zwischen den drei unterschiedlichen Luftqualitätsindizes, welche in den verschiedenen Teilregionen des Oberrheingebietes (Deutschland, Frankreich und Schweiz) in Verwendung sind, gewählt werden. Dies ermöglicht allen den direkten Vergleich der Messstationen in einer vertrauten Form und Farbgebung.

Exemples de l'indice actuel de la qualité de l'air ou de l'indice de pollution à court terme des stations de mesure de la région du Rhin supérieur, tels qu'ils sont présentés sur le portail, en fonction du mode de représentation utilisé dans le Bade-Wurtemberg, en Suisse et en France.

Beispiele des im Portal gezeigten aktuellen Luftqualitätsindex bzw. Kurzzeitbelastungsindex der Messstationen im Oberrheingebiet in Abhängigkeit der in Baden-Württemberg, der Schweiz und in Frankreich verwendeten Darstellungsart.



LQI (Deutschland)
IQA (Allemagne)

KBI (Schweiz)
KBI (Suisse)

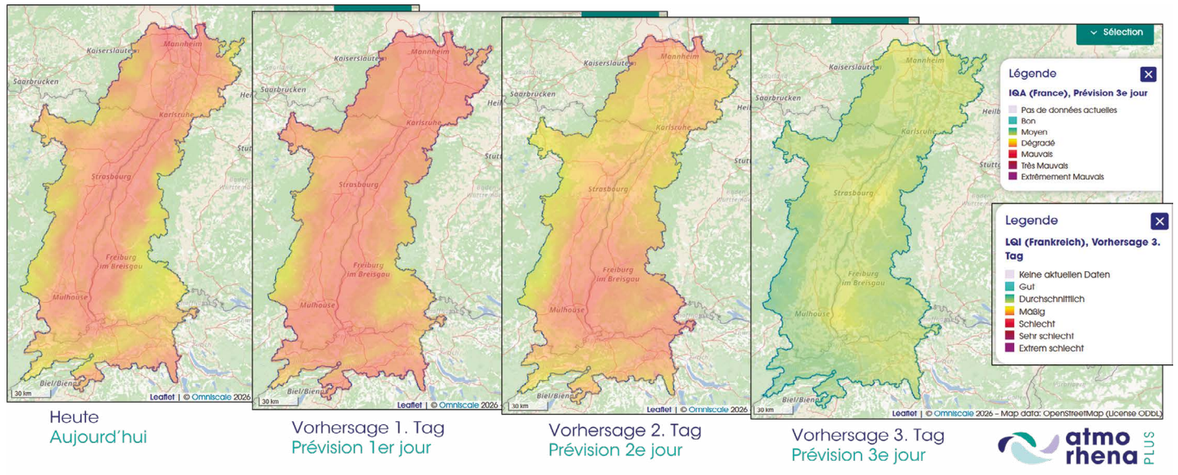
LQI (Frankreich)
IQA (France)

Outre les mesures actuelles, des cartes présentant la qualité de l'air modélisée ainsi que les concentrations de polluants atmosphériques pour l'ensemble de la région du Rhin supérieur sont mises à disposition pour hier, aujourd'hui et les trois prochains jours. La résolution de ces cartes a pu être améliorée grâce à des réseaux neuronaux.

Neben den aktuellen Messwerten, werden auch die modellierte Luftqualität sowie Luftschadstoffkonzentrationen für das ganze Oberrheingebiet von gestern, heute sowie Vorhersagen der nächsten drei Tage als Karten bereitgestellt. Die Auflösung dieser Karten konnte mit Hilfe von neuronalen Netzen erhöht werden.

Exemples de cartes présentées sur le portail concernant les prévisions de la qualité de l'air dans la région du Rhin supérieur.

Beispiele der im Portal gezeigten Karten der Vorhersagen der Luftqualität im Oberrheingebiet.



Heute
Aujourd'hui

Vorhersage 1. Tag
Prévision 1er jour

Vorhersage 2. Tag
Prévision 2e jour

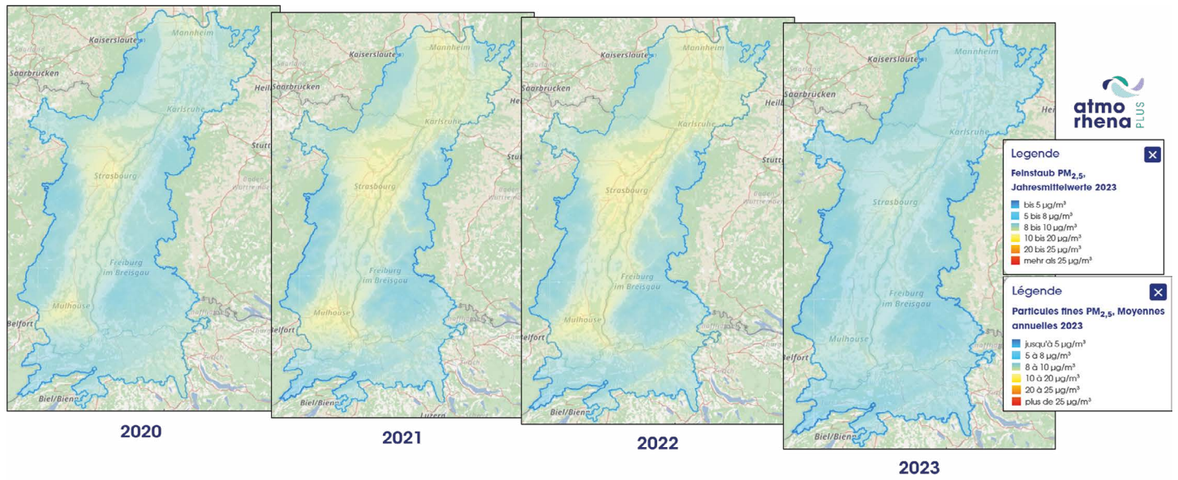
Vorhersage 3. Tag
Prévision 3e jour

Les données annuelles depuis 2020 sont également présentées sous forme de cartes pour l'ensemble de la région du Rhin supérieur. De plus, les moyennes annuelles des stations de mesure sont indiquées sous forme de tableaux et de courbes.

Auch die Jahresdaten seit 2020 werden für das gesamte Oberrheingebiet als Karten aufbereitet. Des Weiteren sind die Jahresmittelwerte der Messstationen als Tabellen und Verläufe angegeben.

Exemples de cartes présentant les données annuelles disponibles sur le portail, ici les dépassements des limites de $PM_{2,5}$ dans la région du Rhin supérieur.

Beispiele der im Portal gezeigten Karten der Jahresdaten, hier der $PM_{2,5}$-Überschreitungen, im Oberrheingebiet.



2020 2021 2022 2023

Des informations supplémentaires sur les trois indices de qualité de l'air ainsi que sur les polluants pertinents pour la qualité de l'air (NO_2, O_3, PM_{10} et $PM_{2,5}$) permettent d'en savoir plus sur la qualité de l'air en général et sur les pratiques en vigueur dans d'autres pays.

Zusätzliche Informationen über die drei unterschiedlichen Luftqualitätsindizes sowie zu den für die Luftqualität relevanten Schadstoffen (NO_2, O_3, PM_{10} und $PM_{2,5}$) helfen dabei mehr über Luftqualität im Allgemeinen und das Vorgehen in anderen Ländern zu erfahren.

Conclusion

Dépassements de seuils de protection de la santé

- Concernant l'O_3, 25% du Rhin supérieur se situe au-dessus de la valeur cible actuelle pour la protection de la santé humaine (73% pour la valeur cible 2030). Cela représente 51% de la population alsacienne et 4% des habitants des Cantons de Bâle (94% et 96% pour la valeur cible 2030).
- Pour le NO_2, la valeur limite actuelle n'est pas dépassée dans le Rhin supérieur, et la valeur limite prévue pour 2030 est uniquement encore dépassée sur 0.2% de la surface du territoire. En revanche, la ligne directrice de l'OMS est dépassée sur 13% de la zone (25% des habitants de l'Alsace et 72% de ceux des Cantons de Bâle).
- Concernant les PM_{10}, il n'y a pas de dépassement de la valeur limite actuelle ni de celle prévue pour 2030, et 0,2% du territoire serait exposé à un dépassement de la ligne directrice de l'OMS (4% de la population alsacienne et 0,3% de celle des Cantons de Bâle).
- Pour les $PM_{2,5}$, il n'y a pas de dépassement de normes réglementaires actuellement en vigueur ou à respecter dans le futur, en revanche 92% du territoire serait exposé à un dépassement de la ligne directrice de l'OMS, tous les habitants de l'Alsace et du Canton de Bâle seraient concernés.

Dépassements de seuils pour la protection des écosystèmes

- Concernant l'O_3, le seuil de protection de la végétation est dépassé sur 60% de la surface d'écosystèmes du Rhin supérieur, et le seuil de protection de la forêt est dépassé sur la majorité du territoire.
- Pour l'ammoniac, 74 % de la surface d'écosystème du Rhin supérieur est exposée à des dépassements du seuil de protection de la végétation issu de la littérature scientifique, et 6% pour la végétation sensible.

Fazit

Überschreitungen von Schwellenwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit

- Für O_3 zeigt die Modellierung, dass 25 % des Oberrheins über dem aktuellen Zielwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit liegt (73 % für den Zielwert 2030). Dies entspricht 51 % der elsässischen Bevölkerung und 4 % der Einwohner der Kantone Basel (94 % bzw. 96 % für den Zielwert 2030).
- Bei NO_2 wird der aktuelle Grenzwert am Oberrhein nicht überschritten, und der ab 2030 gültige Grenzwert wird nur auf 0,2 % der Fläche überschritten. Die WHO-Leitlinie wird hingegen auf 13% der Fläche überschritten (25 % der Einwohner des Elsass und 72 % der Einwohner der Kantone Basel).
- Bei PM_{10} gibt es keine Überschreitung des aktuellen oder des ab 2030 gültigen Grenzwertes, und nur 0,2 % des Gebiets wären von einer Überschreitung der WHO-Leitlinie betroffen (4 % der Bevölkerung des Elsass und 0,3 % der Bevölkerung der Kantone Basel).
- Bei $PM_{2,5}$ gibt es keine Überschreitung der derzeit geltenden oder künftig einzuhaltenden gesetzlichen Grenzwerte, allerdings wären 92 % des Gebietes von einer Überschreitung der WHO-Leitlinie betroffen, wovon alle Einwohner des Elsass und des Kantons Basel betroffen wären.

Überschreitungen von Schwellenwerten zum Schutz der Ökosysteme

- Für O_3 zeigt die Modellierung, dass der Zielwert für den Schutz der Vegetation auf 60 % der Fläche der Ökosysteme am Oberrhein überschritten wird, und der Schutzgrenzwert für den Wald wird auf dem Großteil des Gebiets überschritten.
- Bei Ammoniak sind 74 % der Ökosystemfläche am Oberrhein Überschreitungen des aus der wissenschaftlichen Literatur abgeleiteten Wert für den Schutz der Vegetation ausgesetzt, bei empfindlicher Vegetation sind es 6 %.

Impacts sur la santé humaine et les écosystèmes

Les dépassements des lignes directrices de l'OMS concernant les concentrations de NO_2 et de $PM_{2.5}$ ont un impact sur la mortalité et la survenue de pathologies (morbidité) dans le Rhin supérieur.

L'évaluation de ces risques sanitaires puis celle de leurs coûts économiques sont documentées dans les deux brochures du projet Atmo-Rhena PLUS suivantes : https://www.atmo-grandest.eu/publications/atmo-rhena-plus-sante et https://www.atmo-grandest.eu/publications/atmo-rhena-plus-impacts-economiques-gains-sanitaires.

Les pertes de rendement agricole et sylvicole liés à l'ozone se montent à plusieurs millions d'Euros en Alsace selon l'étude APolIO[3].

Les marges de manœuvre sur l'ozone sont faibles, néanmoins elles peuvent permettre d'éviter des pics de pollution. Les leviers d'action sur les polluants tels les oxydes d'azote sont plus importants. Selon le type d'épisode, les marges de manœuvre existent les PM_{10} et les $PM_{2.5}$.

Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme

Die Überschreitungen der WHO-Leitlinie für NO_2- und $PM_{2.5}$-Konzentrationen wirken sich auf die Sterblichkeit und das Auftreten von Erkrankungen (Morbidität) am Oberrhein aus.

Die Bewertung dieser Gesundheitsrisiken sowie die anschließende Ermittlung der damit verbundenen wirtschaftlichen Kosten werden in den folgenden beiden Broschüren des Projekts Atmo-Rhena PLUS erläutert: https://www.atmo-grandest.eu/publications/atmo-rhena-plus-sante und https://www.atmo-grandest.eu/publications/atmo-rhena-plus-impacts-economiques-gains-sanitaires.

Die durch Ozon verursachten Ertragsverluste in der Land- und Forstwirtschaft belaufen sich laut der APolIO-Studie[3] auf mehrere Millionen Euro im Elsass.

Der Handlungsspielraum bei Ozon ist gering, dennoch kann er dazu beitragen, Schadstoffspitzen zu vermeiden. Bei Schadstoffen wie Stickoxiden ist der Handlungsspielraum größer. Je nach Art der Luftverschmutzungsepisode besteht Handlungsspielraum bei PM_{10} und $PM_{2.5}$.

[3] SCHUCHT S., TOGNET F., COLETTE A., LETINOIS L., LENOBLE C., AGASSE S., MATHIEU Q. 2019. Coût économique pour l'agriculture des impacts de la pollution de l'air par l'ozone – APolIO : Analyse économique des impacts de la pollution atmosphérique de l'ozone sur la productivité agricole et sylvicole en France. Synthèse, 24 pages

Pour aller plus loin / Weiterführende Informationen:

- Liens vers les réseaux régionaux :
  Links zu den regionalen Messnetzen:
  - **Grand-Est** : https://observatoire.atmo-grandest.eu/
  - **Baden-Württemberg**: https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/messwerte-immissionswerte
  - **Nordwestschweiz**: https://www.luftqualitaet.ch/
- Liens vers les législations et stratégies en matière de qualité de l'air :
  Links zu Rechtsvorschriften und Strategien im Bereich der Luftreinhaltung:
  - **SRADDET Grand-Est** : https://www.grandest.fr/le-schema-regional-damenagement-et-de-developpement-durable-et-degalite-des-territoires/
  - **Baden-Württemberg**: Luftreinhaltung - Regierungspräsidien Baden-Württemberguftreinhaltung - Regierungspräsidien Baden-Württemberg
  - **Basel-Stadt :** https://www.bs.ch/wsu/aue/rechtliche-grundlagen-im-bereich-umwelt-und-energie#immissionen
  - **Basel-Landschaft :** https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/umweltschutz-energie/luft/massnahmen-zur-verbesserung-der-luft-luftreinhalteplan

Interreg

Oberrhein | Rhin Supérieur

Kofinanziert von der Europäischen Union
Cofinancé par l'Union Européenne

atmo rhena PLUS

Partenaires techniques et co-financeurs / Technische und kofinanzierende Projektpartner

AtMO GRAND EST

Lufthygieneamt beider Basel

Baden-Württemberg Landesanstalt für Umwelt

AGENCE DU CLIMAT le guichet des solutions Eurométropole de Strasbourg

TRION www.trion-climate.net

ortenauer energieagentur.

Partenaires co-financeurs
Kofinanzierende Projektpartner

BASEL LANDSCHAFT

Kanton Basel-Stadt

La Région Grand Est

ALSACE Collectivité européenne

EURO DISTRICT STRASBOURG - ORTENAU

Partenaires associés
Assoziierte Projektpartner

Baden-Württemberg STATISTISCHES LANDESAMT

KEA-BW DIE LANDESENERGIEAGENTUR

ars Agence Régionale de Santé Grand Est

ETB Eurodistrict Trinational de Bâle
TEB Trinationaler Eurodistrict Basel

Eurodistrict PAMINA

METEO FRANCE

Parties prenantes
Stakeholders

DEUTSCH-FRANZÖSISCH-SCHWEIZERISCHE OBERRHEINKONFERENZ

CONFERENCE FRANCO-GERMANO-SUISSE DU RHIN SUPÉRIEUR

GeoRhena

Impressum - Atmo-Rhena PLUS-12 Indice 1 29/05/2026 - Edition / Herausgeber : Atmo Grand Est - Rédaction / Bearbeitung : Atmo Grand Est LUBW
Mise en page / Layout : Agence Die Drei - Impression / Druck : Imprimerie KOCHER - Crédit photos / Bildnachweis : LUBW : p14