

# Biodiversité et forêts du Rhin supérieur : Interactions avec l'air et le climat

## Biodiversität und Wälder am Oberrhein: Wechselwirkungen mit Luft und Klima

Interreg



Kofinanziert von  
der Europäischen Union  
Cofinancé par  
l'Union Européenne

Oberrhein | Rhin Supérieur



### 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.

### Des liens méconnus entre qualité de l'air, climat, biodiversité et le milieu "forêt"

Dans le Rhin supérieur comme ailleurs, les dérèglements climatiques et la pollution atmosphérique aggravent l'érosion de la biodiversité, celle-ci étant déjà menacée par l'urbanisation et la fragmentation des habitats naturels entre autres<sup>1</sup> :

- Les polluants de l'air engendrent également des effets environnementaux, notamment sur les écosystèmes forestiers : l'azote et le soufre provoquent leur acidification, alors que l'ozone basse altitude et les particules perturbent la croissance et la photosynthèse des végétaux.
- Certains de ces polluants de l'air sont également des gaz à effet de serre (GES) qui, en grande concentration dans l'atmosphère, contribuent à l'augmentation de la température moyenne de la planète.

Réciproquement, les écosystèmes comme les forêts jouent différents rôles au regard des dérèglements climatiques et des émissions de polluants de l'air.

### Objectifs de la brochure

Cette brochure présente de manière non exhaustive plusieurs indicateurs chiffrés applicables au Rhin supérieur permettant d'évaluer les impacts des polluants atmosphériques et gaz à effet de serre sur la biodiversité et les forêts.

### Atmo-Rhena PLUS: Grenzüberschreitender Schutz der Atmosphäre

Atmo-Rhena PLUS ist ein von der Europäischen Union kofinanziertes Interreg-VI-Projekt für das Oberrheingebiet, welches von 2023 bis 2026 läuft. Das Ziel des Projekts ist es, eine Bestandsaufnahme vergleichbarer und quantifizierbarer Daten aus dem Bereich 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.

### Wenig bekannte Zusammenhänge zwischen Luftqualität, Klima, Biodiversität und Wäldern

Am Oberrhein wie auch anderswo verschärfen Klimaveränderungen und Luftverschmutzung den Rückgang der Artenvielfalt, die bereits unter anderem durch die Urbanisierung und die Fragmentierung natürlicher Lebensräume bedroht ist<sup>1</sup> :

- Luftschadstoffe haben ebenfalls Auswirkungen auf die Waldökosysteme: Stickstoff und Schwefel führen zur Versauerung, während bodennahes Ozon und Feinstaub das Wachstum und die Photosynthese der Pflanzen beeinträchtigen.
- Einige dieser Luftschadstoffe sind zugleich Treibhausgase (THG), die bei hoher Konzentration in der Atmosphäre zum Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur beitragen. Umgekehrt übernehmen Ökosysteme wie Wälder vielfältige Funktionen im Zusammenhang mit dem Klimawandel und den Emissionen von Luftschadstoffen

### Verwendung dieser Broschüre

Diese Broschüre bietet eine nicht abschließende Auswahl quantifizierter Indikatoren für den Oberrhein, die es ermöglichen, die Auswirkungen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen auf die Biodiversität und die Wälder zu veranschaulichen.

<sup>1</sup> Mantyka-Pringle, C. S., Visconti, P., Di Marco, M., Martin, T. G., Rondinini, C., & Rhodes, J. R. (2015). Climate change modifies risk of global biodiversity loss due to land-cover change. *BIOLOGICAL CONSERVATION*, 187, 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.04.016>

# Biodiversité et forêts dans le Rhin supérieur

## Biodiversität und Wälder am Oberrhein

Dans le Rhin supérieur, on compte 12 parcs naturels, 2 réserves de biosphère et 44% de la surface est occupée par des forêts<sup>2</sup>.

Diverses menaces pèsent sur le vivant dans le Rhin supérieur :

### Espèces menacées :

- En Alsace, 1301 espèces parmi 7 567 espèces animales, végétales et fongiques évaluées sont sur la Liste rouge des espèces menacées. Les écrevisses et les oiseaux nicheurs figurent parmi les taxons les plus menacés.<sup>3</sup>
- En Bade-Wurtemberg, environ 40% des 50 000 espèces animales et végétales sont menacées.<sup>4</sup>
- En Suisse, 47% des 56 000 espèces animales et végétales sont menacées.<sup>5</sup>

### Forêts :

- Dans la Région Grand Est en dix ans, l'augmentation de la mortalité des arbres a été quatre fois plus importante qu'ailleurs dans l'hexagone : 270% en Alsace, contre un peu plus de 50% en moyenne en France.<sup>6</sup>
- En Bade-Wurtemberg, 40% des forêts sont endommagées.<sup>7</sup>
- En Suisse, la mortalité des forêts a fortement augmenté entre 2015 et 2025 et atteint 25% de l'accroissement brut (qui comprend les volumes d'arbres vifs, d'arbres exploités ou morts naturellement et non exploités), et celle-ci a plus que doublé dans le Jura (+129%).<sup>8</sup>

L'augmentation de la mortalité des arbres en forêt est liée à des périodes de sécheresse et à des températures plus élevées, sur une période plus étendue. Ceci fragilise les peuplements forestiers et favorise les proliférations d'insectes phytophages comme les scolytes.<sup>9</sup>

### Or, les dérèglements climatiques se manifestent dans le Rhin supérieur par :

- Une augmentation du nombre de jours en vagues de chaleur (épisodes estivaux d'au moins 5 jours consécutifs pour lesquels la température excède la normale de plus de cinq degrés)
- Une augmentation du nombre de nuits tropicales (nuits à plus de 20°C).
- Une intensification des sécheresses hydrologiques (avec des niveaux anormalement bas des eaux souterraines et de surface) et agricoles (avec un manque d'eau disponible dans les sols pour la végétation, ce qui nuit à son développement).<sup>10</sup>

Am Oberrhein gibt es 12 Naturparks, 2 Biosphärenreservate und 44% der Fläche sind bewaldet<sup>2</sup>.

Diese Ökosysteme sind bereits auf vielfältige Weise im Zusammenhang mit dem Klimawandel bedroht:

### Gefährdete Arten :

- Im Elsass stehen 1301 von insgesamt 7 567 untersuchten Tier-, Pflanzen- und Pilzarten auf der Roten Liste der gefährdeten Arten. Zu den am stärksten bedrohten Taxa zählen Flusskrebse und Brutvögel.<sup>3</sup>
- In Baden-Württemberg sind etwa 40% der 50 000 Tier- und Pflanzenarten gefährdet.<sup>4</sup>
- In der Schweiz sind 47 % der 56 000 Tier- und Pflanzenarten bedroht.<sup>5</sup>

### Wälder :

- Im Grand Est war der Anstieg der Baumsterblichkeit innerhalb von zehn Jahren viermal so hoch wie anderswo in Frankreich: 270 % im Elsass gegenüber etwas mehr als 50 % im französischen Durchschnitt.<sup>6</sup>
- In Baden-Württemberg sind 40% der Wälder geschädigt.<sup>7</sup>
- In der Schweiz ist die Waldsterblichkeit zwischen 2015 und 2025 stark angestiegen und erreicht 25 % des Bruttozuwachses (der das Volumen lebender, genutzter oder natürlich abgestorbener und nicht genutzter Bäume umfasst), im Jura hat sie sich mehr als verdoppelt (+129 %).<sup>8</sup>

Die zunehmende Baumsterblichkeit in den Wäldern hängt mit Dürreperioden sowie höheren Temperaturen über einen längeren Zeitraum zusammen. Dies schwächt die Waldbestände und begünstigt die Vermehrung pflanzenfressender Insekten wie Borkenkäfer.<sup>9</sup>

### Die Klimaveränderungen am Oberrhein äußern sich konkret durch folgende Erscheinungen :

- von mindestens 5 aufeinanderfolgenden Tagen, an denen die Temperatur um mehr als fünf Grad über dem Normalwert liegt).
  - Zunahme der tropischen Nächten (Nächte mit Temperaturen über 20 °C).
  - Eine Zunahme hydrologischer Dürren (mit ungewöhnlich niedrigen Grund- und Oberflächenwasserständen) und landwirtschaftlicher Dürren (mit einem Mangel an verfügbarem Wasser im Boden für die Vegetation, was deren Entwicklung beeinträchtigt).<sup>10</sup>

## Définitions en 30 secondes

- La **biodiversité** se définit par la diversité du vivant à trois échelles interdépendantes : la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique entre les individus d'une même espèce.<sup>11</sup>
- La **forêt** est un **écosystème**, c'est-à-dire un milieu abritant un ensemble d'organismes vivants en interaction les uns avec les autres. Ce terme intègre également les interactions des espèces avec leur milieu. Les arbres jouent un rôle central dans le fonctionnement général des forêts, agissant aussi bien sur les relations au sein des espèces qu'entre espèces, mais aussi sur les cycles des ressources comme l'eau ou la matière organique. La **biodiversité forestière** est définie comme l'ensemble de la diversité des espèces vivantes en forêt ou qui interagissent avec l'écosystème forestier. **Les forêts de la Région du Rhin supérieur sont des écosystèmes variés, riches et complexes.**<sup>12</sup>
- Les **polluants atmosphériques** sont des composés gazeux ou des particules qui ont un impact négatif sur la qualité de l'air et nuisent à la santé humaine et à l'environnement. Les effets négatifs des polluants atmosphériques ne se limitent pas à la zone proche des sources d'émission, mais peuvent se propager dans l'atmosphère sur des centaines de kilomètres, voire parfois à l'échelle mondiale.

## Réserve de biosphère

Une réserve de biosphère est un territoire reconnu par l'UNESCO conciliant la conservation de la biodiversité et le développement durable, avec l'appui de la recherche, de l'éducation et de la sensibilisation, dans le cadre du programme sur l'Homme et la biosphère (Man and Biosphere, MAB). Une réserve de biosphère n'impose pas de réglementation particulière et s'appuie sur les législations existantes dans le pays où elle se situe. Elle se structure selon trois zones en fonction du niveau de protection (aire centrale, zone tampon et zone de transition).

## Definitionen in 30 Sekunden

- Die **Biodiversität** wird durch die Vielfalt des Lebens auf drei miteinander verbundenen Ebenen definiert: die Vielfalt der Ökosysteme, die Artenvielfalt und die genetische Vielfalt zwischen Individuen derselben Art.<sup>11</sup>
- Der **Wald** ist ein Ökosystem, d. h. ein Lebensraum, in dem eine Vielzahl von Lebewesen miteinander interagieren und in die Bäume eine zentrale Rolle für das allgemeine Funktionieren spielen, sowohl für die Beziehungen innerhalb und zwischen den Arten als auch für die Wasser- und Stoffkreisläufe. Die **Waldbiodiversität** ist definiert als die gesamte Vielfalt der lebenden Arten, die im Wald vorkommen oder mit dem Waldökosystem interagieren. Dieser Begriff umfasst auch die Wechselwirkungen der Arten untereinander und mit ihrer Umgebung. **Die Wälder der Oberrheinregion sind reichhaltige und komplexe Ökosysteme.**<sup>12</sup>
- Als **Luftschadstoffe** werden gasförmige Verbindungen oder Partikel bezeichnet, die die Luftqualität negativ beeinflussen und die menschliche Gesundheit sowie die Umwelt schädigen. Die negativen Auswirkungen der Luftschadstoffe begrenzen sich nicht nur auf den Umkreis der Emissionen, sondern können in der Atmosphäre über hunderte Kilometer transportiert werden, manchmal sogar über den gesamten Globus.

## Biosphärenreservate

Ein Biosphärenreservat ist ein von der UNESCO anerkanntes Gebiet, in dem der Erhalt der biologischen Vielfalt und die nachhaltige Entwicklung mit Unterstützung durch Forschung, Bildung und Sensibilisierung im Rahmen des Programms „Der Mensch und die Biosphäre“ (Man and Biosphere, MAB) in Einklang gebracht werden. Ein Biosphärenreservat unterliegt keinen besonderen Vorschriften und stützt sich auf die geltenden Rechtsvorschriften des Landes, in dem es sich befindet. Es ist entsprechend dem Schutzniveau in drei Zonen unterteilt (Kernzone, Pflegezone und Entwicklungszone).



<sup>2</sup> Schéma Alsacien de Coopération Transfrontalière 2022 / Elsassisches Schema für grenzüberschreitende Zusammenarbeit, 2022.

<sup>3</sup> Office des Données Naturalistes du Grand Est, Listes rouges du Grand Est <https://www.odonat-grandest.fr/listes-rouges-grand-est/>

<sup>4</sup> Land Baden-Württemberg, Mit dem Sonderprogramm Biodiversität die Grundlage unseres Lebens retten <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/bw-gestalten/nachhaltiges-baden-wuerttemberg/naturschutz/biodiversitaet/>

<sup>5</sup> Bundesamt für Umwelt Schweiz, Gefährdete Arten und Lebensräume in der Schweiz; 2023 <https://www.bafu.admin.ch/de/publication?id=5VB7w-aa1jlv>

<sup>6</sup> France Bleu, Journée internationale de la forêt : en Alsace, la mortalité des arbres a grimpé de 270% en dix ans, 20.03.2023

<https://www.francebleu.fr/infos/environnement/en-alsace-la-mortalite-des-arbres-a-grimpe-de-270-en-dix-ans-1942760>

<sup>7</sup> Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, Wir haben was gegen CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre:

<https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/wald-und-naturerlebnis/unserholz/wir-haben-was-gegen-co2-in-der-atmosphaere>

<sup>8</sup> Strauss A., Fischer C. (Eds) (2025) Rapport forestier 2025. Évolution, état et utilisation de la forêt suisse. Bern; Birmensdorf: Office fédéral de l'environnement OFEV; Institut fédéral de recherches WSL. 161 p. <https://www.wsl.ch/fr/publications/rapport-forestier-2025/>

<sup>9</sup> Singh, V. V., Naseer, A., Mogilicherla, K., Trubin, A., Zabihi, K., Roy, A., Jakš, R., & Erbilgin, N. (2024). Understanding bark beetle outbreaks : Exploring the impact of changing temperature regimes, droughts, forest structure, and prospects for future forest pest management. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 23(2), 257-290.

<https://doi.org/10.1007/s11157-024-09692-5>

<sup>10</sup> Scholze N., Riach N., Glaser R., Gruner S., Bohnert G., & Martin B. (2023). Climate change impacts and adaptation efforts in different economic sectors of the Trinational Metropolitan Region Upper Rhine. Climate Risk Management, 42, 100576. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100576>

<sup>11</sup> Muséum national d'Histoire naturelle. Qu'est-ce que la biodiversité ? <https://www.mnhn.fr/fr/qu-est-ce-que-la-biodiversite>

<sup>12</sup> Sycamore. Biodiversité et forêt <https://www.sycamore-cvl.fr/cpt-actions/ressources-sur-la-foret/la-gestion-de-la-foret/biodiversite-et-foret/>

# Pollution de l'air : Impacts sur la biodiversité et la forêt

## Luftverschmutzung: Auswirkungen auf die Biodiversität und den Wald

### L'AOT40 et le PODy : Indicateurs d'exposition de la végétation et de la forêt à l'ozone

En plus d'être un gaz à effet de serre renforçant les dérèglements climatiques, l'ozone de basse altitude ( $O_3$ ) est un polluant nocif pour la santé et nuisible à la biodiversité végétale. Ce polluant pénètre dans la plante comme les autres gaz atmosphériques ( $CO_2$ ,  $O_2$  etc.), principalement par l'intermédiaire des stomates présents le plus souvent sur la face inférieure des feuilles. Cette pollution dite « photochimique » peut conduire à la formation de nécroses ou de tâches sur la surface des feuilles et à la réduction de la capacité de fixation du  $CO_2$  lors de la photosynthèse. À plus long terme, ces effets peuvent se traduire par une dégradation du métabolisme de la plante, une chute plus importante des feuilles par rapport à la normale et une réduction de sa croissance.

L'impact de l'ozone sur la végétation est mesuré à l'aide d'un indicateur, commun à toute l'Europe : l'**AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40ppb)**. Il permet de quantifier l'**exposition cumulée du végétal aux concentrations d'ozone supérieures à 40 parties par milliard, soit  $80 \mu g/m^3$** . Ce paramètre résulte d'un calcul à partir des teneurs en ozone pendant la période de croissance des végétaux :

- entre mai et juillet de 8 heures à 20 heures pour l'**AOT végétation**,
- entre avril et septembre pour l'**AOT forêt**.

### AOT40 und PODy: Indikatoren für die Ozonbelastung von Vegetation und Wald

Bodennahes Ozon ( $O_3$ ) ist nicht nur gesundheitsschädlich für den Menschen und ein Treibhausgas, das den Klimawandel verstärkt, sondern auch ein Schadstoff, der die Pflanzen beeinträchtigt. Dieser Schadstoff dringt wie andere atmosphärische Gase ( $CO_2$ ,  $O_2$  usw.) in die Pflanze ein, hauptsächlich über die Spaltöffnungen meist unter Blattoberflächen. Diese sogenannte „photochemische“ Verschmutzung kann zur Bildung von Nekrosen oder Flecken auf der Blattoberfläche sowie zu einer Verringerung der  $CO_2$ -Bindungsfähigkeit bei der Photosynthese führen. Langfristig können diese Auswirkungen zu einer Beeinträchtigung des Pflanzenstoffwechsels, einem überdurchschnittlichen Blattabwurf und einem Wachstumsrückgang führen.

Die Auswirkungen von Ozon auf die Vegetation werden anhand eines europaweit einheitlichen Indikators gemessen: dem **AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40ppb)**.

Damit lässt sich die **kumulative Belastung der Pflanzen durch Ozonkonzentrationen** von über 40 ppb, also  $80 \mu g/m^3$ , quantifizieren. Dieser Parameter ergibt sich aus einer Berechnung auf der Grundlage der Ozonkonzentrationen während der Wachstumsperiode der Pflanzen:

- zwischen Mai und Juli von 8 bis 20 Uhr für den **AOT-Wert für Vegetation**,
- zwischen April und September für den **AOT-Wert für Wälder**.

En 2023, l'AOT forêt était supérieur à  $20\ 000 \mu g/m^3$  sur la majorité du territoire du Rhin supérieur. Ce seuil correspond à la limite de protection des forêts, définie par l'Union européenne dans la directive relative à l'ozone dans l'air ambiant (2002/3/CE).

Im Jahr 2023 lag der AOT-Wert für Wälder auf dem Großteil des Oberrheingebiets über  $20\ 000 \mu g/m^3$ . Dieser Schwellenwert entspricht dem Waldschutzwert, der von der Europäischen Union in ihrer Richtlinie über Ozon Gehalt in der Luft (2002/3/EG) festgelegt wurde.

L'AOT végétation est présenté dans la brochure « Air et climat : défis pour l'agriculture dans le Rhin supérieur » du projet. La brochure « Ozone troposphérique - Situation actuelle et défis dans le Rhin supérieur » complète aussi les informations sur cette thématique.

Der AOT-Wert für Vegetation wird in der Broschüre „Luft und Klima: Herausforderungen für die Landwirtschaft am Oberrhein“ des Projekts vorgestellt. Die Broschüre „Troposphärisches Ozon – Aktuelle Lage und Herausforderungen am Oberrhein“ ergänzt die Informationen zu diesem Thema.

Un outil de modélisation de l'indicateur **PODy** (Phytotoxic Ozone Dose above a threshold of Y) a par ailleurs été développé en 2020 dans le cadre du projet APollO piloté par l'INERIS en partenariat avec l'ADEME et les chambres d'agriculture France.

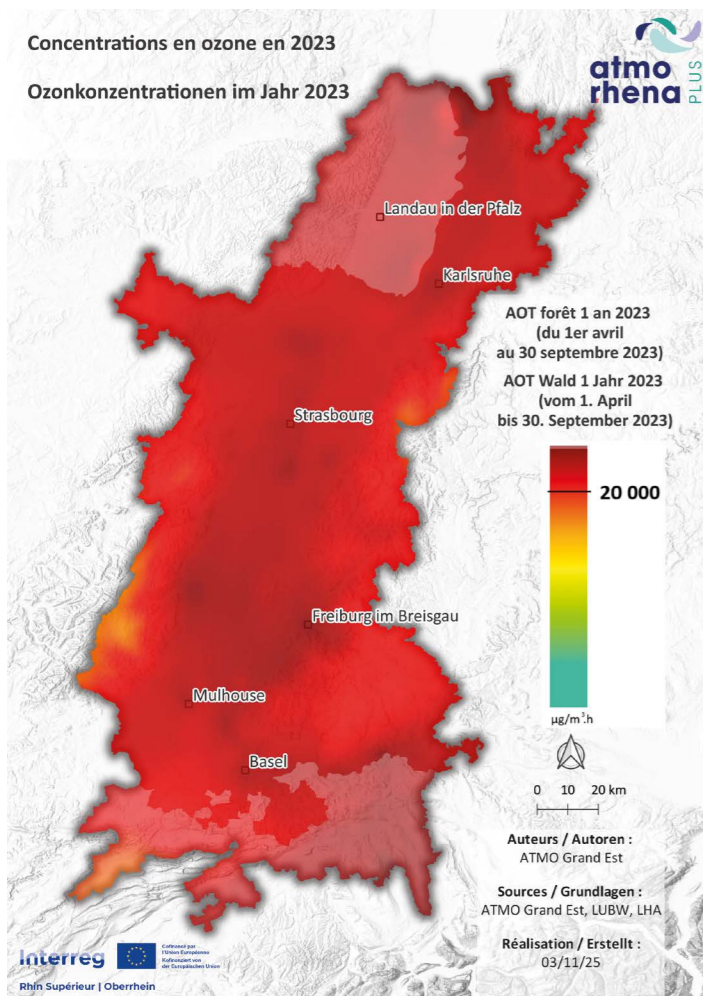
Cet indicateur permet d'obtenir les pertes de rendement et économiques dues à la pollution à l'ozone sur la productivité agricole et sylvicole à l'échelle d'un territoire. Pour cela, il calcule d'abord les doses phytotoxiques d'ozone, c'est-à-dire le flux assimilé d'ozone par les plantes lorsqu'il dépasse un seuil Y et cumulé sur une période dépendant de chaque espèce et de la météorologie à chaque point de maille. Une fois calculé, il est croisé avec les données de production pour obtenir une estimation des pertes de rendement en quantité et en pourcentage de production. Les espèces choisies pour les calculs sont le blé, les pommes de terre, les tomates, le hêtre, l'épicéa, et le chêne. Les chiffres présentés pour la sylviculture sont toutefois à mettre en perspective avec les incertitudes importantes liées à la méthode de calcul utilisée pour estimer les pertes de rendement et qui doit encore être affinée (pas de prise en compte d'un impact pluriannuel avec incrément).

Celles intéressantes ici sont le hêtre, l'épicéa et le chêne. Pour chaque espèce, les pertes estimées sont de plusieurs centaines de milliers de  $m^3$  en Grand Est en 2010 et projetées pour 2020 et 2030. Concernant le hêtre par exemple, la perte estimée en 2010 est de  $630\ 000 m^3$  soit 24% de la production, représentant 20 millions d'Euros. Par projection en 2020, la perte estimée est de  $582\ 000 m^3$  correspondant à 23% de la production du hêtre, soit l'équivalent de 18 millions d'Euros. En 2030, la projection estime une perte de  $533\ 000 m^3$  soit 21% de la production de hêtre, représentant 17 millions d'Euros.<sup>13</sup>

Ein Modellierungswerkzeug für den Indikator **PODy** (Phytotoxic Ozone Dose above a threshold of Y) wurde 2020 im Rahmen des APollO-Projekts entwickelt, das vom INERIS (Französisches nationales Institut für industrielle Umwelt und Risiken) in Zusammenarbeit mit der ADEME (Französische Agentur für Umwelt und Energie) und den französischen Landwirtschaftskammern geleitet wurde.

Dieser Indikator ermöglicht es, die durch Ozonbelastung verursachten Ertrags- und wirtschaftlichen Verluste bei der land- und forstwirtschaftlichen Produktivität auf regionaler Ebene zu ermitteln. Dazu berechnet er zunächst die phytotoxischen Ozonkonzentrationen, d. h. den von den Pflanzen aufgenommenen Ozonfluss, wenn dieser einen Schwellenwert Y überschreitet, kumuliert über einen Zeitraum, der von der jeweiligen Art und den meteorologischen Bedingungen an jedem Gitterpunkt abhängt. Nach der Berechnung werden diese Werte mit den Produktionsdaten abgeglichen, um eine Schätzung der Ertragsverluste in Menge und als Prozentsatz der Produktion zu erhalten. Die für die Berechnungen ausgewählten Arten sind Weizen, Kartoffeln, Tomaten, Buche, Fichte und Eiche. Die dargestellten Zahlen für die Forstwirtschaft sind vor dem Hintergrund der erheblichen Unsicherheiten zu betrachten, die mit der zur Schätzung der Ertragsverluste verwendeten Berechnungsmethode verbunden sind und die noch verfeinert werden muss (keine Berücksichtigung einer mehrjährigen Wirkung mit Inkrement).

Von Interesse sind hier Buche, Fichte und Eiche. Für jede Art belaufen sich die geschätzten Verluste im Grand Est im Jahr 2010 auf mehrere hunderttausend  $m^3$  und wurden für 2020 und 2030 prognostiziert. Bei der Buche beispielsweise beträgt der geschätzte Verlust im Jahr 2010  $630\ 000 m^3$ , was 24 % der Produktion entspricht und einen Wert von 20 Millionen Euro darstellt. Für das Jahr 2020 wird der geschätzte Verlust auf  $582\ 000 m^3$  veranschlagt, was 23 % der Buchenproduktion entspricht, also umgerechnet 18 Millionen Euro. Für das Jahr 2030 wird ein Verlust von  $533\ 000 m^3$  geschätzt, was 21 % der Buchenproduktion entspricht und einen Wert von 17 Millionen Euro darstellt.<sup>13</sup>



Pertes de rendement et économiques pour le chêne, l'épicéa et le hêtre en Grand Est en 2010, projeté en 2020 et 2030  
Productions- und wirtschaftliche Verluste für Eiche, Fichte und Buche im Grand Est im Jahr 2010, und Prognose für das Jahr 2020 und 2030

		2010			2020			2030		
		Perte de production par an Produktionsverlust pro Jahr	Pourcentage Prozent	Perte financière Finanzieller Verlust	Perte de production par an Produktionsverlust pro Jahr	Pourcentage Prozent	Perte financière Finanzieller Verlust	Perte de production par an Produktionsverlust pro Jahr	Pourcentage Prozent	Perte financière Finanzieller Verlust
Chêne Eiche	Grand Est	323 000 $m^3$	14%	31 M€	305 000 $m^3$	13%	29 M€	285 000 $m^3$	12%	27 M€
Epicéa Fichte	Grand Est	146 000 $m^3$	7%	7 M€	138 000 $m^3$	6%	6 M€	129 000 $m^3$	6%	6 M€
Hêtre Buche	Grand Est	630 000 $m^3$	24%	20 M€	582 000 $m^3$	23%	18 M€	533 000 $m^3$	21%	17 M€
				89 M€						

<sup>13</sup> Les incertitudes sur les résultats économiques issus de l'étude APollO doivent être considérées comme élevées, avec une tendance majorante du fait de la méthodologie de calcul du PODy utilisant des fonctions limitantes du flux d'ozone qui favorise son absorption, ainsi que des fonctions doses réponses établies en référence à un scénario « zéro ozone » ce qui n'est pas forcément réaliste, et enfin avec des niveaux d'ozone sans les émissions anthropiques de précurseurs d'ozone (ou pré-industriels) qui ne peuvent être considérés comme nuls. Pour plus d'informations : Communiqué de presse de l'ADEME sur le projet APollO « APollO : un outil pour mesurer les impacts économiques de l'ozone sur les cultures agricoles et sylvicoles », 9/07/2020 : [https://www.ademe.fr/presse/communiqu%C3%A9-national/apollo-un-outil-pour-mesurer-les-impacts-%C3%A9conomiques-de-l-ozone-sur-les-cultures-agricoles-et-sylvicoles/#\\_ftn1](https://www.ademe.fr/presse/communiqu%C3%A9-national/apollo-un-outil-pour-mesurer-les-impacts-%C3%A9conomiques-de-l-ozone-sur-les-cultures-agricoles-et-sylvicoles/#_ftn1) / Die Unsicherheiten hinsichtlich der wirtschaftlichen Ergebnisse der APollO-Studie sind als hoch einzustufen, wobei aufgrund der Berechnungsmethodik des PODy eine Tendenz zur Überschätzung besteht. Dies liegt an der Verwendung von Ozonfluss-Begrenzungsfunktionen, die dessen Absorption begünstigen, sowie an Dosis-Wirkungs-Funktionen, die unter Bezugnahme auf ein „Null-Ozon“-Szenario, was nicht unbedingt realistisch ist, und schließlich mit Ozonkonzentrationen ohne anthropogene Emissionen von Ozonvorläufern (oder vorindustriellen Emissionen), die nicht als null angesehen werden können. Weiterführende Informationen : Pressemitteilung der ADEME über das Projekt APollO « APollO : un outil pour mesurer les impacts économiques de l'ozone sur les cultures agricoles et sylvicoles », 9/07/2020 : [https://www.ademe.fr/presse/communiqu%C3%A9-national/apollo-un-outil-pour-mesurer-les-impacts-%C3%A9conomiques-de-l-ozone-sur-les-cultures-agricoles-et-sylvicoles/#\\_ftn1](https://www.ademe.fr/presse/communiqu%C3%A9-national/apollo-un-outil-pour-mesurer-les-impacts-%C3%A9conomiques-de-l-ozone-sur-les-cultures-agricoles-et-sylvicoles/#_ftn1)

## Niveaux critiques de concentration d'ammoniac pour la protection de la végétation

L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est un composé gazeux présent dans l'atmosphère. Aux concentrations habituellement rencontrées en air ambiant, ses effets sanitaires directs sont faibles, à la différence des effets environnementaux engendrés. L'ammoniac joue un rôle majeur dans l'acidification et l'eutrophisation des milieux naturels et est également responsable de dommages sur la végétation. L'acidification est une perturbation de l'équilibre chimique des écosystèmes naturels. L'eutrophisation des milieux aquatiques est un déséquilibre de l'écosystème (prolifération d'algues par exemple) qui peut conduire à sa destruction. En ce sens, un **niveau critique** de concentration d'ammoniac dans l'air pour la **protection de la végétation** a été fixé dans la littérature à  **$3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle**.<sup>14</sup> Ce seuil annuel descend même à  **$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour la végétation sensible** (lichens etc.) dans la littérature.<sup>14</sup>

## Schwellenwert für Ammoniakkonzentrationen zum Schutz der Vegetation

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ist eine gasförmige Verbindung in der Atmosphäre. Bei den üblichen Konzentrationen in der Umgebungsluft sind die direkten gesundheitlichen Auswirkungen jedoch gering. Ammoniak trägt zur Eutrophierung und Versauerung von natürlichen Ökosystemen bei und verursacht Schäden an der Vegetation. Bei der Eutrophierung von Gewässern entsteht ein Ungleichgewicht im Ökosystem (Algenwachstum z.B. in Gewässern durch Überdüngung), welches zur Zerstörung des Ökosystems führen kann. Die Versauerung des Bodens kann zu einer geringeren Verfügbarkeit von Nährstoffen führen, wodurch das Pflanzenwachstum stark beeinträchtigt wird. Aus diesen Gründen wurde in der wissenschaftlichen Literatur zum Schutz der Vegetation ein **Schwellenwert von Ammoniakkonzentration in der Luft von  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel** festgelegt.<sup>14</sup> Dieser Jahresschwellenwert sinkt für **empfindliche Vegetationen (wie z. B. Flechten) auf  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$**  in der Literatur.<sup>14</sup>

Dans le Rhin supérieur en 2023, de nombreuses zones sont exposées à des concentrations en  $\text{NH}_3$  supérieures à  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , principalement celles de la plaine d'Alsace et de Bade regroupant les activités agricoles et viticoles.

Cette **forte variabilité spatiale** des concentrations d'ammoniac est observée avec des concentrations plus faibles retrouvées principalement sur les massifs français et allemands, en cohérence avec l'occupation des sols et les cultures pratiquées. À l'inverse, **les concentrations les plus élevées sont retrouvées en plaine**, particulièrement le long de la plaine d'Alsace et en Suisse. Les **différences** de concentrations entre les trois pays peuvent notamment s'expliquer par des **types d'engrais et des pratiques d'épandage moins émettrices en Allemagne**.

Am Oberrhein sind im Jahr 2023 zahlreiche Gebiete  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen von über  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ausgesetzt, vor allem in der Ebene des Elsass und Badens, wo Landwirtschaft und Weinbau betrieben werden.

Diese **starke räumliche Variabilität** der Ammoniakkonzentrationen zeigt sich darin, dass niedrigere Konzentrationen vor allem in den französischen und deutschen Gebirgsregionen zu verzeichnen sind, was mit der Landnutzung und den dort betriebenen Anbaukulturen im Einklang steht. Umgekehrt finden sich die **höchsten Konzentrationen in den Ebenen, insbesondere entlang der elsässischen Ebene und in der Schweiz**. Die **Konzentrationsunterschiede** zwischen den drei Ländern lassen sich insbesondere **durch die in Deutschland verwendeten Düngemitteltypen und emissionsärmere Ausbringungspraktiken erklären**.

Ammoniak wird **hauptsächlich von der Landwirtschaft freigesetzt**, insbesondere durch Düngemittel und tierischen Ausscheidungen aus der Viehzucht. Daher kann es in Zeiten intensiver landwirtschaftlicher Aktivitäten (z. B. bei der Düngung oder der Ernte) zu erhöhten Feinstaubkonzentrationen kommen. Weitere Ammoniakquellen finden sich im städtischen Bereich, wie verschiedene Industriezweige (Produktionsanlagen für Stickstoffdünger, Natron oder Kältemittel), der Abfallwirtschaft, dem Straßenverkehr, und der Holzverbrennung.

Zur Reduzierung der Ammoniakemissionen und daher -konzentrationen können folgende Maßnahmen beitragen:

- Gesetzliche Regelungen und Zuschüsse für landwirtschaftliche Minderungsmaßnahmen im Zusammenhang mit der Lagerung und Ausbringung von Düngemitteln und dem Umgang mit tierischen Ausscheidungen in der Viehzucht (nährstoffreduziertes Futter, Abluftreinigung in Ställen usw.).
- Besseres Verständnis der Quellen (Straßenverkehr, Wohngebiete und Industrie), deren Emissionen je nach Gebietstyp variieren können und überregionale Lösungen erfordern, die auf Untersuchungen/Messungen der Luftqualität aufbauen.

Weitere Informationen finden Sie in der Themenbrochure des Projekts „Ammoniakmessungen am Oberrhein“

## Impacts de la biodiversité et la forêt sur la pollution de l'air

## Auswirkungen der Biodiversität und des Waldes auf die Luftverschmutzung

### Emissions biotiques de COVNM

Les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) sont des polluants de l'air très variés. Ils sont **précurseurs de l'ozone basse altitude** et contribuent ainsi aux pics de pollution estivaux à l'ozone. Ils sont également **précurseurs de particules secondaires** (qui peuvent être des  $\text{PM}_{2,5}$ , des  $\text{PM}_{10}$  etc.).

Si les émissions de COVNM prises en compte dans les inventaires régionaux sont celles provenant des activités humaines (émissions dites anthropiques, voir brochure "Émissions de polluant" du projet), **les COVNM sont majoritairement émis à partir de sources naturelles d'origine terrestre**. Ces émissions, dites biotiques ou biogéniques, sont **surtout liées à la végétation** et dans une moindre mesure à l'activité des micro-organismes du sol, à l'activité des volcans et aux fuites de gaz naturel.

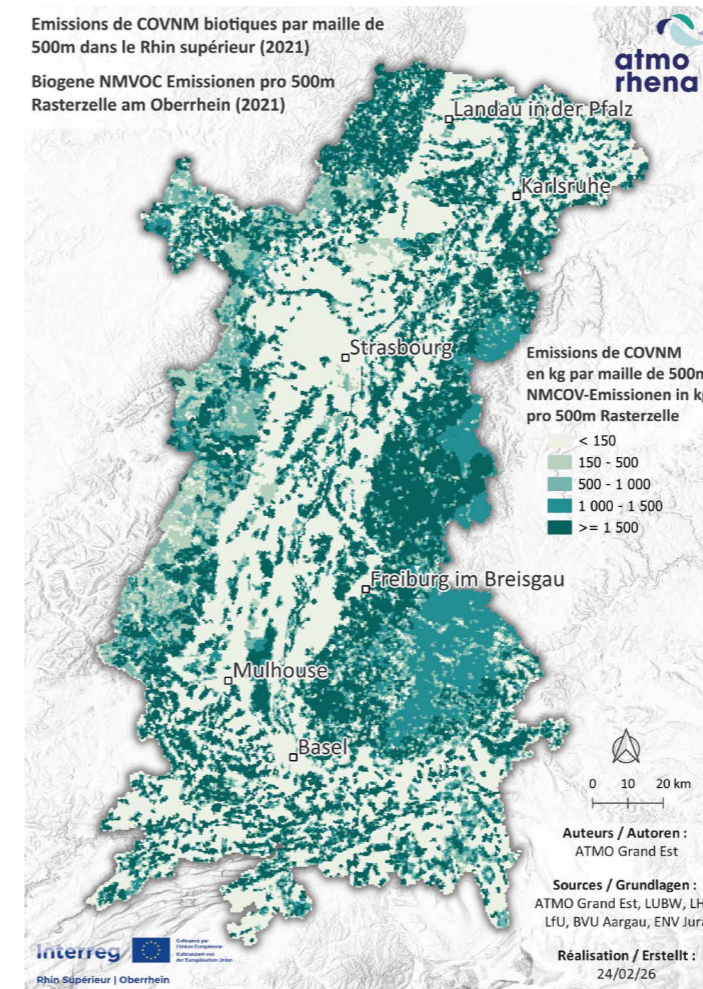
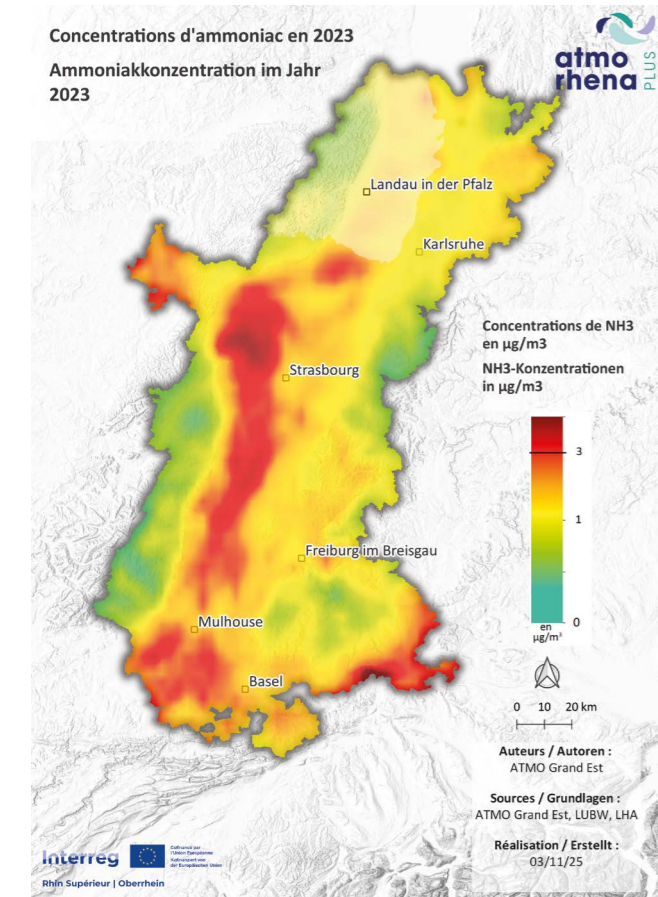
En effet, les COVNM sont biosynthétisés, c'est-à-dire **sécrétés, par les végétaux** (présents dans les prairies et cultures ainsi que les arbres) **tout au long de leur cycle de vie**. Les COVNM ont des fonctions physiologiques diverses pour les végétaux : défense contre les herbivores, les micro-organismes pathogènes, les facteurs abiotiques (vent, stress hydrique, stress thermique) et favorisation de la pollinisation.

### Biogene NMVOC-Emissions

Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC, Volatile Organic Compounds) bezeichnet eine Stoffgruppe von unterschiedlichen flüchtigen organischen Verbindungen. Sie sind **Vorläufersubstanzen für bodennahes Ozon** und tragen somit zu den sommerlichen Ozon-Belastungsspitzen bei. Außerdem sind sie **Vorläuferstoffe für sekundäre Partikel** (wie  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  usw.).

Während in regionalen Emissionserhebungen die durch menschliche Aktivitäten verursachten NMVOC-Emissionen berücksichtigt werden (sogenannte anthropogene Emissionen, siehe Broschüre „Schadstoffemissionen“ des Projekts), stammen **NMVOC überwiegend aus natürlichen Quellen terrestrischen Ursprungs**. Diese sogenannten biotischen oder biogenen Emissionen stehen vor allem im Zusammenhang mit der Vegetation und in geringerem Maße mit der Aktivität von Bodenmikroorganismen, der vulkanischen Aktivität und Erdgasleckagen.

Tatsächlich **werden NMVOCs von Pflanzen (die auf Wiesen und Feldern sowie in Wäldern vorkommen) während ihres gesamten Lebenszyklus biosynthetisiert**, d. h. ausgeschieden. NMVOCs erfüllen für die Pflanzen verschiedene physiologische Funktionen: Abwehr gegen Pflanzenfresser, pathogene Mikroorganismen und abiotische Faktoren (Wind, Wasserstress, Hitzestress) sowie Förderung der Bestäubung.



Dans le Rhin supérieur, les émissions biotiques élevées de COVNM sont concentrées en 2021 sur les forêts palatine, vosgienne et de Forêt-Noire. Le sapin, le hêtre ou le douglas sont des essences très présentes dans ces forêts et sont parmi les espèces les plus émettrices de COVNM. Les émissions ponctuelles visibles en plaine sont issues de cultures.

Am Oberrhein konzentrieren sich im Jahr 2021 die hohen biogenen NMVOC-Emissionen auf die Wälder der Pfalz, der Vogesen und des Schwarzwaldes. Tanne, Buche und Douglasie sind in diesen Wäldern weit verbreitet und gehören zu den Baumarten mit den höchsten NMVOC-Emissionen. Die punktuellen Emissionen, die in der Ebene zu beobachten sind, stammen aus landwirtschaftlichen Kulturen.

En effet, l'ammoniac est **majoritairement émis par l'agriculture**, principalement par les épandages d'engrais et les déjections animales de l'élevage. Les périodes d'intenses activités agricoles, couplées à des conditions météorologiques favorables à la formation de particules, sont à l'origine d'épisodes de pollution particulière au printemps.

En zone urbaine, certaines industries (usines de production d'engrais, usines de production de soude ou de fluides frigorigènes), la gestion des déchets, le secteur résidentiel (combustion de bois), ou encore le transport routier (utilisation des pots catalytiques) sont également responsables d'émissions d'ammoniac.

Pour contribuer à la réduction des émissions d'ammoniac et donc des concentrations, il faut :

- Légiférer et soutenir les pratiques agricoles relatives au stockage et à l'épandage d'engrais et à la gestion des déjections animales en élevage (alimentation à teneur réduite en nutriments, purification de l'air dans les étables etc.).
- Mieux comprendre les sources secondaires (transport routier, résidentiel et industrie) dont les émissions varient selon les typologies des territoires et requièrent des solutions hyper-localisées construites à partir d'études en air ambiant.

Plus d'informations sont rassemblées dans la brochure thématique du projet « Mesures d'ammoniac dans le Rhin supérieur »

<sup>14</sup> Cape, John & al. (2009). Critical Levels for Ammonia, in Atmospheric Ammonia, Detecting emission changes and environmental impacts. DOI: 10.1007/978-1-4020-9121-6\_22. [https://www.researchgate.net/publication/226483976\\_Critical\\_Levels\\_for\\_Ammonia](https://www.researchgate.net/publication/226483976_Critical_Levels_for_Ammonia)



## Klima: Auswirkungen auf die Biodiversität und der Wald

### Le ralentissement de la croissance des forêts et la modification de leur composition

La diminution des périodes de gel et les hivers plus doux perturbent les cycles biologiques en forêt, ce qui ralentit le taux de croissance des arbres, en plus d'augmenter le risque d'infestation par les pathogènes et les parasites, comme les scolytes. Les essences qui supportent le moins les plus fortes chaleurs et la sécheresse estivale disparaissent et le taux de mortalité général des arbres augmente.<sup>15</sup> Cédric Ficht, directeur de l'agence Office National des Forêts de Schirmeck constate en entretien Atmo-Rhena PLUS : « Les arbres qui résistent le mieux à la sécheresse sont le chêne et le hêtre. On voit sur les modélisations climatiques que le sapin va probablement disparaître en dessous de 700 m d'altitude. »<sup>16</sup> L'épicéa supporte aussi très peu la sécheresse. On assiste alors à une baisse de productivité des forêts.<sup>17</sup> Or, la région du Rhin supérieur dépend des forêts comme écosystèmes, mais également comme ressource. En Alsace, environ 17 000 salariés sont employés par 2270 entreprises de la filière Forêt-Bois en 2023.<sup>18</sup> Le territoire alsacien représente 38% des exportations et 42% des importations de la filière en Grand Est.<sup>19</sup> En Suisse, la filière produit 4,5 milliards de francs suisses.

### La séquestration carbone par les forêts diminuée

Les forêts sont qualifiées de « puits de carbone », par leurs capacités d'absorption du CO<sub>2</sub> atmosphérique supérieures à leurs émissions de CO<sub>2</sub>.<sup>20</sup> Cette absorption, mesurée en tonnes équivalentes CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2eq</sub>), a diminué de manière significative en raison du ralentissement de la croissance des arbres et d'une diminution du renouvellement des arbres morts.

- Les puits de carbone forestiers sur la région Grand Est se sont fortement réduits en 10 ans. Cela a conduit à une perte du stock de CO<sub>2</sub> par la forêt et la région est devenue une « source de carbone » lors de l'été 2023.<sup>21</sup>
- En Alsace : la séquestration carbone était de plus de 1660 kilotonnes de CO<sub>2eq</sub> en 2014, elle s'est réduite à 630 kilotonnes de CO<sub>2eq</sub> en 2023, soit une division par 2,6 en 10 ans.<sup>22</sup>
- En Bade-Wurtemberg, où les forêts recouvrent 38 % du territoire, elles ont stocké 4,7 millions de tonnes de CO<sub>2eq</sub> en 2014 et ont rejeté 374 tonnes de CO<sub>2eq</sub> en 2023.<sup>23</sup>
- En Suisse, le secteur de la forêt et du bois a permis le stockage net de 2013 à 2022 de 2,4 millions de tonnes de CO<sub>2eq</sub> (en moyenne sur les 10 ans).<sup>24</sup>

L'outil français ALDO proposé par l'ADEME fournit à l'échelle des EPCI des estimations de l'état des stocks de carbone ainsi que les potentiels de séquestration liés à diverses pratiques pouvant être mises en place.

<sup>15</sup> van Mantgem, P. J., & Stephenson, N. L. (2007). Apparent climatically induced increase of tree mortality rates in a temperate forest. *ECOLOGY LETTERS*, 10(10), 909-916. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01080.x>

<sup>16</sup> Propos recueillis lors de l'entretien du 07/05/2024 par l'Agence du climat sur l'Eurométropole de Strasbourg et ATMO Grand Est / Aussagen aus einem Interview vom 07.05.2024 mit der Klimaagentur der Eurometropole Straßburg und ATMO Grand Est

<sup>17</sup> Wang, B., Liu, Z., Lu, J., Cai, M., Zhou, C., Duan, G., Yang, P., & Hu, J. (2023). An Earlier Spring Phenology Reduces Vegetation Growth Rate during the Green-Up Period in Temperate Forests. *FORESTS*, 14(10), 1984. <https://doi.org/10.3390/f14101984>

<sup>18</sup> Observatoire Fibois France, L'emploi dans la filière Forêt-Bois au trimestre 2022-2023, 2023. Ce chiffre ne comprend pas les entreprises unipersonnelles, nombreuses dans le secteur de la sylviculture. / Diese Zahl umfasst nicht die Ein-Personen-Unternehmen, die im Forstsektor zahlreich vertreten sind.

<sup>19</sup> Fibois Grand Est, Evolution des importations et des exportations de produits bois dans le Grand Est, 2020.

<sup>20</sup> Renaud, J.-P. (2024). Les forêts et la filière bois dans le Grand Est face aux conséquences des changements climatiques : menaces et perspectives. *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 115(3), 117-123. <https://annales.org/re/2024/re115/2024-07-24.pdf>

<sup>21</sup> Deleuze, C., et al. Le carbone forestier : un équilibre à trouver entre la préservation des stocks et le maintien d'une pompe à carbone. *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 115(3), 14-21. <https://www.annales.org/re/2024/re115/2024-07-04.pdf>

<sup>22</sup> Observatoire Climat-Air-Energie Grand Est <https://observatoire.atmo-grandest.eu/>

<sup>23</sup> Thünen-Institut, CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg, 2025.

<sup>24</sup> Office fédéral suisse de l'environnement, Stratégie intégrale pour la forêt et le bois 2050, Rapport présentant les indicateurs, 2025. <https://www.bafu.admin.ch/fr/sifb>

### Adapter les forêts : diversification des essences, régénération naturelle et restauration écologique

Les forêts de plantation monospécifique souffrent de plus gros dommages liés notamment aux sécheresses par rapport aux forêts diversifiées.<sup>25</sup> Augmenter la diversité des essences au sein des forêts permet d'augmenter leur résilience. Ainsi, les espèces ayant périçité peuvent être remplacées par d'autres espèces, parfois plus adaptées aux nouvelles conditions climatiques. En outre, la multiplicité des essences limite la dispersion des pathogènes et parasites. En ce sens, le projet Interreg Rhin Supérieur Clim'Ability (2016-2019) a publié une fiche de sensibilisation sur la filière Forêt-bois dans le Rhin supérieur, dressant ses vulnérabilités et potentiels face aux dérèglements climatiques. Elle propose plusieurs mesures d'adaptation, comme l'accompagnement de la migration d'espèces.<sup>26</sup>

« La régénération naturelle est la priorité. 30% de la surface du Massif Vosgien ne survivra pas d'ici 2050. », souligne Cédric Ficht de l'ONF Schirmeck en entretien pour Atmo-Rhena PLUS. Cette pratique laisse la forêt se renouveler naturellement, permettent ainsi d'augmenter la capacité d'adaptation des forêts aux sécheresses. Elle nécessite un suivi de la repousse et de protéger les espaces de régénération contre le broutage par le gibier.<sup>27</sup>

Restaurer les zones humides permet aux forêts alluviales présentes le long du Rhin de retrouver leur fonctionnalité. Ces forêts participent à l'écrêtement des crues des cours d'eau, c'est-à-dire diminuer leur amplitude, en plus de stabiliser les berges. Des exemples de ces actions peuvent être identifiées à travers le plan Rhin Vivant en France ou les Natur Klimaschutz en Allemagne.

### Conclusion

### La pollution de l'air et les dérèglements climatiques affectent l'arbre de manière individuelle

Les effets de la pollution de l'air et des dérèglements climatiques affectent les arbres en provoquant des nécroses sur les feuilles, en dégradant leur métabolisme, en dérégulant les cycles de dormance, floraison et fructification et en facilitant les infestations par les agents pathogènes et les parasites. Cela peut conduire à un ralentissement de la croissance, voire la mort de l'arbre. Tout ceci participe à la diminution de la qualité du bois produit par les forêts, ainsi que leur quantité, provoquant par ailleurs des pertes économiques majeures pour certaines communes du Rhin Supérieur.

### La pollution de l'air et les dérèglements climatiques provoquent des dégâts à l'échelle du peuplement forestier

Les écosystèmes forestiers sont perturbés par l'exposition répétée aux polluants, ainsi que les périodes de sécheresses et de hautes températures plus fréquentes. Lorsque la diversité d'essences est limitée, l'écosystème est moins résistant et moins résilient par rapport à ces perturbations et se dégrade. Or, ces forêts rendent des services écosystémiques d'approvisionnement en ressources, de régulation, ainsi que des services sociétaux comme l'accès à la nature. Il est donc nécessaire de préserver leur fonctionnalité et de la restaurer lorsque celle-ci est dégradée.

### La lutte doit être conjointe contre la pollution de l'air et les dérèglements climatiques pour préserver la forêt et la biodiversité

La biodiversité et la forêt du Rhin supérieur subissent les impacts néfastes des activités humaines par la pollution atmosphérique et les dérèglements climatiques. Il est nécessaire de mesurer ces impacts afin de les réduire, et de préserver les écosystèmes ainsi que les services qu'ils rendent à la population.

<sup>25</sup> Hlasny, T., Barka, I., Kulla, L., Bucha, T., Sedmak, R., & Trombik, J. (2017). Sustainable forest management in a mountain region in the Central Western Carpathians, northeastern Slovakia : The role of climate change. *REGIONAL ENVIRONMENTAL CHANGE*, 17(1), 65-77. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0894-y>

<sup>26</sup> J. Gobert, P. Averbek, F. Rudolf, « Un secteur sous tension... », Fiches de sensibilisation des PME/PMI au changement climatique dans le Rhin supérieur, Projet Clim'Ability, Interreg V, 2016-2019 <https://www.clim-ability.eu/services-climatiques/pour-les-entreprises/pour-les-entreprises-fiches-informatives/la-filiere-foret-bois/>

<sup>27</sup> Propos recueillis lors de l'entretien du 07/05/2024 par l'Agence du climat sur l'Eurométropole de Strasbourg et ATMO Grand Est / Aussagen aus einem Interview vom 07.05.2024 mit der Klimaagentur der Eurometropole Straßburg und ATMO Grand Est

### Anpassung der Wälder: Diversifizierung der Baumarten, natürliche Verjüngung und ökologische Wiederherstellung

Monokultur-Plantagenwälder erleiden größere Schäden durch Dürren im Vergleich zu Wäldern mit einer großen Artenvielfalt.<sup>28</sup>

Eine Erhöhung der Baumartenvielfalt in den Wäldern trägt dazu bei, deren Widerstandsfähigkeit zu stärken. So können abgestorbene Arten durch andere ersetzt werden, die unter Umständen besser an die neuen klimatischen Bedingungen angepasst sind. Zudem begrenzt die Vielfalt der Baumarten die Ausbreitung von Krankheitserregern und Schädlingen. In diesem Sinne hat das Interreg-Projekt „Clim'Ability“ am Oberrhein (2016-2019) ein Informationsblatt zur Sensibilisierung für die Forst- und Holzwirtschaft am Oberrhein veröffentlicht, in dem deren Anfälligkeiten und Potenziale angesichts des Klimawandels dargelegt werden. Es schlägt mehrere Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel vor, wie beispielsweise die Begleitung der Artenmigration.<sup>26</sup>

„Die natürliche Verjüngung hat oberste Priorität. 30 % der Fläche des Vogesenmassivs werden bis 2050 nicht überleben.“<sup>27</sup>, betont Cédric Ficht vom ONF-Schirmeck in einem Interview für Atmo-Rhena PLUS. Diese Vorgehensweise lässt den Wald sich auf natürliche Weise erneuern und erhöht so die Anpassungsfähigkeit der Wälder an Dürreperioden. Sie erfordert eine Überwachung des Nachwachsens und die Absicherung der Verjüngungsflächen, um sie vor dem Abweiden durch Wildtiere zu schützen.

Die Renaturierung von Feuchtgebieten ermöglicht es den Auwäldern entlang des Rheins, ihre Funktion wiederzuerlangen. Diese Wälder tragen dazu bei, Ausmaß von Hochwasser in Flüssen zu verringern, und stabilisieren zudem die Ufer. Beispiele für solche Maßnahmen finden sich im Plan „Rhein lebt“ in Frankreich oder bei „Natur Klimaschutz“ in Deutschland.

### Fazit

### Luftverschmutzung und Klimawandel wirken sich auf jeden einzelnen Baum aus

Die Auswirkungen von Luftverschmutzung und Klimawandel beeinträchtigen die Bäume, indem sie Blattnekrosen verursachen, ihren Stoffwechsel beeinträchtigen, die Ruhe-, Blüte- und Fruchtbildungszyklen stören und den Befall durch Krankheitserreger und Schädlinge begünstigen. Dies kann zu einem verlangsamten Wachstum oder sogar zum Absterben des Baumes führen. All dies trägt zu einer Verschlechterung der Qualität des von den Wäldern produzierten Holzes sowie zu einer Verringerung der Holzmenge bei und verursacht darüber hinaus erhebliche wirtschaftliche Verluste für bestimmte Gemeinden am Oberrhein.

### Luftverschmutzung und Klimawandel verursachen Schäden auf der Ebene des Waldbestands

Waldökosysteme werden durch wiederholte Schadstoffbelastung sowie durch häufigere Dürreperioden und höhere Temperaturen gestört. Wenn die Artenvielfalt begrenzt ist, ist das Ökosystem weniger widerstandsfähig und weniger resilient gegenüber diesen Störungen und verschlechtert sich. Diese Wälder erbringen jedoch Ökosystemleistungen wie die Bereitstellung von Ressourcen und die Regulierung sowie gesellschaftliche Leistungen wie den Erholungsfaktor. Es ist daher notwendig, ihre Funktionsfähigkeit zu erhalten und sie wiederherzustellen, wenn diese beeinträchtigt ist.

### Der Kampf gegen Luftverschmutzung und Klimawandel muss gemeinsam geführt werden, um den Wald und die Artenvielfalt zu erhalten

Die biologische Vielfalt und die Wälder des Oberrheins leiden unter den schädlichen Auswirkungen menschlicher Aktivitäten wie Luftverschmutzung und Klimawandel.

Es ist notwendig, diese Auswirkungen zu messen, um sie zu verringern und die Ökosysteme sowie die Leistungen, die sie für die Bevölkerung erbringen, zu erhalten.

Pour cela, plusieurs indicateurs chiffrés peuvent être utilisés, tels que l'AOT, le PODy, l'exposition à l'ammoniac, les inventaires des sources de polluants, notamment les COV) ou encore l'inventaire des puits de carbone, en complément des inventaires de la biodiversité qui peuvent être réalisés par les bureaux d'étude écologique spécialisés.

Parmi les outils existants en France pour encourager l'augmentation des stocks de carbone en milieux forestiers ou agricoles, les acteurs locaux français peuvent recourir au label bas-carbone, un levier de financement créé par l'État en 2018 qui permet de soutenir des projets parmi lesquels des projets de régénération de forêts. En Alsace et dans les Vosges, le coût moyen pour régénérer une parcelle forestière est de 10 000 €/ha, le stockage de 1 tCO<sub>2eq</sub> équivalent à une contribution de 50 €. Ce coût peut varier selon la région et les évolutions du marché.

Le guichet carbone porté par l'Agence du climat sur l'Eurométropole de Strasbourg facilite la rencontre entre des contributeurs qui souhaitent financer des actions en faveur du climat et des porteurs de projets bas-carbone locaux. Il propose un accompagnement technique pour la labellisation des projets et veille à la haute qualité environnementale des projets accompagnés, ainsi qu'à leur impact positif sur le territoire.<sup>28</sup>

### Atmo-Rhena PLUS met à votre disposition l'intégralité de ses supports sur des thématiques connexes :

- Emissions de polluants
- Concentrations de polluants et exposition
- Cartes sur open data ATMO Grand Est
- Cartes sur GeoRhena
- Emissions de gaz à effet de serre
- Ozone troposphérique - Situation actuelle et défis dans le Rhin supérieur

Hierfür können verschiedene quantifizierte Indikatoren herangezogen werden, wie beispielsweise AOT, PODy, Ammoniakbelastung, Bestandsaufnahmen von Schadstoffquellen wie VOC und Bestandsaufnahmen von Kohlenstoffsinken, zusätzlich zu den Biodiversitätserhebungen, die von spezialisierten ökologischen Planungsbüros durchgeführt werden können.

Zu den in Frankreich bestehenden Instrumenten, die den Aufbau von Kohlenstoffspeichern in Wald- und Landwirtschaftsgebieten fördern sollen, können lokale Akteure in Frankreich auf das „Bas-Carbone“-Label zurückgreifen, ein vom Staat im Jahr 2018 geschaffener Finanzierungshebel, mit dem Projekte – darunter auch Waldverjüngungsprojekte – gefördert werden können. Im Elsass und in den Vogesen belaufen sich die durchschnittlichen Kosten für die Regeneration einer Waldfläche auf 10.000 €/ha, wobei die Speicherung von 1 tCO<sub>2eq</sub> einem Beitrag von 50 € entspricht. Diese Kosten können je nach Region und Marktentwicklung variieren.

Die von der Klimabehörde der Eurometropole Straßburg betriebene „Carbon-Agentur“ erleichtert die Zusammenführung von Geldgebern, die Klimaschutzmaßnahmen finanzieren möchten, und lokalen Trägern von Projekten mit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Sie bietet fachliche Unterstützung bei der Zertifizierung von Projekten und sorgt für die hohe Umweltqualität der begleiteten Projekte sowie für deren positive Auswirkungen auf die Region.<sup>28</sup>

### Atmo-Rhena PLUS stellt weiterführende Materialien zu verwandten Themen zur Verfügung:

- Schadstoffemissionen
- Schadstoffkonzentrationen und Exposition
  - Karte auf open data ATMO Grand Est
  - Karte auf GeoRhena
- Emissionen von Treibhausgasen
- Bodennahes Ozon – Aktuelle Lage und Herausforderungen am Oberrhein

### Pour aller plus loin / Weiterführende Informationen:

- Brochure de Airparif « Pollution de l'air et biodiversité : des liens méconnus » (2025): <https://www.airparif.fr/dossiers-fiches-thematiques/2025/airparif-dossier-10-pollution-de-lair-et-biodiversite-des-liens>
- Airparif- Broschüre „Luftverschmutzung und Biodiversität“: <https://www.airparif.fr/dossiers-fiches-thematiques/2025/airparif-dossier-10-pollution-de-lair-et-biodiversite-des-liens>
- Communiqué de presse de l'ADEME sur le projet APoLLO « APoLLO : un outil pour mesurer les impacts économiques de l'ozone sur les cultures agricoles et sylvicoles », 9/07/2020 : [https://www.ademe.fr/presse/communique-national/apollo-un-outil-pour-mesurer-les-impacts-economiques-de-lozone-sur-les-cultures-agricoles-et-sylvicoles/#\\_ftn1](https://www.ademe.fr/presse/communique-national/apollo-un-outil-pour-mesurer-les-impacts-economiques-de-lozone-sur-les-cultures-agricoles-et-sylvicoles/#_ftn1)
- Pressemitteilung der ADEME über das Projekt APoLLO : « APoLLO : un outil pour mesurer les impacts économiques de l'ozone sur les cultures agricoles et sylvicoles », 9/07/2020 : [https://www.ademe.fr/presse/communique-national/apollo-un-outil-pour-mesurer-les-impacts-economiques-de-lozone-sur-les-cultures-agricoles-et-sylvicoles/#\\_ftn1](https://www.ademe.fr/presse/communique-national/apollo-un-outil-pour-mesurer-les-impacts-economiques-de-lozone-sur-les-cultures-agricoles-et-sylvicoles/#_ftn1)

<sup>28</sup> Agence du Climat sur l'Eurométropole de Strasbourg, Le guichet carbone <https://agenceduclimat-strasbourg.eu/le-guichet-carbone/>



# Interreg



Kofinanziert von der Europäischen Union  
Cofinancé par l'Union Européenne

## Oberrhein | Rhin Supérieur



### Partenaires techniques et co-financeurs / Technische und kofinanzierende Projektpartner



Lufthygieneamt beider Basel



Baden-Württemberg  
Landesanstalt für Umwelt



ortenauer energieagentur.

### Partenaires co-financeurs Kofinanzierende Projektpartner



Kanton Basel-Stadt



### Parties prenantes Stakeholders