

Mesure de la qualité de l'air
par microcapteurs sur drone
dans le Rhin supérieur

Messung der Luftqualität mit
Mikrosensoren auf einer Drohne
im Oberrheingebiet



Lufthygieneamt beider Basel



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



ETB Eurodistrict Trinational de Bâle
TEB Trinationaler Eurodistrict Basel



Eurodistrict PAMINA



Rheinland-Pfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT



DEUTSCH-FRANZÖSISCH-SCHWEIZERISCH
OBERRHEINKONFERENZ

CONFÉRENCE FRANCO-GERMANO-SUISSE
DU RHIN SUPÉRIEUR

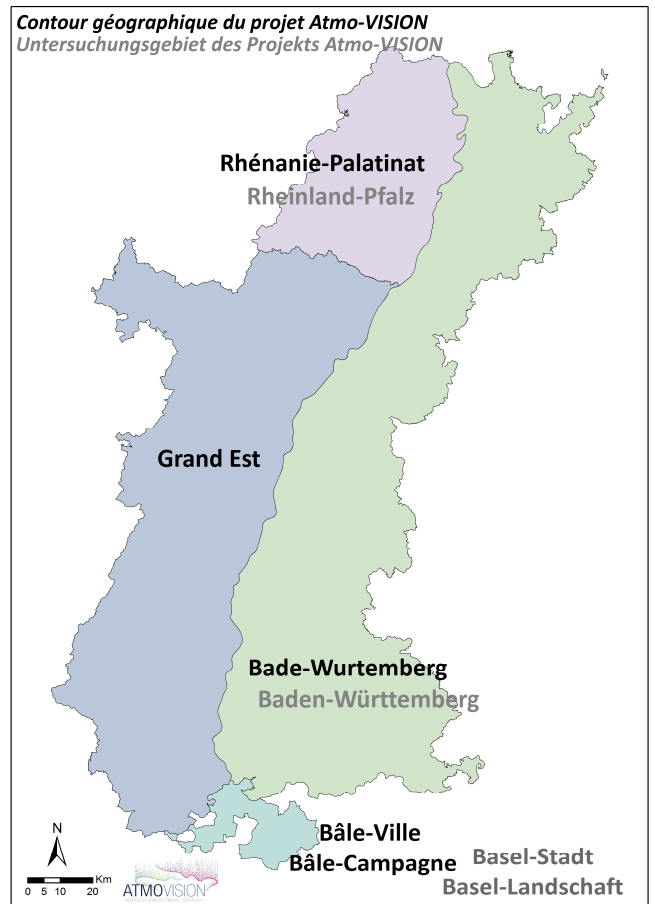
La zone d'étude d'Atmo-VISION / Das Gebiet Atmo-VISION

La zone d'étude Atmo-VISION comprend l'espace trinational du Rhin supérieur, limitée du côté suisse aux cantons de Bâle-Ville et de Bâle-Campagne.

Au nord, la zone d'étude d'Atmo-VISION se prolonge dans le Pays de Bade et le Palatinat jusqu'à Mannheim et Ludwigshafen, au-delà de l'espace du Rhin supérieur, afin d'inclure des acteurs majeurs en termes de consommations d'énergie et d'émissions de polluants de l'air et gaz à effet de serre.

Das Gebiet für Atmo-VISION umfasst das trinationale Gebiet des Oberrheins, das auf Schweizer Seite auf die Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft beschränkt ist.

Im Norden erstreckt sich das Untersuchungsgebiet Atmo-VISION in Baden und in der Pfalz bis nach Mannheim und Ludwigshafen über das trinationale Oberrheingebiet hinaus, um wichtige Akteure beim Energieverbrauch und bei der Emission von Luftschadstoffen und Treibhausgasen mit einzubeziehen.



Impressum

ATMO Grand Est PROJ-EN-465
 Indice 1, 16/10/2020

Edition / Herausgeber
 ATMO Grand Est, 5 rue de Madrid, 67300 Schiltigheim

Rédaction / Bearbeitung
 ATMO Grand Est et les partenaires d'Atmo-VISION

Mise en page et impression / Layout und Druck
 ATMO Grand Est

Impression / Druck
 -

Crédits photos / Bildnachweis
 ATMO Grand Est

Financement / Finanzierung

D'un budget total d'1,5 M€, ce projet INTERREG V Rhin supérieur est financé pour 3 ans à hauteur de 60% par le FEDER de l'UE et son homologue suisse IKRB et 16% par l'Eurométropole de Strasbourg, la Région Grand Est, l'ADEME et l'Eurodistrict Strasbourg-Ortenau. Les 24% restants sont portés par les opérateurs techniques : ATMO Grand Est, la LUBW, le LHA, FIBOIS Grand Est et EIFER.

Mit einem Gesamtbudget von 1,5 Millionen Euro wird dieses INTERREG V Oberrhein-Projekt für 3 Jahre zu 60% aus dem EFRE der EU und seinem Schweizer Pendant IKRB sowie zu 16% von der Eurometropole Straßburg, der Region Grand Est, der ADEME und dem Eurodistrict Strasbourg-Ortenau finanziert. Die restlichen 24% werden von den fachlichen Akteuren getragen: ATMO Grand Est, LUBW, LHA, FIBOIS Grand Est und EIFER.

Le projet Atmo-VISION

Malgré les efforts fournis, les normes fixées en matière de qualité de l'air ne sont pas toujours respectées dans l'espace du Rhin Supérieur. Outre les contentieux qui peuvent en découler avec la Commission Européenne, cela met en danger la santé des personnes qui vivent sur le territoire. Cette problématique nécessite, pour les parties prenantes locales, de mieux comprendre l'origine géographique, sectorielle et énergétique de cette pollution.

Au sein de ce contexte, le groupe d'experts qualité de l'air de la Conférence du Rhin Supérieur a lancé, dans le cadre du programme INTERREG V, ce vaste projet transfrontalier « Atmo-VISION », afin de reconquérir la qualité de l'air à l'échelle de la région du Rhin supérieur. Ce projet s'intéresse à l'ensemble des enjeux transversaux « air-climat-énergie ».

Son objectif principal est de proposer aux institutions et administrations du Rhin supérieur de nouveaux instruments pour diminuer les émissions de polluants de l'atmosphère.

Le projet se concentre principalement sur les missions suivantes :

- Production et mise à disposition de bases de données harmonisées de consommations et productions d'énergie, ainsi que des émissions de polluants à impact sanitaire et des gaz à effet de serre pour l'ensemble du Rhin supérieur
- Mesures de pollution et déploiement expérimental de microcapteurs avec accompagnement des utilisateurs,
- Etude de l'origine sectorielle, géographique et énergétique de la pollution de l'air et modélisation de nouvelles actions visant à diminuer la pollution atmosphérique,
- Développement d'un réseau afin d'apprendre des expériences de chacun pour favoriser l'efficacité des actions et ratifier une charte d'engagement,
- Formation de personnes relais (enseignants, animateurs, agents de collectivités...) qui sensibiliseront les citoyens et plus particulièrement la jeune génération avec les outils pédagogiques issus du projet.

Das Atmo-VISION Projekt

Trotz vielfältiger Bemühungen werden im Oberrheingebiet die Luftreinhaltgrenzwerte nicht eingehalten. Zusätzlich zu den drohenden Vertragsverletzungsverfahren der Europäischen Kommission, gefährdet dies die Gesundheit der im Gebiet lebenden Menschen. Diese Problematik erfordert, dass die lokalen Beteiligten die geographische, sektorische und energetische Herkunft der Luftbelastung besser verstehen.

Unter diesem Gesichtspunkt hat die Expertengruppe Luftreinhaltung im Rahmen des Programms INTERREG V das Projekt „Atmo-VISION“ ausgearbeitet. Atmo-VISION ist ein umfangreiches grenzüberschreitendes Projekt, welches die Luftqualität in der Region des Oberrheins verbessern möchte. Dieses Projekt beschäftigt sich mit den vernetzten Themen „Luft-Klima-Energie“ im Oberrheingebiet.

Das Ziel des Projekts ist die Bereitstellung neuer Instrumente für Institutionen und Verwaltungen im Oberrheingebiet, um die Luftschadstoffbelastung zu verringern.

Das Projekt hat folgende Schwerpunkte:

- Erstellung und Bereitstellung von harmonisierten Daten zum Energieverbrauch, zur Energieerzeugung sowie zu den Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen für das gesamte Oberrheingebiet,
- Messung der Luftbelastung, experimenteller Einsatz von Mikrosensoren und fachliche Betreuung der Anwender,
- Modellierung zur Bestimmung der sektoriellen, geographischen und energetischen Herkunft der Luftbelastung (Ursachenanalyse) sowie Modellierung von neuen Maßnahmen zur Verringerung der Luftbelastung,
- Aufbau eines Netzwerkes, um „Voneinander zu lernen“ und eine Charta zu erstellen, die die Umsetzung der Maßnahmen unterstützen soll,
- Ausbildung von Kontaktpersonen (Erzieher, Lehrer, Ansprechpartner der Gebietskörperschaften,...), die die Bürger, besonders die jüngere Generation, anhand der erarbeiteten pädagogischen Materialien sensibilisieren sollen.



POURQUOI MESURER SUR UN DRONE PENDANT ATMO-VISION ?

Les mesures de pollution à l'aide de drones servent principalement à évaluer les émissions de sites industriels, en réalisant des plans de vols en trois dimensions autour des cheminées. Cette technique n'avait pas encore été mise en œuvre dans le Rhin supérieur, mais le projet Atmo-VISION a permis de l'explorer, d'autant que les microcapteurs, objets d'attention des partenaires, sont par leur taille et leur poids bien adaptés pour être embarqués sur des drones de petite taille.

Dans cette opération, le microcapteur embarqué sur un petit drone léger et piloté depuis le sol a permis d'observer la qualité de l'air et son évolution dans l'espace, dans des zones normalement inaccessibles : en altitude ou au-dessus du Rhin. Le drone a aussi permis de réaliser des mesures en 2 ou 3 dimensions : grâce à sa faculté de se déplacer rapidement d'un point précis à un autre, et en l'absence de vent, les mesures peuvent être considérées comme réalisées à même moment.

Le retour d'expérience s'avère extrêmement riche : les perspectives sont nombreuses pour ces dispositifs à conditions d'améliorer encore la qualité des mesures, le panel des polluants mesurables, et de progresser dans les limites du drone lui-même comme son autonomie. Les contraintes de vol constatées, telles que l'interdiction de circuler au dessus de personnes ou de biens, voire l'interdiction de vol dans certaines zones, ont limité les applications possibles.

C'est forts de ces apprentissages que les partenaires du projet pourront mettre cette technique en œuvre à bon escient.

WARUM WIRD BEI ATMO-VISION EINE DROHNE EINGESETZT ?

Die Messungen der Luftbelastung mit Drohnen (UAV) werden hauptsächlich zur Bewertung der Emissionen von Industrieanlagen eingesetzt, indem dreidimensionale Flüge um die Schornsteine durchgeführt werden. Diese Technik wurde am Oberrhein noch nicht verwendet. Das Projekt Atmo-VISION ermöglichte es nun, Erfahrungen mit einer Drohne zu sammeln. Außerdem sind Mikrosensoren, die im Interesse der Projektpartner stehen, durch ihre Größe und ihr Gewicht gut geeignet, auf kleinen Drohnen installiert zu werden.

Bei dieser Aktion hat der Mikrosensor, der auf der kleinen und leichten Drohne installiert war und die, vom Boden aus gesteuert wurde, es ermöglicht, die Luftbelastung und ihre Entwicklung in der Vertikalen in normalerweise unzugänglichen Räumen zu beobachten: in der Höhe oder über dem Rhein. Die Drohne ermöglichte es auch, Messungen in 2 oder 3 Dimensionen durchzuführen: Dank ihrer Fähigkeit, sich schnell von einem Punkt zum anderen zu bewegen. Bei Windstille können die Messungen als gleichzeitig durchgeführt betrachtet werden.

Das Feedback ist äußerst vielfältig: Es gibt viele Anwendungen für diese Geräte, vorausgesetzt, dass die Qualität der Messungen, das Spektrum der messbaren Schadstoffe und die Fortschritte bei den Beschränkungen der UAV (Unmanned Aerial Vehicle) selbst wie seiner Autonomie weiter verbessert werden. Die beobachteten Flugbeschränkungen, wie das Verbot des Überflugs von Personen oder Gütern oder sogar das Flugverbot in bestimmten Gebieten, haben die Anwendungsmöglichkeiten eingeschränkt.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse werden die Projektpartner zukünftig in der Lage sein, diese Technik sinnvoll einzusetzen.

Principe de l'opération

Un microcapteur pour la mesure de la qualité de l'air a été embarqué sur un drone afin de vérifier la possibilité de collecter des données sur la qualité de l'air de manière rapide et dans des endroits pouvant être difficiles d'accès. Deux secteurs d'intérêt ont été identifiés :

- dans une vallée vosgienne (vallée de la Bruche), secteur caractérisé par l'utilisation importante du bois de chauffage en hiver (avec de fortes émissions de particules) mais également par une topographie pouvant être favorable à l'accumulation de polluants dans la vallée ;
- symboliquement au dessus du Rhin, zone peu surveillée, encore jamais investiguée, avec l'objectif d'observer l'influence sur la qualité de l'air des deux villes situées de part et d'autre du fleuve (Strasbourg et Kehl), l'influence des industries localisées sur les deux berges, ainsi que l'évolution de la pollution en fonction des vents.

Afin de contrôler la qualité des mesures du microcapteur embarqué sur le drone, un exercice de comparaison a également été réalisé sur la station fixe Strasbourg Nord en faisant voler le drone à côté de la station de mesure fixe.

En raison du choix de suivre uniquement les particules fines (en raison des contraintes techniques des instruments pouvant être déployés sur le drone), l'opération s'est déroulée en saison hivernale, période au cours de laquelle les concentrations en particules primaires sont les plus élevées. Les mesures ont été réalisées la semaine du 21 au 25 janvier 2019.

Ces mesures ont été mises en œuvre par la société ADE SAS (Affrètement Drone et Environnement), spécialisée dans la mesure de qualité de l'air à l'aide de drone. Celle-ci proposait une gestion complète de l'ordre de mission : préparation du plan de vol, déclarations et formalités, analyse des risques, sécurisation, prise de mesures et restitution au donneur d'ordre.



Vorgehensweise bei dieser Aktion

Ein Mikrosensor zur Messung der Luftqualität wurde auf einer Drohne (UAV) installiert, um die Möglichkeit zu prüfen, an schwer zugänglichen Orten schnell Daten über die Luftqualität zu sammeln. Es wurden zwei Bereiche von Interesse identifiziert:

- in einem Vogesental (Bruche-Tal), ein Gebiet, das sich durch verstärkte Verwendung von Brennholz im Winter (mit hohen Partikelemissionen) und durch eine Topographie auszeichnet, die die Ansammlung von Schadstoffen im Tal begünstigt;
- symbolisch über dem Rhein, einem schwer zugänglichen Gebiet, das noch nicht untersucht wurde. Ziel war es, den Einfluss der beiden beiderseits des Rheins gelegenen Städte (Strasbourg und Kehl) auf die Luftqualität und den Einfluss der an beiden Ufern angesiedelten Industrien sowie die Entwicklung der Verschmutzung in Abhängigkeit von der Windsituation zu beobachten.

Um die Qualität der Messungen des Mikrosensors auf dem UAV zu überprüfen, wurde eine Vergleichsmessung an der dauerhaftbetriebenen Messstation Strasbourg Nord durchgeführt, indem das UAV an die Messstation geflogen wurde.

Aufgrund der Entscheidung, nur Feinstäube zu messen (auf Grund der technischen Einschränkungen der Instrumente, die auf dem UAV eingesetzt werden konnten), fand der Einsatz während der Wintersaison statt, in der die Konzentrationen am höchsten sind. Die Messungen wurden zwischen dem 21. und 25. Januar 2019 durchgeführt.

Die Messungen wurden von ADE SAS (Affrètement Drone et Environnement) durchgeführt, einem Unternehmen, das auf Luftqualitätsmessungen mit UAVs spezialisiert ist. Dieses Unternehmen führte die komplette Verwaltung des Auftrags durch: Erstellung des Flugplans, Erledigung der Erklärungen und Formalitäten, Risikoanalyse, Absicherung vor Ort, Durchführung von Messungen und Bereitstellung der Daten.

Information : Les paramètres mesurés sont les particules fines PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_{10} , provenant de multiples sources : trafic routier, activités industrielles, agriculture, chauffage résidentiel ou bien érosion des sols, combustion de biomasse.

Information: Die gemessenen Parameter sind Feinstäube PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_{10} , die aus verschiedenen Quellen stammen: Straßenverkehr, Industrietätigkeiten, Landwirtschaft, Wohnraumheizung oder Bodenerosion; Verbrennung von Biomasse.

Le microcapteur LOAC

Le LOAC - Light Optical Aerosol Counter - est un instrument conçu pour déterminer la concentration en aérosols selon 19 gammes de tailles, comprises entre 0,2 et 50 μm , incluant ainsi les PM_{10} et les $\text{PM}_{2,5}$.

Son principe de fonctionnement se base sur le comptage du nombre de particules solides en suspension dans l'air, par la mesure de l'angle de réfraction du laser sur la particule. Le faisceau est émis à deux angles de diffusion :

- angle de diffusion de 12° : insensible à l'indice de réfraction des particules, il permet de compter les particules et de déterminer précisément leur taille ;
- angle de diffusion de 60° : très sensible à l'indice de réfraction des particules, il permet de déterminer la typologie des particules en les classant selon 4 grandes familles (particules carbonées, minéraux, sels et gouttelettes d'eau).

Le LOAC présente l'avantage de ne pas être sensible aux variations de température et de pression. Il monte à 140m, ce qui en fait un outil adapté pour les mesures de particules dans l'air à différentes altitudes.

Der LOAC Mikrosensor

Der LOAC - Light Optical Aerosol Counter - ist ein Gerät zur Bestimmung der Konzentration von Aerosolen in 19 Größenklassen von 0,2 bis 50 μm , einschließlich PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$.

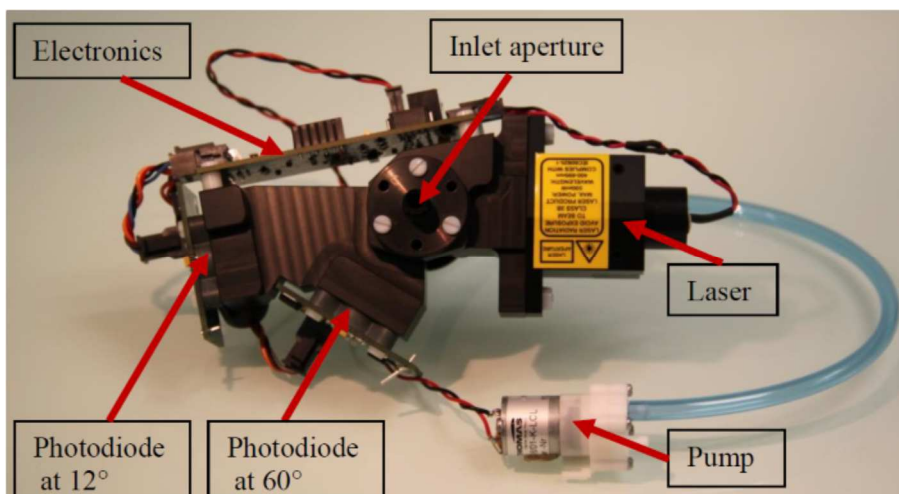
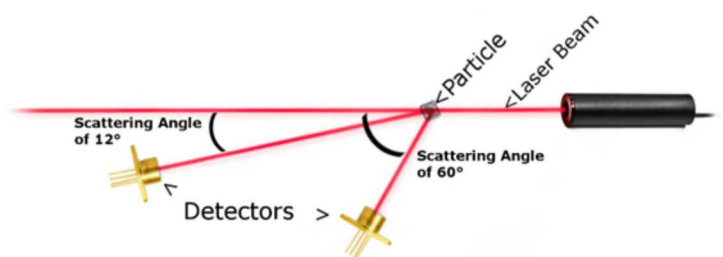
Sein Funktionsprinzip basiert auf der Zählung der Anzahl der in der Luft schwebenden Feststoffpartikel, durch die Messung des Brechungswinkels des Lasers am Partikel. Der Strahl wird unter zwei Winkeln gestreut:

- 12° Streuwinkel: unempfindlich gegen den Brechungsindex der Partikel, erlaubt es, die Partikel zu zählen und ihre Größe genau zu bestimmen;
- 60° Streuwinkel: sehr empfindlich für den Brechungsindex der Partikel, erlaubt es, die Typologie der Partikel zu bestimmen, indem sie in 4 große Klassen eingeteilt werden (kohlenstoffhaltige Partikel, Mineralien, Salze und Wassertröpfchen).

Der LOAC hat den Vorteil, dass er unempfindlich gegenüber Temperatur- und Druckschwankungen ist, so dass er für die Messung von luftgetragenen Partikeln in verschiedenen Höhen geeignet ist.



Principe de fonctionnement du LOAC
Funktionsprinzip von LOAC



Eléments composant le LOAC
Bestandteile des LOAC

Le carter LAM

Le LAM - LOAC-ADE-Module - est le carter développé par la société ADE SAS contenant le LOAC et adapté au drone. Le LAM héberge les équipements suivants :

- le capteur LOAC ;
- un GPS ;
- une sonde mesurant la température, l'hygrométrie et la pression atmosphérique ;
- une horloge électronique ;
- un raspberry (micro-ordinateur pour le transfert des données).

Le drone

Le modèle utilisé par la société ADE pour cette opération a été un hexadrome HDS3-V2.

La société ADE SAS propose des prestations de vol avec drone pouvant embarquer différents instruments tels que des canisters, des sacs tedlar, d'autres microcapteurs de qualité de l'air, ...

Poids du drone : 4 kg

Das Gehäuse LAM

Das LAM - LOAC-ADE-Modul - ist das von der Firma ADE SAS entwickelte Gehäuse, das den LOAC enthält und an das UAV angepasst ist. Das LAM trägt die folgende Ausrüstung:

- den LOAC-Sensor;
- ein GPS;
- einen Sensor zur Messung von Temperatur, Feuchte und Luftdruck;
- eine elektronische Uhr;
- ein raspberry-PI (Mikrocomputer für den Datentransfer).

Die Drohne

Das von ADE bei dieser Operation verwendete Modell war ein Hexadron HDS3-V2.

Das Unternehmen ADE SAS bietet Flugdienste mit einem UAV an, das verschiedene Instrumente wie Kanister oder Sammeltaschen zur Probenahme, andere Mikrosensoren für die Luftqualität, ... tragen kann.

Gewicht der Drohne : 4 kg



Le pilote du drone
Der Pilot der Drohne

Prise d'air
Lufteintritt

Le drone dans la vallée de la Bruche
Die Drohne im Bruche-Tal



Le carter
Das Gehäuse



Organisation des vols

La prestation fournie par ADE SAS a été réalisée sur 5 jours consécutifs, entre le lundi 21 janvier et le vendredi 25 janvier 2019.

Le plan de vol a été défini de la façon suivante :

- **Zone d'étude 01** : dans la vallée de la Bruche le lundi 21 et le mardi 22 janvier 2019.
- **Zone d'étude 02** : au dessus du Rhin le mercredi 23 et le jeudi 24 janvier 2019.
- **Zone d'étude 03** : parallèlement à la station Strasbourg Nord le mercredi 23 et le vendredi 25 janvier 2019.

Organisation der Flüge

Die von ADE SAS durchgeführten Messflüge wurden an 5 Tagen zwischen Montag, dem 21. Januar, und Freitag, dem 25. Januar 2019, realisiert.

Der Flugplan wurde wie folgt definiert:

- **Beobachtungszone 01:** im Bruche-Tal am Montag, 21. und Dienstag, 22. Januar 2019.
- **Beobachtungszone 02:** über den Rhein am Mittwoch, 23. und Donnerstag, 24. Januar 2019.
- **Beobachtungszone 03:** Parallelmessung an der Messstation Straßburg Nord am Mittwoch, 23. und Freitag, 25. Januar 2019.



Zones d'étude survolées par le drone entre le 21 et le 25 janvier 2019 / Beobachtungszonen, die zwischen dem 21. und 25. Januar 2019 von der UAV überflogen wurden



Interviews lors des mesures réalisées au dessus du Rhin / Interviews während der Messungen über dem Rhein

Niveaux de particules fines

Cette période a été propice à l'observation d'augmentations des concentrations en particules du fait de conditions favorables à leurs émissions (chauffage lié aux basses températures) et leur accumulation dans l'air : temps stable, température extérieure froide, inversion thermique, etc.

Les modèles d'ATMO Grand Est ont enregistré des indices compris entre 5 et 7 sur 10 sur la région, signes d'une qualité de l'air qualifiée de moyenne à médiocre sur la période.

Niveaus des Feinstaubs

Dieser Zeitraum war günstig für die Beobachtung von erhöhten Partikelkonzentrationen aufgrund verstärkter Emissionen (höhere Heizbedarf aufgrund der niedrigen Temperaturen) und der Akkumulation der Schadstoffe in der Luft: stabiles Wetter, niedrige Temperaturen, thermische Inversion, usw.

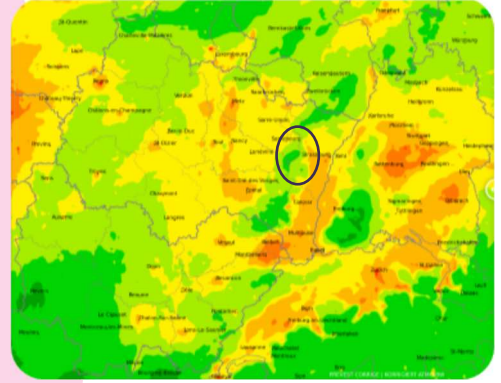
Die Modelle von ATMO Grand Est verzeichneten in der Region Luftqualitätsindizes zwischen 5 und 7 von 10, was auf eine durchschnittliche bis schlechte Luftqualität in diesem Zeitraum hinweist.

Concentrations en particules modélisées entre le 21 et le 25 janvier 2019 / Modellierte Partikelkonzentrationen zwischen dem 21. und 25. Januar 2019

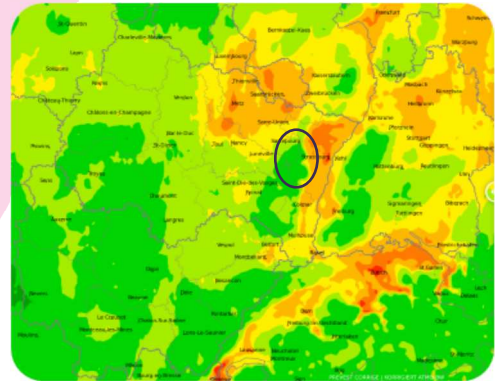
Indice français de qualité de l'air pour les PM₁₀ / Französischer Luftqualitätsindex für PM₁₀

Très bon à bon / Sehr gut bis gut	1	0 à 6
	2	7 à 13
	3	14 à 20
	4	21 à 27
Moyen à médiocre / Durchschnittlich bis mittelmässig	5	28 à 34
	6	35 à 41
	7	42 à 49
Mauvais à très mauvais / Schlecht bis sehr schlecht	8	50 à 64
	9	65 à 79
	10	sup. à 80

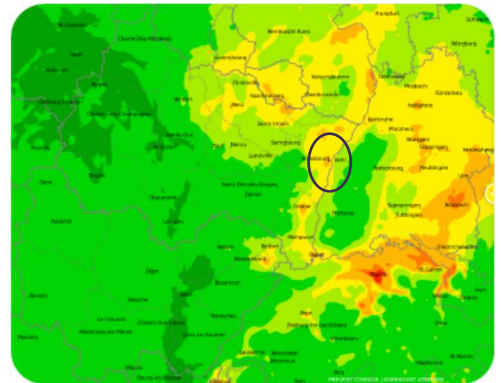
21 janvier 2019
Mesure en zone 01 :
vallée de la Bruche
21. Januar 2019
Messung in Zone 01:
Bruche-Tal



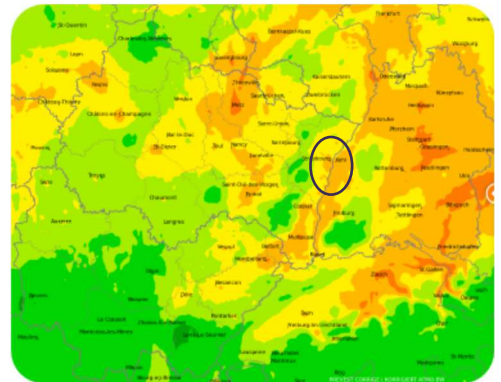
22 janvier 2019
Mesure en zone 01 :
vallée de la Bruche
22. Januar 2019
Messung in Zone 01:
Bruche-Tal



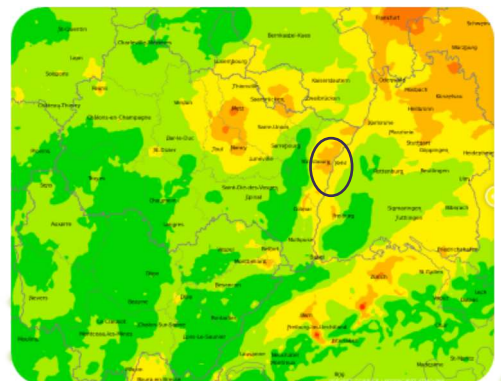
23 janvier 2019
Mesure en zones 02 et
03 : Rhin et station
STG Nord
23. Januar 2019
Messungen in den
Zonen 02 und 03:
Rhein und Station
STG Nord



24 janvier 2019
Mesure en zone 02 :
au dessus du Rhin
24. Januar 2019
Messungen in
Zone 02:
über dem Rhein



25 janvier 2019
Mesure en zones 02 et
03 : Rhin et station
Strasbourg Nord
25. Januar 2019
Messungen in den
Zonen 02 und 03:
Rhein und Station
Strasbourg Nord



Mesure parallèle sur station de référence

Des vols ont été organisés au niveau de la station de mesure fixe Strasbourg Nord afin de comparer les mesures du LOAC embarqué sur le drone avec des équipements de mesure de référence.

Pour ne pas perturber la prise d'air au niveau des têtes de prélèvement de la station fixe - en lien avec les vortex générés par les rotors du drone - celles mesures ont été réalisées à quelques mètres de la station fixe, à hauteur des têtes de prélèvement de la station (4-5m de hauteur).

Ce dispositif a permis d'évaluer sur une période courte, les corrélations et la justesse des mesures du LOAC en vol dans les conditions atmosphériques spécifiques de l'essai.

La difficulté de cet exercice réside dans l'autonomie de vol du drone (limitée à moins de 10 minutes) et le pas d'intégration des mesures relevées par le dispositif de référence (1/4h).



Parallele Messung an einer Referenzstation

Flüge wurden an der Messstation Straßburg Nord durchgeführt, um die Messungen des auf der UAV befestigten LOAC mit Referenzmessgeräten zu vergleichen.

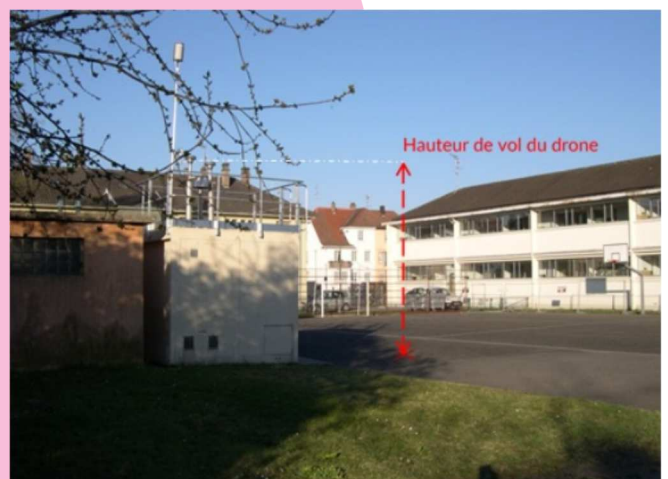
Um die Luftansaugung auf Höhe der Probenahmeköpfe der Messtation - in Verbindung mit den von den UAV-Rotoren erzeugten Wirbeln - nicht zu stören, wurden die Messungen einige Meter von der Messtation entfernt, auf Höhe der Probenahmeköpfe der Station (4-5m hoch) durchgeführt.

Mit dieser Parallelmessung war es möglich, über einen kurzen Zeitraum die Korrelationen und die Genauigkeit der LOAC-Messungen im Flug unter den spezifischen atmosphärischen Bedingungen zu bewerten.

Die Schwierigkeit bei dieser Messung liegt in der maximalen Flugzeit des UAV (begrenzt auf weniger als 10 Minuten) und der Mittelungszeit der Messungen des Referenzgerätes (15 Minuten).



Station fixe de mesure Strasbourg Nord, dans le quartier de la Robertsau / Messstation Straßburg Nord im Bezirk Robertsau

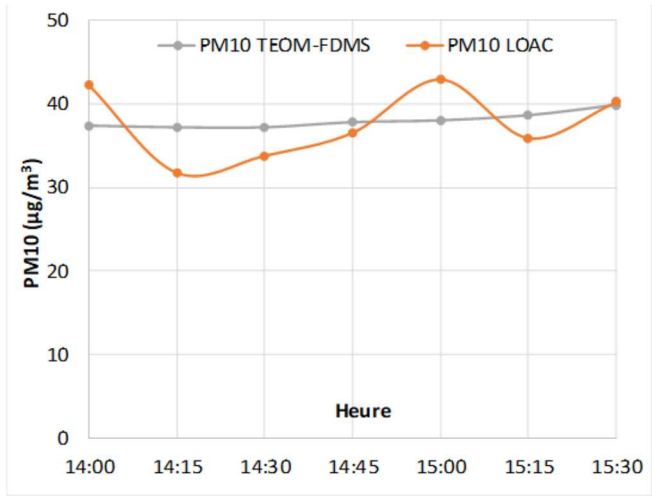


Mesures du drone à la station fixe de mesure Strasbourg Nord, dans le quartier de la Robertsau, pour intercomparaison / Messungen der Drohne an der Messstation Straßburg Nord, im Bezirk Robertsau für Vergleichsmessungen

Corrélation entre le LOAC et les analyseurs de référence

Les mesures comparatives réalisées parallèlement à la station fixe ont montré des ordres de grandeurs cohérents entre les mesures du LOAC en vol et les équipements de référence de la station Strasbourg Nord (PM₁₀).

Des problèmes techniques ont été rencontrés durant cet exercice, d'où le faible échantillon de données de mesures : les conditions météo étaient très défavorables (très basses températures) durant tous les vols impactant la structure des particules et leur comptage.



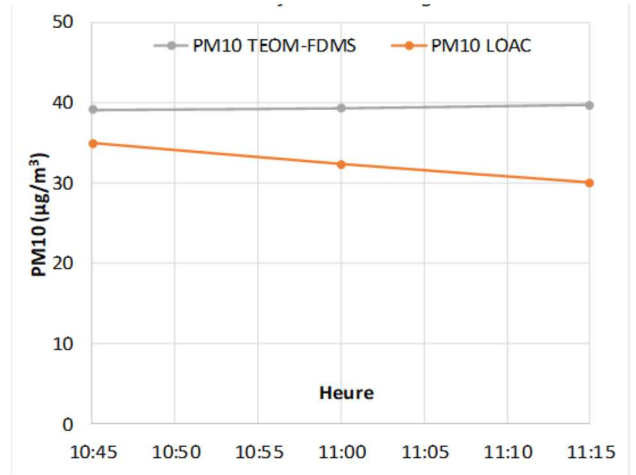
Comparaison des mesures PM₁₀ de référence (TEOM-FDMS) et du LOAC le mercredi 23 janvier 2019 à la station fixe Strasbourg Nord / Vergleich der PM₁₀-Referenzmessungen (TEOM-FDMS) mit dem LOAC am Freitag, den 25. Januar 2019 an der Messstation Straßburg Nord.

Korrelation zwischen LOAC und Referenzanalysatoren

Vergleichsmessungen, die parallel zur Messstation durchgeführt wurden, zeigten Messwerte in der gleichen Größenordnung für die LOAC-Messungen während des Fluges und der Referenzausrüstung an der Station Straßburg Nord (PM₁₀).

Bei der Durchführung traten technische Probleme auf, daher ist die Stichprobe an Messdaten klein: Die Wetterbedingungen waren während aller Flüge sehr ungünstig (sehr niedrige Temperaturen), was sich auf die Struktur der Partikel und ihre Zählung auswirkte.

Comparaison des mesures PM₁₀ de référence (TEOM-FDMS) et du LOAC le mercredi 23 janvier 2019 à la station fixe Strasbourg Nord / Vergleich der PM₁₀-Referenzmessungen (TEOM-FDMS) mit dem LOAC am Mittwoch, 23. Januar 2019 an der Messstation Straßburg Nord.



Mesure dans la vallée de la Bruche

La zone d'étude s'étend le long de la vallée, de la commune de Schirmeck jusqu'à Rothau. Quinze zones de décollage ont été identifiées, réparties sur 5 rideaux en transect de la vallée.

Les sites de mesures ont été choisis de manière à ne pas survoler les personnes ou les véhicules, et à éviter au maximum les demandes d'autorisation, blocages de routes, de parkings, etc.

Sur chaque site, un profil de mesure vertical a été réalisé en mesurant à différentes altitudes pendant 40 à 50 secondes à chaque fois : à 30, 60, 80, 110 et 130m d'altitude.

Une demande d'autorisation a été adressée à chaque commune concernée par le dispositif et une validation du plan de vol a été accordée par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC).

Les vols ont été réalisés dans le sens Schirmeck-Rothau le lundi 21 janvier et de Rothau vers Schirmeck le mardi 22 janvier, permettant de collecter des données de concentrations sur une même zone de décollage à différents moments de la journée (plages horaires soumises à des conditions atmosphériques différentes).

Messung im Bruche-Tal

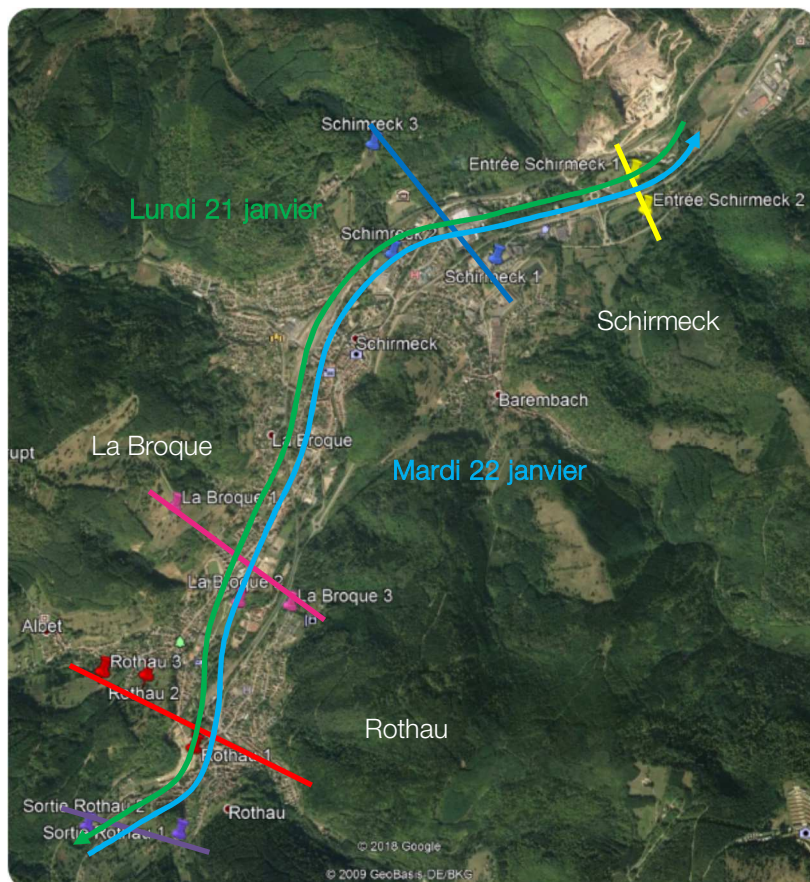
Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich im Tal entlang der Gemeinde Schirmeck bis Rothau. Es wurden fünfzehn Startzonen festgelegt, die über 5 Querschnitte „Vorhänge“ als Transekte entlang des Tals verteilt waren.

Die Messstellen wurden so gewählt, dass Personen oder Fahrzeuge nicht überflogen wurden und Genehmigungsanträge für die Sperrung von Straßen, Parkplätzen, usw. so weit wie möglich vermieden wurden.

An jedem Standort wurde ein Vertikalprofil erfasst, bei dem 40 bis 50 Sekunden lang in verschiedenen Höhen gemessen wurde: in 30, 60, 80, 110 und 130 m Höhe.

Ein Genehmigungsantrag wurde an jede von der Aktion betroffene Gemeinde geschickt, und die Generaldirektion für Zivilluftfahrt (DGAC) genehmigte den Flugplan.

Die Flüge wurden am Montag, dem 21. Januar, in Richtung Schirmeck-Rothau und am Dienstag, dem 22. Januar, von Rothau nach Schirmeck durchgeführt, wodurch es möglich war, Konzentrationsdaten über denselben Startplatz zu verschiedenen Tageszeiten (Zeitfenster mit unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen) zu sammeln.



Répartition des zones de décollage le long de la vallée de la Bruche / Verteilung der Startgebiete entlang des Bruche-Tals

5 rideaux de mesure constitués des transects suivants / 5 „Messvorhänge“, bestehend aus den folgenden Transekten:

- **Entrée Schirmeck** : Entrée Schirmeck 1 et 2
- **Schirmeck** : Schirmeck 1 à 3
- **La Broque** : La Broque 1 à 3
- **Rothau** : Rothau 1 à 3
- **Sortie Rothau** : Rothau 1 et 2

Résultats

Les illustrations ci-dessous présentent les concentrations moyennes en particules PM_{10} (proportionnelles au diamètre des cercles) relevées sur chaque zone de décollage, aux différentes altitudes investiguées, pour les journées du lundi 21 janvier 2019 (sens Schirmeck vers Rothau) et du mardi 22 janvier 2019 (sens Rothau vers Schirmeck). Sur l'axe des abscisses est représentée la chronologie des mesures.

Les concentrations sont généralement plus élevées aux heures de pointe (9h30, 11h45, 17h). Les concentrations aux sols sont là peine plus élevées que celles en altitude : les particules stagnent donc dans la vallée jusqu'à une hauteur d'au moins 140m.

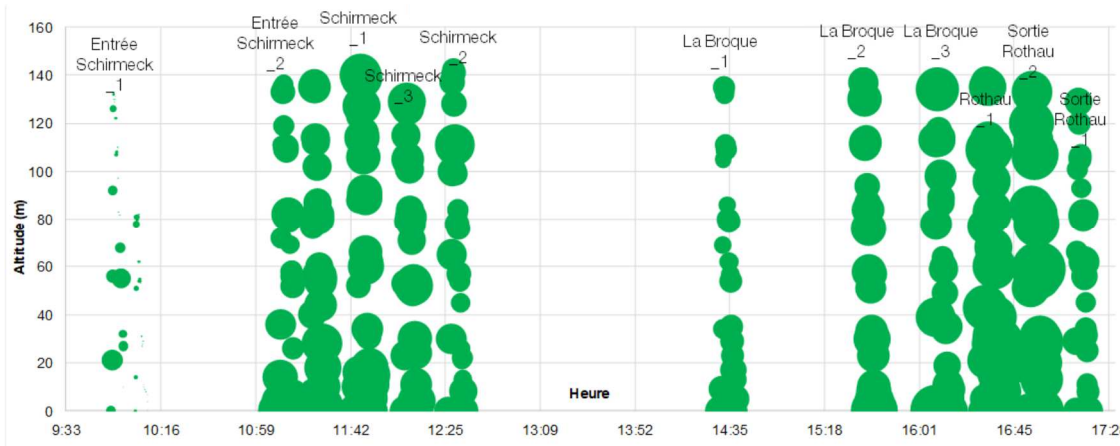


Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen zeigen die mittleren PM_{10} -Konzentrationen (proportional zum Durchmesser der Kreise) an jedem Startplatz in den verschiedenen untersuchten Höhen für die Tage Montag, 21. Januar 2019 (Richtung Schirmeck nach Rothau) und Dienstag, 22. Januar 2019 (Richtung Rothau nach Schirmeck). Der zeitliche Verlauf ist auf der x-Achse dargestellt.

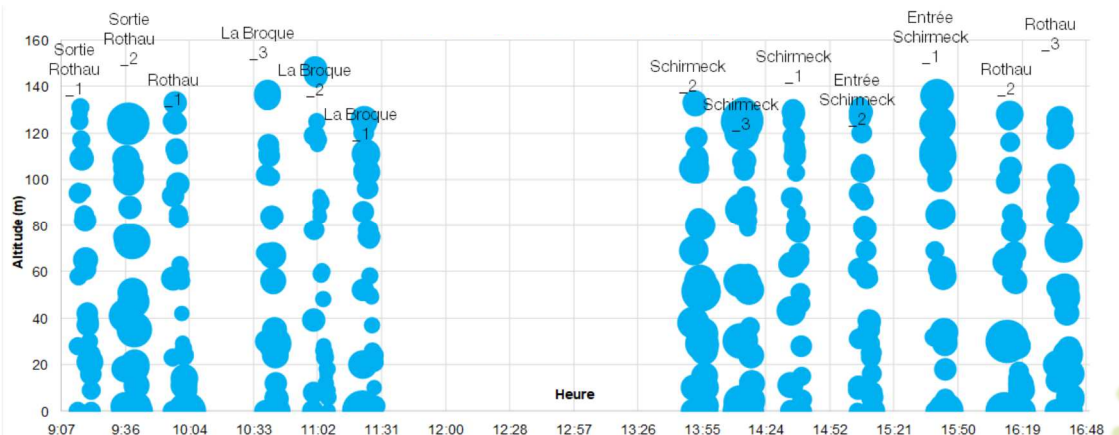
Die Konzentrationen sind in der Regel während der Verkehrsspitzen (9:30 Uhr, 11:45 Uhr, 17:00 Uhr) höher. Die Konzentrationen am Boden sind nur geringfügig höher als in größeren Höhen: Die

Partikelkonzentration stagniert daher im Tal bis zu einer Höhe von mindestens 140 m.



Concentrations des PM_{10} dans la vallée de la Bruche le lundi 21 janvier 2019 — disques proportionnels aux concentrations en $\mu g/m^3$ / PM_{10} -Partikelkonzentration im Bruche-Tal am Montag, 21. Januar 2019 — Durchmesser der Kreise proportional zu den Konzentrationen in $\mu g/m^3$

Concentrations des PM_{10} dans la vallée de la Bruche le vendredi 25 janvier 2019 — disques proportionnels aux concentrations en $\mu g/m^3$ / PM_{10} -Partikelkonzentration im Bruche-Tal am Freitag, den 25. Januar 2019 — Durchmesser der Kreise proportional zu den Konzentrationen in $\mu g/m^3$



Les illustrations ci-dessous présentent les concentrations moyennes en particules PM₁₀ relevées sur chaque rideau : entrée de Schirmeck, Schirmeck, La Broque, Rothau, sortie Rothau.

Il a été constaté des teneurs en particules globalement plus élevées le lundi 21 janvier que le mardi 22 janvier sauf en entrée de vallée, sur le rideau « Entrée de Schirmeck ».

Une variabilité plus importante des concentrations a été constatée le long de la vallée sur la 1ère journée du 21 janvier, comparativement au 22 janvier. Les concentrations les plus faibles relevées le 21 sont observées à l'entrée de la vallée et les plus fortes mesurées dans la commune de Rothau.

La journée du 22 a montré des teneurs plus homogènes avec une distribution des concentrations le long de la vallée similaire au 21 en dehors du rideau réalisé à Rothau dont les niveaux se sont écroulés (concentrations les plus faibles du 22 janvier).

Une instrumentation plus longue aurait éventuellement pu permettre de confirmer cette distribution.

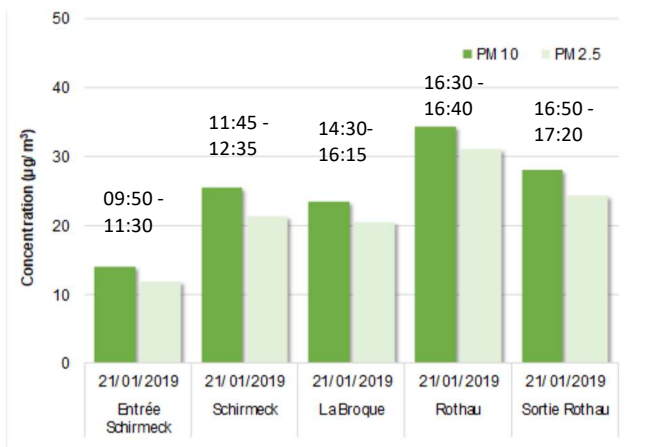
Die folgenden Abbildungen zeigen die durchschnittlichen PM₁₀-Feinstaubkonzentrationen, die an jedem „Vorhang“ gefunden wurden: Schirmeck-Eingang, Schirmeck, La Broque, Rothau, Rothau-Ausgang.

Die Konzentration an Feinstaub war am Montag, 21. Januar, höher als am Dienstag, 22. Januar, außer am Taleingang, am „Vorhang“ des "Schirmeck-Eingangs".

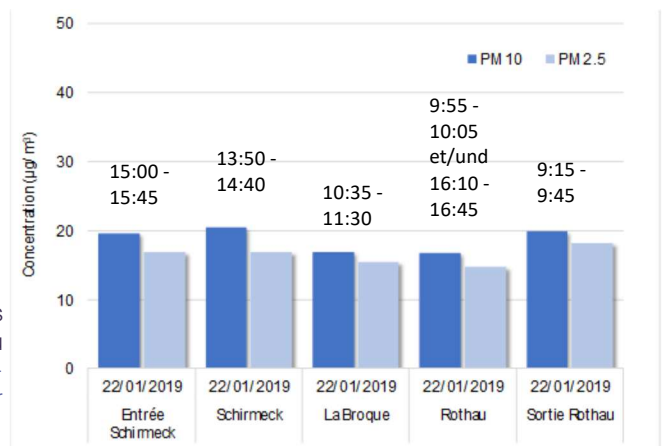
Eine größere Variabilität der Konzentrationen wurde entlang des Tals am 1. Tag, dem 21. Januar im Vergleich zum 22. Januar beobachtet. Die niedrigsten Konzentrationen am 21. wurden am Taleingang und die höchsten Konzentrationen in der Gemeinde Rothau beobachtet.

Der zweite Tag (22. Januar) zeigte homogenere Konzentrationen mit einer ähnlichen Verteilung der Konzentrationen entlang des Tals wie am 21. vor dem „Vorhang“ bei Rothau, dessen Konzentrationen sehr niedrig waren (niedrigste Konzentrationen am 22. Januar).

Längerfristige Messungen hätten diese Verteilung vielleicht bestätigen können.



Concentrations moyennes de particules fines PM₁₀ mesurées dans la vallée de la Bruche le lundi 21 janvier 2019 (moyenne du rideau — heures différentes) / Durchschnittliche PM₁₀-Partikelkonzentrationen gemessen im Bruche-Tal am Montag, den 21. Januar 2019 (Mittelwert des „Vorhangs“- verschiedene Uhrzeiten)



Concentrations moyennes de particules fines PM₁₀ mesurées dans la vallée de la Bruche le mardi 22 janvier 2019 (moyenne du rideau — heures différentes) / Durchschnittliche PM₁₀-Partikelkonzentrationen gemessen im Bruche-Tal am Dienstag, 22. Januar 2019 (Mittelwert des „Vorhangs“- verschiedene Uhrzeiten)

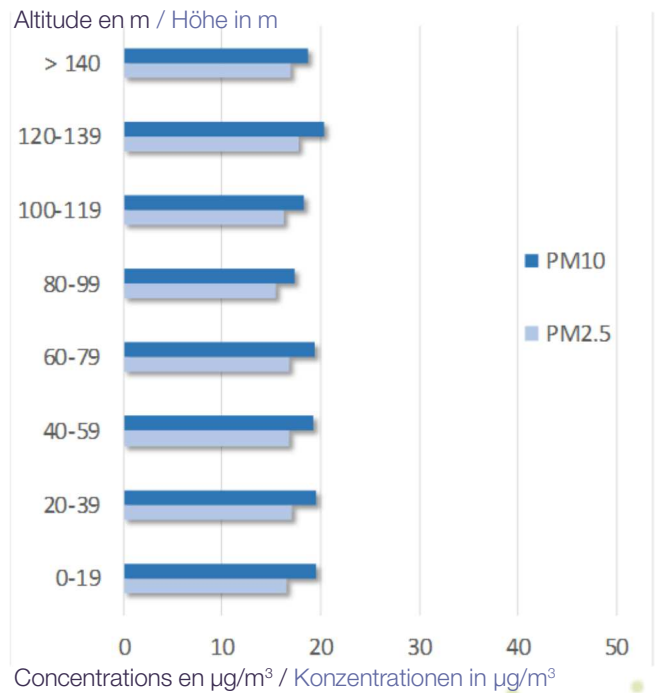
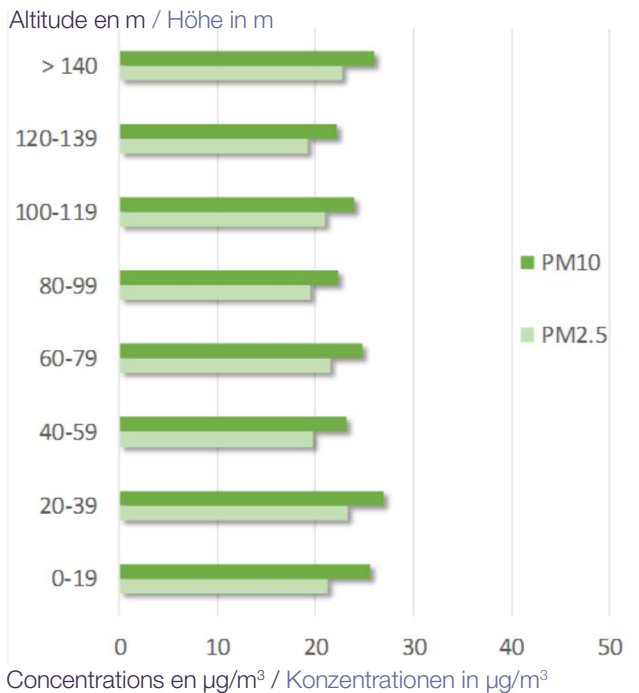
Les illustrations ci-dessous présentent les concentrations moyennes en particules PM₁₀ relevées sur les différents rideaux de mesure, pour différentes classes d'altitude (par pallier de 20m).

Die folgenden Abbildungen zeigen die an den verschiedenen „Messvorhängen“ gemessenen mittleren PM₁₀-Partikelkonzentrationen für verschiedene Höhenklassen (in 20 m-Schritten).

Il a été constaté une faible variabilité des concentrations de particules PM₁₀ avec l'altitude sur les deux journées étudiées, là où l'on aurait pu s'attendre à observer un gradient de concentrations décroissant avec la hauteur (teneurs de plus en plus faibles plus on s'élève en hauteur).



Die Variabilität der PM₁₀-Konzentrationen mit der Höhe war an den beiden untersuchten Tagen gering. Dabei hätte man abnehmende Konzentrationen mit der Höhe erwarten können.



Concentrations moyennes de particules fines (PM₁₀ et PM_{2.5}) en fonction de la hauteur (heures et lieux différents) le lundi 21 janvier 2019 / Durchschnittliche Konzentrationen von Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2.5}) nach Höhenklassen (verschiedene Uhrzeiten und Orte) für Montag, 21. Januar 2019

Concentrations moyennes de particules fines (PM₁₀ et PM_{2.5}) en fonction de la hauteur (heures et lieux différents) le mardi 22 janvier 2019 / Durchschnittliche Konzentrationen von Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2.5}) nach Höhenklassen (verschiedene Uhrzeiten und Orte) für Dienstag, 22. Januar 2019

Mesure au dessus du Rhin

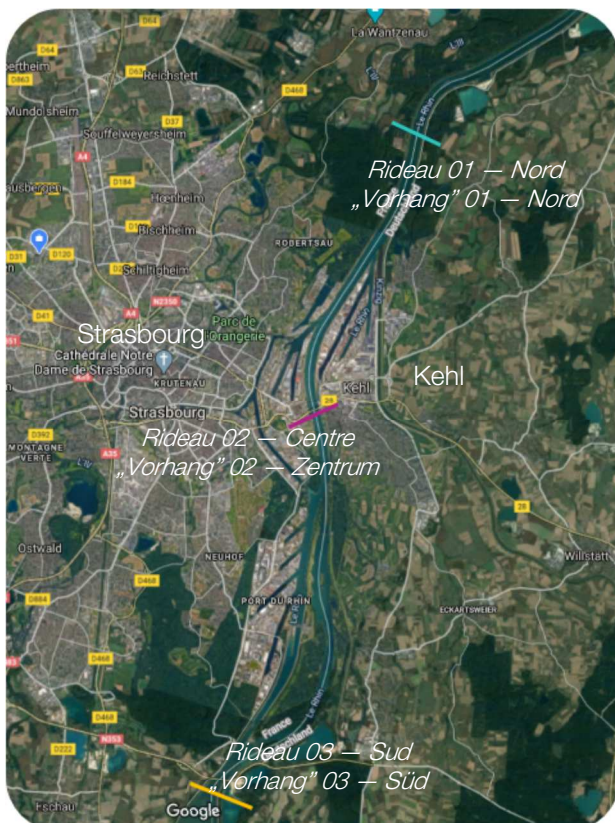
Trois zones d'investigation ont été identifiées au dessus du Rhin : au Nord des villes de Strasbourg et Kehl (rideau 01 à hauteur de Leutesheim en Allemagne), entre Strasbourg et Kehl (rideau 02 à hauteur du Jardin des Deux Rives en France) et au Sud des deux agglomérations (rideau 03 à hauteur d'Eschau en France et Neuried en Allemagne).

Des décollages ont été réalisés de part et d'autre du cours d'eau afin de pouvoir parcourir l'ensemble de la largeur du fleuve et pour des questions de réglementation :

- En France, le drone doit voler à vue du pilote sans dépasser 100m de diamètre dans le plan horizontal et 150m d'altitude maximum,
- En Allemagne, la hauteur de vol est limitée à 100m et aucune demande de dérogation n'est possible.

Chaque rideau de mesure est constitué de transects horizontaux avec des mesures prises à 10, 40, 70 et 100m de la rive. Ces mêmes transects horizontaux ont été répétés à plusieurs altitudes, 20, 40, 60 et 90m de hauteur au-dessus du Rhin. Les mesures ont toujours démarré au plus loin pour anticiper la perte d'alimentation liée à la décharge des batteries.

Les vols ont été réalisés le mercredi 23 et le jeudi 24 janvier 2019.



Messung über dem Rhein

Über dem Rhein wurden drei Bereiche untersucht: nördlich der Städte Straßburg und Kehl („Vorhang“ 01 bei Leutesheim in Deutschland), zwischen Straßburg und Kehl („Vorhang“ 02 beim Jardin des Deux Rives in Frankreich) und südlich der beiden Ballungsräume („Vorhang“ 03 bei Eschau in Frankreich und Neuried in Deutschland).

Die Starts wurden aus gesetzlichen Gründen von beiden Seiten des Flusses aus durchgeführt, um die gesamte Breite des Flusses abdecken zu können:

- In Frankreich muss das UAV in Sichtweite des Piloten fliegen ohne in der horizontalen Ebene einen Abstand von 100 m und eine maximale Höhe von 150 m zu überschreiten,
- In Deutschland ist die Flughöhe auf 100 m begrenzt und kein Antrag auf Freistellung ist möglich.

Jeder „Messvorhang“ besteht aus horizontalen Transekten mit Messungen in 10, 40, 70 und 100 m Entfernung vom Ufer. Dieselben horizontalen Transekte wurden in verschiedenen Höhen wiederholt, 20, 40, 60 und 90 m über dem Rhein. Die Messungen begannen immer an der entferntesten Stelle, um den Leistungsverlust durch die Entladung der Batterien zu berücksichtigen.

Die Flüge wurden am Mittwoch, 23. und Donnerstag, 24. Januar 2019 durchgeführt.



Rideau 02 à hauteur du Jardin des Deux Rives en France / „Vorhang“ 02 beim Jardin des Deux Rives in Frankreich

Rideaux de mesure effectués par le drone au dessus du Rhin
Von der UAV über dem Rhein ausgeführte „Messvorhänge“

Résultats

La photo ci-dessous montre le dispositif de mesure mis en place sur le rideau central O2 réalisé au niveau du jardin des Deux-Rives entre Strasbourg et Kehl.

Les illustrations ci-dessous présentent les concentrations moyennes en particules PM_{10} et $PM_{2,5}$ (proportionnelles au diamètre des disques relevées sur chaque site de mesure composant le rideau O2 pour la journée du jeudi 24 janvier 2019.

Tout comme dans la vallée de la Bruche, il n'a pas été observé de gradient de concentrations avec l'altitude.

On remarque en revanche des teneurs globalement plus élevées du côté français que du

côté allemand. A noter que les mesures prises depuis les deux rives ont été réalisées à des moments différents de la journée (et donc dans des conditions atmosphériques différentes), constituant une limite à ce constat (entre 13 et 15h depuis la rive française et entre 16 et 18h depuis la rive allemande).

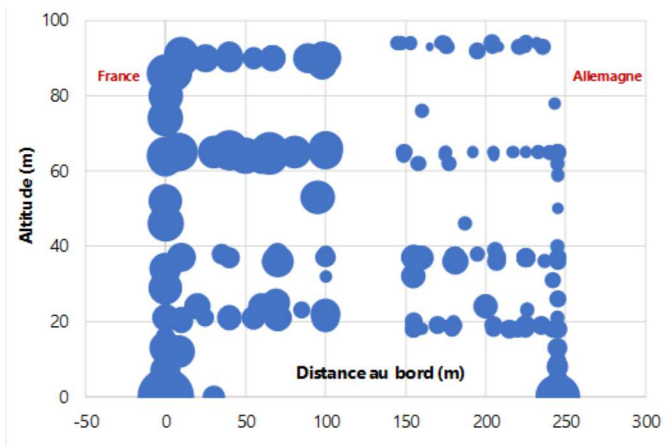


Ergebnisse

Das Bild zeigt das Messgerät bei der Messung auf der Höhe des Jardin des Deux-Rives zwischen Straßburg und Kehl.

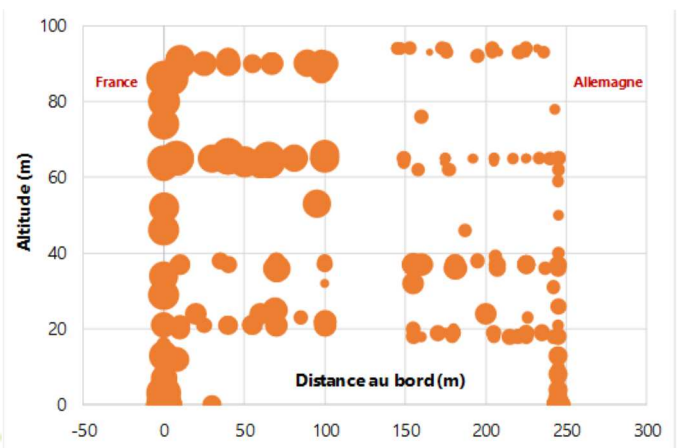
Die folgenden Abbildungen zeigen die durchschnittlichen Konzentrationen von PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Partikeln (Konzentration ist proportional zum Durchmesser des Kreises), die an jeder Messstelle, im „Vorhang“ O2 für Donnerstag, den 24. Januar 2019 gemessen wurden. Wie im Bruche-Tal wurde kein Konzentrationsgradient mit der Höhe beobachtet. Andererseits waren die Konzentrationen auf der französischen Seite des Rheins im Allgemeinen höher als auf der deutschen

Seite. Es sei darauf hingewiesen, dass die Messungen von beiden Ufern aus zu unterschiedlichen Tageszeiten (und somit unter unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen) durchgeführt wurden, was eine Einschränkung für die gleichzeitige Darstellung ist (zwischen 13:00 und 15:00 Uhr vom französischen Ufer aus und zwischen 16:00 und 18:00 Uhr vom deutschen Ufer aus).



Mesures de particules fines $PM_{2,5}$ au dessus du Rhin au Jardin des deux Rives sur le rideau O2 le jeudi 24 janvier 2019 / $PM_{2,5}$ -Partikelkonzentrationen gemessen über dem Rhein auf der Höhe des Jardin des Deux-Rives am „Vorhang“ O2 am Donnerstag, 24. Januar 2019

Mesures de particules fines PM_{10} au dessus du Rhin au Jardin des deux Rives sur le rideau O2 le jeudi 24 janvier 2019 / PM_{10} -Partikelkonzentrationen gemessen über dem Rhein auf der Höhe des Jardin des Deux-Rives am „Vorhang“ O2 am Donnerstag, 24. Januar 2019



AVANTAGES DU DRONE VORTEILE DES UAV

- Le drone permet de mesurer dans des zones inaccessibles ou dangereuses (altitude, panache de fumée, etc.). ☺
- Le drone permet de mesurer à différentes altitudes ou transects (au dessus d'un champ par exemple) voire sous forme de mur ou de rideau 2D. ☺
- Die Drohne ermöglicht es, in unzugänglichen oder gefährlichen Bereichen zu messen (Höhe, Staubabluft-fahne, usw.). ☺
- Möglichkeit, in verschiedenen Höhen oder Transekte zu messen (z. B. über einem landwirtschaftlichen Feld) oder sogar in Form einer 2D-Wand oder „Vorhangs“. ☺

PERSPECTIVES À LONG TERME LANGZEITIGE EINSATZMÖGLICHKEITEN

- Pour une utilisation internalisée (investissement dans un drone, un carter et le LOAC, et la formation d'un pilote) il faut compter au minimum 20 000 Euros.
- En attendant de pouvoir voler en agglomération, déploiement de drones pour renforcer l'observatoire de qualité de l'air (affinement de cartographie) en survolant des zones éloignées des stations fixes, sans la contrainte d'installation d'une station de mesures mobile.
- Dispositif qui pourrait intégrer les équipements d'une force d'intervention rapide (FIR) en cas d'accident industriel par exemple (sécurité du personnel).
- Wenn ein eigener Einsatz (Investition in ein Drohne, Gehäuse und Sensor und die Ausbildung eines Piloten) geplant wird, sind Kosten von mindestens 20 000 Euros zu erwarten.
- Bis die Drohne in den Städten fliegen dürfen, Einsatz von Drohnen zur Erweiterung der Beobachtung der Luftqualität (Verfeinerung der Kartierung) durch Überfliegen von Gebieten, die nicht mit den Messstationen erfasst werden können.
- Gerät, das z.B. die Ausrüstung einer schnellen Eingreiftruppe (FIR) im Falle eines Arbeitsunfalls ergänzen könnte (Sicherheit des Personals).

APPORTS D'ATMO-VISION POUR LES MESURES DE QUALITE DE L'AIR SUR DRONES DANS LE RHIN SUPERIEUR

BEITRÄGE VON ATMO-VISION ZUR MESSUNG DER LUFTBELASTUNG AUF DROHNEN IM OBERRHEINGEBIET

PERSPECTIVES À COURT TERME KURZZEITIGE EINSATZMÖGLICHKEITEN

- D'autres microcapteurs pourraient être embarqués sur les drones, pour mesurer d'autres composés (notamment pour évaluer des émissions liées à l'agriculture, où les champs peuvent être survolés). ☺
- A court terme, des prestations, qui sont de l'ordre de 6k€ à la semaine peuvent être utilisées.

- Andere Mikrosensoren könnten auf UAVs eingesetzt werden, die andere Schadstoffe als Feinstaub messen können (z. B. Anwendungen bei Emissionen im Zusammenhang mit der Landwirtschaft; dabei können Felder überflogen werden). ☺

POINTS FAIBLES DU DRONE SCHWÄCHEN DER DROHNE

- Autonomie des batteries de 10 minutes, limitant les temps maximum de vol. ☹
- Contraintes liées au vol : demande d'autorisation préalable à réaliser, périmètre de sécurité à établir, interdiction de survoler les personnes et les véhicules (mesures en milieu urbain impossibles), etc. ☹
- Difficulté à comparer/exploiter des mesures réalisées à des moments différents dans le temps. ☹
- Conditions météorologiques extrêmes impactant le fonctionnement du drone (froid). ☹
- Akkukapazität reicht nur für 10 Minuten, dadurch Begrenzung der Flugzeit. ☹
- Einschränkungen im Zusammenhang mit dem Flug: Beantragung einer vorherigen Genehmigung, Einrichtung einer Sicherheitszone, Überflugverbot von Personen und Fahrzeugen, usw. ☹
- Problematik des Vergleichs von Messungen, die zu verschiedenen Zeitpunkten vorgenommen wurden. ☹
 - Störung des LOAC-Signals bei ungünstigen Wetterbedingungen. ☹

- Kurzfristig können Dienstleistungen von etwa 6k€ pro Woche in Anspruch genommen werden.



ATMOVISION

I J U W O } k x n M j €
6 svf ef N besje
78411 T di jmjhi f jn
U ý m, 44)1*4 99 2: 37 77
dpoubduA bun p-hsboef t u/f v
x x x /bun p-wjt jp o/f v