

IIIT® transforme l'air que nous respirons en une découverte que nous pouvons voir

L'air qui nous entoure contient de nombreuses particules et de nombreux processus que nous ne voyons habituellement pas. Le projet IIIT® permet de capter ces processus invisibles dans un condensat qui peut être observé. Les élèves comme le public peuvent ainsi travailler avec un véritable échantillon d'air et réfléchir à ce qui se passe dans l'environnement qui nous entoure.

Bc. Adriána Vroničová

autrice du concept, de la solution technique et du projet IIIT®

Préface au chapitre « Pluie noire »

Nous ne remarquons certains phénomènes atmosphériques que lorsqu'ils se manifestent sous une forme exceptionnellement intense ou inhabituelle. À de tels moments, il semble soudain qu'il s'agisse de quelque chose d'exceptionnel ou d'isolé. Pourtant, nombre de ces processus se déroulent en permanence dans l'atmosphère. Seules leur intensité et notre capacité à les remarquer ou non diffèrent.

L'atmosphère est un milieu dynamique rempli de particules, d'aérosols, de substances chimiques et de réactions. Le vent transporte les poussières à travers le paysage, les émissions industrielles se mélangent à l'air, les gouttes d'eau captent des particules microscopiques et des processus de condensation comme de mélange se déroulent dans l'air. La plupart de ces phénomènes se produisent à une échelle que l'être humain ne perçoit habituellement pas.

Lorsqu'une situation particulière survient dans l'atmosphère - par exemple des émissions intenses, des incendies, des événements militaires ou une forte concentration d'aérosols -, ces processus peuvent se manifester plus nettement. Les précipitations peuvent alors transporter une quantité visible de matière et produire des phénomènes que nous décrivons, par exemple, comme une « pluie noire ».

De telles situations nous rappellent un fait important : ce que nous percevons comme un phénomène exceptionnel n'est souvent qu'une forme particulière de processus qui se déroulent en permanence dans l'atmosphère. C'est précisément pour cette raison qu'il est scientifiquement utile d'étudier de tels événements de manière continue. Ils permettent de mieux comprendre le transport des particules, la condensation et les interactions entre les aérosols et les gouttes d'eau. Ces mécanismes font l'objet de la littérature spécialisée, de la physique de l'atmosphère et des sciences de l'environnement.

Le chapitre suivant présente des exemples de situations documentées dans lesquelles ces processus se sont manifestés sous une forme plus marquée - par exemple sous la forme de précipitations sombres ou polluées qualifiées de « pluie noire ».

Pluie noire - formation et composition chimique

Introduction

La « pluie noire » n'est pas un type météorologique distinct de précipitations. Il s'agit de précipitations ordinaires qui, au cours de leur formation ou de leur chute, captent une grande quantité d'aérosols, de suie et d'autres particules présentes dans l'atmosphère. En chimie atmosphérique, ce phénomène est appelé dépôt humide (wet deposition), c'est-à-dire le processus par lequel les précipitations éliminent de l'atmosphère les polluants gazeux et les aérosols.

Mécanisme de formation

La formation de la pluie noire est associée à une forte concentration de particules dans l'atmosphère. Lors de grands incendies, d'explosions ou d'émissions industrielles, une grande quantité de suie, de poussière et d'autres composants chimiques est libérée dans l'air.

Les gouttes d'eau des nuages se forment sur de petites particules qui agissent comme des noyaux de condensation. Si ces particules sont constituées de suie ou de produits de combustion, les gouttes de pluie les captent pendant leur croissance ou leur chute et les transportent jusqu'au sol. Ce processus est appelé lessivage des aérosols par les précipitations.

Composition chimique

Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), les particules fines présentes dans l'air peuvent contenir, par exemple, des sulfates, des nitrates, de l'ammoniac, du chlorure de sodium, du carbone noir (suie), des minéraux, des métaux et de l'eau.

La combustion du pétrole, du charbon, du gaz, du bois ou des déchets produit également des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Selon l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), les HAP se forment lors de la combustion incomplète de matières organiques et se trouvent souvent dans la suie et les produits de combustion.

Lors de violents incendies ou de rejets industriels, la fumée peut également contenir des oxydes de soufre, des oxydes d'azote et divers hydrocarbures. Ces substances peuvent ensuite se fixer sur les aérosols et être éliminées de l'atmosphère par les précipitations.

Cas actuel - Iran

Selon le portail slovaque iMeteo, des signalements de précipitations sombres contenant de la fumée et divers composants sont apparus après les attaques contre des dépôts pétroliers à Téhéran. Des médias internationaux ont également fait état d'importants incendies de dépôts pétroliers ayant libéré une grande quantité de fumée toxique dans l'atmosphère.

Il importe toutefois de souligner que, sans analyse en laboratoire des échantillons concrets d'eau de pluie, il est impossible de déterminer avec précision la composition chimique de chaque précipitation. Son mécanisme de formation peut néanmoins être expliqué scientifiquement à partir des processus atmosphériques connus.

Conclusion

La pluie noire se forme lorsque les précipitations captent de grandes quantités d'aérosols et de produits de combustion présents dans l'atmosphère. Il s'agit d'un processus naturel de dépôt humide par lequel des particules et des substances chimiques sont éliminées de l'atmosphère.

Les principaux composants de telles précipitations peuvent comprendre la suie (carbone noir), les poussières minérales, les sulfates, les nitrates et les résidus organiques issus de la combustion du pétrole ou du bois.

Références utilisées

ATSDR. 2015. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Disponible à l'adresse : <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>

iMeteo.sk. 2026. Dážď, ktorý padá, je čierny. Po útokoch padajú v okolí hory a veľké množstvá zrážok. Disponible à l'adresse : <https://www.imeteo.sk/spravy/dazd-ktory-pada-je-cierny-po-utokoch-padaju-v-okoli-velke-zrazky>

TIME. 2026. Tehran Shrouded in Toxic Smoke After Israel Strikes Fuel Depots. Disponible à l'adresse : <https://time.com/7539799/tehran-toxic-smoke-israel/>

US EPA. 2025. Air-Surface Exchange Process Overview. United States Environmental Protection Agency. Disponible à l'adresse : <https://www.epa.gov/euga/air-surface-exchange-process-overview>

WHO. 2024. Ambient (outdoor) air pollution. World Health Organization. Disponible à l'adresse : [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-pollution](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-pollution)

Collecteur d'émissions IIIT® - explication scientifique des mécanismes fonctionnels

Introduction

Le collecteur d'émissions IIIT® est un dispositif destiné à capter le contenu de l'air ambiant et les émissions gazeuses dans une phase liquide - le condensat. Le condensat ainsi obtenu permet de poursuivre l'observation visuelle puis d'analyser les substances captées.

Dans le présent document, son fonctionnement est expliqué sur la base de processus largement reconnus de la chimie atmosphérique et de la physique des aérosols. La description s'appuie sur des phénomènes scientifiquement documentés tels que la condensation, la nucléation et le dépôt des aérosols.

Processus physiques fondamentaux utilisés pour capter les substances

L'air contient un large spectre de gaz, de vapeurs et de particules solides de différentes tailles. Selon l'Organisation mondiale de la Santé, les particules fines PM peuvent contenir des sulfates, des nitrates, de l'ammoniac, des poussières minérales, du carbone organique, du carbone noir et des éléments métalliques à l'état de traces.

Lors d'une variation de température ou de pression, certaines substances peuvent passer de la phase gazeuse à la phase liquide ou solide. Ce processus est appelé condensation. La condensation est l'un des mécanismes physiques fondamentaux de la formation des nuages, de la rosée ou du brouillard.

Si un flux gazeux contient des particules ou si une surface présente des irrégularités microscopiques, celles-ci peuvent agir comme des noyaux de condensation. La vapeur d'eau ou d'autres substances condensables peuvent ensuite se condenser sur ces noyaux.

Les aérosols comme noyaux de condensation

L'atmosphère contient de petites particules appelées aérosols. Ces particules peuvent être solides ou liquides et leur taille peut aller de quelques nanomètres à plusieurs micromètres.

Les aérosols servent souvent de noyaux de condensation pour la formation des gouttes. Selon la NOAA, de telles particules sont appelées noyaux de condensation nuageuse (cloud condensation nuclei, CCN) ; la vapeur d'eau peut s'y condenser et former des gouttes d'eau.

Le même mécanisme peut également intervenir lors de la condensation de différentes substances organiques ou inorganiques à partir de gaz.

Captage des substances par condensation et sur les surfaces

Lorsque des gaz entrent en contact avec une surface froide, des vapeurs peuvent se condenser et certaines substances volatiles être captées. Ce processus est bien connu, par exemple, lors de la formation de la rosée ou dans les échangeurs industriels à condensation.

Selon l'US EPA, différents composés atmosphériques peuvent être éliminés de l'atmosphère par dépôt ou par condensation sur des surfaces.

Lors du refroidissement des gaz, peuvent se condenser, par exemple :

- l'eau
- les hydrocarbures organiques
- certains acides ou oxydes
- divers composés organiques polaires

Sur la base des processus largement reconnus de la chimie atmosphérique, on peut s'attendre à ce que le captage d'une partie des aérosols par condensation comprenne également les types de substances suivants :

- vapeur d'eau
- hydrocarbures organiques et leurs formes oxydées
- hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
- suie (carbone noir)
- particules de poussière minérale
- oxydes d'azote et aérosols qui leur sont associés
- éléments métalliques à l'état de traces liés aux particules

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques se forment principalement lors de la combustion incomplète de matières organiques telles que le pétrole, le charbon ou le bois. Ces composés sont souvent liés à la suie ou aux aérosols et peuvent être transportés dans l'air.

Formation d'un extrait liquide (condensat)

Si les gaz sont refroidis ou conduits dans un milieu où se produit une condensation, certains composants de l'atmosphère ou des émissions peuvent progressivement se fixer dans la phase liquide qui se forme.

Le condensat ainsi obtenu peut contenir des gaz dissous, des composés organiques et des particules microscopiques. Il constitue alors un extrait plus concentré de substances initialement dispersées dans l'air.

Conclusion

Le fonctionnement du collecteur d'émissions IIIT® peut être expliqué par des processus largement reconnus de la physique et de la chimie de l'atmosphère. Les mécanismes les plus importants comprennent la condensation des vapeurs, le captage des aérosols sur les surfaces et la formation de noyaux de condensation.

Ces processus permettent de transférer des substances dispersées de la phase gazeuse vers un condensat liquide qui peut ensuite être analysé ou observé.

Références utilisées

ATSDR. 2015. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Disponible à l'adresse : <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>

EPA. 2025. Air-Surface Exchange Process Overview. United States Environmental Protection Agency. Disponible à l'adresse : <https://www.epa.gov/euga/air-surface-exchange-process-overview>

NOAA. 2023. How Clouds Form - Condensation and Cloud Condensation Nuclei. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponible à l'adresse : <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/weather-atmosphere/how-clouds-form>

WHO. 2024. Ambient (outdoor) air pollution. World Health Organization. Disponible à l'adresse : [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-pollution](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-pollution)

