SANTÉ ET QUALITÉ DE L'AIR



Institut exposUM
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

LES RENCONTRES DE

L'EXPOSOME



Pr Pascal DEMOLY

Directeur de l'Institut ExposUM

Institut exposUM

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

LES RENCONTRES DE L'EXPOSOME

Qualité de l'air

enjeux pour la santé et les écosystèmes

- Air extérieur / air intérieur
- Polluants chimiques et biologiques
- Conséquences santé humaine, des animaux, des écosystèmes
- Cadre réglementaire
- Acteurs de la surveillance

Deux univers, une même respiration

AIR EXTÉRIEUR

- Villes et campagnes
- Trafic routier, industries, agriculture, chauffage, feux de végétation

AIR INTÉRIEUR

- >80% de notre temps à l'intérieur : logements, bureaux, écoles, transports
- Matériaux, mobilier, produits d'entretien, cuisson, ventilation

Les deux airs communiquent : l'air intérieur ajoute ses propres sources, parfois plus concentrées

Ce qui dénature la qualité de l'air

POLLUANTS CHIMIQUES

- Particules fines PM10 / PM2,5 et ultrafines PM0,1
- Oxydes d'azote *(transports, combustions fossils / biomasse)*
- Ozone *(polluant secondaire)*
- Dioxyde de soufre *(industrie)*
- Composés organiques volatils *(anthropiques, biotiques)*
- Monoxyde de carbone, radon
- Microplastiques, PFAS, pesticides

POLLUANTS BIOLOGIQUES

- Pollens *(saisons allongées par le changement climatique)*
- Moisissures *(humidité, air intérieur)*
- Acariens
- Poils d'animaux
- Insectes *(blattes…)*
- Bactéries
- Virus

Air et climat interagissent : canicules → plus d'ozone ; feux de forêt → plus de particules fines

Effets reconnus et effets suspectés

RECONNUS

- Asthme
- Bronchopneumopathie chronique obstructive
- Cancers du poumon
- Maladies cardiovasculaires

❖ *40000 décès prématurés /an en France*

SUSPECTÉS

- Développement neurologique et cognitif *(enfants)* et maladies neurodégénératives *(adultes)*
- Diabète de type 2 et obésité
- Complications de la grossesse *(petit poids de naissance)*
- Autres cancers *(vessie, colon, pancréas, prostate, cerveau, leucémies)*

Animaux et écosystèmes, également exposés

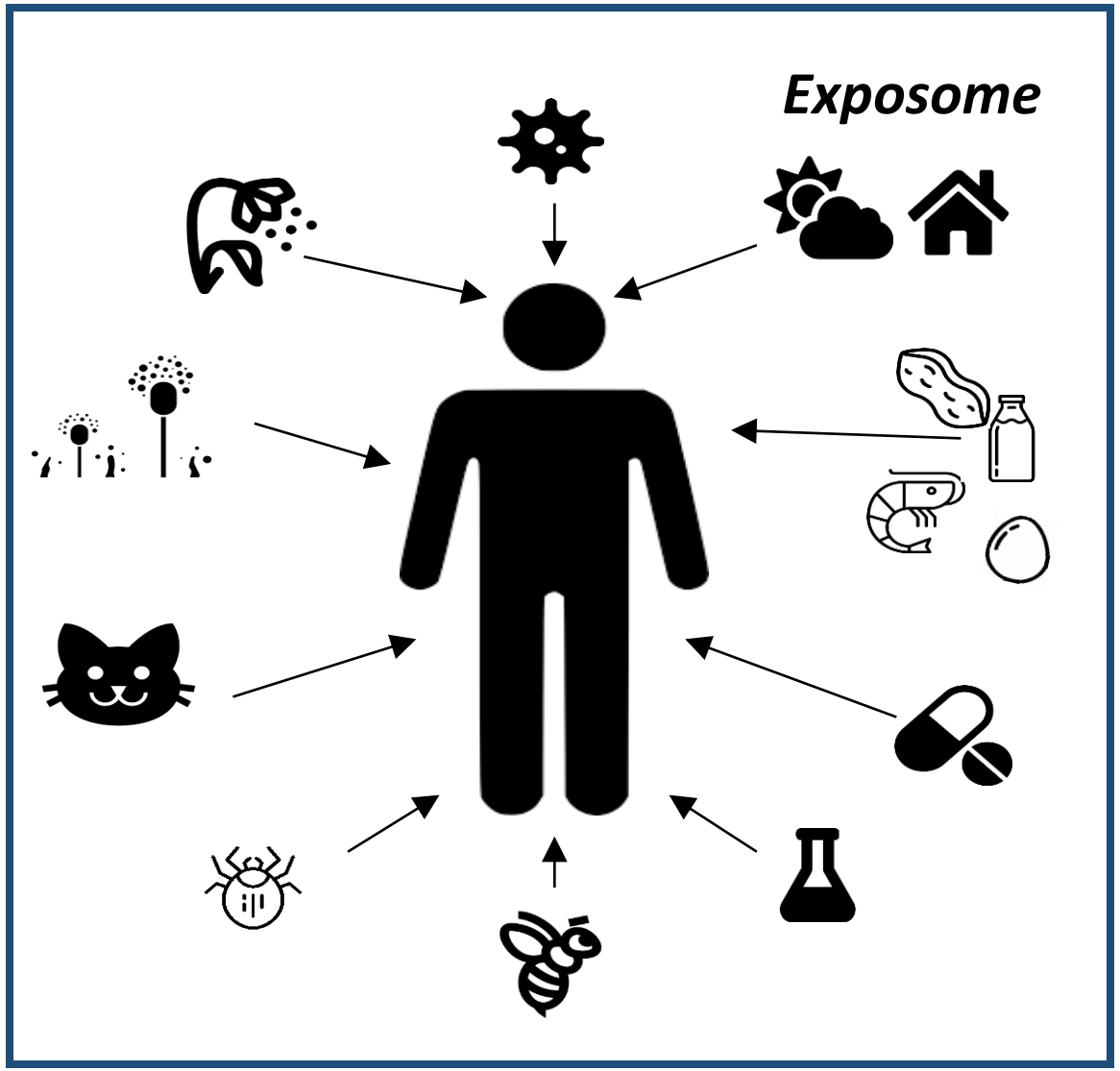
FAUNE

- Pathologies respiratoires proches de l'humain
- Effets sur la reproduction et la croissance
- *Impact marqué près des axes routiers et zones industrielles*

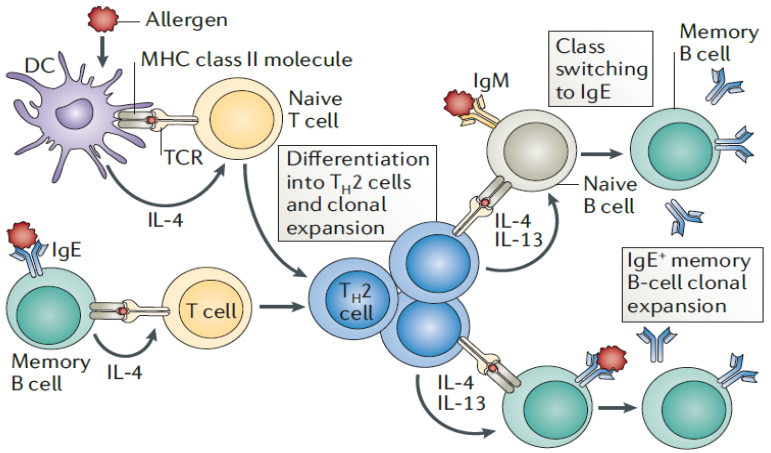
ÉCOSYSTÈMES

- Ozone et dépôts d'azote *(croissance et photosynthèse perturbées)*
- Forêts fragilisées, sols appauvris
- Eutrophisation des milieux aquatiques
- Perturbation de l'orientation des pollinisateurs

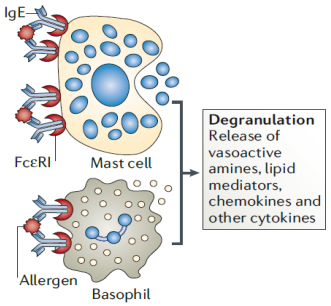
Maladies du système immunitaire



Sensibilisation . Expositions → Inflammation / rupture de la barrière épithéliale → production d'IgE



Réaction . Nouvelle exposition → médiateurs (histamine…) → symptômes



Trois niveaux de régulation



INTERNATIONAL

Lignes directrices OMS *(révisées 2021, valeurs guides sanitaires)* · Convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière.



EUROPÉEN

Directives fixant des valeurs limites contraignantes *(révision récente rapprochant les seuils européens des recommandations OMS à l'horizon 2030)*.



NATIONAL

Code de l'environnement · Plans de protection de l'atmosphère · Procédures d'alerte lors des pics de pollution *(Préfectures)* · Valeurs guides air intérieur *(ERP)*.

Qui surveille la qualité de l'air ?



AASQA / Atmo France

Mesure en continu et information du public, région par région.



LCSQA, ANSES

Expertise scientifique, modélisation, évaluation sanitaire.



Santé Publique France

Suivi épidémiologique des effets sanitaires.



OMS

Références sanitaires internationales.



Capteurs citoyens

Mesures participatives, de plus en plus répandues (*ex. PlantNet®*)



Associations de protection

Rôle de vigie et d'alerte au plus près des territoires.

À RETENIR

Une science solide, des marges d'action réelles

1. Air et climat doivent être pensés ensemble, pas en silos.
2. L'air intérieur, encore trop négligé, mérite une attention égale à l'air extérieur.
3. Les effets reconnus imposent l'action ; les effets suspectés imposent la vigilance et la recherche.
4. Faire remonter les recommandations sanitaires jusqu'à l'urbanisme, la mobilité et le bâtiment.
5. Informer sans mésinformer.

LES RENCONTRES DE

L'EXPOSOME



Dominique TILAK

Directrice Générale d'Atmo Occitanie

Institut exposUM
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

votre parten'air

Atmo OCCITANIE







> Chacun a le droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé

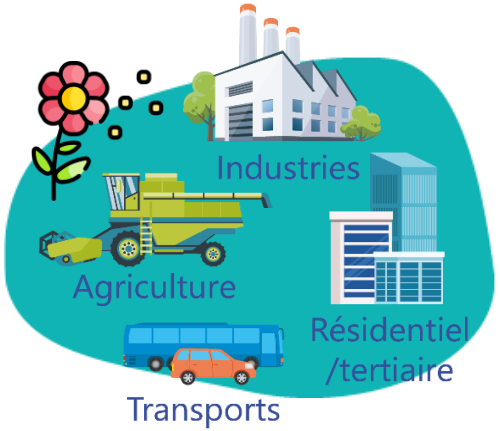
Loi LAURE 30/12/1996
Loi sur l'air et l'utilisation rationelle de l'énergie

Date

Atmo Occitanie, acteur clé sur le territoire

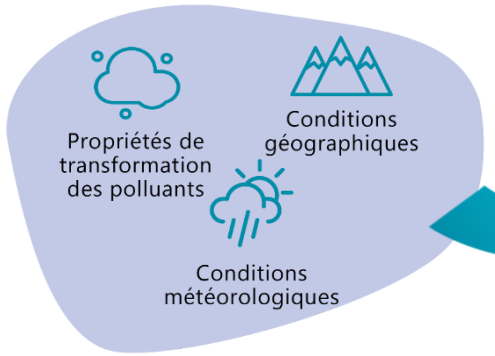


Un dispositif d'évaluation intégré



L'inventaire des émissions de polluants atmosphériques et des pollens

Quantifier et localiser les polluants atmosphériques et les gaz à effet de serre issus de différents secteurs d'activités
Etablir des cadastres de végétaux et prévoir les périodes d 'émission de pollens



La Modélisation

Évaluer et prévoir
les concentrations
de polluants atmosphériques
en tout point du territoire



~45 stations permanentes + dispositifs temporaires

Le réseau de mesures

Suivre en temps réel et en continu la pollution en différents points du territoire

Valider

L'observatoire des floraisons

- Collecter des informations sur la phénologie des végétaux
- Développer des modèles statistiques
- Valider les modèles à l'aide des observations phénologiques



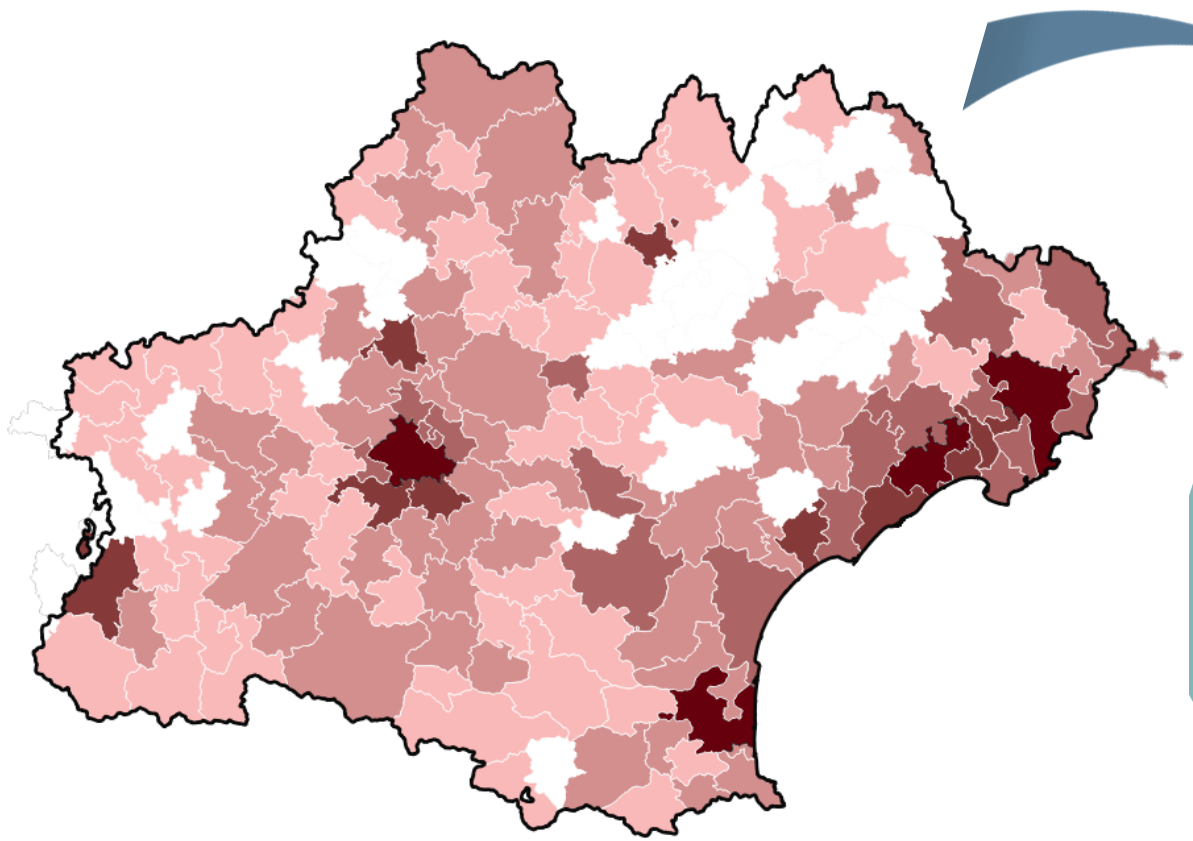
Fournir des informations sur l'ensemble du territoire
Scénariser, étudier et identifier les zones à enjeux

votre parten'air
Atmo
OCCITANIE

La pollution atmosphérique …
Un enjeu sanitaire …



Déjà un enjeu sanitaire majeur…et nous sommes au début des connaissances sur l'impact de nombreuses molécules …



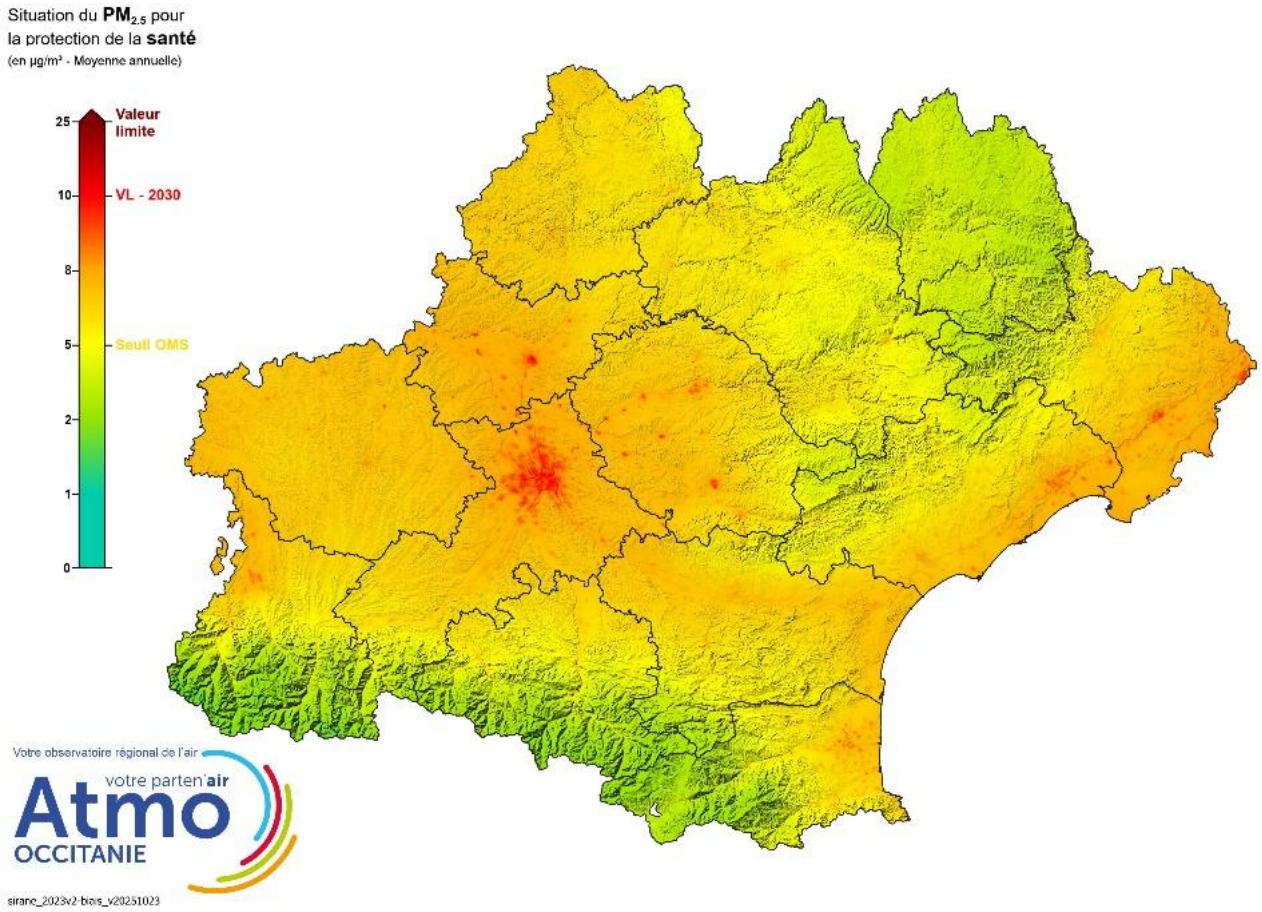
Jusqu'à 32% de la population d'Occitanie est exposée à la pollution atmosphérique

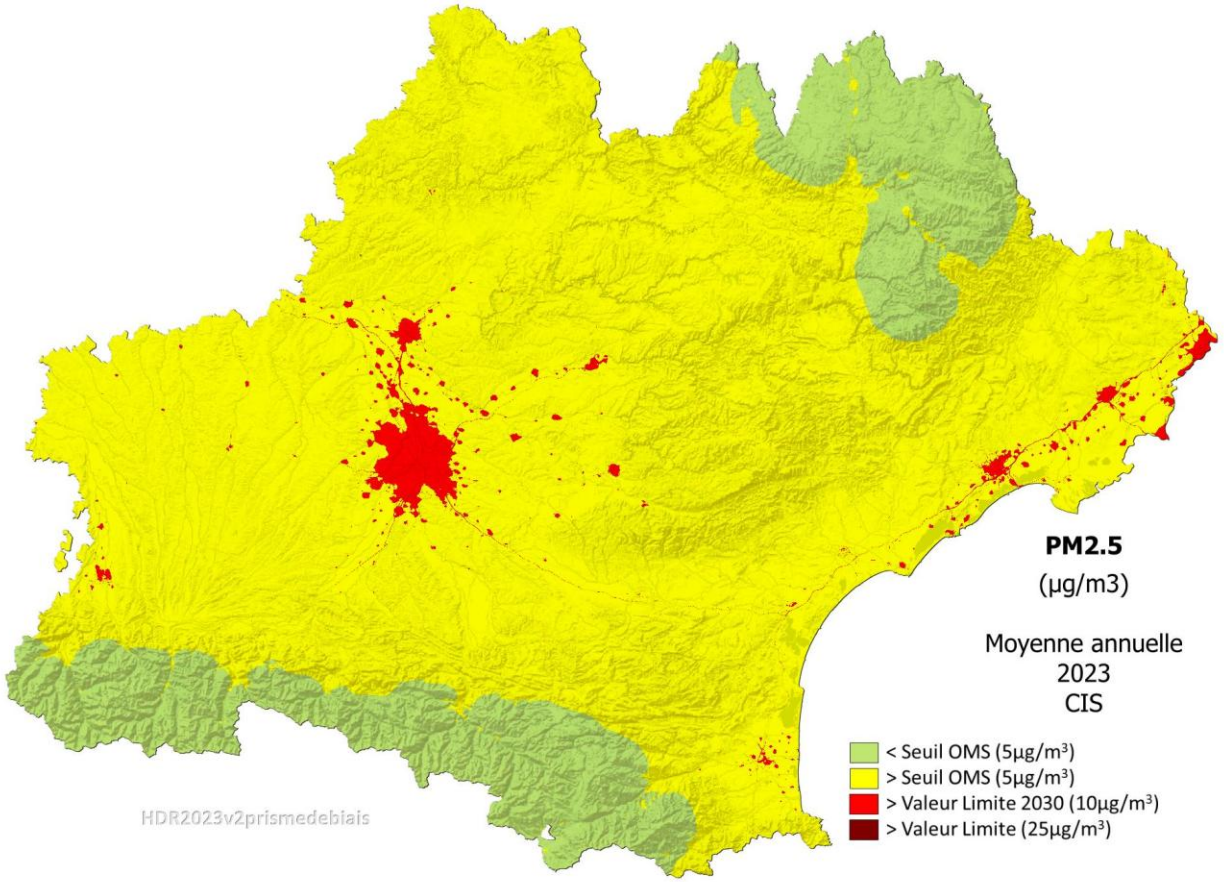
Sur la région[1]

- Entre **160 et 2 800** nouveaux cas de **maladies respiratoires évitables** chez l'**enfant,**
- Entre **240 et 4 300** nouveaux cas de maladies **cardio-vasculaires**, **respiratoires** ou **métaboliques** chez **l'adulte pourraient être évités en moyenne chaque année sur le territoire Occitan**

Sources :
[1]Estimation des bénéfices potentiels pour la santé d'une amélioration de la qualité de l'air ambiant en Occitanie - 2025 - Santé publique France

Carte Impact Sanitaire (CIS) – Moyenne annuelle PM2.5 – 2025 – **Région Occitanie**





Jusqu'à **1 337 400 personnes exposées** à des concentrations
> 10 µg/m³ dans la Zone Régionale
(région hors 4 plus grandes agglomérations)

votre parten'air
Atmo
OCCITANIE

EST-CE QU'ON PEUT DÉFINIR UN AIR «RESPIRABLE » AU MÊME TITRE QUE « L'EAU POTABLE » ?



Organisation mondiale de la Santé

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

4 ans d'expertises = révision des enjeux sanitaires



3 ans de travail = seuils de protection de la santé revus à la baisse


Journal officiel de l'Union européenne — FR Série L

2024/2881 — 20.11.2024

DIRECTIVE (UE) 2024/2881 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL

du 23 octobre 2024

concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

(refonte)

LE PARLEMENT EUROPÉEN ET LE CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE,

vu le traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, et notamment son article 192, paragraphe 1,

vu la proposition de la Commission européenne,

après transmission du projet d'acte législatif aux parlements nationaux,

vu l'avis du Comité économique et social européen (1),

vu l'avis du Comité des régions (2),

statuant conformément à la procédure législative ordinaire (3),

considérant ce qui suit:

(1) Les directives 2004/107/CE (4) et 2008/50/CE (5) du Parlement européen et du Conseil ont été modifiées de façon substantielle. À l'occasion de nouvelles modifications, il convient, dans un souci de clarté, de procéder à la refonte desdites directives.

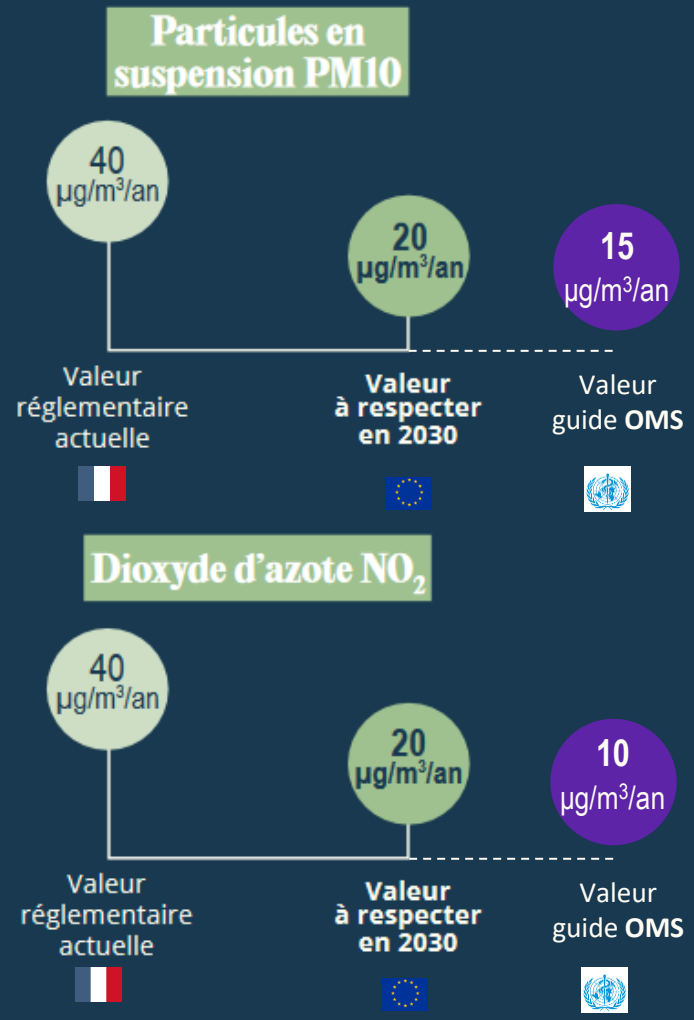
(2) Dans sa communication du 11 décembre 2019 intitulée «Le pacte vert pour l'Europe», la Commission a présenté une feuille de route ambitieuse visant à transformer l'Union en une société juste et prospère, dotée d'une économie moderne, efficace dans l'utilisation des ressources et compétitive, ainsi qu'à protéger, préserver et consolider le patrimoine naturel de l'Union et à protéger la santé et le bien-être des citoyens contre les risques et les incidences liés à l'environnement. En ce qui concerne plus particulièrement la qualité de l'air, la Commission s'est engagée à améliorer encore la qualité de l'air et à aligner plus étroitement les normes de l'Union en la matière sur les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). La Commission a également annoncé dans le pacte vert pour l'Europe le renforcement des dispositions en matière de surveillance, de modélisation et de planification de la qualité de l'air.

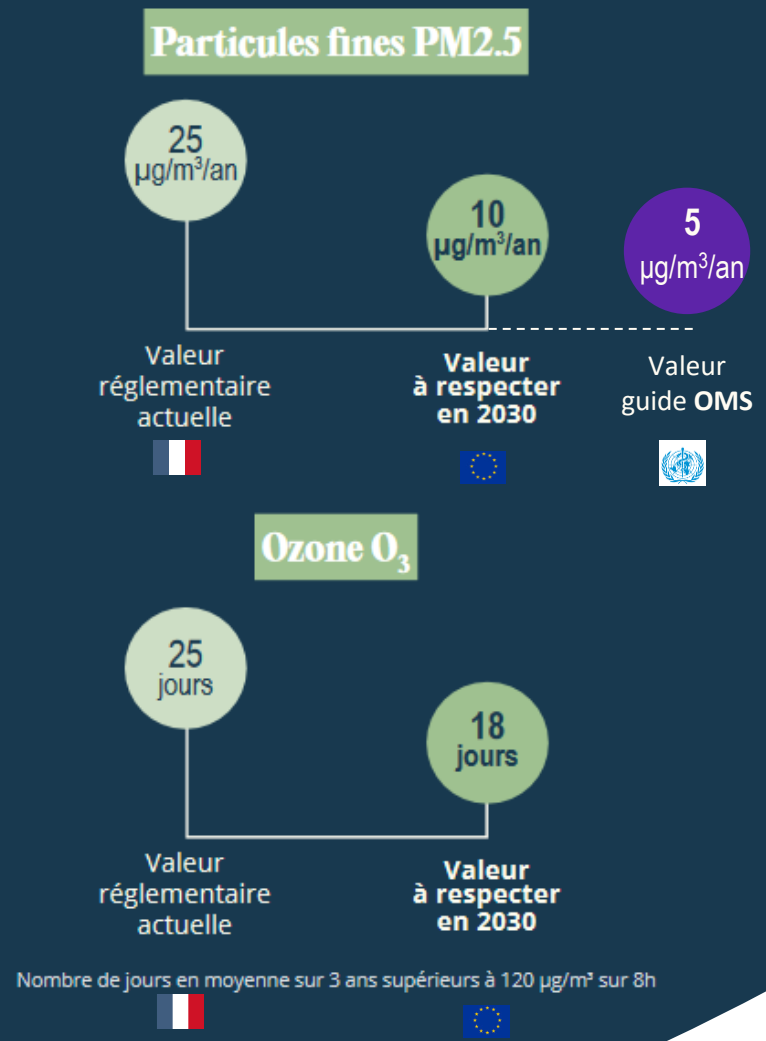
2024

Transcription en cours :
Révisions des seuils d'exposition pour la protection de la santé
Reconnaissance des cartographies d'exposition comme outil de reporting
Prévisions horaires, révision des seuils info/alertes
Nouveaux polluants à enjeux (PUF,BC…)

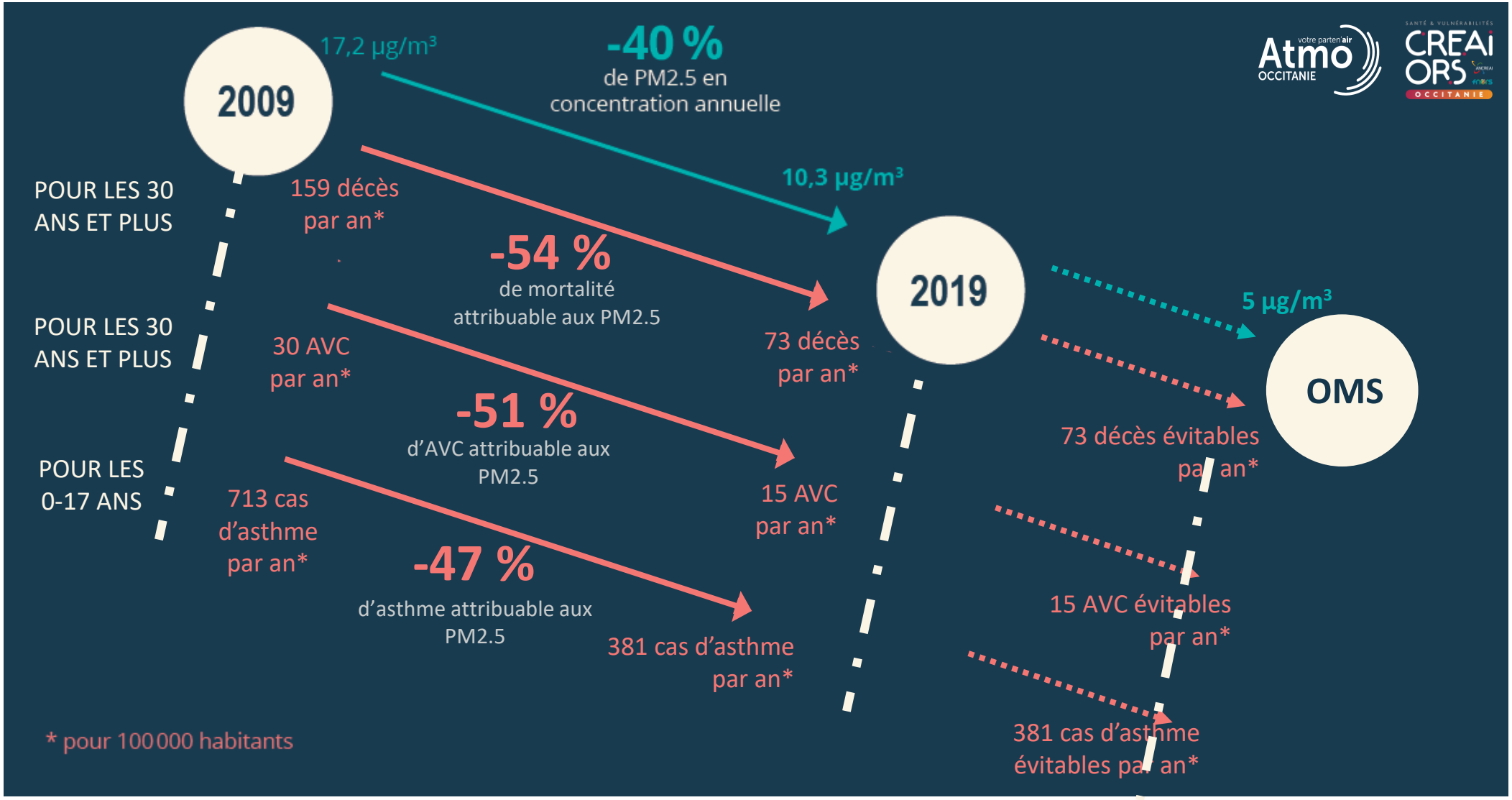
2026 ?

Rappels sur la réglementation française et européenne





Particules fines PM2.5 : indicateur de mortalité et morbidité sur le territoire du PPA de Toulouse entre 2009 et 2019



votre parten'air
Atmo
OCCITANIE



ET DU CÔTÉ DES LEVIERS ?

Agir pour la qualité de l'air : évaluer, mesurer, scénariser

> En 2025 Atmo Occitanie a placé l'impact des activités humaines sur le climat au cœur de ses travaux.

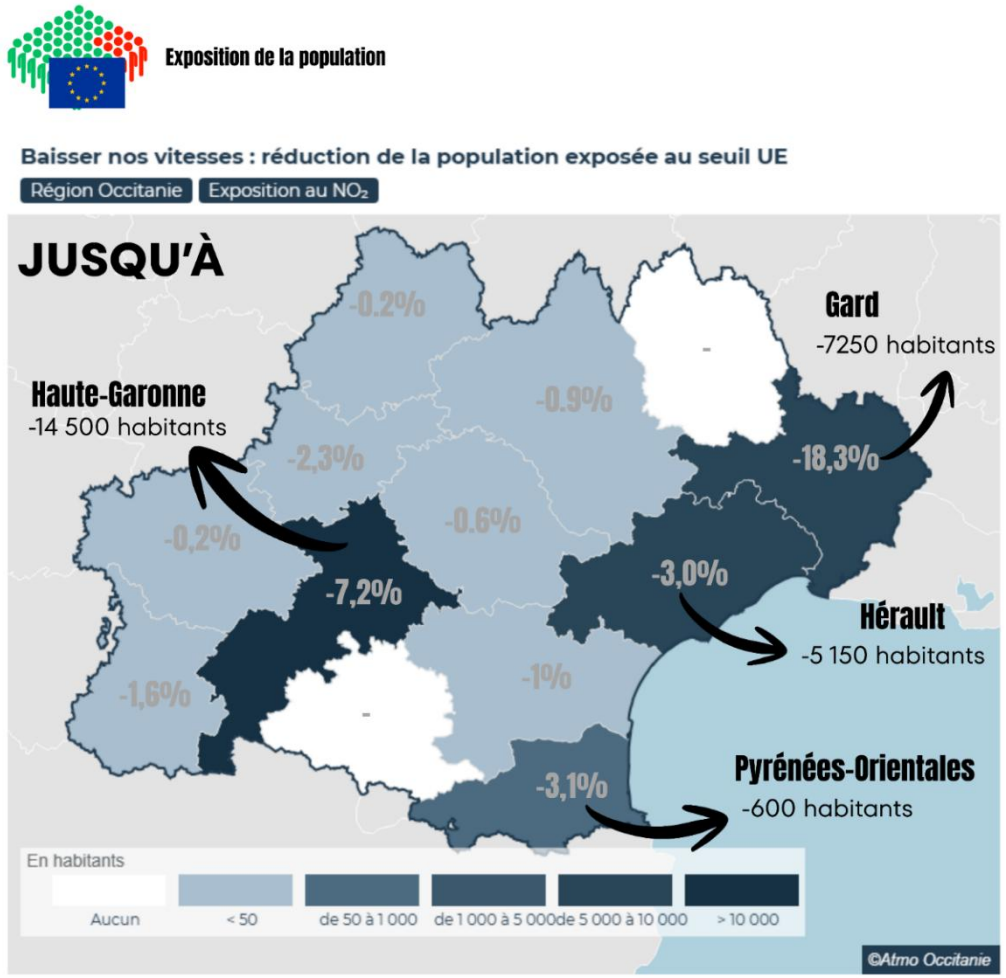


Lever le pied : pour mieux respirer

➔ Etude sur les effets de la réduction des vitesses réglementaires sur l'exposition de la population aux concentrations de NO2 dépassant les seuils de protection de la santé.

RESULTAT ?

L'abaissement des vitesses réglementaires de 10 km/h sur toutes les routes de la région limitées à 80 et 90 km/h, et de 20 km/h sur celles à 110 et 130 km/h engendrerait un allongement minime des temps de parcours et aurait **un impact sanitaire positif.**



Scénarisation accessible sur notre interface de datavisualisation AtmoViz

Agir pour la qualité de l'air : évaluer & mesurer

Lever le pied : pour économiser

➔ Etude sur les effets de la réduction de la vitesse des véhicules sur la qualité de l'air et la consommation de carburant. Baisser les vitesses serait la solution pour notre budget ?



RESULTAT ?

La diminution des vitesses de 10 à 20 Km/h selon les axes permettrait **de réduire en moyenne de 2.5% la consommation de carburant à l'échelle de l'Occitanie**.
Rouler plus doucement serait donc une astuce efficace pour économiser sur votre plein, tout en contribuant à limiter les émissions de polluants.

Scénarisation accessible sur notre interface de datavisualisation AtmoViz

Agir pour la qualité de l'air : évaluer & mesurer

Covoiturez !



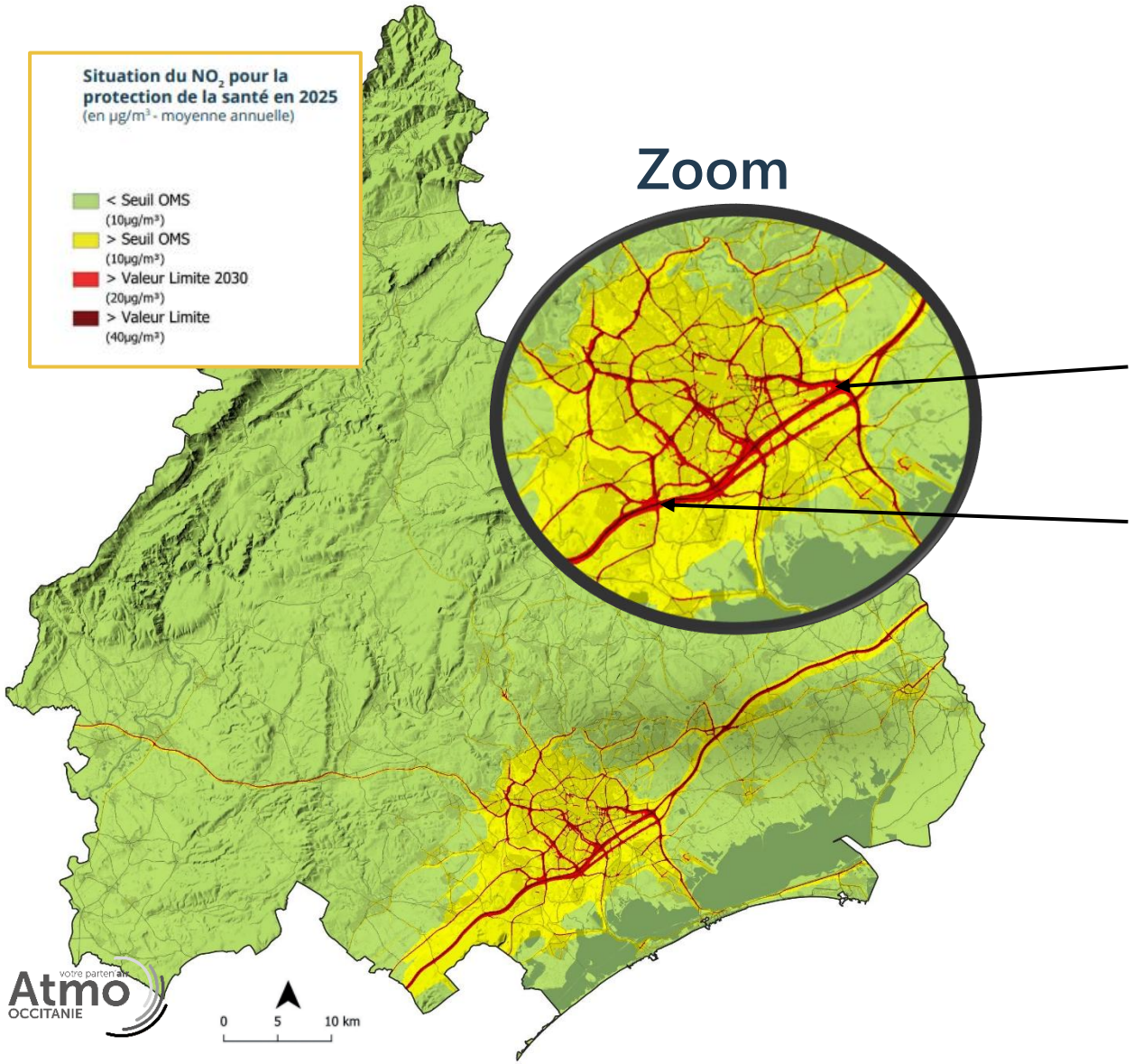
La réduction de ces émissions passe par une **nécessaire évolution de nos pratiques de mobilité** : Et si le covoiturage était la solution ?

Etude de cas sur Montpellier :

- ➔ Le covoiturage a permis **d'économiser environ 380 000 L de carburants**. Soit 855 000 € économisés pour les usagers (soit 2.25 € le litre)
- ➔ Les **émissions de polluants évitées** représentent l'équivalent des **émissions d'un véhicule sur 6 millions de kilomètres**, soit près de 150 fois le tour de la Terre !

Lire le rapport complet ICI

Carte Impact Sanitaire (CIS) – NO_2 – 2025 – **PPA zone urbaine de Montpellier**



➢ Identifier les zones à enjeux Air et Santé

Exposition de la population au dioxyde d'azote :
Situation vis-à-vis de la protection de la santé humaine

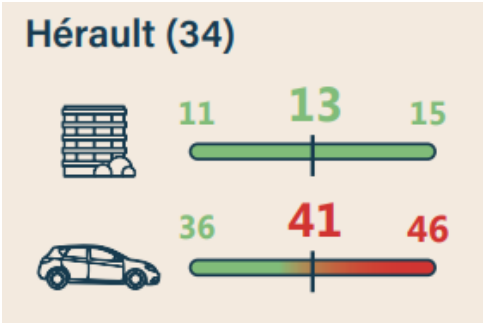
Réglementation européenne
>20 µg/m³

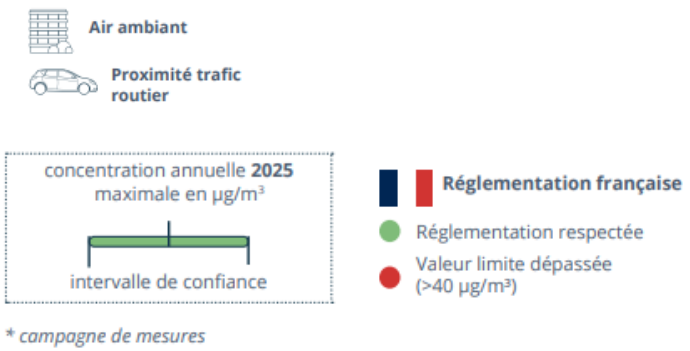
entre 21 500 et 37 500* personnes exposées

Réglementation française
>40 µg/m³

350 et 850* personnes exposées

*intervalle de confiance





* campagne de mesures

votre parten'air
Atmo
OCCITANIE

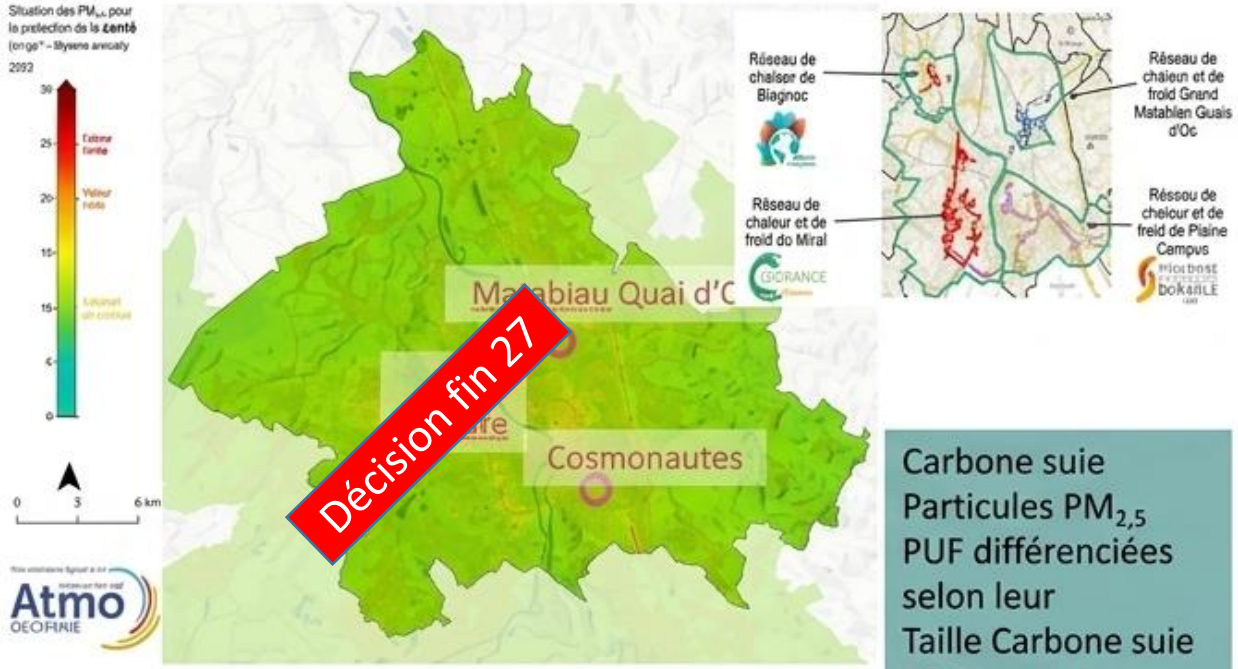
Des questionnements nouveaux …



Évaluation de l'impact des Chaufferies Biomasses et d'une chaudière CSR sur la qualité de l'air…

Un dispositif d'évaluation dédié 2025 - 2029

1. Chaufferies Biomasses (Toulouse/Matabiau)



Carbone suie
Particules $PM_{2,5}$
PUF différenciées selon leur
Taille Carbone suie
B[a]P et HAP d'intérêt
Dioxines furanes
Benzène

2. Chaudière CSR (Plateau de Lannemezan)

PM_{10} $PM_{2,5}$ PM_1 PUF NO_2	SO_2 NO_2 HC Benzène Métaux	Poussières Métaux pH Diosines et furanes
Air ambiant mesures temps réel	Air ambiant mesures différées	Retombées atmosphériques mesures différées
Mesures automatiques en continue	Mesures par prélèvements ponctuels	Mesures par prélèvements en continue

Partenaires locaux : PSI, dalkia, KHAOY ISOLATION, ARKEMA, VINCI, LANNEMEZAN, Plateau de Lannemezan

votre parten'air
Atmo
OCCITANIE

Pesticides, perturbateurs endocriniens, PFAS …présents dans l'air…



► 103 molécules retrouvées dans l'air en Occitanie (191 molécules recherchées en 2024-2025)

Pesticides

- Fongicide
- Herbicide
- Insecticide

PE*

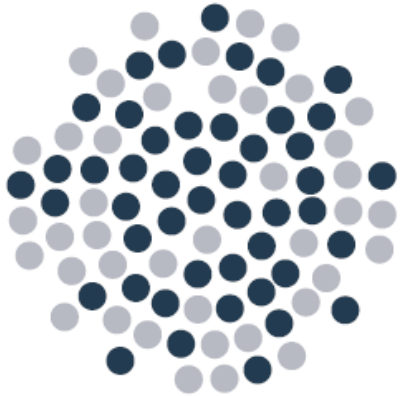
- PE* issus de la combustion
- PE* issus de la dégradation de composés comme les plastiques
- PE* issus d'autres usages
- PE* présumés ou avérés issus de l'utilisation des pesticides

PFAS

Molécules non présentes à l'état naturel
Utilisées depuis les années 50 pour leur propriétés antiadhésives, imperméabilisantes, …

► 103 molécules retrouvées dans l'air en Occitanie (191 molécules recherchées en 2024-2025)

Pesticides



42

molécules retrouvées, sur **87** molécules recherchées en 2023-2024.

PE*



48

molécules retrouvées, sur **53** molécules recherchées en 2024.

PFAS



13

molécules retrouvées, sur **51** molécules recherchées en 2025

* Hors usages pesticides

votre parten'air
Atmo
OCCITANIE

La pollution atmosphérique un enjeu sanitaire et climatique …



Pollution atmosphérique et réchauffement climatique : Un système interconnecté



Concentration en GES et particules issues de l'activité humaine. Cette pollution est moteur du dérèglement climatique

Hausse des températures, vagues de chaleur répétées et sécheresses sévères fragilisent la végétation

Départs de feu facilités et feux incontrôlables dégageant des fumées denses sur le territoire.

Panache de fumées, pollution PM2.5 et dégradation de l'air mais aussi rejets massifs de CO2 & effet de serre amplifié, relançant le cycle.

votre parten'air
Atmo
OCCITANIE



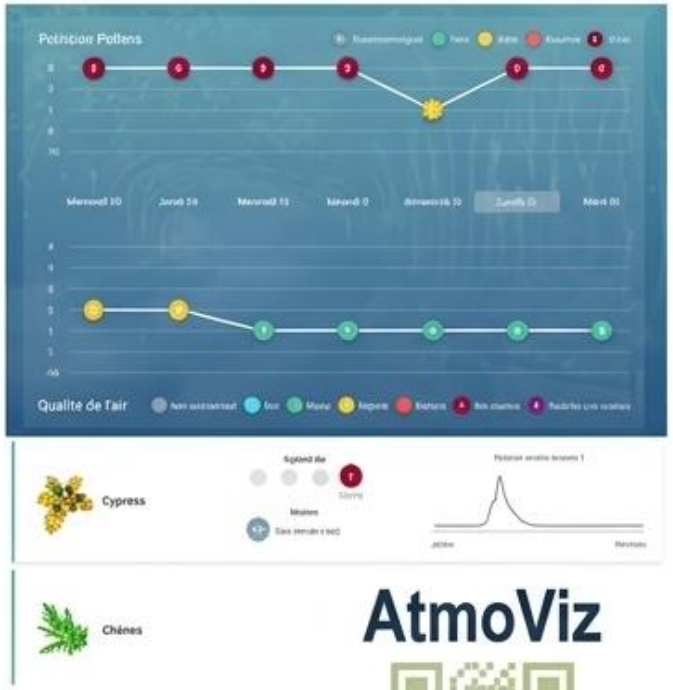
MISE A DISPOSITION D'INFORMATIONS

Date

► Poll'Occ : un dispositif de prévision pollens pour tous

Un service à destination des usagers :





AtmoViz

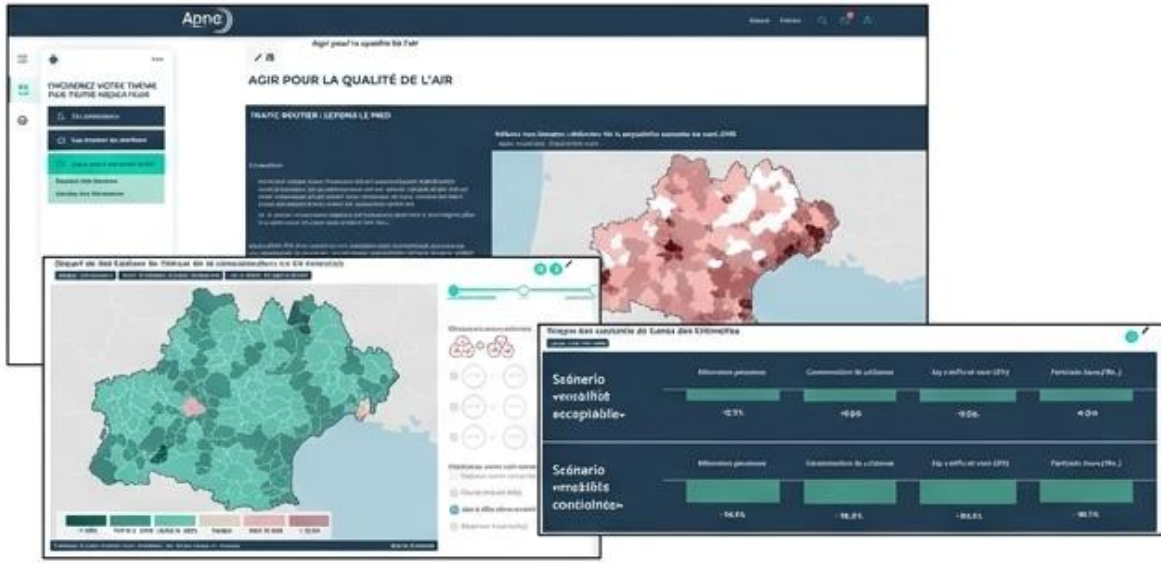
www.atmoviz.org

► De la data visualisation pour comprendre les enjeux sur le territoire

Atmo votre parten'air OCCITANIE

www.atmo-occitanie.org

Pour plus de renseignement : communication@atmo-occitanie.org





www.atmo-occitanie.org

@AtmoOc

Atmo Occitanie

Nous vous remercions pour votre attention

votre parten'air

Atmo

OCCITANIE



VOS QUESTIONS

Institut exposUM
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

LES RENCONTRES DE

L'EXPOSOME



Vincent BITTOUN

Médecin de santé publique

Doctorant en sciences humaines et sociales à l'Université de Montpellier

Institut exposUM
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

LES RENCONTRES DE

L'EXPOSOME



Olivier CAZORLA

Chercheur en physiologie et médecine expérimentale
du cœur et des muscles au CNRS

Institut expoSUM
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

LES RENCONTRES DE

L'EXPOSOME



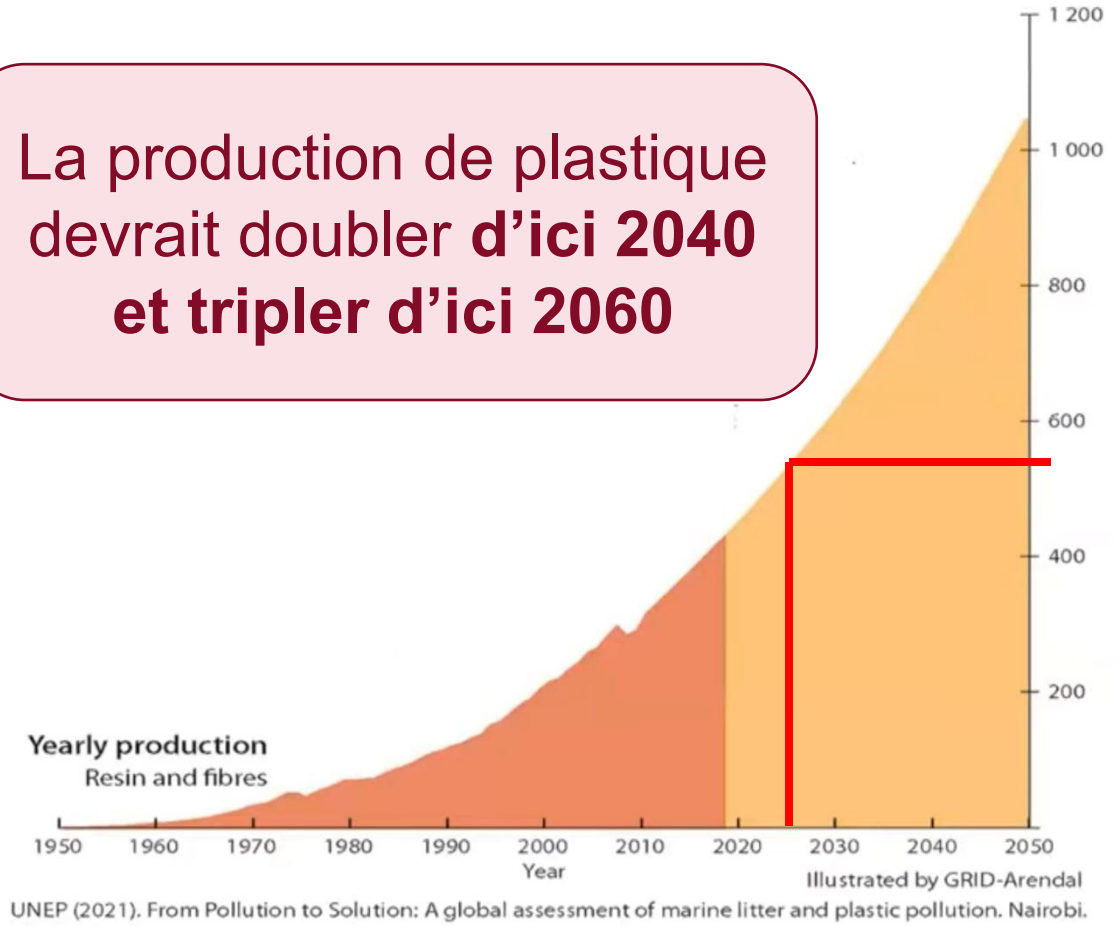
Des microplastiques dans l'air : un nouveau facteur de risque cardio-vasculaire ?

POLLHEART

Institut expoSUM
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

Cycle de vie du microplastique

La production de plastique devrait doubler **d'ici 2040 et tripler d'ici 2060**



UNEP (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi.



MPs Secondaire

Issus de la fragmentation de gros plastiques



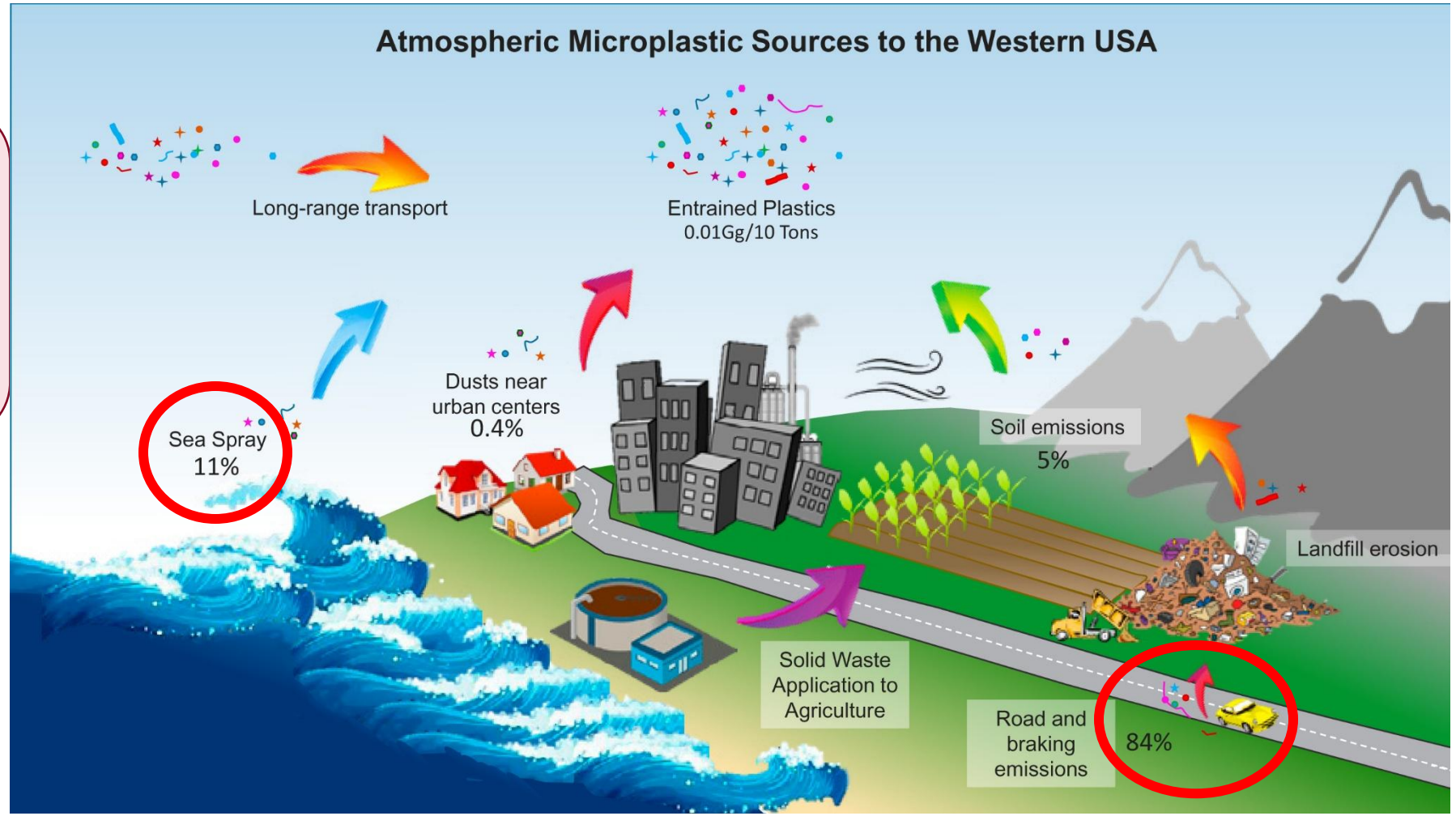
Emballages plastiques | Textiles synthétiques | Pneus (abrasion) | Déchets environnementaux

Institut exposUM UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

Cycle de vie du microplastique

Allen *et al.,* Nature 2019
(Toulouse, Pyrénées)

Brahney *et al.,* Science 2020
(Parcs Nationaux, USA)



Brahney et al, PNAS 2021

L'inhalation: une voie d'exposition majeure aux MPs

Une exposition quotidienne aux microparticules importante

France : 30.000 MPs/jour **Chine** : 2,8 millions MPs/jour

Présence de MPs dans l'air



Air extérieur

Trafic routier, industrie, combustion

1-20 particules/m^3



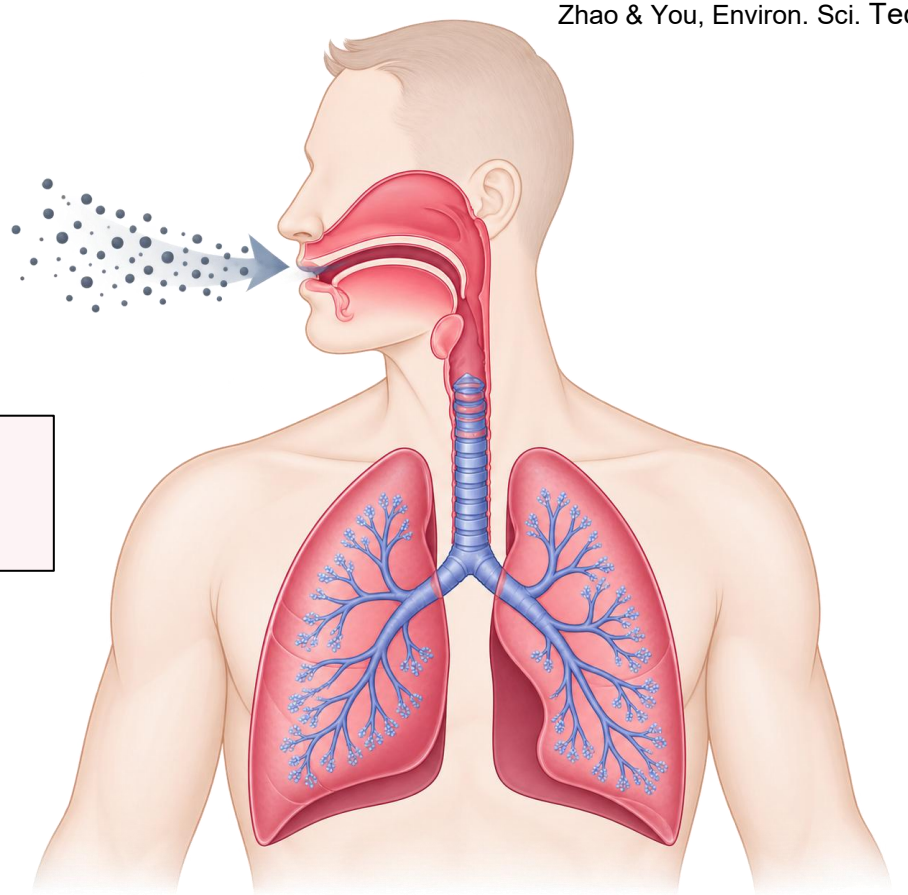
Air intérieur

Poussière domestiques, meubles..

PM 1-10 µm
Maison 528 particules/m^3
Voiture 2 238 particules/m^3

Yakovenko *et al*. PLoS One 2025

Zhao & You, Environ. Sci. Technol. 2024



Microplastiques de quoi parle t on?

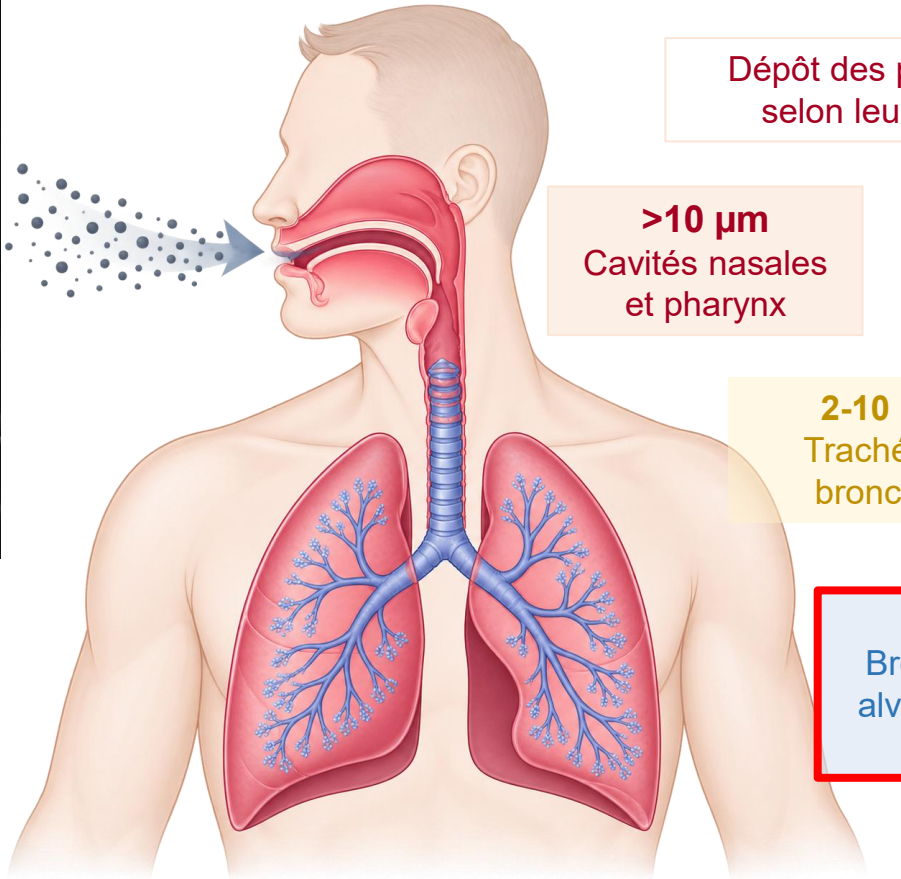


Taille variable

Particules en suspension

(PM Particle matters)

PM 5-10 µm
PM 3-5 µm
PM 1-3 µm
PM 0.1-1 µm



Dépôt des particules selon leur tailles

>10 µm
Cavités nasales et pharynx

2-10 µm
Trachée et bronches

<2.5 µm
Bronchioles et alvéoles (dépôt profond)

Une exposition quotidienne importante

MicroP 1-10 µm **:** 68.000 Mps/jour
NanoP 0.1-1 µm **: 1,5 millions** NPs/jour
NanoP 0.01-0.1 µm **: 33 millions** NPs/jour

Yakovenko *et al.* PLoS One 2025

Institut exposUM UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

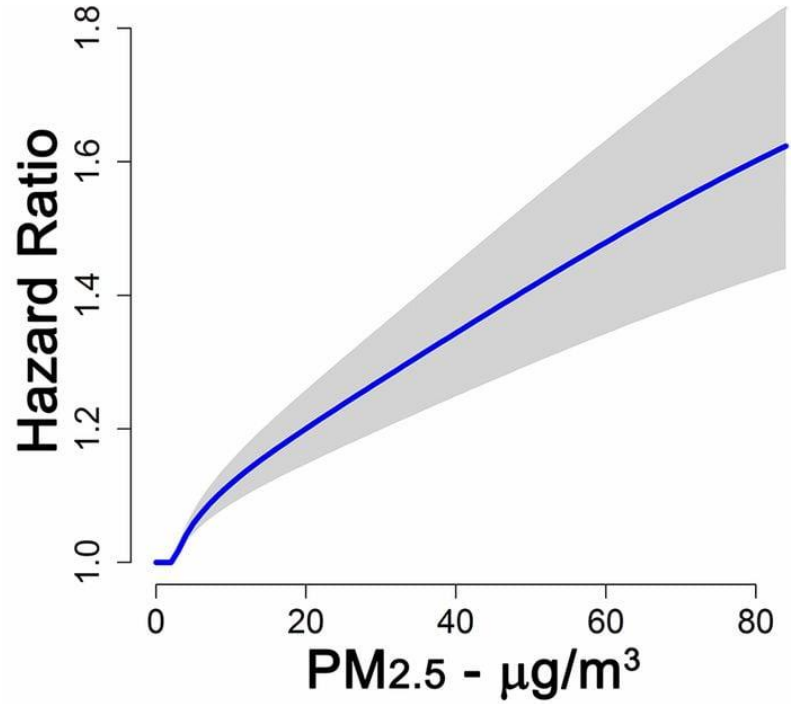
Effets au long terme des microplastiques sur la santé

INCONNUS mais augmentation la susceptibilité à des troubles pulmonaires: bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), la fibrose, la dyspnée, l'asthme et la formation de nodules en verre dépoli.

WHO global air quality guidelines

Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide

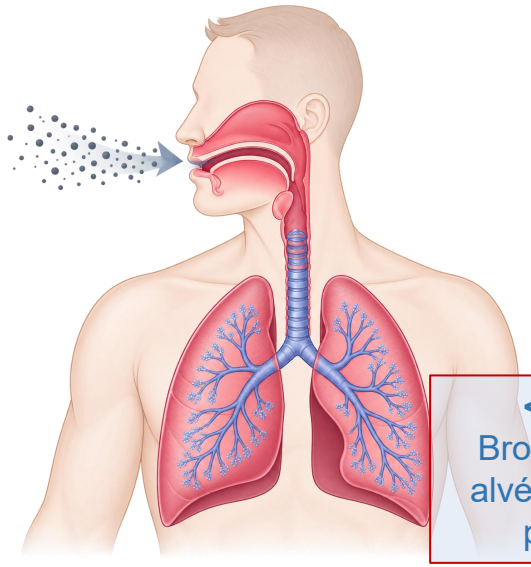
Association entre l'exposition à long terme aux PM2,5 et la mortalité due aux maladies non transmissibles et aux affections des voies respiratoires inférieures (41 études de cohorte différentes)



Burnett *et al.*, PNAS 2018

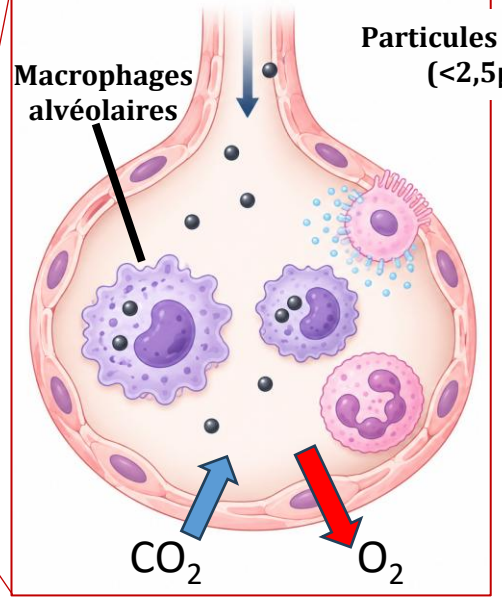
Institut exposUM Université de Montpellier

Effets au long terme des microplastiques sur la santé

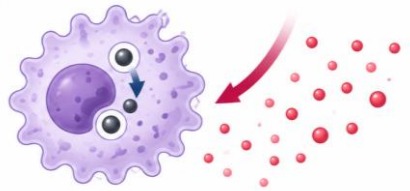


<2.5 µm
Bronchioles et alvéoles (dépôt profond)

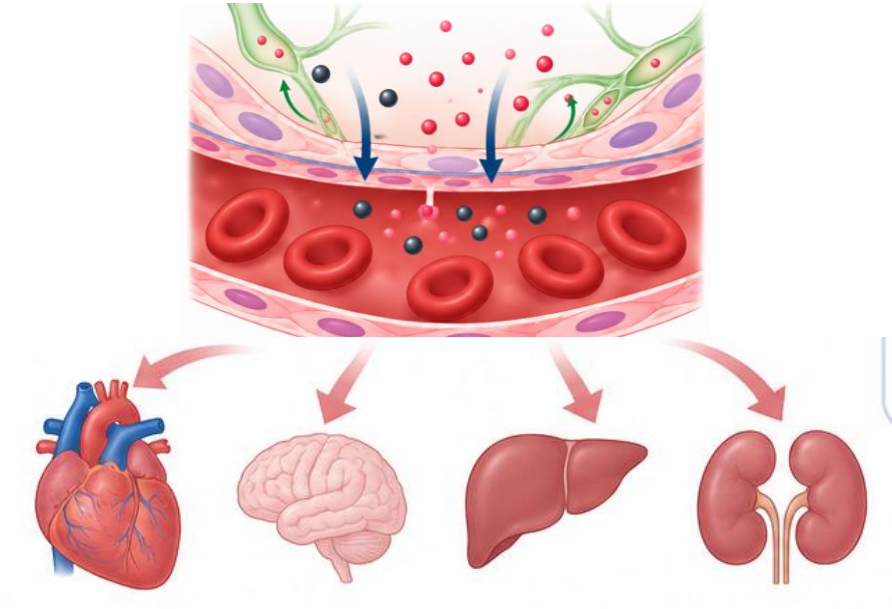
1 **Dépôt des particules dans les alvéoles**



2 **Libération de médiateurs inflammatoires**



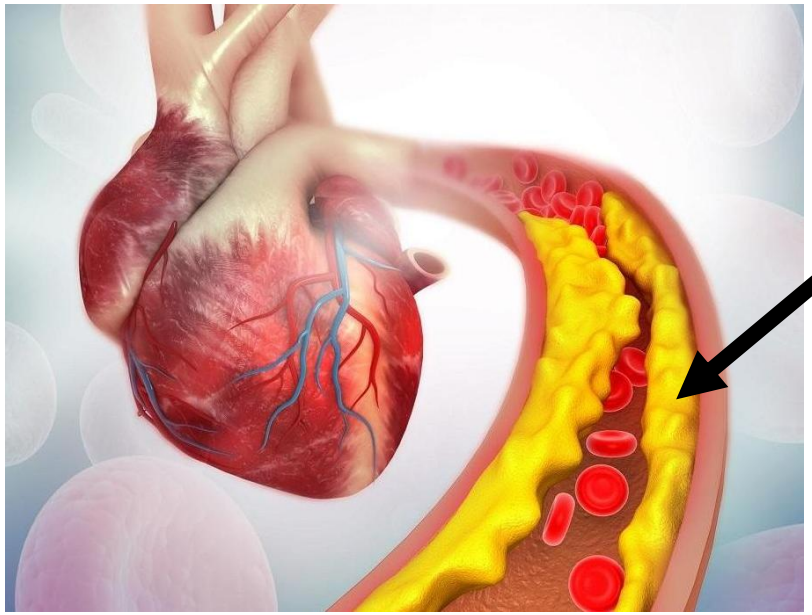
3 Passage des **particules** et des **médiateurs** dans la circulation sanguine et lymphatique ?

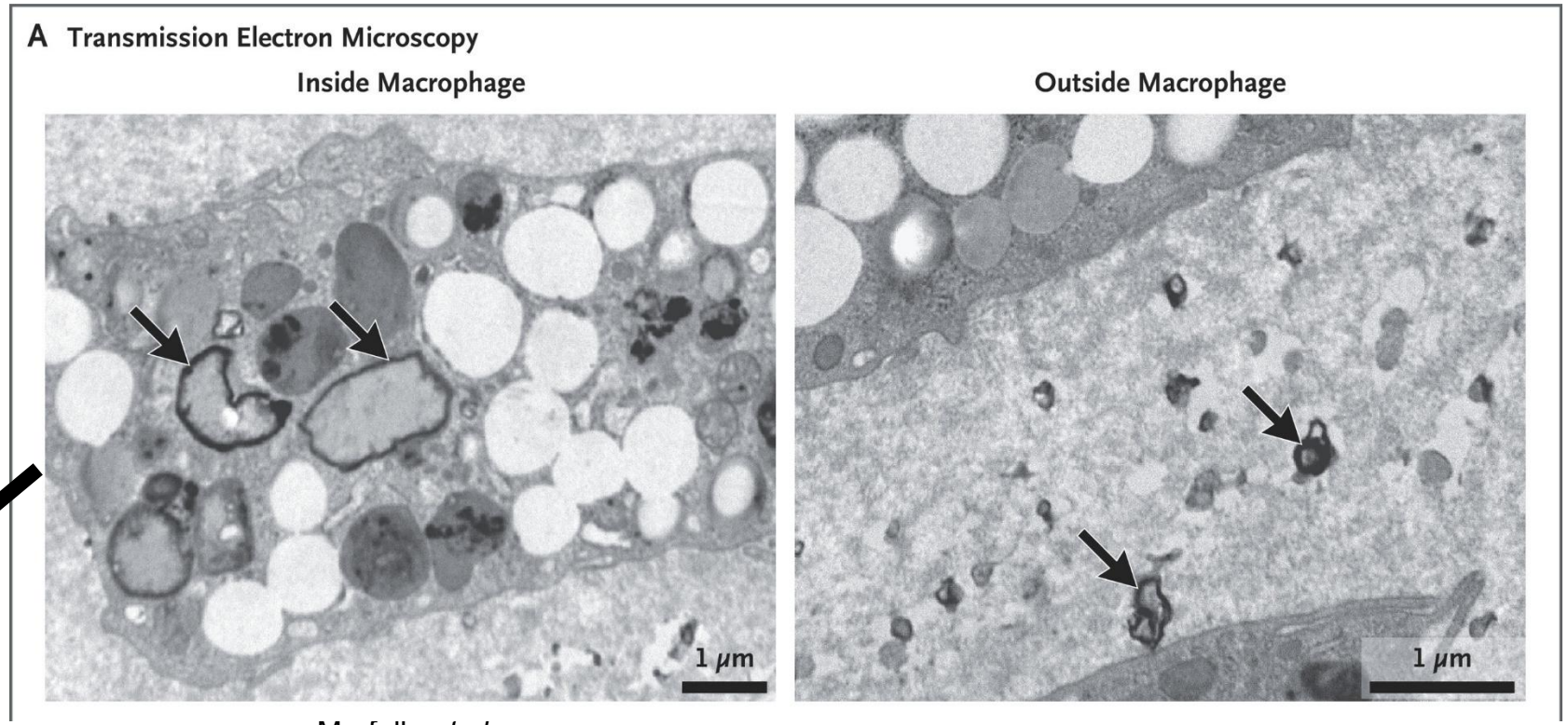


Biorender-images IA

Présence de microplastiques et de nanoplastiques dans les plaques d'athérome (les dépôts de graisse dans les artères)

associée à un risque nettement accru d'infarctus, d'accident vasculaire cérébral (AVC) et de décès

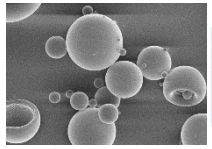




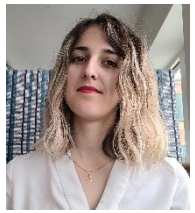
Marfella *et al.*,

New England Journal of Medicine 2024

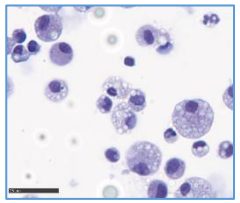
Questions traitées dans le cadre du projet Pollheart



Emma Cénnac-Morthe



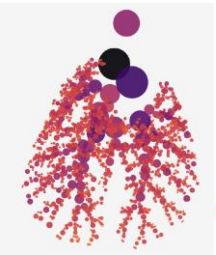
chimie



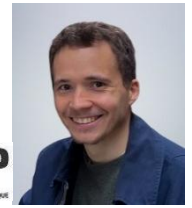
Yasmine Colombani



biologie



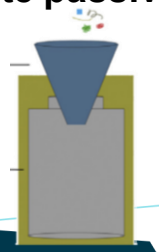
Martin Puig



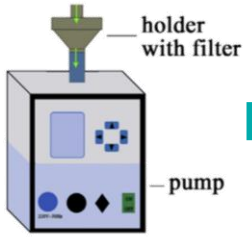
mathématiques

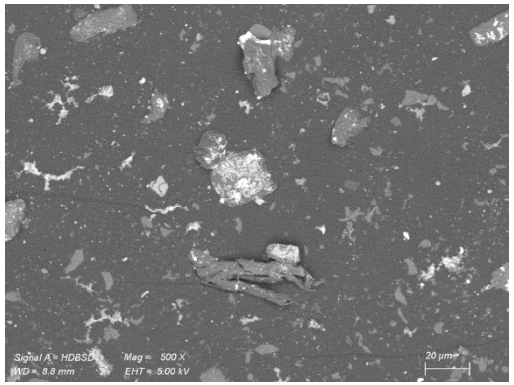
- Transport et dépôt de micro/nanoplastiques dans les voies respiratoires
- Restent-ils dans les poumons ou sont-ils éliminés? système immunitaire?
- Un poumon BPCO piège-t-il davantage ? cause ? Facteur aggravant ?
- Fabrication de membranes pour capter les microplastiques dans l'air ambiant (intérieur/extérieur) pour analyser, quantifier, dépolluer

Collecte passive



Collecte active



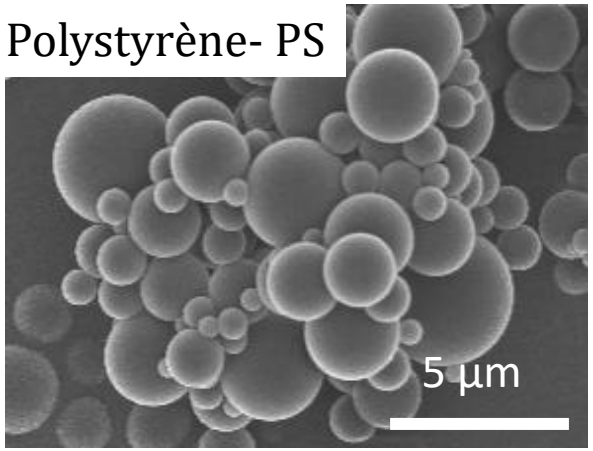


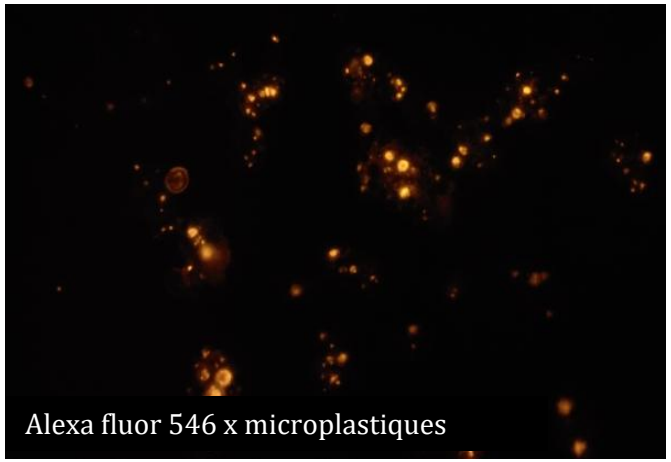
Nos hypothèses

1. Le dépôt n'est pas uniforme : certaines branches captent bien plus de particules
2. Là où elles s'accumulent, les bronches pourraient s'enflammer et se rétrécir
3. La forme de l'arbre pulmonaire organiserait ces dégâts, visibles avant que les troubles respiratoires

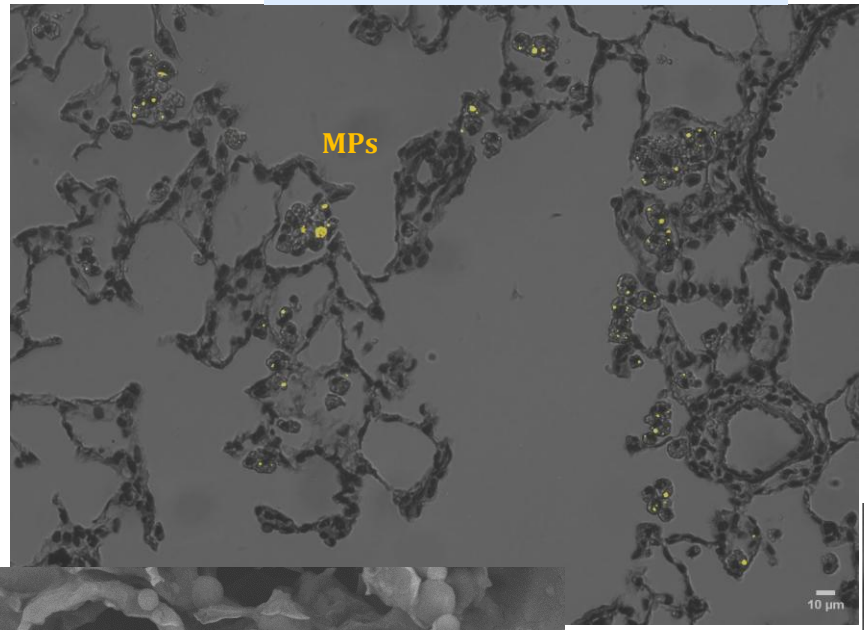
Les micro et nanoplastiques sont piégés dans les poumons

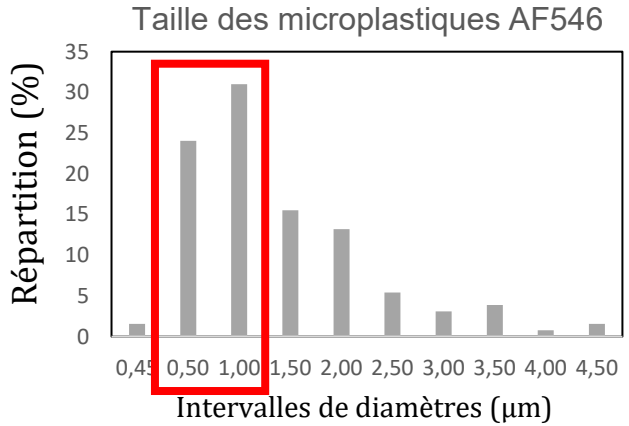
Polystyrène- PS

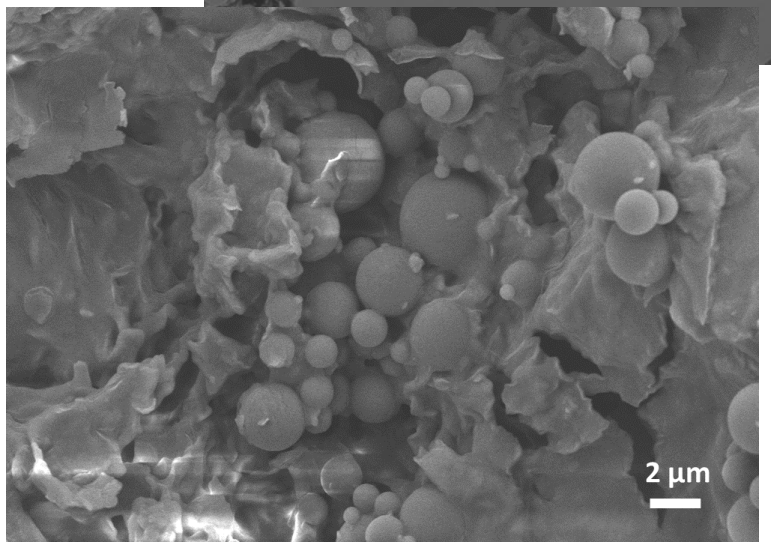



Alexa fluor 546 x microplastiques

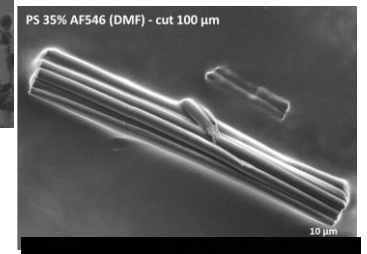
Poumons





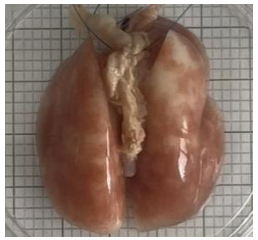


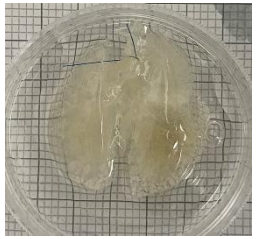
Fibres- PS





Institut exposUM UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER





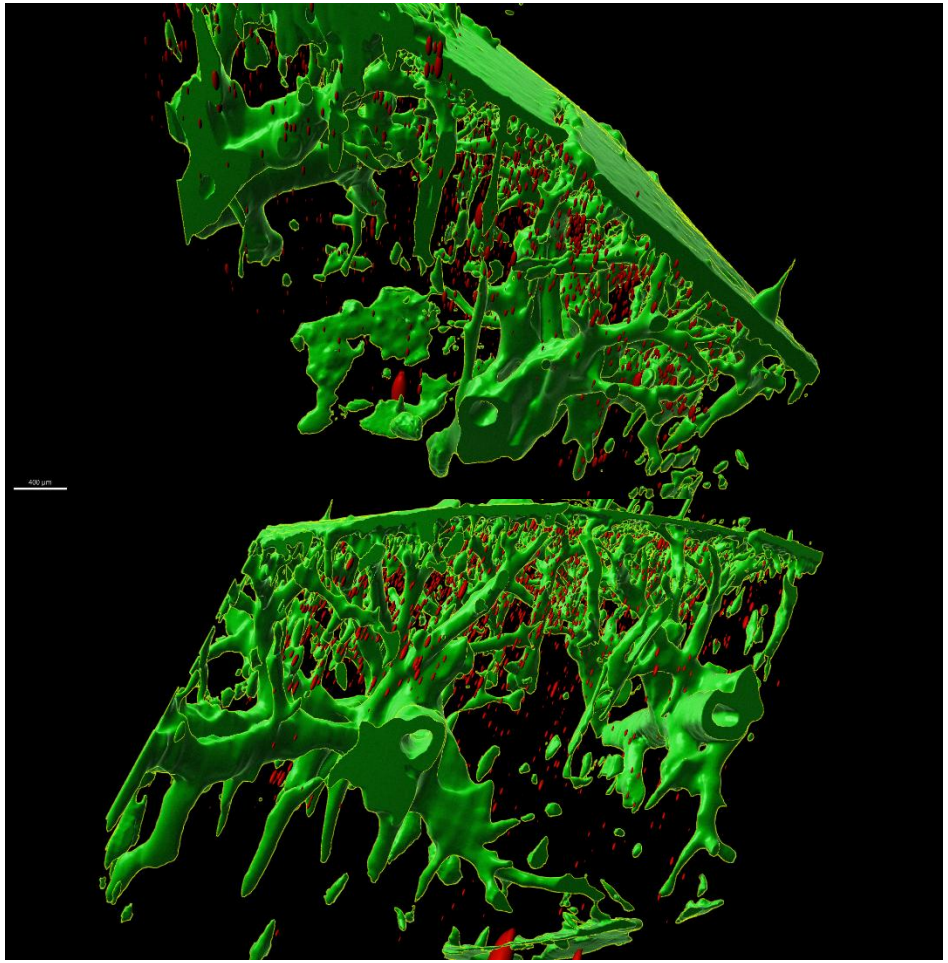
Vert: Autofluorescence des voies aériennes
Rouge: Microplastiques
1 semaine post-exposition

1000 µm

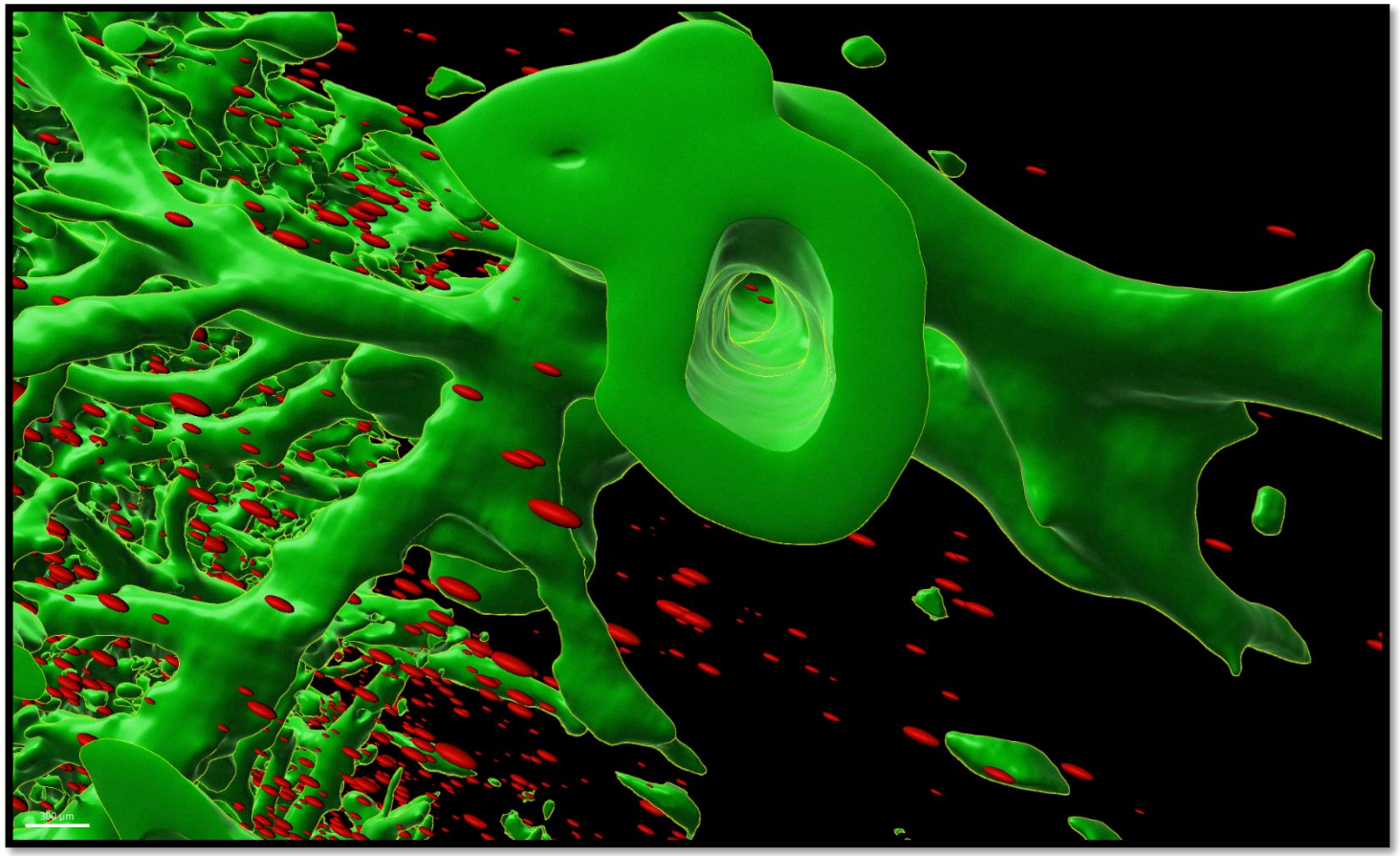
Institut exposUM UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

Cartographie 3D du dépôt des MPS dans les poumons

Arborescence bronchique

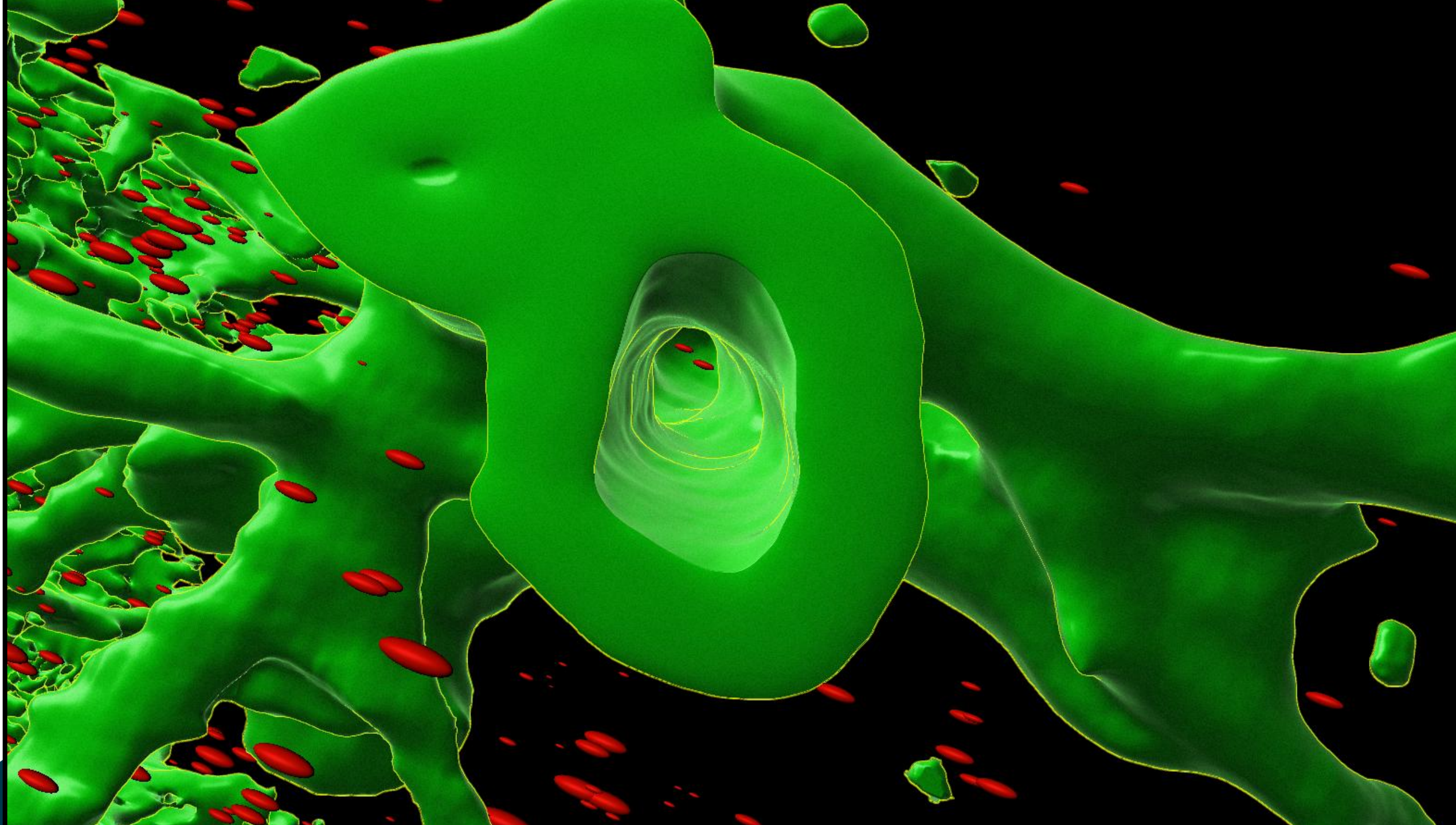


Zoom-Lumière de la bronche

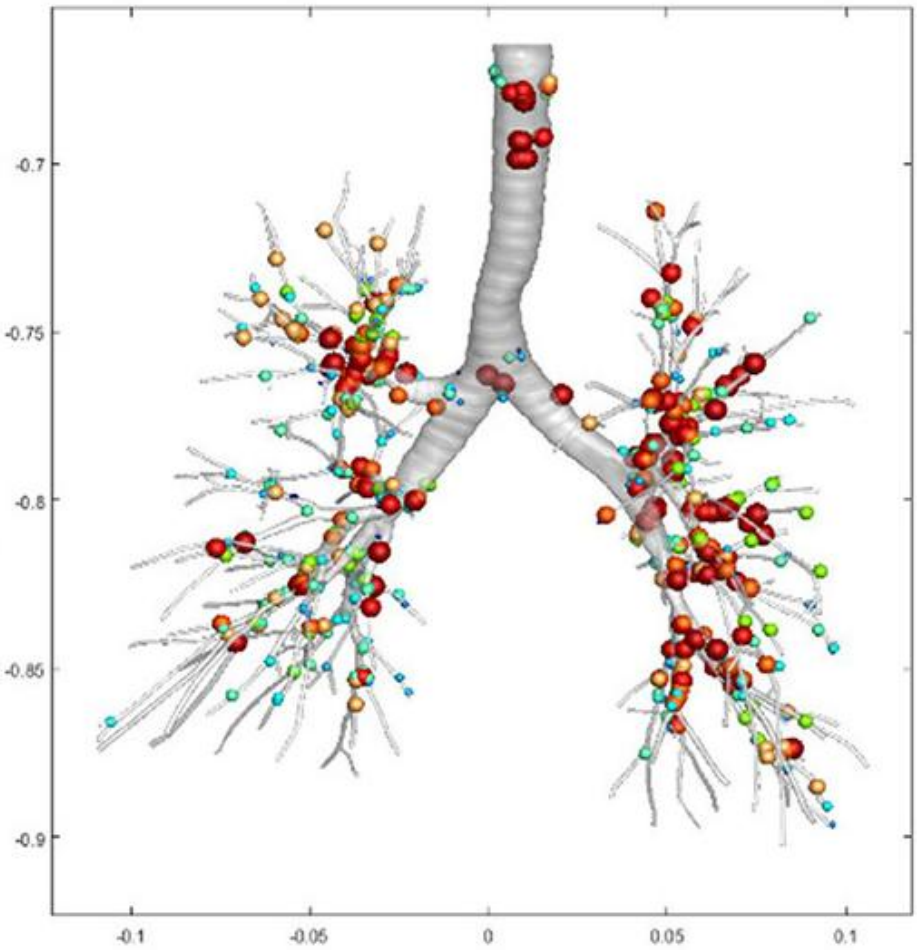


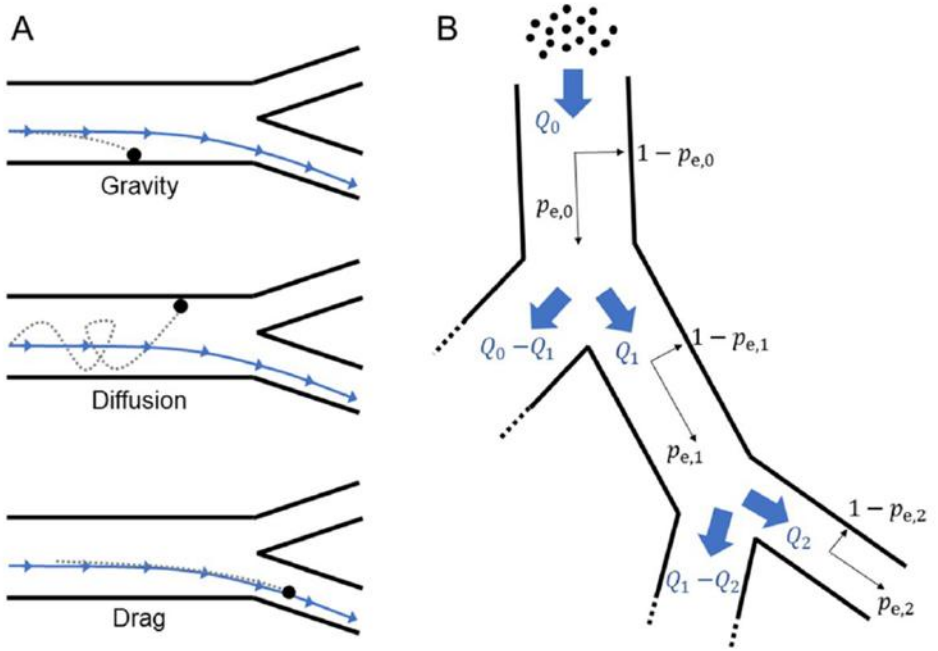
MPs retrouvés tout **au long de l'arbre bronchique**, y compris au niveau de **la lumière des bronches**

Institut exposUM UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER



Cartographie 3D du dépôt des MPS dans les poumons

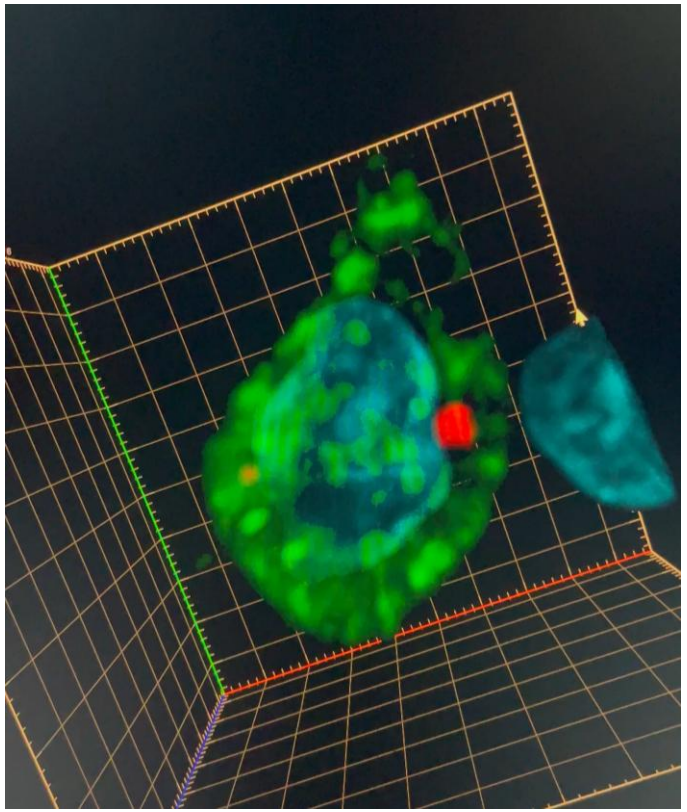




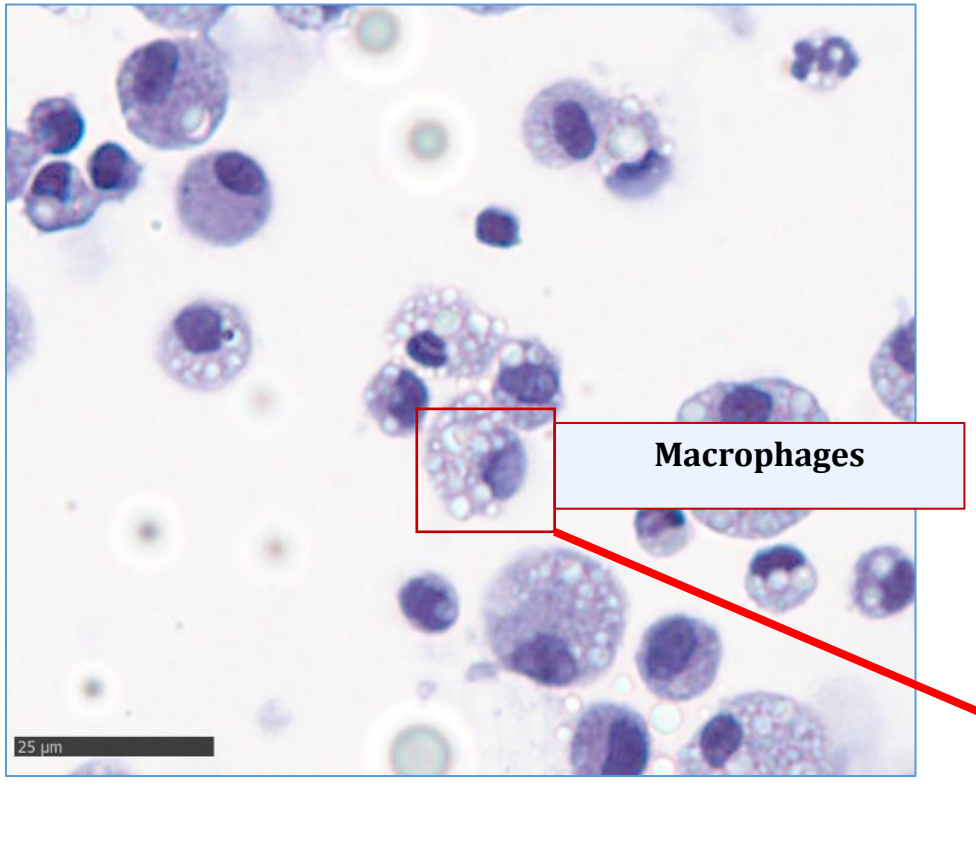
Modélisation du dépôt **réel** des MPs

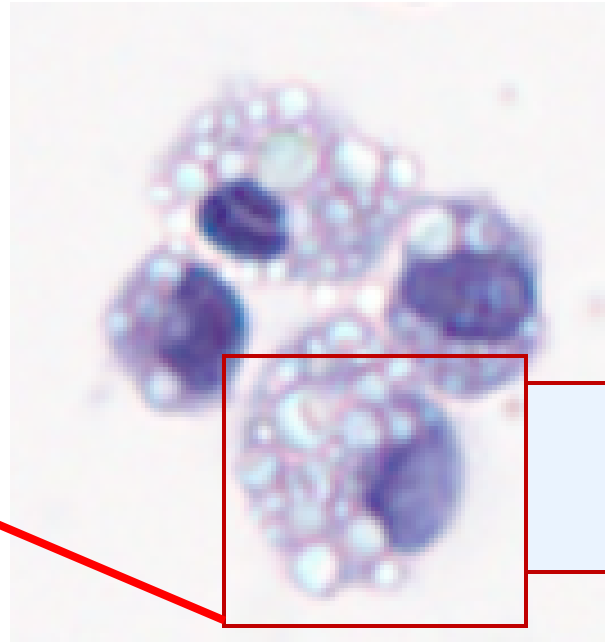
Prise en charge des micro/nanoplastiques dans les poumons

Macrophages alvéolaires

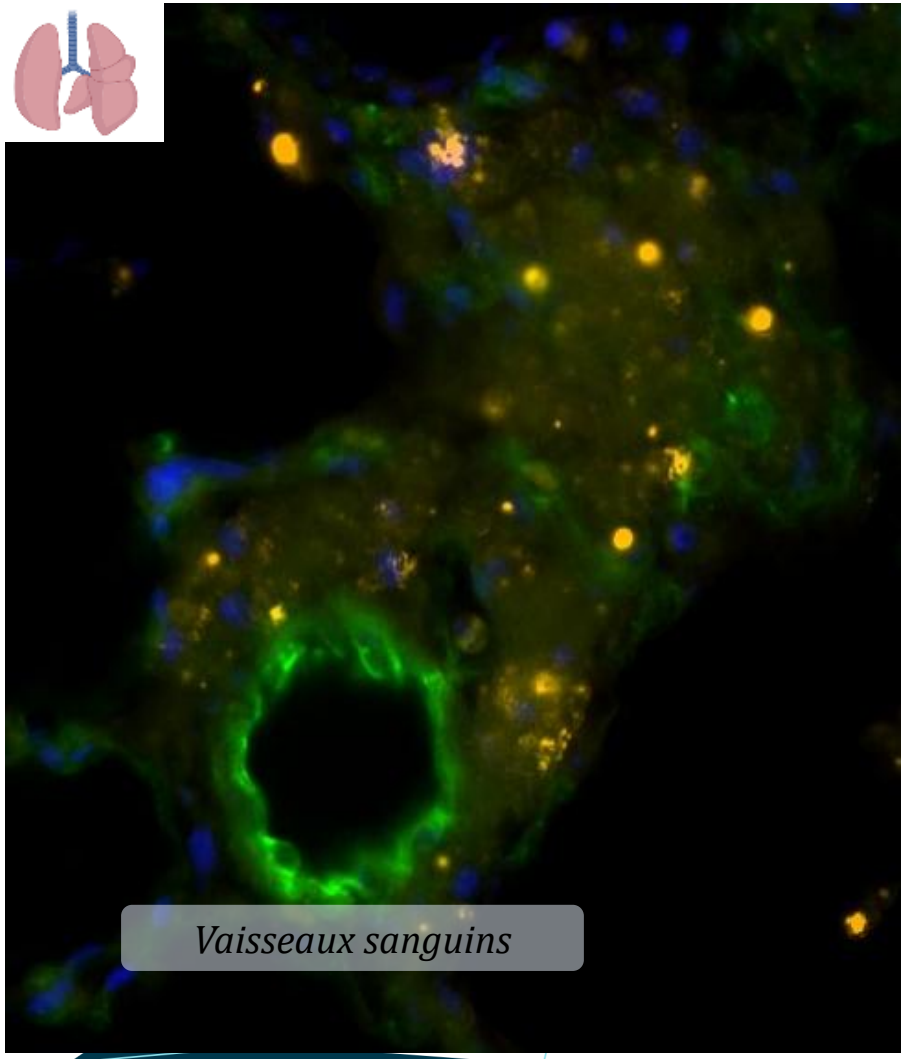


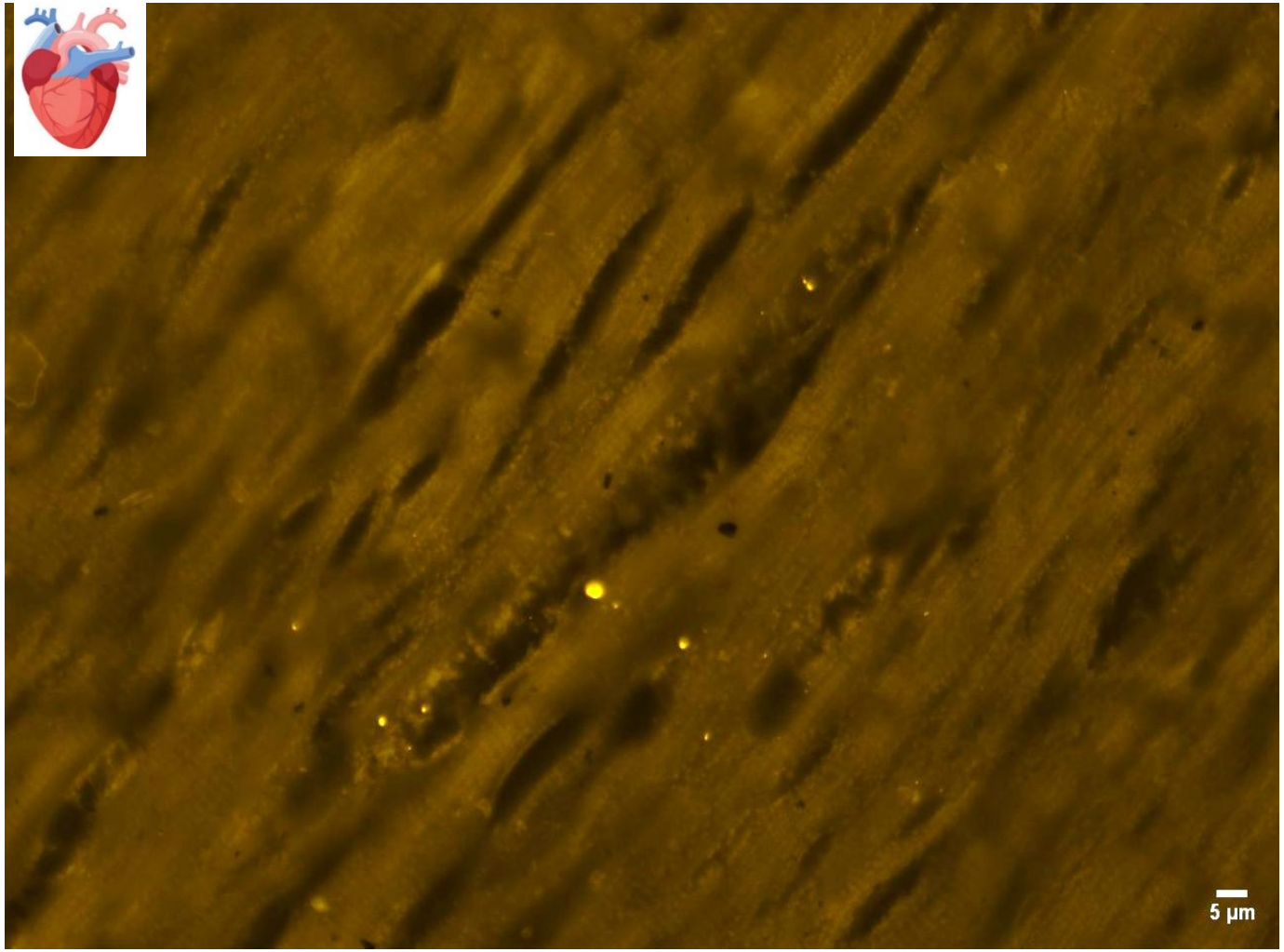
Réponse inflammatoire





Les micro et nanoplastiques dans les poumons : où et comment





Merci pour votre attention

Equipe n°3: PhyMedExp

Pr. Arnaud Bourdin & Dr. Olivier Cazorla

Qiang Bai
David Cornu
Mickael Bechelamy
Julien Cambedouzou
Nicolas Molinari





VOS QUESTIONS

Institut exposUM
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

LES RENCONTRES DE
L'EXPOSOME



Institut exposUM
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER