

Végétation urbaine et pollution particulaire : évaluation des dépôts in situ et par télédétection

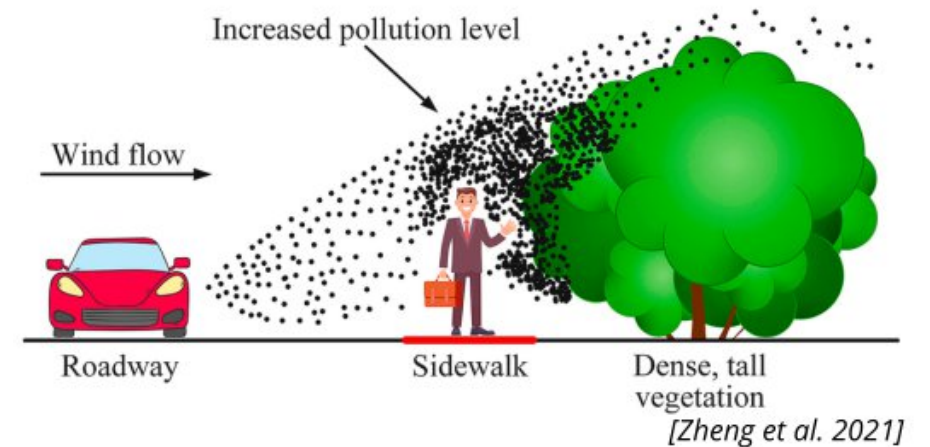
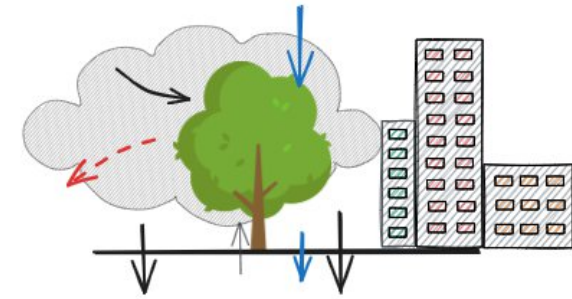
Jean-François Léon, Mélina Macouin, Laurence Delville,
Antoine Bonnetête (stage O3T/MU)

Laboratoire d'Aérodologie
Géosciences Environnement Toulouse

Quel rôle de la végétation arborée urbaine dans le devenir des polluants atmosphériques ?

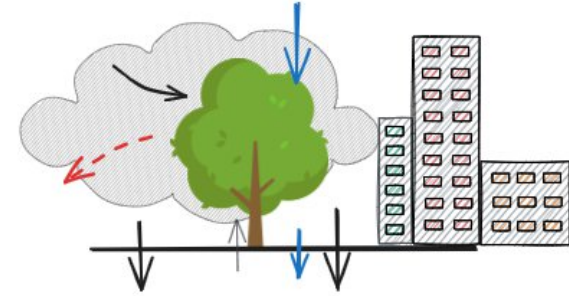
Contexte

- effets dynamiques : limitation de la dispersion
- émissions biogéniques : COV, pollens
- dépôts et resuspension : accumulation temporaire et transfert vers d'autres compartiments



CleanTree : pollution particulaire atmosphérique et végétation arborée en milieu urbain

Quel rôle de la végétation arborée urbaine dans le devenir des polluants atmosphériques ?



Objectifs

- quantifier les dépôts sec et humide d'aérosols et les flux de transfert atmosphère-végétation-sol à partir du suivi de traceurs anthropiques (carbone élémentaire, métaux et signature magnétique) à l'échelle de l'arbre
- étudier les propriétés optiques du dépôt sur le végétal à différentes échelles spatiales (microscopique – feuille – canopée)
- spatialiser à l'échelle de la ville les estimations de flux à partir de la modélisation et de la télédétection

projet CleanTree

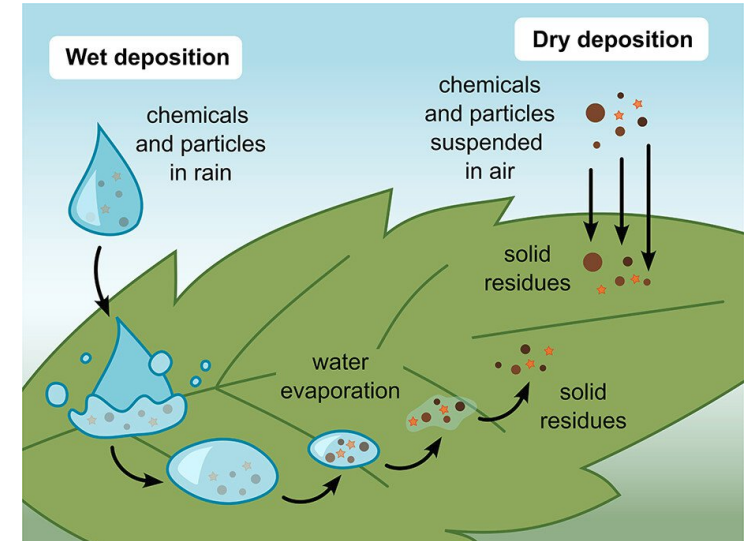
pollution particulaire atmosphérique et végétation arborée en milieu urbain

soutien O3T-MU, OMP

collaboration LAERO-GET (A. Avellan, E. Schreck), ONERA (S. Fabre), CNRM (A. Lemonsu), LPED (I. Laffont)

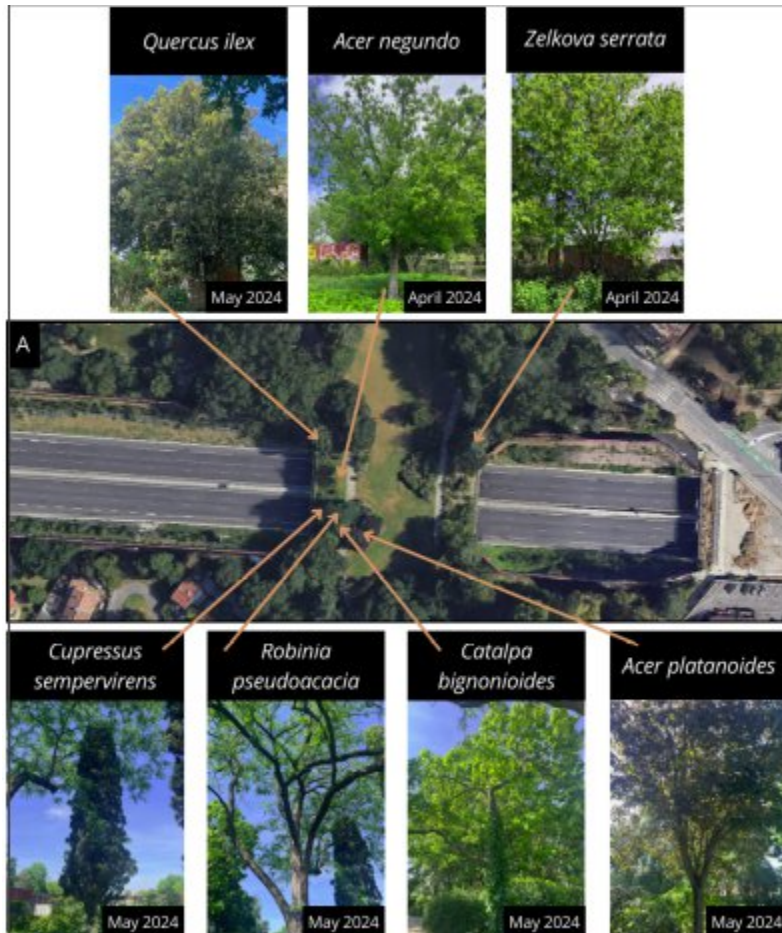
Suivi de l'accumulation de particules sur les arbres en bordure de route en milieu urbain

- **carbone élémentaire (EC) particulaire**
 - Fraction réfractaire de l'aérosol carboné
 - traceur émission par la combustion
 - Associé à différents composés organiques / métaux
- **Minéraux magnétique (oxydes Fe)**
 - Rémanence magnétique à saturation (SIRM) du feuillage
 - Traceur des émissions hors échappement (freins, usure)
- **Etude des processus d'accumulation**
 - Dépôt, resuspension, lessivage
 - Variabilité inter-espèces, impact de la structure des feuilles

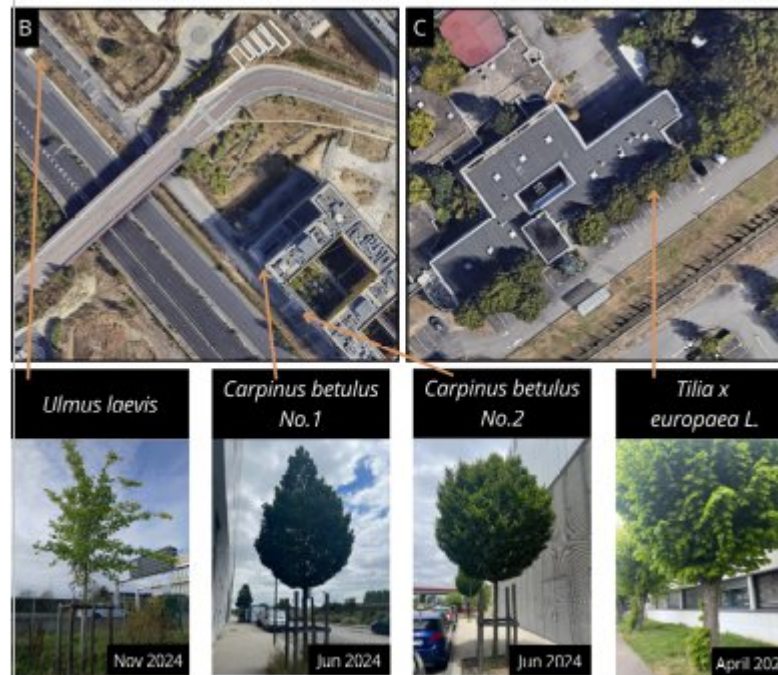


Sites d'études

parc du Sacré Coeur (Rangueil)



Rocadre (B612) et parking OMP



Suivi saisonnier 2024-2025

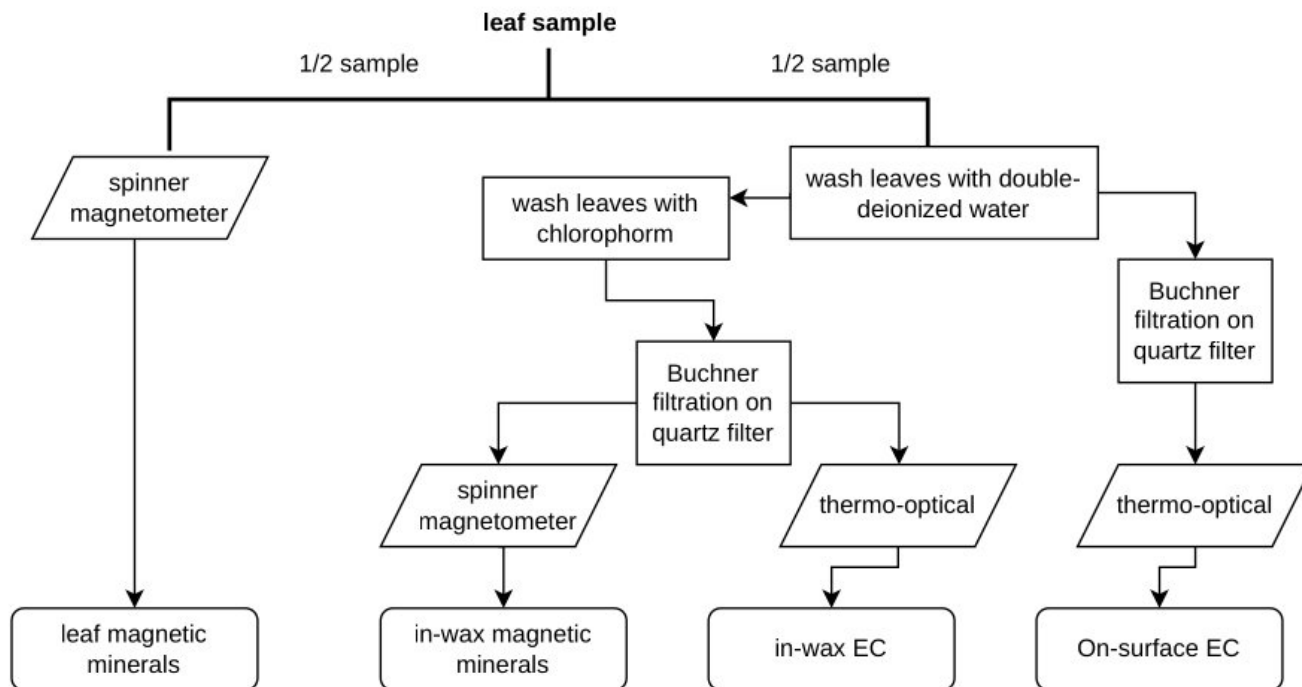
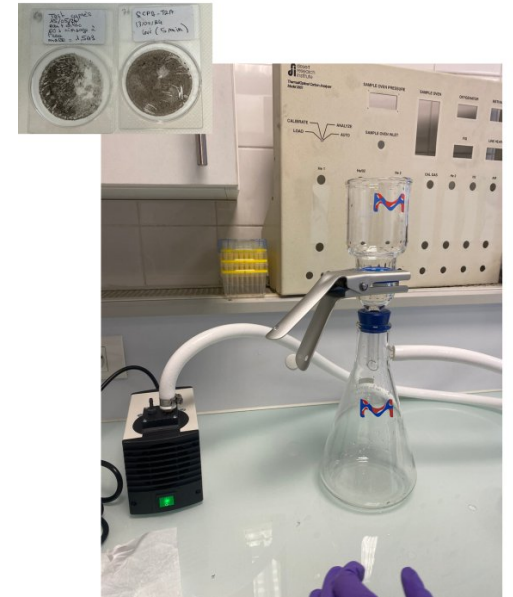
10 espèces

specific leaf area (mm²/mg)

Scientific Name	measured	literature range
<i>Quercus Ilex</i>	6.8 ± 1.3	1.4 - 138.9
<i>Acer negundo</i>	21.7 ± 3.3	12.7 - 37.9
<i>Robinia pseudoacacia</i>	21.5 ± 3.9	6.2 - 56.0
<i>Acer platanoides</i>	16.2 ± 4.4	2.4 - 40.0
<i>Zelkova serrata</i>	11.6 ± 2.0	8.9 - 27.6
<i>Carpinus betulus</i>	15.7 ± 3.3	4.8 - 54.9
<i>Tilia x europaea L.</i>	24.8 ± 6.6	13.2 - 61.3
<i>Catalpa bignonioides</i>	20.8 ± 3.5	5.0 - 44.9
<i>Ulmus laevis</i>	16.4 ± 3.5	19.1 - 58.8
<i>Cupressus sempervirens</i>	5.0	4.47 - 5.82

Méthode

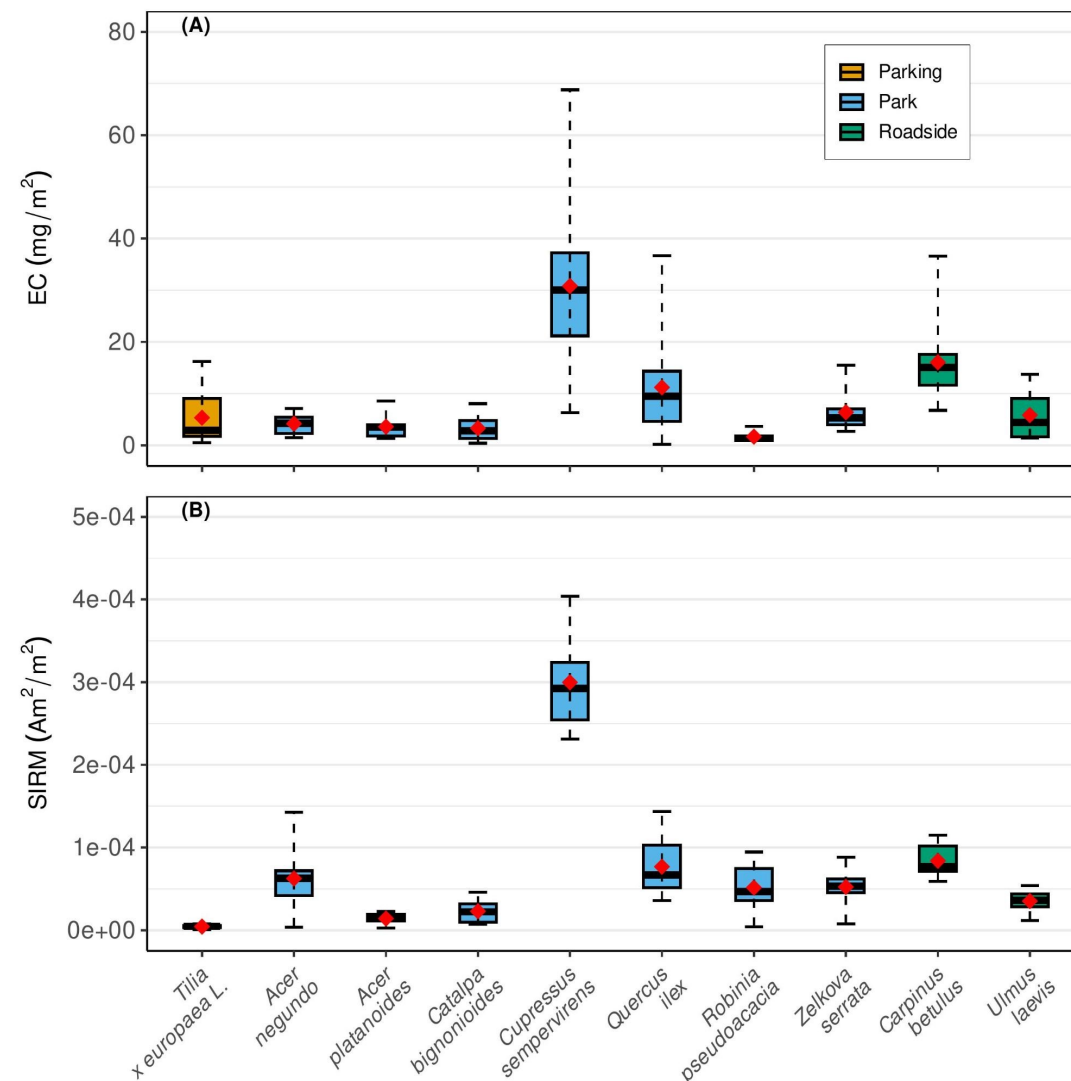
- Echantillonnage mensuel
- Lavage et analyse des rinçats après filtration par thermo-optique
- Mesures magnétiques sur feuilles et filtres
- Normalisation par la surface
- analyses structurale par MEB



© L. Delville

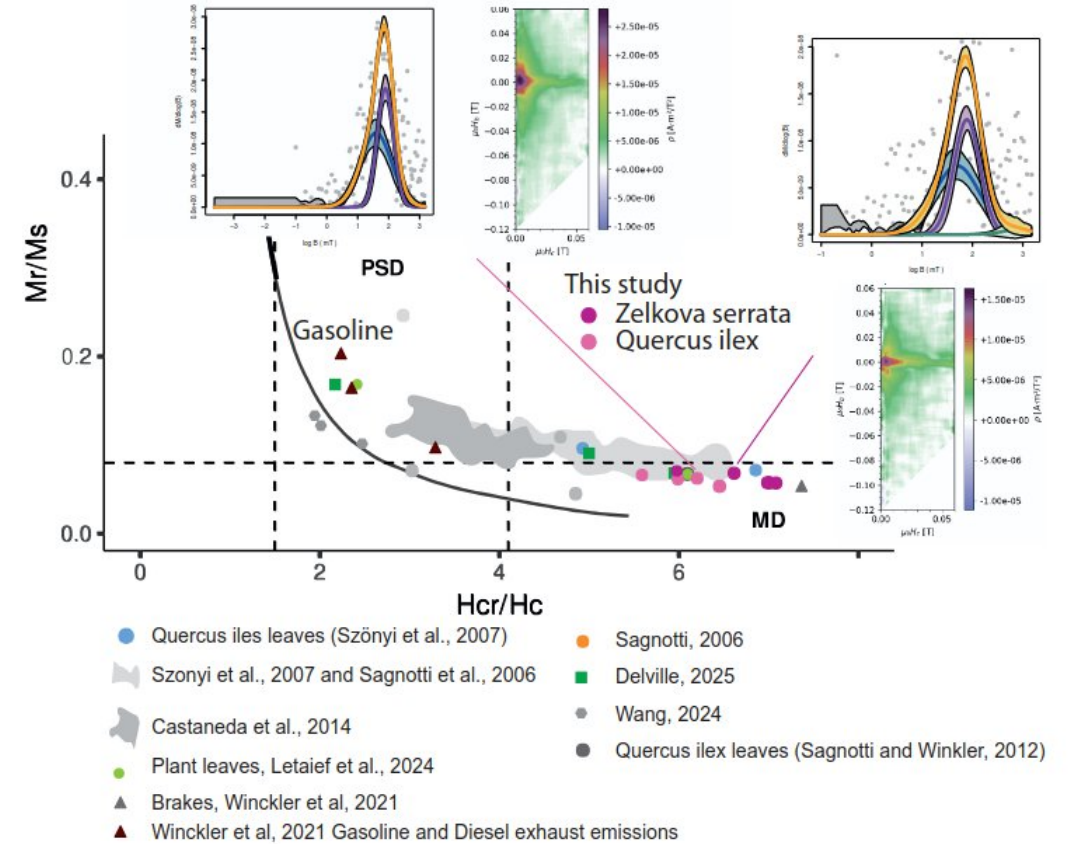
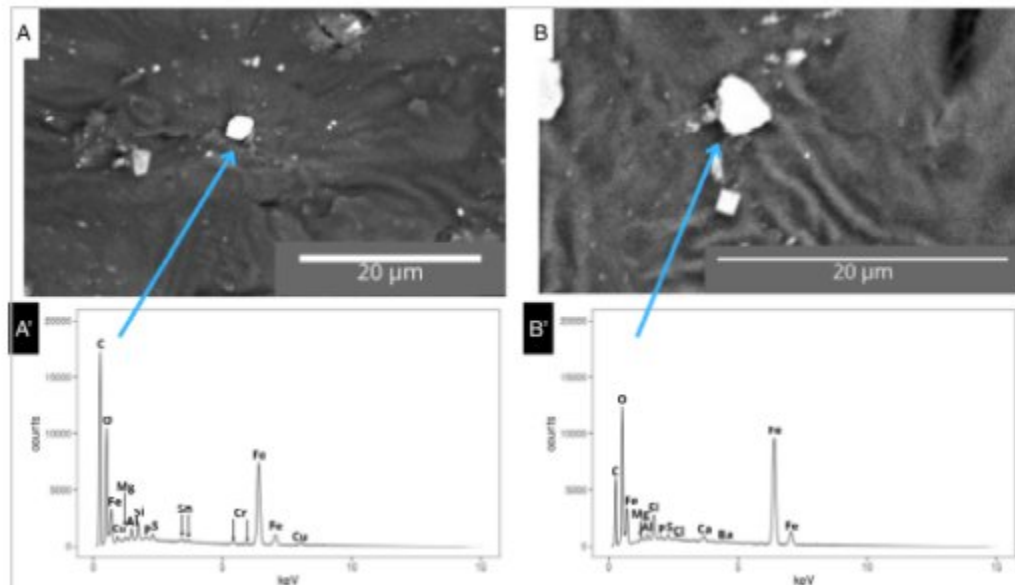
Variation interspécifique de l'accumulation

- $1.4 < EC < 27 \text{ mg/m}^2$
- $0.5 < \text{SIRM} < 29.8 \cdot 10^{-5} \text{ A}$
- Période d'intégration plus longue pour les persistants (*C. sempervirens* et *Q. ilex*)
- Correlation EC et SIRM ($R=0.74$)
- Exposition plus importante pour bord de rocade



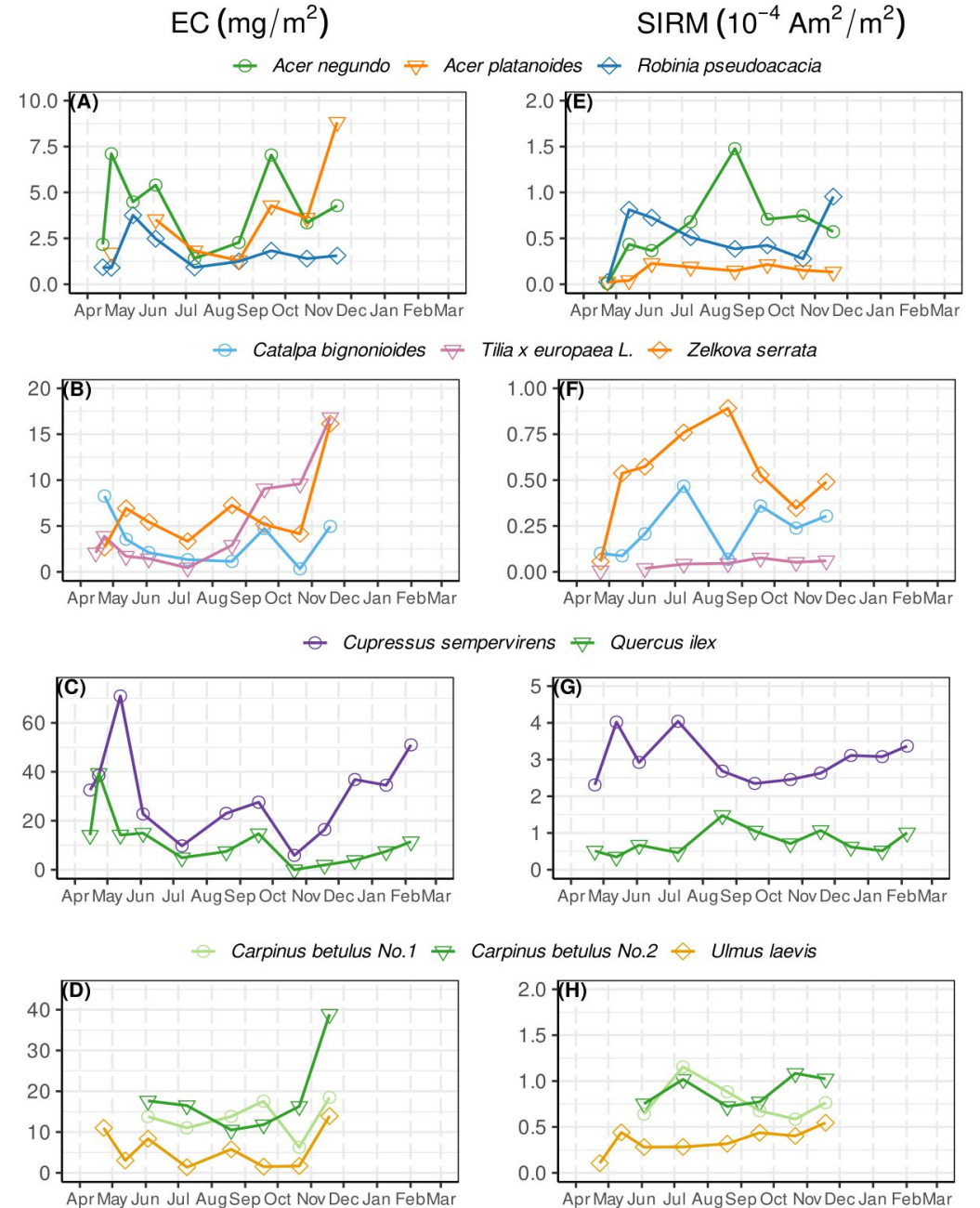
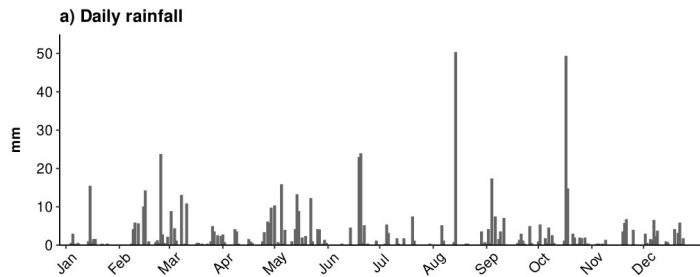
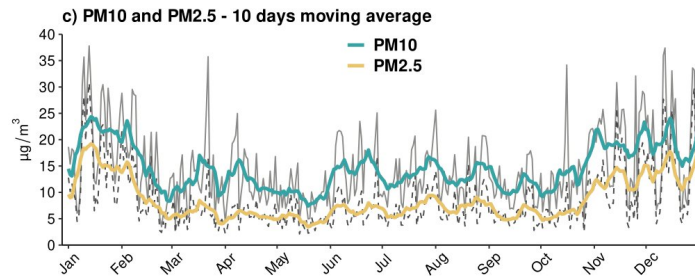
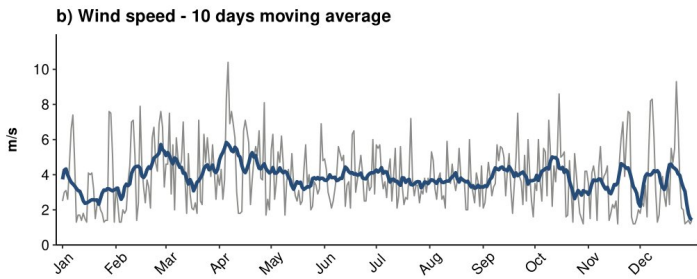
Minéralogie magnétique

- Particules sphérique et irrégulière avec Fe, Cu, Ti ...
- Majorité de grains magnétique MD (freinage) et contribution faible SD (combustion)
- Analyse fine de l'hystérésis (FORC ; Day plot)



Variation saisonnière

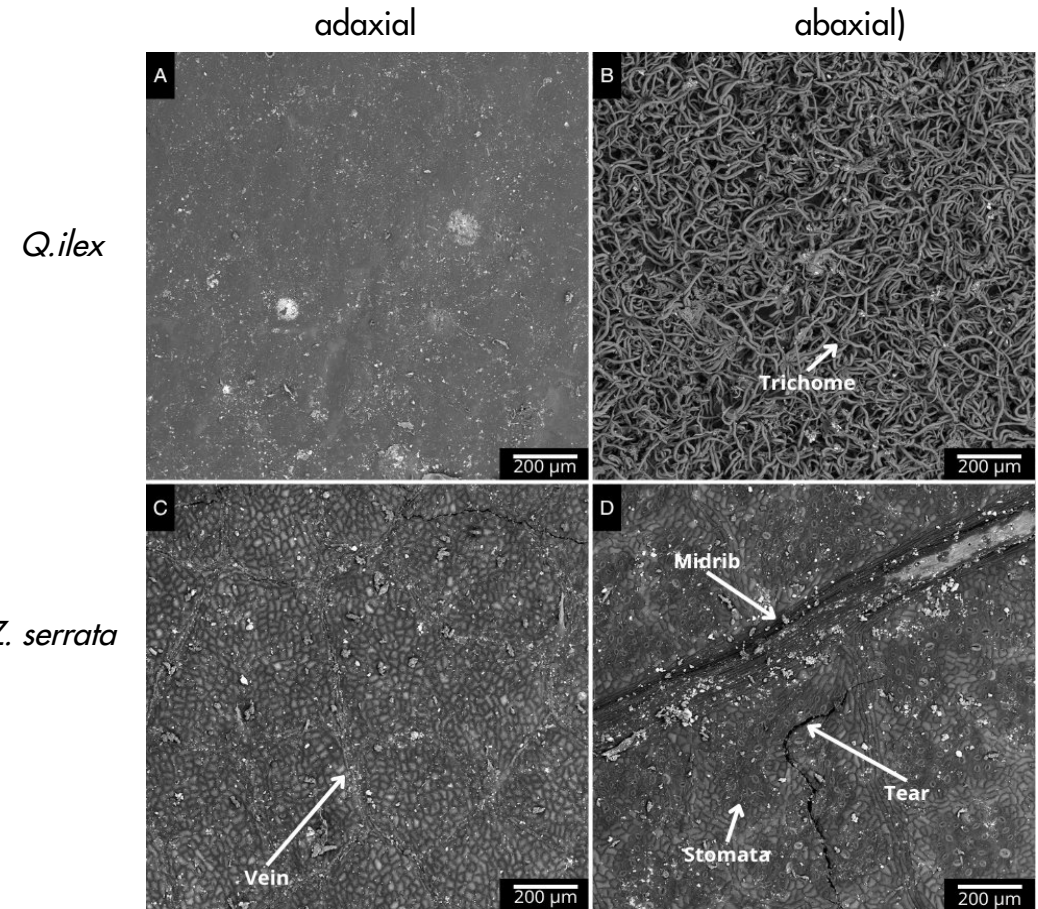
- Effet de la localisation et de l'espèce
- Effet marqué des précipitations intenses (effet seuil)
- Acc= dep - resusp assez bien modélisé en prenant la paramétrisation I-Tree et une EC=1% PM2.5
- Signal saisonnier EC et SIRM différent
- SIRM moins impacté par le lessivage (Mitchell et al. 2010) : migration de matériaux magnétiques, différence d'adhésion ?



Différences entre les dépôts extraits à l'eau et ceux extraits au chloroforme

- Différence observée entre EC et SIRM : sites d'accumulation ??
 - stomates, nervures (Gajbhiye et al. 2021)
 - sugosité (Li et al. 2021)
 - épaisseur cire (Popek et al. 2013)

		EC (mg/m ²)		SIRM (10 ⁻⁶ A)	
		Water	Chloroform	Water	Chloroform
<i>Quercus ilex</i>	July	4.9	8.3	2.8	7.0
	November	1.9	3.8	3.2	3.4
<i>Zelkova serrata</i>	July	3.3	1.7	4.2	4.4
	November	16.1	0.0	9.4	2.9
<i>Tilia x europaea L.</i>	July	0.4	0.6	N/A	N/A
	November	16.8	0.1	N/A	N/A

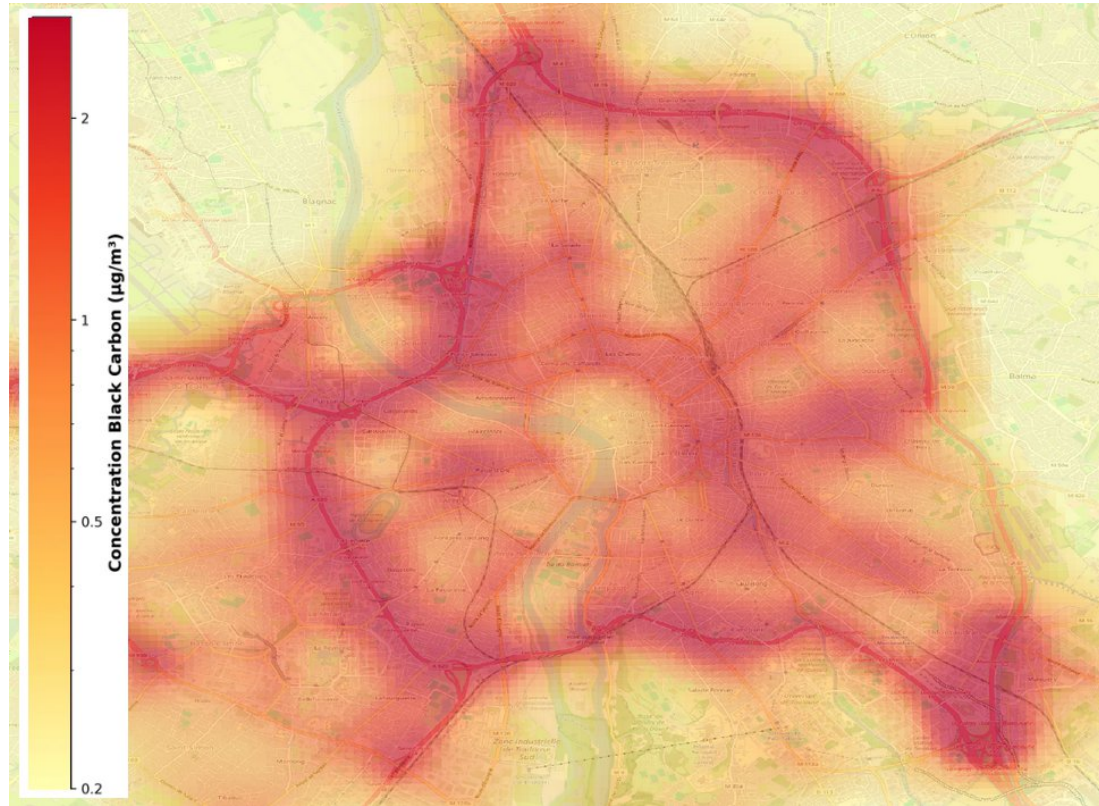


Stage M2 SOAC Antoine Bonnetête (février – aout 2026)

Objectifs

- Evaluer l'impact des dépôts de particules fines sur les propriétés optiques des feuilles à différentes échelles spatiales (microscopique – feuille – arbre) pour 2 espèces représentatives (*Q. ilex* et *Q. robur*) de la ville de Toulouse
- Quantifier le transfert de particules par le lessivage lors d'évènements pluvieux naturels
- Modéliser les flux à l'échelle de la ville (base d'arbres Opendata TM et paramétrisation I-tree)
- Comparer les réponses de deux espèces de chênes : *Quercus robur* et *Quercus ilex*

Modélisation du Black Carbon (BC) en concentration moyenne annuelle

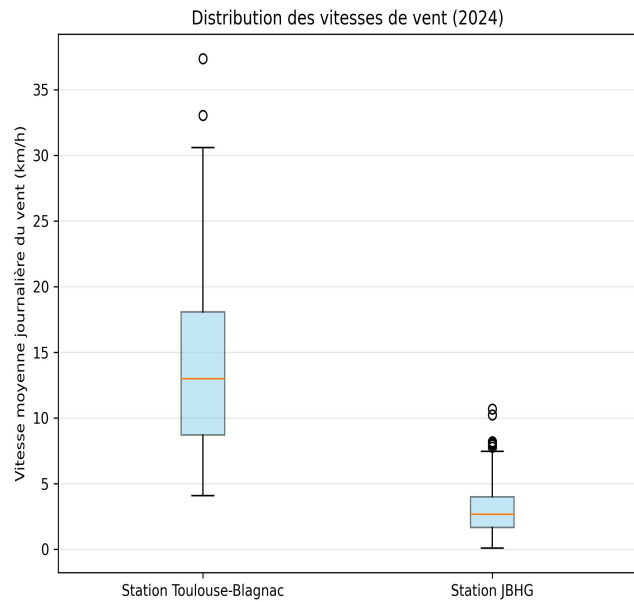


- Émissions : calcul des flux par segment routier via les facteurs d'émission EMEP/EEA et les données de trafic réelles (OSM, Toulouse métropole).
- Dispersion : discrétisation en points sources et application d'un noyau de diffusion exponentielle.
- Calage : ajustement des résultats théoriques sur les mesures réelles 2022 des stations Atmo Occitanie pour passer d'émission à concentration.

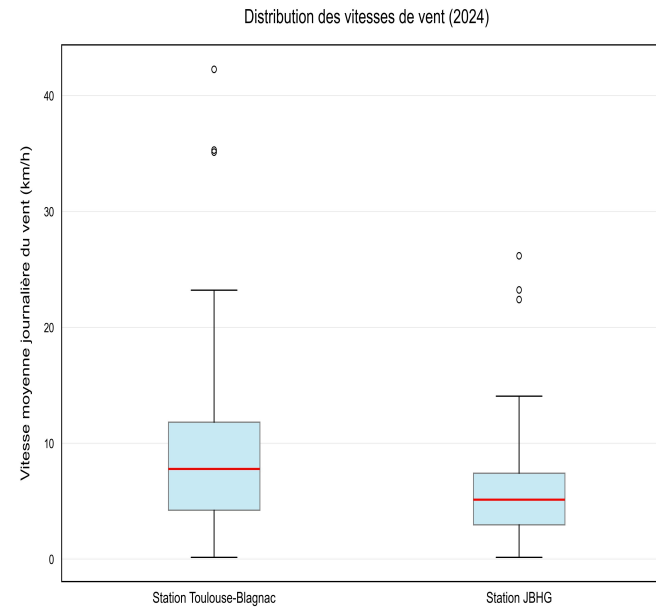
Co-localisation des prélèvements avec mesures aéroportées hyperspectrale (Collab Onera)

Analyse des données météorologiques

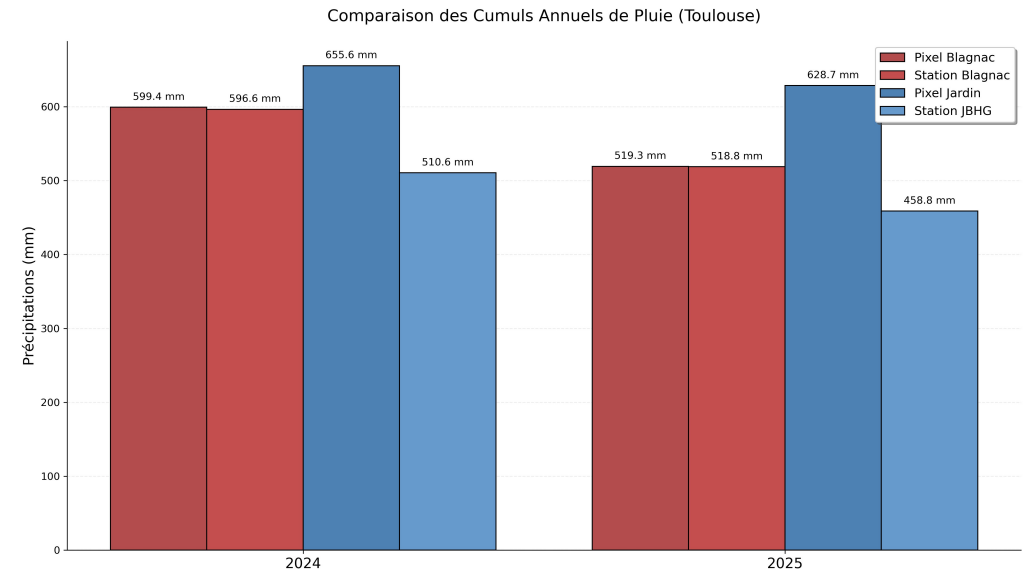
Comparaison des stations



Comparaison avec modèle MNH



Comparaison stations et comephore



Echantillonnage terrain



Emplacement Q. Ilex au Jardin des Plantes / Botanique

arbres

- avant et après un évènement de pluie
- Collecte des eaux de pluies
- processus similaires à Delville et al. + analyses métaux ICP-MS

atmosphériques

- 2 pompes de prélèvement AirCheck Touch SKC avec filtres Quartz pour PM2.5/10
- Pompe MicroAeth pour carbone élémentaire

Analyses optiques de surface

A l'échelle de la feuille :

- Mesure du spectre de réflexion (350 - 2500 nm) des feuilles avec spectroradiomètre FieldSpec 4 ASD ONERA

A l'échelle microscopique :

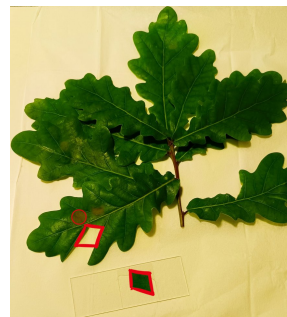
- Mesure du spectre de diffusion (400 – 1000 nm) sur et hors dépôt de particule
- Traitement sous ENVI 5.2 pour sélection et classification des particules

A l'échelle de l'arbre

- caméra aéroporté ONERA durant campagne printanières (en fonction dispo)



*Emplacement prélèvements Q. Ilex et robur
au Parc du Sacré-Coeur*

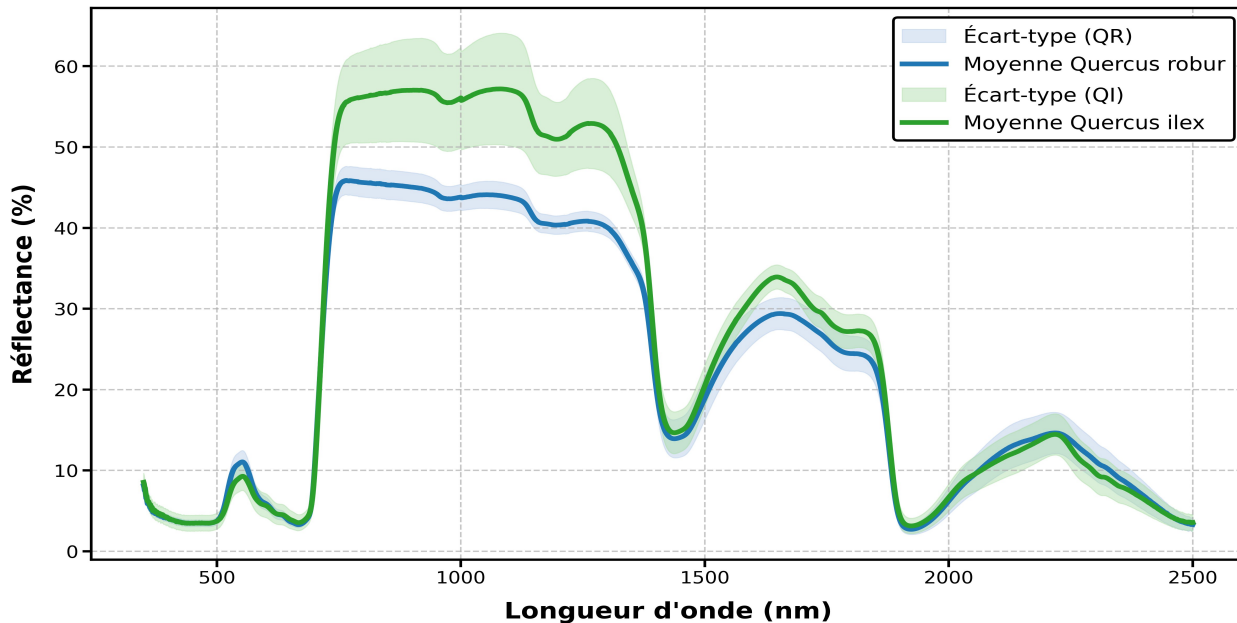


*Feuilles de Q. robur pour
analyses optiques*



Comparaison spectrale inter-espèce

Comparaison spectrale sur 40 feuilles de *Q. ilex* & *Q. robur* : Produit du spectroradiomètre FieldSpec 4 ASD



Infrarouge (NIR) : Réflectance plus élevée pour le *Q. ilex* caractère sclérophylle

Signatures hydriques (SWIR) : Différences de teneur en eau et de matière sèche liées aux stratégies de survie (persistant vs caduc).

Écart-type élevé pour le *Q. ilex*: hétérogénéité de l'âge des feuilles

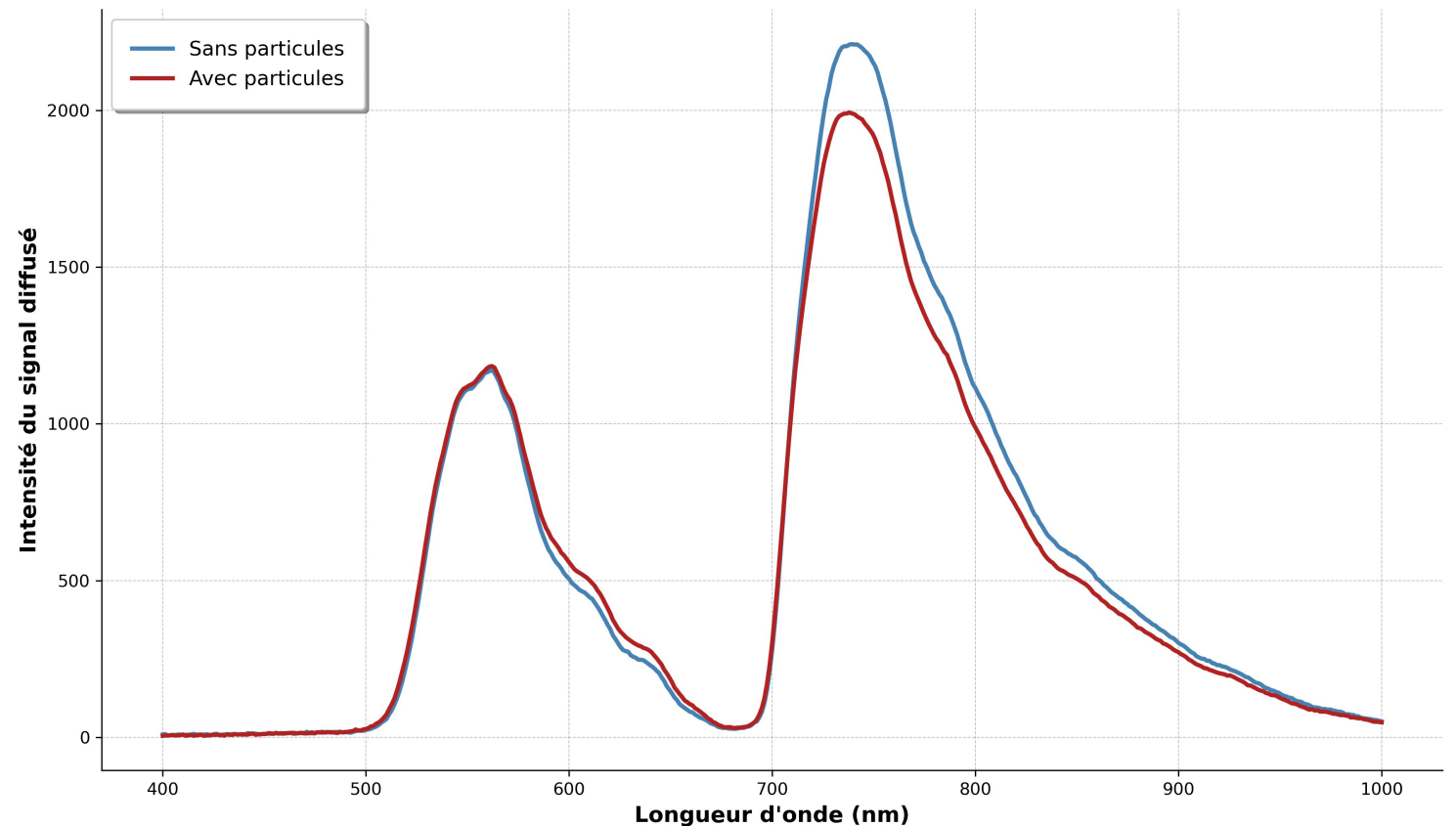
Impact du dépôt particulaire

Observation microscope : Image RGB
x10 sur Envi de la surface d'une feuille
de *Quercus robur*



Visible (600-650 nm) : Augmentation du signal en présence de particules masque l'absorption chlorophyllienne.

Infrarouge (NIR) : Baisse du signal en présence de particules effet d'ombrage physique venant masquer la structure interne de la feuille.



Perspectives du stage

- Continuer les analyses sur les filtres et les feuilles prélevées lors d'un évènement de pluie
- classification des images microscopiques
- Modéliser des flux à l'échelle de la ville (base d'arbres Opendata TM et paramétrisation I-Tree)