

Étude du dépôt humide d'aérosols atmosphérique par une approche de collecte séquentielle des pluies

T. Audoux, B. Laurent, S. Chevaillier, A. Féron, E. Pangui, F. Maisonneuve, S. Triquet, G. Noyalet, O. Lauret, P. Zapf, F. Huet et al.

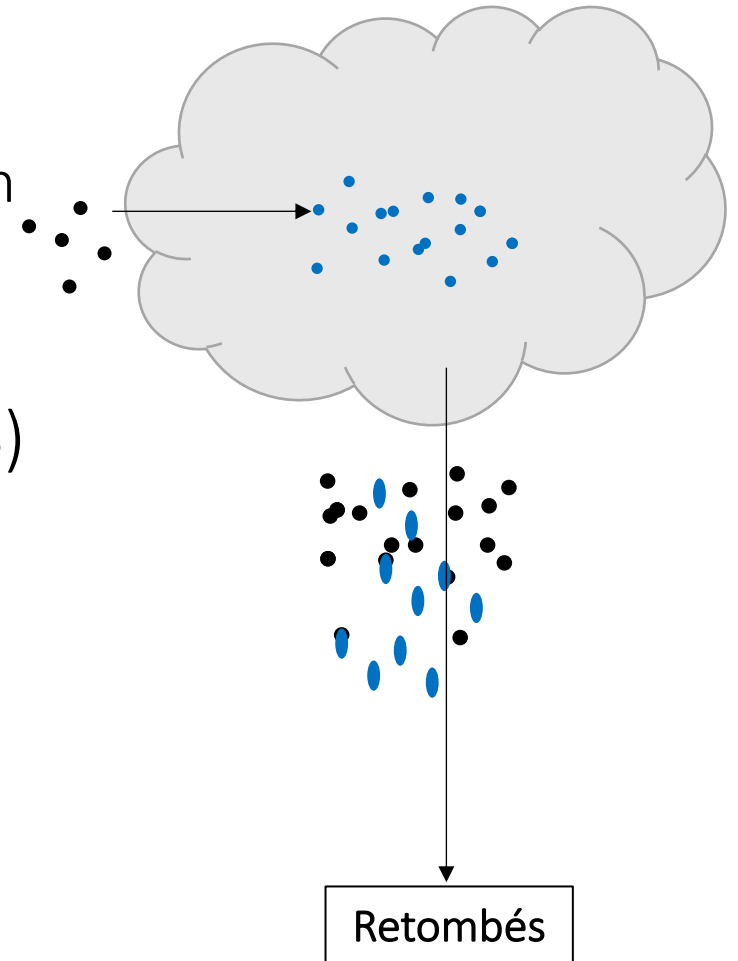
benoit.laurent@lisa.ipsl.fr



Le dépôt humide des aérosols atmosphériques

- Lessivage dans le nuage - In-Cloud Scavenging (ICS)
Aérosols servent de noyaux de condensation pour la formation du nuage ou capturés par les gouttelettes formant le nuage
- Lessivage sous le nuage - Below-Cloud Scavenging (BCS)
Aérosols capturés par les gouttes de pluies lors de leur chute

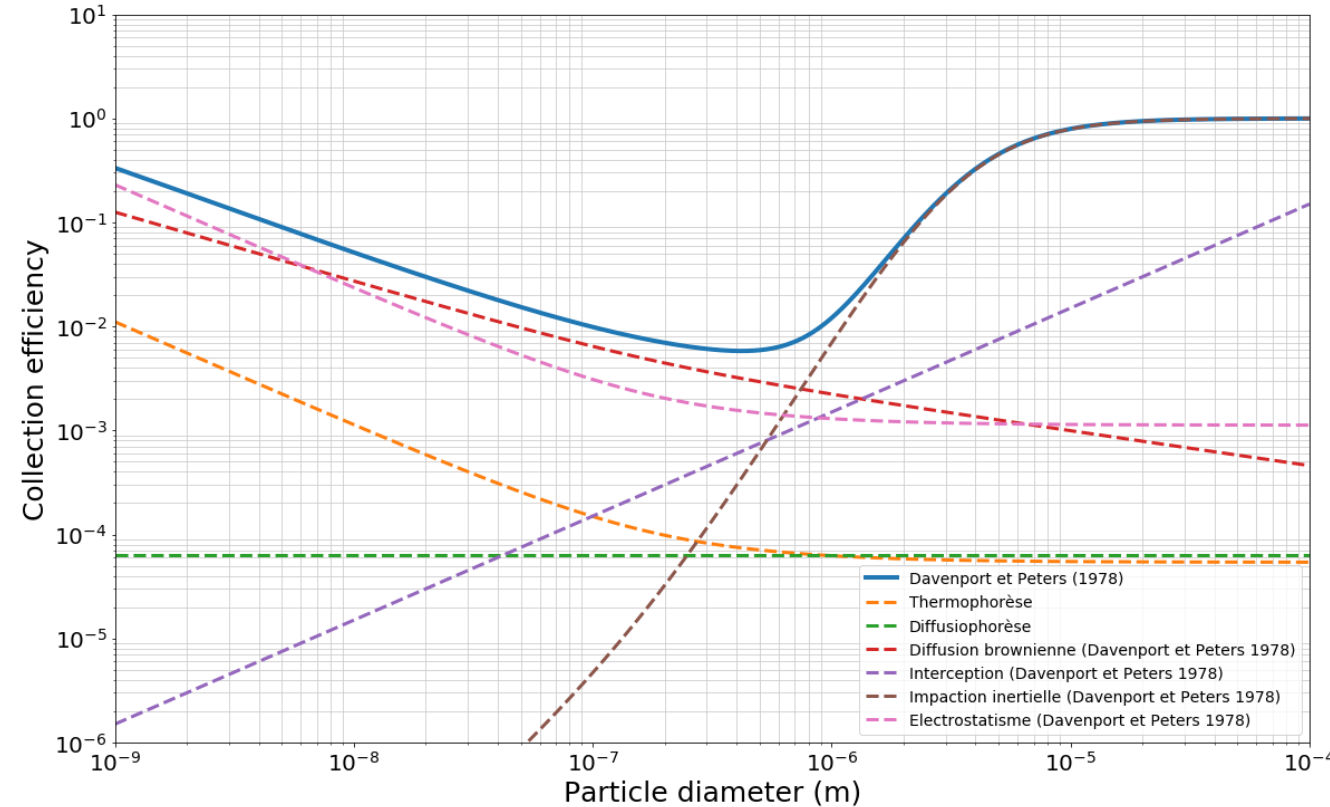
→ Régis par des processus physiques : impaction, interception, diffusion brownienne ...



Paramétrisation du dépôt humide

Paramétrisation dynamique
coefficient de lessivage Λ (s^{-1})

$$\Lambda(d_p) = \frac{\pi}{4} D_g^2 \cdot V(D_g) \cdot E(d_p, D_g) \cdot N(D_g)$$
$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = -\Lambda \cdot C(t)$$

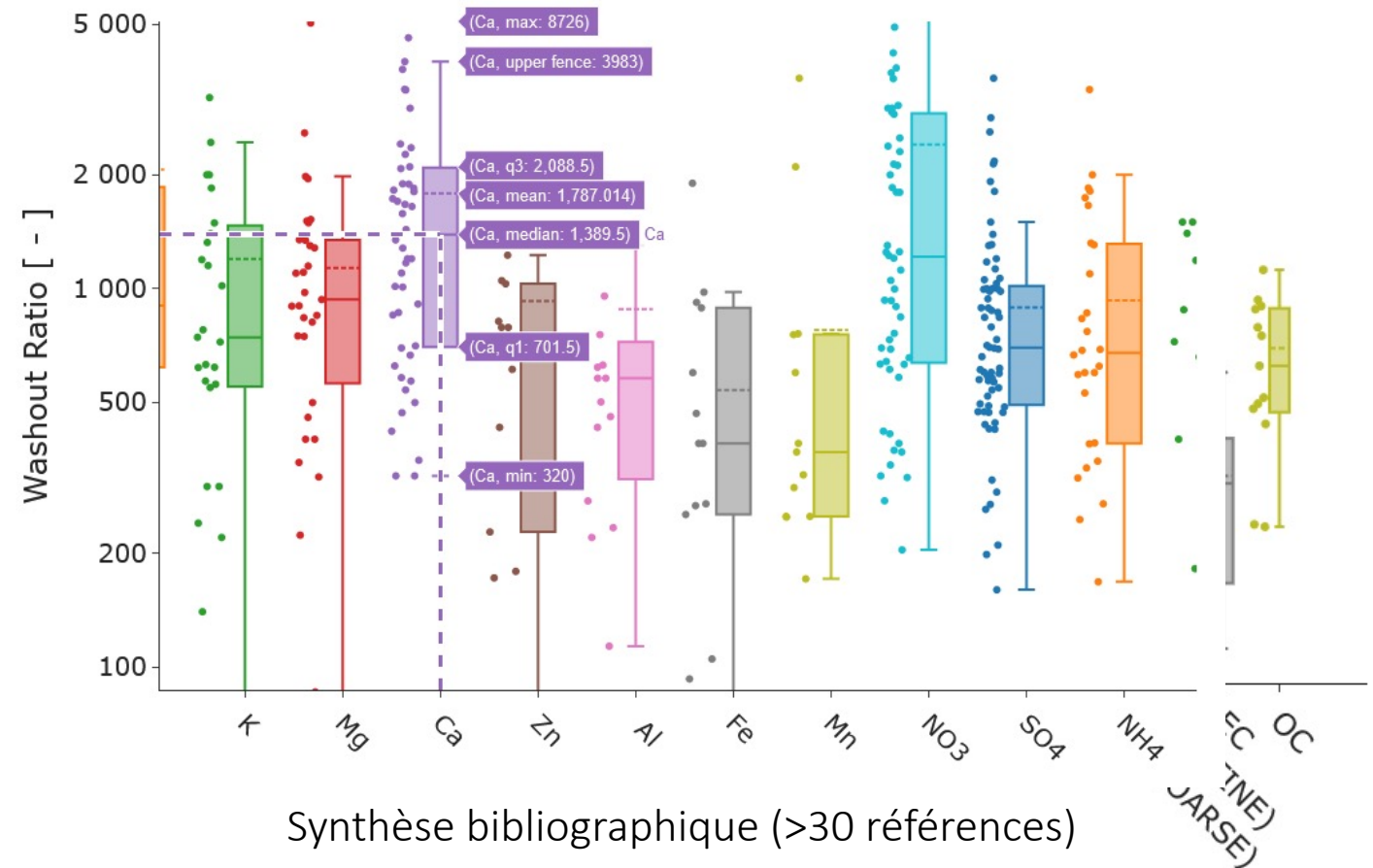


→ Nécessité de documenter conjointement des paramètres sur les **aérosols** et les **précipitations** des nuages à la surface

Paramétrisation du dépôt humide

Paramétrisation intégrée
ratio de lessivage WR (-)

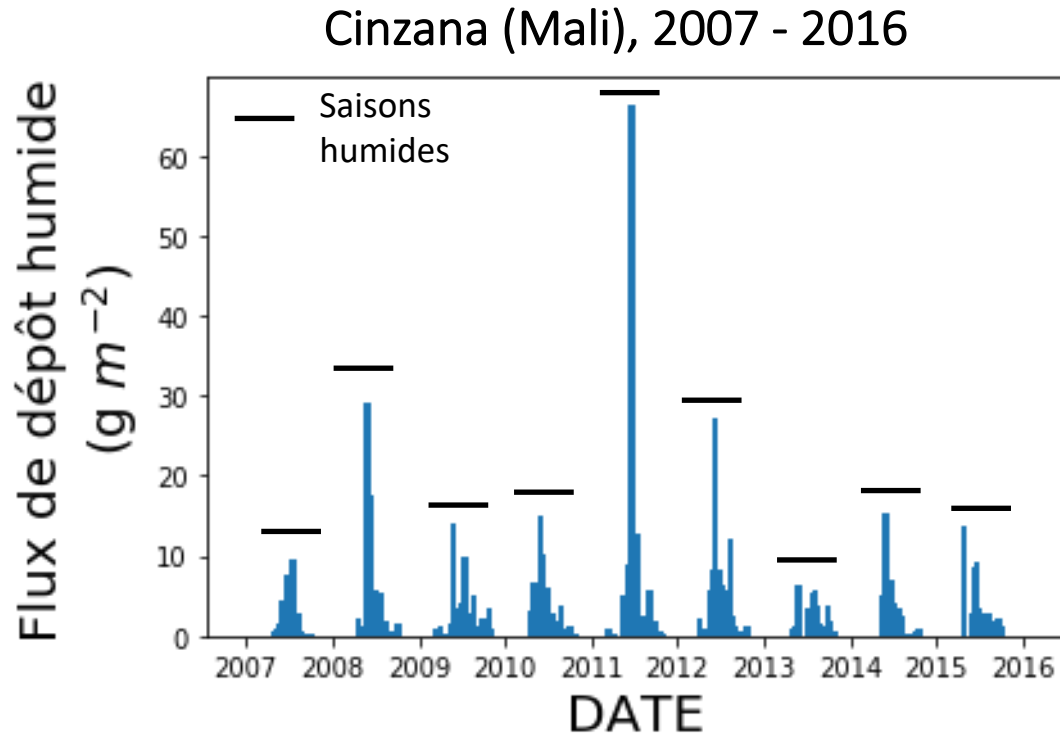
$$WR = \frac{C_{pluie}}{C_{air}}$$



→ Nécessité de documenter conjointement des paramètres
sur les **aérosols** et les **dépôts humides**

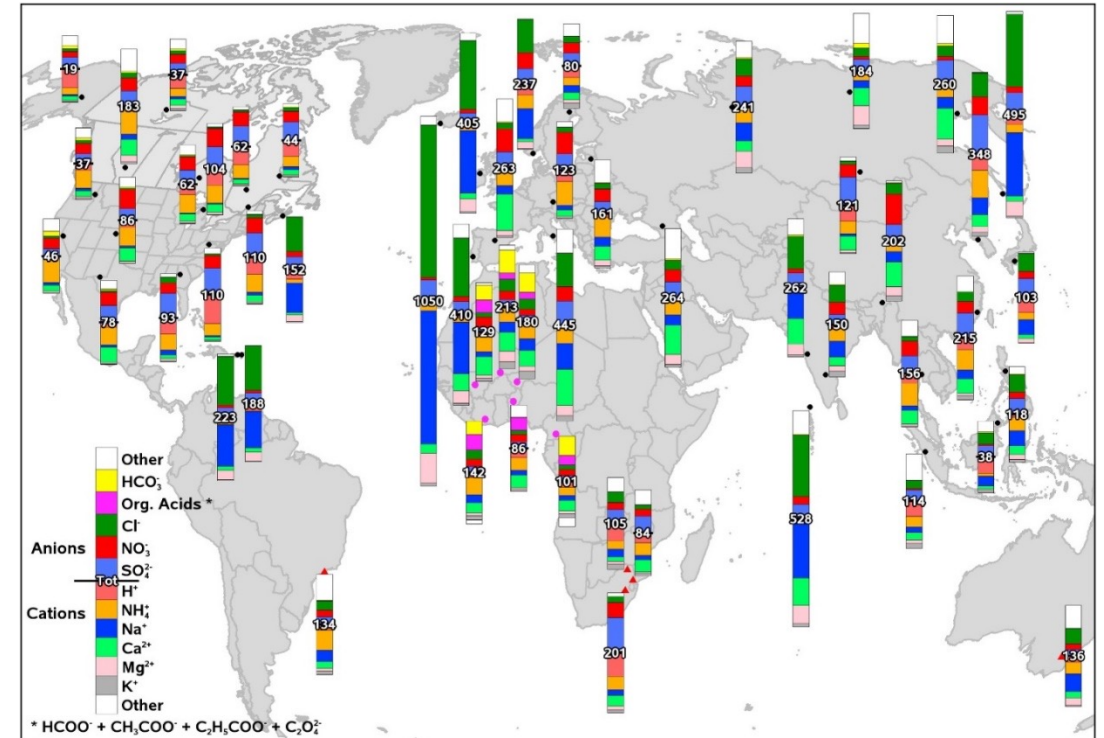
Masse et composition des dépôts humides

Forte variabilité temporelle, spatiale des dépôts d'aérosols atmosphériques par les précipitations



Mesures réseau INDAAF d'après Marticorena et al. (2017)

Contribution des différents ions dans la composition ionique des précipitations



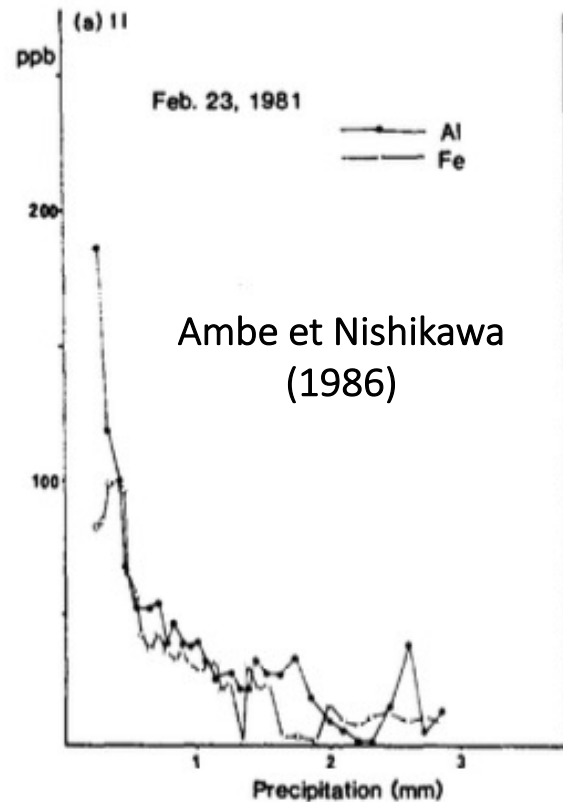
Vet et al. (2014)

⇒ Concomitance charge atmosphérique élevée en aérosols et pluie

Proximité des sources vs transport atmosphérique dans le nuage ; Caractéristiques des pluies

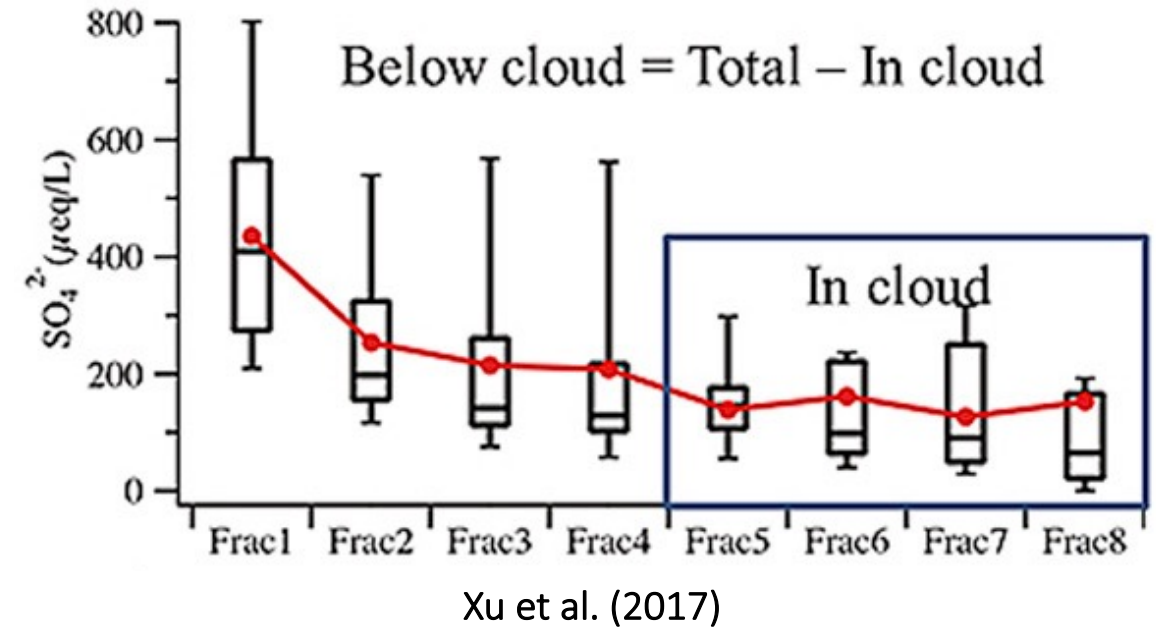
Atelier LEFE Interactions aérosols-nuages, 20-22 octobre 2021, Lille

Evolution de la composition chimique durant l'événement



Premiers 0.5 mm > 50 x composition moyenne
(Asman et al., 1983)

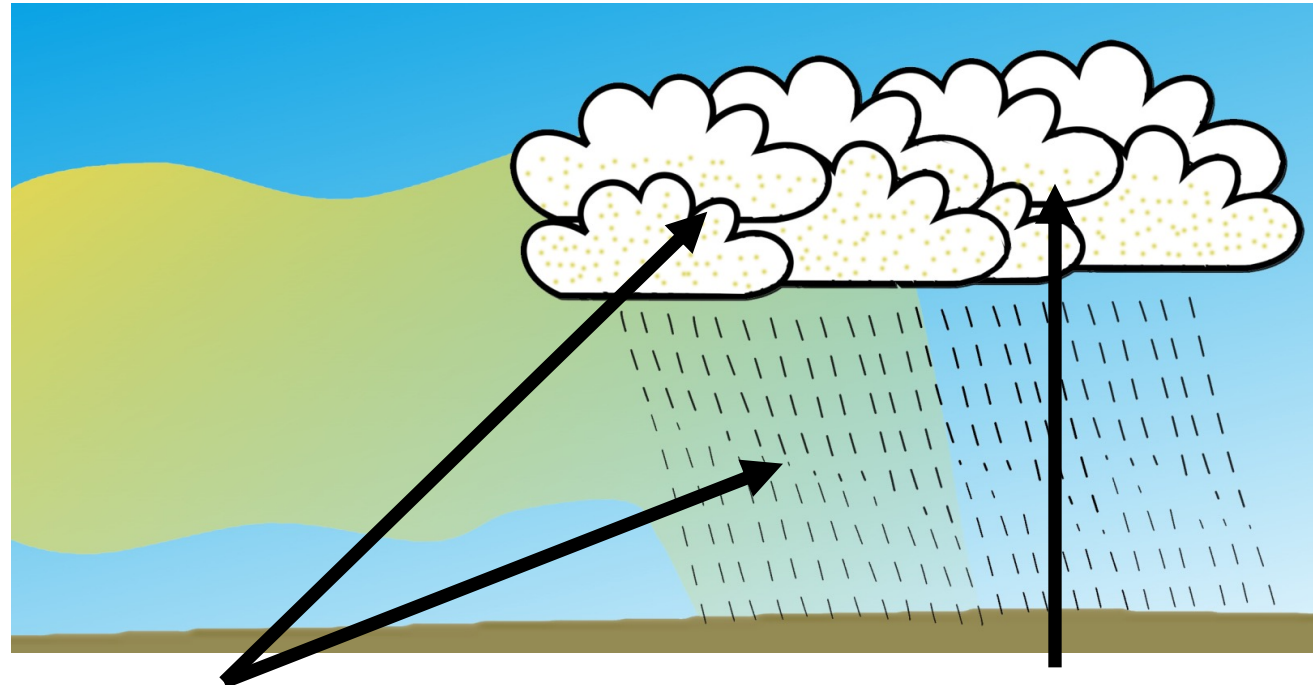
→ Premiers 0.5-1 mm de pluie crucial



Dernières fractions = processus in-cloud
(Aikawa and Hiraki, 2009; Desboeufs et al., 2010; Xu et al., 2017)

→ Fin de pluie (> 5 mm) est aussi importante

Processus de dépôt humide « dans » et « sous » le nuage

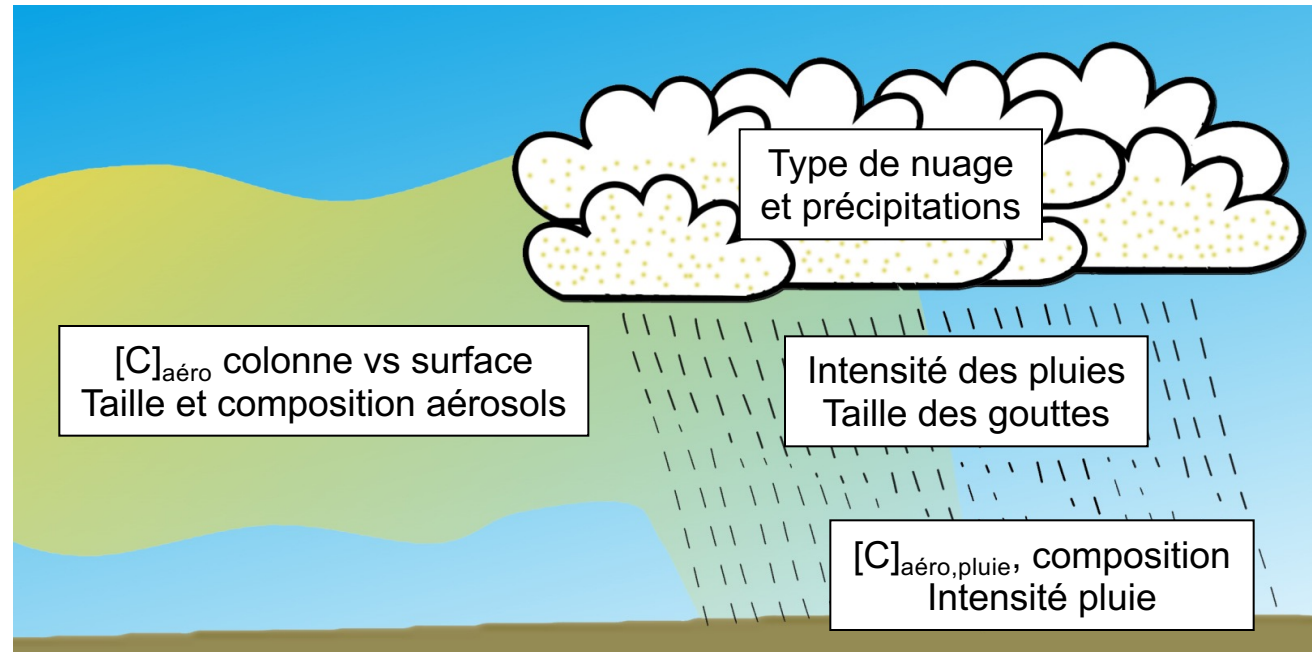


Efficacité de lessivage maximisée
quand il y a plus d'aérosols dans
l'atmosphère à lessiver

Une fois les aérosols sous le nuage
lessivés, ce sont les aérosols contenus
dans les gouttes du nuage qui font la
charge particulaire du dépôt humide

- ⇒ Contributions des deux processus : mesures séquentielles des pluies
- ⇒ Echantillonnage haute fréquence temporelle : collecteur grand volume

Paramètres à documenter



- ⇒ Juste avant et après la pluie : analyse de la composition des aérosols et étude de la dynamique des masses d'air
- ⇒ Pendant la pluie : mesures et analyses physico-chimiques multiples, grand nombre d'échantillons (collecte séquentielle)

Différentes situations météorologiques, de charge en aérosols...

Evolution de la composition chimique durant l'événement

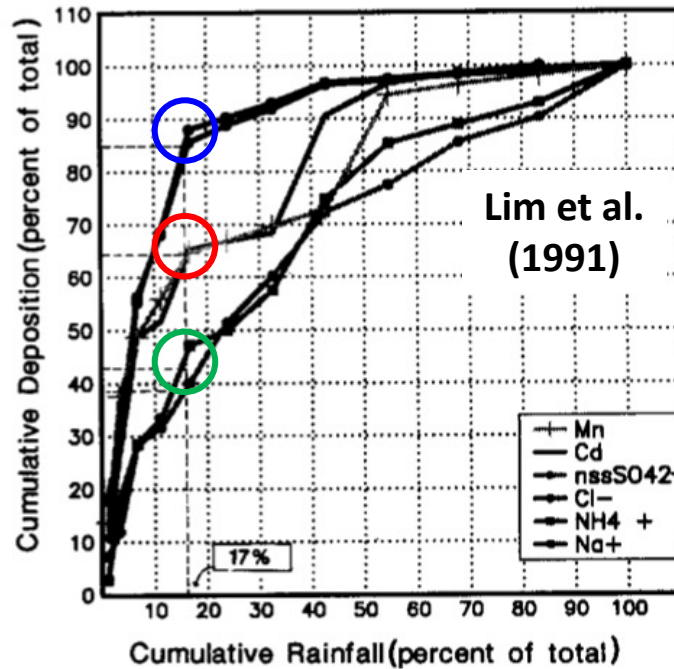


Fig. 9. Cumulative deposition of cations, anions and trace metals, as a function of cumulative rainfall.

Phase soluble (% déposé dans les premiers 17% de précipitation)

- Rapide : cations et anions majeurs (84%)
- Intermédiaire : Métaux traces (50-73%)
- Lent : NH_4^+ (47%) et nss-SO_4^{2-} (40%)

→ Mesurer la composition ionique et élémentaire

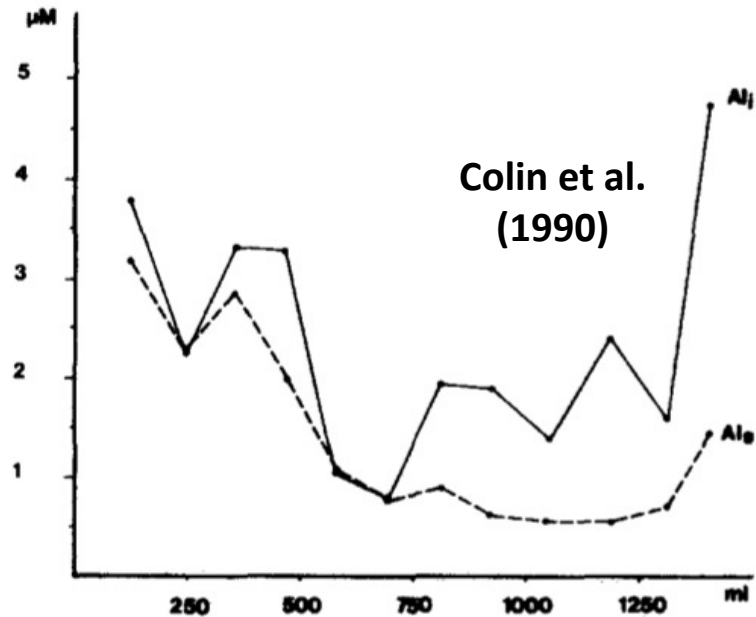


Fig. 3. Variations of the concentrations of soluble (Al_s) and insoluble (Al_i) fractions of aluminium in a snow event collected sequentially (11 March 1985).

Phase soluble vs insoluble

Différence de comportement entre fraction soluble et insoluble

→ Mesurer la phase soluble et insoluble

Projet DATSHA

Apporter de l'information sur les processus de dépôt humide via l'interprétation de mesures simultanées de dépôts humide et d'aérosols dans différents milieux

Projet LEFE-CHAT (INSU-CNRS) – FAL 2020-2022

→ Mesures long terme

Liens dépôts humides et dynamique

~10 années de mesures en milieu semi-aride (Sahel)

Cadre : SNO INDAAF



→ Mesures séquentielles

Vers une caractérisation plus exhaustive des dépôts humides ?

- En milieu semi-aride Médenine (Tunisie)
 - En milieu urbain (Ile-de-France)
 - ...

Cadre : soutien AAP interne LISA
LEFE/Air Liquide DATSHA
DT LISA



Collecte séquentielle

Développer une stratégie de prélèvement séquentiel des dépôts humides

Département technique du LISA

Collecteur séquentiel
de précipitations

Protocole d'analyse
chimique des dépôts
humides

Stratégie de mesures
in-situ

- Étudier l'évolution rapide des concentrations en début d'évènement
 - Étudier les contributions in-cloud / below cloud
 - Volume suffisant pour analyse composition ionique et élémentaire
 - Volume suffisant pour étude évolution de la phase insoluble
- Haute résolution temporelle de collecte
- Volume minimum pour chaque incrément

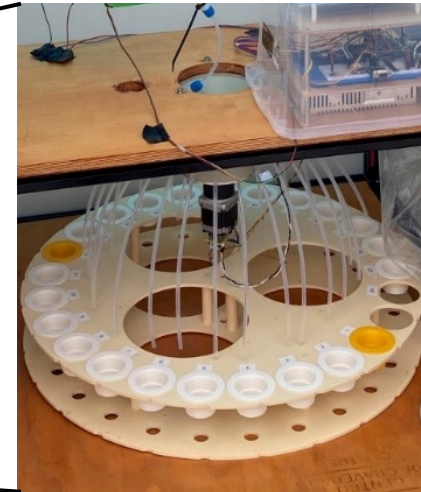
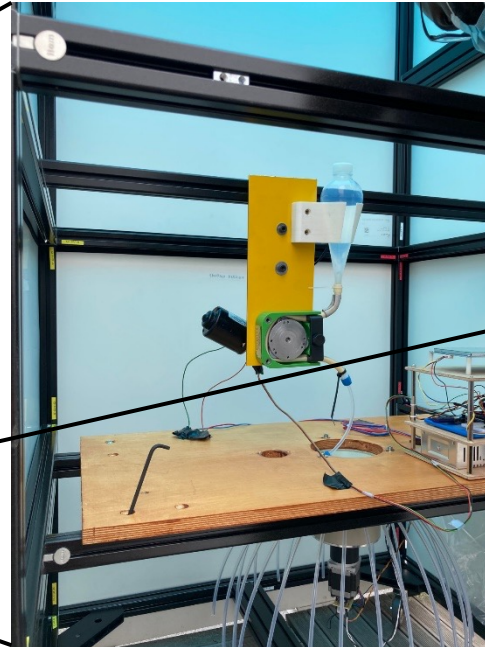
→ Collecteur séquentiel grand volume automatisé

Collecte séquentielle

1m



2m



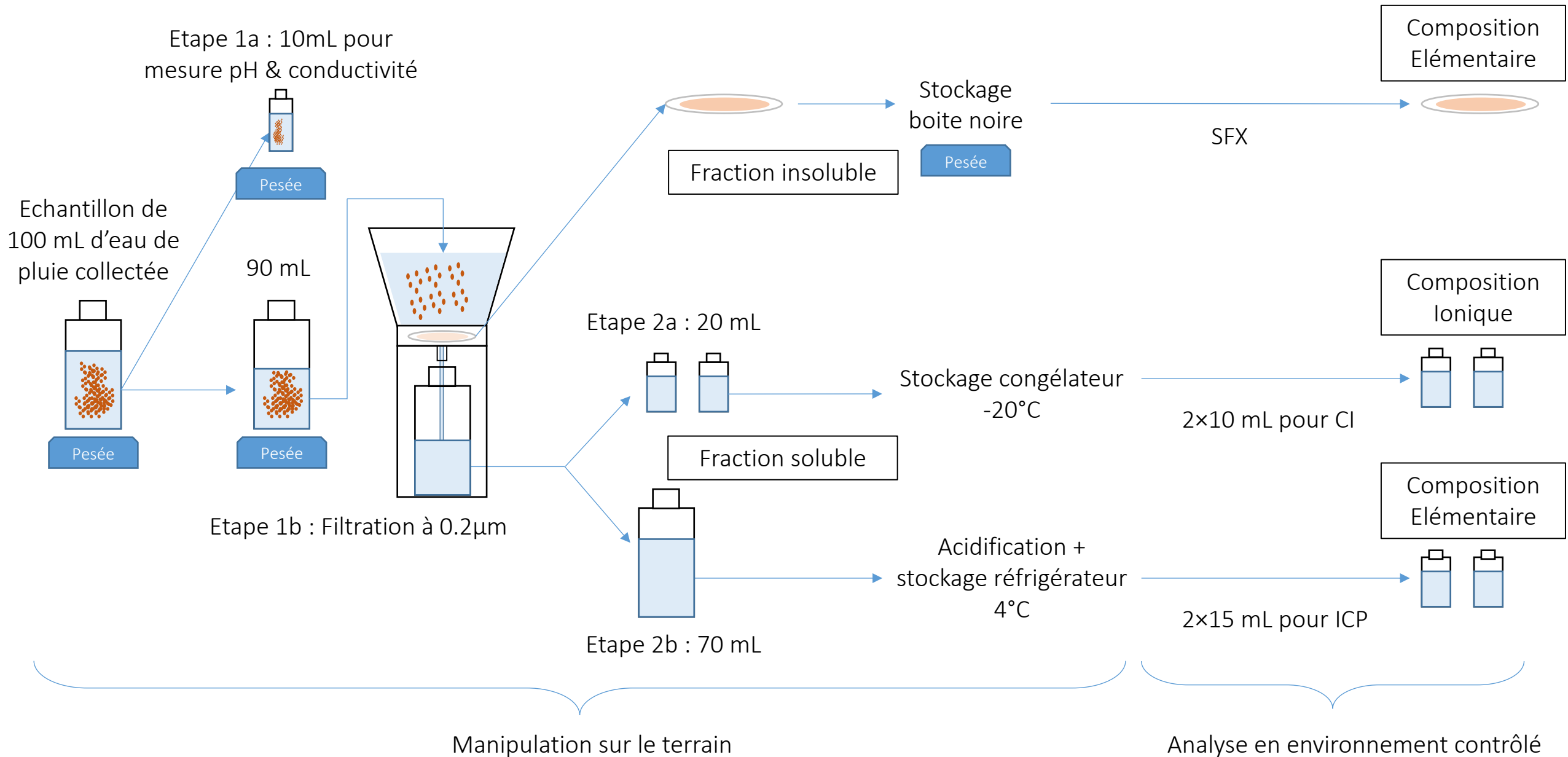
- Surface de collecte 1 m²
- Système de distribution automatique
- Prélèvement séquentiel jusqu'à 24 fractions

Audoux et al. en prép.

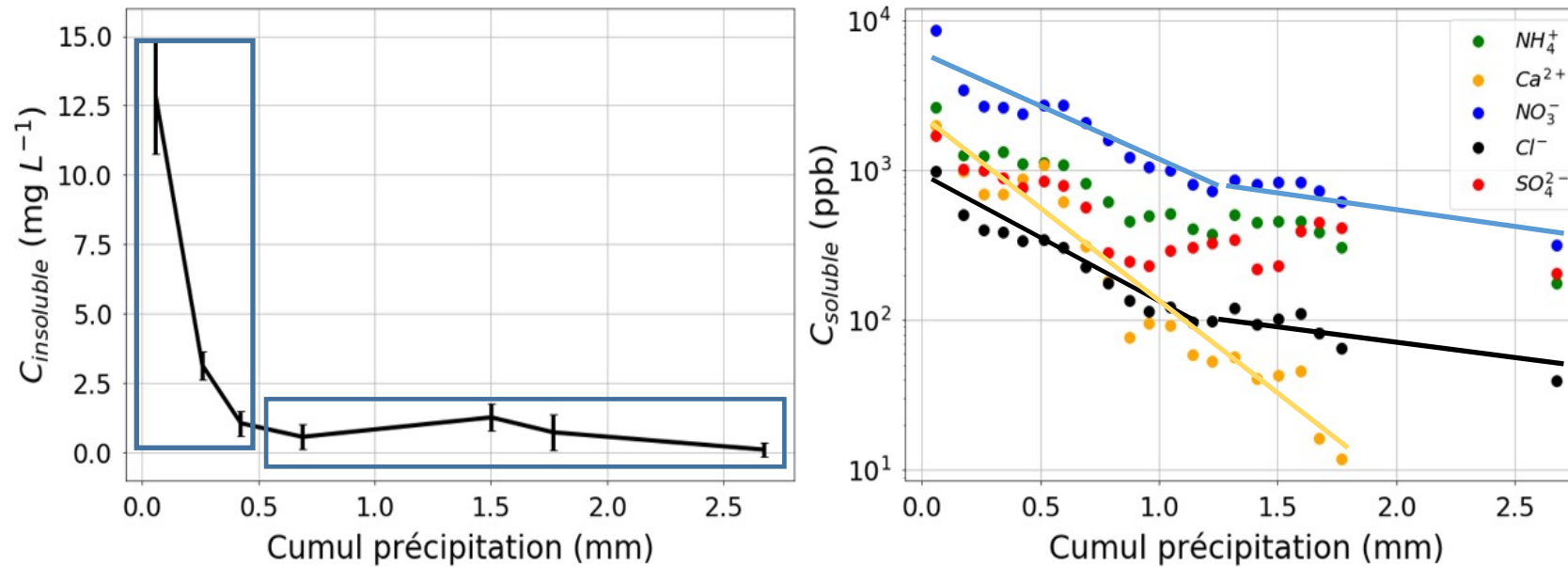
Caractéristiques générales du collecteur séquentiel

| Matière de l'entonnoir | Surface de collecte (m ²) | Résolution des incréments (mm) | Volume total (mm) | Matériel de la ligne de prélèvement | Matière des flacons de collecte | Analyses |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|
| Téflon / PP | 1.0 | 0.1 / 0.5 | 2.3 – 7 | Téflon / Néoprène | PP / Téflon | Composition ionique et élémentaire Soluble / Insoluble |

Collecte séquentielle



Collecte séquentielle en milieu urbain



Evolution de la concentration massique de la phase insoluble (mg L^{-1}) (gauche) et de certains ions majeurs de la phase soluble (ppb) (droite) en fonction du cumul de précipitation (mm) pour la pluie du 27/07/2021 collecté sur le site instrumenté par le LISA de l'UPEC

Audoux et al. en prép.

Collecte séquentielle

Mesures simultanées des aérosols et des précipitations



Suivi des concentrations massiques
→ TEOM



Distribution en taille des aérosols
→ WELAS / FIDAS



Composition chimique de l'aérosol
→ Collecte sur filtres

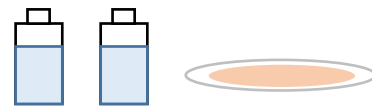
Coefficient de lessivage (s^{-1})

Ratio de lessivage

Hauteur du plafond nuageux
→ Ceilomètre

Distribution en taille, vitesse de chute des gouttelettes
→ Disdromètre

Masse et composition chimique de la phase soluble et insoluble
→ Collecteur séquentiel de dépôt

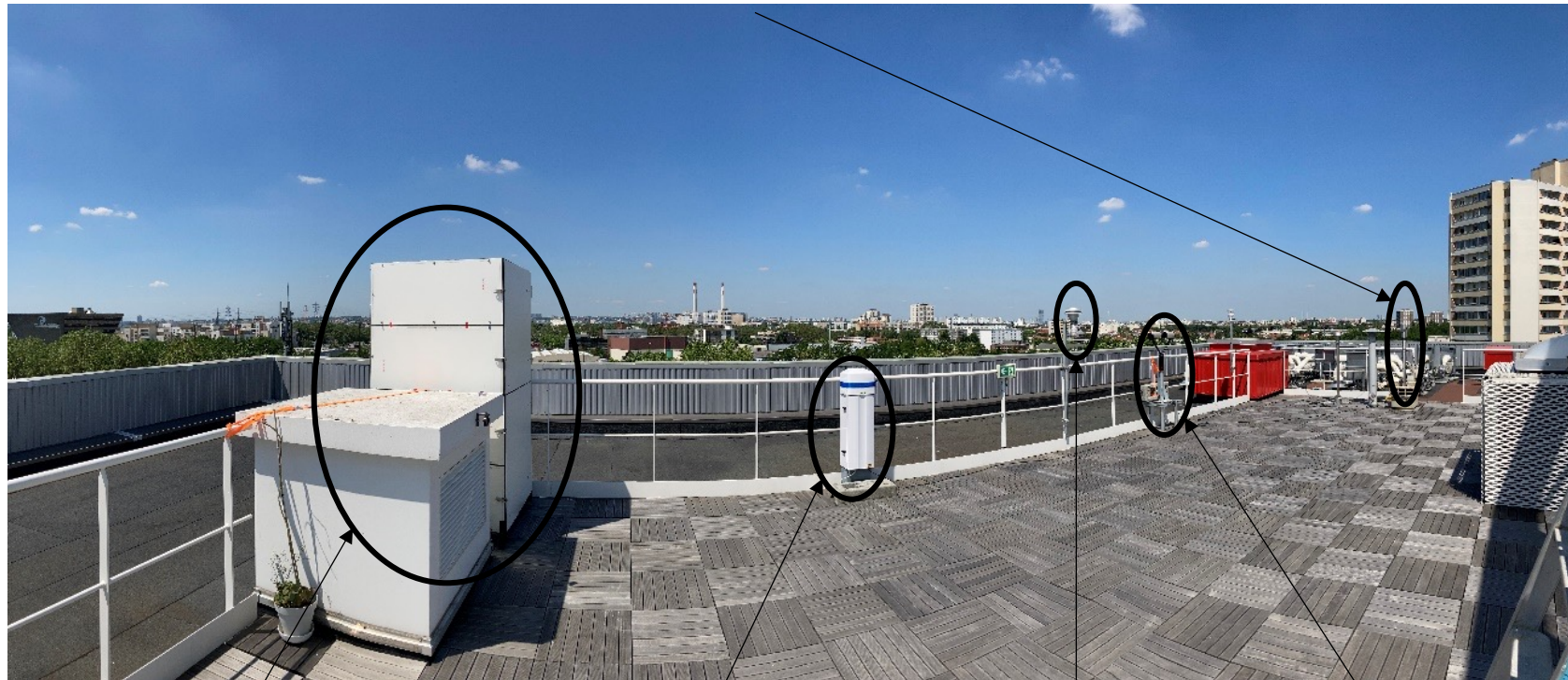


Collecte séquentielle

Caractérisation des dépôts humides en milieu urbain

Mesures depuis la station qualité de l'air du LISA - Créteil

Compteur de
particules : FIDAS



Collecteur
séquentiel

Ceilomètre

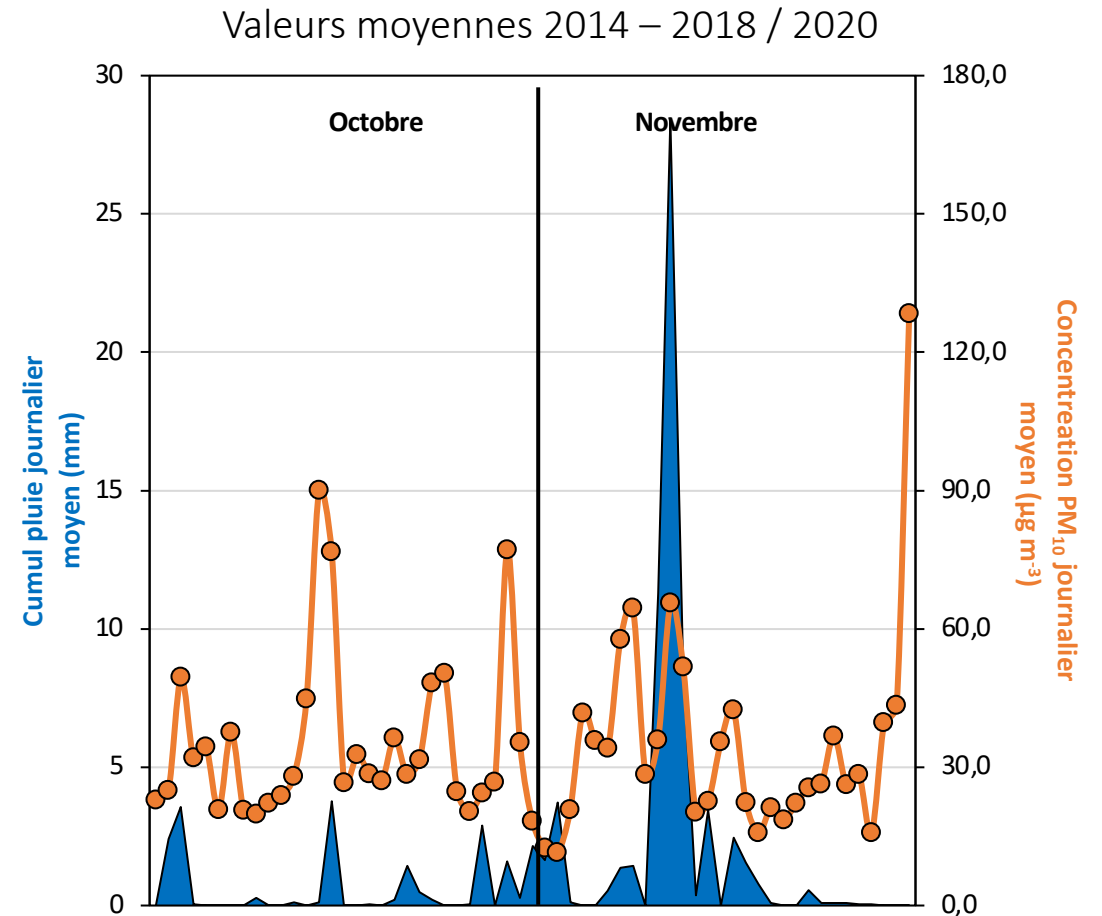
Prélèvement
sur filtre

Disdromètre

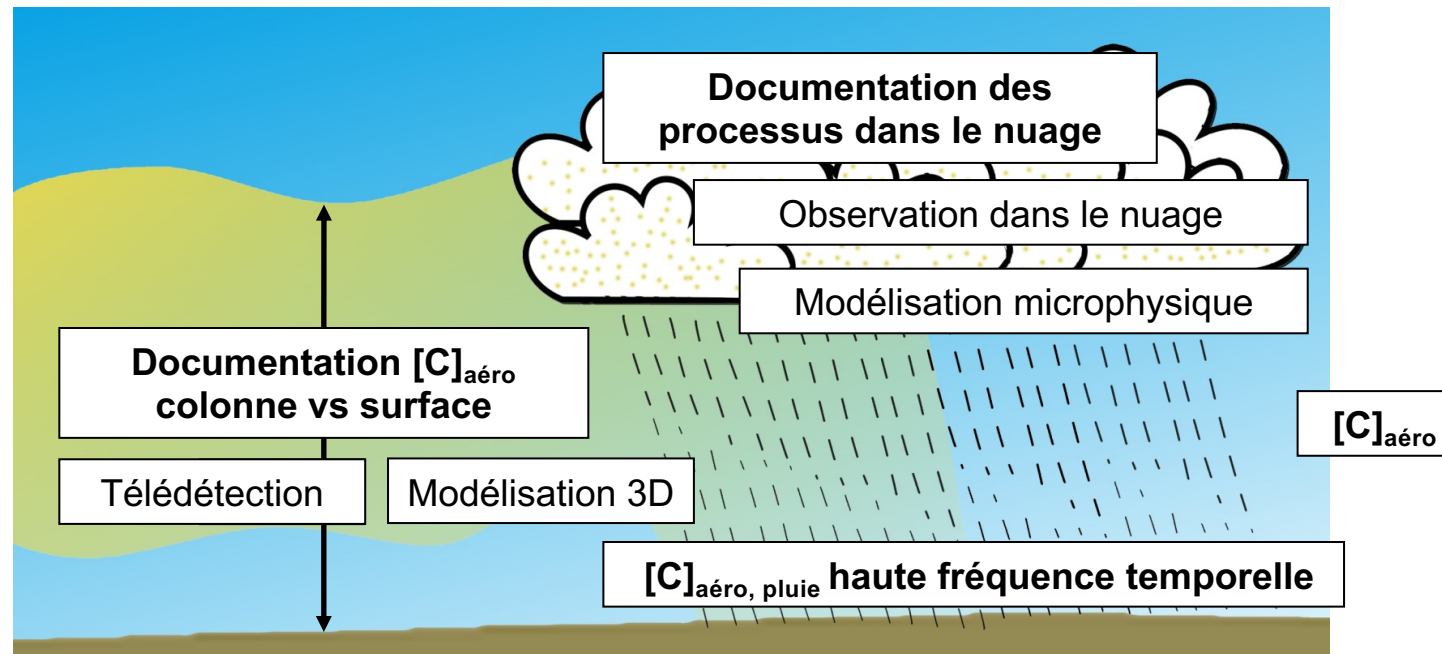
Collecte séquentielle

Caractérisation des dépôts humides en milieu semi-aride

Mesures depuis la station de l'Institut des Régions Arides (IRA) – Médenine (Tunisie)



Verrous et perspectives



Caractérisation de la composition de l'atmosphère juste avant et juste après la pluie à partir de mesures de surface avec peu de contrainte sur la colonne

⇒ Documentation plus fine [C]_{aéro} colonne vs surface
cas d'étude homogène vs non-homogène
modélisation dynamique et composition masses d'air

Discussion de la contribution relative des processus sous nuage et dans le nuage à partir de mesures haute fréquence de la composition des pluies collectées à la surface

⇒ Documentation des processus dans le nuage
observation in-situ ?
modélisation microphysique du nuage