

# Prototype de collecte des retombées atmosphériques sèches et humides : description du dispositif, mode de fonctionnement et premiers résultats pour les métaux dissous

A. Dembélé<sup>1,2\*</sup>, C. Becouze<sup>1</sup>, J.-L. Bertrand-Krajewski<sup>1</sup>, B. Barillon<sup>2</sup>, M. Coquery<sup>3</sup>, C. Cren-Olivé<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, INSA Lyon, LGCIE – Laboratoire de Génie Civil et d’Ingénierie Environnementale, 34 avenue des arts, F-69621 Villeurbanne Cedex, France.

<sup>2</sup> CIRSEE – Suez Environnement, 38 rue du président Wilson, F-78230 Le Pecq, France.

<sup>3</sup> Cemagref de Lyon, 3bis quai Chauveau, CP 220, F-69336 Lyon Cedex 09, France

<sup>4</sup> SCA, CNRS, BP 22, 69390 Vernaison, France

(E-mail\* : [abel.dembele@insa-lyon.fr](mailto:abel.dembele@insa-lyon.fr))

## Résumé

La directive cadre européenne de 2000 (DCE-2000) a classé 41 substances comme prioritaires pour lesquelles des normes de qualité (NQ) ont été fixées pour garantir un bon état écologique des masses d’eau d’ici 2015. Cette directive est à l’origine du projet ESPRIT dans lequel s’intègre cette étude. Les retombées atmosphériques contribuent à la masse totale des substances prioritaires présentes dans les rejets urbains de temps de pluie (RUTP). Cette contribution est actuellement très peu évaluée à cause principalement des difficultés d’échantillonnage. Sa connaissance permettrait de mieux comprendre et par conséquent de mieux modéliser les flux de ces substances. Pour cela, nous avons développé un prototype d’échantillonneur des retombées atmosphériques sèches et humides. Le dispositif comprend deux bacs de collecte ouverts en alternance : un récepteur des retombées atmosphériques humides ouvert pendant les événement pluvieux et un récepteur des retombées atmosphériques sèches ouvert en temps sec. La reconnaissance du type de temps est rendue possible grâce à l’analyse en temps réel, par un automate, des informations pluviométriques via un pluviographe à pesée installé sur site. L’article décrit le fonctionnement de l’échantillonneur et donne quelques premiers résultats sur les concentrations en métaux en phase dissoute.

## Mots clefs

Retombées atmosphériques sèches et humides; bac récepteur; intensité moyenne et indicative de la pluie; simulation; pluviographe; temps sec et de pluie ; substances prioritaires

## INTRODUCTION

Les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sont constitués de l’ensemble des eaux rejetées i) par les installations d’épuration (mélange d’eaux usées et pluviales traitées), ii) par les déversoirs d’orage (mélange d’eaux usées et pluviales non traitées) et iii) par les exutoires pluviaux (eaux pluviales généralement non traitées), pendant un événement pluvieux et pendant la période de temps sec qui lui succède, au cours de laquelle le système d’assainissement n’a pas encore retrouvé un fonctionnement normal de temps sec. Les retombées atmosphériques, objet de cet article, sont une des sources des substances polluantes transportées par les RUTP. On distingue deux types de retombées atmosphériques : les retombées sèches (aérosols, poussières) et humides (eau de pluie).

Plusieurs études relatives à la qualité des eaux ont montré la part importante des retombées atmosphériques (par exemple Krom *et al.* 1999 ; Azimi, 2004 ; Rossini *et al.* 2005) dans la charge polluante des RUTP. La majorité de ces études porte sur les retombées humides. Quand aux retombées sèches, si elles sont largement étudiées pour une meilleure connaissance de la qualité de l’air, elles ne le sont presque pas dans le but de quantifier leurs contributions dans le bilan global des masses de substances polluantes des RUTP. De ce fait, les échantillonneurs classiques de poussières, tels que le CIP10 (Arelco ARC, 2004), utilisant des systèmes d’aspiration de l’air ne

sont pas adaptés au besoin de l'hydrologue urbain qui souhaiterait connaître l'apport des retombées atmosphériques naturelles dans les RUTP.

Le travail présenté dans cet article est effectué dans le cadre du projet ESPRIT (Évaluation des substances prioritaires dans les rejets inhérents au temps de pluie) qui constitue une des actions du projet Rhodanos « Traitement des eaux » du pôle de compétitivité Axelera « Chimie et environnement ». L'objectif général d'ESPRIT est de quantifier et de modéliser les flux de substances prioritaires dans les RUTP (Becouze *et al.*, 2008). Cet article présente principalement la description du prototype d'échantillonneur des retombées atmosphériques que nous avons développé pour les besoins de notre étude. Il présente également quelques uns des premiers résultats de l'analyse des métaux en phase dissoute dans les retombées atmosphériques.

## **DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DE L'ECHANTILLONNEUR**

L'échantillonneur permet la collecte des retombées atmosphériques sèches et humides au moyen de deux bacs séparés fonctionnant en alternance, dont l'ouverture et la fermeture sont automatisées et pilotées en fonction des informations pluviométriques fournies par un pluviographe installé sur site.

### **Emplacement des dispositifs**

Les prototypes ont été développés et installés sur les sites de Chassieu et Ecully, sur le territoire du Grand Lyon. Ces sites instrumentés font partie de l'Observatoire des Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU, [www.othu.org](http://www.othu.org)) dans l'agglomération lyonnaise équipés de station de mesure. Le site de Chassieu (185 ha, zone industrielle, réseau séparatif pluvial) se trouve à l'Est de Lyon et le site d'Ecully (245 ha, zone résidentielle, réseau unitaire) se situe dans l'Ouest lyonnais.

### **Description**

La **Figure 1** schématise les composants de l'échantillonneur et la **Figure 2** présente une photo du prototype installé à Chassieu. L'échantillonneur comprend deux bacs en polyéthylène (800× 600× 220 mm) : le premier collecte les retombées atmosphériques sèches, l'autre les retombées humides. Nous les appellerons par la suite respectivement bac sec et bac humide. Leurs surfaces collectrices ont été recouvertes de téflon pour empêcher les éventuelles interactions (relargage, adsorption, ...) entre le polyéthylène et les substances (notamment organiques) contenues dans les retombées atmosphériques. Les bacs sont montés sur un support en aluminium fixé au sol et haut d'environ 1.5 m pour éviter de collecter des éclaboussures de la pluie arrivant au sol. Leur fermeture est assurée par des volets roulants électriques étanches, équipé chacun d'une alimentation électrique (6 Volts – 600 Ampères). Un inverseur a été intégré au circuit électrique du système pour empêcher l'ouverture simultanée des deux bacs. La collecte des échantillons est effectuée au moyen d'un tuyau en téflon muni d'un robinet. Enfin, un pluviographe à pesée (OTT Pluvio 200) complète le système et fournit les informations pluviométriques nécessaires à la commande automatisée de l'échantillonneur. La commande du système est assurée par un automate OTT LogoSens DataLogger relié à la centrale d'acquisition de données.

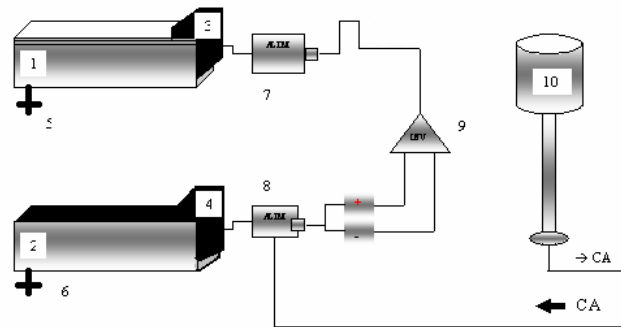


Figure 1. Composants du prototype de collecte des retombées atmosphériques (CA = centrale d'acquisition; 1-2 = bacs sec et humide; 3-4 = volets roulants respectivement en position ouverte et fermée; 5-6 = dispositif de collecte des échantillons; 7-8 = alimentations électriques; 9 = inverseur électrique; 10 = pluviographe à pesée)

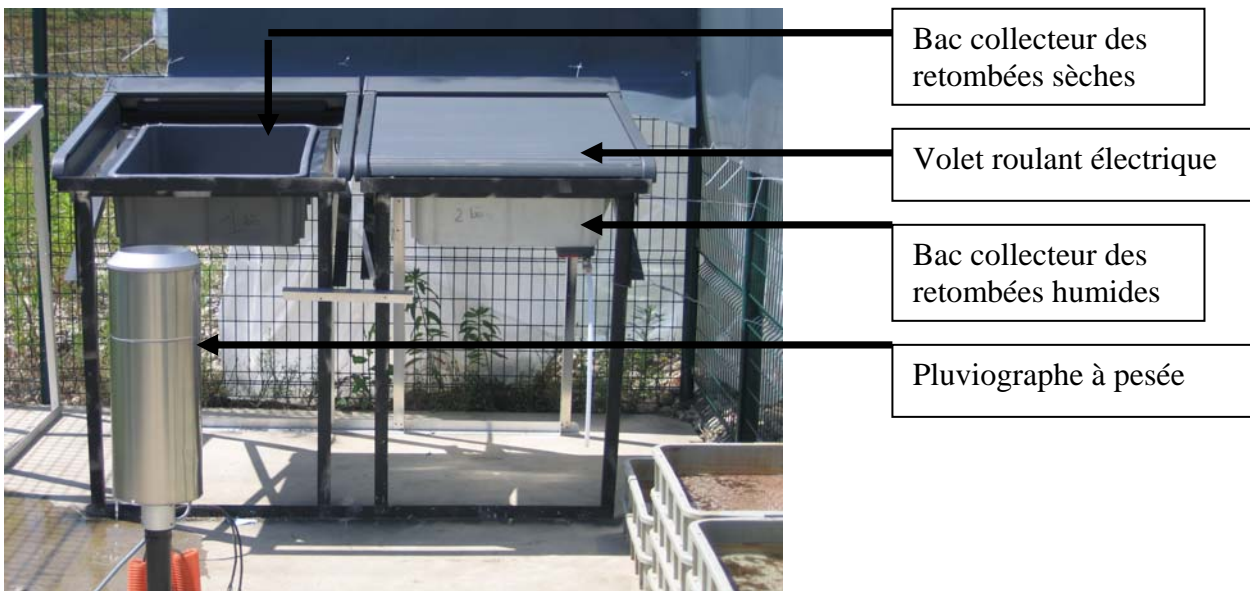


Figure 2. Prototype d'échantillonneur des retombées atmosphériques en mode temps sec à Chassieu

### Fonctionnement

Les informations pluviométriques (intensités de pluie) enregistrées par le pluviographe sont envoyées à une centrale d'acquisition. Un automate analyse ensuite ces informations et vérifie si l'intensité de la pluie est supérieure à un seuil minimum fixé comme caractéristique du temps de pluie. Ce seuil a été fixé à 0.1 mm/h. Si ce seuil est atteint ou dépassé, l'automate envoie une commande de mise en mode actif du système qui correspond à l'ouverture du bac humide et à la fermeture du bac sec. Sinon, le système reste en mode inactif correspondant au bac sec ouvert et au bac humide fermé.

### Programmation du système

Par convention, on considère qu'on est en période pluvieuse à partir d'une intensité de pluie supérieure ou égale à 0.1 mm/h. Plusieurs étapes décrites ci-dessous ont été nécessaires à la programmation du système.

### Conversion de la masse de pluie en intensité de pluie

A partir des pluviographes installés sur les sites d'étude, on peut acquérir les informations pluviométriques de deux façons différentes: i) en continu sous forme de masse de pluie au pas constant d'une minute et ii) en discontinu sous forme d'intensité de pluie à la minute. Ce dernier mode est dit discontinu car seules sont enregistrées les intensités de pluie (en mm/min) supérieures à 0. Nous avons choisi le mode continu pour l'acquisition des données pluviométriques. L'équation 1 permet de convertir les masses de pluie en intensités de pluie :

$$I_p = \frac{\Delta M}{\Delta t \times \rho \times S_p} \quad (1)$$

avec  $I_p$  = intensité de pluie (mm/min) ;  $\Delta M$  = différence de masse entre deux pas successifs (g) ;  $\Delta t$  = durée entre deux pas successifs (min) ;  $\rho$  = masse volumique de l'eau ( $10 \text{ g/mm}^3$ ) et  $S_p$  = surface collectrice du pluviographe ( $2000 \text{ mm}^2$ ).

### Recherche d'un pas optimum de scrutation

Il s'agit de trouver le pas de temps optimum auquel il faut calculer l'intensité de la pluie et la comparer à l'intensité minimum caractéristique du temps de pluie. Idéalement, ce pas de temps doit être le plus faible possible. En effet, plus il est élevé, plus le risque de manquer le début des pluies augmente. L'intensité minimum caractéristique du temps de pluie au pas de scrutation considéré se calcule par l'équation 2 :

$$I_{ms} = \frac{P_s \times I_{\min}}{UT} \quad (2)$$

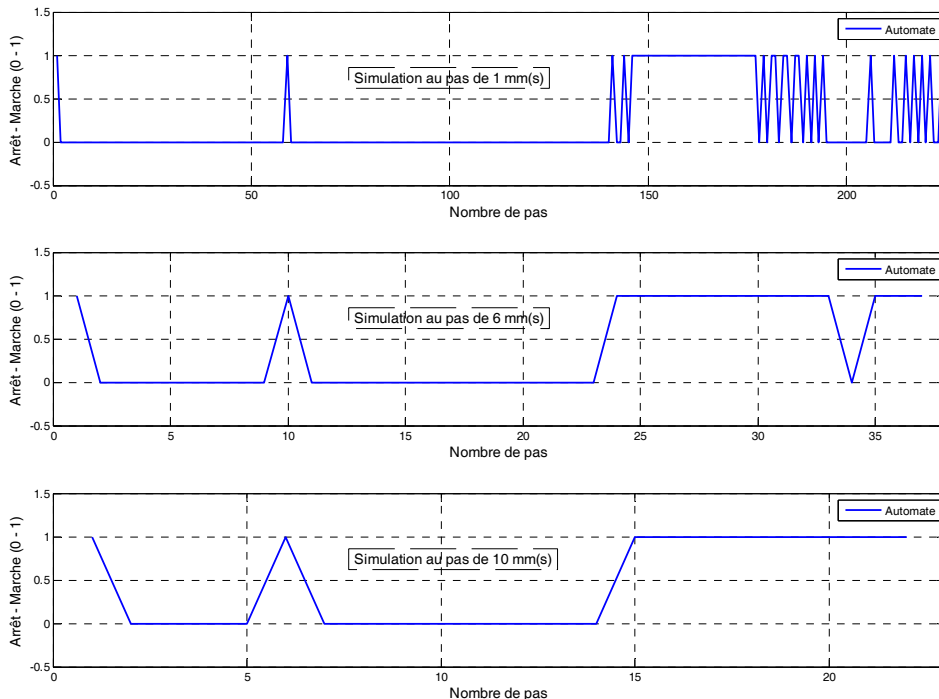


Figure 3. Résultats des simulations du fonctionnement de l'échantillonneur pour la détermination d'un pas optimum de scrutation

avec  $I_{ms}$  = intensité minimum caractéristique de la pluie au pas de scrutation considéré (mm/min) ;  $I_{min}$  = intensité minimum caractéristique de pluie au pas de 1 min (mm/min) et  $UT$  = unité de temps utilisée (min).

Sur plusieurs pluies de caractéristiques différentes (durée, intensité moyenne, etc.), cette procédure de recherche du pas optimum de scrutation a été testée. La Figure 3 montre l'exemple d'une pluie analysée avec différents pas de scrutation. Les caractéristiques de cette pluie sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques de la pluie du 01/04/07 enregistrée sur le site de Chassieu  
(Dp = durée de la pluie; Imoy = intensité moyenne de la pluie; Imax = intensité max de la pluie; Ht = hauteur cumulée de la pluie; DTS = durée de temps sec précédent la pluie)

Date de début	lieu	Dp (h)	Imoy (mm/h)	Imax (mm/h)	Ht (mm)	DTS (h)
01/04/07 09:09	Chassieu	03h44	1.50	20.4	5.6	6h58

La Figure 3 doit être lue de la façon suivante : 0 correspond à l'état inactif du système (bac sec ouvert) et 1 à son état actif (bas humide ouvert). On observe que plus le pas de scrutation est petit, plus fréquente est l'ouverture du bac humide. Cette ouverture fréquente risque d'entraîner l'usure mécanique prématurée des volets roulants. Or nous avons indiqué plus haut que le pas de scrutation devrait idéalement être petit. Il nous faut donc trouver un asservissement des bacs plus élaboré.

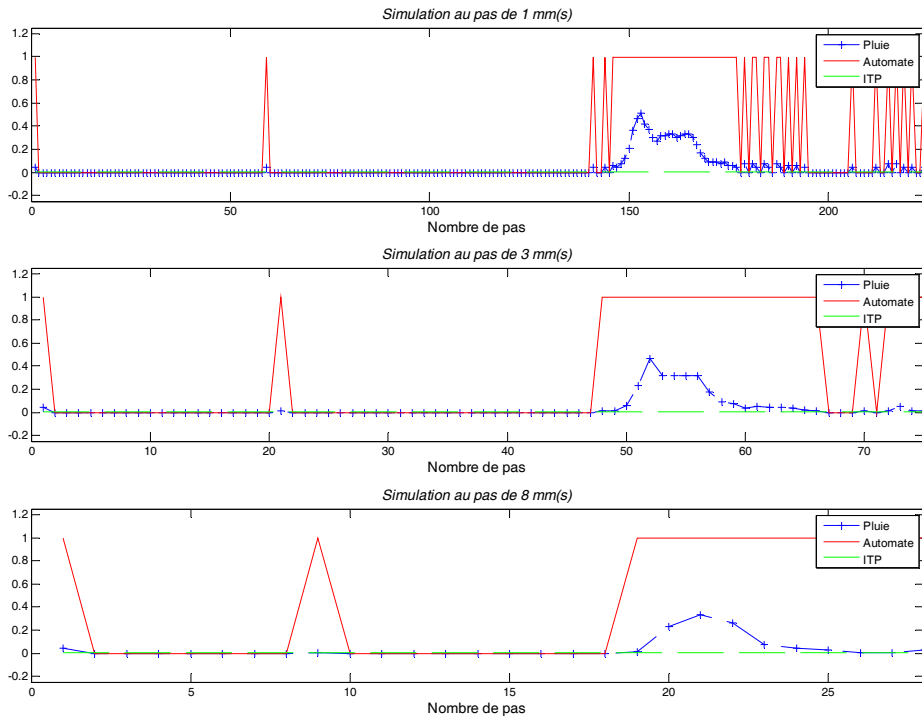
#### *Simulation de fonctionnement du dispositif*

Pour résoudre la difficulté évoquée ci-dessus, la notion de pas primaire et secondaire de scrutation a été introduite dans le modèle de fonctionnement. Elle consiste à scruter les intensités de pluie avec un pas de scrutation petit (pas primaire) tant que l'on est période sèche (intensité < 0.1 mm/h). Lorsqu'une pluie commence, le système passe à l'état actif et on augmente la durée du pas de scrutation (pas secondaire). La Figure 4 montre le résultat de la simulation du fonctionnement de l'échantillonneur avec ce mode de scrutation, à nouveau pour la pluie du 01/04/07 décrite dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Sur chaque graphique de la Figure 4, on distingue 3 courbes: la courbe discontinue avec une croix montre l'évolution de l'intensité de pluie au cours du temps, la courbe pleine continue montre les états du systèmes (actif ou inactif) et la courbe horizontale discontinue correspond à l'intensité minimale de temps de pluie. L'augmentation du pas de scrutation après le début de la pluie diminue le nombre des ouvertures répétées des volets roulants au cours de l'événement pluvieux.

#### *Conclusion de la simulation du fonctionnement du système*

Au vu des résultats de simulation, l'échantillonneur a été configuré avec un pas primaire de 1 minute et un pas secondaire 15 minutes. On estime qu'un pas secondaire de durée raisonnablement longue (de 10 à 30 min) ne devrait pas affecter la qualité des échantillons de retombées humides, même s'il ne pleut pas (le bac humide reste ouvert pendant toute la durée du pas secondaire).



**Figure 4.** Simulation du fonctionnement de l'échantillonneur après introduction des pas de scrutation primaire (1 min) et secondaire (1, 3 et 8 min)

### Contrôle du volume d'eau de pluie dans le bac humide

Pour effectuer ce contrôle, on procède à la mesure volumétrique de la pluie tombée dans les bacs humide et sec à la fin de chaque événement pluvieux. Le volume collecté le cas échéant dans le bac sec correspond à la fraction de la pluie qui n'est pas tombée dans le bac humide car, sauf dysfonctionnement, les deux bacs ne peuvent pas être ouverts simultanément. Le Tableau 2 montre les volumes mesurés dans les deux bacs et les proportions de volume de pluie manquant dans le bac humide. Ces résultats sont ceux de l'événement pluvieux du 02/07/2007 enregistré sur les sites de Chassieu et Ecully. On peut en conclure qu'au minimum 95 % du volume total de la pluie tombent dans le bac humide au cours d'un événement pluvieux, ce qui est très satisfaisant. Le volume de pluie manquant dans le bac humide se calcule par la relation donnée par l'équation 3 :

$$V_m = \frac{V_s}{(V_h + V_s)} \times 100 \quad (3)$$

avec  $V_m$  = fraction du volume de pluie manquant dans le bac humide (%);  $V_s$  = volume de pluie collecté dans le bac sec (L) et  $V_h$  = volume de pluie collecté dans le bac humide (L).

**Tableau 2.** Résultats du contrôle de volume d'eau pluie collectée dans les bacs humides

Date pluie	Lieu	$V_h$ (L)	$V_s$ (L)	$V_m$
02/07/08	Chassieu	9.7	0.516	5
02/07/08	Ecully	17	0.860	0.4

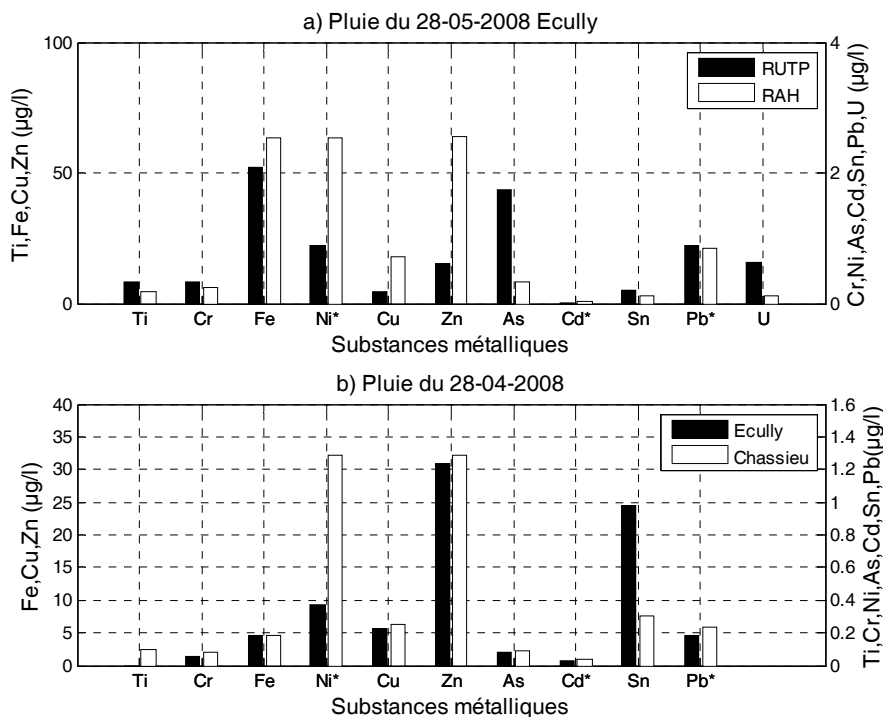
## COLLECTE DES ECHANTILLONS ET ENTRETIEN DE L'ECHANTILLONNEUR

Deux flaconnages sont utilisés pour la collecte des échantillons: i) l'échantillon destiné au dosage des substances organiques est collecté dans des flacons en verre ambré et ii) l'échantillon destiné au dosage des métaux est collecté dans des flacons en polyéthylène. La période d'échantillonnage des retombées humides est événementielle et celle des retombées sèches est en moyenne de trois semaines. Avant de collecter les échantillons de retombées sèches, on y ajoute un volume connu d'eau ultra pure MilliQ facilitant la collecte.

L'entretien de l'échantillonneur consiste principalement à nettoyer les bacs après chaque collecte d'échantillons et à faire des blancs de prélèvement. Le nettoyage est effectué à l'aide d'une brosse, de savon et d'eau du robinet sous pression. Une fois nettoyés, les bacs sont rincés à l'eau MilliQ. Pour constituer un blanc des bacs, on utilise une eau de propriétés relativement proches de celle d'une eau de pluie. Dans notre cas, nous utilisons l'eau d'EVIAN qui a un pH proche de celui des eaux de pluie (4-5). On verse cette eau dans les bacs propres pendant 24 heures avant analyse.. L'analyse des ces blancs n'a montré aucune contamination par le matériau des bacs.

## PREMIERS RESULTATS SUR LES METAUX EN PHASE DISSOUTE

Ce paragraphe présente quelques uns des premiers résultats obtenus sur les métaux en phase dissoute dans les retombées humides. Les analyses sont effectuées par ICP-MS sur les fractions dissoutes après filtration à 0.45 µm sur filtre PVDF, selon les protocoles présentés en détail dans Becouze *et al.* (2008).



**Figure 5.** Comparaisons des concentrations métalliques en phase dissoute dans les retombées atmosphériques humides avec les concentrations observées dans les RUTP à Ecully (en haut) et dans les retombées humides à Ecully et Chassieu (en bas)

La Figure 5 montre les concentrations de quelques métaux analysés en phase dissoute. Elles apparaissent toutes supérieures aux limites de quantification respectives. Elles sont du même

niveau, voire supérieures (pour Fe, Ni, Cu et Zn) à celles mesurées dans la fraction dissoute des RUTP (Figure 5 en haut). Sauf pour le nickel et l'étain, les concentrations dans les retombées humides varient peu d'un site à l'autre pour un même événement pluvieux (Figure 5 en bas).

## CONCLUSION

Le prototype d'échantillonneur permet la collecte automatique des retombées atmosphériques sèches et humides. L'automatisation de son fonctionnement est réalisée grâce à l'analyse en temps réel d'informations pluviométriques (intensité de pluie) fournies par un pluviographe à pesée installé sur site. Le recouvrement des surfaces collectrices des bacs en polyéthylène par du téflon permet d'assurer la non perturbation des échantillons récoltés. Le contrôle volumique a montré que pour un événement pluvieux 95 % au moins du volume d'une pluie sont collectés dans le bac humide.

Les premières analyses ont fournis des résultats intéressants sur les métaux en phase dissoute. Les campagnes d'échantillonnage se poursuivent : les nouvelles données obtenues permettront d'estimer les contributions des retombées atmosphériques sèches et humides aux flux polluants des RUTP et d'élaborer des modèles de calcul de ces flux.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'action de recherche ESPRIT du projet RHODANOS du pôle de compétitivité Axelera « Chimie Environnement ». Les partenaires sont : INSA-Lyon (coord.), Cemagref-Lyon, SCA-CNRS, Suez Environnement, SDEI et le Grand Lyon. Le projet est financé par la Région Rhône-Alpes, le Grand Lyon, le FCE - Fonds de Compétitivité des Entreprises, Suez Environnement et l'ANRT. Site internet : [www.esprit-rhodanos.fr](http://www.esprit-rhodanos.fr)

## REFERENCES

- Azimi S. (2004). Sources flux et bilan des retombées atmosphériques de métaux en Île-de-France. Thèse de doctorat : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 2004, 273 p. + annexes.
- Arelco ARC (2004). CIP10 - Capteur individuel de poussières. Fontenais-sous-Bois (France) : Société Arelco ARC, notice technique, décembre 2004, 34 p. (disponible sur: [http://www.sante-securite.com/CIP10\\_M\\_Fr.pdf](http://www.sante-securite.com/CIP10_M_Fr.pdf))
- Becouze C., Dembélé A., Bertrand-Krajewski J.-L., Coquery M., Cren C. (2008). Évaluation des flux de polluants prioritaires dans les rejets urbains de temps de pluie. *Actes des JDHU 2008 - Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine*, Nancy, France, 14-15 octobre 2008, 8 p.
- EC (2000). Directive of European Parliament of the Council n° 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy. Luxembourg (Luxembourg): European Union, 23 October 2000.
- Krom M. D., Gang P., Mortimer R. (1999). Atmospheric input of nitrogen and phosphorus to the Southeast Mediterranean: sources, fluxes, and possible impact. *Limnol. Oceanogr.*, 44(7), 1683-1692.
- Rossini P. (2005). Atmospheric fall-out of POPs (PCDD-Fs, PCBs, HCB, PAHs) around the industrial district of Porto Marghera, Italy. *Science of the Total Environment*, 349, 190-200.