

## Impacts du développement de Ho Chi Minh-Ville sur les teneurs en Sb, Zn et Cr associés aux sédiments de la rivière SaïGòn

Impacts of Ho Chi Minh City development on Sb, Zn and Cr associated with sediments of the SaïGòn River

Brice MOURIER<sup>a\*</sup>, Emilie STRADY<sup>bc</sup>, Marc DESMET<sup>d</sup>, Tran Anh TU<sup>be</sup>, Julien NEMERY<sup>bc</sup>, Estelle SENNA<sup>f</sup>, Nicolas GRATIOT<sup>bc</sup> and Marc BABUT<sup>g</sup>

<sup>a\*</sup> UMR CNRS 5023 LEHNA (Equipe IPE), Vaulx-en-Velin, France  
([brice.mourier@entpe.fr](mailto:brice.mourier@entpe.fr))

<sup>b</sup> Centre Asiatique de Recherches sur l'Eau (CARE-RESCIF), Ho Chi Minh City, Vietnam ([emilie.strady@ird.fr](mailto:emilie.strady@ird.fr) ; [nicolas.gratiot@ird.fr](mailto:nicolas.gratiot@ird.fr))

<sup>c</sup> Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP\*, IGE, F-38000 Grenoble, France \* *Institute of Engineering Univ. Grenoble Alpes*  
([Julien.nemery@grenoble-inp.fr](mailto:Julien.nemery@grenoble-inp.fr))

<sup>d</sup> EA 6293 GéHCO, Tours, France ([marc.desmet@univ-tours.fr](mailto:marc.desmet@univ-tours.fr))

<sup>e</sup> Faculty of Geology, Ho Chi Minh City University of Technology, Ho Chi Minh City, Vietnam ([trantu@hcmut.edu.vn](mailto:trantu@hcmut.edu.vn))

<sup>f</sup> ENS de Lyon, IAO, France ([estelle.senna@ens-lyon.fr](mailto:estelle.senna@ens-lyon.fr))

<sup>g</sup> IRSTEA, UR RIVERLY, Villeurbanne, France ([marc.babut@irstea.fr](mailto:marc.babut@irstea.fr))

### RÉSUMÉ

Les sédiments jouent un rôle important sur la qualité des écosystèmes aquatiques, notamment dans les zones urbaines où ils peuvent constituer un puits ou une source de contaminants. 17 échantillons de sédiments de surface et une carotte sédimentaire ont été prélevés sur la Saïgon River (SR), entre l'amont d'Ho Chi Minh City (HCMC) et la confluence avec la rivière DongNai (DN). Les concentrations de métaux-traces et de métalloïdes ont été mesurées et comparées aux seuils de qualité des sédiments afin d'évaluer l'intensité de la contamination métallique et son impact potentiel sur le biote. Globalement, les sédiments sont modérément contaminés, à l'exception de Sb. Les concentrations de Zn et de Cu sont plus élevées dans la ville et dans certains canaux par rapport aux parties amont et aval de la rivière, ce qui laisse supposer qu'il existe plusieurs sources dans les canaux. La contradiction observée entre le développement industriel et urbain récent d'HCMC et la faible contamination mesurée pose la question du rôle de l'hydrodynamique du système SG-DN sur la contamination de la rivière.

### ABSTRACT

Sediments play an important role in the quality of aquatic ecosystems, especially in urban areas where they can be a sink or source of contaminants. 17 surface sediment samples and one sediment core were collected from the Saigon River (SR), between the upstream part of Ho Chi Minh City (HCMC) and the confluence with the DongNai River (DN). Trace metal and metalloid concentrations were measured and compared to sediment quality guidelines (SQGs) to assess the intensity of metal contamination and its potential impact on biota. Overall, sediments are moderately contaminated with the exception of Sb. Concentrations of Zn and Cu are higher in the city and in some canals than in the upstream and downstream parts of the river, suggesting that there are several sources in the canals. There is a contradiction between the recent industrial and urban development of HCMC and the low contamination observed in the river. This raises the question of the hydrodynamics influence on the dilution of the contamination, its stabilization in the canals or its transfer downstream.

### MOTS CLES

Sédiment, contamination, éléments métalliques, rivière Saïgon, Vietnam

## 1 INTRODUCTION

Les conséquences du développement des zones urbaines et de l'implantation d'industries le long des grands fleuves nécessitent d'être appréhendées dans un contexte de développement socio-économique des territoires à moyen et long termes, mais aussi au regard de la protection des milieux aquatiques et de la ressource en eau. Une des clés de compréhension des interactions qui existent entre les villes et leur rivière est la qualité de l'eau. Cette dernière va fortement dépendre du compartiment sédimentaire car la plupart des contaminants présentent de fortes affinités particulières et se retrouvent stockés dans les sédiments. L'agglomération d'Ho Chi Minh ville (HCMV, Vietnam) a connu ces dernières décennies une rapide croissance démographique, avec une population actuelle estimée autour de 8.4 millions d'habitants. Cette évolution est allée de pair avec le développement d'activités industrielle et portuaire soutenues. L'agglomération est traversée par la rivière SaïGon, qui rejoint la rivière DongNai pour former un estuaire bordé par la mangrove de Can Gio. Dans le cadre du projet SAÏGON RIVER - La Ville et le Fleuve -, nous avons cherché à caractériser les impacts du développement de la ville d'Ho Chi Minh ville (HCMV, Vietnam) sur la Saïgon River. Un des objectifs de ce projet est de déterminer l'ampleur et les tendances (temporelles et spatiales) de la contamination métallique associée aux sédiments de la rivière SaïGon.

## 2 DEMARCHE

17 échantillons de sédiments de surface et une carotte sédimentaire ont été collectés en janvier 2016 selon un transect amont – aval de 40 km le long de la rivière SaïGon (11) et sur plusieurs canaux adjacents (6). Les échantillons ont dans un premier temps été caractérisés en termes de teneurs en matière organique et de distribution granulométrique. La carotte a été datée par des mesures d'activités en radionucléides ( $^{210}\text{Pb}$  et  $^{137}\text{Cs}$ ). Les concentrations en éléments métalliques ont été déterminées sur des sous-échantillons représentatifs des sédiments de surface et de la carotte (n=32). Pour ce faire, une extraction de type *aqua regia* (HCl 1M (12M): HNO<sub>3</sub> 1 M (14M), Fisher Trace ®) a été réalisée à partir de 100 mg de matière séchée et homogénéisée. Les dosages ont ensuite été réalisés par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS). Parmi les 40 éléments métalliques qui ont été quantifiés, le zinc (Zn), l'antimoine (Sb) et le chrome (Cr) ont été ciblés car ils représentent des proxys des environnements urbains et industriels (Chambers et al., 2016). L'analyse des données a été réalisée dans une démarche comparative (entre types d'échantillons, différentiel amont-aval) et en termes de risques sanitaires (comparaison à des seuils écotoxicologiques, calcul de facteurs d'enrichissement). Afin de décrire la variabilité de la composition géochimique des sédiments, nous avons également réalisé une analyse statistique compositionnelle sur l'ensemble du jeu de données.

## 3 RESULTATS

### 3.1 Carotte de sédiments

L'étape de caractérisation de la carotte a permis de définir trois unités dont : - deux correspondent à un faciès sédimentaire de décantation où l'eau de la rivière transite lentement avec un contrôle aval de l'écoulement (U1 et U3) ; - une correspond à des vitesses d'écoulement plus rapides avec contrôle amont de l'écoulement (U2). Cette dernière représente un faciès sédimentaire perturbé avec une granulométrie plus grossière et des niveaux riches en matière organique peu décomposée. En termes de datation, les résultats d'activités en radionucléides n'ont pas permis d'établir de manière robuste de modèle-âge pour la carotte étudiée. Néanmoins, nous avons pu mettre en évidence des taux d'accumulation sédimentaire qui varient de 1.0 à 4.4 cm/an et que l'archive serait postérieure à ~1990, soit entre 25 et 30 ans d'enregistrement. Les concentrations en Zn, Cr et Sb sont modérées (médiane de 92.0, 62.3, 0.132 mg/kg respectivement) et varient peu avec la profondeur. Les facteurs d'enrichissement calculés pour ces métaux sont mineurs à modérés (entre 1.5 et 3).

### 3.2 Sédiments de surface

Les teneurs en matière organique et la granulométrie des échantillons de sédiment surface sont relativement homogènes et comparables aux résultats de la carotte. Les concentrations en Zn, Cr et Sb sont du même ordre de grandeur. D'un point de vue spatial, les concentrations en éléments métalliques sont ponctuellement plus importantes à proximité du centre-ville, notamment dans certains canaux, où des valeurs de 260.7 et 0.67 mg/kg sont reportées pour Zn et Sb respectivement. Comme pour les échantillons de carotte, les facteurs d'enrichissement sont mineurs à modérés avec des valeurs proches de 5 dans certains canaux.

### 3.3 Inter-comparaison de la distribution des éléments métalliques

Une plus grande dispersion des concentrations en EM est observée pour les échantillons de rivières et de canaux par rapport à ceux de la carotte, principalement à cause de la variabilité des teneurs en matière organique et de la granulométrie des sédiments. Afin de décrire la variabilité géochimique de manière globale, une analyse compositionnelle effectuée sur l'ensemble des données a permis de mettre en évidence que les canaux et les rivières ont des teneurs en Zn (~Cu) et Sb

proportionnellement plus importantes par rapport aux échantillons de la carotte. Les teneurs en Cr sont stables sur l'ensemble des matrices et sont généralement associées aux éléments terrigènes (Fe, Al, K). Cette analyse met en évidence que si les teneurs Cr et Ni sont d'origine terrigène, l'enrichissement en Sb, Zn et Cu des sédiments de canaux et rivières est anormal et pose la question de la source de cette contamination. L'arsenic (As) est lui en plus grande proportion dans l'unité 2 de la carotte. Cette dernière correspondrait à la période de fort développement de la ville entre 2000 et 2010.

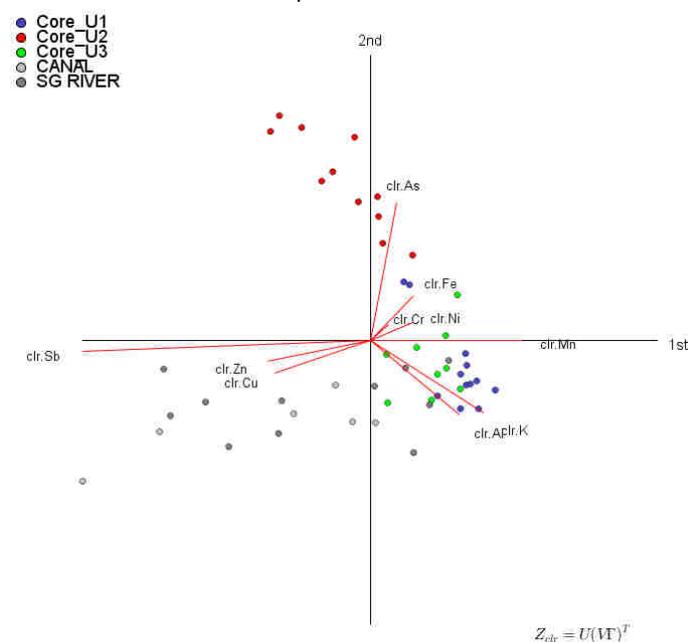


Figure 1 – Analyse compositionnelle des éléments métalliques mesurés sur la carotte sédimentaire (3 unités) et sur les sédiments de surface prélevés dans la rivière SG et les canaux.

## 4 DISCUSSION

La connaissance de la contamination en éléments métalliques de la rivière Saïgon est globalement limitée (Strady et al., 2017). Cette étude montre que les sédiments fins de la Saïgon River ne sont que modérément affectés par l'impact de la ville au regard des éléments métalliques. Faute de datation robuste, l'archive sédimentaire n'a pas pu mettre en avant de tendance de la contamination métallique : les unités sédimentaires analysées ont montré assez peu de variabilité dans le temps (vraisemblablement les 3 dernières décennies) au regard des éléments métalliques. L'analyse compositionnelle a quant à elle permis de distinguer des contaminants (Sb, Zn, Cu et As) car ils sont en proportion anormale dans les sédiments prélevés à proximité du centre urbain et ceux des canaux.

Les faibles teneurs mesurées dans les canaux et la rivière posent la question du devenir de ces contaminants après émission. En effet, des teneurs importantes sont mesurées dans des canaux proches de points sources industriels (Bui et al. 2016), mais cette contamination n'est pas retrouvée dans la Saïgon River. Plusieurs hypothèses sont émises : la contamination métallique est (i) stabilisée dans les canaux à proximité des points sources, (ii) elle transite à l'aval ou (iii) elle est diluée dans les flux solides de la rivière. Pour aller plus loin, il est nécessaire de mieux comprendre l'hydrodynamisme du système. Le système SG-DN est complexe car il est à la fois influencé par les variations tidales (flux/reflux), les barrages en amont qui régulent les flux entrants et les événements pluvieux dont la fréquence dépend de la saison (mousson vs saison sèche). La gestion des ouvrages urbains pose également question. Les faibles conditions hydrodynamiques du système SG-DN (débit résiduel annuel estimé à 50 m<sup>3</sup>/s) malgré de grandes quantités d'eau associées à des teneurs relativement importantes en matières en suspension (MES) favoriseraient le phénomène de dilution et/ou la stabilisation de la contamination dans les canaux.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bui, T.-K.L., Do Hong, L.C., Combi, T., Lara-Martin, P.A., Casado-Martinez, M.C., Werner, I., 2016. Sediment quality assessment in Ho Chi Minh City canals. SETAC Europe, Nantes (Fr).
- Chambers et al. (2016) Developing the scientific framework for urban geochemistry. Appl. Geochem. 67, 1-20
- Strady E., Dang V.B.H., Némery J., Guédron S., Dinh Q.T., Denis H., Nguyen P.D., 2017. Baseline seasonal investigation of nutrients and trace metals in surface waters and sediments along the Saigon River basin impacted by the megacity of Ho Chi Minh (Vietnam). Environ Sci Poll Res, 24, 3226 -3243.