

Between Land and Sea: Flow of Water and Matter From the Continent to the Ocean in Vietnam

Marine Herrmann^{1,*}, Julien Némery²

¹LEGOS, IRD, CNRS, CNES et Université Toulouse 3 ; Laboratoire Mixte International LOTUS, Hanoi University of Science and Technology, IRD

²IGE, Université Joseph Fourier, Université Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP ; Laboratoire Mixte International LE CARE, Ho Chi Minh City University of Technology, IRD)

Received 19 June 2020

Revised 10 July 2020. Accepted 30 July 2020

Abstract : Vietnam's inland waters are subject to many degradation factors related to the country's spectacular development, combined with increasing urbanization and the development of intensive agriculture. Collaborative research efforts by Vietnamese and French teams in the international joint laboratories LE CARE and LOTUS aim to identify the different sources of degradation, estimate associated contamination along the continent-ocean continuum, and understand the functioning and variability of the continental and oceanic aquatic system and its response to these degradation factors. The work carried out has thus highlighted and quantified the considerable influence of dam's construction on sedimentary and carbon flows, the eutrophication of rivers crossing large megacities, and the contamination of the entire aquatic system induced by the massive and poorly controlled use of pesticides. They also aim to understand how the ocean system and its different compartments (hydrodynamic, sedimentary, biogeochemical...) respond to the evolution of the composition of these continental inputs and to the different variability factors (atmospheric, oceanic, continental, internal) at different scales (event, seasonal, interannual, climatic).

Keywords : Vietnam, anthropization, land-ocean **continuum**, nutrients, sediment.

* Corresponding author.

E-mail : marine.herrmann@ird.fr ; julien.nemery@grenoble-inp.fr

Entre terre et mer : flux d'eau et de matière du continent à l'océan au Vietnam

Marine Herrmann^{1,*}, Julien Némery²

¹LEGOS, IRD, CNRS, CNES et Université Toulouse 3 ; Laboratoire Mixte International LOTUS, Hanoi University of Science and Technology, IRD

²IGE, Université Joseph Fourier, Université Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP ; Laboratoire Mixte International LE CARE, Ho Chi Minh City University of Technology, IRD)

Reçu le 19 juin 2020

Relu et modifié le 10 juillet 2020. Accepté le 30 juillet 2020

Résumé : Les eaux continentales vietnamiennes sont soumises à de nombreux facteurs de dégradation liés au développement spectaculaire de ce pays, associé à une urbanisation croissante et au développement d'une agriculture intensive. Les efforts de recherche menés en collaboration par des équipes vietnamiennes et françaises au sein des laboratoires mixtes internationaux LE CARE et LOTUS visent à identifier les différentes sources de dégradation, estimer les contaminations associées le long du continuum continent-océan, et comprendre le fonctionnement et la variabilité du système aquatique continental et océanique et sa réponse à ces facteurs de dégradation. Les travaux menés ont ainsi mis en évidence et quantifié l'influence considérable de la construction de barrages sur les flux de matière sédimentaire et de carbone, l'eutrophisation des rivières traversant les grandes mégapoles, la contamination de tout le système aquatique induite par l'utilisation massive et peu contrôlée de pesticides. Ils visent également à comprendre comment le système océanique et ses différents compartiments (hydrodynamique, sédimentaire, biogéochimique...) répondent à l'évolution de la composition de ces apports continentaux et aux différents facteurs de variabilité (atmosphérique, océanique, continentale, interne) à différentes échelles (événementielle, saisonnière, interannuelle, climatique).

Mots-clés : Vietnam, anthropisation, continuum continent-océan, nutriments, sédiment.

1. Introduction : le développement en Asie du Sud-Est, facteur de dégradation des eaux continentales et océaniques

De nombreux pays émergents en zone intertropicale doivent faire face à la dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines, principalement liée à une urbanisation croissante et au développement d'une agriculture intensive (Le *et al.*, 2015). C'est le cas notamment des grandes villes du Sud-Est asiatique où

* Coordonnées de l'auteur.

Courriel : marine.herrmann@ird.fr ; julien.nemery@grenoble-inp.fr

le développement des réseaux d'assainissement et de stations d'épuration n'accompagne pas suffisamment l'accroissement de population et le développement économique (Trinh *et al.*, 2012). Les flux de pollution provenant des grands fleuves se déversent finalement, après leur transit dans les estuaires qui sont le siège d'importantes transformations biogéochimiques (Statham, 2012), dans les océans, affectant les écosystèmes marins côtiers. Les temps de séjour dans les estuaires peuvent varier de quelques mois à un an ou plus, permettant la transformation efficace des éléments (Etcheber *et al.*, 2007). Ces milieux jouent alors un rôle dans l'élimination, la rétention ou le transfert des nutriments par exemple (Regnier *et al.*, 2013). Le long du gradient de salinité estuarien, les flux sont modifiés par une interaction complexe entre l'hydrodynamique, les sédiments et les processus biogéochimiques (Garnier *et al.*, 2010). À l'échelle mondiale, cette région de l'Asie du Sud-Est représente une contribution majeure de cette exportation de sédiments, de nutriments et de contaminants, en raison de la forte érosion sous climat tropical et de l'augmentation des pressions anthropiques dans la plupart des pays émergents de la zone ASEAN (Association des nations de l'Asie du Sud-Est, comprenant dix pays) (Seitzinger *et al.*, 2010 ; Garnier *et al.*, 2015).

Le Vietnam est emblématique de cette situation. Il réunit plus de 90 millions d'habitants vivant principalement en région côtière, le long des 3 400 km de côtes vietnamiennes. Les deux grands deltas du pays, du fleuve Rouge au Nord et du Mékong au Sud, rassemblent une grande majorité de cette population, avec des densités de population parmi les plus fortes au monde (plus de 1000 habitants/km²) sur des zones ne s'élevant pas à plus de dix mètres au-dessus du niveau de la mer. La fertilité induite par les quantités considérables d'alluvions apportées par les fleuves a fait de ces zones deltaïques et côtières le berceau de l'activité économique du pays. Celle-ci repose historiquement sur l'agriculture (le Vietnam est le deuxième exportateur de riz au monde), la pêche et l'aquaculture, et depuis quelques décennies, sur le tourisme et le développement industriel. Ces activités sont fortement dépendantes des ressources en eau et de matières associées (sédiments, nutriments, matière organique ...), et exercent réciproquement sur ces ressources une pression importante. Avec une croissance dépassant 6 % (Source : Banque Mondiale, <https://donnees.banquemondiale.org/>), le Vietnam connaît, en effet, un développement économique galopant, qui s'accompagne d'une urbanisation spectaculaire et induit sur les milieux naturels une pression anthropique toujours plus forte : pollution d'origine agricole, industrielle et domestique, utilisation des ressources en eau superficielles et souterraines, des ressources énergétiques fossiles, extraction de sable, construction de barrages (Le *et al.*, 2007). Le Vietnam est, en outre, soumis à une large gamme de facteurs naturels de variabilité, à différentes échelles : événements extrêmes (typhons, inondations, sécheresses, etc.), variabilité saisonnière (le système de mousson d'Asie du Sud-Est induit une alternance de saisons estivales chaudes et humides et hivernales froides et sèches) et interannuelle (le phénomène El Niño / La Niña affecte vent, précipitations et températures, et le très fort El Niño de 2015-2016 a provoqué la sécheresse la plus sévère depuis quatre-vingt-dix ans), changement

climatique (la hausse prévue de plus de 1m du niveau de la mer d'ici la fin du siècle pourrait induire une salinisation de 50 % du delta du fleuve Rouge, Duc & Umeyama, 2012).

Afin de concevoir des systèmes de contrôle et de gestion durable des ressources en eau et en matières associées, il est essentiel de comprendre et de quantifier la réponse des systèmes aquatiques vietnamiens, du bassin versant à l'océan, à ces différents facteurs de variabilité naturels et anthropiques. Cette question est au cœur du travail mené en collaboration par des équipes françaises et vietnamiennes au sein des laboratoires mixtes internationaux LOTUS¹ à Hanoi et LE CARE² à Ho Chi Minh Ville, qui étudient le transport et le devenir de l'eau et de la matière associée le long du continuum *bassin versant – estuaire – océan* des grands fleuves vietnamiens. Les études menées, fondées sur le développement de modèles numériques hydrodynamiques, sédimentaires et biogéochimiques, permettant d'explorer les périodes passées et futures, utilisés conjointement avec des mesures *in situ* et des observations satellitaires, qui fournissent des informations sur le niveau de la mer, la température de surface, la concentration en chlorophylle et en matière dissoute et particulaire, visent à comprendre et quantifier la réponse du système aquatique tout au long du continuum à des modifications du flux et de la composition de l'eau.

2. Les barrages, de gigantesques pièges à sédiments

Dans la partie amont de ce continuum, cascasant et grossissant à travers les montagnes, les rivières rencontrent un nombre croissant de barrages, dont la construction est dictée par la nécessité de réguler la saisonnalité et les pics de débit et de répondre aux besoins croissants en irrigation et en énergie dans la région. Plusieurs études se sont penchées sur l'influence de ces barrages sur les flux d'eau et de matière. D'une part, les barrages, s'ils ne modifient pas significativement les débits d'eau moyens, atténuent fortement leur variabilité journalière à saisonnière du fait même de leur rôle de régulation (Vinh *et al.*, 2014). D'autre part, ils affectent très significativement la quantité et la composition de la matière transportée. Des études récentes (Wei *et al.*, 2019a,b) ont ainsi montré que les barrages construits dans les années 2000 sur le fleuve Rouge ont très fortement réduit la concentration en sédiment en aval, qui a baissé de 80 % entre la première et la deuxième décennie de ce siècle, et ont modifié significativement la proportion entre matière organique dissoute et particulaire, qui est passée de 14 % à 53 %. Cette rétention de sédiments par les barrages ne fait pas que les fragiliser, nécessitant au passage de coûteux travaux de dragage, mais conduit aussi à un amoindrissement de la quantité d'alluvions et de matière organique et nutritive particulaire transportée vers les zones deltaïques et côtières, contribuant, entre autres, au recul de ces deltas. La construction planifiée de nouveaux barrages sur le Mékong et le fleuve Rouge ne pourra qu'aggraver cette situation.

3. L'utilisation croissante des intrants agricoles

Arrivant dans les plaines deltaïques, les fleuves vietnamiens traversent deux régions très peuplées, composées de zones encore très rurales, centrées autour de mégapoles en pleine expansion (Ho Chi Minh Ville, 8,4 millions d'habitants et Hanoi, 7,6 millions d'habitants), et y subissent là encore une altération des flux d'eau et de matière.

Des fermes reculées des régions montagneuses aux exploitations plus étendues des plaines, la population au Vietnam est encore majoritairement rurale et agricole (64 % d'après la Banque Mondiale, <https://donnees.banquemondiale.org/>). L'utilisation d'intrants (pesticides, antibiotiques, engrais, etc.) ne cesse d'augmenter (Tanguay et De Koninck, 2014 ; Garnier *et al.*, 2015), posant au Vietnam, comme ailleurs, des problèmes environnementaux de biodiversité et de santé publique¹. Parmi ces intrants, le glyphosate est l'un des herbicides les plus utilisés au Vietnam, avec une importation annuelle d'environ 40 000 tonnes d'après un rapport de la VIPA (Vietnamese Pesticide Association, Nguyen 2016). On dispose jusqu'ici de peu de chiffres sur l'utilisation du glyphosate au Vietnam, mais des travaux récents fondés sur le prélèvement systématique d'échantillons le long du fleuve Rouge à différentes saisons et le développement d'une méthode analytique novatrice de ces échantillons ont permis de révéler d'importants taux de contamination au glyphosate et à ses dérivés dans le système aquatique du fleuve Rouge (Vu *et al.*, 2020). L'utilisation du glyphosate a, certes, été interdite au printemps 2019 au Vietnam, mais il est essentiel de continuer à mener des campagnes de mesures afin d'évaluer l'efficacité de cette interdiction et le temps de disparition du glyphosate et de ses dérivés dans les écosystèmes aquatiques. Cette question est au cœur des projets de recherche menés actuellement au sein de LOTUS, qui visent à estimer la contamination des différents compartiments aquatiques (eau de surface, sédiments, etc.) par les pesticides le long du fleuve Rouge jusqu'à l'estuaire, et son impact sur les organismes vivants.

4. Les mégapoles vietnamiennes, sources de nutriments et de pollution organique

Les villes affectent également notablement les ressources aquatiques et leur qualité. À l'instar de la capitale administrative du Vietnam (Hanoi), la capitale économique Ho Chi Minh Ville (8,4 millions d'habitants en 2016, HCMC Statistical Yearbook, 2016) est en pleine expansion démographique et économique. Ho Chi Minh Ville est considérée comme la deuxième mégapole la plus dynamique économiquement au monde (World Economic Forum News, January 2017). Située en zone tropicale, sous un régime climatique alternant mousson humide et période sèche, elle est traversée par la rivière Saigon et dispose d'un système de canaux urbains de plus de 160 km. Ce système est soumis à un régime de marée semi-diurne et à un gradient de salinité pouvant remonter dans les canaux de la ville. La capacité épuratoire de la ville, très faible avant 2018 (< 10 % des

¹ voir l'article de Banyuls *et al.* sur les antibiotiques dans ce même volume.

eaux traitées), reste très insuffisante, même après la mise en service de deux nouvelles stations d'épuration en 2019 (capacité de traitement de 20 %, Nguyen *et al.*, 2020). Pourtant, les enjeux régionaux sont forts avec l'utilisation de l'eau de la rivière Saigon pour produire l'eau potable de la ville et la présence en aval d'Ho Chi Minh Ville de grandes zones de production aquacole au sein de la zone protégée de la mangrove de Can Gio, classée « réserve de la biosphère » par l'UNESCO. Aussi les autorités locales vietnamiennes sont-elles de plus en plus préoccupées par l'accroissement des risques de dégradation de la ressource en eau et en particulier par la pollution organique et l'eutrophisation de la rivière Saigon. L'eutrophisation est un phénomène dû à un excès de nutriments (azote et phosphore) qui entraîne la prolifération d'algues potentiellement toxiques (cyanobactéries) : la décomposition de la matière organique produite appauvrit alors en oxygène les milieux aquatiques, pouvant entraîner des mortalités piscicoles et modifier les communautés phytoplanctoniques (Howarth *et al.*, 2006 ; Hoang *et al.*, 2018). Les études menées récemment par LE CARE mettent en évidence des niveaux importants de nutriments dans les canaux de la ville et dans la rivière Saigon (Strady *et al.*, 2017 ; Nguyen *et al.*, 2019), et des développements massifs d'algues pendant la saison sèche au niveau de la partie la plus dense de la ville (Nguyen *et al.*, 2019). Les eaux de la rivière Saigon se retrouvent en sous-oxygénation chronique, avec des valeurs très faibles, souvent inférieures à 1 mg O₂/L, proches de l'anoxie. L'augmentation de la capacité épuratoire de la ville est désormais une priorité pour restaurer et préserver la qualité de l'eau. Dans cette optique, le Département des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DONRE) de la province d'Ho Chi Minh Ville a planifié la construction de nouvelles stations d'épuration, pour augmenter la capacité de traitement à respectivement 57 %, puis 82 % de la population aux horizons 2025 et 2040 (Nguyen *et al.*, 2020). Cependant, les projections d'augmentation de 200 % de la population entre 2016 et 2040, qui ne sont pas prises en compte dans ces estimations, rendraient rapidement dépassées ces capacités de traitements, posant alors la question de solutions complémentaires et alternatives comme une meilleure gestion des canaux et/ou des assainissements autonomes (qui existent dans le centre historique de la ville). La gestion des eaux usées reste, en tout cas, un défi majeur dans ce contexte de développement économique extrêmement rapide.

5. Les océans côtiers, des écosystèmes fragiles et menacés

Après avoir traversé montagnes et plaines, campagnes et villes, les fleuves et la matière qu'ils transportent arrivent enfin dans la zone estuarienne, à l'interface entre continent et océan. La modification des flux et de la composition de l'eau a des effets sur les écosystèmes deltaïques et côtiers que les recherches en cours s'attachent à identifier et à quantifier. L'un des effets les plus visibles est la modification du trait de côte, avec le développement de nouvelles zones d'accrétion ou d'érosion et l'intensification du phénomène d'intrusion saline qui induit la perte - qui plus est, irrémédiable - d'une partie des terres arables

(Marchesiello *et al.*, 2019). La sécheresse induite par l'épisode El Niño de 2015-2016, combinée au pompage dans les nappes phréatiques, au prélèvement de sable destiné à la construction, et à l'érosion côtière, a ainsi provoqué un recul du delta de 90 km (UNESCAP, 2016). La pollution des milieux marins, chronique ou accidentelle, et la menace qu'elle représente pour les écosystèmes et la biodiversité, sont également un effet majeur de la modification de la composition des apports continentaux à l'océan. Le largage illégal de centaines de tonnes d'eaux toxiques par l'usine Formosa au sud du Golfe du Tonkin en avril 2016 a, par exemple, provoqué la mort de millions d'organismes marins sur des dizaines de kilomètres de côte et une perte de revenus pour les pêcheurs locaux estimée à 5 millions de dollars (VNExpress 2016). C'est grâce à l'utilisation combinée de l'observation satellite et de la modélisation numérique (Loisel *et al.*, 2017) que les autorités ont pu confirmer que cette mortalité avait été induite par la propagation le long de la côte, jusqu'à 200 km au sud, de ces produits toxiques. Cette méthode a depuis été généralisée. Afin de mieux comprendre le fonctionnement et la variabilité des milieux estuariens et côtiers et de prévoir leurs réponses aux différentes influences à différentes échelles temporelles (de l'événement au climat régional), nous développons en effet des outils de modélisation complexes permettant, en combinaison avec les observations satellites et les mesures de terrain, de représenter et comprendre les interactions entre les différents compartiments (hydrodynamique, sédimentaire, biogéochimique...) de ces milieux. Ces outils nous ont, par exemple, permis d'identifier les facteurs à l'origine de la variabilité interannuelle de l'*upwelling* (ou remontée d'eau) du Sud Vietnam (Da *et al.*, 2019), qui induit la remontée d'eaux profondes riches en nutriments, à l'origine d'une forte production biologique, et s'avère donc essentiel pour l'activité halieutique dans la région.

6. Conclusion

Les travaux actuellement menés à LOTUS et LE CARE sur le rôle de la dynamique océanique de très petite échelle, l'influence de cette dynamique sur l'écosystème pélagique planctonique, premier maillon de la chaîne trophique océanique, sur le devenir des différentes formes de matière provenant des rivières et leur influence sur la zone littorale ou encore sur l'influence du changement climatique sur les conditions atmosphériques, nous permettront de mieux comprendre à l'avenir le fonctionnement et de mieux prévoir l'évolution de ces écosystèmes marins, indispensables au développement du pays, mais fortement menacés par l'impact de ce développement.

La prochaine étape consistera à réaliser la jonction entre recherches et outils traitant des compartiments océaniques, continentaux et atmosphériques, afin de pouvoir étudier de façon intégrée la variabilité du système régional climatique couplé. Pour cela, la compréhension et la modélisation du rôle des zones deltaïques, dont le fonctionnement est très fortement conditionné par l'intervention humaine (aménagement comme les digues, canaux, etc.), représente un enjeu

scientifique majeur à finalité opérationnelle. Ces études de cas, ciblées sur les deux grands deltas vietnamiens, pourront servir de modèle transposable à d'autres grands deltas de cette région de l'Asie du Sud-Est.

Références

- [1] Da N. D., M. Herrmann, R. Morrow, F. Niño, N. M. Huan, N. Q. Trinh (2019). Contributions of wind, ocean intrinsic variability and ENSO to the interannual variability of the South Vietnam Upwelling: a modeling study. *J. Geophys. Res. Oceans* doi:10.1029/2018JC014647
- [2] Duc, N. H., and M. Umeyama (2012). Saline Intrusion Due to the Accelerative Sea Level in the Red River System in Vietnam, World Environmental and Water Resources Congress, ASCE, doi:10.1061/41173(414)459
- [3] Etcheber H, Taillez A, Abril G, Garnier J, Servais P, Moatar F, Commarieu MV (2007) Particulate organic carbon in the estuarine turbidity maxima of the Gironde, Loire and Seine estuaries: origin and lability. *Hydrobiologia* 588:245–259
- [4] Garnier J, Billen G, Némery J, Sebilo M (2010) Transformations of nutrients (N, P, Si) in the turbidity maximum zone of the Seine estuary and export to the sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 90:129–141
- [5] Garnier J, Lassaletta L, Billen G, Romero E, Grizzetti B, Némery J, Dorioz JM, Le TPQ, Pistocchi C, Aissa-Grouz N, Luu TNM, Vilmin L (2015) Phosphorus in the water-agro-food system at nested scales in two contrasted regions of the world (ASEAN-8 and EU-27). *Global Biogeochemical Cycles* 29(9):1348-1368 doi: 10.1002/2015GB005147
- [6] Ho Chi Minh City Statistical Yearbook (2016). HCMC Statistical Office. Vietnam: Thanh Nien Publisher. www.gso.gov.vn/
- [7] Hoang HTT, Duong TT, Nguyen KT, Phuong QT, Luu MTN, Trinh DA, Le AH, Ho CT, Dang KD, Némery J, Orange D, Klein J (2018) Impact of anthropogenic activities on water quality and plankton communities in the Day River (Red River Delta, Vietnam). *Environmental Monitoring and Assessment* 190 (2):67 doi.org/10.1007/s10661-017-6435-z
- [8] Howarth RW and Marino R (2006) Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: evolving views over three decades. *Limnology and Oceanography*, 51(1part2):364-376
- [9] Le TPQ, Billen G, Garnier J, Chau VM (2015) Long-term biogeochemical functioning of the Red River (Vietnam): past and present situations. *Regional Environmental Change* 15(2):329–339
- [10] Le, T. P. Q., Garnier, J., Gilles, B., Sylvain, T., & Van Minh, C. (2007). The changing flow regime and sediment load of the Red River, Viet Nam. *Journal of Hydrology*, 334(1–2), 199–214. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.020>
- [11] Loisel, H., V. Vantrepotte, S. Ouillon, D. D. Ngoc, M. Herrmann, V. Tran, X. Mériaux, D. Dessailly, C. Jamet, T. Duhaut, H. H. Nguyen, T. V. Nguyen (2017). Assessment and analysis of the chlorophyll-a concentration variability over the Vietnamese coastal waters from the MERIS ocean color sensor (2002–2012). *Remote Sensing of Environment* 190, 217-232, doi:10.1016/j.rse.2016.12.016
- [12] Marchesiello, P., Nguyen, N.M., Gratiot, N., Loisel, H., Anthony, E.J. and Nguyen, T., 2019. Erosion of the coastal Mekong delta : Assessing natural against man induced processes, *Continental Shelf Res*, 181, 72-89.

- [13] Nguyen TTN, J. Némery, N. Gratiot, E. Strady, V.Q. Tran, A.T. Nguyen, J. Aimé, A. Peyne (2019) Nutrients dynamics and eutrophication risk assessment in the tropical river system of Saigon – Dongnai (Southern Vietnam) *Science of The Total Environment* 653, 370-383 doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.319
- [14] Nguyen, T. 2016. Agriculture in Vietnam and Status of Pesticides Market. CAC Asia Summit, Bangkok, December 2016.
- [15] Nguyen TTN, Némery J, Gratiot N; Garnier J, Strady E; Nguyen DP, Tran VQ; Nguyen AT; Cao ST; Huynh TPT (2020) Nutrient budgets in the Saigon–Dongnai River basin: Past to future inputs from the developing Ho Chi Minh megacity (Vietnam) *River Research and Application* <https://doi.org/10.1002/rra.3552>
- [16] Regnier P, Arndt S, Goossens N, Volta C, Laruelle GG, Lauerwald R and Hartmann J (2013) Modelling estuarine biogeochemical dynamics: from the local to the global scale. *Aquatic geochemistry* 19(5-6):591-626
- [17] Seitzinger SP, E Mayorga, AF Bouwman, C Kroeze, AHW Beusen, G Billen, G Van Drecht, E Dumont, BM Fekete, J Garnier and JA Harrison (2010) Global river nutrient export: A scenario analysis of past and future trend. *Global biogeochemical cycles*, 24, GB0A08, doi:10.1029/2009GB003587
- [18] Statham (2012) Nutrients in estuaries - An overview and the potential impacts of climate change. *Science of the Total Environment* 434:213-227
- [19] Tanguay, L. et R. De Koninck, 2014. L'agriculture durable au Vietnam : une étude de cas dans le delta du Mékong, *Vertigo*, volume 14, numero 1, 2014.
- [20] Trinh AD, Meysman F, Rochelle-Newall E, Bonnet MP (2012) Quantification of sediment-water interactions in a polluted tropical river through biogeochemical modeling. *Global Biogeochemical Cycles* 26, GB3010, doi:10.1029/2010GB003963
- [21] Vu, C. T., T. L. Phuong, D. B. Chu, V. H. Bui, L. A. Phung Thi, J. Labanowski, L. Mondamert, M. Herrmann, P. Behra, Determination of glyphosate, glufosinate and their metabolites concentrations in surface water along the Red River, northern Vietnam, submitted to American Chemical Society meeting, March 2020.
- [22] UNESCAP report (2016). Droughts and saltwater intrusions in Vietnam. Bangkok, June 2016
- [23] Vinh, V. D., Ouillon, S., Thanh, T. D., & Chu, L. V. (2014). Impact of the Hoa Binh dam (Vietnam) on water and sediment budgets in the Red River basin and delta. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(10), 3987–4005. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3987-2014>
- [24] VNExpress News 30/06/2016: Formosa responsible for mass fish deaths: Vietnamese government, <https://e.vnexpress.net/news/news/formosa-responsible-for-mass-fish-deaths-vietnamese-government-3428722.html>
- [25] Wei, X., S. Sauvage, S. Ouillon, C. Fabre, T.H.Q. Le, D. Orange, M. Herrmann, J.M. Sanchez-Perez, 2019c. A New Approach to Assess Organic Carbon of A Large-scale Asian Tropical River Basin: Case of the Red River (China and Vietnam). Submitted to *S.Tot.En*
- [26] Wei, X., S. Sauvage, S. Ouillon, T.H.Q. Le, D. Orange, M. Herrmann, J.M. Sanchez-Perez, 2019b. A drastic decrease of suspended sediment fluxes in the Red River related to climate variability and dam constructions. *Hydrological Processes*, submitted.
- [27] World Economic Forum News, January 2017 : <https://www.weforum.org/agenda/2017/01/these-are-the-most-dynamic-cities-in-the-world-and-they-re-not-the-ones-you-d-expect/>