

# Submersion of the Mekong Delta, an Irreversible Process ?

Georges Vachaud<sup>1,\*</sup>, Nicolas Gratiot<sup>1</sup>, Patrick Marchesiello<sup>2</sup>,  
Lê Trung Chon<sup>3</sup>, Nguyễn Thống<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, F-380058, Grenoble Cx9

<sup>2</sup>LEGOS, Univ. Toulouse, IRD, CNRS, CNES, 14 av. E.-Belin, F- 31400 Toulouse

<sup>3</sup>HCMC Univ. of Technology, Fac. Petroleum and Geological Engineering, Vietnam

<sup>4</sup>HCMC Univ. of Technology, Fac. Civil Engineering, Vietnam

Received 19 June 2020

Revised 10 July 2020. Accepted 30 July 2020

**Abstract :** Like most of the major river deltas in Southeast Asia, the Mekong delta is a victim of four recent anthropocene processes: ground subsidence, sea level rise, decreased of sediment input from the Mekong and reduction of coastal mangroves.

The subsidence, very clearly documented by satellite data, is mainly due to excessive groundwater pumping related to the very strong development of irrigated agriculture. For the whole area, the average subsidence rate is 2 to 4 cm/year.

According to local estimates, the ocean upwelling is estimated at about 1.6mm/year, an order of magnitude less than the subsidence rate, but a very large increase is likely in the coming decades.

The increase in relative sea level, a combination of the two processes, has three major impacts: firstly, a significant raise in soil salinity; then the recession of the coastline and a redistribution of coastal erosion, increased by the worrying decline in sedimentary inputs from the Mekong and the destruction of mangroves; and finally the increased risk of flooding due to restrained water drainage. These risks are greatly increased by a significant underestimation of the elevation, with a mean value less than 1 m instead of the 2.6 m estimated until now. Following these results, a relative sea level rise of 1 m (credible by 2050) would cause the submersion of 75% of the delta instead of 31% generally assumed

The situation is all the more worrying as the country is already subjected to the annual migration of 24 000 environmental refugees fleeing poverty in the delta to settle in the southern suburbs of Ho Chi Minh City.

*Keywords :* Submersion - Mekong delta - subsidence - erosion

---

\* Corresponding author.

E-mail : [georgesvachaud5@gmail.com](mailto:georgesvachaud5@gmail.com); [nicolas.gratiot@ird.fr](mailto:nicolas.gratiot@ird.fr); [patrick.marchesiello@ird.fr](mailto:patrick.marchesiello@ird.fr);  
[ltchon@hcmut.edu.vn](mailto:ltchon@hcmut.edu.vn); [nguyenthong@hcmut.edu.vn](mailto:nguyenthong@hcmut.edu.vn)

# Submersion du delta du Mékong, un processus irréversible ?

Georges Vachaud<sup>1,\*</sup>, Nicolas Gratiot<sup>1</sup>, Patrick Marchesiello<sup>2</sup>,  
Lê Trung Chon<sup>3</sup>, Nguyễn Thông<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, F-380058, Grenoble Cx9

<sup>2</sup>LEGOS, Univ. Toulouse, IRD, CNRS, CNES, 14 av. E.-Belin, F- 31400 Toulouse

<sup>3</sup>HCMC Univ. of Technology, Fac. Petroleum and Geological Engineering, Vietnam

<sup>4</sup>HCMC Univ. of Technology, Fac. Civil Engineering, Vietnam

Reçu le 19 juin 2020

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

**Résumé :** Comme la majorité des grands deltas fluviaux du Sud-Est asiatique, celui du Mékong est victime de quatre processus de l'anthropocène récent : la subsidence des sols, la remontée du niveau océanique, la baisse de l'apport sédimentaire par le Mékong et la diminution de la mangrove littorale.

La subsidence, très clairement documentée par les données satellitaires, résulte essentiellement des pompages liés au très fort développement de l'agriculture irriguée. Pour l'ensemble de la zone, la vitesse de subsidence moyenne est de 2 à 4 cm/an.

D'après les estimations locales, la remontée océanique est évaluée à environ 1,6 mm/an, soit un ordre de grandeur moins que la vitesse de subsidence, mais une très forte augmentation est probable pour les prochaines décennies.

L'augmentation du niveau marin relatif, combinaison des deux processus, a trois impacts majeurs : d'une part un accroissement important de la salinité des sols ; d'autre part le recul du trait de côte et une redistribution de l'érosion littorale, accrue par la décroissance inquiétante des apports sédimentaires du Mékong et la destruction de la mangrove ; enfin l'accroissement des risques d'inondation du fait de l'impossibilité d'évacuation des eaux. Ces risques sont très fortement accrus par une forte sous-estimation de l'altitude moyenne du delta par rapport au niveau océanique local, qui serait inférieure à 1 m au lieu de 2,6 m estimée jusqu'alors. Si l'on suit ces résultats une augmentation du niveau marin relatif de 1m (crédible à l'horizon 2050) entraînerait la submersion de 75 % du delta, au lieu des 31 % avancés.

La situation est d'autant plus inquiétante que le pays est déjà soumis à la migration annuelle de 24 000 réfugiés environnementaux fuyant la pauvreté dans le delta pour venir s'établir dans la grande banlieue sud de la mégapole.

*Mots-clés :* Submersion – delta du Mékong – subsidence – érosion.

\* Coordonnées des auteurs.

Courriel : [georgesvachaud5@gmail.com](mailto:georgesvachaud5@gmail.com); [nicolas.gratiot@ird.fr](mailto:nicolas.gratiot@ird.fr); [patrick.marchesiello@ird.fr](mailto:patrick.marchesiello@ird.fr);  
[ltchon@hcmut.edu.vn](mailto:ltchon@hcmut.edu.vn); [nguyenthong@hcmut.edu.vn](mailto:nguyenthong@hcmut.edu.vn)

Suite à la transition vers l'économie de marché décidée en 1986, le Vietnam a connu une très forte augmentation de la croissance économique, en particulier pour la zone du delta du Mékong ; deux secteurs ont été particulièrement impliqués : d'une part, l'urbanisation et l'industrialisation de la mégapole de Ho Chi Minh Ville, la population de la métropole passant de 2,8 millions à 8,4 millions à ce jour<sup>1</sup> ; d'autre part, un développement agricole massif.

L'ensemble du delta (fig. 1), dont la superficie représente 12 % de celle du Vietnam et la population (environ 18 millions) 18 % de l'ensemble, produit une part essentielle de nourriture d'origine agricole (50 % pour le riz, 70 % pour les fruits) ou en produits aquatiques (60 %) ; c'est enfin un élément-clé de l'économie avec 95 % du riz exporté, et 60 % de celle des productions aquatiques<sup>2</sup>.

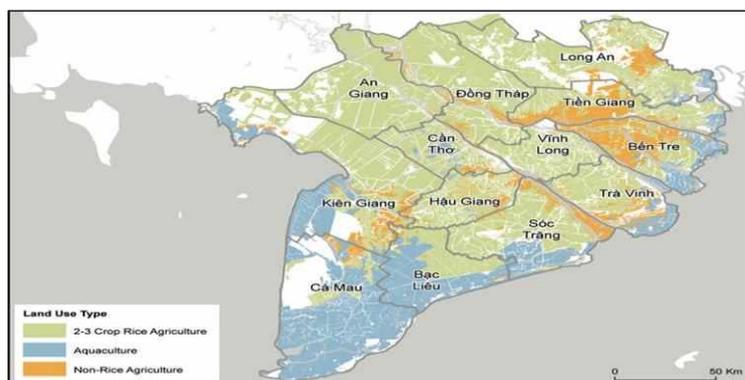


Figure 1 : Carte d'occupation des sols du delta (A. Chapman, V.P.D. Tri, 2018).

Ce développement est toutefois mis en danger par la dépendance du régime hydrologique du Mékong aux aménagements amont, en particulier la prolifération de barrages hydroélectriques (Eyler, 2019), puisque près de 90 % des volumes d'eau atteignant le delta transitent par le Cambodge (World Bank, 2019), et par la nature géologique du milieu et sa très forte sensibilité à l'impact environnemental de quatre processus de l'anthropocène récent : la subsidence artificielle des sols, la remontée océanique, la diminution de la mangrove littorale et la réduction des apports sédimentaires du Mékong. La combinaison de ces processus conduit à une vulnérabilité croissante vis-à-vis des inondations, de l'intrusion d'eau de mer, de la perte des terres arables par salinisation et érosion du fait de la très faible altitude qui vient d'être réévaluée à moins de 1m du fait de biais topographiques de référence sur les cartes obtenues par les données spatiales (Minderhoud *et al.*, 2019).

## 2. Le sol s'enfonce...

Comme l'ensemble des grands deltas fluviaux le delta du Mékong (fig. 1) est une zone de dépôts sédimentaire très plate et de très faible altitude, de formation

<sup>1</sup> <https://www.populationdata.net/pays/viet-nam/>

<sup>2</sup> [https://www.gso.gov.vn/Default\\_en.aspx?tabid=491](https://www.gso.gov.vn/Default_en.aspx?tabid=491)

quaternaire récente (holocène), reposant sur des couches sédimentaires plus anciennes (pléistocène) et, en profondeur au-delà d'une centaine de mètres, sur un substrat granitique. Ces dépôts se caractérisent par des alternances de couches de silt et d'argile, très compressibles et peu perméables, et de sables fins à grossiers, sièges des nappes aquifères (Quang *et al.*, 2019). Comme dans la majorité des grands deltas densément peuplés (Inde, Thaïlande, Chine, Taiwan), les pompages excessifs d'eau dans les nappes conduisent à une diminution de la pression de l'eau interstitielle dans les alluvions non consolidées et donc à leur subsidence par compaction. Dans les zones urbaines denses, ce phénomène est accru par le poids des bâtiments et des ouvrages qui *in fine* accélèrent le tassement du sol. Pour l'ensemble du delta, l'extraction d'eau par pompage est passée de 0,5 à 2,5 millions de m<sup>3</sup> par jour de 2000 à 2015, et le rabattement moyen du niveau piézométrique est de 0,4 m/an depuis les années 1990, avec des extrêmes dans la partie sud (Ca Mau) où le niveau de nappe a baissé depuis cette date de 15 m, conduisant à un cône de dépression se trouvant maintenant à 20 m en dessous du niveau marin. (Minderhoud *et al.*, 2017).

La première étude documentée concernant la subsidence en liaison avec l'évolution du niveau piézométrique à l'échelle du delta a été produite par Erban *et al.*, 2014. Leur étude s'appuyait d'une part sur le suivi de l'évolution du niveau piézométrique sur 79 puits distribués sur l'ensemble du delta durant la période 1995-2010 puis sur le calcul de la compaction résultant de la variation de charge hydraulique en fonction de la compressibilité des sédiments, d'autre part sur l'analyse de 78 interférogrammes produits par satellite ALOS Palsar (InSAR-interferometric synthetic aperture radar) obtenus sur la même zone durant la période 2006-2010. Les informations satellitaires ont confirmé les calculs locaux et mis en évidence une vitesse moyenne de subsidence de 1,6 cm/an pour l'ensemble du delta, avec des zones atteignant 3 cm/an. (fig. 2).

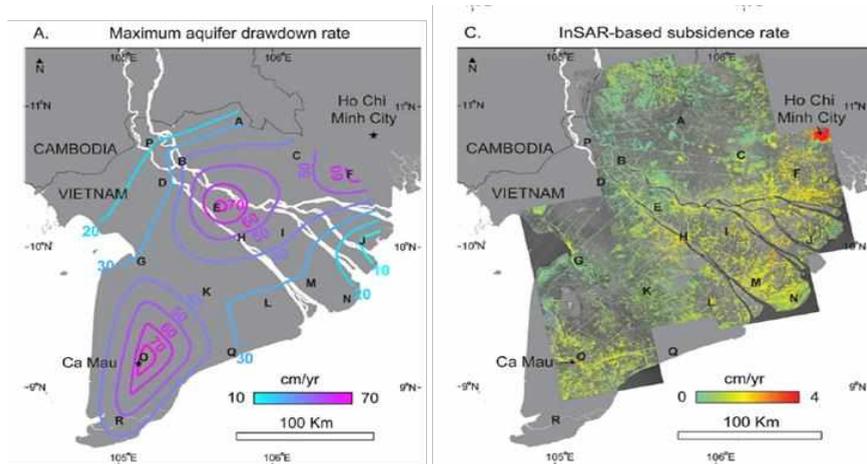


Figure 2 : Rabattement piézométrique et vitesse de subsidence durant la période 1995-2010, Erban *et al.*, 2014.

Cette relation entre rabattement des nappes souterraines et subsidence a par la suite été confirmée par les résultats d'un modèle numérique tridimensionnel appliqué à l'ensemble du delta (Minderhoud *et al.*, 2017) ; (fig. 3).

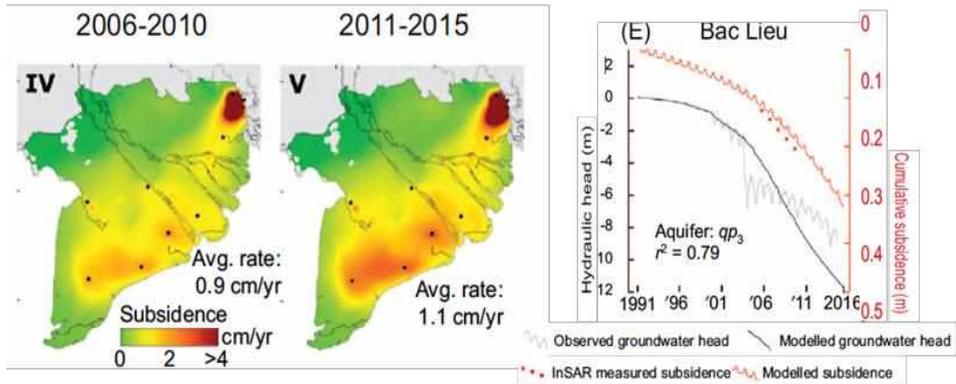


Figure 3 : Liens entre pompage et subsidence, Minderhoud *et al.*, 2017.

Par ailleurs, des progrès en instrumentation satellitaire, notamment une nouvelle méthode d'analyse d'image de cibles persistantes ou éparées (PS/DS interferometry) permet d'arriver maintenant à une précision millimétrique (Ho Tong Minh *et al.*, 2017) sur l'estimation de la variation de niveau entre passages satellitaires.

### 3. Les apports de sédiments diminuent

La formation du delta résulte de l'apport sédimentaire du Mékong qui pendant des millénaires a été estimée à une valeur voisine de 150 Mt par an (Walling, 2008). Du fait de la forte augmentation du nombre de barrages sur la partie amont du fleuve (à ce jour, 6 construits, 8 en construction), et d'une extraction croissante de sable et de graviers par dragage, ces apports semblent avoir considérablement diminué, puisque pour la période 2009-2016 ils sont estimés pour le Bas-Mékong à  $40 \pm 20$  Mt/an en 2018 (Ha *et al.*, 2018).

Cette forte réduction de l'apport amont génère des mécanismes d'équilibre en aval (« *buffering* » de Walling, 2008 ou « *hungry water* » de Kondolf, 1997). Au bout de ce processus, une redistribution côtière doit se mettre en place, qui est d'abord principalement localisée sur la zone des embouchures de rivières, tandis que d'autres secteurs (cap de Camau) sont en fort recul du fait d'une redistribution sédimentaire littorale naturelle, sous forçage océanique des houles, courants et marées (Marchesiello *et al.*, 2019 - fig.4). A moyen terme, et surtout si le programme de construction de barrages s'intensifie (14 en projets) les diminutions des apports sédimentaires fluviaux impacteront toute la côte et amplifieront encore l'érosion si rien n'est fait pour restaurer un apport suffisant de sédiments dans le delta (Schmitt *et al.*, 2019) (Figure 4.)

Les trois pistes à privilégier pour sécuriser les flux sédimentaires dans le delta sont :

- D'une part, la restauration d'un transit amont-aval sur le fleuve Mékong en adoptant une réflexion systémique sur les projets hydroélectriques existants et à venir, et en s'assurant de leur capacité à laisser transiter une quantité suffisante de sédiments (ingénierie verte) ;

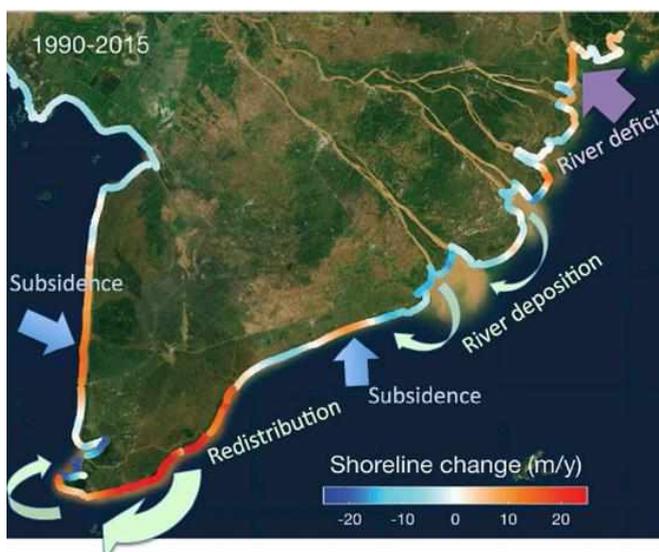


Figure 4 : Classification des processus d'érosion superposés à l'évolution de la zone côtière, Marchesiello *et al.*, 2019

- D'autre part, une mise en application des lois de contrôle des extractions de sables et de graviers dans le delta, et une réactualisation régulière de ces lois, en accord avec les risques d'enfoncement du delta ;

- Enfin, une restauration des zones de mangroves côtières afin de garantir un meilleur piégeage des sédiments fins de la frange littorale, conjointement à l'atténuation des houles (Anthony et Gratiot, 2012), et une stabilisation du sol, voire une expansion, grâce à la croissance du système racinaire.

Si la restauration des mangroves côtières ne permet pas de stopper l'érosion littorale lorsque le forçage océanique et le déficit sédimentaire sont trop importants (Marchesiello *et al.*, 2019 ; Besset *et al.*, 2019), cette technique permet indiscutablement de réduire les effets négatifs tout en luttant conjointement contre la subsidence. Ainsi, l'étude récente conduite par Krauss *et al.* (2017) a montré que la restauration de mangrove pouvait conduire à des élévations du sol de 4 à 11 mm/an. Il est également pertinent de rappeler que les cultures de crevettes, en pleine expansion du fait de la salinisation de la zone littorale du delta du Mékong, peuvent être réalisées au sein de mangroves naturelles, une technique ancestrale dont certaines études récentes montrent le bien-fondé (Veetil *et al.*, 2019).

#### 4. Et la mer monte

La remontée du niveau océanique provoquée à la fois par l'augmentation de la température marine (dilatation thermique) et la fonte des calottes polaires (fig. 5) est vécue comme un des impacts majeurs à venir du changement climatique. Sur les vingt dernières années, l'augmentation globale observée est voisine de 4 mm/an, mais les estimations locales peuvent varier en fonction des vents et des courants marins. Pour la zone particulière du delta du Mékong, la seule estimation disponible est de 1,5 mm/an sur la période 1987-2006 (Fujihara *et al.*, 2014). Toutes les projections concernant les deux scénarios les plus probables (RCP 4.5 : réduction des rejets de gaz pour une stabilisation autour de 660 ppm en 2100, au lieu de 450 actuel ; RCP 8.5 : inaction sur la réduction de gaz à effet de serre (GES) pour atteindre un taux de GES de 1400 ppm en 2100 (rapport GIEC 2015)) conduisent à une accélération de la vitesse de remontée océanique pour atteindre globalement des niveaux de respectivement 25 et 50 cm en 2050, puis 50 et 180 cm en 2100 pour les deux scénarios (Scussolini *et al.*, 2017). Ces niveaux ne tiennent pas compte de changements brutaux dans la fonte des calottes polaires, avec une contribution complémentaire possible de 1m en 2100 d'après de Conto et Pollard (2016). Le problème est donc crucial pour toutes les zones de delta, et particulièrement pour le Mékong, même si les valeurs locales semblent inférieures aux globales compte tenu des observations précédentes. Il est, en outre, essentiel de noter que cette variable ne représente qu'une contribution au risque de submersion des terres, caractérisé en fait par la remontée relative du niveau océanique (RSL – *relative sea level*), somme de la remontée du niveau marin et de la subsidence terrestre - dans l'état actuel d'un ordre de grandeur plus importante, conséquence directe des activités humaines locales (cf. section 1).

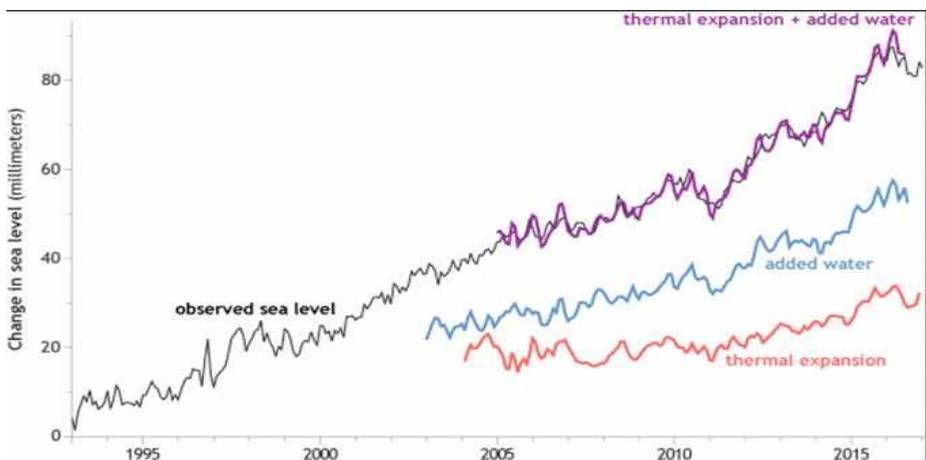


Figure 5 : Accroissement du niveau océanique depuis 1995, impact de la fonte des calottes polaires et de l'augmentation de température marine.

[https://www.climate.gov/sites/default/files/StateoftheClimate\\_2016\\_SeaLevels\\_graph\\_597x336.png](https://www.climate.gov/sites/default/files/StateoftheClimate_2016_SeaLevels_graph_597x336.png)

Cette conclusion se trouve, en outre, très fortement aggravée par les résultats de l'étude très récente de Mindenhoud (2019) basée sur le développement d'un modèle numérique de terrain de grande précision (TOPO-Dem, s'appuyant sur une base de données de 20 000 points) et comparant les données altimétriques (par rapport au niveau marin) obtenues avec celles découlant d'observations satellitaires par radar interférométrique (en particulier avec le modèle d'analyse de données le plus utilisé : SRTM Digital Elevation Model - Farr *et al.*, 2007). L'auteur montre que les cartes obtenues par cette méthode, qui sert de base à un très grand nombre d'études et d'expertises, sont marquées d'un biais ramenant l'altitude moyenne du delta de 2,6 m estimée jusqu'alors à 0,8 m. Cette l'incertitude résulterait de la différence entre le niveau marin de référence de la géoïde EGM96<sup>3</sup> sur lequel est basée la détermination de l'altitude par avec celui de la station marine de référence topographique pour le Vietnam (Hong Dau). Il est toutefois essentiel de noter que les variations d'altitude mesurées par satellite avec interférométrie radar sur lesquelles repose l'estimation des vitesses de subsidence ne souffrent pas de ce biais puisqu'elles résultent de la comparaison entre deux images

## 5. Conséquences

L'ensemble de ces processus a déjà deux conséquences essentielles pour le devenir du delta : la salinisation des sols par intrusion marine et l'inondation/submersion.

La salinisation des sols résulte soit de remontées capillaires en bordure littorale soit, à l'intérieur, des fortes dépressions piézométriques (de 9 à 15 m en dessous du niveau de la mer) qui induisent mécaniquement l'intrusion d'eau salée vers les nappes. L'irrigation intensive en saison sèche conduit de ce fait à un processus de salinisation d'autant plus important que l'épisode de saison sèche est intense (le cas particulier en 2016 dû à un très fort épisode El Niño). Sur la base des données disponibles durant la période 1991-2000, Nat L.N. (2015) a développé des scénarios tenant compte de l'évolution du débit du Mékong, de la durée et de l'intensité de la saison sèche et de la variation du niveau marin sur la base des modèles d'évolution de climat. Les incertitudes de la partie prévisionnelle sont trop grandes, mais les résultats concernant la phase de calibration (fig. 6) donnent une information intéressante de l'état des lieux durant la période retenue : environ 50 % de la surface agricole (2,1 millions d'hectares) aurait alors été affectée par une salinité supérieure à 4 g/l, valeur pouvant être atteinte à 80 km à l'intérieur. En 2016, les surfaces en riziculture devenues impropres à la culture sont passées de 140 000 à 210 000 ha (CGIAR, 2016). Bien que cet événement climatique soit exceptionnel, cet exemple présage de l'avenir si l'intrusion d'eau salée augmente (Figure 6).

En saison des pluies, l'inondation par accumulation d'eau de surface, et l'intrusion marine résultant des fortes amplitudes de marée (2 à 3 m) pénétrant par

<sup>3</sup> <https://epsg.io/5773>

les canaux et rivières, représentent l'autre risque majeur relié directement à la subsidence. En effet, la différence de niveau entre surface du sol et niveau océanique pouvant favoriser les écoulements vers la mer devient très faible sinon nulle, d'où l'importance d'avoir une information la plus précise possible de la topographie pour estimer le risque de submersion. C'est tout l'intérêt de l'article de Minderhout (2019), illustré figure 7 par une comparaison avec l'estimation des zones submergées suite à une augmentation relative de 1 m du niveau océanique, mise en avant à l'horizon 2050-2100 : 75 % de la surface des terres pour le modèle développé (TOPO Dem) contre 31 % pour les données satellitaires usuelles (SRTM-DEM). Au niveau de l'impact sur les populations, la nouvelle analyse conduirait à l'évacuation de 12 millions de personnes contre seulement 5 résultant des expertises s'appuyant sur ces données satellitaires (Figure 7).

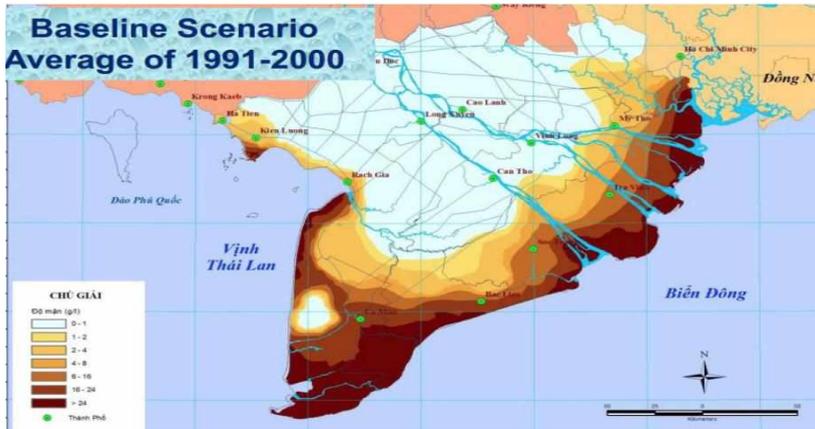


Figure 6 : Salinisation des sols du delta en saison sèche, période 1991-2000 Nat L.M., 2015.

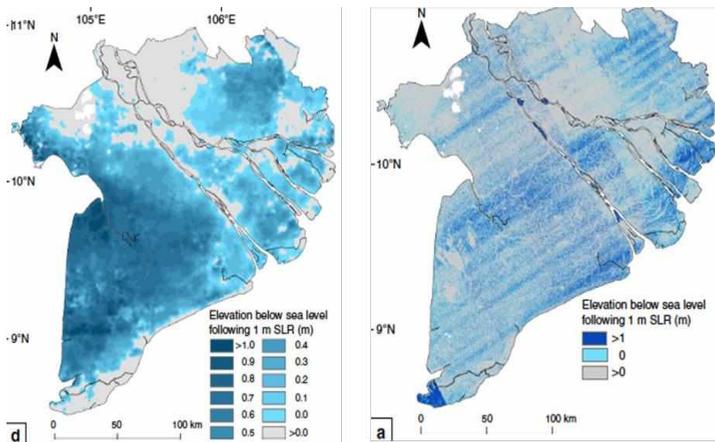


Figure 7 : Prédiction des surfaces submergées pour une remontée relative du niveau marin de 1m obtenue par nouveau modèle numérique (TOPO-Dem) ou par observation satellitaire (DRTM-Dem) sans correction de biais, Mindelhou 2019.

## 6. En conclusion

La gravité du problème n'échappe pas aux autorités vietnamiennes, le Premier Ministre ayant récemment décidé d'organiser en octobre 2019 un Forum sur le développement durable du delta du Mékong sous l'égide des Ministères des Ressources Naturelles et de l'Environnement, de l'Agriculture et du Développement Durable, de la Prévision et de l'Investissement des Finances, de la Construction, du Transport, etc. La situation est d'autant plus critique qu'à relativement court terme (aux environs de 2050) plusieurs millions de personnes, y compris les résidents de l'agglomération de CanTho (1,6 millions en 2019), pourraient être impactés par la submersion des terres. Déjà, à ce jour on assiste à l'exode annuel d'environ 28 000 réfugiés environnementaux (Chapman, Dang 2018, qui, pour l'essentiel, s'installent dans les anciennes zones de marécage du Sud-Est de la mégapole d'Ho Chi Minh Ville qui sont en fait de plus en plus marquées par les inondations.

Si toutefois la prise de conscience des problèmes est maintenant claire au niveau décisionnel, beaucoup reste à faire au niveau local et surtout les actions à mener sont, d'une part, peu élaborées, d'autre part, souvent difficilement applicables.

Il est maintenant clair que les causes essentielles de la subsidence sont l'excès des pompages en nappe et, en zone urbaine, les tassements résultant des infrastructures et des bâtiments. Le sol s'enfonce de plusieurs cm/an, un ordre de grandeur de plus que la remontée océanique ; au rythme actuel, sans une très forte régulation des pompages, la majorité du delta risque d'être en dessous du niveau de la mer à la fin du siècle.

La priorité est donc une réduction drastique des pompages en agriculture irriguée et en pisciculture (crevettes, en particulier), et ainsi une très forte modification de l'utilisation des terres, avec le développement de productions agricoles plus sobres du point de vue des besoins en eau et le développement de nouvelles méthodes (réutilisation des eaux, stockage des eaux de pluies, recharge des aquifères, nouvelles technologies d'irrigation). Cette réduction des pompages aurait aussi un impact sur la salinisation des sols, en arrêtant la croissance des processus. Le retour à une situation antérieure semble malheureusement hors de portée. Il sera également difficile pour la subsidence de revenir en arrière, mais des mesures locales consistant à favoriser les dépôts de sédiments (mangroves littorales) doivent être favorisées.

Sur le plan urbain, où les inondations deviennent de plus en plus importantes, deux possibilités peuvent être mises en avant : favoriser les constructions avec fondations profondes sur piliers et niveau d'habitation élevé ; développer des couloirs verts et des zones de stockage d'eau (Vachaud *et al.*, 2019) pour retarder les inondations. Concernant la submersion marine, l'échelle de temps est différente. On peut certainement envisager des digues de protection au niveau urbain, mais les grands projets de digues et de brise-lames pourront peut-être

freiner l'érosion côtière par les vagues et les courants autour du delta, mais ne semblent pas adaptés à une augmentation relative des eaux.

Enfin, la régulation des débits du Mékong et de l'apport de sédiments demeurera très certainement l'autre préoccupation environnementale majeure de la région, tant par ses conséquences sur la diminution de la biodiversité, en particulier des ressources halieutiques, que sur l'érosion littorale. La très intéressante étude récente de Schmitt (2019) montre, en particulier, qu'à production hydroélectrique équivalente la construction de barrages en amont peut avoir un impact sédimentaire très différent selon que l'étude de leur implantation est faite seulement sur des critères locaux ou en s'appuyant sur une stratégie d'adaptation régionale.

## Références

- [1] Besset M., N. Gratiot, E. Antony, F. Bouchette, M. Goichot and P. Marchesiello, 2019, Mangrove and shoreline erosion in the Mekong River delta, Viet Nam, *Estuarine, Coastal and Shelt Sci.*, 226, 106263, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106263>.
- [2] CGIAR, 2016, The drought and salinity intrusion in the Mekong River Delta of Vietnam, Assessment Report, 54 p.
- [3] Chapman A., T. Van Pham Dang, 2018, Climate change is triggering a migrant crisis in Vietnam, *The Conversation*.
- [4] DeConto R.M., D. Pollard, 2016, Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise, *Nature*, 531, 591-597.
- [5] Erban L E, Gorelick S M and Zebker H A 2014 Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam. *Environ. Res. Lett.* 9. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/084010>.
- [6] Eyster B., 2019, Last days of the Mighty Mekong, ZED Books, <https://asianreviewofbooks.com/content/last-days-of-the-mighty-mekong-by-brian-eyler/>.
- [7] Farr T. *et al.*, 2007, The shuttle radar topography mission, *Rev. Geophys.*, 45, 1-33.
- [8] Fujihara Y., K. hoshikawa, A. Kotera, T. Nagano, S. Yokoyama, 2015, Analysis and attribution of trends in water levels in the Vietnamese Mekong Delta, *Hydrological Processes*, <https://doi.org/10.1002/hyp.10642>.
- [9] GIEC-Changement Climatique, Rapport de synthèse, 2015, 161pp, ISBN 978-92-9169-243-9, Organisation Météorologique Mondiale. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf)
- [10] Ha D.T., S. Ouillon , G.V. Vinh, 2018, Water and suspended sediments budgets in the Lower Mekong from high frequency measurements 2009-2019. *Watre*, 10, 846. <https://doi.org/10.3390/w10070846>.
- [11] Ho Tong Minh Dinh and Ngo Yen Nhi, 2017] D. Ho Tong Minh and Yen-Nhi Ngo, TomoSAR platform supports for sentinel-1 TOPS persistent scatterers interferometry," in 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), July 2017, pp. 1680-1683.
- [12] Kondolf G.M., 1997, Hungry Water: Effects of dams and gravel mining on river channels, *Environmental Management*, 21: 533-551, doi: 10.1007/s002679900048.

- [13] Krauss K.W. *et al.* (11 co-authors), 2017, Create mangrove wetlands store belowground carbon and surface elevation change enables them to adjust to sea-level-rise, *Scientific Reports*, 7 :1030, doi:10.1038/s41598-017-01224-2.
- [14] Marchesiello P., N.M. Nguyen, N. Gratiot, H. Loisel, E.J. Antony, C.S. Dinh, T. Nguyen, R. Amar, E. Kestenare, 2019, *Continental Shelf Release*, 181, 72-89, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.05.004>.
- [15] Minderhoud P.S.J., G. Erkens, V.H. Pham, V.T. Bui, I. Erban, H ? Kooi and E. Stouthamer, 2017, Impact of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong Delta, *Environ. Res. Lett*, 06-4006, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7146>.
- [16] Minderhoud P.S.J., L. Coumou, G. Erkens, H. Middlekoop, and E. Stouthamer, 2019, Mekong delta much lower than previously assumed in sea-level rise impact assessments, *Nature Communication*, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11602-1>.
- [17] Nat L. M., National strategies on integrating climate change adaptation, 2015, NAP Expo, Bonn.
- [18] Quang K.H, K. Kanjoo, L.P.Nam, H.P. Thanh, J. Lee, K.N. Viet , N.P. Chu, 2019, A hydrogeological and geochemical review of groundwater issues in Southern Vietnam, *Geosciences Journal*, <https://doi.org/10.1007/s12303-019-0021-z>.
- [19] Schmitt R.J. P, S. Bizzi, A. Castelletti, J.J. Operman, G.M. Kondolf, 2019, Planning dams portfolios for low sediment trapping showing limits for unsustainable hydropower in the Mekong, *Science Advance*, vol5: 10, doi: 10.1126/sciadv.aaw2175.
- [20] Scussolini P., T.V.T Tran, E. Koks, A. Diaz-Loiaza, P.H. lo, R. Lasagne, 2017, Adaptation to sea level rise: a multidisciplinary analysis for Ho Chi Minh City, Vietnam, *Water Resources Research*, <https://doi.org/10.1002/2017WR021344>.
- [21] Vachaud G., F. Quertamp F., T.S.H. Phan, N.T.D. Tran, T. Thong, L.X. Loc, A.T. Nguyen, N. Gratiot, 2018, Flood-related risks in Ho Chi Minh City and ways of mitigation, *J. of Hydrology*. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.044.
- [22] Veettil B.K., R.D. Ward, N.X. Quang, N.T.T. Trang, T.H. Giang, 2019, Mangroves of Vietnam: Historical development, current state of research and future threats, *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.*, 218: 212-236, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.021>.
- [23] Walling D.E.S., 2008, The changing sediment load of the Mekong River, *AMBIO*, 37, 150-157, doi: 10.1579/0044-7447(2008)37[150:TCSLOT]2.0.CO;2.
- [24] World Bank, 2019-Vietnam, towards a safe, clean and resilient water system, 148 p., Washington DC.