



Mélanie BECKER

Université de La Rochelle,
UMR CNRS 7266 LIENSs

2.8 | Les deltas face à la subsidence et à l'élévation du niveau de la mer

Tout d'abord, merci de m'avoir invitée. Je vais vous faire un focus sur un objet physique tout à fait intéressant que sont les deltas.

Les deltas sont vraiment un objet intégrateur de tous les processus dont on vous a parlé ce matin, et c'est ce sur quoi on travaille au laboratoire Littoral, Environnement et Sociétés, notamment avec mes collègues.

Le delta, un équilibre fragile

Eric Chaumillon vous en a parlé en amont, mais voici une petite figure pour vous représenter en fait qu'un delta, c'est un état d'équilibre entre des forces océaniques et puis des forces fluviales.

Vous avez ici la représentation d'une lagune et d'un estuaire, qui sont contrôlés par un hydrodynamisme marin important : des vagues, de la houle.

Et puis quand on se positionne dans le cas d'un delta, c'est tout à fait différent. On a, de même, un grand fleuve pour la plupart, voire des tributaires, mais aussi un apport sédimentaire conséquent et surtout, un hydrodynamisme marin relativement faible, qui permettent à cette quantité de sédiments de venir stagner dans ce qu'on appelle donc le delta, et prograder vers l'océan.

C'est ce qu'on appelle un équilibre naturel entre les forces océaniques et les forces de l'océan.

Voici une carte de tous les plus grands deltas de la planète ; vous pouvez constater qu'ils sont nombreux, aussi bien positionnés au Nord et au Sud.

Et ci-dessous vous avez des topographies, des altitudes de certains deltas comme l'Amazone. Tout ce qui est rouge signifie qu'on est à peu près au niveau de la mer, à peu près zéro au niveau d'altitude.

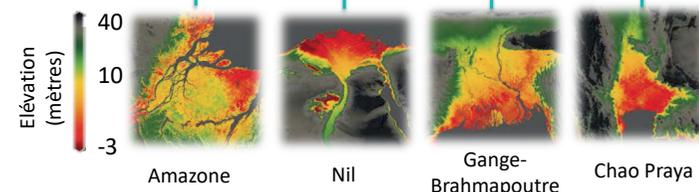
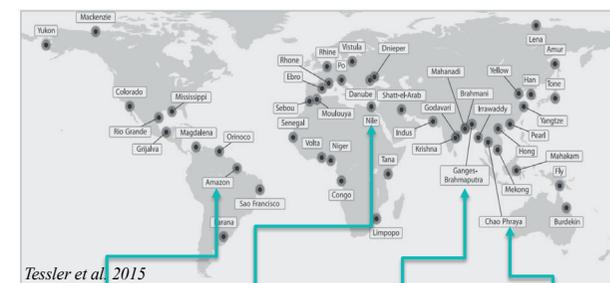
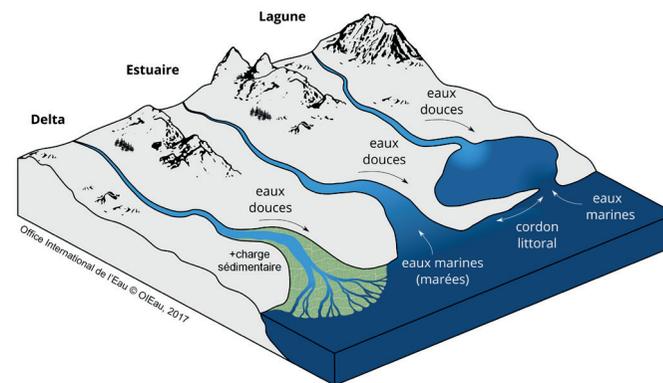
Donc on a l'Amazone, le Nil, ici le Gange Brahmapoutre dont je vais vous parler un petit peu plus tard, et puis le Chao Phraya qui est un delta situé en Thaïlande.

Tous ces deltas sont vraiment des très grandes régions d'intérêt. Pourquoi ?

Parce que ces deltas regroupent 14 % de la population mondiale sur moins de 2 % de la surface des territoires. Ils présentent des densités de population de 10 fois la moyenne mondiale. Ils ont des démographies importantes, une urbanisation croissante et sont aussi des zones d'intérêt, et économique et écologique.

La plupart d'entre eux subissent des aléas climatiques importants, notamment tous les deltas qui sont dans la zone inter-tropicale.

Un équilibre fragile entre, d'une part, un fleuve, avec des flux d'eau douce et des matières sédimentaires, et d'autre part l'océan.



Le delta, une région attractive pour l'homme

Je vous livre ici quelques chiffres en pagaille, puisqu'en dix minutes parler des deltas c'est un petit peu un challenge.

Donc le Nil, le Gange et le Brahmapoutre et le Yang Tsé, présentent des densités de population de 1000 habitants km², soit 20 fois la moyenne mondiale. Ce sont des régions extrêmement fertiles, qui sont à la fois le moteur, la crainte et la dynamique de toute la sécurité alimentaire de beaucoup de populations qui y vivent. Par exemple au Vietnam, le Mékong fournit plus de 50 % des récoltes de riz.

Ce sont aussi des endroits où il y a des mégapoles, comme Shanghai, Bangkok ou encore Hô Chi Minh et Dacca au Bangladesh, et qui subissent des aléas climatiques. On se souviendra de Katrina, dont a parlé Eric et puis Guy, en 2005, ce cyclone qui a fait plus de 108 milliards de dommages. Et puis des cyclones comme Nargis en 2008 en Birmanie, ou Gorki au Bangladesh en 91, qui ont fait plus de 140 000 morts.

Le delta, une région menacée

Ces régions, comme je vous l'ai montré, sont menacées.

Il y a plusieurs processus. Ici je montre une petite figure d'un état initial d'un delta. On a le fleuve, qui va apporter des sédiments et puis on a l'océan, et puis on a une variabilité naturelle du climat, notamment celle dont nous a parlé Benoît, et puis des mouvements du sol naturel comme le rebond post-glaciaire, dont nous a parlé Guy, et puis cette charge sédimentaire, puisque ces grandes quantités de sédiments qui viennent naturellement se déposer dans le delta provoquent des mouvements du sol, des subsidences.

Depuis le siècle dernier, on a des perturbations anthropiques, celles dont nous a parlé Benoît, donc on a le changement climatique avec cette hausse du niveau de la mer, avec des projections entre deux et dix millimètres par an. Mais on a aussi des mouvements verticaux du sol, comme nous en a parlé Guy, avec par exemple le pompage des eaux souterraines ou des hydrocarbures, qui vont créer des subsidences.

En fait, quand on somme ces paramètres, on va avoir une élévation de la mer relative. C'est-à-dire l'élévation du niveau de la mer ressentie directement par la population. Ici, on a le sol qui diminue et la mer qui va augmenter.

Et puis, il y a d'autres paramètres comme la diminution de l'apport de sédiments, due aux captages dans les barrages et due aussi à l'extraction de granulats.

Il y a d'autres paramètres que je ne liste pas ici, mais quand on fait la somme de tous ces paramètres, on arrive entre 12 et 100 millimètres par an d'élévation relative du niveau de la mer.

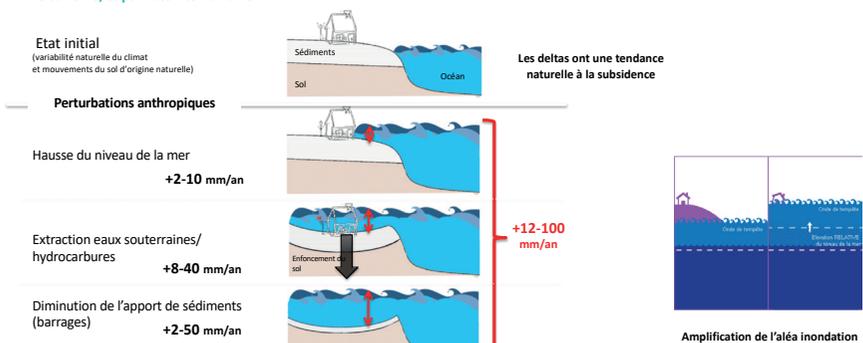
Ces régions côtières de très basse altitude sont écologiquement riches et sont, depuis longtemps, attractives pour l'homme.



- Nil, Gange-Brahmapoutre et Yang Tsé → des densités de population supérieures à 1000 hab./km², soit 20 fois supérieures à la moyenne mondiale (50 hab./km²).
- Plaines agricoles essentielles pour la sécurité alimentaire des populations qui y vivent
- Au Viêt-Nam, plus de la moitié de la production rizicole provient du delta du Mékong
- Mégapoles : Shanghai, Bangkok, Ho Chi Minh, Dacca, ...
- Cyclones : 2005 Mississippi (US) Katrina : 108 milliards de dollars de dommage – 2008 Irrawaddy (Birmanie) Nargis et 1991 Gange (Bangladesh) Gorky ~ 140.000 morts

Diapo 03 > Le delta, une région attractive pour l'homme

par la hausse du niveau de la mer, mais aussi par les mouvements verticaux du sol liés aux charges sédimentaires, à la tectonique et au volcanisme, et par l'activité humaine.



Diapo 04 > Le delta, une région menacée

Et une des questions scientifiques qui nous intéresse, notamment au LIENSs, c'est de savoir si on change ce niveau relatif d'élévation du niveau de la mer - on est (fig.02) dans un cas où il n'y a pas eu de modification - on a une zone de tempête qui arrive. Mais si on a une élévation relative du niveau de la mer qui augmente aussi fortement, qu'est-ce qu'il va se passer quand la zone de tempête va arriver ? Comment l'inondation va-t-elle se propager ? Et si c'était une question de recherche ? Car il y a des interactions non linéaires entre ces processus, et qui nécessitent toutes une modélisation. Et ça, c'est notamment le travail de Xavier Bertin qui vous fera sa présentation tout de suite après.

Le delta, une région vulnérable

Cette carte présente la vulnérabilité des populations dans ce delta - elle est issue du rapport du GIEC de 2007, qui a tenu compte de l'élévation relative du niveau de la mer, du captage des sédiments, de la subsidence du sol et d'autres phénomènes de l'élévation du niveau de la mer, mais aussi des densités de population et de la démographie.

Et ils ont classé ça en différentes parties : ce sont les populations déplacées d'ici 2050. Plus d'un million de personnes pourraient être déplacées dans le delta du Nil, dont je vous avais parlé, le delta du Gange Brahmapoutre, et puis le delta du Mékong, et entre un million à 100,000 personnes au Mississippi, au Godavari en Inde et puis dans le Yangtsé en Chine.

Le delta du Gange-Brahmapoutre

Tout ça pour vous amener aux travaux d'étude que nous sommes en train de réaliser au LIENSs. En effet, on s'intéresse à un delta qui est tout à fait particulier, qui est le delta du Gange Brahmapoutre. Je vous présente une image ici.

Vous avez deux grands fleuves, donc le Gange et le Brahmapoutre, et puis un autre un peu plus petit, mais très important tout de même, la Meghna, et tout ce que vous voyez en gris est le charriage des sédiments qui arrivent saisonnièrement dans notre delta.

Ici (fig.02) vous avez une carte des altitudes. Quand on est en orange foncé, on est entre zéro et cinq mètres au-dessus du niveau de la mer ; vous pouvez constater qu'on a quand même toute une zone qui est très vulnérable.

C'est un des plus grands deltas du monde, et ce qu'il faut savoir aussi c'est que sa charge sédimentaire est estimée à près d'un milliard de tonnes de sédiments par an, qui arrivent dans ce delta. Pour faire une analogie, c'est à peu près 1,5 fois la distance Terre-Lune, avec des camions benne de sable. Imaginez la quantité de sédiments qui arrivent dans cet endroit...

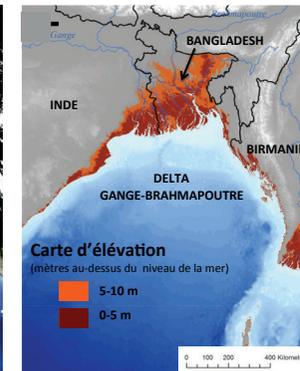
La vulnérabilité relative des deltas, indiquée en fonction de la population potentiellement déplacée par rapport à l'élévation relative du niveau de la mer d'ici 2050



Diapo 05 > Le delta, une région vulnérable



Le delta du Gange-Brahmapoutre



- ~100 000 km² → un des plus grands du monde
- Trois grands fleuves: bv ~1,7 million km²
- Transport sédimentaire: 10⁹ tonnes/an
- Une des régions les plus fertiles du monde (~70% riz)
- Marnage: jusqu'à 4-5m
- Delta : 40 millions de personnes et 60 millions d'ici 2050.

Diapo 06 > Le delta du Gange-Brahmapoutre

Pour autant, ça devient une région extrêmement fertile, puisqu'on a à peu près 40 millions de personnes qui vivent dans cet endroit, mais en même temps il y a des processus physiques qui doivent être compris, et qui aujourd'hui le sont très mal.

Ce que l'on sait de ce delta, c'est qu'il y a une forte subsidence, c'est ce que je vous présente sur cette carte. Vous avez des données issues des marégraphes, les points noirs, comme vous les a présentés Guy Wöppelmann. Et puis des données GPS, comme vous en a parlé Valérie Ballu, ce sont les flèches jaunes. Ce qu'on peut voir, c'est qu'on a que des flèches qui sont vers le bas, que des subsidences à plus de cinq millimètres par an.

Et puis c'est aussi une carte des zones inondées au fil du temps. Alors quand il y a des grandes moussons, on peut avoir jusqu'à 60 % de tout le delta qui est inondé, et cela sur plusieurs jours.

On a aussi, comme l'a présenté Guy Wöppelmann, utilisé de l'interférométrie radar, des données issues de satellites, pour caractériser cette subsidence du sol. Ce sont les travaux d'Higgins et al.

Vous pouvez voir Dhaka, la capitale, et puis tout autour on a réussi à obtenir sur 120 kilomètres et 200 kilomètres, tous les mouvements du sol. On arrive à des taux de subsidence jusqu'à 18 millimètres par an, ce qui est quand même assez considérable quand on parle d'élévation relative du niveau de la mer.

Diapositive non disponible

Et puis enfin, notre objectif : nous sommes un consortium, avec notamment le laboratoire dont dépend Benoît Meyssignac, le Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales, et des collègues aussi de sciences humaines.

Notre premier travail a été d'aller instrumenter le delta, aller positionner des GPS et des marégraphes. Comme vous avez pu le voir, et comme Eric Chaumillon a pu en parler, ce sont des zones très complexes. Parce que quand vous êtes dans le delta, ce n'est pas évident de trouver un point fixe pour installer un marégraphe.

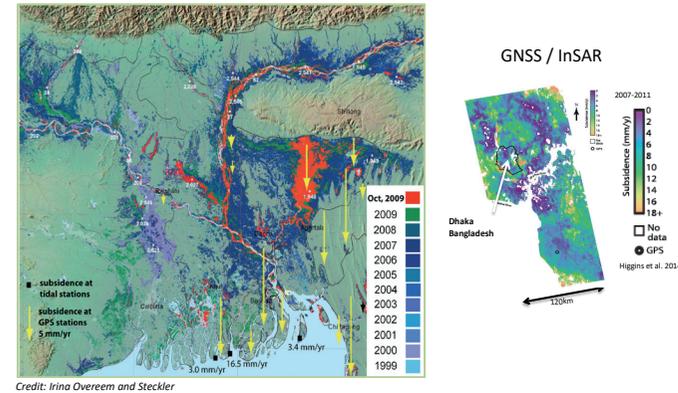
Une fois qu'on a trouvé le point fixe, c'est un peu compliqué. On a des exemples : Valérie Ballu a été installer ce marégraphe, et six mois après, quand nous sommes revenus pour récupérer les mesures, on s'est rendu compte que le marégraphe avait été démonté, parce que le pilier de pont avait été démolé. C'est extrêmement complexe comme zone, mais en même temps ce sont des zones d'intérêt scientifique et sociétal conséquent, à l'échelle de la planète et vis à vis du changement climatique.

Après, nous utilisons aussi des données d'altimétries. Donc ici, ce sont les cartes que vous avez colorées. Alors ça reprend l'exposé de Benoît, on est entre quatre et six millimètres par an, sur les 20 dernières années, d'élévation du niveau de la mer. On utilise des données marégraphiques.

Au départ, nous n'avions que cinq stations, donc on a été travailler avec nos collègues du Bangladesh dans leurs archives, pour aller extraire des informations qui



Le delta du Gange-Brahmapoutre



Credit: Irina Overeem and Steckler

Diapo 07 > Le delta du Gange-Brahmapoutre

existaient, mais qui n'étaient pas mises à disposition et qui avaient besoin d'être qualifiées, validées et retraitées. On a quand même réussi à extraire plein d'informations sur lesquelles on est en train de travailler.

Les deltas face à la subsidence et à l'élévation du niveau de la mer

Et puis une autre composante, qui est tout aussi importante, celle dont je vous parlais, qui est la charge sédimentaire.

Quelle est la subsidence due à la charge sédimentaire, et notamment la charge sédimentaire due à la dernière déglaciation? Quand il y a eu la fonte de ces glaces, il y a eu énormément de sédiments qui ont atterri dans le delta.

Et aujourd'hui, on utilise des modèles numériques qui nous permettent de faire une charge sur notre delta, et de déterminer qu'on a à peu près entre 1, 6 et 2 millimètres par an d'élévation du niveau de la mer aujourd'hui, qui sont dus à cette charge sédimentaire d'il y a 20 000 ans.

Voilà, tout ça pour dire que ces objets sont des objets physiques qui sont intégrateurs, qui nous permettent de rassembler toute une communauté.

Parce que finalement, il y a un vaste corpus de connaissances sur les deltas, mais dans des disciplines séparées. Et pour avoir une vue d'ensemble et répondre aux questions sociétales, nous avons besoin de travailler de manière conjointe sur ces disciplines. Voilà. Je vous remercie.

Les deltas face à la subsidence et à l'élévation du niveau de la mer

- Les deltas regroupent 14% de la population mondiale sur 2% de la superficie des continents
- Les deltas ont une tendance naturelle à la subsidence
- Cette subsidence est amplifiée par les activités humaines
- La subsidence, combinée à l'élévation du niveau de la mer, amplifie le risque d'inondations
- Ce risque n'est ni suffisamment compris, ni intégré dans les plans d'adaptation, notamment dans les grands deltas de la zone intertropicale (Gange-Brahmapoutre, Irrawaddy, Mékong, Niger...)

Diapo 09 > Les deltas face à la subsidence et à l'élévation du niveau de la mer