

Du delta à la mer Noire, la couleur des eaux du Danube vue de l'espace

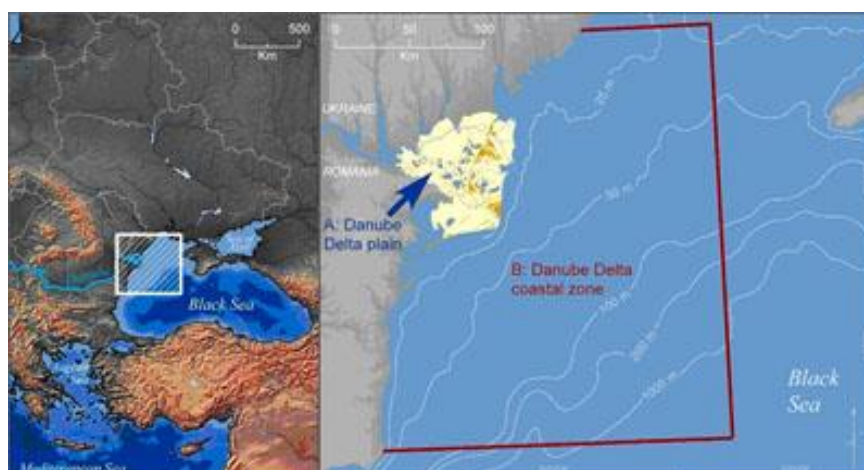
Dans les grandes embouchures fluviales au régime hydrologique complexe, l'observation par satellite de la turbidité des eaux permet d'étudier la dynamique du delta et le transport de sédiments vers la zone côtière.



Les fleuves apportent en mer de très grandes quantités de particules minérales et de matières organiques. Malgré leur rôle vis-à-vis du phytoplancton, des éléments nutritifs et des polluants, la dynamique spatiale et temporelle des eaux s'écoulant des embouchures reste généralement mal connue. Différentes techniques permettent de mesurer sur le terrain la transparence de l'eau ou sa charge en particules, mais sont d'un usage pratique parfois limité. Dans ce travail, les chercheurs ont eu recours à la télédétection satellitaire pour étudier la répartition spatio-temporelle de la turbidité dans le delta du Danube et la zone côtière adjacente.



Traversant dix pays européens, le Danube apporte 59 % de l'eau douce et 48 % des matériaux solides arrivant en mer Noire. Son delta de plus de 4 000 km² est un système hydrologique complexe associant trois bras principaux, des canaux naturels ou artificiels et environ 300 lacs.

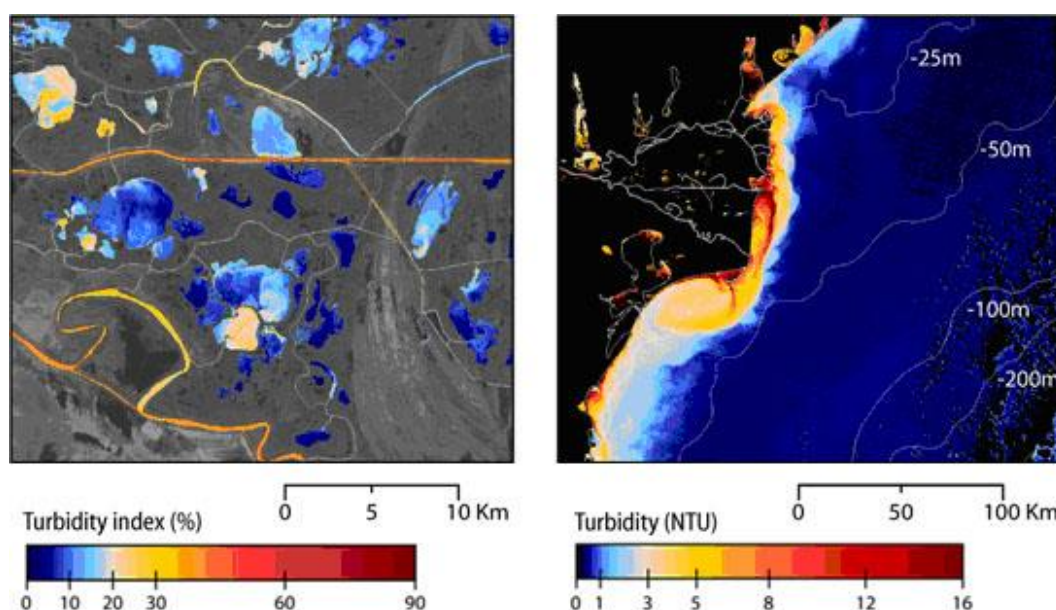


La zone d'étude : plaine du delta du Danube et zone côtière

L'étude s'étend sur 2006, 2007 (caractérisées respectivement par des remarquables événements d'inondation et d'étiage), 2008 et 2009 (années hydrologiques typiques). En mer, le capteur MERIS du satellite Envisat a fourni 52 images à moyenne résolution (300 m au sol) mais couvrant quinze bandes spectrales ; pour le delta, on a utilisé 32 images de différents capteurs plus précis (10 à 30 m) mais couvrant moins bien les portions du spectre appropriées à l'analyse de l'eau. Pour la zone côtière, les deux constituants principaux de la turbidité (matières en suspension et phytoplancton) ont été estimés séparément à partir d'une chaîne de calculs prenant en compte les différentes bandes spectrales. Pour le delta, un indice de turbidité est calculé pour chaque pixel par comparaison avec deux sites de référence choisis pour leurs propriétés optiques constantes.

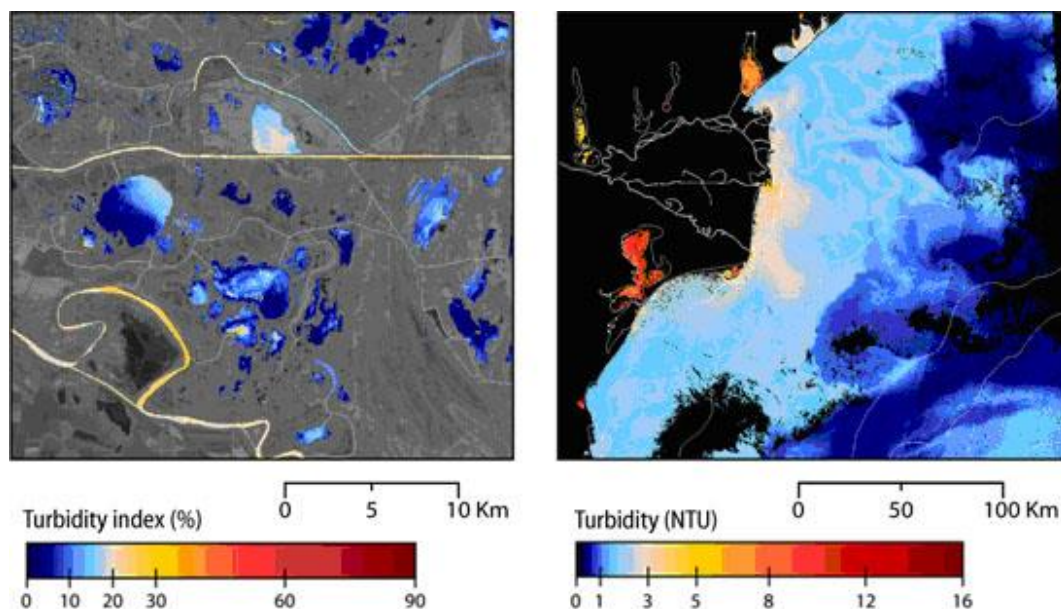
Le déroulement d'une année "typique" (2008) a été décrit :

- en hiver, le Danube a un débit faible mais des eaux très turbides qui apportent de grandes quantités de matière en suspension aux lacs. En mer, les panaches très turbides sont rapidement orientés vers le sud par les vents et les courants. Ils restent alors très proches du rivage, s'étendant rarement à plus de 15 km des côtes.



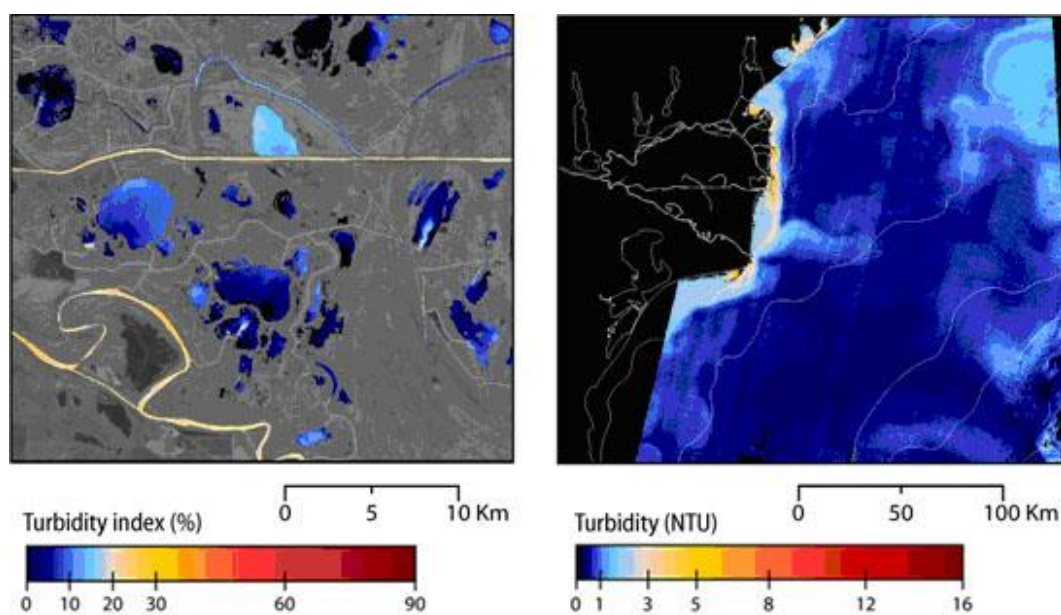
Situation typique d'hiver (février 2008) dans le delta (à gauche) et en mer (à droite)

- au printemps, le niveau du fleuve culmine en avril-mai alors que la turbidité des lacs commence à diminuer, et la plupart d'entre eux ont des eaux très claires quand le niveau maximal est atteint. En mer, les vents et courants littoraux continuent de limiter l'extension des panaches vers le large durant mars et avril, mais on peut en observer jusqu'à 40 à 70 km pendant de courtes durées. Leur extension maximale est généralement observée entre la fin du printemps et le début de l'été.



Situation typique de début d'été (début juillet 2008) dans le delta (à gauche) et en mer (à droite)

- à la fin de l'été, la turbidité est généralement très faible, aussi bien dans le delta qu'en mer où les panaches dépassent rarement 10 km d'extension vers le large. Après septembre, les conditions redeviennent moins stables, principalement en mer.



Situation typique de fin d'été (fin août 2008) dans le delta (à gauche) et en mer (à droite)

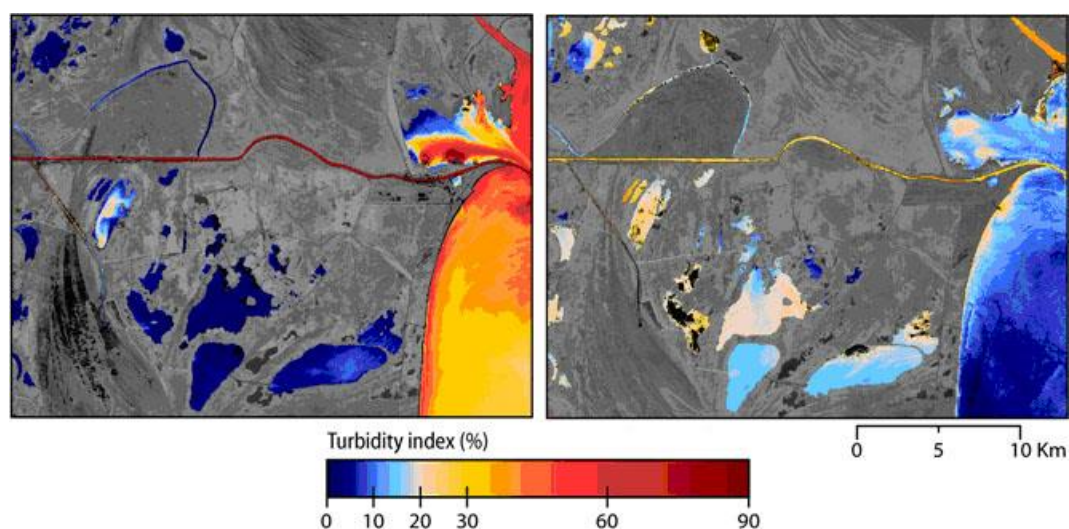
La turbidité n'est pas contrôlée seulement par le fleuve et ses apports ; le phytoplancton, les plantes aquatiques ou le vent jouent aussi un rôle.

- les fortes concentrations de phytoplancton peuvent réduire fortement la transparence des lacs ; c'est ce qui a été observé en été et automne 2007, et de façon générale de juin à octobre mais jamais au printemps. En mer, la contribution du phytoplancton à la turbidité totale est sans doute moins importante.

- les plantes aquatiques des lacs commencent à se développer en avril et agissent comme un "filtre" pour les matières en suspension apportées par le Danube, ce qui expliquerait la faible turbidité observée à la fin du printemps et au début de l'été sur la plupart des lacs. Ces communautés sont généralement stables jusqu'à fin septembre puis se décomposent en octobre, leur rôle filtreur devenant alors de moins en moins efficace.

- la turbidité peut aussi être due au vent ; la remise en suspension des sédiments par les vagues se produit surtout dans les parties les moins profondes (< 20 m) de la zone côtière lorsque le vent dépasse 15 nœuds ; dans les lacs, en revanche, la présence des plantes aquatiques fait obstacle à son action. Lorsqu'il souffle dans la même direction au-delà d'une demi-journée, le vent influence fortement l'orientation des panaches turbides.

Malgré ces influences, la turbidité reste clairement influencée par le régime hydrologique, comme le montre la comparaison entre les deux années exceptionnelles. En 2006 la crue de printemps a duré jusqu'au milieu de l'été ; la turbidité des rivières était très élevée mais les lacs sont restés très clairs ; le panache intérieur, plus turbide, s'étendait en mer jusqu'à 10-20 km des côtes. En 2007 il n'y a pratiquement pas eu de crue printanière ; l'eau des rivières était très peu chargée en sédiments alors que le phytoplancton rendait les lacs particulièrement turbides ; en mer, le panache intérieur atteignait à peine 5 km.



Evolutions opposées de la turbidité dans le delta et dans la zone côtière, en juillet 2006 (à gauche) et en juillet 2007 (à droite)

Sur le plan méthodologique, l'utilisation des images satellitaires et leur traitement par des méthodes adaptées aux caractéristiques spatiales et spectrales des capteurs ont fourni une information fiable et inter-comparable. Intégrées sur quatre années très différentes et plusieurs échelles spatiales, ces données ont permis de mieux comprendre la dynamique saisonnière de la turbidité et la répartition des facteurs qui la contrôlent. Un système aussi complexe et variable ne peut être étudié par de seules mesures ponctuelles qui, même répétées régulièrement, doivent être complétées par une approche spatiale.

L'article

Güttler F.N., Niculescu S., Gohin F., 2013. Turbidity retrieval and monitoring of Danube Delta waters using multi-sensor optical remote sensing data: An integrated view from the delta plain lakes to the western–northwestern Black Sea coastal zone. *Remote Sensing of Environment* 132 : 86–101.

[Version Open access de l'article](#)

Les auteurs

Ce travail est le fruit de la collaboration entre des chercheurs de l'[équipe Géomer](#) du laboratoire LETG (Littoral - Environnement - Télédétection – Géomatique) et du laboratoire [Dyneco](#) de l'Ifremer.

La revue

Editée par Elsevier, [Remote Sensing of Environment](#) est une revue scientifique interdisciplinaire consacrée à la théorie, les applications et la technologie de la télédétection des ressources et des environnements. A l'échelle locale ou globale, les articles qu'elle publie portent sur l'agriculture et les forêts, la géographie et l'information spatiale, l'écologie, les sciences de la Terre, l'hydrologie et les ressources en eau, l'atmosphère et la météorologie, l'océanographie et les zones côtières, etc.

Contacts

Auteurs : consulter [l'annuaire de l'IUEM](#)

Service Communication et médiation scientifique : communication.iuem@univ-brest.fr