



Commission économique pour l'Europe**Comité des transports intérieurs****Groupe de travail chargé d'examiner les tendances
et l'économie des transports****Groupe d'experts chargé d'étudier les effets des changements
climatiques et l'adaptation à ces changements
dans les réseaux et nœuds de transport****Dix-huitième session**

Genève, 6 et 7 juin 2019

Point 2 de l'ordre du jour provisoire

**Changements climatiques et réseaux et nœuds de transport
internationaux : présentation d'initiatives menées
sur les plans national et international****Incidence des changements climatiques sur la gestion de l'eau
du canal de Kiel*****Communication du Gouvernement allemand****I. Introduction**

1. Le présent document est une étude de cas concernant les incidences des changements climatiques sur la gestion de l'eau du canal de Kiel. À sa seizième session, le Groupe d'experts avait demandé que cette étude de cas soit présentée comme document officiel à de futures sessions.

2. Le canal de Kiel (Nord-Ostsee-Kanal) est la plus fréquentée des voies navigables artificielles accessible aux navires de mer dans le monde. Environ 100 millions de tonnes de marchandises y circulent chaque année. Il relie directement les ports de la mer du Nord à la région de la mer Baltique. Le canal a également pour fonction de drainer un bassin versant d'environ 1 500 km² dans le Schleswig-Holstein. La réalisation d'une étude concernant le drainage du canal de Kiel en fonction de différents scénarios de changements climatiques est une des principales activités que mène le Réseau d'experts du Ministère fédéral des transports et des infrastructures numériques (BMVI).

* Nils H. Schade (Agence fédérale maritime et hydrographique, Hambourg), A. D. Ebner von Eschenbach (Institut fédéral allemand d'hydrologie, Coblenche), A. Ganske (Agence fédérale maritime et hydrographique, Hambourg), J. Möller (Agence fédérale maritime et hydrographique, Hambourg), V. Neemann (Direction générale des voies navigables et des transports maritimes, Kiel).



3. Pour assurer les activités de transport, comme les traversées en ferry, tout en tenant compte des conditions hydrologiques et météorologiques, le drainage doit permettre de maintenir le niveau d'eau du canal de Kiel entre ses niveaux maximum et minimum. L'élévation du niveau de la mer d'environ 20 cm au cours des 100 dernières années a déjà sensiblement réduit les périodes pendant lesquelles le drainage est possible. Les changements climatiques qui s'annoncent provoqueront une nouvelle élévation du niveau de la mer, ainsi que des modifications de l'hydrologie continentale. Étant donné que le niveau d'eau des zones de marée de l'Elbe et de la mer Baltique devrait continuer à monter, la question se pose de savoir si les situations de drainage très difficile vont se multiplier et, le cas échéant, quelle sera l'ampleur des répercussions sur le canal de Kiel et ses bassins versants.

II. Méthodes

4. Deux approches distinctes ont été suivies : à la demande de l'Administration fédérale des voies navigables et de la navigation (WSV), l'Institut fédéral d'hydrologie (BfG) a mis au point un modèle de bilan hydrique qui permet de simuler le débit de ruissellement du bassin versant dans le canal de Kiel, ainsi qu'un modèle permettant de simuler les niveaux d'eau de ce canal et les possibilités de drainage.

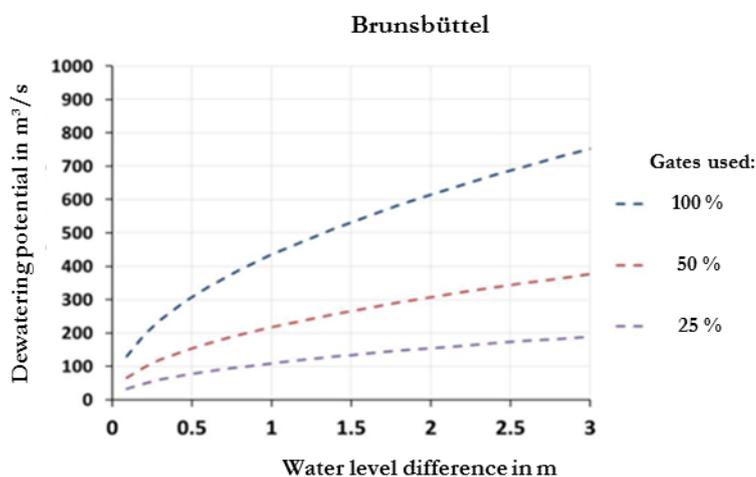
5. L'Agence fédérale maritime et hydrographique (BSH) a quant à elle examiné les états limites de service sur la base de paramètres océanographiques et atmosphériques uniquement, sans utiliser de modèle détaillé. Les deux approches, l'une fondée sur un modèle et l'autre sur des indicateurs, peuvent ainsi être comparées. La méthode fondée sur des indicateurs a déjà été appliquée aux résultats du modèle climatique MPI-OM (Mathis *et al.*, 2017) et les évolutions possibles des précipitations de longue durée et des niveaux élevés des eaux externes ont été examinées.

III. Résultats

6. La capacité de drainage a été calculée à l'aide d'un indice de corrélation en fonction des différences de niveaux d'eau entre le canal de Kiel et de l'Elbe (voir fig. I). Le canal de Kiel ne peut être drainé dans l'Elbe qu'à marée basse, lorsque le niveau d'eau du fleuve est inférieur à celui du canal. Le drainage du bassin versant du canal de Kiel est réalisé à 90 % à l'extrémité sud-ouest (Brunsbüttel), dans l'Elbe. La différence entre le niveau d'eau du canal de Kiel et celui de l'Elbe y permet en effet un drainage plus efficace qu'à l'extrémité nord-est, à Kiel-Holtenau, dans la mer Baltique où il n'y a pas de marées. Seules les possibilités de drainage à Brunsbüttel sont donc présentées ici.

Figure I

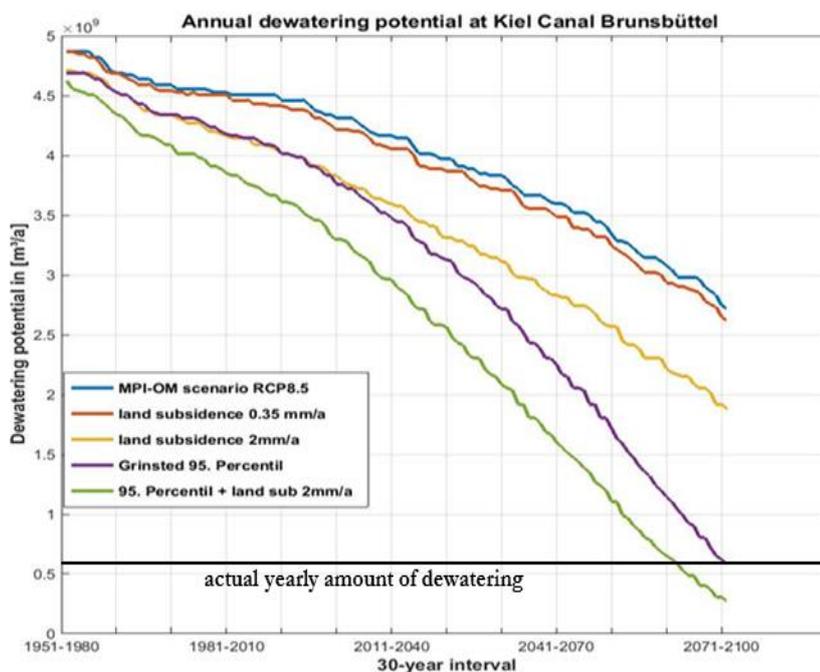
Mise en corrélation de la différence de niveau d'eau (entre l'Elbe et le canal de Kiel) avec la capacité de drainage à Brunsbüttel (Ebner von Eschenbach, 2017) en fonction de trois utilisations possibles des écluses



7. Le modèle climatique MPI-OM indique les niveaux d'eau horaires de l'Elbe passés (d'après les données historiques) et futurs (ici en fonction du scénario RCP8.5 « statu quo »). La capacité de drainage annuelle est estimée en fonction des variations horaires des niveaux d'eau. Les résultats sont présentés à la figure II. Les incidences de l'élévation du niveau de la mer sur la capacité de drainage sont décisives ; une élévation du niveau de la mer de 55 cm, comme on le prévoit, réduirait déjà de 40 % environ la capacité de drainage du canal de Kiel (voir fig. II, la ligne bleue correspond à une élévation du niveau de la mer d'environ 55 cm d'ici à 2100). L'affaissement des sols prévu dans le sud-ouest du Schleswig-Holstein (lignes jaune et orange) et des précipitations plus fréquentes et plus fortes vont encore réduire la capacité de drainage.

Figure II

Capacité de drainage prévue dans le scénario de changement climatique RCP8.5 avec/sans affaissement des sols et estimation d'une fonte plus rapide de la glace polaire. La ligne noire indique le volume annuel réel de drainage nécessaire (600 millions de m³/an)



8. Des marées basses dont le niveau d'eau est extrêmement élevé restreignent, voire empêchent, le drainage. Si le drainage peut être reporté sans difficulté dans le cas d'une seule marée basse de niveau d'eau supérieur à celui du canal de Kiel (au moins 480 cm au-dessus de la valeur normale du limnimètre), l'opération devient extrêmement compliquée lorsque deux ou plusieurs marées de ce type se suivent. Le tableau 1 illustre les situations dans lesquelles il est impossible de drainer l'eau, par tranche de trente ans, en fonction du nombre (1 à 6) de marées basses consécutives dont le niveau d'eau est supérieur au seuil maximum (480 cm) : on constate une augmentation rapide et statistiquement très significative (seuil de signification de 99 %) du nombre de marées basses de niveau d'eau élevé consécutives dans l'avenir. Il y a déjà en moyenne chaque année 10 à 12 épisodes de marées basses dont le niveau d'eau est supérieur à celui du canal de Kiel et on s'attend à ce leur fréquence augmente dans l'avenir avec l'élévation du niveau de la mer.

Tableau 1

Nombre d'épisodes de marées basses dont le niveau d'eau est plus élevé que celui qui est prévu pour le canal de Kiel, à Brunsbüttel, par période de trente ans, en fonction du nombre d'épisodes consécutifs (de 1 à 6)

<i>Nombre d'épisodes</i>	<i>1951-1980</i>	<i>1981-2010</i>	<i>2011-2040</i>	<i>2041-2070</i>	<i>2071-2100</i>
N=1	347	516	564	965	1 752
N=2	89	136	185	329	702
N=3	31	54	73	165	377
N=4	8	17	24	63	167
N=5	2	4	11	33	90
N=6	1	0	3	15	45

IV. Applications

9. Les modèles décrits ci-dessus ont permis de déterminer les états-limites de service pour la gestion de l'eau du canal de Kiel et l'évolution possible de la fréquence des situations dans lesquelles il est impossible de le drainer. Ces analyses donnent des informations très utiles pour l'élaboration de la stratégie fédérale d'adaptation aux changements climatiques. Ces travaux sont décrits dans le rapport « Adaptation aux changements climatiques mondiaux » (Fortschrittbericht Deutsche Anpassung an den Klimawandel, APA II, 2015) élaboré par le Gouvernement allemand et centré sur les changements climatiques et la mise en place d'une infrastructure de transport solide dans le canal de Kiel. Pour la WSV, qui exploite le canal, les études modèles décrites ci-dessus constituent une source essentielle d'information pouvant éclairer la prise de décisions sur les questions liées aux restrictions de drainage en raison de l'élévation du niveau de la mer et de changements pluviométriques. Deux solutions seront donc envisagées : A – une gestion adaptée des ressources en eau et B – la construction de nouvelles écluses.

10. À la lumière des résultats des études susmentionnées, la WSV examine des approches prospectives, qui consisteraient par exemple à se doter de moyens d'action à long terme, notamment en créant des zones inondables ou en construisant une nouvelle « station de pompage du canal de Kiel ».

11. Le remplacement des écluses permettant d'assurer un trafic maritime régulier sur le canal de Kiel sera planifié en fonction des nouvelles données sur l'accélération de la hausse du niveau de la mer. La WSV tiendra compte de la prévision d'une élévation du niveau de la mer d'environ 1,74 m (voir Grinsted *et al.*, 2015) au lieu de celle de 0,50 m qui était précédemment prise en considération dans le « Plan général de protection côtière » (General Plan Küstenschutz des Landes Schleswig Holstein – Fortschreibung 2012). Dans ce cadre, les travaux de l'écluse de Kiel-Holtenau seront planifiés de manière à pouvoir adapter la construction en fonction de l'élévation du niveau de la mer, ce qui permettra de rationaliser l'utilisation des ressources tout en répondant aux besoins. La construction prévue des vannes de protection contre les crues a par exemple été revue dans le cadre de ce processus de rationalisation.

V. Perspectives

12. À long terme, la fréquence des phénomènes combinés de précipitations abondantes et/ou de longue durée et de niveaux élevés des eaux extérieures sera examinée grâce à un ensemble de modèles climatiques. Cette approche sera également utilisée pour étudier les possibilités de modification du drainage d'autres bassins hydrographiques dans les zones côtières pour lesquels on ne dispose pas de modèle.

VI. Références

- Bundesregierung, Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Stand: 16.11.2015. www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf.
- Ebner von Eschenbach, A.-D. (2017): Simulation der Wasserbewirtschaftung des Nord-Ostsee-Kanals – Herausforderungen und Lösungsansätze. BfG-Veranstaltung. Kolloquiumsbeitrag « Modellierung aktueller Fragestellungen zur Wassermengenbewirtschaftung an Bundeswasserstraßen » am 13./14. Septembre 2016, Coblenz.
- Grinsted, A., Jevrejeva, S., Riva, R.E.M., and D. Dahl-Jensen (2015): Sea level rise projections for northern Europe under RCP8.5, *Climate Research*, 64, 15–23. doi.org/10.3354/cr01309.
- Mathis, M., Elizalde, A., and U. Mikolajewicz (2018): Which complexity of regional climate system models is essential for downscaling anthropogenic climate change in the Northwest European Shelf?, *Climate Dynamics*, 50(7-8), 2637-2659. doi.org/10.1007/s00382-017-3761-3.
- Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2012. www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/Generalplan.html.
-