Dynamiques environnementales

Journal international de géosciences et de l'environnement

42 | 2018

Du glint baltique au lac Peïpous

Le lac Peïpous en tant que plus grand lac transfrontalier d'Europe

Galina Kapanen

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/2193>

DOI : 10.4000/dynenviron.2193

ISSN : 2534-4358

Traduction(s) :

Lake Peipsi as a biggest transboundary lake in Europe - URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/2680> [en]

Éditeur

Presses universitaires de Bordeaux

Édition imprimée

Date de publication : 1 juillet 2018

Pagination : 248-265

ISSN : 1968-469X

Référence électronique

Galina Kapanen, « Le lac Peïpous en tant que plus grand lac transfrontalier d'Europe », *Dynamiques environnementales* [En ligne], 42 | 2018, mis en ligne le 01 juin 2019, consulté le 04 mars 2022. URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/2193> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dynenviron.2193>

La revue *Dynamiques environnementales* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

le lac Peïpous en tant que plus grand lac transfrontalier d'Europe

Galina Kapanen

Institut d'écologie de l'université de Tallinn
Uus-Sadama 5, 10120 Tallinn, Estonie.
galya@tlu.ee

English text p. 398

Résumé

Le lac Peïpous *lato sensu* (l.s.) (Chudskoe ou Chudsko-Pskovskoe en russe) (3 555 km²) est le plus grand lac international d'Europe et le quatrième plus grand lac d'Europe après le Ladoga, l'Onega et le Vänern en termes de superficie et est situé dans le bassin de la mer Baltique. Trois États se partagent son bassin : la fédération de Russie (59 % de la superficie du bassin), l'Estonie (34 %) et la Lettonie (7 %). La formation et la répartition des types de structure des dépôts de fond du lac Peïpous sont déterminées par des facteurs hydrométéorologiques (vagues, courants, fluctuations saisonnières du niveau d'eau, impacts des glaces lacustres) ainsi que par les facteurs géologiques et géomorphologiques locaux comme la topographie et la morphologie côtière. La partie centrale du Lac Peïpous stricto sensu mesure entre 9 et 11 m de profondeur ; la zone littorale est peu profonde et le fond plutôt régulier plonge sur quelques kilomètres au niveau des côtes est et ouest. La partie du continent qui couvre le bassin versant du Lake Peïpous est composée de forêts (50 à 70 %) et de terres agricoles (~30 %). La qualité de l'eau du bassin du lac Peïpous dépend des phénomènes naturels et de l'activité humaine. Le niveau trophique du lac Peïpous est passé progressivement de mésotrophe-eutrophe à eutrophe-hypertrophe au cours des dernières décennies. Les principaux poissons commerciaux du lac Peïpous sont

Le lac Peïpous (cliclé : Tuderna, 2007, wikimedia commons, CC BY 3.0).

l'éperlan, la perche, la grémille, le gardon, la daurade, le brochet, le corégone et le sandre. Officiellement approuvé par l'Estonian-Russian Transboundary Water Commission (commission des eaux transfrontalières entre l'Estonie et la Russie), le programme de gestion du bassin du lac Peïpous constitue une base pour les futures actions communes à venir dans le bassin. Le River Basin Management Plan (RBMP, programme de gestion du bassin) a été établi pour le district hydrographique partagé, mais séparément en Estonie et en Russie. Les deux parties se tiennent régulièrement au courant des mesures prévues et actées, mais, la mise en place de telles mesures est décidée et réalisée indépendamment de l'autre pays. Les mesures de gestion en Estonie devraient être consacrées en priorité à la résolution de problèmes liés à l'utilisation des terres, comme la réduction des émissions diffuses provenant de l'agriculture ; à l'inverse, la politique russe devrait se concentrer sur l'amélioration du traitement des eaux usées municipales et industrielles ainsi que sur l'amélioration de la qualité de l'eau potable.

Mots-clés

Lac Peïpous, eutrophique, transfrontalier, gestion du bassin, niveau de l'eau.

Introduction

Le lac Peïpous *lato sensu* (*l.s.*) (aussi appelé Lake Peipus en anglais et en allemand, et Chudskoe ou Chudsko-Pskovskoe en russe) (3 555 km²) est le plus grand lac international d'Europe et le quatrième plus grand lac d'Europe après le Ladoga, l'Onega et le Vänern en termes de superficie et est situé dans le bassin de la mer Baltique. Trois États se partagent son bassin : la fédération de Russie (59 % de la superficie du bassin), l'Estonie (34 %) et la Lettonie (7 %) (figure 1). Il est d'une grande importance à la fois pour la Russie et l'Estonie en tant que ressource d'eau potable, mais aussi du point de vue de la pêche, des loisirs et de la circulation. De façon générale, le lac Peïpous a longtemps attiré des spécialistes aux professions variées. Un ensemble de monographies a été publié : en anglais, « Lake Peipsi. Geology » (Miidel et Raukas, 1999) ; « Lake Peipsi. Flora and Fauna » (Pihu et Haberman, 2001) et « Lake Peipsi. Meteorology. Hydrology. Hydrochemistry » (Nõges, 2001) ; en estonien, « Peipsi » (Pihu et Raukas, 1999) et « Peipsi » (Haberman et al., 2008) ; en russe, « Lake Chudsko-Pskovskoe » (Sokolov, 1941) ; « Bottom Deposits of Pihkva-Peipsi Lake » (Raukas, 1981) ; « Hydrological Regime of Lakes and Reservoirs in the URSS : Lake Chudsko-Pskovskoe » (Sokolov, 1983) ; « Pskovsko-Chudskoe Lake » (Raukas et al., 2012).

Le lac Peïpous *l.s.* fait partie du bassin versant du fleuve Narva qui relie le lac au golfe de Finlande de la mer Baltique. Après la Neva, le fleuve Narva est le deuxième plus long fleuve (77 km) qui s'écoule vers le golfe de Finlande. Le bassin versant Narva-Peïpous (56 225 km²) est un bassin international majeur dans la zone de la mer Baltique et en Europe. Le bassin versant est environ 12 fois plus grand que la superficie du lac en lui-même. Le bassin hydrographique du

lac Peïpous *l.s.*, qui s'étend de 59°13' à 56°08' N et de 25°36' à 30°16' E (figure 1), est divisé entre deux États de l'UE (l'Estonie et la Lettonie) et un État qui ne fait pas partie de l'UE (la fédération de Russie). Le bassin versant est plat, avec un point culminant de 317 m au-dessus du niveau marin et une élévation moyenne de 163 m. Ce bassin est une zone de plaine nord-européenne typique d'origine glaciaire, caractérisée par de la roche mère paléozoïque, recouverte de matières glaciaires non consolidées d'épaisseur variable. Sur la côte nord du lac Peïpous, les dunes à la morphologie particulière, appelées dunes « trouées de caoudeyres » par Orviku (1933), sont fréquentes, formées derrière des couloirs de vent paraboliques plutôt grands (Raukas, 2011). Près d'Alajõe, une nouvelle falaise d'environ 4 m s'est formée dans les anciennes dunes (figure 2). Le lac est constitué de trois parties : la partie nord, la plus grande et la plus profonde de toutes, le lac Peïpous *stricto sensu* (Chudskoe en russe), la partie centrale qui ressemble à un détroit, le lac Lämmijärv (Tyoploe en russe) et la partie sud, le lac Pihkva (Pskovskoe en russe) (figure 1, tableau 1). Le lac Pihkva relève presque entièrement de la juridiction russe.

Il existe environ 240 graus reliés au Lac Peïpous *l.s.* Les plus grandes rivières sont la Velikaïa, la Emajõgi, la Võhandu et la Zhelcha. Le bassin versant de la rivière Velikaïa est 2,6 fois plus grand que celui de la rivière Emajõgi et son débit moyen est 2,5 fois plus important (188 et 75 m³/s, respectivement) (Blank et al., 2017). La profondeur moyenne du lac est de 7,1 m, la profondeur maximale de 15 m et le temps de résidence de l'eau d'environ deux ans (Jaani et Raukas, 1999) (tableau 1). Les zones humides du lac Peïpous, Emajõe Suursoo (Estonie) and Remedovsky (Russie), sont sur la liste de la Convention de Ramsar.

Le lac Peïpous en tant que plus grand lac transfrontalier d'Europe

Figure 1 : localisation du bassin versant fleuve Narva - lac Peïpous (carte créée avec ESRI ArcMap et Inkscape ; source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Narva_basin_map.svg 2009).

D'un point de vue climatique, le lac Peïpous se trouve dans la zone climatique continentale dont le temps est modéré par la proximité relative de l'océan Atlantique. Les étés sont relativement

chauds et humides, et les hivers sont plutôt doux. La température moyenne de l'air dans la région du bassin versant du lac Peïpous s.l. est de 14,7°C en juin et de -3,3°C en décembre (station mé-

Tableau 1 : Données morphométriques sur le lac Peïpous l.s. (niveau de l'eau à 30 m au-dessus du niveau marin). Sources : (Sokolov, 1983) ; (Jaani et Raukas, 1999).

	Peïpous s.s.	Lämmijärv	Pskov	Peïpous l.s.
Superficie, km ²	2611	236	708	3555
Volume de la surface, %	73	7	20	100
Volume, km ³	21,79	0,60	2,68	25,07
% du volume total	87	2	11	100
Moyenne de profondeur, m	8,3	2,5	3,8	7,1
maximum, m	12,9	15,3	5,3	15,3
Longueur, km	81	30	41	152
Moyenne de largeur, km	32	7,9	17	23
maximum, km	47	8,1	20	47
Longueur du littoral, km	260	83	177	520
Répartition de la longueur totale, %	50	16	34	100
Répartition des eaux territoriales entre l'Estonie et la Russie, %	55/45	50/50	1/99	44/56

Figure 2 : Les roseaux du lac Peïpous se sont multipliés au cours des 30 dernières années, de 20 g/m² en 1970 à 789 g/m² en 1989 jusqu'à atteindre 1563 g/m² en 2002 (biomasse sèche moyenne de la partie nord du lac ; Mäemets et Freiberg, 2004 ; photo par G. Kapanen).

téorologique de Tiirikoja, période 1923-2017). Les précipitations annuelles moyennes entre 1957 et 2009 sont de 600-660 mm (Tammets et Jaagus, 2013)d. La vitesse moyenne du vent est de 4-5 m/s. Les vagues sont abruptes et courtes et avec la force du vent de 8 m/s, leur hauteur est de 60-70 cm (Sokolov, 1983). Des vagues de cette hauteur sont très communes (57 %) dans le lac Peïpous s.s. Les plus hautes

vagues (240 cm) ont été enregistrées en 1961 et 1962 avec un vent d'une force de 20 m/s (Terasmaa et al., 2013).

La formation et la répartition des types structuraux de vase de fond sont déterminées par des processus hydrométéorologiques (les vagues, les courants, les fluctuations saisonnières du niveau de l'eau, les impacts de la glace lacustre) ainsi que par des facteurs lithologiques

et géomorphologiques. Dans les lacs grands et peu profonds comme le lac Peïpous, caractérisé par son rapport dynamique élevé (de 6,16) (calculé selon Håkanson et Jansson, 1983 ; Lindström *et al.*, 1999), la sédimentation est principalement influencée par les courants et les vagues mais aussi par les rivières qui s'écoulent dans le lac (Vaasma et Terasmaa, 2010).

Le régime des eaux, qui dépend de la fluctuation annuelle des précipitations et de la température dans la région, varie considérablement d'une année à l'autre. Généralement, la glace commence à couvrir le lac Peïpous *s.l.* avant la fin décembre et le lac n'a plus de glace en avril, début mai. Durant les hivers moyens, la glace est épaisse de 50 à 60 cm et durant un hiver rude, elle peut encore faire plus de 80 cm en avril. La glace la plus épaisse dans le lac Peïpous, 120 cm, a été mesurée au centre du lac en avril 1965 (Reinart et Pärn, 2006).

Les changements de conditions hydrologiques, traduits par les fluctuations cycliques des régimes des eaux durant une longue période, ont déjà été abordés à la fin du XIX^e siècle et de nombreux plans ont été proposés pour la régulation du niveau d'eau (Kening et Zhivilov, 1909 ; Shpindler et Zengbush, 1896). Les premières études scientifiques du lac ont commencé après des inondations catastrophiques, dans les années 1840, qui ont causé des dommages considérables aux régions adjacentes (Raukas et Tavast, 2011). K.-E. Baer (1860) a supposé que des inondations catastrophiques avaient été causées par des travaux d'amélioration et de déforestation dans le bassin versant. Pour éviter d'importantes inondations, G. von Helmersen (1864) a proposé d'abaisser le niveau d'eau du lac d'environ 1 m en draguant les cours supérieurs du fleuve Narva. Abaisser le niveau d'eau du lac est redevenu un problème d'actualité

après les années extrêmement riches en eau au début des années 1920. Dans le village de Nina sur la côte ouest du lac Peïpous, au sud de la ville de Kallaste, la population locale a dû être réimplantée et des constructions de défense des côtes ont été créées (Vichmann, 1929).

Le niveau d'eau n'est pas régulé, celui de référence étant de 30 m au-dessus du niveau marin (200 cm selon la station hydrométrique Tiirikoja/Mustvee). Le début de l'exploration hydrologique dans le bassin du lac Peïpous est lié à la navigation sur le fleuve Narva (Raukas et Tavast, 2011, et les références à cet égard). Engagé par le ministère russe des transports, l'ingénieur E. König a commencé les préparations pour la conception d'une voie navigable Tartu-Pihkva-Narva en 1902. Au même moment, sept stations de mesure du niveau d'eau ont été construites sur les rives du fleuve Narva. S'ajoutera à celles-ci une station construite à Praaga, à l'embouchure de la rivière Emajõgi. Mais la première station de mesure du niveau d'eau sur la rivière Emajõgi à Tartu avait déjà été construite 35 ans auparavant, ce qui signifie que les informations concernant les fluctuations du niveau d'eau dans le lac Peïpous sont disponibles pour une période d'environ 150 ans.

Les fluctuations saisonnières et particulièrement le niveau d'eau à long terme dans le lac Peïpous sont considérables et plutôt bien étudiées. Une rythmicité différente est observée dans les fluctuations du niveau du lac. Jaani (1973, 1999, 2001) et Kullus (1990) ont distingué six cycles à long terme d'une durée de 19-34 ans, proches des cycles de Brikner (Pérez-Peraza *et al.*, 2005). Des cycles d'une courte période avec une durée approximative de 5,1 ans ont aussi été découverts. Reap (1986) a réalisé l'analyse spectrale de la même série, distinguant des cycles (en années)

de 6,1-6,4 ; 10-11 et 80-90, tandis que pour la série d'inondations du fleuve Neva, des cycles de 5,1 ; 6,1-6,3 ; 10,5-11 et 29,3 années ont été distingués.

Chaque cycle a un niveau d'eau moyen, mais il y a aussi des variations à court terme. En raison des importantes fluctuations du niveau d'eau dans le lac, la superficie et le volume d'eau du lac varient tous les deux considérablement. Durant le plus haut niveau d'eau (12 mai 1924, 31,76 m) la superficie du lac Peïpous était estimée à 4330 km² et le volume d'eau à 32,128 km³. Au plus bas niveau d'eau (7 novembre 1994, 28,72 m), ces valeurs étaient respectivement de 3480 km² et 20,98 km³. La superficie peut donc varier de 850 km² et le volume d'eau de 11,15 km³ (Eipre, 1964, Jaani and Raukas, 1999, Sokolov, 1983). L'amplitude des fluctuations naturelles entre les moyennes annuelles du niveau d'eau du lac Peïpous est d'environ 1,5 m. L'amplitude maximale des fluctuations du niveau d'eau est de

3,04 m.

La qualité de l'eau dans le bassin du lac Peïpous dépend des processus naturels et des activités humaines. Le niveau trophique du lac Peïpous s'est développé petit à petit, passant d'un milieu mésotrophe-eutrophe à un milieu eutrophe-hypertrophe durant ces dernières décennies selon les zones du lac (Frumin *et al.*, 2017, Kangur *et al.*, 2002, Starast *et al.*, 2001, Tammeorg, 2014). Le transport fluvial est la voie la plus importante pour l'apport de nutriments au lac Peïpous. Dans les années 1960, le lac Peïpous était presque mésotrophe et le lac Pihkva était eutrophe (Starast *et al.*, 2001). L'eutrophisation des eaux de surface a réellement commencé dans les années 1970. La charge polluante était au plus haut au début des années 1980 en raison de l'activité humaine intense dans le bassin versant. En raison de l'utilisation inefficace des engrais et de la mauvaise gestion du fumier durant la période soviétique, l'agri-

Figure 3 : Environ 32 km de dunes de sable côtières se sont formées sur la rive nord du lac Peïpous s.s. Les dunes de sable peuvent atteindre 5 à 8 m de hauteur. À Alajõe, leur hauteur peut atteindre 20 m (photo de G. Kapannen).

culture a causé de grandes émissions de nutriments (Azote total, Phosphore total) dans les rivières et les lacs et, par la suite, des problèmes d'eutrophisation.

La dynamique de la charge polluante a changé depuis la dissolution de l'ancienne Union Soviétique. En effet, la récession économique a suivi la chute de l'Union soviétique et a aussi augmenté les capacités de traitement des eaux usées des grandes terres. Dans les années 1990, les charges dispersées ont rapidement diminué respectivement de 53 % et 44 % en ce qui concerne les charges en N et P (Loigu et Leisk, 1996). Cependant, malgré la chute de la charge externe, la teneur en P dans la partie sud du lac a continué à augmenter dans les années 1990. L'état écologique du lac Peïpous s.s. et particulièrement celui du lac Pihkva ont commencé à être caractérisés par d'énormes fleurs d'eau de cyanobactéries potentiellement toxiques, des manques drastiques d'oxygène la nuit et des morts de poissons (Haberman *et al.*, 2010, Kangur *et al.*, 2013).

Selon Kangur *et al.* (2002), au début du XXI^e siècle, à en juger par l'état du biote, le problème trophique dans le lac ne s'était pas amélioré. Pour la période de 2000 à 2015, la qualité de l'eau des rivières Gdovka (gare fluviale de la ville de Gdov), Piuza (Slantsy) et Zhelcha (village de Yamm) peut être classée comme étant « légèrement sale » et les rivières Emajõgi (Kavastu) et Rannapungerja (Iisaku-Avinurme) comme étant « sales » (Frumin et Fetisova, 2017). La charge annuelle nette de P du lac Peïpous en 2006-2010 était de 723 t (Piirimäe *et al.*, 2015). Environ la moitié de celle-ci était retenue dans le lac tandis que l'autre moitié s'écoulait dans la rivière Narva (estimée par Kondratyev, 2011). Pskov (Russie) et Tartu (Estonie), avec respectivement 206 000 et 100 000 habitants, sont à l'origine

de la majeure partie de la pollution de source ponctuelle (Buhvestova *et al.*, 2011). Blank *et al.* (2017) ont comparé les deux sous-périodes 2003-2007 et 2008-2012 et soutiennent qu'une diminution des nutriments présents dans les charges du lac Peïpous s.l., et également dans les eaux du lac, montre un léger changement vers le rétablissement du lac. Le rétablissement peut être un processus lent puisque les communautés biotiques diffèrent dans leur temps de réponse face à des changements de conditions concernant les nutriments.

Dans le lac Peïpous, grand et peu profond, l'augmentation du nombre de roseaux a été la conséquence la plus remarquable de l'enrichissement en nutriments durant ces cinquante dernières années (Mäemets et Freiberg, 2004). L'évaluation de l'état écologique aux niveaux d'eau les plus bas et les plus hauts diffère d'au moins une catégorie de qualité (Mäemets *et al.*, 2018). L'augmentation du nombre de roseaux la plus importante a eu lieu dans la partie nord du lac Peïpous (figure 3). L'étendue des roseaux [principalement *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.] représente environ 1 % de la surface du lac en 2013 selon les calculs faits à partir d'images satellites (Peterson et Liira, 2016) ou environ 1,3 % de la superficie du lac selon les calculs faits à partir des résultats d'études menées sur le terrain depuis les années 2000 (Mäemets et Freiberg, 2004).

En considérant le nombre de prises de poissons par an (9 000-12 000 tonnes ou 25-40 kg/ha), le lac Peïpous surpasse tous les grands lacs de l'Europe du Nord (Nöges *et al.*, 1996). Les modifications structurelles de la communauté de poissons du lac Peïpous durant les soixantedix dernières années sont passées d'espèces propres et d'eau froide comme le corégone blanc, les poissons blancs et la lotte, à plus de sandres qui préfèrent les

eaux productives, chaudes et troubles (Kangur *et al.*, 2007). Les principales pêches commerciales du lac Peïpous concernent les éperlans, les perches, les grémilles, les gardons, les brèmes, les brochets, les corégones blancs et les sandres. Le nombre de corégones blancs a considérablement baissé ces dernières années, tandis que la quantité de sandres a augmenté.

Propriété foncière

Selon Samuel P. Huntington (1998) « ... la ligne historique qui a existé pendant des siècles, séparant les peuples chrétiens occidentaux des peuples musulmans et orthodoxes [...] s'étend le long de ce qui est maintenant les frontières entre [...] les pays baltiques (Estonie, Lettonie, Lituanie) et la Russie [...] ». La position géopolitique de l'Estonie à la frontière de deux civilisations et son histoire récente en font un sujet intéressant pour l'étude des forces motrices et les mécanismes d'émergence d'une coopération entre deux pays considérablement différents par leur taille, leur importance sur la scène mondiale et leur contexte culturel.

La Fédération de Russie (superficie totale de 17 075 200 km², les terres représentant 16 995 800 km² et l'eau 79 400 km²) a des frontières avec quatorze pays européens et asiatiques. Il y a 102 grands ou moyens cours d'eau transfrontaliers : soixante-deux rivières coulent du territoire de la Russie vers l'extérieur et quarante rivières coulent de l'extérieur vers la Russie. Le nombre total de rivières, lacs et autres plans d'eau qui franchissent la frontière se comptent en milliers (Kukosh et Nabrodov, 1998). De l'autre côté, avec une superficie de 45 000 km², l'Estonie est, par exemple, plus vaste que la Slovénie, les Pays-Bas, le Danemark ou la Suisse.

La superficie totale du bassin versant estonien du Peïpous est de 11 224 km² (¼ du territoire estonien) et sa population totale est d'environ 444 500 personnes (~¼ de la population estonienne). La population totale du bassin versant russe du lac Peïpous est d'environ 421 000 habitants, dont 325 000 vivent dans des villes. La région est relativement riche en ressources naturelles. Ce fait est important, en particulier pour le côté estonien, car, comme mentionné plus haut, la région de Peïpous couvre ¼ du territoire estonien. De telles différences dues au territoire et à la population, tels que les structures gouvernementales, les intérêts économiques, les investissements... , ont provoqué des difficultés et des problèmes de gestion des eaux transfrontalières partagées entre l'Estonie et la Russie.

Le bassin versant estonien du lac Peïpous inclut quatre comtés : Ida-Viru, Jõgeva, Tartu et Põlva. Les municipalités locales couvrant 3 600 km² avec 30 800 habitants sont en contact direct avec le lac. Du côté russe, les régions de Léningrad et Pskov (oblasts) bordent le lac. Cinq quartiers et deux villes (Pskov et Ivangorod) sont des organes administratifs majeurs dans cette région du lac Peïpous avec une superficie totale de 13 212 km².

Les terres du bassin versant du lac Peïpous sont principalement couvertes de forêt (50-70 %) et de terres agricoles (~30 %), ces dernières étant concentrées en Estonie. Le reste de l'occupation des sols est composé de tourbières et de zones urbanisées (Mourad, 2008). L'agriculture dans le bassin versant du lac Peïpous comprend des élevages et des cultures, principalement des céréales (Iital *et al.*, 2005).

Les parties au centre et au sud du bassin versant du lac sont rurales, des zones peu peuplées ayant pour princi-

pales sources de revenus pour les habitants la foresterie et l'agriculture. La partie nord du bassin versant du lac est la plus industrialisée et est intrinsèquement liée au schiste bitumineux. En effet, dans le bassin du lac Peïpous, la principale ressource naturelle d'importance industrielle est le schiste bitumineux. Le schiste bitumineux du bassin de la mer Baltique est unique grâce à sa composition et à sa haute qualité. Le schiste bitumineux estonien (connu sous le nom scientifique de *kukersite*) est une roche sédimentaire ordovicienne contenant jusqu'à 65 % de matière organique combustible, le kérogène, avec une valeur calorifique nette qui varie entre 8,0 et 11,0 GJ/t (Kattai *et al.*, 2000).

Le Réservoir artificiel du Narva a été établi en 1956 par l'inondation d'environ 200 km² sur le cours supérieur de la rivière Narva, dont 80 % se trouvent maintenant sur le territoire russe (Järvik *et al.*, 2000). Le réservoir appartient à une grande entreprise d'électricité et comporte des centrales électriques hydroélectriques et thermiques. La production totale de ces centrales électriques alimentées par du schiste bitumineux peut atteindre 3 000 MW (Jaani, 2001). 80 % de la production de schiste bitumineux est pour la production d'énergie. Les 20 % restants sont utilisés en tant que matière première pour des entreprises chimiques dans des villes comme Kohtla-Järve (Estonie) et Slancy (Russie).

Les déchets générés par l'usine de schiste bitumineux de Kohtla-Järve et par les centrales électriques thermiques, ont été rejetés sur la surface au sol des environs de ces entreprises depuis 1938. Or, aucune barrière artificielle gênant le mouvement vertical du lixiviat d'enfouissement n'a été prévue sur l'aire de décharge. Approximativement 108 t ou 8x10⁷ m³ de déchets ont été stockés dans une zone de 2,14 km²

jusqu'en 2010 (Vallner *et al.*, 2015). Les émissions totales de cendres volantes présentes dans l'atmosphère provenant des centrales électriques ont atteint plus de 300 kilotonnes par an à la fin des années 1970 (Punning *et al.*, 1997) ; parmi celles-ci plus de 100 kg étaient constitués de HAP. Par conséquent, dans les années 1970-1980, beaucoup d'attention a été portée aux émissions des centrales électriques comme étant des sources potentielles de pollution du lac Peïpous et de son bassin versant. Depuis lors, des mesures sérieuses pour baisser les émissions ont été mises en œuvre et, en 2002, les émissions de cendres volantes provenant des centrales électriques avaient diminué de plus de dix fois par rapport aux taux maximums atteints dans les années 1970.

À part le schiste bitumineux et les petits dépôts de matériaux de construction utilisés localement, il y a des ressources renouvelables comme l'eau, les poissons, les forêts et la tourbe.

Les municipalités au bord du lac, à la fois en Estonie et en Russie, sont des zones périphériques : situation démographique défavorable, dépopulation de la région, récession économique et infrastructures physiques sous-développées. Toutes ces municipalités sont classées sous le niveau de vie national moyen et elles voient tout leur potentiel de développement dans le lac et les petites et moyennes entreprises locales axées sur la pêche, l'agriculture biologique et le tourisme.

Tourisme

Le tourisme est une perspective, mais un secteur peu développé. Un peu de travail a déjà été réalisé, mais la construction d'infrastructures n'est pas encore terminée. Il y a également eu un peu de développement dans zones bordant le lac, y compris au niveau des îles

présentes dans le lac. Cependant, ces endroits propres d'un point de vue écologique, silencieux et sûrs, pourraient attirer un grand nombre de touristes, étrangers et russes, en particulier de Saint-Pétersbourg.

Actuellement, aucune institution n'est responsable de la promotion du tourisme dans toute la région du lac Peïpous. Évidemment, il s'agit d'une des raisons expliquant l'attention peu importante portée aux opportunités de tourisme associées au lac Peïpous dans les plans de développement. Le point faible du développement touristique, ce sont aussi les possibilités de transport fluvial et les infrastructures des ports du lac dans les deux pays. Le port de Tartu (sur la rivière Emajõgi) a le désir d'être le plus grand port de tourisme et d'échanges commerciaux du lac Peïpous en Estonie, cependant, il a encore aujourd'hui des infrastructures sous-développées. Les possibilités d'une coopération économique à travers le lac Peïpous ont déjà fait l'objet de débats depuis au moins 20 ans. Le risque de pollution provoquée par le tourisme est faible de par un nombre modéré de touristes, causé par des infrastructures non développées (hôtels, restaurants, magasins, plages aménagées...) (Raukas et Tavast, 2011). Construire de meilleures infrastructures est essentiel pour encourager le tourisme et les loisirs.

Gestion du bassin versant

Les gouvernements russe et estonien ont signé un accord bilatéral intergouvernemental quant à l'utilisation et la protection de leurs eaux transfrontalières en 1997. Selon l'accord, l'Estonian-Russian Transboundary Water Commission (dénommée plus tard « la Commission commune ») a été créée. La commission organise l'échange de données de surveillance entre les parties conformément au programme de sur-

veillance convenu, définit les axes prioritaires et les programmes des études scientifiques sur la protection et l'utilisation durable des eaux transfrontalières, et se met d'accord sur des indicateurs communs de qualité pour les eaux transfrontalières, les méthodes de test de l'eau et effectue des analyses. Parfois, lorsqu'un problème extraordinaire a lieu dans les eaux transfrontalières, les parties s'informent immédiatement au travers des agences compétentes et de la commission.

En plus de l'accord signé en 1997, l'Estonie et la Russie ont également établi un accord sur la pêche dans les lacs Peïpous, Lämmijärv et Pihkva (1994), un accord sur les relations mutuelles liées à la pêche (1994) et un accord sur la protection de l'environnement (1996).

Au niveau du bassin transfrontalier, la préparation de ces mesures communes, basées sur les objectifs environnementaux communs pour tout le bassin versant transfrontalier, est coordonnée grâce au Programme de Gestion central du Bassin Versant du lac Peïpous/Chudskoe. Le programme concerne tous les problèmes environnementaux d'importance pour l'ensemble du bassin versant transfrontalier et inclut des recommandations pratiques pour la réduction de la charge en nutriments du lac Peïpous/Chudskoe et sa prévention, ainsi que la conservation durable des habitats et des écosystèmes dans le contexte régional transfrontalier. Ce programme constitue le premier Programme de Gestion Transfrontalier développé pour les frontières hors UE, prenant en compte les requis de la DCE-2000 de l'UE et la législation nationale russe. En étant officiellement approuvé par la Commission commune estonienne-russe, le programme constitue une base pour les actions communes à venir dans le bassin versant. Le développement et l'implantation du programme commun sont toutefois

compliqués en raison des différences concernant les dates butoirs et les besoins officiels. Les mesures de gestion en Estonie doivent donner la priorité aux problèmes d'utilisation des terres, comme la réduction des émissions diffuses produites par l'agriculture, en parallèle, la politique à court terme de la Russie se concentre sur l'amélioration du traitement des eaux usées municipales et industrielles (Piirimäe *et al.*, 2015).

Estonie

En Estonie, le ministère de l'environnement est responsable de l'élaboration et de la planification des politiques environnementales pour ce qui est de l'air, des eaux marines, de surface et souterraines, la conservation de la nature et de l'utilisation des ressources naturelles. L'élément majeur de la législation européenne sur l'eau est la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE) adoptée en 2000 (« WFD »2000). La DCE établit un cadre pour la coopération transfrontalière en ce qui concerne les eaux transfrontalières et les questions importantes liées à l'eau. L'objectif principal de la DCE est de parvenir à un bon état chimique et écologique ou à un potentiel écologique pour toutes les eaux de surface (ainsi que les eaux côtières) et à un état chimique et quantitatif pour toutes les nappes d'eau souterraines. Le dernier rapport décrit les objectifs environnementaux qui doivent être atteints et les mesures qui doivent être mises en œuvre dès maintenant entre 2016 et 2021.

Sur la base du règlement du gouvernement de la République d'Estonie n°132, du 9 septembre 2010, le territoire estonien est divisé en 3 bassins hydrographiques : le bassin ouest estonien, le bassin est estonien, et le bassin Gauja.

Le bassin hydrographique est estonien (19 047 km²) est un bassin transfrontalier composé du bassin du lac Peïpous et du fleuve Narva et divisé à son tour en sous-bassins : le sous-bassin Viru, le sous-bassin Peïpous et le sous-bassin Võrtsjärve. Les bassins et les sous-bassins hydrographiques sont des unités de gestion de l'eau, qui ne suivent pas les frontières administratives des comtés ou des municipalités rurales. Le bassin hydrographique est estonien (numéro officiel EE2) comprend 267 fleuves et 40 lacs (tableau 2). Le programme de gestion pour les districts du bassin hydrographique est estonien (The Programme of Measures for the East-Estonian River Basin Districts) (RBD) a été établi pour la partie du district hydrographique commun située sur le territoire estonien. Les deux parties (Estonie et Russie) se notifient régulièrement des mesures envisagées et mises en œuvre, cependant, la mise en œuvre de ces mesures est décidée et appliquée indépendamment dans chaque pays. Le programme de surveillance quantitative a changé dans le RBD dans l'est de l'Estonie depuis 2009 : les programmes de contrôle de la surveillance ont considérablement diminué (2 à 3 fois) ; le suivi opérationnel a été ramené de 44 à 15 jours.

RBD	Types d'eau	Nombre total de PD
EE2	Fleuves	267
	Lacs	40
	Eaux côtières	2
	Total EDS	309
	ES	14

Tableau 2 : Les plans d'eaux (PD) dans l'Est de l'Estonie (EE2), le district de bassin hydrographique (RBD) (l'eau de surface-EDS ; l'eau souterraine- ES, source (CWD: Member State Estonia 2012) .

Le programme de gestion de l'eau est un document unique contenant les objectifs principaux pour les eaux de surface et les eaux souterraines : approvisionner toute la population en eau potable ; entretenir les plans d'eau de surface dans un état aussi proche que possible de leur état naturel selon le type de plan d'eau et de zone d'application ;

préserver la diversité biotique aquatique dans les environnements aquatiques ; préserver la valeur écologique des eaux côtières et des côtes ; définir clairement les possibilités et les restrictions de l'alimentation en eau qui favorisent un développement économique durable.

Les premiers programmes de gestion du bassin (River Basin Management Plans) (RBMP) (2009-2015) pour ces bassins hydrographiques ont été approuvés en 2010. Des programmes de gestion de l'eau actualisés ont été préparés pour la prochaine période de six ans, de 2015 à 2021. L'élaboration des programmes de gestion de l'eau est organisée par le ministère de l'environnement et les programmes sont approuvés par le gouvernement de la République d'Estonie. Le dernier RBMP de l'Est de l'Estonie a été approuvé le 7 janvier 2016 (« East Estonian River Basin Management Plan for period 2015–2021 », 2016). Le scénario de base pour l'année 2021 a été élaboré dans le cadre du programme de mesures. Dans le bassin estonien, le scénario repose sur deux aspects : (i) les tendances des charges de pollution de l'eau ; (ii) la mise en œuvre de la politique environnementale existante ou prévue.

En 2013, dans le bassin estonien, 193 plans d'eau étaient en bon ou très bon état. Il y avait 103 cours d'eau, 12 organismes terrestres permanents (lacs) et 2 organismes côtiers en moyen, mauvais ou médiocre état. En comparaison avec la période précédente, l'état de 31 plans d'eau s'est amélioré et l'état de 57 plans d'eau s'est détérioré. À cet égard, il est important de signaler qu'une grande partie des plans d'eau a été classée dans une catégorie inférieure à celle du programme de gestion précédent en raison d'une meilleure connaissance de l'état des eaux. En 2014, les évaluations actualisées de l'état de l'eau ne montrent pas un changement ma-

jeur dans l'état des plans d'eau : 7 se situent dans la meilleure catégorie et 14 dans la catégorie la plus basse. Environ 60 % des organismes d'eau de surface du bassin estonien sont en bon ou très bon état.

Les 26 organismes d'eau souterraines sont généralement en bon état quantitatif et chimique, à l'exception du bassin ordovicien d'eaux souterraines (Ordovician Ground Water Basin) (GWB) du bassin des schistes bitumineux de l'Est de Viru dans le RBD estonien, lequel est dans un mauvais état à cause des eaux de drainage pompées dans les mines souterraines et de l'exploitation à ciel ouvert du schiste bitumineux à des fins technologiques. D'après toutes les analyses des eaux souterraines pour le RBD estonien, de 1988 à 2015 et de 2006 à 2009, la concentration de benzène et de produits pétroliers a diminué, celle des monophénols n'a pas de tendance, tandis que la présence des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) est épisodique et ne permet pas de déterminer une tendance.

En principe, les décisions individuelles doivent être vérifiées lorsque les objectifs environnementaux ont peu de chance d'être atteints. Le RBMP a une répercussion juridique dans le sens où il complète la réglementation de la loi sur le régime des eaux et qu'il repose également sur le principe selon lequel tous les faits et intérêts pertinents doivent être pris en considération dans l'exercice du pouvoir discrétionnaire, par exemple, lors de l'octroi d'un permis. L'effet dépend de la nature juridique du RBMP, qui à son tour, dépend partiellement du détail de la réglementation assurée par le RBMP. Cependant, en se fondant sur les informations disponibles, il semblerait que les programmes n'aient pas d'effet significatif sur les décisions individuelles dans la pratique. Il semble que les programmes de gestion soient conçus

comme des documents stratégiques (et non comme des actes juridiques), qui ne peuvent pas limiter la discrétion. S'il semble peu probable que les objectifs environnementaux soient atteints, la loi sur le régime des eaux prévoit que les valeurs limites d'émission et les valeurs limites de la qualité environnementale fixées dans les permis d'adduction d'eau devraient être révisées.

Russie

En Russie, le cadre législatif fondamental sur l'utilisation des ressources hydrauliques est défini dans de nombreux documents (e.g., RF, Water Code, 1995). Au niveau national, le principal organisme qui travaille actuellement dans le domaine de l'utilisation et de la protection des ressources en eau est le ministère des ressources naturelles de la Fédération de Russie. Le Code Russe de l'Eau est basé sur une approche par bassin hydrographique. Des comités de gestion de l'eau du bassin ont été créés sous l'égide du ministère des ressources naturelles pour préparer et organiser la mise en œuvre des programmes de gestion du bassin hydrographique. Selon le code de l'eau, les régions de la Fédération de Russie qui partagent un bassin hydrographique doivent signer un accord qui définit une procédure de coopération pour la mise en œuvre d'un programme de gestion du bassin. Des conseils du bassin hydrographique doivent être créés pour représenter les intérêts des acteurs locaux pour conseiller les comités de gestion de l'eau du bassin dans la mise en œuvre des programmes du bassin. Le programme de gestion de la partie russe du bassin hydrographique Narva a été approuvé en 2014 (« River Narva basin management plan », 2014).

Selon la zonation hydrographique moderne et la zonation de la gestion de l'eau, le fleuve Narva entre dans le

district du bassin de la Baltique (code 01). Le code de l'unité hydrographique du bassin Narva (y compris le lac) est 01.03.00. Dans le bassin Narva, quatre sous-bassins de gestion d'eau (y compris 14 zones de gestion de l'eau) sont identifiés. En 2006, les eaux de surface du lac Pihkva (Pskovskoe), de Lämmijärv (Teploe) et de la partie est de Peïpous (Chudskoe) présentent un indice de pollution des eaux de surface de qualité III-IV, c'est-à-dire qu'elles sont modérément polluées et/ou polluées. En 2009, quatre zones de gestion de l'eau ont été très polluées, 8 contaminées et deux légèrement contaminées. En 2009, le fleuve Narva était à sec, le lac Peïpous avait une eau de première qualité, une eau conditionnellement propre. La principale cause de l'état écologique peu satisfaisant des plans d'eau est le déversement d'eaux usées non traitées ou insuffisamment traitées et la charge non ponctuelle. Dans les plans d'eau de surface du bassin Narva de la région de Leningrad (oblast) (ainsi que les eaux usées, les eaux d'écoulement terrestre, les précipitations, le drainage, et les eaux des mines) la quantité de phosphore total est passée de 7,5 à 13,3 tonnes ; celle d'azote de nitrate de 67,5 à 221 tonnes ; celle de manganèse de 0,69 à 1,0 tonne ; celle de fer total de 5,03 à 17,4 tonnes ; celle de tensioactifs reçus dans la période 2003-2009 de 0,65 à 1,24 tonne. Au cours de la même période, dans les plans d'eau de surface de la région de Pskov (oblast), la quantité de phosphore total est passée de 45,6 à 69,9 tonnes ; celle de manganèse de 0,9 à 1,38 tonne ; celle de fer total de 1,6 à 16,23 tonnes. Le niveau élevé de pollution anthropique des plans d'eau est le principal problème de la qualité de l'eau potable. De plus, l'ensemble des mesures visant à réduire la charge de phosphore dans le lac en raison de l'activité agricole dans le bassin hydrographique est en cours de réalisation. Ce complexe comprend l'observation stricte

de la technologie d'application des engrais et l'organisation des entrepôts pour les engrais minéraux.

Le nombre de sites d'échantillonnage en Russie est sensiblement inférieur. De telles données « déséquilibrées » sont assez typiques pour des bassins transfrontaliers et illustrent les problèmes critiques de l'évaluation harmonisée des informations de base telles que les charges des cours d'eau (Gooch et Stalnacke, 2006). Malgré cela, plusieurs expéditions de contrôle conjointes entre l'Estonie et la Russie ont été organisées et menées par la commission commune.

Il y a 13 ans déjà, Gooch et Stalnacke (2006) ont mis en évidence des problèmes majeurs qui sont encore au stade préliminaire dans le domaine de la gestion conjointe de l'eau du bassin hydrographique du lac Peïpous. Le premier est le manque de ressources, tant financières qu'administratives, des autorités locales chargées de l'environnement et de la recherche ; le second est la complexité des systèmes de gestion environnementaux, en particulier en Russie ; le troisième est le manque de connaissances et de moyens de la nature des problèmes environnementaux dans un contexte transfrontalier à certains niveaux.

Cette situation et l'obligation pour l'Estonie de se conformer à la législation européenne et à la DCE, ont donné lieu à plusieurs grands projets dans le but d'améliorer l'état et la gestion des ressources en eau de la région (appliquer différents aspects clés de la DCE du côté estonien, ainsi que partiellement du côté russe). Les projets ont été financés par le fond pour l'environnement mondial, des programmes de l'Union Européenne tels que LIFE, FFEM (Fonds français pour l'environnement mondial), BRGM (Service géologique français), GTK (Service géologique finlandais), le Gouvernement

néerlandais, TACIS, FP5, FP7. Les projets ne peuvent évidemment pas prétendre résoudre tous les problèmes et assurer, qu'une fois achevé, le système de ressources en eau du lac transfrontalier Peïpous sera entièrement conforme aux exigences de la DCE. Aussi, les projets se concentreront principalement sur les aspects clés et sur un nombre limité d'actions de démonstration car il est nécessaire d'avoir un effort commun et concerté de toutes les parties concernées. La gestion de l'eau est compliquée à l'intérieur de l'Europe, et c'est d'autant plus vrai dans le bassin hydrographique du lac Peïpous, qui est situé à la frontière de l'Europe (Ganoulis *et al.*, 2013).

Conclusions

Malgré certaines améliorations observées au cours des dernières décennies au niveau de l'état écologique du lac Peïpous, celui-ci continue de subir une forte pression anthropique. Pour une gestion conjointe réussie du bassin transfrontalier du lac Peïpous, un effort commun et concerté de toutes les parties concernées est nécessaire.

Le problème de la restauration de la qualité de l'eau reste d'actualité. Les actes juridiques acceptés favorisent, sans aucun doute, la prise de décision sur les questions de protection de la nature, mais ils ne tiennent pas toujours compte d'un certain nombre des problèmes spécifiques au niveau local. Les principaux déchets de l'industrie estonienne, comme le semi-coke et les cendres de schiste bitumineux, sont déposés dans des centres d'enfouissement des déchets. Il devrait y avoir certaines options pour restreindre l'expansion des polluants dans les eaux souterraines.

L'UE ne dispose pas d'un cadre institutionnel spécifique pour les problèmes transfrontaliers. La convention UNECE sur l'eau demeure le cadre juridique

Le lac Peïpous en tant que plus grand lac transfrontalier d'Europe

global de la coopération transfrontalière. Officiellement approuvé par la commission russo-estonienne des eaux transfrontalières, le programme de gestion du bassin du lac Peïpous constitue une base pour les futures actions communes dans le bassin. En même temps, l'élaboration et la mise en œuvre du programme commun sont compliquées en raison des différences entre les exigences et les délais officiels. Les deux parties (Estonie et Russie) se notifient régulièrement les mesures envisagées et mises en œuvre, cependant, la mise

en œuvre de ces mesures est décidée et se fait indépendamment dans chaque pays.

La gestion plus avancée des ressources en eau exige une coordination plus précise de la protection de l'eau entre les directions générales d'utilisation de l'eau, ainsi que des programmes de contrôle. La surveillance et la recherche seront poursuivies et de nouveaux projets de collaboration pourraient être lancés avec un financement gouvernemental clair.

Références

- (Baer) Ber, K.-E., 1860. *Fishing in Lake Peipsi and Lake Pskov and in Baltic Sea*. (pp. 1–96). Sankt-Peterburg.
- Blank K., Loigu E., Laugaste R. & Haberman J., 2017. The ecological state of Lake Peipsi (Estonia/Russia): improvement, stabilization or deterioration? *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 66(1), 18. doi:10.3176/proc.2017.1.02
- Buhvestova O., Kangur K., Haldna M. & Möls T., 2011. Nitrogen and phosphorus in Estonian rivers discharging into Lake Peipsi: estimation of loads and seasonal and spatial distribution of concentrations. *Estonian Journal of Ecology*, 60(1), 18. doi:10.3176/eco.2011.1.03
- CWD: Member State Estonia (Report from the Commission to the European Parliament and the Council No. SWD (2012). 379 final 10/30). (2012) (p. 50). Brussels.
- East Estonian River Basin Management Plan for period 2015–2021. (2016, January 7). Keskkonnaministeerium.
- Eipre T., 1964. *State of Lake Peipsi-Pihkva*. In Estonian Geographical Society (pp. 35–54). Tallinn.
- Frumin G.T. & Fetisova Y.A., 2017. Water Quality in Watercourses of the Transboundary Narva River Basin. *Russian Journal of General Chemistry*, 87(13), 3166–3172. doi:10.1134/S1070363217130102
- Frumin G. T., Haldna M. & Tammeorg O., 2017. Trophic Status of Peipus Lake. *Russian Journal of General Chemistry*, 87(13), 3266–3271. doi:10.1134/S1070363217130242
- Ganoulis J., Aureli A. & Fried J., 2013. *Transboundary Water Resources Management: A Multidisciplinary Approach*. Wiley.
- Gooch G.D. & Staltnacke P., 2006. *Integrated Transboundary Water Management in Theory and Practice*. IWA Publishing.
- Haberman J., Haldna M., Laugaste R. & Blank K., 2010. Recent changes in large and shallow Lake Peipsi (Estonia/Russia): causes and consequences. *Polish Journal of Ecology*, 58(4), 645–662.
- Haberman J., Timm T. & Raukas A., 2008. Peipsi. Tartu: Loodusfoto.
- Håkanson L. & Jansson M., 1983. *Principles of lake sedimentology*. Springer-Verlag.
- Helmersen G., 1864. *Lake Peipsi and the Narva River headwaters*. In Contributions to the Knowledge of the Russian Empire (K.-E. Baer and G. Helmersen, eds., pp. 1–88). Sankt-Peterburg.
- Huntington S.P., 1998. *The Clash of Civilizations and the Remaking of World Order*. Simon & Schuster.
- Iital A., Stålnacke P., Deelstra J., Loigu E. & Pihlak M., 2005. Effects of large-scale changes in emissions on nutrient concentrations in Estonian rivers in the Lake Peipsi drainage basin. *Journal of Hydrology*, 304(1–4), 261–273. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.07.034
- Jaani A., 1973. Abundance of water is hanging cyclically. *Eesti Loodus*, 12, 758–764.
- Jaani A., 1999. *Problems relating to the water level regulation in Lake Peipsi*. In Lake Peipsi. Geology (A. Miidel, A. Raukas, eds., pp. 108–109). Tallinn: Sulemees Publishers.
- Jaani A., 2001. *The location, size and general characterization of Lake Peipsi*. In Lake Peipsi. Meteorology, Hydrology, Hydrochemistry (Nöges, T., ed., pp. 10–17). Tartu: Sulemees Publishers.
- Jaani A. & Raukas A., 1999. *Lake Peipsi and its catchment area*. In Lake Peipsi. Geology (Miidel, A. and Raukas, A., eds., pp. 9–14). Tallinn: Sulemees Publishers.
- Järvik A., Turovski A. & Kadakas V., 2000. *Narva reservoir: an essential object for transboundary co-operation according to the principles of sustainable development*. In The Narva River and Reservoir (Jaani, A., ed., pp. 37–42). Tartu: AS Narva Trükk.
- Kangur K., Kangur P., Ginter K., Orru K., Haldna M., Möls T. & Kangur A., 2013. Long-term effects of extreme weather events and eutrophication on the fish community of shallow Lake Peipsi (Estonia/Russia). *Journal of Limnology*, 72(2), 30. doi:10.4081/jlimnol.2013.e30
- Kangur K., Milius A., Möls T., Laugaste R. & Haberman J., 2002. Lake Peipsi: Changes in nutrient elements and plankton communities in the last decade. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 5(3), 363–377. doi:10.1080/14634980290001913
- Kangur K., Park Y.-S., Kangur A., Kangur P. & Lek S., 2007. Patterning long-term changes of fish community in large shallow Lake Peipsi. *Ecological Modelling*, 203(1–2), 34–44. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.03.039
- Kattai V., Saadre T. & Savitski L., 2000. *Oil shale of Estonia*. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus.
- Kening E.L. & Zhivilov I.A., 1909. *About project on Pskov–Yurjev–Narva waterway*. XI Congress on Waterways in Russia.
- Kondratyev S.A., 2011. Estimation of the nutrient load on the Gulf of Finland from the Russian part of its catchment. *Water Resources*, 38(1), 63–71. doi:10.1134/S0097807811010052
- Kukosh V. & Nabrodov B., 1998. *The steps arranged by the Russian Federation for the realisation of the convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes*. In Proceedings of the conference 1997 (pp. 203–207). Presented at the Management of transboundary water in Europe (Landsberg-Uczciwek, M., Adriaance, M. and Enderlen, R., eds.), Poland.
- Kullus L., 1990. Hundred years of Lake Peipsi water level. *Eesti Loodus*, 6, 374–379.
- Lindström M., Håkanson L., Abrahamsson O. & Johansson H., 1999. An empirical model for prediction of lake water suspended particulate matter. *Ecological Modelling*, 121(2), 185–198. doi:10.1016/S0304-3800(99)00081-2
- Loigu E. & Leisk Ü., 1996. Water quality of rivers in the drainage basin of Lake Peipsi. *Hydrobiologia*, 338(1), 25–35. doi:10.1007/BF00031708

- Mäemets H. & Freiberg L., 2004.** Characteristics of reeds on Lake Peipsi and the floristic consequences of their expansion. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 34(1–2), 83–89. doi:10.1016/S0075-9511(04)80025-2
- Mäemets H., Laugaste R., Palmik K. & Haldna M., 2018.** Response of primary producers to water level fluctuations of Lake Peipsi. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 15.
- Miidel A. & Raukas A., 1999.** *Lake Peipsi. Geology*. Tallinn: Sulemees Publishers.
- Mourad D.S.J., 2008.** *Patterns of nutrient transfer in lowland catchments: a case study from northeastern Europe*. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, Faculteit Geowetenschappen Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Nõges T., 2001.** *Lake Peipsi: Meteorology, Hydrology, Hydrochemistry*. Sulemees Publishers.
- Nõges T., Haberman J., Jaani A., Laugaste R., Lökk S., Mäemets A. et al., 1996.** General description of Lake Peipsi-Pihkva. *Hydrobiologia*, 338(1–3), 1–9. doi:10.1007/BF00031706
- Orvik K., 1933.** *Drifting sand*. Tartu: Tartu K/Ü Loodus.
- Pérez-Peraza J., Leyva-Contreras A., Valdés-Barrón M., Libin I., Yudakhin K. & Jaani A., 2005.** Influence of solar activity on hydrological processes. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2(3), 605–637. doi:10.5194/hessd-2-605-2005
- Peterson U. & Liira J., 2016.** Dynamics of emergent aquatic vegetation patches at Estonian and European lakes represented in a time series of Landsat satellite images. In Remote-sensing in Estonia 2016 (Peterson, U., Lillemaa, T., eds., pp. 119–135). Tõravere: Tartu Observatoorium.
- Pihu E. & Haberman J., 2001.** *Lake Peipsi. Flora and Fauna*. Tartu: Sulemees Publishers.
- Pihu E. & Raukas A., 1999.** *Peipsi*. Tallinn: Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus.
- Piirimäe K., Loigu E., Pachel K. & Iital A., 2015.** Virtual mapping of reference conditions of pollutant load in waterbodies: phosphorus in the Lake Peipsi basin. *Boreal Environment Research*, 20, 391–402.
- Punning J.-M., Liblik V. & Alliksaar T., 1997.** History of fly ash emission and palaeorecords of atmospheric deposition in the oil shale combustion area. *Oil Shale*, 14, 347–362.
- Raukas A., 1981.** *Bottom Deposits of Pihkva-Peipsi Lake*. Institute of Geology, Tallinn: Academy of Sciences of the Estonian SSR.
- Raukas A., Timm T. & Haberman J., 2012.** Pskovsko-Chudskoe Lake. Tartu: Loodusfoto.
- Raukas A., 2011.** Evolution of aeolian landscapes in north-eastern Estonia under environmental changes. *Geographia Polonica*, 117–126. doi:10.7163/GPol.2011.S1.8
- Raukas A. & Tavast E., 2011.** Monitoring and management of the coasts of Lake Peipsi, *Eastern Europe. Journal of Coastal Conservation*, 15(4), 547–553. doi:10.1007/s11852-010-0143-y
- Reap A. O., 1986.** On the possibility of 5 ultralong term forecasting water content of the Tchudskoe-Pskovskoe Lake. In Proceedings of the XI Republican Hydrometeorological Conference (p. 80). Presented at the Problems and ways in the rational usage of natural resources and protecting of the nature, Shiauliy.
- Reinart A. & Pärn O., 2006.** Ice conditions of a large shallow lake (Lake Peipsi) determined by observations, an ice model, and satellite images. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.*, 55(3), 243–261.
- Scheme of integrated use and protection of water objects of the River Narva Basin, 2014.** *Nevsko-Ladozhskoye Basin Water Department of the Federal Agency for Water Resources*, Ministry of Natural Resources. <http://priroda.pskov.ru/vidy-deyatelnosti/vidy-deyatelnosti/vodopolzovanie/skiovo-i-ndv> (visited September 5, 2018)
- Shpindler I. B. & Zengbush A., 1896.** *Lake Chudskoye research report (Vol. IV)*. Sankt-Peterburg.
- Sokolov A., 1941.** *Lake Chudsko-Pskovskoe*. Leningrad: Gosud. Gidrometeorol. Izd.
- Sokolov A., 1983.** *Hydrological Regime of Lakes and Reservoirs in the USSR*. Lake Chudsko-Pskovskoe. Leningrad: Gosud. Gidrometeorol. Izd.
- Starast H., Milius A., Möls T. & Lindpere A., 2001.** *Hydrochemistry*. Sulemees Publishers, Tartu. In Lake Peipsi (3): Meteorology, hydrology, hydrochemistry (Nõges, T., ed., pp. 97–131). Tartu: Sulemees Publishers.
- Tammeorg O., 2014.** *Effects of natural and anthropogenic pressures on variations in the water quality of large lakes* (PhD thesis). Estonian University of Life Sciences, Tartu.
- Tammets T. & Jaagus J., 2013.** Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(3–4), 623–639. doi:10.1007/s00704-012-0691-1
- Terasmaa J., Raukas A., Vaasma T. & Tavast E., 2013.** Sedimentation dynamics in the littoral zone of Lake Peipsi. *Baltica*, 26(1), 95–104.
- Vaasma T. & Terasmaa J., 2010.** *Surface sediment studies in Lake Peipsi in 2006–2009*. In Estonian Geographical Union (Kangur, M., Kraav, V., Palang, H. & Punning, J.-M., eds., pp. 117–130). Tallinn: Eesti Geograafia Selts.
- Vallner L., Gavrilova O. & Vilu R., 2015.** Environmental risks and problems of the optimal management of an oil shale semi-coke and ash landfill in Kohtla-Järve, Estonia. *Science of The Total Environment*, 524–525, 400–415. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.03.130.
- Vichmann A., 1929.** *Fortifying the shore of Lake Peipsi*. Tee ja Tehnika, 8, 117–124.
- Water Framework Directive 2000/60/EC (2000, October 23).** European Parliament and the Council.