Dynamiques environnementales

Journal international de géosciences et de l'environnement

42 | 2018

Du glint baltique au lac Peïpous

Estonie, terre de lacs

Jaanus Terasmaa

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/1985>

DOI : 10.4000/dynenviron.1985

ISSN : 2534-4358

Traduction(s) :

Estonia, the land of lakes - URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/2504> [en]

Éditeur

Presses universitaires de Bordeaux

Édition imprimée

Date de publication : 1 juillet 2018

Pagination : 176-191

ISSN : 1968-469X

Référence électronique

Jaanus Terasmaa, « Estonie, terre de lacs », *Dynamiques environnementales* [En ligne], 42 | 2018, mis en ligne le 01 juin 2019, consulté le 03 mars 2022. URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/1985> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dynenviron.1985>

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.

Estonie, terre de lacs

Jaanus Terasmaa

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

English text p. 358

Résumé

Environ 4,8 % du territoire de l'Estonie est recouvert de plans d'eau : plus de 110 000 objets au total. Les lacs naturels représentent le plus petit groupe (1 562), derrière les étangs (51 780) et les tourbières (45 309) en ordre de grandeur. Parallèlement, seulement 51 des plans d'eau excèdent les 1 000 000 m² (100 ha), la plupart d'entre eux sont des lacs naturels et seulement sept sont artificiels. La répartition dans l'espace des plans d'eau n'est pas égale - normalement, les terres hautes possèdent plus de lacs et d'étangs, dans la partie basse du pays les tourbières sont plus nombreuses. En Estonie, les lacs naturels se sont formés pendant le retrait de la glace continentale, ils sont principalement d'origine thermokarstique et constituent un matériau précieux pour les reconstructions paléolimnologiques. Au cours de l'Holocène, les lacs ont traversé des stades très différents de développement et de niveau d'eau (caractéristiques du bassin, dynamique sédimentaire et propriétés de l'écosystème variables) et de ce fait, ces stades pourraient être considérés et comparés en tant que plans

Image satellitale de l'Estonie. Grâce au gel hivernal, les plans d'eau et lacs d'Estonie sont très visibles (source : Jeff Schmaltz, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC, 2004, CC 0-Domaine public).

d'eau complètement distincts. Pour comprendre l'état actuel du plan d'eau, nous devons connaître la trame de son développement. Dans le paysage, les petits plans d'eau forment un réseau, qui joue un rôle important dans le bien-être de l'Homme et qui fournit des services écosystémiques. Globalement, la majorité de l'interface terrestre et aquatique se situe dans des petits plans d'eau stagnante. Cette zone est considérée comme l'un des habitats les plus productifs. De nombreux auteurs ont démontré que les petits plans d'eau combinés accueillent plus d'espèces d'eau douce que les rivières ou les grands lacs. Le lac Peïpous est le quatrième plus grand d'Europe, mais puisque que la longueur de son littoral n'est que de 800 km, 23 000 des plus petits plans d'eau d'Estonie sont seulement nécessaires pour dépasser ce linéaire. Cela montre qu'il est essentiel de commencer à considérer les petits plans d'eau.

Mots-clés

Plan d'eau, lac naturel, étang, tourbière, développement d'un lac.

Introduction

L'Estonie est souvent décrite comme la terre des lacs et les plans d'eau y sont considérés comme l'une des ressources naturelles les plus précieuses du pays. Il existe des lacs naturels de tailles et de natures différentes éparpillés aux quatre coins du pays, des lacs côtiers aux petites dépressions au sein des forêts sur les hauteurs sud de l'Estonie. Dans la mesure où les lacs varient selon leur genèse et leur développement, ils sont divisés en plusieurs catégories et classes, beaucoup d'entre elles assez rares et précieuses à l'échelle européenne. Les lacs naturels ne sont pas les seuls types de plans d'eau en Estonie : en réalité, si l'on considère l'abondance des plans d'eau, les lacs naturels constituent l'un des plus petits groupes. En effet, on trouve de nombreuses tourbières et différentes catégories de plans d'eau artificiels, dont le nombre excède celui des lacs naturels de deux ordres de grandeur. Puisque la typologie de différents plans d'eau prête à confusion à l'échelle internationale et que chaque pays possède sa propre approche, il est souvent impossible de dresser des comparaisons à un niveau mondial ou européen. Une chose est sûre : les plans d'eau stagnante sont importants et précieux non seulement en tant qu'écosystèmes, réservoirs d'eau douce et puits de carbone, mais ils font également partie depuis bien longtemps de la culture et de la vie quotidienne, nous fournissant un certain nombre de services écosystémiques indispensables.

Pourquoi l'Estonie possède-t-elle des lacs naturels et comment en avons-nous connaissance ?

Le territoire de l'Estonie mesure 45 339 km², dont environ 4,8 % se trouvent être des plans d'eau. L'Estonie fait partie de la région boréale et se

caractérise par une topographie de surface plane : plus de 60 % du territoire du pays se situe à une hauteur absolue comprise entre 0 et 50 mètres (Raukas et Teedumäe, 1997). La majorité des bassins des lacs naturels d'Estonie ont été formés pendant le retrait de la glace continentale et sont d'origine thermokarstique (ou glacio-karstique). Cela signifie que la dépression d'une vallée infraglacière a isolé un culot de glace morte, qui a été recouvert par la suite de sédiments.

Au début de l'Holocène, le climat plus chaud a fait fondre petit à petit le bloc de glace enfoui et a formé une dépression, bien souvent recouverte avec une couche de tourbe, sur laquelle les sédiments lacustres ont commencé à s'accumuler après l'affaissement de la surface (Terasmaa *et al.*, 2014). Les lacs thermokarstiques sont largement répandus dans les régions circumpolaires et sont en général peu profonds, ne dépassant pas les 10 m (Bouchard, 2016). Comme de nombreuses études l'ont démontré (Kabailiene, 2006, Terasmaa, 2014), les lacs thermokarstiques se forment progressivement et le processus amenant à leur existence peut être bidirectionnel : la profondeur du bassin du lac varie en fonction de l'affaissement du fond et de l'augmentation du niveau de l'eau. De nos jours, les bassins des lacs estoniens sont à moitié remplis de sédiments lacustres et sont assez peu profonds, environ 75 % d'entre eux possèdent une profondeur d'eau de moins de 10 m (Ott et Kõiv, 1999).

Malgré leur profondeur relativement faible, les sédiments des lacs estoniens représentent de précieuses sources d'informations paléoenvironnementales. Les lacs sont des systèmes dynamiquement réactifs qui peuvent intégrer des changements environnementaux et climatiques grâce à leurs archives sédimentaires ininterrompues et en haute

résolution du niveau local et régional (Terasmaa, 2005). Chaque particule qui a atteint le lac et s'est accumulée en sédiment peut être considérée comme porteuse d'informations au sujet de son origine et de son parcours. En ce qui concerne sa source, la matière déposée dans les lacs est soit autochtone (formée in situ) ou allochtone (transporté dans le lac depuis l'extérieur) (Håkanson et Jansson, 1983). La quantité de matière accumulée par an dépend de la profondeur d'eau : habituellement, plus une zone se trouve en profondeur, plus la quantité de matière déposée est grande. Cependant, cette information est disponible seulement d'après un certain niveau de généralisation. Comme cela a été démontré par Terasmaa et al. (2013) les principaux facteurs influençant le développement du lac et les signaux sédimentaires au cours de l'Holocène peuvent changer au fil du temps. Avec le temps, le rôle général du climat peut diminuer et inversement le rôle des influences environnementales s'accroît. Des changements dans les signaux sédimentaires sont provoqués par des facteurs locaux (structure morphologique du bassin versant, lithologie des roches-mères, naissance et formes des dépressions lacustres, intensité du cycle de l'eau, position du niveau d'eau du sous-sol, etc.) et pendant les derniers millénaires par les activités humaines.

Pour la formation d'un lac, non seulement un bassin adéquat est nécessaire mais aussi de l'eau. Du point de vue de l'écosystème, l'eau est la partie la plus importante du lac. Sans l'eau ou sous l'influence de changements majeurs du niveau du lac, il est impossible d'obtenir un écosystème lacustre stable et sain. Ainsi les mécanismes influant sur la formation de la quantité d'eau dans les lacs se doivent d'être bien compris (Vainu, 2018). Dans des conditions climatiques et hydrogéologiques stables, le volume d'eau dans le lac devrait

être en état d'équilibre (Street-Perrott et Harrison, 1985) - il est susceptible de fluctuer annuellement, mais le volume d'eau moyen à long terme doit être stable. De nombreuses études paléontologiques (Digerfeldt, 1986, Yu et Harrison, 1995, Korhola *et al.*, 2002, Punning *et al.*, 2005, Terasmaa *et al.*, 2013, Stansell *et al.*, 2017) soulignent que les lacs ont connu des changements significatifs de niveau d'eau par le passé. Le volume moyen (équilibre) à long terme d'un lac peut fluctuer à cause de changements dans les propriétés du bassin versant (végétation, sol, topographie), les conditions climatiques ou hydrogéologiques (Vainu, 2018). Lorsque le facteur de l'impact principal se stabilise, le volume du lac atteint un nouvel état d'équilibre. Or, la quantité d'eau dans un lac est déterminée par le bilan des apports et des pertes d'eau. Les apports sont tous en lien avec les précipitations (sur la surface du lac ou le bassin versant du lac), les ruissellements provenant du bassin versant et le suintement des eaux souterraines. Évidemment, toutes les précipitations qui tombent sur le bassin versant du lac n'atteignent pas ce dernier, puisqu'elles sont diminuées avec l'interception par la canopée, la mise en réserve dans le sol, l'évapotranspiration de la végétation et l'évaporation depuis le sol nu (Vassiljev, 2007, Vainu, 2018). La perte d'eau correspond au débit de l'eau de surface, l'évaporation depuis la surface du lac et l'infiltration dans les eaux souterraines. Le courant de débordement de l'eau de surface dépend de la forme du bassin lacustre ; l'évaporation relève de paramètres climatiques et l'infiltration des eaux souterraines résulte du niveau des eaux souterraines à proximité du lac et des propriétés hydrogéologiques du bassin lacustre (Vainu, 2018).

La reconstruction du développement du lac Väike Juusa (au sud de l'Estonie) pendant l'Holocène, à l'aide de modèles

Figure 1 : Reconstitution des paléo-bassins du lac Juusa (à 9000 AA, 8000 AA, 6000 AA, 4000 AA, 2000 AA et aujourd'hui), (d'après Terasmaa, 2011 et Terasmaa, 2013).

numériques de terrain en 3D pour les stades en tant que paléolac (à 9000 AA, 8000 AA, 6000 AA, 4000 AA, 2000 AA et aujourd'hui), laisse supposer que pendant les différents stades du niveau d'eau, les lacs devraient être considérés comme des plans d'eau complètement différents avec des caractéristiques variables de bassins, de dynamiques sédimentaires et de propriétés écosystémiques (figure 1, tableau 1), (Terasmaa, 2011, Terasmaa, 2013).

Au début de l'Holocène (10000-9500 ans avant aujourd'hui (AA)), le niveau de l'eau était à son point le plus élevé, inondant les basses terres dans le sud-ouest. Vers 8000 AA, le niveau du lac est descendu à son minimum connu. Une tendance similaire dans les changements du niveau d'eau a été constatée dans d'autres lacs du nord de l'Europe et dans le territoire de l'ancienne Union Soviétique (Yu et Harrison, 1995, Yu, 1998). Depuis cette époque, le niveau du lac Juusa n'a cessé d'augmenter jusqu'à atteindre le niveau actuel, le dépôt de matières à grains fins a clos

le bassin et une couche de sédiments à commencer à se développer. Le niveau du lac a atteint son premier pic en 4000 AA. En s'appuyant sur la composition des sédiments les plus anciens, il apparaît que l'évaporation et l'infiltration peuvent avoir excédé les précipitations à l'époque, entraînant un bilan hydrologique négatif dans le lac et un niveau d'eau réduit. Une autre légère hausse du niveau du lac a eu lieu entre 3000 et 2000 AA lorsque le niveau du lac a atteint son maximum, puis s'en est suivie une diminution nette et une augmentation continue jusqu'au niveau du lac actuel (Terasmaa, 2011).

Comme les données de la figure 1 et du tableau 1 en témoignent, pendant chaque état du développement, le lac Juusa a été un milieu de vie complètement distinct, puisque la profondeur, la taille et la morphométrie du bassin et tous les autres paramètres du lac étaient différents. Cela signifie par ailleurs que la superficie de la zone littorale, le bilan nutritif (causé par une redistribution des sédiments), les formes de stratification

Âge, années avant aujourd'hui (AA)	9000	8000	6000	4000	3000	2000	0
Volume d'eau (m ³)	321000	20000	22000	84000	44000	154000	111000
Volume de sédiments (m ³)	0	26000	45000	69000	84000	83000	110000
Superficie (m ²)	54400	8300	12400	25000	23600	37100	29900
Niveau d'eau (mètres au-dessus du niveau marin)	124.3	111.9	114.5	119.1	118.1	122.6	122.1
Profondeur maximale (m)	-16.8	-3.7	-3.5	-5.4	-3.9	-7.4	-5.8
Profondeur moyenne (m)	-5.9	-2.5	-1.8	-3.3	-1.9	-4.2	-3.9
Longueur maximale (m)	320	150	180	240	220	300	250
Largeur maximale (m)	260	90	100	150	140	170	160
Pourtour (m)	1000	400	490	670	650	920	700
Déclivité moyenne (%)	13.2	11.2	12.3	9.3	7.8	9.3	8.7
Index du littoral	1.21	1.24	1.24	1.20	1.19	1.35	1.14

Tableau 1 : Les caractéristiques des phases reconstruites du bassin lacustre (d'après Terasmaa 2011, 2013).

et de mélange..., étaient probablement également différents.

Comment comprendre le développement et les états du lac ?

Ainsi, pour comprendre le développement de l'écosystème lacustre et les raisons de son état actuel, il est nécessaire de prendre en compte un grand nombre de variables et leurs interactions, à différentes échelles spatio-temporelles. L'une des manières d'expliquer l'approche paléogéographique est au moyen de la soi-disant doctrine de l'uniformité (l'uniformitarisme). L'uniformitarisme a été envisagé pour la première fois par le géologue britannique James Hutton, qui a élaboré l'idée générale de ce principe dès 1788 : « Pas de vestige du début, pas de perspective de fin » (Hutton, 1788). L'idée de James Hutton a été popularisée par le livre « Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth », publié par le mathématicien et géologue écossais John Playfair en 1802, qui, à son tour, a été reprise et développée plus amplement par le géologue britannique Charles Lyell dans son es-

sai en trois volumes *Principles of Geology* (Lyell, 1830, 1832, 1833). C'est la raison pour laquelle il est quelques fois considéré à tort comme le fondateur de l'uniformitarisme. Les formulations de ce principe sous leur forme la plus célèbre ont été émises par son élève, le géologue britannique Archibald Geikie, comme suit : « le Présent est la clé du Passé » (Geikie, 1995, Oldroyd, 1980). Pour comprendre la complexité de cette doctrine nous pouvons la décomposer en quatre principes (figure 2).

Le principe de la pertinence de la causalité signifie que pour comprendre les différences entre des écosystèmes la-

Figure 2 : Principes utilisés en paléolimnologie (d'après Punning, 1991 et Terasmaa, 2013). Le principe de la pertinence de la causalité (a), le principe de correspondance hiérarchique de facteurs externes (b), le principe de similarité des trajectoires de développement (c), le principe de similarité des conditions naturelles (d). L1, L2 et L3 sont des lacs hypothétiques accompagnés de leurs stades de développement, f1-f4 sont les facteurs de répercussions (F : facteur de répercussion principal), E1-E2 sont des flux d'énergie, C1-C2 sont des cycles de matières.

custres similaires au premier abord (lac 1 (L1) et lac 2 (L2) dans la figure 2a) les corrélations entre les causes et les conséquences d'évènements potentiels (f1-f4) devraient être définies et le facteur d'influence dominant (F2, F3) précisé. Ce n'est que de cette manière qu'il est possible de comprendre les changements dans le passé et de prédire le développement futur des lacs. Différents écosystèmes peuvent parvenir à un état très semblable du fait de diverses influences (f1-f4) - on parle alors du principe de correspondance hiérarchique de facteurs externes (figure 2b). Le nombre et l'importance des facteurs externes ou internes peuvent varier, par conséquent il en est de même pour l'histoire du développement du lac. Le phénomène peut être défini avec le concept de similarité : les systèmes ayant des caractéristiques en commun seront plus enclins à avoir des particularités similaires (voire un historique de développement identique), en opposition aux systèmes sans similarités.

Pour une comparaison directe des différents systèmes, des similitudes dans le développement du système doivent exister : cela suit le principe de similarité des trajectoires de développement (figure 2c). Même si à un moment donné des écosystèmes sont dotés d'un flux d'énergie et d'un cycle de matière équivalents, il est primordial de connaître la trajectoire de développement (ainsi $L1 = L2 = L3$, puisque L1 a connu un plus grand nombre de stades de développement). Cela mène au principe de similarité des conditions naturelles (figure 2d). La corrélation de la causalité n'est transférable que si le flux d'énergie (E1, E2) et les cycles de matière (C1, C2) ont été similaires. Ainsi, pour mettre en application les relations connues d'un écosystème pour définir les processus ou les relations d'un autre écosystème, il est nécessaire d'avoir à disposition à la fois les connaissances sur les fonctions

du système et sur les trajectoires de développement (Punning, 1991, Terasmaa, 2013).

Les lacs naturels en Estonie

Le territoire de l'Estonie compte un total de 1 562 lacs naturels, dont 1 238 font plus de 10 000 m² (1 ha) (ETD 2017). Le plus grand lac d'Estonie est le lac Peïpous (354 307 ha, partagé avec la Russie, 4^{ème} plus grand d'Europe), suivi du lac Võrtsjärv (26 919 ha) au centre de l'Estonie. Ces deux lacs constituent environ 95 % de la superficie totale des lacs naturels de l'Estonie, ce qui signifie que la plupart des lacs sont de très petite taille.

Comme la majorité des bassins lacustres se sont formés pendant la fin d'une glaciation, ces derniers sont plus nombreux dans les terres hautes, particulièrement au sud de l'Estonie (les hauteurs de Haanja, Otepää, Sakala et Karula), mais également dans la région de Vooremaa (figure 3). Les hauteurs de Pandivere sont différentes et ne possèdent que quelques lacs. L'une des plus hautes densités de lacs se trouve dans une partie du nord-est de l'Estonie (lacs du territoire de Kurtina), mais Põhja-Kõrvemaa possède également de nombreux lacs sur un territoire relativement petit (lacs de Jussi et Aegviidu). Sur les côtes basses du continent et des îles de l'ouest de l'Estonie, de nombreux lacs côtiers se sont formés à cause du soulèvement des terres et du déplacement des sédiments (anciennement des baies).

Les lacs estoniens sont majoritairement peu profonds (seulement 20 d'entre eux dépassent les 20 m de profondeur). Le lac le plus profond est le lac Rõuge Suurjärv (38 m), suivi du lac Väike-Palkna (31,9 m) et du lac Udsu (30,2 m) (EELIS, 2018).

Figure 3 : Lacs naturels. Chaque point représente un lac (ETD 2017).

La faune des lacs estoniens est riche, particulièrement parmi les invertébrés : environ 2000 espèces sont recensées. Les groupes d'invertébrés les plus riches en termes d'espèces sont les insectes (~750 espèces), les crustacés (~233 espèces) et les arachnides (~210 espèces). Environ 50 espèces de poissons sont répertoriées dans les lacs estoniens (rien que dans le lac Peïpous, on en dénombre 36). Il existe également 11 espèces d'amphibiens en Estonie, la grenouille rousse étant l'amphibien le plus répandu, mais le triton crêté, le triton ponctué, le crapaud commun et la grenouille oxyrhine vivent également presque partout. Plus de 100 espèces d'oiseaux sont observées aux bords des lacs, environ 40 d'entre elles sont des oiseaux nicheurs. Les mammifères les plus communs sont le castor, la loutre et le campagnol terrestre. Plus de 100 espèces de plantes vasculaires, des dizaines de mousses aquatiques et de nombreuses espèces d'algues sont recensées dans les lacs estoniens. En Estonie, les espèces protégées peuplent

plus de 2 000 petits plans d'eau en dehors des zones protégées.

D'après l'état du biote aquatique, de l'hydromorphologie et de la qualité de l'eau, l'état écologique du lac est déterminé. En Estonie, 90 lacs sont reconnus comme des plans d'eau de surface et sont surveillés continuellement. L'un des buts de la directive-cadre sur l'eau est d'atteindre un état favorable pour tous les lacs, mais malheureusement, il n'est pas atteint. En 2016 seulement 45 % des lacs surveillés étaient dans un état écologique très favorable ou favorable. L'état des plans d'eau est déterminé d'après les données de surveillance qui sont habituellement établies par un cycle de rotation de six ans. Cela signifie que la plupart des plans d'eau sont observés tous les six ans. Seulement une petite partie, appelés les plans d'eau de référence, est observée chaque année ou avec un cycle de rotation de trois ans (EEA, 2018).

Figure 4 : Plans d'eau
stagnante en Estonie
(ETD 2017).

Les plans d'eau d'Estonie : des lacs mais pas seulement !

L'Estonie possède non seulement des lacs naturels mais également plusieurs autres types de plans d'eau comme des tourbières (formées dans les dépressions de surface de tourbières hautes), des réservoirs artificiels, des étangs agricoles, des bassins de pisciculture ... (figure 4).

Le problème est que la définition des différents types de plans d'eau en des catégories plus petites (p. ex. est-ce qu'il s'agit d'un lac, d'un étang, ou d'un kettle ?) a tendance à varier d'un pays à l'autre sans aucune définition universelle de la taille ou même de la genèse. Le terme « étang » est souvent employé dans un sens plus général et peut définir à la fois des plans d'eau naturels et artificiels (Pätzig *et al.*, 2012), ou, comme c'est le cas en Estonie, il peut caractériser uniquement des petits plans d'eau créés artificiellement. Différents auteurs ont mis en place diverses limites minimales et maximales pour la superficie de

la surface des étangs. Les limites minimales vont de 1 m² à 1000 m² (Biggs *et al.*, 2005, Oertli, 2013, Bartout, 2015) et pour les limites maximales de 10 000 m² à 2 000 000 m² (Jedicke, 1989, Cérèghino *et al.*, 2008, Oertli *et al.*, 2009). À l'échelle européenne, ces petits plans d'eau n'ont pas été pris en compte dans les politiques de protection de l'environnement et sont même absents des inventaires au niveau national, et donc international. La séparation entre les petits plans d'eau et ceux « dignes d'être mentionnés » est quelque peu floue : cela peut être <100 000 m² (Meybeck, 1995), <10 000 m² (Ryanzhin, 2005), ou même <500 m² (Kuusisto et Raatikainen, 1988). Selon l'analyse de la base de données de OpenStreetMap (OSM) par Bartout *et al.* (2015), le nombre total de plans d'eau dans tous les pays de l'UE est estimé à environ 1 million. En parallèle, ils sont arrivés à la conclusion que pour obtenir des estimations réellement fiables, chaque région géographique nécessite une fonction spécifique adaptée à ses caractéristiques hydrologiques. Le problème est que les

modèles pour les inventaires mondiaux et à grande échelle ne sont pas conçus pour estimer l'abondance relative des petits plans d'eau, principalement en raison de limites techniques. Par exemple, la limite de détection à l'aide de méthodes LIDAR est d'environ 2000 m² (Toscano *et al.*, 2014) ou même plus [8000 m² d'après le USGS (Heidemann 2012)] et il en est de même avec d'autres tentatives récentes de dénombrer tous les plans d'eau stagnante [la limite de détection était de 2000 m² dans Verpoorter *et al.* (2014) et de 5000 m² dans Feng *et al.* (2016)].

L'Estonian Topographic Database créée par l'Estonian Environmental Agency repose sur des cartes topographiques et orthophotographiques et contient plus de 111 000 plans d'eau (tableau 2).

La base de données estonienne fait la distinction entre les lacs, les réservoirs et les lacs artificiels, les tourbières, les étangs et les mares biologiques, mais il existe également deux autres catégories moins claires : « non spécifié » et « autre ». La taille minimale actuelle de cartographie est estimée à 20 m² (100 m² pour les tourbières), mais elle comprend aussi des objets plus petits.

Comme le montrent les données (figure 5, tableau 3), les plans d'eau sont fortement domi-

Nombre de plans d'eau stagnante dans l'ETD	111 551
Proportion de plans d'eau stagnante artificiels (%)	52
Densité de plans d'eau stagnante par km ²	2.5
Pourtour, m Superficie, m ²	
Minimum	13 11
Maximum	207 165 269 013 100
Médiane	69 266
Moyenne	136 6435
Total	15 146 171 717 856 224

Tableau 2 : Plans d'eau stagnante en Estonie (statistiques sans le lac Peïpous) d'après l'Estonian Topographic Database (ETD 2017).

nés par les plus petits d'entre eux. Leur petite taille ne signifie pas qu'ils ne sont pas importants, bien au contraire. Les petits plans d'eau (moins de 0,01 km²) sont plus hétérogènes que les grands plans d'eau quand il est question de superficie, et ils constituent un élément essentiel de la biodiversité du paysage. Les petits plans d'eau forment un réseau qui joue un rôle vital dans l'apport de services écosystémiques majeurs (prévention des inondations, stockage des eaux, piège à carbone ...), mais qui a également amélioré le bien-être des humains (Hill *et al.*, 2018). Même les tourbières, qui sont moins variées, préservent bien souvent des plantes rares et des assemblages fauniques. Il a été démontré que les petits plans d'eau combinés préservent plus d'espèces d'eau douce que les rivières ou les grands lacs (Biggs *et al.*, 2005, Oertli *et*

	Lacs	Tourbières	Réservoirs et lacs artif.	Étangs	Non catégorisés
Nombre total	1560	45309	1018	51780	11884
Nombre total (%)	1.4	40.6	0.9	46.4	10.7
Pourtour, m	Lacs	Tourbières	Réservoirs et lacs artif.	Étangs	Non catégorisés
	73	17	84	13	13
Maximum	29162	1959	207165	35684	7625
Minimum	861	62	880	69	89
Moyenne	1527	87	1541	104	144
Pourtour total (m)	2382633	3948721	1568467	5402720	1713156
Pourtour total (%)	15.9	26.3	10.4	36.0	11.4
Superficie, m ²	Lacs	Tourbières	Réservoirs et lacs artif.	Étangs	Non catégorisés
Minimum	274	20	493	11	13
Maximum	9416599	23431	105878904	2705964	213642
	22671	211	17998	287	413
Moyenne	132646	398	154134	996	1296
Surface totale (m ²)	206928133	18041953	156908119	51565417	15399504
Surface totale (%)	46.1	4.0	35.0	11.5	3.4

Tableau 3 : Catégories de plans d'eau stagnante en Estonie (sans L. Peïpous, L. Võrtsjärv et réservoir du Narva) (ETD, 2017).

Figure 5 : Catégories des plans d'eau stagnante en Estonie (sans L. Peïpous, L. Võrtsjärv et réservoir du Narva) par nombre total, superficie (m²) et pourtour (m) (ETD2017).

Figure 6 : Abondance et répartition des plans d'eau stagnante : (a) tourbières, (b) réservoirs et lacs artificiels, (c) étangs et (d) non-catégorisé. Chaque point représente un plan d'eau (ETD 2017).

al., 2009). Collectivement, la majorité de l'interface terrestre-aquatique (pourtour), qui représente certains des habitats les plus productifs, est constituée de petits plans d'eau (Verpoorter *et al.*, 2014). C'est également évident dans le cas de l'Estonie (figure 5, tableau 3) : les étangs et les tourbières sont dominants dans la base de données si l'on s'intéresse au pourtour.

La répartition des tourbières, réservoirs, lacs artificiels et étangs (figure 6) révèle qu'ils sont spatialement hétérogènes du fait d'origines différentes. Les tourbières sont nombreuses (45 309), cependant ce nombre considérable n'est pas visible sur la carte : les repères

sont empilés car elles sont très proches les unes des autres sur des petits territoires. Pourtant, les tourbières sont sous-représentées dans la base de données estonienne. Elles sont petites (la taille moyenne est de 211 m²) et disparaissent et apparaissent en raison de phénomènes naturels qui sont plus rapides que les plans d'eau naturels dans le sol minéral. Une des raisons de la disparition des tourbières peut être liée au drainage des zones humides depuis le XIX^e siècle qui continue encore aujourd'hui. Ainsi, les tourbières actuelles peuvent être considérées comme les vestiges d'une abondance passée.

Les réservoirs, lacs artificiels et étangs, en tant que plans d'eau anthropiques, représentent également une partie considérable des catégories de petite taille. Au total, les plans d'eau anthropiques dépassent légèrement le nombre de plans d'eau naturels. Pourtant, les plans d'eau naturels constituent la majorité de la superficie totale (figure 6, tableau 3), puisque 8 plans d'eau artificiels seulement (sur les 51 que compte l'Estonie) possèdent une superficie supérieure à 100 ha.

La comparaison de la zone avec le pourtour (longueur du littoral) (figures 7 et 8) montre qu'il n'y a aucun lien évident entre ces deux paramètres. La majorité des plans d'eau est regroupée dans le même secteur (superficie

<300 ha et pourtour <13 000 m). L'un des plus grands lacs d'Estonie (après le lac Peipous, le lac Võrtsjärv et le réservoir du Narva), le lac Ülemiste, possède un pourtour moyen tandis qu'un lac trois fois plus petit, le lac Endla, possède le plus long pourtour de cet ensemble de données (figure 9). Comme la figure le montre, cela est dû à la forme du plan d'eau et à la complexité du littoral. Si nous calculons l'indice du littoral comme

Figure 7 : Plans d'eau stagnante supérieurs à 100 ha comparés à leur pourtour (m) (sans L. Peipous, L. Võrtsjärv et réservoir du Narva). Les points verts sont des lacs naturels, les points jaunes des plans d'eau anthropiques.

Figure 8 : Emplacement des plans d'eau stagnante supérieurs à 100 ha (sans L. Peipous, L. Võrtsjärv et réservoir du Narva). Les points verts sont des lacs naturels, les points jaunes des plans d'eau anthropiques.

Figure 9 : Comparaison du lac Ülemiste (a) et du lac Endla (b). Les deux cartes sont à la même échelle (Estonian Land Board, 2018).

suggéré par Hutchinson (1975), nous pouvons également constater que le lac Ülemiste possède l'une des valeurs les plus petites (1,5) et le lac Endla l'une des plus élevées (4,7).

Conclusions

L'Estonie est le pays des lacs, mais pas seulement : d'autres types de petits plans d'eau sont considérablement plus nombreux et ensemble, ils atteignent une densité très élevée de 2,5 plans d'eau par km². Au total, l'Estonie possède plus de 111 000 plans d'eau et seulement 51 d'entre eux ont une superficie supérieure à 1 000 000 m² (100 ha) et la taille moyenne y est de 266 m². Le volume des petits plans d'eau provient de tourbières et de plans d'eau de la catégorie « étangs ». Actuellement, il existe légèrement plus de plans d'eau anthropiques dans la base de données, mais cet équilibre est fragile et les tourbières semblent sous-estimées en raison de leur origine et de leurs changements rapides.

Quoi qu'il en soit, les petits plans d'eau sont essentiels à tous les niveaux, en tant qu'éléments du paysage, fournisseurs de services écosystémiques et protecteurs de la biodiversité d'eau douce. Individuellement, ils ne sont peut-être pas riches en espèces, mais

puisqu'ils sont abondants et variés, le nombre total d'espèces qui y vit dépasse de loin celui d'un grand lac. Puisqu'ils sont nombreux, ils offrent également le plus grand nombre d'habitats littoraux. Le lac Peïpous est peut-être le 4^e plus grand lac d'Europe, mais avec son littoral d'environ 800 km de long, il suffit de seulement 23 000 des plus petits plans d'eau (c'est-à-dire avec une superficie allant de 10 m² à 100 m²) dans la base de données pour dépasser ce nombre. Cela ne signifie pas que les lacs naturels et les lacs plus grands n'ont pas besoin de protection, mais que nous devrions également accorder de l'importance aux plus petits.

Un autre concept important pour comprendre les lacs (ou tous les plans d'eau) est le fait qu'ils changent constamment en raison d'une myriade de facteurs qui influent à différentes échelles de temps. Les bassins des lacs sont remplis de sédiments au fil du temps, modifiant le volume d'eau et d'autres propriétés du lac. Le niveau de l'eau peut changer en raison de changements des conditions climatiques, des propriétés du bassin versant ou des niveaux des eaux souterraines. L'écosystème change à cause des facteurs susmentionnés, mais pas seulement : les changements provoqués par l'homme (en hydrologie, bilan nutritif...) prévalent bien souvent sur les effets

des changements naturels et accélèrent les passages entre les états d'équilibre. Lorsque les changements sont trop rapides et unidirectionnels, menant à une eutrophisation, nous devons en assumer

la responsabilité et trouver un moyen de stabiliser l'écosystème afin de protéger la biodiversité et les autres services écosystémiques essentiels.

Références

- Andreev A. A., Tarasov P.E., Ilyashuk B.P., Ilyashuk E.A., Cremer H., Hermichen W., Wischer F. & Hubberten H., 2005.** Holocene environmental history recorded in Lake Lyadhej-To sediments, Polar Urals, Russia. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 223: 181–203.
- Bartout, P., 2015.** The real place of waterbodies in European Union: lack of understanding and regulatory consequences. (in French with a summary in English). *Norois*: 17–36.
- Bartout P., L. Touchart, J. Terasmaa, Q. Choffel, A. Marzecova, T. Koff, G. Kapanen, Z. Qsair et al., 2015.** A new approach to inventorying bodies of water, from local to global scale. *DIE ERDE–Journal of the Geographical Society of Berlin* 146: 245–258.
- Biggs J., P. Williams, M. Whitfield, P. Nicolet, and A. Weatherby, 2005.** 15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15: 693–714. doi:10.1002/aqc.745.
- Bouchard F., Macdonald L., Turner, K., Thienpont J., Medeiros A., Biskaborn B., Korosi J., Hall R., Pienitz R., Wolfe B., 2016.** Paleolimnology of thermokarst lakes: a window into permafrost landscape evolution. *Arctic Science*. 10.1139/AS-2016-0022.
- Cérégino R., J. Biggs, B. Oertli and S. Declerck, 2008.** The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* 597: 1–6. doi:10.1007/s10750-007-9225-8.
- Digerfeldt G., 1986.** *Studies on past lake-level fluctuations*. In: Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology (eds. Berglund, B.E.). John Wiley and Sons, Chichester – New York, 127–143.
- Feng M., Sexton J.O., Channan S. & Townshend J.R., 2016.** A global, high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: first results of a topographic–spectral classification algorithm. *International Journal of Digital Earth* 9: 113–133.
- Geikie A., 1905.** *The Founders of Geology*. London, Macmillan, 488pp.
- Håkanson L. & Jansson M., 1983.** *Principles of Lake Sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin.
- Heidemann H. K., 2012.** *Lidar base specification version 1.0*. USGS Techniques and Methods 11-B4. Reston, VA: US Geological Survey.
- Hill M. J., C. Hassall, B. Oertli, L. Fahrig, B. J. Robson, J. Biggs, M. J. Samways, N. Usio, N. Takamura, J. Krishnaswamy, and P. J. Wood., 2018.** New policy directions for global pond conservation. *Conservation Letters* 0, e12447. <https://doi.org/10.1111/conl.12447>
- Hutchinson G.B., 1957.** *A Treatise on Limnology*. Volume 1. Geography, Physics, and Chemistry. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Hutton J., 1788.** *Theory of the Earth*. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, vol. I, Part II, pp.209–304
- Jedicke E., 1989.** *Ponds*. Paris: Teiche, Tümpel, Weiher, éd Ulisse.
- Kabailienė M., 2006.** Main stages of natural environmental changes in Lithuania during the Late Glacial and Holocene. *Geologija* 55: 37–47
- Korhola A., Vasko K., Toivonen H.T.T., Olander H., 2002.** Holocene temperature changes in northern Fennoscandia reconstructed from chironomids using Bayesian modelling. *Quaternary Sci. Rev.*, 21, 1841–1860.
- Kuusisto E., M. Raatikainen, 1988.** The number and surface area of the lakes in Finland. (in Finnish with a summary in English). *Terra* 102: 97–110.
- Lyell C., 1830.** *Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface*, by reference to causes now in operation. London: John Murray. Volume 1.
- Lyell C., 1832.** *Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface*, by reference to causes now in operation. London: John Murray. Volume 2.
- Lyell C., 1832.** *Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface*, by reference to causes now in operation. London: John Murray. Volume 3.
- Meybeck M., 1995.** *Global Distribution of Lakes*. In *Physics and Chemistry of Lakes*, ed. A. Lerman, D. M. Imboden, and J. R. Gat, 1–35. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Oertli B., 2013.** Typology of ponds. In Oertli, B. & Frossard, P.-A. (eds.). Ponds: ecology, management, development and valorisation, 219–225. *Ingénierie de l'environnement*. Lausanne: PPUR.
- Oertli B., R. Céréghino, A. Hull, R. Miracle, 2009.** Pond conservation: from science to practice. *Hydrobiologia* 634: 1–9. doi:10.1007/s10750-009-9891-9.
- Oldroyd D.R., 1980.** Sir Archibald Geikie (1835–1924), geologist, romantic aesthete, and historian of geology: The problem of whig historiography of science: *Annals of Science*, V. 37, no. 4, p. 441.
- Ott I., T. Kõiv, 1999.** Estonian small lakes: Special features and changes. Tallinn: Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus.
- Pätzig M., T. Kalettka, M. Glemnitz, G. Berger, 2012.** What governs macrophyte species richness in kettle hole types? A case study from Northeast Germany. *Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters, The eyes of the landscape – the value of ponds in the 21st century*. 42: 340–354. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2012.07.004>
- Punning J.-M., 1991.** About the interpretation of the paleogeographical data. *Laborativ Arkeologica* 5. Stockholm University, pp 179–182.
- Punning J.-M., Koff T., Kadastik E., Mikomägi A., 2005.** Holocene lake level fluctuations recorded in the sediment composition of Lake Juusa, southeastern Estonia. *Journal of Paleolimnology*, 34, 377–390.
- Raukas A., and A. Teedumäe, 1997.** *Geology and mineral resources of Estonia*. Tallinn: Estonian Academy Publishers.
- Ryanzhin S. V., 2005.** Are there many lakes in the world? *Nature*: 18–25.
- Stansell N. D., Klein E. S., Finkenbinder M. S., Fortney C. S., Dodd J. P., Terasmaa J., Nelson D. B., 2017.** A stable isotope record of Holocene precipitation dynamics in the Baltic region from Lake Nuud-saku, Estonia. *Quaternary Science Reviews*, 175, 73–84. [10.1016/j.quascirev.2017.09.013](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.09.013).
- Street-Perrott F.A., Harrison S.P., 1985.** Lake levels and climate reconstruction. In (ed.) Hecht, A. D. *Paleoclimate Analysis and Modeling*. pp. 291–340. John Wiley, New York.
- Terasmaa J., 2005.** Bottom topography and sediment lithology in two small lakes in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology, Ecology*, 54 (3), 171–189.
- Terasmaa J., 2011.** Lake basin development in the Holocene and its impact on the sedimentation dynamics in a small lake (southern Estonia). *Estonian Journal of Earth Sciences*, 60 (3), 159–171.
- Terasmaa J., Mikomägi A., Vandel E., Vaasma T., Vainu M., Heinsoo M., 2014.** *Hydrotechnogenical influence of the oil shale mines to the water quality of the natural lakes in the Kurtna Lake District, Estonia*. Water resources and wetlands: 2nd International Conference “Water resources and wetlands” 11–13 September, 2014 Tulcea (Romania). Ed. Gâstescu, Petre; Marszelewski, Włodzimierz; Bretcan, Petre. Transversal Publishing House, 181–188.
- Terasmaa J., Puusepp L., Marzecová A., Vandel E., Vaasma T., Koff T., 2013.** Natural and human-induced environmental changes in Eastern Europe during the Holocene: a multi-proxy palaeolimnological study of a small Latvian lake in a humid temperate zone. *Journal of Paleolimnology*, 49 (4), 663–678. [10.1007/s10933-013-9683-0](https://doi.org/10.1007/s10933-013-9683-0).
- Terasmaa J., 2013.** Kurtna järvestik – loodusväärtus inimõju kütkeis (Kurtna Lake District – valuable nature under the anthropogenic pressure). *Eesti Loodus*, 64, 4, 22–27.
- Vainu M., 2018.** *Groundwater-surface water interactions in closed-basin lakes: example from Kurtna Lake District in Estonia*. PhD Thesis. Tallinn University, 156 pp.
- Vassiljev J., 2007.** Lake level studies: Modeling. In (eds.) Elias, S. A. *Encyclopedia of Quaternary Science* pp. 1366–1374. Elsevier.
- Verpoorter C., T. Kutser, D. A. Seekell, and L. J. Tranvik, 2014.** A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. *Geophysical Research Letters* 41: 6396–6402. doi:10.1002/2014GL060641.
- Yu G., & Harrison S.P., 1995.** Holocene changes in atmospheric circulation patterns as shown by lake status changes in northern Europe. *Boreas*, 24, 260–268.
- Yu G., 1998.** European lake status data base: continental-scale synthesis for the Holocene. *Paläoklimafor-schung/Palaeoclimate Research*, 25, 99–114.