Dynamiques environnementales

Journal international de géosciences et de l'environnement

42 | 2018

Du glint baltique au lac Peïpous

Les territoires limniques estoniens : une originalité baltique ?

Pascal Bartout

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/1965>

DOI : 10.4000/dynenviron.1965

ISSN : 2534-4358

Traduction(s) :

The estonian limnic territories, a baltic originality? - URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/2485> [en]

Éditeur

Presses universitaires de Bordeaux

Édition imprimée

Date de publication : 1 juillet 2018

Pagination : 166-191

ISSN : 1968-469X

Référence électronique

Pascal Bartout, « Les territoires limniques estoniens : une originalité baltique ? », *Dynamiques environnementales* [En ligne], 42 | 2018, mis en ligne le 01 juin 2019, consulté le 03 mars 2022. URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/1965> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dynenviron.1965>

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.

les territoires limniques estoniens : une originalité baltique ?

Pascal Bartout

EA 1210 CEDETE, Université d'Orléans.
Château de la Source, Avenue du Parc Floral, BP 6749
45067 Orléans Cedex 2, France.
pascal.bartout@univ-orleans.fr

English text p. 350

Résumé

Lieu de présence des principaux lacs européens par leur superficie, l'espace limnique baltique ne peut pour autant pas se résumer à ses dizaines de lacs d'ampleur continentale car il abrite des dizaines de milliers de lacs morainiques, thermokarstiques et autres plans d'eau artificiels. Au travers d'approches limnosystémiques et limnorégionales, des dimensions temporelles, spatiales et anthroposystémiques, l'auteur s'attache à cadrer les 5 articles présents dans cette sous-partie thématique et questionne les territoires limniques estoniens au prisme de leurs indicateurs d'empreinte limnique.

Mots-clés

Territoire limnique, lacs, géographie, Baltique, Estonie.

LÉGENDE ????? (cliché : Pascal Bartout).

La limnologie, science qui étudie les lacs et toutes autres formes de masses d'eau dormantes telles que les étangs, les mares ou les marais pour ne reprendre que la terminologie française, possède une riche histoire scientifique européenne. Née en Suisse sous la plume de François-Alphonse Forel en 1892, la limnologie ou « géographie des lacs » s'est tout d'abord attachée à étudier les lacs alpins et jurassiens, faisant la part belle aux chercheurs helvètes et germaniques autour du Léman et du Bodensee (Forel, 1892-1904, et sa monographie du Léman, mais aussi Penck, 1894, ou Halbfass, 1923).

Dans cette logique glaciaire, ont également été étudiés les lochs écossais et irlandais (Murray et Pullar, 1910), puis d'autres facettes géographiques et morphologiques du vieux continent ont été explorées comme les lacs karstiques des Balkans à l'instar des poljés ennoyés des lacs Ohrid et Prespa (Tancev, 2012), les lacs salés transylvaniens comme le lac de l'Ours (Radulescu et al, 2018) ou encore les lacs et limans deltaïques comme ceux du Danube (Gâstescu et Sencu, 1968, Güttler, 2012). Mais c'est vers la frange nord de l'Europe que vont converger la plupart des autres travaux limnologiques,

Figure 1 : «Les plans
d'eau européens
de plus de 100 m²
(d'après Bartout,
2018).

à savoir les pourtours de la mer Baltique avec ses lacs morainiques et thermokarstiques.

La figure 1 ci-après figure la césure visuelle cartographique existant entre ces lacs du nord baltique naturels et très nombreux (Suède, Finlande, Danemark, Nord de l'Allemagne et de la Pologne, pays baltes et frange nord-ouest de la Russie) et les plus faibles concentrations au Sud de la moraine du Würm observable du Schleswig-Holstein en Allemagne jusqu'à la région d'Arkhangelsk en Russie et même au-delà vers le nord-est. La particularité principale de cette région est d'abriter des lacs de profondeur relative très faible au regard des autres lacs d'origine glaciaire existant en Europe.

De dimensions horizontales très diverses, cet espace accueille néanmoins les plus grands lacs naturels européens actuels (en excluant le cas particulier de la Caspienne), à savoir le Ladoga (Russie), l'Onega (Russie), le Vänern

(Suède), le Saimaa (Finlande), le Peïpous (Estonie/Russie), le Vättern (Suède), le Beloïe (Russie), le Vygozero (Russie), le Mälaren (Suède), l'Inari (Finlande) et le Päijänne (Finlande) pour ne citer que ceux de plus de 1000 km². A ceux-ci, il faut ajouter ces lacs de dimensions plus modestes mais qui concentrent sur leurs rives et dans leurs eaux des décennies de travaux limnologiques car marqueurs de territoires, à l'instar du lac Müritz dans le Land de Mecklembourg-Poméranie-Occidentale en Allemagne ou encore du lac Sniardwy dans la Voïvodie de Warmie-Mazurie en Pologne.

Pour autant, la plupart des recherches se concentrent sur un objectif unique, à savoir la compréhension du fonctionnement interne du lac. Celui-ci peut alors être envisagé comme un isolat déconnecté des autres éléments mais plus fréquemment il est envisagé comme un réceptacle du bassin amont et éventuellement les chercheurs étudient les impacts de celui-ci sur le continuum fluvial aval comme les travaux de P. Olszews-

ki en 1961 sur le lac Kortowo à Olsztyn (Pologne) (Barroin, 1999) : il s'agit alors d'une approche limnosystémique (Touchart et Bartout, 2018a).

Cette approche va épouser une des cinq contributions originales de cette partie consacrée aux plans d'eau estoniens, à savoir celle proposée par L. Touchart et ses co-auteurs sur l'apport de l'étude limnosystémique du lac Peïpous sur la limnologie russe mais également mondiale.

Cependant, une compilation d'approches limnosystémiques de grandes entités lacustres traduit une accumulation de cas particuliers mais crée une distorsion scientifique avec la réalité limnologique de terrain, où les plans d'eau sont d'origines et de morphologies très variées, et avec les nouveaux enjeux limnologiques de ce début de XXI^e siècle. En effet, depuis les travaux de R.G. Wetzel (1990), qui a émis l'hypothèse d'un rôle majeur des petits plans d'eau sur le climat global grâce au stockage de carbone *in situ*, l'intérêt vers les petites entités limniques (naturelles et artificielles) et les zones humides ne cesse de grandir. La prise en compte de ces nouveaux objets scientifiques et la dimension environnementale plus globalisante de la recherche actuelle ont conduit à mettre en avant trois dimensions sous-utilisées jusqu'à présent.

La première est la dimension temporelle, permettant de mieux retracer la vie du plan d'eau, tant sur le plan de sa genèse que de sa mise en valeur. Cette dimension temporelle peut alors s'envisager à l'échelle de temps long du géologue comme de celle plus courte de l'historien. E. Vandel et T. Vasmaa proposent dans ce numéro d'appréhender cette question avec l'étude de la question du développement des petits lacs estoniens à partir d'une approche paléolimnologique.

La seconde est la dimension spatiale, offrant la possibilité de mieux maîtriser les composants limniques de son environnement proche ou lointain. D'abord envisagée à l'échelle globale pour les grands lacs mondiaux (base WISE, World Lake Database), la question de la répartition des plans d'eau et de la composition du corpus limnique est devenue plus cruciale aux échelles nationale, régionale ou locale.

Trois raisons ont poussé à un développement important de cette connaissance spatiale de tous les types de plans d'eau : la première est ce que nous avons vu précédemment, à savoir l'importance écologique et climatique fondamentale des petites entités limniques ; la seconde est le développement de l'imagerie satellitale et donc avec elle l'accès plus aisé à des supports photographiques et cartographiques permettant d'étudier des espaces toujours plus vastes avec une pixellisation toujours plus précise ; enfin la troisième est liée à la problématique de la gestion de l'eau, sa qualité et sa quantité, pour mieux évaluer le potentiel et adapter la gestion aux territoires concernés, qu'ils soient internationaux, nationaux, régionaux ou locaux.

Dans ce numéro, J. Terasmaa propose une synthèse de ces approches spatiales en mettant en évidence toutes les inconnues concernant le panel lentique estonien jusqu'à l'inventaire de 2014 et les nouvelles problématiques que cela génère, tant sur le plan institutionnel que scientifique.

La troisième et dernière est la dimension anthroposystémique, ouvrant le champ des possibles vers les sciences humaines. Il s'agit en fait d'un retour aux sources limnologiques puisque F.A. Forel (1892) concevait la limnologie comme une science globale, une « géographie des lacs », avant qu'elle ne se

tourne exclusivement vers les sciences exactes sous la férule de Thienemann (1925) ce que nombre de chercheurs biogéochimistes regrettaient d'ailleurs (Dussart, 1966).

Les réflexions qui entourent les sciences limnologiques et hydrologiques en général ont été impactées par l'ouverture de l'Occident sur le monde russe à la fin de la Guerre Froide, monde où le géosystème était roi et où les sciences humaines pouvaient traiter d'égaux à égaux avec les sciences exactes. De même, les logiques de gestion et l'ouverture des études vers les objets en eau artificiels ont conduit à s'approprier des concepts économiques, sociologiques et géographiques. Des concepts tels que ceux d'anthroposystème (Lévêque *et al.*, 2003), d'espace hydraulique (Béthémont *et al.*, 1972) ou de territoire de l'eau (Laganier et Davy, 2000) ont fait florès et ont fortement infléchi les modes de pensées scientifiques mais également les modes de gestion de l'eau étatiques et hydrologiques (Ghiotti, 2006, Bartout et Touchart, 2017).

Deux articles de ce numéro se situent dans cette mouvance de gestion. Tout d'abord, G. Kapanen s'intéressera à la gestion du plus grand lac transfrontalier d'Europe, le lac Peïpous, ou comment l'environnement lacustre est-il appréhendé en hydropolitique frontalière : marche ou collaboration ?

La seconde contribution est le fait de M. Vainu et ses co-auteurs qui s'intéresseront au district des lacs de Kurtna, au nord-est de l'Estonie, lieu étudié depuis des décennies par les scientifiques de l'université de Tallinn, et évalueront si cette « perle naturelle » souffre de pressions anthropiques risquant de modifier son fonctionnement.

En mêlant approches naturalistes, pressions anthropiques, relations géo-

politiques, recul historique, positionnement de la recherche estonienne dans un cadre plus large, passé et présent, et en s'intéressant à des objets lacustres de morphologies différentes, ces cinq contributions permettent de dresser un premier constat conduisant à qualifier ce territoire de l'eau qu'est l'Estonie sous l'angle de ses plans d'eau, ce que nous avons nommé « territoire limnique¹ » (Bartout, 2015, Bartout et Touchart, 2017). Ce territoire limnique possède trois échelles d'appréhension : le limnosystème (Touchart et Bartout, 2018a) à l'échelle d'un plan d'eau, la limnorégion (Bartout et Touchart, 2017) à l'échelle d'une accumulation de plans d'eau et la limnosphère (Touchart et Bartout, 2018b) à l'échelle globale. Ce numéro spécial étant dévolu à l'étude de l'environnement estonien, les deux premières dimensions du territoire limnique seront au cœur de la réflexion générale.

Par l'entremise des articles de L. Touchart et ses co-auteurs et de G. Kapanen, la dimension limnosystémique sera au cœur de la démonstration, celle de L. Touchart et ses co-auteurs apportant également une réflexion par rapport à la limnosphère.

Les trois autres contributions apporteront un éclairage limnorégional différent et complémentaire : si M. Vainu et ses co-auteurs étudieront une micro-région limnique, E. Vandel et T. Vasmaa se positionneront sur une réflexion d'échelle étatique tronquée puisque focalisée uniquement sur les éléments naturels et de petite taille du corpus limnique, et J. Terasmaa apportera un éclairage global

1. Un territoire limnique est « une portion d'espace terrestre marquée par un plan d'eau notable ou plusieurs plans d'eau de différents types (lacs naturels, lacs de barrage artificiels, étangs, mares, etc.), qui influencent le milieu physique par leurs caractéristiques lentiques et sont influencés par lui, qui sont intégrés à la société et l'économie et dont les habitants se sont appropriés l'image, l'ensemble des interrelations à plusieurs échelles *spatiotemporelles* construisant une *identité géographique* » (Bartout et Touchart, 2017).

de la limnorégion « Estonie » en la qualifiant.

Pour autant, afin de cerner l'ampleur scientifique des travaux effectués en Estonie, il est nécessaire de les replacer dans un environnement plus large en comparant plusieurs régions et voir si les césures artificielles étatiques correspondent réellement à des modes de fonctionnement différents du point de vue limnique. Nous proposons ici d'éclairer un peu le lecteur dans cette réflexion permettant de déterminer si l'originalité il y a ou pas à l'intérieur d'un ensemble naturel cohérent, les pourtours de la mer Baltique.

L'appréhension de cette question se fera à partir d'un nouvel indicateur, l'empreinte limnique (Bartout et Touchart, 2018), qui a été conçu sur le modèle de l'empreinte écologique. Il s'agit dans le souci d'une démarche de géographie limnologique (Touchart *et al.*, 2014) de mettre au même niveau d'appréhension les approches naturalistes et anthropiques. Pour ce faire, nous avons utilisé deux critères : la limnité étendue (Bartout, 2012) qui caractérise l'empreinte surfacique d'un territoire donné et la densité de plans d'eau qui détermine l'empreinte numérique de répartition d'impacts des plans d'eau sur ce même territoire.

Ainsi, « prendre en compte ces deux critères à part égale ne détermine a priori aucune domination de la part naturelle sur la part anthropique, de la surface évaporante *sur le système d'évacuation des eaux ou encore du limnosystème singulier sur le limnosystème pluriel* » (Bartout et Touchart, 2018). Cet indicateur systémique se calcule aisément une fois toutes les données préparatoires collectées. Pour ce faire, il s'agit de disposer de données méthodologiquement identiques sur un espace bien plus large que le territoire étudié afin de

replacer ce dernier dans un contexte de comparaison. Nous avons choisi ici deux échelles de comparaison : l'Europe puis les pourtours de la mer Baltique.

Les limnités étendues et densités de plans d'eau moyennes à l'échelle de ces territoires constituent la normale (indicateur 1) et chaque sous-ensemble va ainsi pouvoir se positionner par rapport à ces chiffres moyens. Ainsi, chacun d'entre eux possèdera deux indicateurs que nous additionnerons et diviserons ensuite par deux pour déterminer l'empreinte limnique de ce territoire. De cette manière, les territoires où la pression limnique est importante seront mis en évidence, que ce soit lorsqu'une énorme étendue d'eau dormante est présente (par un fort indice d'empreinte surfacique), ce qui est l'approche traditionnelle (pour ne pas dire exclusive) de la limnologie, ou que ce soit lorsque l'indice de densité est très élevé, mettant en évidence tous les nouveaux éléments de la limnologie mondiale, à savoir les petites étendues lacustres.

A l'échelle européenne, le tableau 1 ci-dessous permet de comprendre la place de l'Estonie limnique au sein des sciences limnologiques aujourd'hui puisqu'il s'agit du traitement de la base WISE Large Lakes qui répertorie les grands lacs mondiaux.

D'après les données WISE, l'Estonie apparaît comme un Etat qui compte au niveau limnologique car elle possède l'empreinte limnique la plus élevée de ce pourtour baltique si on envisage l'échelle de l'Europe avec un indice de 3,64 et le troisième plus important du pourtour baltique si nous ne sélectionnons que cet ensemble derrière le Danemark et la Suède avec l'indice 2,58. De fait, la présence des lacs Peïpous et Võrtsjärv met l'Estonie dans la catégorie

Tableau 1 : Les empreintes limniques des états du pourtour de la mer Baltique selon les données de la base WISE.

Pays	Superficie du pays en km ²	Nombre de plans d'eau	Superficie des plans d'eau en km ²	Empreinte limnique à l'échelle de l'Europe	Empreinte limnique à l'échelle de la Baltique
Allemagne	355976	24	661,56	1,0734	1,1840
Belarus	206832	0	0	0	0
Danemark	42510	5	2004,97	3,3835	2,9939
Estonie	45688	2	3972,17	3,6461	2,5807
Finlande	333328	14	18249,58	2,5122	1,8702
Lettonie	64321	0	0	0	0
Lituanie	64712	0	0	0	0
Pologne	310477	0	0	0	0
Russie d'Europe	3057575	48	72687,76	1,0528	0,7689
Suède	442861	52	18922,72	3,2279	2,8968

N.B : les moyennes sont :
- pour la densité de plans d'eau : 0,000033 à l'échelle européenne et 0,000029 à l'échelle baltique ;
- pour la limnité étendue : 1,4535 à l'échelle européenne et 2,3658 à l'échelle baltique.

Tableau 2 : Les empreintes limniques des états du pourtour de la mer Baltique selon les données de la base Bartout, 2018.

Pays	Superficie du pays en km ²	Nombre de plans d'eau	Superficie des plans d'eau en km ²	Empreinte limnique à l'échelle de l'Europe	Empreinte limnique à l'échelle de la Baltique
Allemagne	355976	223302	4488,23	2,2680	2,2876
Belarus	206832	18716	2365,13	0,5047	0,4524
Danemark	42510	38190	944,18	3,3248	3,3291
Estonie	45688	8141	2192,23	1,4637	1,2153
Finlande	333328	72807	33160,42	2,5448	2,0077
Lettonie	64321	11169	1251,87	0,9226	0,8366
Lituanie	64712	16802	1224,35	1,1916	1,1213
Pologne	310477	67864	4405,42	0,9711	0,9218
Russie d'Europe	3057575	174503	105282,30	0,8207	0,6320
Suède	442861	94618	37994,82	2,2767	1,8172

N.B : les moyennes sont :
- pour la densité de plans d'eau : 0,1541 à l'échelle européenne et 0,1475 à l'échelle baltique ;
- pour la limnité étendue : 2,7091 à l'échelle européenne et 3,9256 à l'échelle baltique.

des états lacustres avec la Finlande, la Suède et le Danemark et se démarque très clairement de ces voisins baltes, russes ou polonais.

Cependant, la réalité du corpus limnique est bien différente de la vision octroyée par la base WISE, vision « en grand » que l'on retrouve un peu dans les logiques de gestion des Agences de Bassin avec les masses d'eau « plans d'eau » (plus de 50 ha). Pour parvenir à une cartographie acceptable à l'échelle européenne, nous nous sommes basé sur trois sources : la base WISE Large Lakes, la base Ecr15 de l'Agence Environnementale Européenne et le traitement des données disponibles sur *OpenStreetMap*.

Pour toutes ces bases, nous avons exclu tous les « plans d'eau » de superficie inférieure à 100 m² car de trop grandes incertitudes règnent sur leurs inventaires (Bartout et Touchart, 2013, Bartout et al, 2015). Même s'il existe dans certains Etats européens des bases plus fiables que celles utilisées, nous avons cherché à utiliser partout la même méthodologie d'obtention de données afin de dresser un état des lieux « objectif » du panel lentique européen. Les résultats de ces travaux sont exposés dans le tableau 2 ci-après.

Avant de commenter les empreintes limniques en tant que telles, il est utile de constater que l'analyse ne porte pas sur quelques centaines de plans d'eau comme l'analyse de la base WISE Large Lakes. Le nombre de plans d'eau a explosé puisqu'il dépasse les 720 000 à l'échelle des pays étudiés (et même 1,5 million à l'échelle de l'Europe entière). De fait, les valeurs moyennes de densité de plans d'eau sont tout autres (5000 fois plus importantes que dans le tableau précédent), mais celles de limnité étendue moyenne, certes en augmentation, n'ont connu qu'un doublement de leurs valeurs.

Ainsi, au niveau de l'empreinte limnique, les Etats possédant une multitude de petits plans d'eau vont davantage être mis en valeur et ceux possédant avant tout quelques plans d'eau majeurs vont naturellement régresser dans la hiérarchie. Or, c'est ce que l'on observe pour l'Estonie. Que ce

soit à l'échelle européenne ou à l'échelle baltique, son empreinte limnique, bien que supérieure à 1, donc caractérisant un territoire où les plans d'eau revêtent un caractère majeur, a été divisée par 2-2,5. La Suède se situe, dans des proportions un peu moins importantes, dans le même cas, au contraire du Danemark et de la Finlande précédemment cités qui conservent des valeurs sensiblement proches du tableau 1, montrant qu'ils possèdent en leur sein des plans d'eau en quantité quelle que soit la catégorie surfacique concernée.

Le pays qui progresse le plus dans la hiérarchie entre ces deux tableaux est l'Allemagne puisqu'elle apparaît au quatrième rang « baltique » au niveau

européen et au deuxième rang intra baltique derrière le Danemark, mais devant la Finlande et la Suède. L'Estonie, selon ces chiffres, ne peut plus être rattachée à cet ensemble dominant en Baltique, et propose des chiffres très proches de ceux des autres pays baltes (en particulier la Lituanie) et la Pologne.

A quel ensemble limnique géographique appartient alors l'Estonie, elle qui au gré des vicissitudes historiques est passée des dominations germaniques et fenno-scandiennes à celles russes, tout en étant qualifié de pays balte ? C'est tout l'objet des cinq articles qui vont suivre pour déterminer la part d'originalité estonienne dans cet ensemble limnique baltique.

Références

- Barroin G., 1999.** *Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau*. Thonon : Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 215 p.
- Bartout P., 2012.** *Les étangs du Limousin : des zones humides face au développement durable*. Brive-la-Gaillarde : Les Monédières, 250 p.
- Bartout P., 2015.** *Les territoires limniques. Nouveau concept limnologique pour une gestion géographique des milieux lentiques*. Orléans, HDR de Géographie, Université d'Orléans, 444 p.
- Bartout P., Touchart L., 2013.** « L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface ». *Annales de Géographie*, 691, 266-289.
- Bartout P., Touchart L., 2017.** « Le territoire limnique, une alternative à la gouvernance des plans d'eau par masses d'eau ? ». *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- Bartout P., Touchart L., 2018.** "The Limnic Footprint Index" in Conference dedicated to the World Meteorological Day and the World Water Day, Proceedings *Air and water components of the environment*. Cluj-Napoca, Casa Cărții de Stință.
- Bartout P., Touchart L., Terasmaa J., Choffel Q., Marzecova A., Koff T., Kapanen G., Qsair Z., Maleval V., Millot C., Saudubray J., Aldomany M., 2015.** "A new approach to inventorying bodies of water, from local to global scale". *Die Erde*, 146(4): 245-258.
- Béthémont J., 1972.** *Le thème de l'eau dans la vallée du Rhône. Essai sur la genèse d'un espace hydraulique*. Saint-Etienne : Imprimerie le Feuillet Blanc, 642 p.
- Dussart B., 1966), *Limnologie, l'étude des eaux continentales*. Paris : Gauthier-Villars, 678 p.
- Forel F.-A., 1892-1904.** *Le Léman, monographie limnologique*. Lausanne : F. Rouge, 3 tomes, rééd. 1969 et 1998, Genève : Slatkine.
- Gâstescu P., Sencu V., 1968.** *The kingdom of limans*. Bucarest : éd. Meridiane.
- Ghiotti S., 2006.** « Les territoires de l'eau et la décentralisation. La gouvernance de bassin versant ou les limites d'une évidence ». *Développement durable et territoires*, dossier 6, 26 p.
- Güttler F.N., 2012.** *Les eaux du delta du Danube : approche géographique par télédétection satellitaire*. Brest : Thèse de Doctorat en Géographie, université de Bretagne occidentale, 251 p.
- Halbfass W., 1923.** *Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde*. Berlin : Bornträger, 354 p.
- Laganier R., Davy L., 2000.** « La gestion de l'espace face aux risques hydroclimatiques en région méditerranéenne » in Bravard J.-P., Dir., *Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques. Gestion des excès et de la pénurie*. Paris : SEDES, p : 15-38.
- Lévêque Ch., Muxart T., Abbadie L., Weill A., Leeuw (van der) S., 2003.** « L'anthroposystème : entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieux » in Lévêque Ch., Leeuw (van der) S., *Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement*. Paris, Elsevier, p : 110-129.
- Murray Sir J., Pullar L., 1910.** *Bathymetrical Survey of the Fresh-Water Lochs of Scotland, 1897 – 1909*. Edinburgh: Challenger Office, 785 p.
- Penck A., 1894.** « Die Wannen » & « Die Wannen und Seenländer » in *Morphologie der Erdoberfläche*. Stuttgart : J. Engelhorn, zweiter Teil, p : 203-232 & 233-327.
- Radulescu C., Bucarica I.A., Bretcan P., Chelarescu E.D., 2018.** „Complex investigation of unconsolidated sediments of Romanian plain salt lake”. *Romanian Journal of Physics*.
- Tancev L., 2012.** "Dams and reservoirs in Macedonia", in Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W., Eds., *Encyclopedia of lakes and reservoirs*. Dordrecht: Springer, p: 186-191.
- Thienemann A., 1925.** *Die Binnengewässer Mitteleuropas*. Stuttgart : E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 255 p.
- Touchart L., Bartout P., 2018a.** « Le limnosystème est-il un concept géographique ? ». *Annales de Géographie*, 127(719), 29-58.
- Touchart L., Bartout P., 2018b.** « Faut-il concevoir une limnosphère ? ». *L'Information Géographique*, 82, p : 77-107.
- Touchart L., Bartout P., Nedjai R., 2014.** « La géographie limnologique en France : conjugaison de l'espace et du temps pour la compréhension des relations Homme – Milieu ». *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 62, 81-91.
- Wetzel R.G., 1990.** "Land-water interfaces: Metabolic and limnological regulators". *Int. Verein. Theor. Limnol. Verh.*, 24, 6-24.

Vue des planches du moine de l'étang de Järva-Jaani (cliché : Pascal Bartout).

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 en est autrement. 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.

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

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

187

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

puisque'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.