

Analyse mathématique pour la comparaison des mesures de transparence de l'eau avec deux différents disques de Secchi

Philippe Quétin ^a,

Jean-Christophe Hustache ^a, Pascal Perney ^a, Gérard Paolini ^b

a : INRAE UMR CARRTEL .75 bis avenue de Corzent , CS
50511 , 74203 Thonon-les-Bains Cedex, France

philippe.quetin@inrae.fr

b : CISALB. 1500 Boulevard Lepic F- 73100 Aix les Bains

Résumé. Appareil simple de conception et d'utilisation, le disque de Secchi mesure la transparence de l'eau. Les différents diamètres et couleurs des disques rendaient leurs comparaisons impossibles. Au vu de la norme internationale ISO 7027 [N° T90-033] - (2000) nous avons comparé les mesures effectuées pendant 6 ans avec les disques en notre possession. Pour recalculer les données anciennes au standard actuel, nous avons utilisé deux méthodes statistiques : le coefficient de concordance de Lin et la méthode de Bland et Altman. Grâce à ces méthodes, la qualité de la régression entre les mesures des différents disques a été vérifiée et une formule de correction a pu être proposée. Les données transformées pourront être utilisées pour des données antérieures de la qualité de l'eau des lacs alpins.

Mots Clés. Disque de Secchi, transparence, concordance entre 2 séries de mesures.

Abstract. The Secchi disk is a simple device easy to use. It measures the transparency of water. The different diameters and colors of the disks did not allow easy comparisons. Following the international norm edition (ISO 7027-(2000)), we have compared the measures we made during six years with disks we already have. To match former data with the international norm, we have used two statistical methods: the Lin concordance coefficient and the Bland and Altman method. Thanks to methods, the quality of the regression between the measures of disks was checked and a correction formula can be suggested. The transformed data can be used for further studies of the water quality of alpine lakes.

Keywords. Secchi disk, transparency, agreement between two measuring series

Introduction

Le CARRTEL (Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux trophiques et Ecosystèmes Limniques) utilise le disque de SECCHI depuis juin 1957 dans le cadre du suivi de la qualité écologique des grands lacs Alpins.

Cet appareil simple de conception et d'utilisation permet de mesurer la transparence de l'eau afin d'évaluer, de manière globale, la densité phytoplanctonique dans le milieu, mais aussi les matières en suspension issues des affluents, suite notamment à des épisodes pluvieux.

L'importance de la profondeur de disparition visuelle du disque immergé nous renseigne directement sur l'état écologique du milieu aquatique : plus la profondeur de disparition est importante, meilleure est la qualité de l'eau (voir encadré ci-dessous).

Relation entre la profondeur de Secchi et la profondeur euphotique.

$$Z_{eu} = 2,7 * Z_{prof\ de\ Secchi} \quad Lemmin (1995)$$

(La **zone euphotique** ou **zone épipélagique**, est la zone aquatique exposée à une lumière suffisante pour que la photosynthèse puisse se réaliser. Elle a été fixée à la profondeur maximum à laquelle l'intensité lumineuse résiduelle correspond à 1 % de celle en surface).

Historiquement, le laboratoire INRAE de THONON les BAINS utilisait un disque entièrement blanc d'un diamètre de 30 cm (Disque INRAE : DI).

Cependant, il était difficile de comparer les mesures de transparence de l'eau d'un lac à l'autre (ou sur les mêmes lacs), car les laboratoires ou organismes de recherche utilisaient des disques de diamètre et de couleurs différentes en France, aux quatre coins du monde (Bigham Stephens *et al.* 2015).

Pour pallier à ce biais, une norme internationale (ISO 7027 [N° T90-033] - (2000)) a vu le jour afin d'harmoniser les outils de mesures, et par la suite, la comparaison des résultats inter et intra-lacs.

Désormais, le Disque Normalisé (DN) mesure 20 cm de diamètre et comporte en alternance, deux cadrans blancs et deux cadrans noirs sur la totalité de sa surface (voir Figure 1).

L'observatoire OLA (Observatoire des Lacs Alps) qui fait partie intégrante du CARTELE, ayant été validé comme un Système d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement (SOERE) en 2010 par ALLENI (l'ALLiance nationale de recherche pour l'ENVironnement), il devenait nécessaire de n'utiliser dans nos suivis limnologiques que le disque de SECCHI Normalisé (DN).

Nous avons donc comparé entre juillet 2009 et décembre 2015 les différences de mesure entre les deux disques, au fil des campagnes de terrain, sur quatre grands lacs péri-alpins : Aiguebelette, Annecy, Bourget et Léman, qui constituent les principaux écosystèmes que nous étudions.

La comparaison a été motivée notamment dans le cadre des mesures appliquées pour la DCE qui impose d'échantillonner la colonne d'eau de manière intégrative en prélevant sur une profondeur de 2,5 fois la valeur de mesure du disque de Secchi Normalisé (par exemple : si la profondeur Secchi mesurée est de 8 m, le prélèvement s'effectuera entre 0 et 20 m). Afin de pouvoir passer de l'un à l'autre en toute connaissance de cause, il est tout simplement critique de comparer les résultats donnés par les deux disques. La mise en évidence d'une relation fiable entre les deux mesures permet ainsi d'établir un ou plusieurs modèles qui donneront la possibilité de recalculer les données anciennes au standard actuel, et par là-même pouvoir appréhender quels auraient été les résultats obtenus en utilisant seulement le Disque Normalisé. Pour ce faire, on utilisera deux méthodes statistiques : le coefficient de concordance de Lin et la méthode de Bland et Altman.

Historique

Les premières mesures de transparence de l'eau furent effectuées par une perception visuelle de celle-ci conjointement avec des mesures de couleur de l'eau dans les années 1675, Wernand (2010). La première utilisation d'un disque a eu lieu dans le Pacifique en 1815 par un naturaliste allemand durant une expédition russe, suivie de quelques mesures effectuées entre 1815 et 1865 par des français Wernand (2010).

Mais c'est à Pietro Angelo Secchi (né en 1818 en Italie), prêtre jésuite mais aussi savant féru d'astronomie, d'astrophysique, de météorologie que l'on doit les premières recherches reliant transparence des eaux à certains facteurs physiques (Secchi 1866 d'après Ass 2014). Il se servit d'un disque blanc de 30 cm de diamètre pour la première fois en mer Méditerranée en 1864.

La première mention de l'utilisation d'un disque noir et blanc fut faite par G. Wipple (1899 d'après Sancaktar 2009) qui mentionna une meilleure perception de ce type disque en raison des cadrans noirs qui augmentaient le contraste de couleur avec l'eau.

C'est Forel en 1901 (d'après Cadée 1996) qui nomma le disque pour la mesure de la transparence : *disque de Secchi* en référence et en hommage au prêtre italien.

D'après Hou (2007) le disque blanc de 30 cm est le standard pour les études en milieu marin, tandis que pour les lacs, les scientifiques préfèrent celui noir et blanc de 20 cm. Les raisons de l'utilisation d'un disque blanc pour les études marines et celles utilisant des cadrans noirs et blancs pour les lacs sont en fait plutôt d'ordre historique que théorique (Sancaktar 2009).

A ce jour, la profondeur record mesurée avec un disque de Secchi est de 80 m, réalisée dans l'Antarctique en octobre 1986 (Gieskes *et al.* 1987).

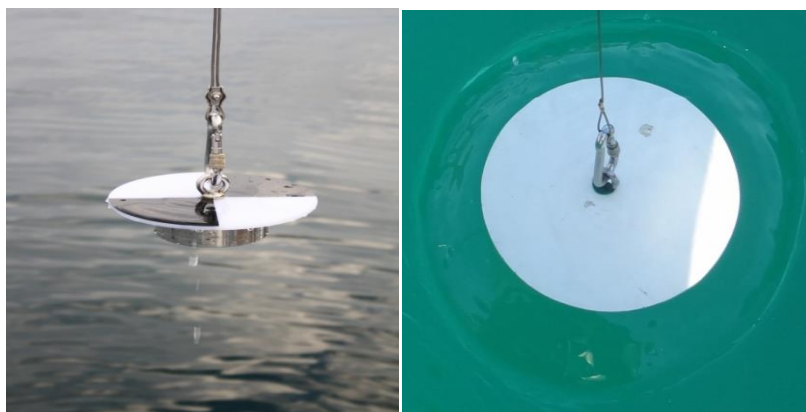
Méthode

Le disque de Secchi Normalisé est un disque de 20 cm de diamètre avec deux cadrans peints en noir et deux autres en blanc (Figure 1a). Le disque INRAE historique est un disque de 30 cm de diamètre entièrement blanc (Figure 1b).

Le disque de Secchi est lesté sur sa face inférieure et fixé au bout d'une corde étalonnée ou d'un câble qui passe dans une poulie compteuse (Figure 2).

Le zéro de mesure correspond au positionnement du disque en surface de l'eau.

L'appareil est descendu par l'observateur jusqu'à sa disparition visuelle. Ce dernier note alors la longueur de la corde, ou de câble correspondant. Il remonte ensuite la corde ou le câble jusqu'à la réapparition du disque, note une nouvelle fois la longueur de la corde ou du câble. La mesure de la profondeur du disque de Secchi est le point médian entre ces deux mesures.



a) disque Secchi Normalisé (DN = 20 cm)

b) disque INRAE (DI = 30 cm)

Figure 1. Disques mesurant la transparence des eaux

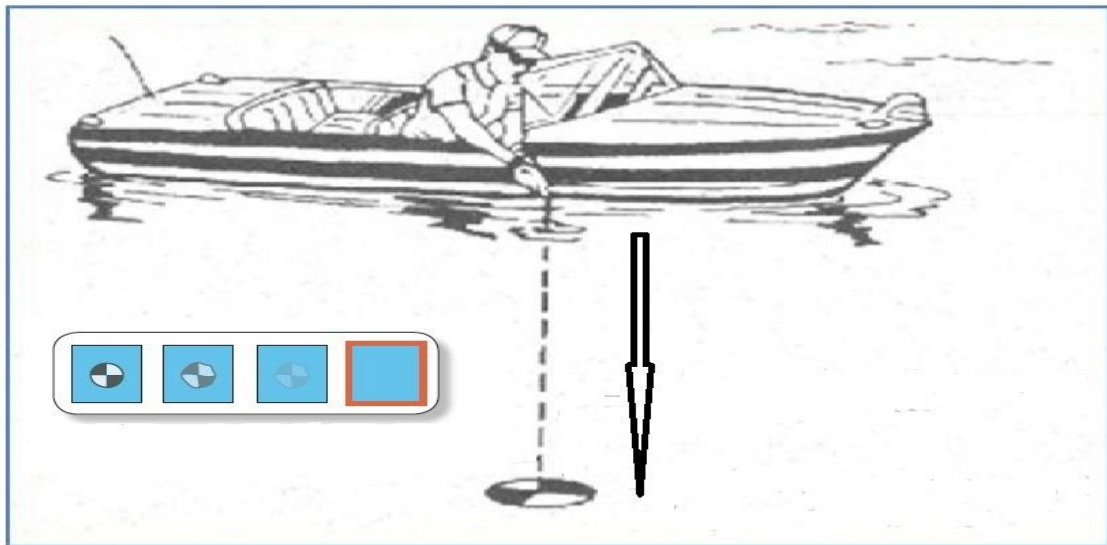


Figure 2. Mesure de la profondeur du disque de Secchi et des étapes de la visualisation de celui-ci par l'opérateur au fur et à mesure de sa descente.

Méthode Statistique

Ce qui suit est une partie de cours de Desquilbet (2019) : Concordance entre deux séries de mesures quantitatives.

Il existe des méthodes numériques et des méthodes graphiques pour évaluer la répétabilité/reproductibilité d'une méthode de mesure, ou la concordance entre deux méthodes de mesure, lorsque ce que l'on mesure est quantitatif. La méthode numérique présentée ici est le coefficient de concordance de Lin. Les méthodes graphiques quant à elles représentent graphiquement la concordance; ces dernières peuvent ainsi nuancer, infirmer, ou bien au contraire confirmer le niveau de concordance quantifié par les méthodes numériques. La méthode graphique présentée ici est la méthode de Bland et Altman.

La concordance entre deux méthodes de mesure est de savoir si *deux* méthodes de mesure fournissent les *mêmes* résultats lorsqu'elles mesurent la *même* chose dans les *mêmes* conditions.

Coefficient de concordance de Lin

Les méthodes numériques que l'on rencontre dans la littérature permettant *a priori* de quantifier la concordance entre deux séries de mesures quantitatives sont les suivantes : le coefficient de corrélation de Pearson, les comparaisons de séries appariées avec le test de Student, l'analyse des moindres carrés en traçant une droite d'équation $y = a.x + b$ (en testant a et b), le coefficient de corrélation intraclasse, et le coefficient de concordance de Lin (Lin, 1989).

Le coefficient de concordance de Lin est un coefficient allant de -1 à +1, où les valeurs de -1, 0, et +1 signifient respectivement une discordance parfaite, une concordance nulle, et une concordance parfaite.

La formule du coefficient de concordance de Lin est la suivante :

$$\text{Coefficient de Lin} = \frac{2 \text{ covar}_{1,2}}{S1^2 + S2^2 + (m1 - m2)^2}$$

Avec :

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2020 (99)

$Covar_{1,2}$ la valeur de la covariance du caractère mesuré entre les séries de mesures n°1 et n°2, $S1^2$ et $S2^2$ respectivement les variances du caractère mesuré dans les séries n°1 et n°2, et $m1$ et $m2$ respectivement les moyennes du caractère mesuré dans les séries n°1 et n°2.

La raison pour laquelle il peut exister un écart entre le coefficient de corrélation de Pearson et celui de concordance de Lin est la suivante : le coefficient de corrélation de Pearson quantifie la relation linéaire qui existe entre les deux séries de mesures. Si les mesures observées s'éloignent de part et d'autre de la droite de régression estimée à partir des deux séries de mesures (par exemple à l'aide de la méthode des moindres carrés), il y a un manque de « précision » autour de cette droite de régression (on parle de manque de *précision* de la concordance). En plus de quantifier la précision de la concordance, le coefficient de concordance de Lin quantifie *aussi* la déviation systématique par rapport à la droite de concordance parfaite à 45°, ce qui représente l'*exactitude* de la concordance. Le coefficient de corrélation de Pearson ne prend pas en compte l'exactitude de la concordance, seulement sa précision, ce qui conduit par conséquent à une surestimation systématique de la valeur du coefficient de corrélation de Pearson comparée à celle du coefficient de concordance de Lin (exemple en Figure 3).

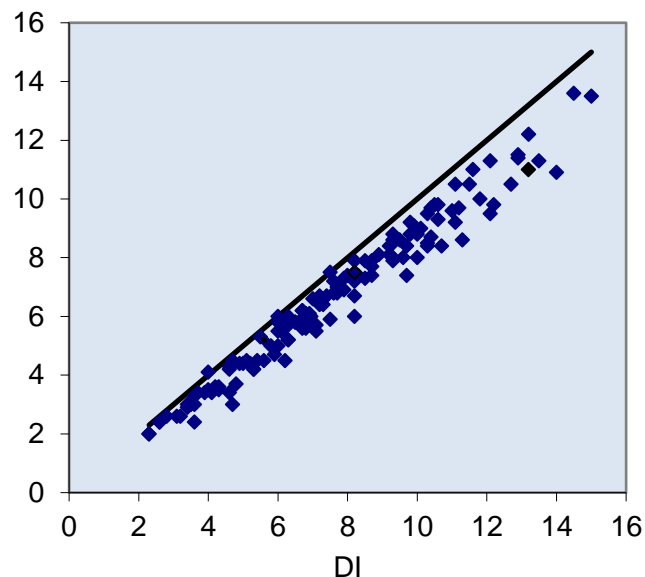


Figure 3. Graphique de concordances de Lin sur de transparence fournies par le disque INRAE(DI) et par le disque Normalisé (DN) sur le lac Léman. La droite (à 45°) correspond à la concordance parfaite entre les mesures.

En conclusion, il n'est pas du tout recommandé d'utiliser le coefficient de corrélation de Pearson pour quantifier la concordance entre deux séries de mesures pour des mesures quantitatives. Il faut plutôt utiliser le coefficient de concordance de Lin.

La méthode de Bland et Altman

En 1986, Bland et Altman ont mis au point une méthode graphique permettant de comparer deux techniques de mesures de mêmes grandeurs dans le monde médical. Leur méthode permet d'interpréter la concordance de deux séries de mesures (Altman et Bland, 1986). Elle peut ainsi nuancer, infirmer, ou bien au contraire confirmer le niveau de concordance quantifié par les méthodes numériques en s'affranchissant des statistiques et des valeurs de P. Cette méthode consiste à réaliser un graphique avec en ordonnée la différence entre les valeurs des deux techniques et en abscisse la moyenne des valeurs obtenues par ces deux techniques. Le graphique

de Bland et Altman comporte (a) les points correspondant aux individus évalués, (b) 3 droites horizontales représentant respectivement le **biais**, la limite inférieure d'agrément et la limite supérieure d'agrément, et (c) les intervalles de confiance à 95 % de ces 3 droites. Pour des raisons de simplification, on ne traitera pas les intervalles de confiance à 95 % des limites d'agrément (pour plus de détails sur le sujet, voir la partie « precision of estimated limits of agreement » dans l'article de Bland et Altman de 1986). Le biais peut être défini de deux manières en **absolu** (différences absolues entre les valeurs fournies par la première série de mesures et celles fournies par la seconde), ou en **relatif** (différences *relatives* exprimées en %, entre les deux séries de mesures). La méthode de Bland et Altman peut également être facilement utilisée avec un logiciel tableur grâce à un modèle [disponible sur internet](#) (Desquilbet 2019) (Figure 4).

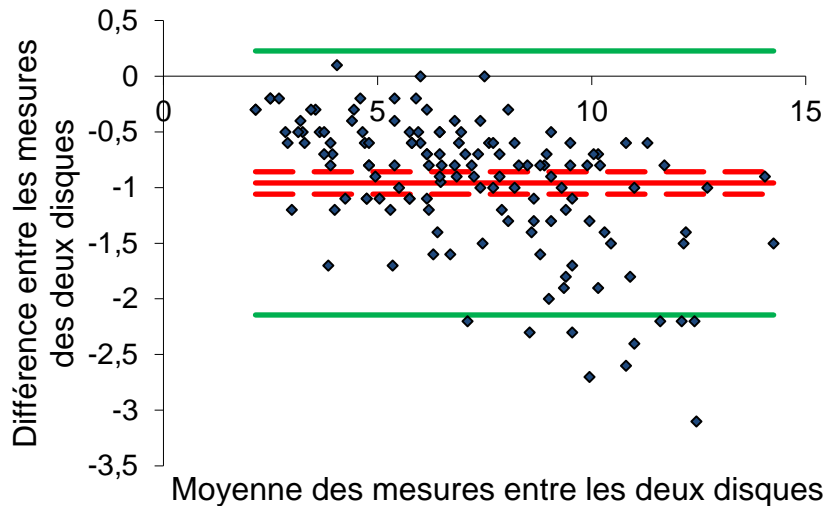


Figure 4. Graphique Bland et Altman de transparence fournie par le disque INRAE (DI) et par le disque Normalisé (DN) sur le lac Léman. La droite rouge (-0,959) représente le biais observé, les tirets rouges (-0,86 / -1,06) représentent l'intervalle de confiance à 95 % de ce biais. Les deux droites vertes (0,23 / -2,14) représentent les limites d'agrément à 95 %.

La méthode de Bland et Altman est une méthode « clinique » d'évaluation de la concordance entre deux séries de mesures, dans la mesure où les critères de concordance sont des critères « cliniques », fixés a priori par l'investigateur alors que le coefficient de concordance de Lin est un critère « statistique ».

Les mesures obtenues

Depuis juillet 2009 et jusqu'à fin décembre 2015, 604 mesures ont été réalisées avec les deux disques DI et DN sur les quatre lacs. La Figure 5 ci-dessous renseigne sur la relation globale observée entre les deux mesures.

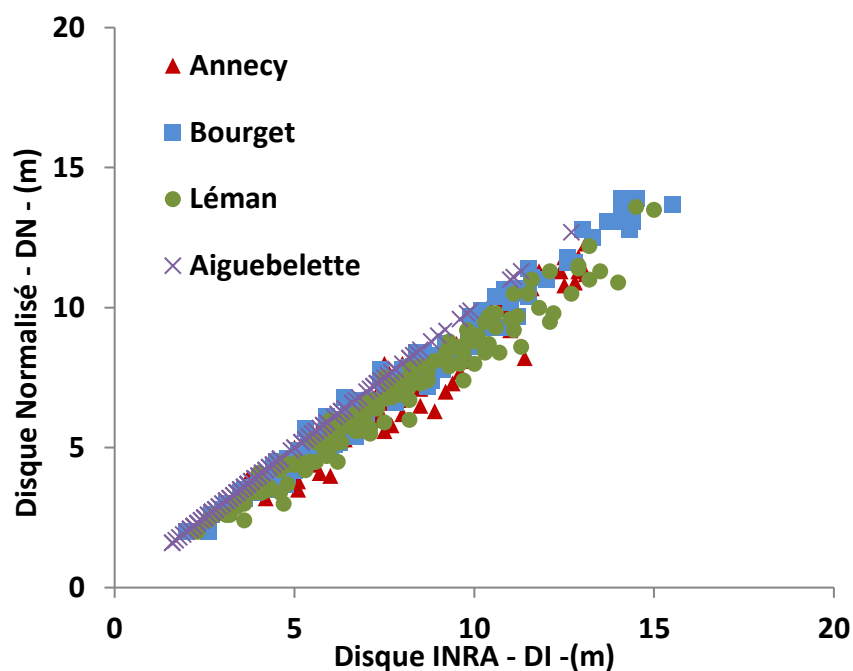


Figure 5. Relation observée entre les mesures de transparence effectuées avec les deux disques de Secchi sur l'ensemble des lacs entre 2009 et 2015

On constate que les mesures s'échelonnent entre 1,6 m et 15,5 m de profondeur pour le DI et entre 1,6 m et 13,9 m pour le DN. Le tableau 1 réalisé avec un logiciel tableur (Excel) nous renseigne sur les valeurs numériques des différentes méthodes (Coefficient de Corrélation, Lin et Bland et Altman (en absolu et en relatif)) appliquées à l'ensemble des données. Dans un second temps, ces relations ont été discriminées en considérant chaque lac séparément, permettant d'établir si un modèle par lac est plus pertinent que la relation unique.

Tableau 1. Analyse de la relation entre les mesures fournies le disque Normalisé et le disque INRAE sur les lacs entre 2009 et 2015.

Site	Nombre	Equation DN = a * DI + b	R ² avec p = 0,0001	Coefficient de Lin	Biais	
					absolu	relatif (%)
Tous	604	0,8989, 0,0598	0,972	0,960	-0,620	-9,6
Aiguebelette	171	0,9747, -0,1076	0,995	0,993	-0,234	-5,3
Annecy	123	0,8705, 0,0909	0,948	0,914	-0,831	-12,3
Bourget	172	0,9434, -0,1634	0,984	0,971	-0,590	-8,5
Léman	138	0,8743, -0,0008	0,967	0,921	-0,959	-13,8

Nos résultats révèlent une corrélation positive hautement significative entre les deux disques mais aussi des différences notables entre lacs. Si l'on ne considère que le coefficient de corrélation (R^2) des différentes relations, on ne peut statuer sur la pertinence de séparer chaque lac par rapport à l'ensemble. On peut noter que lorsque les b (offsets) sont pratiquement nuls (Annecy, Léman, Tous) les coefficients de corrélation (R^2) sont les moins bons et que les biais sont plus forts. On obtient un biais d'environ 10 % sur l'ensemble des données. L'analyse des résidus (non présentée ici) par rapport aux droites de régressions qui a été effectuée ne montre pas de tendance particulière.

La question est donc posée de savoir quels peuvent être les facteurs humains, techniques ou environnementaux responsables des différences obtenues entre les lacs. Notre expérience du terrain et la littérature nous apportent des éléments de réponse.

Sur la base de ses propres expériences, Secchi (Preisendorfer 1986 a, b) rapportait huit facteurs pouvant expliquer la profondeur de disparition du disque et donc aussi la variabilité des résultats.

- 1) Le diamètre du disque ;
- 2) La réflectance de ce disque ;
- 3) L'altitude du soleil au-dessus de l'horizon ;
- 4) L'état optique de la surface de l'eau (vagues) ;
- 5) La réflectance du soleil et des nuages sur la surface de l'eau ;
- 6) La hauteur de l'observateur au-dessus de l'eau ;
- 7) La profondeur de disparition du disque est plus grande si le chemin de l'eau entre l'observateur et le disque est à l'ombre ;
- 8) La quantité de plancton entre la surface et le disque.

Pour les facteurs 1, 2, 3, la profondeur de disparition est directement proportionnelle à ceux-ci, tandis que pour les facteurs 4, 5, 6, 8 elle est inversement proportionnelle à ces facteurs.

Preisendorfer (1986 a, b) ajouta deux facteurs à ceux annoncés par Secchi :

- 9) La profondeur de disparition du disque varie directement avec l'adaptation des yeux à la luminescence.
- 10) La profondeur de disparition du disque est inversement proportionnelle avec la réflectance du plan d'eau.

De nombreux auteurs ont écrit sur les différents facteurs qui pourraient avoir une influence sur la prédiction de la profondeur de disparition du disque de Secchi. Parmi ceux-ci citons :

Canfield et Hodgson (1983) ont prédit la profondeur à partir de la concentration en chlorophylle et la couleur du lac.

Hakanson et Boulion (2003) ont utilisé comme variables explicatives la quantité en phosphore, la profondeur moyenne du lac et sa couleur.

Dans une autre étude, Hakanson *et al.* (2005) ont mis en relation la profondeur de Secchi, le calcium et la concentration en matière en suspension particulaire.

D'après Bresina dans un rapport du Wisconsin Department of Natural Resources (2011), la variabilité due à l'altitude du soleil est estimée de +/- 7 % pour des mesures effectuées entre mai et septembre et celles dues aux vents et à la réflexion de +/- 12 %. Ils considèrent enfin qu'une mesure de profondeur est effectuée à +/- 20 %.

Notre propre expérience permettrait d'ajouter encore un élément pouvant intervenir sur la variabilité, l'œil et l'expertise de l'observateur. Notre vue se modifie avec l'âge et elle est aussi différente d'un observateur à un autre et cela joue parfois sur plusieurs décimètres d'observation du disque dans la colonne d'eau, corroborant les résultats obtenus par Larson et Buktenica (1998).

Les différences observées entre les quatre lacs sont à mettre en relation avec les caractéristiques propres de chaque lac (couleur, concentrations en phosphore, en chlorophylle), grandeur, orientation aux vents dominants et heure approximative de la réalisation de la mesure, mais aussi à l'observateur ou encore le type de bateau utilisé, etc...

Modélisation

Dans le but de convertir les profondeurs mesurées avant 2009 par le disque INRAE, le jeu de données (N= 604) est divisé en deux parties de manière aléatoire. Sur la première moitié, un modèle de régression linéaire est

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2020 (99)

établi. Sur la seconde, les profondeurs obtenues sont converties en « Equivalent Secchi » grâce aux paramètres de l'équation obtenue précédemment et comparées aux mesures réalisées avec le disque Normalisé.

Tableau 2. Relations entre les mesures obtenues le disque de Secchi Normalisé et le disque de Secchi INRAE sur deux jeux de données indépendants.

Site	Nombre	Equation DN = a * DI+ b	R ² p =0,0001	Coefficient de Lin	Biais	
					absolu	relatif (%)
Jeu 1	301	0,9035, 0,0349	0,973	0,960	-0,61	-9,6
Jeu 2 brut	303	0,8952, 0,0788	0,971	0,960	-0,63	-9,6
Jeu 2 reCalculé	303	0,9908, 0.0443	0,971	0,990	-0,01	-0,2

Les jeux 1 et 2 sont une bonne image de l'ensemble des données (même coefficient de corrélation, de Lin et même biais). Le tableau montre que le jeu 2 recalculé ayant un même coefficient de Pearson que le jeu 2 brut a un coefficient de Lin proche de 1; et que le biais (absolu et relatif) est proche de zéro permettant ainsi d'admettre que l'on a corrigé la concordance entre les données fournies par les deux disques de Secchi. Si on fait passer la droite de régression par zéro, on obtient **DN = 0,9968 DI**, soit pratiquement « la droite parfaite ». On peut donc ainsi utiliser le modèle défini sur l'ensemble des données ($0,8989 DI + 0.0598$) pour convertir les données obtenues par le disque INRAE avant 2009 en « mesures normalisées », et ainsi les entrer dans la base de données OLA, afin de pouvoir faire des comparaisons avec d'autres données de transparence qui auraient été effectués avec un disque normalisé.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA).



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Le Cahier des Techniques de l'Inra », la date de sa publication et son URL).

Bibliographie

Ass E., Hokedal J., Sorensen K. (2014) Secchi depth in the Oslofjord-Skagerrak area: theory, experiments and relationships to other quantities. *Ocean Sci.*, 10, 177-199

Bland J.M. et Altman D.G. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1, 307-10

Bigham Stephens D.L., Carlson R. E., Horburgh C. A., Hoyer M. V., Bachmann R. W., Canfield D. E. Jr. (2015) Regional distribution of Secchi disk transparency in waters of the United States. *Lake and Reservoir Management* 31, 55-63

Brésina (2011) Observations on Secchi Depth Measurement Variability. Wisconsin Department of Natural Resources 18 p

Cadée G.C. (1996) Michael Faraday and his "Secchi disk". *Archives of natural History* 23 (2), 291-294

Canfield D.E., Hodgson L.M. (1983) Prediction of Secchi disc depths in Florida lakes: Impact of algal biomass and organic color. *Hydrobiologia* 99, 51-60

Desquilbet L. (2019) « Répétabilité/reproductibilité/concordance de méthodes de mesure ». *Ecole Nationale vétérinaire d'Alfort*, <https://eve.vet-alfort.fr/course/view.php?id=353>, visité le 22/02/19

Gieskes W.W.C., Veth C., Woehrmann A. et Graefe M. (1987) Secchi disc visibility world record Shattered. EOS, Transactions, American Geophysical Union. 68: 123 p

Hakanson L., Boulion V.V. (2003) A Model to Predict How Individual Factors Influence Secchi Depth Variations among and within Lakes. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 88 (2), 212-232

Hakanson L., Blenckner T, Bryhn A. C., Hellstrom S.S. (2005) The influence of Calcium on the chlorophyll-phosphorus relationship and lake Secchi depths. *Hydrobiologia* 537, 111-123

Hou W., Lee Z., Weidemann A.L. (2007) Why does the Secchi disk disappear? An imaging perspective. *Optics Express* 15 (6), 2791-2802

Larson G.L., Buktenica M.W. (1998) Variability of Secchi disk reading in a exceptionally clear and deep caldera lake. *Archive fur Hydrobiologie* 141 (4), 377-388

Lemmin U (1995) *Limnologie Physique. Limnologie Générale* Sous la direction de R. Pourriot et M. Meybeck. Collection d'écologie 25. Ed. Masson, 60-114

NF EN ISO 7027. (2000) Qualité de l'eau – Détermination de la turbidité (T90-033). 25 p

Preisendorfer R.W. (1986a) *Eyeball Optics of Natural Waters: Secchi Disk Science.* NOAA Technical Memorandum ERL PMEL-67. 94 p

Preisendorfer R.W. (1986b) *Secchi Disk Science: Visual optics of natural sciences.* *Limnology and Oceanography.* Vol 31 (5), 909-926

Sancaktar E.A (2009) *Secchi. Black and White.* [http://www.secchidipin.org/ Secchi/black_and_white.htm](http://www.secchidipin.org/Secchi/black_and_white.htm). Visité le 24 février 2015

Wernand M.R. (2010) On the history of the Secchi disc. *Journal of the European Optical Society – Rapid Publications* 5, 10013s. 6 p

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier MM. J. GUILLARD, S. JACQUET, G. MONET pour leurs relectures et critiques constructives ainsi que le relecteur (J. AUBIN) pour ses remarques pertinentes.