INDICE FLORISTIQUE DE FERTILITÉ DU SOL

Domaine d'application
toutes les zones humides

Fonction
biogéochimique

Compétences :
❀❀❀ / ❀❀

Coût :
€€ / €€

Description et principes de l'indicateur

La quantité des nutriments (principalement azote et phosphore) disponibles dans le sol est un facteur important auquel les espèces sont plus ou moins tolérantes ou adaptées. Il est donc possible d'évaluer de manière simplifiée, sur une échelle ordinale, l'optimum de chaque espèce en fonction de la disponibilité des nutriments : c'est sa valeur indicatrice. La richesse "moyenne" en nutriments d'une zone humide, que nous appellerons indice floristique de fertilité du sol, peut être calculée à l'échelle de la placette comme la moyenne des valeurs indicatrices des espèces présentes, puis à l'échelle d'une zone humide comme la médiane des valeurs des placettes.

FONDEMENTS SCIENTIFIQUES DE L'INDICATEUR

Beaucoup d'espèces végétales présentent, en fonction de l'importance de la disponibilité des nutriments dans le sol, une courbe de croissance présentant un optimum (OKLAND, 1990 ; ELLENBERG, 1974).

La bibliographie montre que l'ensemble des espèces présentes sur une placette (si les conditions écologiques sont à peu près homogènes) donne des indications plus précises qu'une seule ou quelques espèces (BRAUN-BLANQUET & JENNY, 1926).

Des valeurs indicatrices sont disponibles pour certains pays ou ensembles biogéographiques (ELLENBERG *et al.*, 1992 pour l'Europe centrale ; LANDOLT et al., 2010 pour la Suisse ; HILL *et al.*, pour la Grande-Bretagne...). Pour le bassin Loire-Bretagne, la valeur indicatrice de l'espèce correspond à la moyenne des valeurs indicatrices des trois valeurs disponibles de Landolt (LANDOLT *et al.*, 2010), de Julve (adaptées pour la France métropolitaine) et d'Ellenberg (ces deux valeurs disponibles sur Baseflor : BOCK *et al.*, 2014) (annexe 2 I06, tableaux de correspondances des valeurs indicatrices). La valeur indicatrice s'échelonne ainsi sur une gamme allant de 1 à 9 (des espèces des milieux très pauvres en nutriments vers les milieux les plus riches) à l'échelle du bassin..

Pour une placette donnée, l'indice floristique de fertilité du sol Ht correspond à la moyenne des valeurs indicatrices présentes, pondérées par le recouvrement des espèces sur la placette, considérant que le recouvrement d'une espèce témoigne de sa vitalité.

$$Ht = \sum (rij * xi) / \sum (rij)$$

Il varie de 2,1 en tourbière acide à 7 pour un site de type 3, marais et lagune côtiers.

rij *est l'abondance (ou recouvrement) de l'espèce i dans le relevé j*
xi *est la valeur indicatrice de l'espèce i*

L'indice floristique de fertilité peut également être calculé sans utiliser le recouvrement des espèces ; les valeurs obtenues sont alors plus ou moins différentes mais utilisables comme indicateurs de suivi (fiche A06).
L'indicateur a été utilisé notamment pour le suivi de l'eutrophisation des zones humides (RUTHSATZ, 1998).

L'attention des gestionnaires en limite de bassin est attirée sur la variation des valeurs indicatrices : LigérO : 1 à 9; RhoMéO : 1 à 5.

FONDEMENTS SCIENTIFIQUES DE L'INDICATEUR *(suite)*

La corrélation entre ces valeurs diagnostiques et le fonctionnement du cycle de l'azote ou du phosphore a été étudiée notamment par DIEKMANN & FALKENGREN-GRERUP (1998), ERTSEN *et al.* (1998), SCHAFFERS & SIKORA (2000) ou encore FALKENGREN-GRERUP & SCHOTTELNDREIR (2004).

Il apparaît ainsi que les valeurs diagnostiques reflètent plus un facteur de productivité globale liée à la disponibilité en nutriments qu'un aspect précis du cycle des deux principaux nutriments.

DOMAINE D'APPLICATION DE L'INDICATEUR

L'indicateur est applicable à tous les types de zones humides. En revanche, comme il existe une corrélation avec le pH des sols, l'interprétation des résultats doit tenir compte du type de zone humide et du type de substrat. Les comparaisons des valeurs indicatrices entre sites sont donc à éviter à moins de s'assurer qu'elles sont effectuées au sein d'un même type de zone humide.

Périodicité

Dans le cadre d'un suivi à long terme et au vu de la vitesse d'évolution des milieux ouverts, une périodicité des suivis de 5 ans semble raisonnable.

Dans le cadre de suivi de travaux, la périodicité préconisée est biannuelle et si possible poursuivi jusqu'à 10 ans. R+7 et R+10 permettant de confirmer la tendance. Il est préconisé de faire un état initial, avec 1 à 2 campagnes avant travaux.

Bibliographie

BOCK B & al., 2014. Référentiel des trachéophytes de France métropolitaine Ministère de l'Écologie / MNHN / FCBN / Tela Botanica. Tela Botanica. Version 2.01. Aussi dénommé Baseflor dans ce document, téléchargeable sur https://www.tela-botanica.org/projets/referentiel-des-tracheophytes-de-metropole-isff-bdnff-bdtfx-taxref/

BRAUN-BLANQUET J. & JENNY H., 1926. Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpine Stufe der Zentralpen (Klimaxgebiet des Caricion curvulae). Denkschr. d. Schweiz Naturf. Ges.,LWIII, Abt. 2

DIEKMANN M. & FALKENGREN-GRERUP U., 1998. A new species index for forest vascular plants : development of functional indices based on mineralization rates of various forms of soil nitrogen. Journal of Ecology 86 : 269-283.

ELLENBERG H., 1974. Zeigerwerte des Gefässpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9 : 1-97.

ELLENBERG H., WEBER H., DULL R., WIRTH H., WERNER W. & PAULISSEN D.; 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Ed 3. Scripta Geobotanica 18 : 1-258.

ERTSEN A. C. D., ALKEMADE J. R. M., & WASSEN M J., 1998. Calibrating Ellenberg indicator values for moisture, acidity, nutrient availability and salinity in the Netherlands. Plant Ecology 135 : 113-124.

FALKENGREN-GRERUP U. & SCHOTTELNDREIR M., 2004. Vascular plants as indicators of nitrogen enrichment in soils. Plant Ecology 172 : 51-62.

HILL M. O., et al., 1999. Ellenberg's indicator values for British plants. ECOFACT Vol.2, 46 p.

LANDOLT E. et al., 2010. Flora indicativa. CJB Genève, Haupt, Berne, 376 p.

MONTICOLO J., BESLIN O. (CBNBP), LACROIX P. (CBNB), ANTONNETTI P. (CBNMC), 2017. LigérO _ Référentiel taxonomique de la flore et valeurs indicatrices pour l'étude des zones humides du bassin de la Loire _ Table et notice V2. CBNBP/MNHN, CBNB, CBNMC, CEN Centre-Val de Loire. Tableau et notice flore 13 p.

OKLAND R. H., 1990. Vegetation ecology : theory, methods and application with reference to Fennoscandia. Sommerfeltia Suppl. 1 : 1-233.

RUTHSATZ B., 1998. Sukzessionsveränderungen in Seggen-riedgürtel um ein vermoortes Maar des Vulkaneifel (NSG Mürmes) und ihre möglichen Ursachen. Tuxenia 18 : 237-259.

SCHAFFERS A. P. & SYKORA K. V., 2000. Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction : a comparison with field measurements. Journal of Vegetation Science 11 : 225-244.

INDICE FLORISTIQUE DE FERTILITÉ DU SOL

Description et principes

L'indice de fertilité du site est traduit par plusieurs valeurs et graphiques complémentaires permettant de résumer l'information et de conserver l'expression de la variabilité du site :

- **les valeurs des indices par placette à partir desquelles on établit la valeur médiane du site**
- **et l'histogramme des valeurs des placettes.**

Méthode de calcul

Pour le suivi d'un site dans le temps, il faut au préalable s'assurer que les calculs sont effectués sur les mêmes couples de placettes.

Pour les sites présentant des compartiments aquatiques, il est préconisé d'évaluer séparément ceux-ci des compartiments terrestres ou amphibies.

A l'échelle de la placette, la valeur diagnostique est calculée selon la procédure expliquée dans la fiche "indicateur" I06.

A l'échelle du site, deux paramètres sont évalués :

- la tendance globale calculée par la médiane des valeurs diagnostiques des placettes ;
- la variabilité, sous la forme d'un histogramme des valeurs diagnostiques des placettes (figures 1 et 2).

On compte le nombre de placettes ayant une valeur diagnostique comprise entre la borne inférieure et supérieure d'une classe. Dans l'exemple 1 (figure 1), la Plaine de Vilaine (Loiret) présente un indice de fertilité de 5,6 avec 9 placettes ayant une valeur de fertilité comprise entre 5,5 et 5,99 ; dans le cas suivant (figure 2), le lac-tourbière de Bourdouze (Puy-de-Dôme) montre un indice de fertilité de 3,45 avec 13 placettes ayant une valeur de fertilité comprise entre 2 et 3,99.

Si la distribution des valeurs diagnostiques des placettes est symétrique ou au moins unimodale aux deux dates à comparer, un test d'évolution de position (médiane) peut être mis en œuvre.

Dans le cas contraire (notamment répartition bimodale à une des deux dates), une évaluation basée sur l'inspection des histogrammes et le calcul d'un indice d'évolution est préférable.

Figure 1 : valeur diagnostique de niveau de fertilité des placettes du type SDAGE 6 en 2017.

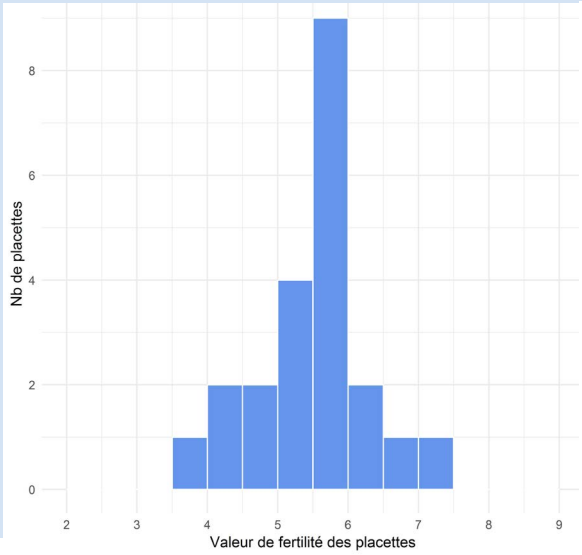
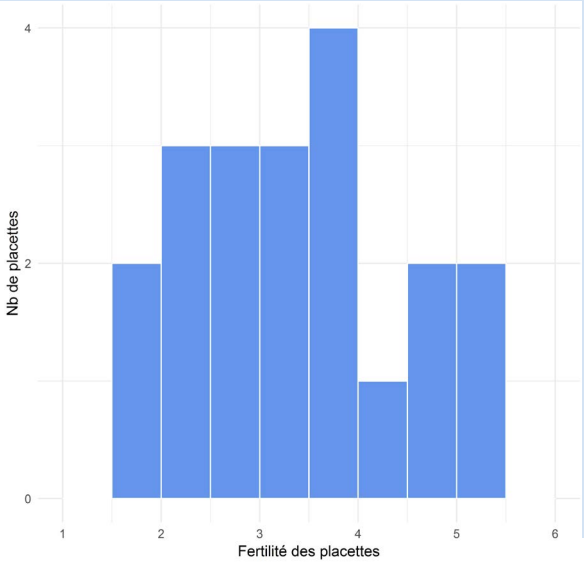


Figure 2 : valeur diagnostique de niveau de fertilité des placettes de type SDAGE 9 en 2017.

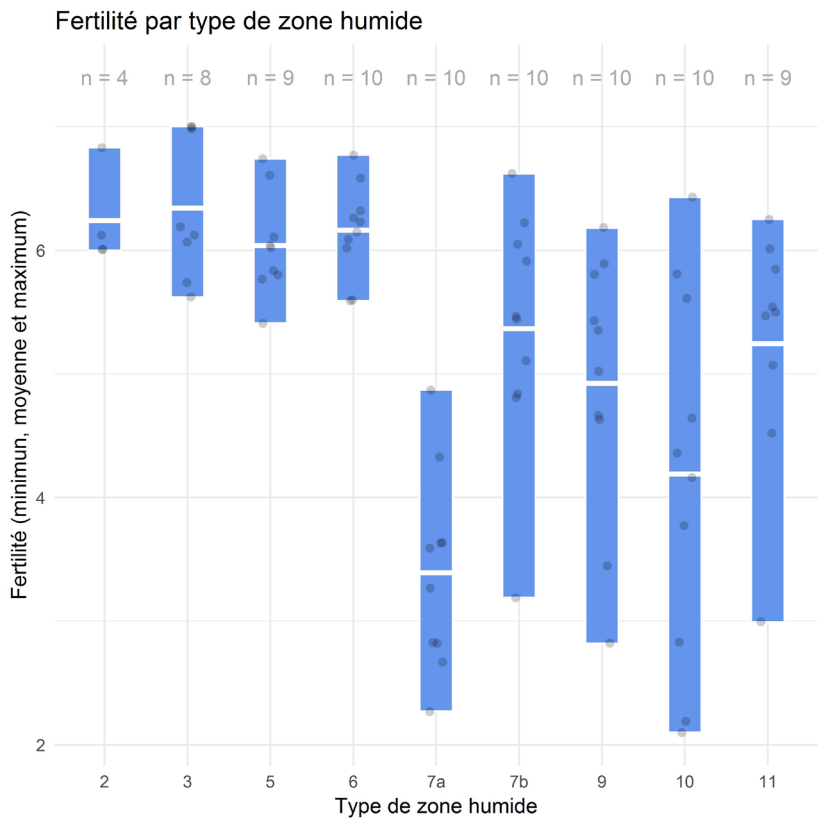


Clés d'interprétation de la note indicatrice

La valeur diagnostique de fertilité est corrélée positivement avec la disponibilité en nutriments (azote et phosphore). La gamme de variation va de 1 (sites très pauvres en nutriments) à 9 (sites très riches). En pratique, les valeurs médianes pour les milieux humides varient de 2,10 (tourbière acide – type 10) à 7 (marais et lagunes côtiers – type 3).

A l'échelle des sites test réalisés en 2017 sur le bassin de la Loire, les valeurs minimales, moyennes et maximales observées par type de milieu humide sont représentées à la figure 3. Cette dernière est un exemple d'amplitude des valeurs observées et mesurées sur les sites test en 2017. Cela ne constitue pas une échelle comparative de valeurs.

Figure 3 : exemples d'amplitudes des valeurs observées sur les sites tests en 2017.



La significativité de l'écart observé entre deux dates peut être analysée de trois manières (A06 de la boîte à outils RhoMéO) :

- En comparant l'écart observé avec l'erreur moyenne à l'échelle d'un site (due à de mauvaises re-localisations des placettes, des décalage phénologiques, des erreurs de déterminations...) **que l'on a estimée approximativement pour la fertilité à 0,2** (chiffre applicable pour tous les types de zones humides, que l'on calcule la valeur en présence/absence ou en prenant en compte le recouvrement des espèces) ; pour être significatif, l'écart observé doit être supérieur à l'erreur moyenne, donc supérieur à 0,2 ;
- En calculant l'écart global entre les occurrences observées et attendues comme si ces occurrences étaient indépendantes des années. Il s'agit d'une mesure semi-statistique, **le coefficient V de Cramer** (Annexe 2 pour un exemple détaillé des calculs) ; pour être significatif, ce coefficient (qui varie de 0 à 1) doit être au moins supérieur à 0,1 ;
- En comparant statistiquement les valeurs des placettes avec **le test non paramétrique des rangs signés de Wilcoxon** ; pour être significatif, la statistique du test doit être inférieure à des valeurs seuils données dans des tables spéciales mais facilement disponibles (Annexe 2 pour le détail des calculs et l'obtention des tables).

La mécanique des calculs est expliquée dans des manuels statistiques comme DAGNELIE (2011), SOKAL & ROHLF (2012), SPRENT (1993) ou TOMASSONE *et al.* (1993), ou enfin dans les cours de statistiques de l'Université de Lyon de RAKOTOMALALA (2008, 2011).

L'évolution d'un site est considérée significative si au moins deux de ces trois méthodes répondent positivement (ou négativement).

FICHES LIÉES P02 I06

Exemple d'application

Le marais de Clussais-la-Pommeraie (Deux-Sèvres) est un espace naturel (70 ha) dont plus de 30 ha sont acquis et gérés par le Conservatoire d'espaces naturels de Poitou-Charentes. Il correspond à un ensemble remarquable de prairies humides bocagères, avec la présence de plusieurs mares et de parcelles boisées diversifiées (taillis de bourdaine, fourrés à bruyères à balai, frênaies, saussaie marécageuse, chênaies-charmaies).

Ce site a été rattaché au type SDAGE 10. 27 placettes réparties sur 6 transects ont été échantillonnées en 2017. La valeur de l'indice floristique de fertilité de ce site est de 4,64.

La valeur de fertilité des placettes varie entre 2,34 et 5,89 avec 2 pics de valeurs : 6 placettes avec une valeur comprise entre 2,5 et 2,99 et 9 placettes avec une valeur comprise entre 5,5 et 5,99 (figure 4).

Les valeurs de fertilité les plus faibles correspondent à des prairies humides à molinie ; au contraire, les plus élevées correspondent à des prairies humides mésotrophes fauchées ou pâturées (figure 5).

Figure 4 : valeur diagnostique de niveau de fertilité des placettes du site en 2017.

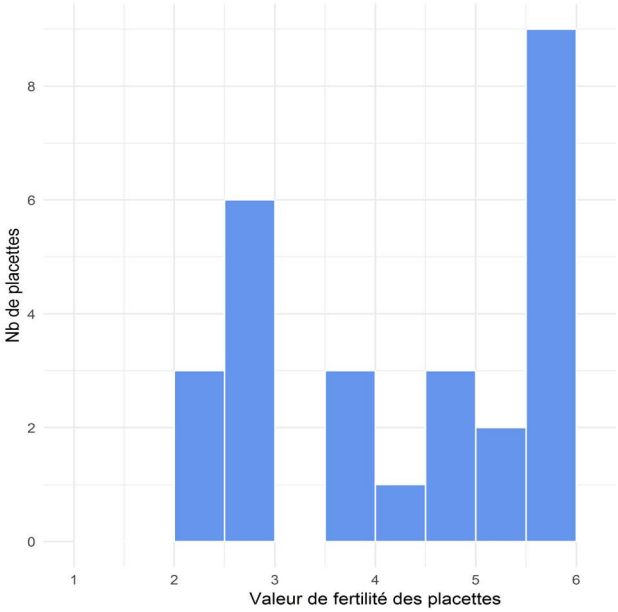


Figure 5 : représentation cartographique des valeurs diagnostiques de niveau de fertilité des placettes du site en 2017.

Bibliographie

Collectif RhoMéO, 2014 BAOZH RhoméO

DAGNELIE P., 2011. Statistique theorique et appliquee. Tome 2. Inference statistique a une et a deux dimensions. De Boeck (ed.), Bruxelles, 736 p.

RAKOTOMALALA R., 2008. Comparaisons de populations. test non parametriques. Version 1, telechargeable a l'adresse suivante : http://www.academia.edu/24661896/Comparaison_de_populations_Tests_non_paramétriques_Université_Lumière_Lyon_2

RAKOTOMALALA R., 2011. Etude des dependances - Variables qualitatives. Tableau de contingence et mesures d'association. Version 2, telechargeable a l'adresse suivante : http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours/Dependance_Variables_Qualitatives.pdf

SOKALl, R.R. & ROHLF F.J., 2012. Biometry : the principles and practice of statistics in biological research. 4th edition, W. H. Freeman and Co. (eds.), New York. 937 p.

SPRENT P., 1993. Statistiques non parametriques.INRA (ed.), Paris, 294 p.

TOMASSONE R., DERVIN C, MASSON J P.1993. Biometrie. Modelisation de phenomenes biologiques. Masson (ed.), Paris, 553 p.

Calcul du coefficient V de Cramer

(source : BAO RhoMéO)

La question posée : les occurrences des valeurs d'indice suivent-elles une distribution identique entre l'année 1 et l'année n du suivi ? Autrement dit, y a-t-il un lien (ou dépendance) entre les valeurs des indices et les années ?

Pour cela, on doit comparer nos données à un jeu de données simple à calculer et qui représente le nombre d'occurrences d'espèces ayant une valeur indicatrice en cas de distribution identique entre les deux années : c'est le jeu de données attendu s'il n'y avait aucune différence de distribution. Dans le cas attendu, les occurrences ne dépendent que de la fréquence relative de la valeur indicatrice et du nombre d'observations de l'année concernée (pour la méthode précise de calcul, voir les exemples ci-dessous).

On calcule ensuite l'écart global (appelé Khi deux) entre les occurrences observées et les occurrences attendues comme :

$$\text{Khi deux} = \left(\sum (\text{occurrences observées})^2 / \text{occurrences attendues}\right) - \text{effectif total}$$

Plus la valeur est élevée, plus l'écart entre valeurs attendues et observées est fort, et donc, plus les occurrences des valeurs indicatrices sont différentes entre les années. En théorie, cette valeur suit une loi du Khi deux et on peut tester statistiquement si la valeur observée est compatible avec l'hypothèse d'indépendance entre les valeurs et les années. Mais, comme les placettes sont appariées et que les individus statistiques ne sont pas clairement définis, le test statistique n'est pas applicable. Un coefficient normalisé (qui ne dépend pas du nombre de catégories ni de l'effectif total) dérivé de la valeur du Khi deux, appelé **coefficient V de Cramer**, est donc calculé pour évaluer le niveau d'association entre les occurrences des valeurs indicatrices et les années. Il vaut 0 si les effectifs sont égaux (ou proportionnels) et tend d'autant vers 1 que les occurrences sont dissemblables entre les années. Empiriquement, on qualifie le niveau d'association entre années et occurrences de :

association forte	si V > 0.5
association modérée	si V compris entre 0.3 et 0.5
association faible	si V compris entre 0.1 et 0.3
pas d'association	si V < 0.1

Attention, les valeurs fortes indiquent une association, c'est-à-dire une dépendance, entre années et valeurs indicatrices, et non pas entre années. Autrement dit, plus l'association est forte, moins la « corrélation » entre années est bonne, c'est-à-dire que la répartition relative des occurrences de valeurs indicatrices est très différente et l'évolution du site significative.

Calcul du coefficient V de Cramer

(source : BAO RhoMéO)

Application au niveau de fertilité
Exemple issu de la BAOZH RhoMéO : site des Mièges (74).

Les données disponibles pour 2010 sont les données réelles, celles pour 2015 ont été obtenues en simulant une augmentation globale de 1%. Pour calculer le nombre d'occurrences attendues en 2010 pour la valeur indicatrice 2, on procède ainsi :

✓ on a 194 occurrences de la valeur 2 toutes années confondues et 293 observations en 2010, pour un effectif total cumulé sur les deux années de 581 observations ;

✓ le nombre d'occurrences attendu en cas d'indépendance est donc de 194*293/581 = 97.8

Lorsque les effectifs attendus d'une valeur indicatrice sont inférieurs à 5, il est préférable de regrouper des valeurs indicatrices en sommant les effectifs.

Fertilité	Occurrences 2010 observées	Occurrences 2015 observées	Totaux observés	Occurrences 2010 attendues	Occurrences 2015 attendues
2	104	90	194	97.8	96.2
3	124	115	239	120.5	118.5
4	65	83	148	74.6	73.4
Total	293	288	581	293	288

On calcule ensuite l'écart global (appelé Khi deux) entre les occurrences observées et les occurrences attendues comme :

Khi deux = (((1042)/97.8) + ((1242)/120.5) + ... + ((902)/96.2) + ... + ((832)/ 73.4)) – 581= 3.49

On calcule le V de Cramer comme :

V = √ [(Khi deux) / ((effectif total) * (minimum (ligne-1 ; colonnes-1)))]

Soit avec 3 lignes et 2 colonnes (minimum = 2 donc, minimum-1 = 1)

V = √ (3.49 / 581) = 0.006

Il existe une liaison entre les occurrences des valeurs indicatrices et les années, c'est-à-dire que les occurrences ne sont pas réparties de manière identique entre les deux années, mais cette liaison est faible.

Mise en œuvre du test des rangs signés de Wilcoxon

Application au niveau de fertilité

Exemple : site des Mièges (74) ; les données disponibles pour 2010 sont les données réelles, celles pour 2015 ont été obtenues en simulant une augmentation globale de 1%.

Placette	Valeur 2010	Valeur 2015	Ecart	Ecart absolu	Rang «+»	Rang «-»
1	3.625	3.658	-0.033	0.033		5.5
2	3.143	3.356	-0.213	0.213		17.0
3	2.577	2.601	-0.024	0.024		3.0
4	3.000	2.981	0.019	0.019	1.0	
5	2.643	2.401	0.242	0.242	19.0	
6	2.750	2.980	-0.230	0.23		18.0
7	2.500	2.780	-0.280	0.28		20.0
8	2.727	2.760	-0.033	0.033		5.5
9	2.923	3.020	-0.097	0.097		12.0
10	3.129	3.150	-0.021	0.021		2.0
11	3.750	3.780	-0.030	0.03		4.0
12	3.001	3.050	-0.051	0.051		8.0
13	3.333	3.500	-0.167	0.167		16.0
14	3.455	3.561	-0.106	0.106		14.0
15	2.913	2.801	0.112	0.112	15.0	
16	2.429	2.351	0.078	0.078	11.0	
17	3.000	2.950	0.050	0.05	7.0	
18	3.143	3.080	0.063	0.063	10.0	
19	2.800	2.700	0.100	0.1	13.0	
20	2.667	2.605	0.062	0.062	9.0	

Dans notre cas, les sommes des rangs positifs et négatifs sont égales à 85.0 et 86.0 respectivement. Pour un test bilatéral et avec un effectif de 20, les valeurs limites sont de 52 et 37 pour un risque de 5% et 1% respectivement. Comme la plus petite des sommes (85 pour les rangs négatifs) est supérieure aux valeurs critiques, on accepte l'hypothèse d'égalité des distributions tant au niveau de 5% qu'à celui de 1%.