

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/288076811>

Vers un indice de rareté robuste hiérarchisant les actions de conservation de la flore

Article · January 2012

CITATIONS

3

READS

252

3 authors, including:



Maëlle Rambaud

Muséum National d'Histoire Naturelle

8 PUBLICATIONS 17 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Frédéric Hendoux

Muséum National d'Histoire Naturelle

16 PUBLICATIONS 157 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Analyses of atlas distribution plant species [View project](#)



Vers un indice de rareté robuste hiérarchisant les actions de conservation de la flore

par **Maëlle Rambaud, Frédéric Hendoux & Sébastien Filoche**

Conservatoire botanique national du Bassin parisien, 61 Rue Buffon, F-75005 Paris Cedex.

rambaud@mnhn.fr ; tél. 01-40-79-81-35

hendoux@mnhn.fr ; tél. 01-40-79-35-55

filoche@mnhn.fr ; tél. 01-40-79-56-47

RÉSUMÉ - La rareté est un concept largement utilisé en écologie et biologie de la conservation, bien qu'il n'existe ni définition ni méthode universelle pour la caractériser. Dans cet article, nous avons comparé deux indices de rareté (l'un résultant d'un partitionnement par les médoïdes, l'autre d'une suite de raison deux). Nous avons jugé la pertinence de chacun d'entre eux sur des données floristiques d'Île-de-France, en termes d'écologie, de stabilité face aux changements d'échelles spatiales et temporelles, et de relation avec le degré de menace des espèces végétales (obtenu via la liste rouge régionale). Nos analyses montrent que le partitionnement par les médoïdes est l'indice le plus robuste lorsque le jeu de données initial est important. Il est en adéquation avec les théories écologiques, offre une bonne stabilité face aux changements d'échelles et une bonne corrélation avec les degrés de menace des espèces.

MOTS-CLÉS : aire d'occupation - conservatoire botanique - mailles - plantes vasculaires - statistique.

ABSTRACT - Species rarity is a central but debated concept in ecology and conservation biology. Despite its widespread use, its definition and measure remain controversial. Here, we compared two rarity indices (one derived from partitioning around medoids algorithm, another derived from reason two series) to evaluate their relevance on Île-de-France floristic data. We studied more specifically indices performance in relation to species ecology, threat categories (estimated from regional red lists), and spatial and temporal scales. Our results showed that partitioning around medoids algorithm is the most robust index with large datasets. This index is well connected to ecological theories and to species threat categories, and it is relatively scale-independent.

KEYWORDS: area of occupancy - botanical conservatory - grid square - statistic - vascular plants.

INTRODUCTION

La rareté des espèces est un concept central en écologie des communautés et en biologie de la conservation, ces deux disciplines œuvrant activement à la description et à la gestion de la biodiversité (Rabinowitz, 1981 ; Gaston, 1994 ; Dobson, Yu & Smith, 1995 ; Kunin & Gaston, 1997 ; Rosenzweig, 1997 ; Pärtel *et al.*, 2005 ; Callaghan & Ashton, 2009 ; Vellak *et al.*, 2009). En raison des menaces pesant sur cette biodiversité, et en attendant la diffusion de l'ensemble des listes rouges d'espèces menacées, la rareté reste actuellement l'un des principaux indicateurs utilisés au niveau international pour évaluer les risques d'extinction des espèces (Hartley & Kunin, 2003), même si la rareté d'une espèce ne signifie pas que l'espèce soit réellement menacée. À l'échelle nationale, les priorités de conservation sont identiques. En France, la

rareté reste un critère fortement exploité dans de nombreuses études pour dégager les sites à enjeu et apparaît dans divers documents, notamment dans les atlas relatifs à différents groupes taxonomiques (amphibiens, mammifères, plantes...).

Du fait de l'intérêt croissant porté à la rareté, ses définitions et mesures sont nombreuses dans la littérature scientifique (Rabinowitz, 1981 ; Rabinowitz, Cairns & Dillon, 1986 ; Fiedler & Ahouse, 1992 ; Kunin & Gaston, 1993 ; Gaston, 1994 ; Bevil & Louda, 1999), chaque personne en ayant sa propre idée. Il est par conséquent difficile de quantifier la rareté d'une espèce à partir d'un indice unique (Hartley & Kunin, 2003). Quatre critères principaux sont proposés et déclinés en différentes mesures : (1) l'abondance des espèces (via la taille des populations par exemple, ou la densité d'individus, Kunin & Gaston, 1997), (2) la distribution spatiale

(rang géographique, aire d'occupation, fréquence locale, Gaston, 1994), (3) la spécialisation écologique (spécialisation à l'habitat, Rabinowitz, 1981 ; Rey Benayas *et al.* 1999) et (4) la persistance des espèces (régularité de présence, temps écoulé entre deux observations, Fiedler & Ahouse, 1992). Aucun indice général n'est finalement suggéré, aucune méthode reconnue ne met en évidence les critères à développer, ni les applications de terrain associées ; autrement dit une multitude d'approches existent (Callaghan & Ashton, 2009). Chaque groupe de travail utilise l'indice qui lui semble le plus approprié et le plus simple à exploiter en fonction des données disponibles. Bien souvent, l'abondance ou la taille de l'aire de répartition/d'occupation est utilisée (Gaston, 1994 ; 1997), avec divers pourcentages permettant de transposer les valeurs quantitatives en classes de rareté.

Pour le Conservatoire botanique national du Bassin parisien (CBNBP), la prise en compte de la rareté doit faciliter la préconisation de mesures de gestion et de protection d'espèces végétales sur son territoire d'agrément, ainsi que la détection de points chauds de biodiversité. Il est important pour le CBNBP de différencier les espèces rares des espèces communes via un indice découpé en classes de rareté car les espèces les plus rares font l'objet d'inventaires et d'analyses particulières, les zones à enjeux étant considérées comme les zones les plus menacées d'un point de vue floristique. Jusqu'à aujourd'hui, le CBNBP utilisait un indice d'aire d'occupation des espèces (nombre de communes dans lesquelles l'espèce est présente) et des pourcentages issus d'une suite géométrique de raison deux pour obtenir huit classes de rareté (espèces présentes dans moins de 1 % des communes, 2 %, 4 %, 8 %, 16 %, 32 %, 64 %, Boulet, 1988 ; 1998). Malgré la simplicité de cette méthode, son principal désavantage est que les bornes des classes de rareté sont choisies de manière arbitraire. Les résultats seraient bien différents si au lieu de se servir d'une suite de raison deux, nous avions choisi des intervalles de 10 % par exemple. Or, comme nous avons déjà choisi arbitrairement le nombre de classes de rareté (huit), notre objectif était de trouver une méthode statistique qui s'affranchisse d'un choix arbitraire supplémentaire. De plus, comme le CBNBP vient de changer d'unité d'échantillonnage en passant de la commune à la maille de 25 (5 × 5) km², la méthode se devait d'être stable face à cette conversion et conserver des degrés de rareté similaires quelle que soit l'unité utilisée. Finalement, la pression d'échantillonnage étant hétérogène au sein du CBNBP, notamment entre régions (ex : Île-de-France = 111,45 données/km² vs Champagne-Ardenne = 24,65 données par km² pour la période 1990-2011), ce facteur devait influencer le moins possible les degrés de rareté des espèces. Avec les données de présence non exhaustives dont nous disposons, il s'avérait impossible d'obtenir une valeur de rareté absolue pour chaque espèce, la rareté absolue étant trop dépendante de la pression d'échantillonnage. La méthode devait donc évaluer la rareté de manière relative par des comparaisons entre espèces, une espèce étant rare comparativement à l'ensemble des espèces prises en compte dans la zone d'étude (Kattan, 1992 ; Dobson & Yu, 1993 ; Manne & Pimm, 2001), cette approche permet

tant ainsi de limiter l'influence de la pression d'échantillonnage. Dans ce contexte, la méthode pourrait d'ailleurs être étendue au niveau national en couplant des jeux de données issues d'effort de prospection différents.

Une recherche scientifique a donc été entreprise pour comparer différents indices de rareté et en choisir un qui réponde à un certain nombre d'objectifs : (1) utilisation de l'aire d'occupation des espèces, (2) estimation d'une rareté relative, (3) faible dépendance du choix de l'utilisateur (bornes des classes et unité d'échantillonnage).

1. Situations géographique et floristique du CBNBP

Le territoire d'agrément du CBNBP se situe dans le centre-nord de la France et couvre le sud du Bassin parisien et ses marges (Fig. 1A). D'une superficie approximative de 115 000 km², il se découpe en 5 régions administratives [Fig. 1B, Île-de-France, Bourgogne, région Centre, Champagne-Ardenne et Pays-de-la-Loire (Sarthe uniquement)], 23 départements et 7 488 communes. Il comporte une véritable unité d'ensemble qui tient à quatre facteurs :

- la géologie : roches secondaires et tertiaires [calcaire, argile et sable dominants (Bournérias, Arnal & Bock, 2001)] ;
- la climatologie : climat océanique ± altéré, influences continentales sensibles (Bessemoulin, 1980), d'où des températures douces, modérées (moyenne annuelle = 10,9°C), chaudes en été et peu rigoureuses en hiver, et des précipitations annuelles moyennes aux alentours de 700 mm (Météo-France, 2006) ;
- la biogéographie : domaine atlantique et médio-européen (Bournérias *et al.*, 2001) ;
- le relief : plaines et plateaux de faible altitude (178 m en moyenne). Le bassin-versant de la Seine représentant la majeure partie du réseau hydrographique, les vallées profondes découpées par les rivières restent les principales causes de variation altitudinale.

Du point de vue des grands types d'habitats, le territoire d'agrément se compose de 25 % de forêts, 20 % de prairies et 50 % de milieux urbanisés ou agricoles. Les 5 % restants correspondent à divers habitats relativement peu fréquents dans la zone d'étude (ex : milieux humides) ou de faible superficie (ex : rochers). L'homme est très présent et acteur des modifications paysagères. L'activité agricole est fortement développée avec de nombreuses exploitations liées à la culture intensive de céréales et aux vignobles.

Par sa grande superficie et son rôle de carrefour entre les domaines biogéographiques atlantique et continental tel que défini dans le cadre de la Directive « Habitats, faune, flore » (European Union, 1992), le territoire d'agrément du CBNBP possède une grande diversité floristique. Les données « modernes » (postérieures à 1990) de la base de données FLORA dénombrent 2 098 espèces végétales (avec 1 235 à 1 680 espèces par région). Sur ces 2 098 espèces, 15 % sont toutefois naturalisées, c'est-à-dire que ce sont des espèces non-indigènes qui se reproduisent sans intervention directe de

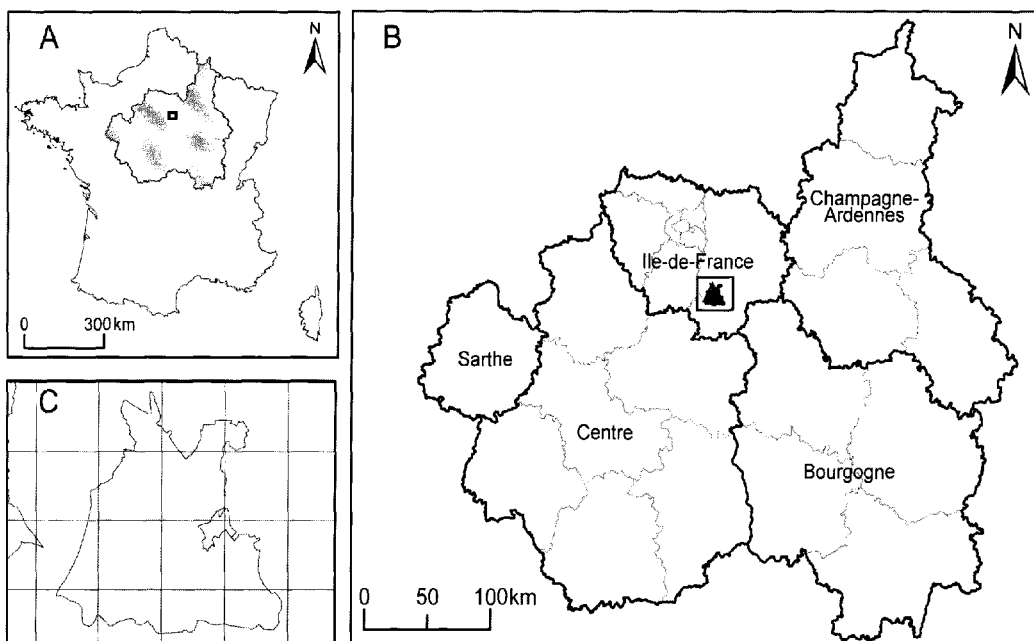


Figure 1 - Cartes représentant des zooms successifs sur A) le territoire d'agrément du CBNBP (en grisé) au sein de la France, B) la localisation des cinq régions administratives composant le territoire d'agrément, C) une des communes d'Île-de-France (Fontainebleau, en grisé) et le maillage $5 \times 5 \text{ km}^2$ s'y superposant.

l'homme (Richardson *et al.*, 2000). Quoiqu'il en soit, les 1 782 espèces indigènes restantes représentent environ 25 % de la flore française métropolitaine (sur une superficie égale à 17 % du territoire national).

À l'heure actuelle, le nombre d'espèces total du CBNBP est en régression (- 9,3 %) si nous comparons les données avant et après 1990. La densité de population humaine, l'urbanisation en croissance continue et la fragmentation des habitats, en sont les principales causes. Les milieux naturels régressent, les populations de nombreuses espèces se fragmentent et s'amenuisent, les sites intéressants d'un point de vue floristique sont moins fréquents. Il devient nécessaire de développer des indices reliés à la diversité, à la rareté, à la typicité... en vue d'évaluer les conséquences sur les communautés biologiques et d'établir des priorités de conservation pour le patrimoine naturel du territoire d'agrément.

2. Méthodologie

Dans cet article, nous nous focaliserons sur la région Île-de-France. Toutefois, la méthodologie a été testée sur les autres régions du CBNBP, et est transposable à d'autres échelles spatiales (territoire d'agrément, département...), voire envisageable au niveau national.

2.1. Inventaires floristiques

Des inventaires floristiques ont été réalisés dans toutes les communes de la région Île-de-France. Plusieurs relevés sont

répartis au sein des communes de façon à restituer une image fidèle des principaux grands milieux présents [ou complexes d'habitats tel que les forêts, prairies... au sens de CORINE Land Cover (Bissardon, Guibal & Rameau, 1997)], qu'ils soient naturels ou anthropiques. Selon la taille des communes et l'hétérogénéité paysagère, le temps de prospection par commune varie entre trois heures et une journée maximum afin que les campagnes de terrain ne s'éternissent pas. La période d'inventaire optimale s'étale entre mars et octobre. Les botanistes enregistrent tous les taxons qu'ils observent dans les communes ainsi que leurs coordonnées spatiales.

Toutefois, depuis peu, le CBNBP tient compte dans ses inventaires et analyses du maillage « Universal Transverse Mercator » (UTM) 5×5 (maille de 5 km par 5 km) en Lambert II (bientôt en Lambert 93). En effet, l'utilisation d'un maillage permet de synthétiser des données de différentes résolutions spatiales et de travailler avec des unités d'échantillonnage de taille et de forme identiques (ce qui n'est pas le cas avec les communes). Toutes les données de FLORA sont donc désormais couplées d'une part avec une commune, d'autre part avec une maille 5×5 .

2.2. Sélection des données

Dans le but d'attribuer un degré de rareté à l'ensemble des espèces végétales d'Île-de-France, nous avons réalisé au préalable une sélection des données (1 donnée = 1 espèce \times 1 lieu \times 1 date \times 1 observateur) afin que celles-ci soient les plus homogènes possibles. Cette sélection a porté sur :

- l'année : comme les relevés de terrain sont plus nombreux, réguliers et standardisés depuis 1990, nous avons utilisé les données « modernes » de 1990 à 2010 dans le présent travail ;

- le niveau taxonomique : dans FLORA les taxons peuvent être renseignés à différents niveaux (genre, groupe, espèce, sous-espèce, variété, forme), nous avons choisi le rang de l'espèce en éliminant les données renseignées au niveau supra et en compilant les données infra au rang spécifique ;

- le statut d'indigénat : seules les espèces indigènes et naturalisées ont été conservées car les espèces subspontanées, accidentelles et cultivées, restent ponctuellement observées. Les espèces hybrides ont également été écartées.

Sur les 1 200 000 données initiales d'Île-de-France, cette sélection permet encore de disposer d'un jeu de données conséquent avec près de 840 000 données (soit 70 %). Les données exploitables correspondent à des occurrences d'espèces (Gimaret-Carpentier, 1999, données de présence), c'est-à-dire que les espèces sont bien présentes là où elles ont été observées, mais le fait de ne pas les observer ne signifie pas qu'elles soient absentes. En effet, elles peuvent être discrètes, ou décalées de la période de terrain du point de vue de leur phénologie, et donc non aperçues pendant l'échantillonnage.

2.3. Indices de rareté

Dans les études menées sur la rareté des espèces, la distribution géographique est le critère le plus fréquemment utilisé. Une espèce apparaît d'autant plus rare que sa distribution est restreinte.

Il existe plusieurs manières de quantifier cette distribution géographique, en grande partie en raison de l'échelle spatiale d'étude. Avec notre jeu de données, l'aire d'occupation (en anglais Area of Occupancy, AOO) s'avère simple et efficace, car elle se mesure quelle que soit l'unité d'échantillonnage (relevé, commune, maille 5×5 ... , Fig. 1C) et à différentes échelles spatiales (département, région, territoire d'agrément...) (Hartley & Kunin, 2003). Elle s'obtient après division de l'aire d'étude (l'Île-de-France dans cette étude) en un nombre contigu d'unités d'échantillonnage (communes et mailles 5×5 testées ici) et après addition pour chaque espèce du nombre d'unités occupées. Nous avons calculé cette AOO pour chaque espèce et dans un second temps nous l'avons divisée par le nombre total d'unités où il y a au minimum une donnée en Île-de-France (soit 1 300 communes et 533 mailles 5×5) afin d'obtenir un indice de fréquence par espèce compris entre 0 et 1 (ce qui permettra de comparer aisément l'aire d'occupation des espèces entre zones d'étude, par exemple entre régions).

Les différents indices de rareté testés ensuite se distinguent par la méthode de découpage des valeurs quantitatives de distribution géographique en huit classes de rareté (RRR, RR, R, AR, AC, C, CC, CCC avec R = Rare, A = Assez, C = Commune). Dans cet article, seule la méthode la plus avantageuse, dénommée par la suite « partitionnement par les médoïdes* », est comparée à la suite géométrique de raison 2

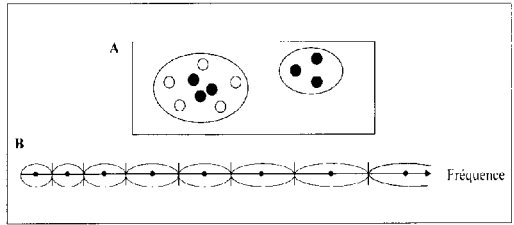


Figure 2 - A) Exemple de médoïde : les trois points noirs à l'intérieur des ellipses constituent le noyau, **B)** Application à des données continues de fréquence : le médoïde unique et central par rapport à la classe, représente un noyau constitué de quelques fréquences (non dessinées sur la figure). Les ellipses équivalent aux nuages de points des fréquences comprises dans chaque classe.

jusqu'à alors utilisée par le CBNBP. Les bornes des classes des deux méthodes sont renseignées dans le tableau 1 et ce pour les mailles 5×5 car ce sont elles qui nous intéressent dans l'ensemble des résultats (les communes ne servant que dans une analyse comme élément de comparaison).

La méthode de partitionnement par les médoïdes (PAM) est une version robuste des méthodes de partitionnement appartenant à la famille des « k-means » (Callaghan & Ashton, 2009), préconisée par Legendre et Legendre (1998) dans le cas de partitionnement d'une série de données en 'k' classes, 'k' étant défini par l'utilisateur ($k = 8$ dans notre cas). Elle consiste à déterminer une partition initiale en recherchant huit objets représentatifs (ou médoïdes) constitués de quelques fréquences parmi l'ensemble des valeurs de fréquence. Les médoïdes sont centraux vis-à-vis de la classe, c'est-à-dire qu'ils sont proches du centre géométrique de celle-ci. Cette représentation permet de représenter la classe non pas par un point unique mais par un noyau censé définir au mieux la classe (Fig. 2). Le choix des fréquences du noyau est fondé sur un calcul de distances (d) entre toutes les fréquences de la classe. Pour une classe C_j donnée, le noyau $N(C_j)$ correspond aux fréquences qui ont la plus petite somme de distances par rapport aux autres fréquences de la classe.

Pour une classe C_j , X est une fréquence du noyau si elle minimise l'inertie I_j définie par l'équation

$$I_j = \sum_{c \in C_j} \mu d^2(X, c)$$

avec μ_j un poids. L'objectif est de trouver 8 médoïdes qui minimisent la somme des dissimilarités des fréquences à l'intérieur d'une même classe et la maximisent entre classes (Maechler *et al.*, 2005). Une fois les 8 médoïdes définis, chaque fréquence (et donc chaque espèce) est affectée à la classe qui lui est la plus proche. Le package « cluster » (Maechler *et al.*, 2005) du logiciel R version R-2.8.1 (Ikaha & Gentleman,

* Médoïde : noyau d'une classe constitué de plusieurs éléments, dont la distance aux autres éléments de la classe minimise la variance intra-classe et maximise la variance inter-classe.

Tableau 1 - Nombre et pourcentage de mailles 5 × 5 km délimitant les classes de rareté des deux méthodes présentées dans l'article.

	Nouvelle méthode : partitionnement par les médoïdes		Méthode actuelle : suite de raison 2	
	Nombre de mailles	% de mailles	Nombre de mailles	% de mailles
RRR	≤ 19	≤ 3.56	≤ 5.33	≤ 1
RR	≤ 57	≤ 10.69	≤ 10.66	≤ 2
R	≤ 118	≤ 22.14	≤ 21.32	≤ 4
AR	≤ 190	≤ 35.65	≤ 42.64	≤ 8
AC	≤ 264	≤ 49.53	≤ 85.28	≤ 16
C	≤ 343	≤ 64.35	≤ 170.56	≤ 32
CC	≤ 442	≤ 82.93	≤ 341.12	≤ 64
CCC	≥ 442	≥ 82.93	≥ 341.12	≥ 64

1996 ; R Development Core Team, 2008) a été utilisé pour définir les classes de rareté et attribuer un degré de rareté à chaque espèce.

En revanche, les bornes des classes de rareté obtenues avec cette méthode dépendent du pool d'espèces (rareté relative). Il est donc nécessaire au préalable que les données reposent sur un pool d'espèces important et qu'elles soient validées. Toutefois, pour les espèces et taxons non pris en compte dans la définition des classes de rareté, ils pourront secondairement se voir attribuer un degré de rareté grâce à leur fréquence et aux limites des classes obtenues précédemment.

3. Analyses et Résultats

3.1. Nombre d'espèces par classe de rareté

Parmi les 1 474 espèces observées en Île-de-France après 1990, 471 sont considérées comme extrêmement rares (RRR, soit 32 % de la flore sauvage francilienne totale), 271 très rares (RR, 18 %) et 182 rares (R, 12 %) avec la méthode de partitionnement par les médoïdes (Fig. 3, courbe en trait plein). Nous pouvons admettre qu'avec cette méthode 62 % de la flore régionale est remarquable. À l'inverse, 121 espèces sont extrêmement communes, 119 très communes et 106 communes. 23 % de la flore francilienne est donc relativement répandue. En revanche, avec la suite de raison 2 (et sur le même jeu de données), seulement 33 % des espèces sont extrêmement rares à rares, alors que 43 % des espèces sont communes à extrêmement communes (Fig. 3, courbe en pointillé).

Le fait que les espèces « rares » soient bien plus nombreuses que les espèces « communes » a été démontré dès les années 1940 sur des données d'abondance de populations de Lépidoptères (Fig. 4) et dans différentes études (ex : McCabe & Weber, 1994 ; McGill *et al.*, 2007). La rareté semble être plutôt la règle que l'exception (Andrewartha & Birch, 1954 ; Rabinowitz, 1981 ; Rabinowitz *et al.*, 1986 ; Kunin & Gaston, 1993 ; Gaston, 1994). Même Charles Darwin dans *In the origin of species*, écrivait que « la rareté est l'attribut d'un grand nombre d'espèces dans toutes les classes et dans tous les pays ». Les causes les plus parcimonieuses de l'existence de nombreuses espèces rares sont très probablement neutres

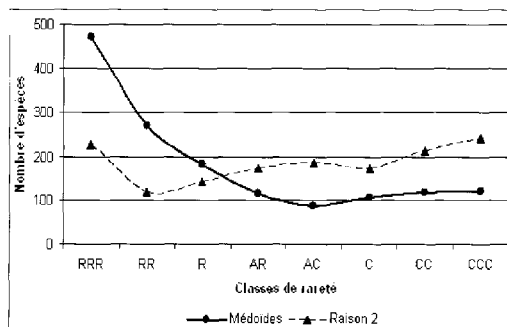


Figure 3 - Courbe du nombre d'espèces par classe de rareté.

(Hubbell, 2001). Avec un modèle d'évolution des communautés fondé simplement sur natalité, mortalité, migration et spéciation (sous l'hypothèse que toutes les espèces soient strictement identiques d'un point de vue écologique), les espèces peu abondantes (i.e. rares) ont de faibles taux de reproduction et de migration. Par conséquent, elles disparaissent rapidement et sont remplacées par d'autres espèces. Par contre, ces espèces rares sont avantagées par les mécanismes bioécologiques qui les caractérisent et qui leur demandent peu de dépenses énergétiques. *A contrario*, les besoins d'énergie sont élevés pour les espèces communes en raison de leur grande plasticité phénotypique, de leur niche écologique large, de leur capacité à exploiter un grand nombre de ressources différentes (contrairement aux espèces qui exploitent moins de ressources mais de manière plus efficace (Rabinowitz, Rapp & Dixon, 1984), et de leurs grandes capacités reproductives et de dispersion (Fiedler & Ahouse, 1992 ; Kunin & Gaston, 1993 ; Gaston & Kunin, 1997). Peu d'espèces peuvent aisément mobiliser de l'énergie pour autant d'adaptations et ces espèces sont peu compétitives.

Pour conforter ces résultats, nous pouvons raisonner spécifiquement en termes de spécialisation des espèces à leur habitat. Tout d'abord, parce que comme nous venons de le

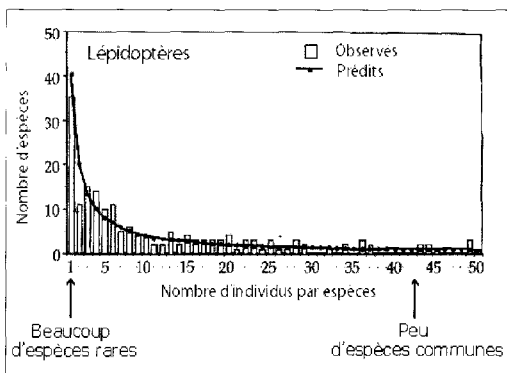


Figure 4 - Densité de probabilité du nombre d'individus par espèce en fonction du nombre d'espèces de Lépidoptères (Corbet, 1941 ; Fisher, Corbet & Williams, 1943). La courbe obtenue (« J-curve » ou « hollow curve ») est une distribution de fréquence classique où les espèces rares (peu abondantes) sont beaucoup plus nombreuses que les espèces communes (très abondantes) (McGill *et al.*, 2007).

voir, il est plus facile de posséder les traits biologiques d'une espèce spécialiste que ceux d'une espèce généraliste. Et ensuite, comme les trois-quarts de l'Île-de-France se composent d'habitats anthropiques colonisables par peu d'espèces généralistes, les nombreuses autres espèces, plutôt spécialistes d'habitats naturels, se concentrent sur une faible surface de moins d'un quart du territoire francilien. Ces nombreuses espèces ont alors une faible distribution géographique et sont donc plutôt rares.

La tendance mise en évidence par les médoïdes semble donc plus en adéquation avec les études précédentes que celle de la suite de raison 2. Le problème de la suite de raison 2 est que son découpage est plutôt centré sur les espèces rares. Il y a moins d'espèces par classe pour les espèces RRR à AR, et par conséquent une homogénéisation entre classes, voire une proportion plus importante d'espèces communes.

3.2. Variation de la classe de rareté en fonction de l'unité d'échantillonnage

Le CBNBP se devant de travailler désormais avec les mailles 5 × 5 et non plus avec les communes (malgré des données de terrain préalablement inventoriées à la commune), l'indice de rareté sélectionné doit être stable face au changement d'unité d'échantillonnage.

Pour tester cela, nous avons comparé la fréquence des espèces par commune et la fréquence des espèces par maille, puis leur classe de rareté par commune et leur classe de rareté par maille (dans le cas d'un partitionnement par les médoïdes et dans le cas d'un découpage par une suite de raison 2). Pour les fréquences (données quantitatives), les comparaisons se basent sur des corrélations de rang de Kendall (Kendall, 1938 ; package Kendall du logiciel R, McLeod, 2005), particulièrement intéressantes car elles ne nécessitent pas une distribution normale des données. Elles testent l'ordination des valeurs de fréquence les unes par rapport aux autres. Pour les classes de rareté (données qualitatives), le test V de Cramér s'est imposé. Son coefficient de corrélation (V) se calcule à partir du χ^2 et mesure la force de l'association entre deux variables nominales, une fois que le test du χ^2 a mis en évidence une relation significative entre ces deux variables (Cramér 1999). Dans notre cas, plus le coefficient de corrélation est élevé entre commune et maille, plus les classes de rareté par espèce sont liées.

Dans notre étude, le coefficient de corrélation de Kendall (τ) obtenu à partir des fréquences est extrêmement fort ($\tau = 0,97$, $p < 0,001$). En revanche, les coefficients de corrélation de Cramér issus des classes de rareté, sont plus faibles et quasiment égaux entre partitionnement par les médoïdes et suite de raison 2 (médoïdes : $V = 0,77$, $p < 0,001$, suite de raison 2 : $V = 0,74$, $p < 0,001$). Bien que les espèces soient ordonnées similairement par leurs fréquences, elles n'appartiennent pas forcément aux mêmes classes de rareté. Pourtant, chaque espèce devrait avoir une classe identique entre com-

mune et maille car seule la taille de l'unité change (pas le calcul de l'indice de rareté, ni l'échelle de la zone d'étude). Ce sont en fait les espèces en limite de classe (avec des valeurs proches de bornes) qui migrent facilement d'une classe à l'autre. Ainsi, la rareté finale des espèces dépend pour beaucoup de la manière dont les classes sont établies et il convient de garder les valeurs de fréquence en parallèle. De même, la délimitation des classes doit être la moins arbitraire possible, ce qui est l'avantage du partitionnement par les médoïdes sur la suite de raison 2.

En regardant plus précisément, nous constatons que 55 % des espèces ont une rareté une à deux fois moindre en passant de la commune à la maille avec le partitionnement par les médoïdes (ex : *Chenopodium polyspermum* L. AR \rightarrow C), contre 66 % pour la suite de raison 2 (ex : *Gentianella germanica* (Willd.) Borner RR \rightarrow AR). Parmi ces 66 % d'espèces, ce sont les espèces RRR et RR qui changent le plus souvent de deux classes (9 % pour la suite de raison 2 contre 0,3 % pour les médoïdes). Cela s'explique par le découpage en classes via la suite de raison 2 qui insiste sur les espèces rares. Nous voyons sur la figure 5 qu'avec cette méthode et pour les espèces RRR et RR, les bornes des classes sont proches entre commune et maille (points superposés) bien que le nombre total de communes soit deux fois supérieur à celui des mailles, et que les intervalles de classe sont étroits (pentes très douces). À quelques communes/mailles près, les changements de classe entre commune et maille sont alors fréquents pour les espèces les plus rares (*Aconitum napellus* L. RRR \rightarrow R).

La rareté issue de la suite de raison 2 est en fait plus dépendante de la pression d'échantillonnage que les médoïdes. Les espèces peu observées (présentent dans moins de 2 % de la zone d'étude) basculent facilement dans une classe de rareté moindre si le territoire est davantage prospecté. Cette tendance est d'autant plus marquée lorsque que la zone d'étude est grande. Il est facile de passer à côté des espèces présentes dans moins de 1-2 % des communes/mailles (contre 3 % pour les médoïdes). Ces seuils de 1 et 2 % restent faibles et proches l'un de l'autre pour définir des classes de rareté distinctes. Ils mettent plutôt en avant la qualité de l'échantillonnage. Comme l'échantillonnage ne peut être exhaustif (données utilisées représentant un sous-ensemble des données de présence réelle des espèces), la meilleure manière de pallier ces problèmes est d'estimer la rareté relative des espèces. Dans ce cas, ce n'est pas la quantification précise de la fréquence d'une espèce qui compte mais le positionnement de cette fréquence par rapport à l'ensemble de celles des autres espèces. Les biais d'échantillonnage sont alors considérés comme homogènes entre espèces (rares et communes).

3.3. Comparaison entre les degrés de menaces issus de la « Liste rouge régionale » et les degrés de rareté des espèces

En Île-de-France, l'exploitation de la liste rouge régionale est une initiative récente. En effet, cette liste est fraîchement validée par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), la Fédération des Conservatoires botaniques

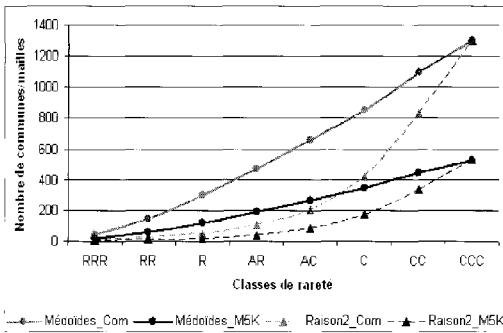


Figure 5 - Nombre de communes/mailles maximal occupées par une espèce par classe de rareté. Par exemple, avec les médoïdes et avec les communes, une espèce est considérée comme R si le nombre de communes qu'elle occupe est compris entre 146 (borne supérieure des RR) et 299 (borne supérieure des R).

nationaux (FCBN) et le Conseil scientifique régional du patrimoine naturel (CSRPN) (Auvart, 2010 ; Auvart *et al.*, 2011). Sa publication officielle devrait avoir lieu dans le courant de l'année 2011. Son objectif principal est de mesurer le risque d'extinction des espèces à l'aide de cinq critères majeurs (dynamique de populations, répartition géographique, taille de populations, petites populations, et probabilité d'extinction). Neuf catégories de menace y sont associées : « éteinte régionalement » (RE), « en danger critique d'extinction » (CR), « en danger d'extinction » (EN), « vulnérable » (VU), « quasi-menacée » (NT), « préoccupation mineure » (LC), « données insuffisantes » (DD), « non applicable » (NA) et « non évaluable » (NE) (Union Internationale pour la Conservation de la Nature, 2001, 2003).

Dans la présente étude, nous ne nous sommes intéressés qu'aux espèces menacées, c'est-à-dire aux catégories CR, EN et VU. Au total, 393 espèces (122 CR + 145 EN + 126 VU) sont prises en compte dans nos analyses. La comparaison entre degré de menace et degré de rareté en fonction de la méthode utilisée est synthétisée dans le tableau 2.

Il ressort de ce tableau que les espèces menacées se retrouvent dans les classes de rareté RRR à R avec les médoïdes et dans les classes RRR à AC avec la suite de raison 2. Dans la mesure où les critères catégorisant les espèces menacées sont pour l'instant principalement fondés sur la distribution des espèces (les données étant trop éparpillées et récentes pour avoir une réelle idée d'évolution et de dynamique des populations

Tableau 2 - Nombre d'espèces par degré de menace et par classe de rareté pour les médoïdes (M) et pour la suite de raison 2 (R).

	RRR		RR		R		AR		AC	
	M	R	M	R	M	R	M	R	M	R
CR	121	92	1	21	0	8	0	1	0	0
EN	118	29	27	40	0	55	0	20	0	1
VU	57	4	67	18	2	42	0	54	0	8
Total	296	125	95	79	2	105	0	75	0	9

d'espèces), il paraît surprenant que des espèces menacées puissent être considérées comme assez communes. Même si une espèce rare n'est pas forcément menacée, une espèce menacée est la plupart du temps rare (Crain & White, 2011). En ce sens, le partitionnement par les médoïdes offre des tendances plus intuitives que la suite de raison 2.

En regardant plus en détail par catégorie de menace, 99 % des espèces CR (121/122) sont RRR avec les médoïdes, alors que seulement 75 % (92/122) le sont avec la suite de raison 2. Les 25 % restants sont RR (21/122), R (8/122) et une espèce (*Dactylorhiza fistulosa* (Moench) Baumann & Künkele) est même AR. Néanmoins, cette espèce est la seule CR qui est RR avec les médoïdes et AR avec la suite de raison 2. Des doutes persistent quant à sa véritable rareté car elle reste assez méconnue et souvent confondue, donc probablement surestimée en termes d'occurrence. Dans la catégorie des EN, 100 % des espèces sont RRR et RR avec les médoïdes, contre seulement 48 % avec la suite de raison 2, les 52 % restants étant R (55/145), AR (20/145) et AC (1/145). Finalement, dans la catégorie des VU, les espèces sont surtout RRR et RR avec les médoïdes et secondairement R (2 espèces : *Avenula pratensis* (L.) Dumort et *Platanthera bifolia* (L.) Rich., la deuxième étant VU à cause du déclin probable de ses populations), alors que 83 % d'entre elles sont plutôt R et AR, voire AC, avec la suite de raison 2.

Dans les deux méthodes, le degré de menace diminue bien avec le degré de rareté, mais de manière plus nuancée avec les médoïdes contrairement à la suite de raison 2 où des espèces AR et AC apparaissent dès la catégorie des EN. Avec les médoïdes, la diminution progressive du nombre d'espèces RRR en relation avec la diminution de la menace (121 CR, 118 EN, 57 VU) est compensée par l'augmentation progressive du nombre d'espèces RR (1, 27, 67). Par contre, avec la suite de raison 2, la diminution des RRR et l'augmentation des AR et AC sont progressives et liées à la diminution de la menace, mais pas l'augmentation des RR (21, 40, 18) et des R (8, 55, 42). La correspondance évolutive entre degrés de rareté et degrés de menace semble par conséquent meilleure avec le partitionnement par les médoïdes. La rareté (reliée au critère de répartition géographique) peut dès lors servir dans l'évaluation du degré de menace des espèces lorsque des informations sur d'autres critères manquent, notamment lorsque les données sur les populations d'espèces et sur leur probabilité d'extinction ne sont pas disponibles.

3.4. Autres tests méthodologiques

Les analyses détaillées dans les paragraphes précédents (sauf celles portant sur la liste rouge qui n'est disponible qu'en Île-de-France) ont été réalisées sur les quatre autres régions du territoire d'agrément avec des résultats et conclusions similaires. Seules les bornes des classes de rareté issues du partitionnement par les médoïdes varient légèrement entre régions puisque le pool d'espèces et de données de départ diffèrent. La méthode est donc aisément transposable à différentes zones géographiques et pourrait être proposée aux autres conservatoires botaniques.

Nous avons également testé la stabilité des deux indices

(médoïdes et raison 2) en fonction du pas de temps en comparant les degrés de rareté des espèces obtenus à partir du jeu de données 1990-2010 et d'un jeu de données prenant uniquement en compte la période 2000-2010. Notre objectif était d'identifier l'indice le moins sensible aux changements dans le temps.

Le coefficient de corrélation de Cramér s'est avéré plus fort pour le partitionnement par les médoïdes (médoïdes : $V = 0,89$, $p < 0,001$, suite de raison 2 : $V = 0,76$, $p < 0,001$), signifiant que les degrés de rareté des espèces issus des médoïdes se correspondent mieux entre 1990-2010 et 2000-2010 que ceux issus de la suite de raison 2.

Dans le détail (Tab. 3), nous observons qu'avec les médoïdes, 146 espèces perdent ou gagnent un degré de rareté lorsque le jeu de données est plus important (1990-2010). Le fait qu'un faible nombre d'espèces (9, soit 0,6 % des espèces) gagnent un degré de rareté, n'était pas un résultat attendu. Les bornes des classes variant légèrement suivant la période retenue avec les médoïdes, quelques espèces en limites de classe basculent inévitablement d'une classe à l'autre en fonction du jeu de données. Avec la suite de raison 2, le nombre d'espèces qui changent de classe avec l'augmentation du jeu de données, est quant à lui bien plus important (398 au total). Ces espèces perdent un, voire deux, degrés de rareté. Toutes les classes sont fortement touchées (de 24 espèces pour les CCC à $75 + 14 = 89$ espèces pour les R).

Nous remarquons toutefois qu'avec les deux méthodes les espèces RR et R sont concernées. Cela s'explique par un effet échantillonnage, reflétant le nombre de relevés supérieur en utilisant la période 1990-2010 par rapport à 2000-2010. Cet effet est cependant plus élevé avec la suite de raison 2 ($50 + 75 + 14 = 139$ espèces RR et R moins rares en 1990-2010, contre $50 + 35 = 85$ espèces avec les médoïdes). Ce travail sur le pas de temps met donc en évidence que le partitionnement par les médoïdes offre une meilleure stabilité des degrés de rareté au cours du temps (il faut néanmoins que le jeu de données soit important sur les périodes utilisées).

Dans un dernier temps, nous avons souhaité tester la pertinence d'un indice tout autre, multicritère, pour évaluer le degré de rareté des espèces, cet indice combinant à la fois la

Tableau 3 - Nombre d'espèces dont la classe de rareté change lors du passage à un jeu de données plus volumineux (2000-2010 versus 1990-2010).

Changements	Suite de raison 2		Médoïdes	
	Moins une classe	Moins deux classes	Moins une classe	Plus une classe
RRR	.	.	.	3
RR	50	.	47	3
R	75	14	35	.
AR	69	3	10	3
AC	78	.	13	.
C	56	.	8	.
CC	29	.	11	.
CCC	24	.	13	.
Total par colonne	381	17	137	9
Total par méthode	398		146	

distribution géographique des espèces, leur spécialisation à l'habitat et leur probabilité de détection (Rabinowitz, 1981 ; Rabinowitz *et al.*, 1986 ; Kattan, 1992 ; Fattorini, 2008). Malheureusement, les résultats obtenus sont difficilement exploitables, voire contradictoires entre critères. Spécialisation et détectabilité reflètent plutôt les causes/conséquences de la rareté des espèces et servent comme complément d'information, et non comme véritable estimation de la rareté. Par exemple, les espèces spécialistes sont potentiellement rares parce que leur habitat est rare ou parce que celui-ci est menacé (Crins, 1997 ; Walker & Preston, 2006), et pas en raison d'une rareté intrinsèque liée à leur statut de spécialiste. De plus, l'utilisation de ces deux critères est associée à de nombreux biais car leur estimation dépend de l'observateur (dans la définition précise des habitats pour la spécialisation) et de la pression d'échantillonnage (suivis dans le temps difficile sur de grandes zones d'étude pour la détectabilité). Par conséquent, nous avons préféré écarter cet indice, et ne travailler qu'avec la distribution géographique des espèces et avec les deux indices précédemment exposés.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons comparé deux méthodes différentes (médoïdes et suite de raison 2) fondées sur la distribution géographique des espèces et permettant d'attribuer un degré de rareté aux espèces indigènes et naturalisées de la région Île-de-France. Plusieurs analyses portant sur l'écologie des espèces, leur degré de menace et les échelles spatiales et temporelles d'étude, ont montré que le partitionnement par les médoïdes offrait des résultats plus cohérents que la suite de raison 2. Cette méthode, qui repose sur un bagage statistique et qui est liée aux théories écologiques, semble donc pertinente pour évaluer le degré de rareté des espèces végétales. Néanmoins, comme les bornes des classes de rareté sont variables et dépendantes du jeu de données, il est nécessaire que celui-ci soit propre et important. De même, l'application de la méthode est complexe et donc difficilement abordable par tout un chacun. Cette observation n'est pas un mal, le degré de rareté n'est pas à estimer à la légère et doit être calculé de manière rigoureuse.

Par contre, cette méthode de partitionnement qui repose sur une méthode statistique robuste et éprouvée, est applicable à d'autres types d'indicateurs que la rareté. Par exemple, elle a permis au sein du CBNBP de définir le niveau de connaissance d'enveloppes de sites telles que ceux de l'AESN (Agence de l'Eau Seine-Normandie) et d'orienter les prospections futures sur les secteurs d'étude. La démarche sera probablement reproduite pour définir le niveau de connaissance de sites ZNIEFF ou Natura 2000.

Concernant les applications directes de l'indice de rareté proposé, sa principale mission est de fournir une photographie de la flore à un instant « t » à l'échelle de différents sites d'étude et ainsi de prioriser les actions de conservation et de suivi de la flore menacée. Il sert déjà de base de travail pour sélectionner les espèces prioritaires à évaluer dans le cadre

des listes rouges, et pourra également être utilisé dans le cadre d'autres listes de protection (ex : protection régionale). Dans cette optique, il serait intéressant d'entreprendre une discussion sur les indices de rareté avec les différents Conservatoires botaniques afin d'aboutir à une méthodologie de calcul unique. Les valeurs de rareté obtenues de manière homogène sur tout le territoire national pourraient ensuite aisément être reversées aux plus petites structures (ex : bureaux d'étude) sans problème de cohérence géographique.

Concernant finalement l'intérêt porté à la rareté des espèces, la demande d'élaboration d'un indice à travers une méthodologie scientifique, a été à l'origine formulée au sein du CBNBP, mais elle est devenue sociale. En effet, les particuliers, entreprises, conseils généraux ... sont sensibilisés aux problèmes pesant sur la biodiversité et désormais impliqués dans les programmes associés. L'indice de rareté est donc un outil à enjeux incontournable, mais il faut garder en tête qu'il ne donnera pas toutes les réponses et qu'il est indispensable de tenir compte d'autres critères (richesse spécifique d'un site, degré de menace d'une espèce, endémisme, fonctionnalité des écosystèmes...) pour étudier, conserver, restaurer les milieux naturels et les populations d'espèces de notre territoire.

REMERCIEMENTS

Nous remercions premièrement Jacques Moret, ex-directeur du CBNBP, qui est à l'origine de cette étude sur les indices de rareté. Nous remercions ensuite l'ensemble des botanistes et informaticiens du CBNBP qui ont récolté, saisi et aidé à l'exploitation des données. Nous sommes également reconnaissants envers les responsables de régions du CBNBP (Olivier Bardet, Jordane Cordier, Jeanne Vallet), ainsi qu'envers Emmanuelle Porcher et Sandrine Pavoine de l'équipe de Conservation des Espèces, Restauration et Suivi des Populations, pour leurs échanges sur le sujet. Que soient finalement remerciées les personnes qui ont relu ce travail et apporté leurs remarques toujours pertinentes et judicieuses nous permettant d'avancer dans notre réflexion.

BIBLIOGRAPHIE

- Andrewartha H.G. & Birch L.C., 1954 - *The distribution and abundance of animals*. Chicago, Chicago University Press.
- Auvert S., 2010 - *Liste rouge de la flore d'Île-de-France* - Rapport final 2010. Paris, Conservatoire botanique national du Bassin parisien, 81 p.
- Auvert S., Filoche S., Rambaud M., Beylot A. & Hendoux F., 2011 - *Liste rouge régionale de la flore vasculaire d'Île-de-France*. Paris, Conservatoire botanique national du Bassin parisien, 80 p.
- Bessemoulin J., 1980 - *Atlas climatique de la France*. Paris.
- Bevill R.L. & Louda S.M., 1999 - Comparisons of Related Rare and Common Species in the Study of Plant Rarity. *Conservation Biology* **13**: 493-498.
- Bissardon M., Guibal L. & Rameau J.C., 1997 - *CORINE biotopes*. Nancy, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts.
- Boullet V., 1988 - *Étude préliminaire à la gestion expérimentale du Mont-Dubert*. Région Nord/Pas-de-Calais. CRP/CBNBL, 71 p.
- Boullet V., 1998 - *Adaptation des catégories et des critères de menaces de l'U.I.C.N. (1994) concernant les plantes vasculaires à l'échelle régionale*. Manuscrit. CRP/CBNBL.
- Bournérias M., Arnal G. & Bock C., 2001 - *Guide des Groupements végétaux de la région parisienne. Bassin parisien - Nord de la France (Ecologie et Phytogéographie)*. Paris, 640 p.
- Callaghan D.A. & Ashton P.A., 2009 - Rarity and site selection for bryophyte conservation. *Biodiversity and Conservation* **18**: 1259-1272.
- Corbet A.S., 1941 - The distribution of butterflies in the Malay Peninsula. *The Royal Entomological Society of London* **16**: 101-116.
- Crain B.J. & White J.W., 2011 - Categorizing locally rare plant taxa for conservation status. *Biodiversity and Conservation* **20**: 451-463.
- Cramér H., 1999 - *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton University Press.
- Crins W.J., 1997 - Rare and endangered plants and their habitats in Canada. *Canadian Field-Naturalist* **111**: 506-519.
- Dobson F.S. & Yu J., 1993 - Rarity in Neotropical Forest Mammals Revised. *Conservation Biology* **7**: 586-591.
- Dobson F.S., Yu J. & Smith A.T., 1995 - The importance of evaluating rarity. *Conservation Biology* **9**: 1648-1651.
- European Union, 1992 - *Directive 92/43/EEC of the Council of 21 May 1992 on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora*. European Centre for Nature Conservation, Tilburg, The Netherlands.
- Fattorini S., 2008 - A multidimensional characterization of rarity applied to the Aegcan tenebrionid beetles (Coleoptera Tenebrionidae). *Journal of Insect Conservation* **12**: 251-263.
- Fiedler P.L. & Ahouse J.J., 1992 - Hierarchies of cause: toward an understanding of rarity in vascular plant species. In Fiedler, L. & Jain, S.K. (ed.): *Conservation biology: the theory and practice of nature conservation, preservation and management*. - London, Chapman & Hall, 23-47.
- Fisher R.A., Corbet A.S. & Williams C.B., 1943 - The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample from an animal population. *The Journal of Animal Ecology* **12**: 42-58.
- Gaston K.J., 1994 - *Rarity*. New York, Chapman & Hall.
- Gaston K.J., 1997 - What is rarity? In Kunin, W.E. & Gaston, K.J. (ed.): *The biology of rarity*. - London, Chapman & Hall, 30-47.
- Gaston K.J. & Kunin W.E., 1997 - Rare-common differences: an overview. In Kunin, W.E. & Gaston, K.J. (ed.): *The Biology of rarity*. - London, Chapman & Hall.
- Gimaret-Carpentier C., 1999 - *Analyse de la biodiversité à partir d'une liste d'occurrences d'espèces : nouvelles méthodes d'ordination appliquées à l'étude de l'endémisme dans les Ghâts occidentaux*. Thèse de doctorat.

- Université de Lyon.
- Hartley S. & Kunin W.E., 2003 - Scale Dependency of Rarity, Extinction Risk, and Conservation Priority. *Conservation Biology* **17**: 1559–1570.
- Hubbell S.P., 2001 - *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton, NJ, Princeton University Press, 448 p.
- Kattan G.H., 1992 - Rarity and vulnerability – the Birds of the Cordillera Central of Colombia. *Conservation Biology* **6**: 64–70.
- Kendall M.G., 1938 - A new measure of rank correlation. *Biometrika* **38**: 81–93.
- Kunin W.E. & Gaston K.J., 1993 - The biology of rarity: patterns, causes and consequences. *Trends in Ecology & Evolution* **8**: 298–301.
- Kunin W.E. & Gaston K.J., 1997 - *The biology of rarity: causes and consequences of rare-common differences*. New York, Chapman & Hall.
- Legendre P. & Legendre L., 1998 - *Numerical Ecology*. 2nd english edition. Amsterdam, Elsevier Science BV.
- Manne L.L. & Pimm S.L., 2001 - Beyond eight forms of rarity: which species are threatened and which will be next? *Animal Conservation* **4**: 221–229.
- Mccabe T.L. & Weber C.N., 1994 - The robber flies (Diptera Asilidae) of the Albany Pinebush. *The Great Lakes Entomologist* **27**: 157–159.
- Mcgill B.J., Etienne R.S., Gray J.S., Alonso D., Anderson M.J., Benecha H.K., Dornelas M., Enquist B.J., Green J.L., He F., Hurlbert A.H., Magurran A.E., Marquet P.A., Maurer B.A., Ostling A., Soykan C.U., Ugland K.I. & White E.P., 2007 - Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework. *Ecology Letters* **10**: 995–1015.
- McLeod A.I., 2005 - *Kendall: Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test*. R package version 2.0. <http://www.stats.uwo.ca/faculty/aim>.
- Météo-France, 2006 - <http://www.meteofrance.com>.
- Pärtel M., Kalamees R., Reier U., Tuvi E.-L., Roosaluuste E., Vellak A. & Zobel M., 2005 - Grouping and prioritization of vascular plant species for conservation: combining natural rarity and management need. *Biological Conservation* **23**: 271–278.
- Rabinowitz D., 1981 - Seven forms of rarity. In Syngc, H. (ed.): *The biological aspects of rare plant conservation*. Chichester, United Kingdom, Wiley, 205–217.
- Rabinowitz D., Cairns S. & Dillon T., 1986 - Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles. In Soulé, E. (ed.): *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, 1 882–2 204.
- Rabinowitz D., Rapp J.K. & Dixon P.M., 1984 - Competitive abilities of sparse grass species : mean of persistence or cause of abundance. *Ecology* **65**: 1144–1154.
- Rey Benayas J.M., Scheiner S.M., García Sánchez-Colomer M. & Levassor C., 1999 - Commonness and rarity: theory and application of a new model to mediterranean montane grasslands. *Conservation Ecology* **3**: 5.
- Richardson D.M., Pysek P., Rejmanek M., Barbour M.G., Panetta D. & West C.J., 2000 - Naturalization and invasion of alien plants : concepts and definitions. *Diversity and Distributions* **6**: 93–107.
- Rosenzweig M.L., 1997 - *Species Diversity in Space and Time*. New York, Cambridge University Press.
- Union Internationale pour la Conservation de la Nature, 2001 - *Catégories et Critères de l'UICN pour la Liste Rouge* : Version 3.1. Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni. ii + 32 p. ou http://intranet.iucn.org/web-files/doc/SSC/SSCwebsite/Red_List/regionalguidelinesFR.pdf, 32 p.
- Union Internationale pour la Conservation de la Nature, 2003 - *Lignes Directrices pour l'Application, au Niveau Régional, des Critères de l'UICN pour la Liste Rouge*. Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni. ii + 26 p, 26 p.
- Vellak A., Tuvi E.-L., Reier U., Kalamees R., Roosaluuste E., Zobel M. & Pärtel M., 2009 - Past and Present Effectiveness of Protected Areas for Conservation of Naturally and Anthropogenically Rare Plant Species. *Conservation Biology* **23**: 750–757.
- Walker K.J. & Preston C.D., 2006 - Ecological predictors of extinction risk in the Xora of lowland England, UK. *Biodiversity and Conservation* **15**: 1913–1942.