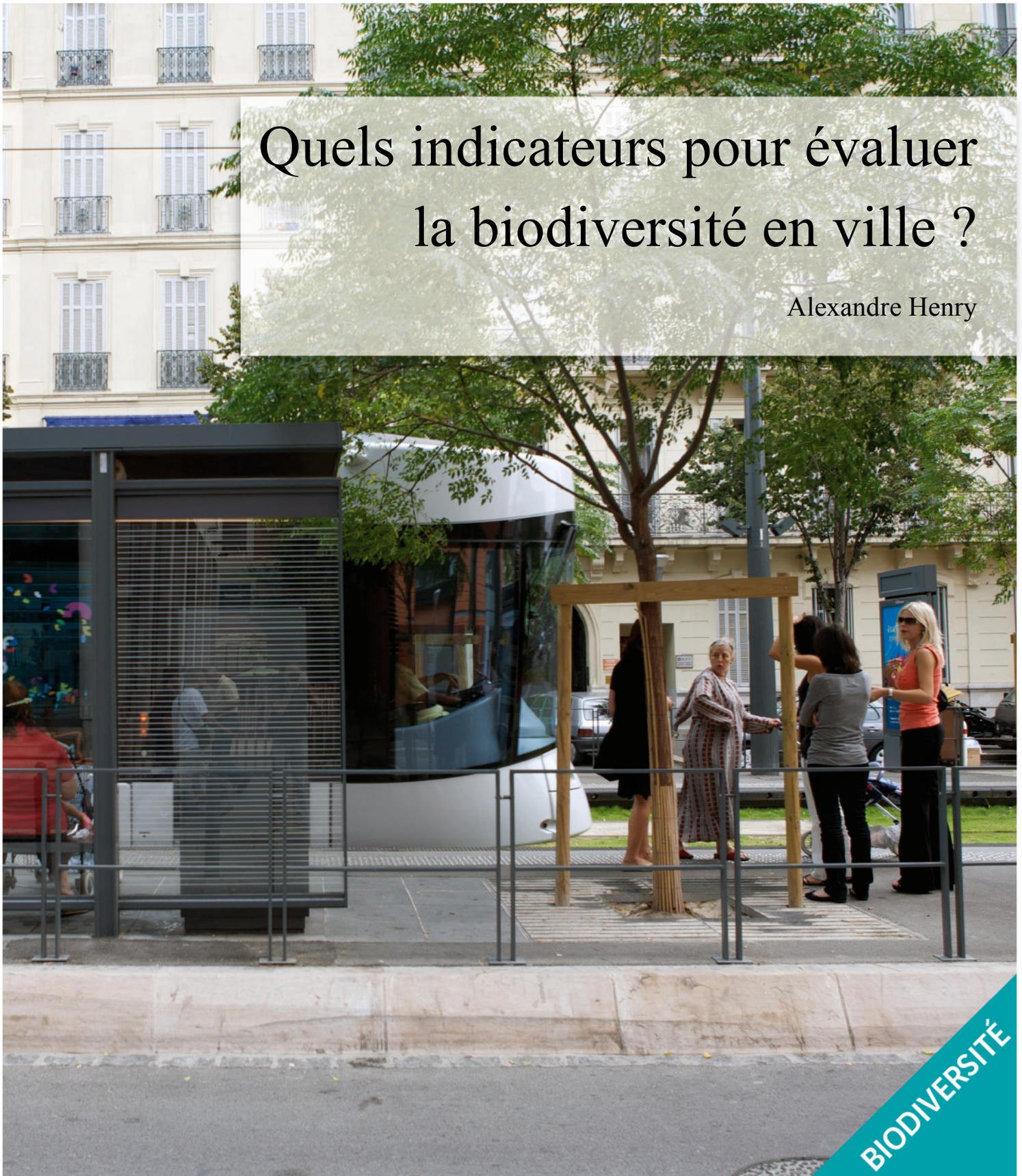


# Chaire ParisTech

## Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures

Quels indicateurs pour évaluer  
la biodiversité en ville ?

Alexandre Henry



**BIODIVERSITÉ**

# **Quels indicateurs pour évaluer la biodiversité en ville ?**

## **1. Un indicateur, c'est quoi ?**

### **Rôles d'un indicateur de biodiversité :**

- rendre compte d'un ensemble vaste et en grande partie inconnu (la diversité biologique), à partir d'un nombre limité d'entités facilement observables.
- décrire les différents niveaux d'organisation de la biodiversité en s'appuyant sur des métriques spécifiques.
- dépasser l'inventaire des entités pour prendre en compte l'importance des interactions entre elles à court ou long terme.
- percevoir et mesurer des variations de cette biodiversité et l'évolution des facteurs responsables de ces variations.

Un indicateur de biodiversité se construit à partir de données qui ne sont elles-mêmes qu'un échantillon de la biodiversité représentée. Les indicateurs existants ne permettent donc qu'une approche partielle des changements actuels de la biodiversité.

### **L'indicateur idéal doit rendre compte :**

- de la richesse : nombre d'entités différentes présentes
- de l'égalité entre ces entités
- de la diversité : la « distance » entre ces entités en termes évolutifs (distance phylogénétique) ou fonctionnels (rôle écologique)

Il est impossible de définir un indicateur unique rendant compte de tous les aspects de la biodiversité. Des indicateurs synthétiques peuvent masquer des réalités importantes. Il est donc nécessaire de disposer d'indicateurs multiples. (Chevassus-au-Louis, 2009)

## **2. Quelle biodiversité étudier en ville ?**

### **Les 3 niveaux de biodiversité :**

- Génétique
- Spécifique
- Ecosystémique

A l'échelle de la ville, le niveau le plus pertinent à étudier est celui de l'espèce. En effet, c'est de l'assemblage des espèces que dépend la fonctionnalité de l'écosystème. C'est cette biodiversité fonctionnelle que nous voulons étudier en ville.

### **Prise en compte des services écosystémiques**

Les espèces ont des fonctions écologiques qui leur sont propres, morphologiquement et physiologiquement, ces caractéristiques leur confèrent des rôles particuliers dans les différents processus écosystémiques, comme les échanges gazeux, la structuration des sols, le piégeage des particules, la décomposition de la matière organique, le transfert de pollen, et bien d'autres encore. Ces processus permettent à l'écosystème de rendre plusieurs types de services (services de régulation, de support, d'approvisionnement, culturels).

En ville, les principaux services écosystémiques désirés sont les suivants :

- Filtration de l'air
- Régulation du microclimat
- Réduction des bruits
- Drainage des eaux de pluie
- Traitement des eaux usées
- Valeurs culturelles et récréatives
- Services d'approvisionnement
- Pollinisation
- Habitats refuges
- Ressources génétiques

L'évaluation de la biodiversité en ville pourrait permettre de rendre compte des services écosystémiques rendus.

## **3. Quels sont les différents types d'indicateurs ?**

### **Indicateurs à paramètre unique**

On peut mesurer la biodiversité à partir d'un paramètre unique. On se contente des caractéristiques de l'état du système les plus facilement mesurables : l'abondance ou le nombre d'espèces.

- Richesse spécifique : peu informative
- Abondance : sensible aux dynamiques à court terme, indicateur pertinent pour évaluer l'état de santé d'un écosystème.

## **Indicateurs à plusieurs paramètres : indicateurs composites**

On peut souhaiter résumer les données en un seul indice, intégrant les variations d'abondance et de groupes systématiques très différents tels que mammifères, insectes ou plantes. Les indicateurs composites impliquent l'utilisation d'au moins 2 unités de référence. L'approche à partir d'indicateurs composites offre 3 avantages :

- Réduire le problème de stochasticité par un effet de moyenne
- Permettre une information ciblée en regroupant des espèces
- Offrir une unité de référence commune qui facilite l'interprétation et limite le problème de la pondération

Les regroupements d'espèces peuvent s'opérer selon la systématique, les fonctions assurées au sein d'un écosystème ou le mode d'utilisation par l'homme.

L'option de pondération :

- la plus simple est d'accorder le même poids à chaque espèce → indice de richesse spécifique
- la plus « conservationniste » est de pondérer les espèces en fonction de leur rareté, des menaces d'extinction → indice de rareté
- la plus écologique est d'accorder un poids supérieur aux espèces qui remplissent des fonctions écologiques essentielles → indice de fonctionnement.

Parmi ces 3 types d'indices, nous nous intéresserons particulièrement aux indicateurs de rareté et à ceux permettant de faire état du fonctionnement de l'écosystème.

La seule prise en compte du nombre d'espèces ne permet pas de refléter toute la biodiversité. C'est pourquoi nous allons juste citer quelques exemples d'indicateurs et ne pas les présenter plus en détail : indice de Simpson, Shannon-Wiener, Pielou, Berger-Parker, Hill...

Ces indices de richesse spécifique offrent l'avantage d'être simples à mettre en place, et de bien renseigner sur la quantité d'espèces présentes sur un site à partir d'échantillonnages, transects, points d'observation, capture-marquage-recapture.

Néanmoins, parmi les inconvénients on peut noter le peu d'informations qu'ils procurent et l'absence de prise en compte des différences phylogénétiques et fonctionnelles entre les espèces.

## **4. Quels indicateurs utiliser ?**

Les espèces n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques. Il existe des espèces ingénieurs structurant l'environnement dans lequel elles évoluent. Des espèces sont dites « clé de voûte », car elles peuvent, par leur présence ou leur absence, influencer l'écosystème dans lequel elles se trouvent. Certaines sont rares, d'autres communes. Elles peuvent être proches ou distantes phylogénétiquement. Elles ont chacune des fonctions propres,

parfois redondantes dans l'écosystème ou au contraire uniques. Ces fonctions permettent de rendre des services écosystémiques importants en milieu urbain.

Ce sont autant de caractéristiques qui permettent de mettre en place des indicateurs selon l'angle d'étude choisi. La diversité taxonomique est le type de diversité le plus communément utilisé mais il ne dit rien sur les différences phylogénétiques et fonctionnelles entre les espèces. Mesurer la diversité phylogénétique dans les assemblages d'espèces a été proposé par la suite comme une solution pour expliquer le rôle des interactions interspécifiques et des histoires biogéographiques dans la composition et la structure des communautés. Entre temps, il a été démontré que la diversité fonctionnelle, reflétant la diversité des caractères morphologiques, physiologiques et écologiques au sein des communautés biologiques, expliquait mieux le fonctionnement des écosystèmes que les autres mesures classiques de biodiversité.

### **Indicateurs de diversité taxonomique**

*L'indice d'intérêt floristique (IFI) (Muratet et al., 2008)*

Cette mesure s'effectue sur plusieurs sites. Sur chaque site on mesure :

- Nombre d'espèces présentes sur le site (Rich)
- Rareté des espèces : proportion des sites sur lesquels l'espèce n'est pas observée. L'indice de rareté du site (Rar) est calculé en faisant la moyenne des raretés de chaque espèce.
- L'indigénat (Ind) : la proportion d'espèces indigènes sur le site (indigène = non naturalisé)
- La typicité (Typ) : la proportion d'espèces typiques par site (typique d'un site = observée uniquement sur ce site)

$$IFI = 1/4(Rich/Rich_{max} + Typic/Typic_{max} + Ind /Ind_{max} + Rar/Rar_{max})$$

L'IFI varie entre 0 et 1 (intérêt floristique le plus élevé) et peut être défini au niveau du site ou de l'habitat.

L'utilisation de l'IFI permet de classer les sites selon leur contribution à la biodiversité de la région. A l'échelle de la ville, il pourrait être utile pour savoir quelle partie est la plus intéressante à conserver.

L'inconvénient est qu'il ne prend pas en compte les fonctions écologiques des espèces. L'intérêt floristique d'un site pourrait être les services écosystémiques rendus, de savoir combien d'espèces ont les mêmes fonctions sur chaque site.

### **Indicateurs de diversité phylogénétique**

Les différences dans l'histoire évolutive des communautés résultent de la diversité des caractères morphologiques, physiologiques et comportementaux. Beaucoup de ces

caractères représentent des traits fonctionnels. Voici une liste non exhaustive de ces indicateurs (Schweiger *et al.*, 2008) :

**Table 1** Phylogenetic indices tested in this analysis

Index	Formula	Notes	Reference
Topology based			
$Q$	$Q = \sum Q_i, Q_i = l/l_i, l = \sum l_i$	Basic taxic weights. Sum of the contributions of each species to diversity	Vane-Wright et al. (1991)
$W$	$W = \sum W_i, W_i = Q_i/Q_{\min}$	Standardised taxic weights	Vane-Wright et al. (1991)
Distance based—minimum spanning path			
$PD_{\text{NODE}}$	$PD_{\text{NODE}} = \sum n_i$	Phylogenetic diversity. Branch length substituted by number of nodes	Faith (1992)
$PD_{\text{ROOT}}$	$PD_{\text{ROOT}} = \sum n_{i \text{ ROOT}}$	Phylogenetic diversity including basal branches. Number of nodes within the rooted (maximum) spanning path	Rodrigues and Gaston (2002)
$AvPD$	$AvPD = PD_{\text{NODE}}/s$	Average phylogenetic diversity	Clarke and Warwick (2001a)
Distance based—pairwise distances			
$J$	$J = [\sum d_{i,j}]/s^2$	Intensive quadratic entropy. Mean distance between two randomly chosen species. Quadratic distance matrix	Izsak and Papp (2000)
$F$	$F = \sum d_{i,j}$	Extensive quadratic entropy. Sum of all pairwise distances	Izsak and Papp (2000)
$AvTD$	$AvTD = [\sum_{i<j} d_{i,j}]/[s(s-1)/2]$	Average taxonomic distinctness. Mean distance between two randomly chosen species. Triangular distance matrix	Warwick and Clarke (1998)
$TTD$	$TTD = \sum_i [(\sum_{j \neq i} d_{ij})/(s-1)]$	Total taxonomic distinctness. Average phylogenetic distinctiveness summed over all species	Clarke and Warwick (2001b)
$D_{\square}$	$D_{\square} = \sum d_{i \text{ min}}$	Pure diversity. Sum of nearest neighbour distances	Solow et al. (1993), Faith (1994)

*AvTD* Average taxonomic distinctness, *TTD* total taxonomic distinctness, *PD* phylogenetic diversity

$l_i$  Number of nodes between species  $i$  and root of the tree,  $Q_{\min}$  minimal basic taxic weight,  $n_i$  number of  $i$  nodes within the minimum spanning path,  $n_{i \text{ root}}$  number of  $i$  nodes within the rooted spanning path,  $d_{i,j}$  distance matrix ( $d_{i,j} = d_{j,i}$ ;  $d_{i,i} = 0$ ),  $d_{i \text{ min}}$  nearest neighbour distance of species  $i$  to all other species,  $s$  number of species

Parmi ces indicateurs, on peut s'intéresser particulièrement à la diversité phylogénétique moyenne (AvPD) de Clarke et Warwick (2001) qui prend en compte la longueur des branches d'une phylogénie qui séparent les espèces tandis que Vane-Wright utilise le nombre de nœuds.

Pour calculer ces indicateurs de biodiversité, il est nécessaire d'avoir la liste des espèces présentes sur le site. Dans la plupart des cas, on s'intéresse à une communauté d'espèces. Toutes les espèces de tous les taxons présents dans l'écosystème peuvent difficilement être intégrées dans un seul et même calcul d'indice phylogénétique. En plus des espèces étudiées, il est indispensable d'avoir un arbre phylogénétique (pouvant être basé sur les différences génétiques) dans lequel ces espèces sont référencées pour pouvoir calculer les distances phylogénétiques. C'est à partir de ces distances que la diversité phylogénétique d'un site peut être calculée.

Il est généralement admis que les indices utilisant la longueur des branches sont préférables à des mesures relevant uniquement de la topologie (Crozier, 1997). Cependant, dans la majorité des cas, la longueur des branches n'est pas disponible, en particulier lorsque les études sont menées à des niveaux taxonomiques élevés et à de grandes échelles spatiales. Dans ces circonstances, le remplacement de la longueur des branches par le nombre de nœuds peut être une alternative.

L'utilisation d'indicateurs basés sur la phylogénie, plutôt que la richesse spécifique seule, permet de mieux estimer la biodiversité. Néanmoins la grande distance phylogénétique n'est pas toujours synonyme de différentiation fonctionnelle. Par exemple, on trouve souvent dans des biomes différents les mêmes fonctions exercées par des espèces

évolutivement très éloignées. Ainsi, les faunes marsupiales d'Australie comprennent des prédateurs, des rongeurs ou des herbivores, et apparaissent fonctionnellement très similaires aux faunes européennes, alors qu'elles sont évolutivement très distantes.

Ces indicateurs de diversité phylogénétique sont très intéressants, mais il est préférable de les utiliser en complément d'autres indicateurs pour obtenir d'autres informations nécessaires.

## **Indicateurs de diversité fonctionnelle**

Les indicateurs de diversité fonctionnelle permettent de mieux expliquer le fonctionnement des écosystèmes, et de s'assurer des biens et services rendus. A partir des espèces présentes sur un site, nous pourrions savoir si les fonctions écologiques qu'elles remplissent permettent de rendre les services écosystémiques désirés. Nous pourrions également déterminer si sur ce site plusieurs espèces ont les mêmes fonctions, assurant ainsi une durabilité de l'écosystème par la redondance fonctionnelle ou dans le cas contraire sa fragilité si l'unique espèce rendant ce service venait à disparaître. C'est ainsi que nous pourrions mettre en place des aménagements pour optimiser les services désirés en basant ces actions sur les espèces les plus fonctionnelles pour le service voulu.

### *Index des communautés*

Cet index permet de mesurer la fonctionnalité de l'écosystème en décrivant, pour un caractère donné, l'état moyen d'une biocénose par la moyenne pondérée des valeurs de chaque espèce. Le caractère de l'espèce peut être morphologique (la taille), caractériser l'histoire de vie, la pérennité, le nombre de propagules... les exigences écologiques de l'espèce (thermiques, hygrométriques), la spécialisation de l'habitat ou des interactions trophiques, ou encore le niveau trophique. La formule de calcul est la suivante :

$$C_{kj} = \sum_{i=1,n} \frac{N_{ik}}{N_k} \cdot S_{ij}$$

avec :

- $S_{ij}$  : valeur moyenne du caractère  $j$  pour l'espèce  $i$ ,
- $N_{ik}$  : nombre d'individus de l'espèce  $i$  dans la communauté  $k$ ,
- $N_k$  : nombre total d'individus dans la communauté  $k$ ,
- $C_{kj}$  : valeur du caractère  $j$  dans la communauté  $k$  (index de communauté)

L'avantage de cet indicateur est que l'on peut choisir le caractère qui nous intéresse pour mesurer le niveau de biodiversité. De plus il prend en compte l'abondance des espèces. Un des inconvénients est qu'il est surtout utilisable pour les espèces animales et moins pour les espèces végétales car il est plus difficile de dénombrer les individus.

### Les indicateurs « oiseaux communs » (STOC : Suivi Temporel des Oiseaux Communs)

Fondés sur les populations qui contribuent le plus au fonctionnement des écosystèmes et à leurs évolutions, ils constituent des outils efficaces pour évaluer le fonctionnement des écosystèmes et offrent une indication de l'état de santé des écosystèmes car la taille des populations est très sensible aux changements environnementaux à court terme.

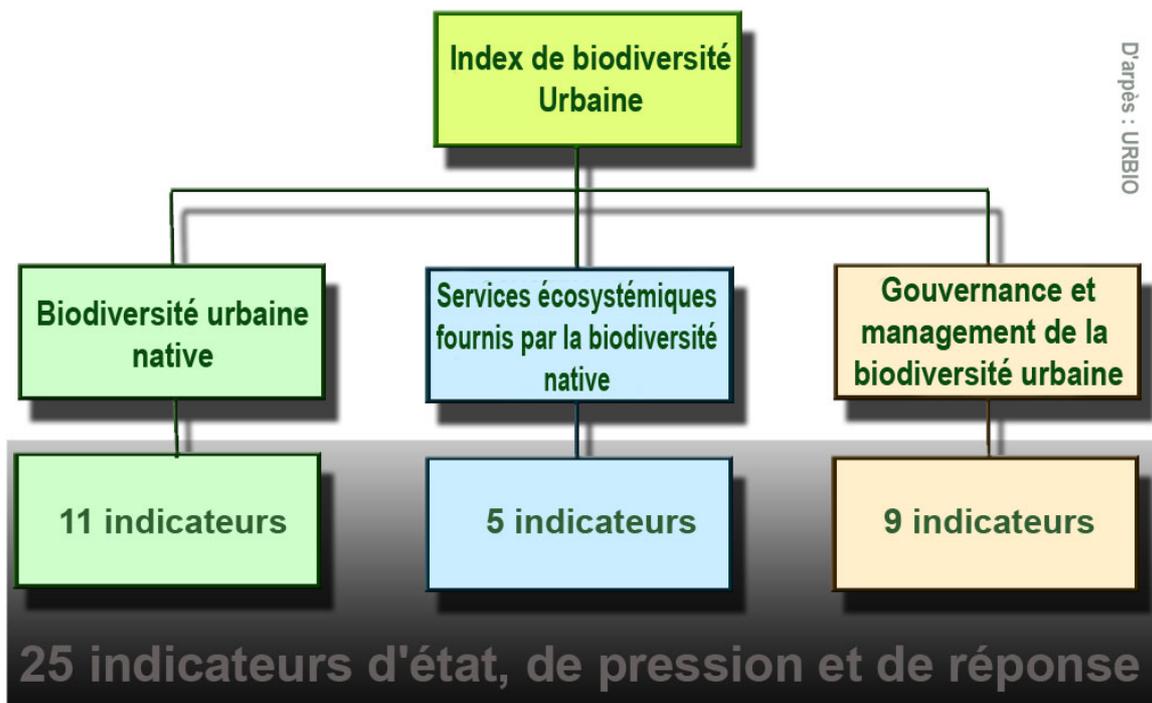
Ces indicateurs sont développés à partir d'informations démographiques : abondance, distribution, diversité, fécondité, survie des populations et des communautés. Ils permettent d'évaluer les dynamiques écologiques aussi bien à une échelle spatiale fine qu'à une large échelle.

Ces indicateurs ont un succès auprès de l'opinion publique, des scientifiques et des décideurs. Ils présentent l'avantage d'être peu coûteux, facile à mettre en œuvre et rigoureux scientifiquement.

Parmi les inconvénients on peut citer qu'il nécessite un suivi sur plusieurs années pour estimer l'évolution des populations d'oiseaux. Si on ne possède pas de données sur le site étudié, seule la composition spécifique peut être donnée à un instant t. Pour avoir des informations quant à l'évolution démographique, il faudra poursuivre l'étude à plus long terme.

### Indice de Singapour

La Convention sur la diversité biologique a développé une série d'indicateurs de suivi de la biodiversité urbaine : « l'Index de Singapour sur la biodiversité urbaine » ou « Index de Singapour ».



1. Taux (%) de ressources naturelles et de zones semi-naturelles
2. Diversité des écosystèmes
3. Mesure de la fragmentation écologique
4. Biodiversité indigène dans le bâti
- 5 à 9. Espèces indigènes :  
.Plantes,  
Oiseaux,  
Papillons  
+ 2 espèces à choisir .
10. Taux (%) d'aires protégées
11. Proportion d'espèces exotiques invasives

12. Services liés aux eaux douces ;  
(Coût d'épuration)
13. Puits de carbone (arbre en ville)
14. Aménités ;  
récréation et éducation  
(nb visites / personne / an)
15. Surf. et % de la ville en Parcs et aires protégées ;  
Surf par habitant de la ville
16. Nb de de visites éducatives dans les parcs ou réserves naturelles par an ;  
(moins de 16 ans/an)

17. Budget pour la biodiversité
18. Nb. de projets & programmes organisés par la Ville / an
19. Protection réglementaire, Plans d'action locaux pour la biodiversité
20. Nb.d'établissements couvrant les fonctions essentielles de la biodiversité
21. Nb. de coordinations inter-agences
22. Processus de consultation
23. Partenariats existants
24. Biodiversité dans les programmes scolaires
25. Nb. de programmes et événements de sensibilisation.

Ces indicateurs permettent de faciliter une lecture claire et chiffrée des répercussions des mesures prises en faveur de la biodiversité, d'identifier les manques et permettre de les cibler spécifiquement, d'allouer les fonds de manière efficace et de comparer les progrès réalisés avec ceux des autres villes.

L'index de Singapour n'est pas adapté à notre étude, car il n'est pas assez précis au point de vue des services écosystémiques pour être utilisé.

## Fonctions écologiques comme indicateurs

Pour faire état des fonctions écologiques responsables des services écosystémiques, le Ministère de l'Ecologie et le Muséum National d'Histoire Naturelle ont proposé plusieurs indicateurs :

<b>Fonctions</b>	<b>Description des processus biologiques</b>	<b>Indicateurs proposés</b>
<b>Échanges gazeux</b>	Ces échanges se font à l'interface entre plusieurs milieux, principalement entre l'atmosphère et la végétation (cf. photosynthèse : absorption de CO <sub>2</sub> et rejet d'O <sub>2</sub> par les végétaux).	<b>densité de la végétation/ biomasse ; production primaire ; abondance en phytoplancton.</b>
<b>Autoépuration de l'eau</b>	Un ensemble de processus biologiques et chimiques permettent l'élimination de substances présentes dans l'eau.	<b>diversité et abondance de micro-organismes invertébrés ; structure du sol ; densité et diversité végétale.</b>
<b>Piégeage de particules</b>	Les plantes (feuillage) constituent un filtre naturel qui piège les particules de l'eau ou de l'air, ou favorise leur dépôt en diminuant les vitesses des vents et des courants.	<b>densité de la végétation ; taux de sédimentation, diversité et abondance en invertébrés aquatiques.</b>
<b>Transports solides</b>	Dans les rivières et cours d'eau, les transports solides de sédiments interviennent quand la vitesse du courant est supérieure à la vitesse de sédimentation. En milieux non aquatiques, les matières solides sont transportées par l'eau de ruissellement ou le vent.	<b>stabilité structurale des sols ; énergie cinétique des cours d'eau.</b>
<b>Résistance de la végétation aux perturbations</b>	La structure et le complexe sol-racines des peuplements végétaux jouent un rôle dans la réponse de la végétation aux forces des vents. La composition et la structure des peuplements végétaux conditionnent leur résistance aux feux. La présence de la végétation constitue une barrière naturelle qui limite la progression de l'avalanche.	<b>diversité des systèmes racinaires ; horizons organiques des sols ; quantité de bois mort ; taux d'humidité.</b>
<b>Rétention de l'eau dans les sols et les sédiments</b>	Les caractéristiques des sols et des sédiments conditionnent l'infiltration de l'eau provenant des précipitations, et la recharge des nappes souterraines. La capacité de rétention de l'eau a un rôle dans la limitation des risques d'inondations et d'érosion des sols.	<b>structure des sols ; densité végétation/feuillage.</b>
<b>Ecoulements d'eau</b>	La présence d'eau de surface ou dans le sol a une influence sur le climat local, en jouant sur l'humidité et les températures.	<b>débits ; stabilité des sols ; recouvrement de la couverture végétale.</b>
<b>Effet albédo/réflexion</b>	L'albédo correspond à la portion d'énergie solaire réfléchi par rapport à l'énergie solaire incidente arrivant sur une surface. Il est lié à la capacité des surfaces à absorber ou réfléchir la lumière (influence sur le climat local).	<b>recouvrement de la couverture végétale.</b>
<b>Approvisionnement des sols et des sédiments en matière organique</b>	L'approvisionnement en matière organique des sols dépend de la restitution de la biomasse au sol et de sa nature.	<b>biomasse végétale ; densité de la végétation.</b>
<b>Décomposition de la matière organique du sol, recyclage des éléments nutritifs</b>	La microfaune du sol (bactéries, champignons) et la macrofaune assurent la décomposition de la matière organique par dégradation métabolique aérobie.	<b>diversité et abondance en microorganismes et faune du sol ; types d'humus ; qualité de la matière organique.</b>
<b>Formation de la structure des sols et processus de sédimentation</b>	Les processus de formation des sols et de sédimentation dépendent des caractéristiques physiques et chimiques des sols, et des microorganismes et de la faune du sol.	<b>densité et diversité de la végétation ; taux de sédimentation.</b>
<b>Interactions biotiques : prédation-parasitisme-compétition</b>	L'ensemble des relations trophiques assure une régulation entre les différentes espèces. Ces processus contribuent au contrôle biologique, en limitant les parasites et la prolifération d'espèces. D'autres interactions sont à souligner, comme la pollinisation.	<b>diversité et abondance en nématodes, arthropodes, prédateurs ; idem en oiseaux, batraciens, reptiles.</b>
<b>Habitat / biotope</b>	Chacune des fonctions identifiées ci-dessus ne peut être remplie qu'en présence de certaines conditions biotiques et abiotiques. Par exemple, certaines espèces ont besoin d'un habitat spécifique pour leur reproduction. Si cet habitat est dégradé, l'espèce ne peut se reproduire et ne se maintient pas.	<b>surface d'habitat favorable ; abondance et diversité de groupes fonctionnels ; connectivité et fragmentation.</b>

Source : MEEEDM/MNHN « Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France »

Ces indicateurs peuvent être utiles pour notre étude car ils permettent d'estimer si certaines fonctions sont présentes sur le site étudié. Des comparaisons de diversités fonctionnelles entre sites sont possibles. Des mesures de diversité fonctionnelle peuvent être faites à partir d'une liste des espèces considérées dans l'étude et des traits fonctionnels jouant un rôle dans le fonctionnement de l'écosystème. A partir d'une analyse multivariée de ces paramètres, de corrélations peuvent être obtenues entre différents traits fonctionnels, un dendrogramme fonctionnel est construit pour estimer les distances fonctionnelles entre les espèces.

Un des inconvénients de l'étude des fonctions écologiques pour estimer les services écologiques est une approche assez novatrice et que le lien entre fonctions et services n'est pas encore bien établi. Des recherches sont en cours d'être faites pour palier ce problème.

### *Projet RUBICODE*

Dans le cadre du projet européen RUBICODE (Rationalising Biodiversity Conservation in Dynamic Ecosystems) des recherches sont en cours pour développer des indicateurs de suivi de la qualité écologique des écosystèmes et des habitats. Considérant que les fonctions écologiques des plantes et des animaux peuvent être associées à des fonctions spécifiques de l'écosystème, elles constituent alors un indicateur fonctionnel de la biodiversité prometteur.

## **5. Conclusion**

Pour mesurer la biodiversité en ville, il existe de nombreux indicateurs. Ces indicateurs ont de caractéristiques différentes et offrent des résultats complémentaires. L'utilisation d'indicateurs de richesse spécifique peut être intéressante dans un premier temps, mais l'information fournie reste très limitée. La quantité d'espèces présentes ne reflète pas tous les aspects de la biodiversité.

C'est pourquoi des indicateurs de diversité phylogénétique sont utilisés. Ils permettent de représenter l'histoire évolutive d'un site pour un intérêt de conservation. Parmi ces indicateurs, l'utilisation d'indices développés par Warwick et Clark.

En complément de la richesse spécifique et de la diversité phylogénétique, l'utilisation d'indicateurs de diversité fonctionnelle (index des communautés, indicateurs « oiseaux communs ») permet de s'assurer des biens et services rendus par l'écosystème. C'est notamment ce dernier point qui nous intéresse car l'objectif de notre étude est de déterminer des aménagements favorisant la biodiversité pour faire de la ville un système écologique durable et fonctionnel rendant des services à l'Homme.

Pour calculer ces indicateurs, il est nécessaire de savoir quelles espèces sont présentes sur le site étudié, ainsi que leur abondance. Ces données sont généralement disponibles dans les études d'impacts et les expertises écologiques préalables à la construction des éco-quartiers.

Pour chaque espèce, il est important de connaître leurs fonctions écologiques. Des arbres phylogénétiques contenant les espèces étudiées sont également nécessaires. Ces informations sont en grande partie disponibles dans la littérature scientifique.

Se contenter d'un seul type d'indicateur pourrait amener à des conclusions trop rapides et peu solides. En effet, selon les indicateurs utilisés, on peut aboutir à des conclusions différentes. Nous utiliserons donc ces 3 types d'indicateurs pour obtenir des informations complémentaires afin d'avoir une représentation de la biodiversité la plus complète possible et ainsi pouvoir mettre en œuvre les aménagements les plus favorables.

## **Références :**

Chevassus-au-Louis, B., Salles, J.M., Bielsa, S., Richard, D., Martin, G., Pujol, J.L., 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés à l'écosystème. Contribution à la décision publique.

Muratet, A., Porcher, E., Devictor, V., Arnal, G., Moret, J., Wright, S. and Machon, N., 2008. Evaluation of floristic diversity in urban areas as a basis for habitat management. *Applied Vegetation Science*, 11: 451-460.

Schweiger, O., Klotz, S., Durka, W. and Kühn, I., 2008. A comparative test of phylogenetic diversity indices. *Oecologia*, 157: 485-495.