

Les Transects BIOTA de Surveillance de la Biodiversité en Afrique – Une approche pour un suivi environnemental à grande échelle

Norbert Jürgens*, Zakia Akasbi*, Manfred Finckh*, Jens Oldeland*, Ute Schmiedel*

* Biodiversity, Evolution and Ecology of Plants, Biocentre Klein Flottbek and Botanical Garden, University of Hamburg, Ohnhorststr. 18, 22609 Hamburg, Germany

Résumé. L'initiative internationale et interdisciplinaire de recherche sur la biodiversité BIOTA AFRICA a initié un réseau standardisé de surveillance de la biodiversité selon les gradients climatiques à travers le continent africain. En raison d'un déficit identifié des plans d'échantillonnage adéquats, BIOTA AFRICA a développé et a mis en œuvre des sites standardisés d'observation de la biodiversité qui répondent aux critères suivants (i) assurer la surveillance à long terme de la biodiversité, des forces motrices potentielles, et des indicateurs pertinents avec une résolution spatiale et temporelle adéquate (ii) faciliter la comparabilité des données générées au niveau des différents écosystèmes, (iii) permettre l'intégration de plusieurs disciplines, (iv) permettre le passage à une échelle spatiale supérieure, et (v) être applicable dans une approche réseaux. Les Observatoires standardisés de BIOTA couvrent une surface d'1 km² et ils sont subdivisés en 100 plots d'un hectare chacun, lesquelles sont encore subdivisés en sous-plots standardisés avec des tailles suivant une série géométrique. Une classification hiérarchique des plots d'un hectare assure que toutes les disciplines surveillent conjointement autant de plots que possible. Le plan d'échantillonnage des Observatoires de BIOTA assure des inventaires standardisés répétés et multidisciplinaires de la biodiversité et des conditions environnementales, en plus des possibilités de passage aux échelles spatiales supérieures ou inférieures et l'utilisation de différentes intensités d'échantillonnage. Les Observatoires de BIOTA ont été installés selon les gradients climatiques et paysagers au Maroc, en Afrique de l'Ouest et en Afrique australe. Dans les régions de différents types d'utilisation des terres, plusieurs Observatoires de BIOTA ont été placés à proximité l'un de l'autre pour analyser les effets de la gestion des terres. Dans la région de l'Atlas au Sud du Maroc, où les reliefs sont fortement accidentés, deux Observatoires de BIOTA ont été liés à un transect de 10 sites d'essai avec 35 plots permanents standardisés de 100 m² pour l'observation permanente des populations végétales. Quelques résultats choisis des études de transects en Afrique du Nord et en Afrique australe vont illustrer l'applicabilité de l'approche BIOTA pour la surveillance de la biodiversité sous le changement global.

Mots-clés. Diversité végétale – Changement global – Parcelle d'observation permanente – Schéma d'échantillonnage – Transect.

BIOTA Biodiversity Monitoring Transects in Africa – A framework for large-scale environmental monitoring

Abstract. *The international, interdisciplinary biodiversity research initiative BIOTA AFRICA has established a standardized biodiversity monitoring network along climatic gradients across the African continent. In the absence of satisfactory monitoring, BIOTA AFRICA developed and implemented standardized Biodiversity monitoring sites to (i) enable long-term monitoring of biodiversity, the identification of potential driving factors, and appropriate indicators with satisfactory spatial and temporal resolution, (ii) facilitate comparability of data generated by different ecosystems, (iii) allow integration of many disciplines, (iv) allow spatial up-scaling, and (v) be applicable within a network approach. A standard BIOTA Observatory covers an area of 1 km² and is subdivided into 100 1-hectare plots, each of which is subdivided into standardized subplots whose sizes follow a geometric series. Hierarchical ranking of the one-hectare plots ensures that all disciplines can jointly monitor as many plots as possible. The design of the BIOTA Observatory ensures repeated, multidisciplinary standardized biodiversity inventories and its environmental drivers, including options for spatial up- and downscaling and different sampling intensities. BIOTA Observatories have been installed along climatic and landscape gradients in Morocco, West Africa, and southern Africa. In regions*

with varying land uses, several BIOTA Observatories are located close to one another to analyze management effects. In the Atlas region in Southern Morocco, with its hilly terrain, two standard BIOTA Observatories are linked in a transect of 10 test sites with 35 standardized 100 m² permanent monitoring plots for individual monitoring of plant populations. Selected results of the transect studies in northern and southern Africa will be used to illustrate the suitability of the BIOTA Framework to monitor biodiversity under global change.

Keywords. Vegetation diversity- Global change- Permanent plot-sampling scheme- Transect.

I – Introduction

La nécessité d'un réseau de recherche et de surveillance de la biodiversité avec une approche standardisée pour mesurer les changements de la biodiversité sous les conditions du changement global a été soulevée depuis longtemps (Pereira et Cooper, 2006 ; Grainger, 2009 ; Jürgens et al., 2011). Une telle approche doit être adéquate pour les différents biomes, permettre le passage à une échelle spatiale supérieure et à la surveillance de long terme ainsi que faciliter les approches interdisciplinaires au niveau d'un réseau régional à global.

Cet article décrit le réseau de surveillance de BIOTA, en se concentrant sur la surveillance des plantes vasculaires. Un aperçu sur les transects de BIOTA en Afrique du Nord et en Afrique australe sera présenté. De plus, on discutera des expériences pratiques des neuf années d'observation permanente de la biodiversité.

II – Objectifs de l'approche de surveillance de BIOTA

Les objectifs principaux de l'initiative de BIOTA AFRICA étaient de fournir des données scientifiquement solides sur la biodiversité, ses forces motrices environnementales et ses changements dans le temps pour les biomes et écosystèmes principaux du continent Africain. Ces données sont d'une nécessité urgente pour la recherche écologique, la planification de la conservation et comme données de vérification pour la validation des modèles et scénarios. Elles sont donc critiques pour le développement des stratégies d'adaptation et de mitigation pour la gestion des ressources sous les conditions de changement climatique global.

L'approche de surveillance des sites au niveau des paysages typiques doit :

- Permettre la surveillance de la biodiversité à long terme, ainsi que l'observation des forces motrices des changements de la biodiversité avec une résolution spatiale et temporelle adéquate.
- Permettre la comparaison des données collectées de différents biomes, écosystèmes et types d'utilisation des terres.

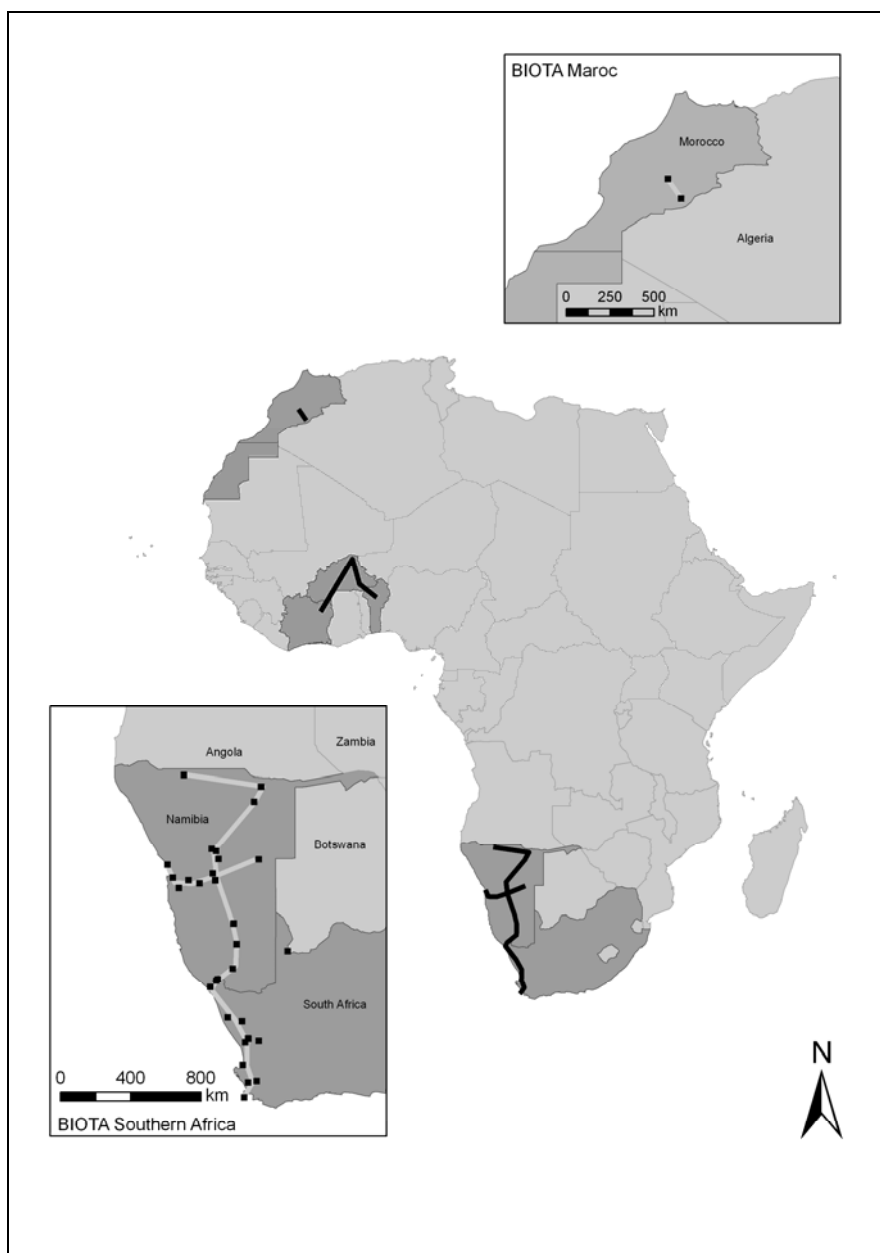
La philosophie de BIOTA AFRICA considère comme important :

- L'implication des parties prenantes locales dans le développement et la mise en œuvre du programme d'observation et ce dans un processus participatif.
- L'intégration des transects de BIOTA dans des réseaux d'observation régionaux et globaux, avec le but d'établir une infrastructure à long terme pour une surveillance continue de la biodiversité.

Les Observatoires de BIOTA qui répondent à ces exigences ont été établis et testés en Afrique du Nord, en Afrique de l'Ouest et en Afrique australe le long des transects transcontinentaux (Jürgens et al., 2011) (Figure 1). Dans les parties suivantes, on va se concentrer sur les transects établis en Afrique du Nord et en Afrique australe. Les transects de BIOTA fournissent des données mesurées in-situ sur les changements de la biodiversité à travers le continent Africain. Les séries chronologiques résultant des données de terrains sont d'une importance

décisive pour vérifier les résultats de la surveillance par télédétection, pendant que cette dernière pourrait aider à extrapoler l'information à une échelle plus large (Duro et al., 2007).

Figure 1 : Carte des transects de BIOTA AFRICA avec les Observatoires de la Biodiversité BIOTA établis en Afrique australe et au Maroc (situation Avril 2010).



Source : BIOTA AFRICA

III – Plan d'échantillonnage des transects de BIOTA AFRICA

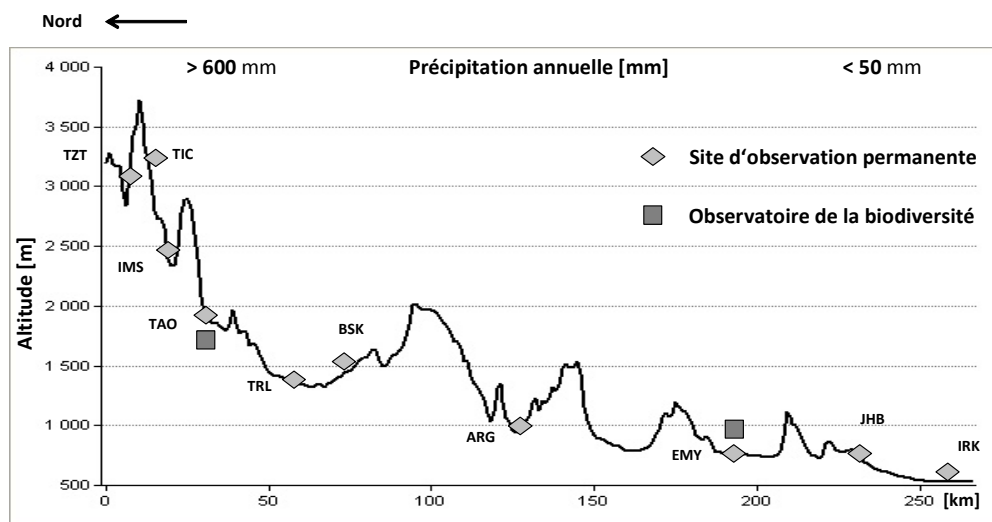
1. Dessin spatial du plan d'échantillonnage

Les transects de BIOTA incluent des Observatoires de Biodiversité d'une superficie d'un km² (1000 m × 1000 m). Chaque km² est divisé en 100 plots d'un hectare (100 m × 100 m). Les plots d'un hectare sont numérotés de 00 à 99 et constituent l'unité d'échantillonnage répétée la plus large dans chaque observatoire.

En général, le nombre de parcelles d'un hectare examiné doit être suffisamment grand pour permettre une description statistiquement robuste de la diversité végétale de l'observatoire. Une procédure de classement attribue à chaque plot d'un hectare un rang de 1 à 100. Pour assurer un échantillonnage aléatoire représentatif, nous avons utilisé un échantillonnage stratifié selon les types d'habitat (pour plus de détails sur la procédure de classement, voir Jürgens et al., 2011).

Le long du transect au sud du Maroc, nous avons établis 10 sites avec un total de 35 plots standardisés d'observation permanente de 100 m² pour le suivi permanent des populations de plantes (Figure 2). Les plots sont divisés en 400 cellules carrées de 0,25 m² chacun. Les plots permanents sont placés par paires le long du transect, avec des répétitions à l'intérieur des stations de mise en défens. Au niveau de plusieurs sites, nous suivons différents types d'habitats, et par conséquent le nombre total de plots permanents par site varie entre 2 et 6.

Figure 2 : Transect BIOTA au sud du Maroc.



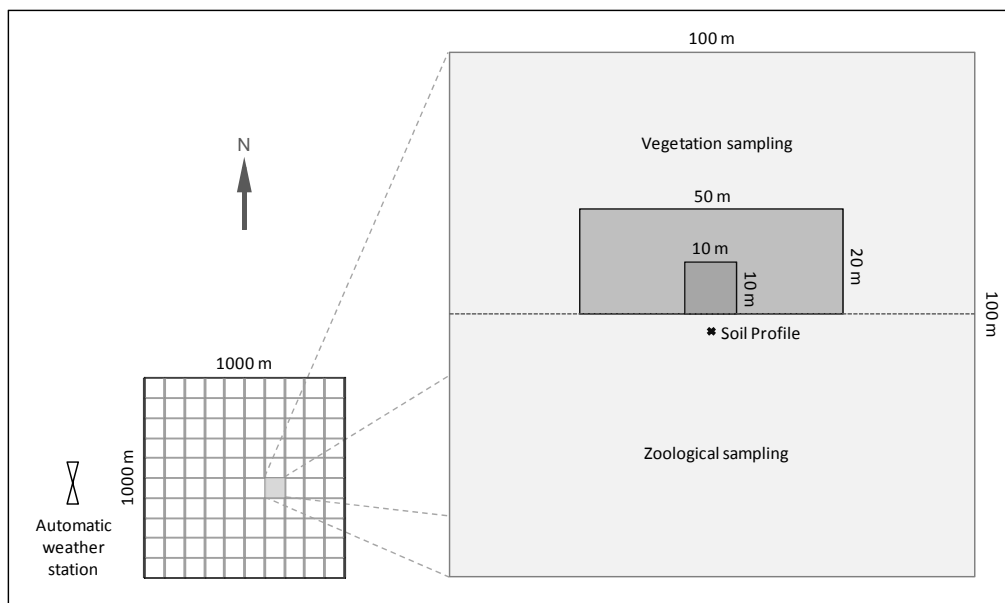
Source : BIOTA AFRICA

2. Échantillonnage des plantes vasculaires

L'observation permanente de la végétation dans les Observatoires de la Biodiversité a été faite sur des séries de trois plots imbriqués, dont les tailles suivent une série géométrique (100 m², 1000 m² et 10000 m²). Les plots au niveau du transect en Afrique australe sont marqués en permanence par des piquets métalliques ou par des aimants enterrés. Au Maroc, les plots ont

été identifiés uniquement par un GPS différentiel. Les plots de 100 m² et de 10000 m² sont de forme carrée alors que les plots de 1000 m² sont rectangulaires 20 m × 50 m (Figure 3). Ces dimensions des plots sont utilisées fréquemment dans les études de végétation et de biodiversité à travers le monde (Strohbach, 2001 ; Stohlgren, 2007). Le type de données collectées diffère entre les différentes tailles des plots d'échantillonnage (voir tableau 1 en annexe). Concernant l'estimation du recouvrement, la végétation a été subdivisée en strates verticales selon les catégories de tailles standards. Le recouvrement total des espèces, ainsi que le recouvrement de chaque strate verticale a été estimé le plus précisément possible en pourcentage.

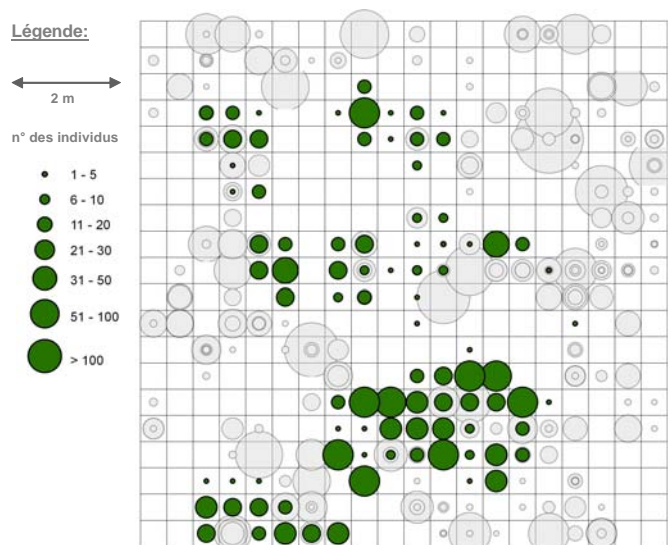
Figure 3 : Schéma des Observatoires de la Biodiversité de BIOTA Africa



Source : BIOTA AFRICA

L'observation permanente des individus des plantes permet l'analyse des dynamiques des populations, et par conséquent de dégager un ensemble très sensible d'indicateurs de changement. Un tel suivi est généralement appliqué dans les plots de 100m² de classement le plus élevé. Les mesures de hauteur, de longueur et de largeur de chaque individu des espèces pérennes existantes ont été prises. La position relative de chaque individu est dessinée sur une carte des plots (Afrique australe) ou enregistrée dans un carroyage de 0,5 m² (Maroc) (Figure 4).

Figure 4 : Exemple d'un plot d'observation permanente de BIOTA Maroc.



La figure montre une parcelle permanente dans la zone oroméditerranéenne. Les cercles gris indiquent les positions et diamètres des plantes arbustives, les cercles verts la quantité de stolons de *Festuca sp.*

Source : BIOTA AFRICA

Au niveau des plots d'observations permanentes au Maroc, tous les individus des espèces pérennes sont comptés une fois par an dans chaque cellule, et leurs dimensions (hauteur, longueur et largeur) sont mesurées, et sont classifiés selon les catégories d'âges (plantules, juvéniles et adultes) et selon la vitalité (vital, dépérissant, mort). Les espèces annuelles (existantes souvent avec des quantités importantes) sont comptées uniquement au niveau de chaque huitième cellule pour réduire la charge du travail.

Toutes les observations de la végétation sont répétées avec des intervalles réguliers (si possible annuellement dans les régions arides et semi-arides).

3. Les données climatiques

Dans les environs de chaque Observatoire de la Biodiversité et de chaque site d'observation, une station météorologique automatique a été installée pour lier les séries des données d'observation de la biodiversité aux conditions météorologiques locales et aux tendances climatiques à long terme. Les paramètres météorologiques mesurés sont les précipitations, la température de l'air, l'humidité relative de l'air, les radiations solaires, la vitesse du vent et sa direction. Les stations climatiques le long du transect marocain sont gérées par le projet GLOWA IMPETUS (Schulz et al., 2010).

4. Échantillonnage d'autres groupes d'organismes et recueil des données concernant des forces motrices environnementales

Au niveau de BIOTA AFRICA, plusieurs autres groupes d'organismes ont été échantillonnés avec des approches standardisées sur presque la totalité des Observatoires de Biodiversité, et avec un plan et une intensité d'échantillonnage adaptés aux exigences des disciplines. Au niveau de BIOTA Afrique australe, par exemple, les inventaires ont compris les lichens sur tous les substrats, les croûtes biologiques des sols avec leurs organismes constitutifs tels que les cyanobactéries, les algues et les champignons. Les coléoptères terricoles, les termites, les fourmis, les papillons et les mites, ainsi que les petits mammifères (Giere et Zeller, 2005) ont été enregistrés selon un protocole d'échantillonnage régulier (Jürgens et al., 2010). Les études de sols ont été réalisées dans une séquence de classement et selon la position prédéfinie au niveau des plots d'un hectare (Petersen et al., 2010.).

La surveillance écologique le long des transects a été complétée par des études sur les facteurs économiques, juridiques, administratifs, sociaux et culturels de l'utilisation locale et régionale des terres (Falk, 2008 ; Pröpper, 2009 ; Vollan, 2009 ; Vollan et al., 2009 ; Freier et al., 2011). Au niveau du BIOTA Afrique australe, des études additionnelles, dans les environs des Observatoires de Biodiversité, complètent les données de surveillance par des approches expérimentales (mises en défens ou bien par des traitements de restauration actifs), pour étudier les processus écologiques influençant les changements observés. Ces études le long des transects se rapportent à des données de référence respectives de la Biodiversité ou des infrastructures des Observatoires de Biodiversité et des sites.

IV – La mise en œuvre des transects de BIOTA en Afrique

Depuis 2001, les Observatoires de Biodiversité et les sites expérimentaux ont été disposés le long de mega-transects qui suivent à grande échelle des gradients environnementaux importants en Afrique tels que les facteurs climatiques (température, précipitations, saison des précipitations) et l'altitude (Figure 1), couvrant ainsi de nombreux types d'écosystèmes. La plupart des observatoires correspondent à la végétation zonale, c'est-à-dire la végétation qui est principalement déterminée par le climat régional et à peine modifiée par le sol et les propriétés géomorphologiques ou par l'influence humaine (Walter et Breckle, 1983). Dans les régions où l'utilisation des terres diffère sensiblement (par exemple sur l'intensité du pâturage), deux ou plusieurs Observatoires de BIOTA ont été placés près les uns des autres afin de couvrir les différents systèmes d'utilisation des terres. Au sud du Maroc, où la variabilité topographique est extrême, nous avons opté principalement pour des sites d'essais avec des petits plots permanents et nous avons installé des observatoires seulement au niveau de deux sites avec des reliefs modérés.

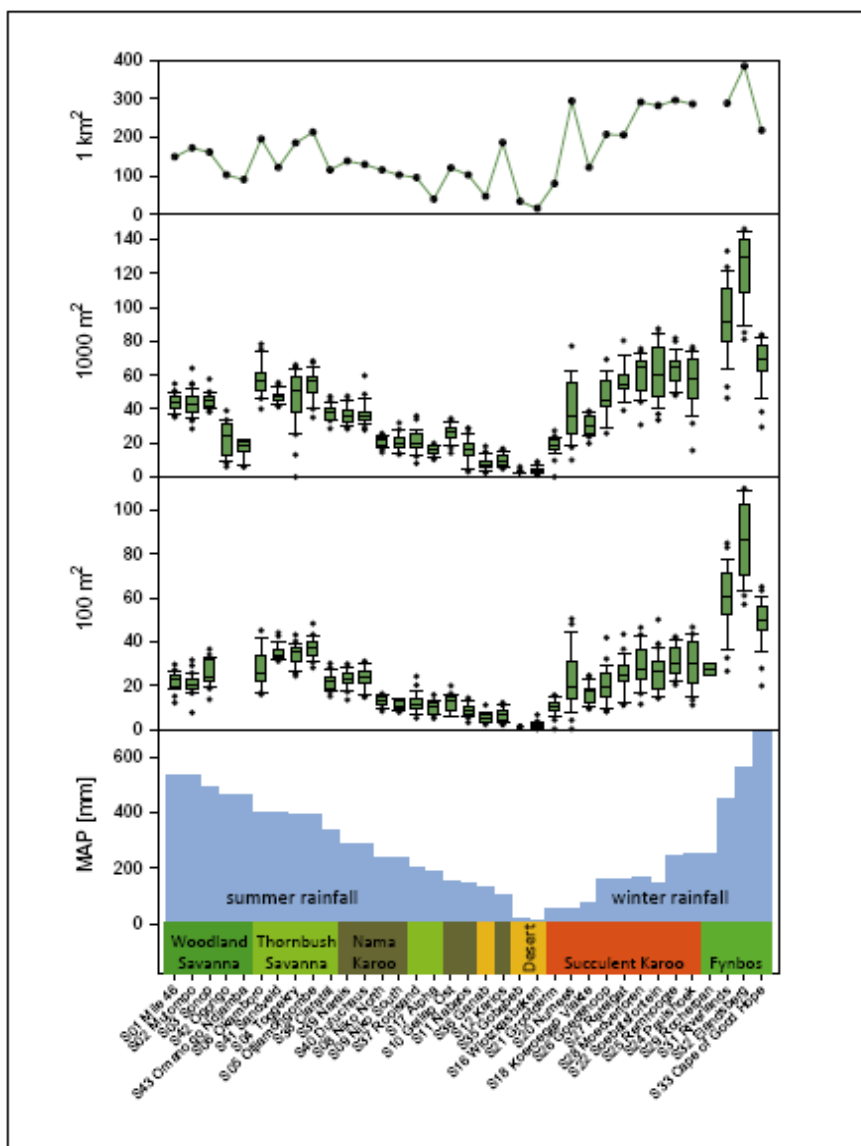
Jusqu'à présent, 46 observatoires BIOTA ont été établis le long des transects et étudiés par des chercheurs provenant de 50 institutions de six pays Africains (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Maroc, Namibie, Afrique du sud) et de l'Allemagne. Parmi eux, deux appartiennent au BIOTA Maroc (n=2) et 37 appartiennent au BIOTA Afrique australe (n=37)¹. De plus, 35 parcelles permanentes au niveau de 10 sites d'essai ont été établies le long du transect BIOTA Maroc. Toutes les données de surveillance acquises sont stockées au niveau de la BIOTA Data Facility au Biocentre Klein Flottbek, Université de Hambourg, Allemagne (Muche et al., 2010). Pour le stockage des données, nous utilisons BIOTABase, un logiciel conçu pour le stockage et le traitement des analyses de données de long terme et multi-échelle sur la biodiversité (http://www.biota-africa.org/biotabase_ba.php, voir Finckh *et al.*, soumis). Les données sont disponibles sur demande à des fins de recherche scientifique.

V – Exemples d’analyses de patrons spatio-temporels de la diversité au long des transects de BIOTA

1. Les tendances de la biodiversité au long des transects de BIOTA en Afrique

Les sites standardisés et imbriqués, de surveillance à long terme le long du transect BIOTA en Afrique australe permettent l'évaluation de la biodiversité le long des principaux gradients climatiques, couvrant six biomes. La richesse spécifique des plantes vasculaires à différentes échelles spatiales (100 m², 1000 m², et 1 km²) a montré une grande variation le long du transect. La Figure 5 montre que la richesse spécifique augmente avec les précipitations annuelles au niveau de toutes les échelles spatiales alors que la densité des espèces varie considérablement entre les régions à précipitations estivales et les régions à précipitations hivernales. Dans la région à hiver sec en Afrique australe (appelée Succulent Karoo, moins de 200 mm/an), la richesse spécifique à petite échelle (100 m² et 1000 m²) était comparable à celle de la région dont les étés sont beaucoup plus humides (Savanna à buissons épineux, moins de 400 mm/an) et même la dépasse à l'échelle d'1 km².

Figure 5 : Variabilité de la richesse spécifique des plantes vasculaires le long du transect de BIOTA en Afrique australe à trois différentes échelles spatiales et par rapport aux précipitations moyennes annuelles (MAP).

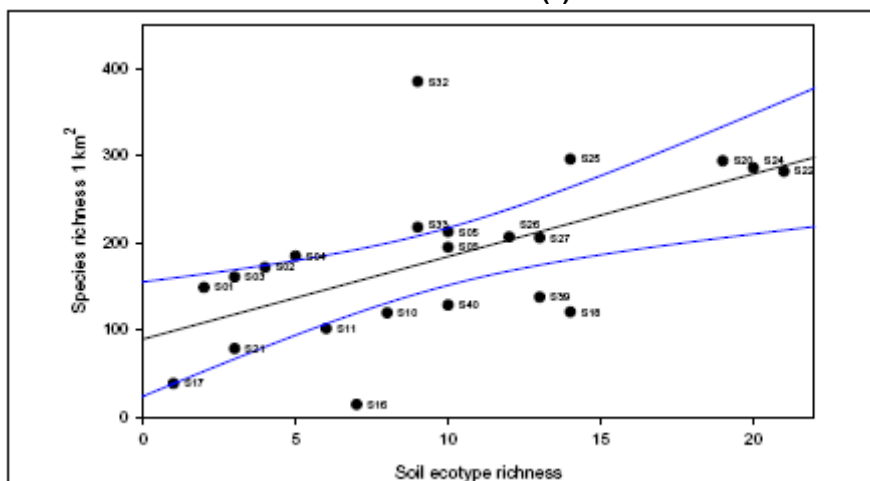


Les valeurs de la richesse spécifique à l'échelle d'1 km² sont celles d'une année choisie avec une bonne qualité d'enregistrement (surtout 2008). Pour les graphiques sur les deux petites échelles spatiales, les valeurs moyennes de richesse des plots d'un hectare sont utilisées (moyenne de toutes les années). Les graphiques illustrent les médianes (lignes), les écarts interquartiles (boîtes), écarts inter-déciles (gonds), et les valeurs extrêmes (points).

Source : BIOTA AFRICA

L'approche de recherche interdisciplinaire au niveau des Observatoires de BIOTA permet l'interprétation des patrons de biodiversité concernant leurs forces motrices biotiques (par exemple les interactions biotiques, l'utilisation des terres), abiotiques (climat, sol) et leurs interdépendances. L'analyse conjointe des données du sol et de la phytodiversité a révélé une corrélation fortement positive entre la richesse spécifique à l'échelle d'1 km² et la richesse d'écotypes de sol (Figure 6, Petersen, 2008 ; Petersen et al., 2010). Cette dernière est basée sur le calcul d'un espace paramétrique qui tient compte des paramètres écologiques du sol les plus importants (la texture du sol, le pH et la conductivité électrique). Les Observatoires de BIOTA avec la richesse spécifique la plus élevée à l'échelle d'1 km² et la richesse d'écotype de sol la plus élevée étaient tous situés aux biomes du Succulent Karoo de la région à hiver sec. Il s'est avéré que l'hétérogénéité du sol à petite échelle (au sein de 1 km²) est l'un des facteurs principaux de la richesse spécifique, exceptionnellement importante dans cette zone très sèche de l'Afrique australe.

Figure 6: Régression linéaire de la richesse spécifique des plantes vasculaires (S) en fonction de la richesse des écotypes du sol (une mesure de la pédodiversité) au niveau de l'observatoire (x).



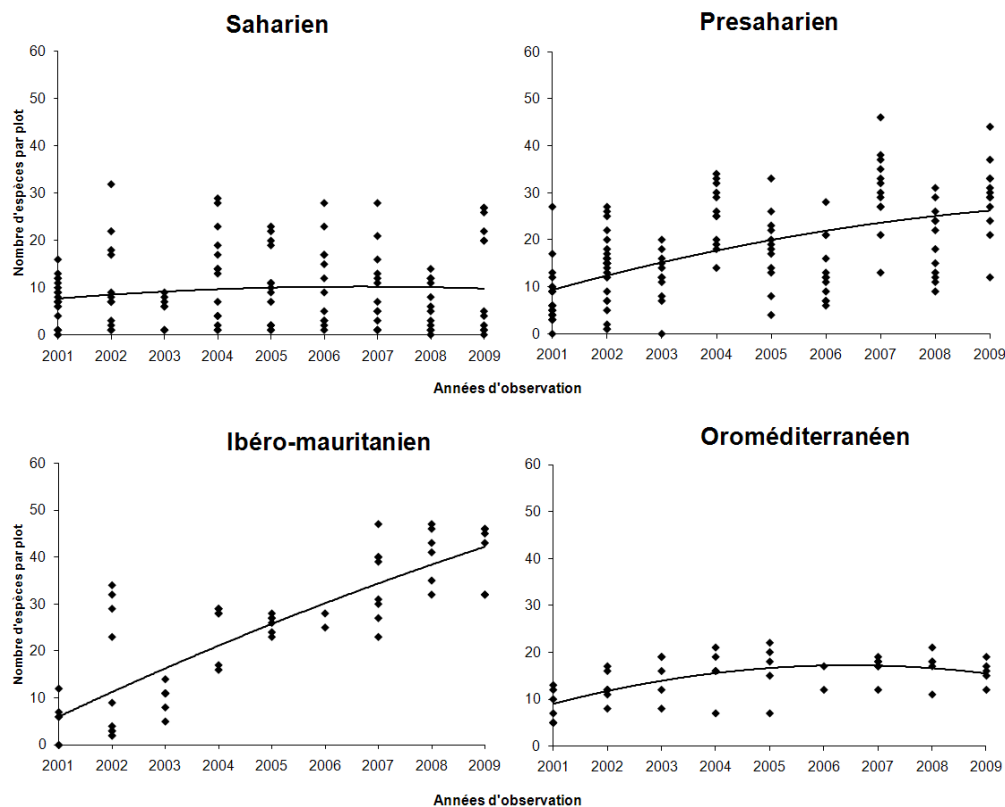
Le graphique montre la courbe de régression avec un intervalle de confiance de 95%. Les points sont marqués par les numéros des Observatoires. La régression linéaire ($S=89.9-9.5x$) était hautement significative ($p=0.003$; $r^2= 0.3616$).

Source : BIOTA AFRICA

Le nombre d'espèces sur les plots permanents de 100 m², le long du transect au sud du Maroc, montre des tendances spécifiques des écosystèmes concernant les densités d'espèces de 2001 au 2009 (figure 7). Les plots ont été groupés selon les cinq principaux types d'habitat de point de vue climatique et édaphique. Les densités d'espèces sur 100 m² fluctuent sur les parcelles sahariennes comme réponse aux précipitations de la saison. Les densités des espèces dans les écosystèmes semi-désertiques présahariens et les steppes ibéro-mauritaniennes ont augmenté progressivement le long de la période d'observation. La densité des espèces des écosystèmes semi-arides Oroméditerranéens a augmenté dans les premières cinq années puis elle est restée constante. L'augmentation progressive des densités des espèces dans les plots allant du Présaharien à l'Ibéro-Mauritanien peut être liée à la séquence des années relativement humides pendant les périodes d'observation qui ont suivi la

sécheresse prononcée à la fin des années 1990. Les écosystèmes semi-arides de haute montagne, dominés par les espèces pérennes et moins touchés par la sécheresse, ont nécessité moins de temps pour retourner à leur composition floristique d'origine.

Figure 7 : Les changements de la richesse spécifique sur les plots permanents le long du transect au sud du Maroc de 2001 à 2009, d'accord aux biomes Saharien (EMY, JHB, EMY), Présaharien (ARG, TRL, BSK), Ibéro-Mauritanien (TAO, IMS) et Oroméditerranéen (TIC, TZT).



Source : BIOTA AFRICA

2. Impact de l'utilisation des terres le long des transects de BIOTA

Le pâturage n'a pas d'effet sur la densité d'espèces contrairement à ce qu'on avait prévu. Pourtant, si on observe les abondances des espèces pérennes le long du transect en 2009 (Figure 8), on trouve des différences importantes après huit ans de mise en défens :

- Sur les sites sahariens de moins de 100 mm de précipitations, nous n'avons pas trouvé de différences significatives dans le nombre d'individus ni dans la composition des espèces végétales pérennes entre les plots pâturés et non pâturés.
- Dans les sites Présahariens et Ibéro-Mauritaniens avec 100 à 300 mm de précipitations annuelles, on a trouvé une augmentation moyenne de 2 à 4 individus

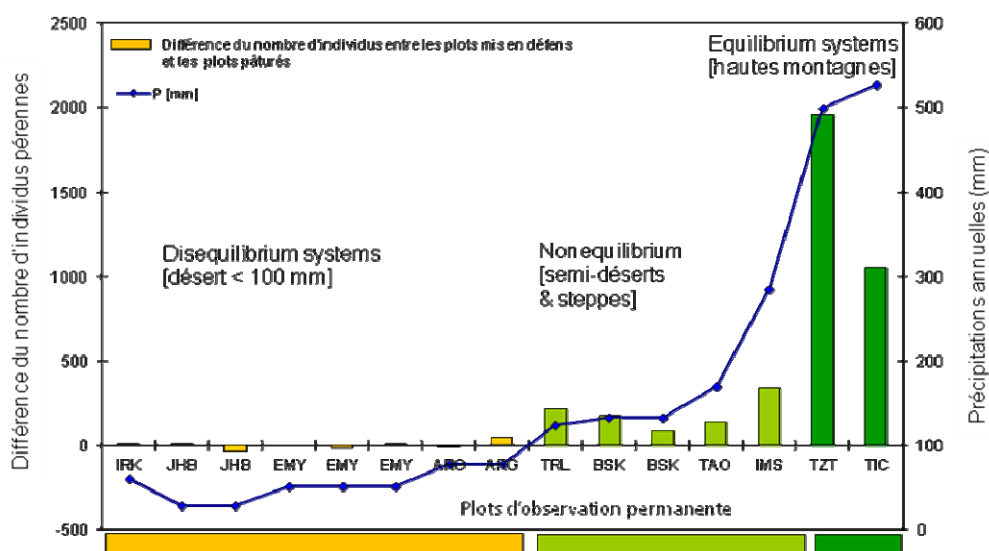
pérennes par mètre carré et des changements importants dans la composition des espèces dans les plots mis en défens (Finckh et Goldbach, 2010).

- Les sites Oroméditerranéens avec plus de 300 mm de précipitations montrent une augmentation importante et continue dans le nombre d'individus et pas de changements floristiques.

Cela signifie que les systèmes arides de déséquilibre (*disequilibrium system*, à moins de 100 mm, voir Gillson et Hoffman, 2007) sont plutôt résilients contre les processus de désertification causés par l'utilisation des terres. Les systèmes arides de non équilibre (*non-equilibrium systems*, à plus de 100 mm) changent en composition floristique, c'est-à-dire en qualité du système, plutôt qu'en termes de productivité et d'abondance des espèces. Ces changements qualitatifs affectent fortement les patrons spatiaux de la végétation.

Les systèmes d'équilibre semi-arides (*equilibrium systems*, à plus de 300 mm) répondent considérablement aux expérimentations de mise en défens. En termes de structures des populations des plantes (plutôt qu'en termes de composition floristique), ils apparaissent fortement dégradés par les intensités de pâturage actuelles. Cependant, 9 années d'observation constituent une période brève pour le suivi de la végétation dans les zones arides et dans les écosystèmes de haute montagne. Ces études des changements floristiques et des populations sont toujours en cours.

Figure 8 : Différence dans le nombre d'individus de plantes pérennes entre les plots mis en défens et les plots pâturés après 8 ans de mise en défens (état en 2009).



Source : BIOTA AFRICA

Les transects de BIOTA AFRICA montrent que la surveillance standardisée, combinée avec les expérimentations de mise en défens aide à étalonner des systèmes naturels et à analyser leurs dynamiques. Un financement continu pour une surveillance de biodiversité à long terme est d'une nécessité urgente pour établir des séries fiables de données d'observation à long terme pour les principaux biomes et types d'habitats en Afrique.

Conclusions et perspectives

Les transects de BIOTA assurent les conditions suivantes pour un réseau de surveillance globale de la biodiversité : (i) ils sont standardisés et en même temps flexibles ; (ii) ils sont conçus pour l'échantillonnage à plus d'une échelle spatiale avec des options de passage aux échelles inférieures ou supérieures; (iii) ils se concentrent sur des séries chronologiques; (iv) ils sont adéquats pour des approches interdisciplinaires ; (v) ils sont applicables dans tous les types de biomes ; et (vi) la grande accessibilité au logiciel BIOTABase facilite le traitement des données des séries chronologiques provenant des plots imbriqués des Observatoires de Biodiversité.

L'applicabilité de l'approche des transects de BIOTA avec des observatoires et des sites expérimentaux a été testée et éprouvée tout au long des neuf années à travers une large gamme de différents biomes sur le continent Africain. De nombreux résultats de cet échantillonnage standardisé sur les Observatoires de Biodiversité en Afrique ont été déjà publiés (Jürgens et al., 2010 ; Finckh et Goldbach, 2010), avec de nombreuses analyses en progrès.

Les transects existants de BIOTA fournissent des informations importantes sur les patrons spatiaux et les changements de la biodiversité au niveau des différentes échelles spatiales – et par conséquent comblent les lacunes critiques en information de base. Les Observatoires de BIOTA en Afrique ont été mis en œuvre et surveillés par une équipe de chercheurs Africains et Allemands. En se basant sur nos expériences, nous encourageons la continuation et l'extension des transects d'observation permanente de BIOTA en Afrique. Un réseau continental d'observatoires standardisés qui fournit des informations empiriques également standardisés et spatialement explicites sur la biodiversité et les changements environnementaux, serait une contribution cruciale pour la recherche sur le changement global afin de développer des stratégies d'adaptation et de mitigation allant d'une échelle locale jusqu'à une échelle globale.

Remerciements. Le développement et la mise en œuvre des transects de BIOTA en Afrique a été financé par le Ministère Fédéral de l'Éducation et de la Recherche d'Allemagne sous les numéros de promotion de 01 LC 0601A (Maroc), et 01 LC 0024, 01 LC 0024A, 01 LC 0624A2 (Afrique australe). Nous remercions les départements provinciaux et nationaux pour la permission d'accès à et de recherche dans des aires protégées et non protégées. Les auteurs expriment leur gratitude à tous les collègues de BIOTA AFRICA dans les différents pays Africain et en Allemagne pour la discussion de l'approche méthodologique et la mise en œuvre des transects de BIOTA.

Références

- Duro D., Coops N.C., Wulder M.A., Han T. 2007.** Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing. *Progress in Physical Geography*, vol. 31, n. 3, p. 235-260.
- Falk T. 2008.** *Communal farmers' natural resource use and biodiversity preservation – A new institutional economic analysis from case studies in Namibia and South Africa.* Göttingen : Cuvillier. 280 p.
- Finckh M., Goldbach H. 2010.** Vegetation dynamics under climate stress and land use pressure in the Draa catchment. In : Speth P., Christoph M., Diekkrüger B. (eds.). *Impacts of global change on the hydrological cycle in West and Northwest Africa.* Berlin : Springer. p. 122-131.
- Finckh M., Muche G., Schmiedel U., Jürgens N. Soumis.** BIOTABase, a database software for biodiversity monitoring. *Journal of Vegetation Science*.

- Freier K.P., Schneider U.A., Finckh M. 2011.** Dynamic interactions between vegetation and land-use in arid environments: using a Markov process for modeling Moroccan rangelands under climate change. *Agriculture Ecosystems and Environment*, Mars 2011, vol. 140, n. 3-4, p. 462-472.
- Giere P., Zeller U. 2005.** Small mammal diversity and reproduction along a transect in Namibia (BIOTA S 07). In : Huber B.A., Sinclair B.J., Lampe K.-H. (eds.). *African biodiversity: molecules, organisms, ecosystems*. Berlin : Springer. p. 305-313.
- Gillson L., Hoffman M.T. 2007.** Rangeland Ecology in a Changing World. *Science*, 5 janvier 2007, vol. 315, n. 5808, p. 53-54.
- Grainger A. 2009.** Towards a new global forest science. *International Forestry Review*, vol. 11, n. 1, p. 126-133.
- Jürgens N., Schmiedel U., Hoffmann M.T. 2010.** *Biodiversity in southern Africa*. Göttingen & Windhoek : Klaus Hess Publishers. 3 vol.
- Jürgens N., Schmiedel U., Haarmeyer D.H., Dengler J., Finckh M., Goetze D., Gröngroft A., Hahn K., Koulibaly A., Luther-Mosebach J., Muche G., Oldeland J., Petersen A., Porembski S., Rutherford M.C., Schmidt M., Sinsin B., Strohbach B.J., Thiombiano A., Wittig R., Zizka G. 2011.** The BIOTA Biodiversity Observatories in Africa - a standardized framework for large-scale environmental monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 184, n. 2, p. 655-678.
- Muche G., Hillmann T., Suwald A., Jürgens N. 2010.** Data access and availability: BIOTA Data Facility. In : Schmiedel U., Jürgens N. (eds.). *Biodiversity in southern Africa Tome 2: Patterns and processes at regional scale*. Göttingen & Windhoek : Klaus Hess Publishers. p. 337-342.
- Pereira H.M., Cooper H.D. 2006.** Towards the global monitoring of biodiversity change. *Trends in Ecology and Evolution*, Mars 2006, vol. 21, n. 3, p. 123-129.
- Petersen A., Gröngroft A., Miehlich G. 2010.** Methods to quantify the pedodiversity of 1 km² areas – results from southern African drylands. *Geoderma*, 15 Mars 2010, vol. 155, n. 3-4, p. 140-146.
- Petersen M. 2008.** *Pedodiversity of southern African drylands*. Thèse de doctorat au Département des Sciences de la Terre : Université de Hambourg. 408 p.
- Pröpper M. 2009.** *Culture and biodiversity in central Kavango, Namibia*. Berlin : Reimer. 456 p.
- Stohlgren T.J. 2007.** *Measuring plant diversity: lessons from the field*. Oxford : Oxford University Press. 390 p.
- Strohbach B.J. 2001.** Vegetation survey of Namibia. *Journal of the Scientific Society of Namibia*, n. 49, p. 1-31.
- Schulz O., Finckh M., Goldbach H. 2010.** Hydro-meteorological measurements in the Drâa catchment. In : Speth P., Chritoph M., Diekrüger B. (eds.). *Impacts of global change on the hydrological cycle in West and Northwest Africa*. Heidelberg : Springer. p. 122-131.
- Vollan B. 2009.** *Co-operation for common pool resources: an experimental perspective*. München : Verlag Dr. Hut. 231 p.
- Vollan B., Prediger S., Frölich M. 2009.** *The influence of collective property rights on grazing management in a semi-arid region* [en ligne]. Conference on "Agriculture for Development in Sub-Saharan Africa", African Economic Research Consortium (AERC) and CEGA, Berkeley (USA), Mai 2009. 27 p. (CEGA Working Paper Series, n. AfD-0913). [consulté le 10 avril 2010].
<http://www.escholarship.org/uc/item/8j9521t1>
- Walter H., Breckle S.-W. 1983.** *Ökologie der Erde. Band 1: Ökologische Grundlagen in globaler Sicht*. Stuttgart : Fischer. 238 p.

Annexe

Tableau 1. Types des données des plantes vasculaires échantillonnées au niveau des plots de différentes tailles.

Taille des plots	Présence	Recouvrement	Abondance
100 m ²	+	+	+
1 000 m ²	+	+	-
10 000 m ²	+	-	-

+ : sont les données recueillies à cette échelle. - : sont les données non recueilli à cette échelle.

Notes

¹ Pour plus de détails sur l'année de mise en œuvre, la fréquence des répétitions, et l'intensité d'échantillonnage, voir Jürgens et al., 2011