

## Lettre pigb-pmrc France n°21 - Changement global

### Au delà des chiffres : la biodiversité est le moteur du système Terre

Cette conférence a été présentée par C. Körner à : Global Environmental Change : Regional Challenges. An Earth System Science Partnership (ESSP) Open Science Conference - 09-12 November, Beijing, China

Suite à la Conférence de Rio de Janeiro, et à des articles-phares comme ceux de Lawton & May (1995), le grand public a pris conscience du fait qu'aujourd'hui la disparition de taxons, et la vitesse à laquelle ils disparaissent, constituent un désastre d'une amplitude qui normalement ne se verrait qu'à l'échelle de temps géologique (Levinton 2001, Larsen 2004). La perte de taxons est irréversible ; et plus la perte est importante plus le réservoir génétique de la planète s'appauvrit (Figure 1). Ceci a suscité l'idée très répandue qu'il y a une crise de la biodiversité

### Beyond counting: Biodiversity drives system Earth

This lecture was given by C. Körner at : Global Environmental Change : Regional Challenges. An Earth System Science Partnership (ESSP) Open Science Conference - 09-12 November, Beijing, China

Following from the conference in Rio de Janeiro and landmark articles such as those by Lawton & May (1995) the broad public became aware that the current loss of organismic taxa and the rate at which this occurs are corresponding to a disaster of geological time scale dimension (Levinton 2001, Larsen 2004). The loss of taxa is irreversible, and the more we lose the more depauperate the globe's genetic reservoir (Figure 1) becomes. This has led to a wide perception of a biodiversity crisis for its own



Figure 1 - Les écosystèmes biologiquement riches ont une valeur bien plus importante que ne l'indique le simple nombre de taxons présents.  
*Biologically rich inventories of ecosystems have a value that goes beyond the mere number of taxa present.*

basée en grande partie sur l'impératif éthique toujours d'actualité : le «droit» d'exister, le «droit» de se développer. La composante fonctionnelle de la richesse biologique (c'est-à-dire la «biodiversité») a cependant attiré beaucoup moins d'attention en dehors de la communauté scientifique.

sake, in large founded in the ever-valid ethical imperative: the "right" to exist, the "right" to thrive. The functional component of biological richness (i.e. "biodiversity") had received far less attention outside the scientific community.

### La variation dans les caractéristiques biologiques, base de l'évolution

Il n'est pas évident d'emblée que la diversité (c'est-à-dire la

### Variation of traits – the basis of evolution

It does not seem like common wisdom that diversity, i.e. variation in traits, is the essence of life. Variation within and

## Lettre pigb-pmrc France n°21 - Changement global

variation qui existe dans les caractéristiques biologiques) soit l'essence même de la vie. Et pourtant, dans un monde en perpétuel changement, l'existence de variation à l'intérieur d'un taxon ainsi que celle entre taxons est un prérequis fondamental pour la survie et le maintien des écosystèmes dans leur intégrité. L'absence de cette variation signifie déclin et absence d'avenir. L'existence de cette variation dans les caractéristiques biologiques est la base de l'évolution et donc de la vie. Mais quelle est l'amplitude de variation nécessaire ? Est-ce que certains taxons sont plus importants que d'autres ? Ici nous quittons le terrain du débat éthique autour de la biodiversité.

### Quel est l'enjeu ?

Au-delà du rôle moteur de la biodiversité dans l'évolution, au-delà aussi de sa dimension éthique, il y a trois autres domaines où la biodiversité tient une place clé qui mérite notre plus grande attention. Ce sont la culture, l'écologie et l'économie. L'homme a modelé la biosphère et contribué à la diversité génétique, empreinte que l'on peut considérer comme un patrimoine culturel au même titre que l'art et les monuments historiques : dans ce patrimoine on trouve toute l'histoire des paysages culturels traditionnels, avec leurs plantes et leurs animaux domestiques. Leur importance égale ou même dépasse celle du patrimoine matériel ou intellectuel (architecture, beaux arts, littérature, musique). Il s'agit donc non seulement d'un enjeu scientifique mais aussi d'un grand défi sociétal. Dans ce qui suit, je m'intéresserai à l'importance écologique et économique de la biodiversité, c'est-à-dire à sa contribution à la fois au fonctionnement durable de l'écosystème et à une production durable de qualité. C'est ici qu'entrent en jeu les apports de la science.

### Fonction et intégrité de l'écosystème

Le fonctionnement de l'écosystème englobe tous les processus terrestres (les cycles de la matière, tel celui de l'eau, des éléments nutritifs, et du carbone), dont l'un des résultats net est, par exemple, un certain niveau de productivité biologique. Le concept de l'intégrité de l'écosystème fait référence au maintien de structures telles que les sols et certains types fonctionnels de plantes qui sont à la source, à la fois de l'intégrité des sols et de propriétés microclimatiques ; ces dernières, toutes deux, à la fois, dépendent de l'activité microbienne et de la vie animale et les entretiennent.

Le fonctionnement de l'écosystème dépend de son intégrité même, et il est possible de maintenir les deux même quand le nombre d'organismes change (l'écosystème n'est jamais stable). En fait, le maintien à la fois du fonctionnement et de l'intégrité d'un écosystème dépend de capacité de la modification de l'inventaire biologique lorsque l'environnement (par exemple le climat) change. Pourquoi avons-nous besoin de plus d'une ou plus d'un nombre restreint d'espèces pour assurer le fonctionnement et l'intégrité d'un écosystème ?

*between organismic taxa is a central prerequisite for survival and sustained ecosystem integrity (see below) in an ever-changing world. Lack of variation means decline and "no future". Variation of traits is the foundation of evolution and, thus, life. How much variation do we need? Are certain variations (taxa) more significant than others? Here we leave the ground of the ethical biodiversity debate.*

### Why care?

*Beyond driving evolution and the ethical motive, there are three additional motives which deserve wider attention in the biodiversity debate: the cultural, the ecological and the economic significance. Humans have shaped the biosphere and left fingerprints of genetic diversity in the landscape which can be seen as a cultural heritage, similar to that of arts and historical monuments: the life inventory of traditional cultural landscapes, with domesticated plants and animals. Their standing matches or exceeds that of the material or intellectual heritage (buildings, fine art, literature, music). Not just a scientific agenda, but a broad societal challenge. In the following, I will turn to the ecological and economic significance of biodiversity, i.e. its contribution to sustainable ecosystem functioning (provision of goods and services) and sustainable, high-quality yield of desired products. This is where contributions of science come into play.*

### Ecosystem function and ecosystem integrity

*Ecosystem functioning refers to land area-based processes, i.e. the turnover of matter such as water, nutrients and carbon, one net result of which is, for instance, a certain level of biological productivity. Ecosystem integrity refers to the sustained presence of the structural inventory such as soils and certain plant functional types which engineer both soil integrity and microclimatic properties, altogether depending in and supporting microbial activity and animal life. Ecosystem functioning depends on ecosystem integrity, and both can be retained while the organismic inventory may undergo change (there is no ecosystem stability). In fact, sustained ecosystem functioning and integrity depend on a change in the biological inventory when the environment (e.g., climate) is changing. Why do we need more than one or a few species to ensure ecosystem functioning and integrity?*

### Biodiversity insures against system failure

*Steep mountain slopes, forests and rivers offer examples for the ecological significance of organismic species richness.*

### Mountains

*One quarter of the globe's land area are mountains, and 50% of mankind depend on the water they deliver*

## Lettre pigb-pmrc France n°21 - Changement global

### La biodiversité, protection contre les défaillances du système

Les pentes raides en montagne, les forêts et les rivières fournissent des exemples de l'importance écologique du maintien d'une grande richesse de variété d'espèces.

#### Montagnes

Elles représentent un quart de la superficie terrestre de la planète, et 50% des populations du monde dépendent de l'eau qu'elles fournissent à leur avant-pays. La non détérioration de leurs pentes est nécessairement liée à une couverture végétale dense et diversifiée qui retient les sols sur les pentes (Körner 2004a). La disparition d'une ou plusieurs espèces (due, par exemple, à une infection pathogène ou à des conditions environnementales extrêmes) serait fatale s'il n'y avait pas redondance d'espèces (d'autres espèces, qui, elles, seraient résistantes

*to the forelands. The integrity of their slopes is inevitably tied to a closed and diverse plant cover that retains soils on slopes (Körner 2004a). Failure of one or few species (e.g., due to a pathogene infection or extreme environmental conditions) would be fatal if there were no redundancy (other, resistant species), because soils can be lost only once, followed by complete and definite loss of ecosystem function (e.g., water retention, food production, security of downslope settlements; Figure 2).*

#### Forests

*The richer in species (more diverse) forests are, the less likely will pest infestations lead to disastrous outbreaks (Jactel et al. 2005). The worst forest calamities have been observed in monospecific stands which provide no barriers to the spreading of a pathogene (e.g., bark beetles, fungal diseases; Figure 3)*



Figure 2 - Les montagnes et leur avant-pays ne sont habitables que si leurs pentes sont stables.

*Mountains and their forelands are only inhabitable if slopes are stable.*

à cette infection). Car il suffit que les sols soient détériorés une seule fois pour que s'ensuive une perte complète et définitive des services rendus par l'écosystème (rétention d'eau, production alimentaire, sécurité des habitations en aval ; Figure 2).

#### Rivers

*The delicate trophic cascades in aquatic ecosystems may be disrupted by the absence (or addition in the case of invasions) of a single species. For instance, the removal of one*

## Lettre pigb-pmrc France n°21 - Changement global

### Forêts

Plus les forêts comportent d'espèces, moins il y a de chances pour que les infestations de nuisibles soient

out of many fish species in a tropical head water river (a ground fish, Taylor et al. 2006) caused carbon and nutrients from leaf litter to be recycled locally rather than being exported and providing particulate supply of resources to the

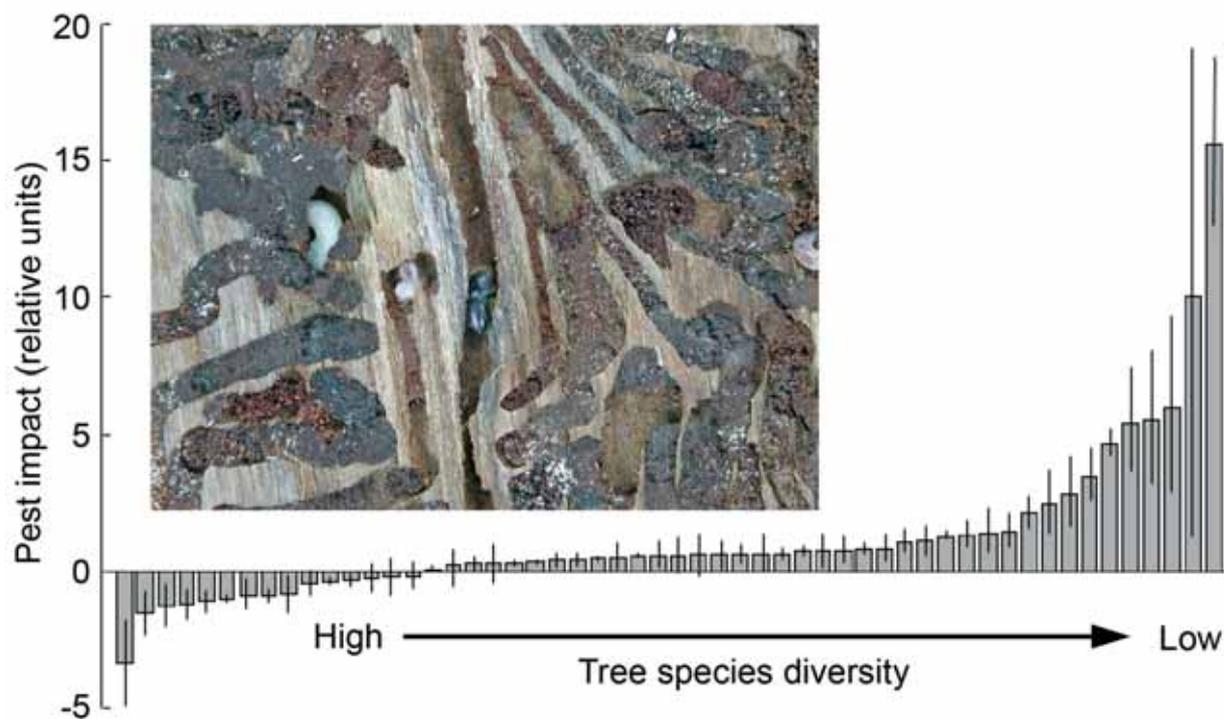


Figure 3 - Les organismes nuisibles des forêts sont plus agressifs quand la diversité est peu importante au sein de la forêt.

*Forest pests are more aggressive when diversity is low.*

désastreuses (Jactel *et al.*, 2005). Les catastrophes forestières les plus importantes sont observées dans des plantations monospécifiques, où rien n'empêche la progression d'un pathogène (par exemple, scolytes, maladies fongiques, Figure 3).

### Rivières

Les cascades trophiques, particulièrement délicates dans les écosystèmes aquatiques, peuvent être perturbées par l'absence (ou par l'arrivée, dans le cas d'invasions) d'une seule espèce. Par exemple, la disparition d'une espèce de poisson parmi de nombreuses autres, près de la source d'une rivière tropicale (Taylor *et al.* 2006), a fait que le carbone et les éléments nutritifs de la litière de feuilles sont recyclés localement, plutôt que d'être exportés sous forme de particules vers les biotes en aval (Figure 4). Ceci illustre le fait que la perte d'une espèce «clef de voûte» a déclenché une cascade de changements dans la biodiversité.

downstream biota (Figure 4). This means that the loss of one keystone species induced a cascade of biodiversity changes.

### **Biodiversity facilitates existence, ensures yield**

The presence of one or few species often facilitates the presence of other species (Figure 5). For instance, pollinators facilitate reproduction in flowering plants. Shrubs facilitate juvenile development of cacti in hot, arid environments, epiphytes depend on host trees, and certain animals depend on the water trapped by epiphytes, and so on. Even in agriculture, one crop cultivar may facilitate the growth of another one by mitigating climatic impact (e.g., *Leucena* shade trees in coffee and cocoa plantations) or by diminishing pest infestation. In rice for instance, a rice-blast sensitive cultivar that reaches high market prices (but requires a lot of fungicide to grow) performs excellently when sown in rows between a non-sensitive, low market value cultivar, as evidenced by a 3300 ha trial in 10 townships in China (Zhu *et al.* 2000).

## Lettre pigb-pmrc France n°21 - Changement global



Figure 4 - La perte d'une espèce de poisson (*Prochilodus mariae*) perturbe le flux de carbone dans une rivière tropicale.

*Loss of harvested fish species disrupts carbon flow in a tropical river.*

### La biodiversité facilite la vie, garantit le rendement

La présence d'une ou plusieurs espèces facilite souvent la présence d'autres espèces (Figure 5). Par exemple, les pollinisateurs facilitent la reproduction des plantes à fleurs ; les arbustes facilitent le développement des jeunes cactus dans des environnements chauds et arides ; les épiphytes dépendent des arbres hôtes et certains ani-

### Atmospheric change and biodiversity

*While the presence or absence of trees in general or of a top carnivore are most obvious drivers of ecosystem properties and functioning, consequences of the presence/absence of individual species in a matrix of others are often far more subtle, and influences may become obvious only under rare environmental conditions (extreme events).*



Figure 5 - Interactions positives et «facilitation» sont très courantes dans la nature. L'existence d'une espèce dépend de celle d'autres espèces.

*Positive interactions and 'facilitation' are wide spread in nature. The existence of one species depends in other species.*

## Lettre pigb-pmrc France n°21 - Changement global

maux dépendent de l'eau piégée par les épiphytes ; et ainsi de suite. Même dans l'agriculture, un cultivar peut faciliter la croissance d'un autre cultivar en atténuant l'impact du climat (par exemple, les Lecaena qui donnent de l'ombre dans les plantations de café et de cacao), ou en réduisant l'infestation par des nuisibles. Prenons par exemple un cultivar de riz qui se vend très cher mais qui est sensible à la pyriculariose et nécessite donc beaucoup de fongicide ; ce cultivar a un excellent rendement quand il est semé en rangées alternées avec un cultivar qui se vend beaucoup moins cher mais qui est résistant à la pyriculariose, comme en témoigne un test sur 3300 ha dans 10 villages en Chine (Zhu *et al.*, 2000).

### Changements atmosphériques et biodiversité

Alors que l'absence ou la présence d'arbres, ou celle d'un grand carnivore, sont les moteurs les plus évidents des caractéristiques et du fonctionnement d'un écosystème, les conséquences de la présence ou de l'absence d'une espèce particulière parmi beaucoup d'autres sont souvent beaucoup plus subtiles, et de telles influences peuvent ne se révéler que dans des conditions environnementales rares (événements extrêmes).

### Drought

*For instance, three of the most abundant European forest tree species consume equal amounts of water when conditions are humid. During an extreme drought event, these co-occurring species respond very differently, with one not, another one strongly affected (Leuzinger *et al.* 2005, Figure 6). Had there been only the sensitive species, and would such events occur more often, there would be a breakdown of ecosystem functioning as a consequence of drought, not so when the other more resistant taxa are present in the community.*

### Elevated CO<sub>2</sub> and biodiversity

*Plant species respond very differently to increased supply of CO<sub>2</sub>. The specific responsiveness of a single plant functional type, such as lianas, may drive the single largest biospheric carbon pool, the humid tropical forests, from a carbon sink to a carbon source (Körner 2004b). Such biodiversity effects of atmospheric change may thus revert projections derived from "average" CO<sub>2</sub> responses of plants extrapolated from physiological baselines (Figure 7).*

*Forest trees have also been found to exhibit differential (stomatal) adjustment of vapor loss when exposed to a CO<sub>2</sub>-enriched atmosphere. Some species save water and some*

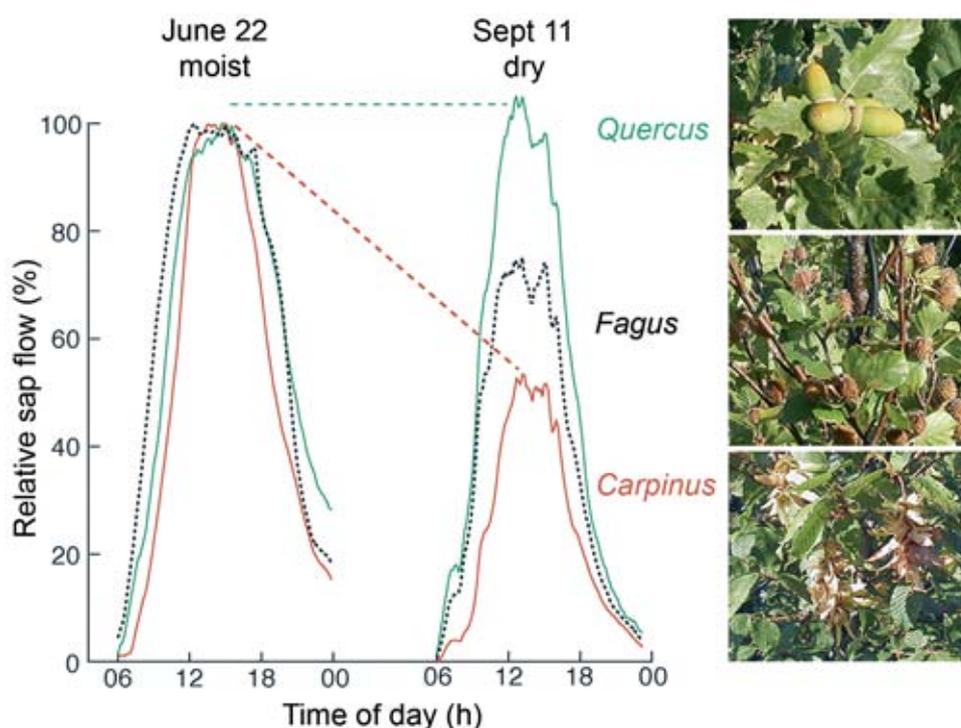


Figure 6 - Réponse du flux de sève dans des arbres à feuilles caduques à une sécheresse sévère (2003).

*Responses of stem water flow of deciduous forest trees to a severe drought (summer 2003).*

## Lettre pigb-pmrc France n°21 - Changement global

### Sécheresse

Par exemple, trois des espèces d'arbres les plus courantes dans les forêts d'Europe consomment des quantités d'eau égales dans des conditions humides. Ces espèces, co-existantes, ont des réponses différentes à une forte sécheresse : l'une est fortement touchée, une autre, pas du tout (Leuzinger *et al.*, 2005, Figure 6). Si seule existait l'espèce sensible, et si de telles sécheresses devaient se reproduire plus souvent, le fonctionnement de l'écosystème serait gravement atteint ce qui ne serait pas le cas quand les autres taxons, plus résistants, sont présents.

### CO<sub>2</sub> élevé et biodiversité

Les plantes réagissent très différemment, selon les espèces, à une augmentation de CO<sub>2</sub>. La réponse spécifique d'un seul type fonctionnel de plante, comme les lianes qui deviennent alors plus vigoureuses, peut transformer le plus important réservoir de carbone de la biosphère, les forêts tropicales humides, de puits de carbone en source de carbone (Körner 2004b). De tels effets d'un changement atmosphérique sur la biodiversité peuvent ainsi rendre caduques les prévisions dérivées de réponses « moyennes » au taux de CO<sub>2</sub>, et extrapolées à partir des bases physiologiques (Figure 7).

Il a été constaté aussi que les arbres des forêts ajustent différemment (par les stomates) leur perte de vapeur d'eau lorsque l'atmosphère est plus riche en CO<sub>2</sub>. Certaines espèces gardent l'eau, d'autres pas, d'où le fait que la présence / absence d'une espèce donnée dans un bassin hydrographique a un impact sur le volume d'eau capté (Figure 8).

### La diversité biologique a une fonction

Ces quelques exemples illustrent le fait que la diversité d'espèces, mais aussi la présence ou absence de certaines espèces, exercent une influence capitale sur le fonctionnement d'un écosystème. La variation dans les caractéristiques (de structure, de physiologie, et de défense) facilite la co-existence mais surtout, elle est le gage de l'intégrité durable du système lorsque perturbations ou événements extrêmes surviennent. La biodiversité garantit les biens et les services fournis par les écosystèmes, qu'ils soient naturels ou façonnés par l'homme, surtout dans des conditions de forçage extérieur inattendu. La biodiversité, c'est le système d'assurance de la nature.

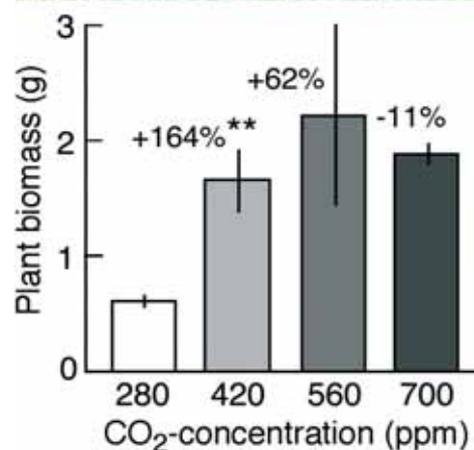


Figure 7 - Un taux élevé de CO<sub>2</sub> agit directement sur les plantes, qui réagissent différemment; les lianes tropicales, par exemple, deviennent plus vigoureuses, ce qui pourrait réduire le stockage de carbone (Körner 2004b).

*Elevated CO<sub>2</sub> acts directly on plants, exerts differential responses, e.g. causing tropical lianas to become more vigorous, potentially reducing C storage (Körner 2004b).*

*species do not. Hence, the presence or absence of a certain species in a catchment will influence impacts on catchment water yield (Figure 8).*

### Biological diversity has a function

*These few examples illustrate that the diversity of species, but also the presence or absence of certain species exert major influences on ecosystem functioning. The variation of traits, structural, physiological and defense traits, facilitate coexistence, but also ensures sustained system integrity under the influence of extreme events, including disturbances. Biodiversity secures ecosystem goods and services in both, natural and man-made ecosystems, particularly under unexpected external forcing. Biodiversity is nature's insurance system.*

## Lettre pigb-pmrc France n°21 - Changement global



Figure 8 - Une élévation du taux de CO<sub>2</sub> entraîne des réponses différentes des stomates selon les espèces. Ainsi la présence de certaines espèces d'arbres influencera différemment le volume d'eau capté dans un environnement riche en CO<sub>2</sub>.

*Species differ in their stomatal response to elevated CO<sub>2</sub>, hence the presence of certain tree species will determine effects on catchment water yield in a CO<sub>2</sub> rich world.*

### Quelques références - *some references*

Jactel H, Brockenhoff E, Duelli P (2005). A test of the biodiversity-stability theory: meta-analysis of tree species diversity effects on insect pest infestations, and re-examination of responsible factors. In: Scherer-Lorenzen M, Körner C, Schulze ED (eds) *Forest diversity and function. Temperate and boreal systems*. Ecol Studies 176. Springer, Berlin, pp 235-262

Körner C (2004a). Mountain biodiversity, its causes and function. *Ambio Special Report* 13:11-17

Körner C (2004b). Through enhanced tree dynamics carbon dioxide enrichment may cause tropical forests to lose carbon. *Philos Trans R Soc Lond Ser B-Biol Sci* 359:493-498

Larsen J (2004) *The sixth extinction*. <http://www.earth-policy.org/Updates/Update35.htm>

Lawton J, May R (1995). *Extinction rates*. Oxford University Press, Oxford.

Leuzinger S, Zotz G, Asshoff R, Körner C (2005). Responses of deciduous forest trees to severe drought in Central Europe. *Tree Physiol* 25:641-650

Levinton, JS (2001). Rates of extinction In: Levin SA (ed) *Encyclopedia of Biodiversity*, vol 2, Academic Press, New York, pp 715-729

Taylor BW, Flecker AS, Hall RO (2006). Loss of a harvested fish species disrupts carbon flow in a diverse tropical river. *Science* 313:833-836

Zhu YY, Chen HR, Fan JH, Wang YY, Li Y, Chen JB, Fan JX, Yang SS, Hu LP, Leung H, Mew TW, Teng PS, Wang ZH, Mundt CC (2000). Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718-722

**Contact** : Prof. Dr. Christian Körner  
Institute of Botany, University of Basel  
Schönbeinstrasse 6 - 4056 Basel (Switzerland)  
[ch.koerner@unibas.ch](mailto:ch.koerner@unibas.ch)