

# Inventaire de la biodiversité

N. Hautekèete

Bât SN2 119

[www.univ-lille1.fr/gepv](http://www.univ-lille1.fr/gepv) ressources  
pédagogiques

# Rappels : Qu'est ce que la biodiversité ?

- En **juin 1992**, 172 gouvernements ont décidé d'intervenir pour assurer le développement durable de la planète: **Conférence de Rio**
- 3 textes adoptés :
  - Action 21, plan d'action mondiale pour le développement durable,
  - la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement - droits et les responsabilités des Etats en la matière
  - principes de gestion durable des forêts à l'échelle mondiale
- 2 conventions ayant force obligatoire ont été ouvertes à la signature:
  - la Convention-cadre sur les changements climatiques
  - la **Convention sur la diversité biologique** : **fondement du développement durable**
- signées par les représentants de + de (150 puis) 189 pays

# Rappels : Qu'est ce que la biodiversité ?

- Biodiversité = diversité biologique
- Rio : *"variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes"* ([Article 2](#)).

# Rappels : Qu'est ce que la biodiversité ?

- => trois niveaux de perception :
- **Diversité génétique** ou intraspécifique : cf cours de X. Vekemans
- **Diversité écologique** : écologie des communautés, écosystèmes terrestres etc.
- **Diversité spécifique** : diversité en espèces pour une zone géographique, un habitat, etc donné. Cf cours Y. Piquot, éco comm, éco terrestres etc
  - Médias, politiques : **biodiversité spécifique globale**
    - Difficultés d'évaluation très particulières

# Rappels : Qu'est ce que la biodiversité ?

- Johannesburg 2002 = Rio +10
- Ralentir le rythme de disparition de la biodiversité d'ici 2010
- En France stopper l'érosion de la biodiversité d'ici 2010
- Parmi les dispositions : **estimation régulière de l'évolution de la biodiversité** (article 7 de la Convention sur la Diversité Biologique 1992)
  - Les Parties s'engagent : « to monitor, through sampling and other techniques, the components of biological diversity... » <http://www.biodiv.org/>

# Rappels : Qu'est ce que la biodiversité ?

- Oct 2007 : Grenelle de l'environnement
  - La France s'engage à **stopper la perte de biodiversité à l'horizon 2010.**
  - **Créer une trame verte et une trame bleue**
  - **Développer la recherche scientifique** et la diffusion des connaissances dans le domaine
  - **Faire un effort tout particulier outre-mer et en mer**
    - Mesures à suivre... mais la volonté de poursuivre l'effort de Rio est affichée
    - La partie « biodiversité » du Grenelle de l'env est cependant souvent oubliée des médias...
- Rapport d'étape CE 2008 Sukhdev sur le coût des pertes de biodiversité liées au changement climatique
  - Suite au rapport du GIEC (2007) qui prévoit augmentation des t° de 1,1 à 6,4°C => 20 à 30 % des espèces menacées d'extinction
  - **coût égal à 7% du PIB mondial d'ici 2030**

# Combien d'espèces sur terre ?

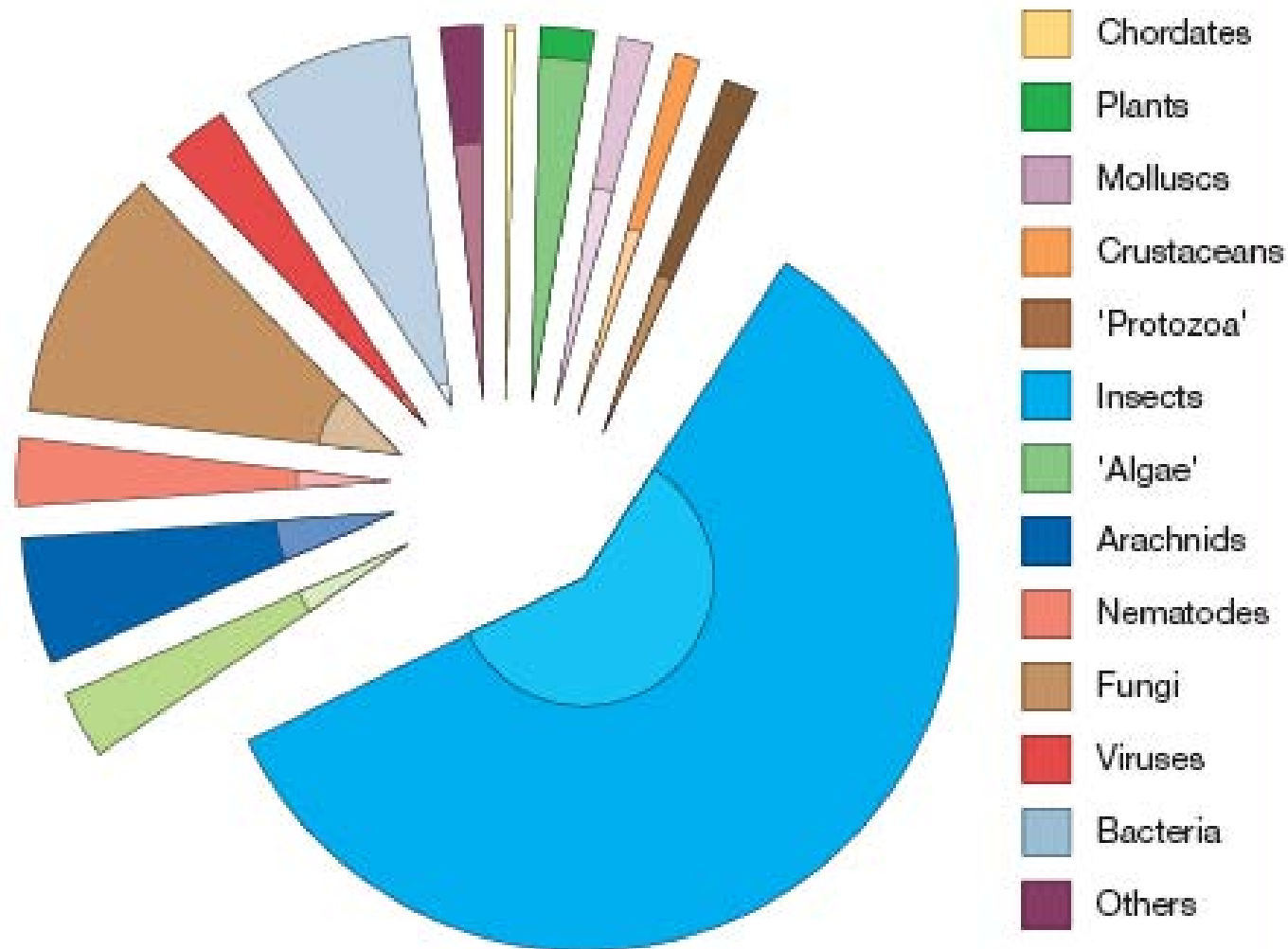
- Pour Carl Von Linné, au 18<sup>ème</sup> siècle, le monde comptait environ 67 000 espèces. Il en décrivait 9000 dans son *Systema Naturae*
- Aujourd'hui, personne ne sait exactement combien d'espèces existent sur la planète.
  - Des estimations sont possibles.

	Number of described species	Number of species evaluated in 2006	Number of threatened species in 1996/98	Number of threatened species in 2000	Number of threatened species in 2002	Number of threatened species in 2003	Number of threatened species in 2004	Number of threatened species in 2006	Number threatened in 2006, as % of species described	Number threatened in 2006, as % of species evaluated**
<b>Vertebrates</b>										
Mammals	5,416	4,856	1,096	1,130	1,137	1,130	1,101	1,093	20%	23%
Birds	9,934	9,934	1,107	1,183	1,192	1,194	1,213	1,206	12%	12%
Reptiles	8,240	664	253	296	293	293	304	341	4%	51%
Amphibians*	5,918	5,918	124	146	157	157	1,770	1,811	31%	31%
Fishes	29,300	2,914	734	752	742	750	800	1,173	4%	40%
<b>Subtotal</b>	<b>58,808</b>	<b>24,284</b>	<b>3,314</b>	<b>3,507</b>	<b>3,521</b>	<b>3,524</b>	<b>5,188</b>	<b>5,624</b>	<b>10%</b>	<b>23%</b>
<b>Invertebrates</b>										
Insects	950,000	1,192	537	555	557	553	559	623	0.07%	52%
Molluscs	70,000	2,163	920	938	939	967	974	975	1.39%	45%
Crustaceans	40,000	537	407	408	409	409	429	459	1.15%	85%
Others	130,200	86	27	27	27	30	30	44	0.03%	51%
<b>Subtotal</b>	<b>1,190,200</b>	<b>3,978</b>	<b>1,891</b>	<b>1,928</b>	<b>1,932</b>	<b>1,959</b>	<b>1,992</b>	<b>2,101</b>	<b>0.18%</b>	<b>53%</b>
<b>Plants</b>										
Mosses***	15,000	93	---	80	80	80	80	80	0.53%	86%
Ferns and allies***	13,025	212	---	---	---	111	140	139	1%	66%
Gymnosperms	980	908	142	141	142	304	305	306	31%	34%
Dicotyledons	199,350	9,538	4,929	5,099	5,202	5,768	7,025	7,086	4%	74%
Monocotyledons	59,300	1,150	257	291	290	511	771	779	1%	68%
<b>Subtotal</b>	<b>287,655</b>	<b>11,901</b>	<b>5,328</b>	<b>5,611</b>	<b>5,714</b>	<b>6,774</b>	<b>8,321</b>	<b>8,390</b>	<b>3%</b>	<b>70%</b>
<b>Others</b>										
Lichens	10,000	2	---	---	---	2	2	2	0.02%	100%
Mushrooms	16,000	1	---	---	---	---	---	1	0.01%	100%
<b>Subtotal</b>	<b>26,000</b>	<b>3</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0.01%</b>	<b>100%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,562,663</b>	<b>40,168</b>	<b>10,533</b>	<b>11,046</b>	<b>11,167</b>	<b>12,259</b>	<b>15,503</b>	<b>16,118</b>	<b>1%</b>	<b>40%</b>



# Combien d'espèces sur terre ?

- Une certaine précision mais encore des difficultés à compiler les données :
  - 100 000 mollusques connus ?
    - (Peeters and Van Goethem 2003)
- Un total de 1.7 à 2 millions d'espèces décrites

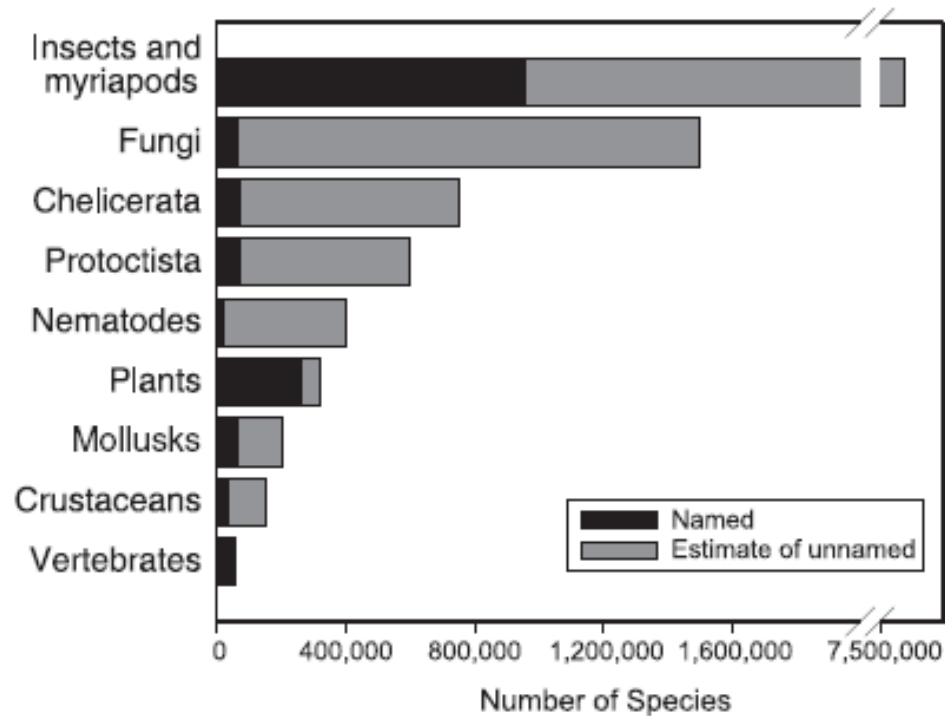


**Figure 4** Species richness in major groups of organisms. The main 'pie' shows the species estimated to exist in each group; the hatched area within each slice shows the proportion that have been formally described. Data from ref. 7.

nombre approximatif d'espèces dans chaque  
groupe : répertoriés vs estimés

		Nombre d'espèces décrites	Nombre d'espèces estimées	% d'espèces inconnues
Virus		4 000	400 000	99
Bactéries		4 000	1 000 000	99
Champignons		72 000	1 500 000	95
Protozoaires		40 000	200 000	80
Algues		40 000	400 000	90
Plantes		270 000	320 000	16
Nématodes		25 000	400 000	94
Crustacés		40 000	150 000	73
Arachnides		75 000	750 000	90
Insectes		950 000	8 000 000	88
Mollusques		70 000	200 000	65
Vertébrés		45 000	50 000	10
Autres		115 000	250 000	54
Total		1 750 000	13 620 000	87

d'après UNEP (United Nations Environment Programme), Global Biodiversity Assessment, 1995



**Figure 4.9. Estimates of Proportions and Numbers of Named Species and Total Numbers in Groups of Eukaryote Species**  
(following Groombridge and Jenkins 2002)

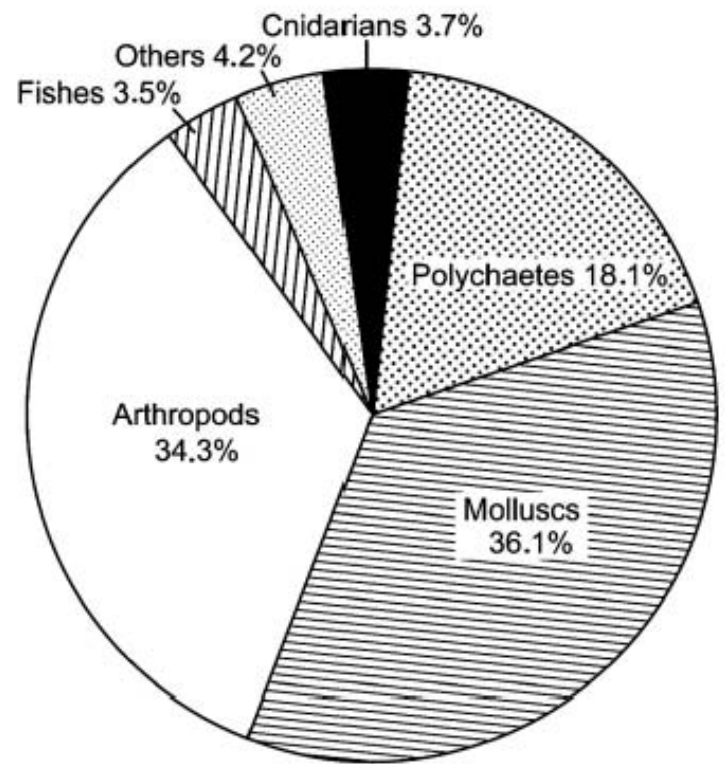
# Pourquoi seulement 10 % d'espèces répertoriées ?

- Exemples d'espèces nouvelles identifiées en 2006
  - 52 nouvelles espèces marines dans la région indonésienne de **Papouasie occidentale**
  - En février dernier, découverte d'un « **monde perdu** » dans la jungle de **Papouasie/Nouvelle-Guinée**, en Océanie : des douzaines de nouvelles espèces animales et végétales. Parmi elles, des papillons et des grenouilles, ainsi que des plantes, dont un rhododendron géant.
- Expéditions Clipperton (Pacifique, large du Mexique), Santo (Vanuatu, Mélanésie)
- => +16000 espèces/an

# Deep sea communities



Two specimens caught in the deep mid-Atlantic by scientists: *Aphyonus gelatinosus* (bottom), a fish seen only rarely in the North Atlantic, and a probable new species of anglerfish. 2004 Photographs by T. Sutton (top) & D. Shale (bottom), Institute of Marine Research



**Taux d'endémisme : 83% !**

**Figure 1.** The allocation (%) on major groups of the fauna of the deep-sea hydrothermal vents (including species also occurring in cold seeps and/or whale falls or in non-vent environments).

**Figure 1.** Contribution (%) des groupes majeurs à la faune des sources hydrothermales (y compris la faune également présente au niveau des suintements froids et/ou des carcasses de baleines ou dans des environnements non hydrothermaux).

Wolff, Cah. Biol. Mar (2005) 46 :  
97-104

Composition and endemism of  
deep sea hydrothermal vent fauna

# Pourquoi seulement 10 % d'espèces répertoriées ?

- « Loin d'être exhaustive, **la liste-mystère s'enrichit bon an mal an de 16 000 entrées**. Un rythme d'escargot. Au train où vont les choses, il faudrait plus d'un demi-millénaire pour faire le tour de la plus basse des estimations. Ainsi, on continue d'ignorer quasiment tout « *des virus, des bactéries, des protozoaires, des champignons et des parasites marins* », reconnaît Daniel Vaultot, responsable de l'équipe « Diversité du plancton océanique » à la station biologique de Roscoff. La raison principale ? « *Décrire une nouvelle espèce de phytoplancton, soit des algues unicellulaires à la base de la chaîne alimentaire des océans et d'une taille de 0,5 à 100 micromètres, occupe quasiment à plein temps une personne pendant un an. Il faut la détecter, l'observer au microscope électronique, analyser sa composition pigmentaire et séquencer plusieurs de ses gènes avant de pouvoir en publier la description...* », précise le chercheur. Pour ne rien arranger, le **savoir accumulé est éparpillé** dans des milliers de bibliothèques dont la plupart ne communiquent pas entre elles. Mais patience : un portail Internet comme GBIF (Global Biodiversity Information Facility) mettra à la disposition des taxonomistes, d'ici à 2011, une source d'accès unique aux données aujourd'hui disponibles sur les espèces, de leurs noms aux séquences d'ADN. »
- <http://www2.cnrs.fr/presse/journal/2884.htm>



# Pourquoi seulement 10 % d'espèces répertoriées ? résumé

- Diversité excessivement importante de certains groupes : nécessite un gros effort d'échantillonnage
- Nombre de spécialistes par groupe inversement proportionnel à la diversité de ces groupes. Il existe des organismes chez lesquels de très larges groupes taxonomiques sont encore à décrire. Savoir éparpillé surtout chez certains groupes.
- Certains groupes délicats à observer et décrire :
  - -1- coûteux à observer car difficilement accessibles : la faune des fonds océaniques, les micro-algues de la banquise...
  - -2- ne présentant pas de caractères morphologiques permettant de les distinguer facilement => nécessitant entre autres 1 approche moléculaire : champignons et bactéries du sol, phytoplancton etc.
  - -3- groupes d'espèces demeurant dans des régions peu étudiées : la diversité des forêts équatoriales d'Amérique du sud, de Centre Afrique, du Sud est Asiatique est encore très mal connue –ce sont des régions peu accessibles ou peu visitées (socio-politique) ***"Il y a davantage d'espèces dans un hectare de forêt à Bornéo que dans toute la Sibérie"***, Ph. Bouchet, systématicien au MNHN

# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

	Nombre d'espèces décrites	Nombre d'espèces estimées	% d'espèces inconnues
Virus	4 000	400 000	99
Bactéries	4 000	1 000 000	99
Champignons	72 000	1 500 000	95
Protozoaires	40 000	200 000	80
Algues	40 000	400 000	90
Plantes	270 000	320 000	16
Nématodes	25 000	400 000	94
Crustacés	40 000	150 000	73
Arachnides	75 000	750 000	90
Insectes	950 000	8 000 000	88
Mollusques	70 000	200 000	65
Vertébrés	45 000	50 000	10
Autres	115 000	250 000	54
Total	1 750 000	13 620 000	87

Paramètres ?

# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

- Se repérer à un groupe très connu
- Par ex : Jusqu'aux années 50, le nombre d'espèces sur Terre a été estimé à 1,4-6 millions.
  - On estime qu'au moins 98% des oiseaux ont été découverts.
  - 2 ou 3 fois plus d'espèces tropicales d'oiseaux que tempérées.
  - Pour les autres organismes la plupart des espèces décrites (1,4 millions) vivent dans les pays tempérés. Si 2 ou 3 fois plus d'espèces tropicales que tempérées : 2,8-4,2 millions => espèces totales estimées = 4,2-5,6 millions.
    - Raven 1983
- 67 Lépidoptères parmi les 22000 insectes GB, or on estime connaître très bien le groupe (17500 sp décrites) => 4.9–6.6 millions d'Insectes au total

# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

- Structure de la chaîne alimentaire
  - K. Gaston : rassemblé les données sur un grand nombre d'associations plantes insectes (taille, lieu...):
    - En moyenne une 10aine d'espèces d'insectes associée à chaque espèce de plante
      - Si nb plantes = 270 000, K. Gaston estime le nombre d'espèces d'insectes à 3 millions

# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

- D. Hawksworth 1991 : en GB il y aurait **6 fois plus de champignons que de plantes**.
  - Si ce ratio marche partout,  $270\,000(\text{plantes}) * 6 = 1,6$  millions de champignons. 72 000 espèces décrites => restent 1,5 espèces.
- chaque espèce d'arthropode et de plante est parasitée par au moins une espèce de nématode, une sp de protozoaire, une sp de bactérie et un virus qui leur seraient spécialisés
  - => nb d'sp décrites\*5 = **25 à 100 millions d'espèces**
    - Les estimations qui supposent que les microorganismes sont sous estimés dépassent les 30 millions d'espèces au total

# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

- Extrapoler un ratio d'espèces inconnues/connues sur un échantillon
  - Hodkinson and Casson (1991) ont extrapolé le % d'hémiptères non décrits (63%) dans un échantillon de Sulawesi à tous les Insectes (env 900000 connus) : total de env 2 millions sp ?

# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

- Erwin (1983) : pulvérisation insecticide dans la canopée de 19 arbres (*Luehea seemannii*) au Panama sur trois saisons => 1.100 espèces de coléoptères
- Erwin : Combien d'insectes tropicaux ?
  - 800 espèces seraient herbivores, dont 20% =160 espèces de coléoptères sont hôte-spécifiques ?
  - Coléoptères = 40% de toutes les espèces connues d'arthropodes ;
  - $160 \times 100/40 = 400$  espèces d'arthropodes hôte spécifiques par espèce d'arbre
  - Les espèces de la canopée représenteraient les 2/3 seulement des espèces spécialistes de chaque espèce (racines etc), soient 600 espèces par espèce d'arbre
  - Le nombre estimé total d'espèces des arbres tropicaux est 50.000.
  - => le nombre total d'espèces tropicales d'arthropodes est estimé à  $600 \times 50.000 = 30$  millions.

- Très spéculatif, recalculé

Primack. Essentials of conservation biology  
Le Guyader. May. L'évolution  
Biodiversity assessment UNEP

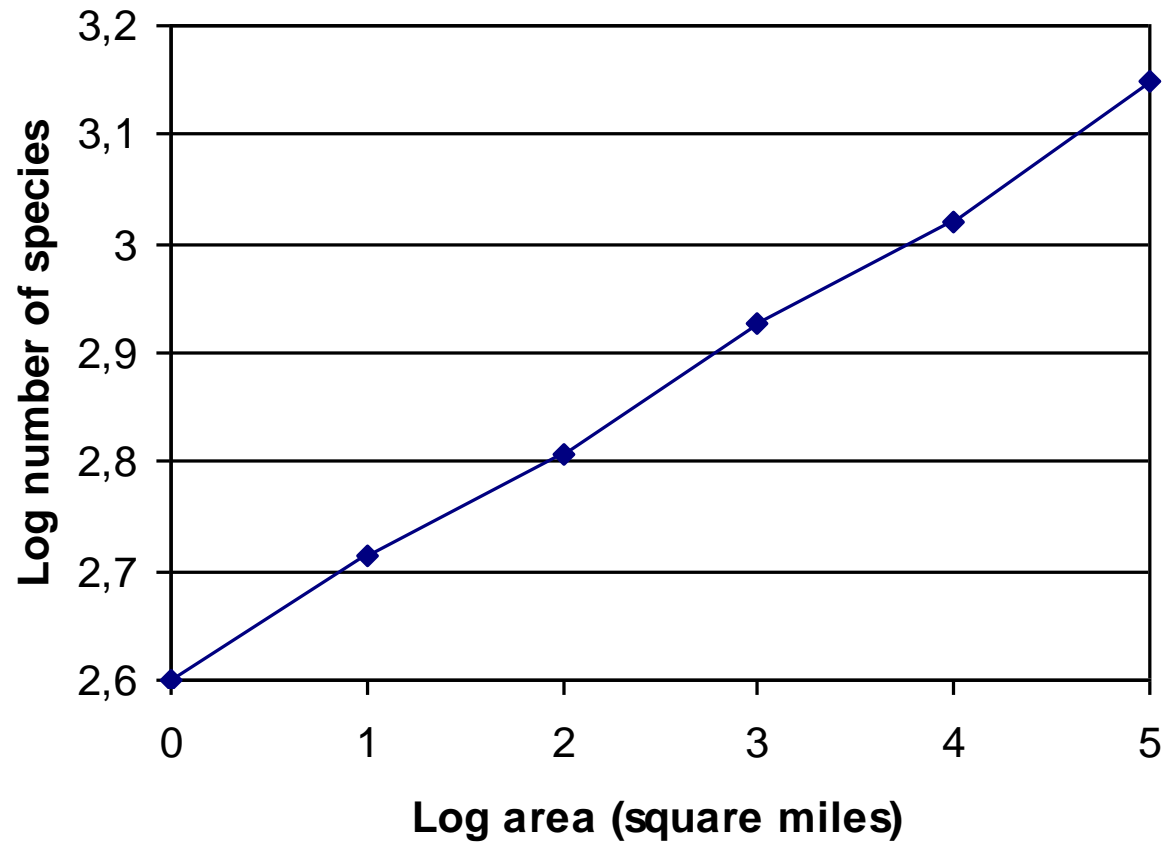
# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

## Lois de répartition des espèces

- **Relation  
aire espèces**

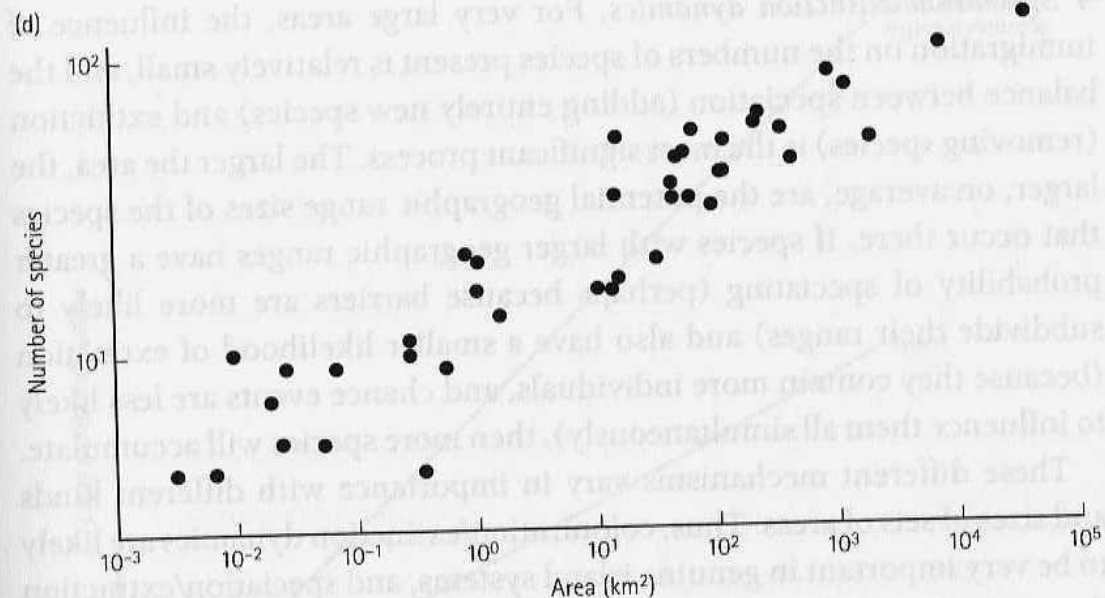
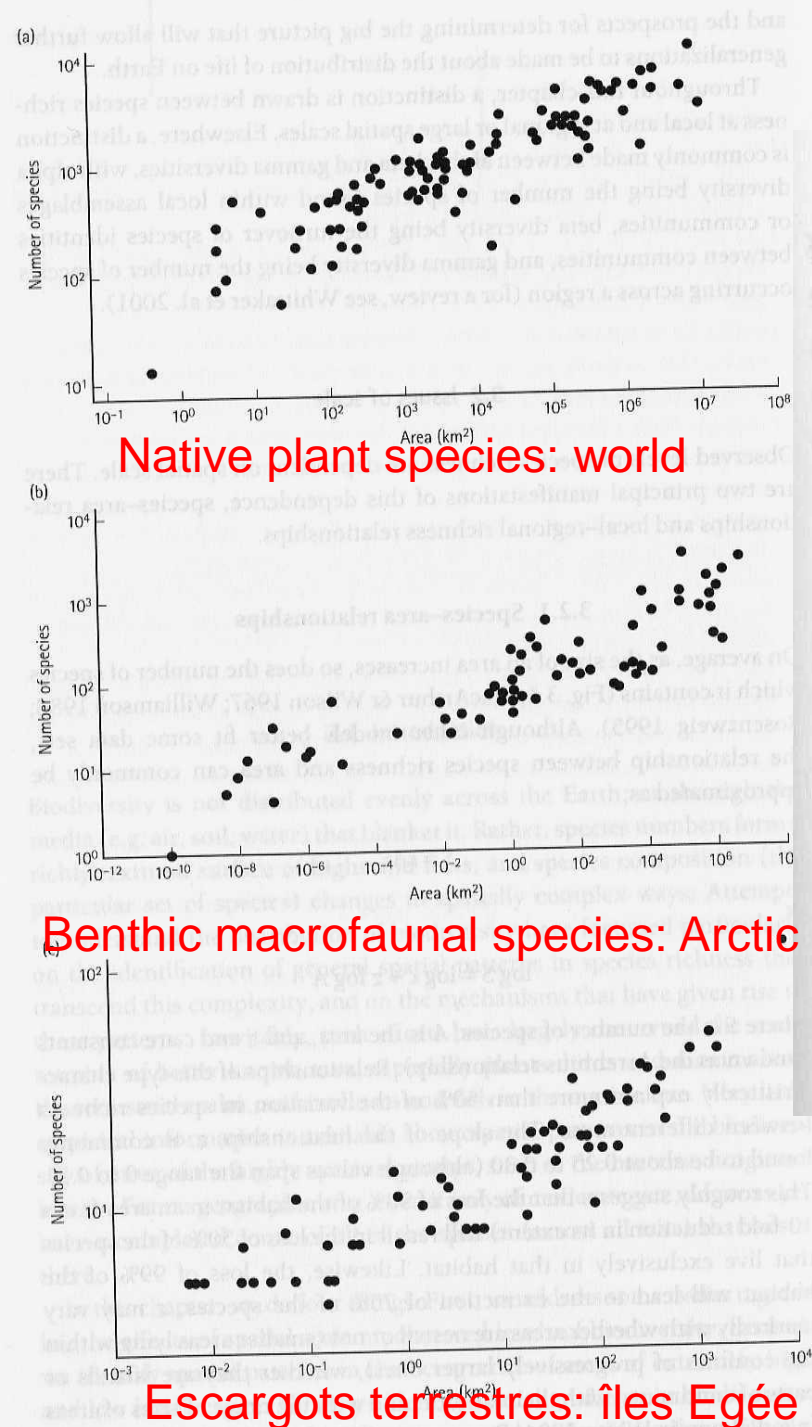
$$S = cA^z$$

$$\log S = \log c + \log A$$



**Démonstration par H.C. Watson (1859) de la loi  
espèces–surface pour la flore vasculaire britannique**  
(D'après Pounds & Puschendorf, Nature 2004)





**Fig. 3.1** Species–area relationships for: (a) native plant species at sites around the world; (b) benthic macrofaunal species in areas of the Arctic; (c) land snails on Aegean islands; and (d) birds on the Bismarck Islands. (a, From Lonsdale 1999; b, from Azovsky 2002; c, data from Welter-Schultes & Williams 1999; d, data from Mayr & Diamond 2001.)

## Relation aire espèce

Biodiversity: an introduction. Gaston & Spicer. 2004

# Relation aire espèces

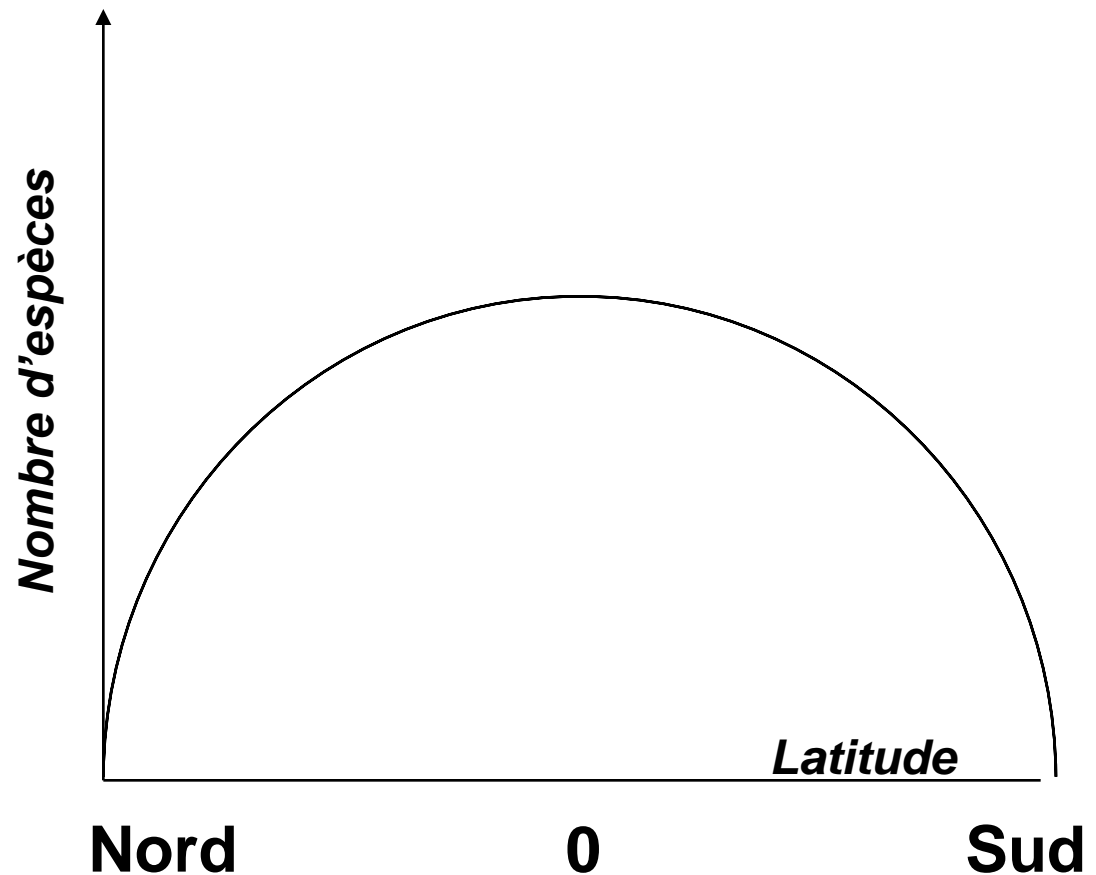
- Causes :
  - Effet statistique :
    - plus d'individus dans une plus grande surface donc plus d'espèces
  - Diversité des habitats
    - Plus d'habitats dans une plus grande surface
  - Dynamique de colonisation/extinction/spéciation
    - Une grande surface a + de chances d'être atteinte, les extinctions sont moins probables en grandes populations, la spéciation serait + probable
    - Mc Arthur & Wilson

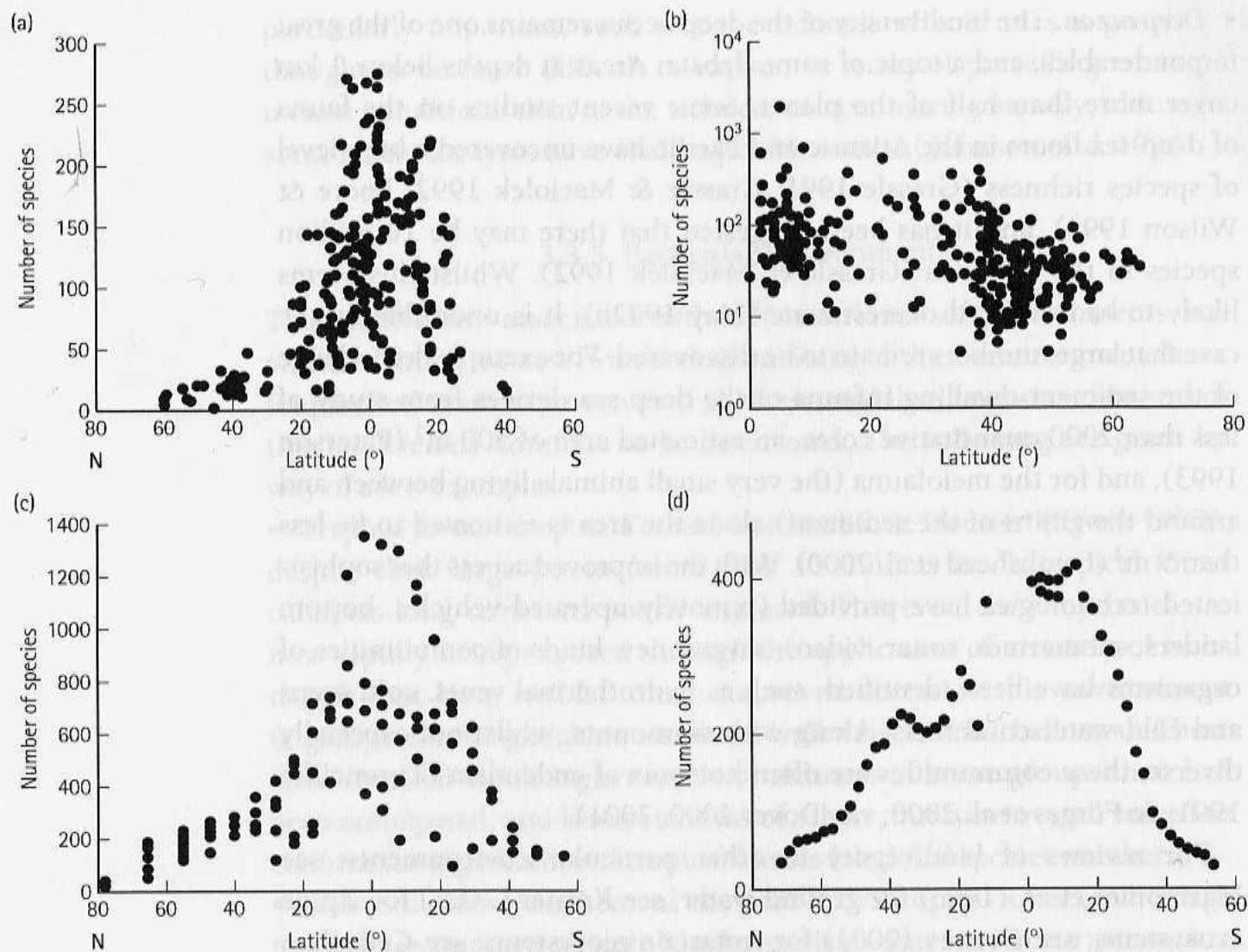
# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

## Lois de répartition des espèces

- Relation  
espèces - latitude

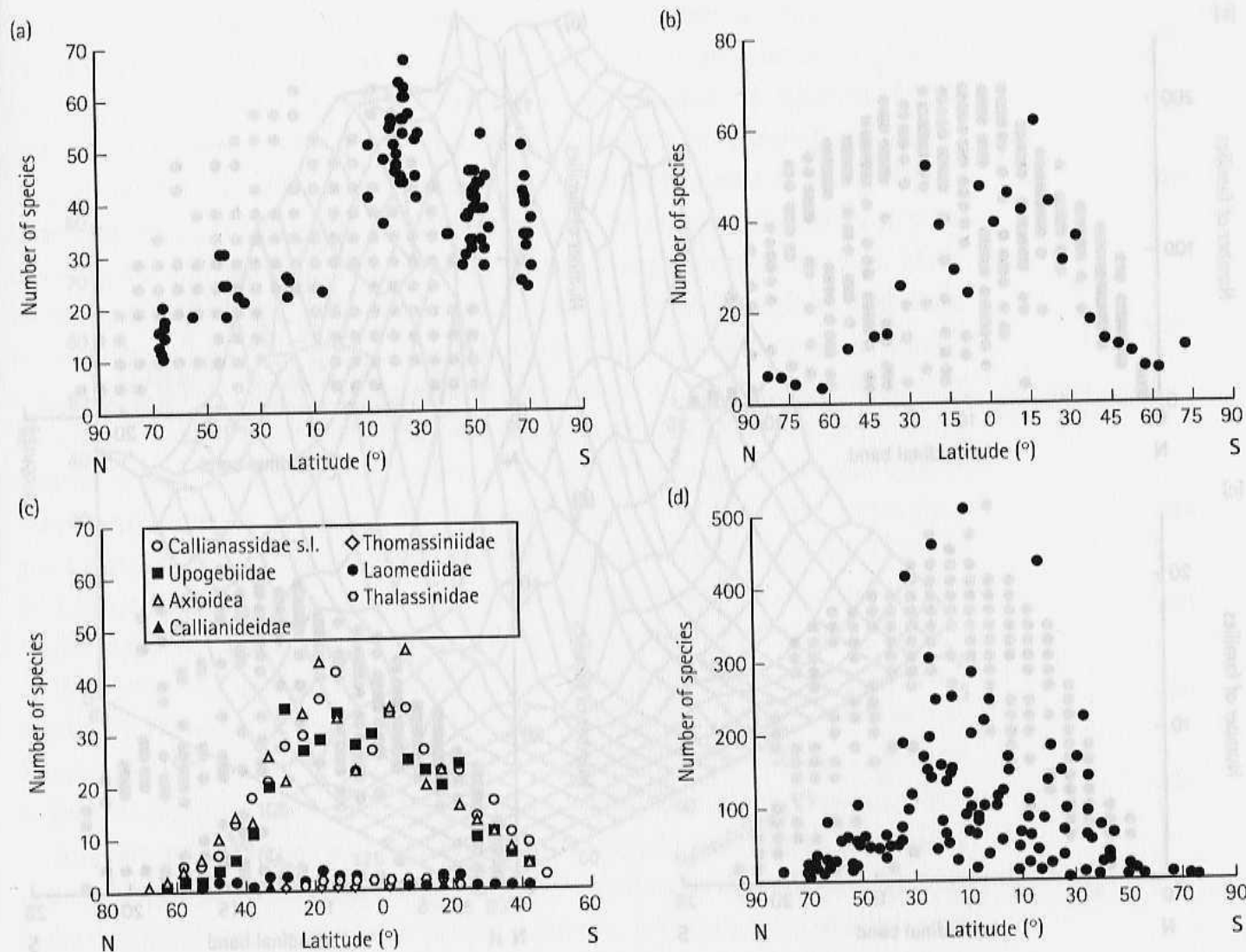
Représentation latitudinale  
de la biodiversité à  
grande échelle (Lévêque et  
Mounolou, 2001)





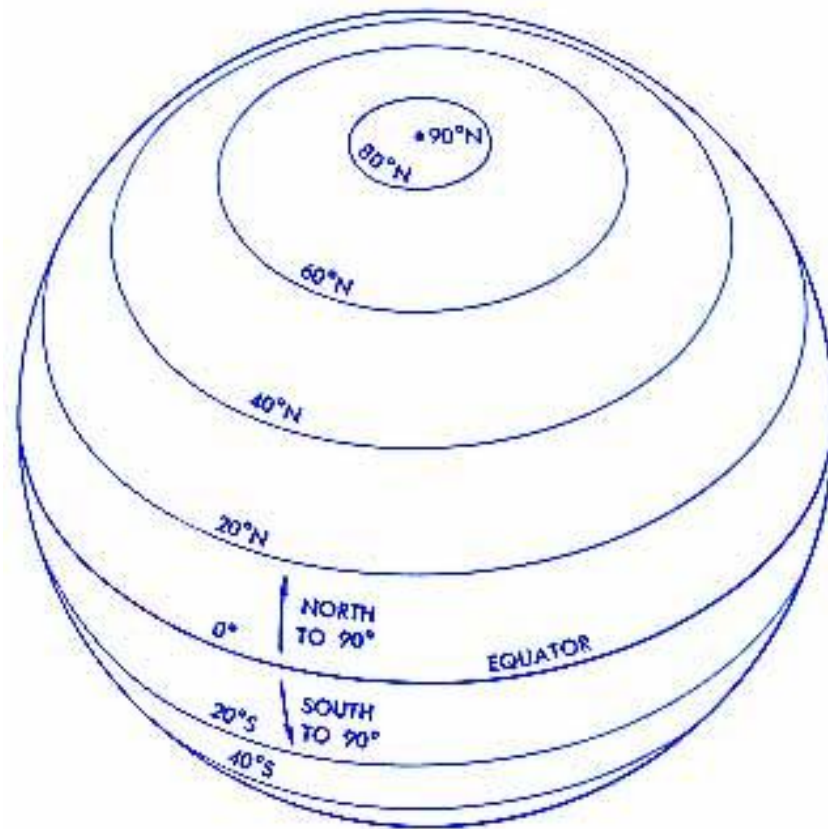
**Fig. 3.13** Variation in terrestrial/freshwater species richness with latitude for: (a) trees per 0.1 ha at sites across the Earth; (b) freshwater fish in rivers across the Earth; (c) birds across the New World (grid cells of ~ 611,000 km<sup>2</sup>); and (d) mammals across the New World (latitudinal bands of 2.5°). (a, From Enquist & Niklas 2001; b, from Oberdorff et al. 1995; c, adapted from Gaston & Blackburn 2000; d, from Kaufman & Willig 1998.)

Biodiversity:  
an  
introduction.  
Gaston &  
Spicer. 2004



**Fig. 3.14** Variation in marine species richness with latitude for: (a) deep-sea benthic Foraminifera; (b) tintinnids (planktonic ciliates); (c) thalassinid shrimp superfamilies; and (d) marine bivalves (at different localities). (a, From Culver & Buzas 2000; b, from Dolan & Gallegos 2001; c, from Dworschak 2000; d, from Flessa & Jablonski 1995.)

Biodiversity: an introduction.  
Gaston & Spicer.  
2004



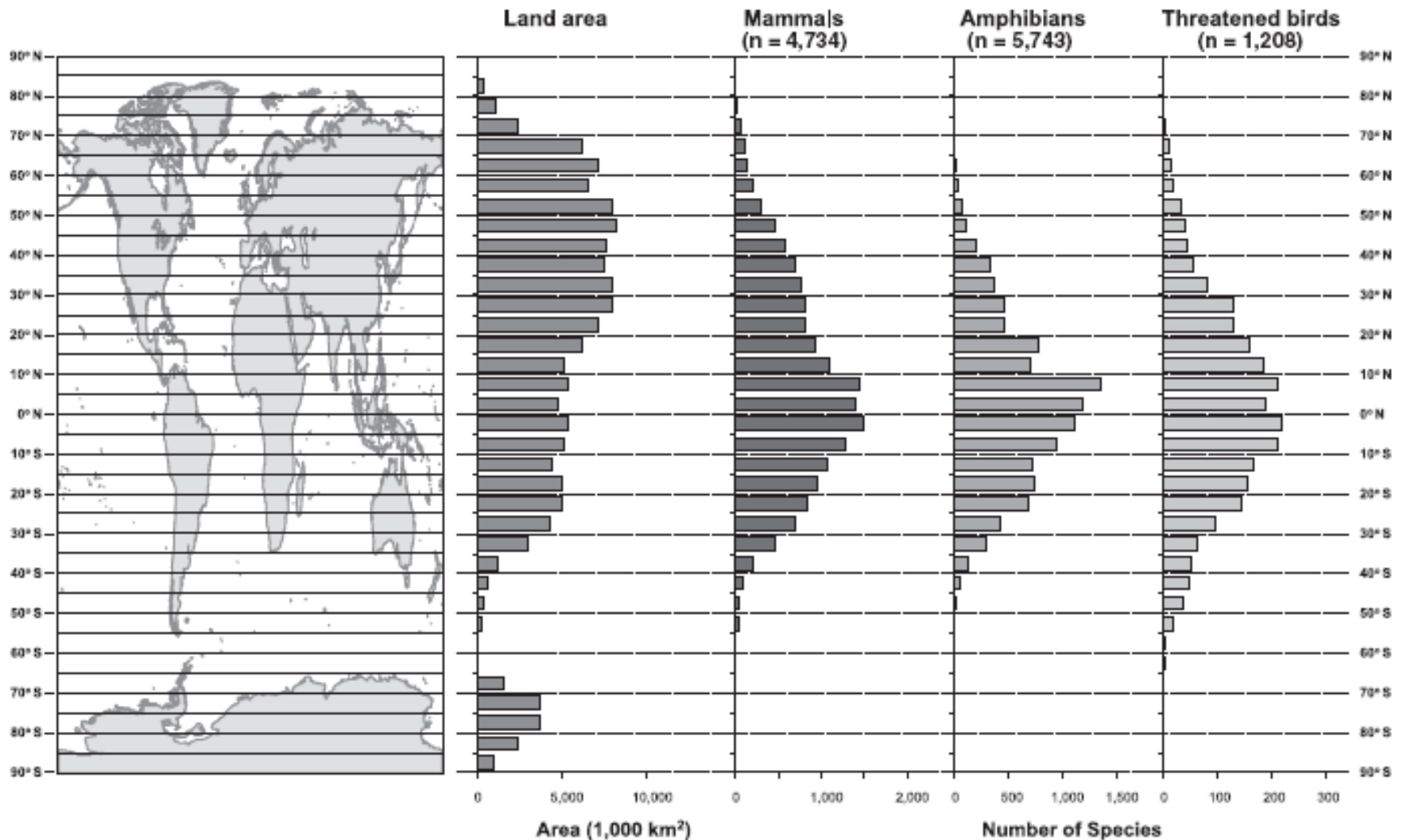


Figure 4.14. Variation in Species Richness across 5-degree Latitudinal Bands for All Mammal (Terrestrial Only), Amphibian, and Threatened Bird Species, Shown in Relation to Total Land Area per Latitudinal Band



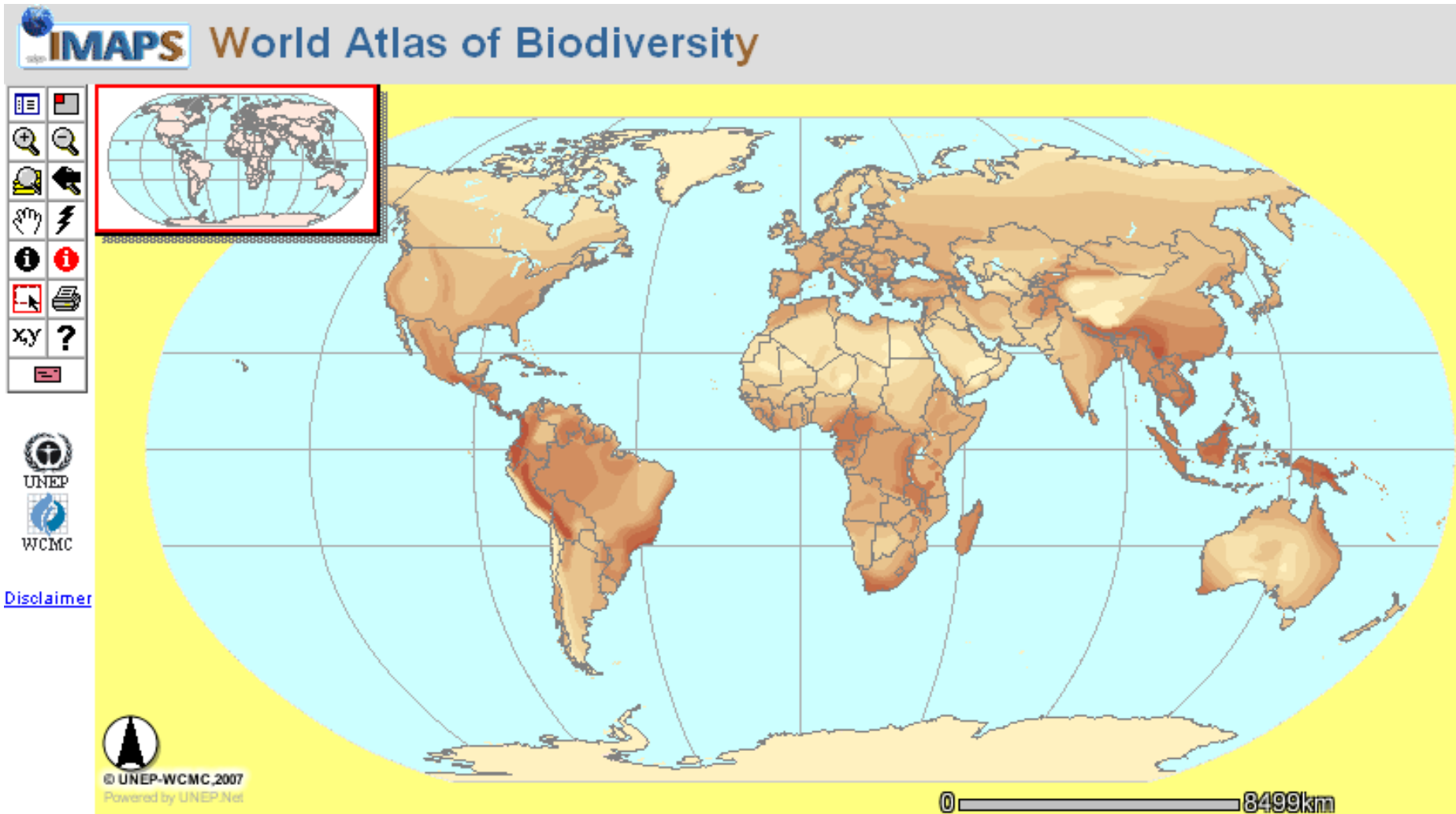
# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

Lois de répartition des espèces Relation espèces -latitude

- Parmi les multiples hypothèses proposées :
- Plus on va vers les pôles, moins les espèces peuvent migrer (si on considère le pôle comme une limite) => aires potentielles plus faibles
- Les tropiques ont une surface de climat homogène plus large que les autres zones écoclimatiques.
  - La surface entre deux latitudes décroît vers les pôles
  - Le gradient de  $t^{\circ}$  entre l'Equateur et les Pôles est non linéaire,  $\pm$  constant autour de l'équateur
  - Les latitudes faibles se rejoignent à l'équateur, doublant la surface de climat homogène en continu
- => selon certains auteurs les tropiques supporteraient des espèces à plus large répartition ce qui engendrerait de forts taux de spéciation (en supposant que de plus grandes surfaces facilitent la spéciation) et de plus faibles taux d'extinction

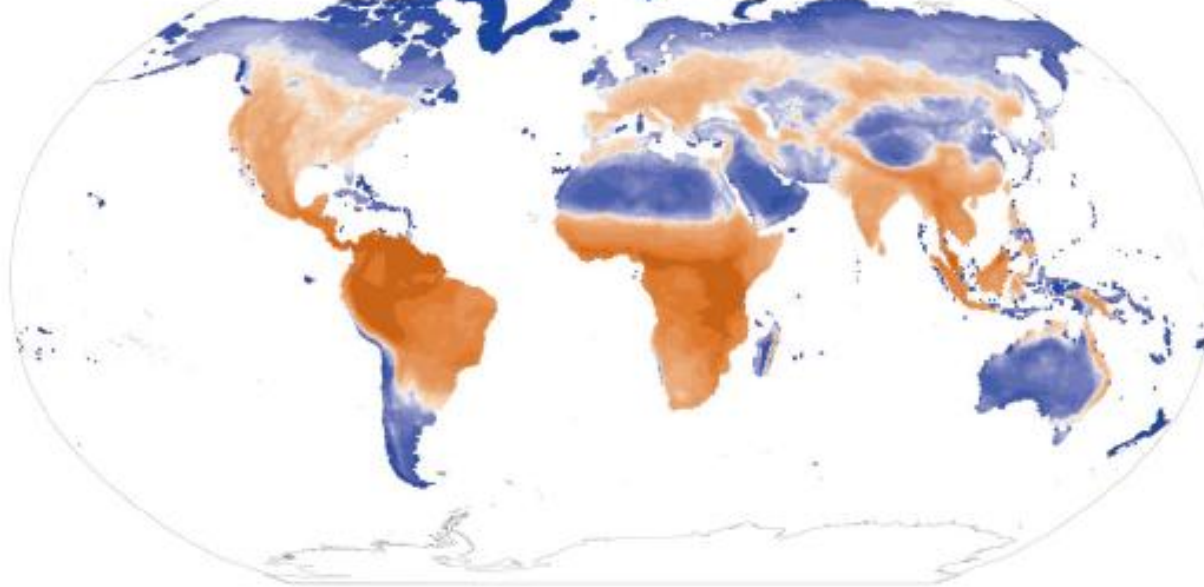


## Plantes vasculaires



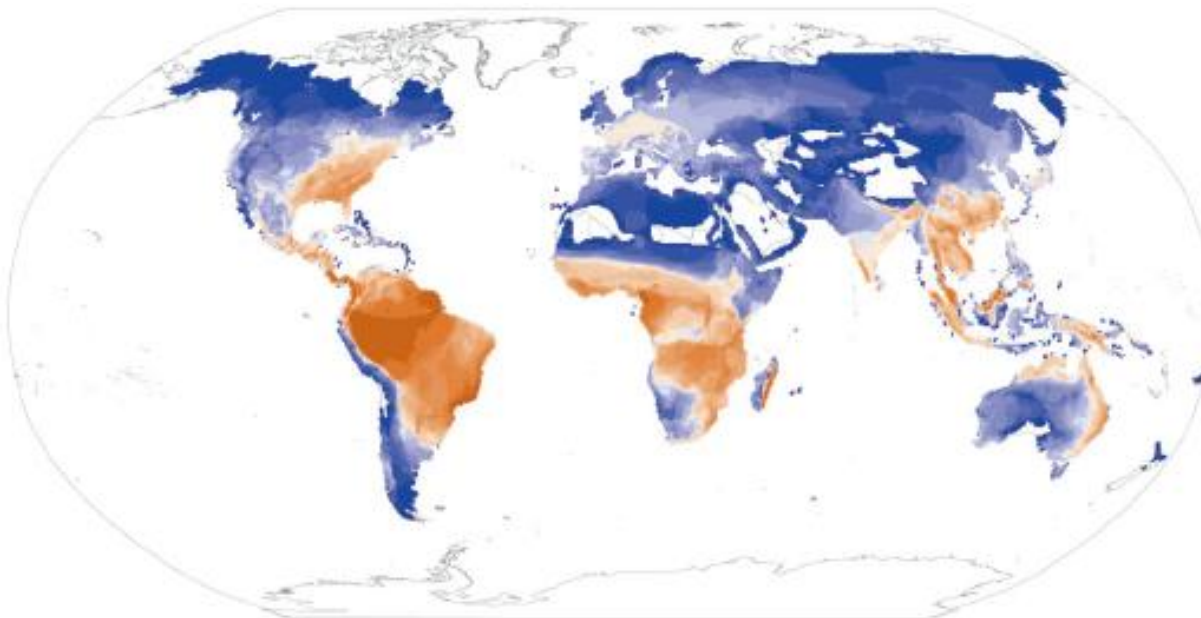
[Disclaimer](#)

<http://stort.unep-wcmc.org/imaps/gb2002/book/viewer.htm>



## Mammifères

Figure 4.10. Global Species Richness of Terrestrial Mammals per Half-degree Cell.  $N = 4,734$ . Dark orange colors correspond to higher richness, dark blue colors correspond to lower richness. Maximum richness equals 258 for mammals. Color scale based on 20 equal-area classes. (Baillie et al. 2004)



## Amphibiens

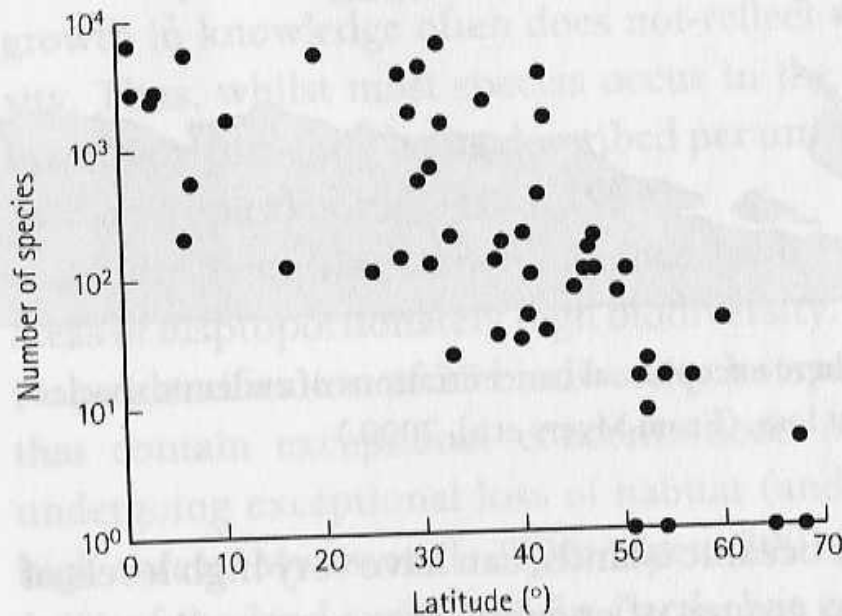
Corrélation forte et  
quelques différences

Figure 4.11 Global Species Richness of Amphibians per Half-degree Cell.  $N = 5,743$ . Dark orange colors correspond to higher richness, dark blue colors correspond to lower richness. Maximum richness equals 142 for amphibians. Color scale based on 20 equal-area classes. (Baillie et al. 2004).

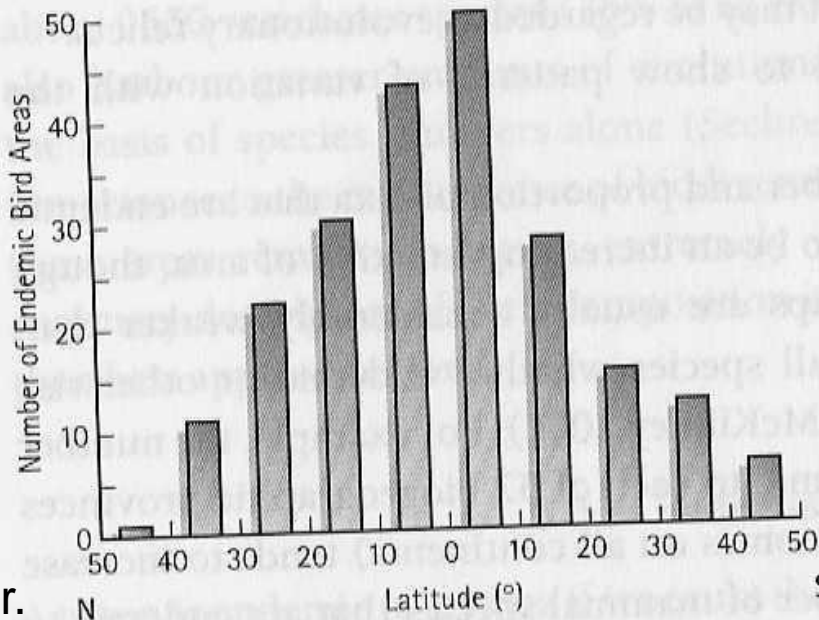
# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

## Lois de répartition des espèces

- Endémisme :
  - Conditions environnementales particulières => adaptations locales
  - Isolement par la distance/barrières (îles, montagnes)
  - Restriction historique d'habitat (changements biotiques ou abiotiques) diminuant la zone vitale d'une espèce (glaciations etc)



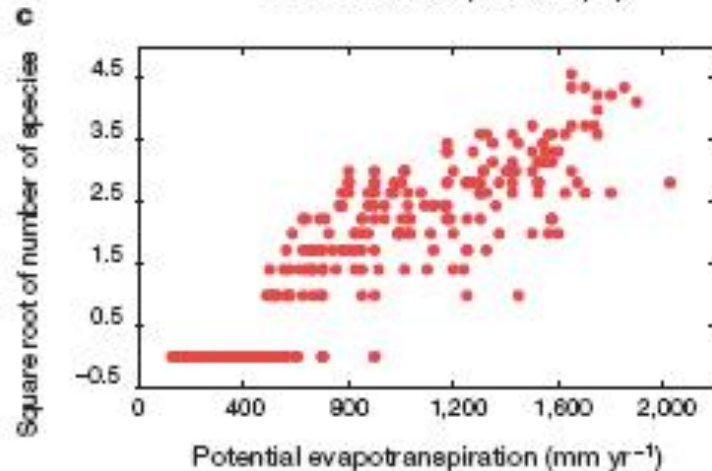
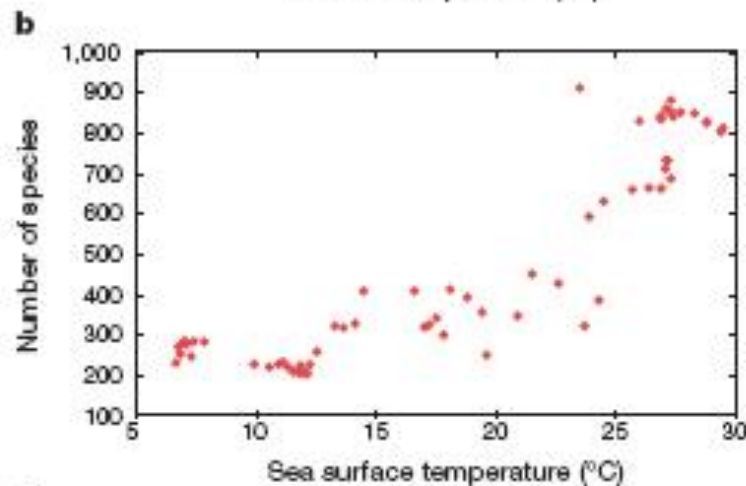
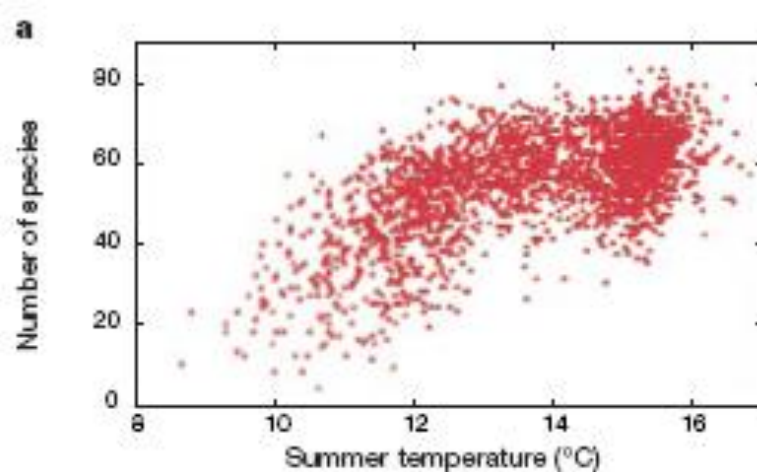
**Fig. 3.10** Relationship between number of endemic species and latitude for plants in regions on continental land masses. (From Cowling & Samways 1995.)



**Fig. 3.11** Latitudinal distribution of Endemic Bird Areas (areas supporting two or more species with geographic ranges of  $< 50,000 \text{ km}^2$ ). (From Stattersfield et al. 1998.)

Biodiversity: an introduction.  
Gaston & Spicer.  
2004

## Relation espèces -énergie



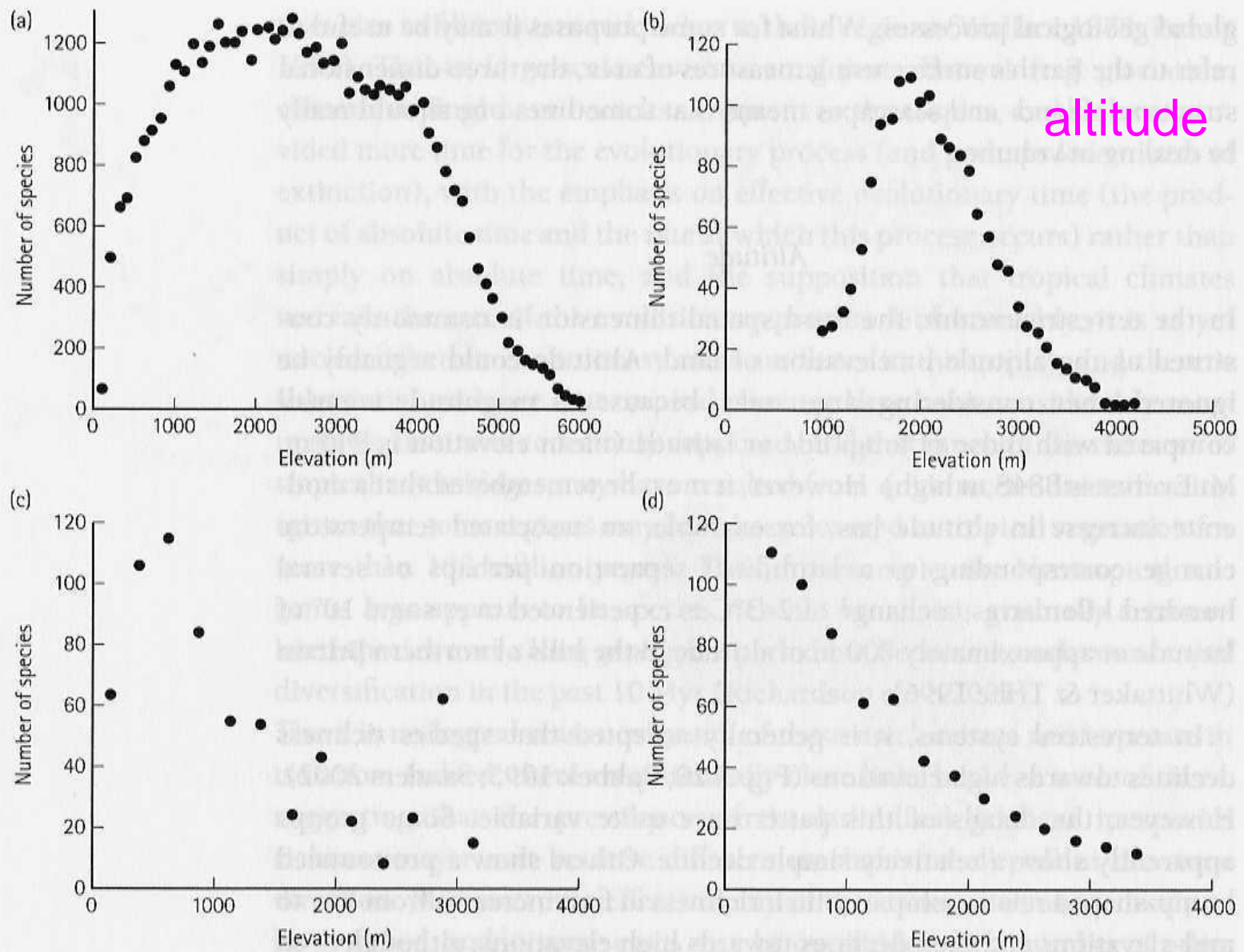
**Figure 2** Species–energy relationships. **a**, Mean monthly summer temperature (°C) and richness of breeding birds in Britain (grid cells of 10 km × 10 km)<sup>23</sup>. **b**, Mean annual sea surface temperature and richness of eastern Pacific marine gastropods (bands of 1° latitude)<sup>10</sup>. **c**, Potential evapotranspiration (mm yr<sup>-1</sup>) and richness of *Epicauta* beetles (Meloidae) in North America (grid cells of 2.5° × 2.5° south of 50° N, 2.5° × 5° north of 50° N)<sup>31</sup>.

# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

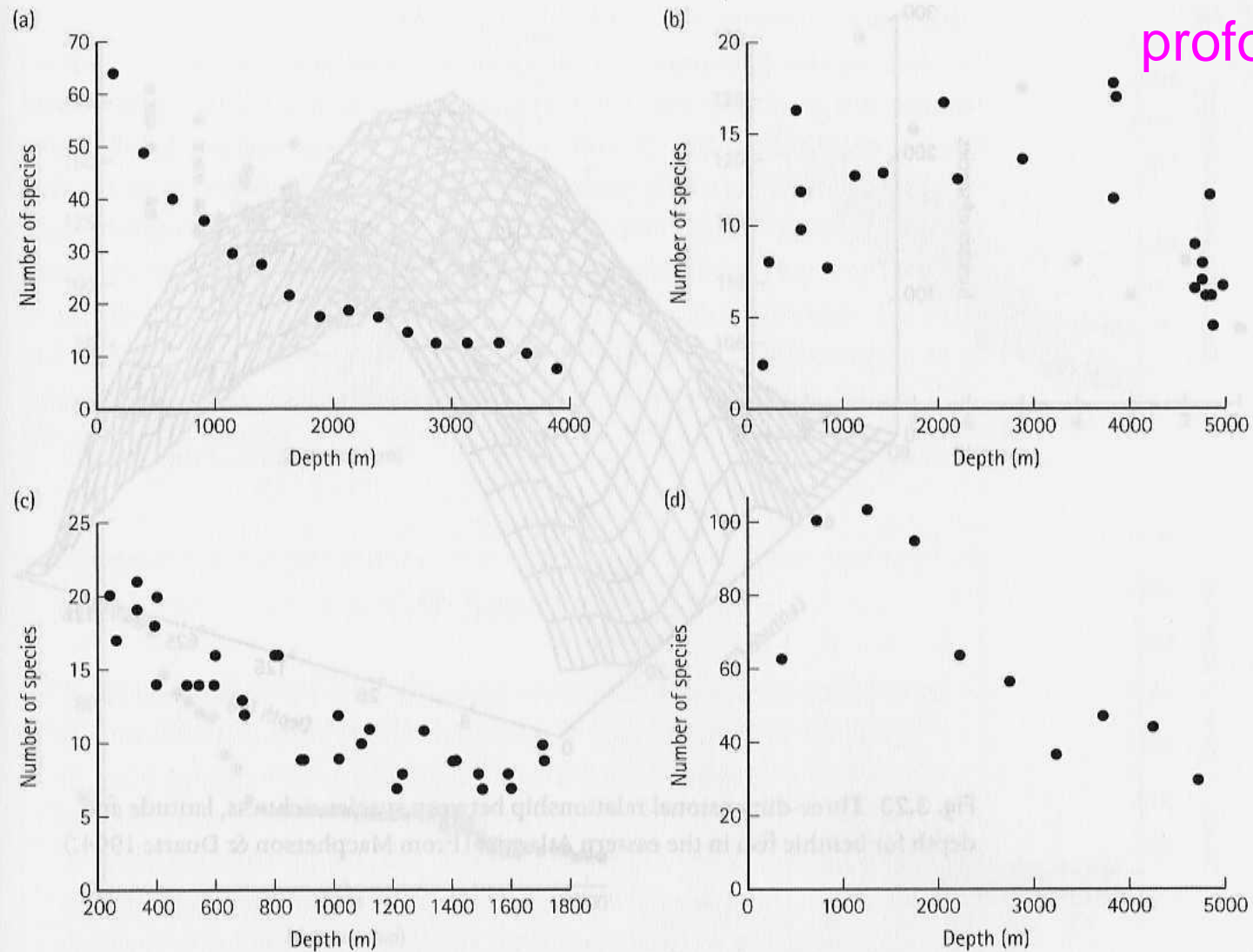
## Lois de répartition des espèces

- Relation énergie-espèces
  - Plus d'énergie/surface => capacité de charge plus élevée (+ de populations viables) et coexistence d'espèces facilitée
  - => assez similaire à la relation aire-espèce





**Fig. 3.20** Variation in number of species with elevation for: (a) flowering plants in Nepal; (b) ants in Colorado; (c) treehoppers in Colombia; and (d) bats in Manu National Park & Biosphere Reserve, Peru. (a, From Grytnes & Vetaas 2002; b, from Sanders 2002; c, data from Olmstead & Wood 1990; d, from Patterson et al. 1998.)



profondeur

**Fig. 3.22** Variation in species richness with depth for: (a) asellote isopod species in the northern seas; (b) gastropod species in the North American basin; (c) fish species on the continental slope of the Balearic Islands; and (d) megabenthos (summing fish, decapods, holothurians and asteroids) in the Porcupine Seabight region to the southwest of Eire. (a, From Svavarsson et al. 1993; b, from Rex et al. 1997; c, from Morenta et al. 1998; d, from Angel 1994b.)

Biodiversity: an introduction. Gaston & Spicer. 2004



# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

## Lois de répartition des espèces

- Altitude

- Aire diminue avec l'altitude
- Énergie disponible diminue (pression ↓ => T° ↓ de 0,6°C tous les 100m et humidité atm ↓)
- Zones plus isolées
- En altitude intermédiaire : rencontre de différentes communautés

- Profondeur

- Moins bien connu. Mêmes hypothèses que l'altitude
- + Effet de la taille des particules du sédiment ?

# Comment estimer le nombre d'espèces réellement présentes sur Terre ?

## Lois de répartition des espèces

<u>Biomes</u>	<u>Climat</u>	<u>Diversité</u>
Zone polaire	Polaire	Nulle à très faible
Toundra	Boréal	Faible
Taïga	Boréal	Faible
Steppes	Tempéré froid	Moyenne
Forêts tempérées décidues	Tempéré froid	Moyenne
Garrigue (Chaparral)	Méditerranéen	Forte
Déserts	Tropical	Faible
Forêts tropicales humides	Equatoriale	Très forte

---

**Table 4.5. Estimates of Number of Species Worldwide**

<b>Estimate</b>	<b>Reference</b>	<b>Method</b>
30 million	Erwin 1982	extrapolation from samples
3–5 million	Raven 1983	ratios known:unknown species
10–80 million	Stork 1988	extrapolation from samples
4.9–6.6 million	Stork and Gaston 1990	ratios known:unknown species
1.84–2.57 million	Hodkinson and Casson 1991	ratios known:unknown species
5 million	Hodkinson 1992	ratios known:unknown species
4–6 million	Novotny et al. 2002	extrapolation from samples

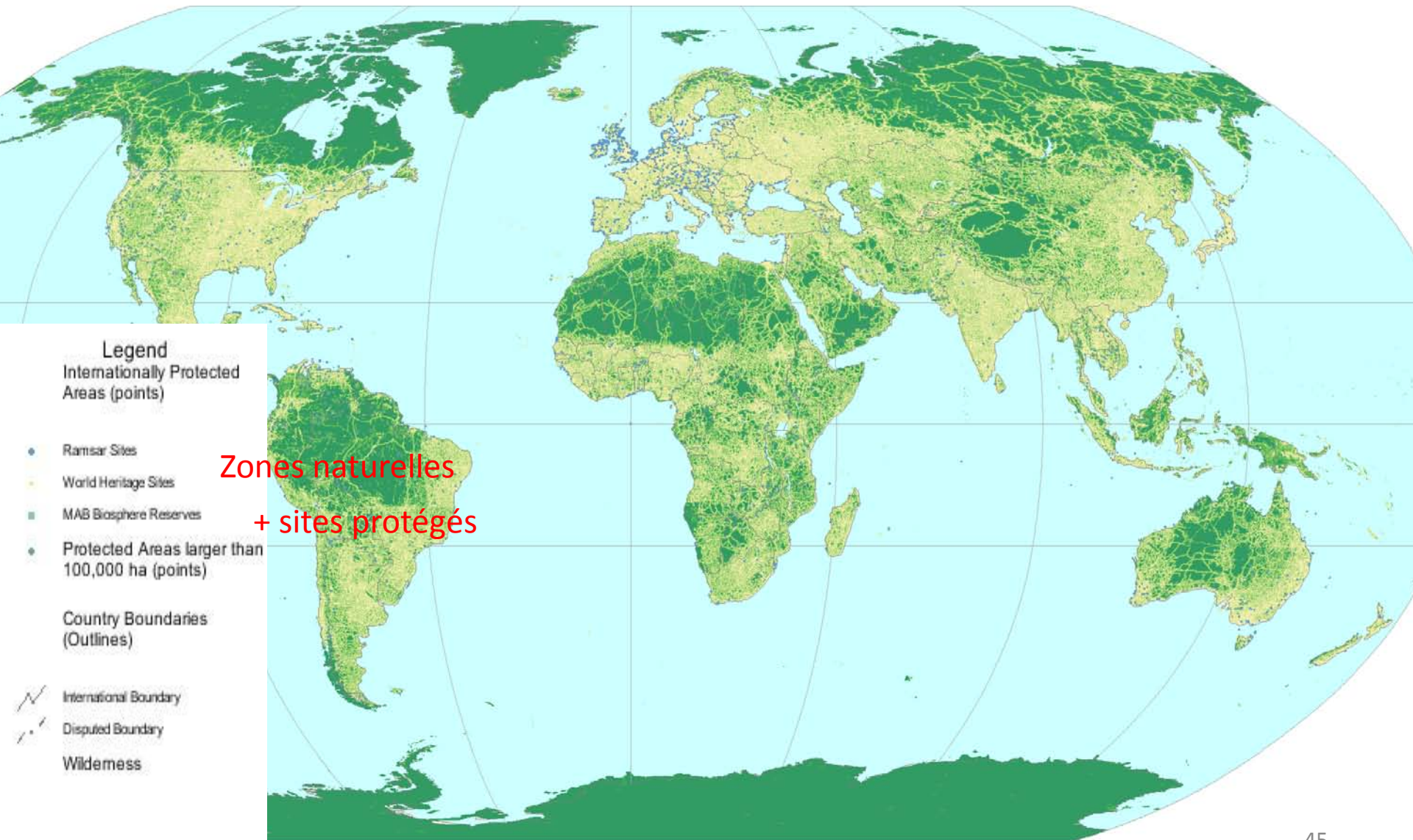
---

# Indicateurs des changements de biodiversité

- 3 niveaux de biodiversité : gènes, espèces, écosystèmes => quels indicateurs ?
- Diversité génétique :
  - Div. génétique d'espèces commerciales et agricoles ? (Sauvages ?)
- Diversité spécifique :
  - Abondance et distribution d'espèces choisies
  - Changement de statut des espèces menacées (UICN)
- Diversité des écosystèmes et écologique
  - Indicateurs de fonctionnement : fragmentation, qualité des eaux...
  - Indicateurs de menace : statut des invasions biologiques, intrants (N) ou à l'inverse surface de cultures bio, de forêts gérées, de sites protégés...
  - Étendues d'écosystèmes ou biomes choisis

## Sites protégés vs diversité ?

[www.unep-wcmc.org](http://www.unep-wcmc.org)





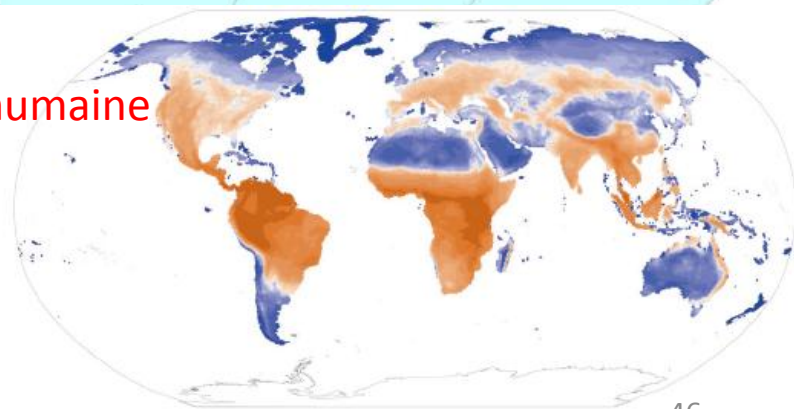
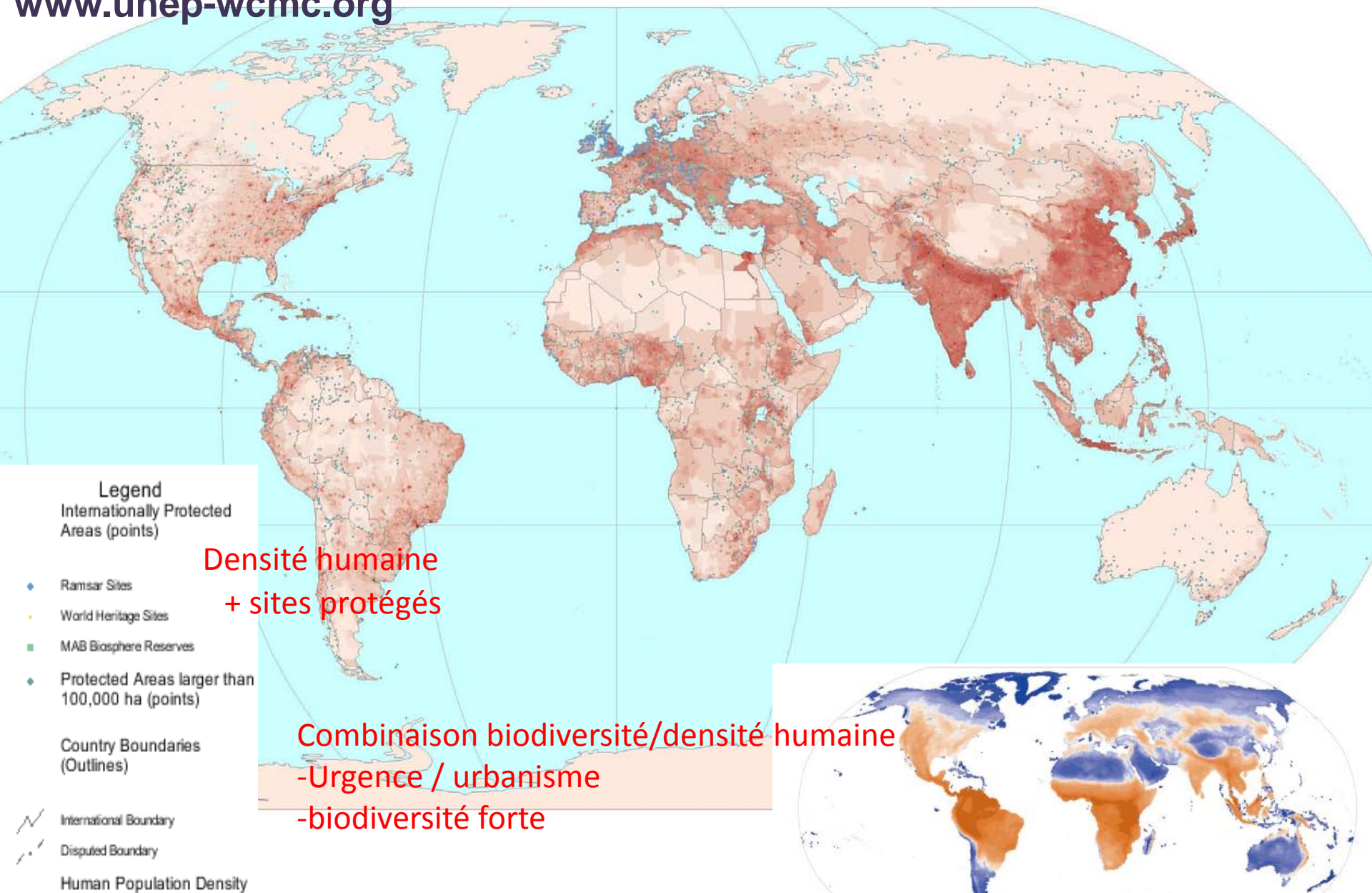


Figure 4.10. Global Species Richness of Terrestrial Mammals per Half-degree Cell. N = 4,734. Dark orange colors correspond to higher richness, dark blue colors correspond to lower richness. Maximum richness equals 258 for mammals. Color scale based on 20 equal-area classes. (Baillie et al, 2004)

# Indicateurs des changements de biodiversité

- Myers : « Dans quel endroit un dollar donné a t'il le plus d'effet pour ralentir l'extinction actuelle ? »
- Myers 1988
- Hotspot = une région qui contient au moins **1500 espèces de plantes vasculaires** (soient + de 0.5% du total mondial) **endémiques** et qui a **perdu au moins 70%** de son habitat originel

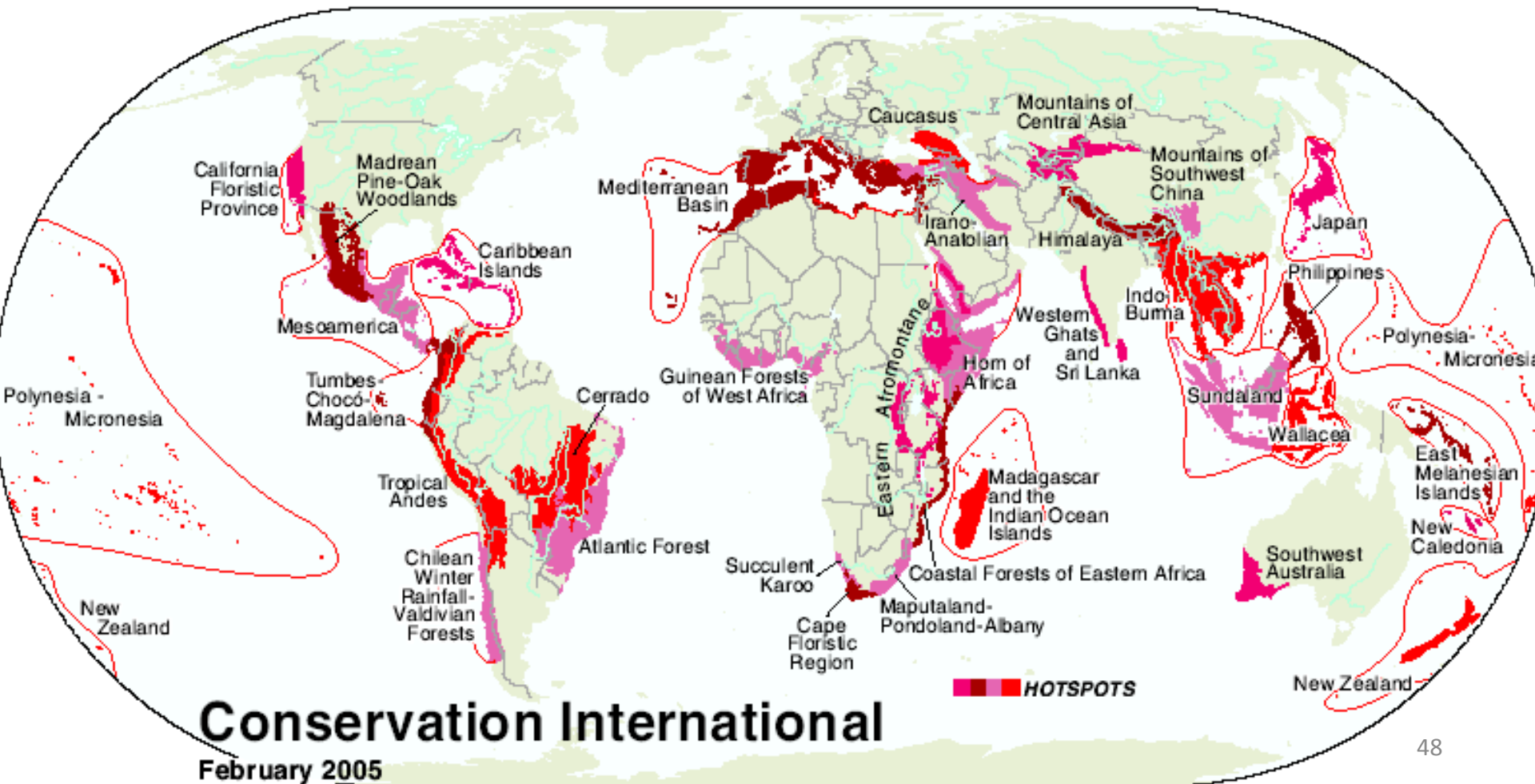
Combinaison biodiversité et perte de biodiversité

[http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/hotspots\\_defined.xml](http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/hotspots_defined.xml)

[http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/key\\_findings/endemic\\_plant\\_species.xml](http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/key_findings/endemic_plant_species.xml)

# Indicateurs des changements de biodiversité

- hotspots





# Indicateurs des changements de biodiversité

Numbers of plant and vertebrate species endemic to any hotspot(s), and occurring in one or more hotspot(s)

	Plants	Mammals	Birds	Reptiles	Amphibians	Freshwater Fishes
Total Worldwide	300 000	4 735	9 918	8 199	5 743	12 070
Endemic to One or More Hotspots	150 371*	1 573	3 482	3 711	3 222	3 418*
Percentage of All Species in Taxon	50,1	33,2	35,1	45,3	56,1	28,3
Occurring in One or More Hotspots	-	3 756	8 232	5 762	4 282	-
Percentage of All Species in Taxon	-	79,3	83,0	70,3	74,6	-

\* Unlike endemism numbers for terrestrial vertebrates, which are exact, numbers of plants and freshwater fishes endemic to one or more hotspots are underestimates, accounting only for the sum of species endemic to each individual hotspot.

[http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/hotspots\\_defined.xml](http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/hotspots_defined.xml)

[http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/key\\_findings/endemic\\_plant\\_species.xml](http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/key_findings/endemic_plant_species.xml)

# Indicateurs des changements de biodiversité

- Dans ces 25 à 34 (selon les auteurs) hotspots :
  - 70% des plantes vasculaires, 77% des vertébrés terrestres
  - Sont endémiques : 150 000 plantes vasculaires soient 44-50% des plantes mondiales et 42% des vertébrés terrestres
  - sur une surface qui est passée de 11.8% de la surface terrestre de la planète à 1.44%.
    - *Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*, Myers 1999
    - *Nature* (Myers, et al. 2000)

[http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/hotspots\\_defined.xml](http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/hotspots_defined.xml)

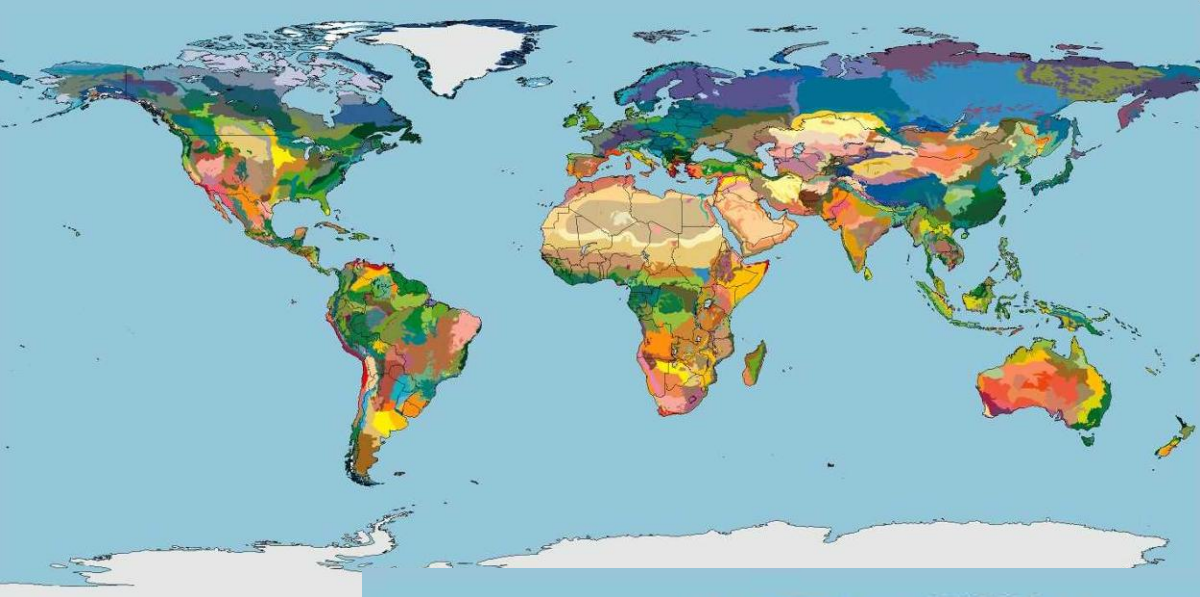
[http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/key\\_findings/endemic\\_plant\\_species.xml](http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/hotspotsScience/key_findings/endemic_plant_species.xml)

# Indicateurs des changements de biodiversité

- Autres outils de classification des écosystèmes
- Endemic Bird Area ou EBA (Birdlife)
  - superposition des aires d'oiseaux endémiques.
  - 78% de ces EBA en surface se superposent aux hotspots
  - Zones de forêt tropicale
- Holdridge Life zones (1967) et Ecorégions de Bailey (1986) : classifications basées sur des données bioclimatiques pour prédire et mesurer l'impact de la gestion et du changement climatique
- FRA Global Ecological Zones (FAO 2001) : but de suivi des ressources forestières
- ...

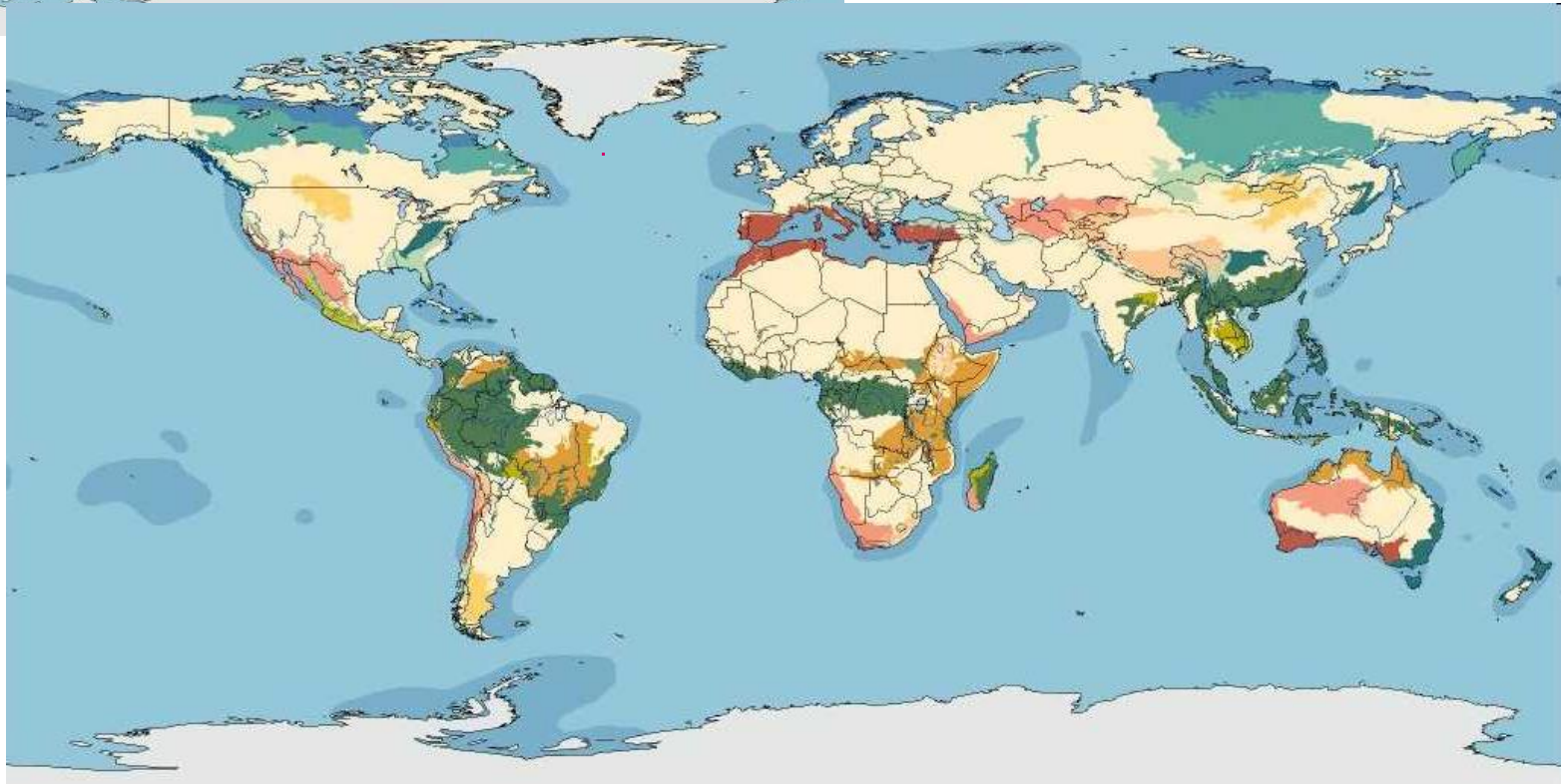
# Indicateurs des changements de biodiversité

- Hotspots et EBA conduisent au suivi et à la protection d'une seule catégorie d'écosystèmes (tropicaux),
  - or 50% des espèces sont dans d'autres écosystèmes, adaptées à d'autres conditions écologiques, autre histoire évolutive etc. Perte serait dommageable
  - Protéger des zones représentatives de la diversité en écosystèmes ?
- Donc le WWF a choisi 238 écorégions (Global 200) parmi 874 écorégions terrestres, dulçaquicoles, marines
  - 26 habitats divisés en 7 régions biogéographiques : assurance d'une bonne représentativité des écosystèmes par comparaison intra subdivision
  - Zones les plus riches en espèces, endémismes, habitats rares...

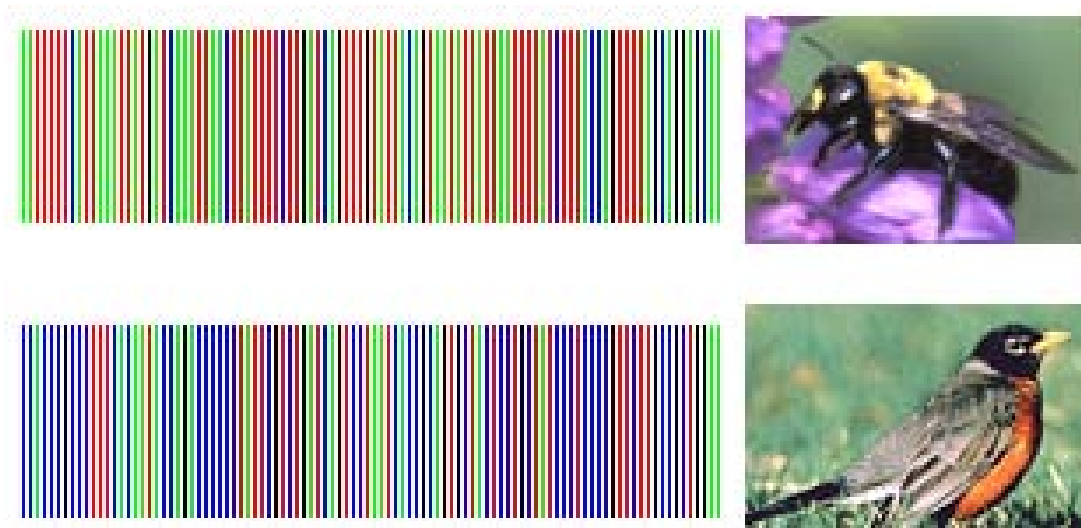


Limites des écorégions

Global 200



# Une technique moléculaire au service de l'inventaire de la biodiversité : le « barcoding »



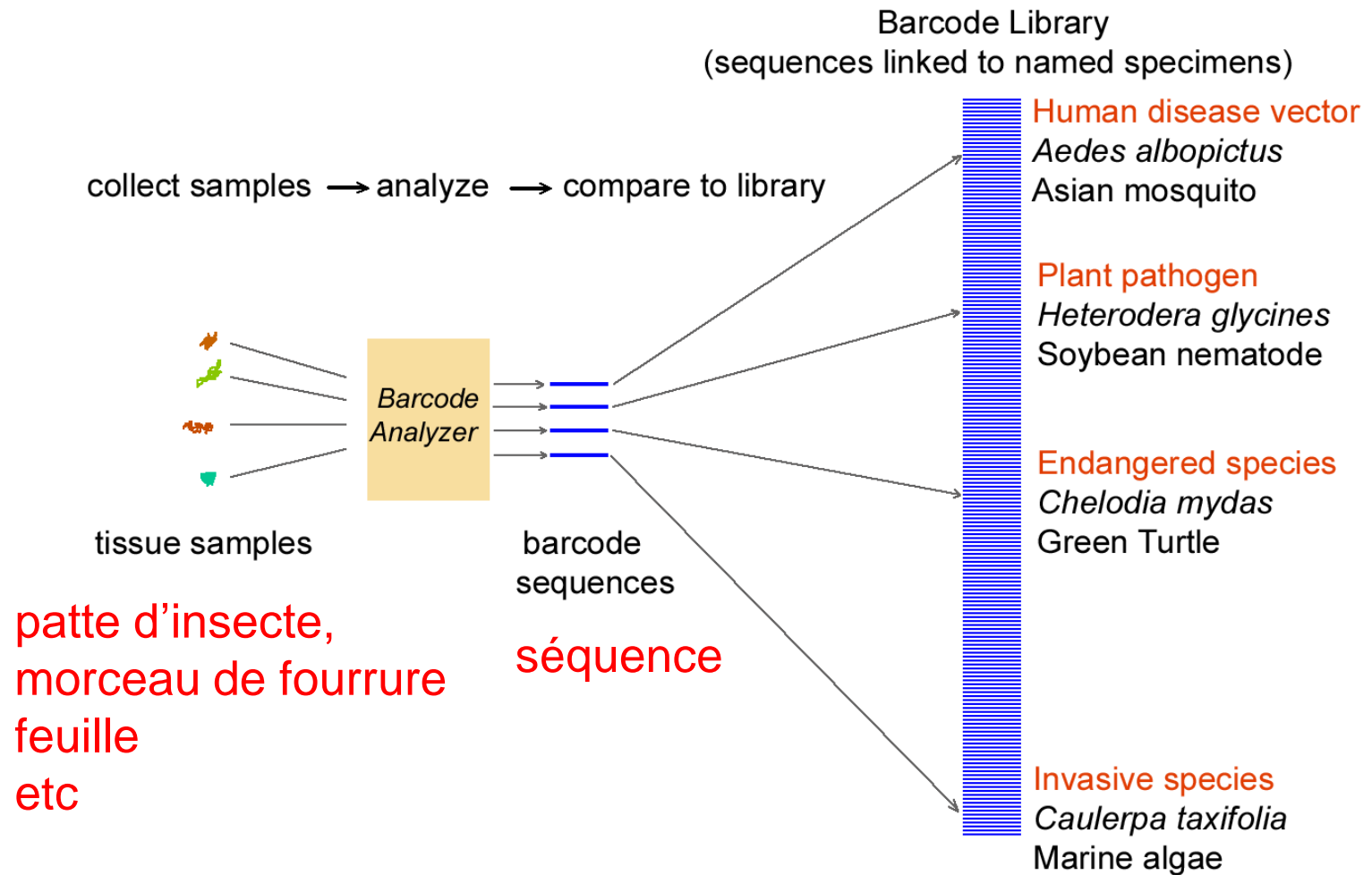
# Le « barcoding » : définition

Le “Barcoding” est une **approche standardisée d'identification des espèces par de petites séquences d'ADN** (appelées DNA barcodes) choisies pour maximiser la variabilité entre espèces en minimisant la variabilité intra espèce.

DNA Barcode: une petite séquence d'ADN issue une localisation unique sur le génome, utilisée pour identifier les espèces.

Un “barcode” est un code-barre. Cette dénomination -qui explique partiellement le succès de la méthode- montre à la fois l'esprit de **catalogue et celui d'automatisation** de la méthode.

# Principe général



Comparaison à une librairie de séquences du gène :  
Identification ou mesure du % de différences



# Principe général

- Buts :
- -Suivi de la biodiversité en **classant** facilement une espèce dans le contingent connu
- -**Détection de nouvelles** espèces dans des groupes peu étudiés
- -Détection des **espèces cryptiques** (similaires morphologiquement)
- -**Surveillance des vecteurs** de maladies, espèces invasives des chargements de bateaux, d'avions etc,
  - Programme de surveillance mondiale des moustiques par barcoding, qualité des eaux (microorganismes)...
- -**Surveillance des espèces échangées** et commercialisées (CITES etc)
  - Viande braconnée d'espèces protégées, commerce bois essences protégées, fourrures...

# Principe général

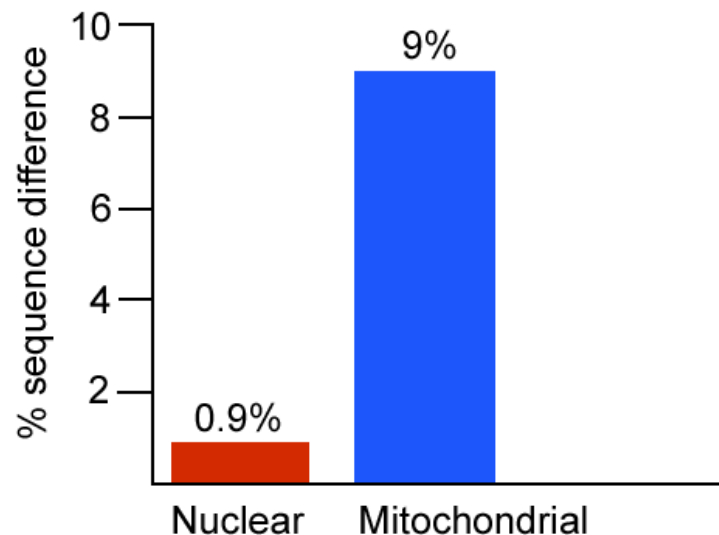
- La standardisation devrait permettre de créer une **librairie de séquences ADN** et le développement de **techniques peu onéreuses** pour l'identification d'espèces à partir d'échantillons de diverses qualités.
- Pour l'instant les résultats suggèrent **qu'un gène mitochondrial unique permet d'identifier la plupart des espèces animales.**
- **Pour les plantes les recherches sont en cours** : un ou plusieurs gènes, p ex ADN nucléaire ribosomal ITS internal transcribed spacer + plastide *trnH-psbA*.

Chase et al. Phil. Trans. R. Soc. B (2005) 360, 1889–1895

# Pourquoi un gène mitochondrial pour « barcoder » les espèces animales ?

- (1) 5 à 10 fois plus (en moyenne) de différences entre espèces dans le génome mitochondrial que dans le génome nucléaire.
  - de plus petits segments distinguent entre espèces
  - comme ils sont plus petits cela revient moins cher !

Average sequence differences in nuclear and mitochondrial DNA between human and chimp



# Pourquoi un gène mitochondrial pour « barcoder » les espèces animales ?

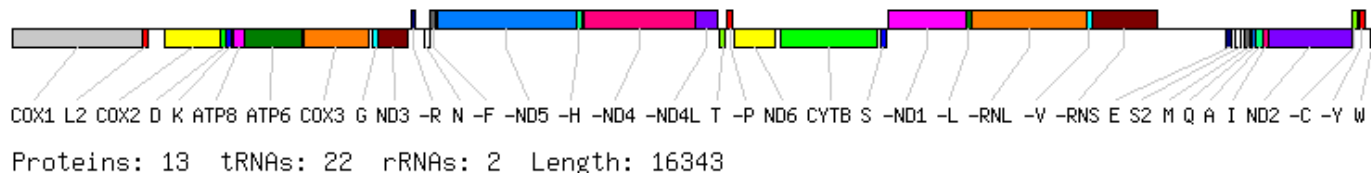
- (2) **Peu de variabilité intra spécifique** pour la plupart des gènes mitochondriaux (liée à l'héritabilité maternelle), mais une forte variation entre espèces
  - => facilite la délimitation des espèces
- (3) **Plus de copies**. Dans une cellule : 2 copies des séquences de l'ADN nucléaire, mais 100 – 10 000 copies pour le génome mitochondrial.
  - => moins de soucis en cas d'ADN dégradé, donc moins cher
- (4) Les **introns** (régions non codantes) sont souvent absents dans le génome mitochondrial
  - => facilite l'amplification, contrairement au génome nucléaire qui est souvent interrompu par les introns

# Pourquoi un gène mitochondrial ?

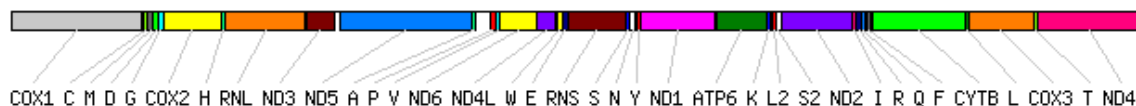
- Mitochondrie animale : 13 gènes codant pour des protéines, 2 ARN<sub>ribosomiaux</sub>, 22 ARN<sub>transfert</sub>. **L'ordre et le sens des gènes peut varier mais la séquence d'un gène est facile à comparer** (éviter les séquences chevauchant plusieurs gènes).

Mitochondrial genome organization differs among animals. As an example, genomes of bee and hookworm are shown. Their gene arrangements differ at 37 breakpoints. Thus, working with sequences that straddle genes poses problems.

## *Apis mellifera* Honey Bee



## *Necator americanus* Human Hookworm



# Quel gène et pourquoi un seul ?

- Les **gènes codant pour des protéines** ont plus de variations que les gènes ribosomaux mais aussi moins d'indel (comparaisons de séquences facilitées)
- Parmi les candidats : **cytochrome c oxydase I (COI, cox1 = production d'ATP)**. Les différences de séquences trouvées dans COI sont assez représentatives de ce qui est trouvé dans les autres gènes mito codant pour des protéines => gain quasi nul en ajoutant d'autres gènes
- On se focalise plutôt sur la **1<sup>ère</sup> moitié de ce gène** (648 pb)
  - aisée à séquencer en une fois
  - Retrouvée facilement d'une espèce à l'autre
  - Facile à aligner (comparer)
  - Efficace pour distinguer entre espèces

# Résultats

# Résultats

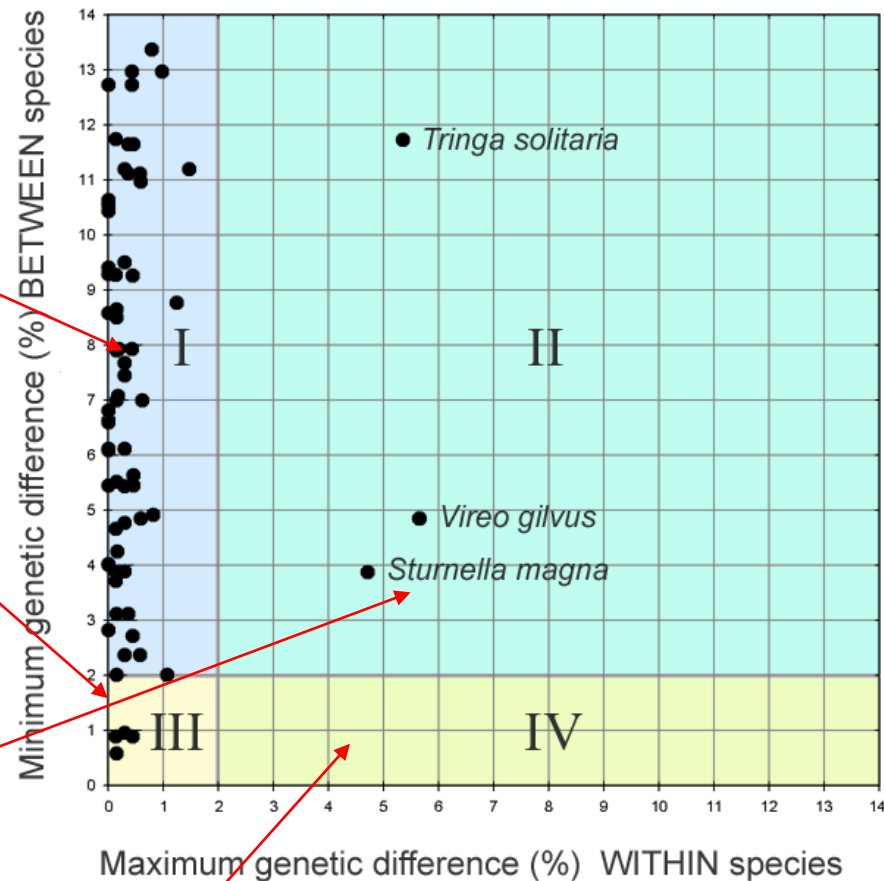
En moyenne 18 fois plus de différences entre-que intra-spécifique => COI suffit

Quelques exceptions parmi les espèces qui se sont hybridées régulièrement ou ont divergé récemment, ou synonymes

Possibilité d'erreurs de taxonomie : espèces groupées par la taxonomie actuelle mais à séparer

Erreur d'identification : un individu d'1 sp est mis dans une autre => différences intra ↑ et différences entre ↓

Interspecific vs. intraspecific COI barcode differences

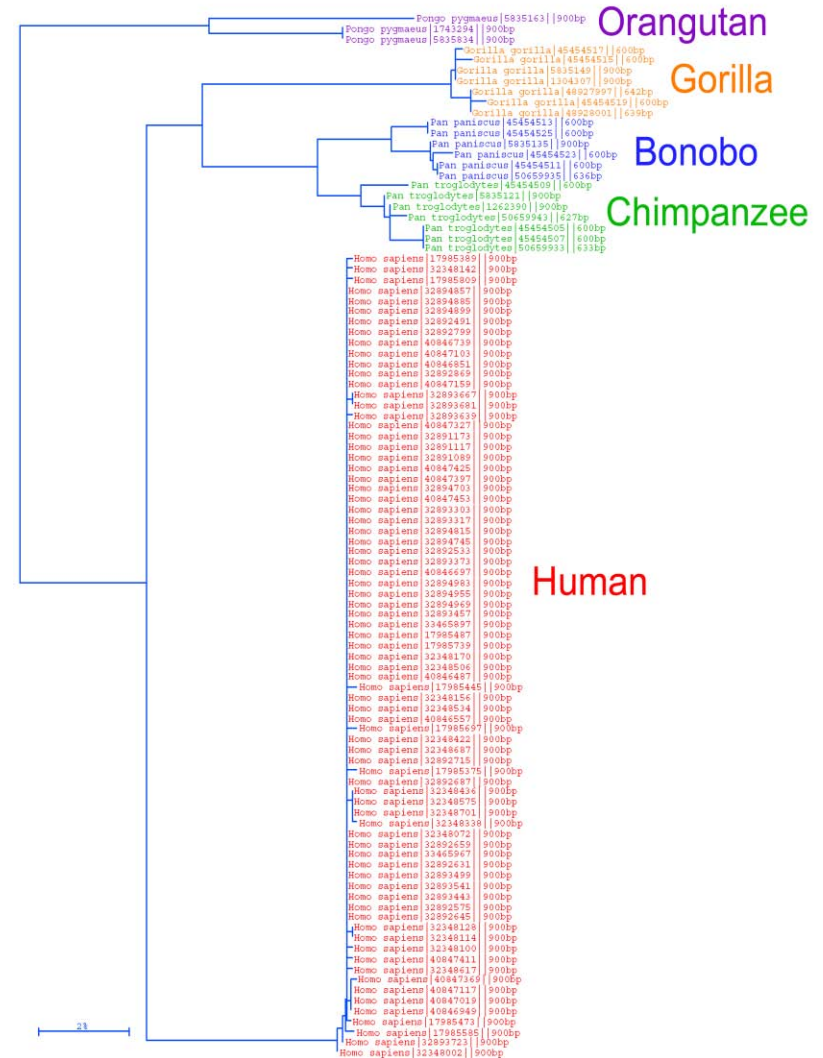


Results for 73 species of North American are shown. Quadrants represent different categories of species:

- I. consistent with current taxonomy
- II. probable lumped species (candidate for taxonomic split)
- III. recent divergence, hybridization, or synonymy.
- IV. probable taxonomic misidentification



1 seule espèce d'humains,  
2 espèces d'orang outans



# Limites ?

- **Groupe avec peu de diversité de séquence :**
  - Certains groupes d'anémones et de coraux (donc parmi les Cnidaires)
  - Mais dans l'ensemble : sur 2238 espèces dans 11 phylums animaux : 98% des paires d'espèces proches avaient plus de 2% de différences de séquences, ce qui suffit
- **Espèces ayant divergé récemment.**
  - Ce sont des espèces qui par ailleurs posent aussi problème pour les autres méthodes comme la morphologie, mais pas toujours :
    - Coquillages du genre *Cypraea*, très étudié par méthodes morphologiques : sous-estimation du nombre d'espèces par le barcode, dû à des divergences récentes => 1/5<sup>ème</sup> des espèces ???
- **Hybrides**
- Attention aux **pseudogènes** : copies inactives de gènes qui contiennent en conséquence une forte proportion de mutations



# Critiques

- Déjà **5 millions de dollars** en 2006, autant d'argent non employé à la compréhension des relations écologiques etc. On peut supposer que ce coût serait un besoin annuel minimal, soit l'équivalent de dizaines d'années de financement de la taxonomie actuelle
- Problème des **espèces ayant divergé récemment** etc : 1/5 des espèces non séparées par cette méthode ? Selon certains le coût et le temps passé étant nettement moins élevés que les méthodes traditionnelles, c'est ça ou rien pour de nombreux groupes inconnus !
- Une méthode seulement complémentaire, utile comme **pré triage** suivi d'une étude par des taxonomistes ?
- On propose que dans le futur tout un chacun pourrait se promener avec un « barcoder » portable, ce qui devrait sensibiliser le public à la biodiversité... est ce vraiment **efficace** pour, par ex, l'ornithologue ?
- COI pose des problèmes avec les plantes mais aussi les **amphibiens** => à vérifier dans d'autres groupes ?

<http://barcoding.si.edu> <http://www.barcodinglife.org>  
<http://phe.rockefeller.edu/BarcodeConference/index.html>

## SOURCES

### *Species known and unknown*

Blaxter M. 2003. Counting angels with DNA. *Nature* 421: 122-124.

Tudge C. 2000. *The Variety of Life*. 684pp. Oxford University Press.

### *Why standardize?*

Hebert PDN, Cywinska A, Ball SL, deWaard, JR. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc Royal Soc Lond B* 270: 313-322.

Janzen DH. 2004. Now is the time. *Phil Trans Royal Soc Lond B* 359:731-732.

### *Mitochondrial DNA for identifying species*

Awise JC, Walker D. 1999. Species realities and numbers in sexual vertebrates: perspectives from an asexually transmitted genome. *Proc Natl Acad Sci* 96:992-995.

Wildman DE, Uddin M, Liu G, Grossman LI, Goodman M. 2003. Implications of natural selection in shaping 99.4% nonsynonymous DNA identity between humans and chimpanzees: enlarging genus *Homo*. *Proc Natl Acad Sci USA* 100: 7181-7188.

### *Mitochondrial gene content and order*

Jameson D, Gibson AP, Hudelot C, Higgs PG. 2003. ORGe: a relational database for comparative analysis of mitochondrial genomes. *Nucl Acids Res* 31: 202-206.

### *Why COI for animal species?*

Folmer O, Black M, Hoeh W, Lutz R, Vrijenhoek R. 1994. DNA primers for amplification of cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol Mar Biol Biotechnol* 3: 294-299.

Hebert PDN, Ratnasingham S, deWaard JR. 2003. Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Proc R Soc Lond B* 270: S596-S599.

Schwartz S, Zhang Z, Frazer KA, Smit A, Riemer C, Bouck J, Gibbs R, Hardison R, Miller W. 2000. PipMaker—a web server for aligning two genomic DNA sequences. *Genome Res* 10: 577-586.

### *Differences among and within species*

Hebert PDN, Stoeckle MY, Zemlak TS, Francis CM. 2004. Identification of birds through DNA barcodes. *PLoS Biol* 2:1657-1663.

Hebert PDN, Penton EH, Burns JM, Janzen DH, Hallwachs W. 2004. Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astrapes fulgerator*. *Proc Natl Acad Sci USA* 101:14812-14817.

Non-human primate COI barcode sequences provided by Coriell Institute for Medical Research (<http://www.IPBIR.org>)