

# Les questions posées par l'enseignement de l'évolution

## *Présentation*

**Yann Lhoste,**

MCF didactique des SVT (Univ. Bordeaux, ESPE  
d'Aquitaine, E3D/LACES, EA 4140)

Vice-président de l'AFP-SVT



# La problématique du colloque

→ Quel intérêt d'une telle journée après l'année Darwin et un ensemble important de publications (2008-2012) ?



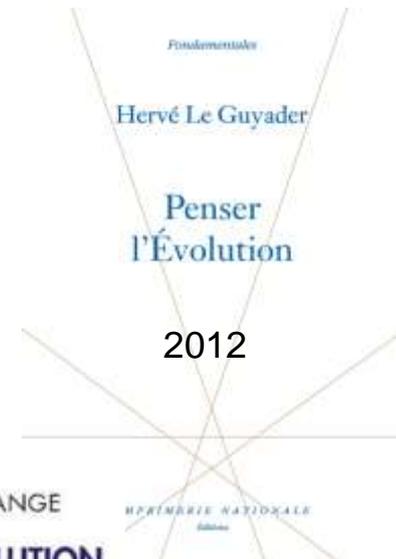
2008



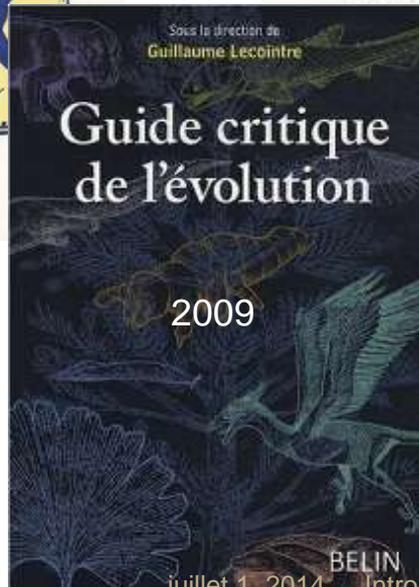
2009



2010



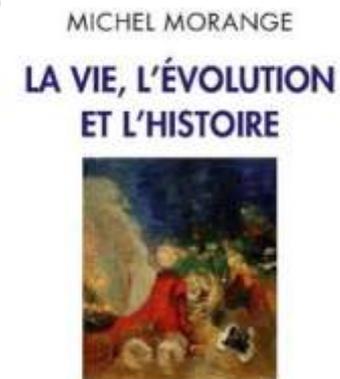
2012



2009



2009



2011

# Des changements dans les programmes de SVT

- Nouveaux programmes du collège (2008) et des nouveaux programmes de lycée
- Cette modification du curriculum fait apparaître de nouvelles problématiques liées à l'enseignement de l'évolution (reprises chez les scientifiques – Pétition « *Pour un enseignement de la sélection naturelle au collège, dans le cadre du renouvellement des programmes de Sciences de la vie et de la Terre* »)
- *Enjeux de cette journée*
  - › Envisager de questionner l'épistémologie, des champs de la biologie à partir de résultats produits par les recherches en didactique des SVT.

# Les recherches en didactique des SVT

## → Deux synthèses :

- › **Veille scientifique de l'INRP/ Ifé** : Musset, M. (2008). Enseigner l'évolution en France. *Dossier d'actualité, veille scientifique, n°38*. Lyon.
- › **Revue de synthèse – RDST, n°5, 2014** : Saïda Aroua, Maryline Coquidé et Salem Abbes, « Controverses dans l'enseignement de l'évolution. Questions de recherches sur les stratégies d'intervention en classe et dans la formation », *RDST*, 5 | 2012, 47-76.

Service de Veille scientifique et technologique <http://www.inrp.fr/vst>

**Dossier d'actualité**  
(ancien titre : Lettre d'information)  
**n° 38 - octobre 2008**  
vous abonner  
consulter le dossier en ligne

### Enseigner l'évolution en France

Cadre de travail des scientifiques depuis les années 50, la théorie de l'évolution est entrée dans les programmes français à la même époque, sans polémique majeure. Son enseignement se fait plus sensible désormais : on le perçoit lié à des questions de société qui agitent depuis longtemps l'école américaine et qui interrogent le cours de sciences du vivant. L'enseignement de l'évolution pose en effet des questions qui dépassent le champ disciplinaire ; il interroge des savoirs scolaires comme non scolaires et illustre les relations entre « sciences et société ».

Après avoir évoqué la controverse qui agite la société et l'école américaine et dont l'Europe se fait l'écho, il conviendra de se demander dans quelle mesure la société et l'école française peuvent être concernées par des débats similaires. Enfin, l'enseignement de l'évolution sera traité dans son rapport à la classe.

L'évolution : une controverse dans la société et l'école américaines | Spécificités du cadre français | L'évolution dans le cadre scolaire | Conclusion | Bibliographie.

**Avertissements au lecteur :**

- la plupart des liens renvoient vers les fiches correspondantes de notre [base bibliographique collaborative](#), qui comprennent les références complètes et, le cas échéant, des accès aux articles cités (en accès libre ou en accès payant, selon les cas et selon les abonnements électroniques souscrits par votre institution) ;
- sauf indication contraire, toutes les traductions comprises dans ce Dossier d'actualité ont été réalisées par le rédacteur ;
- vous pouvez faire part de vos réactions à ce Dossier en laissant un commentaire sous l'article correspondant dans notre blog : « Écrans de veille en éducation ».

**RDST** Recherches en didactique des sciences et des technologies

5 | 2012 : Varia

Varia

### Controverses dans l'enseignement de l'évolution. Questions de recherches sur les stratégies d'intervention en classe et dans la formation

Controversies in the teaching of evolution. Research issues on how to tackle this topic in class and during training courses.  
Kontroverse im Unterrichten der Entwicklungstheorie. Forschungsfragen über Strategien in der Klasse und in der Ausbildung.  
Controversia en la enseñanza de la evolución. Cuestiones de investigaciones sobre las estrategias de intervención en clase y en la formación

Saïda Aroua, Maryline Coquidé et Salem Abbes

p. 47-76

# Deux grandes classes de difficultés liées à l'enseignement de l'évolution

- Portent sur différentes « difficultés » (Aroua, Coquidé, Abbes, 2012)
  
- Difficultés liées :
  - › à la conceptualisation de la dynamique du modèle évolutif;
  - › aux croyances, perceptions, opinions ou argumentations des élèves, influencées par des facteurs culturels, socioculturels ou multiculturels.

# Une délimitation aux difficultés liées à la conceptualisation de la dynamique du modèle évolutif

- Nous avons choisi, pour aujourd'hui, de nous intéresser aux difficultés liées à l'appropriation par les élèves des concepts de l'évolution
- C. Orange (2008, p. 42) : fonctions épistémologiques de l'évolution dans les programmes

Les fonctions épistémologiques de l'évolution dans les programmes de SVT français

	Idee illustrée par des faits	Ensemble de modèles explicatifs	Paradigme de la biologie historique	Paradigme de la biologie fonctionnelle
Cycle 3 de l'école primaire				
Sixième de collège				
Cinquième				
Quatrième				
Troisième				
Seconde de lycée				
Premières ES, L et Terminale S				

Fonction présente dans les programmes de cette classe :



- L'entrée que nous avons choisi nous semble renseigner, d'une autre façon et en retour, les questions liées aux difficultés de réception de la théorie de l'évolution, largement documentées dans les travaux anglo-saxons et francophones (Fortin, 2009).
- En effet, comme le précise C. Orange, « *sur la plus grande partie de la scolarité obligatoire, les élèves doivent se contenter d'une compréhension intuitive de l'évolution (...)* » ce qui risque « *de conduire à une compréhension au moins aussi proche des thèses du dessein intelligent que des théories scientifiques* » (2008, p. 42-43).

# La question posée aujourd'hui dans ce colloque

- Nous vous invitons donc à un croisement entre des questionnements didactiques, épistémologiques et biologiques autour de la question suivante :

**Quelles sont les nouvelles façons d'agir-penser-parler le monde vivant que l'on cherche à faire construire aux élèves à travers un enseignement des concepts de l'évolution ?**

# Déclinaison de cette question :

- **Le principe de la sélection naturelle** (J. Gobert & J. Gayon)
- **L'émergence de l'évolution par fusion** (qui questionne le concept d'espèce) (M.-A. Sélosse)
- **Des obstacles à l'appropriation des concepts de l'évolution** (B. Peterfalvi & Y. Lhoste)
- **L'adaptation biologique** (H. Le Guyader)
- **La pluralité des explications des phénomènes évolutifs** (M. Morange)
- Synthèse, mise en perspective par G. Lecointre

# La construction du concept de sélection naturelle en classe de troisième

1

**Julie Gobert**, ATER doctorante didactique des SVT

Univ. Bordeaux, ESPE d'Aquitaine, E3D-LACES (EA4140)

Unicaen, CERSE (EA 965)



# Questions de recherche

- Nos travaux récents tentent de se focaliser sur la question des processus, des dynamiques et des conditions de possibilité de construction des savoirs scientifiques en situation scolaire
- Le problème porte sur les conditions de possibilité de changement de registre épistémique dans et par lequel sont développées les explications et les argumentations des élèves
- conditions de possibilité pour outiller les élèves afin qu'ils puissent s'inscrire dans un nouveau registre épistémique (ou matrice épistémique)

# Proposition d'articulation de deux cadres théoriques

3

## Dynamique de problématisation

- Cadre théorique de la problématisation (Orange, 2000, 2002, 2005, 2006, Beorchia F. & Lhoste Y., 2008, Orange-Ravachol 2010, 2011)

## Rôles des interactions langagières dans la construction de savoirs

**Recherche pour rendre compte du contexte de pertinence ou interprétatif de l'interaction**

Travaux de Jaubert M. et Rebière M., 2011, Jaubert M., 2007

- **Théorie historico-culturelle** (Brossard, 2001;2004 ; Vygotski, 1997 ; Bernié, Jaubert, Rebière 2008)

Recherche des conditions de possibilités didactiques pour que les apprenants puissent basculer dans la production d'explications causales darwiniennes probabilistes et ainsi donner des pistes pour penser les dispositifs d'enseignement-apprentissage (situations problème, Fabre .M, 1997, 1999 ; Le Bas Alain, 2007 )

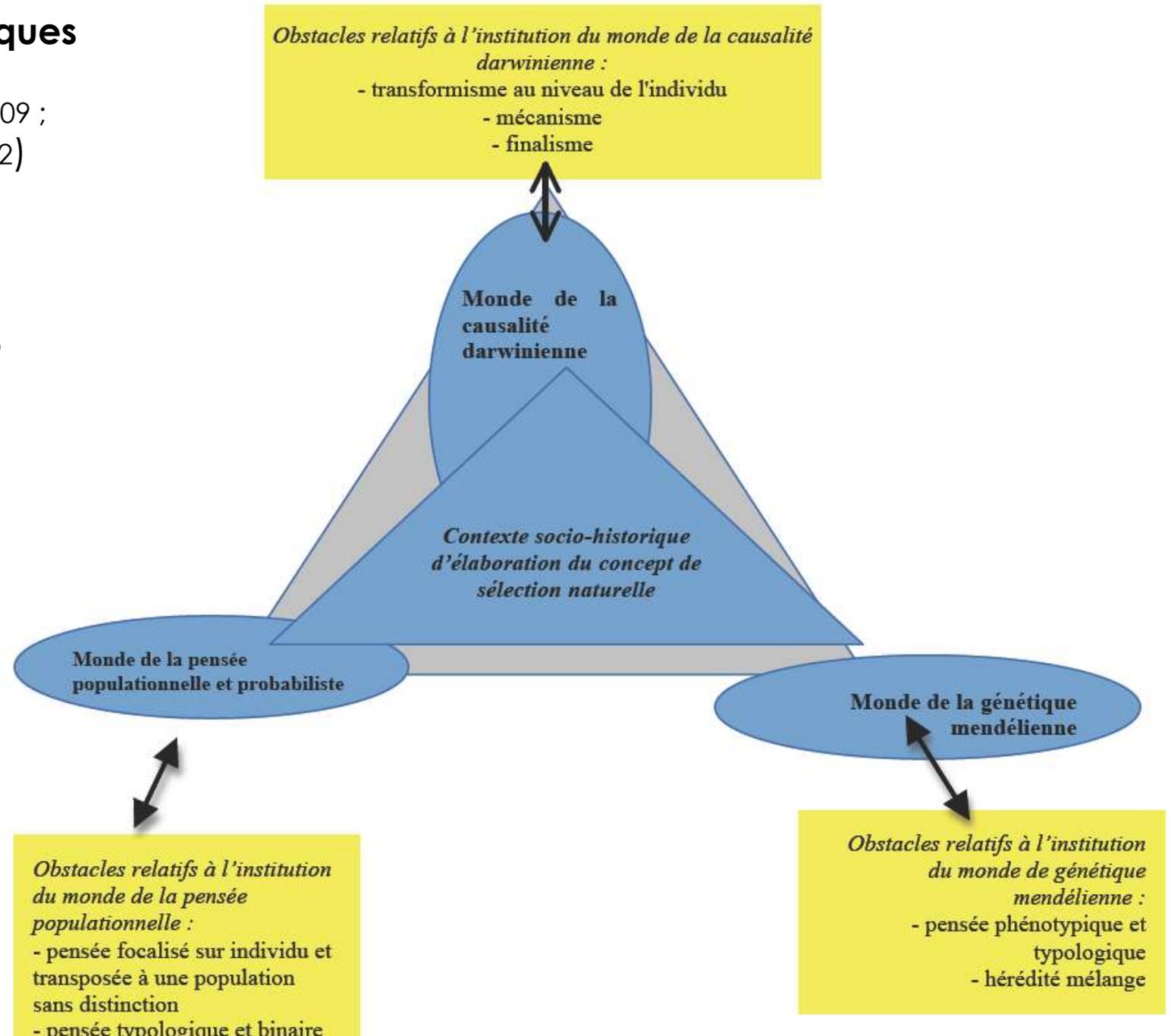
## Analyses épistémologiques préalables

(Gayon, 1992 ; Rumelhard, 2009 ; Conry, 1987; Le Guyader, 2012)

→ Contexte socio-historique du concept de sélection

→ Principe structurant mendélien

→ Rupture épistémologique conceptuelle et méthodologique au regard du déterminisme lamarckien



Séances	Déroulement de la séquence	Corpus de données recueillies en 2012 et en 2013 :
Séance 0	Évaluations diagnostiques	T0 : mises en texte écrites individuelles : recueil des conceptions initiales
Séance 1	<b>Travail de groupe : Articuler la théorie génétique de l'hérédité et la théorie Lamarckienne pour en dégager des impossibilités (celle de l'hérédité des caractères acquis) et des hypothèses alternatives</b>	-T1 : mises en texte écrites : affiches des groupes  --T2 : Enregistrements vidéos et mise en texte collective de la confrontation des affiches
Séance 2	<p>Etudes de l'évolution d'une population de phalènes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mobiliser des connaissances en génétiques pour mettre en relation les différents phénotypes de papillons avec leurs génotypes possibles et présentation de la situation problème</li> <li>• Débat scientifique à partir du modèle (principe/règle) mendélien de transmission des gamètes et introduction du modèle (loi) de l'équilibre de Hardy-Weinberg et d'un modèle en germe =urne des gamètes</li> <li>• <b>Travail de groupe : produire une explication de l'évolution des populations de phalènes.</b></li> </ul>	-T2bis : (enregistrement vidéo)  T3: enregistrement vidéo du débat scientifique  -T4 : mises en texte orales travaux des groupes sur les phalènes (enregistrement audio) -T5 : mises en texte écrites travaux de groupe sur les phalènes
Séance 3	Validation/structuration collective Mise en texte écrite individuelle sur l'explication de l'évolution des populations de girafes au regard de la séance 1	-T6 : mise en texte orale collective (enregistrement vidéo) -T7 : mises en texte écrites individuelles sur l'évolution d'une population de girafe- -T8 : mise en finale proposée par l'enseignante et donnée aux élèves

# Première séance : Confrontation génétique mendélienne et raisonnement lamarckien

10

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

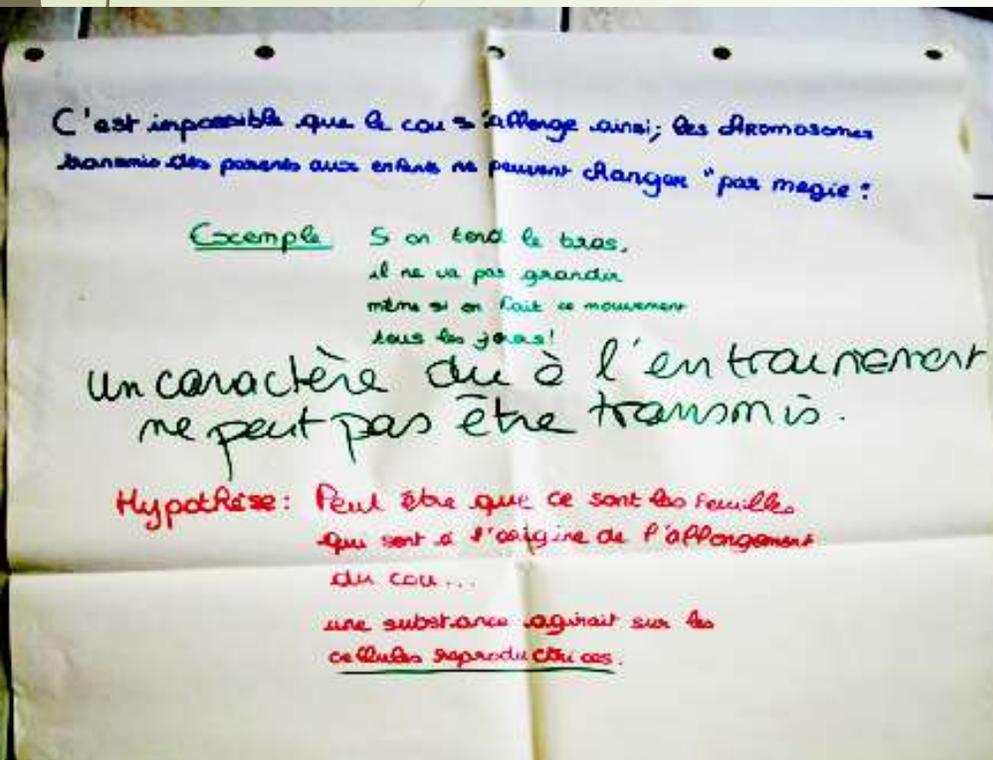
## 1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

➤ Consigne donnée par l'enseignante:

« Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre. »

# Confrontation génétique et raisonnement lamarckien (séance 1)

production écrite de groupe (Louise, Christal, Anne-Lyse)



C'est impossible que le cou s'allonge ainsi, les chromosomes transmis des parents aux enfants ne peuvent changer « par magie ».

Exemple : si on tend le bras il ne va pas grandir même si on fait ce mouvement tous les jours!

Un caractère dû à l'entraînement ne peut pas être transmis.

Hypothèse : peut être que ce sont les cellules qui sont à l'origine de l'allongement du cou...  
Une substance agirait sur les cellules reproductrices.

« C'est impossible que le cou s'allonge ainsi, les chromosomes transmis des parents aux enfants ne peuvent changer « par magie ».

-« le cou » - « les chromosomes » articulation des objets de discours -> mise en relation niveau phénotypique –niveau génotypique->inscription du discours dans le monde de la génétique

-« *transmis des parents aux enfants* » insertion informative-> prise en charge du problème de l'hérédité

« *le cou s'allonge ainsi* » -> dissonance non encore contrôlée entre le niveau populationnel et le niveau individuel

« *c'est impossible que le cou s'allonge ainsi* »->positionnement dans une posture de réfutation contre la « voix lamarckienne » du texte (dialogisme diachrone)

« *les chromosomes..ne peuvent changer* » -> construction implicite de la nécessité d'une variation génétique héritable (statut d'argument de réfutation)

-> implicitement prise en charge du problème des conditions de possibilité de la transformation de la population

« par magie »-> renvoie implicitement au problème de la causalité de la variation génétique héritable

Exemple : si on tend le bras il ne va pas grandir  
même si on fait ce mouvement tous les jours!

- Nouvelle boucle argumentative/renvoi analogique à la voix lamarckienne
- Retour à la ligne/ « exemple » souligné et deux points -> opération de prise en charge énonciative qui souligne l'intention argumentative des élèves qui continuent à s'inscrivent dans un débat contradictoire qui remet en cause ici l'idée de modification des caractères par l'usage
- « même si » et « ! » -> accentuation de la remise en cause
- Argument d'autorité qui s'ancre dans le monde quotidien

Un caractère dû à l'entraînement  
ne peut pas être transmis.

- le retour à la ligne/texte centré/et écrit en gros caractères -> opération de prise en charge énonciative qui semble donner statut de conclusion au développement qui précède
- déplacement de l'objet de discours : « cou » et « bras »-> « un caractère » effet de contextualisation/recontextualisation avec dénivellation
- affirmation de l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis

Hypothèse : peut être que ce sont les feuilles qui sont à l'origine de l'allongement du cou...  
Une substance agirait sur les cellules reproductrices.

-« hypothèse », « peut-être », « ... », « agirait »-> opération de prise en charge énonciative et de modalisation marque l'intention des élèves de proposer une solution explicative qui a valeur d'hypothèse

-nouveaux objets de discours « feuilles », « substances », « cellules reproductives » -> recherche d'une causalité matérielle/ recherche d'un événement causal pouvant fournir un support matériel susceptible d'induire une variation génétique

-> le point de vue semble focalisé sur le problème de l'allongement du cou au niveau de l'individu bien que le fait de souligner « les cellules reproductrices » est une opération de prise en charge énonciative qui montre implicitement l'insistance des élèves sur la nécessité d'une variation héritable et donc subsiste une dissonance entre niveau individuel et niveau populationnel

## Apports des analyses

C'est impossible que le cou s'allonge ainsi, les chromosomes transmis des parents aux enfants ne peuvent changer « par magie ».

Exemple : si on tend le bras il ne va pas grandir même si on fait ce mouvement tous les jours!

Un caractère dû à l'entraînement ne peut pas être transmis.

Hypothèse : peut être que ce sont les feuilles qui sont à l'origine de l'allongement du cou...  
Une substance agirait sur les cellules reproductrices.

Le contexte interprétatif :

-Confrontation controversée entre la voix lamarckienne du texte du document et le principe de transmission des caractères au cours de la reproduction dans le cadre de la génétique

-le genre textuel de la mise en texte proposée est un genre théorique explicatif argumenté  
-dissonance non contrôlée entre niveau individuel et populationnel qui s'actualise dans le prise en charge de deux problèmes différents

pb de la transformation de la population

pb de l'origine de la variation génétique

Une alternative explicative qui se centre sur la recherche d'une causalité matériel mécaniste à la variation héréditaire (recherche d'éléments disponible dans le texte)/obstacle du déterminisme

Questionnement : Les élèves de troisième ont-ils les outils conceptuels nécessaires pour articuler le niveau individuel et le niveau populationnel?

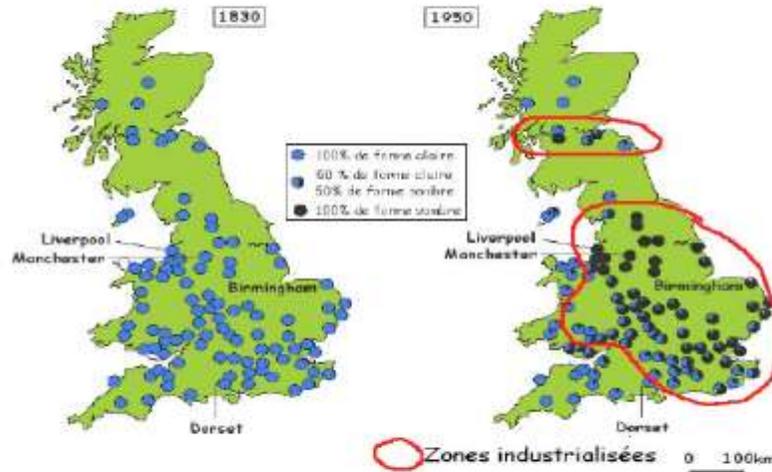
# Séance 2 : situation-problème construite par l'enseignante

La phalène du bouleau est un papillon de nuit. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, en Grande-Bretagne, toutes les phalènes sont claires. En 1848, les premières phalènes foncées sont capturées dans la région de Manchester. Plus tard, en 1895 dans cette région plus de 98 % des phalènes sont foncées.



Après 1860, l'industrie se développe et utilise du charbon. Les résidus de combustion noircissent les arbres.

Le jour les phalènes sont immobiles sur le tronc des bouleaux. Ces papillons servent de nourriture à certains oiseaux.



Chromosome de la paire n°17

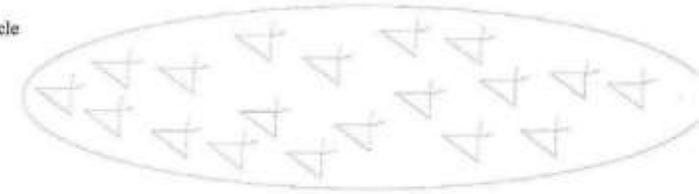


Le gène qui détermine la couleur des phalènes existe sous deux formes : l'allèle c (clair) et l'allèle F (foncé). F est dominant sur c.

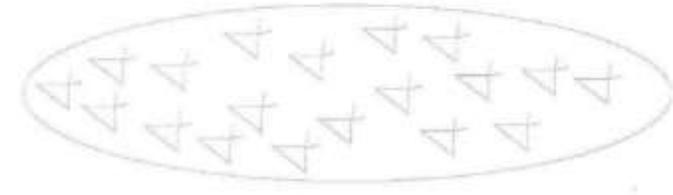
# Support donné aux élèves

A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.

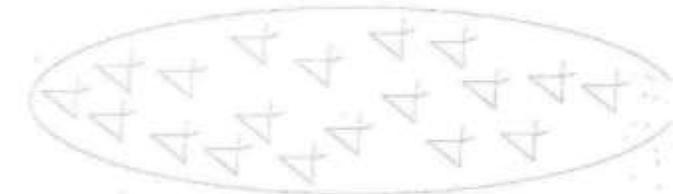
Début du XIX<sup>e</sup> siècle : 100% de formes claires



1848 : 99% de formes claires



1950 : 98% de formes sombres



# La façon dont les élèves s'emparent de la situation-problème

19

Script	Problèmes travaillés par les élèves	Monde dans lequel se positionnent les élèves
1-53	<b>Problème 1 : Comment et pourquoi tous les papillons blancs se transforment en papillon noir ?</b>  <b>Problème 2 : Quels sont les liens entre le changement de l'environnement et les modifications de l'information génétique de l'individu ?</b>	Monde quotidien (modèle du dépôt)
		Construction de l'impossibilité du modèle du dépôt
123-130		Monde quotidien (modèle déterministe simple)
131-153		Controverse sur le comment et le pourquoi
154-172		Monde pseudo-génétique (modèle sélectif génotypique)

Script	Problèmes travaillés par les élèves	Modèle explicatif construit par les élèves
173-206	L'enseignante propose une solution pour expliquer la transformation de l'information génétique des papillons : elle est due à une mutation aléatoire. Cette <b>intervention ferme le problème 2</b> travaillé par les élèves des liens entre changement de l'environnement (CE) et modification de l'information génétique (MIG) du papillon : il n'y a pas de relation causales entre CE et MIG.	
207-251	<b>Problème 3 : Comment une modification du milieu de vie des papillons peut-elle influencer sur la proportion de papillons blancs et noirs dans la population de papillons alors que cette proportion devrait rester stable dans le temps</b>	Construction d'un contexte interprétatif qui signale des changements de monde

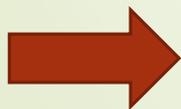
## Dissonance dans le fil de l'interaction

205-207	<p>E : donc pour expliquer le passage d'ici à là / sans doute que <b>l'information génétique</b> s'est modifiée par hasard // maintenant vous vous rappelez la dernière fois je vous ai montré que quand on avait euh // une <b>variabilité dans les allèles</b> / de génération en <b>génération est-ce que la proportion change</b> ↑ (E: non) non ça change pas // donc normalement on devrait avoir toujours <b>plein de clairs et un tout petit peu de foncés</b> // maintenant essayez de réfléchir // ces papillons là pour donner ceux-là / ils se sont reproduit sur <b>plein de générations</b> / et <b>petit à petit ils sont dans quelles condition</b> ↑</p>
216	<p>Christal : ben <b>pour se cacher</b> / à cause du changement de // du changement de la couleur des arbres, et ben <b>ils changent de couleur</b> // <b>ils mutent</b></p>

## Stratégie de l'enseignante qui va permettre un déplacement de point de vue et un déplacement du contexte interprétatif vers le monde de la pensée populationnelle

216-Christal	ben pour se cacher / à cause du changement de...du changement de la couleur des arbres / et ben ils changent de couleur / ils mutent.
217-Prof	Louise tu as lu ça↑ (texte du document Phalène/Bouleau/oiseau) (lecture du texte sur la prédation)
218- Prof	dans leur condition de vie y'a quoi par rapport aux papillons // qu'est-ce qui peut leur arriver↑
219-Louise	ils peuvent se faire manger
220-Prof	se faire manger // <b>alors imagine que t'es un oiseau toi</b> / si t'es en 1830 / t'es confrontée à ça // vous les voyez les papillons sur l'image↑ / y'en a combien↑
221-Louise	un
222-Prof	ah ben non
223-Christal	y'en a deux
224-Prof	y'en a un noir là et un blanc là
225-Louise	Ah oui, ah oui
226-Prof	Et là y'en a un blanc là et un noir là // <b>donc toi t'es un papillon en 1830</b> / t'as ça dans ton environnement / si t'es un papillon en 1950 / t'as ça

231	Prof : alors là du coup les oiseaux <b>ils risquent plutôt de</b> manger quoi /
232	Christal et Louise : les noirs/ et là les blancs/
233	Prof : <b>Ils risquent plutôt de</b> manger les noirs
234	Louise : donc en fait/ ils se font manger <b>les blancs</b> et donc ils ne restent <b>plus que/que les noirs/</b> il reste <b>un peu de blancs et beaucoup de noirs/</b>
249	Louise : « Donc là <b>on a plus de chance de</b> manger des noirs/ enfin le papillon noir et là le blanc/ »



La mise à disposition par l'enseignante d'un outil langagier pour transformer le contexte interprétatif

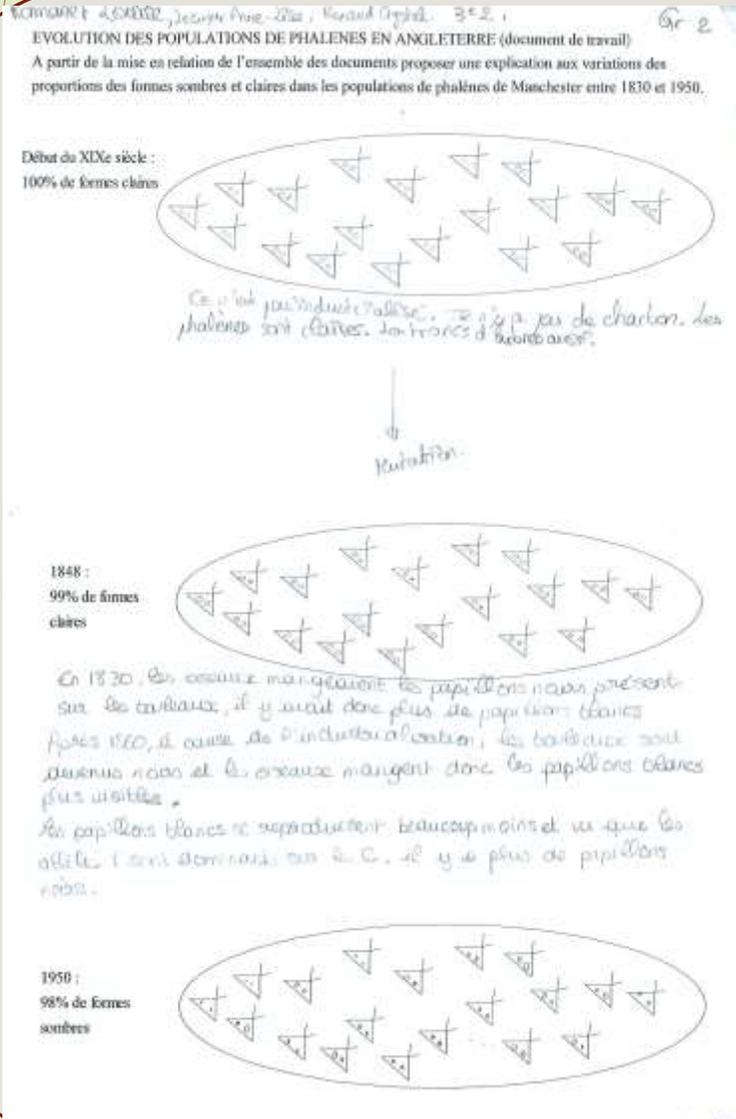
227	Christal : ben c'est pas le charbon alors.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modification de raisonnement de causalité</li></ul>
228	Louise : Parce que le charbon il fait devenir les arbres noirs	<ul style="list-style-type: none"><li>• Affirmation/ objection implicite : le charbon ne fait pas devenir les papillons noirs, ce sont les arbres qui noircissent : donc ce ne sont pas les papillons qui noircissent</li></ul>



Réorganisation du cadre interprétatif initial et basculement sur la construction du problème populationnel

# Mise en texte écrite groupe 2 à l'issu du travail sur la situation-problème

29



« Ce n'est pas industrialisé. Il n'y a pas de charbon. Les phalènes sont claires. Les troncs d'arbres aussi. »  
Flèche suivie de « mutation »

« En 1830, les oiseaux mangeaient les papillons noirs présents sur les bouleaux, il y avait donc plus de papillons blancs. »  
Après 1860, à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs et les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles

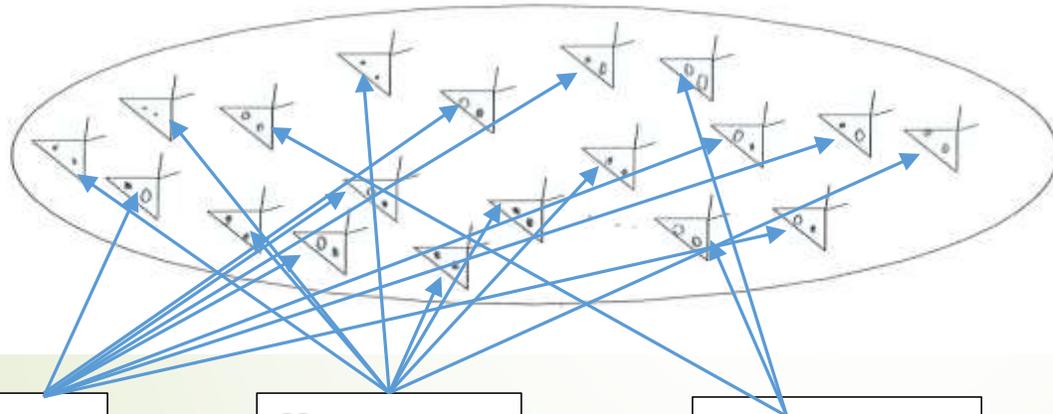
Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C, il y a plus de papillons noirs

Voix darwinienne  
Prédation différentielle

Reproduction différentielle  
Ebauche de voix néodarwinienne  
Glissement vers monde probabiliste  
Tentative d'inscription et d'ancrage dans monde de la génétique  
Rupture conceptuelle?

Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les allèles  $r$  sont dominants sur le  $c$ , il y a plus de papillons noirs.

1950 :  
98% de formes  
sombres



Hétérozygotes  
FC 8/19

Homozygotes  
FF 8/19

Homozygotes  
CC 3/19

-des possibilités génotypiques diverses  
-S'il n'y a pas de correspondance exacte au sens mathématique entre le pourcentage annoncé des « formes noires » soit « 98% » et les papillons de phénotype noir représentés par les élèves (soit 16/19) ces valeurs sont approximativement assez proches. Les élèves réalisent bien une interprétation du pourcentage phénotypique annoncé au niveau génotypique  
-règle de dominance/récessivité semble justifier la correspondance entre le pourcentage phénotypique annoncé et les génotypes envisagés dont les hétérozygotes -> description de l'état de la population et non de son évolution.

- Les élèves ont construit l'idée de prédation différentielle et de reproduction différentielle au niveau phénotypique et populationnel
- Difficulté d'articuler les règles de l'hérédité mendélienne avec leurs explications au niveau phénotypique et populationnel
- Difficulté à penser l'évolution de la population au niveau génétique et pas seulement l'état de la population à un moment donné
- absence de finalisme et absence de Lamarckisme dans la mise en texte

# Confrontation : génétique et raisonnement lamarckien groupe 3

Au début, la girafe avait le cou d'un cheval, mais à force que ces girafes ne puissent que manger les feuilles en hauteur, leur vertèbres se sont agrandies, ce qui a fait que les chromosomes de toute ces girafes concernées, ont eu une IG d'un "grand cou". Suite à cela, les girafes se sont multipliées entre elles, et ont fait des bb à plus grand cou. Plus le temps passait, et plus leur cou grandissait.

garmetes

\* Pe - Petit cou  
 Fc - Grand cou

Morgan Teubert  
 Hugo Thomas  
 Nicolas Sachau  
 Soline poisson

32.3 / 15/06/12

- Au début, la girafe avait le cou d'un cheval.
- Mais à force que ces girafes ne puissent que manger les feuilles en hauteur leurs vertèbres se sont agrandies.
- Ce qui fait que les chromosomes de toutes ces girafes concernées ont eu une information génétique d'un grand cou.
- Suite à cela, les girafes se sont multipliées entre elles et ont fait des bébés à plus grand cou.
- Plus le temps passait, et plus leurs cous grandissaient.

Voix lamarckienne  
avec justification  
finaliste

Idée de prédation  
différentielle



Des voix différentes au sein d'un  
même texte : hétéroglossie

Au début il y avait 100% de papillon ~~sombres-clairs~~, puis le charbon qui est apparu a commencé à noircir ~~les arbres~~, ~~les papillons qui quand étaient clairs pouvait se camoufler pour éviter ses prédateurs, ils ont finis par devenir sombre comme les arbres pour y échapper à cause de se faire manger~~ /// ils se reproduisaient moins que les foncés, donc les foncés ont finient par remplacé les clairs presque totalement.

/// Réécriture en rouge dans le texte:

« le fait qu'ils se font manger entraînent une disparition de des phalènes sombres claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire »

➤ Réécriture :

Au début, il y avait 100% de papillons claires. Mais au fil des années, le charbon est apparu, et a commencé à noircir le tronc des arbres. Les papillons claires qui avoir avant pouvaient se camoufler dans ses troncs pour éviter ses prédateurs ont fini par devenir sombre comme la couleur des troncs des arbres.

Mais le fait qu'ils se font manger, entraîne une disparition totale de ses phalènes claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire.

**C'est le hasard du au tronc.**

Orthographe des élèves conservée

Expression d'une évolution, d'une transformation au travers des verbes employés et « au début...au fil des années.../ **Genre narratif**

« Mais » signale un positionnement énonciatif qui permet de se démarquer de ce qui précède et signale ainsi une **ébauche d'orchestration de l'hétéroglossie**

« le fait », « entraîne une disparition totale », « donc » : dénivellation

« **c'est le hasard du au tronc** » :  
- « c'est » : reprise de l'explication qui précède  
- **dénivellation/objectivation de la causalité contingente darwinienne**

# Bilan des premiers résultats et nouvelles pistes

Les problèmes construits par les élèves lorsqu'ils abordent la situation problème sont éloignés du problème de référence. Le contexte interprétatif est tout d'abord ancré dans le monde quotidien puis se construit au niveau phénotypique et populationnel.

- Pour que les indices de la situation-problème fassent sens pour les élèves, il est nécessaire que l'enseignant les accompagne (rôle déterminant) dans la construction d'un contexte interprétatif qui se rapproche de celui visé
- Pour provoquer des transformations du contexte interprétatif, c'est bien l'ensemble des éléments qui le constituent qui doivent être déplacés : déplacements d'objets de discours ; construction de nouveaux points de vue ; fermeture de problème et ouverture sur d'autres problèmes, ré-organisation des mises en relations, déplacement langagiers//des déplacements conceptuels
- Dispositif davantage contraint pour les élèves et permettrait une argumentation au regard de la règle de l'hérédité mendélienne.
- On peut penser que la présence dans le dispositif d'un outil de validation mathématique possible nécessitant de mobiliser les règles mendélienne de la transmission des caractères et notamment le passage par les échiquiers de croisement , permettrait de penser l'évolution de la population au niveau génétique et pas seulement l'état de la population.
- Hypothèse : proposition d'introduction dans la situation-problème d'outils potentiels
  - modèle-loi de Hardy-Weinberg
  - Modèle en germe de l'urne des gamètes
- Nouveau questionnement : concernant les conditions de possibilité de l'usage des outils : comment peuvent-ils être contraints dans la situation-problème pour les rendre disponible pour les élèves?

# Le principe de sélection naturelle: genèse, enjeux dans le cadre évolutionniste actuel

Jean Gayon

Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques  
(Université Paris 1-Panthéon Sorbonne)

S. J. Gould (*The Structure of Evolutionary Theory*, 2002)

Comparaison entre le cadre théorique “darwinien” traditionnel et celui de la biologie évolutive contemporaine

— “Extension”?

Mêmes principes, appliqués à un spectre plus large de phénomènes

— “Remplacement”?

De nouveaux principes remplacent les anciens

— “Expansion”?

Les mêmes principes demeurent au cœur de la théorie, mais ils sont reformulés de telle sorte qu'ils donnent un aspect différent à l'ensemble de la théorie.

Selon Gould: ni extension ni remplacement, mais expansion

## Gould (suite)

- Deux critères de l' "expansion" d' une théorie selon Gould):
  - ✓ Généralisation des principes
  - ✓ Addition de principes nouveaux

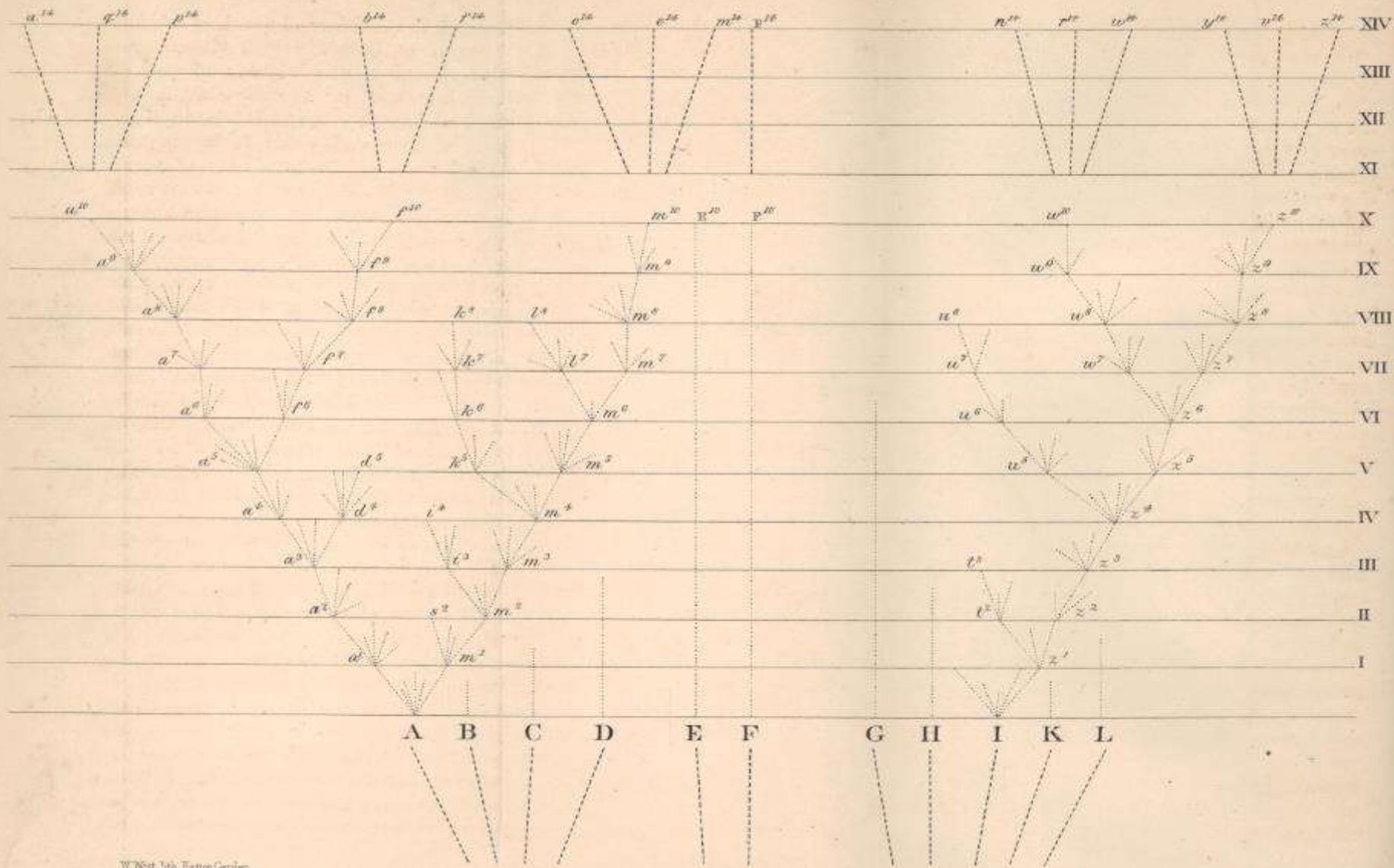
Ma proposition:

- Appliquer la notion gouldienne d'expansion théorique aux deux volets de la « théorie de Darwin »

# La “théorie de Darwin”

## Nom donné par Darwin à sa théorie

- « Descendance avec modification par la sélection naturelle »  
(*Origine des espèces*, 1859)  
(6<sup>e</sup> éd. 1872: « ... par la variation et la sélection naturelle »)
- *Descendance avec modification*: patron général de l' évolution
- (*Variation*) et *sélection naturelle*: théorie explicative
- “Personally, of course, I care much about natural selection, but that seems to be utterly unimportant compared to the *Creation or Modification*” (lettre à Asa Gray, 11/05/1863)



# Le diagramme de *L'Origine des espèces*

- Deux interprétations possibles du diagramme:
  - 1) Représentation idéalisée du “fait général de l'évolution” (modification des espèces, ascendance commune).
  - 2) Théorie explicative, principalement fondée sur le principe de sélection naturelle

**Le diagramme en tant que représentation idéalisée  
du “fait général de l’évolution”: postulats sous-  
jacents**

1. Les espèces se modifient

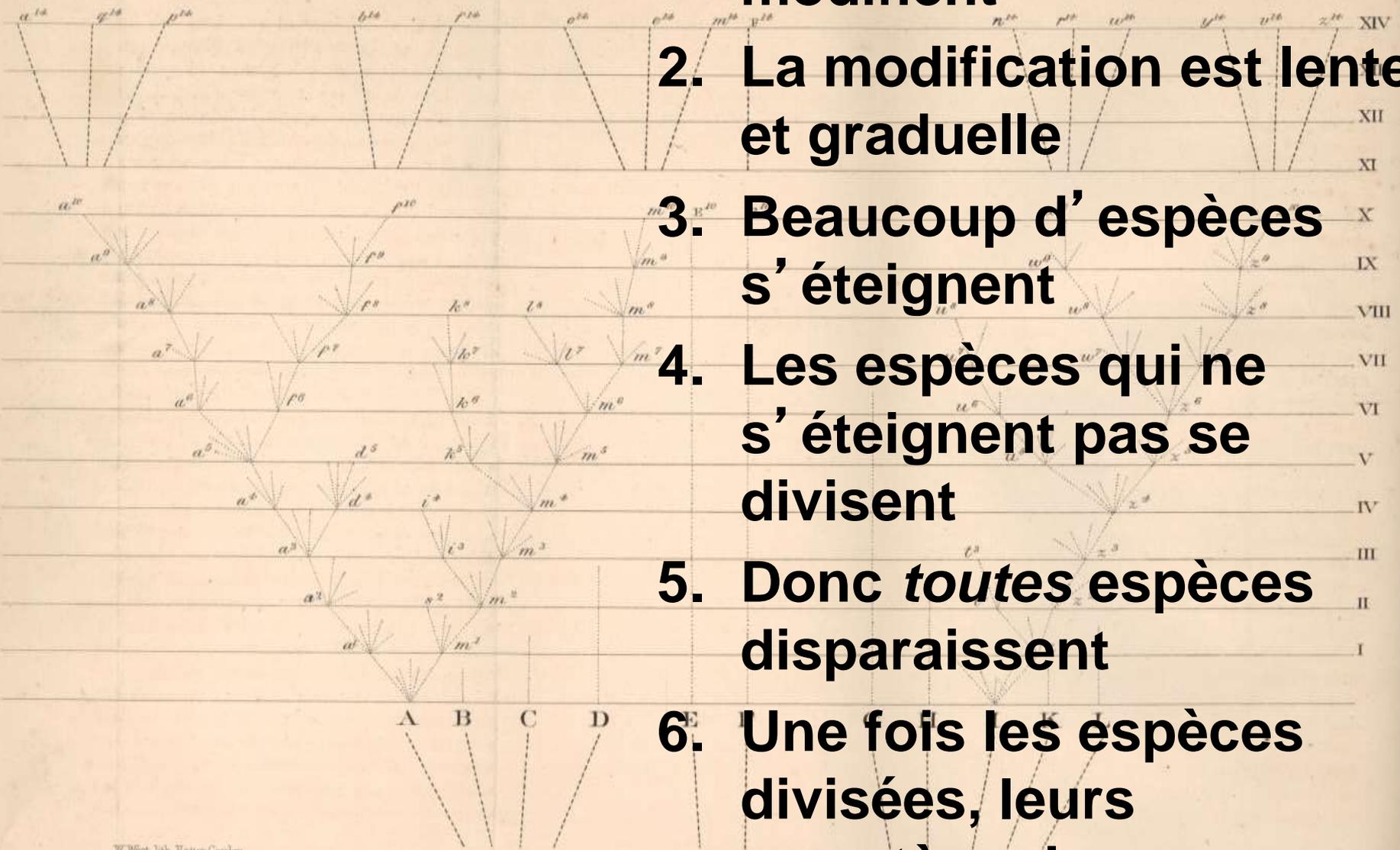
2. La modification est lente et graduelle

3. Beaucoup d'espèces s'éteignent

4. Les espèces qui ne s'éteignent pas se divisent

5. Donc toutes espèces disparaissent

6. Une fois les espèces divisées, leurs caractères Le diagramme s'applique à



W. Wint lith. Hatten Garden.

## Le diagramme comme représentation théorique

- En fait, Darwin n'a pas choisi de commenter son diagramme dans les termes d'un "patron" (pattern), *i.e.* comme une manière de rassembler des données indépendamment de toute hypothèse explicative.

## Le diagramme comme représentation théorique

- En fait, Darwin n'a pas choisi de commenter son diagramme dans les termes d'un "patron" (pattern), *i.e.* comme une manière de rassembler des données indépendamment de toute hypothèse explicative.
- Il en a parlé comme d'une représentation de *ce que devrait être l'allure de l'évolution si ses hypothèses explicatives étaient justes*:

'Now let us see how the principle of great benefit derived from divergence of character, combined with the principles of selection and of extinction, will tend to act. The following diagram will aid us in understanding this rather perplexing question' (Darwin, 1859; 116)

# Origines et signification du diagramme

- Quelques étapes dans la genèse du diagramme de *L'Origine des espèces* (1837-1859)
- Selon les cas, les dessins ont tantôt l'allure d'un arbre généalogique, tantôt d'un diagramme théorique visant à rendre compte des processus évolutifs

Darwin, Notebook B, 1837, p. 26

17 x 9,7 cm

So no of make it complexly complicated. 26  
Contradiction to  
constant succession  
of forms in progress.



So it thus fish can  
be traced right down  
to simple organization. —  
birds — not.



Darwin, Notebook B,  
1837, p. 26  
1<sup>er</sup> « arbre »

**à gauche:**

« a triple branching in  
the tree of life owing to  
three elements, air,  
land, & water »

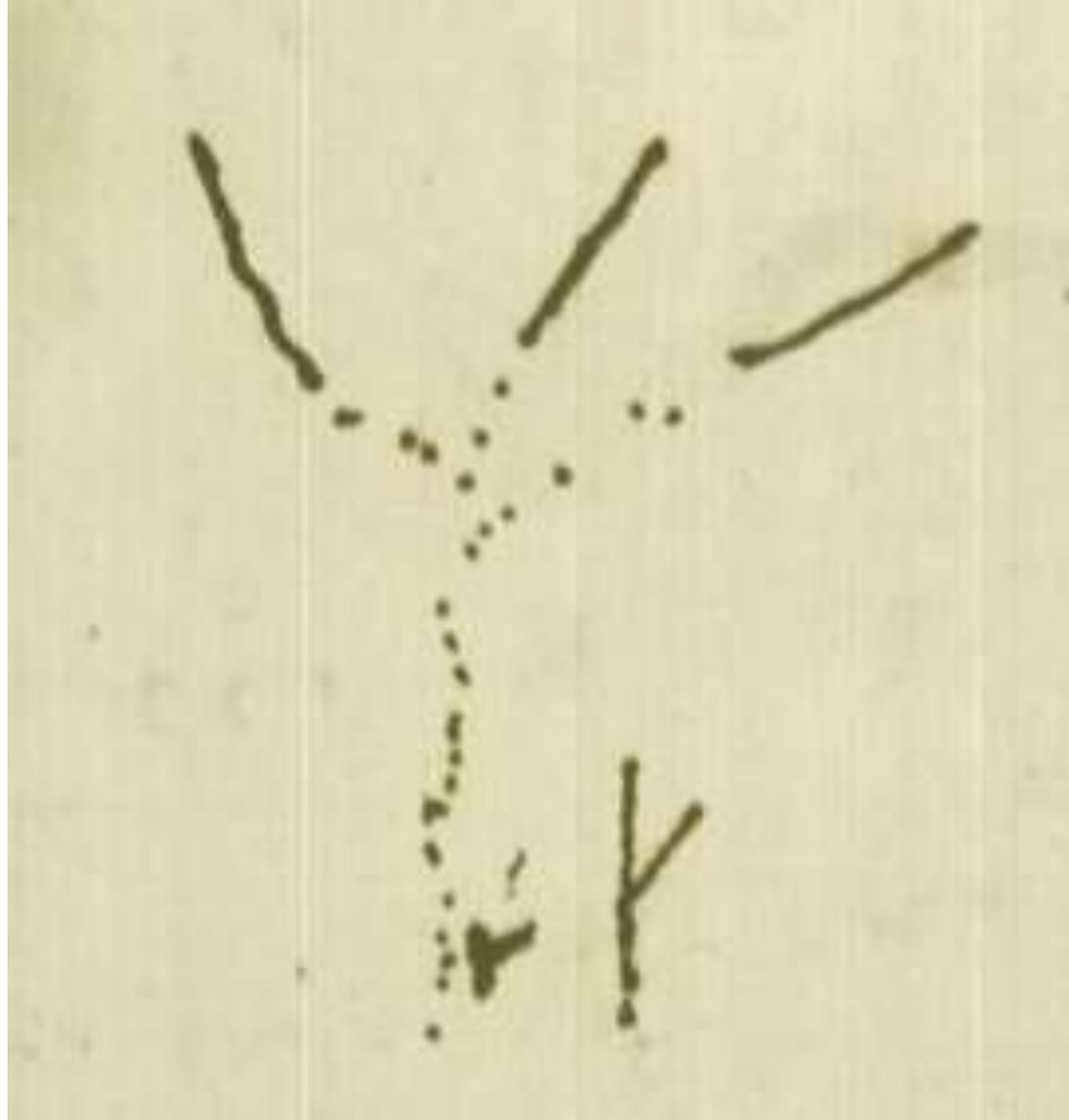
**à droite:**

vraisemblablement un  
arbre des poissons  
(sans pointillés ou  
presque: « ...can be  
traced down to simple  
organization »

**au milieu et en bas:**

peut-être le schéma de  
base de la ramification  
d'une espèce?

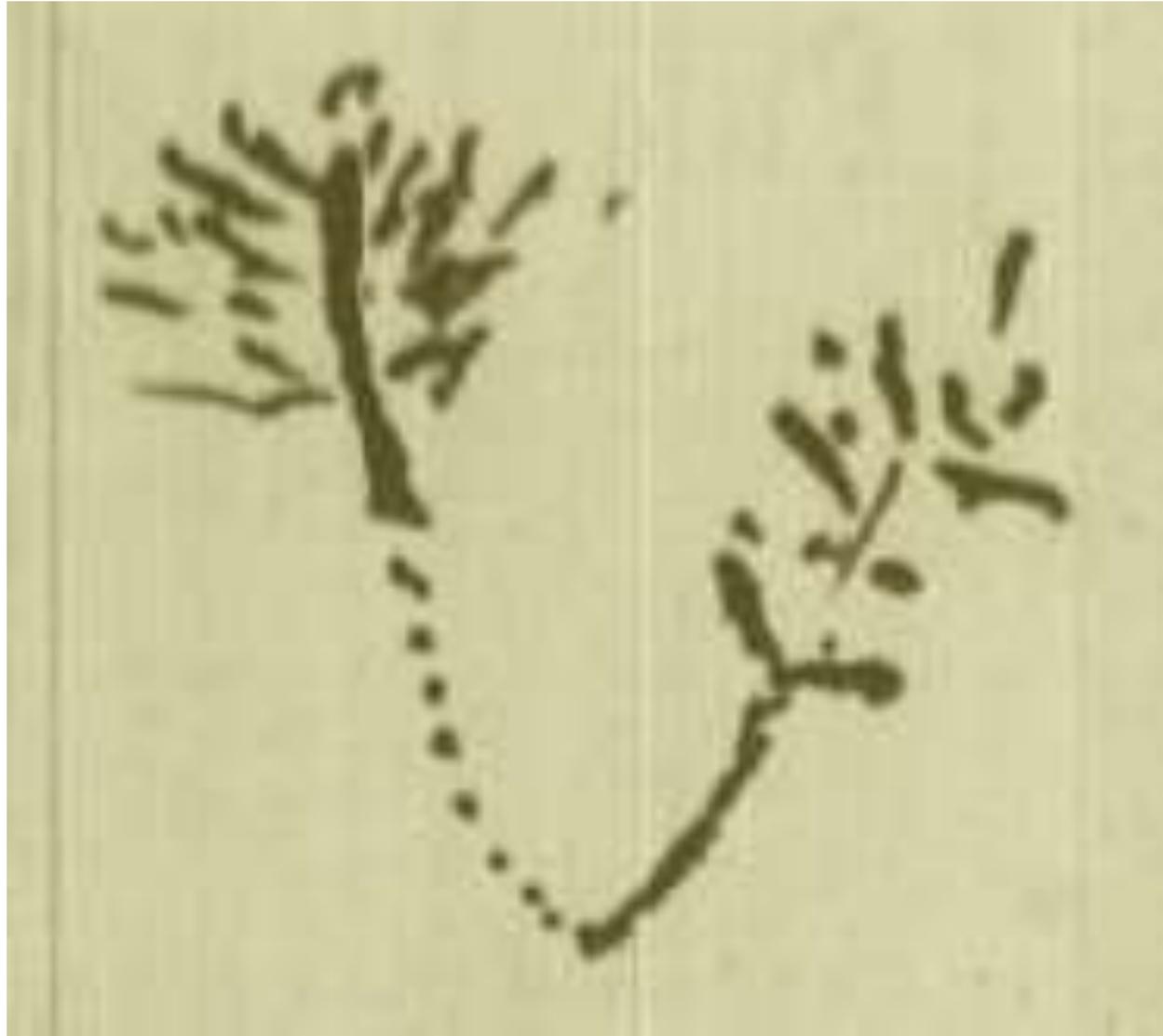
(Voss, *Darwins Diagramme*,  
2003; Hors tBredekamp, *Les  
cerveaux de Darwin*, 2000)



Vraisemblablement  
un schéma  
d'évolution des  
oiseaux.

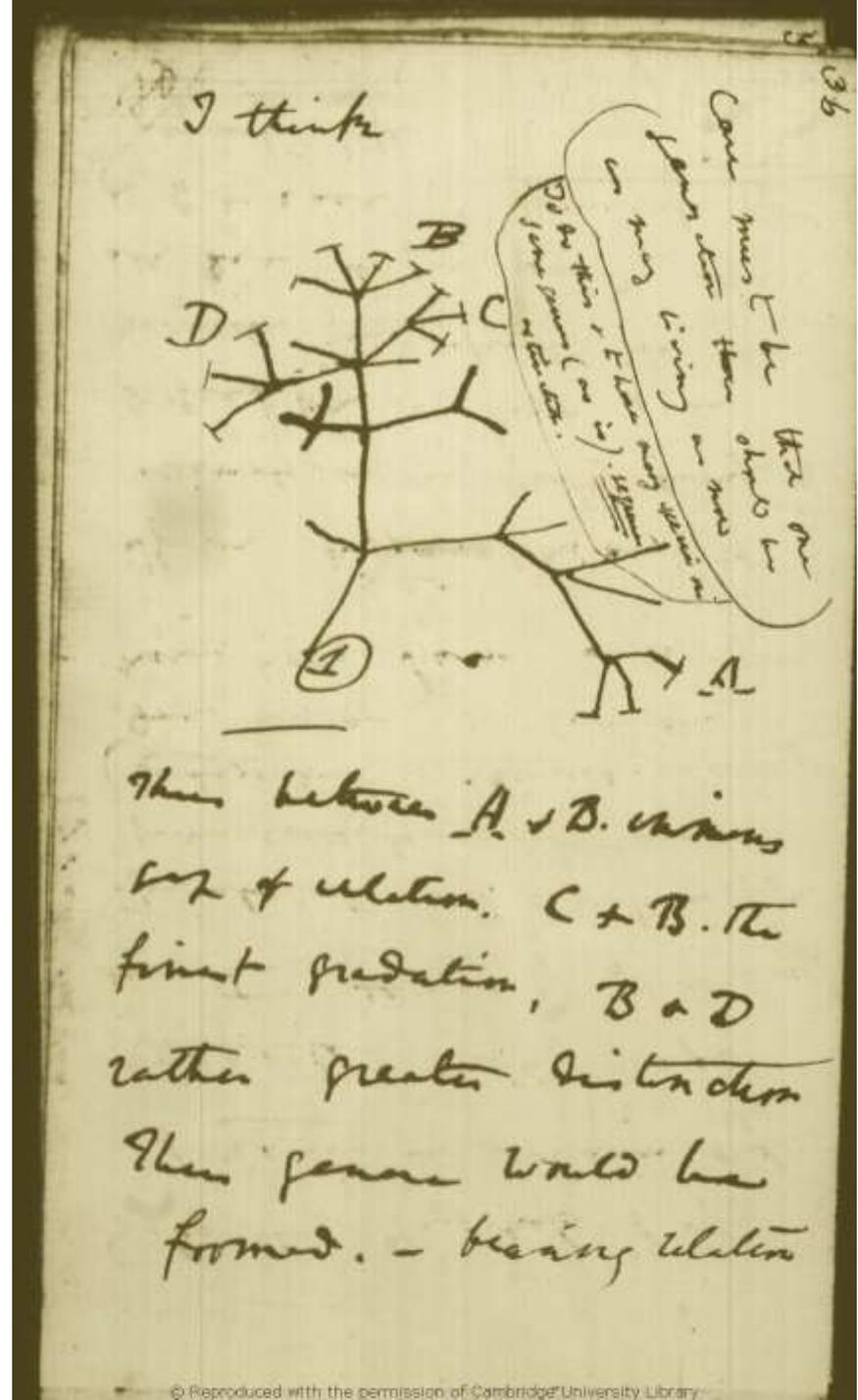
A droite: ramification  
d'espèces à partir  
d'un lignage  
supposé réel

A gauche:  
ramification  
d'espèces à partir  
d'un rameau  
« mort »



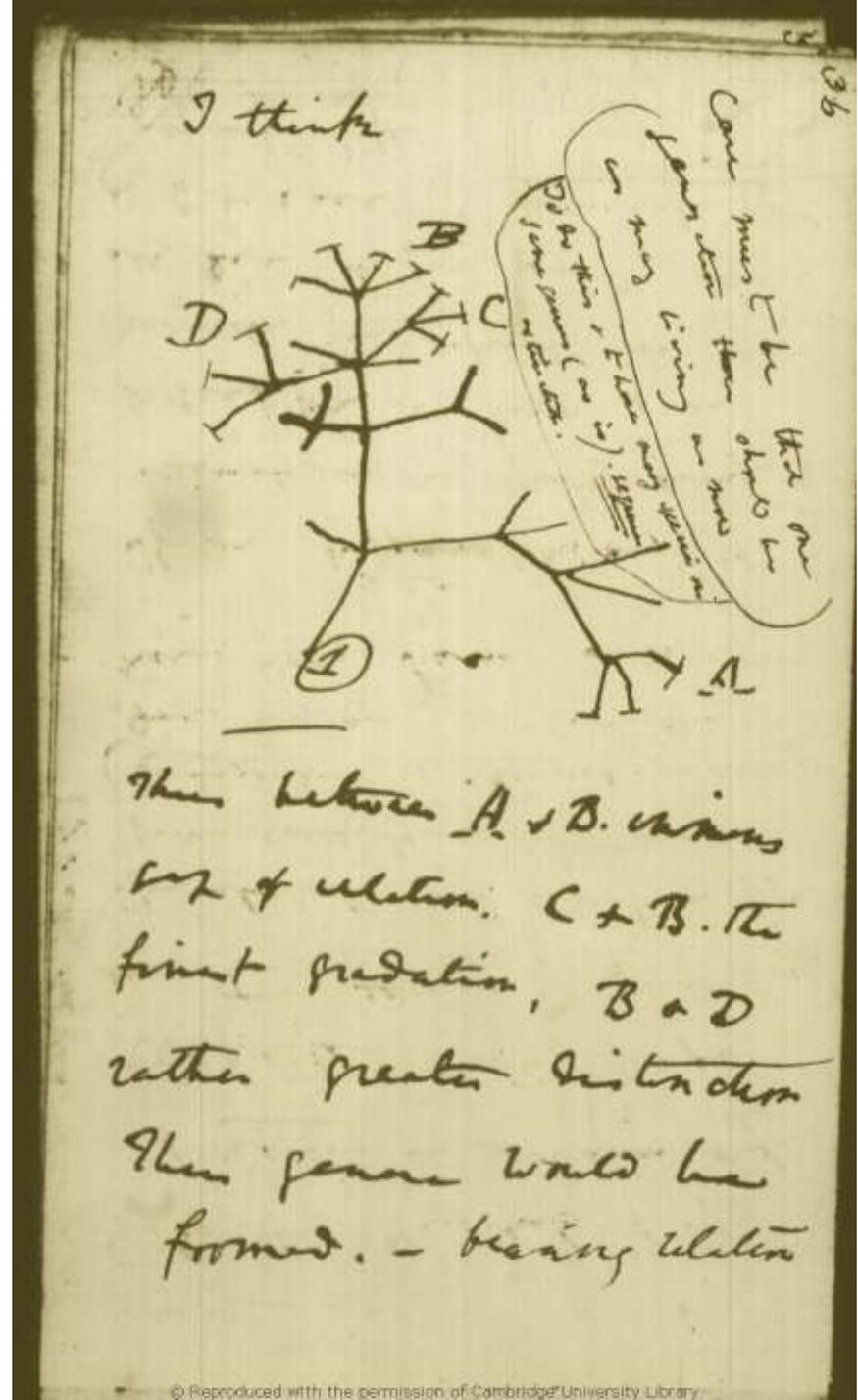
Darwin, Notebook B, 1837, 2<sup>e</sup>  
diagramme (p. 26)

-Il s'agit en réalité d'une  
représentation théorique,  
exprimant un certain nombre  
d'hypothèses explicatives



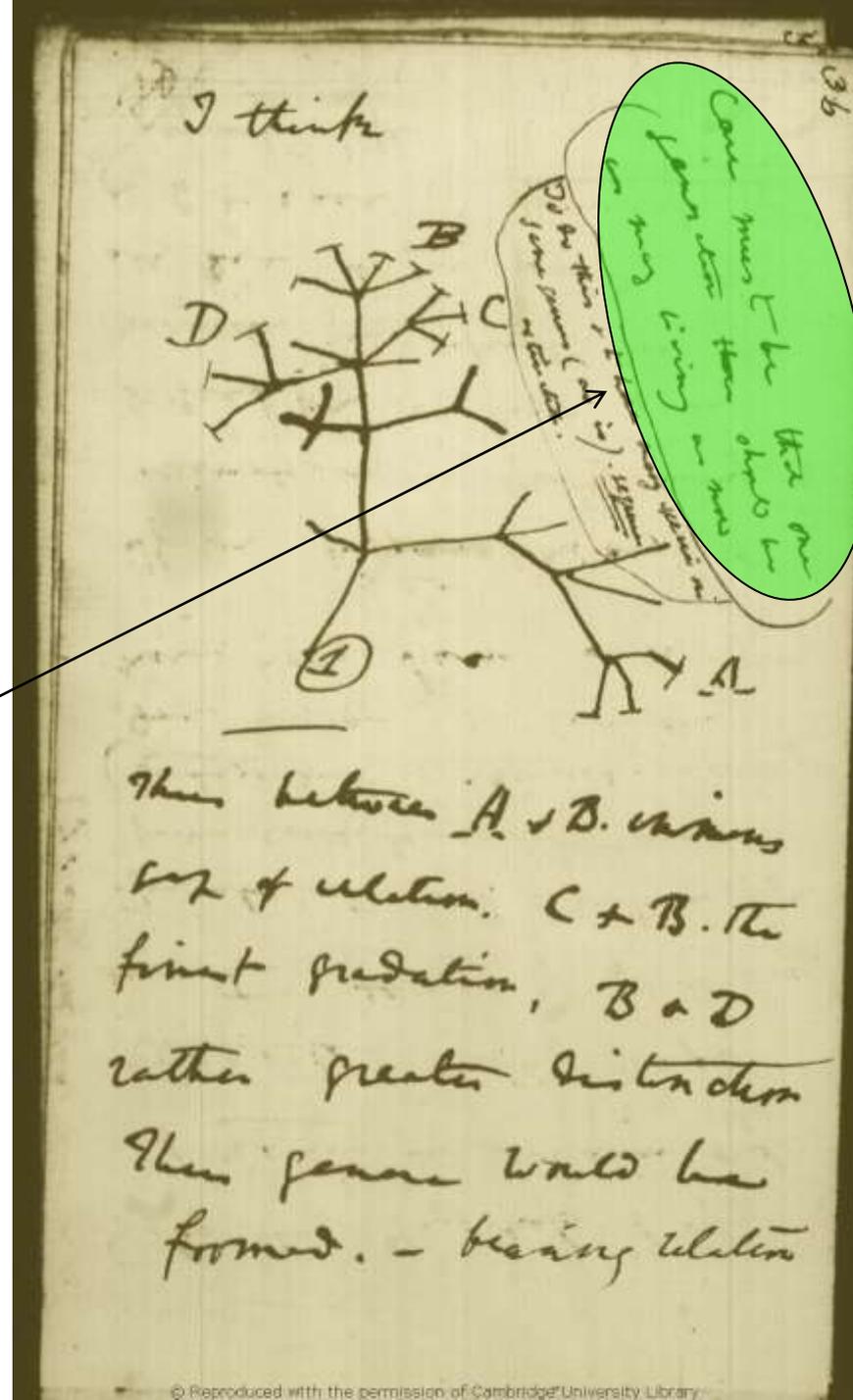
Darwin, Notebook B, 1837, 2<sup>e</sup>  
diagramme (p. 26)

- 13 des 23 branches  
terminales ont une extrémité  
barrée (les espèces  
 survivantes au temps présent)



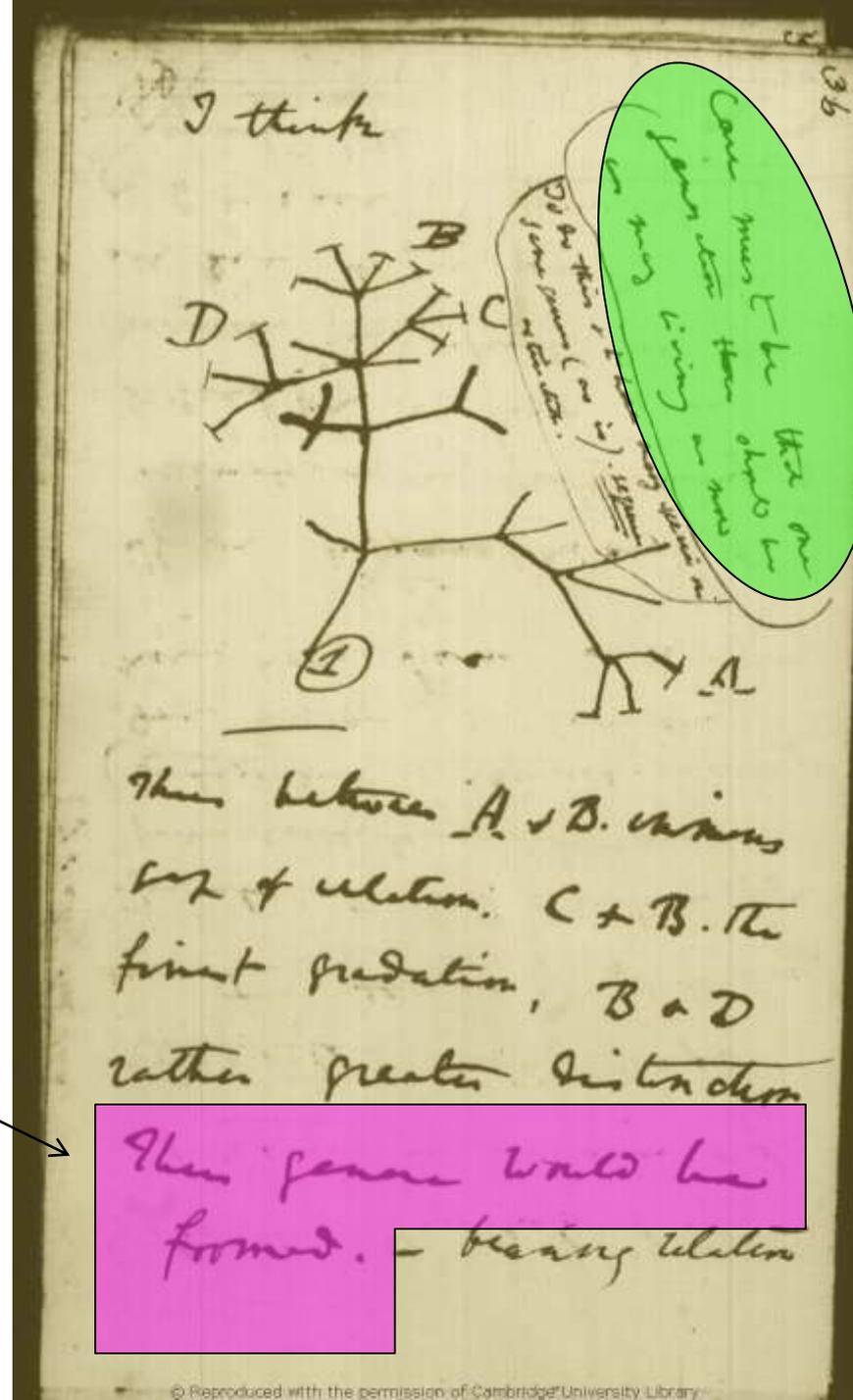
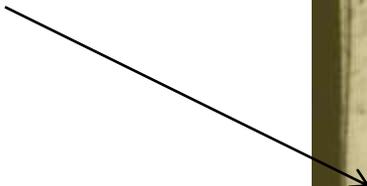
Darwin, Notebook B, 1837, 2<sup>e</sup>  
diagramme (p. 26)

- le nombre total des espèces  
 survivantes au temps t est  
 supposé constant

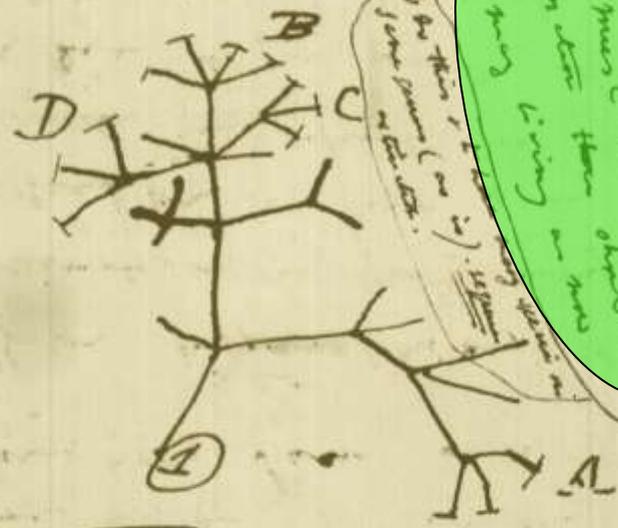


Darwin, Notebook B, 1837, 2<sup>e</sup>  
diagramme (p. 26)

-de nouveaux genres  
apparaissent



I think



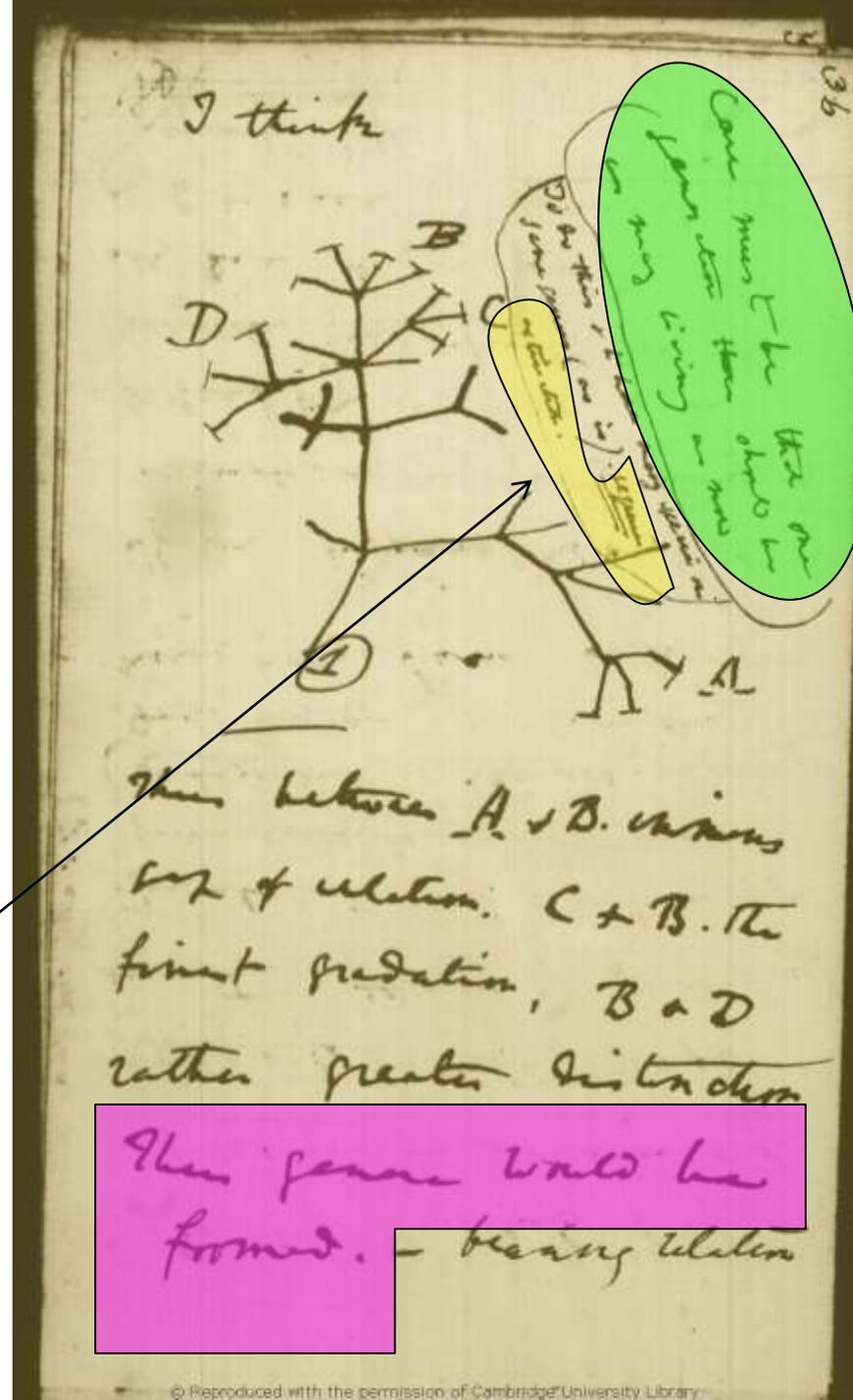
Can more be added to the list of living species?

Then between A & B. various  
sort of relation. C + B. The  
first predation, B & D  
rather greater distinction

Then genera would be  
formed. - bearing relation

Darwin, Notebook B, 1837, 2<sup>e</sup>  
diagramme (p. 26)

ceci implique qu'il y ait des  
extinctions (« extinction  
required »)

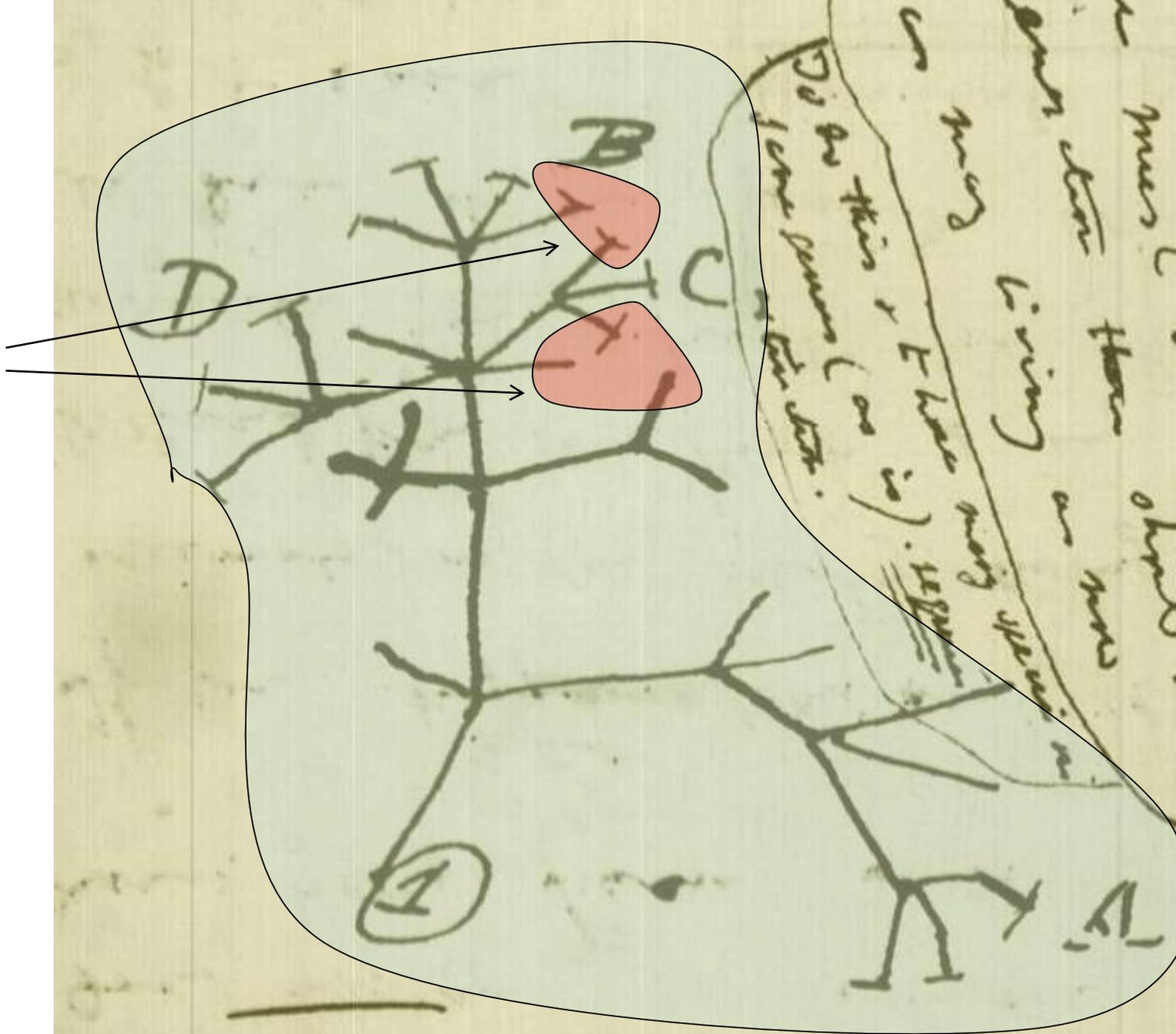


Then between A & B. various  
sort of relation. C + B. The  
first predation, B & D  
rather greater distinction

Then genera would be  
formed. - bearing relation

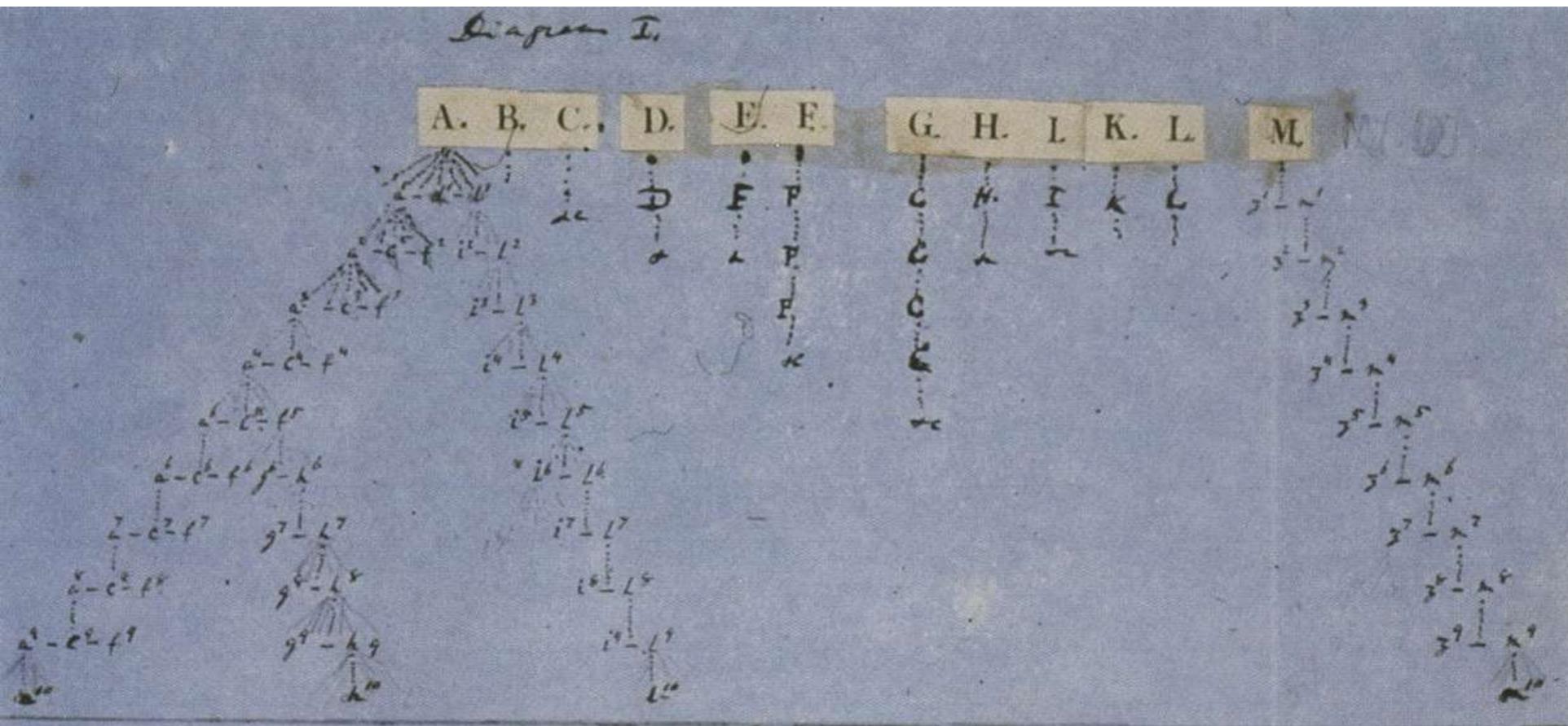
Darwin,  
Notebook B,  
1837, 3<sup>e</sup>  
diagramme p.  
36, détail

- Complexité  
des rapports  
entre  
généalogie et  
morphologie

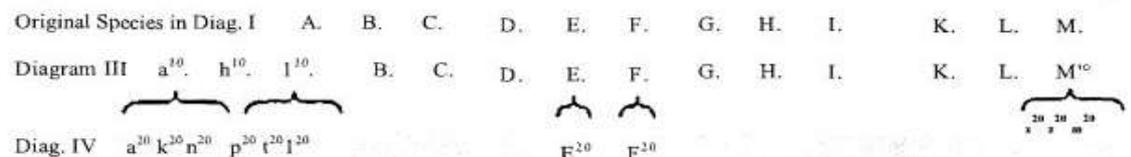
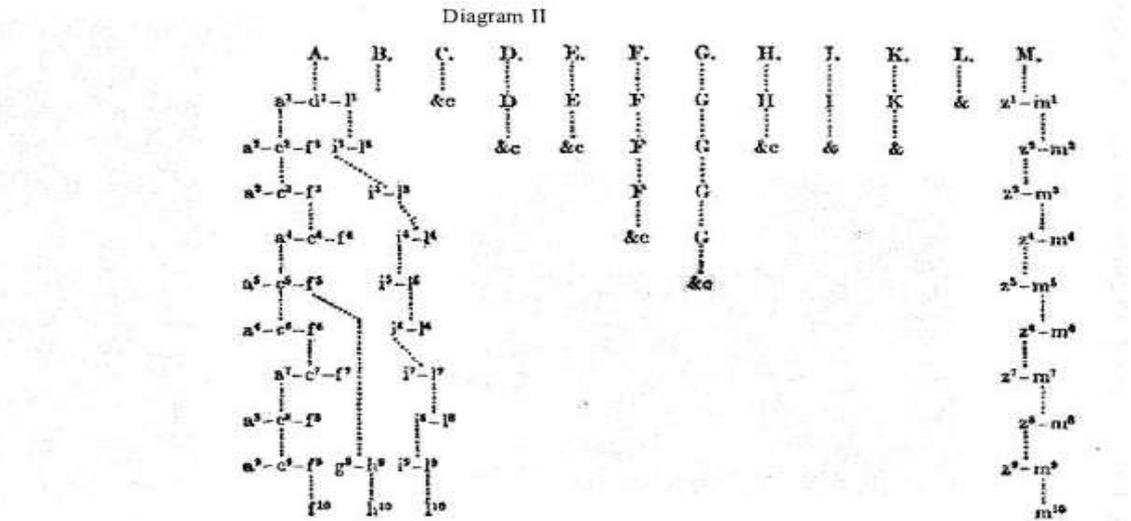
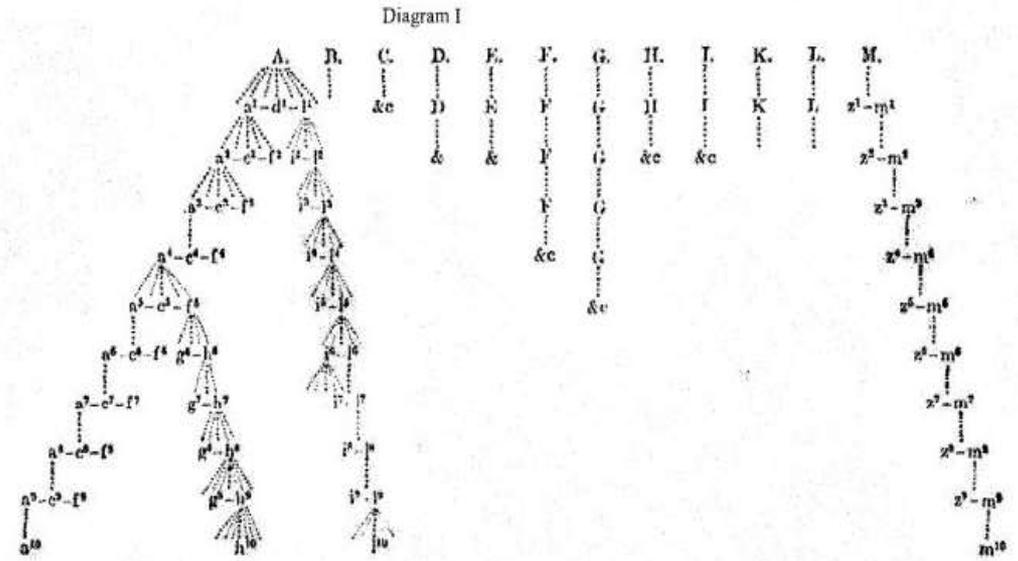




Ms "Big Species book" (Ca. 1857). Partie supérieure d'un ensemble de quatre diagrammes. Ms 10-2, f. 26r

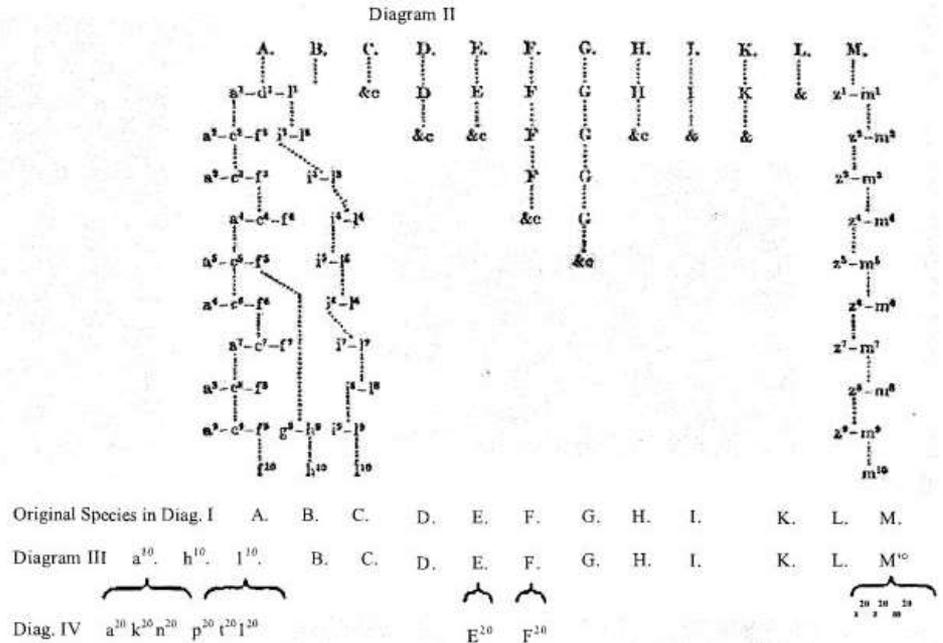
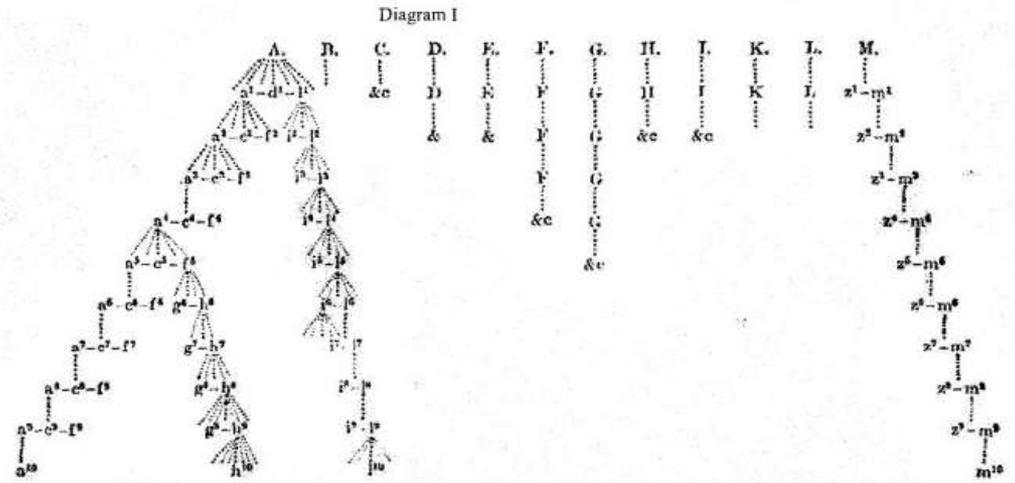


# Reconstitution des quatre diagrammes dessinés par Darwin dans son « Big species Book » (1857)



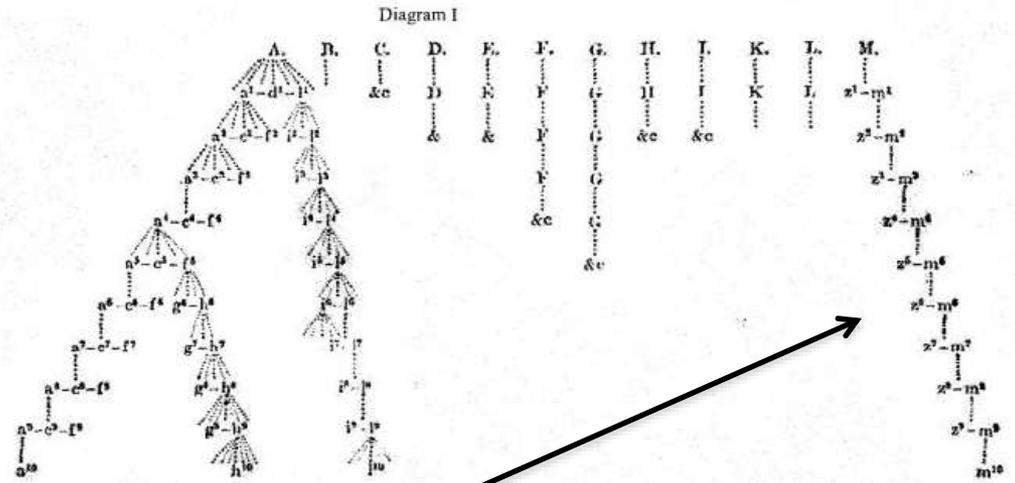
Ms “Big Species book” (Ca. 1857). Ms 10-2, f. 26r  
(redrawing by Stauffer 1975)

Le Diagramme représente plusieurs scénarios évolutifs:

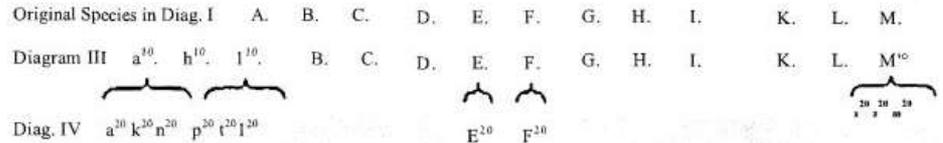
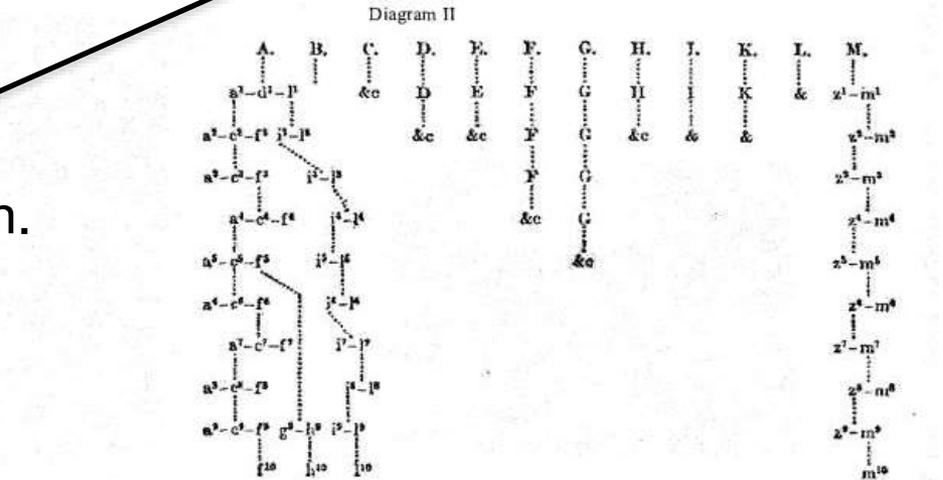
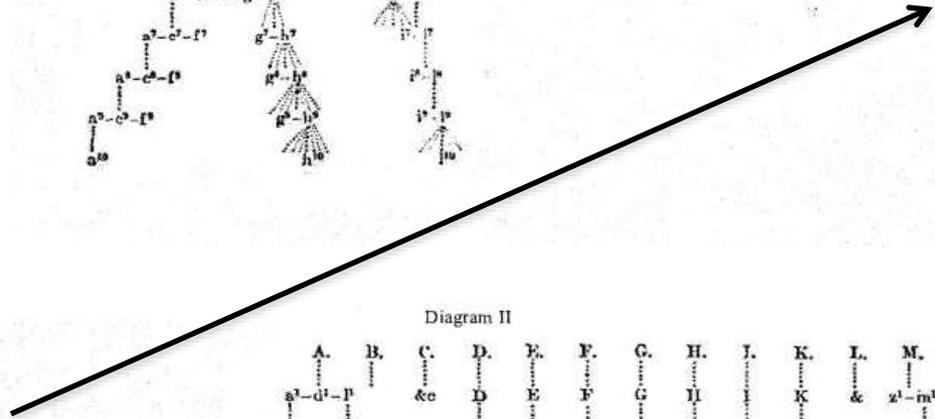


# Ms "Big Species book" (Ca. 1857). Ms 10-2, f. 26r

(redrawing by Stauffer 1975)

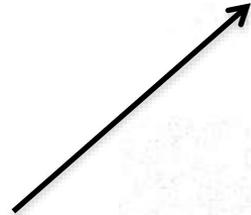
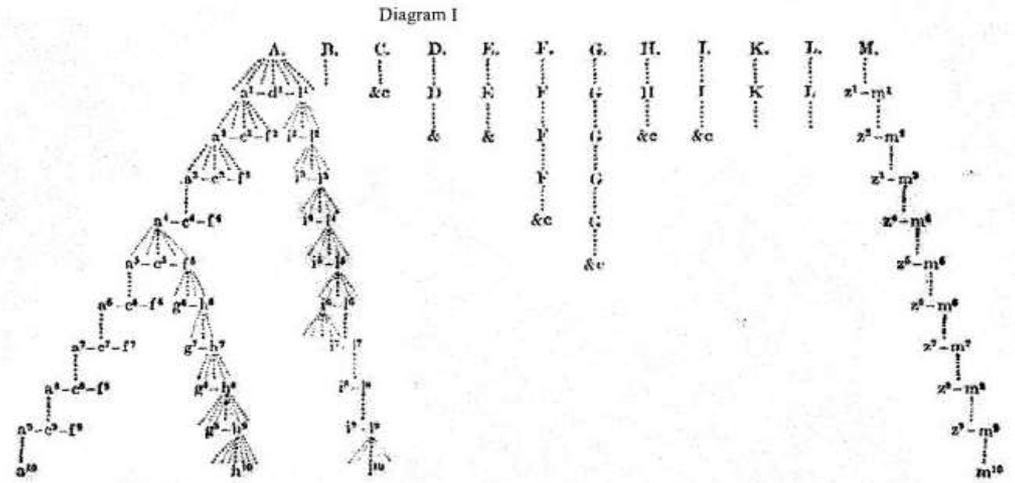


-Lignée issue de M: variation aléatoire à chaque , mais fixation d'une variété à chaque génération. Evolution unidirectionnelle.



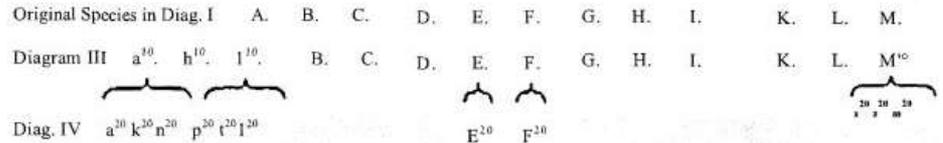
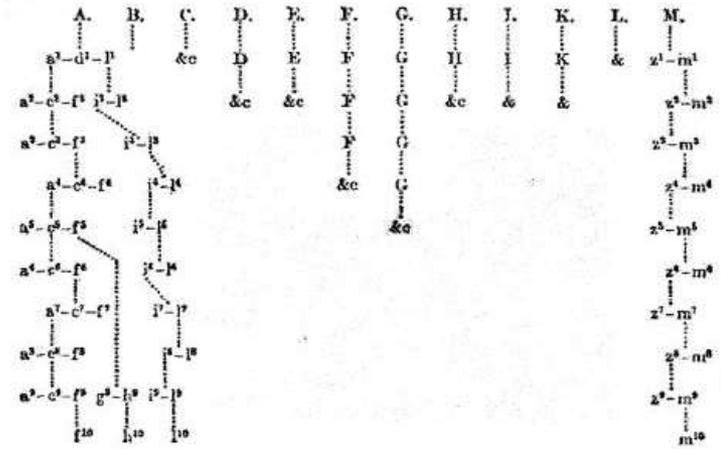
# Ms "Big Species book" (Ca. 1857). Ms 10-2, f. 26r

(redrawing by Stauffer 1975)



-Variation aléatoire à chaque génération, divergence importante à chaque génération.

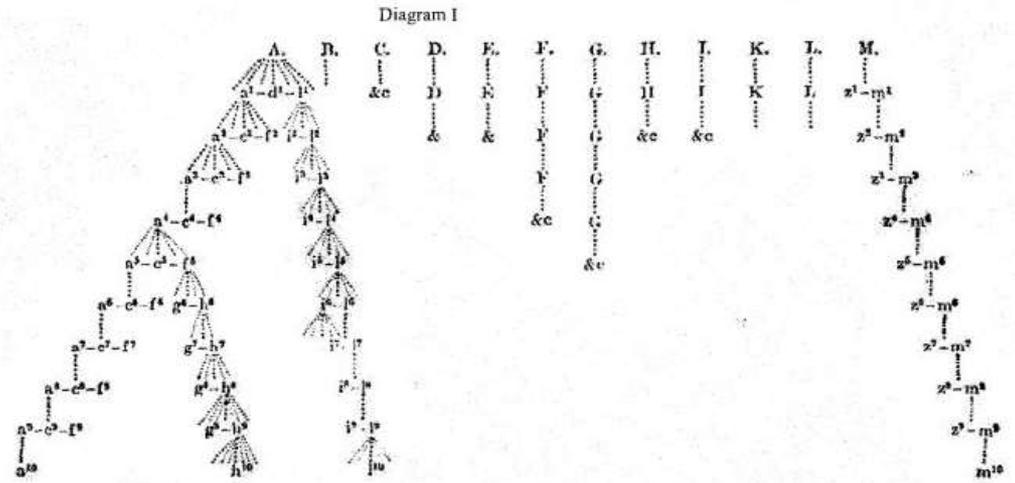
Diagram II



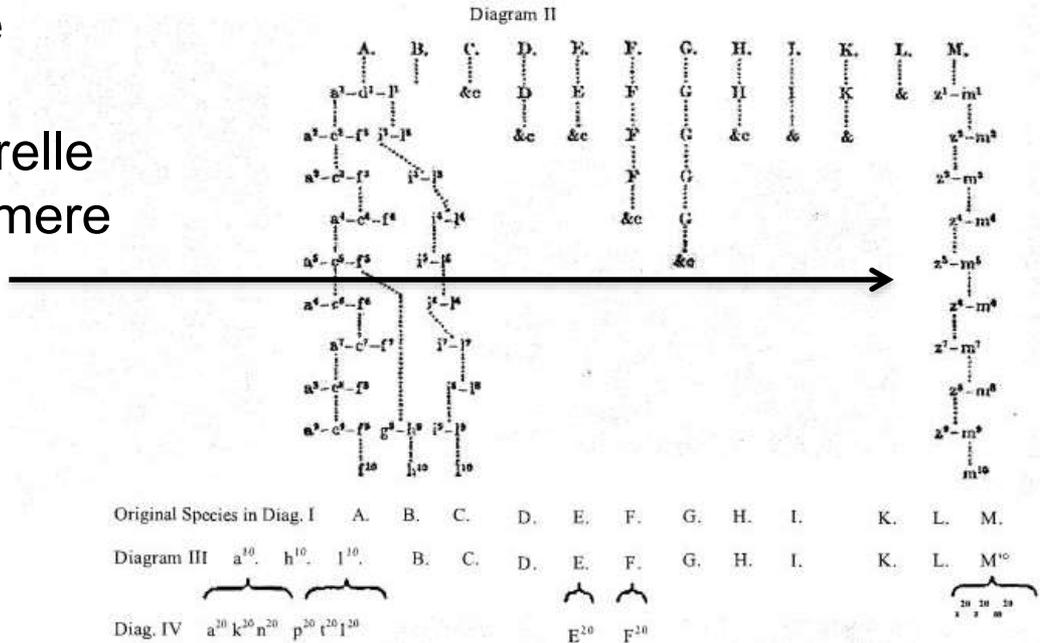
# Ms "Big Species book" (Ca. 1857). Ms 10-2, f. 26r

(redrawing by Stauffer 1975)

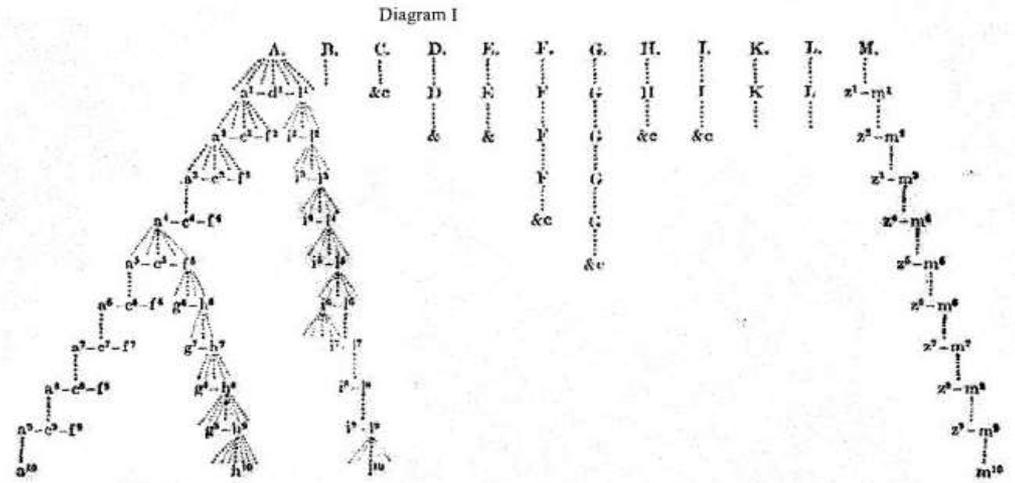
I



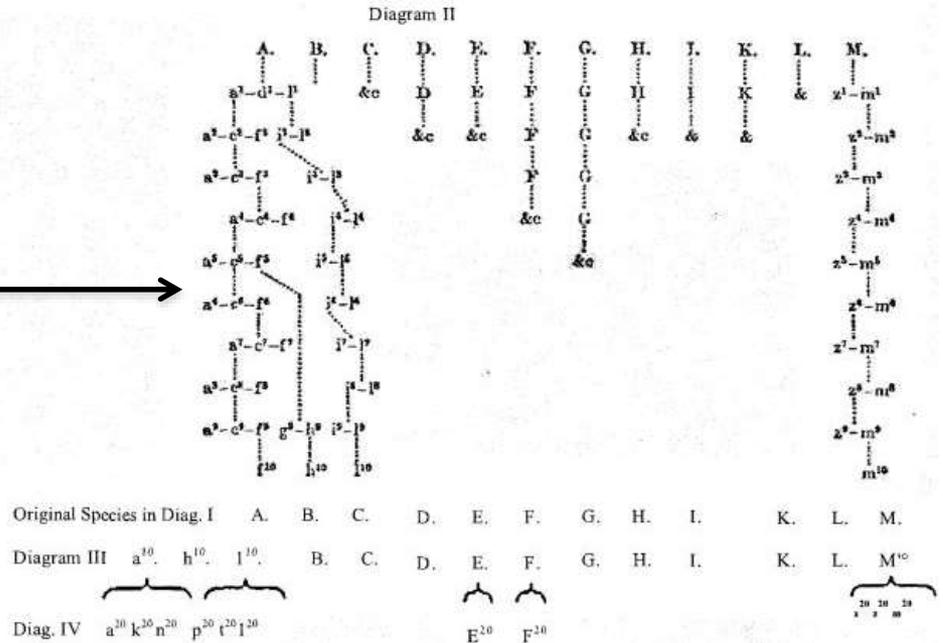
- Variation aléatoire à chaque génération. Pas d'évolution adaptative par sélection naturelle (évolution par le hasard seul 'mere chance'). Pas de divergence



Ms "Big Species book" (Ca. 1857). Ms 10-2, f. 26r  
 (redrawing by Stauffer 1975)

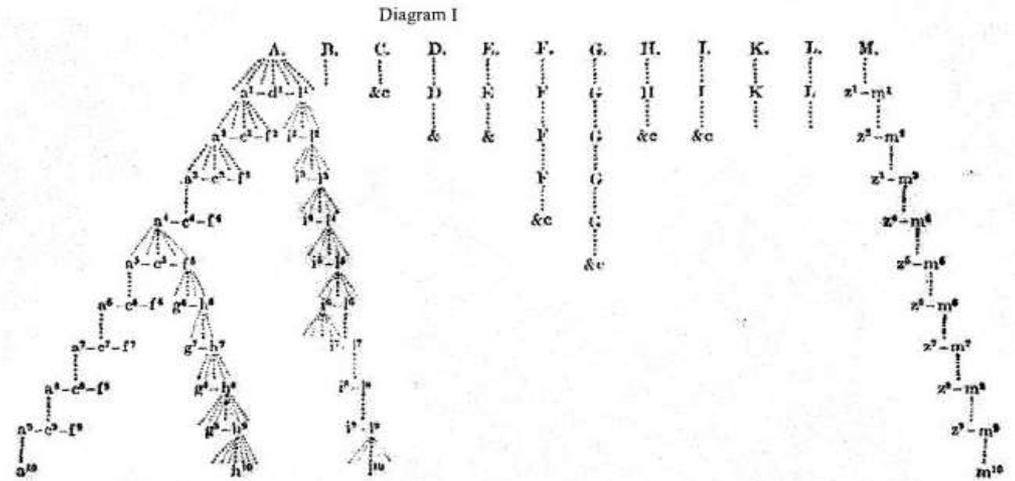


-Variation aléatoire à chaque génération. Evolution non adaptative. Haut degré de divergence.



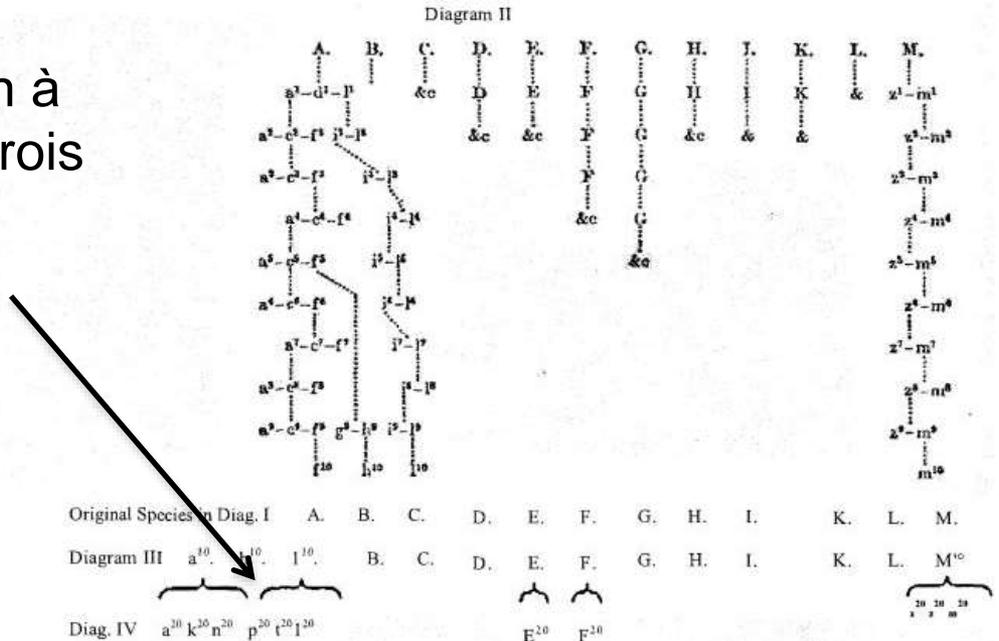
# Ms "Big Species book" (Ca. 1857). Ms 10-2, f. 26r

(redrawing by Stauffer 1975)

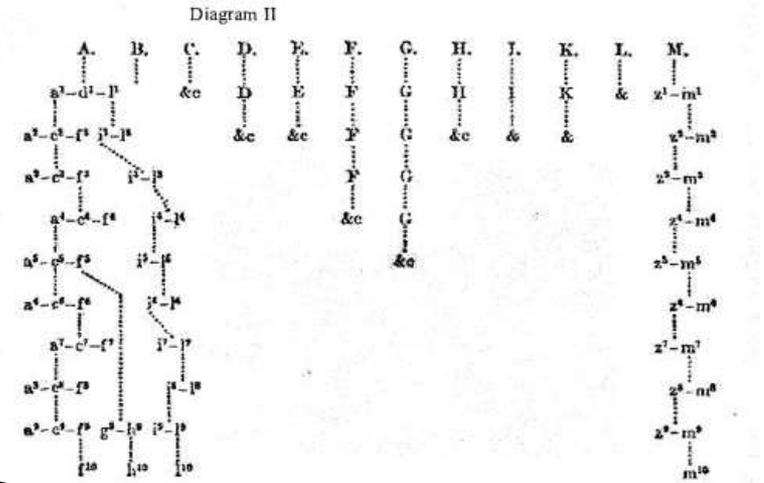
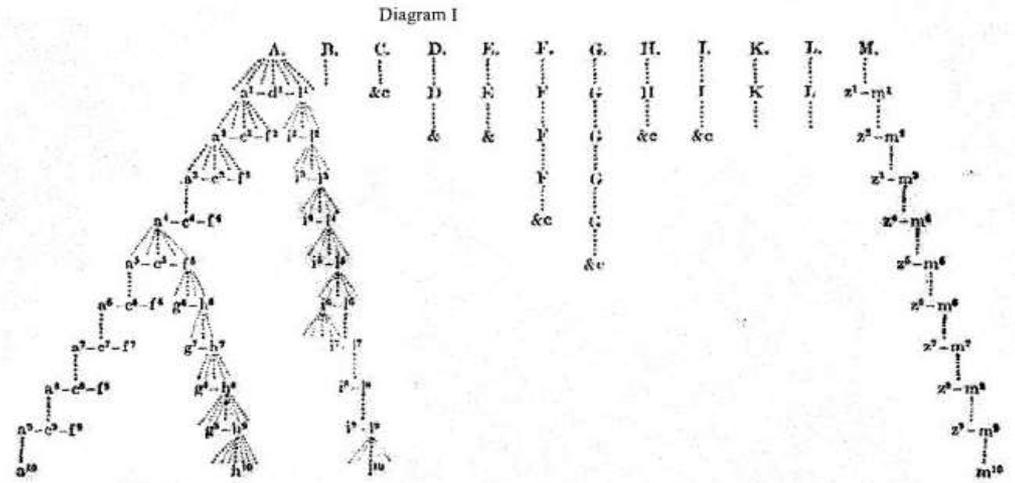


## Diagrammes III et IV:

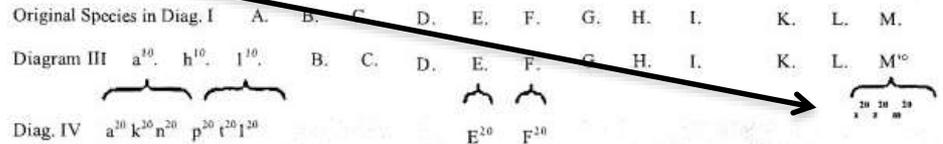
-Résultat possible de l'évolution à partir de A. Deux genres avec trois espèces dans chacun



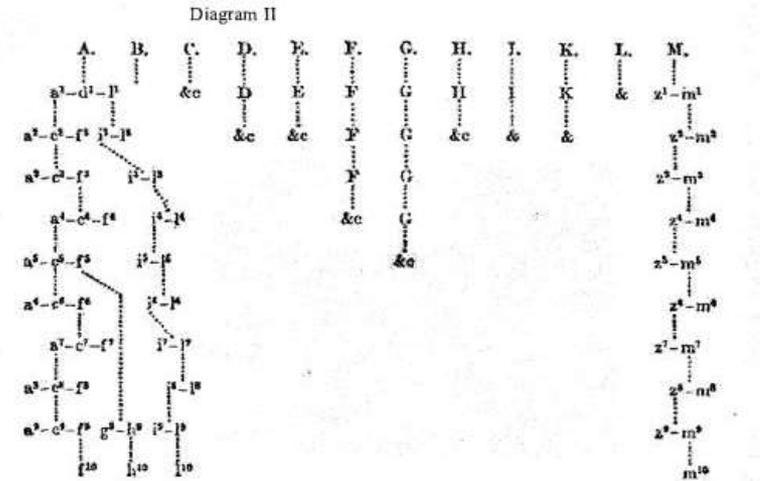
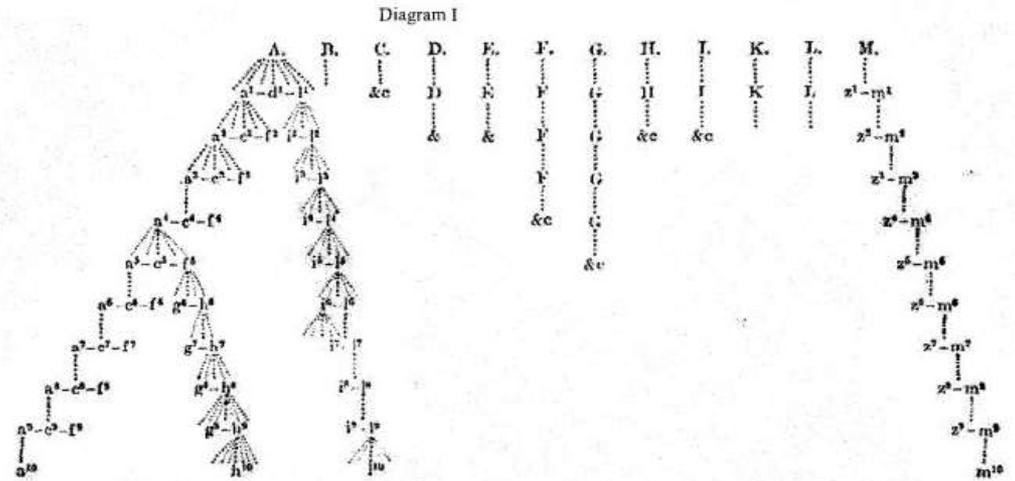
Ms "Big Species book" (Ca. 1857). Ms 10-2, f. 26r  
 (redrawing by Stauffer 1975)



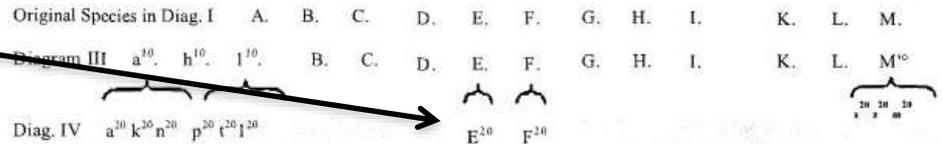
Diagrammes III et IV:  
 -Un seul genre, trois espèces.

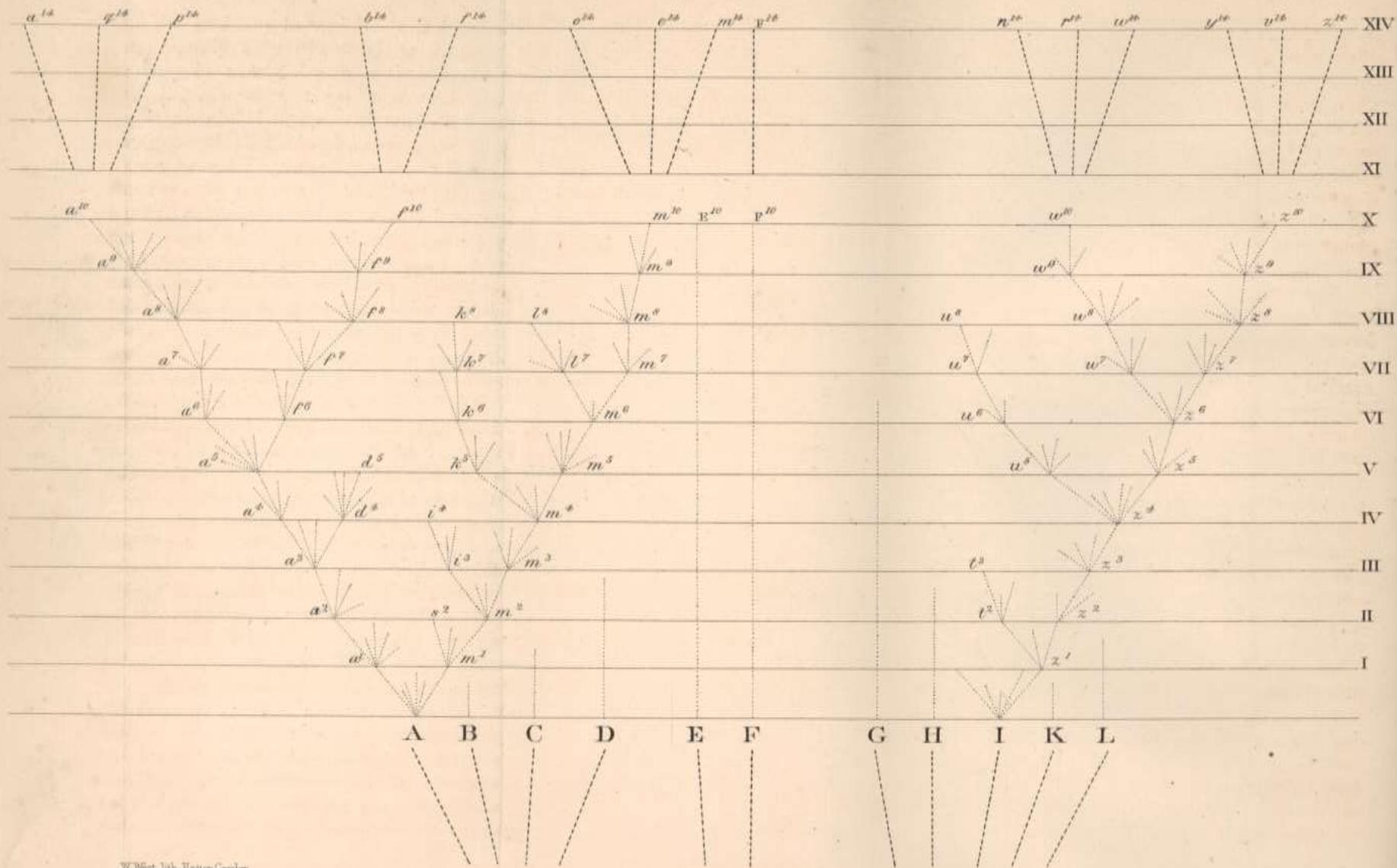


Ms "Big Species book" (Ca. 1857). Ms 10-2, f. 26r  
 (redrawing by Stauffer 1975)



Diagrammes III et IV:  
 -Presque tous les lignages s'éteignent, sauf quatre, don't deux qui n'ont pas changé.



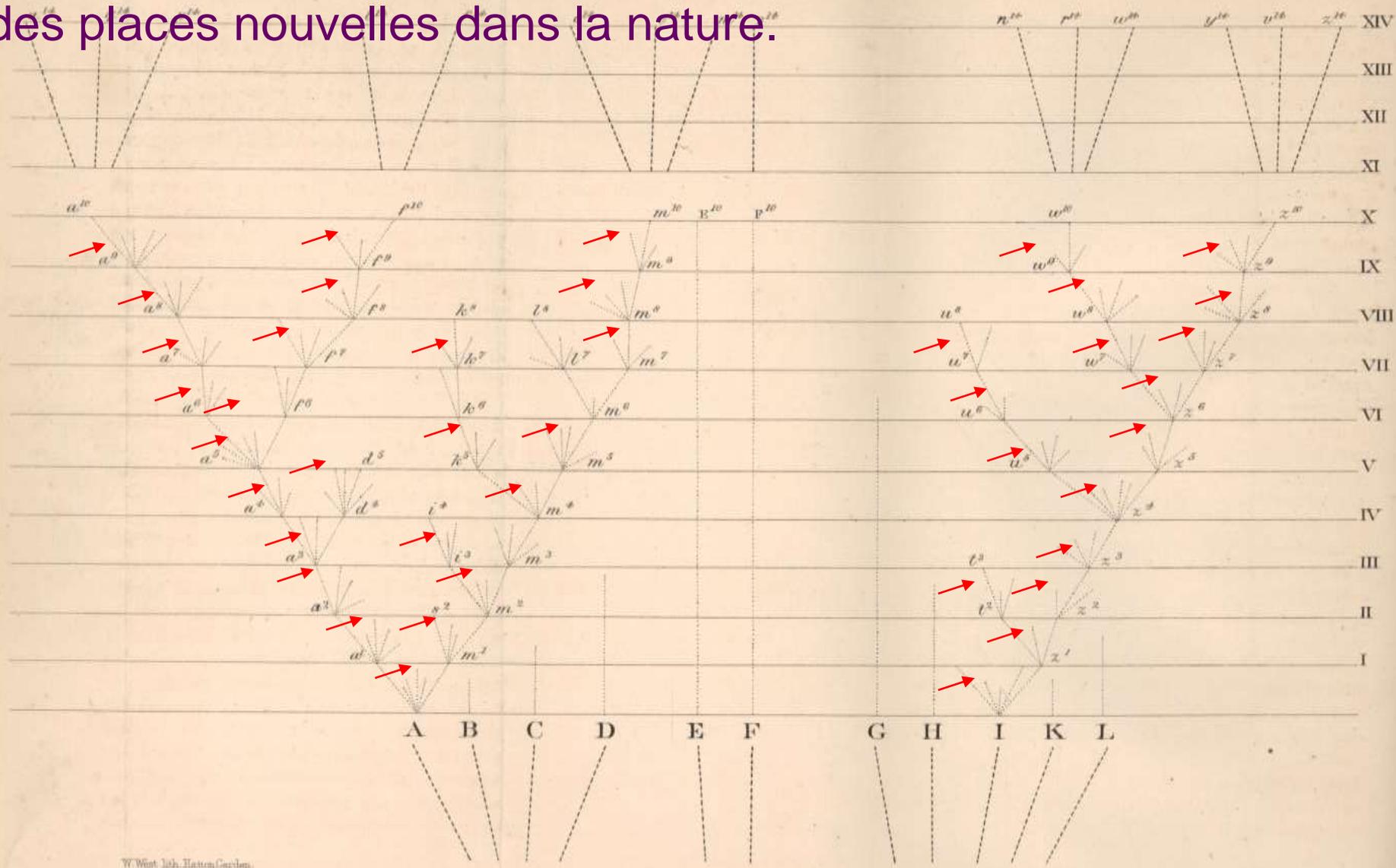


W. Winst. 14th. Hutton Garden.

## Commentaires explicites de Darwin sur son diagramme dans *L'Origine des espèces* (1859)

- 1) Les « descendants d'une espèce » prospéreront d'autant mieux que des variétés dotées de caractères différents auront conquis des places nouvelles dans la nature.

Les « descendants d'une espèce » prospéreront d'autant mieux que des variétés dotées de caractères différents auront conquis des places nouvelles dans la nature.

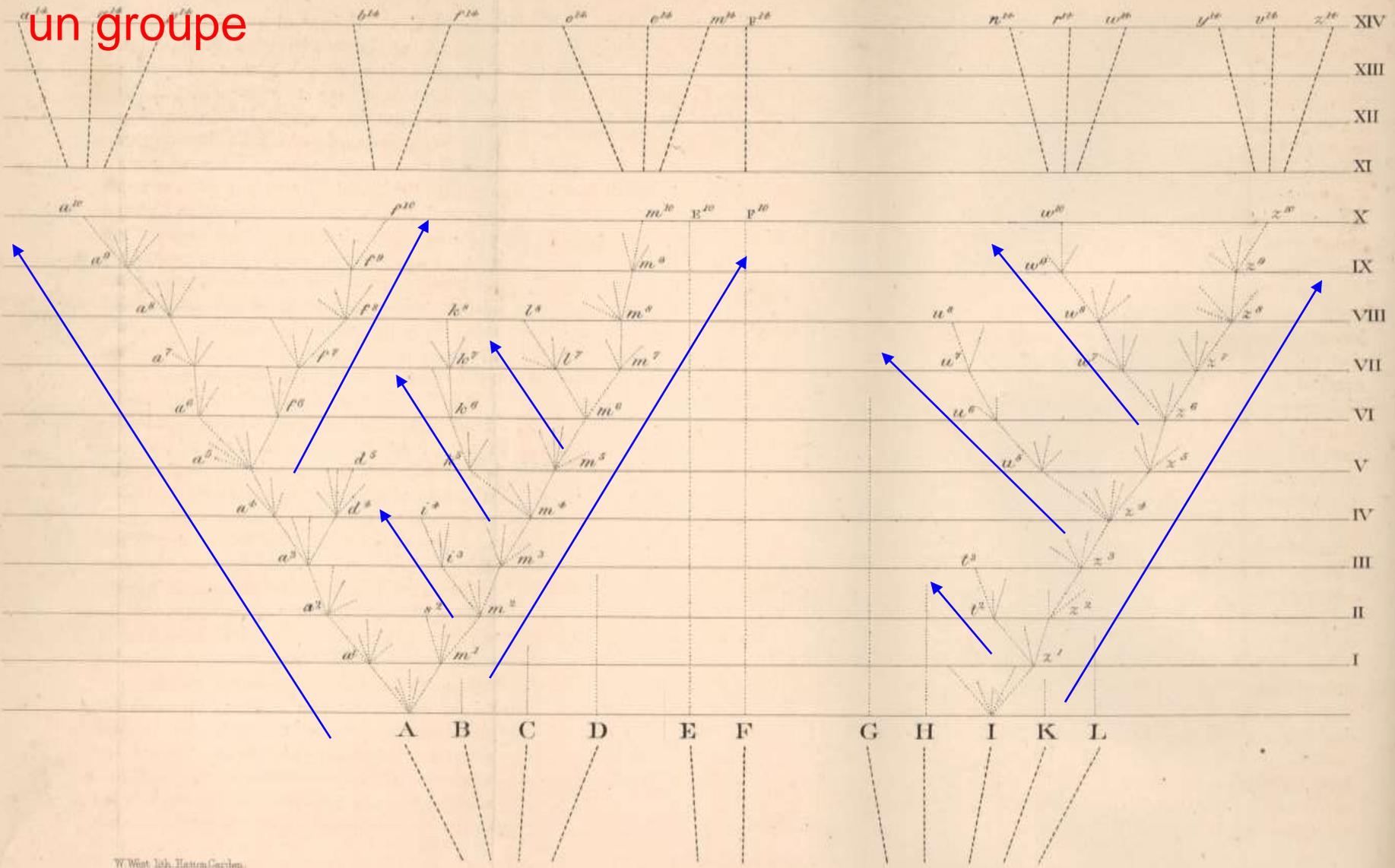


W. Wint. 1848. Hutton Garden.

## Commentaires de Darwin sur son diagramme dans *L'Origine des espèces* (1859)

2) Les variations les plus divergentes tendront à être préservées; maximisent le nombre de places occupées dans la nature par un groupe

Les variations les plus divergentes tendront à être préservées;  
maximisent le nombre de places occupées dans la nature par  
un groupe

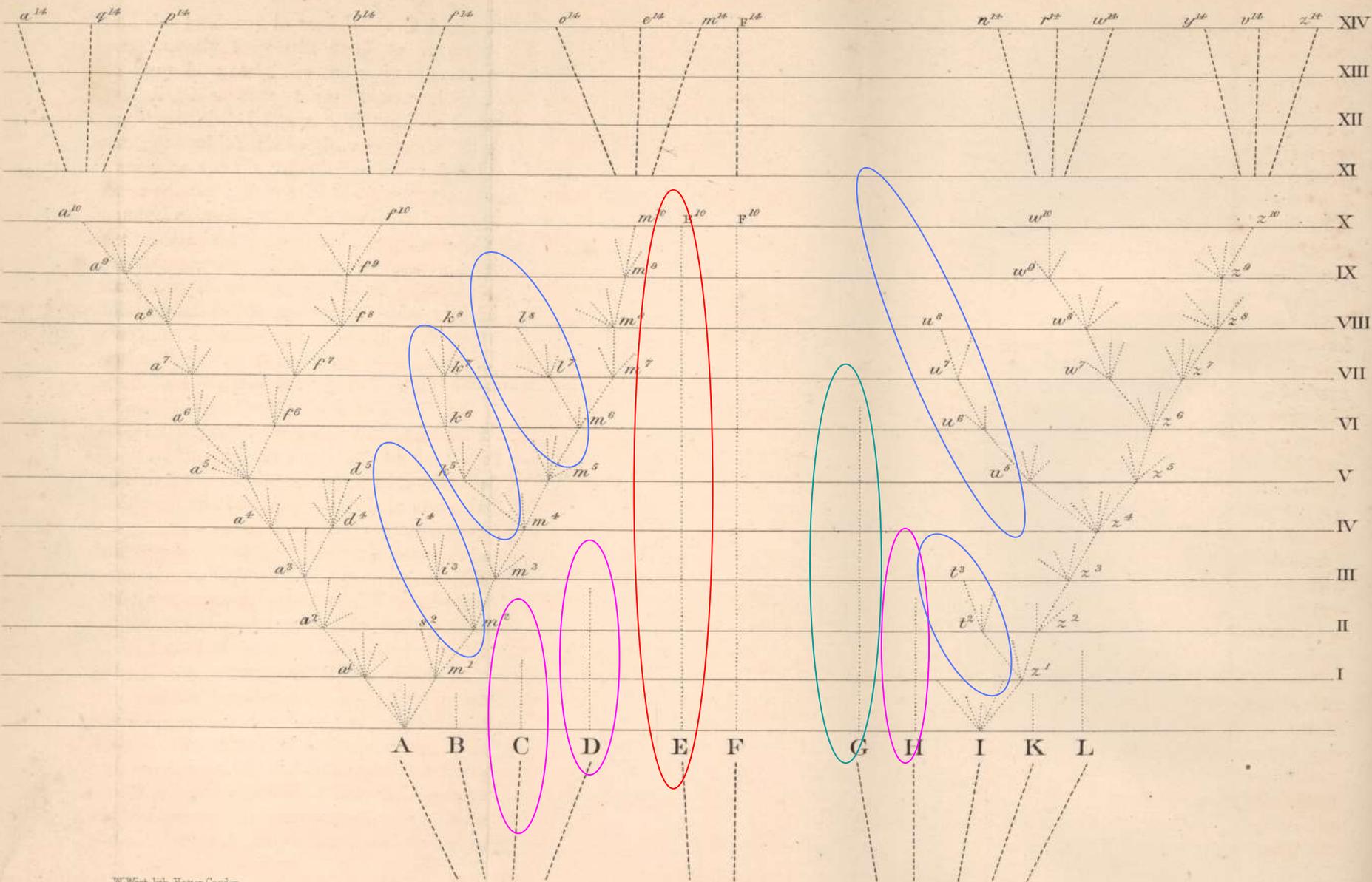


## Commentaires de Darwin sur son diagramme dans *L'Origine des espèces* (1859)

3) Les descendants des branches améliorées tendent à prendre la place et à détruire les branches plus précoces et moins améliorées.

Ceci est représenté par le fait que certains des rameaux des parties inférieures du diagramme n'atteignent pas les étages supérieurs.

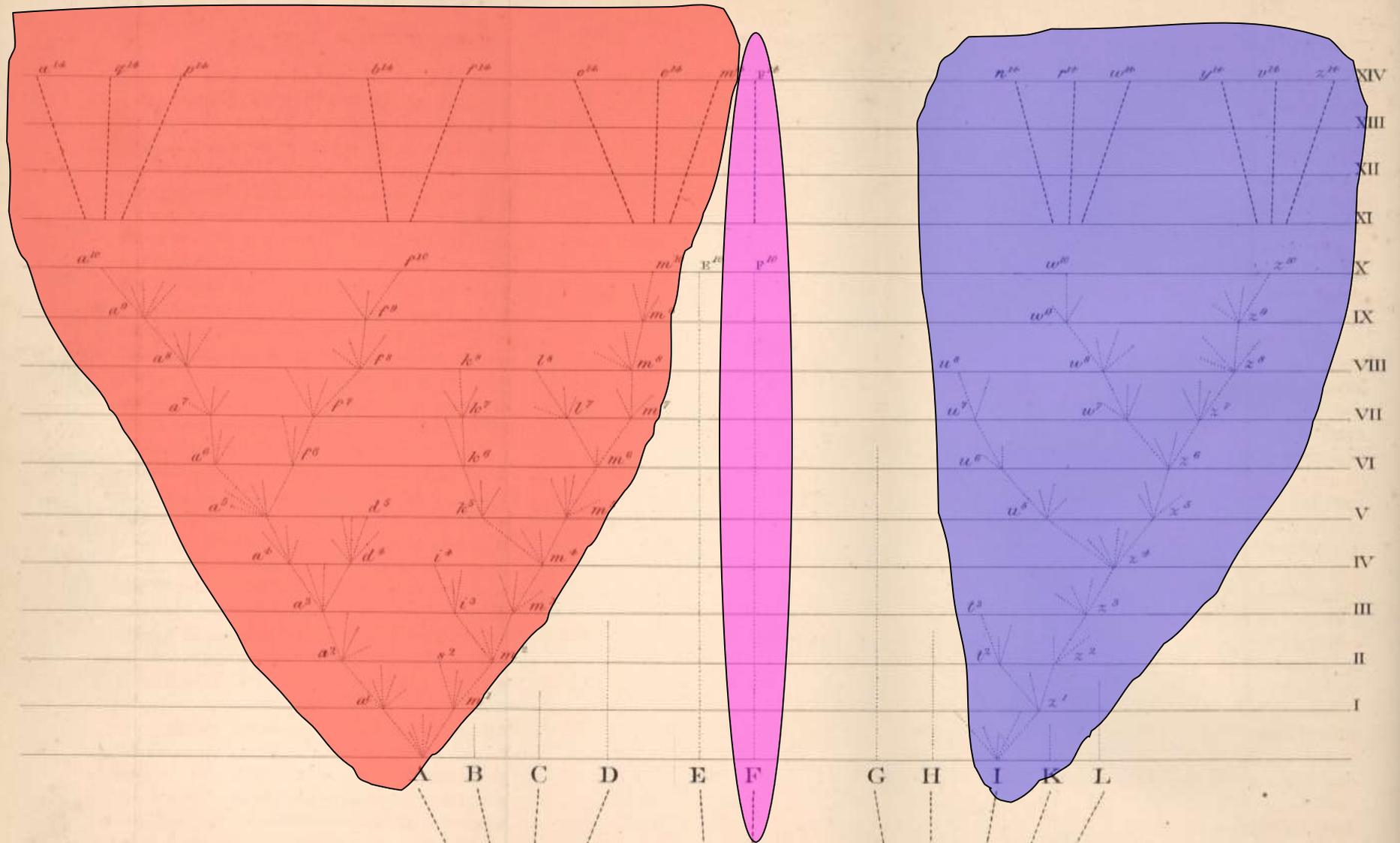
# Les descendants des branches améliorées tendent à prendre la place et à détruire les branches plus précoces et moins améliorées



W. West lith. Hatton, Carden.

## Commentaires de Darwin sur son diagramme dans *L'Origine des espèces* (1859)

- 4) En définitive, à tous les niveaux taxinomiques, seuls un petit nombre de groupes prospèrent et atteignent le niveau chronologique supérieur du diagramme.

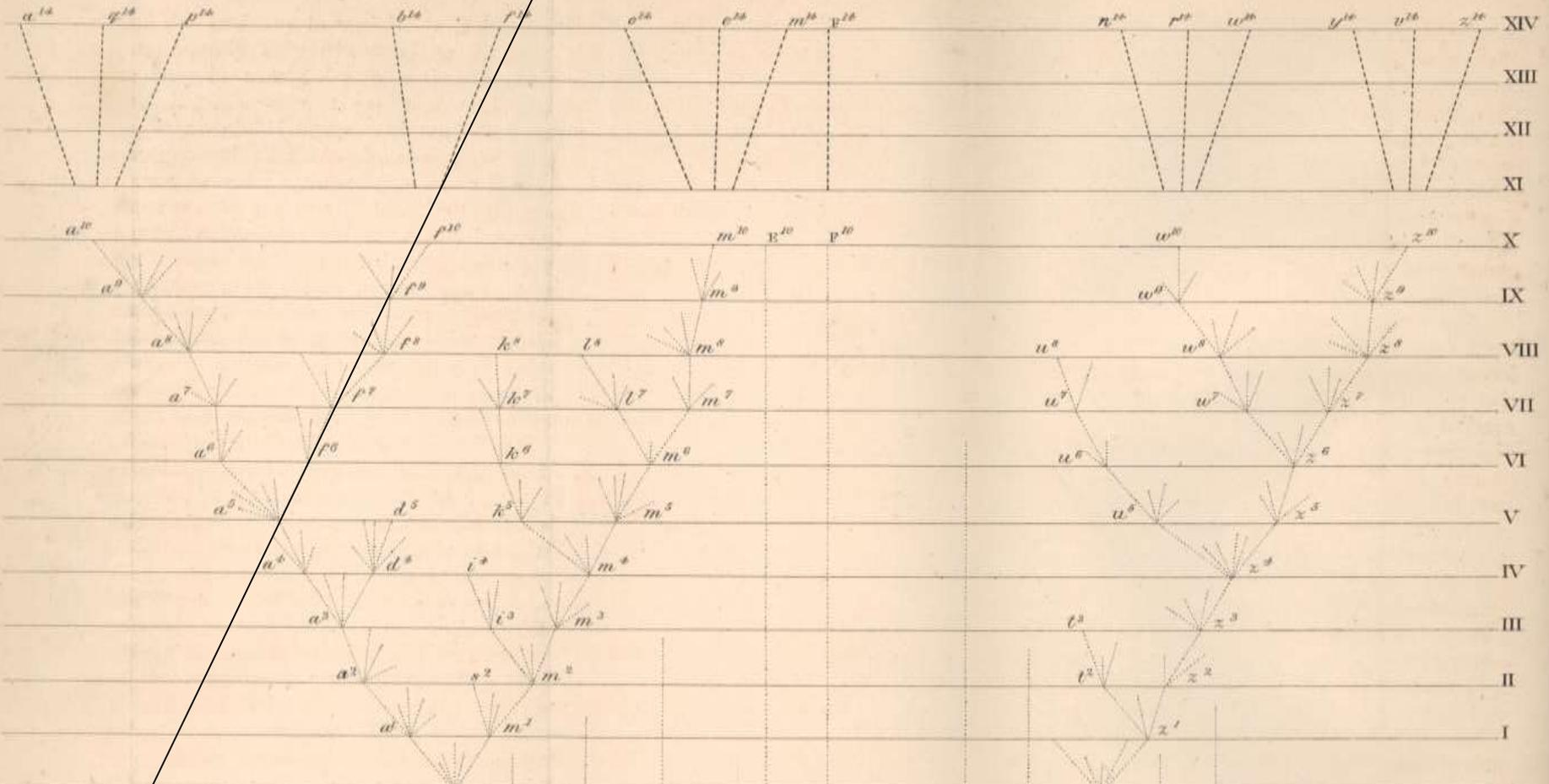


À tous les niveaux taxinomiques, seuls un petit nombre de groupes prospèrent et atteignent le niveau chronologique supérieur du diagramme

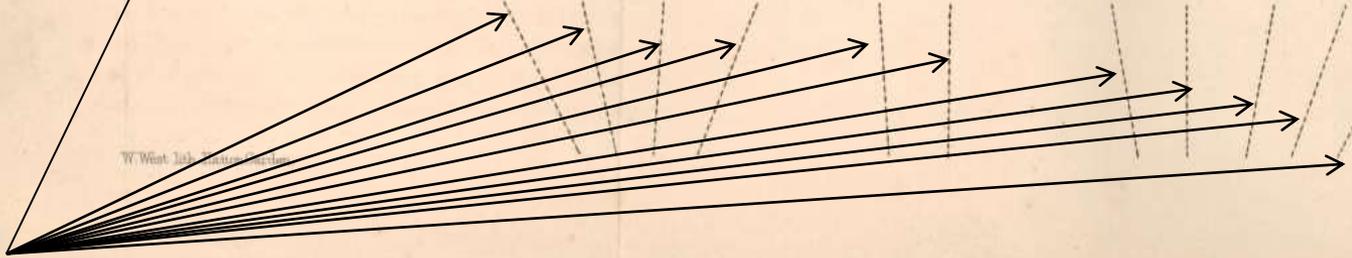
## Commentaires de Darwin sur son diagramme dans *L'Origine des espèces* (1859)

5) Les mêmes conjectures sont étendues de proche en proche aux niveaux taxinomiques supérieurs : les espèces, genres, familles, etc. sont aussi sujets, avec leur diversité propre, à une extinction différentielle.

Remplacer les noms d'espèces par des noms de taxons de rang plus élevé (genre, famille, etc.)



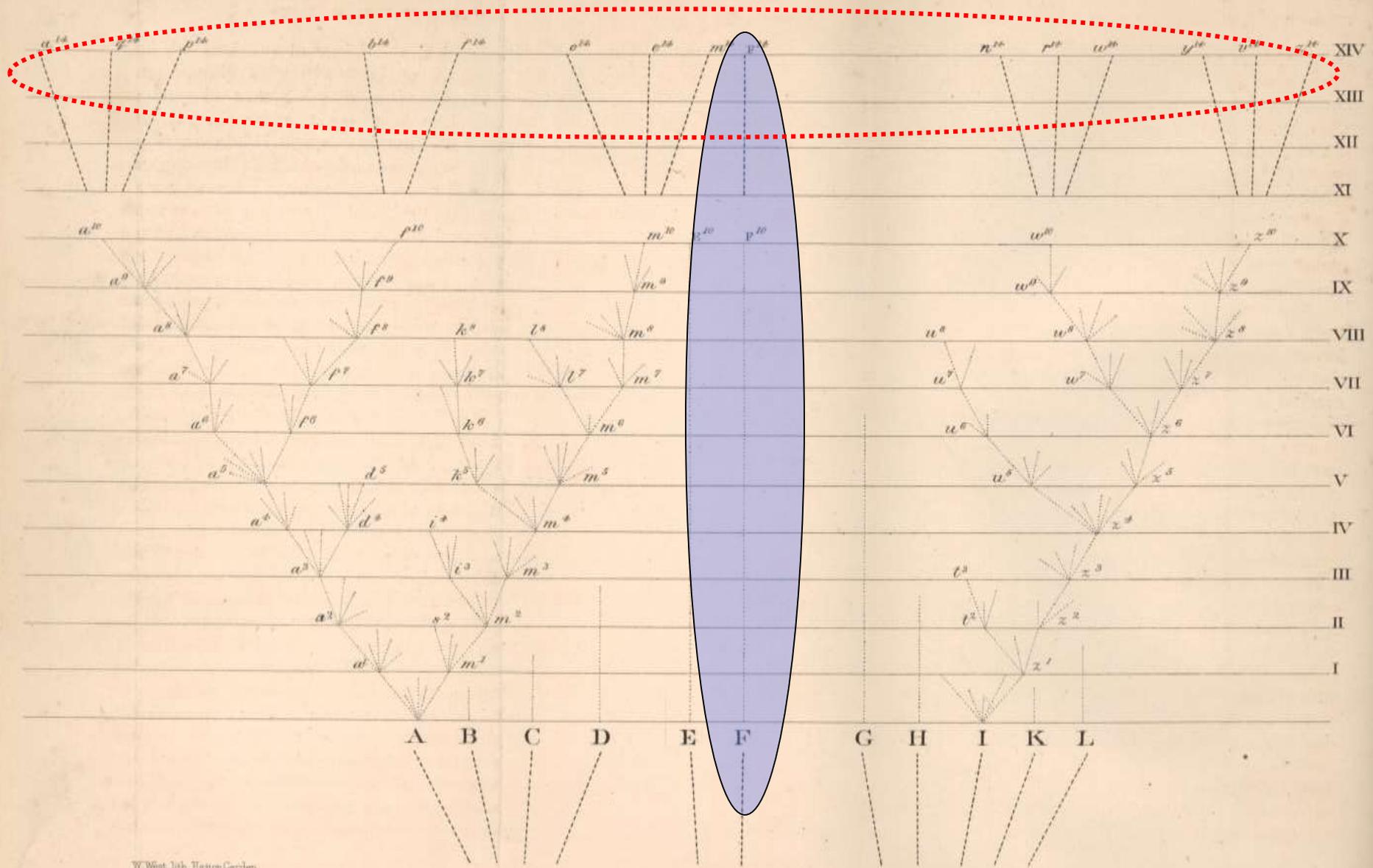
A B C D E F G H I K L



W. Winst. 1881. Nature's Garden

## Commentaires de Darwin sur son diagramme dans *L'Origine des espèces* (1859)

6) Non coïncidence de l'histoire adaptative et de la  
l'histoire généalogique



W. West, 14th, Hoxton Garden.

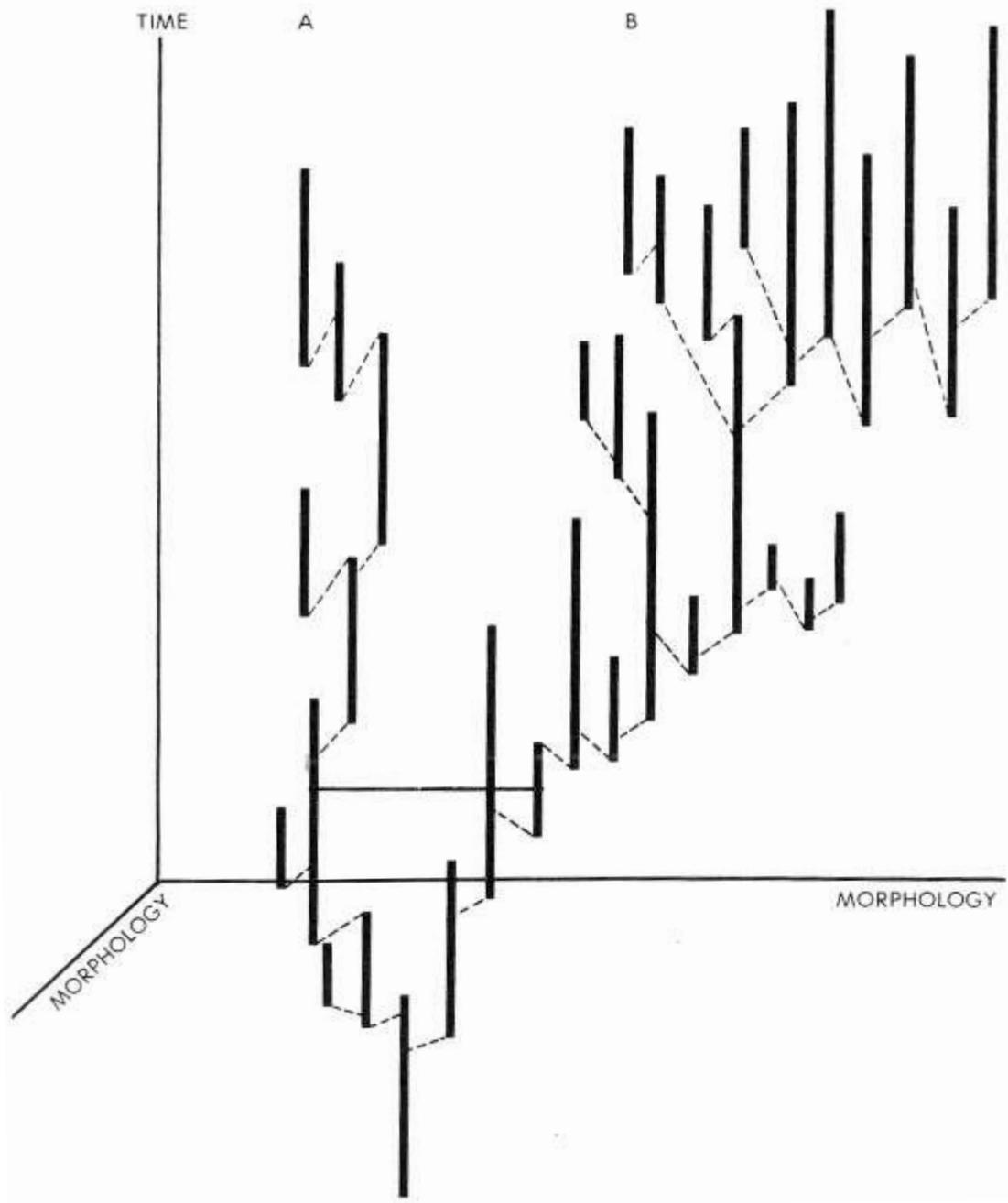
# Non-coïncidence de l'histoire adaptative et de l'histoire généalogique

Darwin 1859

# Contestations du diagramme darwinien (*sensu* patron évolutif)

## **1re classe de critiques: conceptions non gradualistes ou saltationnistes de la spéciation**

- Critique récurrente depuis 150 ans (T.H. Huxley, Galton... to Eldredge and Gould)
- Pas un “arbre”, mais un “candélabre”

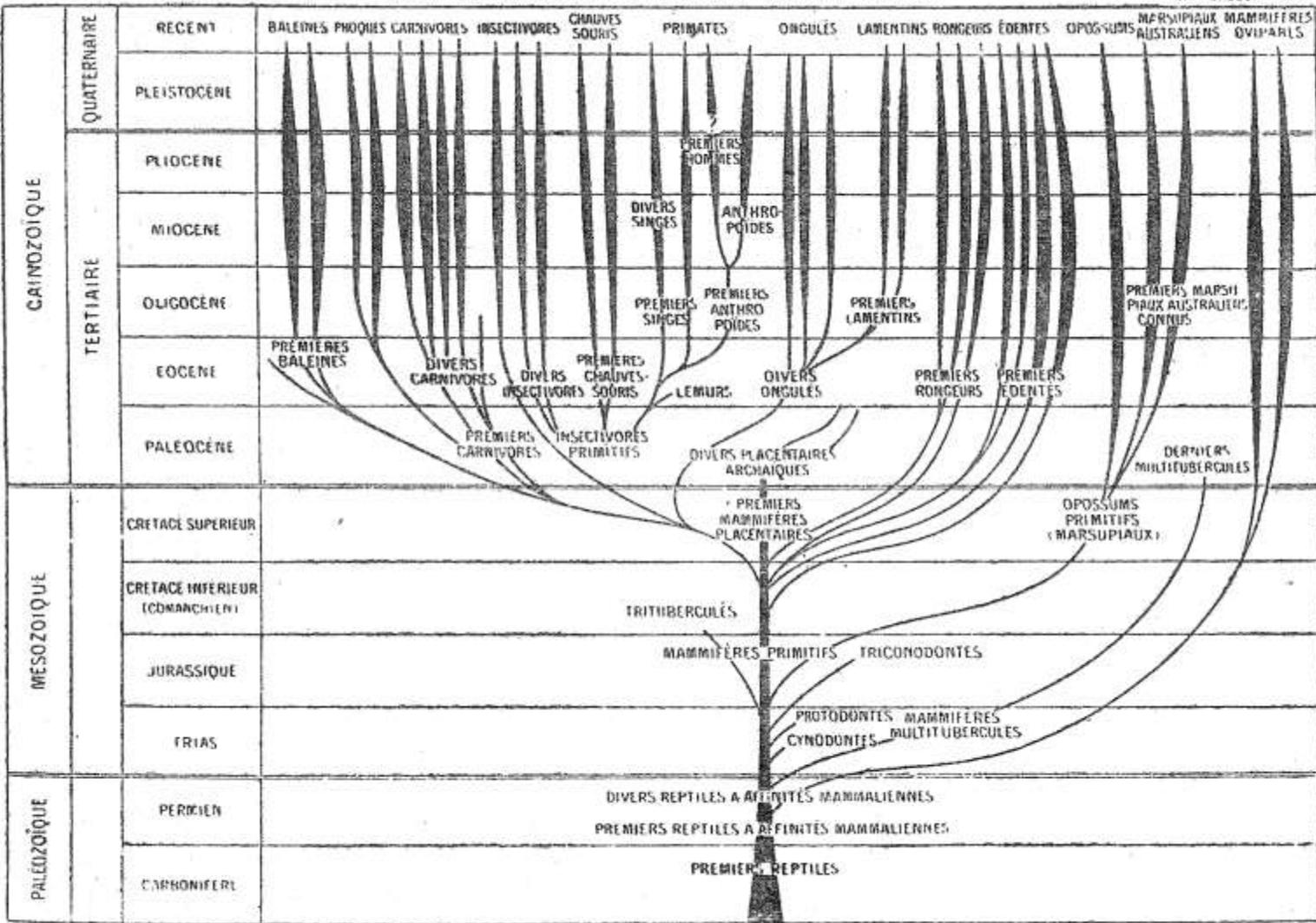


Gould & Eldredge,  
“Punctuated equilibria:  
an alternative to  
Phyletic gradualism”  
(1972)

# Contestations du diagramme darwinien (*sensu* patron évolutif)

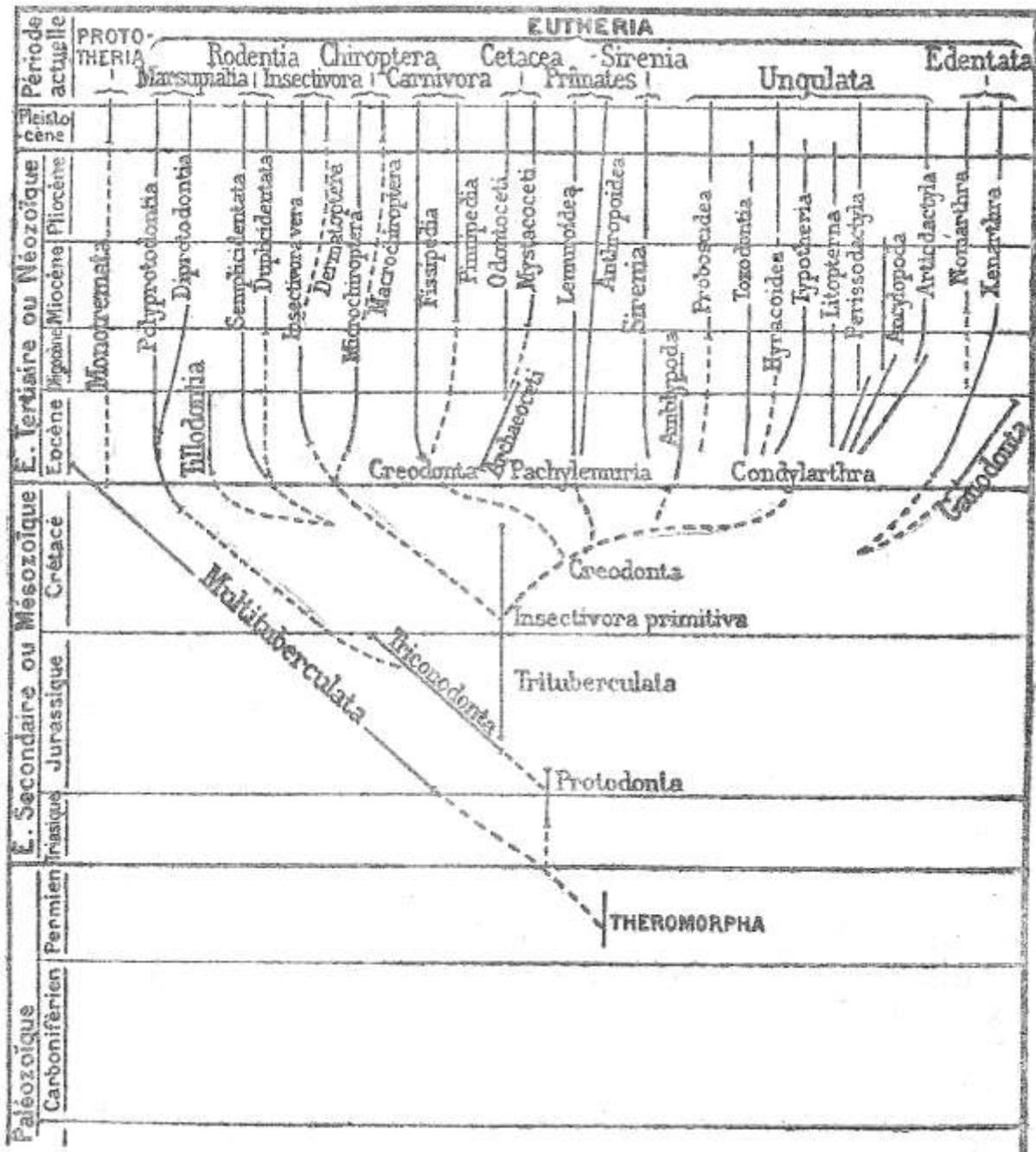
**2e classe de critiques: l'évolution est quelque chose qui se joue à des niveaux plus élevés que celui de l'espèce**

- Exemple
  - Louis Vialleton (1929)
  - Aujourd'hui= “évo-dévo”



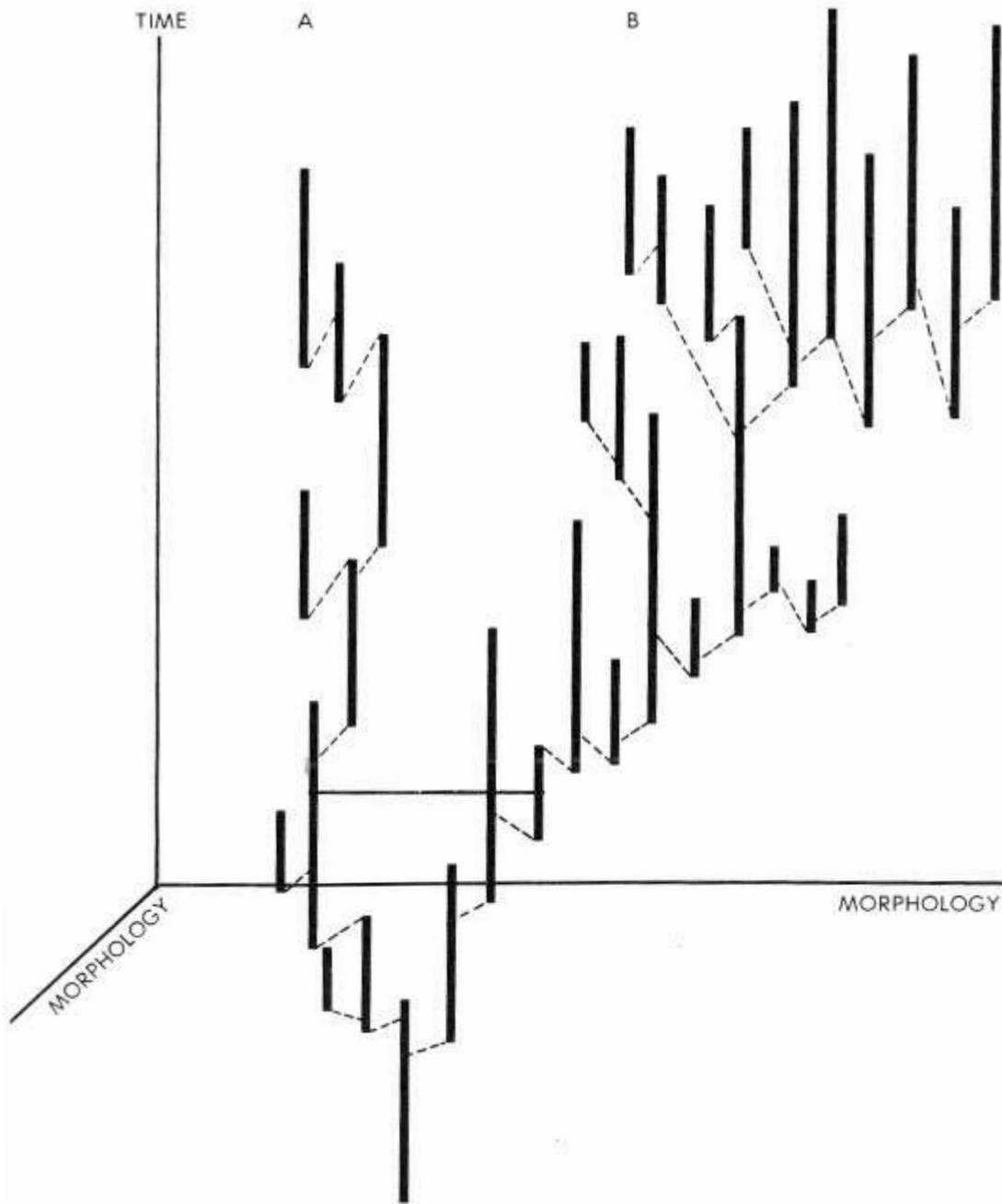
Phylogénèse des Mammifères

Genealogical tree of Mammals, (Osborn 1921)



Louis Vialleton,  
*L'origine des êtres vivants. L'illusion transformiste*  
 (1929)

Arbre  
 généalogique  
 d'Osborn  
 redessiné par  
 Vialletonam.



Gould & Eldredge,  
 “Punctuated equilibria:  
 an alternative to  
 Phyletic gradualism”  
 (1972)

« Three-dimensional sketch contrasting a pattern of relative stability (A) with a trend (B), where speciation (dashed lines) is occurring in both major lineages. The actual pattern is stasis within the species, and differential success of species exhibiting morphological change in a particular direction »

# Contestations du diagramme darwinien (*sensu* patron évolutif)

## Troisième classe de critiques:

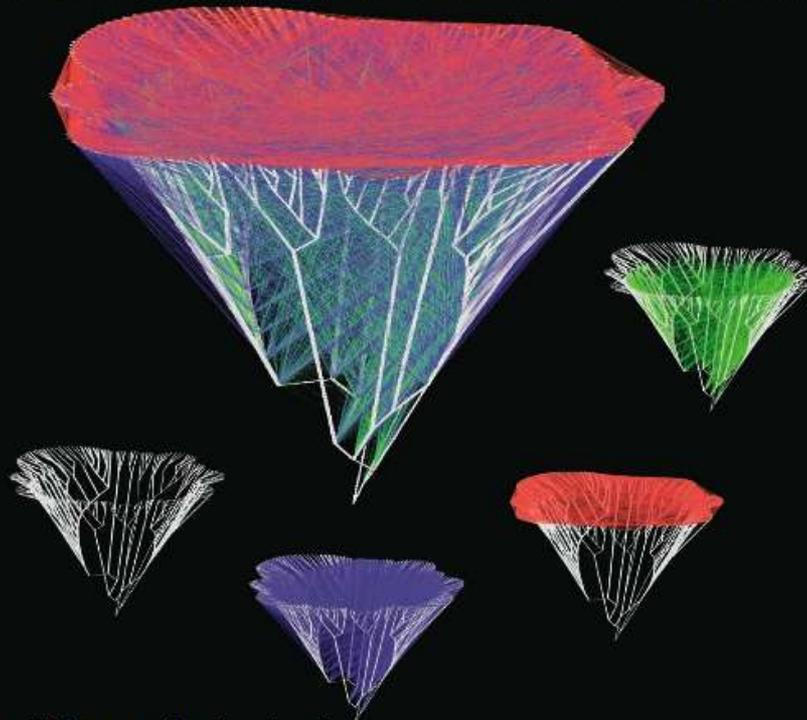
- Le diagramme darwinien, en se concentrant sur les organismes et les espèces, ne représente qu'une fraction de l'histoire généalogique de la vie.
- Deux défis: transfert horizontal de gènes et symbiose.

- **Transfert horizontal de gènes:** ubiquité du phénomène; importance primordiale pour les prokaryotes (bactéries, archée, virus), donc pour la fraction majeure des êtres vivants qui ont existé et existe, et pour la majeure partie de l'histoire de la vie
- Conséquence: “réseau” plutôt que “arbre” de la vie

*In this issue*

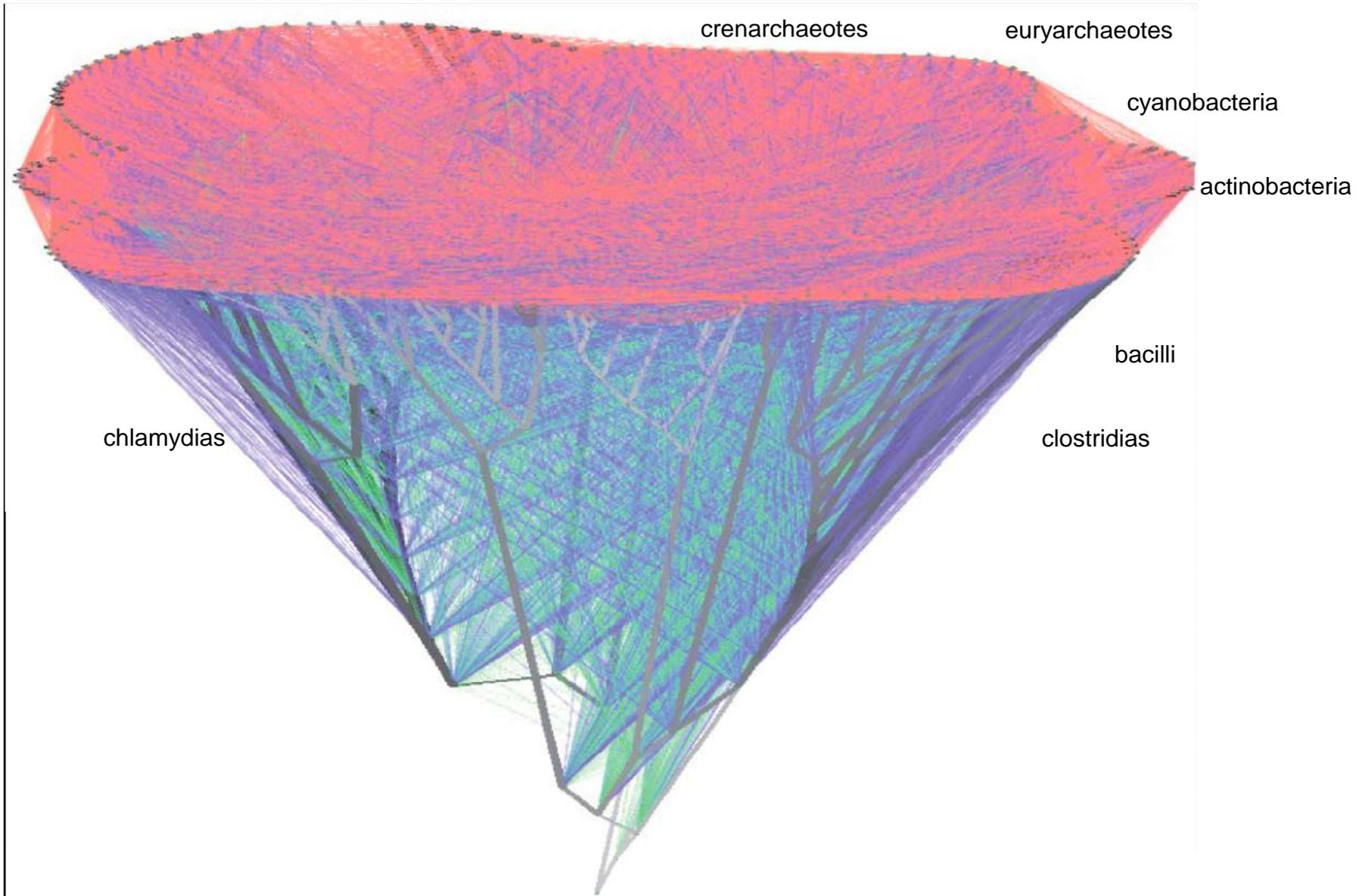
## ***The network of life: genome beginnings and evolution***

*Papers of a Theme issue compiled and edited by Mark A. Ragan, James O. McInerney & James A. Lake*



*The world's longest running science journal*

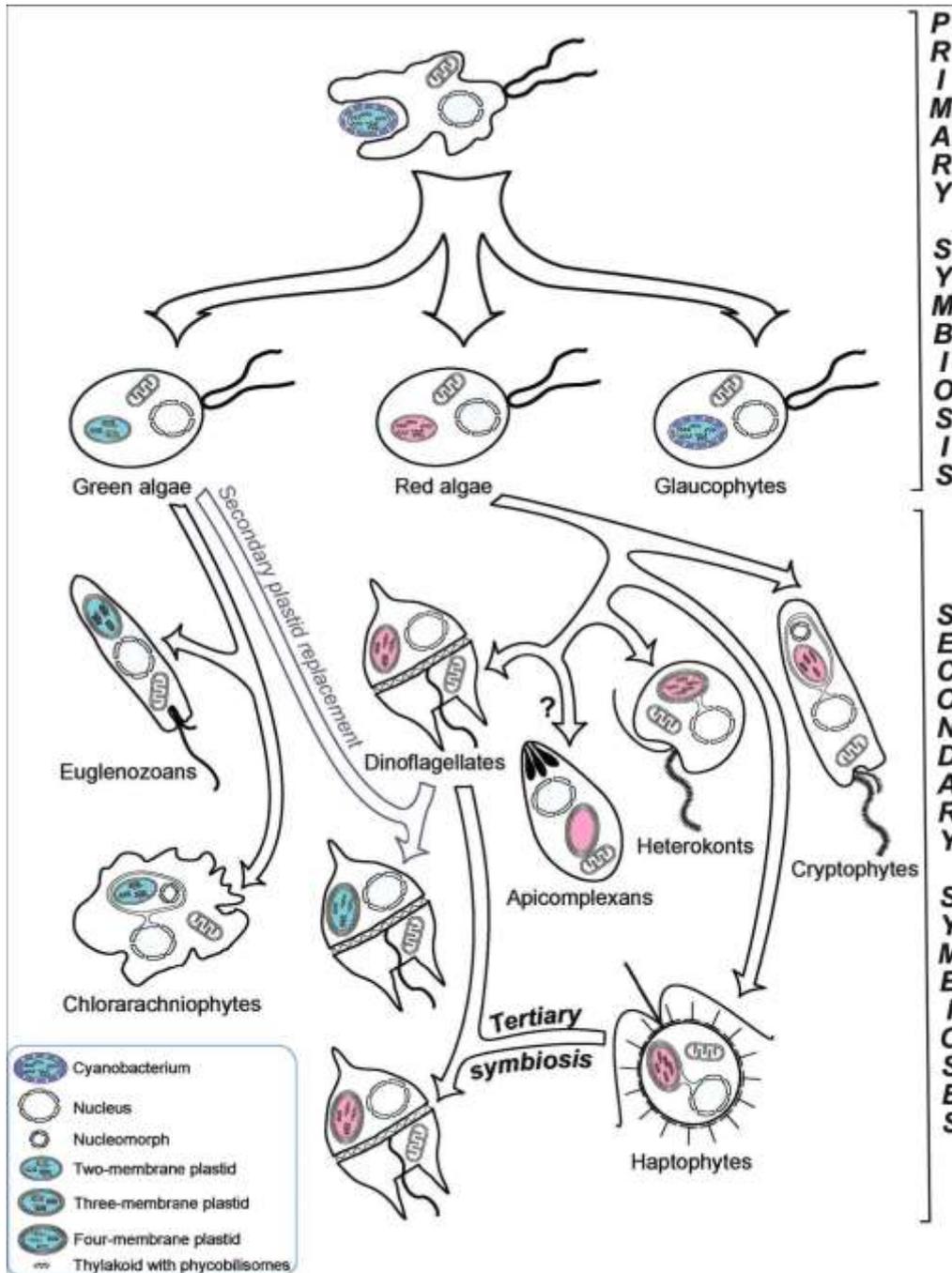
From Dagan & Martin: “A better picture of microbial evolution”, *Phil. Trans. Roy. Soc.* 2009

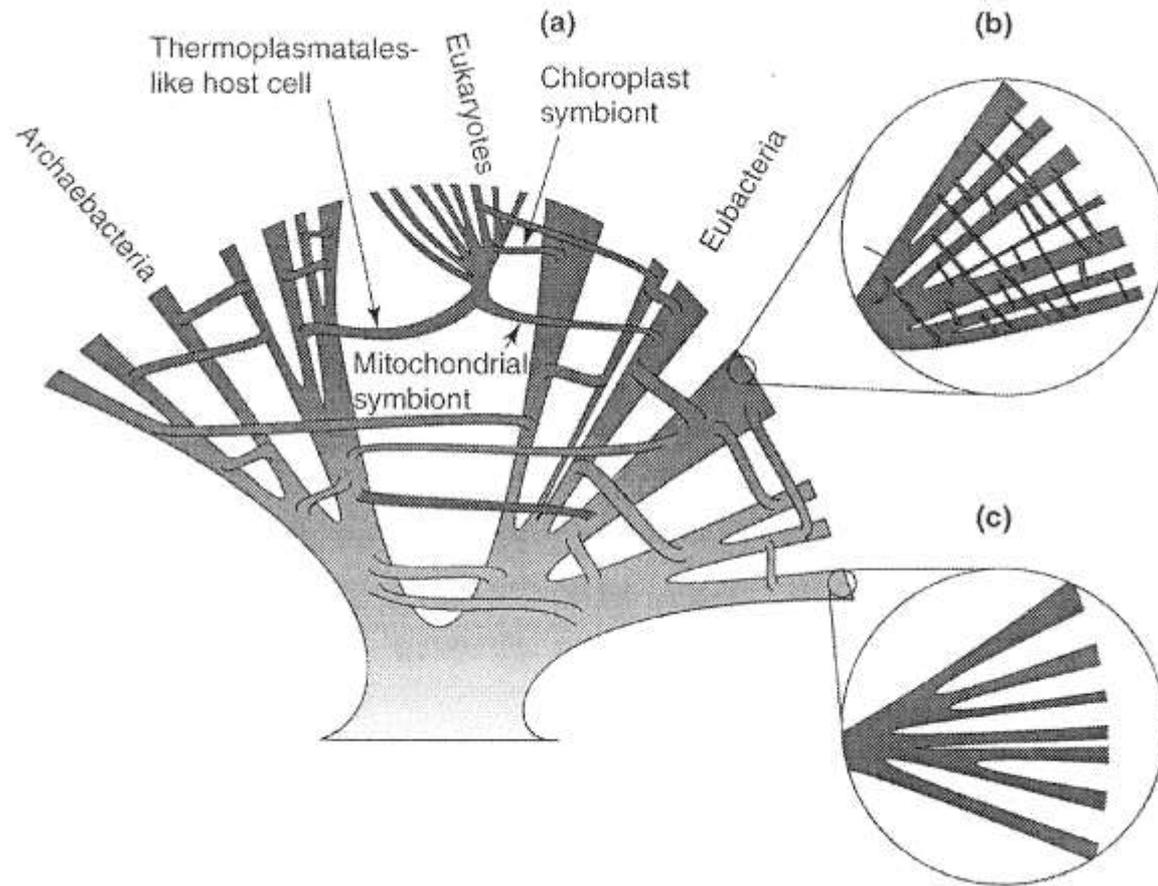


## **Symbiose**

- Phénomène occasionnel, mais évolutive.
- À terme, il y a fusion des génomes
- A grande échelle, la symbiose complique l'arbre de la vie par des effets d'anastomose entre des rameaux phylogénétiques

Jeffrey D. Palmer,  
The symbiotic birth  
and spread of  
plastids..., 2001



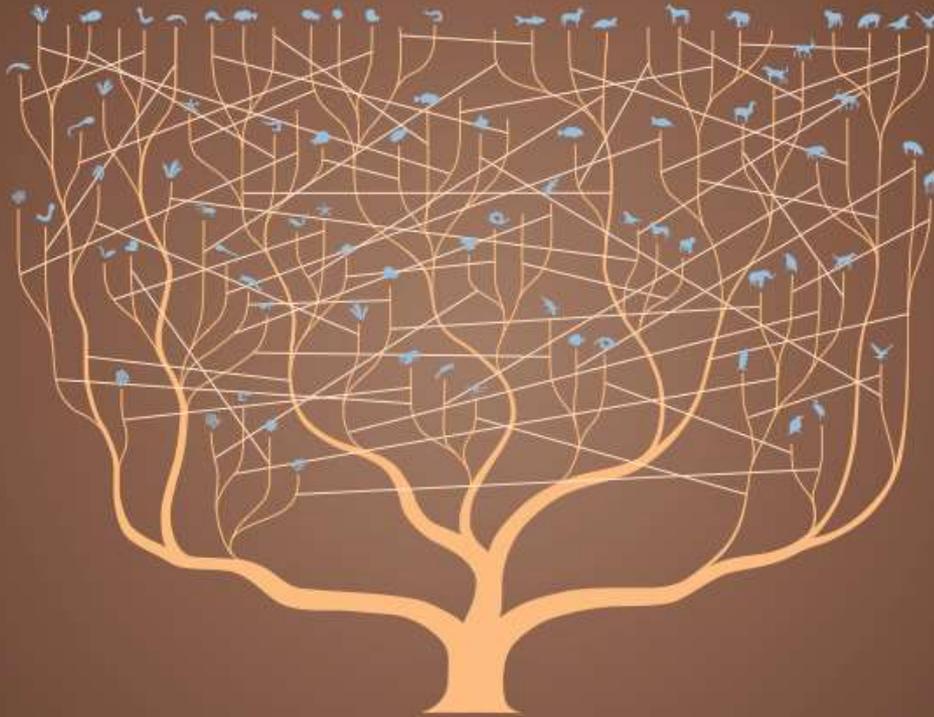


*TRENDS in Ecology & Evolution*

James O. McInerney, James A. Cotton and Davide Pisani, “The prokaryotic tree of life: past, present... and future?”, 2008

Trends Ecol. Evol. May 2008 Vol. 23 No. 5, pp. xxx-xxx ISSN 0169-5347

# Trends in Ecology & Evolution



## The tangled Tree of Life

Biases in invasion research

Maternal transfer of antibodies

Metabolic theory or metabolic models?

Cell  
PRESS

Front page of  
TREE, May  
2008

# Conclusion sur le premier volet de la “théorie de Darwin” (arbre de la vie)

- Un cas convaincant d’“expansion théorique” (au sens de Gould). En effet, on observe:
  1. Généralisation de la notion darwinienne de “descendance avec modification”
    - ✓ DM ne s’applique pas seulement à des lignées d’organismes et d’espèces, mais aussi et *indépendamment* à divers niveaux *infra-organismiques*/

# Conclusion sur le premier volet de la “théorie de Darwin” (arbre de la vie)

- Un cas convaincant d’“expansion théorique” (au sens de Gould). En effet, on observe:
  1. Généralisation de la notion darwinienne de “descendance avec modification”
    - ✓ DM ne s’applique pas seulement à des lignées d’organismes et d’espèces, mais aussi et *indépendamment* à divers niveaux *infra-organismiques*/
  2. Addition de principes nouveaux
    - ✓ De nouvelles sources de variation (Transfert latéral de gènes, et symbiose) conduisent à de nouveaux modes de représentation des phylogénies

# Conclusion sur le premier volet de la “théorie de Darwin” (arbre de la vie)

- Un cas convaincant d’“expansion théorique” (au sens de Gould). En effet, on observe:
    1. Généralisation de la notion darwinienne de “descendance avec modification”
      - ✓ DM ne s’applique pas seulement à des lignées d’organismes et d’espèces, mais aussi et *indépendamment* à divers niveaux *infra-organismiques*/
    2. Addition de principes nouveaux
      - ✓ De nouvelles sources de variation (Transfert latéral de gènes, et symbiose) conduisent à de nouveaux modes de représentation des phylogénies
- N.B. Ces phénomènes ne signifient pas pour autant qu’il n’y a plus un arbre de la vie au sens d’une généalogie d’organismes et d’espèces.**

## Second volet de la “théorie de Darwin” (évolution par sélection naturelle)

- La position de Gould
  - 1. **Généralisation** : non seulement sélection naturelle individuelle, mais aussi sélection d'espèces [*species selection*], dérive aléatoire des espèces [*species drift*], sélection de clades [*clade selection*], dérive aléatoire des clades [*clade selection*]
  - 2. **Addition de principes nouveaux**. Principalement= contraintes morphologiques, développementales et historiques qui orientent le processus évolutif à grande échelle.

## Second volet de la “théorie de Darwin” (évolution par sélection naturelle)

- Tendence actuelle: généralisation du principe de sélection

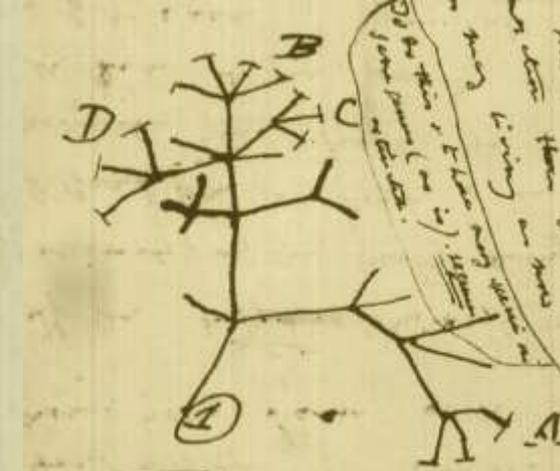
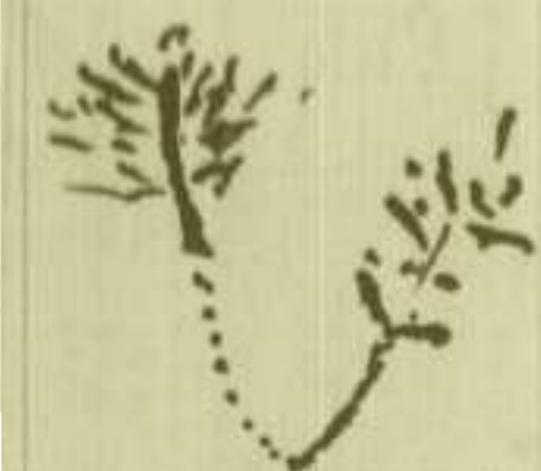
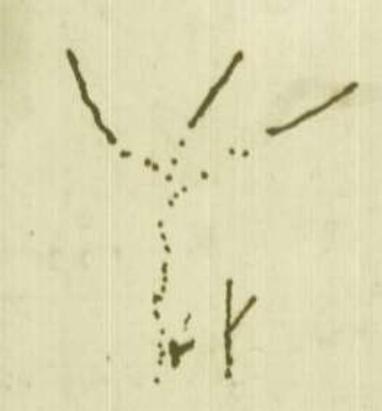
- Le principe darwinien tel qu'appliqué conventionnellement dans la synthèse moderne s'appuie sur des conditions précises :
  - 1.- Principe malthusien (i.e. SN s'applique à des populations d'effectif stable et limité).
  - 2.- SN ne s'applique qu'au niveau des individus (ou, dans, certains cas, à des groupes (sélection de caractères altruistes dans des "tribus"))
  - 3.- Existence de variations pour un trait donné.
  - 4.- *Fitness* différentielle des traits (= chance de survie et de reproduction variable)
  - 5.- Héritabilité des traits.

- **Deux manières de généraliser le principe de sélection naturelle**
    1. NS s'applique à toute population d'entités possédant les 3 propriétés suivantes:
      - ✓ variation
      - ✓ reproduction
      - ✓ Héritabilité des traits
      - ✓ Ces trois conditions sont nécessaires et suffisantes (Lewontin, "The units of selection", 1870)
- Ceci revient à:
- Supprimer la condition malthusienne
  - Découpler NS de tout niveau particulier d'organisation

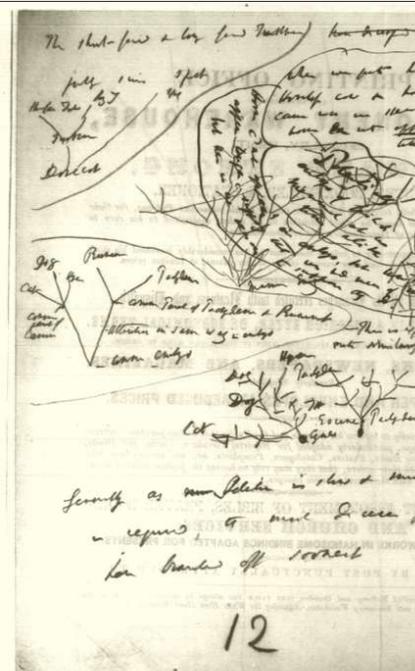
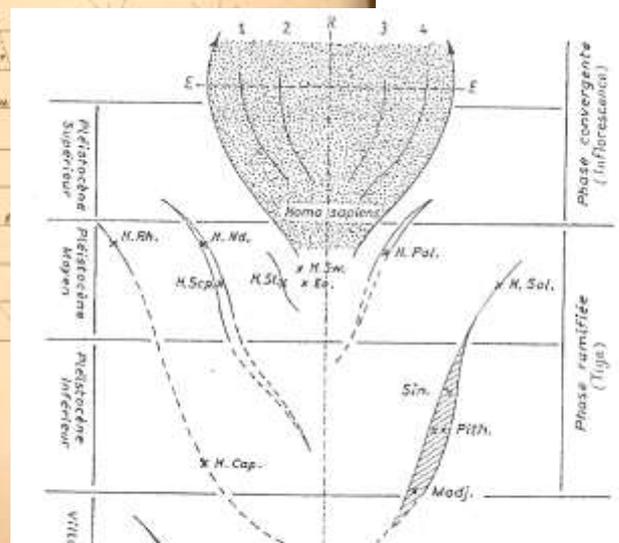
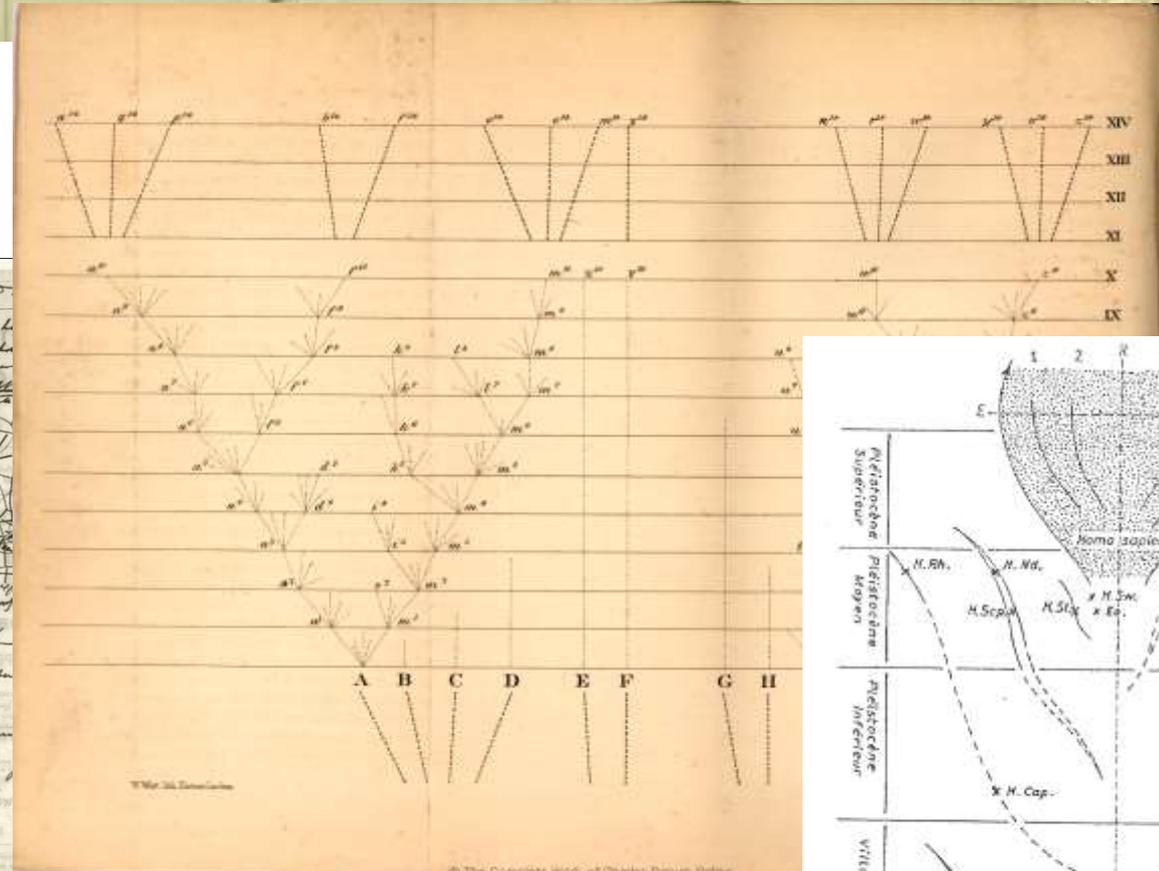
- **Deux manières de généraliser le principe de sélection naturelle**

2. La reproduction différentielle et l'hérédité ne sont pas une condition nécessaire de SN: survie différentielle ou persistance suffisent.

→ Donc les concepts de sélection naturelle et de *fitness différentielle* s'appliquent aussi aux entités écologiques (par ex. les écosystèmes).



**Merci pour  
votre  
attention!**



**Transferts horizontaux,  
hybridations,  
endosymbioses :  
l'émergence de l'évolution  
par fusion**

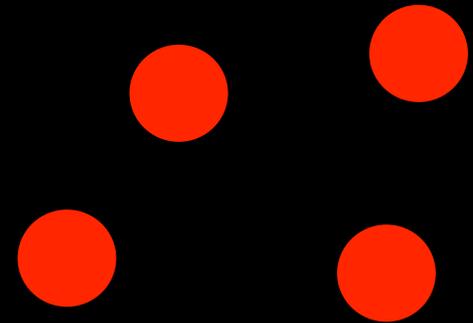
**Marc-André SELOSSE**

Muséum National d'Histoire Naturelle

**Transferts horizontaux,  
hybridations,  
endosymbioses :  
l'émergence de l'évolution  
par fusion**

**Marc-André SELOSSE**

Muséum National d'Histoire Naturelle



1 – De l'espèce et du fixisme

2 – Hybrider

3 – Transférer des gènes

4 – De l'endosymbiose

Conclusion

1 - pas de ~~reproduction de l'individu~~ à strictement parler !

- « reproduction » sexuée :  
on ne transmet que 50% de ses gènes ;
- « reproduction » asexuée :  
on transmet aussi des mutations.

... **éviter une vue fixiste** de la reproduction :  
l'organisme reproduit ses gènes, sans plus.

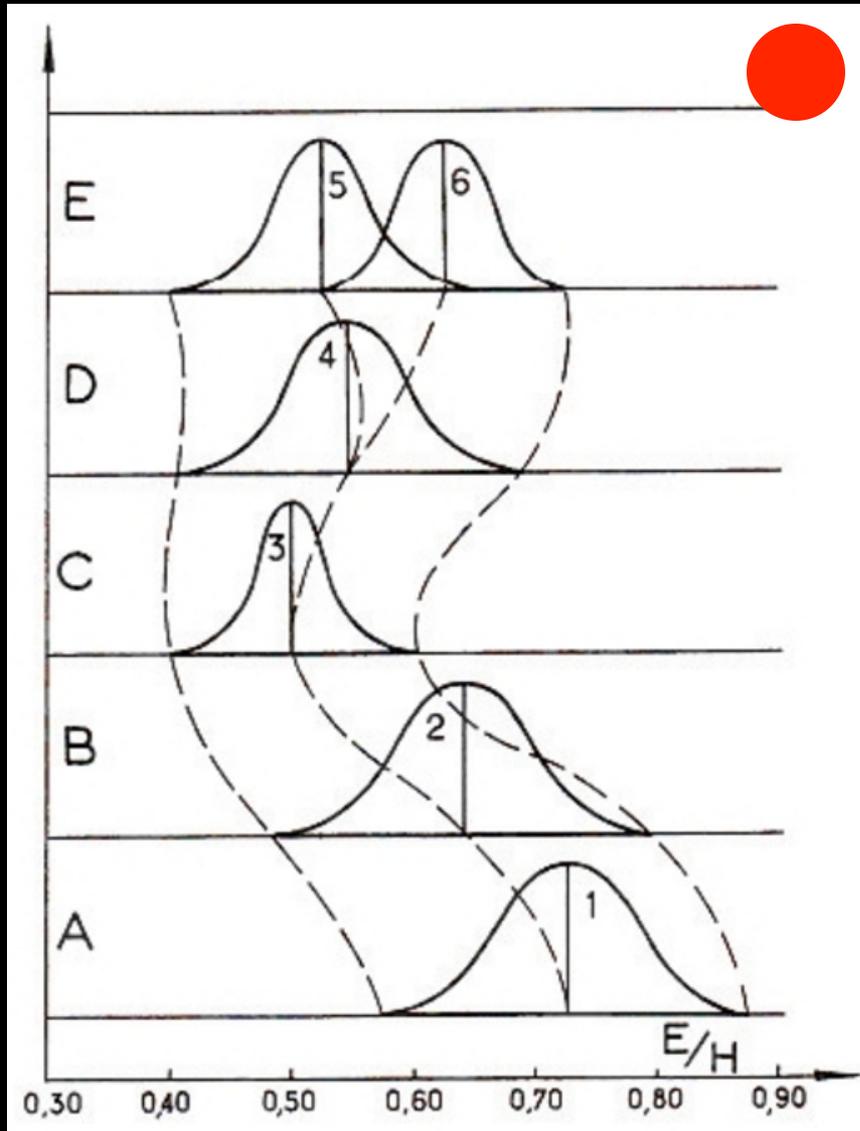
2 - pas de ~~p~~érénité de l'espèce !

*« La reproduction est la fonction fondamentale de toute vie parce qu'elle assure la continuité de l'espèce. » [...]*

CAPES 2012 : *« Comparaison des gamètes mâle et femelle chez les Métazoaires ».*

Sur 120 copies, 35 indiquent que la « fonction », ou le « but » de la reproduction est d'assurer la survie de l'espèce.

## 2 - pas de ~~p~~érénité de l'espèce !



Cladogenèse et anagenèse...

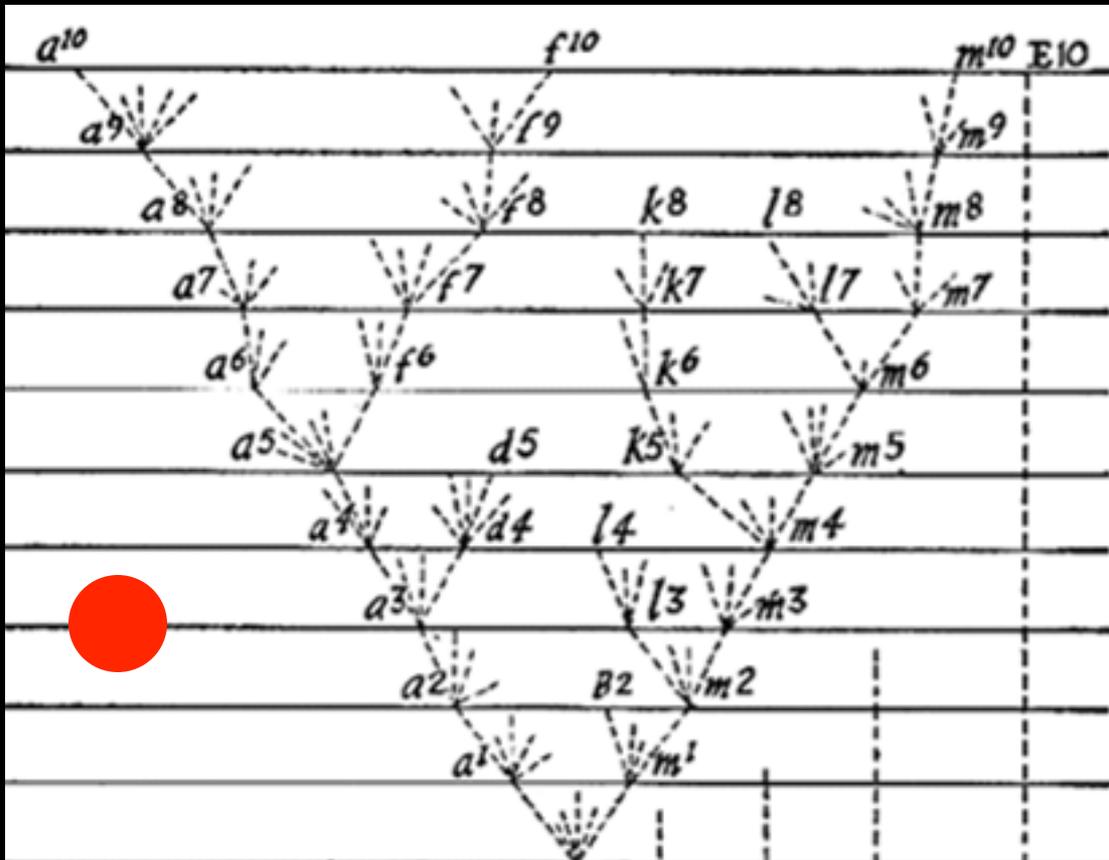
Courbe de variabilité morphologique chez deux espèces fossiles d'Ammonites (H. Tintant, 1963)

## 2 - pas de ~~p~~érénité de l'espèce !

Cladogenèse et anagenèse...

... ou extinction !

Darwin, « De l'origine des espèces »



2 - pas de ~~p~~érén~~n~~ité de l'espèce !

... éviter une vue fixiste de l'espèce.

*« Une population d'individus identifiée comme constituant une espèce n'est définie que durant un laps de temps fini. »*

## *La « survie de l'espèce », un concept obsolète*

*Louis Allano, Alex Clamens et Marc-André Selosse*

*La « survie » ou la « pérennité » de l'espèce apparaissent souvent dans l'enseignement en sciences de la vie comme une finalité aux adaptations et au fonctionnement des êtres vivants, ou encore pour justifier l'existence et les mécanismes de la reproduction des individus. On trouve cette notion dans nombre d'ouvrages de niveau universitaire, on la lit dans des attendus de jury de concours, et elle s'exprimait dans un nombre significatif de copies de*

---

► **Mots clés** : espèce, évolution, sélection naturelle

■ **Louis Allano** : enseignant de SVT en classe préparatoire BCPST au lycée Chateaubriand de Rennes

**Alex Clamens** : enseignant de SVT en classe préparatoire BCPST au lycée Blaise Pascal de Clermont-Ferrand

**Marc-André Selosse** : Professeur au Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Chercheur au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CNRS, UMR 5175, Montpellier) 1919 Route de Mende, 34 293 Montpellier cedex 5

Absence de stricte reproduction de l'individu

=> variation de l'espèce

=> évolution

Caractéristique majeure du vivant : une transmission verticale et « ± exacte » de l'information génétique, qui permet l'évolution.

3 - pas de d'~~espèce primitive~~ / de ~~fossile vivant~~

# Primitif

PAR

LOUIS FICQUEL

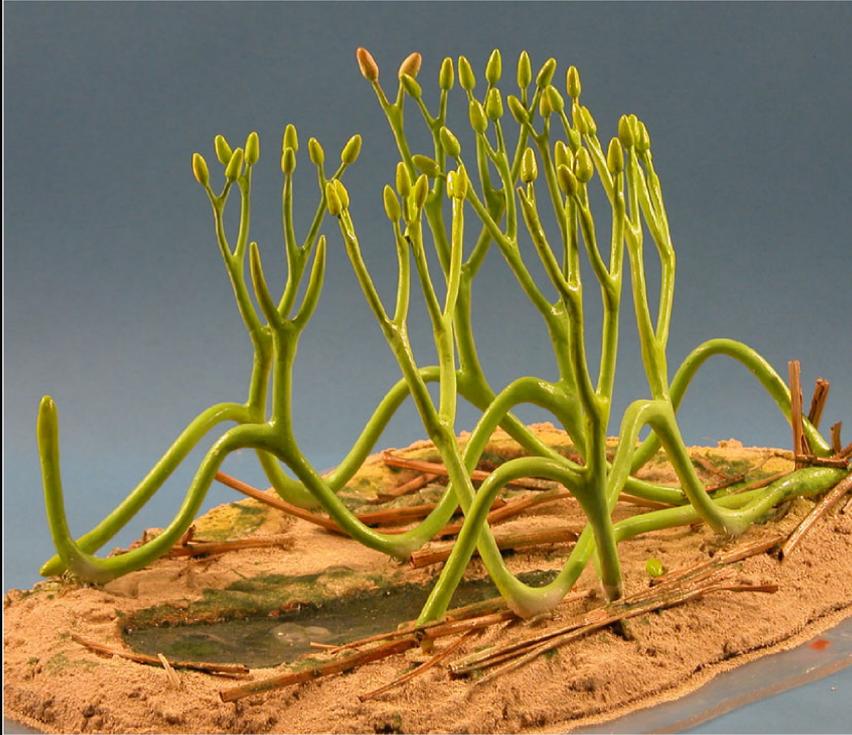
OUVRAGE ILLUSTRÉ

DE 40 SCÈNES DE LA VIE DE L'HOMME PRIMITIF

DESSINÉES PAR L'AUTEUR  
toi-même!

ESPÈCES N° 9 - Septembre 2013

2 - pas de d'~~espèce primitive~~ / de ~~fossile vivant~~



*Psilotum* et  
~~Psilophytes~~

4 - mais qu'est-ce que l'espèce ?

- définition **phénétique** (*phenos* : apparence).



Col vert

(*Anas boschas*)

*A. platyrhynchos*

4 - mais qu'est-ce que l'espèce ?

- définition phénétique (*phenos* : apparence),

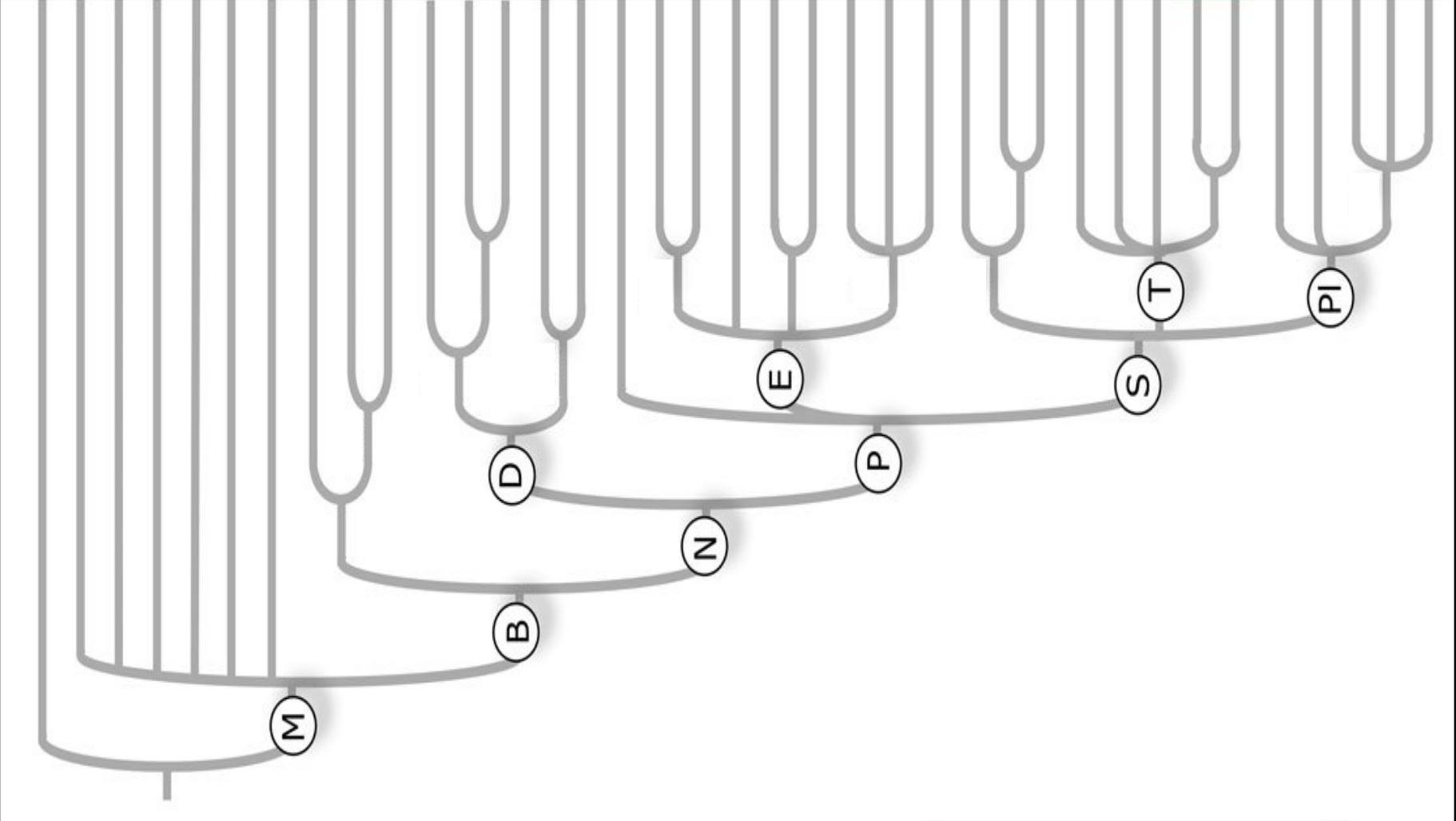
- définition **biologique** de Mayr, 1942 : les espèces sont des groupes de populations dont les membres peuvent se croiser entre eux et qui sont reproductivement isolés d'autres groupes.

4 - mais qu'est-ce que l'espèce ?

- définition phénétique (*phenos* : apparence),

- définition biologique,

- définition **phylogénétique** : l'espèce est une lignée descendant d'un ancêtre commun.



4 - mais qu'est-ce que l'espèce ?

- définition phénéétique (*phenos* : apparence),

- définition biologique,

- définition phylogénétique.

« *tout pourri* »...

4 - mais qu'est-ce que l'espèce ?

- définition phénétique (*phenos* : apparence),

- définition biologique,

- définition phylogénétique.

... une telle plurivocité suggère que le réel se plie mal à ces définitions :

**l'espèce n'est qu'une représentation du réel.**

Caractéristique majeure du vivant : une transmission verticale et «  $\pm$  exacte » de l'information génétique qui permet l'évolution.

La plurivocité du mot « espèce » suggère que le réel se plie mal à ces définitions : l'espèce n'est qu'une représentation instantanée du réel.

1 – De l'espèce et du fixisme

2 – Hybridation

3 – Transférer des gènes

4 – De l'endosymbiose

Conclusion

**a) Cas végétaux**

# Les spartines



*Spartina alterniflora*  $2n = 62$

introduite d'Amérique  
du Nord (côte est)

*Spartina maritima*  $2n = 60$

spontanée sur le littoral  
européen



*Spartina alterniflora*  $2n = 62$

introduite d'Amérique  
du Nord (côte est)

*Spartina maritima*  $2n = 60$

spontanée sur le littoral  
européen

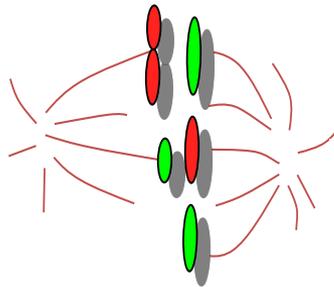
sans doute plusieurs origines indépendantes  
plastides de *S. alterniflora* (organisme maternel)

*Spartina x townsendii*  
 $2n = 61$

hybride stérile (pas de pollen!),  
repéré en 1860 dans la baie de  
Southampton ;

reproduction par bouturage  
naturel

Méiose de l'hybride : pas  
d'appariements possible  
entre homologues



Production de  
gamètes impossible

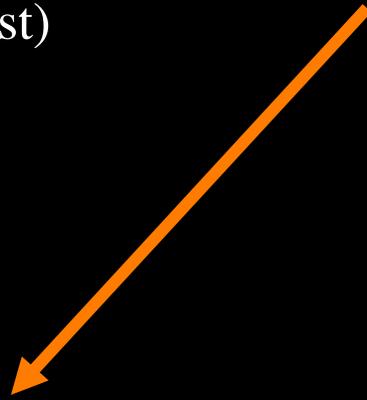


*Spartina alterniflora*  $2n = 62$

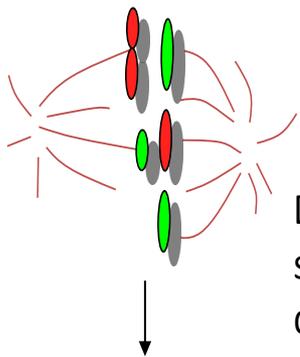
introduite d'Amérique  
du Nord (côte est)

*Spartina maritima*  $2n = 60$

spontanée sur le littoral  
européen



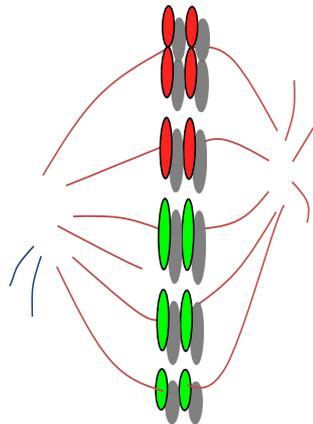
Méiose de l'hybride : pas  
d'appariements possible  
entre homologues



Production de  
gamètes impossible

Duplication  
spontanée  
du génome

Hybride  
polyploïde



*Spartina anglica*

$2n = 122$

allopolyploïde fertile, repéré dès 1880  
à Southampton, il a colonisé le sud de  
l'Angleterre puis la France dès 1906

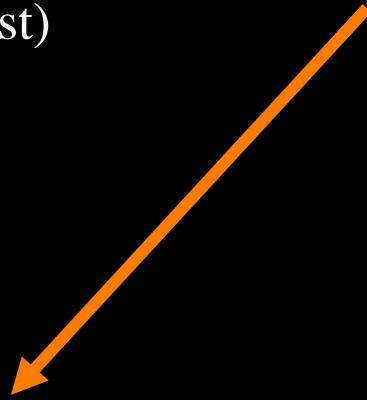
reproduction par bouturage naturel et  
par graines

*Spartina alterniflora*  $2n = 62$

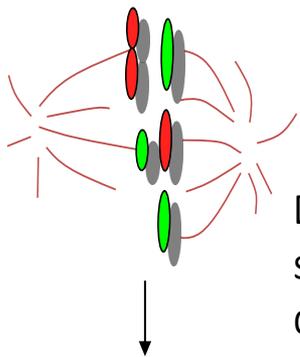
introduite d'Amérique  
du Nord (côte est)

*Spartina maritima*  $2n = 60$

spontanée sur le littoral  
européen



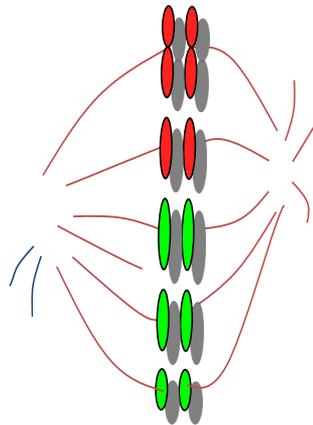
Méiose de l'hybride : pas  
d'appariements possible  
entre homologues



Production de  
gamètes impossible

Duplication  
spontanée  
du génome

Hybride  
polyploïde



*Spartina anglica*

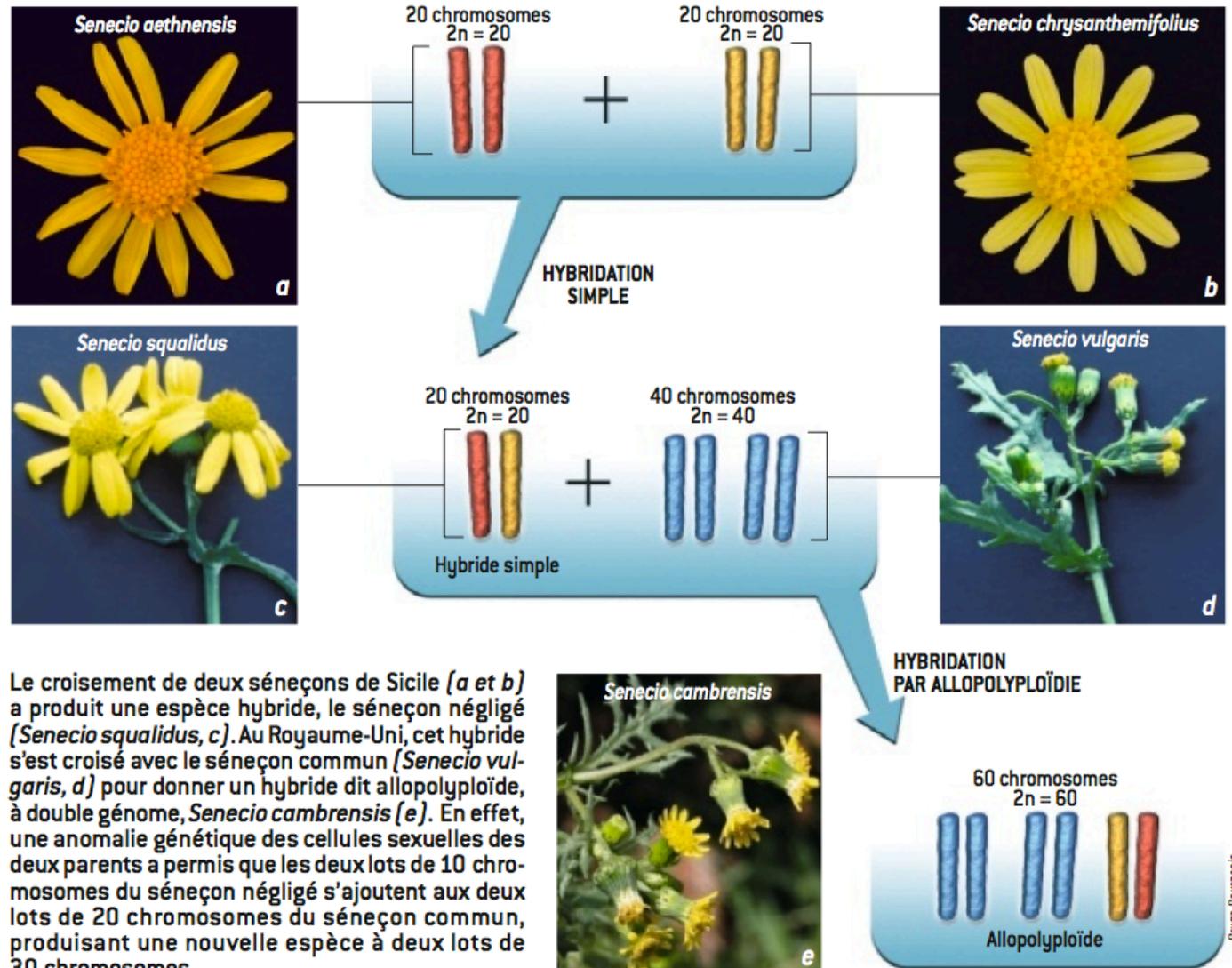
$2n = 122$

**SPECIATION ADDITIONNELLE !**

2 -> 3

# Les sénécions

## LA FUSION PAR HYBRIDATION



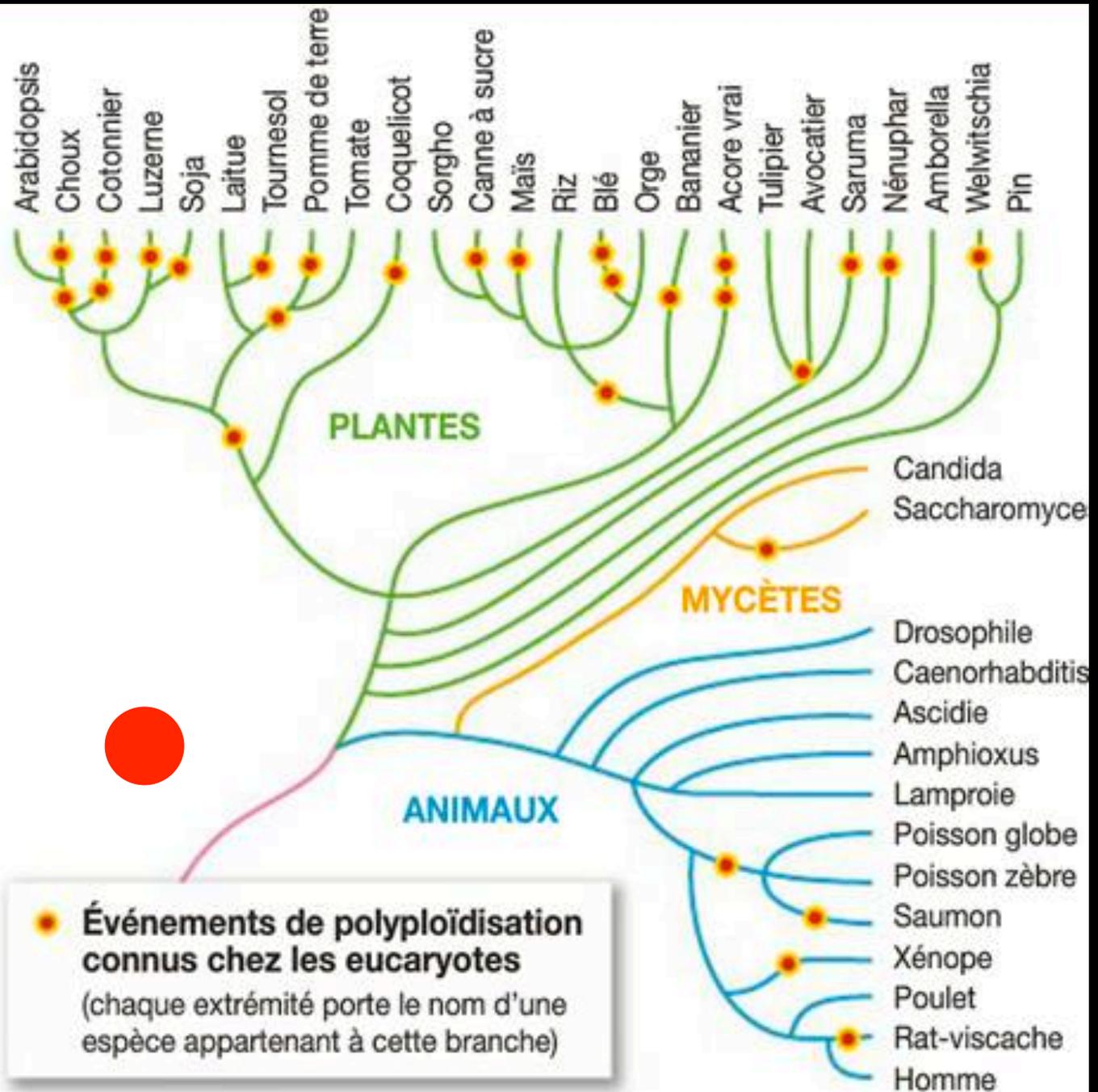
a-b : S. Hiscock, Bristol University, School of Biological Sciences; c-e : R. Abbott, University of St. Andrews

Le croisement de deux sénécions de Sicile (a et b) a produit une espèce hybride, le sénécion négligé (*Senecio squalidus*, c). Au Royaume-Uni, cet hybride s'est croisé avec le sénécion commun (*Senecio vulgaris*, d) pour donner un hybride dit allopolyploïde, à double génome, *Senecio cambrensis* (e). En effet, une anomalie génétique des cellules sexuelles des deux parents a permis que les deux lots de 10 chromosomes du sénécion négligé s'ajoutent aux deux lots de 20 chromosomes du sénécion commun, produisant une nouvelle espèce à deux lots de 30 chromosomes.



Bruno Bourgeois

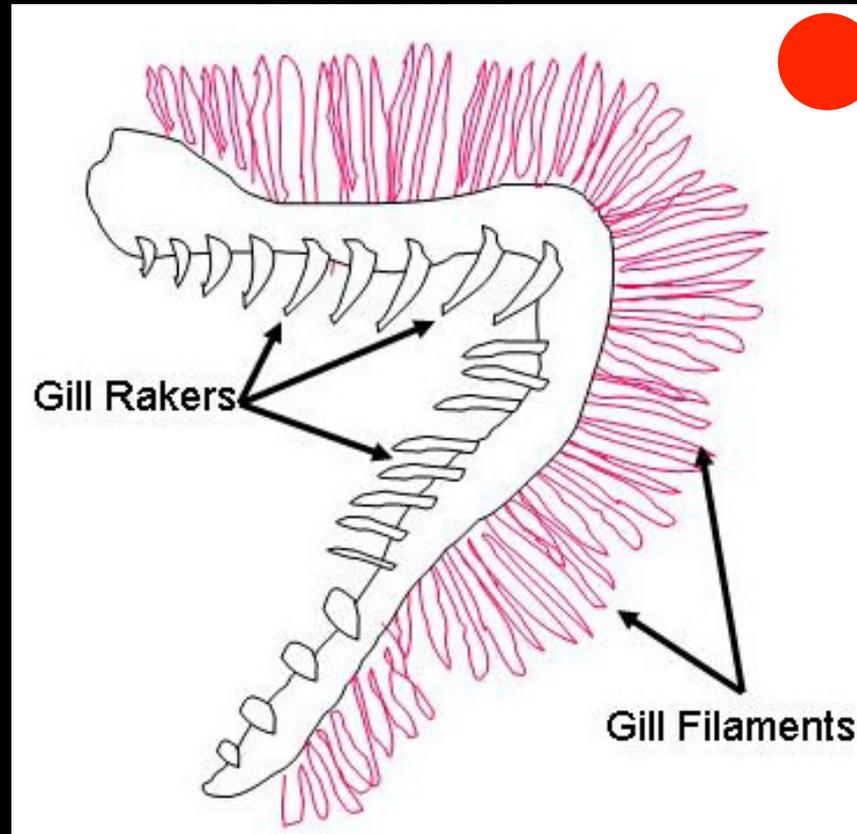
# Un truc d'eucaryote !



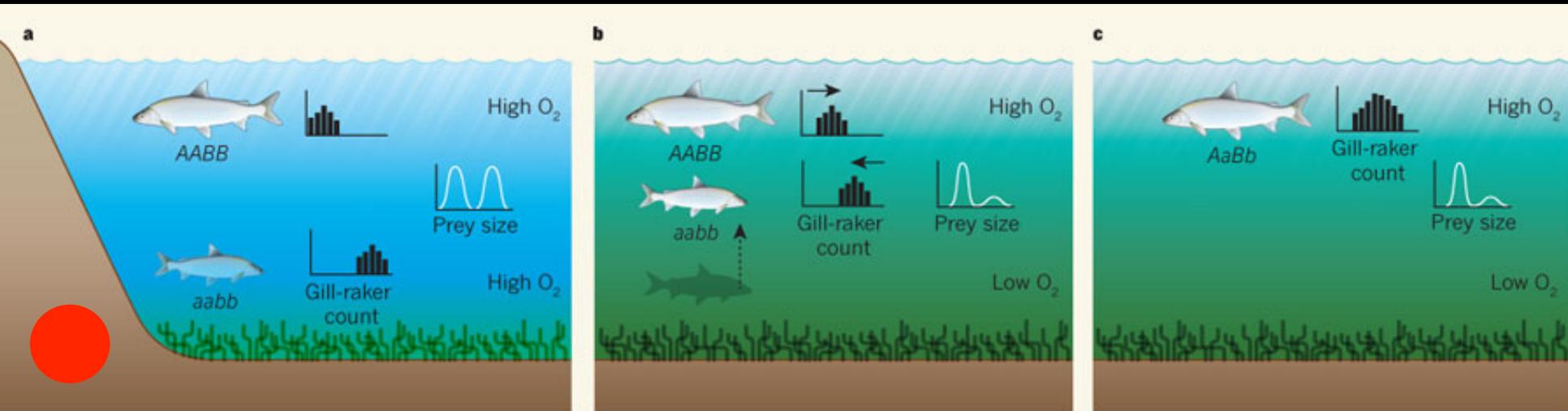
**a) Cas végétaux**

**b) Cas animaux**

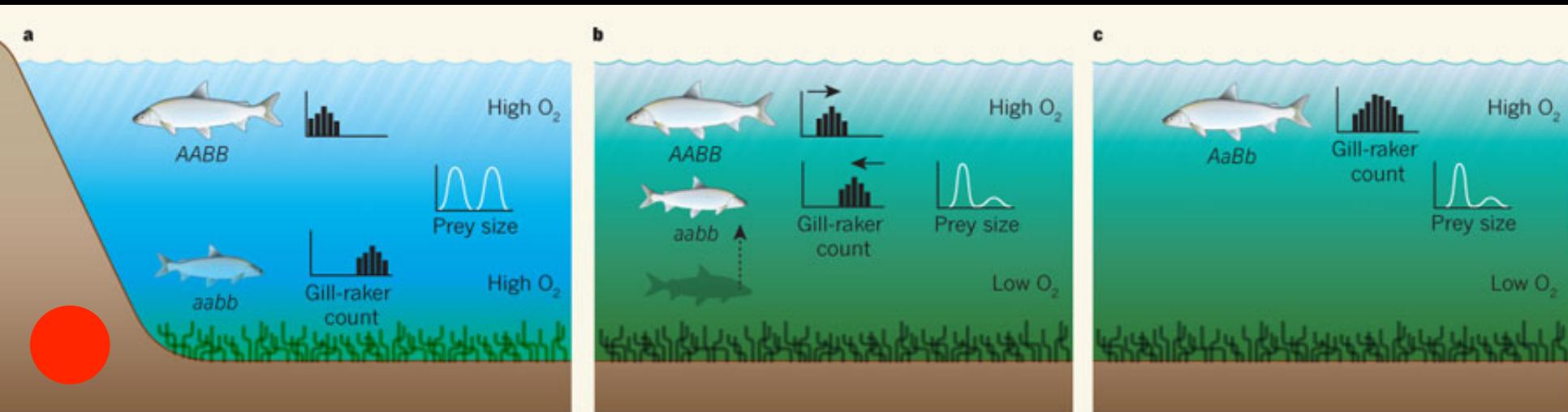
Corégones suisses  
(*Coregonus sp.*,  
Salmonidae)



# Corégones suisses (*Coregonus* sp., Salmonidae)

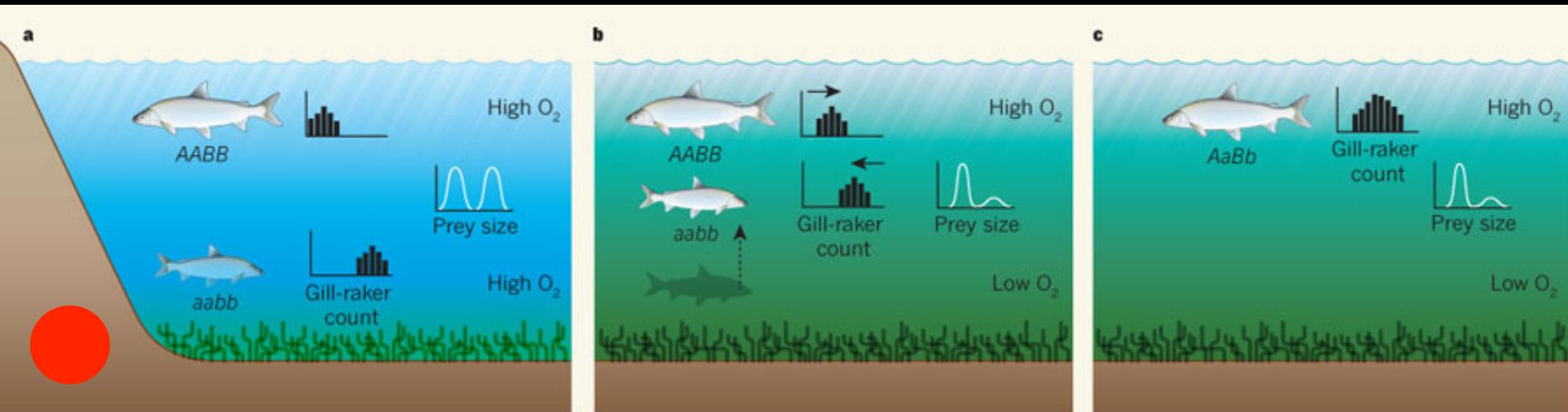


# Corégones suisses (*Coregonus sp.*, Salmonidae)



... une dé-spéciation en cours ! 2 -> 1

# Corégones suisses (*Coregonus sp.*, Salmonidae)



... qui rappelle que la spéciation est un isolement génétique et qu'il n'y a pas de pérennité de l'espèce

## COMMENT NAISSENT LES ESPÈCES

### 2 - Un seul lac pour des centaines d'espèces

Comment naissent les espèces - 26/09/2013 par Pascaline Minet dans mensuel n°480 à la page 42 (2091 mots) | Payant

Il y en a des bleus, des rouges, des rayés ; certains sont carnassiers, d'autres brouteurs d'algues ou avides de plancton ; quelques-uns pondent des oeufs dans des nids aménagés sur les fonds lacustres, tandis que d'autres les incubent dans leur bouche... Les cichlidés sont des petits poissons extrêmement diversifiés qu'on trouve surtout dans les lacs d'Afrique équatoriale, de Madagascar et d'Amérique du Sud. Leur famille comprend 220 genres et au moins 2 000 espèces. On estime que les trois grands lacs est-africains (Victoria, Tanganyika et Malawi) en abritent, à eux [...]



### COMMENT NAISSENT LES

Retrouvez l'intégralité du

**La Recherche, oct. 2013, n°480, p. 42**

**a) Cas végétaux**

**b) Cas animaux**

**c) Cas général**



Zeval

**Zébrule**



ANIMALS  
AND  
PLANTS  
UNDER  
DOMESTICATION  
—  
DARWIN.

VOL. I.

LONDON: JOHN MURRAY.

ANIMALS  
AND  
PLANTS  
UNDER  
DOMESTICATION.  
—  
DARWIN.

VOL. II.

LONDON: JOHN MURRAY.

B  
26  
575.1

*Alfred Russel Wallace*  
1868.

THE VARIATION  
OF  
ANIMALS AND PLANTS  
UNDER DOMESTICATION.

By CHARLES DARWIN, M.A., F.R.S., &c.

IN TWO VOLUMES.—Vol. I.

WITH ILLUSTRATIONS.

LONDON:  
JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.

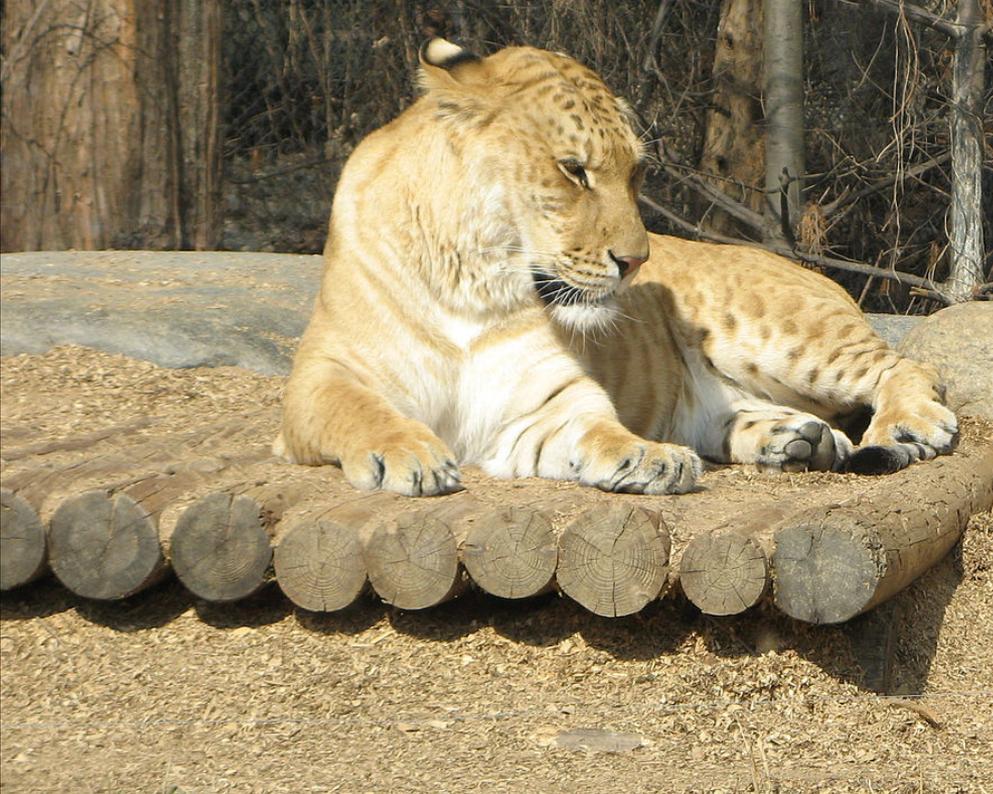
1868.

**« La variation des animaux et des plantes sous l'effet de la domestication », Charles Darwin, 1868 :**

*J'ai vu, au British Museum, un hybride d'âne et de zèbre dont les pattes arrières étaient tacquises.*

*Il y a de nombreuses années, j'ai vu au jardin zoologique un curieux triple hybride, d'une jument baie, par un hybride d'un âne mâle et d'une femelle zèbre.*

# Tigrons





## Tigron. Ligron

Le tigron, également appelé tigon, tiglon ou tion, est le petit issu d'un tigre mâle avec une lionne.

Le ligron, également appelé ligon, est le petit issu d'un lion et d'une tigresse. Le tigron comme le ligron sont des animaux hybrides.

Dans leur environnement naturel, le lion et le tigre ne peuvent se rencontrer. En effet, le lion vit sur le continent africain alors que le tigre vit sur le continent asiatique.

La naissance d'un tigron ou d'un ligron n'a donc lieu que dans des zoos, des cirques ou des parcs animaliers.

Ce qui peut sembler amusant est en réalité pathétique.

Ces croisements, insolites dans la nature, deviennent sordides quand ils sont le fait de l'Homme.

Créer des animaux « dégénérés, n'est vraiment pas à l'honneur d'une espèce qui se prétend supérieure.

<http://www.dinosoria.com/tigron.htm>



## **Une reproduction contre nature**

Aussi fascinant que puisse être un hybride, l'Homme ne doit pas aller à l'encontre de Mère Nature.

Les hybrides entre félins sont toujours stériles ce qui est déjà une bonne raison de ne pas persévérer dans cette mauvaise voie.

En réalité, ce sont les mâles qui sont stériles. Les femelles ne le sont pas mais, bien évidemment, elles ne peuvent pas se reproduire seules.

En 2002, un ligron, né en Chine n'a vécu que 100 jours. En 2004, toujours en Chine, un ligron est mort de complications respiratoires 72 heures après sa naissance.

Selon le biologiste chinois Li Yuchun, seulement un sur 500 000 hybrides survit en raison des différences chromosomiques entre les deux espèces.

<http://www.dinosoria.com/tigron.htm>

## Retour sur la définition de l'espèce

*« Une espèce peut être considérée comme une population d'individus suffisamment isolés génétiquement des autres populations »*

## Retour sur la définition de l'espèce

« Une espèce peut être considérée comme une population d'individus suffisamment isolés génétiquement des autres populations »

L'hybridation résulte souvent de **retours en sympatrie**

## Retour sur la définition de l'espèce

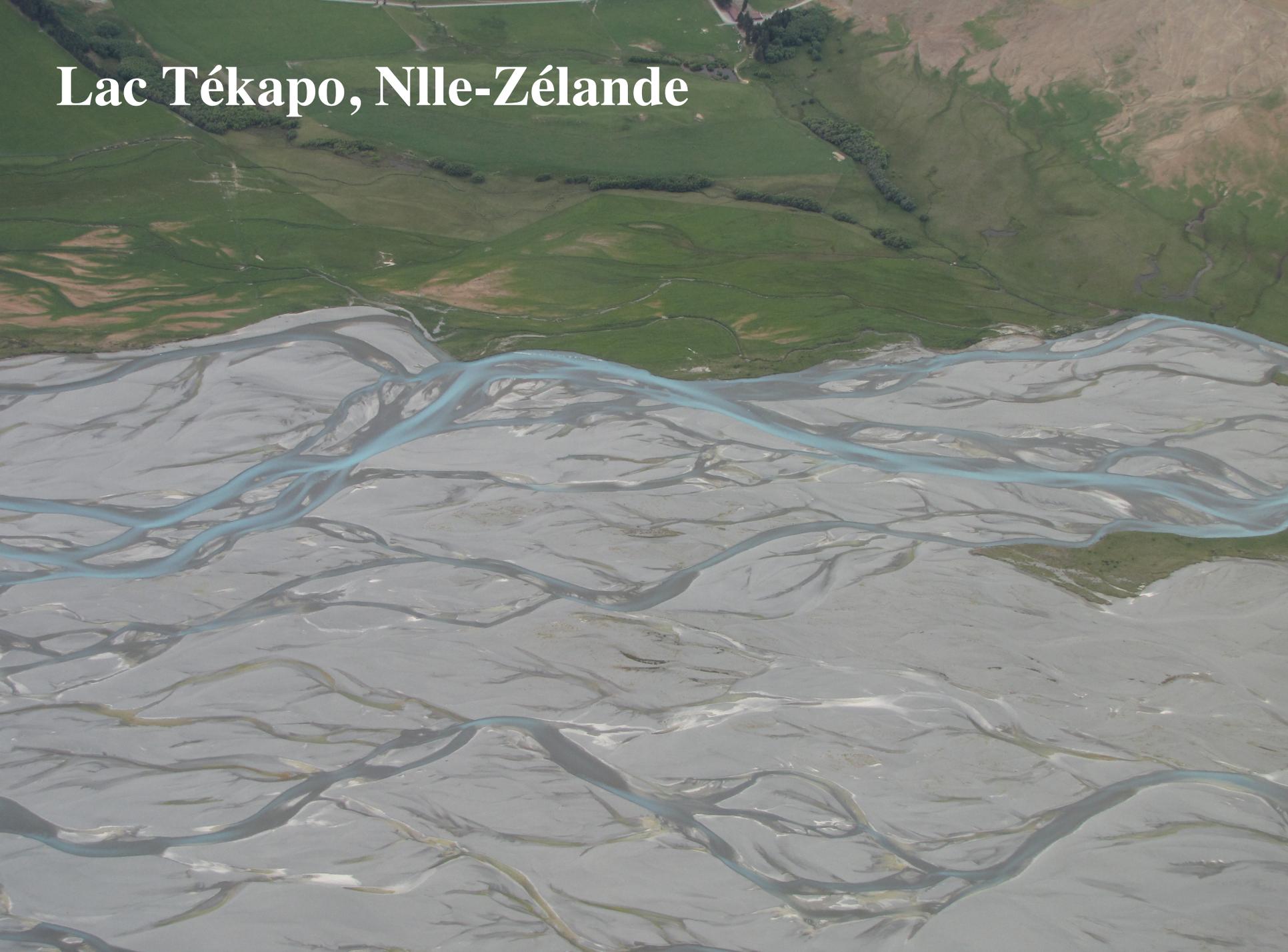
« Une espèce peut être considérée comme une population d'individus suffisamment isolés génétiquement des autres populations »

Définition de **Mayr, 1982**: une espèce est une communauté reproductrice de populations, reproductivement isolée d'autres communautés, et qui occupe une niche particulière dans la nature.

## BILAN - l'hybridation débouche sur :

- un hybride stérile (bof) ; **0**
- un hybride fertile qui ne se croise pas avec ses parents: cas des allopolyploïdes ; **+ 1**
- un hybride fertile qui se croise avec ses parents... une dé-spéciation ! **- 1**

# Lac Tékapo, Nlle-Zélande



1 – De l'espèce et du fixisme

2 – Hybrider

3 – Transférer des gènes

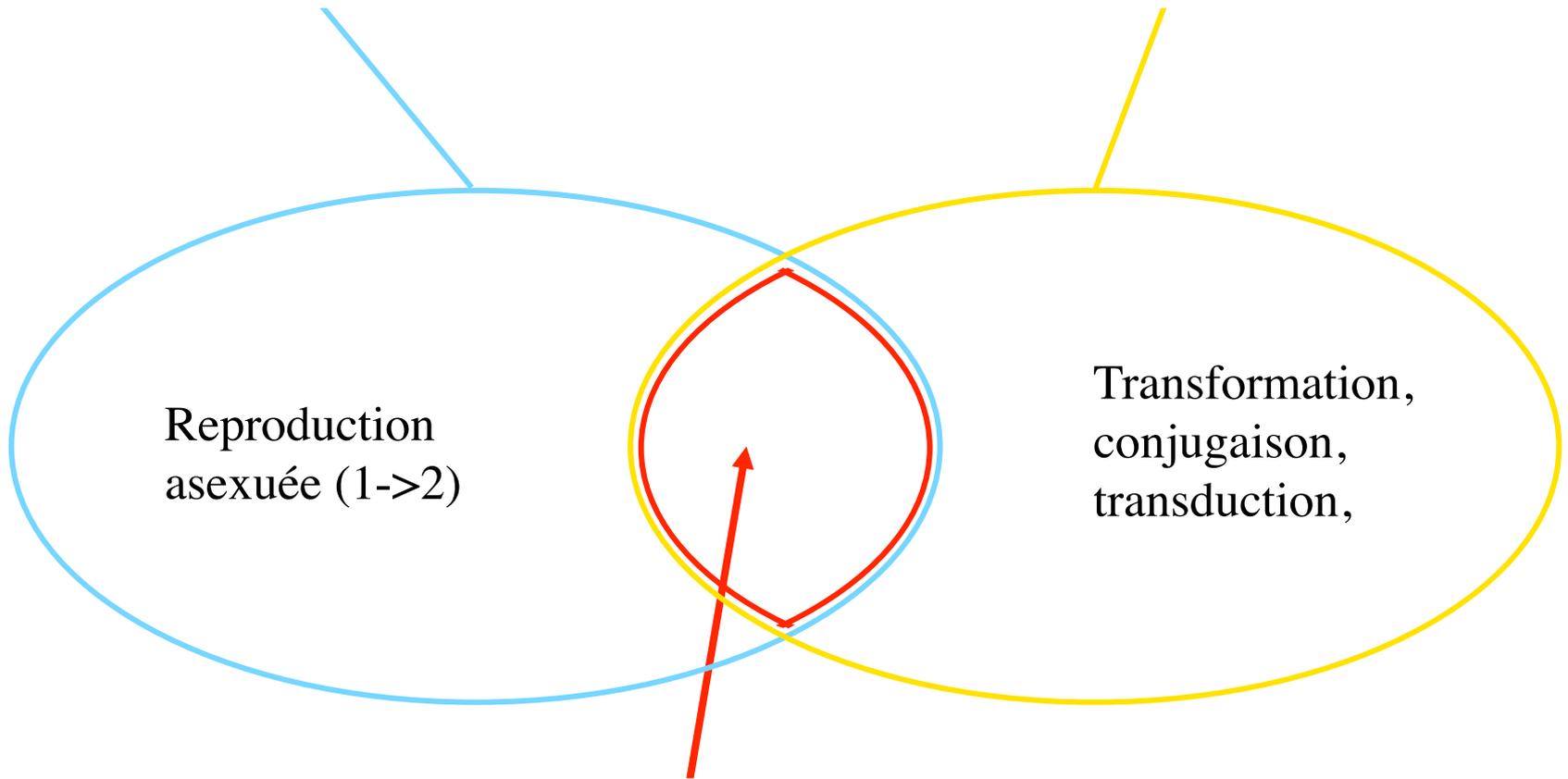
4 – De l'endosymbiose

Conclusion

# **a) Définitions, cas des bactéries**

Reproduction (tout phénomène augmentant le nombre d'individu)

Sexualité (production d'un génome différent)



Reproduction asexuée (1->2)

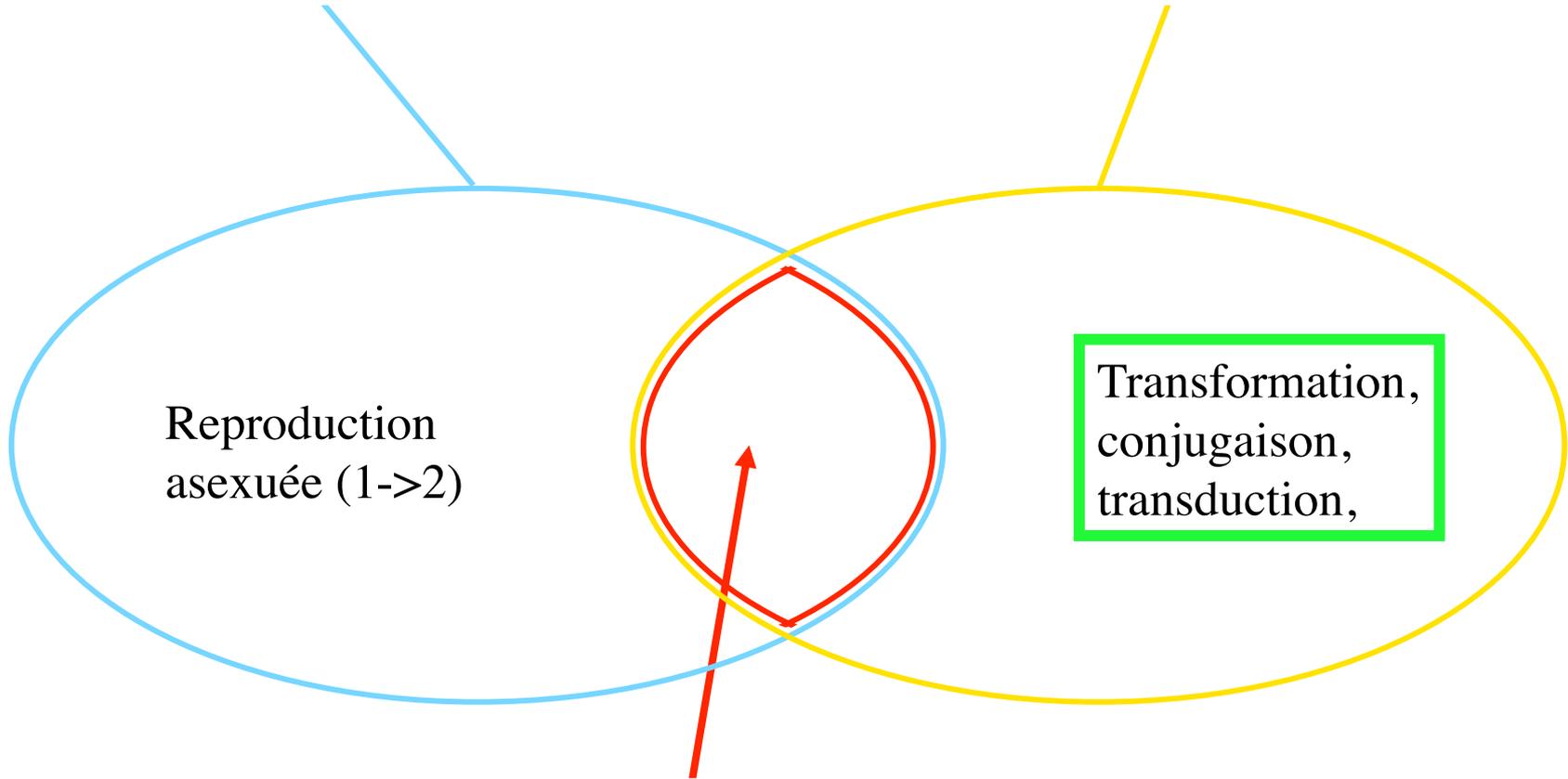
Transformation, conjugaison, transduction,

Reproduction sexuée : 2 -> 3,  
l'individu supplémentaire possède un nouveau génome



Reproduction (tout phénomène augmentant le nombre d'individu)

Sexualité (production d'un génome différent)

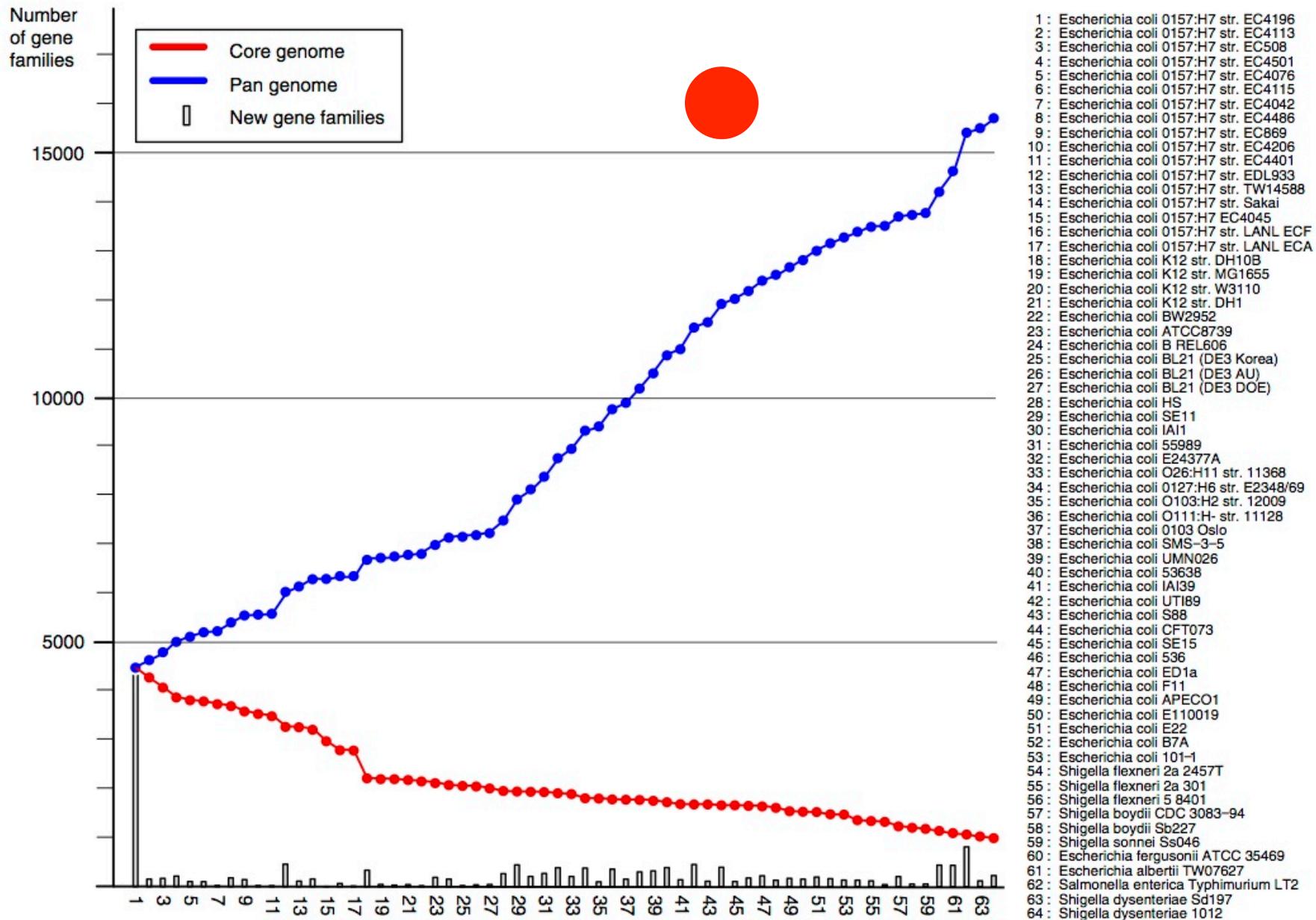


Reproduction asexuée (1->2)

Transformation, conjugaison, transduction,

Reproduction sexuée : 2 -> 3,  
l'individu supplémentaire possède un nouveau génome

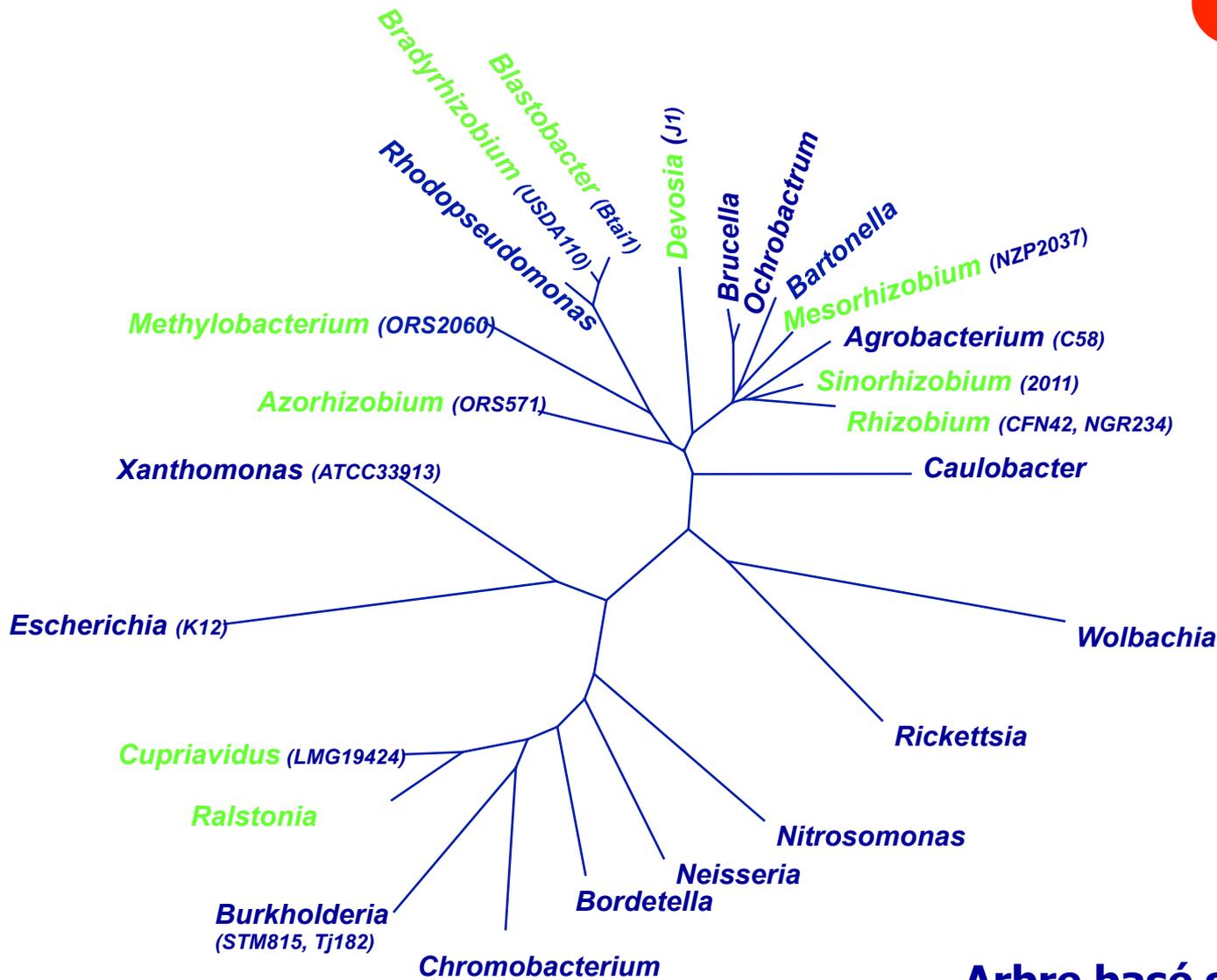




**Figure 4** Pan- and core genome plot of the analyzed genomes. The *blue* pan-genome curve connects the cumulative number of gene families present in the analyzed genomes. The *red* core genome curve

connects the conserved number of gene families. The *gray bars* show the numbers of novel gene families identified in each genome

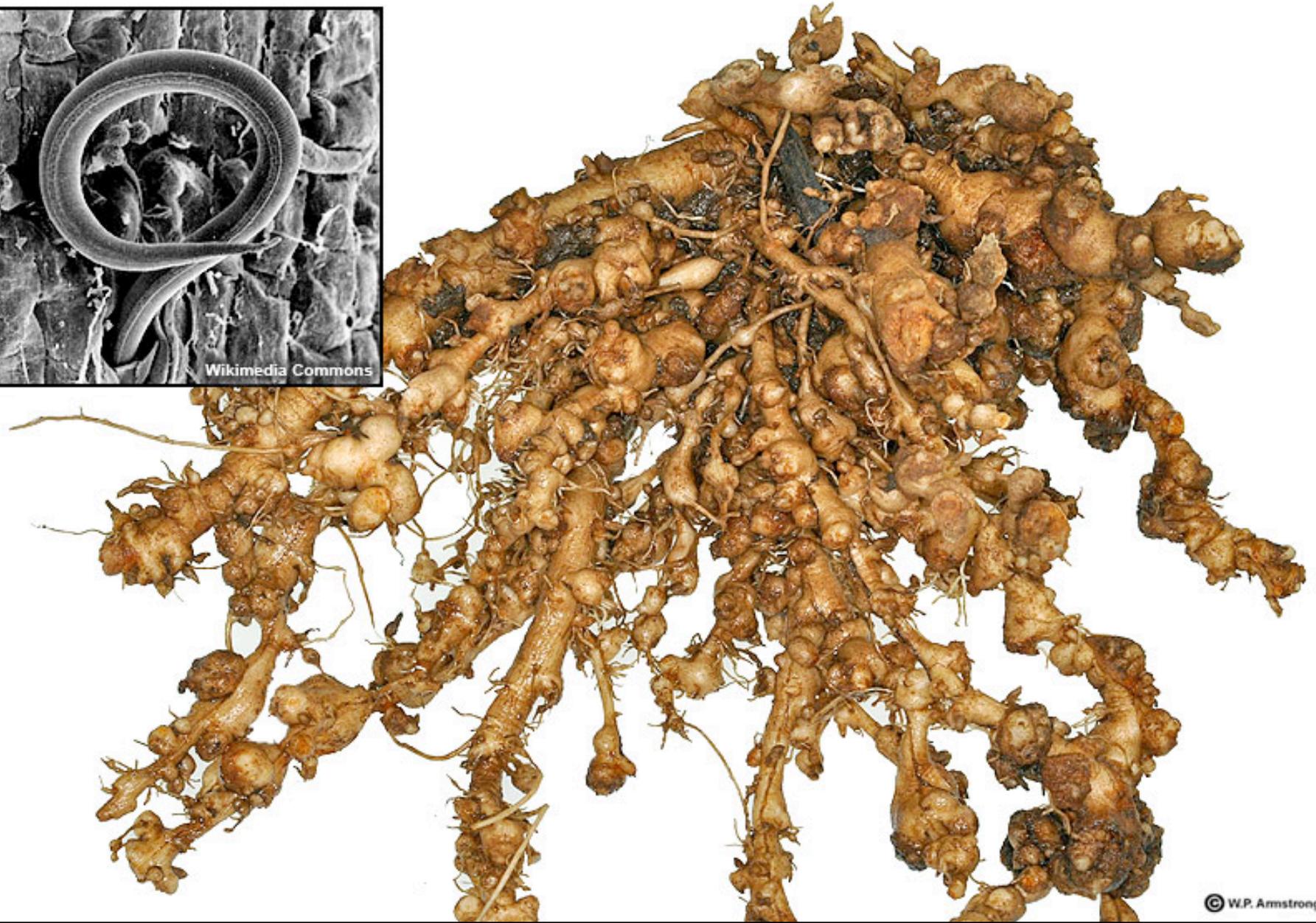
# “Rhizobium” et bactéries proches



Arbre basé sur  
l'ADN ribosomal 16S

**a) Définitions, cas des bactéries**

**b) Cas des Eucaryotes**



© W.P. Armstrong 2011

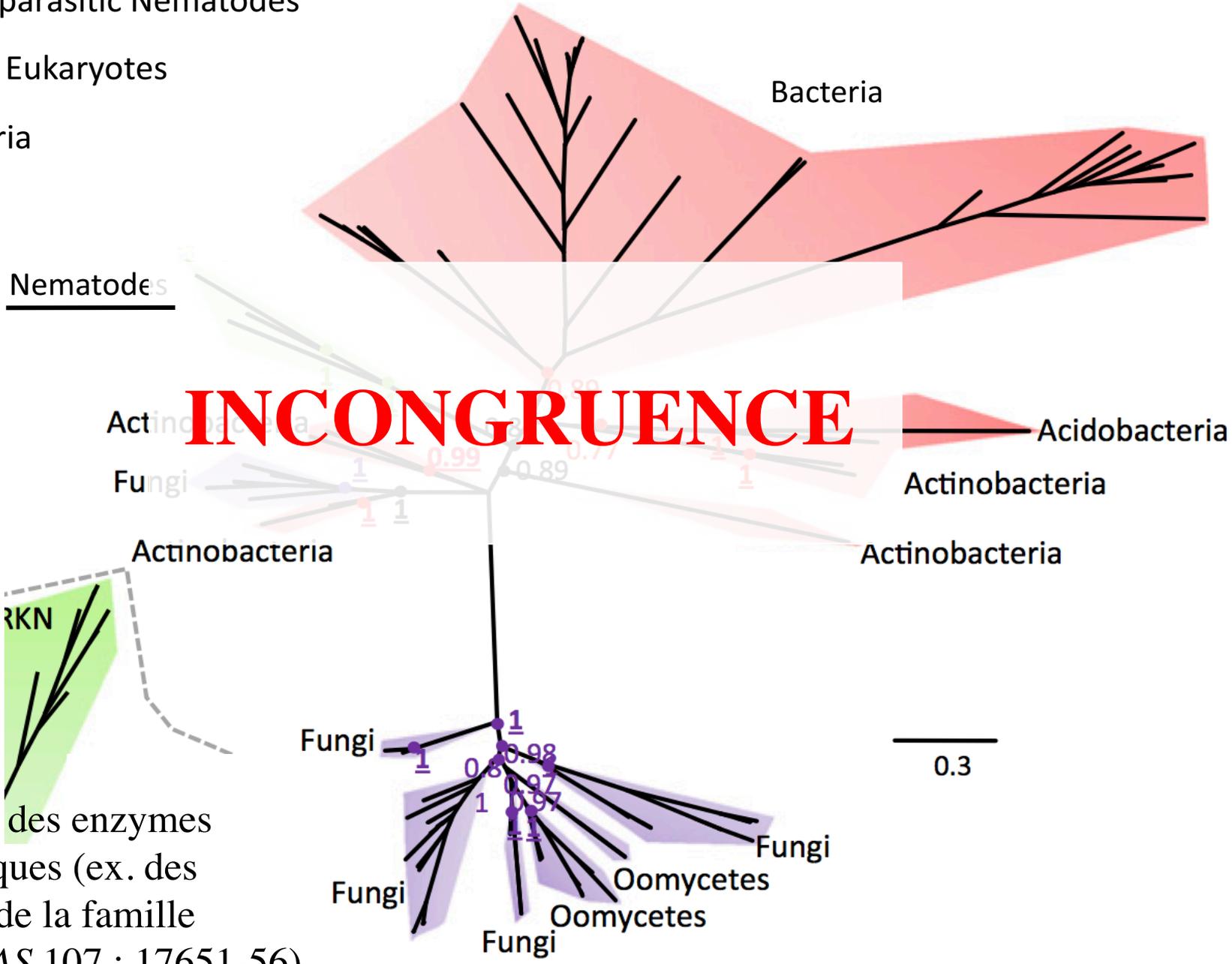
**Les nématodes phytophages (5% des pertes globales de récolte...)**



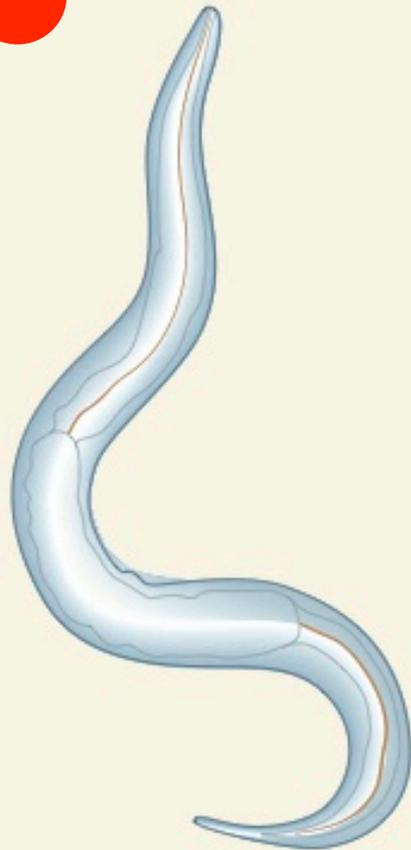
- Plant-parasitic Nematodes
- Other Eukaryotes
- Bacteria

Nematodes

# INCONGRUENCE



Phylogénie des enzymes pectinolytiques (ex. des arabinases de la famille GH43; *PNAS* 107 : 17651-56).



Polygalacturonases

*Ralstonia*

Pectate lyases

Actinomycetales

Arabinanases

Actinomycetales

Expansins

Actinomycetales

Endo-1,4- $\beta$ -xylanases

Firmicutes

Cellulases

Bacteroidetes

Pectin

Hemicellulose

Cellulose

**Les nématodes phytophages (5% des pertes globales de récolte...)**

- Plant-parasitic Nematodes
- Other Eukaryotes
- Bacteria

Nematodes

Actinobacteria

Fungi

Actinobacteria

Fungi

Fungi

Fungi

Oomycetes

Oomycetes

Bacteria

Acidobacteria

Actinobacteria

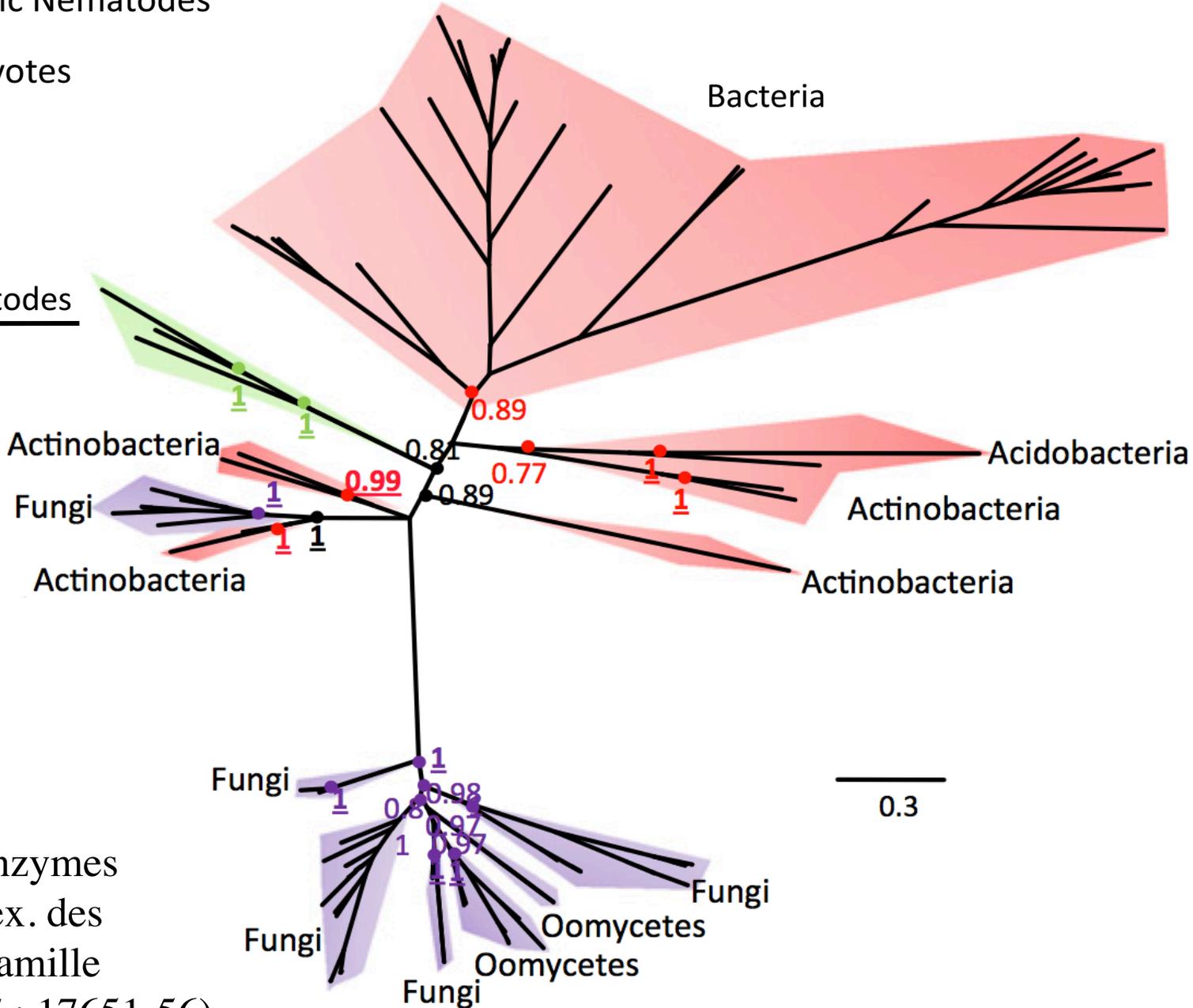
Actinobacteria

Fungi

0.3



Phylogénie des enzymes pectinolytiques (ex. des arabinases de la famille GH43; *PNAS* 107 : 17651-56).



# DES ORGANISMES CHIMÉRIQUES : LE SEXE « LENT » DES EUCARYOTES

*Marc-André Selosse*

**Page de droite :**

**Chimère, fille du géant Typhon et d'Echidna, la femme-serpent**, est la sœur de Cerbère, le gardien des Enfers, et de l'hydre à neuf têtes (bronze étrusque, probablement <sup>v</sup> siècle av. J.-C., Musée archéologique de Florence). Tout comme elle, le noyau eucaryote cumule des attributs venus d'espèces différentes.

Le chapitre précédent a abordé la question de la sexualité « régulière » des eucaryotes, faite d'une alternance de méiose (créant de nouveaux génomes haploïdes) et de fécondation (créant de nouveaux génomes diploïdes). Cette forme de sexe est entièrement liée à la reproduction, puisque le nouveau génome est formé au sein de l'amorce d'un nouvel individu, le zygote. On lui oppose souvent le sexe des bactéries (les archées et les eubactéries), qui sont capables de créer de nouveaux génomes en recevant de l'ADN du milieu. Celui-ci leur parvient sous forme d'ADN libre dans le milieu (transformation), empaqueté dans une particule virale qui l'injecte dans la cellule (transduction) ou acheminé par un pont cytoplasmique issu d'une bactérie donneuse (conjugaison) – ces mécanismes sont détaillés par Yvan Matic au chapitre 8.

**a) Définitions, cas des bactéries**

**b) Cas des Eucaryotes**

**c) Mécanismes**

## Comment s'effectuent les transferts ?

- Discuter le rôle des virus ( $10^{25}$  infections.s<sup>-1</sup> !)
- Notion d'accident prometteur

1 – De l'espèce et du fixisme

2 – Hybrider

3 – Transférer des gènes

4 – De l'endosymbiose

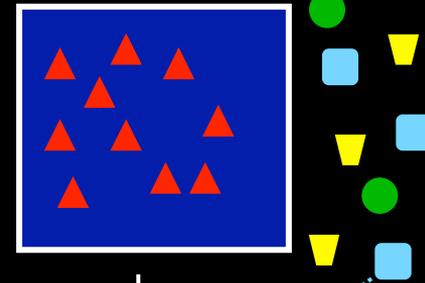
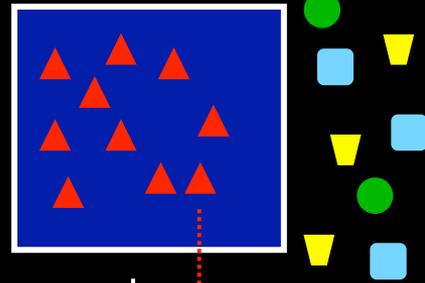
Conclusion

**a) Transmission des symbiontes**

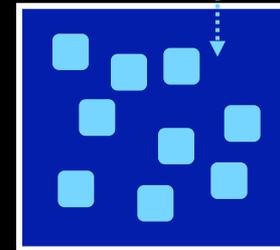
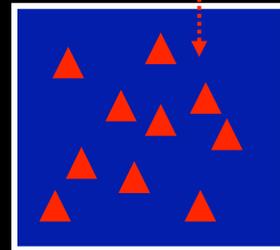
## Transmission verticale

## Transmission horizontale

Génération  
 $n$



Génération  
 $n+1$



Exemples :

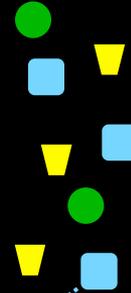
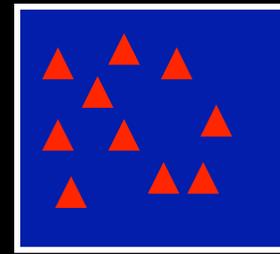
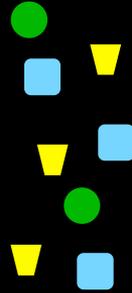
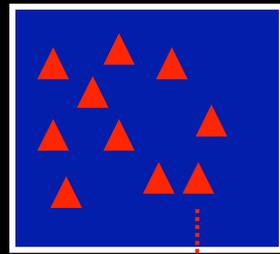
Lichens formant des propagules associant algue et champignon, plastes et mitochondries, certaines bactéries intracellulaires d'insectes, *Neotyphodium* des graminées, xanthelles de certains cnidaires...

Lichens dont le champignon sporule séparément, symbioses racinaires (mycorhizes, nodosités, microflore rhizosphérique...), symbioses du tube digestif des animaux, xanthelles de certains cnidaires...

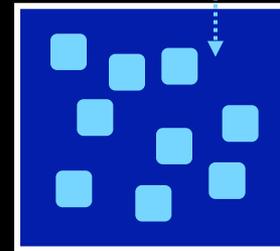
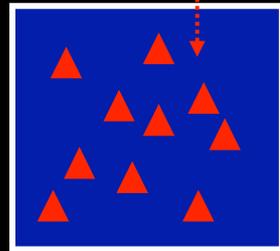
## Transmission verticale

## Transmission horizontale

Génération  $n$



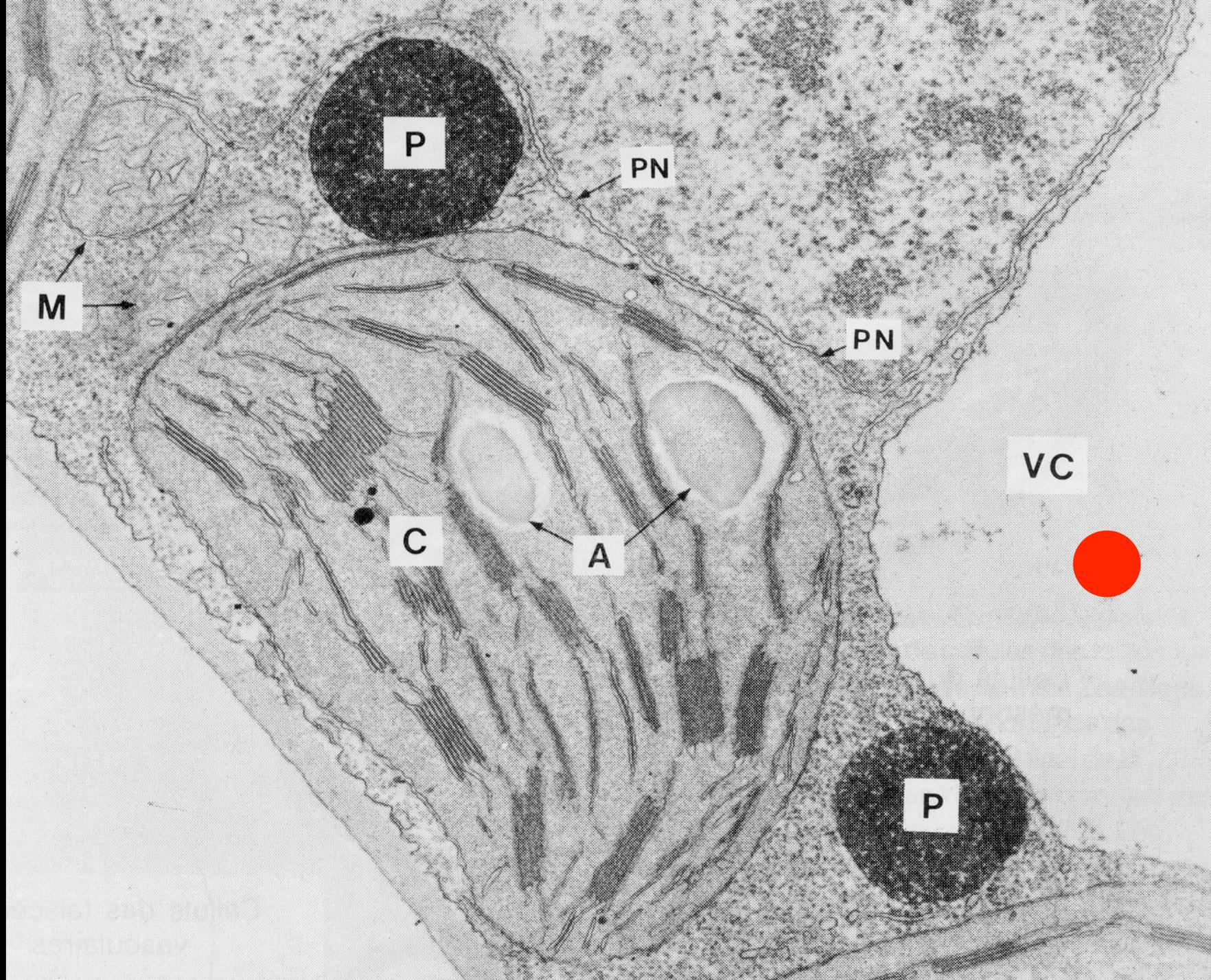
Génération  $n+1$



Effet :

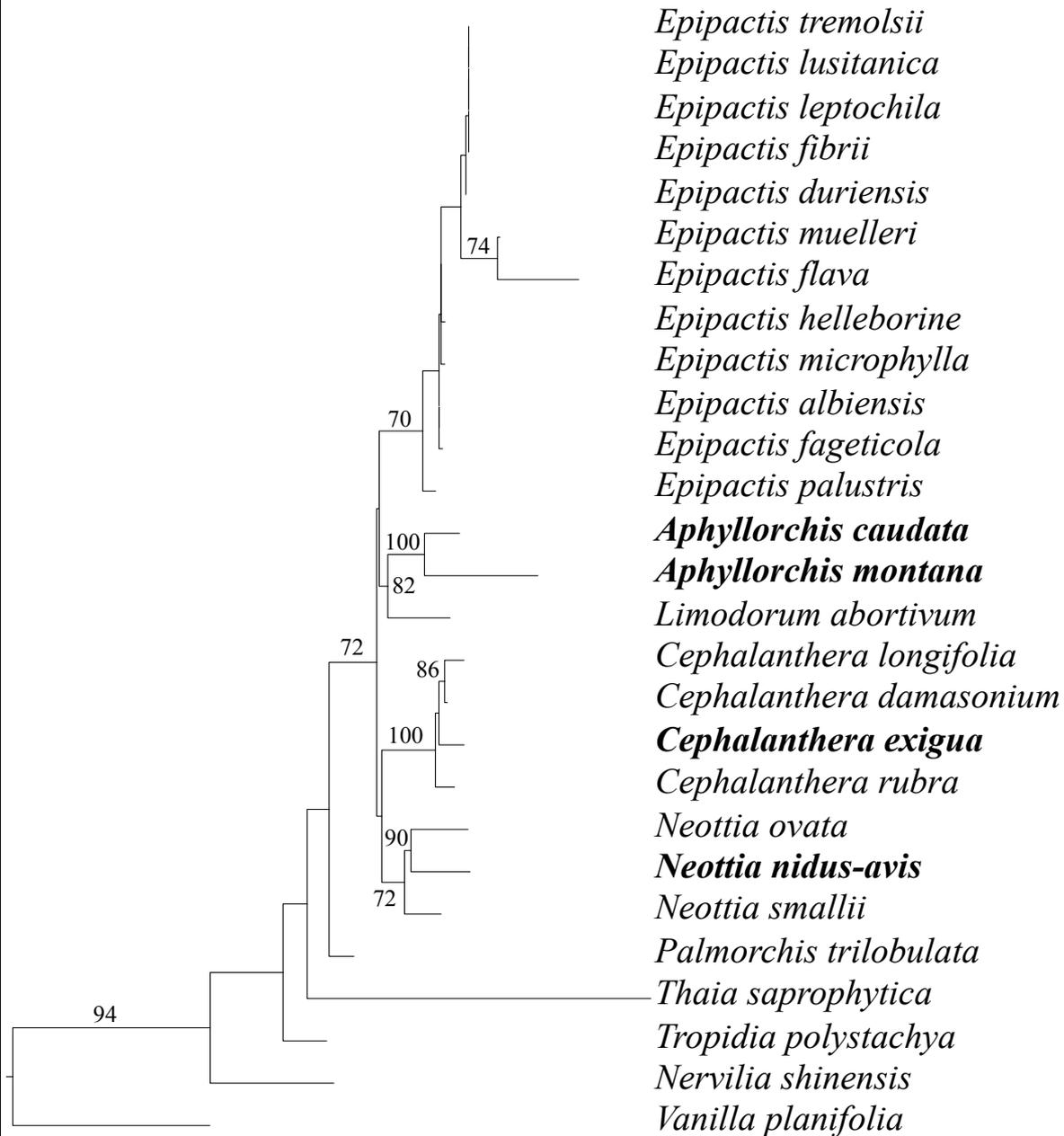
**Recombinaison !**

**Pas recombinaison !**

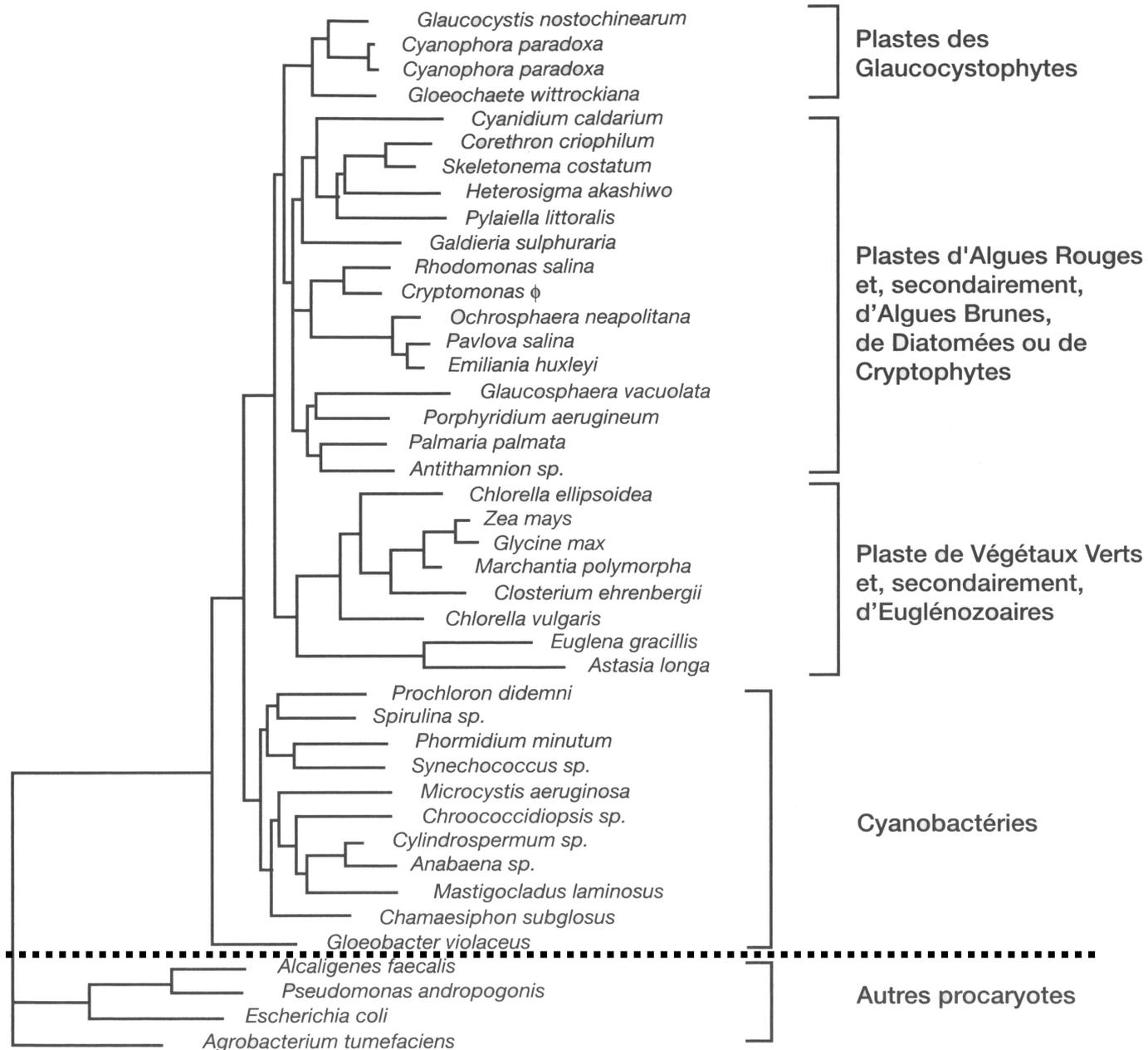


**a) Transmission des symbiontes**

**b) Implications phylogénétiques**

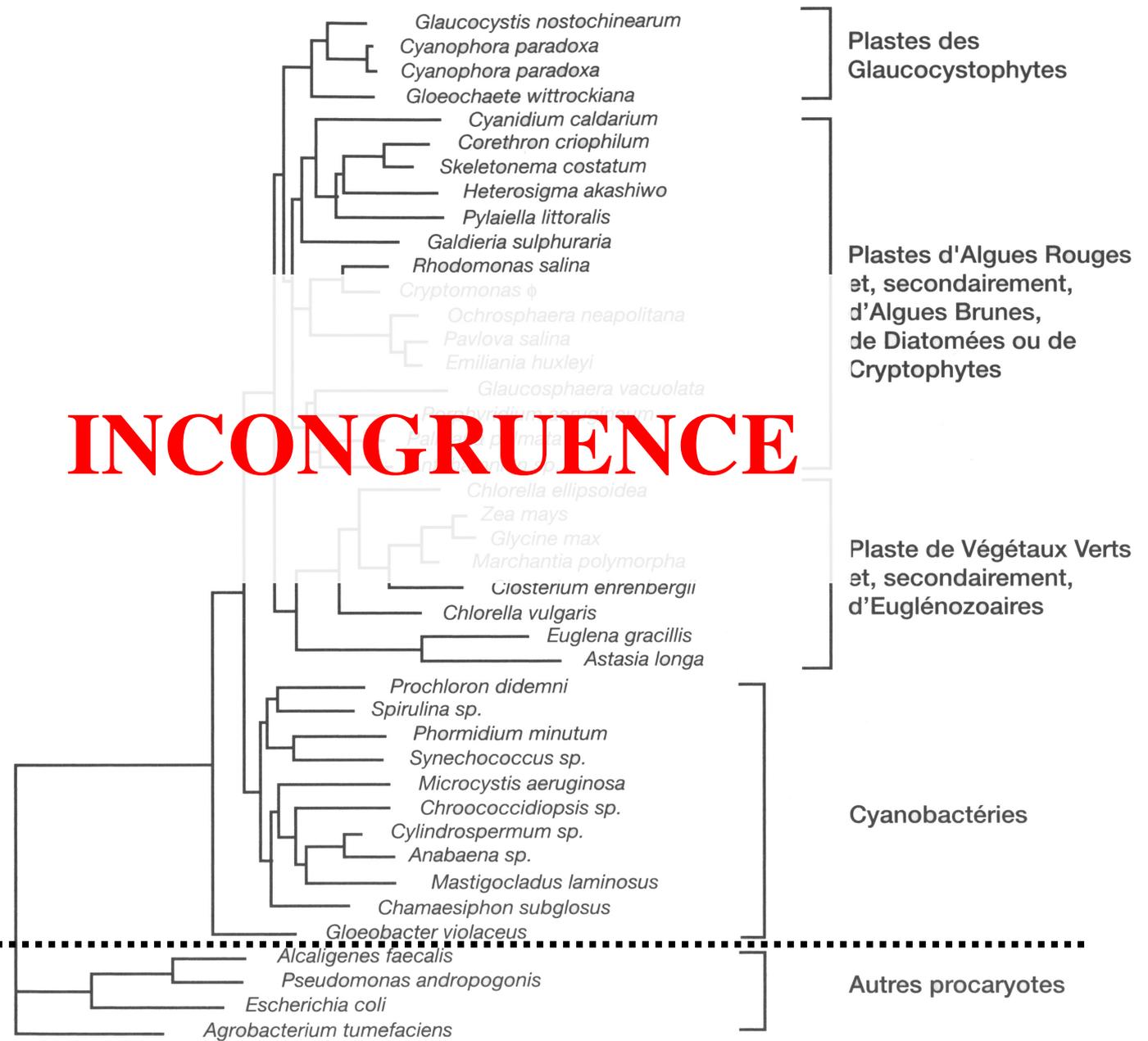


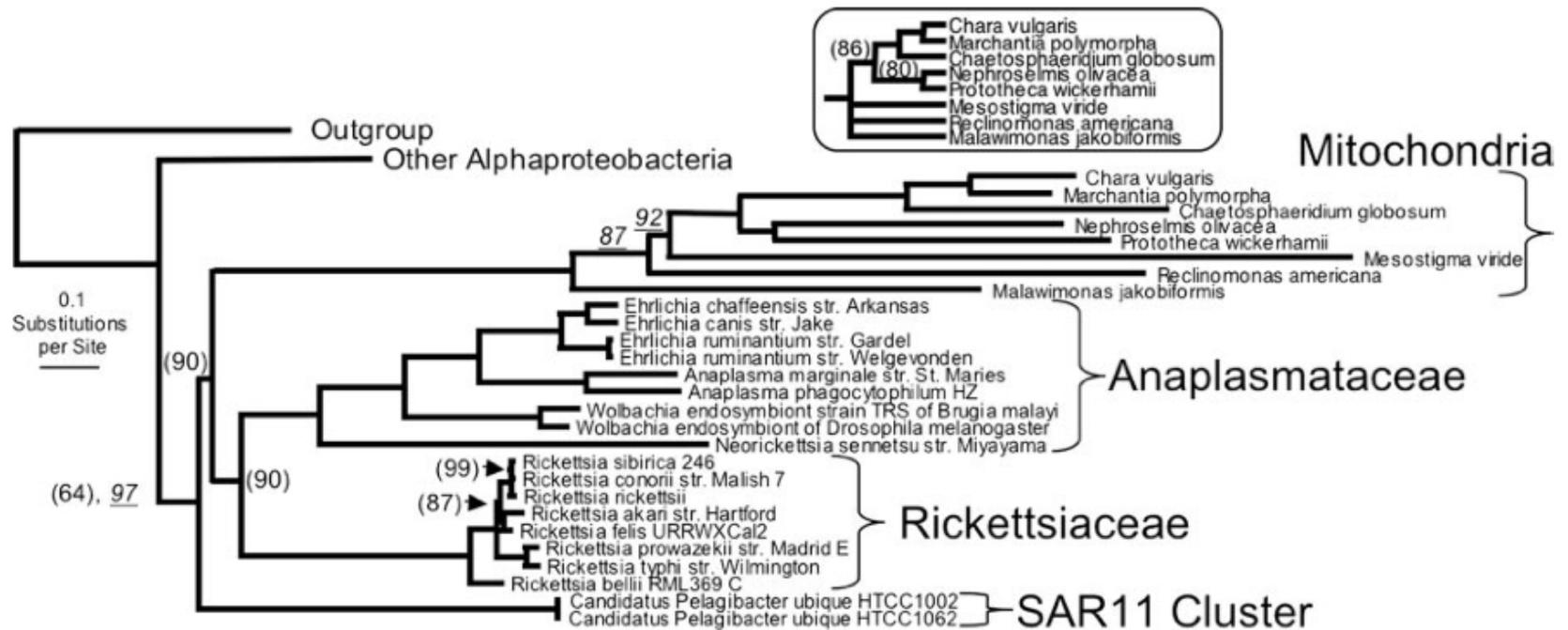
0.03 substitution / site





# INCONGRUENCE





Mitochondrial branch. The portion for *Rickettsiales* is shown for the most likely tree found by Bayesian analysis of the concatenation of masked alignments for 16 selected protein families (4,830 characters), in which each node received 100% Bayesian support, except those indicated with underlined values. Identical topologies for bacterial strains arose as the ML bootstrap consensus, from which all nodes received 100% support, except those indicated in parentheses. The inset shows the topology for the mitochondrial branch from the ML bootstrap consensus, collapsing nodes with <50% support. The outgroup and alphaproteobacterial portions of the tree that are collapsed in this depiction had the same topology as those shown in Fig. 3.

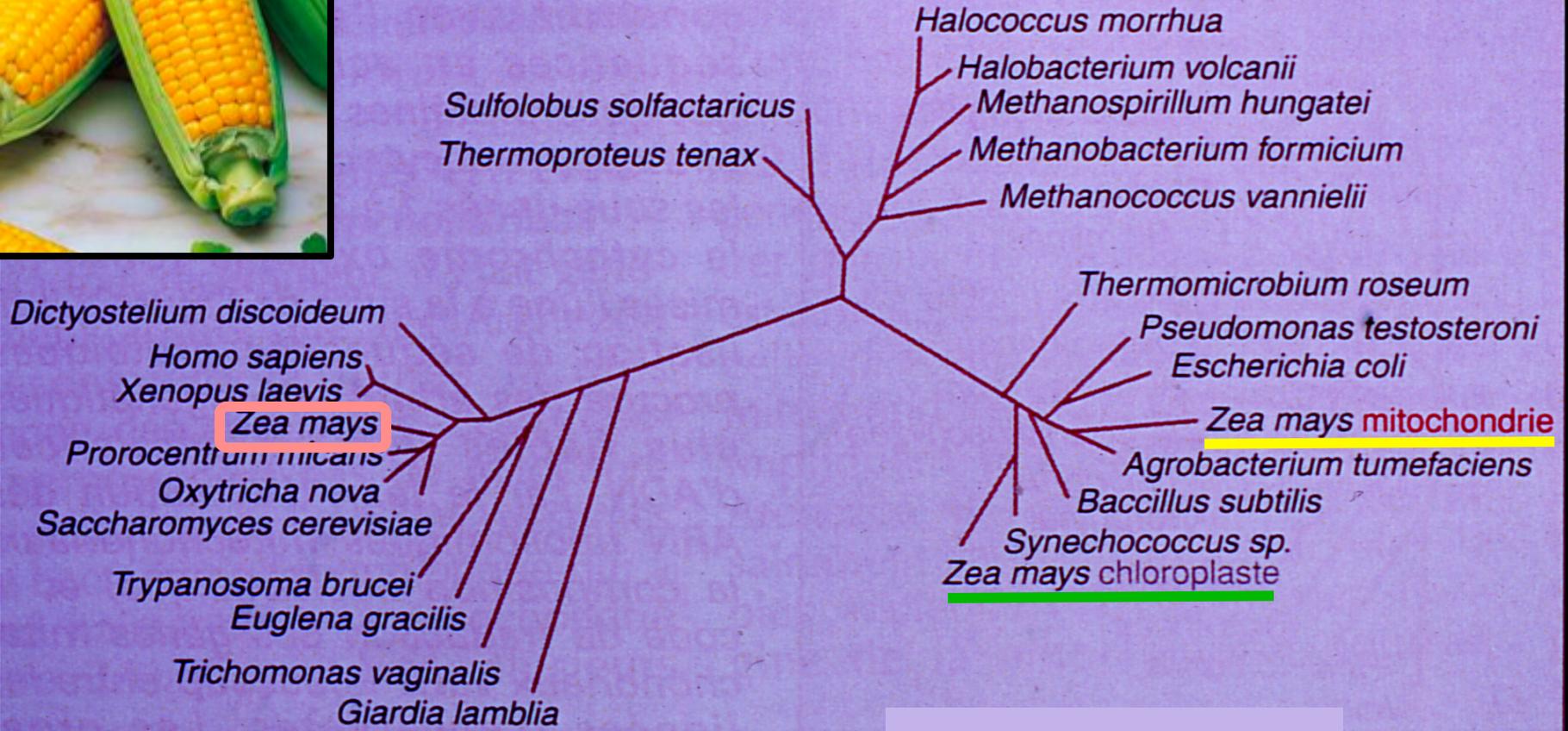
- a) Transmission des symbiontes**
- b) Implications phylogénétiques**
- c) Chimérisation**





# « LE MAIS »

## Archéobactéries



## Eucaryotes

## Eubactéries



# « LE MAIS »

## Archéobactéries

*Sulfolobus solfataricus*  
*Thermoproteus tenax*  
*Halococcus morrhua*  
*Halobacterium volcanii*  
*Methanospirillum hungatei*  
*Methanobacterium formicium*  
*Methanococcus vanniellii*

# INCONGRUENCE ?

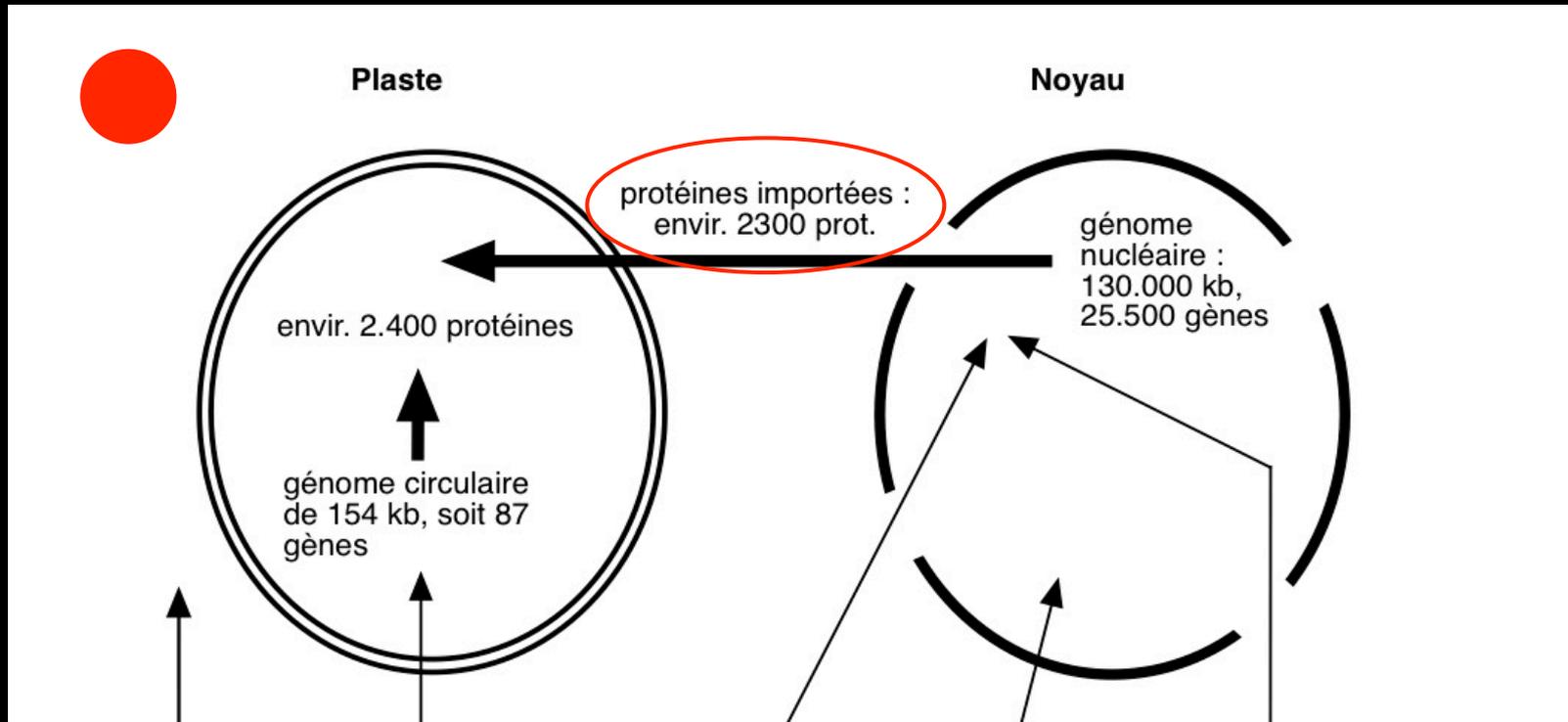
*Dictyostelium discoideum*  
*Homo sapiens*  
*Xenopus laevis*  
*Zea mays*  
*Prorocentrum micans*  
*Oxytricha nova*  
*Saccharomyces cerevisiae*  
*Trypanosoma brucei*  
*Euglena gracilis*  
*Trichomonas vaginalis*  
*Giardia lamblia*  
*Thermomicrobium roseum*  
*Pseudomonas testosteroni*  
*Escherichia coli*  
*Zea mays mitochondrie*  
*Agrobacterium tumefaciens*  
*Bacillus subtilis*  
*Synechococcus sp.*  
*Zea mays chloroplaste*

## Eucaryotes

## Eubactéries

# La semi-autonomie

Protéines codées dans le noyau, puis importés dans l'organite



Cas d' *A. thaliana* : 95 % des protéines sont importées du cytosol  
Modifié de Abdallah *et al.*, 2000, Trends in Plant Science, 5(4), p. 141-142





**Chimère**, est la fille du géant Typhon et d'Echidné, la femme-serpent.

Elle est la sœur de Cerbère, le gardien des Enfers, de l'Hydre à neuf têtes et d'Orthrus, un chien multiséphale

1 – De l'espèce et du fixisme

2 – Hybrider

3 – Transférer des gènes

4 – De l'endosymbiose

**Conclusion**

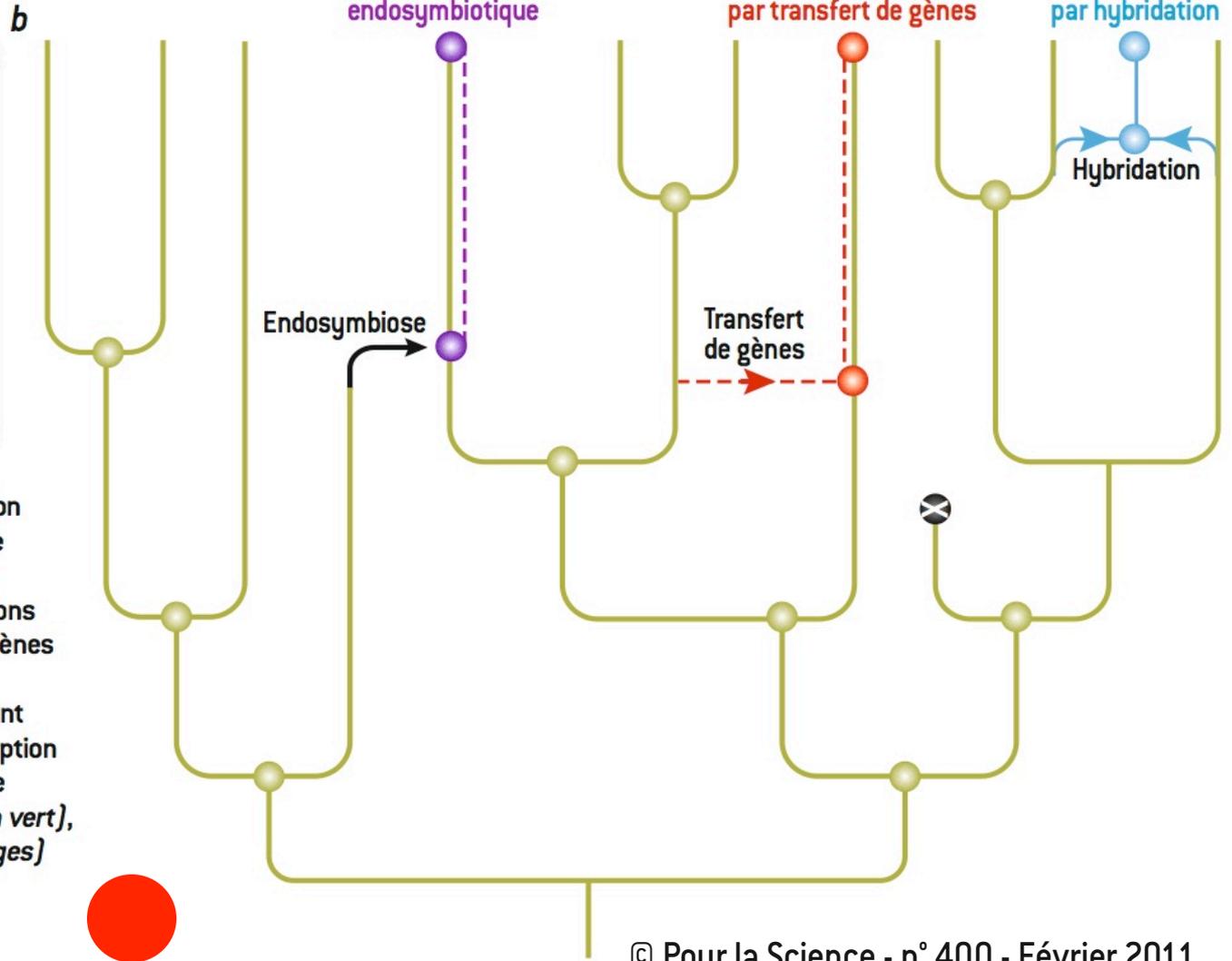
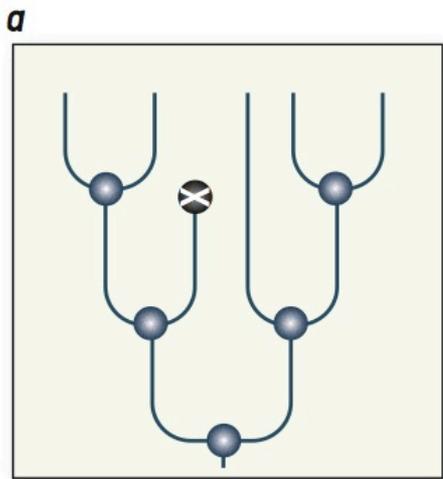
Caractéristique majeure du vivant : une transmission verticale et «  $\pm$  exacte » de l'information génétique qui permet l'évolution.

ou horizontale !

La plurivocité du mot « espèce » suggère que le réel se plie mal à ces définitions : l'espèce n'est qu'une représentation instantanée du réel.

oui, très fluide dans le temps !  
Les hybrides, ca existe !

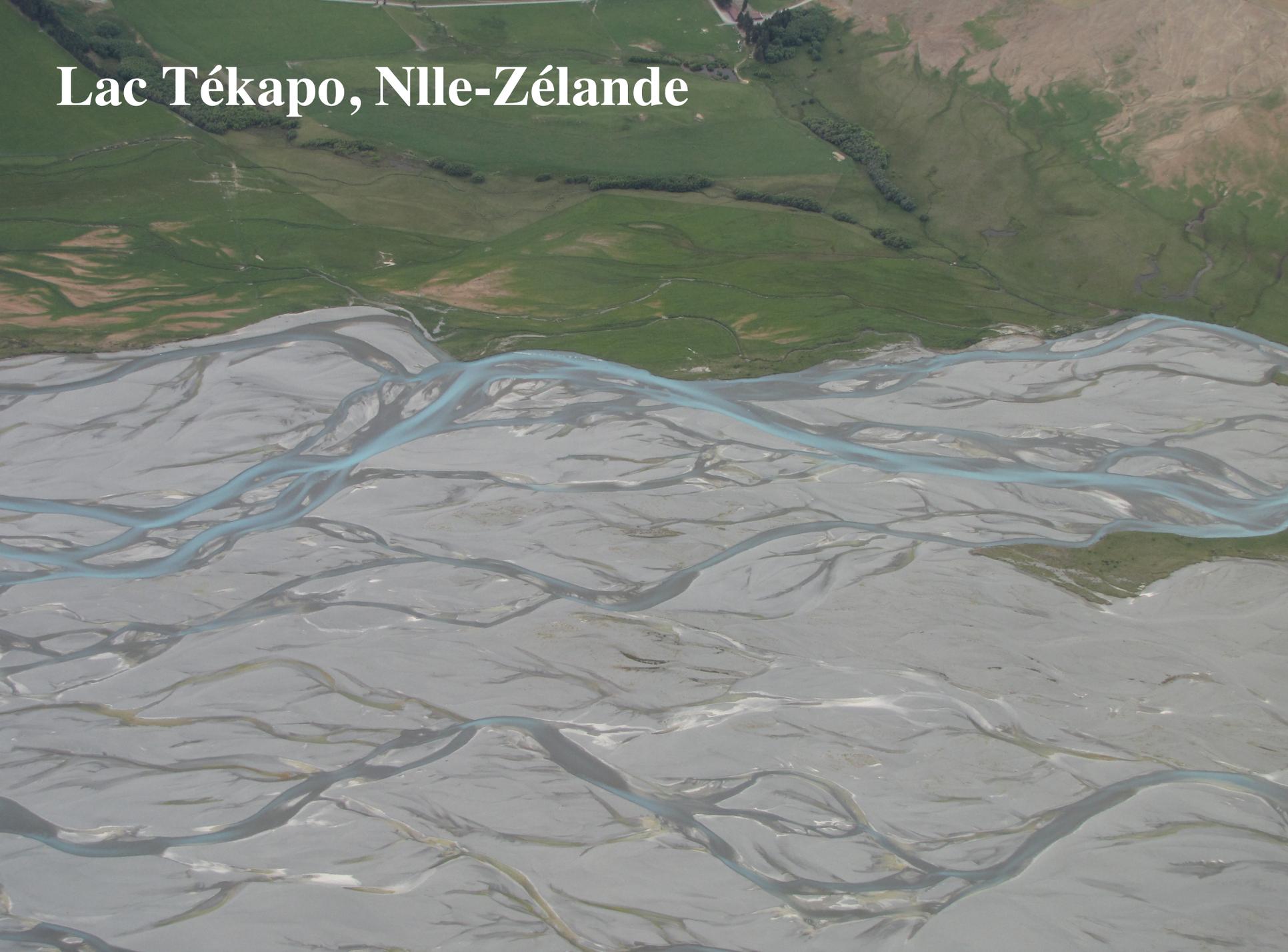
# spéciation divergente + extinction + fusions



L'ARBRE DU VIVANT de l'évolution darwinienne classique *(a)* comporte des phénomènes de spéciation par divergence *(cercles)* et des extinctions *(croix)*. Il faut y ajouter des phénomènes d'évolution par fusion qui créent un réseau *(b)*. Trois mécanismes sont à l'œuvre : l'endosymbiose, ou absorption d'un matériel génétique d'une lignée *(pointillés violets)* par une autre *(en vert)*, le transfert de gènes *(pointillés rouges)* et l'hybridation de deux espèces en une nouvelle *(en bleu)*.

		Deuxième lettre										
		U		C		A		G				
Première lettre	U	UUU	phénylalanine	UCU	sérine	UAU	tyrosine	UGU	cystéine	U	Troisième lettre	
		UUC		UCC		UAC		UGC		C		
		UUA	leucine	UCA		codons stop	UAA	UGA	codon stop	A		
		UUG		UCG			UAG	UGG	tryptophane	G		
	C	CUU	leucine	CGU	proline		CAU	histidine	CGU	arginine		U
		CUC		CGC			CAC		CGC			C
		CUA		CGA		CAA	CGA	A				
		CUG		CGG		CAG	CGG	G				
	A	AUU	isoleucine	ACU	thréonine	AAU	asparagine	AGU	sérine	U		
		AUC		ACC		AAC		AGC		C		
		AUA		ACA		AAA	AGA	A				
		AUG	méthionine	ACG		AAG	lysine	AGG	arginine	G		
	G	GUU	valine	GCU	alanine	GAU	acide aspartique	GGU	glycine	U		
		GUC		GCC		GAC		GGC		C		
		GUA		GCA		GAA	GGA	A				
		GUG		GCG		GAG	GGG	G				

# Lac Tékapo, Nlle-Zélande





# université de **BORDEAUX**

The logo for the University of Bordeaux features a blue diagonal stripe in the top-left corner. The text 'université de BORDEAUX' is centered. 'université' is in a dark brown sans-serif font, with blue accents on the 'u', 'e', and 'i'. 'de' is smaller and positioned below 'université'. 'BORDEAUX' is in a larger, bold, dark brown sans-serif font.

université  
de **BORDEAUX**

Yann Lhoste, *MCF*

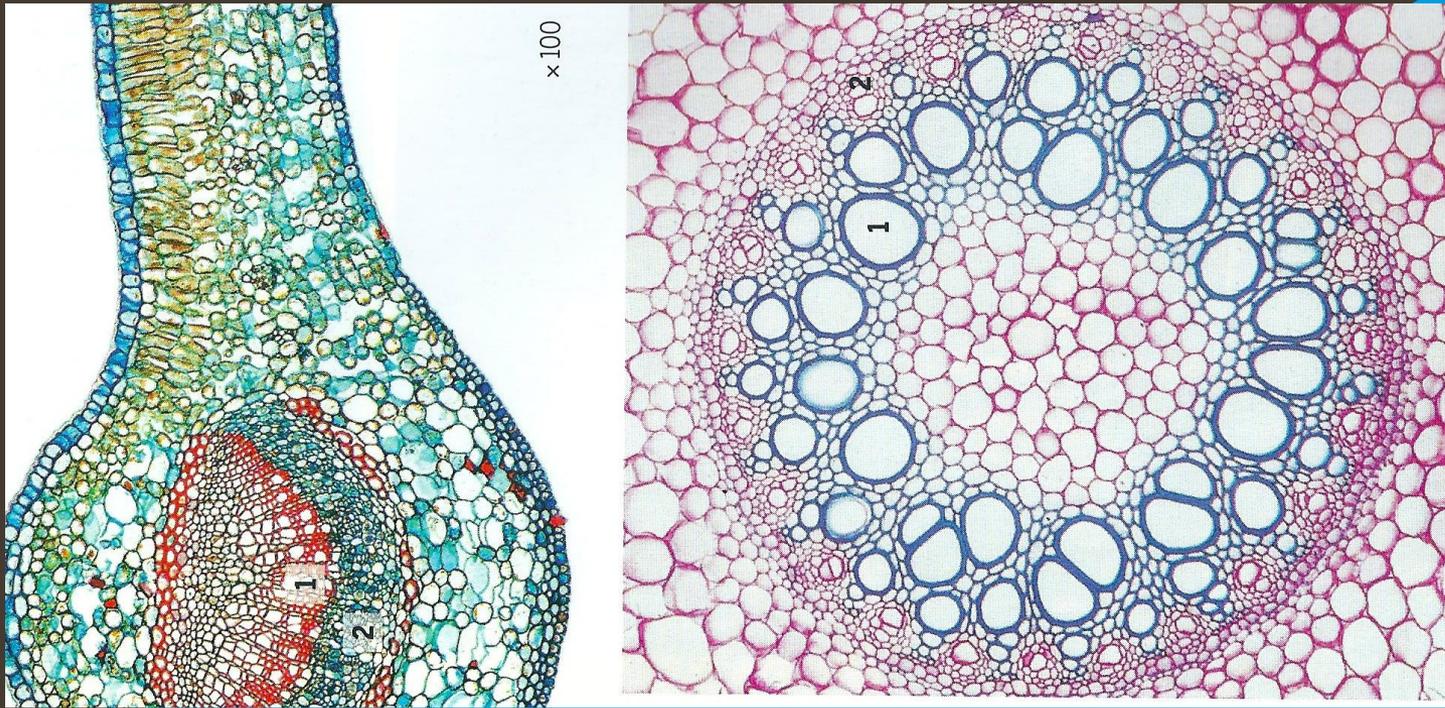
Brigitte Peterfalvi, *Ingénieur de  
recherche honoraire*

# Les obstacles à la compréhension de l'évolution par les élèves



# Problématique

- Beaucoup d'élèves ne maîtrisent que faiblement l'idée d'évolution à la fin de l'enseignement secondaire
- **Mais** les programmes font comme si cette idée était acquise
- **Comment comprendre cette absence d'appropriation alors que c'est un objet présent dans les programmes de l'école au lycée ?**
- B. Peterfalvi (2008) propose deux pistes pour explorer cette question :
  - › 1/ En quoi l'enseignement pourrait être responsable de ces difficultés ?
  - › 2/ Quels sont les obstacles épistémologiques sous-jacents qui peuvent expliquer ces difficultés ?



1. Une pratique d'enseignant débutant en classe de TS (Vie fixée)

# La vie fixée en TS : présentation du savoir biologique par un enseignant débutant (Jaubert, Lhoste, Rebière & Schneeberger, 2014)

- Classe de TS de 28 élèves au Lycée Élie Faure (Lormont – 33)
- Cours de 2h qui s'appuie sur deux séances de TP ayant eu lieu préalablement
- Objet d'étude : « L'organisation fonctionnelle des plantes (angiospermes) est mise en relation avec les exigences d'une vie fixée en relation avec deux milieux, l'air et le sol. Au cours de l'évolution, des processus trophiques, des systèmes de protection et de communication, ainsi que des modalités particulières de reproduction se sont mis en place. L'objectif de ce thème est, sans rentrer dans le détail des mécanismes, de comprendre les particularités d'organisation fonctionnelle de la plante et de les mettre en relation avec le mode de vie fixé » (BO spécial, n° 8, 13 oct. 2011, p. 8).

# Le texte cible visé par l'enseignant

→ « Professeur : Donc pour conclure sur ce grand A // de part leur anatomie **les plantes / on l'a vu / vont être adaptées / à un mode de vie fixé** // elles vont pour cela / on observe pour cela / une augmentation des surfaces d'échange d'accord / au niveau des feuilles d'accord et des racines / **pour qu'elle puisse puiser tout ce dont elle a besoin** / dans leur milieu (le professeur laisse le temps au élèves de noter ce qu'il vient de dire) /// et maintenant elles vont être confrontées à un autre problème / par ce mode de vie // le problème de la défense...»

## → Les savoirs énoncés par l'enseignant :

- › En1 : les stomates s'ouvrent et se ferment pour permettre des échanges avec l'atmosphère
- › En2 : l'organisation des cellules sur la face inférieure de la feuille permet une augmentation de la surface d'échange entre les cellules et l'air contenu dans les lacunes
- › En3 : les stomates se ferment quand l'ensoleillement est important pour éviter la déshydratation
- › En4 : L'organisation de la racine (de l'échelle de l'organe à celle de la cellule) permet une augmentation de la surface d'échange entre la plante et le sol ce qui facilite la nutrition hydrique et en sels minéraux

# La structure de En2

<p>15-E : « <b>on avait vu</b> qu'au-dessus / les cellules elles étaient mieux organisées / et qu'en dessous il y en avait plus avec des lacunes // pour stocker le CO<sub>2</sub> »</p>	<p>1. « <b>on avait vu</b> » renvoie à l'observation faite lors d'une séance précédente. Ici il est fait référence à l'observation de la partie inférieure de la feuille. Les élèves ont pu observer du parenchyme lacuneux</p>
<p>16-P : « voilà <b>on a vu</b> deux types de tissus // face inférieur / un parenchyme lacuneux / (...) donc d'après vous // (...) <b>quel rôle peut avoir ce tissu (...) plein de lacunes</b> »</p>	<p>2. Comme la structure est là « <b>on a vu</b> », elle doit bien avoir un rôle : « <b>quel rôle peut avoir ce tissu</b> »</p>
<p>21-E : « ça permet d'acheminer le CO<sub>2</sub> dans les cellules »</p>	
<p>22-P : « voilà / <b>ça permet d'augmenter la surface / d'échange</b> / il va y a avoir plus de <b>cellules</b> / en contact / avec <u>l'atmosphère</u> finalement <u>l'air</u> qui rentre dans <b>les feuilles</b> // d'augmenter les surfaces d'échange entre <u>l'atmosphère</u> et <b>les cellules</b> »</p>	<p>3. Conclusion : « <i>voilà</i> ». Le rôle de la structure identifiée est « découvert ». Cette structure « permet d'augmenter la surface d'échange » qui sera repris dans l'énoncé final sous la forme « <i>de part leur anatomie les plantes / on l'a vu / vont être adaptées / à un mode de vie fixé</i> ».</p>

# Une même présentation des savoirs

- 1. Appui sur *une observation* pour identifier une structure biologique particulière ou un phénomène biologique
- 2. Comme cette structure ou ce phénomène biologique est présent(e), il(elle) est censé (« on en déduit ») avoir un rôle

E1 :	P : « <b>on voit</b> l'ouverture des stomates qu'est la courbe bleue d'accord // <b>on voit</b> qu'elles s'ouvrent » (...) « d'accord / <b>donc ça vous en avez déduit</b> »
E2	P : « <b>on a vu</b> », elle doit bien avoir un rôle : « <b>quel rôle peut avoir ce tissu</b> » pour E2
E3	« alors maintenant si euh // <b>si on revient à cette courbe là</b> (montre sur la courbe au tableau qui représente les liens entre ouverture et fermeture des stomates en fonction de la température du milieu extérieur) // alors <b>certain d'entre-vous avaient déduit // des choses</b> »
E4	« <b>on va pouvoir voir</b> / s'intéresser // aux échanges // entre la plante et le sol // donc là <b>on n'avait rien vu de précis</b> (change le document projeté au tableau) en TP // donc ce que l'on sait juste / c'est qu'au moyen de ses racines // d'accord / c'est les seuls organes / qu'elle va avoir dans le sol / en contact avec le sol en tout cas // <b>elle va pouvoir absorber des minéraux et de l'eau</b> // alors <b>on observe</b> // pour augmenter encore la surface d'échange // <b>on observe</b> sur des radicules et aussi sur des racines // ici // une zone pilifère qui présente une multitude de poils // <b>vous voyez</b> »

- 3. L'enseignant termine sur une assertion qui est en lien avec l'adaptation du végétal à son milieu de vie

# Analyse

- Du point de vue épistémologique, cette organisation renvoie à ce que A. de Ricqlès et J. Gayon (2009) appellent la fonctionnalisme qui est selon eux un « *masque présentable du finalisme en biologie* »
- Sur le plan langagier, cette logique d'intervention de l'enseignant relève selon nous d'un scénario au sens de Bruner (Jaubert, 2007, p. 254-255)
- Comment peut-on l'expliquer ?

# Extrait de l'autoconfrontation

Chercheur : *Sur l'organisation tu es d'abord sur on voit / on en déduit / on en conclut // elle vient d'où cette organisation // une fois que tu as vu quelque chose au niveau des structures / une fois que tu as vu quelque chose niveau des structures / tu veux que les élèves en déduisent quelque chose du point de fonctionnement / et vous en concluez en général / une adaptation à la vie fixée / elle vient d'où cette organisation*

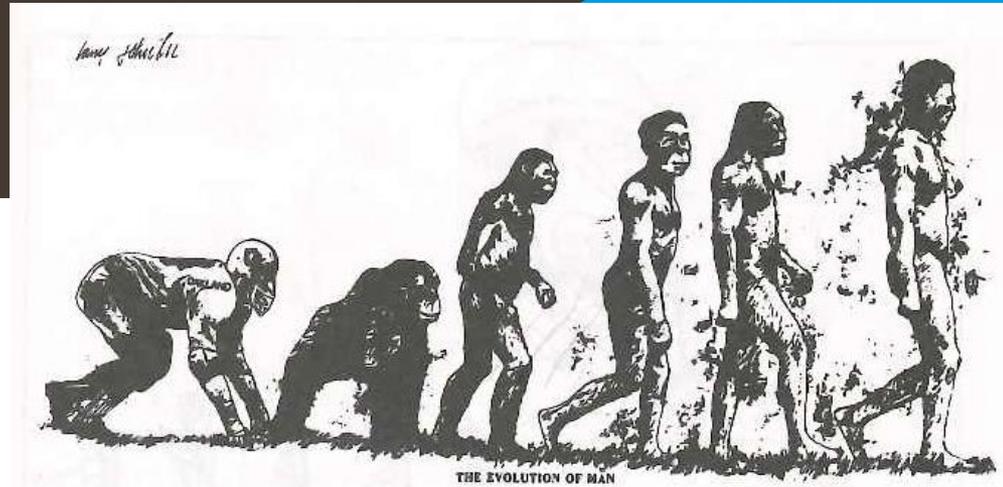
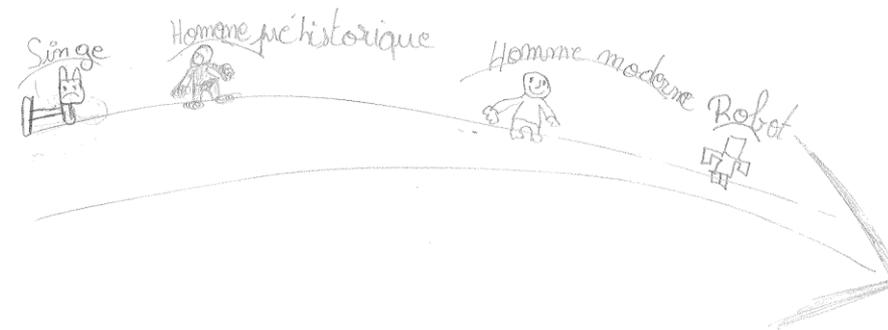
Enseignant : *je pense que ça vient // j'ai du // j'ai du toujours avoir un enseignement comme ça aussi / parce que je me souviens très bien de mon professeur de SVT de terminale qui nous disait toujours observations / interprétation / conclusion // c'est le formatage sûrement // c'est inconscient en plus je m'en suis pas rendu compte // c'est quand vous m'avez dit ça au moment de la soutenance de mon mémoire / que je me suis dit après / finalement c'est vrai que je fonctionne toujours comme ça / c'est un formatage depuis sûrement //*

- La mise en œuvre de pratiques routinisées qui renvoient à l'épistémologie spontanée des enseignants débutants (fortement teintée d'empirisme)
- Les enseignants débutants sont aux prises avec les obstacles (adaptationnisme, finalisme) qui auraient pu être pris en charge par une meilleure anticipation des obstacles spécifiques à l'objet d'étude dans le temps de la préparation (adaptation : Lacombe, 1987 ; Grandcolas, 2009 ; évolution : Peterfalvi, 2008).

Gould, S. J. (1998). *La vie est belle. Les surprises de l'évolution*. Paris: Éd. du Seuil (p. 31)

Production élève CM2

Des singes sont apparus sur terre puis ont évolué à leur mesure.

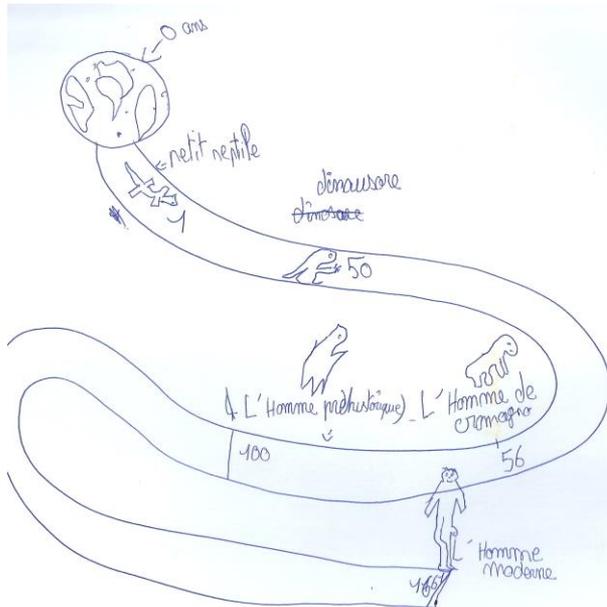


1. 7. Un humoriste peut faire bon usage de l'iconographie de l'échelle. Cette illustration, due à Larry Johnson, est parue dans le *Boston Globe*, juste avant un match de football américain, opposant le club des *Patriots* à celui des *Raiders*.

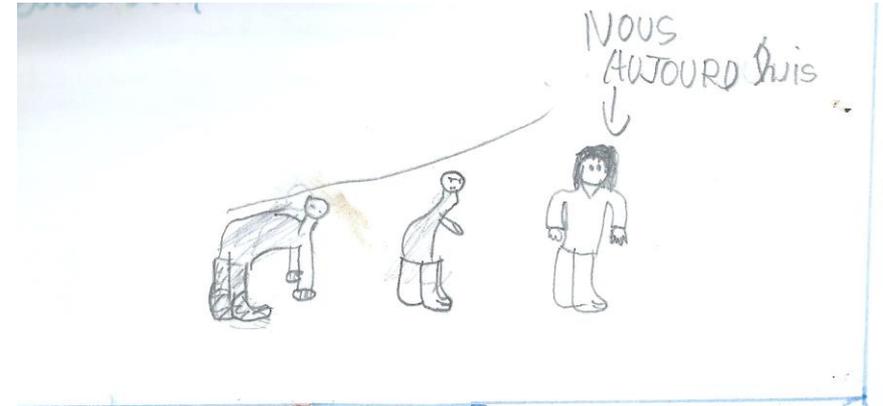
# Représentations / obstacles

université  
de **BORDEAUX**

# Expliquer l'apparition de l'espèce humaine (CM2)



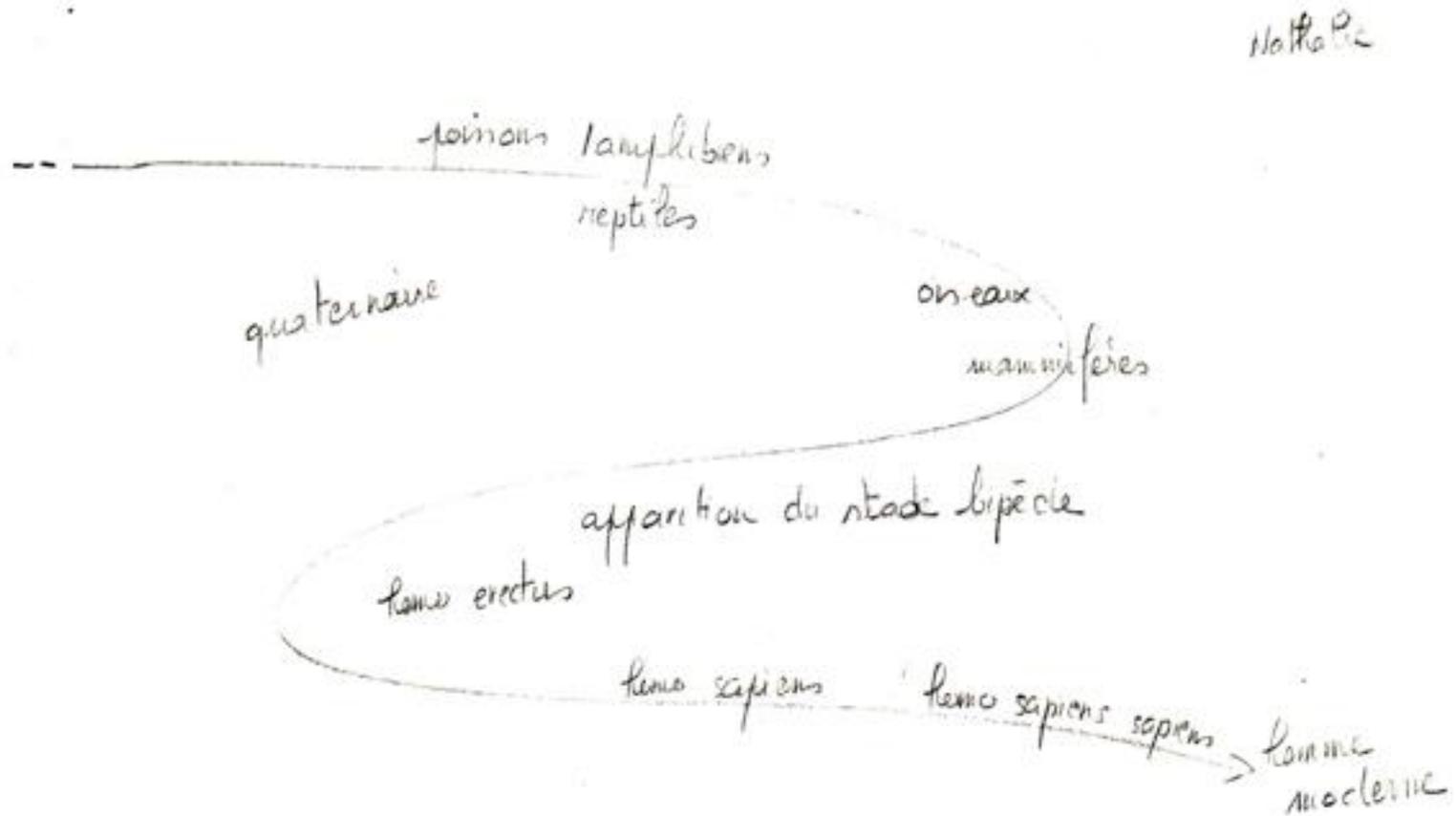
Le temps change et nous changeons de forme de vie. Nous devenons reptile, singe, et l'homme moderne.



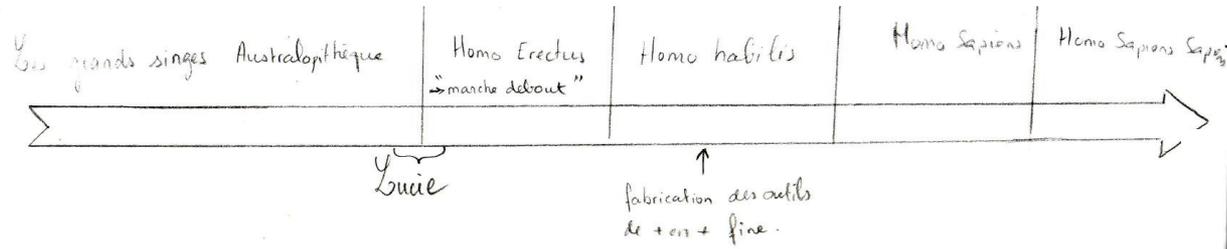
Au début de l'histoire nous étions des Linge, quand on marchait <sup>on avait</sup> de dot penchait. Au fur et à mesure on a grandi et on c'est mit à se redresser.

Tim

# Expliquer l'apparition de l'espèce humaine (étudiants préparant le CRPE)



# Expliquer l'apparition de l'espèce humaine (Étudiants préparant le CRPE)



L'évolution se fait au niveau génétique. L'homme "s'adapte" à son environnement au fur et à mesure des millénaires par mutations génétiques.

se fait au niveau génétique. L'homme "s'adapte" à son environnement au fur et à mesure des millénaires par mutations génétiques.

Tulien.



# Analyse des productions des élèves -> représentations (Fortin, 1993, 2009, p. 1053)

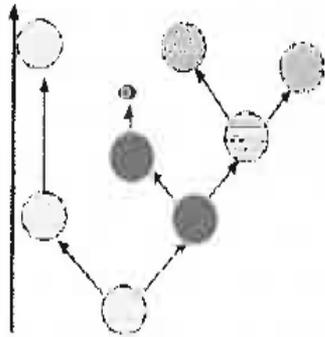


Figure 1. Représentation pseudo-évolutionniste. Chaque groupe (ou espèce) a une origine commune, et peut se transformer en un nouveau groupe. L'extinction est possible. Chaque figuré représente un « groupe ». Les flèches indiquent la transformation du « groupe » en un autre. Le point noir représente l'extinction. La flèche en position verticale indique l'écoulement du temps (Fortin 1993).

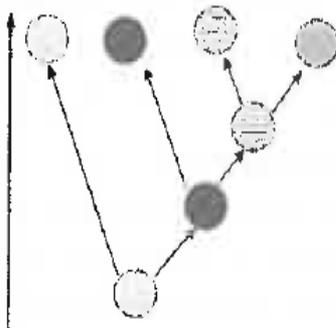


Figure 2. Représentation transmutationniste. Chaque groupe (ou espèce) peut se transformer en un autre. L'extinction est impossible.

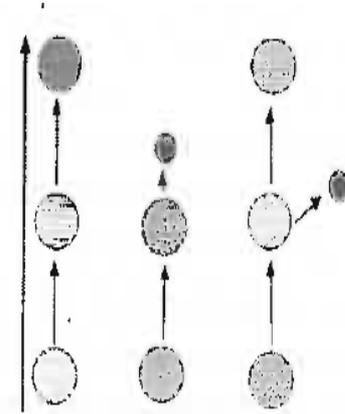


Figure 3. Représentation non évolutionniste.

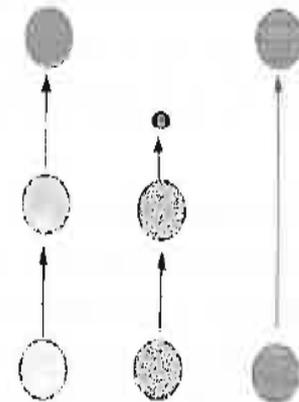


Figure 4. Représentation créationniste. Chaque groupe (ou espèce) est créé séparément. L'extinction est possible et une transformation intraspécifique est aussi possible.

# Des représentations aux obstacles (Peterfalvi, 2001)

- « La notion épistémologique d'obstacle entretient des relations étroites avec celle, didactique, de *représentation*, mais on peut la caractériser comme plus générale et plus transversale que cette dernière. On peut interpréter **l'obstacle comme ce qui, en profondeur explique et stabilise la représentation.**
- En d'autres termes, on peut considérer les conceptions ou représentations comme les indicateurs de surface d'obstacles plus profonds qui expliquent leur résistance. **Le concept d'obstacle est donc surtout explicatif d'une résistance »**

L'OBSTACLE un « trop-plein » de connaissances, de réponses qui  
S'OPPOSE AU QUESTIONNEMENT (obstacle)  
ET qui  
PERMET DE PENSER CONFORTABLEMENT (aide)

# Les conséquences sur les apprentissages (Rumelhard, 2012, p. 92)

Mais si ce concept d'obstacle a une fonction principalement polémique et critique vis-à-vis de certaines conceptions épistémologiques, de certaines conceptions pédagogiques au niveau des méthodes d'enseignement et au niveau des méthodes de recherche pédagogiques, il donne également un statut positif à l'erreur. En 1938, dans *La formation de l'esprit scientifique*, Bachelard, en exposant et illustrant le concept d'obstacle épistémologique, a fondé positivement l'obligation d'errer. L'erreur est nécessaire non pas par le fait de ce qui est extérieur à la connaissance, mais par l'acte même de connaître. Au niveau de l'assimilation des connaissances ce concept peut fonder positivement une pédagogie de l'initiative et de l'anticipation.

**Tableau 2 : Principaux obstacles à la compréhension de l'évolution**

<b>Opposition à :</b>	<b>« fait général » d'évolution</b>	<b>mécanismes de l'évolution</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps anhistorique cyclique et catastrophisme,</li> <li>- temps historique révélé (textes religieux) ;</li> <li>- autocentration et survalorisation humaine (« l'Homme n'est pas un animal »), hiérarchie du vivant ;</li> <li>- filiation conçue comme servitude, création comme domination 2 ;</li> <li>- « espèce » conçue comme sans variabilité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en histoire qui évite argumentation et explication ;</li> <li>- positivité, nature bonne et harmonieuse (d'où rejet de l'élimination = sélection) ;</li> <li>- finalisme (rejet du hasard) ;</li> <li>- centration sur l'individu ou l'organisme (masquant populations et variabilité) ;</li> <li>- centration sur un facteur unique (vivant ou milieu).</li> </ul>
<b>Acceptation trop facile :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Métamorphose sans contrainte, sans causalité ;</li> <li>- marche vers la perfection que représente l'homme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Métamorphose comme mécanisme, qui fait accepter les transformations ;</li> <li>- élan vital, évolution préprogrammée, dessein Intelligent ;</li> <li>- organismes comme « cire molle » dans laquelle s'inscrit le milieu (mécanisme selon lequel l'évolution adaptative va de soi) ;</li> <li>- sélection naturelle comme explication universelle (survalorisation d'un mécanisme), obstacle à la compréhension des mécanismes aléatoires (dérive génétique) et contingents.</li> </ul>

(Peterfalvi, 2008, p. 119)

Quelques obstacles à l'œuvre dans un travail avec des élèves de lycée

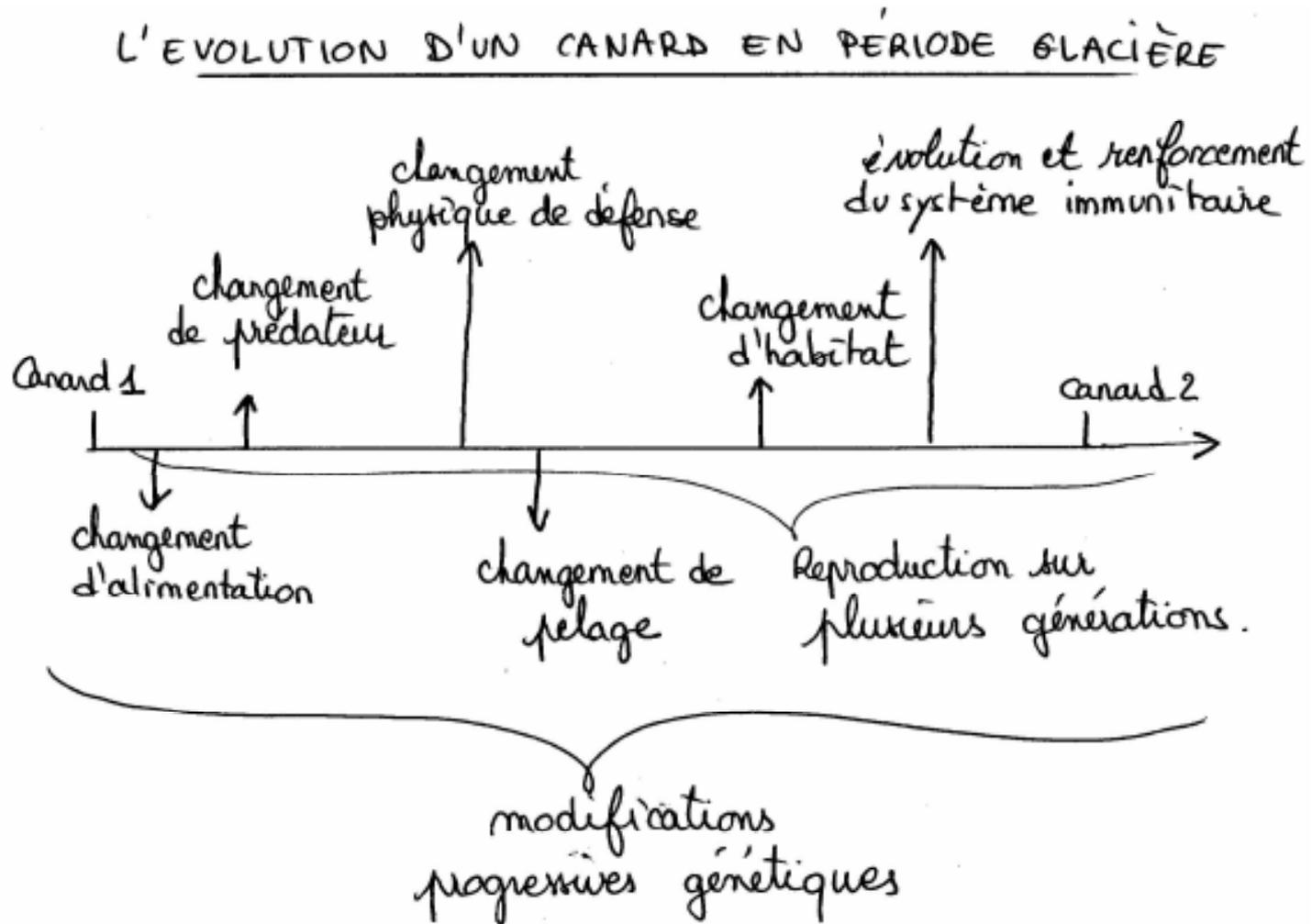
→ 1<sup>er</sup> temps : évaluation diagnostique

- › Les causes de l' évolution
- › Comment expliquer que les espèces actuelles ne sont plus celles d' hier

→ 2<sup>e</sup> temps : travail de groupe

→ 3<sup>e</sup> temps : débat scientifique

# Une production d'élève



# 1<sup>er</sup> extrait du débat

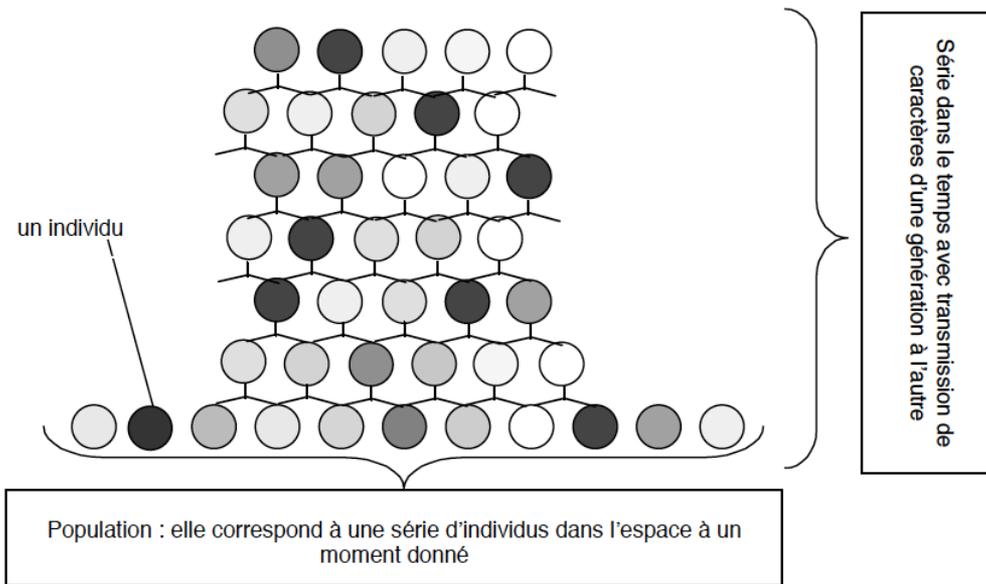
- 3 - Lara : C' est par rapport à **la reproduction** qu' il y a des **changements génétiques** / *au fur et à mesure* que **les espèces s' adaptent** // enfin //
- 5 - Lara : C' est quand **le petit canard** sort de l' oeuf / ça se passe à l' intérieur de l' œuf
- 6 - Jonathan: **Les transformations génétiques** elles se passent avec l' environnement
- 7 - Jonathan: C' est lié à la disparition de l' espèce **le canard 1** disparaît au profit **du canard 2**
- 10 - Lara: S' **ils** ont subi le même changement de l' environnement oui // mais si jamais eux **ils** n' ont pas connu la période glaciaire ils vont rester comme **un canard** /

## 2<sup>e</sup> extrait :

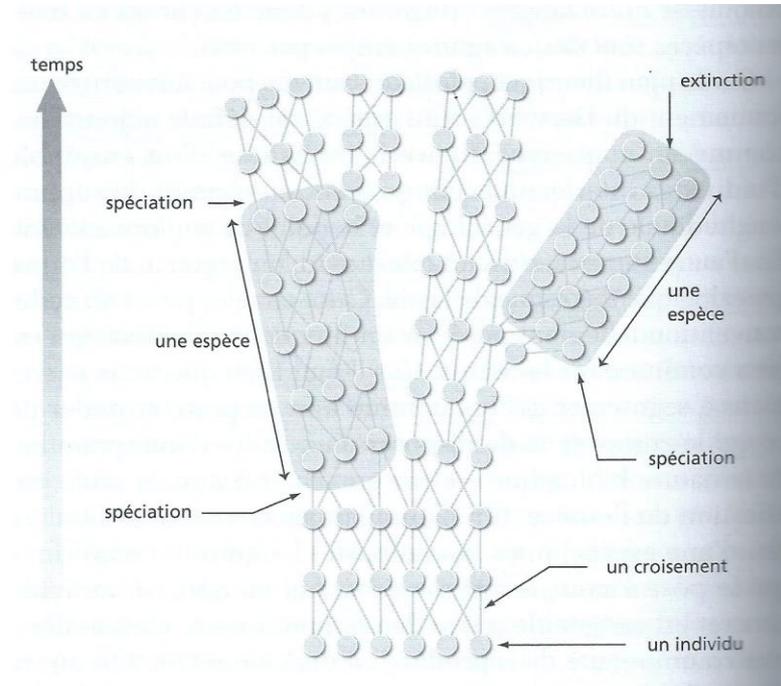
→ 10- Louise: Là *à mon avis* entre canard 1 et canard 2 il y a plein d' autres canards avant d' arriver justement au canard 2 // tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça / ça se fait petit à petit // enfin // il y a plusieurs générations avant d' arriver à un canard qui va se modifier

- 22 - Raphaël : ça ne se joue **pas** au bout de **qu'** une génération / **c' est trop rapide** // s' ils vont sous les tropiques juste le temps de faire leur petit //
- 23 - Louise : à la limite s' ils seraient nés là-bas sous les tropiques ils auraient quand même eu par rapport à leur // à leur code génétique ils se seraient aussi adaptés au soleil / **si ça fait très longtemps** qu' ils vivent sous les tropiques leur enfant aura *peut-être* des caractéristiques un peu plus évoluées //
- 24 - Nathan : Parce qu' en fait il faut qu' il y ait déjà // ça marche **sur des générations et pas seulement sur 2 ou 3** / ça marche sur des centaines voire des milliers

# Difficulté pour articuler les deux séries d'êtres vivants pour penser le concept d'espèce



Lhoste, 2008, p. 274



Lecointre, 2013, p. 314

# Quelques obstacles en jeu dans cet exemple

- Le mythe de la métamorphose « *sert de toile de fond à une mythologie évolutionniste qui fonctionne toujours-à-nouveau comme un obstacle à l'assimilation des conceptions darwiniennes* » (Rumelhard, 1995, p. 336).
- Raisonnement séquentiel, linéaire causal, mise en histoire
- Le concept d'espèce en tension entre approche typologique et un approche populationnelle

# Comprendre la théorie de l'évolution, une course d'obstacles ?

Brigitte PETERFALVI<sup>1</sup>

2008, p. 109-121

Chapitre 14

## Histoire de la théorie de l'évolution : un long fleuve tranquille ?

Jean-Jacques Kupiec

2013, p. 319-343

# Conclusion

université  
de **BORDEAUX**

- Pointer quelques obstacles à la construction des concepts de l'évolution et comprendre comment ils peuvent jouer dans des situations d'enseignement - apprentissage
  - › Espèce (MAS)
  - › Sélection naturelle (JG / JG)
  - › Hasard (Merlin, 2013, Le hasard dans la théorie de l'évolution)
  - › Adaptation (HLG)
  - › Articulation entre les types d'explication (fonctionnelle et historique) (MM)
  
- Le travail de nature didactique et épistémologique est déterminant dans l'activité de l'enseignant (et donc dans la formation... et donc dans les épreuves de recrutement)

# L'adaptation biologique : où sont les problèmes ?

*Hervé Le Guyader*

UMR 7138 Evolution Paris-Seine  
Université Pierre-et-Marie-Curie

# Quelle adaptation ?

- « Adaptation à l'environnement » :
- Notions de *progrès*, d'*optimalité* et de *finalité* ;
- *Adaptation* physiologique : effort, altitude...
- *Adaptation* enzymatique : induction enzymatique (Monod, 1953) ;
- *Adaptation* évolutive.

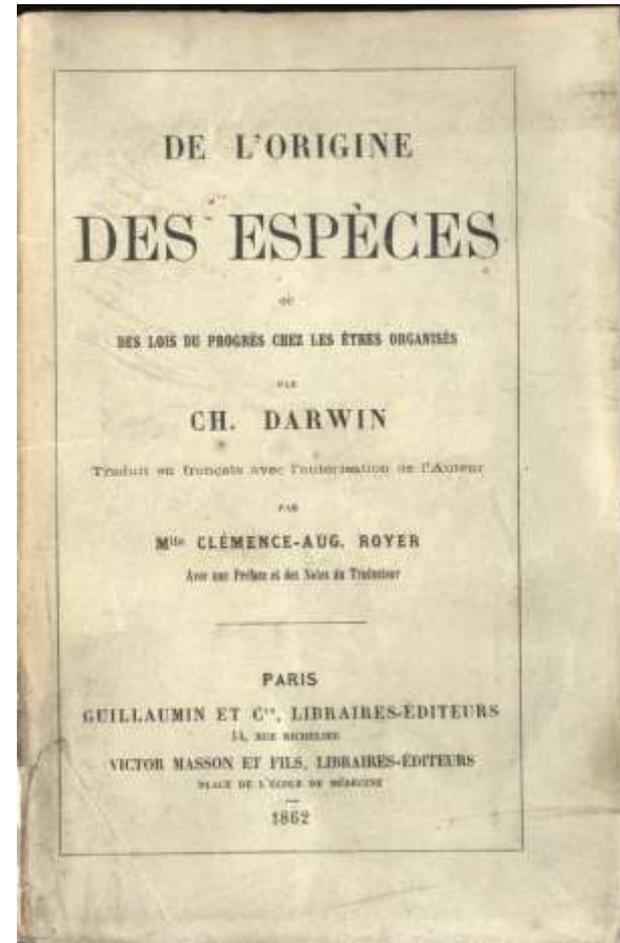
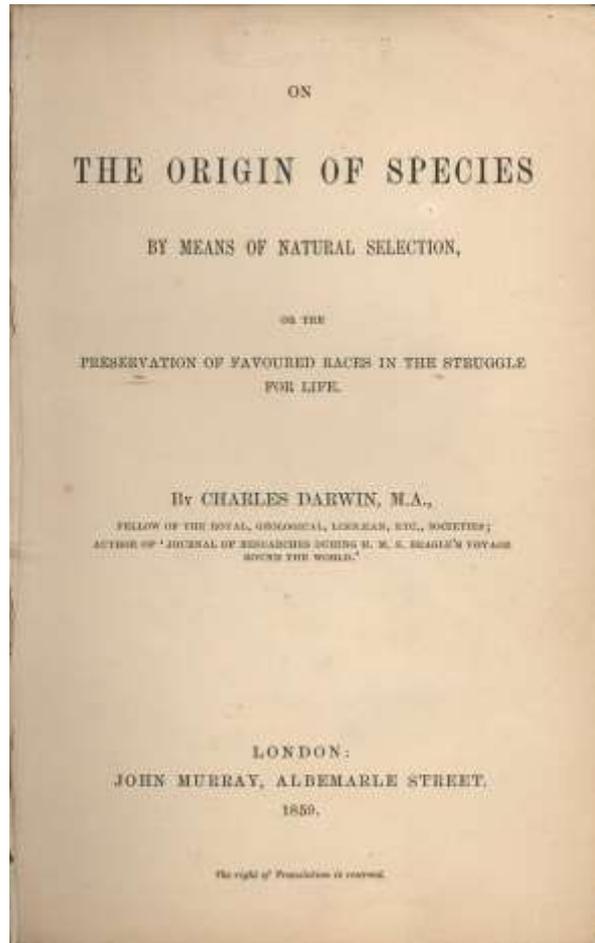
# Clémence Royer (1830-1902)

## son « interprétation » des idées darwiniennes

- Traduction de l'origine des espèces en 1862 ;
- Première femme admise à la société d'anthropologie de Paris ;
- Traductions ultérieures :  
Jean-Jacques Moulinié (1873)  
Edmond Barbier (1876)



# Une traduction libre...



Préface de Clémence Royer (1830-1902)  
première traduction (1862) de *l'Origine des espèces*

« Deux principes ou lois servent de fondement à toute la théorie de M. Darwin, c'est d'abord la concurrence (*struggle for life*) [...]. Il résulte de cette lutte universelle un choix, une sélection naturelle (*natural selection*) constante des races et des individus les mieux adaptés aux circonstances de temps et de lieu ; de sorte que les êtres les plus parfaits, relativement à ces circonstances, l'emportent sur les êtres les moins parfaits qu'ils tendent à supplanter et à détruire, si ces derniers ne trouvent pas le moyen d'émigrer. »

## Préface de Clémence Royer (suite)

« Il en résulte fatalement un choix rigoureux ou une sélection naturelle des individus les plus forts, les plus beaux, les plus agiles, en un mot, les plus parfaits, c'est-à-dire les mieux adaptés au milieu dans lequel ils vivent, où les plus aptes à se transformer quant à leur structure, leur constitution ou leurs habitudes, pour arriver à cette exacte adaptation ou pour augmenter leur quantité de vie possible en s'accoutumant peu à peu à l'usage des subsistances nouvelles sous des climats un peu différents. »

# (Ad)aptation en évolution

- *Adaptare* : ajuster à (*ad aptus*) ;
- Apte (*aptus*) : 1<sup>er</sup> sens : qui est naturellement ou juridiquement capable de quelque chose ; 2<sup>ème</sup> sens (XIX<sup>e</sup>) : qui a des dispositions pour, qui peut faire quelque chose.
- « survivance du plus apte » (*survival of the fittest*) : expression de Herbert Spencer (1820-1903) en 1864 ;
- Utilisée par Darwin en 1868 (*La variation des animaux et des plantes à l'état domestique*), puis en 1869 dans la 5<sup>ème</sup> édition de *L'origine des espèces*.

# Adaptation en évolution

- « L'adaptation est l'ensemble des modifications des organes, aussi bien dans leur forme que dans leur fonction, par lesquelles les êtres vivants se mettent en harmonie avec les conditions d'existence. »

Jeannel R. (1950), *La marche de l'évolution*, PUF

- Tout organisme est adapté à son environnement...
- Mais il y en a de plus adaptés que d'autres.
- Comparatif : dans l'espace, puis dans le temps ;
- Résultat ou processus ?
- Changement de milieu, ou dynamique de la niche écologique.

# Réflexion sur la loi de Hardy-Weinberg

- Panmixie (pas de *Sélection* du partenaire) ;
- Effectif infini (pas de *Dérive*) ;
- Pas de *Migration* ;
- pas de *Mutation* ;
- pas de *Sélection*.

# Sélection - Adaptation

- **Fitness** : valeur *adaptative* ou valeur *sélective* ?
- une mutation peut améliorer la fitness sans être adaptative !
- Exemple : augmentation du nombre de gamètes ; résultats de la sélection sexuelle ;
- Pas d'isomorphisme entre sélection et adaptation !

## Paradisier de Goldie (*Paradisaea decora*)

« grand cerf des tourbières » (*Megaloceros giganteus*), reconstitution



Colibri huppé (*Orthorhyncus cristatus*)  
Condor des Andes (*Vultur gryphus*)



Sterne arctique (*Sterna paradisaea*)  
Harfang des neiges (*Bubo scandiacus*)



# Le problème de la finalité

- Raisonnement de l'ingénieur ;
- Edmond Goblot : « *Nier la finalité organique, c'est le plus audacieux des paradoxes. Il faudrait une étrange obstination à fermer les yeux à l'évidence pour nier la finalité dans les phénomènes de la vie. Ce que la vie ajoute à la matière, c'est la finalité, qui ne se substitue jamais, mais se superpose à la causalité.* »
- Emile Baudin : « *Scientifiquement, finalité signifie organisation et adaptation, et ne signifie pas autre chose.* »

*in* : Lucien Cuénot, *Invention et finalité en biologie*, Flammarion, 1941.

- Finalité n'est pas finalisme !

# L'analyse de Lucien Cuénot (1866-1951)

- Exemples classiques : pollinisation de la sauge, mimétisme (phasmes, phyllies), plantes carnivores ; parasites ; convergences (pattes ravisseuses...)
- Contre exemples (hypertélie, organes vestigiels) ;
- Préadaptation : « *des caractères indifférents ou semi-utiles qui se montrent chez une espèce et qui sont susceptibles de devenir des adaptations évidentes si cette dernière adopte un nouvel habitat ou acquiert de nouvelles mœurs, changement rendu précisément possible par l'existence de ces préadaptations.* »
- Ne regarde plus l'organisme, mais un caractère.

# Théorie Synthétique de l'Evolution

Th Dobzhansky (1900-1975), JBS Haldane (1892-1964),  
J. Huxley (1887-1975), E Mayr (1904-2005),  
GG Simpson (1902-1984), G Stebbins (1906-2000)

- Hérité exclusivement transmises par les *gènes* ;
- Populations naturelles : source de *variabilité génétique* ;
- *Modification graduelle des populations* ;
- Changements dans les populations résultat de l'action de la *sélection naturelle* ;
- Différences observées entre les organismes, dans leur grande majorité, des *adaptations*.
  
- Source du « programme adaptationniste ».

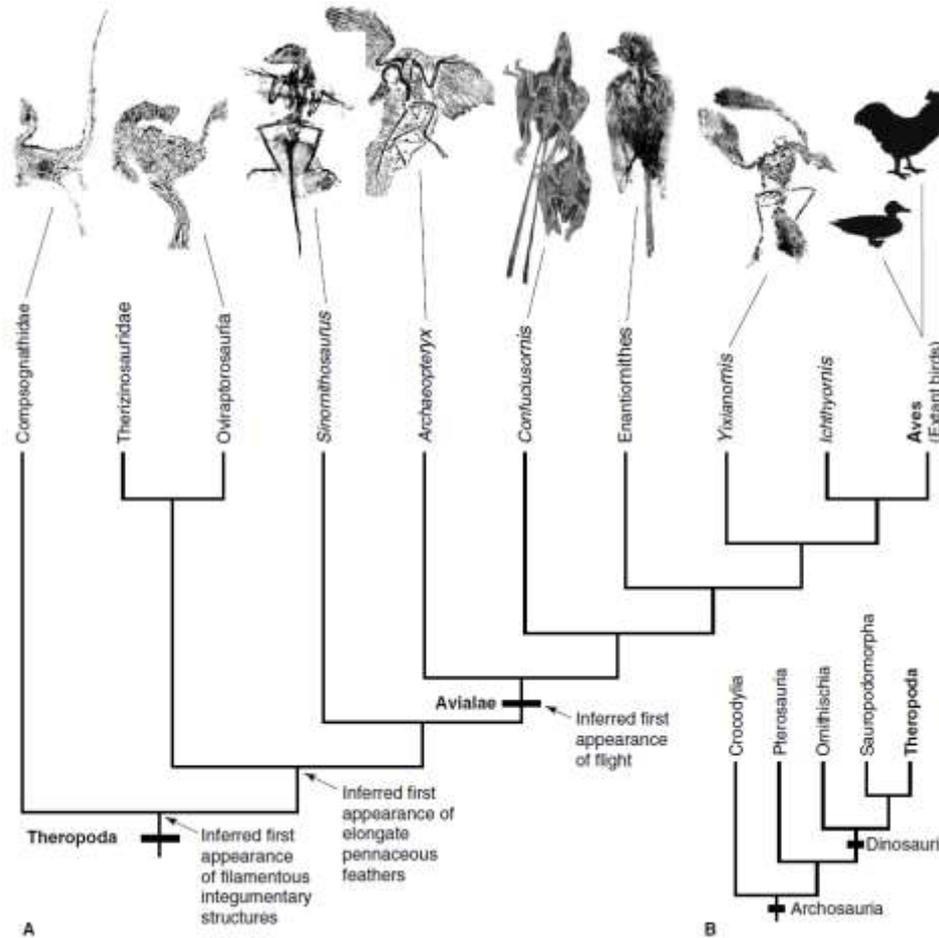
# Adaptation = Nouveauté évolutive

- caractère adaptatif : puissant rôle de l'environnement ; sélectionné ;
- innovation qui participe à un changement de milieu ou de niche écologique ;
- en cladistique : une apomorphie !
- souvent, une synapomorphie : poumon, plume...
- Ancienne interprétation gradiste ! (Grade, suivant J. Huxley : « une étape du progrès anagénétique ou une unité d'amélioration biologique ».)

# Exemple de la plume :

## la question de *différentes* sélections

Clarke & Middleton, *Cur. Biol.*, 2006



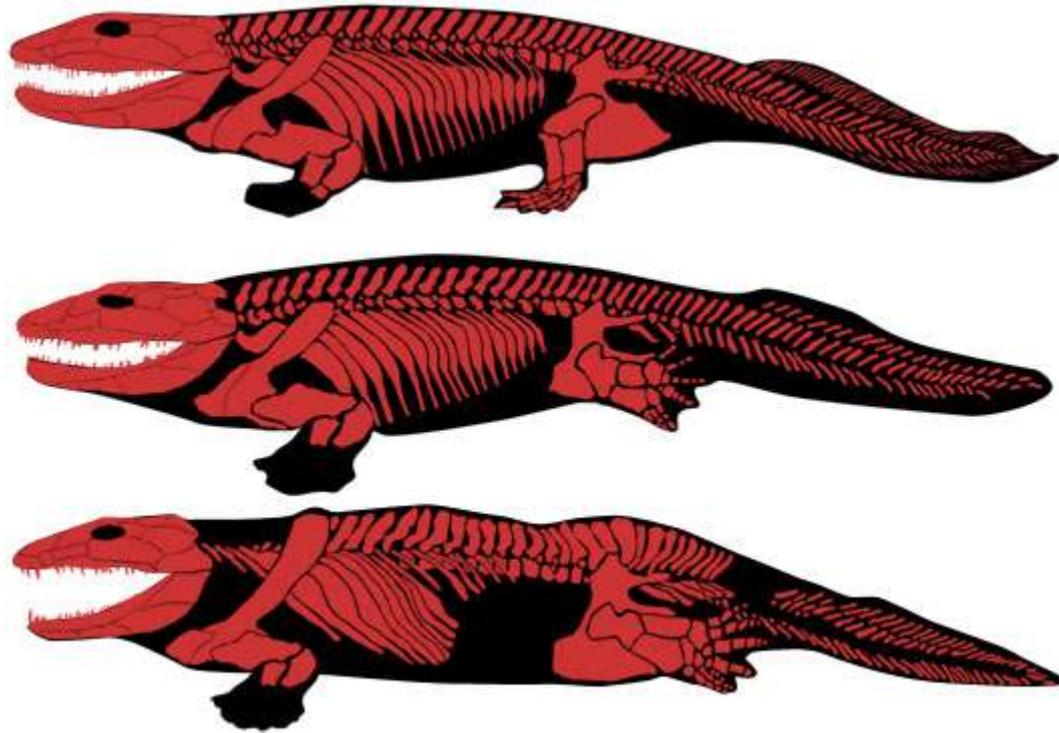
# L'exaptation

Gould & Vrba, *Paleobiology*, 1982, , 4-15

- Un caractère, antérieurement façonné par la sélection naturelle pour une fonction particulière (une adaptation), est coopté pour un nouvel usage ;
- Un caractère, dont l'origine ne peut être imputée à l'action directe de la sélection naturelle, est coopté pour un usage actuel ;

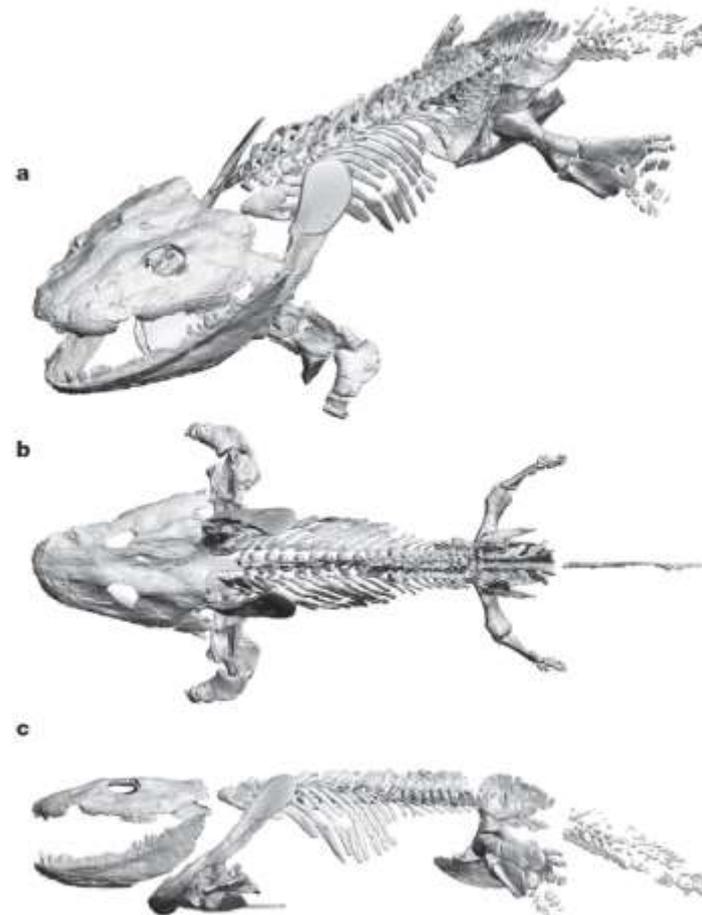
# *Ichthyostega*

Jarvik (1955), Clack (2002), Ahlberg *et al.* 2005)



# Reconstitution 3D d'*Ichthyostega*

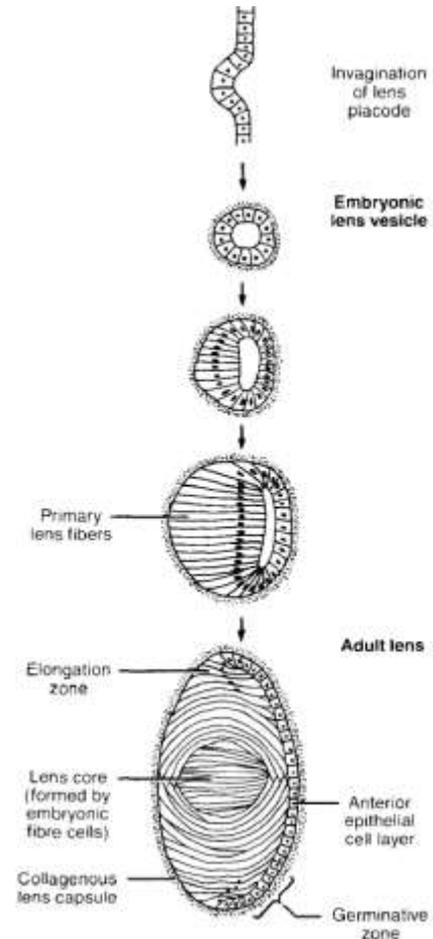
Pierce *et al.*, *Nature*, 2012



# Les cristallines

de Jong *et al.*, *TIBS*, 1989

- Transparence ;
- Intégrité ;
- Recrutement de HSP et enzymes stress inductibles.



# La « *stress connection* »

## de Jong *et al.*, *TIBS*, 1989

Table I. Occurrence and identification of eye lens crystallins

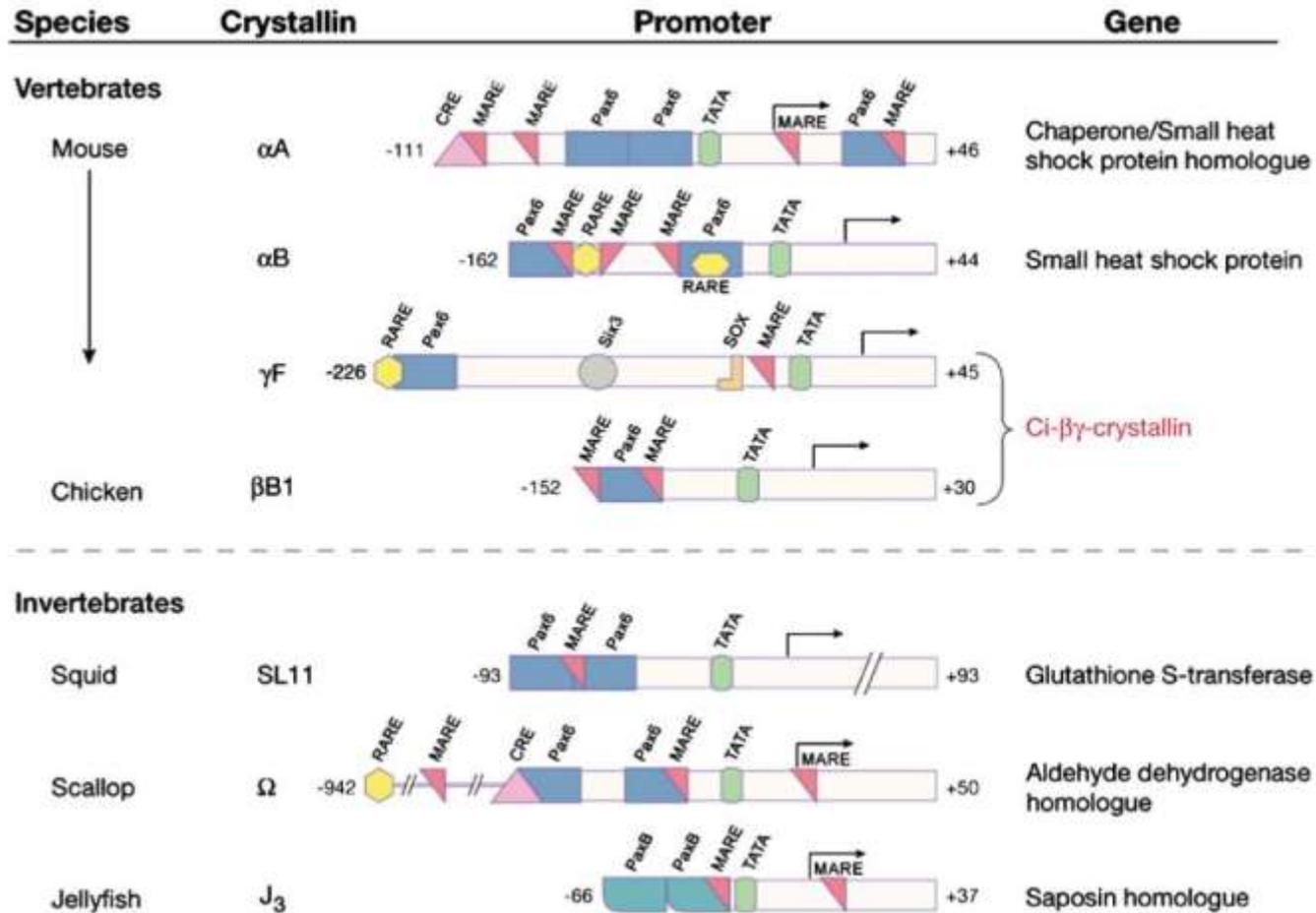
Crystallin	Occurrence	Level <sup>a</sup>	Relationship <sup>b</sup>	Refs
$\alpha$	all vertebrates	up to 50%	small heat-shock proteins, antigens of <i>Schistosoma</i> and <i>Mycobacterium</i>	6, 7, 12
$\beta$	all vertebrates	up to 70%	protein S of <i>Myxococcus xanthus</i>	26, 27
$\gamma$	all vertebrates (low in birds)	up to 40%		
$\delta$	birds and reptiles	up to 70%	$\delta_2$ = argininosuccinate lyase	17
$\epsilon$	many birds and crocodiles	up to 23%	= lactate dehydrogenase B4	15, 16
$\zeta$	guinea pig	10%	alcohol dehydrogenase	24, 25
$\lambda$	rabbits and hares	8%	hydroxyacyl-CoA dehydrogenase	23
$\rho$	frogs (genus <i>Rana</i> )	12%	aldose and aldehyde reductase, prostaglandin F-synthase	19–21
$\tau$	lampreys, some fishes, birds and reptiles	up to 10%	= $\alpha$ -enolase	18
S <sub>III</sub>	squid	up to 70%	glutathione S-transferase	4, 30

<sup>a</sup> Percentage of total lens protein.

<sup>b</sup> = indicates proteins arising from the same gene.

# Promoteurs des cristallines

Piatigorsky, *Heredity*, 2006



# le bricolage de l'évolution de François Jacob

« Tous les êtres vivants apparaissent donc constitués des mêmes modules qui sont distribués de manières différentes. Le monde vivant est fait de combinaisons d'éléments en nombres finis et ressemble aux produits d'un gigantesque Meccano résultant d'un bricolage incessant de l'évolution. »

*Discours de réception à l'Acad. française, 1997*

## Claude Lévi-Strauss (1908-2009)

« Le bricoleur est apte à exécuter un grand nombre de tâches diversifiées ; mais, à la différence de l'ingénieur, il ne subordonne pas chacune d'elles à l'obtention de matières premières et d'outils, conçus et procurés à la mesure de son projet : son univers instrumental est clos, et la règle de son enjeu est de toujours s'arranger avec les "moyens du bord", c'est-à-dire un ensemble à chaque instant fini d'outils et de matériaux, hétéroclites au surplus, parce que la composition de l'ensemble n'est pas en rapport avec le projet du moment, ni d'ailleurs avec aucun projet particulier, mais est le résultat contingent de toutes les occasions qui se sont présentées de renouveler ou d'enrichir le stock, ou de l'entretenir avec les résidus de constructions et de destructions antérieures. [...] L'ensemble des moyens du bricoleur n'est donc pas définissable par un projet. »

*La pensée sauvage*, 1962.

# Quid du « programme adaptationniste » ?

Gould & Lewontin, *Proc. R. Soc. Lond.*, 1979, 205, 58-598

- Foi dans le pouvoir de la sélection naturelle comme moyen d'optimisation ;
- Proposition d'une histoire adaptative pour chaque trait considéré séparément ;
- Compromis (*trade-offs*) entre différents processus sélectifs, seul frein à la perfection ;
- Une non-optimalité est donc un résultat de l'adaptation...
- Critique d'un tel programme, et commentaires de Mayr (*Am. Nat.*, 1983, 121, 124-134) sur test d'hypothèses, et contraintes génétiques.

Le bec du pluvier à bec dévié (*Anarhynchus frontalis*),  
endémique de la Nouvelle Zélande



## Deux exemples en guise d'illustration

- Zébrures du zèbre ; Charles Darwin (1809-1882) et Alfred Wallace (1823-1913), controverse ;
- Nombre de vertèbres cervicales des mammifères : « loi » de Louis Daubenton (1716-1799).

# Les zèbres

- Equidés exclusivement africains ;
- Pourquoi des zébrures ? Hypothèses :
  - Camouflage dans un sous-bois ;
  - Perturbation d'une attaque d'un prédateur ;
  - Aide à la thermorégulation ;
  - Fonction sociale ;
  - Esquiver les attaques parasitaires.
- Expérimentations récentes sur cette dernière hypothèse.

Zèbre de plaine, ou zèbre de Burchell  
*Equus quagga (E. burchellii)*



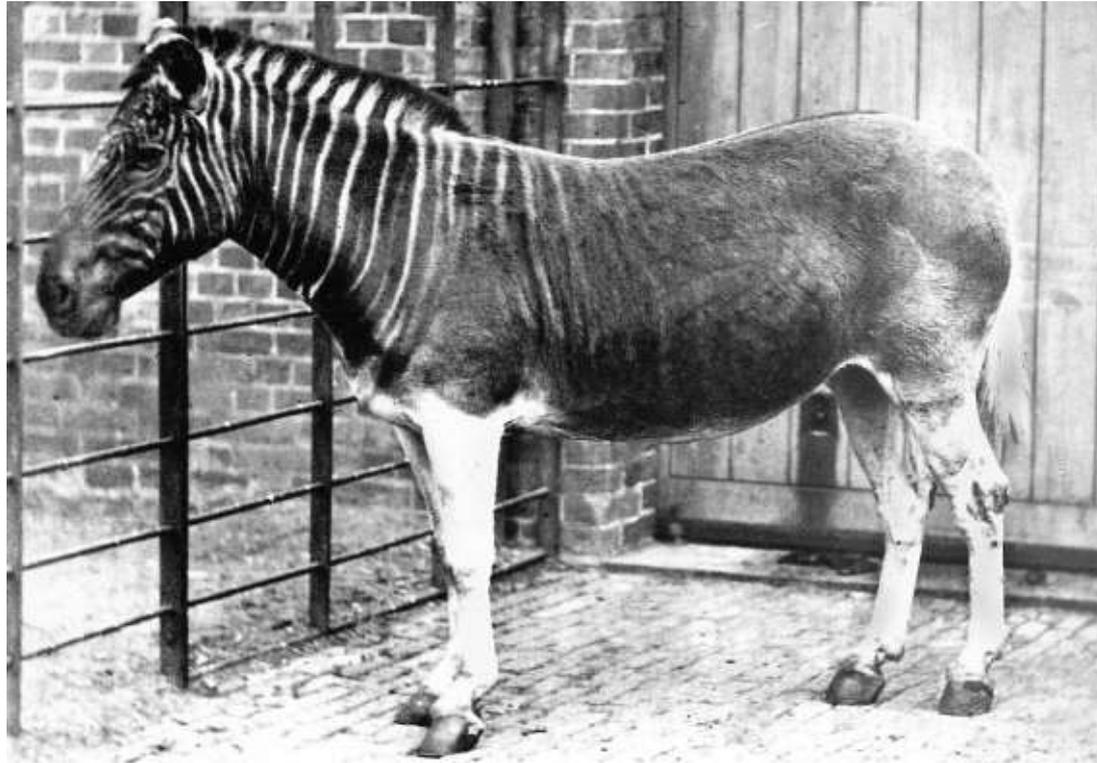
Zèbre de montagne (*Equus zebra*)  
*E. z. zebra* et *E. z. hartmannae*



# Zèbre de Grévy (*Equus grevyi*)

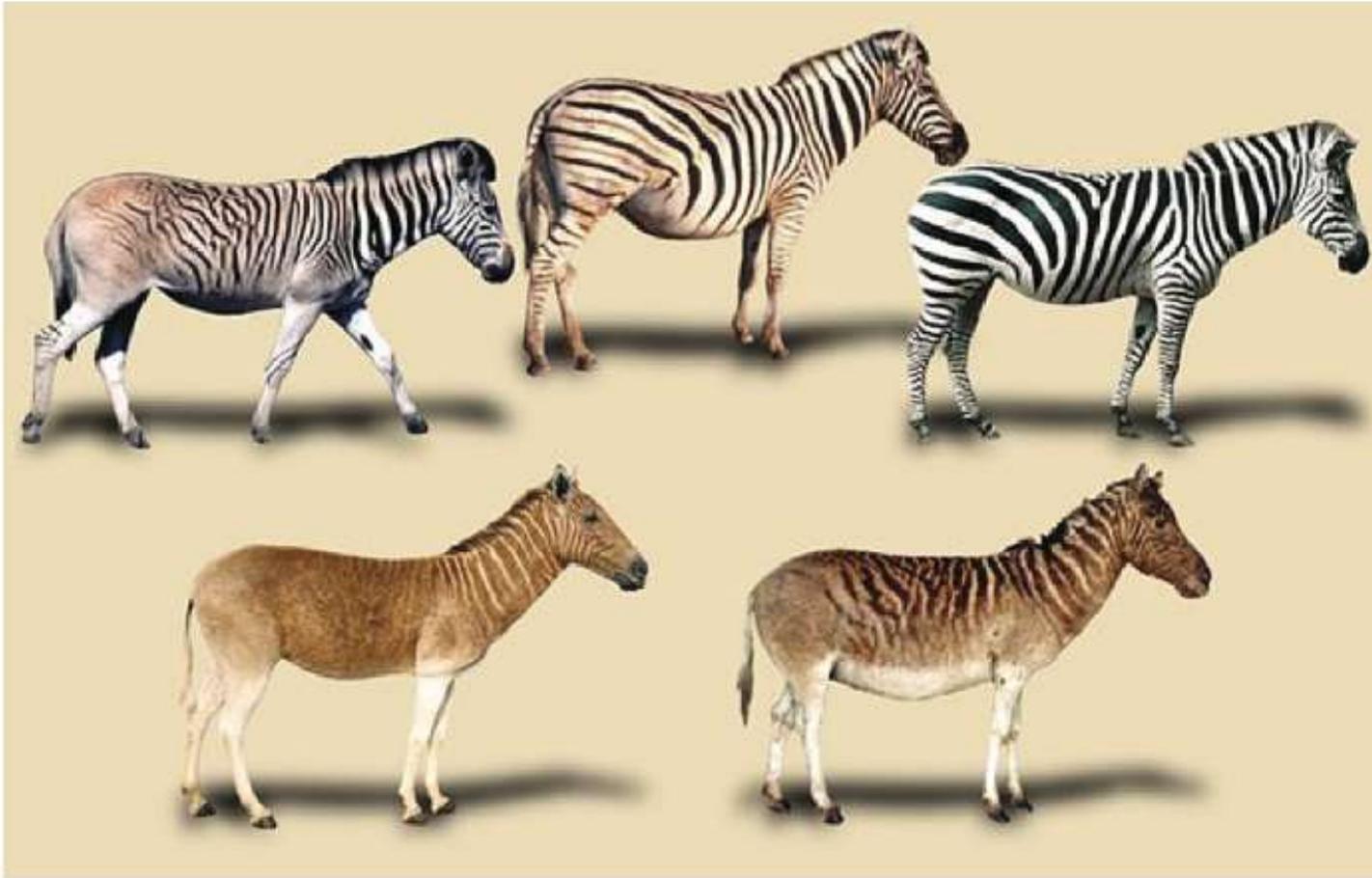


# Quagga (*E. quagga quagga*)



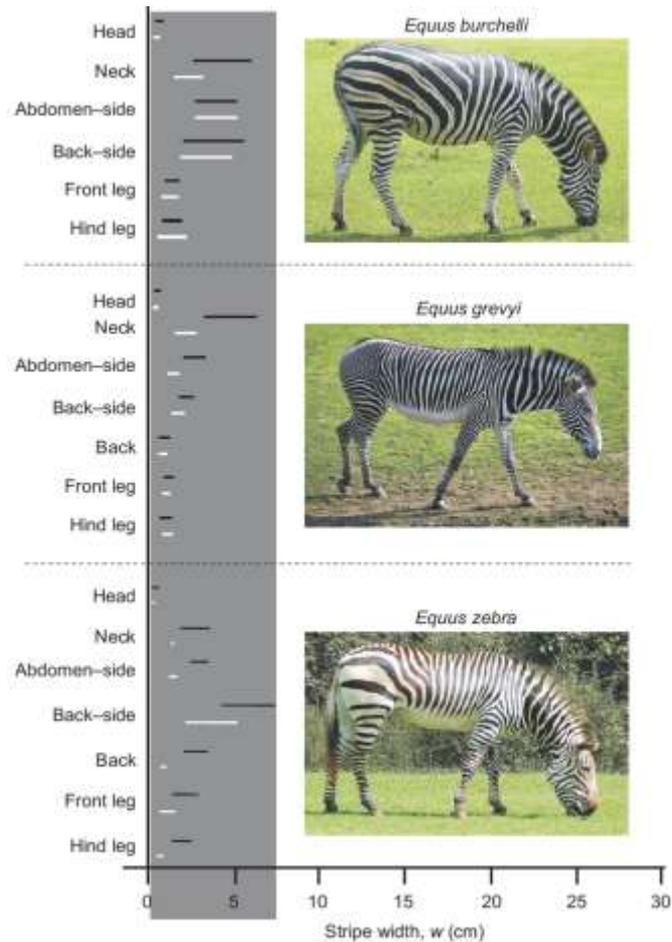
# Zèbres de plaine, *E. quagga* (*E. burchelli*)

Leonard *et al.*, *Biol. Lett.*, 2005



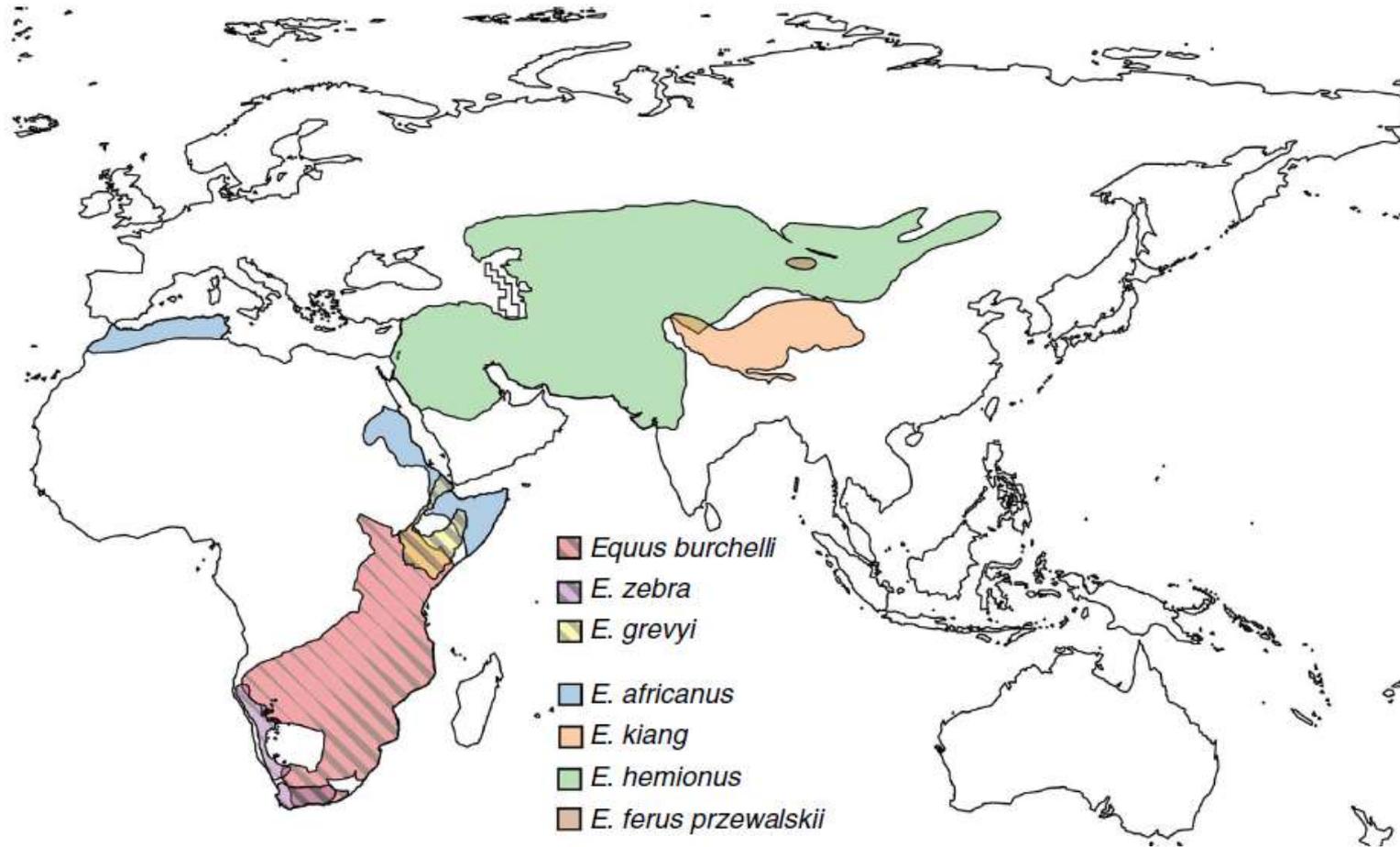
# Largeurs des zébrures des 3 espèces de zèbres

Egri *et al.*, *J. Exp. Biol.*, 2012



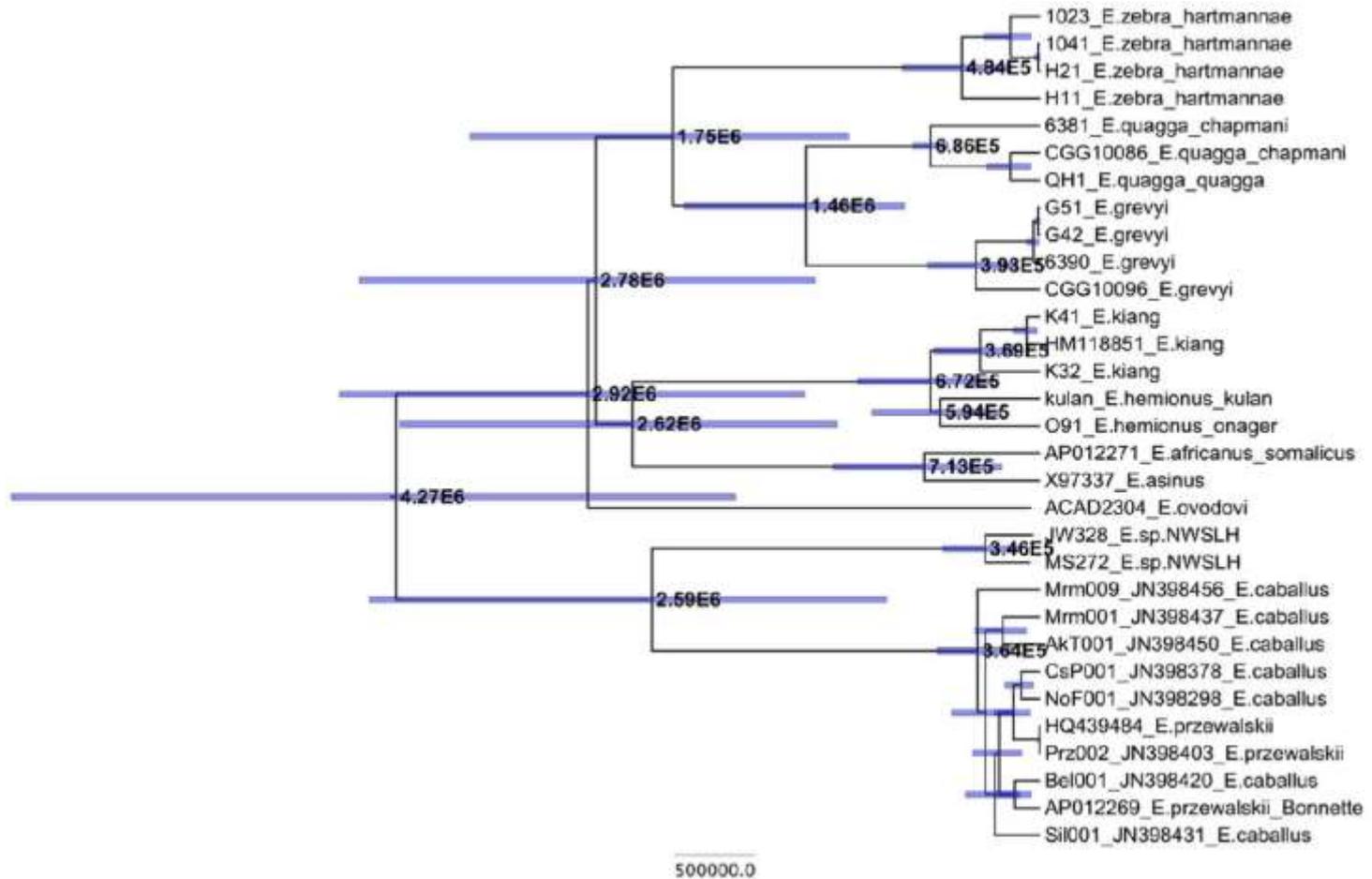
# Biogéographie des zèbres

Caro *et al.*, *Nature*, 2013



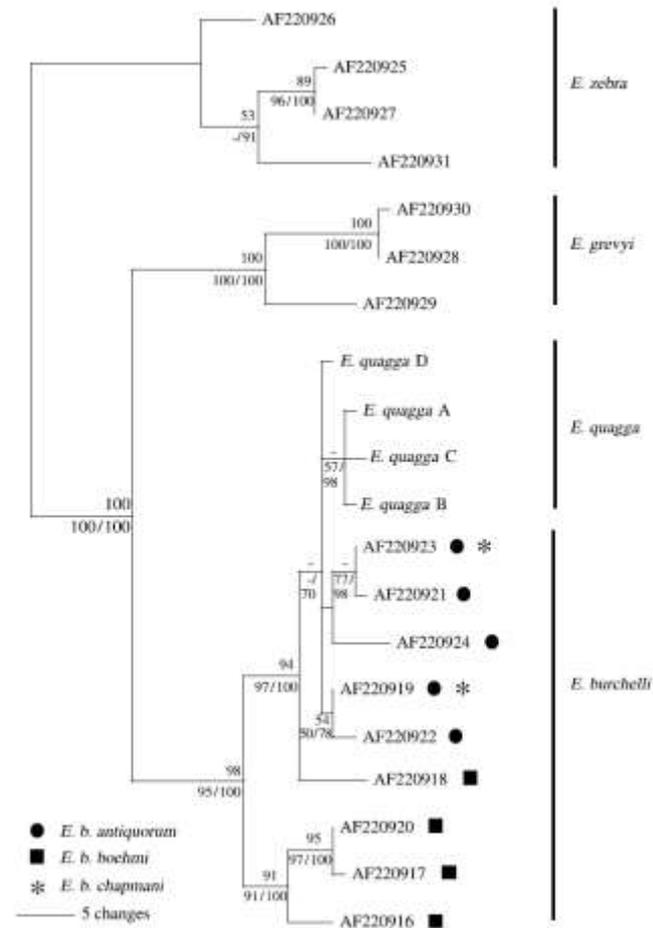
# Phylogénie des équidés

Vilstrup *et al.*, *PLoS ONE*, 2013



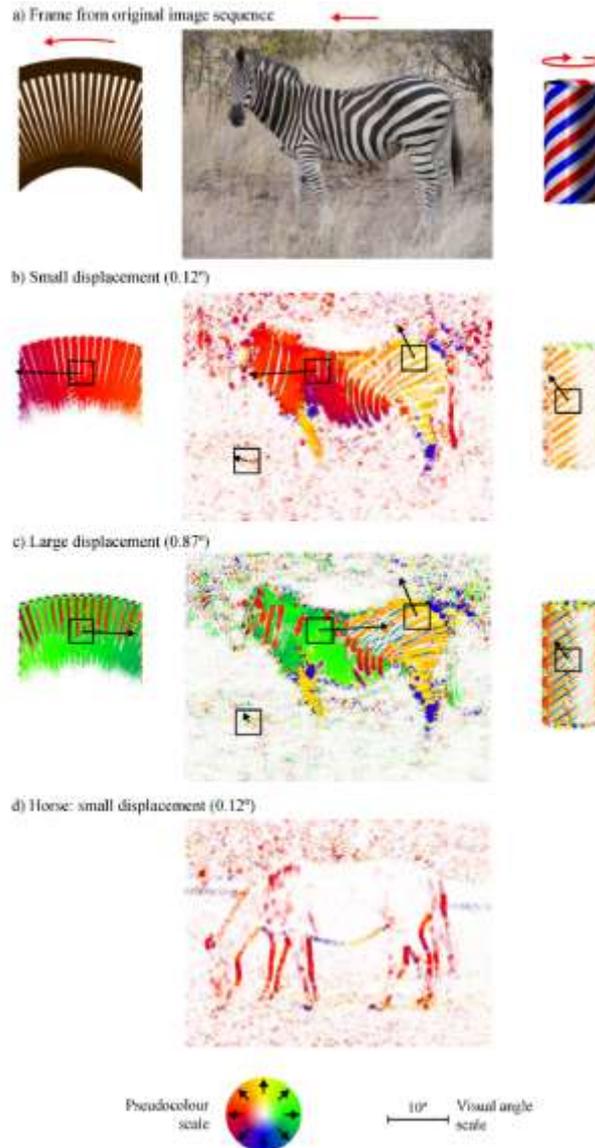
# Phylogénie des zèbres

Leonard *et al.*, *Biol. Lett.*, 2005



# Camouflage de mouvement induit par les zébrures

How & Zanker, *Zoology*, 2013



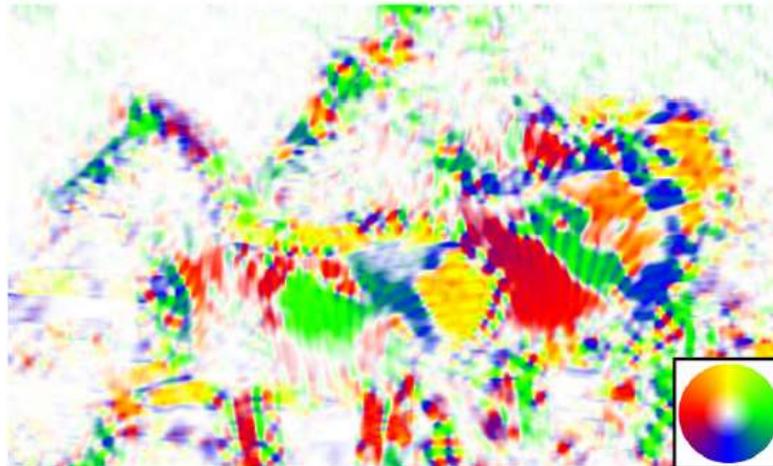
# Distribution du vecteur de mouvement pour une troupe

How & Zanker, *Zoology*, 2013

a) Original frame

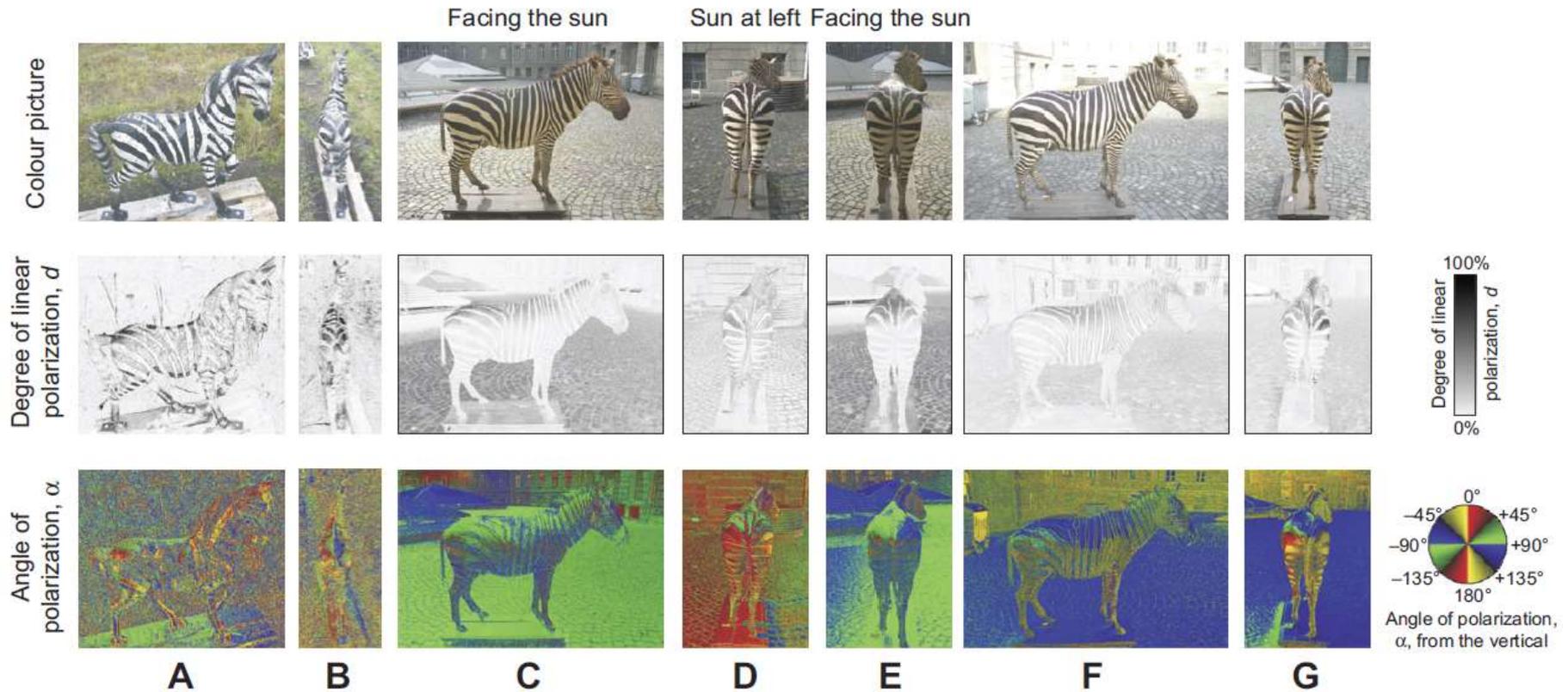


b) Motion map



# Modulation de la brillance et de la polarisation par les zébrures

Egri *et al.*, *J. Exp. Biol.*, 2012



# Expérimentation sur surfaces zébrées

Egri *et al.*, *J. Exp. Biol.*, 2012



■ 1st experiment



● 2nd experiment



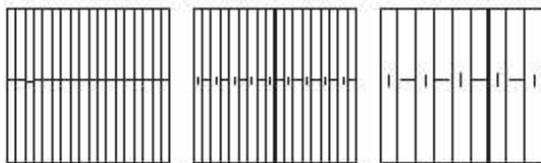
▲ 3rd experiment



--- 4th experiment



◆ 5th experiment

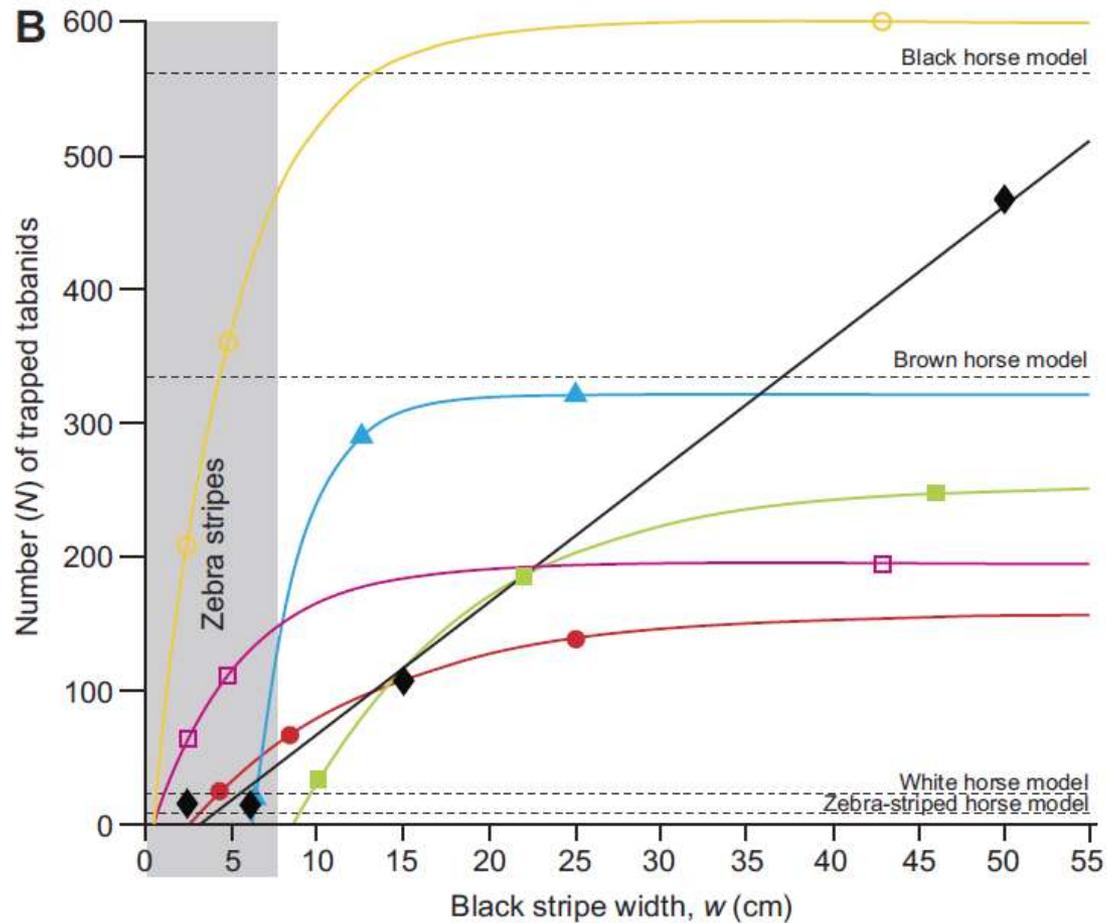


○ 6th experiment: horizontal test surfaces

□ 6th experiment: vertical test surfaces

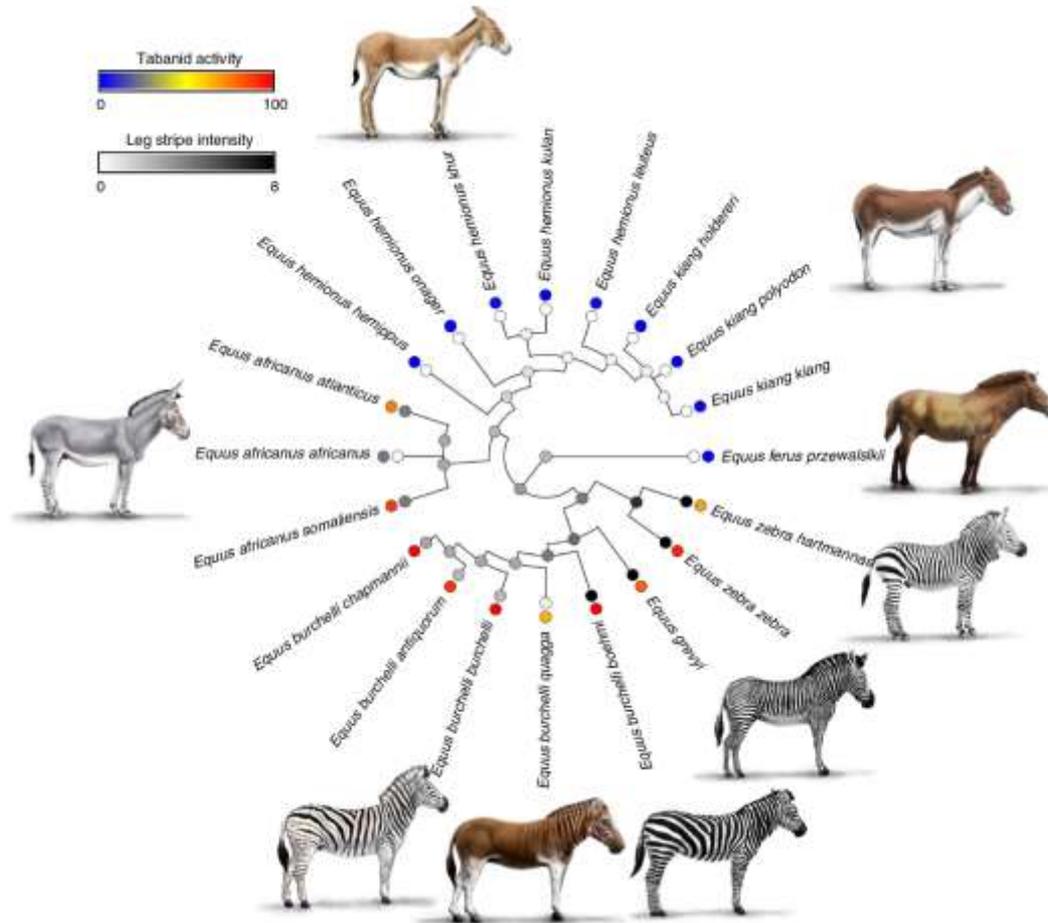
# Expérimentation sur surfaces zébrées (résultats)

Egri *et al.*, *J. Exp. Biol.*, 2012



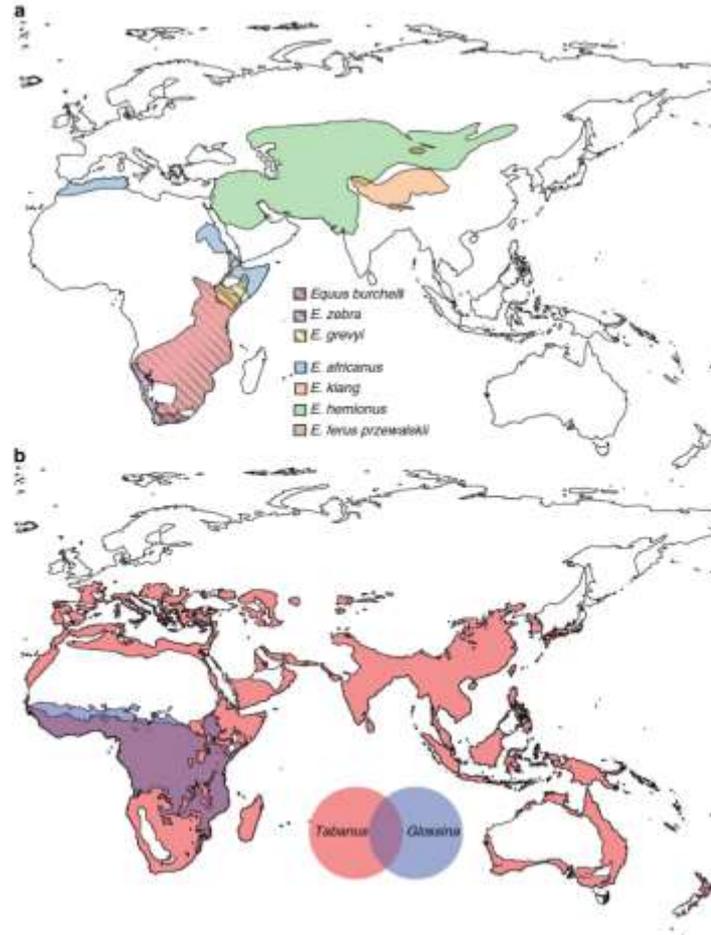
# Zébrures et activité des mouches tabanides (taons)

Caro *et al.*, *Nature*, 2013



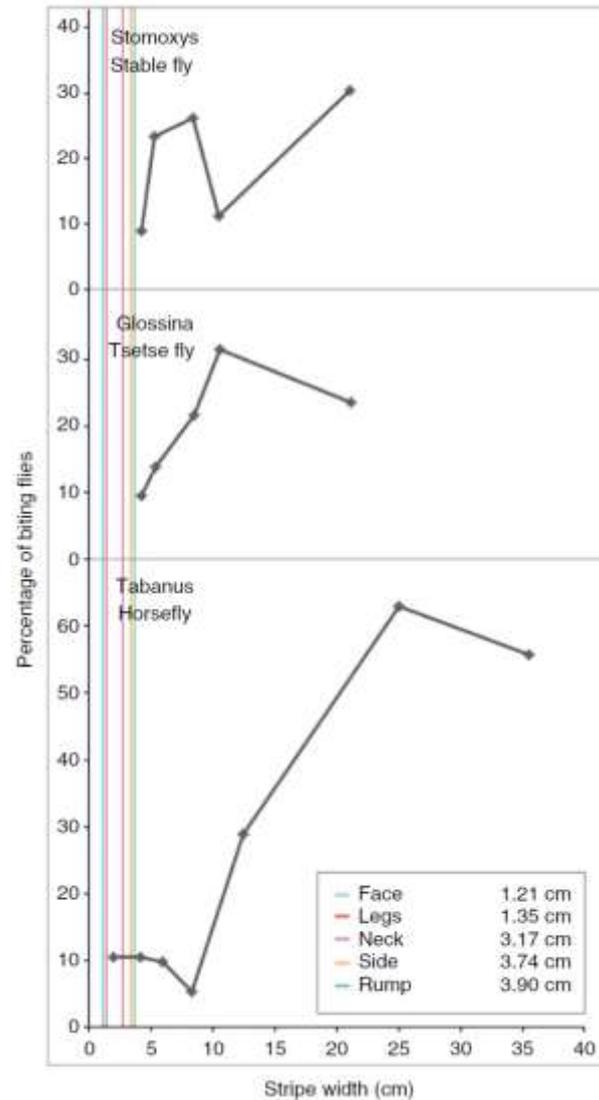
# Distribution des équidés, des taons et des glossines

Caro *et al.*, *Nature*, 2013



# Largeurs des zébrures et activité des stomoxes, glossines et taons

Caro *et al.*, *Nature*, 2013



# Le zèbre ? Un équidé furtif...

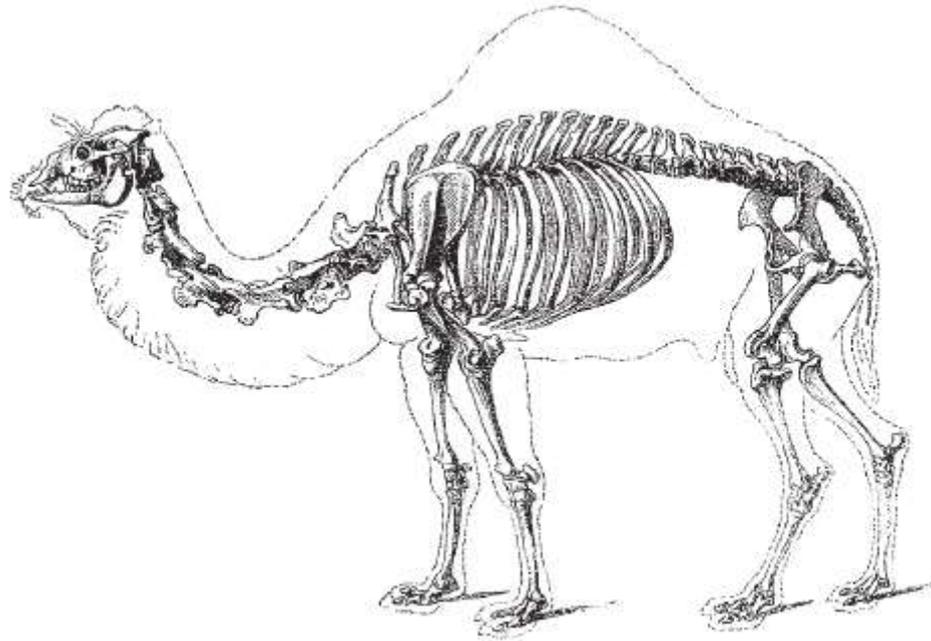
*J. Exp. Biol.*, 2012



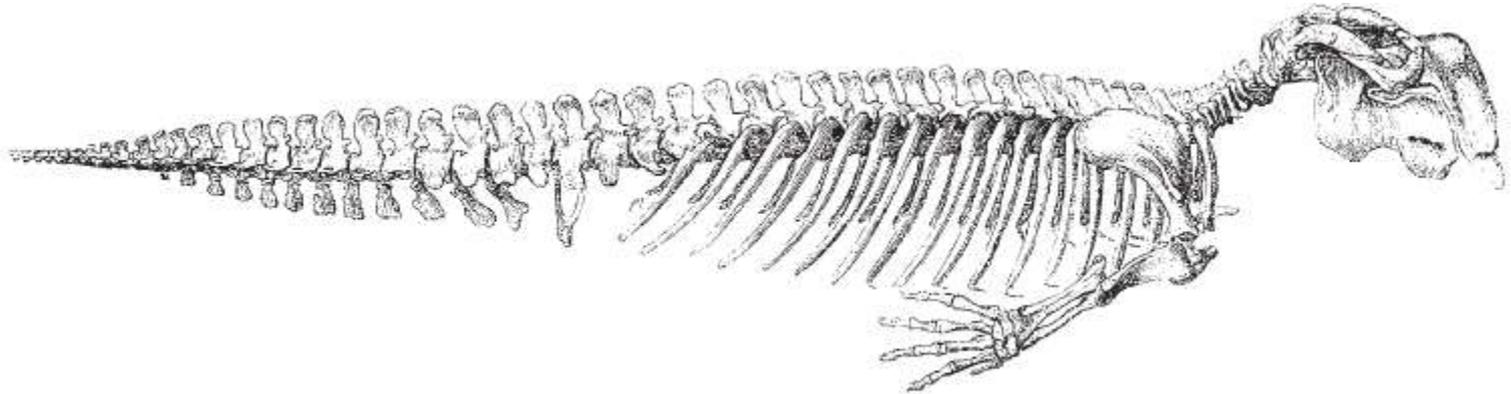
# Pourquoi 7 vertèbres cervicales chez les mammifères ?

- Proposition de loi par Daubenton ;
- Vrai,.... Sauf 6 chez les lamantins (*Trichechus sp.*, siréniens) et 9 chez les paresseux à 3 doigts (*Bradypus sp.*, xénarthres) ;
- Nombre variable chez les autres tétrapodes (oiseaux et autres archosaures, par exemple).

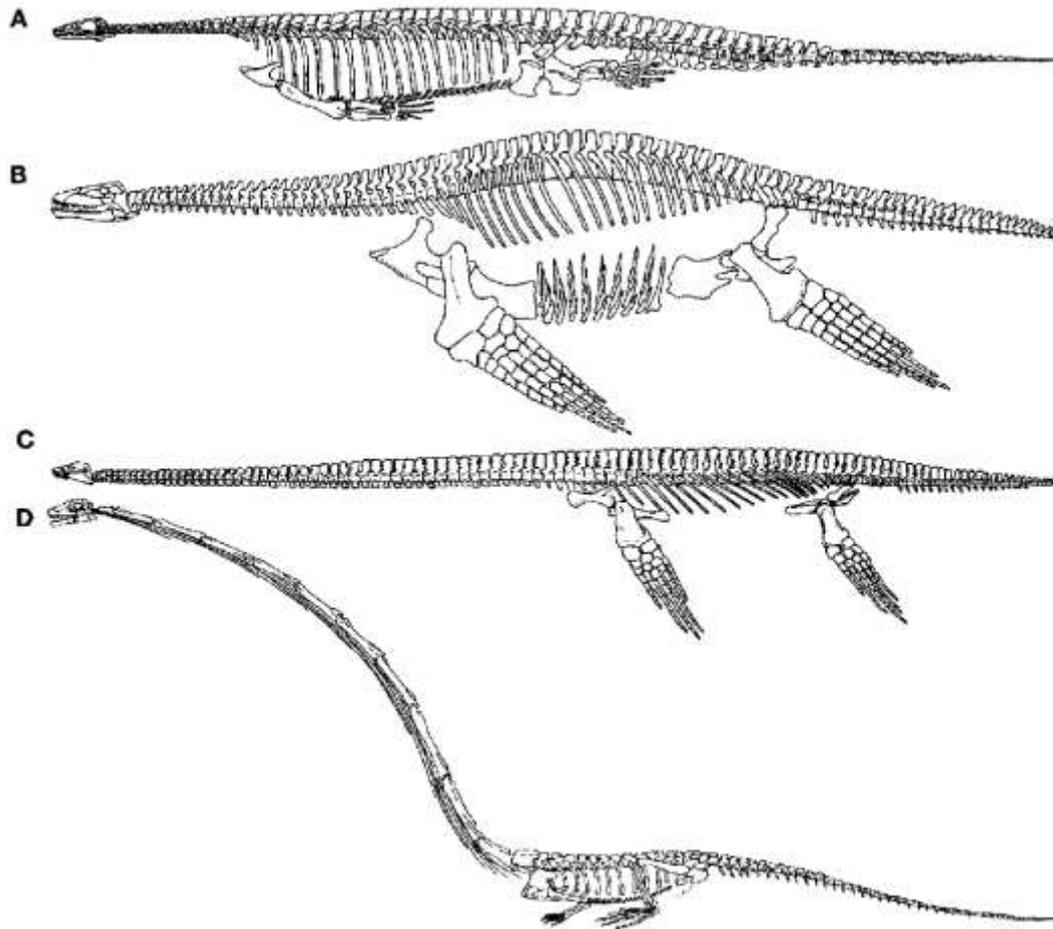
Dromadaire (*Camelus dromedarius*, artiodactyle)



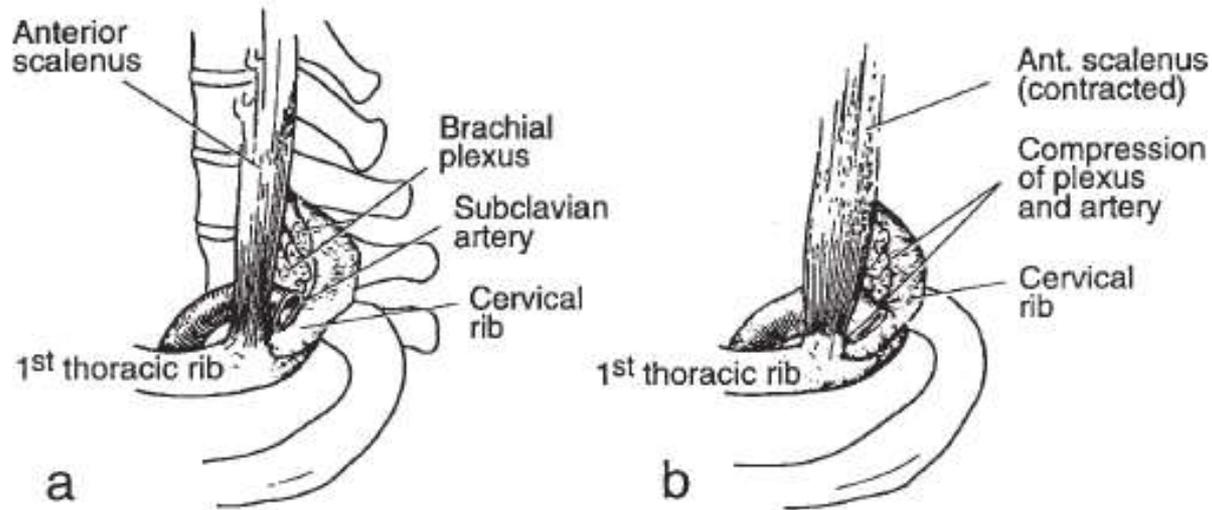
# Dugong (*Dugong dugon*, sirénien)



A – *Pachypleurosaurus*, nothosaure ; B – *Cryptoclidus*, plésiosauroïde ;  
C – *Hydrothecrosaurus*, élasmosauride ; D – *Tanystropheus*, prolacertifforme.



# Syndrôme de la compression thoracique



Cancer de l'enfance précoce et vertèbre surnuméraire  
rôle de *Hoxa-4*, *Hoxd-4*, *Hoxa-5* et *Hoxa-6*  
pléiotropie et pression de sélection

TABLE 1. The incidence of a cervical rib in children with embryonal cancers<sup>1</sup>

Type of childhood cancer	Number of cases	Incidence of a cervical rib
Neuroblastoma	88	33%
Brain tumour	234	27.4%
Leukemia	227	26.8%
Soft tissue sarcoma	98	24.5%
Wilms tumour	68	23.5%
Ewing sarcoma	35	17.1%

<sup>1</sup>Data from Schumacher et al. ('92).

# Conclusion

- Terme « adaptation » difficile à manipuler ;
- Caractère sélectionné par l'environnement, apomorphie, voire synapomorphie ;
- Exaptation et bricolage ;
- Certitude de la pression de sélection...

Une dernière exaptation...



# Pluralité des explications (historiques, fonctionnelles) des phénomènes évolutifs

*Colloque national de l'AFPSVT*

Michel Morange, Centre Cavallès, République des savoirs, USR 3608, ENS

1<sup>er</sup> Juillet 2014

# Introduction

- Le développement de la biologie moléculaire
  - Le séquençage des génomes
  - La connaissance des acteurs moléculaires
  - L'élaboration de mécanismes
- La rencontre avec la biologie évolutive n'est pas limitée au domaine Evo-Dévo
- Qu'est-ce que cela change à la vision de l'évolution?

- La fin d'une vision abstraite
- La nature des variations évolutives
- Cela retire des arguments aux adversaires de la théorie de l'évolution
- Est-ce nouveau? Le cas de l'anémie falciforme

- Trois exemples
- Qu'est-ce que cela apporte?
- Quels problèmes cela pose?
- Conclusions

# I. Trois Exemples

# A. Les expériences *in vitro* de Richard Lenski

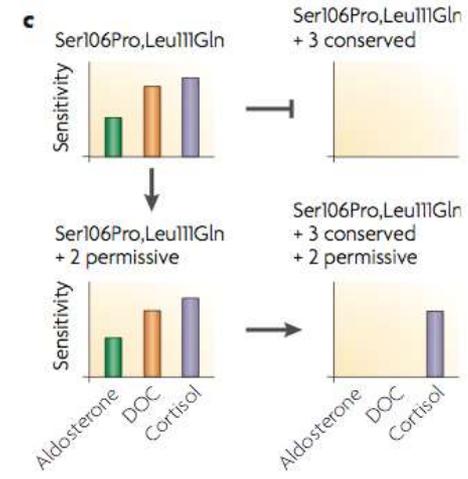
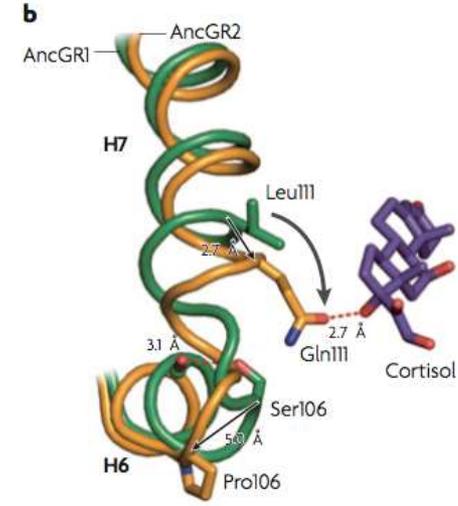
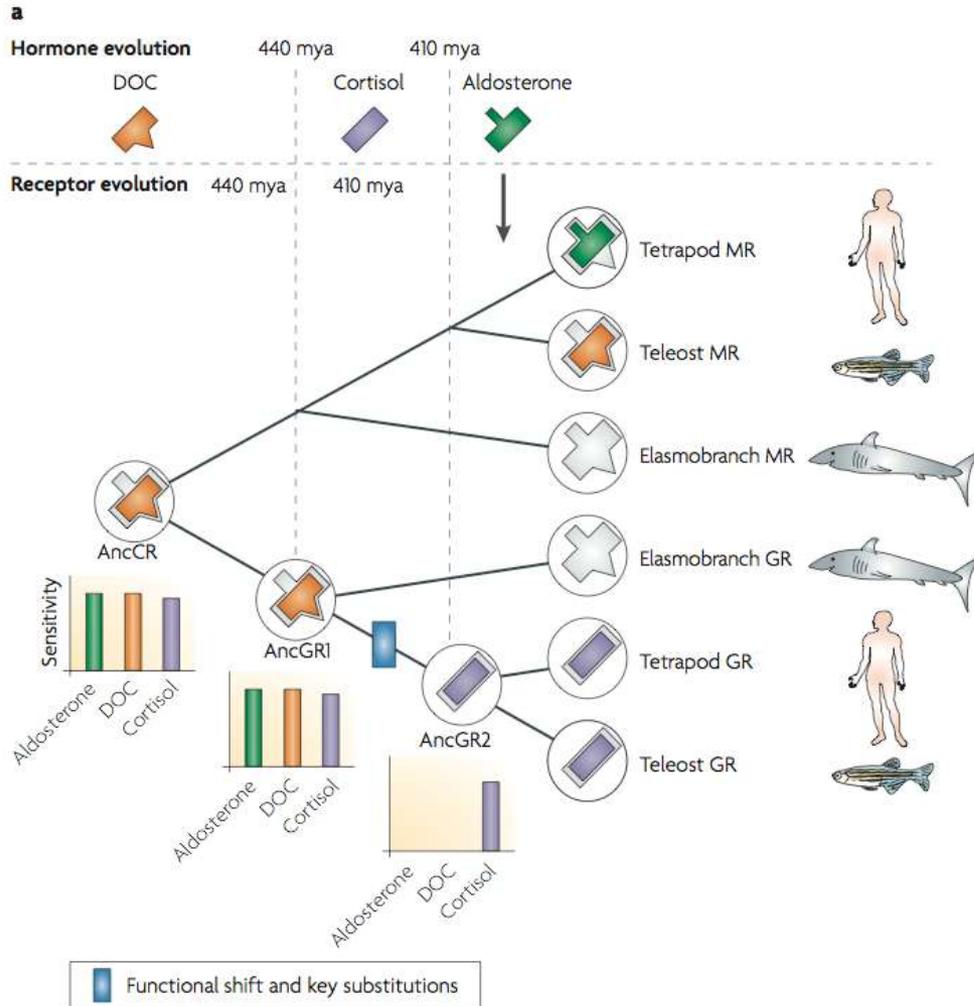
- Des expériences faites sur plus de 50 000 générations (depuis 1988)
- Dont l'intérêt a été transformé par les progrès technologiques
- Des études analogues sur des pathogènes humains
- Aider à répondre à des questions posées depuis très longtemps par les évolutionnistes: quelle est la part de la contrainte historique, du hasard, et de l'adaptation? Les innovations. L'importance (ou non) des phénomènes de convergence
- Et à des questions nouvelles: le rôle des duplications de gènes; la place des mutations dans les séquences régulatrices

## B. L'évolution des récepteurs stéroïdiens

- Le rôle de la duplication des gènes
- Les mutations neutres et l'exaptation
- L'irréversibilité de l'évolution
- De la non-spécificité à la spécificité de fonction

# Suivre l'évolution des récepteurs stéroïdiens

(Dean and Thornton (2007) *Nature reviews/genetics* 8: 675-688)



# L'évolution synthétique expérimentale

## (Eric Davidson)

- Expliquer un changement de structure intervenu au cours de l'évolution à partir des mécanismes moléculaires de formation de cette structure
- Conforter l'explication par la comparaison des séquences de génomes
- Expérimenter sur des espèces modèles proches
- Intérêt: aider à choisir entre des scénarios évolutifs
- L'intérêt de la biologie synthétique en général

II. Qu'est-ce que cela apporte?

- Apporter de superbes exemples des modèles proposés par les évolutionnistes
- Mettre de la « chair » sur un squelette
- Choisir entre des modèles et des scénarios

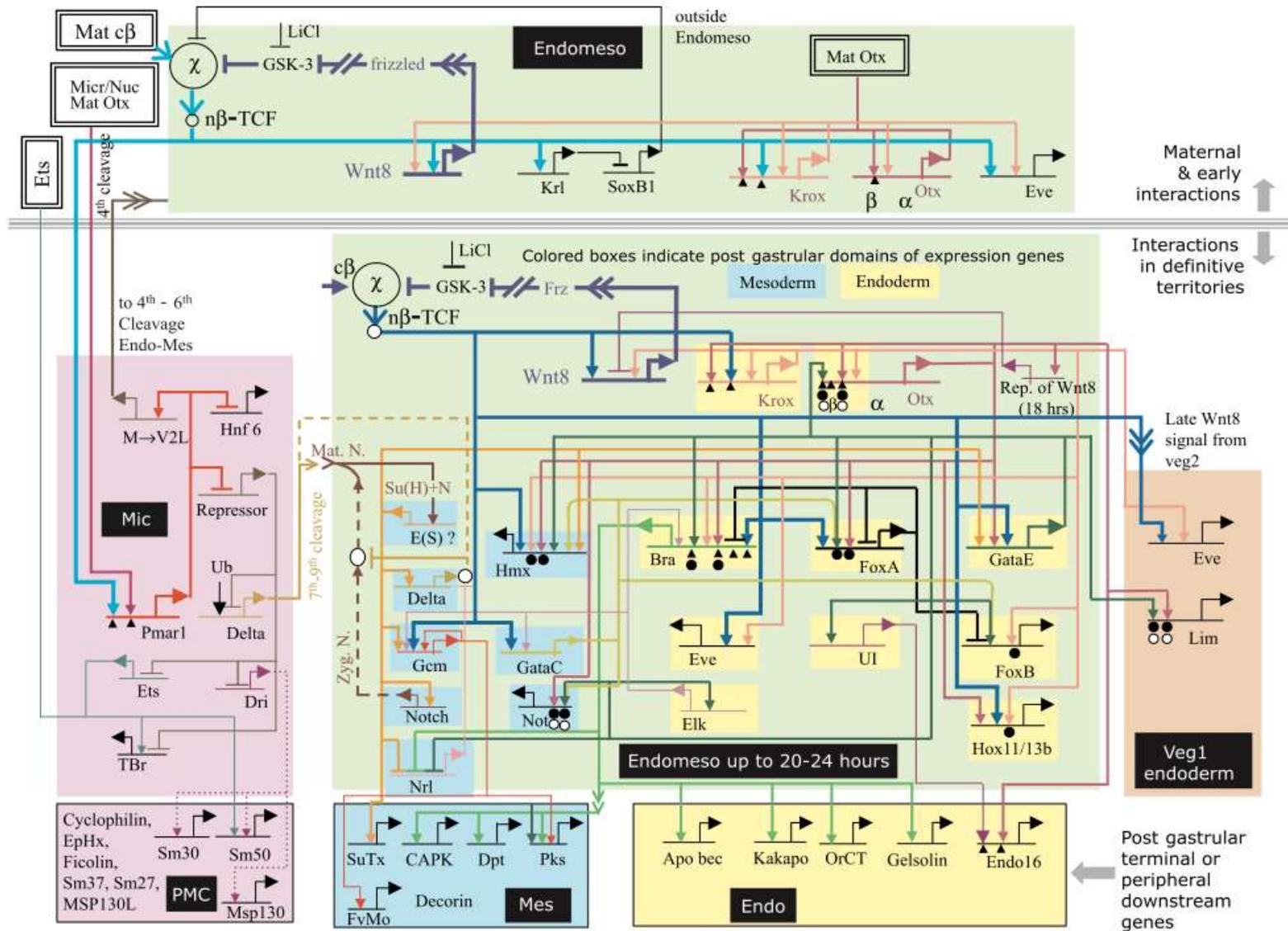
# Enrichir par de nouveaux faits

- Le rôle de la duplication des gènes
- La formation de nouveaux gènes
- L'évolution par spécialisation de fonction

III. Quels problèmes cela pose?

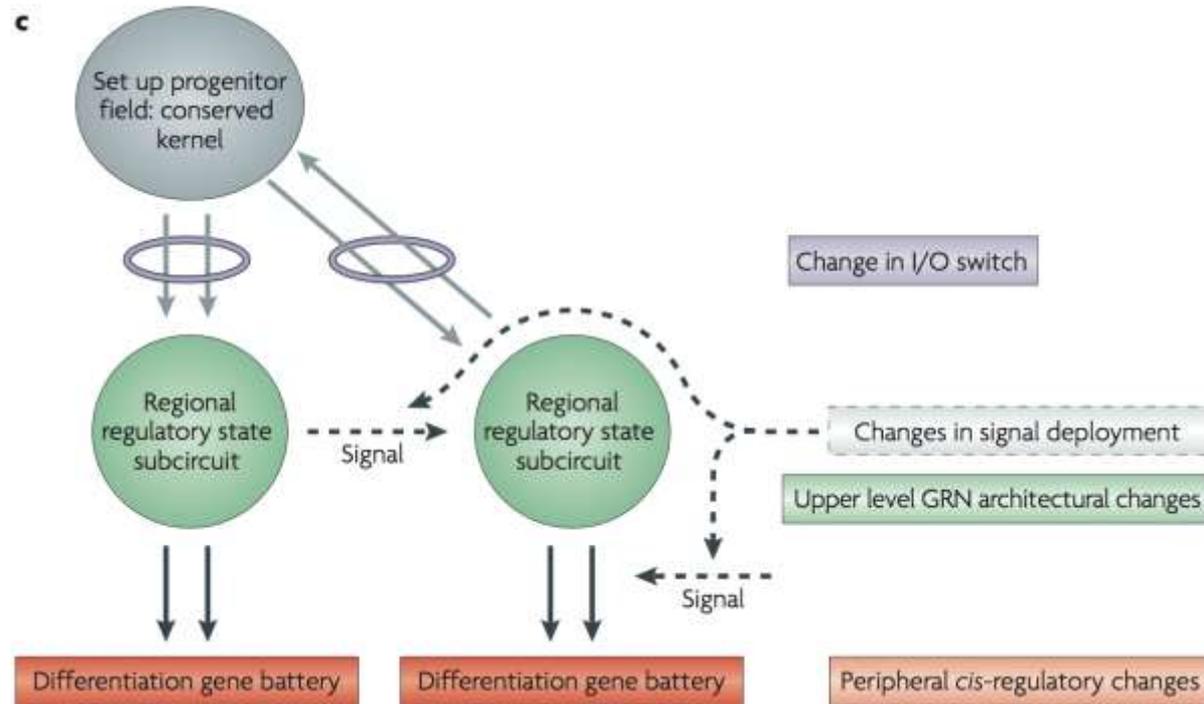
# A. Faire de la nature des variations le moteur de l'évolution

- Abandonner le principe de divergence
- Négliger le rôle de la sélection naturelle
- Les observations faites sur l'évolution humaine

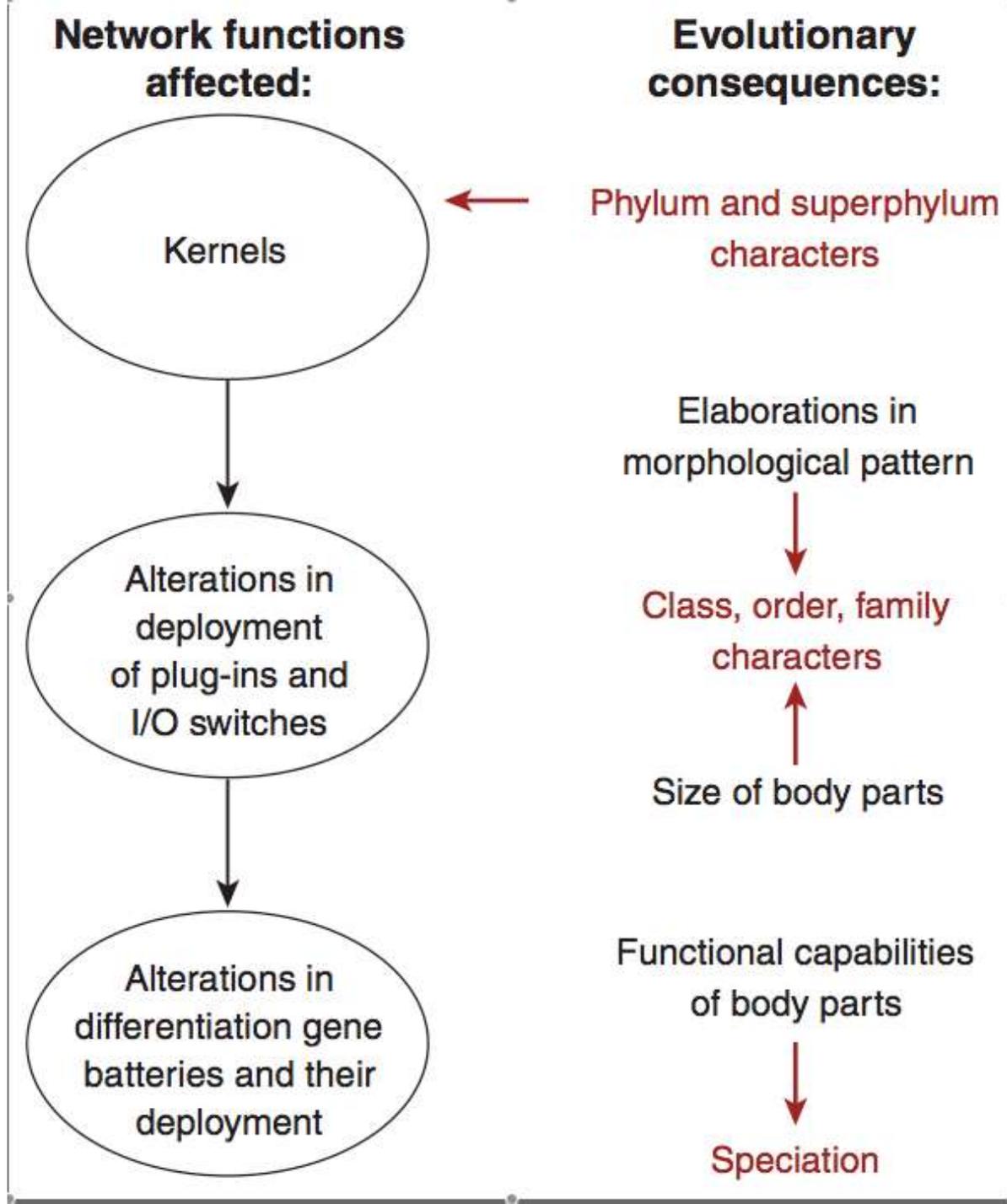


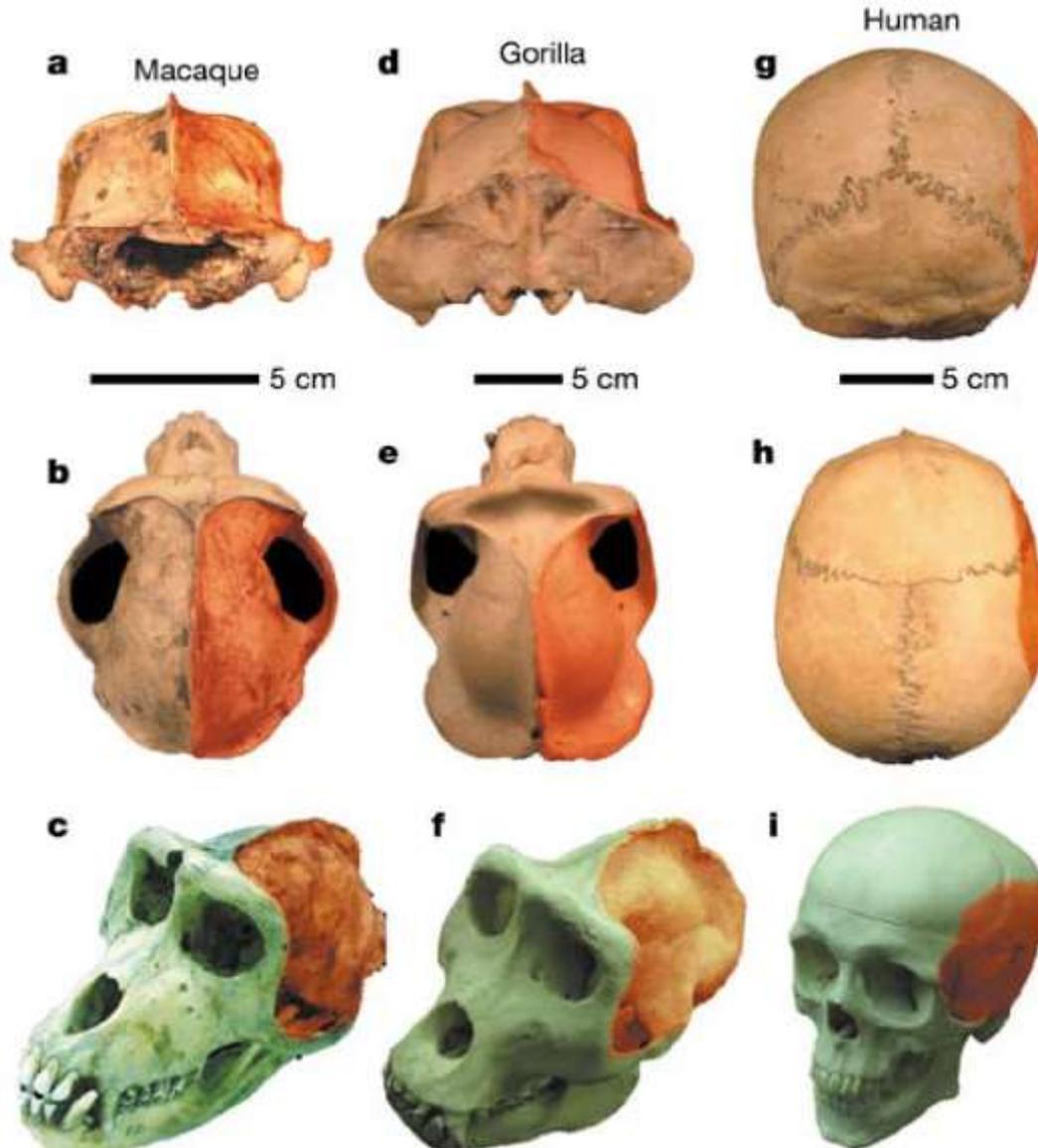
Eric H. Davidson *et al.* (2002) A genomic regulatory network for development. *Science* **295**: 1669-1678

Douglas H. Erwin and Eric H. Davidson (2009)  
The evolution of hierarchical gene regulatory networks; *Nature reviews/genetics* 10: 141-147

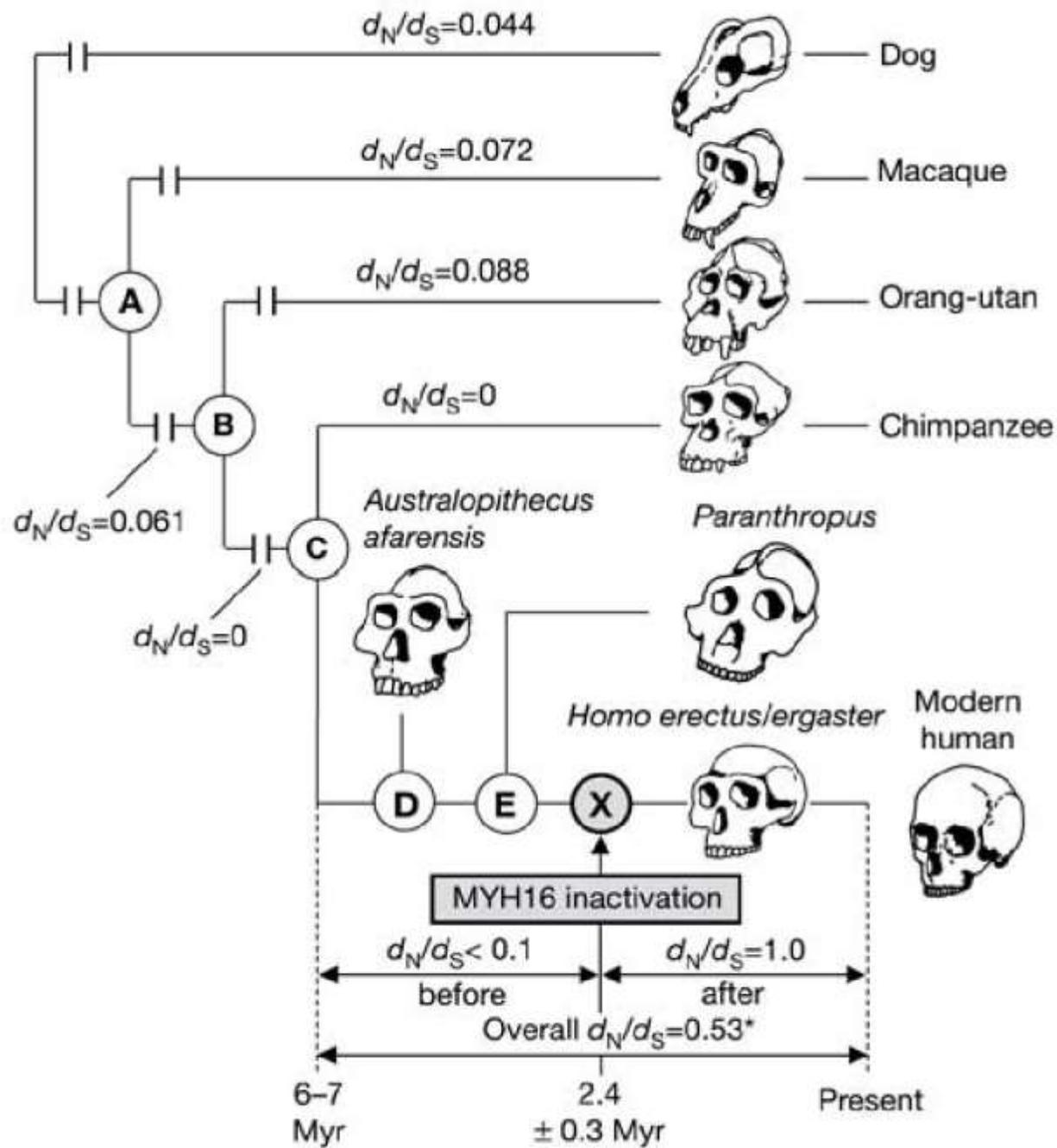


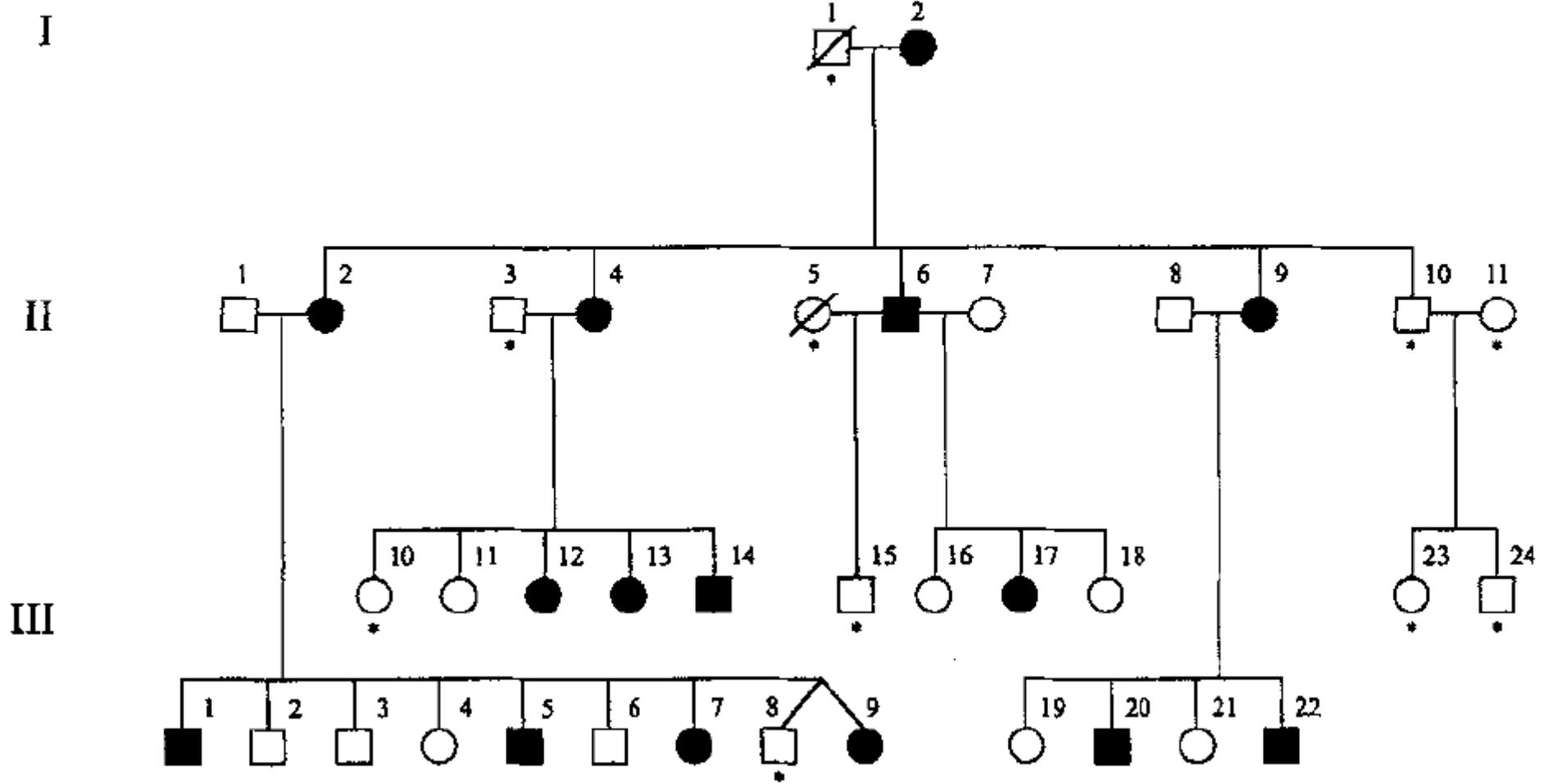
Eric H. Davidson and  
Douglas H. Erwin  
(2006) Gene regulatory  
networks and the  
evolution of animal  
body plans; *Science*  
**311**: 796-800





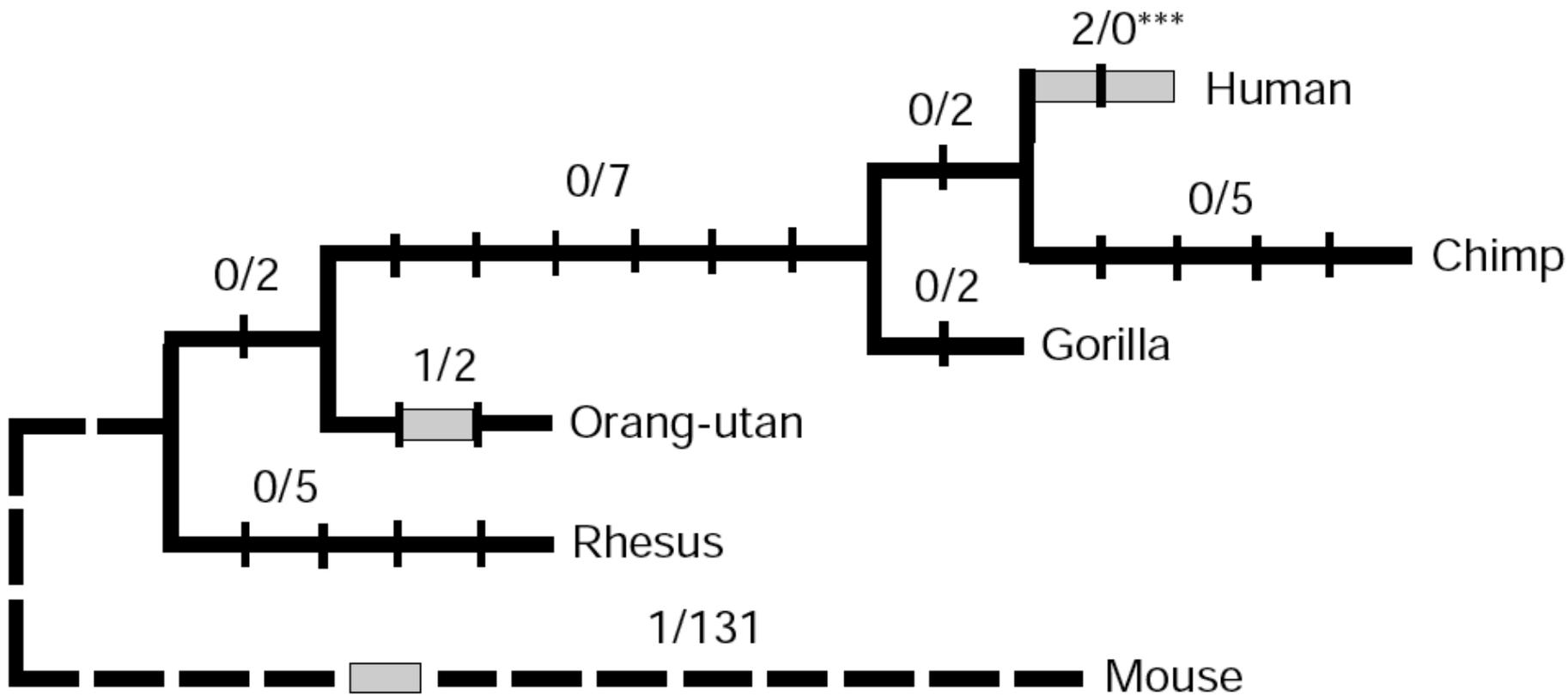
Mutation du gène de la myosine (MYH16)  
(Stedman *et al.* (2004) *Nature* **428**: 415-418)





# Défauts de langage dans la famille KE

Fisher S. E. *et al.* (1998) *Nature genetics* **18**: 168-170



(Enard W. *et al.* (2002) *Nature* **418**: 869-872)



Figure 1 Genes and speech: a cartoonist's view of a 'language gene'.

Steven Pinker (2001) *Nature* 413: 465-466

# *FoxP2*: un gène intéressant

- Un trouble précis du langage
- Le gène a muté dans la lignée humaine
- La mutation était présente chez l'Homme de Néanderthal
- Il est exprimé dans le cerveau
- C'est un gène régulateur
- Comparaison avec d'autres espèces animales parlantes
- Les gènes cibles de FoxP2

# *FoxP2*: les difficultés

- Le déficit n'est pas limité au langage
- La structure du cerveau est altérée
- Le gène *FoxP2* est impliqué dans de nombreuses autres fonctions
- La comparaison entre espèces apporte des résultats ambigus
- Les souris humanisées pour *FoxP2* ne parlent pas!

# Quelques conclusions provisoires sur le gène *FoxP2*

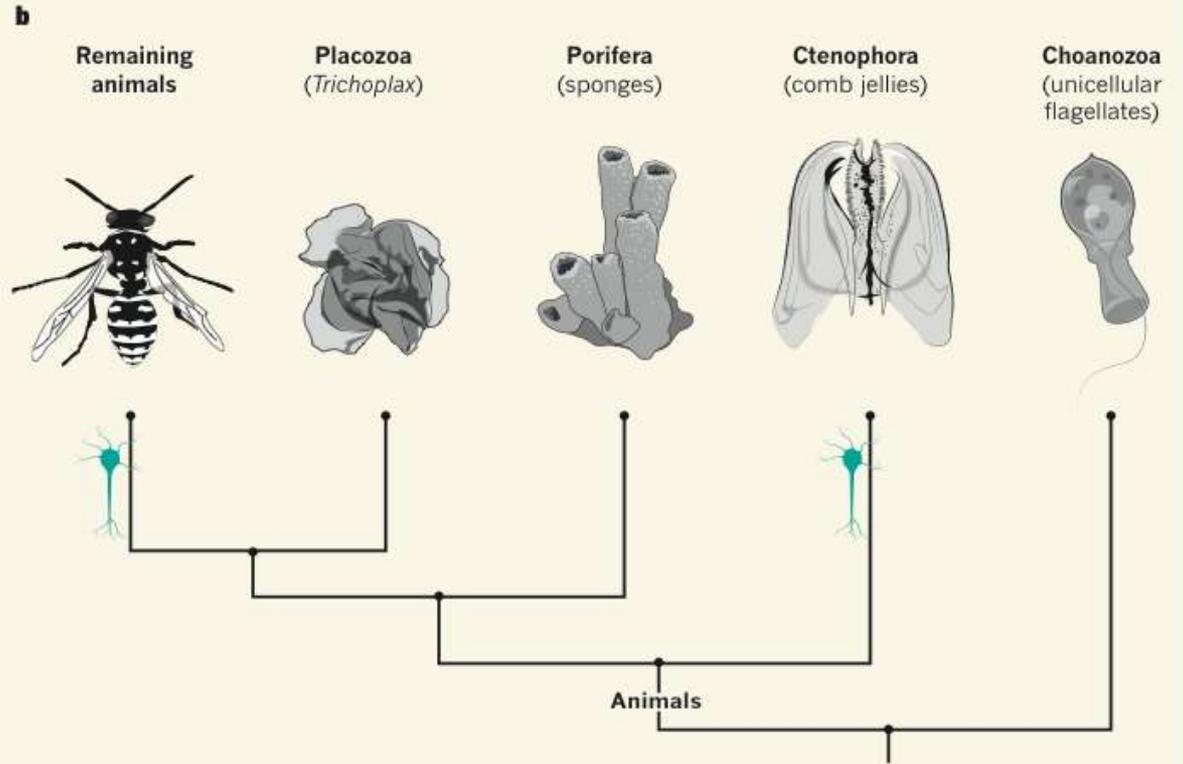
- Ce n'est pas le gène du langage
- Le langage n'est pas apparu en un jour
- Mais c'est un gène intéressant, qui donne des idées sur la longue série de transformations qui a conduit à l'être humain

# B. Remettre en cause la théorie synthétique

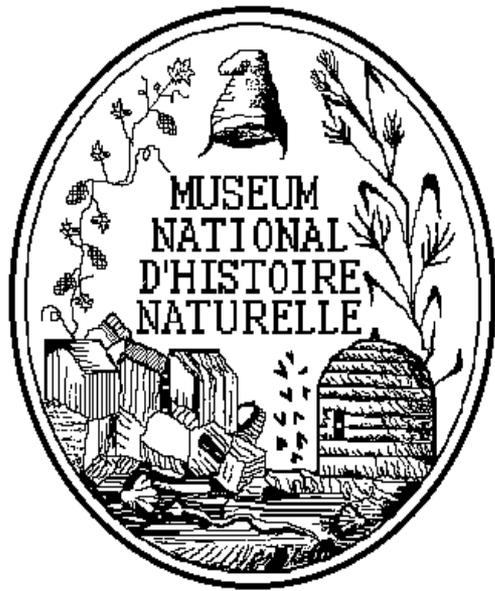
- Le génome, moteur de son changement?  
(James Shapiro)
- L'épigénétique, et le retour du lamarckisme:
  - Que veut-on dire exactement?
  - Cause ou conséquence?
  - Généralité du phénomène?
  - Tenir compte de la diversité du vivant

# IV. Conclusions

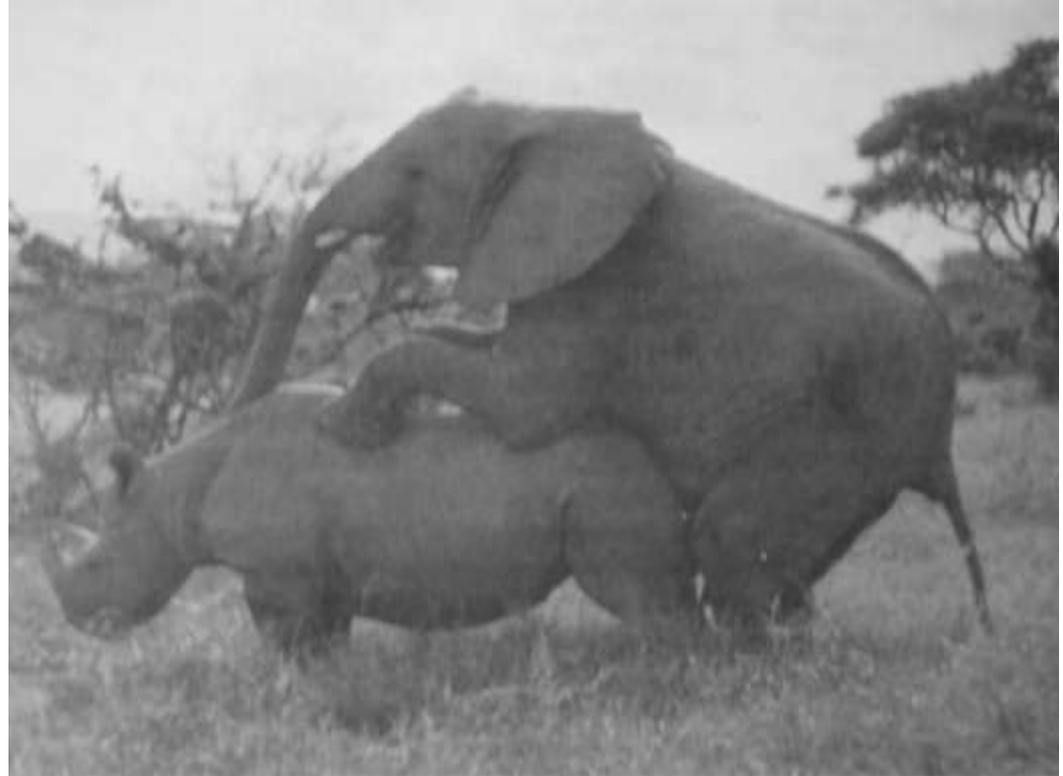
- Dessiner l'espace des possibles évolutifs
- Surmonter l'obstacle de la « sélection causale » (Marie Darrason)
- Rester ouverts à la surprise!



Moroz *et al.* (2014) *Nature* **510**: 109-114



# Enseigner l'évolution



Pr Guillaume Lecoindre, MNHN,  
UMR 7205 Institut de Systématique, évolution et Biodiversité

# L'évolution : quel chantier !

- Chantiers de l'expansion
- Chantiers de l'épistémologie / la didactique

# Chantiers de l'expansion

- Transferts horizontaux
- Symbioses et chimérisations
- Généralisation du principe de sélection
  - En infra, en supra

Adaptation : usage délicat des « pour »

Espèce : convention de langage

# Chantiers de l'expansion

- Le gène passe du statut de notaire au statut de partenaire. Ex. : Hors-série de pour la Science : « L'hérédité sans les gènes », décembre 2013.
- Héritabilités à d'autres niveaux d'intégration

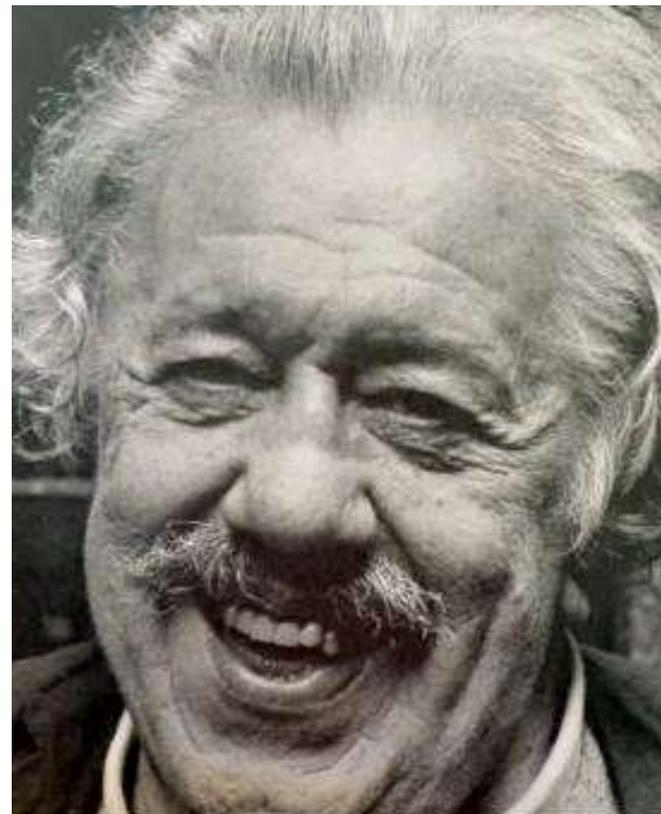
# Chantiers épistémo-didactiques

- Savoir prioriser nos objectifs
- Sciences expérimentales versus sciences synthétiques
- Statut du travail théorique
- Remettre le changement / la variation comme fait premier : EN BIOLOGIE, LES OBSERVABLES NE SONT PAS DES INVARIANTS

# Le changement est premier

- Comment peut-on enseigner l'évolution sans commencer par dire que la matière change ?

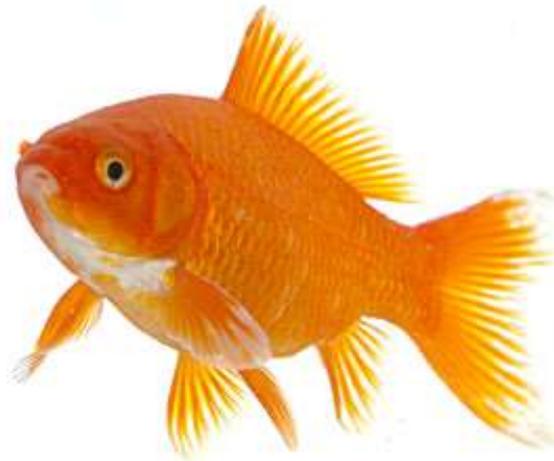
Quand ça change, qu'est-ce qui change ?



Quand ça change, qu'est-ce qui change ?



**Juillet**

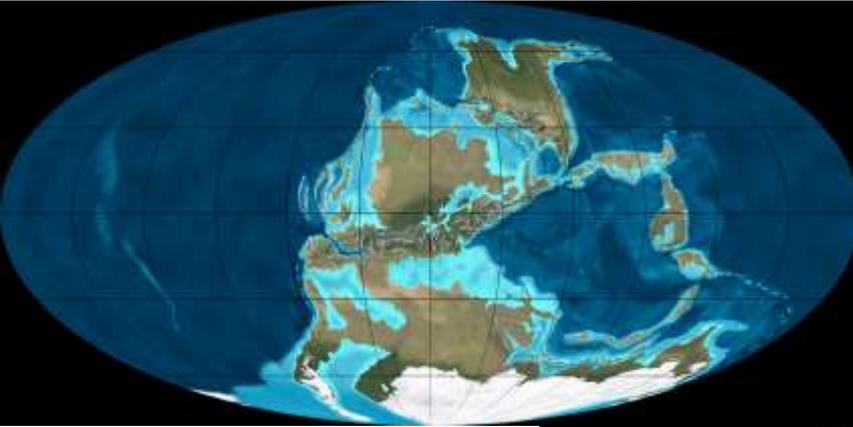


**Septembre**

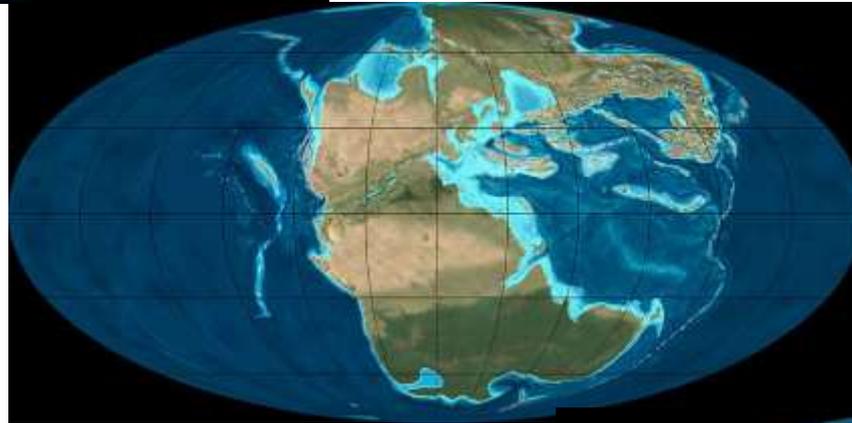


**Novembre**

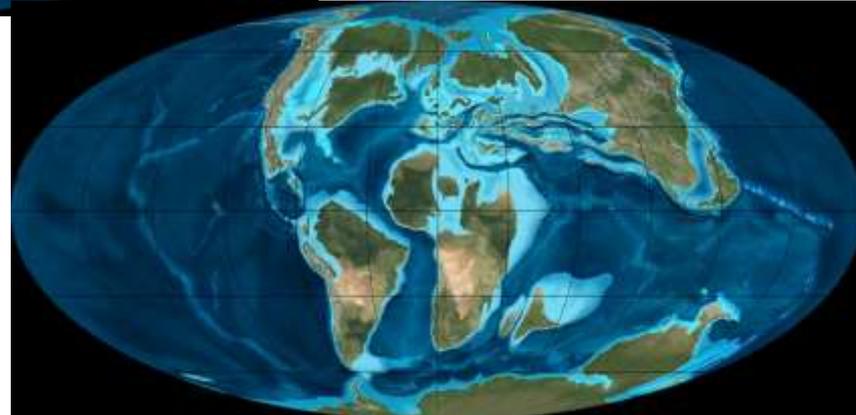
Quand ça change,  
qu'est-ce qui  
change ?



**Carbonifère**



**Trias**



**Crétacé**

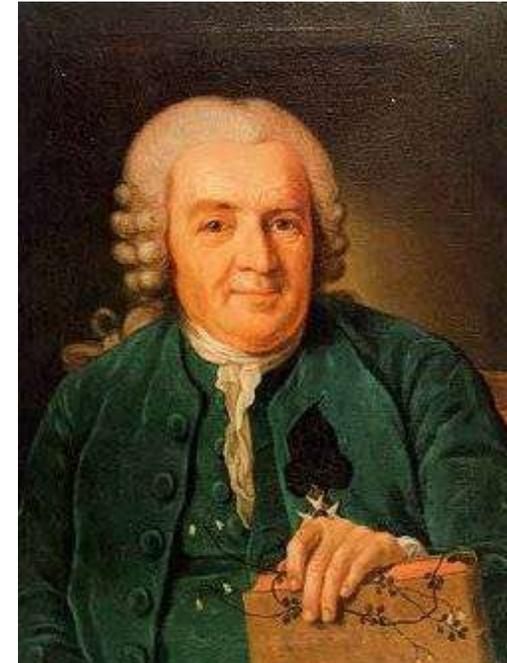
Négociier sur  
la réalité de  
la catégorie  
(= convention)

nominalisme

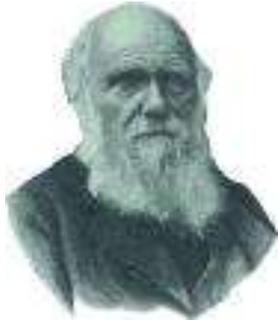


Négociier sur  
la réalité du  
changement  
(= fixisme)

essentialisme



# Qu'est-ce que l'évolution explique ?



Observable

Explanandum

Explanans

• Aristote	Espèces	Changement	Physique
• Linnaeus	Espèces	Régularités	Dieu
• Darwin	Individus & Change <sup>t</sup>	Régularités	Sélection naturelle
• Mayr	Espèces	Changement	Sélect. nat.
• XXIème siècle	I & C	Régularités	Sélection sensu lato

# Classe de Troisième

- Connaissances : « ces modifications de l'environnement sont à l'origine de la sélection de formes adaptées »
- Capacités, attitudes : « sont exclus les mécanismes de la sélection naturelle »

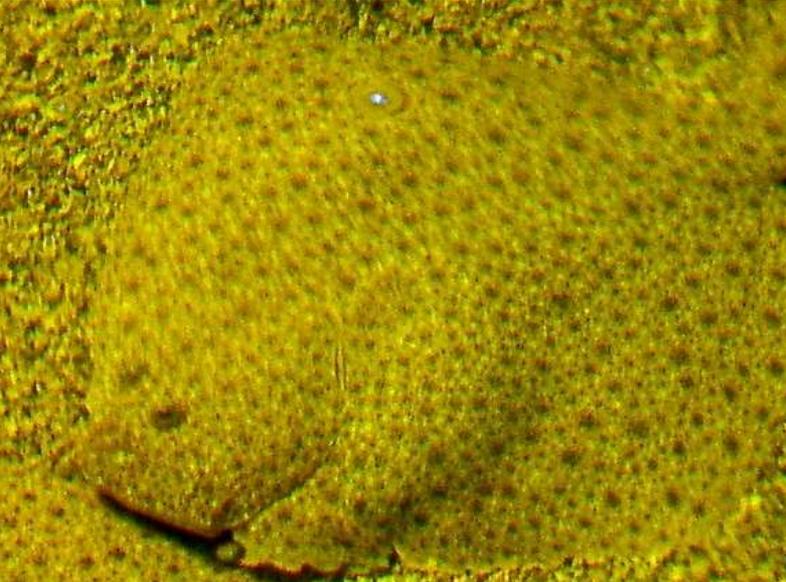
# Classe de Seconde

- Capacités, attitudes : « Manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique »
- ... pas la sélection naturelle . Absente d'ailleurs de la colonne des capacités et des aptitudes jusqu'en Terminale.

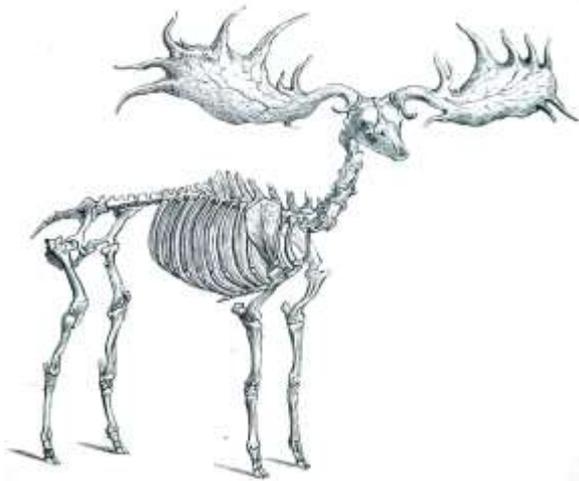
# Explication de texte :

- Mise en avant de la dérive afin d'éviter le pan-sélectionnisme
- En outre, les débats français ont montré que les généticiens des populations eux-mêmes sont divisés sur l'importance de la sélection

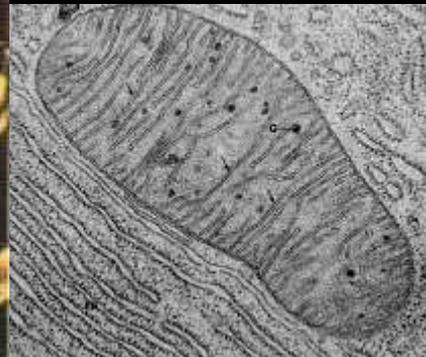
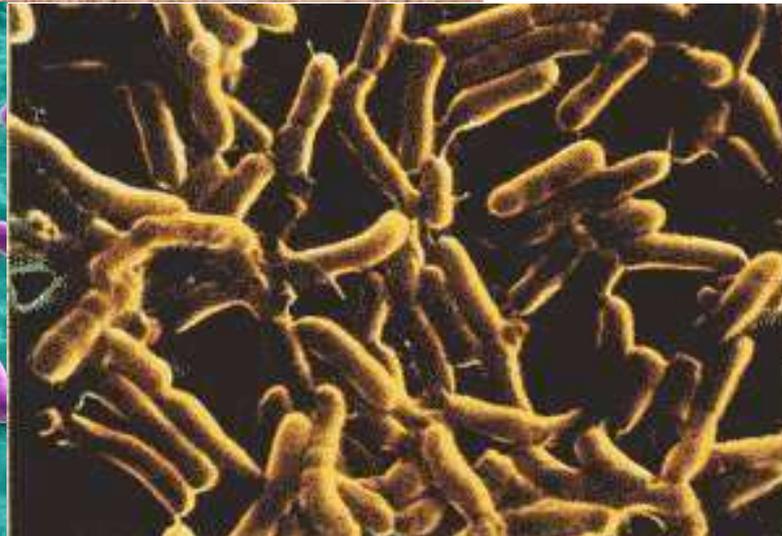
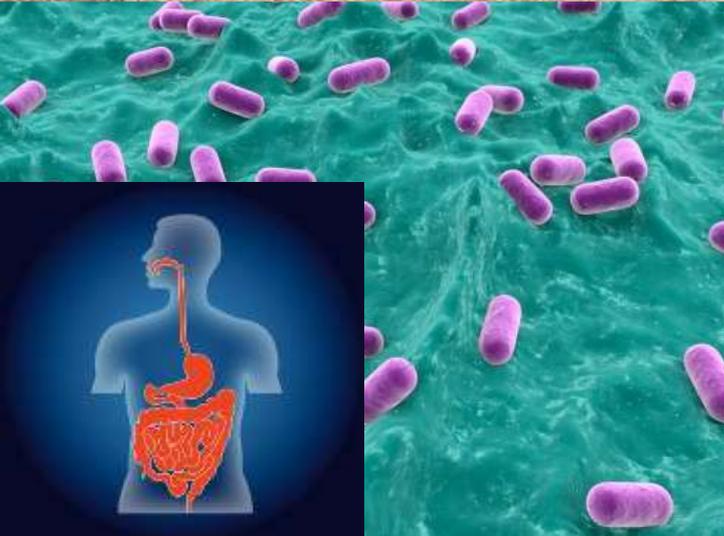
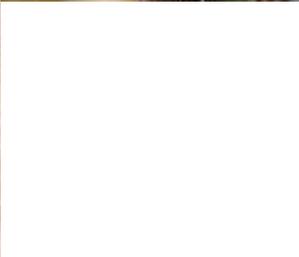
- Pourtant, la sélection serait avantageuse à enseigner si elle est présentée comme multimodale, pour montrer qu'elle mène à des compromis et non à des perfections
- Et qu'elle permet d'expliquer les fonctions (exemple des pertes)















Et les yeux...  
Et les yeux !

**tétra mexicain (*Astyanax mexicanus*)**  
**characin aveugle brésilien ( *Stygichthys typhlops* )**





**araignée-loup des grottes  
de Kauai (*Adelocosa anops*)**



**écrevisse américaine des  
grottes du sud  
(*Orconectes australis*)**



**poisson-chat aveugle (*Satan eurystomus*)**

Et les yeux...  
Et les yeux !



*Phymatoniscus propinquus*  
3 mm (grotte de Clamouse)



Et les yeux...  
Et les yeux !

Et la queue...  
Et la queue !



© Guy Demory



Et les membres...  
Et les membres !



# Eviter le pan-sélectionnisme

- Pas d'enseignement de la sélection sans ses alternatives

# 1979 : critique de l'adaptationnisme



Adaptation (sélection)



**EMBRYON**

Contrainte  
architecturale  
(contrainte structurale)

Adolph Seilacher

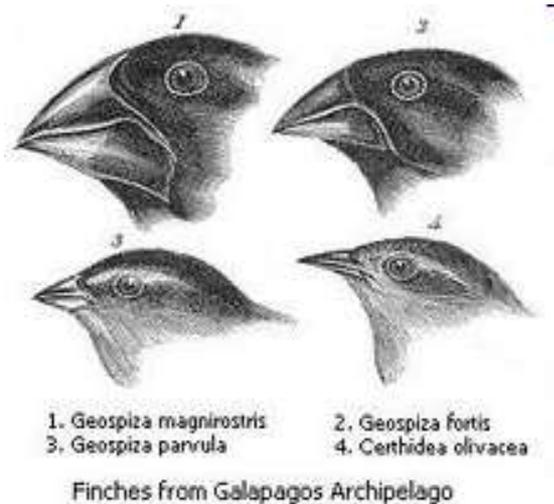
**PHYLOGENIE**

Inertie  
phylogénétique  
(contrainte historique)

# Critique de l'adaptationnisme = critique de l'atomisation



**EMBRYON** : Alternative 2 : Contraintes architecturales



Diola : coppia  
postcard



**EMBRYON :**

Contrainte de  
construction

Contrainte de  
construction

