



Détection des transferts horizontaux de gènes : modèles et algorithmes appliqués à l'évolution des espèces

Rapport de la conférence d'Alix Boc

Présenté à l'UQÀM le 19 Janvier 2011

Présenté par: Joel Sandé (sandejoel@yahoo.ca)
Jacques Dieye (dieyejacques@yahoo.fr) et
Luis Tovar (tovar.luis_alberto@courrier.uqam.ca)



PLAN



- INTRODUCTION
- TRANSFERT DE GÈNES
 - Vertical – Horizontal
- LE TRANSFERT HORIZONTAL (LATÉRAL) DE GÈNES CHEZ LES PROCARYOTES
 - Mécanismes de transfert
- LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES EUCARYOTES
 - Théorie de l'endosymbiose - Mécanismes de transfert – Évidences
- CONSÉQUENCES BIOLOGIQUES ET PHYLOGÉNÉTIQUES
 - Modèle d'arbre – Modèle du réseau
- DETECTION DE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES
- UN ALGORITHME EFFICIENT POUR LA DETECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÈNES BASÉ SUR LA RÉCONCILIATION TOPOLOGIQUE
- UTILISATION DE T-REX POUR LA DÉTECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÉNOME (MUTATION DANS LE BACTERIOCYTE) DANS DEUX ESPÈCES DES INSECTES

INTRODUCTION

Le *gène* est une unité d'information biologique contrôlant un caractère spécifique :

la couleur des yeux,

la résistance à une condition extrême, ... etc.

Il peut être transféré de deux façons:

verticalement (TVg) et

horizontalement (THg)

Code génétique universelle !

INTRODUCTION

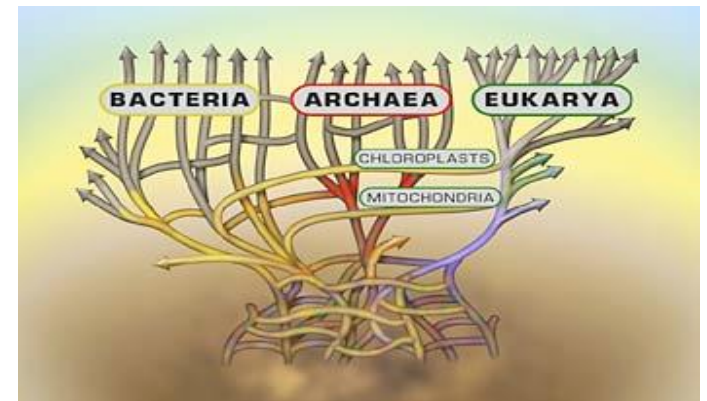
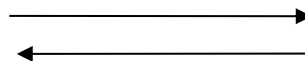
Sans hybridations, l'homoplasie et la convergence, horloge moléculaire, modèle d'évolution, THg etc.

la vision de l'arbre de la vie est abordable ! la condition de quatre points est satisfait :

$$d(i, j) + d(k, l) \leq \text{Max}\{d(i, k) + d(j, l); d(i, l) + d(j, k)\}, \text{ pour tout } i, j, k, l.$$

Ce n'est pas tout jours le cas !

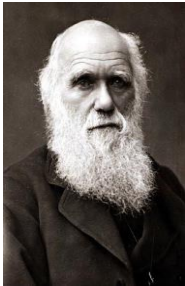
(Séquence-gène, Séquence-espèce) **Procédure THg** (THg-réticulogramme)



TRANSFERT DE GÈNES

Vertical (Tvg)

Processus au cours duquel, un organisme hérite du matériel génétique de ses parents



Horizontal (THg)

Processus dans lequel un organisme incorpore le matériel génétique d'un autre organisme avec lequel il n'a aucun lien familial direct !



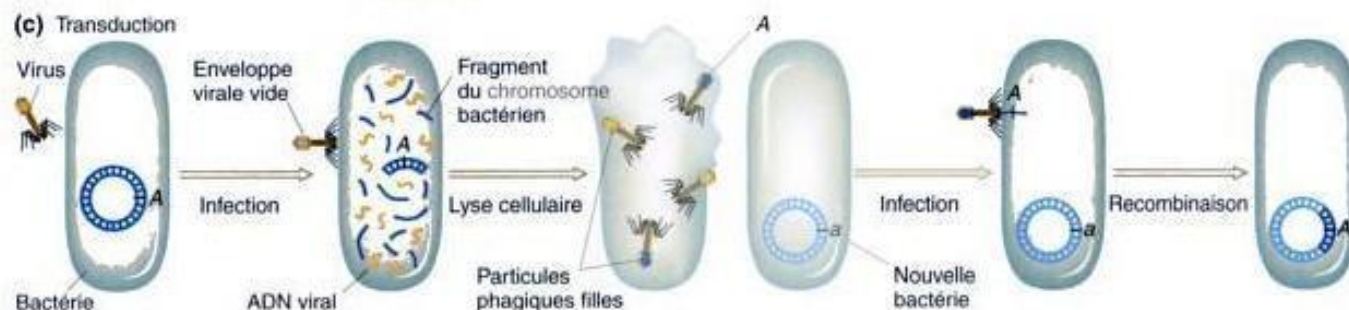
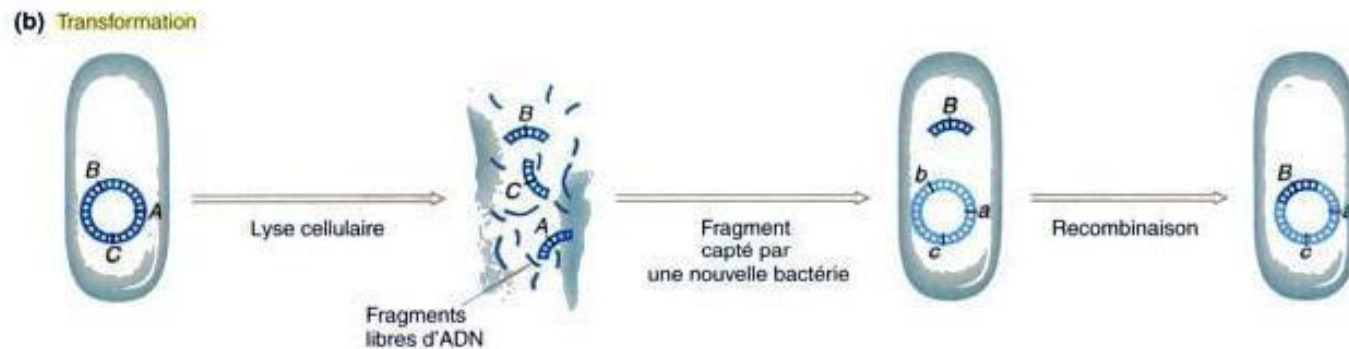
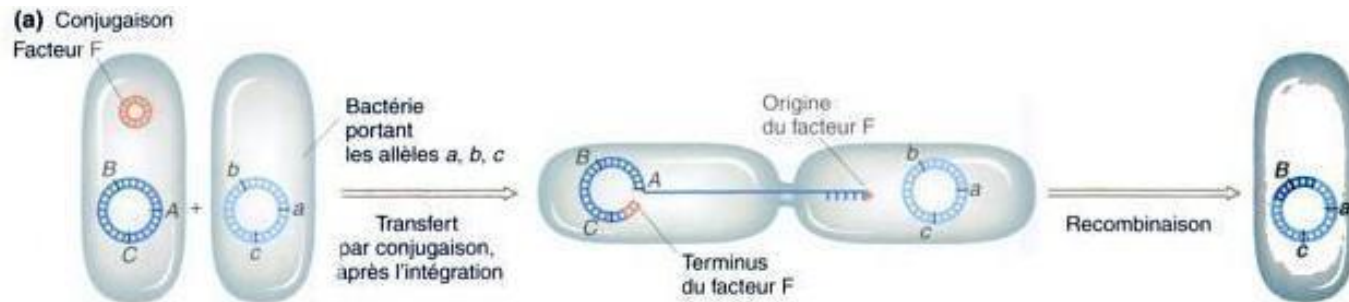
nouveau paradigme
de la biologie !!!

LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES PROCARYOTES

Il existe des évidences que les bactéries préhistoriques, ont partagé des informations génétiques sans beaucoup de barrières entre eux !

La découverte de ces phénomènes spontanés de transferts de gènes et de leur mécanisme a inspiré les technologies récentes de *génie génétique* !

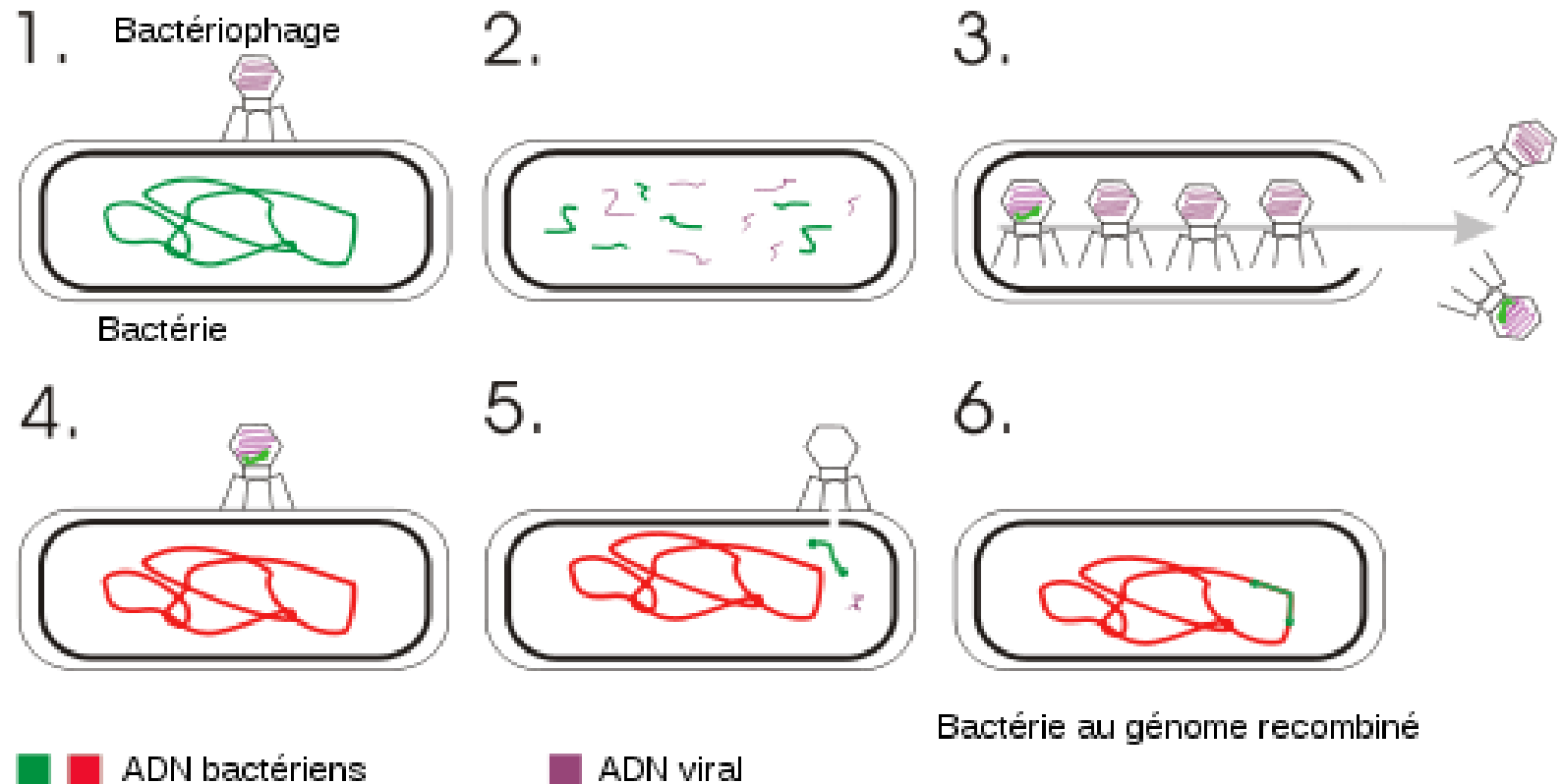
LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES PROCARYOTES



Cycle lytique

Cycle lysogénique

LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES PROCARYOTES

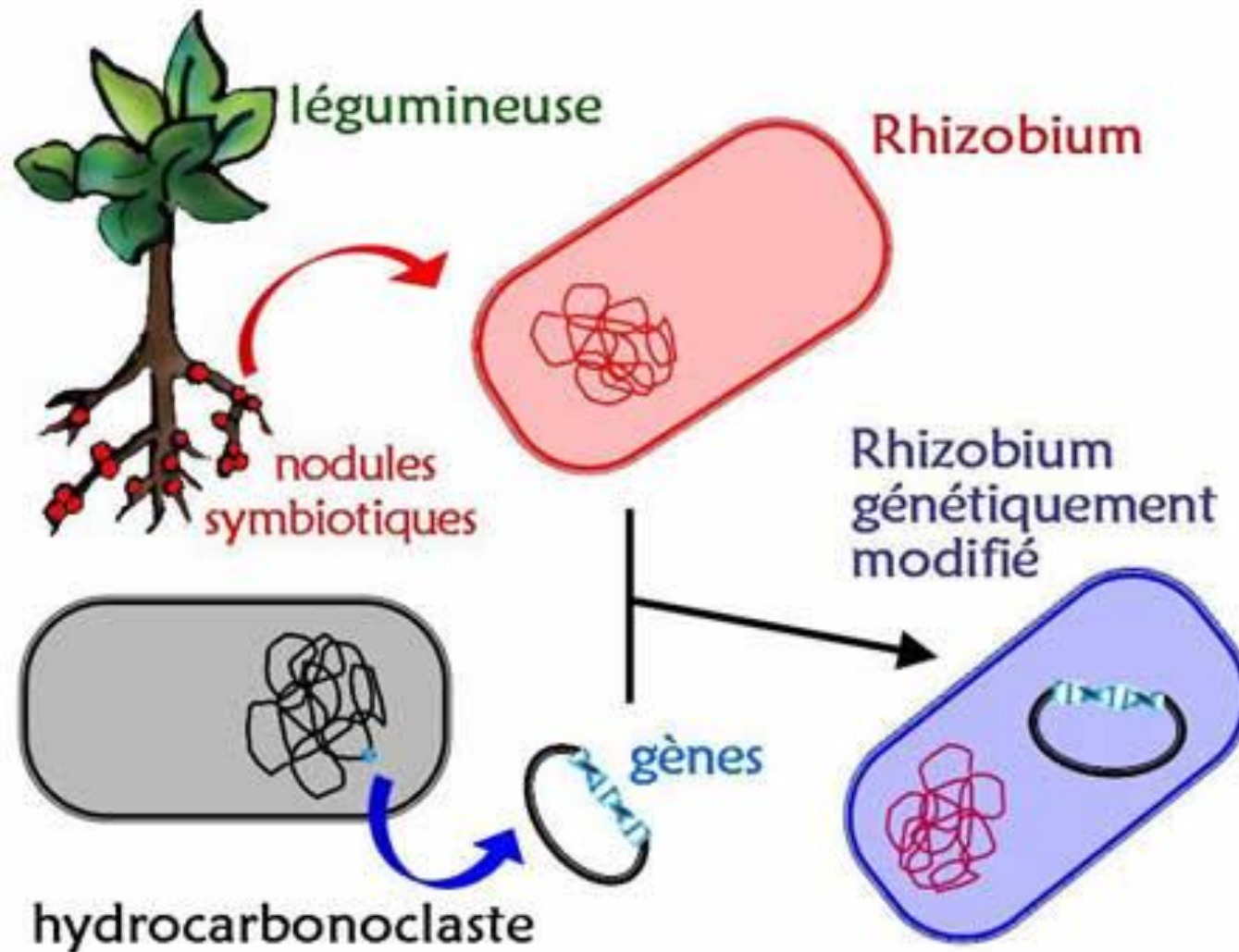


MÉCANISMES
détailles
Transduction

LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES PROCARYOTES

- il est naturel de partager leur génome
- des mécanismes sophistiqués ont été développés à de telles fins
- l'approche « mosaïque » et de réseaux génétiques sont plus évidents.

LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES EUCARYOTES



LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES EUCARYOTES

Est-ce que chez les eucaryotes la transmission latérale de l'information génétique est assez importante comme chez les procaryotes ?

Est-ce qu'un organisme eucaryote peut synthétiser une protéine après une inclusion dans son génome d'un brin d'ADN provenant d'un organisme unicellulaire ?

Est-ce qu'une vache peut recevoir d'un jour à l'autre un brin d'ADN provenant d'une plante et la transmettre à sa descendance ?

Est-ce que la technique de transformation génétique (OGM) des plantes et animaux est une technique fiable ?

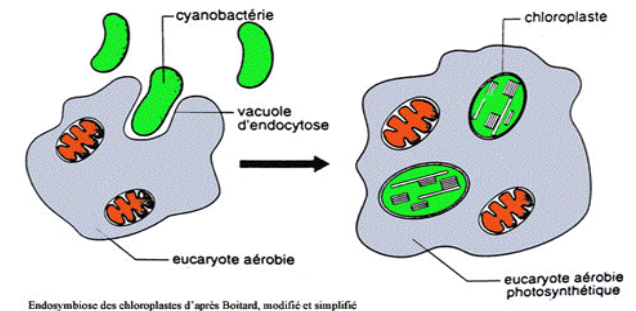
LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES EUCARYOTES

THÉORIE DE L'ENDOSYMBIOSE



La chercheuse nord-américaine Lynn Margulys est célèbre pour avoir défendu l'hypothèse selon laquelle divers organes intracellulaire :

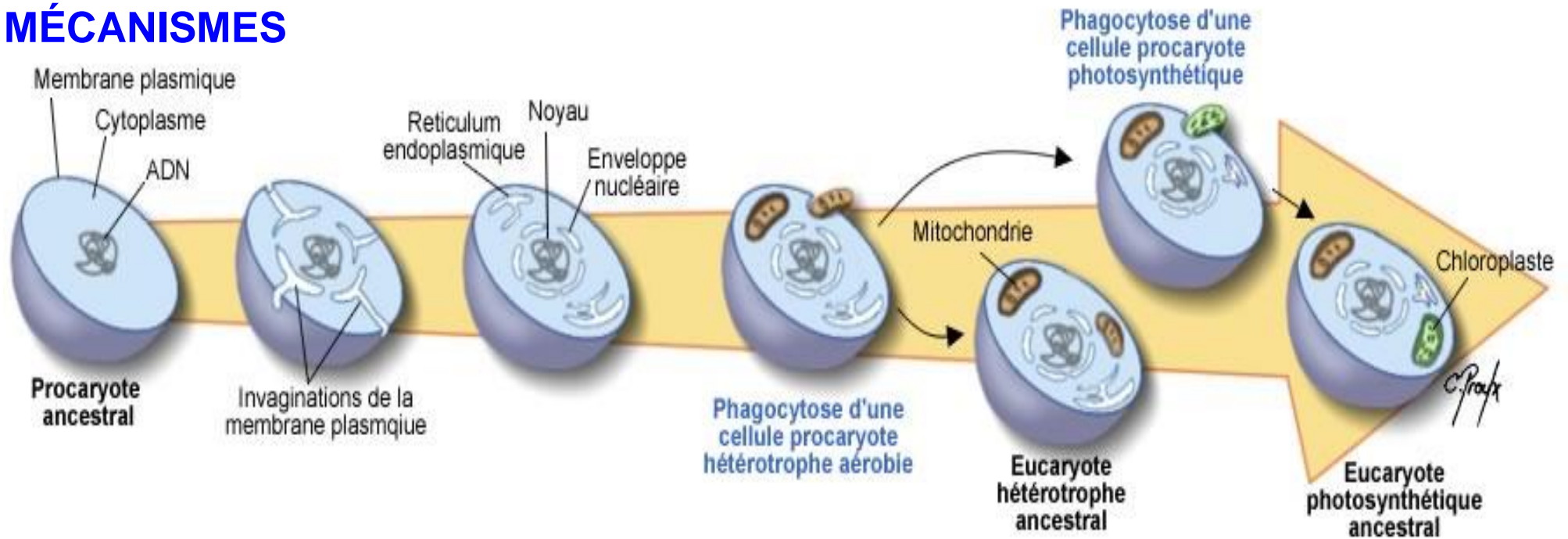
plasmides,
mitochondrie,
chloroplaste (chez les procaryotes, ...), etc.



sont des organismes unicellulaires qui ont établi une relation symbiotique avec une organisme supérieur à l'intérieur de ces cellules.

LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES EUCARYOTES

MÉCANISMES



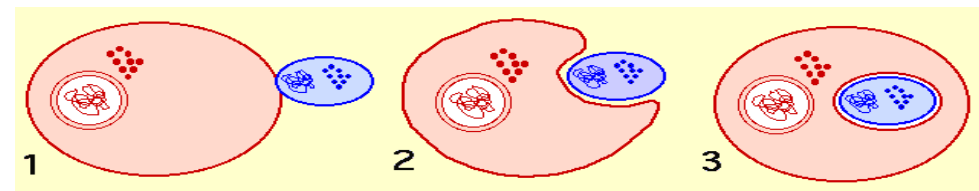
détailles

abstraction du procès
au cours du temps

LE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES CHEZ LES EUCARYOTES

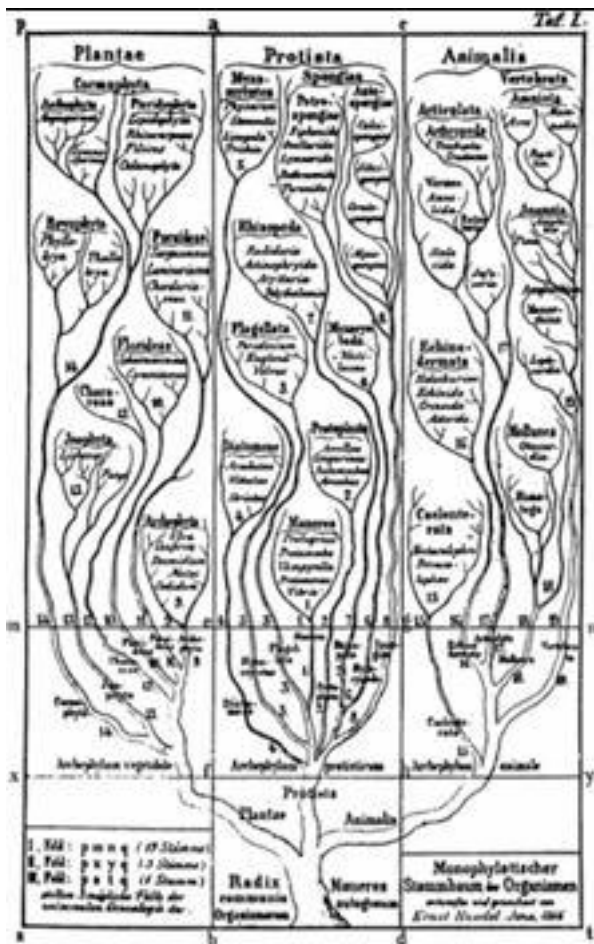
ÉVIDENCES

- PCR a révèlè récemment que 3 gènes mitochondriaux (atp1, atp6 et matR) ont été récemment transférés de la *Cuscuta* à la *Plantago*
- Un chromosome entier peut être transféré (THC). Le transfert horizontal de chromosomes (THC) ont été détecté chez les champignons phyto-pathogènes (*Stagonospora*, *Pyrenophora*, ...)
- La *Salmonella enterica* continue d'être une cause importante de maladie gastro-intestinale d'origine alimentaire chez les humains, le plasmide colV plasmide fait le pont oiseau-humain



CONSEQUENCES BIOLOGIQUES ET PHYLOGÉNÉTIQUES

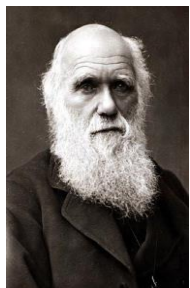
LE TRANSFERT VERTICALE ET LE MODÈLE D'ARBRE



Un arbre est composé de quatre éléments principaux:

- La racine représente l'ancêtre commun des espèces représentées dans l'arbre
- Les feuilles y représentent les "espèces" étudiées ou les taxons
- Les nœuds internes, les ancêtres virtuels ayant divergé
- Les arêtes ou branches, les liens de filiation (l'arbre est dit additif si les branches ont des valuations)

chaque espèce ne peut être reliée qu'avec son ancêtre le plus proche



CONSEQUENCES BIOLOGIQUES ET PHYLOGÉNÉTIQUES

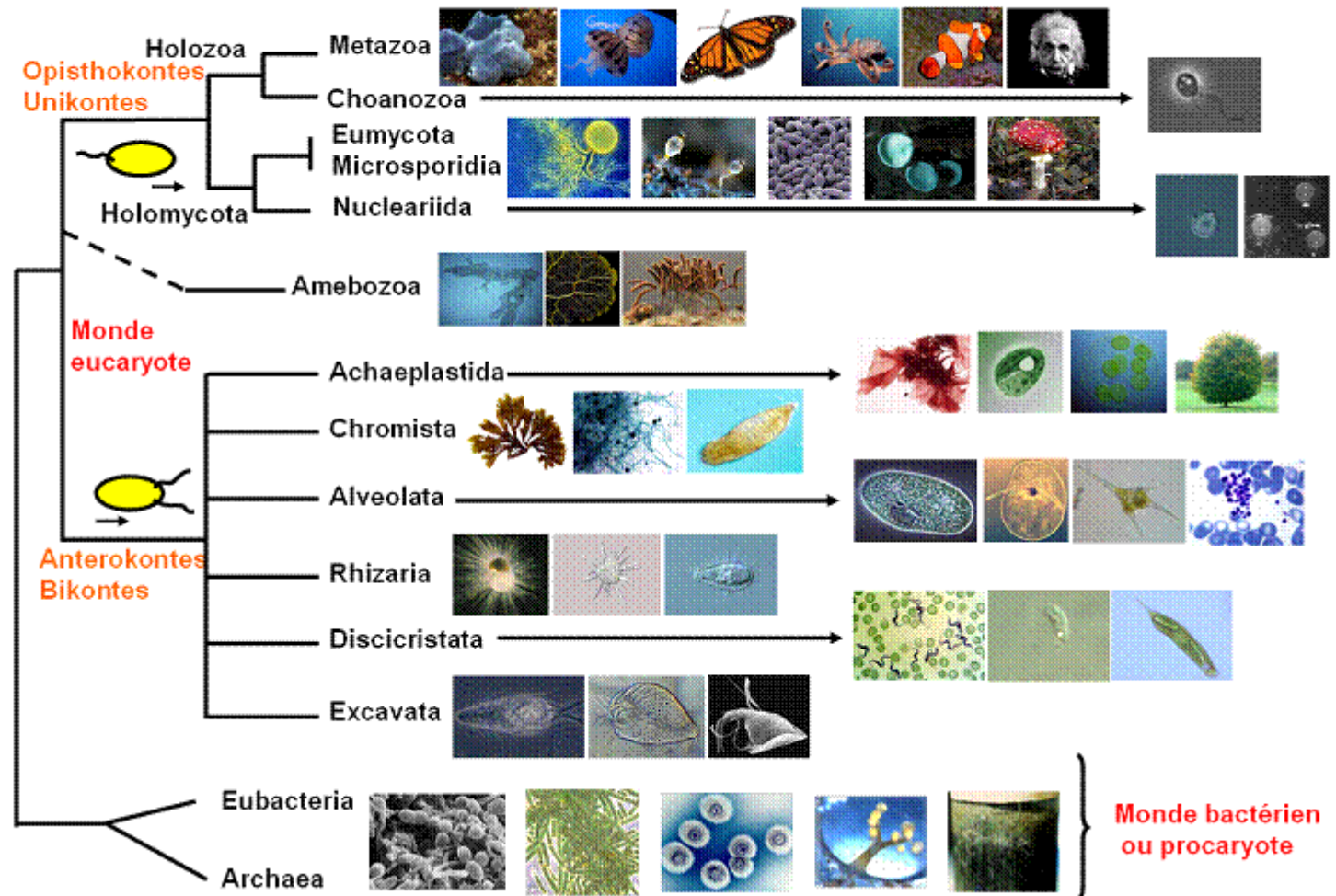
LE MODÈLE D'ARBRE

Il s'agit de reconstituer
l'arbre de vie

But: reconstruire un
topologie à partir de un
matrice de dissimilarité

Estimation de la
distance évolutive
(longueurs des arêtes)
à partir d'une distance
observée

La phylogénie globale actuelle



CONSEQUENCES BIOLOGIQUES ET PHYLOGÉNÉTIQUES

Impossible il faut des données sur plusieurs millions d'années !

Bias:

- Horloge moléculaire
- Information caché dans des séquences (sub-estimation)
- Convergence / Homoplasie
- Hybridization
- Transferts lateraux
- Non independece de traits
- Insertions, délétions, duplications et pertes
- Etc. !

CONSEQUENCES BIOLOGIQUES ET PHYLOGÉNÉTIQUES

APPROCHE BASÉE SUR LES DISTANCES (MINIMUM D'ÉVOLUTION)

- Regroupement
- Minimum d'évolution
- D'ajustement
- NJ (Regroupement - Minimum d'évolution)

APPROCHE BASÉE SUR LES CARACTÈRES (MINIMUM D'ÉVOLUTION)

- Parcimonie
- Vraisemblance



CONSEQUENCES BIOLOGIQUES ET PHYLOGÉNÉTIQUES

LE TRANSFERT HORIZONTAL ET LE MODÈLE RÉSEAU

Il est une option pour les organismes où le taux de transmission latéral du code génétique est notable

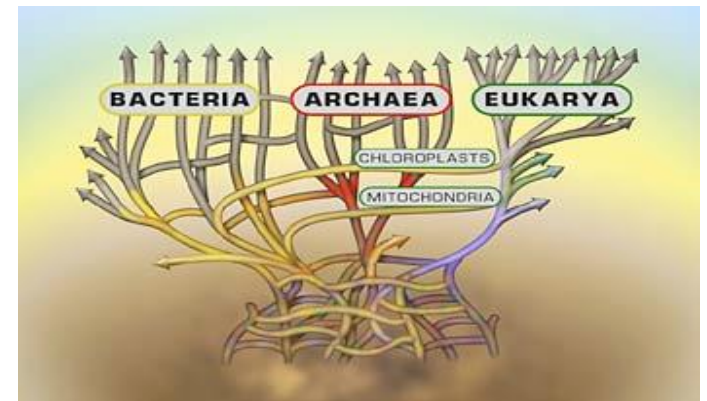
T-Rex estimations réseaux génétiques en temps polynomiale

Duploss estimation de duplications et pertes

LatTrans et **T-Rex** estimation de THg

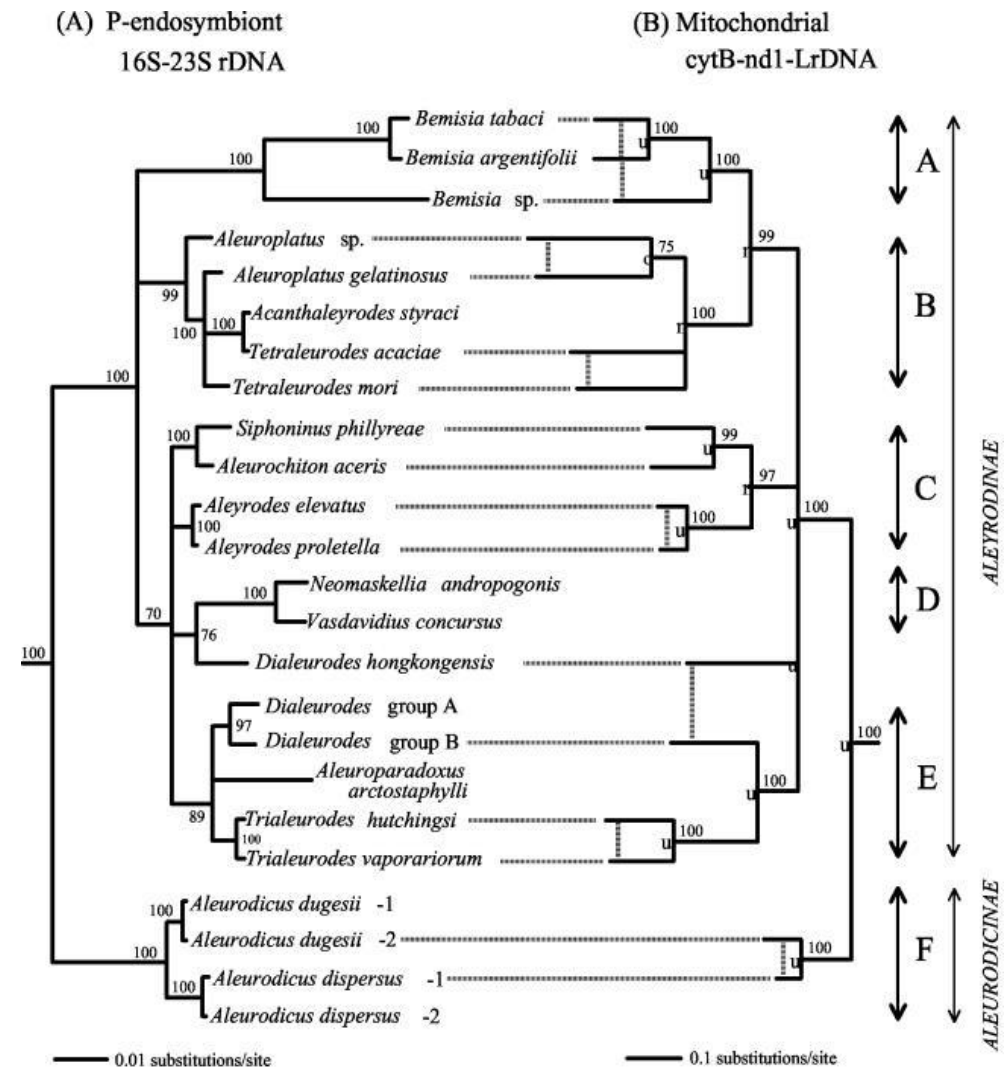
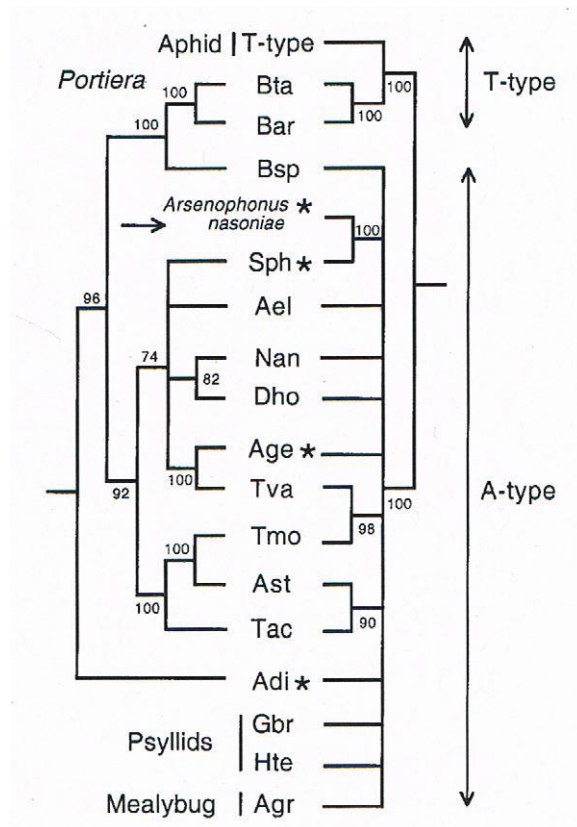
PhyloNetwork coalescence, Robinson et Foulds, réseaux génétiques par parcimonie

RHOM 'horizontal transfert index' par HMC



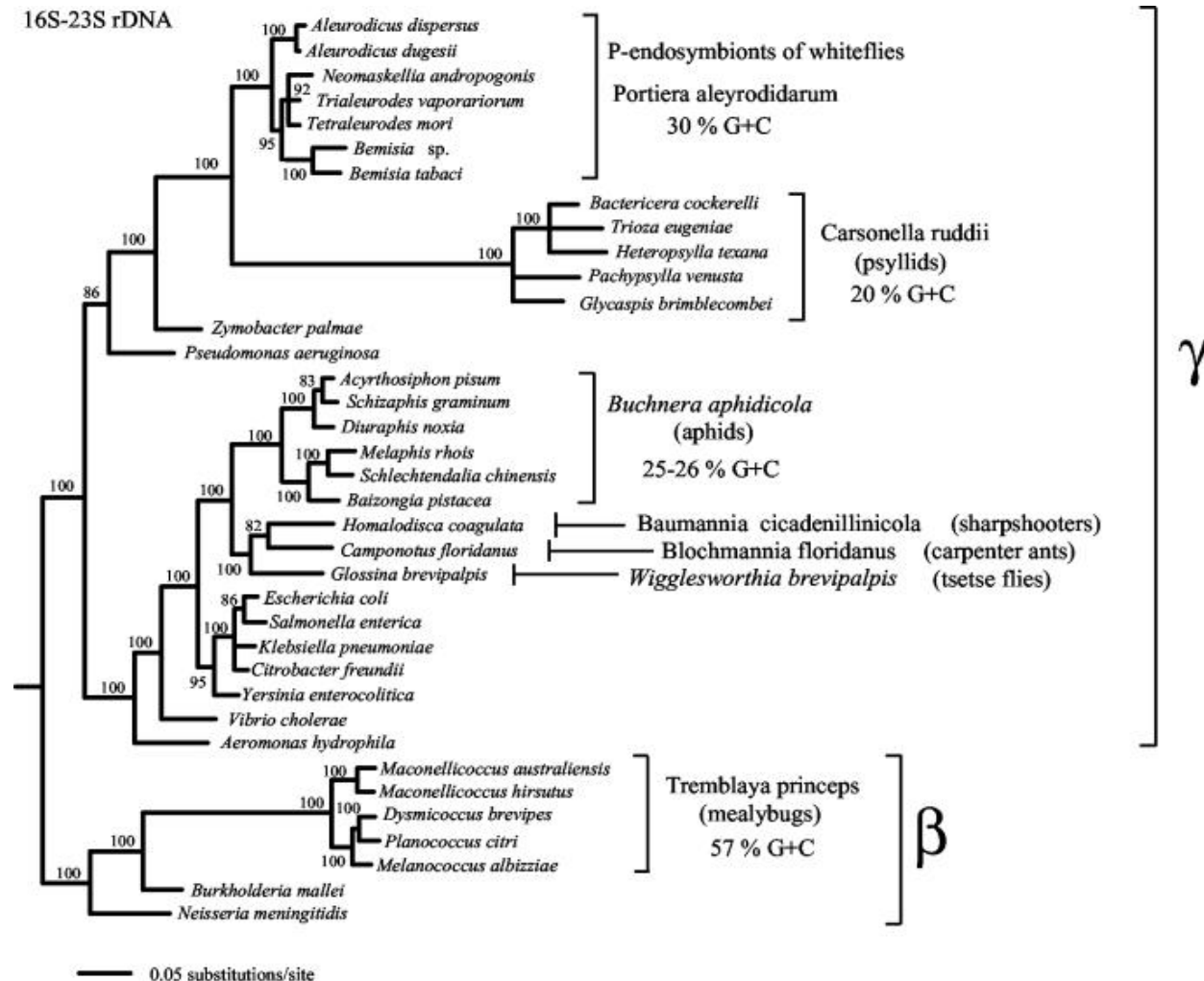
DETECTION DE TRANSFERT HORIZONTAL DE GÈNES

- Incongruence entre un arbre de gène et un arbre d'espèces



DETECTION DE TRANSFERT HORIZONTALE DE GÈNES

- Composition nucléotidique anormale (taux de G-C anormalement élevé)



- Distribution taxonomique anormale et grande similarité de séquence avec des séquences d'espèces éloignées

UN ALGORITHME EFFICIENTE POUR LA DETECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÈNES BASÉ SUR LA RÉCONCILIATION TOPOLOGIQUE

Pseudocode (Boc et al. 2010):

(Séquence-gène, Séquence-espèce) Procédure THg (THg-réticulogramme)

Début

Infer species and gene trees T and T_0 on the same set of species (i.e., leaves);

Root T and T_0 according to biological evidence or using an outgroup or a midpoint;

if (there exist identical subtrees with two or more leaves in T and T_0) then

Decrease the size of the problem by collapsing them in both T and T_0 ;

Select the optimisation criterion $OC = LS$ (least-squares), or RF (Robinson and Foulds distance), or QD (quartet distance), or BD (bipartition dissimilarity);

Compute the initial value of OC between T and T_0 ;

$T_0 = T$;

$k = 1$; // k is the Step index

while ($OC \neq 0$)

{ Find the set of all eligible HGTs (i.e., SPR moves) at step k (denoted by E_HGT_k);

The set E_HGT_k contains only the transfers satisfying the subtree constraint;

UN ALGORITHME EFFICIENTE POUR LA DETECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÈNES BASÉ SUR LA RÉCONCILIATION TOPOLOGIQUE

while (HGTs satisfying the conditions of Theorems 2 and 1 exist)

{ **if** (there exist HGTs εE_HGT_k and satisfying the conditions of Theorems 2) **then**

Carry out the SPR moves corresponding to these HGTs;

if (there exist HGTs εE_HGT_k and satisfying the conditions of Theorem 1) **then**

Carry out the SPR moves corresponding to these HGTs;

} Carry out all remaining SPR moves corresponding to HGTs satisfying the subtree constraint;

Compute the value of OC to identify the direction of each HGT;

$k = k + 1$;

Decrease the size of the problem by collapsing the identical subtrees in T_k and T_0 ;

Compute the value of OC between T_k and T_0 ;

}

Eliminate the idle transfers from the obtained scenario using a backward elimination procedure;

end.

UTILISATION DE T-REX POUR LA DÉTECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÉNOME (MUTATION DANS LE BACTERIOCYTE) DANS DEUX ESPÈCES DES INSECTES

Premier exemple:

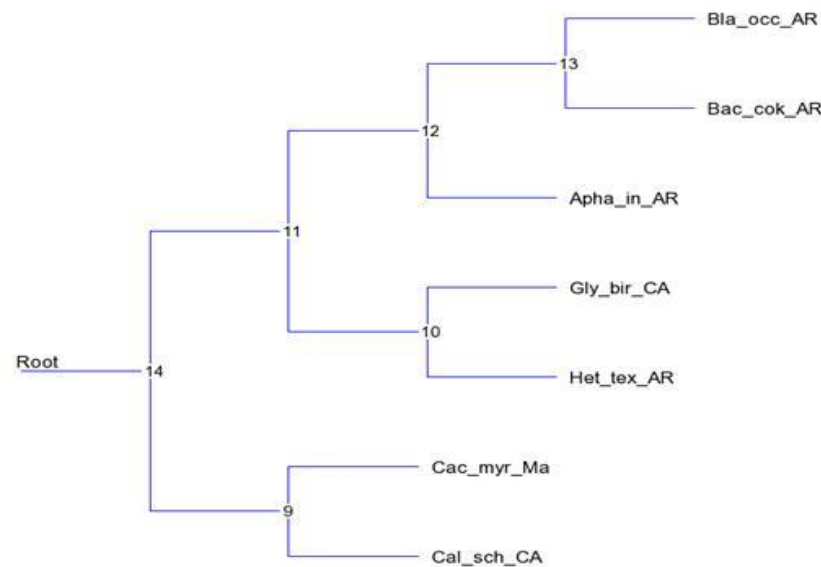
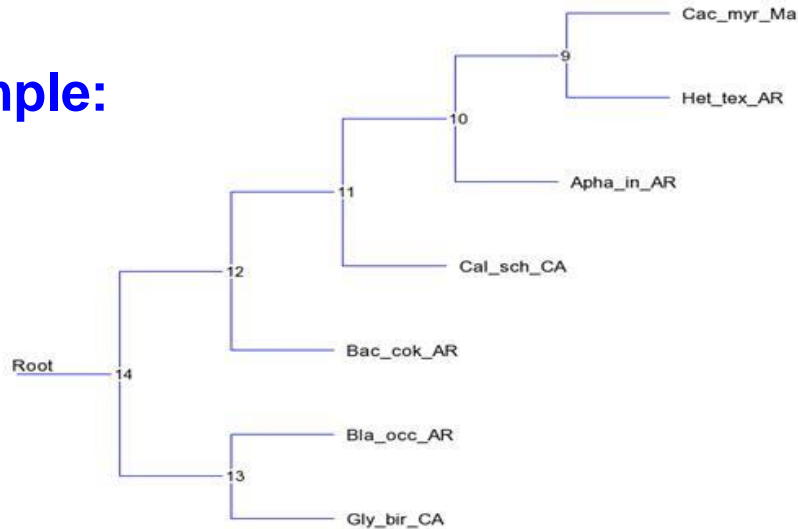
Données: 7 espèces de l'insecte Psylides, 6 provenant d'une seule région géographique (la Californie - Arizonie) et un dernier de l'île de Malta sont utilisées pour déterminer les séquences 16S et 23S rDNA extrait de ses endosymbiontes primaire et secondaire.

Résultat: Comme les Psylides sont des insectes dotés d'une capacité de déplacement significative pour la région Californie - Arizonie et le contact naturel entre les 6 taxons étudiés est donc viable; et comme l'algorithme THg a trouvé 5 transferts latéraux de génome avec au moins 50 % de support, nos conclusions sont :

- un THG-réticulogramme ou réseau est valide pour modéliser des relations phylogénétiques des Psylides et ses endosymbiontes.
- ou moins 4 transferts latéral de génome sont supportés par des différentes lignes des évidences, mathématiques comme biologiques.

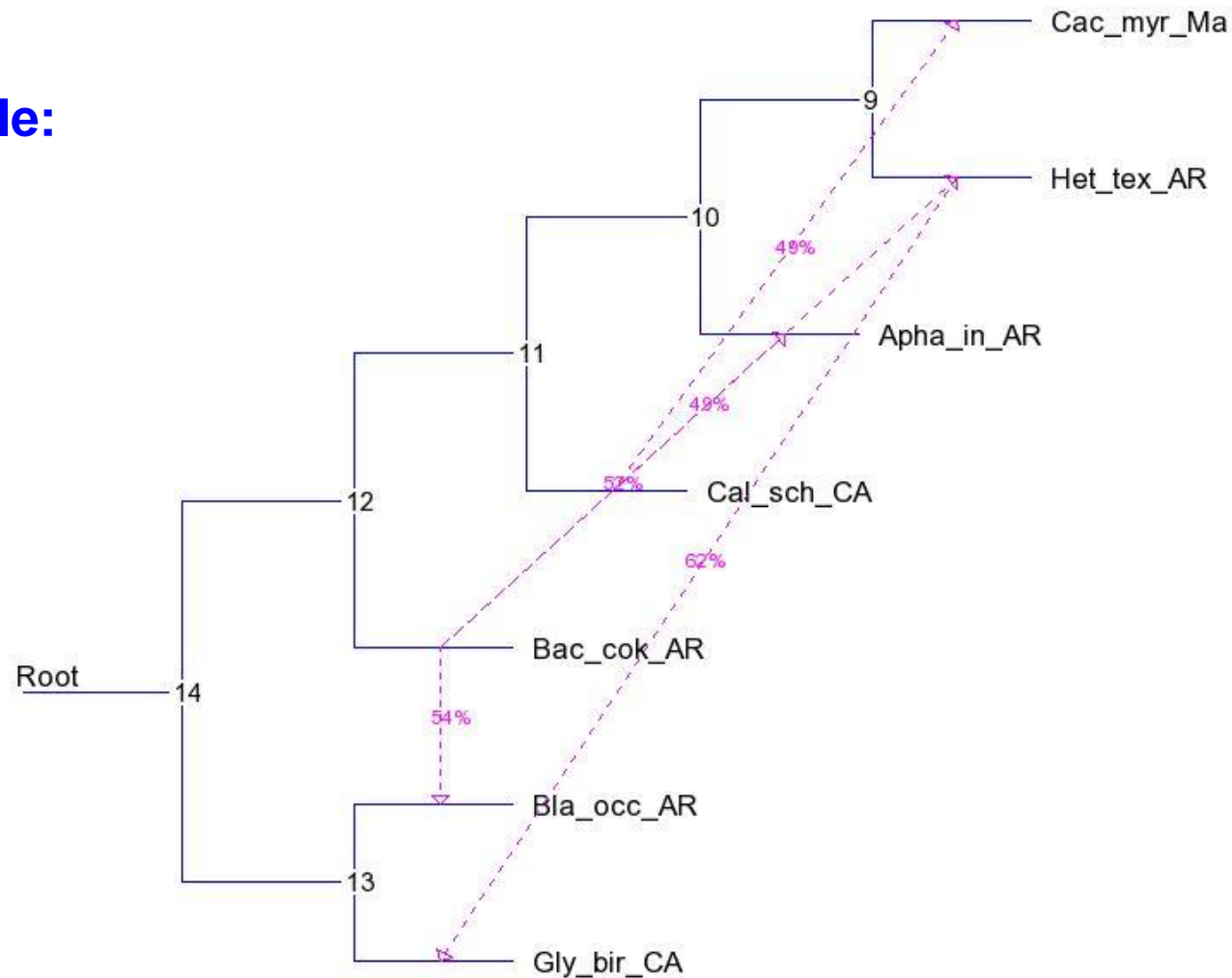
UTILISATION DE T-REX POUR LA DÉTECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÉNOME (MUTATION DANS LE BACTERIOCYTE) DANS DEUX ESPÈCES DES INSECTES

Premier exemple:



UTILISATION DE T-REX POUR LA DÉTECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÉNOME (MUTATION DANS LE BACTERIOCYTE) DANS DEUX ESPÈCES DES INSECTES

Premier exemple:

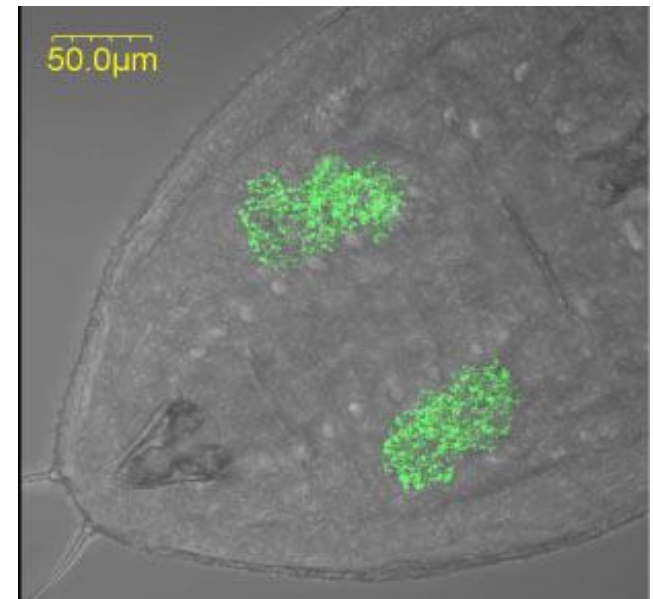


UTILISATION DE T-REX POUR LA DÉTECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÉNOME (MUTATION DANS LE BACTERIOCYTE) DANS DEUX ESPÈCES DES INSECTES

Deuxième exemple:

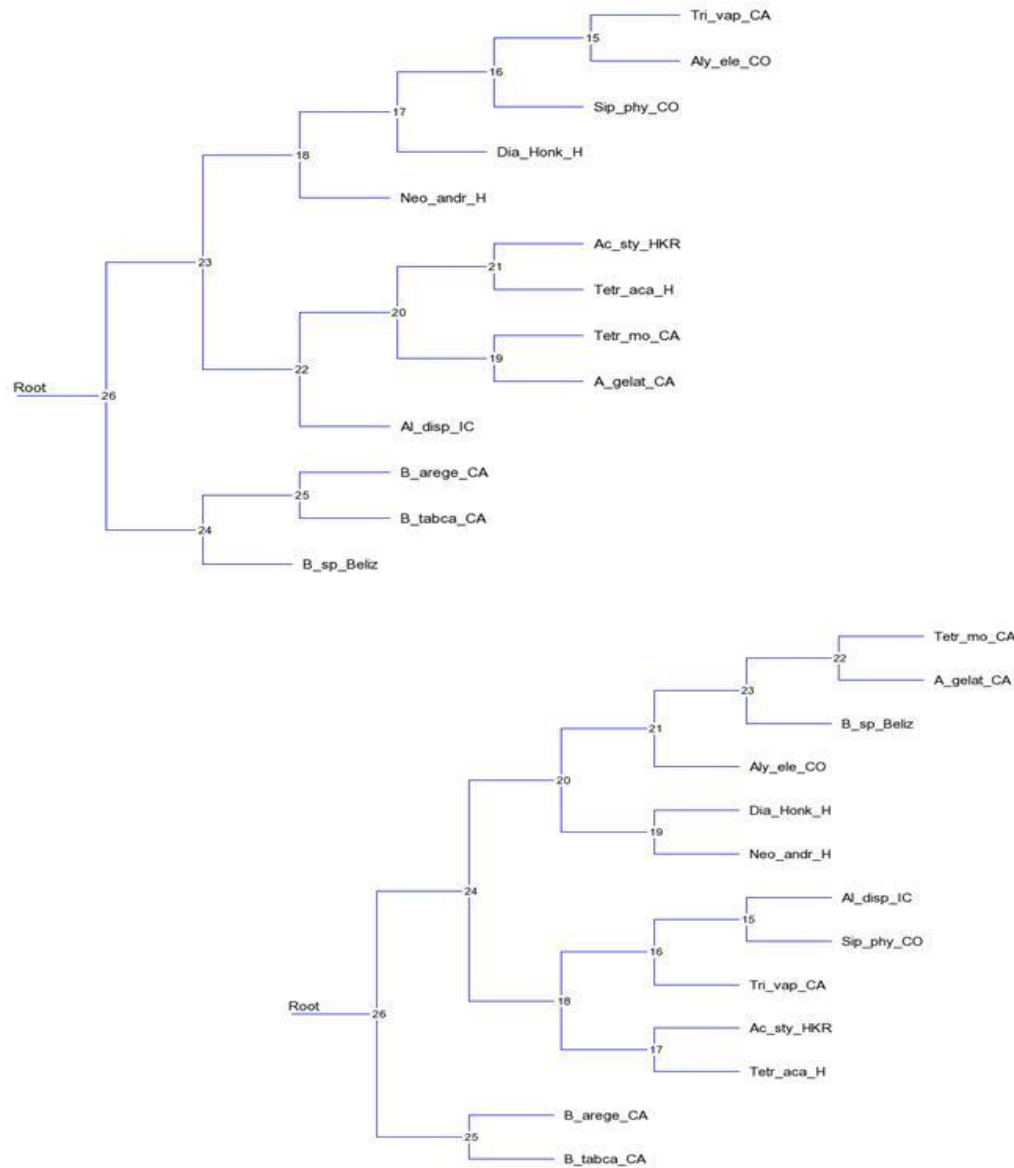
Données : 13 espèces de l'insecte provenant des pays éloignés comme les États unies et Hong Kong ont été utilisés pour déterminer les séquences 16S et 23S rDNA extraits de ses endosymbiontes primaire et secondaire. Ils ont trouvé des incongruences entre l'arbre des gènes et celui des espèces.

Résultat: juste 1 transfert peut être plausible, mais les conditions géographiques entre Hong Kong et les Îles Canaries nous font penser qu'il faut en avoir plus d'évidences pour donner de support à un possible THG-réticulogramme. Notre conclusion est qu'un THG-réticulogramme n'est pas valide avec des données reçus en entrée.



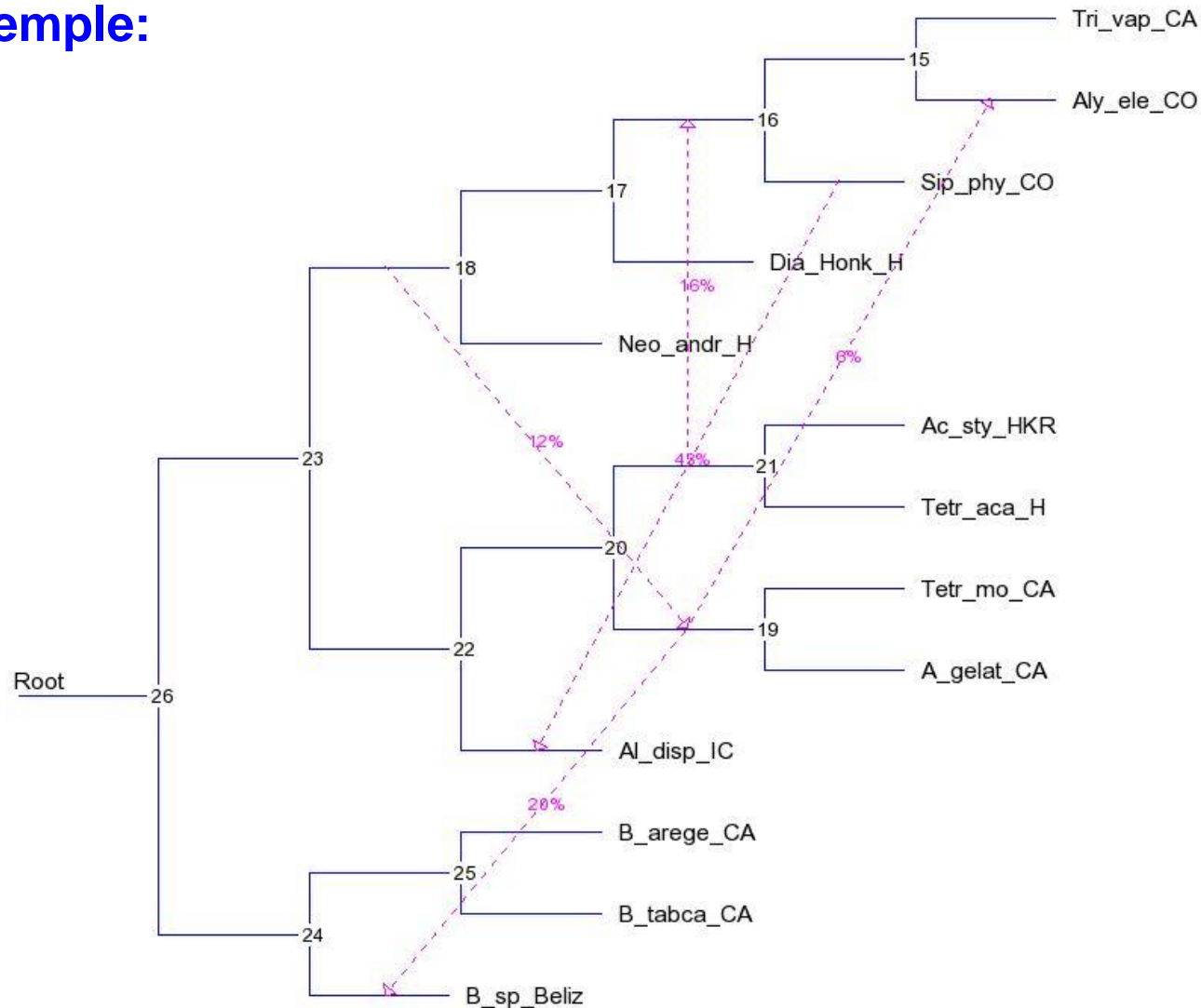
UTILISATION DE T-REX POUR LA DÉTECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÉNOME (MUTATION DANS LE BACTERIOCYTE) DANS DEUX ESPÈCES DES INSECTES

Deuxième exemple:



UTILISATION DE T-REX POUR LA DÉTECTION DE TRANSFERT LATÉRAL DE GÉNOME (MUTATION DANS LE BACTERIOCYTE) DANS DEUX ESPÈCES DES INSECTES

Deuxième exemple:



Fin de présentation