



TP 5 Diversification des êtres vivants

Quels processus, autres que les mutations sont à l'origine d'une diversification des êtres vivants?



Lycée E. Delacroix Tale S

I. Une diversification des êtres vivants par des modifications caryotypiques: Polyploïdisation / Hybridation

- Très fréquente chez les plantes (70% des Angiospermes ont eu au moins un évènement de polyploïdisation), plus rare chez les animaux
- Exemple de polyploïdes naturels chez les animaux: Cyprinidés (carpes à $4n$) - Salmonidés (truites) - Amphibiens des genres Rana (*R. delalandii*, *R. occipitalis*), Bufo (*Bufo pseudoraddei baturae*), Xenopus;



Chez certains annélides oligochètes (*Enchytreus*) et chez certains gastéropodes (*Bulinus*)



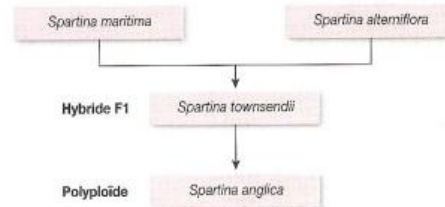
Un mécanisme de diversification des génomes

Quand elle est possible, l'hybridation entre deux individus d'espèces différentes produit de nouveaux individus, en général stériles. Dans certains cas, une modification du génome des hybrides permet cependant de rétablir la fertilité. Il s'agit ici d'envisager l'importance évolutive d'un tel mécanisme.

A Un exemple d'espèce polypléide

- La spartine maritime (*Spartina maritima*, $2n = 60$) a été décrite au début des années 1800 dans les marais salants des côtes anglaises. En 1829, *Spartina alterniflora* ($2n = 62$), une espèce originaire d'Amérique, est introduite en Angleterre. Les deux espèces s'hybrident et produisent alors une nouvelle espèce nommée *Spartina townsendii*. Un appariement incorrect des chromosomes parentaux lors de la méiose rend cet hybride stérile ; sa reproduction asexuée efficace lui a toutefois permis de s'étendre.

Très rapidement, une plante fertile, issue de *Spartina townsendii*, est apparue. Cette nouvelle plante a été nommée *Spartina anglica* (photographie ci-contre). Celle-ci possède deux lots complets de chromosomes parentaux ; on dit que c'est une espèce polypléide. La méiose se déroule alors normalement.

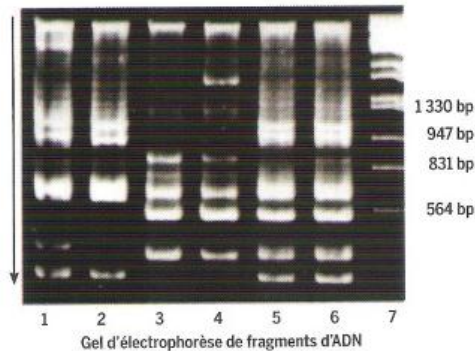


- L'électrophorèse de l'ADN est une technique couramment utilisée pour caractériser l'ADN d'une espèce ou même d'un individu.

Les molécules d'ADN sont fragmentées par des enzymes puis placées dans un gel soumis à un champ électrique : les fragments, chargés négativement, migrent alors à des vitesses différentes, en fonction de leur masse et donc de leur longueur. On obtient finalement une succession de bandes qui caractérise l'ADN de chaque espèce.

Des chercheurs ont appliqué cette méthode à l'ADN des spartines. Le document ci-contre montre le résultat obtenu : les solutions contenant des fragments d'ADN amplifiés par PCR ont été déposées à la base du gel (chaque numéro correspond à un individu).

La ligne de référence, réalisée avec des fragments de longueur connue, permet de déterminer la taille des différents fragments (exprimée en paires de bases, notées bp).



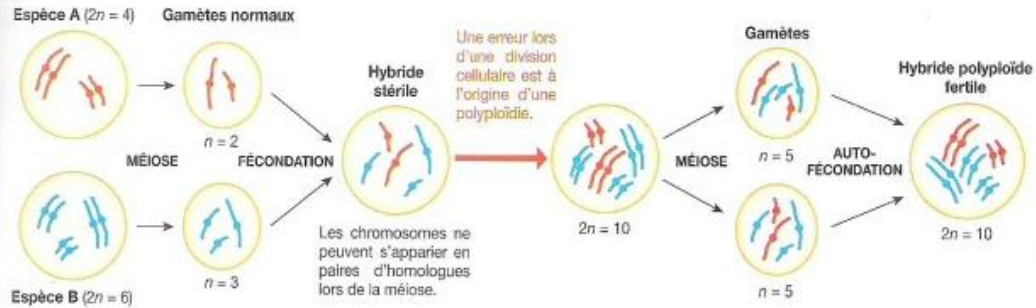
1 et 2 : *Spartina alterniflora* ; 5 et 6 : *Spartina anglica* ;
3 et 4 : *Spartina maritima* ; 7 : ligne de référence.

D'après A. Baumel, M.-L. Ainouche et J.-E. Levasseur.

B L'importance de la polyploïdisation dans l'évolution des espèces

La polyploïdie peut résulter d'un doublement du stock chromosomique d'une même espèce : dans ce cas, on parle d'autopolyploïdie. Les espèces dites **allopolyploïdes** résultent, quant à elles, de l'addition du génome de deux espèces différentes.

Le schéma ci-dessous présente un mécanisme qui conduit à la formation d'une espèce polyploïde. D'autres mécanismes, comme la production de gamètes diploïdes résultants d'une méiose anormale, peuvent également être à l'origine d'espèces polyploïdes.



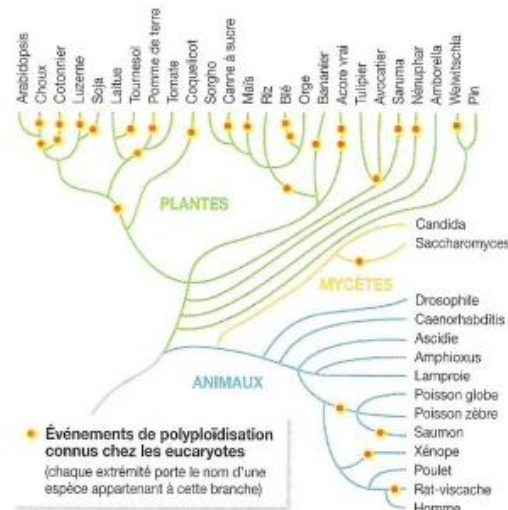
Doc. 2 Un mécanisme possible de formation d'une espèce polyploïde.

Sur cet arbre de parenté des eucaryotes sont situés les événements connus de polyploïdisation du génome. Chez les plantes, on estime que 70 % des angiospermes ont connu au moins un événement de polyploïdisation dans leur histoire. La polyploïdie est particulièrement importante chez le maïs et le blé (voir page 190).

Le tableau ci-dessous situe l'importance connue de la polyploïdie chez les animaux (nombre d'événements de polyploïdisation aujourd'hui identifiés).

Insectes	91
Poissons	50
Amphibiens	30
Reptiles	16
Oiseaux	0
Mammifères	2*

* Chez les mammifères, la polyploïdie n'est connue que chez une espèce de rongeur, le rat-viscacha (photographie ci-contre).

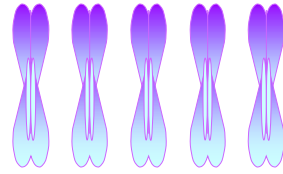


Doc. 3 L'importance de la polyploïdisation chez les angiospermes et chez les animaux.

Une espèce/forme polyploïde contient plus de deux jeux complets de chromosomes

Haploïde

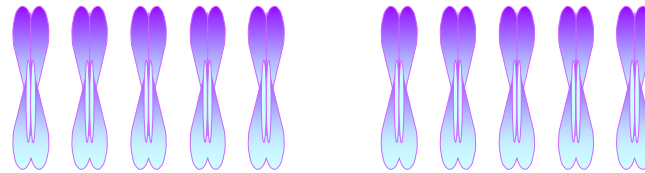
$$x=5$$



Le nombre de chromosomes de l'organisme est un multiple (>2) du nombre chromosomique de base

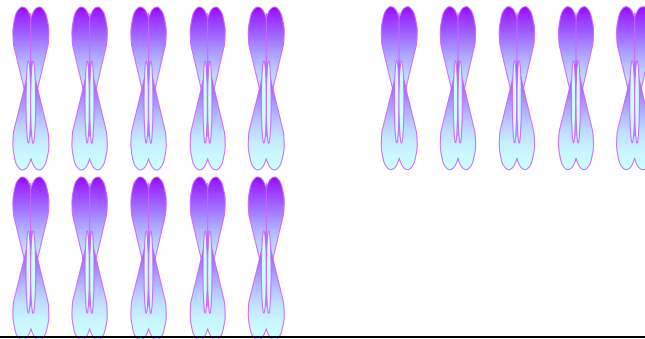
Diploïde

$$2x=10$$



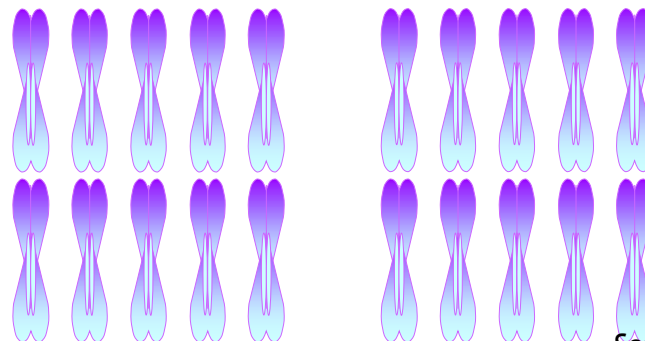
Triploïde

$$3x=15$$



Tétraploïde

$$4x=20$$



Pentaploïde (5x)

Hexaploïde (6x)

Heptaploïde (7x)

Octaploïde (8x)

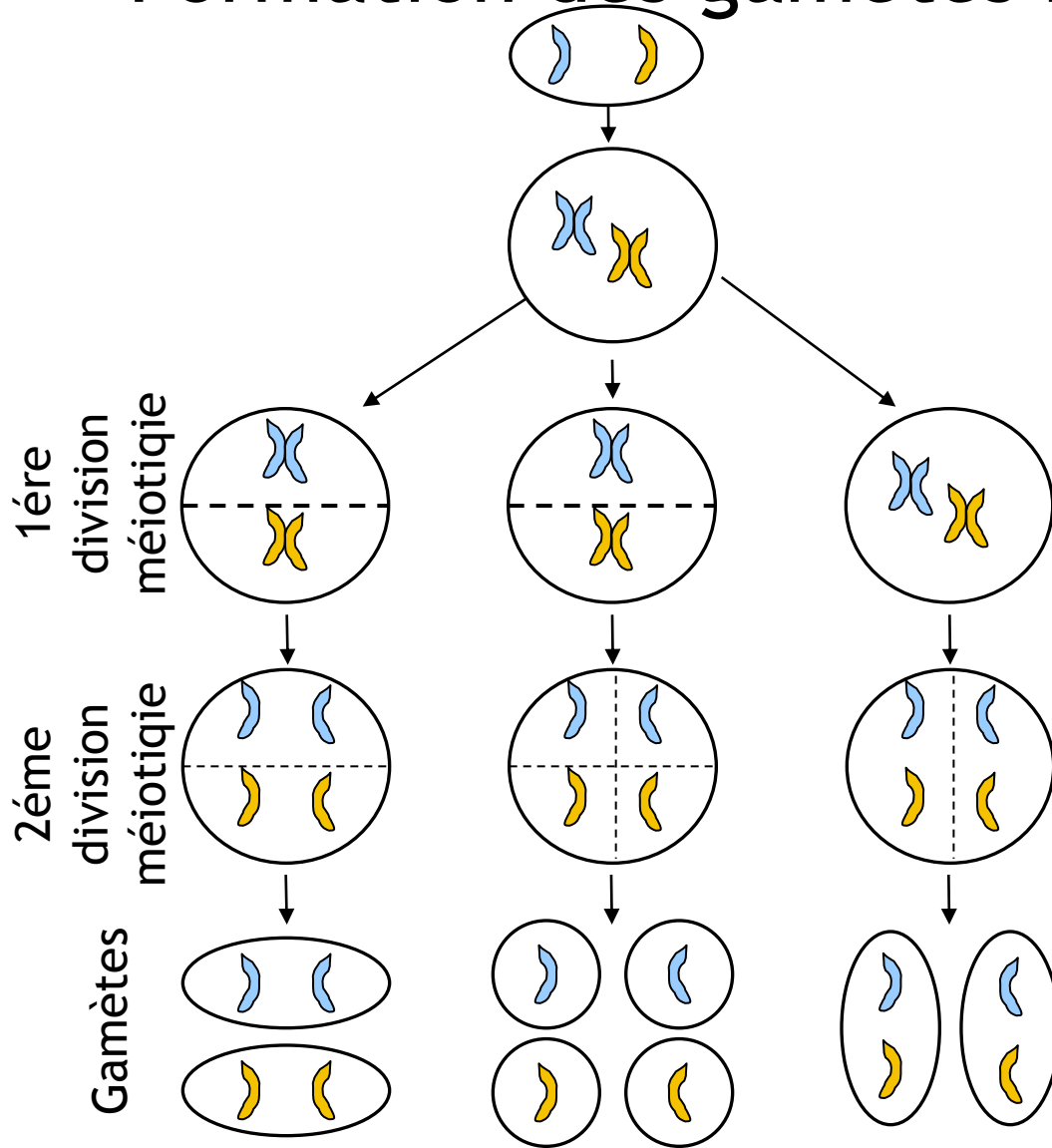
Monoploidie

- Abeilles mâles, guèpes, fourmi
 - Développement d'oeufs non fécondés
 - un seul set de chromosomes
 - production de gamètes par mitoses



- Généralement létal dans les autres systèmes
 - si l'individu survit jusqu'à l'âge adulte, pas de méiose, stérilité

Formation des gamètes non réduites



pas de formation du cytosquelette à la télophase 1 ou à la fin de la deuxième division

d'après Bretagnolle & Thompson, 1995

Exemple de doublement somatique : Polyploïdisation induite:

doublement de jeunes zygotes par endomitoses augmentée par

- *des agents physiques (choc thermique),

- *des agents chimiques
(colchicine = agent mitoclasique qui inhibe la polymérisation des fibres du fuseau achromatique;
caféine = inhibiteur de la cytokinèse)

Deux origines pour les polyploïdes

AUTOPOLYPLOÏDE : duplication des chromosomes au sein de la même espèce



Pomme de terre - 4x - 48 chromosomes

Banane - 3x - 33 chromosomes

Cacahuète - 4x - 40 chromosomes

Patate douce - 6x - 90 chromosomes



ALLOPOLYPLOÏDE : Hybridation entre deux ou plusieurs espèces



Tabac - 4x - 48 chromosomes

Coton - 4x - 52 chromosomes

Blé tendre - 6x - 42 chromosomes

Avoine - 6x - 42 chromosomes

Canne à sucre - 8x - 80 chromosomes

Fraise - 8x - 56 chromosomes



Autopolyploïde

vs.

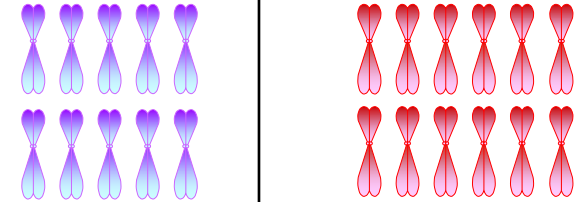
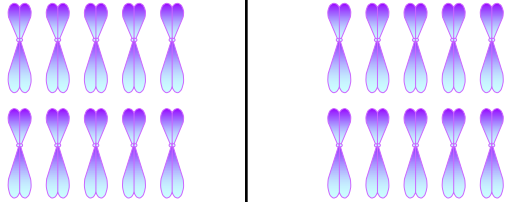
Allopolyploïde

Espèce 2x AA Espèce 2x AA

Espèce 2x AA Espèce diploïde BB

$2n=2x=10$ $2n=2x=10$

$2n=2x=10$ $2n=2x=12$

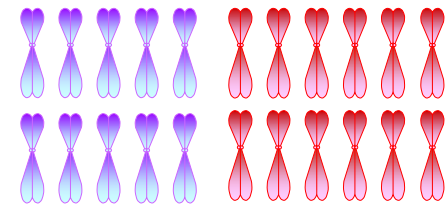
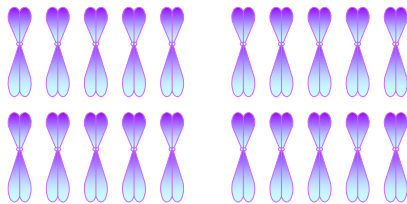


Espèce autotétraploïde

Espèce allotétraploïde

$2n=4x=20$

$2n=4x=22$



AAAA

AABB

autoP = duplication du même
génomme

alloP = association de génomes
différents

Origine monophylétique

Origine polyphylétique

D'autres espèces allopolyploïdes cultivées

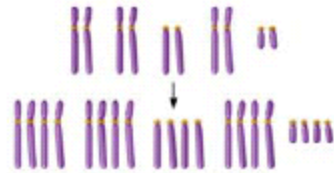
- arbres fruitiers: prunier domestique
- céréales : blé tendre, blé dur, avoine, ...
- colza, autres *Brassica*,

D'autres espèces autopolyploïdes cultivées :

- arbres fruitiers: Orangers, citronniers, mandariniers
- Plantes fourragères : trèfles, luzerne, certaines fétuques, dactyle, ray-grass (forme naturelle = diploïde)
- betterave
- plantes ornementales: Forsythia

Formation des autopolyploïdes

* Formation spontanée : Non-disjonction des chromosomes au moment de la méiose

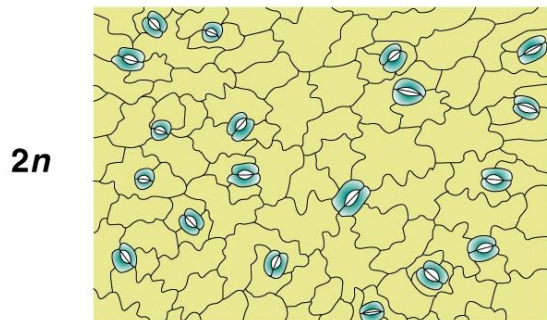


• Formation artificielle :

• Plantes triploïdes produites par des croisement entre diploïdes et tétraploïdes

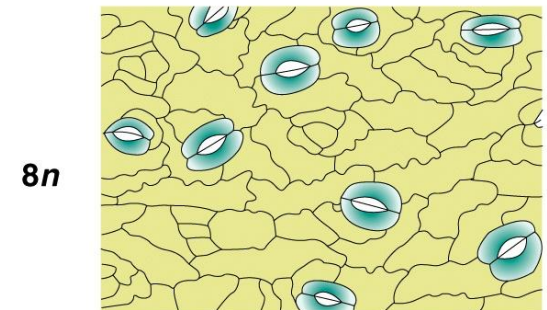
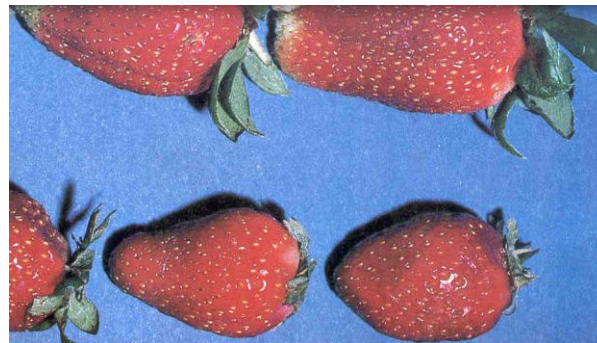
$2x \times 4x = \text{descendance } 3x$ (stérile, fruits sans graine)

• Plantes tétraploïdes produites par traitement à la colchicine



$2n$

(a)



$8n$

(c)

Conséquences instantanées de la polyploidisation

Effets nucléotypiques (conséquences biophysiques)

Augmentation de la taille de la cellule (effet de gigantisme)

parfois, effet de compensation à l'échelle de l'organe avec une diminution du nombre de cellules par organe

(intérêt chez les espèces fourragères polyploïdes: meilleure valeur nutritive et digestibilité car pour un même volume de tissus, moins de parois (lignine) et davantage de vacuoles (eau et composés solubles))

(2x < 4x naturels < 4x synthétiques)

Modification du taux de diffusion d'un certain nombre de molécules à travers la membrane cellulaire et notamment les gaz

Durée plus longue des cycles de la mitose et de la méiose. D'où une plus grande fréquence d'espèces annuelles diminue chez les polyploïdes

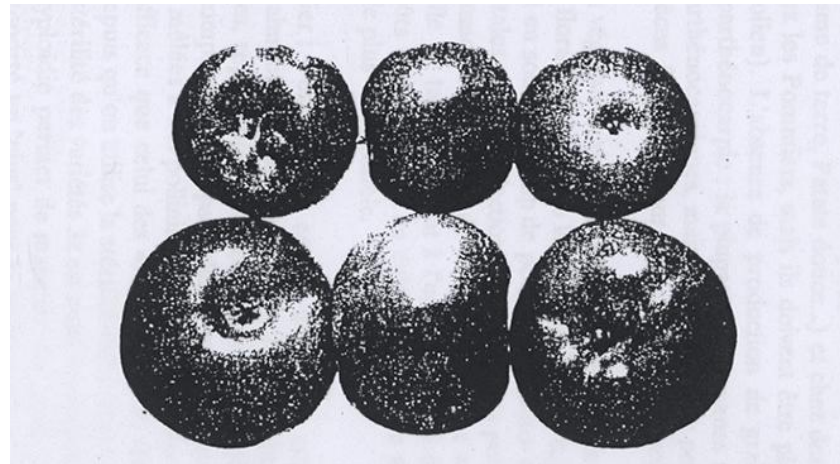
Effet du gigantisme



Feuilles de Trèfles violet diploïde (en haut) et tétraploïde (en bas) (Elliott, 1958)



Flours de Trèfle blanc diploïde (gauche) et tétraploïde (droite) (Elliott, 1958)



Fruits diploïdes (en haut) et tétraploïdes (en bas) de pommes de la variété MacIntosh (Müntzig, 1961)

Source: université Evry, cours sur la polyploïdisation

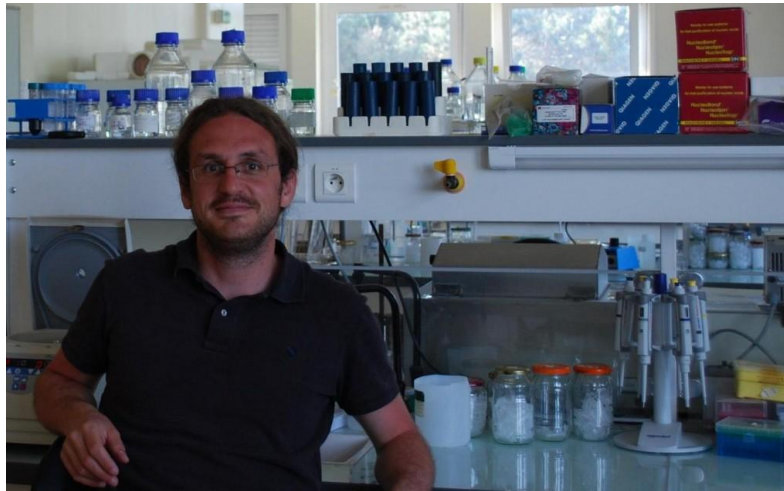
Etude de cas: les huîtres triploïdes

- Espèce non OGM, mais néanmoins créée en laboratoire (dans les années 1990 par l'Ifremer).
- Modalités d'obtention: Initialement par traitement chimique, mais trop dangereux et pertes importantes . D'où changement de processus: choc thermique pour obtenir des tétraploïdes, puis reproduction en éclosion entre ovocytes haploïdes issus d'individus diploïdes et spermatozoïdes diploïdes (issus d'individus tétraploïdes). Obtention de larves triploïdes, qui présentent une plus grande vitesse de croissance, de plus les adultes étant stériles ne sont donc jamais laiteux, concentrent leur énergie à leur croissance et non à la production (davantage de glycogène et possible amélioration de la valeur organoleptique).
- Avantages des huîtres triploïdes: robustesse face aux virus, absence de laitance, propriétés organoleptiques supérieures ?, vitesse de croissance augmentée, stérilité des huîtres triploïdes d'où absence de reproduction en milieu naturel.
- Inconvénients : dépendance des ostréiculteurs vis-à-vis des éclosiers, brevetage possible des USA, risque de dissémination des tétraploïdes non quantifié, absence de transparence pour le consommateur.

II. Une diversification des êtres vivants par l'apparition de nouveaux gènes (le transfert horizontal).

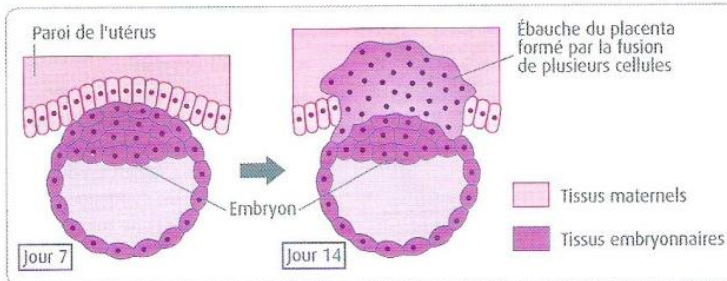
Ex de la syncytine des Placentaires héritée d'un virus!

« Les humains sont apparentés aux virus » Le Monde [28 mai 2012](#)

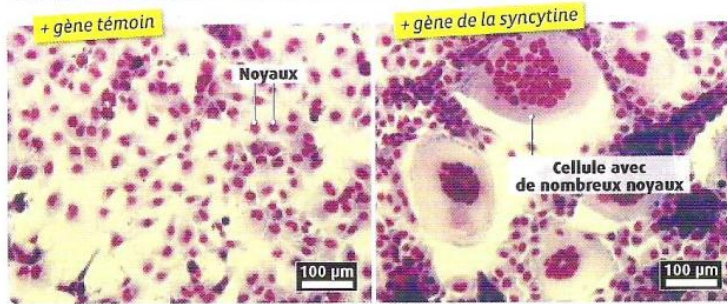


Un entretien avec Clément Gilbert

Clément Gilbert est chercheur au laboratoire Ecologie et Biologie des interactions (CNRS / université de Poitiers). Avec Cédric Feschotte, professeur à l'université du Texas à Arlington, il a récemment publié [un article dans Nature Reviews Genetics](#) consacré aux virus endogènes, ces virus dont le génome est intégré pour tout ou partie dans le génome des espèces-hôtes (dont l'espèce humaine) et qui ouvrent une fascinante fenêtre sur l'évolution du monde viral.



1 La mise en place du placenta chez l'Homme. Lors de l'implantation de l'embryon dans la paroi de l'utérus, certaines cellules de l'embryon fusionnent entre elles, formant ainsi des cellules « géantes » à plusieurs noyaux qui constitueront le placenta (structure permettant les échanges de nutriments et de dioxygène entre la mère et l'embryon).

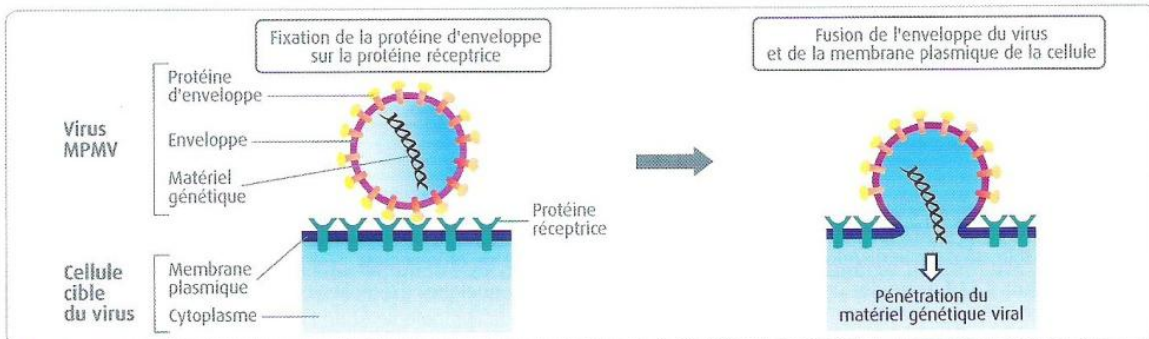


2 Une étude de la fonction du gène codant la syncytine. On introduit dans des cellules en culture incapables de fusionner entre elles, soit le gène codant la syncytine, soit un gène témoin sans effet sur la fusion des cellules. Les cellules sont ensuite observées au MO. Chez la femme enceinte, la syncytine est fortement exprimée dans le tissu placentaire qui résulte de la fusion des cellules embryonnaires.

TP J'UTILISE ANAGÈNE

Traitement	430	435	440	445	450	455																											
Identités	*	*	*	*	*	*																											
Humain_Syncytin_pr	Thr	Leu	Gln	Asp	Gln	Leu	Asn	Ser	Leu	Ala	Ala	Val	Val	Leu	Gln	Asn	Arg	Arg	Ala	Leu	Asp	Leu	Leu	Thr	Ala	Glu	Arg	Gly	Gly	Thr	Cys	Leu	Phe
MPMV_Envel_prot	Asp	-	-	-	Val	Asp	-	-	Glu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Gly	-	-	-	-	-	-	Gln	-	Ile	-	-	Ala		

3 Comparaison d'une portion de séquence de la syncytine humaine et de la protéine d'enveloppe du virus MPMV. La syncytine est exprimée chez tous les grands primates, mais chez aucun autre mammifère. Le virus MPMV infecte les primates. Les régions des protéines comparées ici (appelées F_v pour la protéine virale et F_h pour la protéine humaine) sont identiques à 80 %. (« . » et « : » = acides aminés aux propriétés chimiques identiques ; « * » : acides aminés identiques.)



4 La pénétration du virus MPMV dans une cellule. La région F_v (en jaune) de la protéine d'enveloppe du virus se fixe sur la protéine réceptrice de la cellule cible. Sa structure spatiale est identique à celle de la région F_h de la syncytine humaine.

B Une diversification des génomes par transferts horizontaux de gènes

- De l'ADN libre dans le milieu peut être intégré dans le génome de cellules en contact avec cet ADN. Ces transferts sont bien connus chez les bactéries, mais sont de plus en plus documentés chez d'autres êtres vivants. Ils pourraient ainsi concerner les cellules reproductrices d'espèces à fécondation externe. C'est également un des mécanismes par lequel des gènes, introduits dans des OGM et libérés dans le milieu, pourraient ensuite être intégrés par d'autres êtres vivants.

- Certains virus (les **rétrovirus**) intègrent leur information génétique à l'ADN de leur cellule hôte. Lors de la produc-

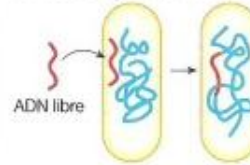
tion de particules virales par la cellule hôte, de l'ADN de cette cellule peut être incorporé dans l'enveloppe virale et être ainsi transmis aux cellules hôtes suivantes. Inversement, de l'ADN viral peut rester dans l'ADN cellulaire.

Les transferts par voie virale permettent ainsi d'expliquer la présence d'ADN viral dans différents génomes mais également d'ADN étranger non viral. Le génome humain contiendrait 10 % de séquences d'origine virale et le génome du maïs 50 %.

Un intérêt tout particulier est porté à ce type de transfert puisqu'il permettrait d'envisager des transferts vers les

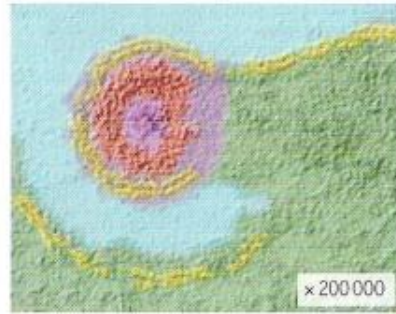
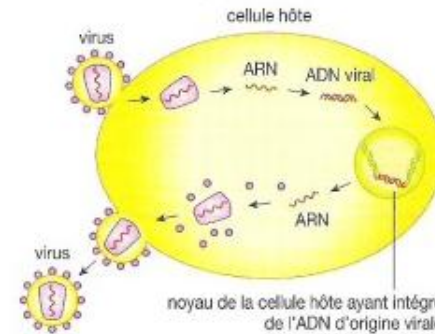
cellules germinales eucaryotes. Les virus sont par ailleurs des vecteurs utilisés en **thérapie génique**.

Transfert depuis le milieu extérieur



L'ADN libre passe dans la cellule et est intégré à l'ADN cellulaire.

Transfert par voie virale



Cellule de foie humain produisant une particule d'un rétrovirus infectant habituellement le porc (MET)
× 200 000

Doc. 2 Des mécanismes connus de transferts horizontaux.



a

Un arbre phylogénétique raconte habituellement une histoire évolutive des êtres vivants, par descendance et divergence (a). Si l'on souhaite ajouter à cet arbre les transferts horizontaux de gènes (ainsi que les événements d'hybridation, de recombinaison, etc.), on obtient un **réseau phylogénétique** qui traduit la complexité de l'histoire évolutive du vivant (b).



b

Doc. 3 La notion de réseau phylogénétique.

L'apparition de nouveaux gènes par transfert horizontal. Ex de la syncytine des Placentaires héritée d'un virus!

- ✎ Les virus étant des parasites intracellulaires obligatoires, leur reproduction passe par l'introduction de leur génome dans le noyau d'une cellule hôte. Ce génome peut alors être transmis aux générations suivantes à condition de n'être pas létal pour l'individu.
- Des études de séquençage de gènes viraux révèlent que la structure placentaire fut héritée d'un virus! Ainsi, par transfert horizontal de gènes (transfert de gènes d'une espèce à une autre et non d'une génération à l'autre), les êtres vivants se diversifient.
- Le transfert horizontal de gène, aussi appelé transfert latéral est un processus dans lequel un organisme incorpore le matériel génétique d'un autre organisme avec lequel il n'a aucun lien familial direct (père ou mère).

Autres exemples de transferts horizontaux



Quelques exemples :

- Des vers s'attaquent aux plantes grâce à des gènes dérobés aux bactéries (cf article INRA - revue PNAS - 12 octobre 2010)

http://www.inra.fr/presse/des_vers_s_attaquent_aux_plantes_grace_a_des_genes_derobes_a_des_bacteries

- Gène de la cellulose appartenant aux végétaux, présent chez un animal (l'ascidie) devenu capable de produire de la cellulose
- Gène de caroténoïde appartenant à certains végétaux, présent chez des pucerons devenus oranges (<https://www4.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Pucerons-et-recherche/Genomique>)

Gène de la porphyranase appartenant à la bactérie *Zabellia*, présent dans les bactéries de l'intestin de japonais mangeurs de sushi.

(<http://www2.cnrs.fr/presse/communique/1850.htm>)



De la photosynthèse chez les pucerons

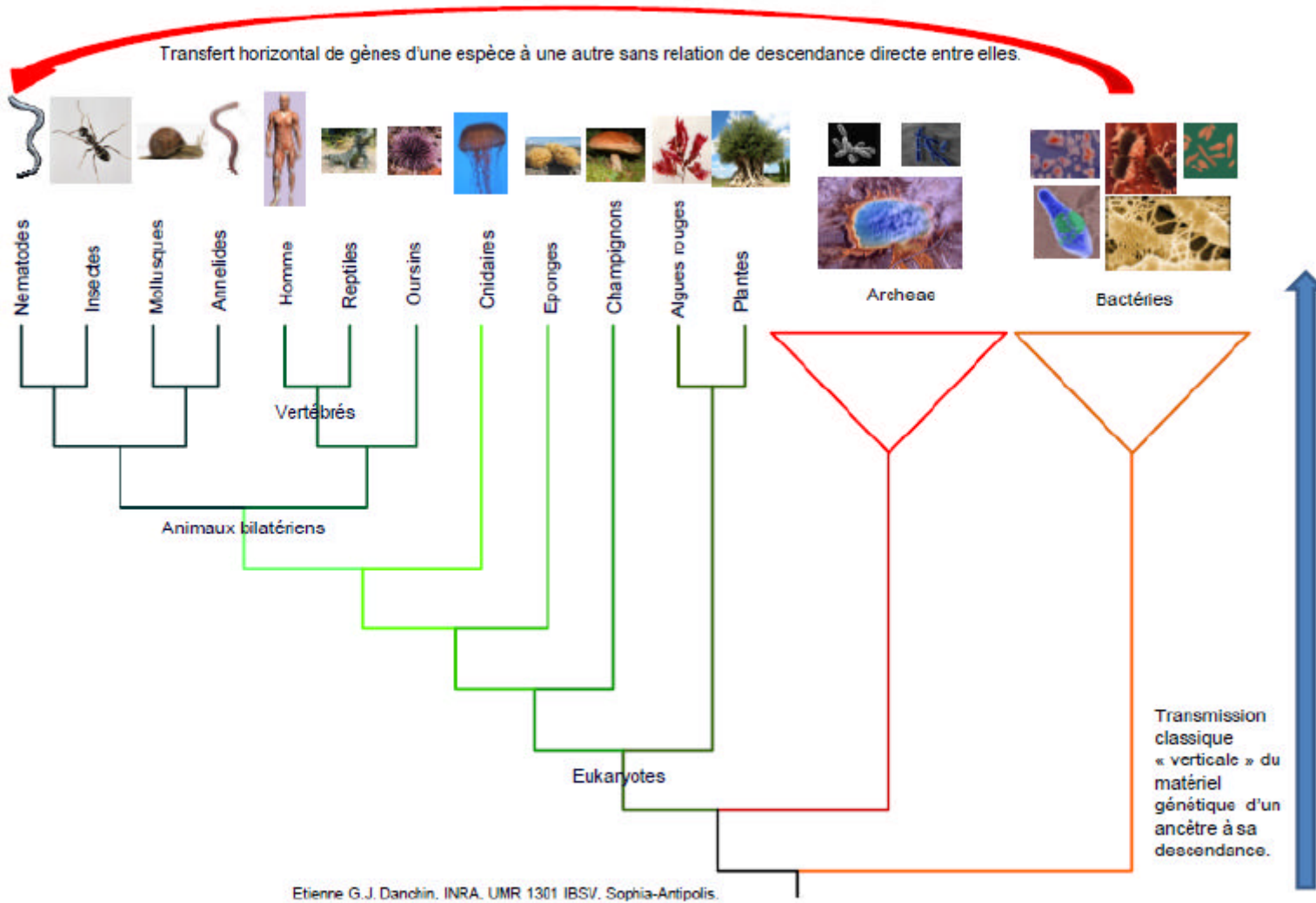
Article paru dans l'édition du 18.08.12 LeMonde.fr

- C'est peut-être une première chez des insectes. Les travaux d'une équipe française (Sophia-Antipolis Agrobiotech, à Nice) suggèrent que des pucerons (ou aphides) ont la capacité de faire de la photosynthèse, avec des caroténoïdes. Ces pigments organiques, principalement jaunes et orange, sont naturellement synthétisés par de nombreux organismes vivants (plantes, algues, bactéries et champignons), et ont un rôle dans la photosynthèse, qui consiste à synthétiser de la matière organique et exploitant la lumière du soleil. Les chercheurs français ont étudié des souches de pucerons orange, verts et blancs de l'espèce *Acyrtosiphon pisum*, qui se reproduit par parthénogenèse au printemps et à l'été. Chez les deux premiers, des indices laissent supposer que des caroténoïdes sont impliqués dans l'absorption de rayons lumineux et la récupération d'énergie pour augmenter la synthèse d'ATP dans les mitochondries (les usines énergétiques présentes au sein des cellules). Contrairement aux autres insectes, le génome des pucerons contiendrait les gènes nécessaires à la production de caroténoïdes, une caractéristique probablement héritée de champignons, avancent les chercheurs.



http://www.inra.fr/annee_darwin/nouvelles_especes/modeles_d_etude

Arbre schématique du vivant



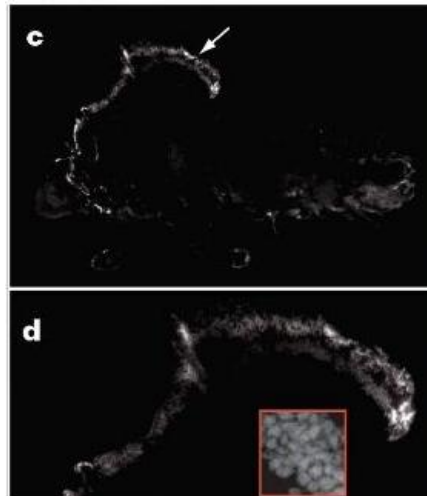
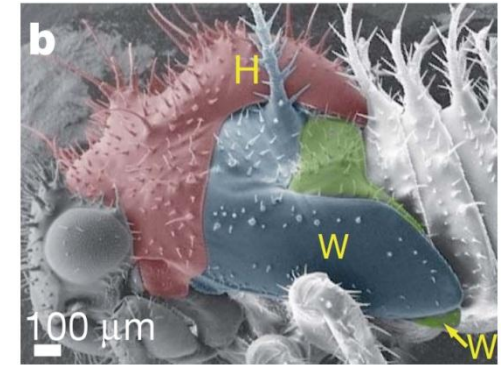
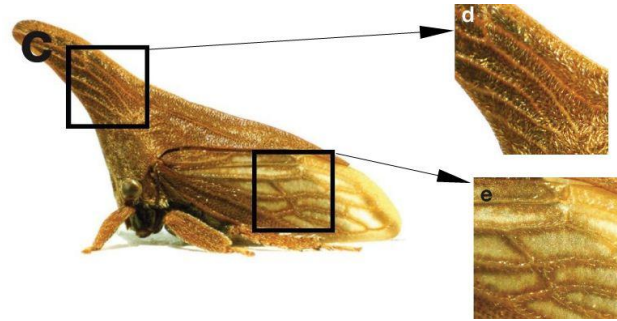
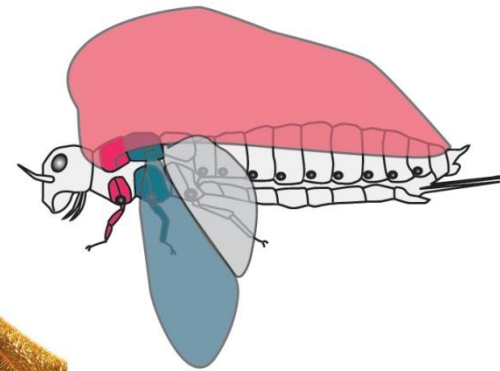
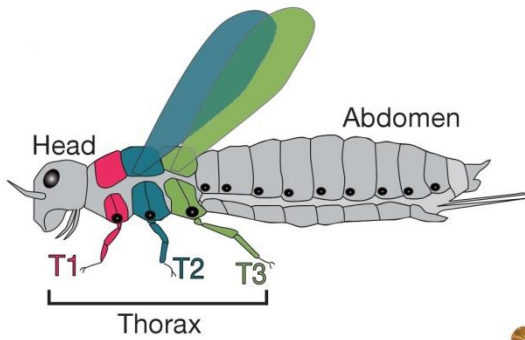
Etienne G.J. Danchin. INRA. UMR 1301 IBSV. Sophia-Antipolis.

<http://www.inra.fr/content/download/26642/343422/version/1/file/Arbre-danchin.pdf>

III. La diversification des êtres vivants par l'expression différentielle des gènes du développement

Ex: L'extrême diversité des Membracides, des Insectes à 3 paires d'ailes!

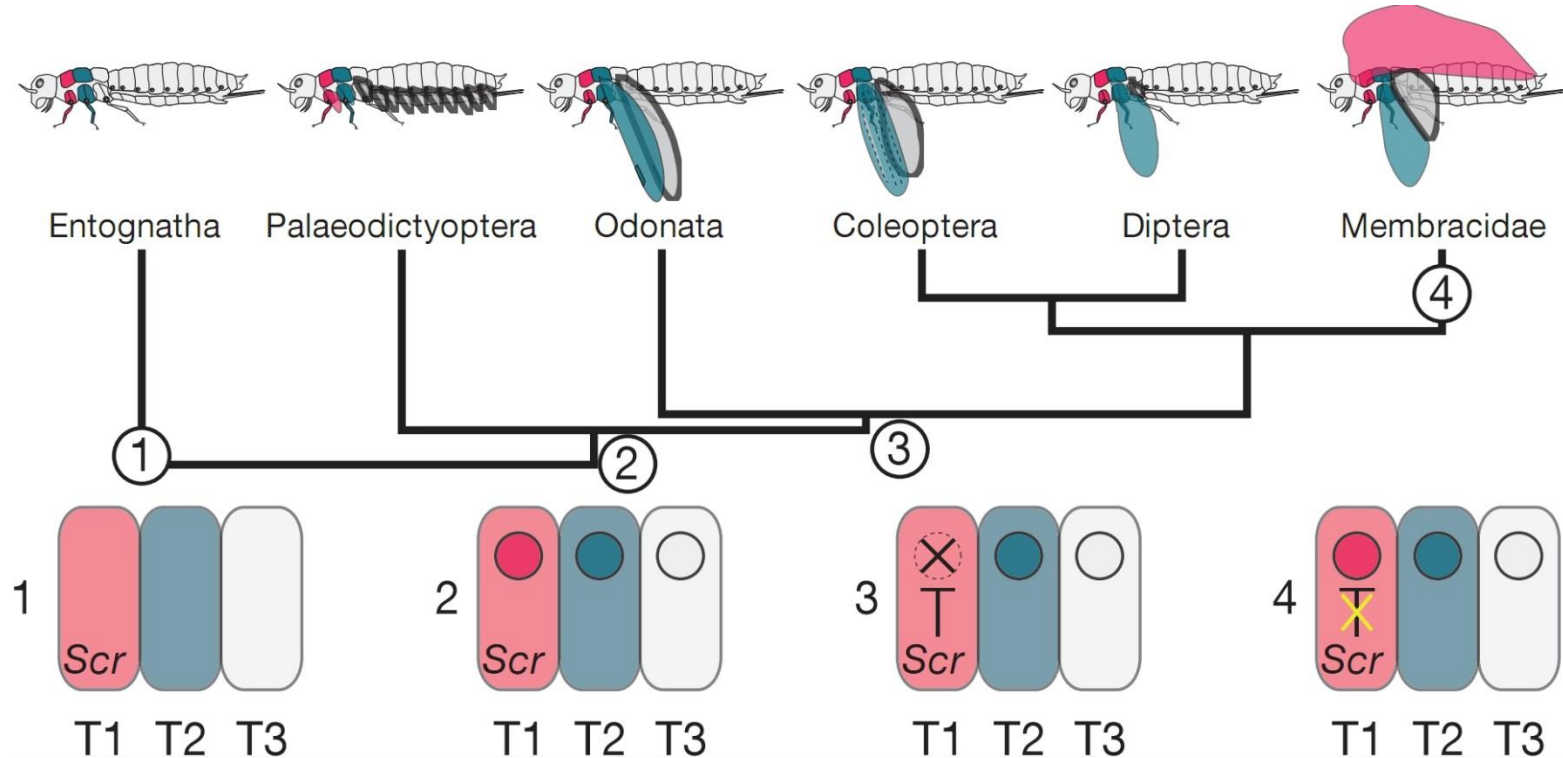




c : Larve de membracidé traitée aux anticorps ANTI-SCR.
La flèche localise le grossissement de la fig.d .

d : Répartition intra-nucléaire de la protéine résultant de l'expression du gène SCR

Document montrant l'évolution du lien régulateur entre le gène SCR et le développement des appendices thoraciques dorsaux



- Le nœud n°1 montre la présence du gène *Scr* dans le segment thoracique T1 (le gène *Scr* ne s'exprime que dans les segments antérieurs (tête et T1), et non sur des segments plus postérieurs (donc ni T2 ni T3). En revanche d'autres gènes de la famille Hox (à laquelle appartient *Scr*) s'expriment dans ces segments plus postérieurs (T2, T3 et les segments abdominaux).
- Le nœud n°2 montre la mise en place des gènes des appendices alaires dans les 3 segments thoraciques ;
- Le nœud n°3 montre la mise en place de l'interaction entre le produit de *Scr* et le gène de l'appendice alaire de T1 ;
- Enfin le nœud n°4 présente la rupture de l'interaction entre le produit de *Scr* et le gène de l'appendice alaire de T1 qui ce serait produit chez les membracidés et leur ancêtre commun.

Bilan sur la diversification liée à l'expression des gènes de développement

- Le casque, une 3^e paire d'aile modifiée : approche macroscopique, comparaison entre ailes et casque, mêmes structures,

Même déformation au stade larvaire 5 que T2 et T3

Loupe bino : même connexion au thorax via une pièce sclérifiée

Lors de la mue imaginale, développement similaire entre casque et aile

- Approche génétique: Marquage par anticorps révèle expression des gènes NUB, DLL, HTH, intervenant dans dvpt alaire au niveau du casque, preuve d'une expression supplémentaire de ces gènes dans T1

Chez Insectes à 4 ailes Gène SCR bloque NUB et est exprimé dans T1 sauf chez les membracidés. Mais pb : SCR est aussi exprimé chez les Membracidés dans T1!!

Or SCR des membracidés bloque bien le gène NUB et est exprimé dans T1 ! D'où possible gène répresseur en aval de SCR

- Inconvénient du casque : vol irrégulier, court et zigzagant... or au Carbonifère fossiles montre 3^e paire d'ailes, de plus actuellement 2500 espèces décrites en Amazonie !!
- Avantages : mimétisme d'autres Insectes (=protection), couleurs et tailles importantes (=> pouvoir attractif pour accouplement), rôle protecteur (???)
- Cln : l'expression différentielles des gènes homéotiques induit une diversification des êtres vivants ; ces innovations génétiques n'apportent pas toujours un avantage adaptatif et peuvent être neutres pour l'individu

Approche évolutive du casque: quel est son intérêt?

- Les auteurs avancent également que l'émergence d'une telle structure, sans aucune utilité pour le vol, explique pourquoi elle présente une telle diversité: il s'agit de l'effet de relâche de la sélection naturelle. Contrairement aux ailes qui subissent une pression de sélection gigantesque (toute modification du plan de l'aile peut avoir des conséquences dramatiques sur les capacités de vol de l'animal), cette troisième paire d'appendices pouvait subir des modifications drastiques sans trop de conséquences sur la survie de l'animal. Le paysage évolutif du casque des membracides était beaucoup plus large à explorer, ce qui explique pourquoi, en 40 millions d'années, les casques des 3600 espèces de membracides présentent une telle variété de formes! Le casque des membracides devenait ainsi la plateforme de jeu de l'évolution...

À propos des gènes de développement

→ Une conférence sur le site de l'Université de Tous Les Savoirs

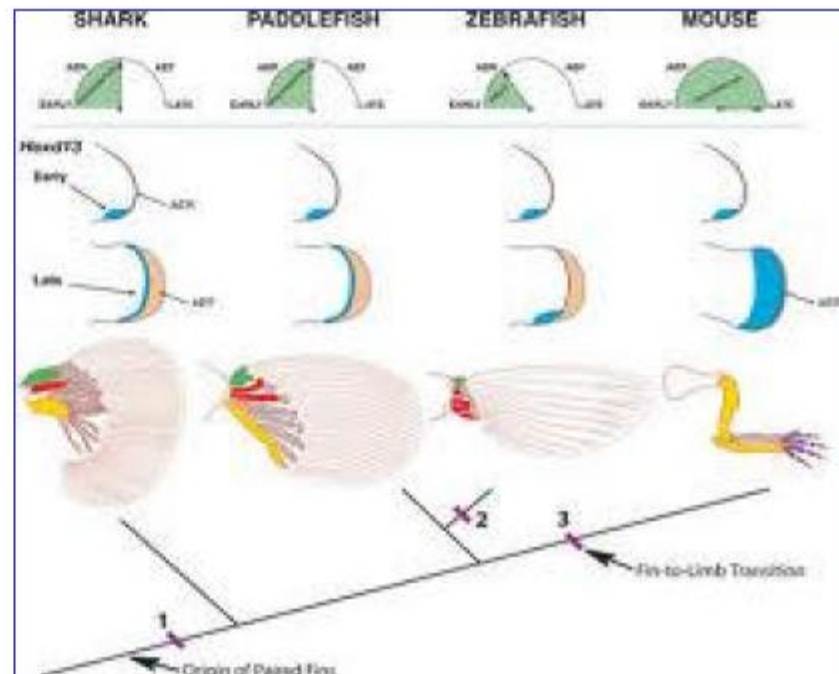
es gènes homéotiques et l'évolution des animaux

[http://www.canal-tv/video/universite de tous les savoirs/les genes homeotiques et l evolution des animaux.1291](http://www.canal-tv/video/universite%20de%20tous%20les%20savoirs/les%20genes%20homeotiques%20et%20l%20evolution%20des%20animaux.1291)

→ un exemple parmi d'autres : le gène Hox D13 chez les vertébrés :

le passage de la nageoire à la patte correspond non pas à une augmentation du nombre de gènes homéotiques mais à des zones d'expression qui diffèrent

→ Un autre exemple : la disparition des pattes chez les serpents (cf *ressource sur le site SVT de l'académie de Nantes*)

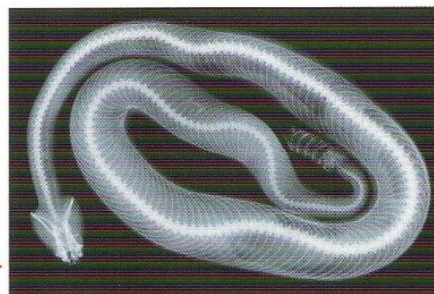


M. Dupuis - A. Le Mat - I. Imbert - Mai 2012

B Des gènes qui déterminent le nombre de pattes

Chez les vertébrés **tétrapodes** possédant des membres, il existe plusieurs types de vertèbres. Alors que les vertèbres thoraciques portent des côtes, les vertèbres cervicales et lombaires en sont dépourvues (tout comme les vertèbres caudales pour les animaux possédant une queue).

Les serpents sont caractérisés, quant à eux, non seulement par l'absence de pattes, mais aussi par la présence de côtes sur toute la longueur de la colonne vertébrale (*photographie ci-contre*).

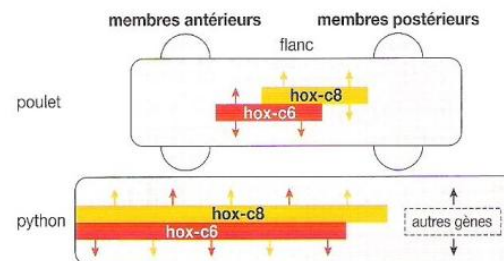


Radiographie d'un serpent (crotale) ▶ mettant en évidence son squelette

Chez les vertébrés possédant des membres, comme le poulet, ceux-ci se développent en avant et en arrière d'une zone délimitée par l'expression des gènes Hox-c6 et Hox-c8.

Chez les serpents, la zone d'expression de ces deux gènes est très étendue vers l'avant, expliquant l'absence de membres antérieurs ainsi que l'extension des vertèbres thoraciques.

Remarque : l'absence des membres postérieurs implique d'autres gènes du développement, non présentés ici.



Comparaison de l'expression de deux gènes Hox chez le poulet et le python

Doc. 3 Gènes homéotiques et absence de pattes chez les serpents.

Les insectes sont caractérisés par un corps typiquement segmenté en trois parties : la tête, qui possède les pièces buccales, le thorax, portant trois paires de pattes, et l'abdomen, dépourvu d'**appendices**. Comment peut-on alors expliquer que les chenilles possèdent, sur leur abdomen, des pattes rudimentaires (appelées « fausses pattes ») ? Les zones d'expression de certains gènes architectes apportent des éléments de réponse :

- Dll : Distal-less, gène architecte induisant le développement d'appendices.
- Abd-A + Ubx : gènes homéotiques inhibant l'expression de Dll.

• Chez le papillon adulte

Partie du corps	Tête	Thorax	Abdomen
Gènes exprimés	Dll	Dll	Abd-A + Ubx
Appendices développés	pièces buccales	pattes	aucun

• Chez la chenille

Partie du corps	Tête	Thorax	Abdomen
Gènes exprimés	Dll	Dll	Dll
Appendices développés	pièces buccales	pattes	fausses pattes



Chenille du Crête de Coq (un papillon nocturne)

Doc. 4 Gènes homéotiques et fausses pattes chez les chenilles.

Gènes du développement et morphologie

Les différences de plans d'organisation ou de formes entre espèces peuvent s'expliquer par l'intervention des gènes contrôlant le développement. Mais, plus que des différences génétiques, c'est souvent une différence d'intensité ou de chronologie d'expression de ces gènes qui est déterminante.

A Les pinsons de Darwin à l'heure de la génétique du développement



• En 1835, de passage dans l'archipel des Galápagos, Charles Darwin décrit des pinsons et répertorie treize espèces. Ces espèces diffèrent essentiellement par la taille de leur corps, la longueur et la largeur de leur bec. Darwin constate une corrélation entre le régime alimentaire des espèces et la morphologie de leur bec.

En effet, les pressions de sélection liées au type de nourriture disponible et l'isolement géographique

entre les îles de l'archipel expliquent la diversification des treize espèces actuelles à partir d'une même espèce ancestrale.

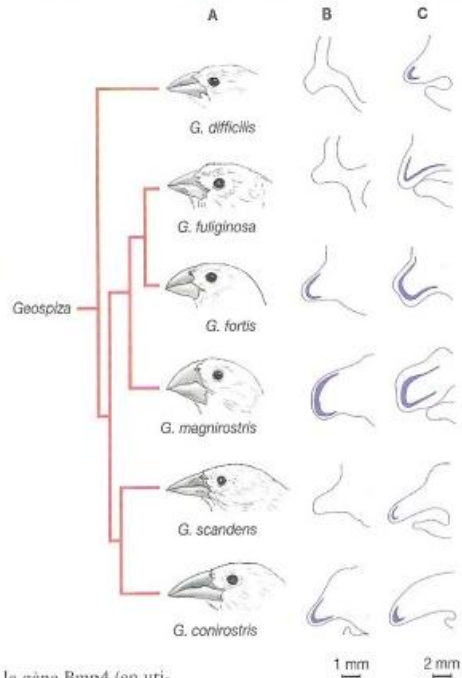
• En 2004, une équipe de recherche de l'Université de Harvard met en évidence une corrélation entre la chronologie et l'intensité d'expression d'un gène, nommé Bmp4, et la morphologie du bec des pinsons. *Un résultat est présenté ci-contre.*

- A : Phylogénie de six espèces de pinsons appartenant au genre *Geospiza* et forme de leur bec.

- B : Développement embryonnaire du bec (stade 26 = 4,5 jours) avec mise en évidence de l'expression du gène Bmp4.

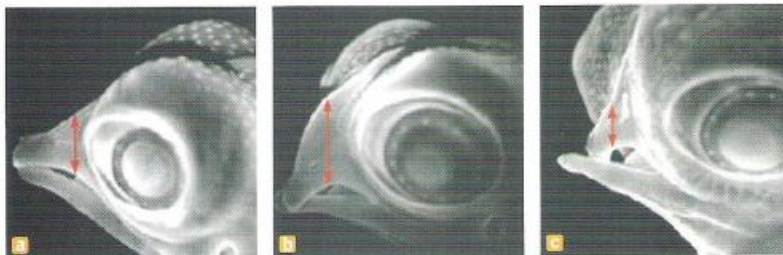
- C : Développement embryonnaire du bec (stade 29 = 5,5 jours) avec mise en évidence de l'expression du gène Bmp4.

L'intensité de la couleur traduit l'intensité de l'expression du gène.



Pour vérifier l'influence de ce gène, les chercheurs ont transféré le gène Bmp4 (en utilisant un virus comme vecteur) dans les cellules frontales d'embryons de poulet.

Les photographies ci-dessous ont été prises au même stade du développement des embryons.



a : bec d'un embryon non modifié
b : bec d'un embryon génétiquement modifié, sur-exprimant le gène Bmp4
c : bec d'un embryon génétiquement modifié, sous-exprimant le gène Bmp4

D'après A. Abzhanov, M. Protas, B. R. Grant, P. R. Grant, C. J. Tabin.

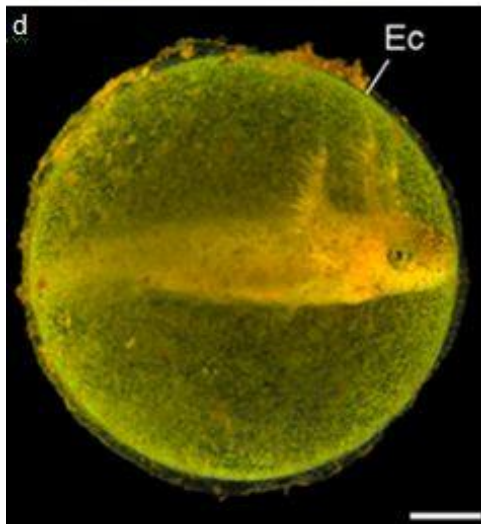
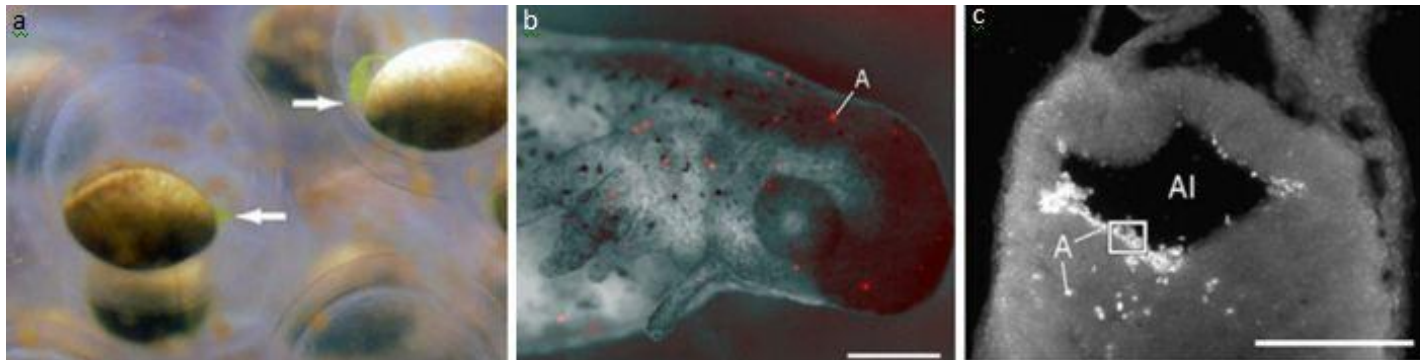
IV. Une diversification des êtres vivants non génétique: la symbiose

Ex: La salamandre et l'algue verte



- **L'endosymbiose est la coopération mutuellement bénéfique entre deux organismes vivants, donc une forme de symbiose, où l'un est contenu par l'autre.**
 - => *une situation à replacer dans son contexte environnemental (association à survie préférentielle pour les organismes dans un milieu donné)*
 - => *un phénomène qui peut avoir des conséquences très importantes (apparition de la lignée verte, ...)*

Document 1 : Une association très étroite : Clichés montrant le développement de la salamandre *Ambystoma* et la présence de l'algue *Oophila* :



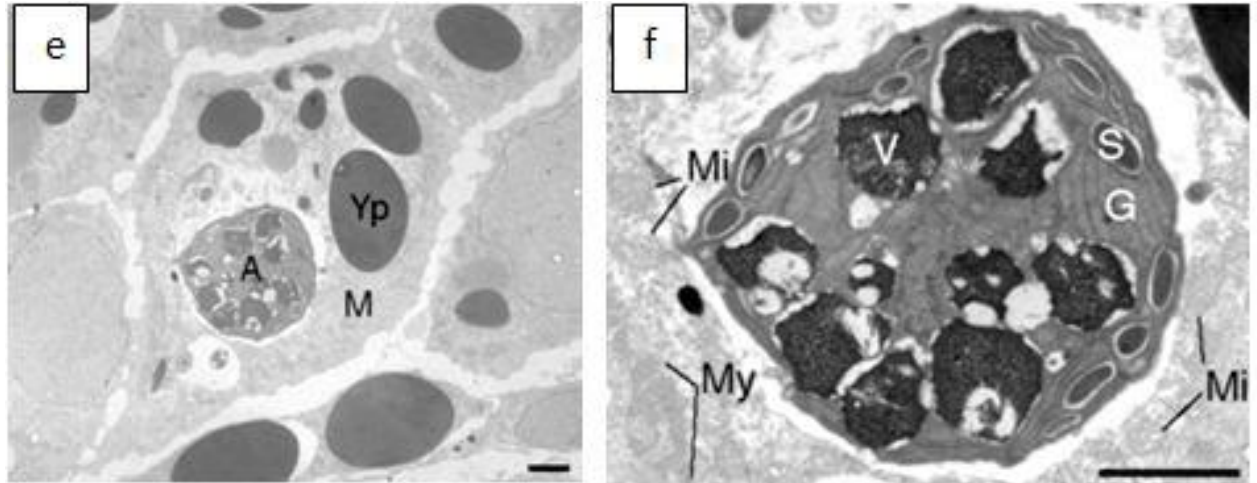
a- Embryon d'*A. maculatum* dans l'œuf au stade 15. Les flèches montrent un amas d'algues chlorophylliennes à un pôle (le blastopore) de l'embryon. (Aucune algue n'est trouvée à l'intérieur de l'embryon)

b- Embryon d'*A. maculatum*, extrait de son œuf et rincé abondamment, au stade 35. L'embryon montre (A) des cellules de peau auto-fluorescentes, du à la présence de chlorophylle.

c- Coupe transversale d'un embryon d'*A. maculatum* au stade 35. Des algues (A) sont visibles par fluorescence dans le canal alimentaire (Al) mais aussi dans les tissus environnants (futur s muscles).

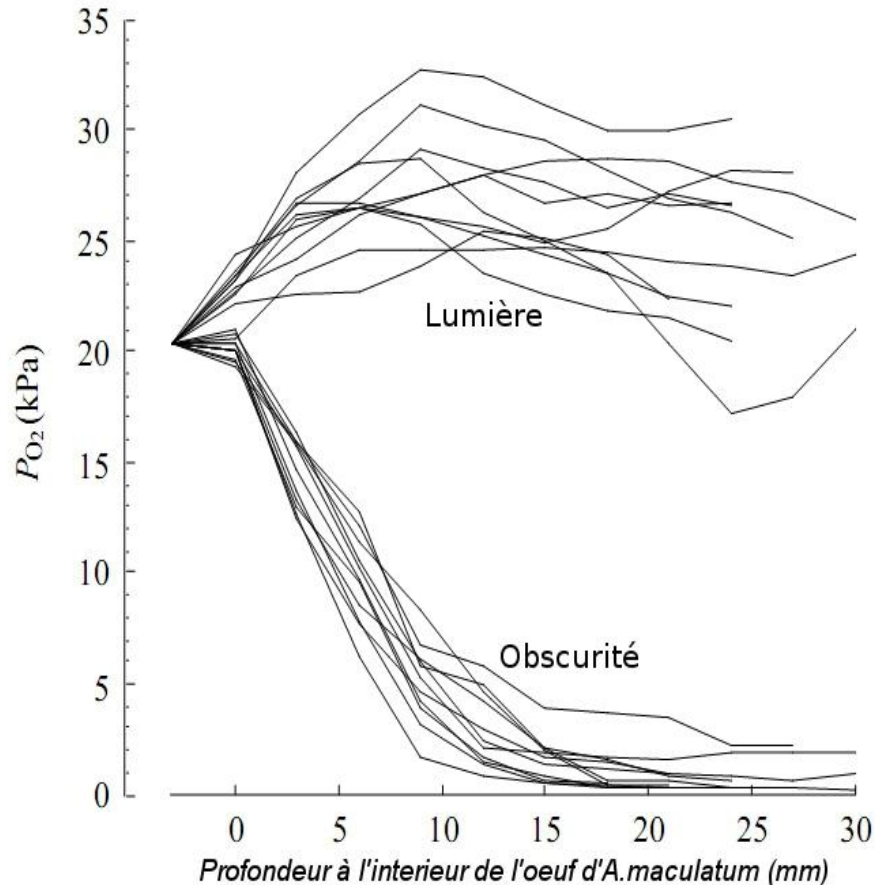
d- Embryon d'*A. maculatum* dans son œuf au stade 44. La couleur verte trahit la présence de l'algue chlorophyllienne.

Mise en évidence d'une endosymbiose



Le contact étroit des mitochondries de la cellule musculaire de la salamandre avec l'algue verte laisse supposer une relation métabolique entre les deux espèces: l'algue verte photosynthétique fournirait le dioxygène nécessaire à la respiration mitochondriale. Les déchets de la respiration de l'animal (CO_2 , matière organique) seraient utilisés par l'algue pour son métabolisme photosynthétique.

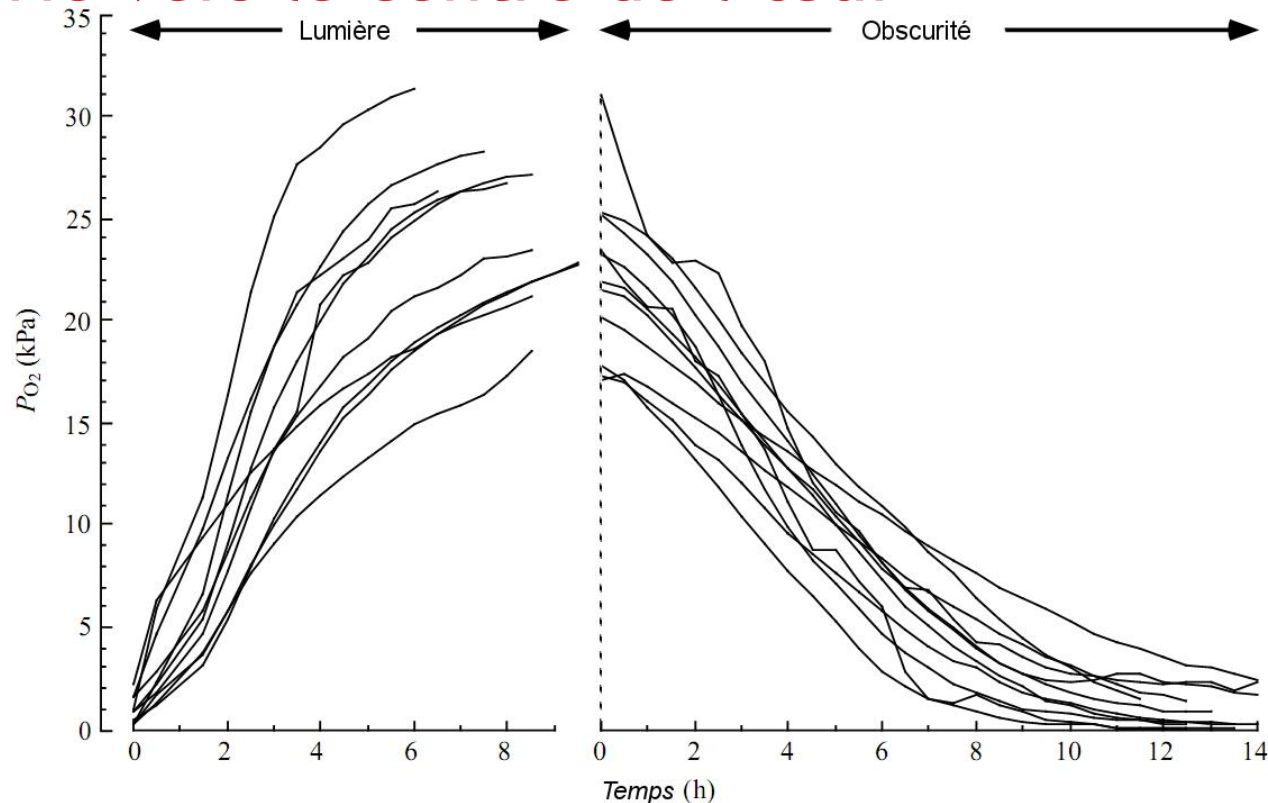
Document 2 : Effet de la présence de l'algue dans l'œuf :



Pression en dioxygène mesurée dans 11 œufs d'*A. maculatum* aux stades 38 à 42 du développement après au moins 10H d'obscurité ou de lumière.

L'algue apporte O_2 dans l'œuf et est présente aussi bien en périphérie qu'au centre (ou bien transfert de l' O_2 produit par l'algue de la périphérie vers le centre de l'œuf).
Comparaison avec l'obscurité: c'est à l'intérieur de l'œuf que l'effet de mutualisme algue-animal est notable. En effet, la pression partielle en O_2 à la périphérie de l'œuf est identique à la lumière comme à l'obscurité.

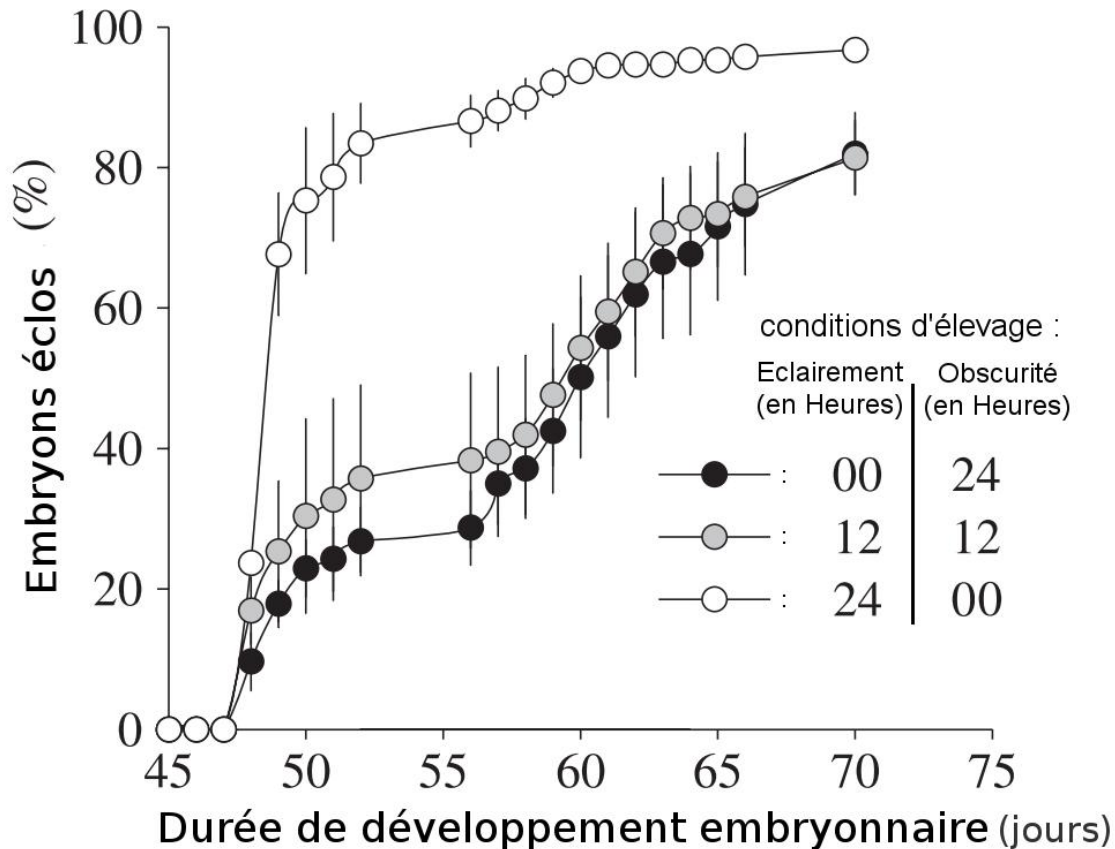
Mise en évidence d'un transfert de l'O₂ de la périphérie vers le centre de l'œuf



Pression en dioxygène au centre de l'œuf en fonction du temps, une fois les conditions d'éclairage modifiées.

- A la lumière, la pression partielle en O₂ au centre de l'œuf augmente progressivement, on en déduit un transfert du dioxygène de la périphérie vers le centre de l'œuf. Il semble que les algues soient majoritairement concentrées en périphérie de l'œuf.

Document 3 : Des bénéfices pour l'algue et pour la salamandre :

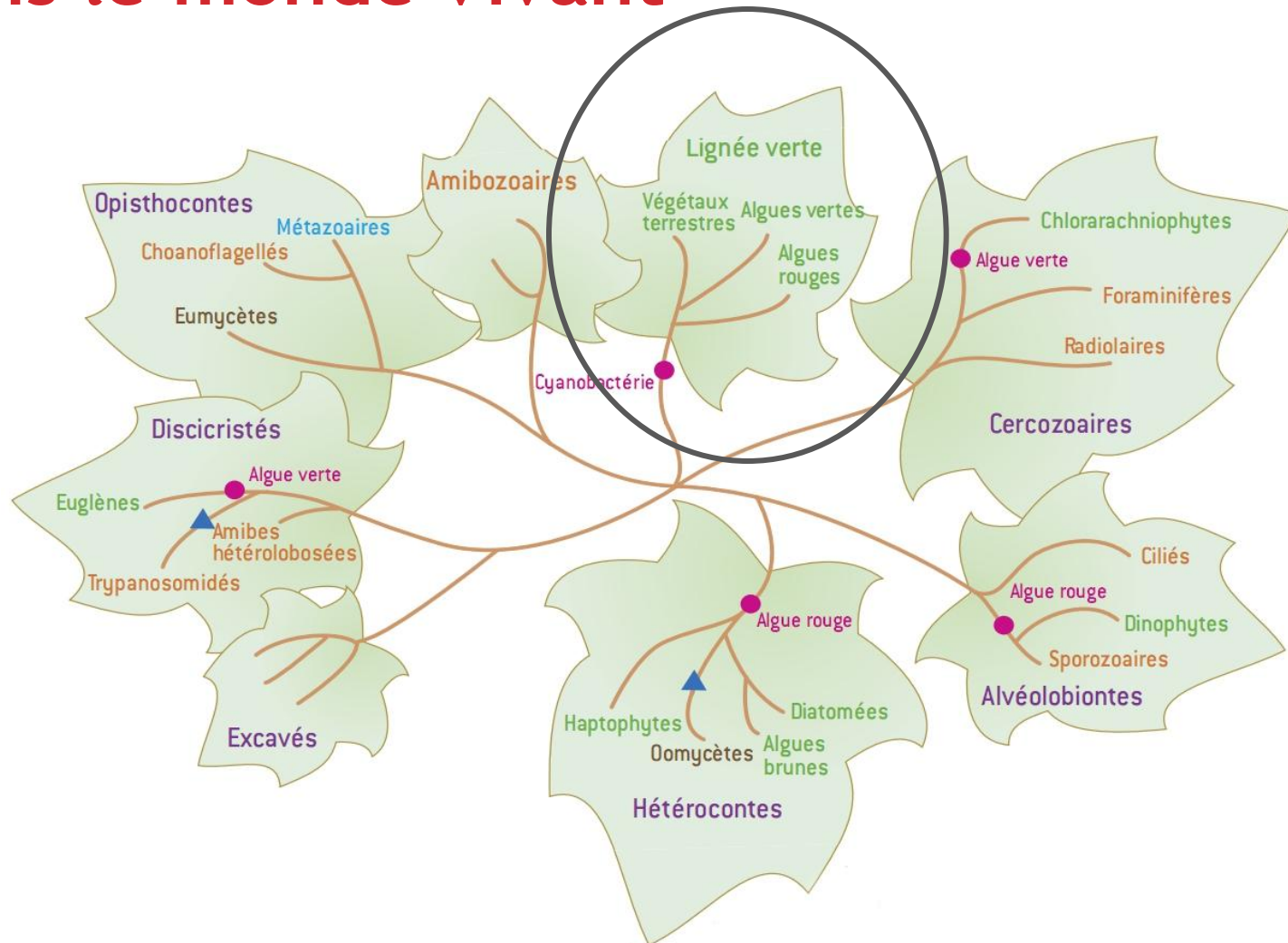


Mutualisme entre les deux espèces:

- Accélération de l'éclosion des salamandres grâce à une atmosphère enrichie en O₂ et apports de nutriments organiques nécessaires à la croissance

- multiplication des algues via activité photosynthétique favorisée par un environnement enrichi en CO₂ fourni par l'embryon (et non l'œuf!)

Document 5 : D'autres endosymbioses dans le monde vivant



Autres exemples d'endosymbiose

- Les cnidaires et les zooxanthelles formant les coraux
- L'acoèle (ver) et une algue verte http://pbil.univ-lyon1.fr/members/mbailly/Intro_Bio/1-diversite_vivant.PDF
- La théorie de l'endosymbiose à l'origine de la lignée verte



En haut : colonie de *S. roscoffensis* apparaissant à marée basse. En bas : zoom sur la colonie.

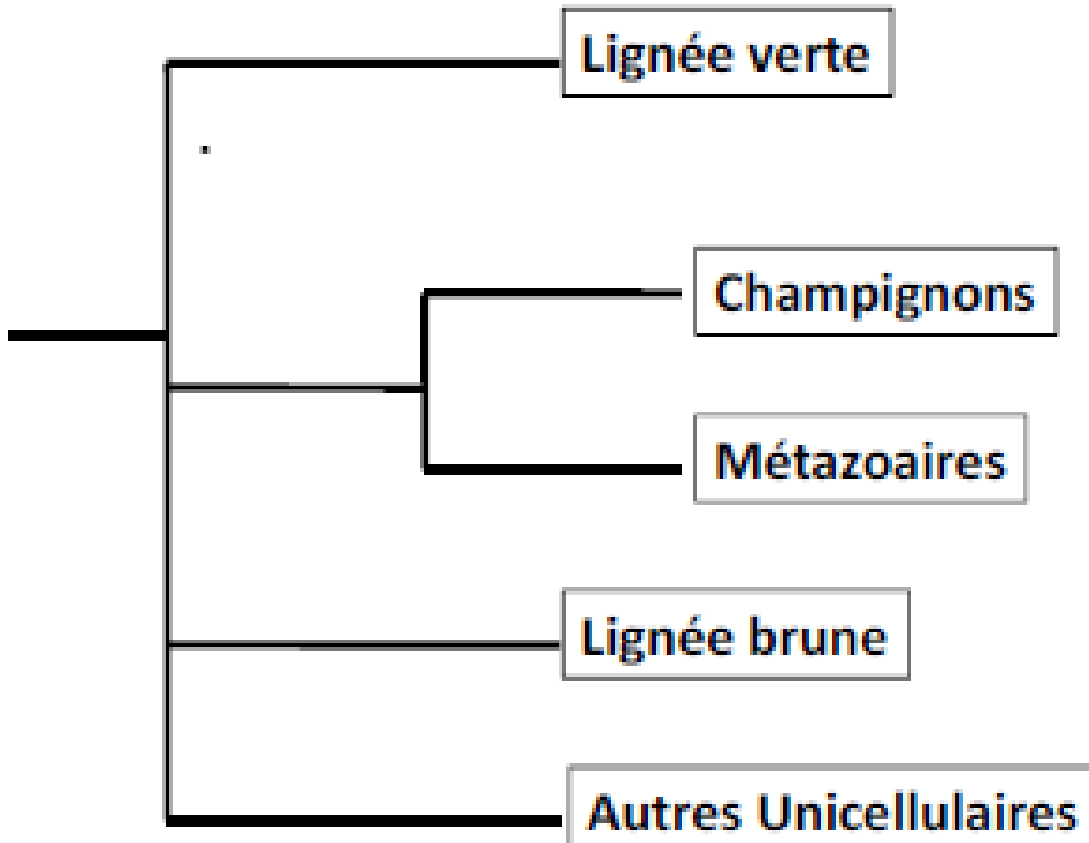


Certains adultes, de couleur plus pâle, sont gravides.

Les acoeles mesurent 4 à 5 mm.

Les Eucaryotes

Arbre simplifié d'après Lecointre et Le Guyader p.97



L'origine de la lignée verte, une endosymbiose

- Il y a plus d'un milliard d'années, une cellule à noyau concluait un accord avec une cyanobactérie : la photosynthèse de la seconde contre l'hébergement dans la quiétude de la première. En français, c'est une endosymbiose. Elle est à l'origine des plantes actuelles, ou « lignée verte ». Comment s'est passé cet événement fondateur ? Combien de fois a-t-il eu lieu ? Le génome d'un glaucophyte, organisme unicellulaire, indique qu'il ne s'est produit qu'une seule fois. Oui, la lignée verte serait monophylétique...

La lignée verte, théorie de l'endosymbiose

Endosymbiose et origine des plastes

Eucaryote
hétérotrophe

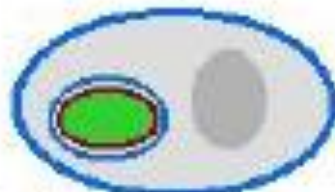


Descendant direct de l'organisme qui a effectué la première endosymbiose chloroplastique (une cyanobactérie)

Cyanobactérie



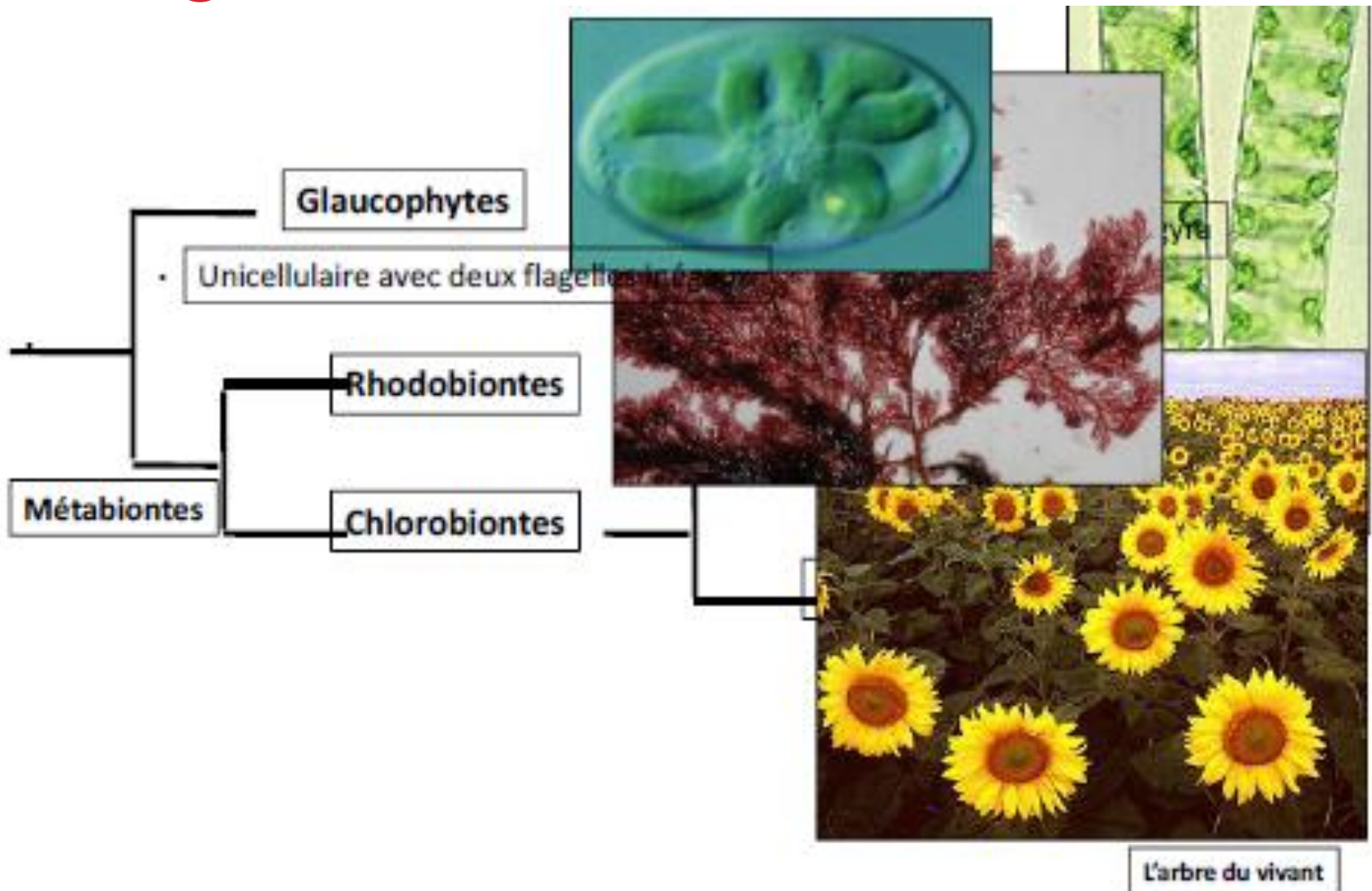
ENDOSYMBIOSE
PRIMAIRE



Plaste simple
(2 membranes)

Chlorobiontes
Rhodobiontes

La lignée verte



La lignée brune (les algues)

Chloroplaste entouré de quatre membranes
(endosymbiose secondaire d'un eucaryote unicellulaire de la lignée verte)
plus ancien fossile 700 millions d'années



Diatomées



Fucus vesiculosus

V. Une diversification des êtres vivants non génétique: l'apprentissage

- La notion d'empreinte : « processus d'apprentissage mis en jeu pendant le développement des jeunes et qui produit une modification durable d'un comportement. Cette empreinte pourrait être héritable, bien qu'elle ne soit pas génétique ».



Oiseaux mandarins



Macaque lavant une patate douce

Une transmission culturelle des comportements

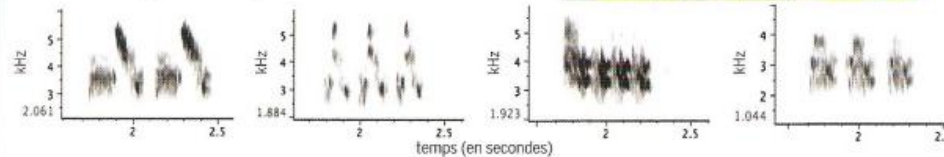
Les comportements animaux reposent sur des structures génétiquement déterminées mais résultent aussi d'un apprentissage. Chez les vertébrés, des comportements nouveaux, contribuant à la diversité du vivant, peuvent apparaître et se transmettre d'une génération à une autre par voie non génétique.

A L'apprentissage du chant chez les oiseaux

Geospiza fortis (photographie ci-contre) est une espèce de pinson des îles Galápagos. Les nombreux enregistrements sonores du chant de ces pinsons révèlent une grande diversité. Le chant de ces oiseaux est l'objet d'une sélection : en effet, les femelles ne chantent pas mais choisissent les mâles en fonction de leur chant.



Enregistrement du chant de quatre individus appartenant à l'espèce *Geospiza fortis* (fréquence, en kHz, en fonction du temps, en secondes).



Doc. 1 La diversité du chant chez les pinsons.

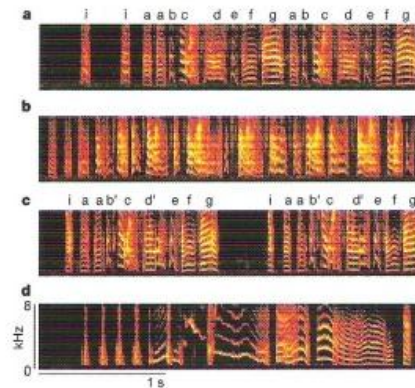


Le chant du Diamant mandarin est caractérisé par des séries de sons rapidement répétés, chaque série étant séparée de la suivante par un bref silence. Chaque série de sons forme un motif caractérisé par sa durée d'une part, le nombre et la fréquence des sons qui le constituent d'autre part. Un même motif peut se trouver répété dans une « phrase ».

Par exemple, l'enregistrement (a) ci-contre est constitué de 17 séries (en orange) séparées par de très courts silences (en noir). Les séries identiques sont identifiées par la même lettre.

Les quatre enregistrements ci-contre ont été obtenus dans les conditions suivantes :

- a : Chant d'un Diamant mandarin adulte au moment où il a été capturé.
- b : Chant d'un Diamant mandarin élevé en présence de l'adulte (a), enregistré au plus jeune âge.



- c : Chant du même Diamant mandarin (b), enregistré à l'âge adulte.
- d : Chant d'un Diamant mandarin adulte, élevé isolément de ses congénères.

Doc. 2 La transmission du chant chez le Diamant mandarin.

B L'utilisation d'outils chez les chimpanzés

Préparer et utiliser une brindille, casser des noix, creuser à l'aide d'un pilon, utiliser des feuilles comme une éponge, fabriquer un coussin de feuilles pour s'asseoir, se soigner avec des plantes : une étude récente et approfondie a déjà identifié formellement plus de 39 pratiques culturelles chez les chimpanzés.

Il apparaît que chaque communauté possède des comportements qui lui sont propres. Des expériences confirment que les chimpanzés apprennent, notamment en observant et en imitant leurs congénères.

► **Ce jeune chimpanzé apprend à utiliser une pierre pour casser une noix, sous le contrôle de l'une des doyennes du groupe, tandis qu'un bébé observe attentivement la scène. Chez les chimpanzés, il faut environ cinq ans pour apprendre à casser des noix.**



Doc. 3 Des chimpanzés... à l'école !

Des chercheurs ont fabriqué un dispositif permettant à un chimpanzé d'obtenir de la nourriture à condition de pousser au préalable une bague de bois (*schéma ci-contre*). Deux groupes de seize chimpanzés ont été constitués. Les individus du groupe 1 ont eu la possibilité d'observer pendant sept jours un chimpanzé « expert », auquel les chercheurs avaient appris le maniement du dispositif. Les individus du groupe 2 n'ont jamais observé l'expert. Ensuite, les chimpanzés ont eu accès au dispositif pendant 36 heures sur une période de 10 jours.

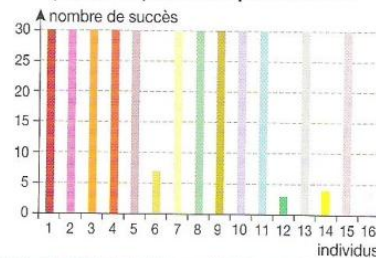
Dans le groupe 2, aucun chimpanzé n'a réussi à se servir de l'outil. Les chercheurs ont observé le comportement des chimpanzés du groupe 1 et noté le nombre de succès

obtenus par chaque chimpanzé (un plafond de 30 succès a été fixé, considéré comme une bonne maîtrise de l'utilisation de l'outil).

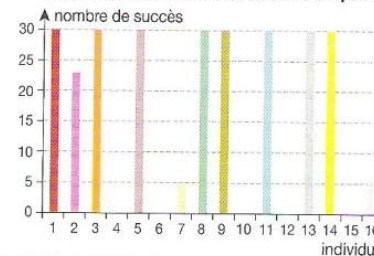


• Performances des 16 chimpanzés du groupe 1

pendant la période d'expérimentation



lors d'un deuxième test, deux mois après



Doc. 4 Une expérience qui démontre la transmission culturelle d'un nouveau comportement.