

Chapitre 2 La diversification du vivant

Introduction

- Méiose et fécondation : sources de diversité
 - Mutations germinales :
 - processus fondamental de diversification génétique, générateur de biodiversité
 - modifications de la séquence de nucléotides de l'ADN = mutations ponctuelles
 - duplications de séquence d'ADN
 - ex : les allèles
- Mutations = sources de variabilité de l'ADN
- Cependant ...

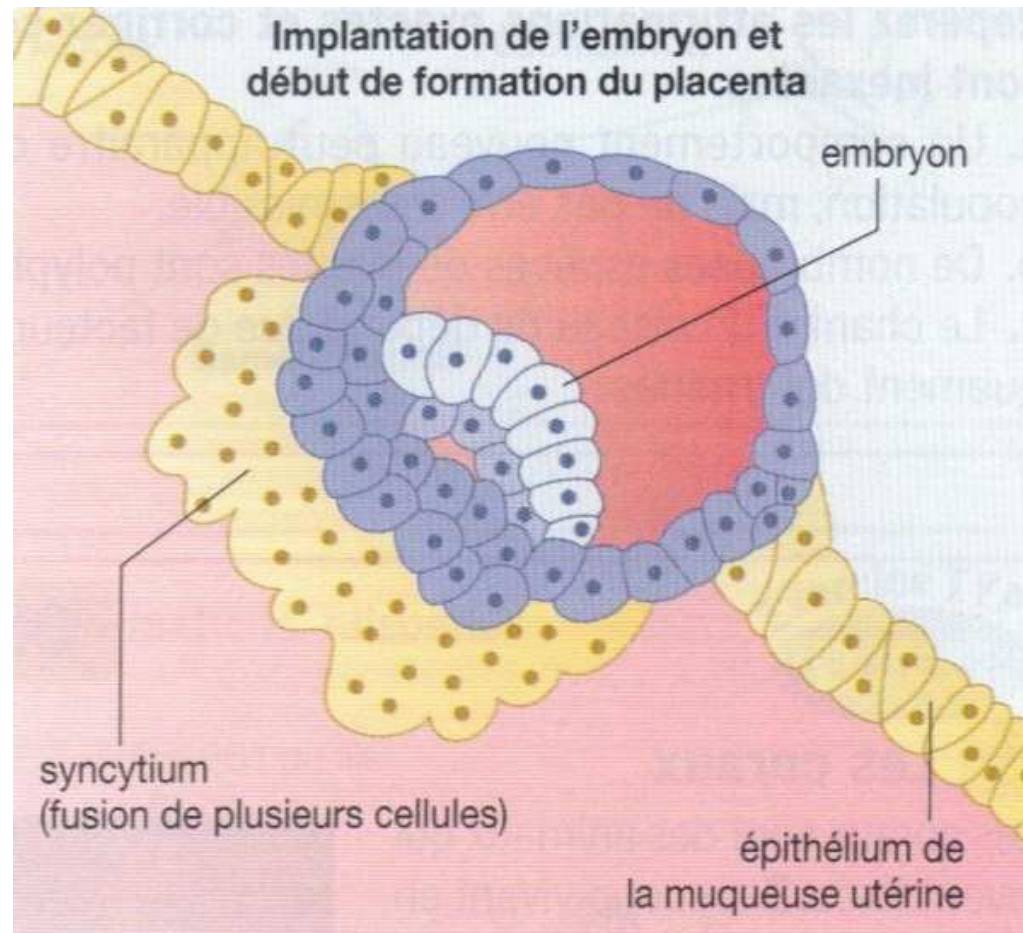
Problématique

La méiose et la fécondation sont sources de diversité au sein d'une espèce.

Comment le monde vivant invente-t-il d'autres modalités de diversification ?

1) L'apport partiel d'un nouveau génome

- Transferts horizontaux de gènes, entre individus de la même espèce ou non
- Transfert par voie virale : acquisition par des cellules eucaryotes de matériel génétique étranger
- 5 à 8% de l'ADN humain provient de rétrovirus
- Rétrovirus endogène : ensemble des séquences d'un rétrovirus intégrées dans le génome d'un animal et transmis de génération en génération comme les autres gènes
- Ex du placenta : intégration de gènes provenant de rétrovirus



Bilan

Au cours de l'évolution, il y a eu, à de multiples reprises, incorporation d'ADN d'origine virale (issu de rétrovirus) dans l'ADN des espèces vivantes.

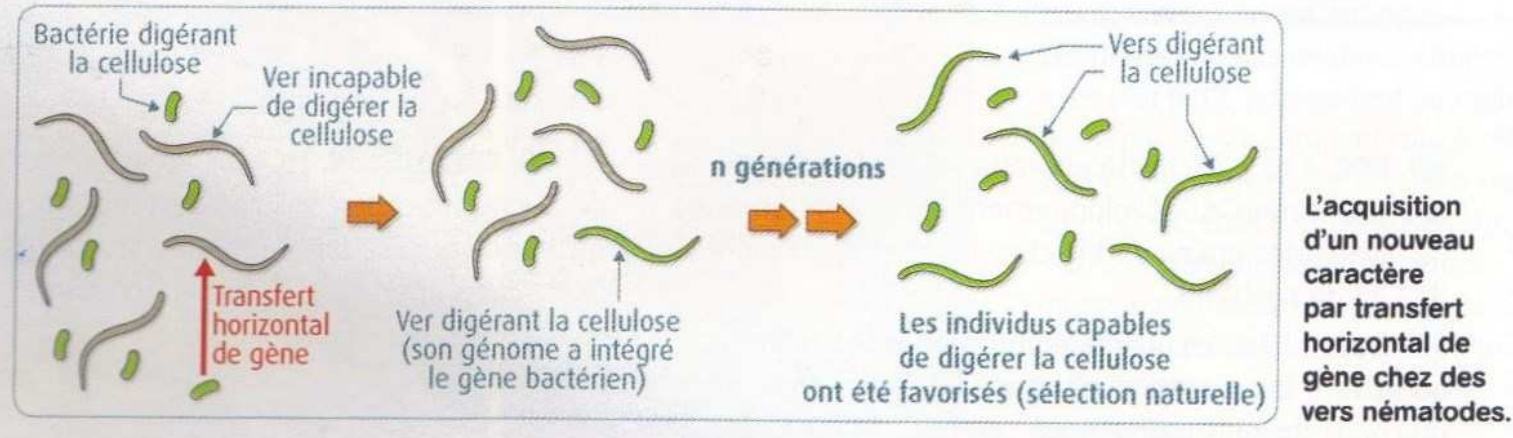
Cette intégration de gènes viraux dans un génome préexistant est source de diversification génétique.

Certains de ces gènes viraux ont continué à s'exprimer chez leur hôte en produisant des protéines fonctionnelles pour cet hôte et ses descendants.

Cette diversification génétique a entraîné une diversité phénotypique. Un bel exemple est fourni par l'apparition du placenta et donc de l'ensemble des mammifères placentaires.

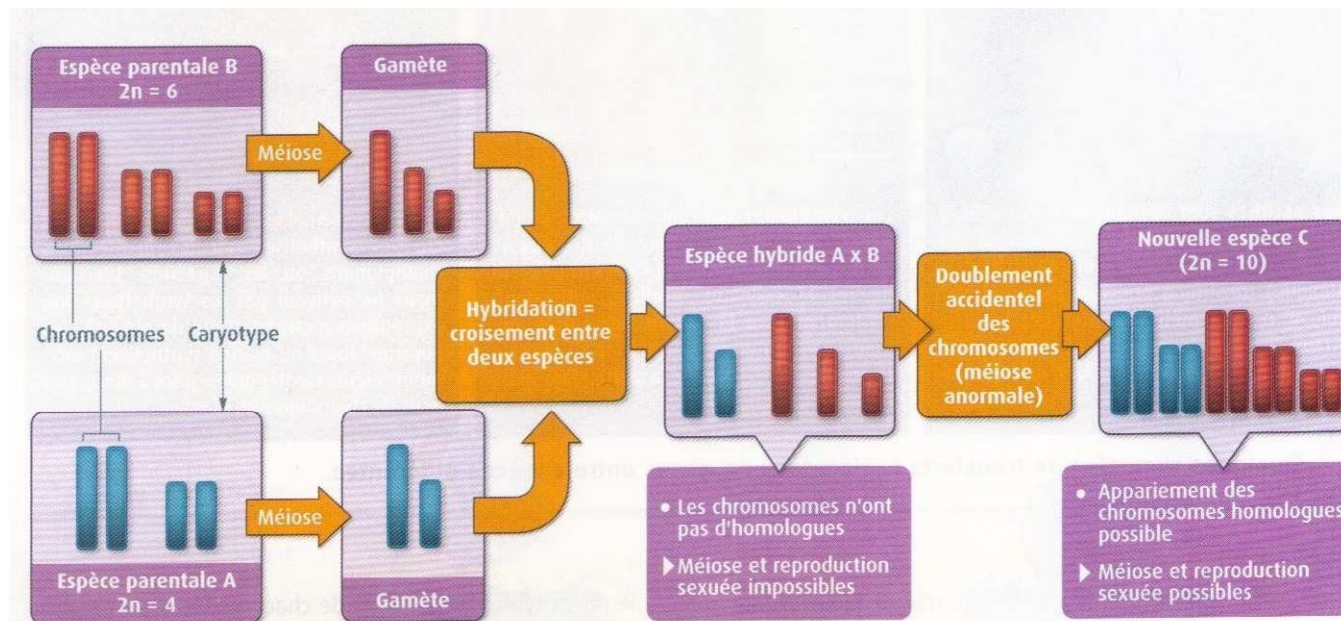
Bilan

- Le génome de nombreux organismes comporte des gènes qui ont été hérités, au cours de l'évolution, à l'occasion de transferts entre espèces très éloignées (virus et animaux, bactéries et champignons, etc.). Ces transferts de gènes sont dits horizontaux, par opposition aux transferts de gènes dits verticaux, liés à la reproduction sexuée. Par exemple, chez les grands primates, c'est un gène issu d'un transfert horizontal avec un virus (gène codant la syncytine) qui permet la formation du placenta.
- Les **transferts de gènes horizontaux** sont des événements très rares, mais à l'échelle de l'histoire de la vie, ils ont eu lieu à de nombreuses reprises. S'ils apportent un avantage aux individus qui les portent, les gènes nouveaux acquis par transfert horizontal sont favorisés par la sélection naturelle et peuvent se répandre chez tous les individus de l'espèce concernée, qui acquiert de la sorte un nouveau caractère. Ainsi, plusieurs espèces animales ont acquis la capacité de digérer ou de synthétiser la cellulose à l'aide d'un gène transmis accidentellement par des bactéries.
- Les transferts de gènes entre espèces différentes participent donc à la diversification du vivant.



2) L'apport complet d'un nouveau génome

- Croisement entre individus d'espèces différentes → hybrides, le plus souvent stériles
- Dans quelques cas, organismes fertiles
- Hybridation suivie d'une polyploïdisation → hybride fertile



2 Les hybridations chez les végétaux. Chez les végétaux, le pollen d'une espèce est fréquemment déposé sur le pistil d'une fleur d'une autre espèce. On observe ainsi occasionnellement l'apparition de **plantes hybrides** qui, le plus souvent, sont stériles et se maintiennent par **reproduction asexuée**. Parfois cependant, chez quelques individus hybrides, une méiose anormale provoque un doublement du nombre de chromosomes dans les cellules mères des gamètes : on parle de **polyploïdisation**. Méiose et reproduction sexuée deviennent alors possibles et l'hybride a donné naissance à une nouvelle espèce.

Espèce 1 (AA) x Espèce 2 (BB)

hybridation naturelle



Espèce 3 (AB)

doublement des chromosomes



Espèce 3' (AABB)

reproduction



Formation de l'espèce polyploïde AABB

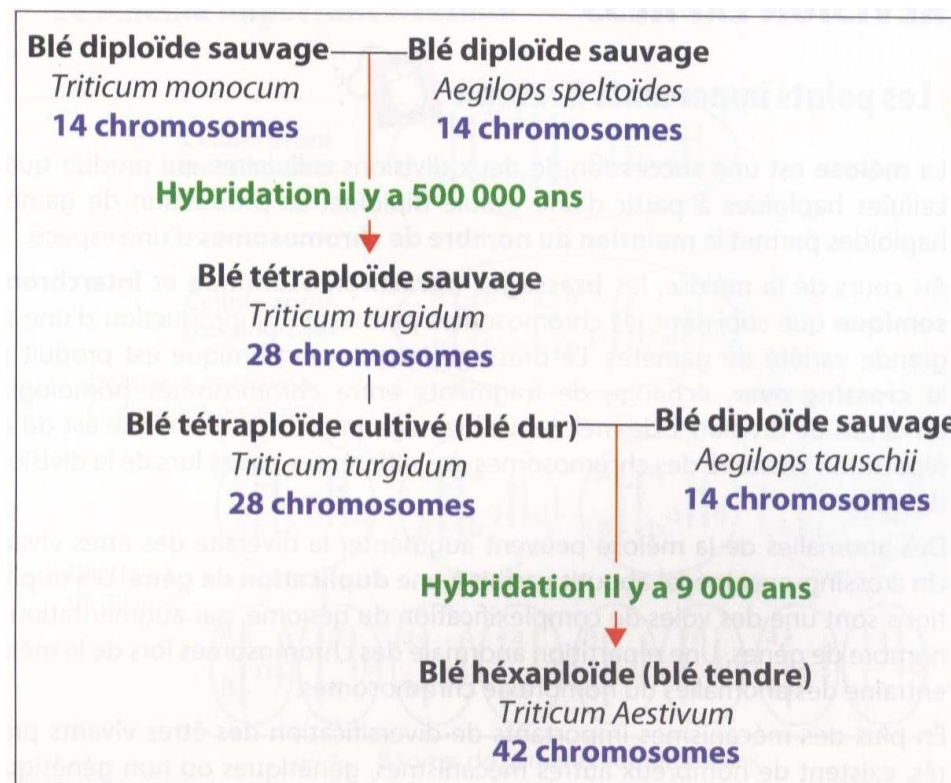
A : lot de n chr de l'espèce 1

B : lot de n chr de l'espèce 2

- Anomalie de la méiose, sans croisement avec une autre espèce = autopoléidie
ex : fruits = organismes polyploïdes, gigantisme des plantes au niveau de la fleur et donc des fruits

L'origine complexe des blés cultivés

Les blés cultivés actuellement ont été domestiqués entre -12000 et -9000 ans. Ils présentent la particularité d'avoir des génomes polyploïdes. Le blé dur, utilisé pour les pâtes, est tétraploïde ($4n = 28$) et le blé tendre, utilisé pour le pain, est hexaploïde ($6n = 42$). Ces polyploïdisations se sont produites de manière naturelle, à partir d'espèces sauvages diploïdes chez les Angiospermes.



Bilan

La diversification génétique peut résulter d'une hybridation entre 2 espèces conduisant à la genèse d'un hybride stérile. S'il y a doublement du nombre de chromosomes chez cet individu stérile (polyploïdisation), la fertilité de l'hybride est rétablie.

Cette diversification génétique s'accompagne d'une diversification phénotypique qui se traduit par des caractéristiques nouvelles, comme une plus grande vigueur.

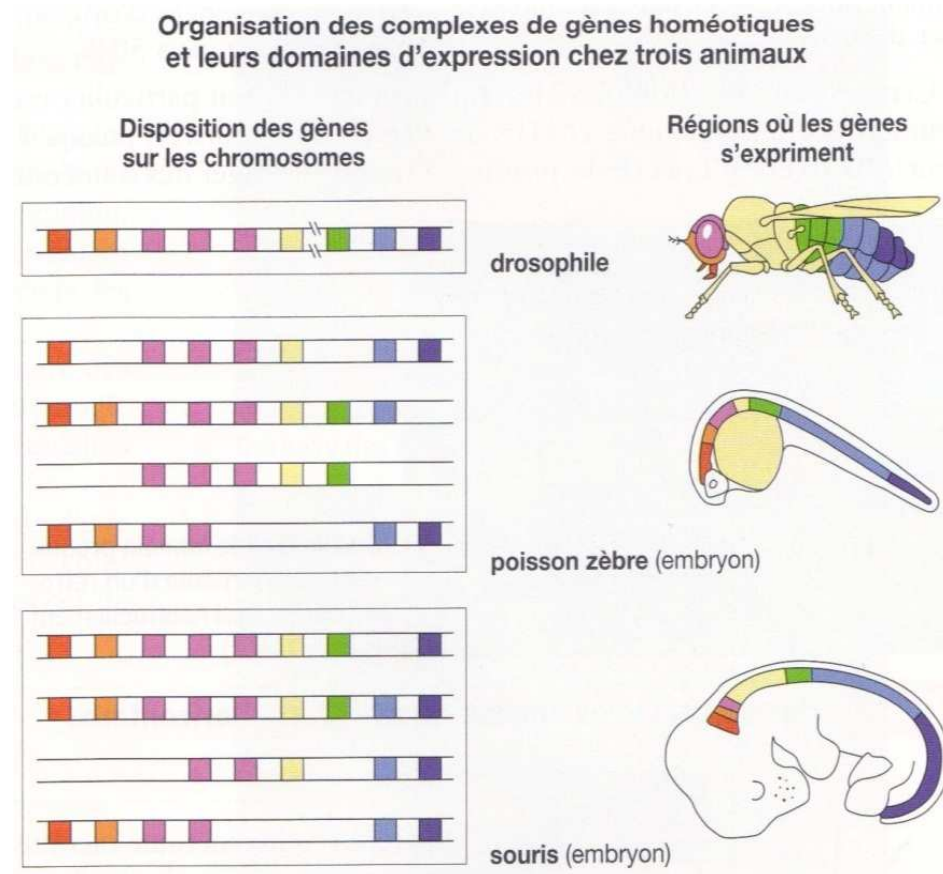
Bilan

- Chez les plantes, les hybridations entre individus d'espèces différentes sont fréquentes. Les individus hybrides sont généralement stériles (les chromosomes issus des deux parents ne peuvent s'apparier et la méiose est impossible). De façon accidentelle, chez quelques individus, une méiose anormale peut induire un doublement du nombre de chromosomes dans les cellules de la lignée germinale. Chaque chromosome peut alors s'apparier avec son homologue et la méiose redevient possible, avec un nombre de chromosomes deux fois plus élevé. On appelle ce phénomène polyploïdisation. Les individus polyploïdes sont fertiles. Ils appartiennent à une nouvelle espèce végétale qui a hérité du génome des deux espèces parentes. La polyploïdisation est ainsi à l'origine d'une diversification rapide (quelques dizaines d'années) chez les végétaux.

3) Les gènes du développement et l'évolution de la morphologie des animaux

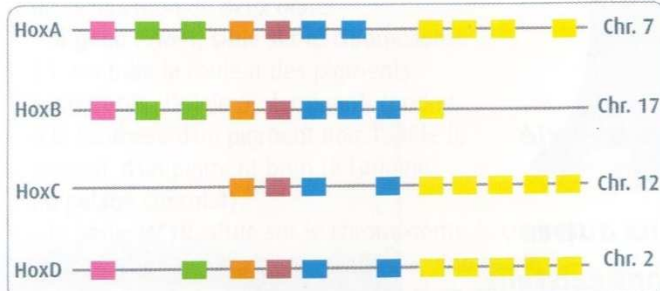
- Développement à partir d'une cellule-œuf, selon les mêmes étapes pour une espèce donnée
 - ➔ le développement est génétiquement déterminé : les gènes du développement interviennent dans la construction d'un organisme à partir de la cellule-œuf.
- Gènes du développement = gènes homéotiques

Les couleurs permettent d'établir la correspondance entre les gènes et les régions du corps dont ils gouvernent le développement. Deux gènes sont représentés par la même couleur lorsqu'ils dérivent d'un même gène ancestral.

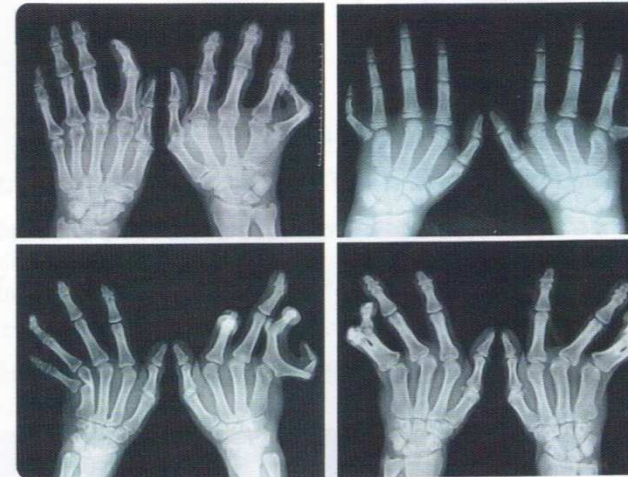


- Ainsi, des groupes très différents d'organismes possèdent les mêmes gènes homéotiques, ce qui suggère que les différences morphologiques ne viennent pas directement de différences entre les génomes.
- En effet, il semble possible de former des organismes différents avec les mêmes gènes du développement en modifiant soit l'intensité, soit les domaines d'expression, soit la chronologie ou la durée d'expression de ces gènes.

L'exemple de l'origine des doigts



1 Les gènes *Hox* des mammifères. Les gènes *Hox* sont des **gènes de développement**. La combinaison des gènes *Hox* s'exprimant dans une région donnée de l'embryon est un élément clé qui détermine l'organe qu'elle va former. Les gènes *Hox* sont présents chez tous les animaux. Ainsi, chez le poisson-zèbre, on retrouve un **homologue** de chacun des gènes *Hox* des mammifères (ces derniers sont groupés en 4 complexes: HoxA, HoxB, HoxC et HoxD).



2 Conséquences de différentes mutations du gène *Hox D13* sur la main chez l'Homme.

- Gène Hox D13 = gène du développement
- Rôle clé dans la formation de la région où il s'exprime
- Mutation du gène Hox D13 → malformation des doigts

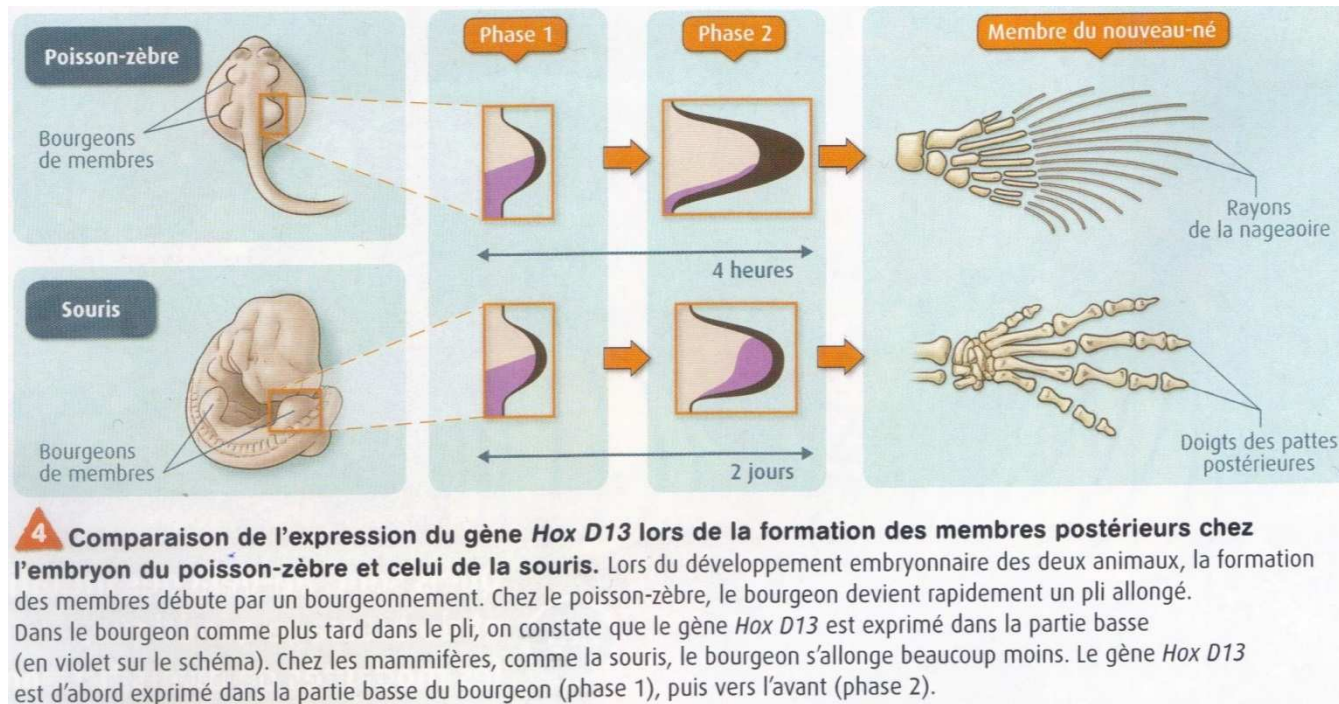
→ Le gène Hox D13 semble jouer un rôle clé dans le développement des doigts chez l'Homme.

TP J'UTILISE ANAGÈNE

Homme	<	>	0	ArgArgGlyArgLysLysArgValProTyrThrLysLeuGlnLeuLysGluLeuGluAsnGluTyrAlaIleAsnLysPheIleAsnLysAspLysArg
Poisson-zèbre	<	>	0	Gln- - - - - Phe- - - - - Arg- - AsnThrThr- - - Thr- GluAsn-

3 Comparaison d'une portion des protéines codées par deux gènes homologues : *Hox D13* du poisson-zèbre et *Hox D13* de l'Homme. Sur la totalité de la séquence, la ressemblance entre les deux protéines est d'environ 55 % (tirets : acides aminés identiques).

Homologie remarquable des gènes homéotiques chez un grand nombre d'espèces animales : les séquences codantes sont très voisines. Cette homologie indique une origine commune.



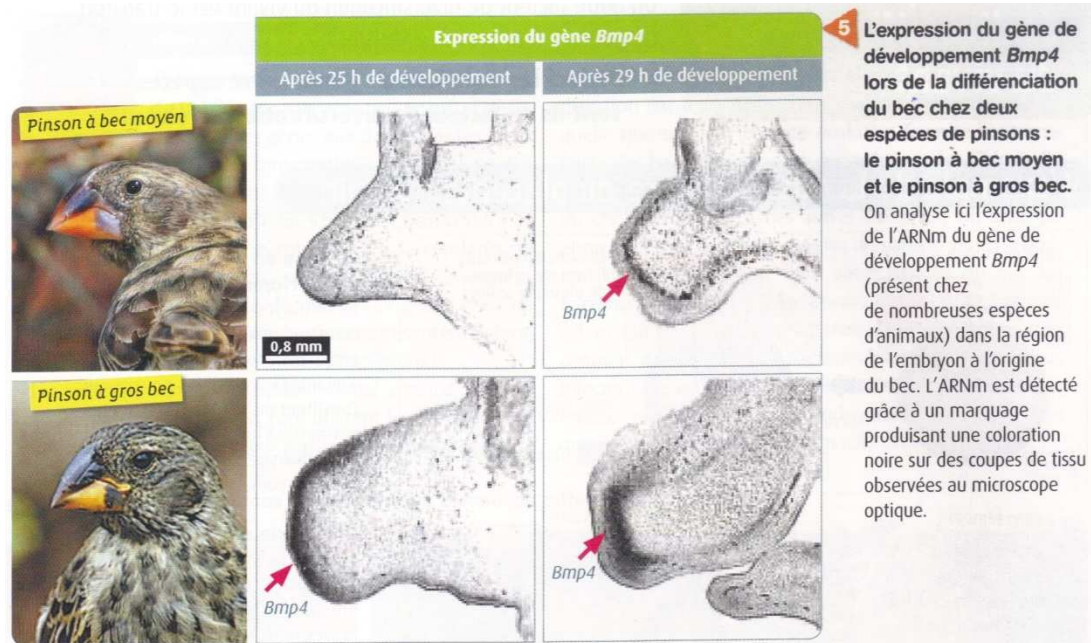
La région du bourgeon du membre et la chronologie de l'expression du gène Hox D13 n'est pas la même chez le poisson-zèbre et chez la souris.

Il s'exprime uniquement dans la partie basse du bourgeon chez le poisson-zèbre, alors qu'il s'exprime dans la partie basse puis vers l'avant chez la souris.

Différences morphologiques → modification des domaines d'expression des gènes

Bilan

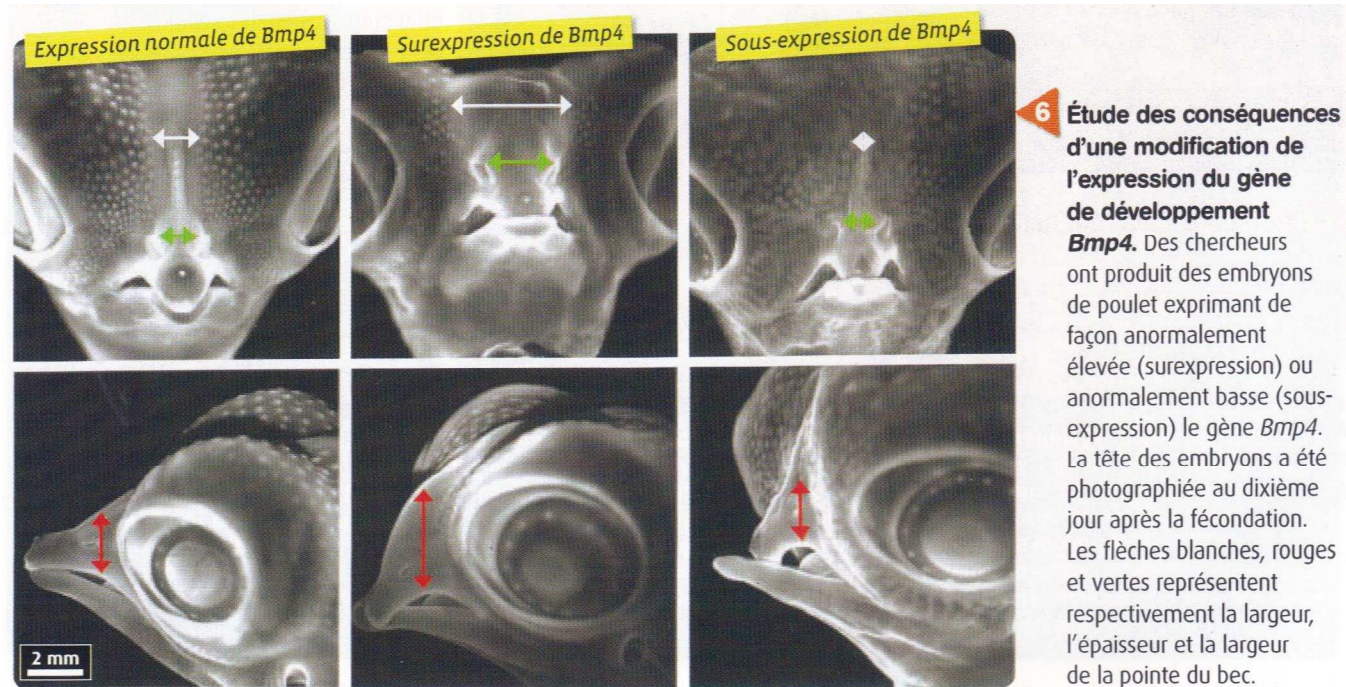
- Le gène Hox D13 est présent chez les poissons zèbre et chez les mammifères et va dans tous les cas contribuer à la formation du membre antérieur.
- Néanmoins, la région précise et la chronologie d'expression varie, contribuant ainsi à la formation de deux membres antérieurs différents.



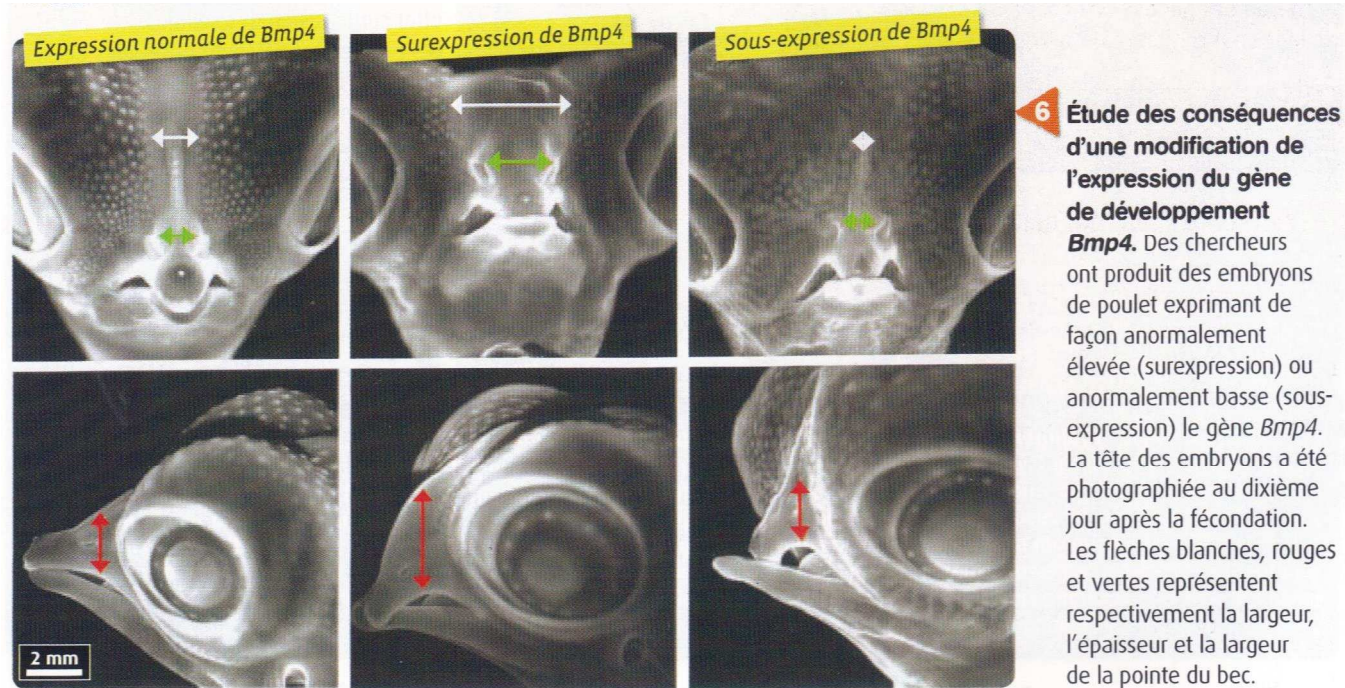
L'intensité de l'expression du gène *Bmp4* est plus élevée chez les pinsons à gros bec après 25h de développement.

Après 29h de développement, l'intensité de l'expression du gène *Bmp4* est plus localisée et plus intense chez ces mêmes pinsons.

➔ Cette région de l'embryon étant à l'origine du bec et ces 2 espèces de pinsons possédant à l'âge adulte des becs de morphologie différente, on peut faire l'hypothèse que l'expression du gène *Bmp4* a des conséquences sur la taille du bec.



Les flèches blanches et rouges représentent respectivement la largeur et la hauteur du bec, les flèches vertes représentent la largeur de la pointe du bec.



- un poulet sur-exprimant *Bmp4* a un bec plus large qu'un poulet non modifié
- un poulet sous-exprimant *Bmp4* a un bec plus mince qu'un poulet non modifié

Les résultats de sous-expression et de sur-expression artificielle du gène *Bmp4* chez des embryons de poulet montrent des conséquences au niveau de la taille du bec.

➔ Une plus forte expression du gène *Bmp4* chez l'embryon dans la future région du bec est à l'origine de la formation d'un bec de plus grande taille.

- Le gène Bmp4 est présent chez les 2 espèces de pinsons.
 - ➔ Néanmoins, il est plus exprimé chez l'embryon du pinson à gros bec ce qui a pour conséquence un développement plus important du bec chez cette espèce.
- Dans ces 2 exemples, on constate que les mêmes gènes (ou des gènes très proches) peuvent avoir des conséquences différentes sur le développement du fait d'une chronologie ou d'une intensité d'expression différente.

Bilan

Des différences d'expression de gènes du développement peuvent être à l'origine de variations de caractères phénotypiques (taille du bec chez les oiseaux par exemple).

Au cours de l'évolution, des modifications de l'expression de gènes du développement ont pu ainsi être à l'origine de l'apparition de caractères phénotypiques nouveaux et contribuer à la diversification du vivant.

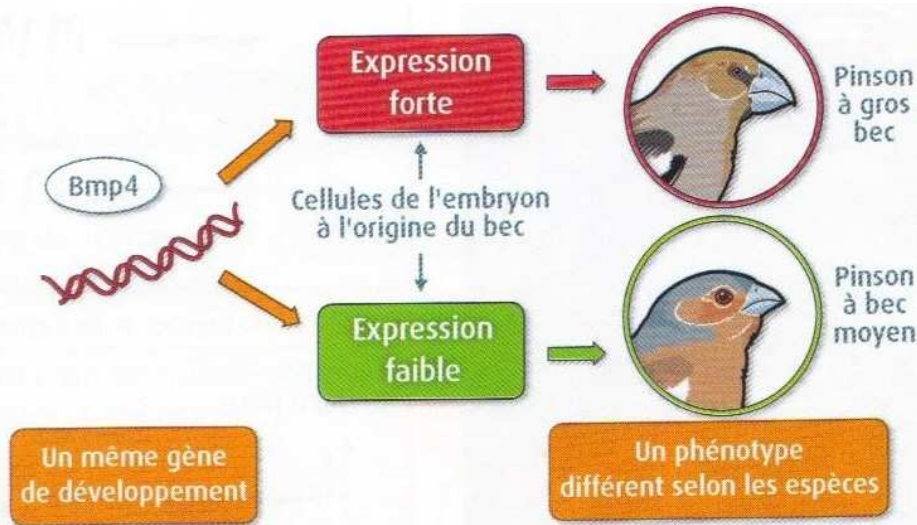
Bilan

- Chez les animaux, la combinaison de certains gènes s'exprimant dans une région donnée de l'embryon est un élément clé qui détermine le tissu ou l'organe qu'elle va former. Ces gènes sont qualifiés de **gènes du développement**.

- Les mêmes gènes du développement peuvent être présents chez différentes espèces, mais leur chronologie d'expression, l'intensité de cette expression ou la région de l'embryon où cette expression a lieu varie d'une espèce à l'autre. Ces variations se traduisent par des

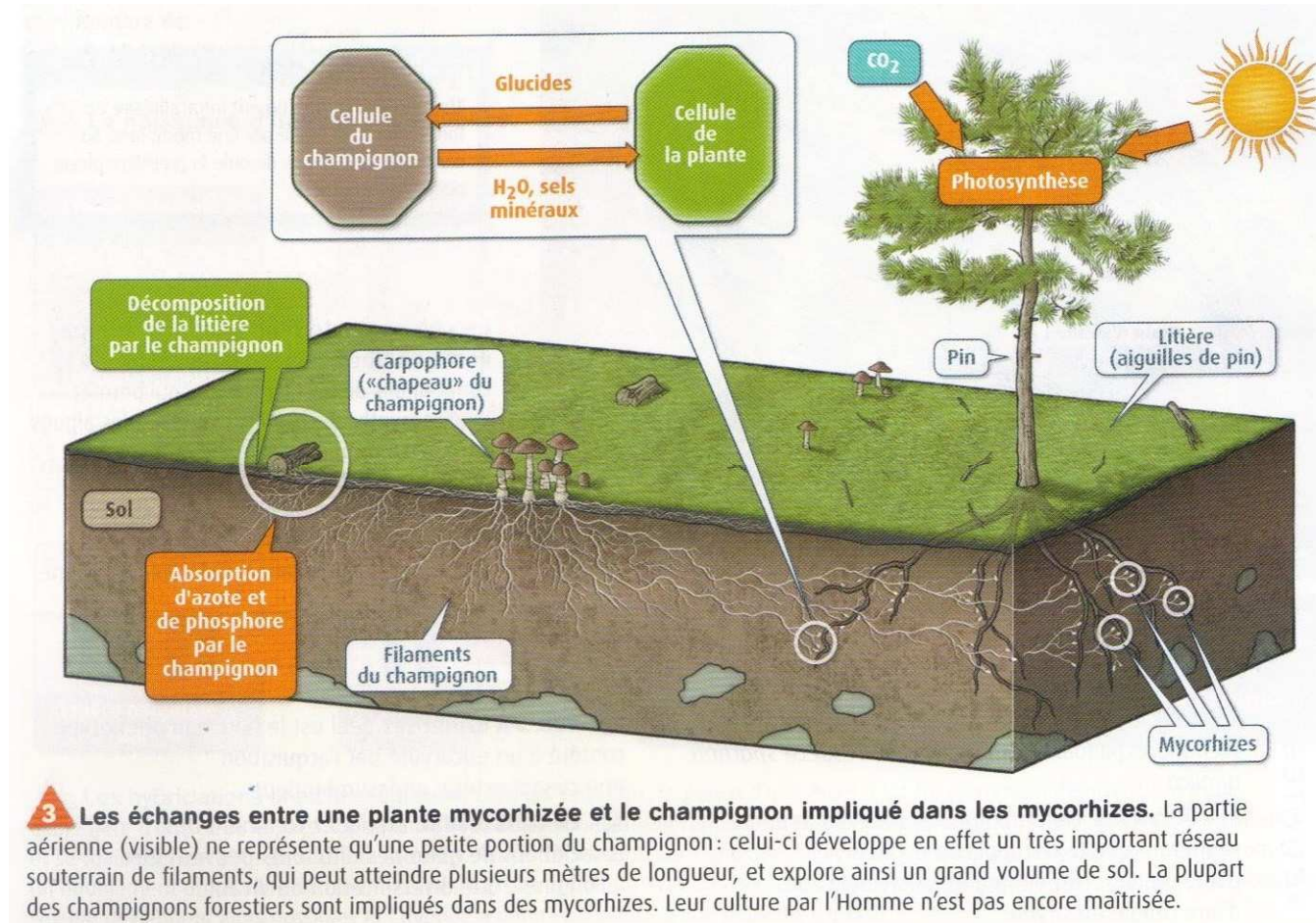
modifications des organes formés à l'issue du développement embryonnaire. Par exemple, lors de la formation des membres chez l'embryon du poisson-zèbre et de la souris, on observe des variations de la localisation et de la chronologie d'expression d'un même gène du développement (*Hox D13*), aboutissant à la formation d'une nageoire dans un cas et d'une patte pourvue de doigts dans l'autre. Chez les pinsons des Galápagos, l'intensité de l'expression du gène de développement *Bmp4* dans l'embryon détermine la taille du bec.

- Des modifications de l'expression de gènes du développement au cours de l'évolution ont ainsi pu mener à des innovations qui ont été retenues par sélection naturelle, d'où une diversification du vivant.



Le gène du développement *Bmp4* et la taille du bec chez les pinsons.

4) L'association entre génomes



Bilan

Des organismes sont capables de s'associer de manière plus ou moins pérenne. Lorsque l'association est durable et que chaque partenaire tire des bénéfices de l'association, on parle d'une symbiose.

Les associations sont une source de diversité en conférant aux organismes de nouveaux caractères sans modifier leur information génétique.

Symbiose : association durable avantageuse pour les 2 organismes impliqués

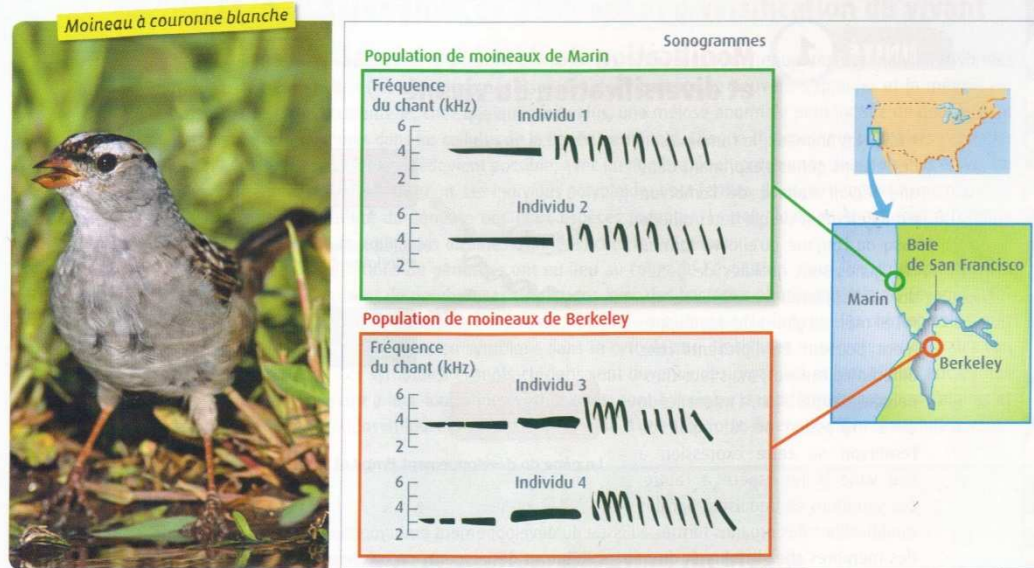
Bilan

- Des individus appartenant à des espèces différentes peuvent vivre en association étroite. On appelle **symbiose** ces associations qui bénéficient aux deux partenaires en interaction. Elles doivent, le plus souvent, être renouvelées à chaque génération.
- Les mycorhizes sont ainsi des symbioses plutôt fréquentes entre un champignon et les racines d'une plante. Le champignon, grâce à son réseau de filaments, explore le sol, transfère des éléments minéraux à la plante et reçoit de cette dernière des glucides fabriqués par photosynthèse.
- En additionnant leurs capacités, les partenaires d'une symbiose occupent souvent une place dans l'écosystème qu'aucun n'occuperait seul. Ainsi, ni les coraux, ni les algues vertes vivant en symbiose avec eux ne survivraient seuls dans les mers tropicales pauvres en proies et en nutriments minéraux où on les trouve.
- Les symbioses peuvent être aussi à l'origine de nouvelles fonctions, comme l'assimilation de l'azote atmosphérique par les plantes légumineuses vivant en symbiose avec certaines bactéries. Les symbioses sont donc un puissant moteur de la diversification du vivant.

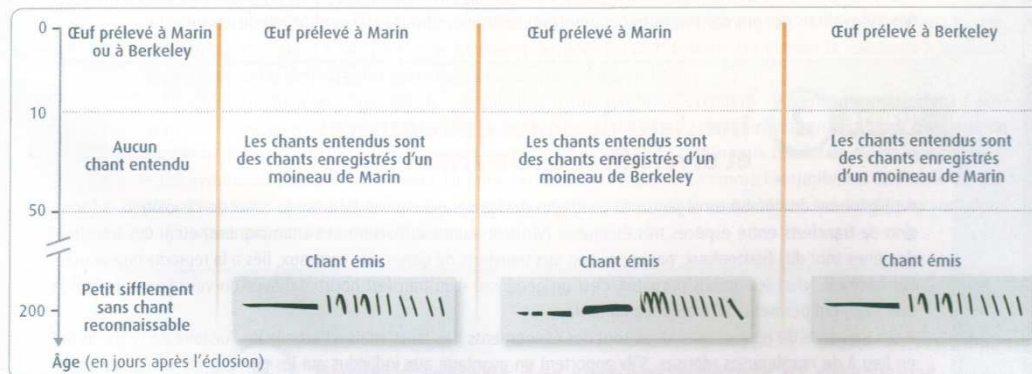
5) L'acquisition de comportements (transmission culturelle)

a) l'acquisition du chant chez les moineaux à couronne blanche

L'acquisition du chant chez les moineaux à couronne blanche



3 Les dialectes des moineaux à couronne blanche. Autour de la baie de San Francisco, en Californie, vivent plusieurs populations de moineaux à couronne blanche. Le chant des oiseaux de deux de ces populations a été étudié. Les sonogrammes qui sont figurés représentent les variations de la fréquence des ondes sonores au cours du chant.



4 L'apprentissage du chant chez le moineau à couronne blanche. Des chercheurs ont prélevé des œufs de moineaux à couronne blanche soit dans la région de Marin, soit dans celle de Berkeley. Les oiseaux ont ensuite été élevés au laboratoire, sans contact avec d'autres individus de leur espèce. Entre 10 et 50 jours, les jeunes moineaux ont entendu des chants d'oiseaux enregistrés. Les chercheurs ont analysé le chant des moineaux une fois adultes.

- Les moineaux à couronne blanche apprennent leur chant d'adulte entre l'âge de 10 à 50 jours. Les moineaux qui n'entendent aucun chant à cette période ne peuvent pas faire de chant d'adulte clair.
➔ Le chant chez ces moineaux n'est donc pas inné.
- L'origine de l'œuf n'a pas d'influence sur le chant que le moineau peut apprendre et si le chant entendu entre 10 à 50 jours est différent de celui de sa population de naissance, son chant d'adulte sera celui du chant entendu.
➔ Un comportement peut avoir une base génétique (la capacité à apprendre un chant) mais peut néanmoins présenter des variations (en fonction de l'origine géographique ou des chants entendus au cours de la vie).

5) L'acquisition de comportements (transmission culturelle)

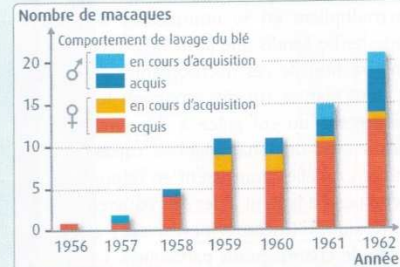
b) l'acquisition d'un comportement nouveau chez les macaques

L'acquisition d'un comportement nouveau chez les macaques

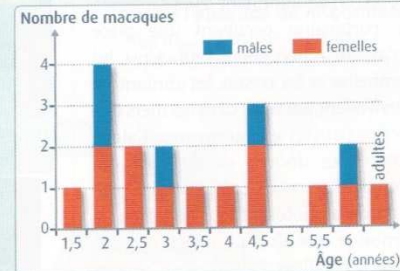
Au Japon, sur l'îlot de Koshima, une petite troupe de macaques japonais de 49 individus a été étudiée par des chercheurs dans les années 1950-1960. Ces derniers jetaient régulièrement des grains de blé sur la plage, que les macaques récoltaient un à un pour les manger. En 1956, une jeune femelle de 4 ans eut l'idée de prendre des poignées de sable et de grains mélangés, puis de les jeter dans l'eau de mer. Le sable tomba au fond de l'eau et les grains flotèrent : ces derniers étaient ainsi plus faciles à récolter. La pratique du lavage des grains blés s'est peu à peu répandue dans la population. Les chercheurs ont étudié les modalités de la transmission de ce nouveau comportement, observé dans aucune autre population de macaques japonais.



Récolte des grains (gauche) et lavage du blé (droite).



Nombre d'individus ayant appris le comportement de lavage du blé entre 1956 et 1962.



Âge d'acquisition du comportement de lavage du blé.

1 L'étude de la transmission d'un nouveau comportement dans une population de macaques japonais.



2 Les relations sociales chez les macaques japonais.

Les macaques vivent en groupe. Les mères ont des relations étroites avec leur petit, notamment au moment des repas, qu'ils prennent côte à côte. Vers 4 ans, les jeunes mâles prennent leur indépendance et ont beaucoup moins de relations avec les autres membres du groupe. Les petits passent beaucoup de temps ensemble, à jouer et à s'imiter les uns les autres sous le regard des mères.

- Apparition du nouveau comportement de lavage de blé : propagation assez rapide (1 individu ayant acquis ce comportement en 1956 à 20 individus l'ayant acquis 6 ans plus tard)
- Les macaques japonais apprennent en s'imitant au contact les uns des autres. Ces contacts s'effectuent majoritairement entre jeunes ou entre les jeunes et leur mère.

Bilan

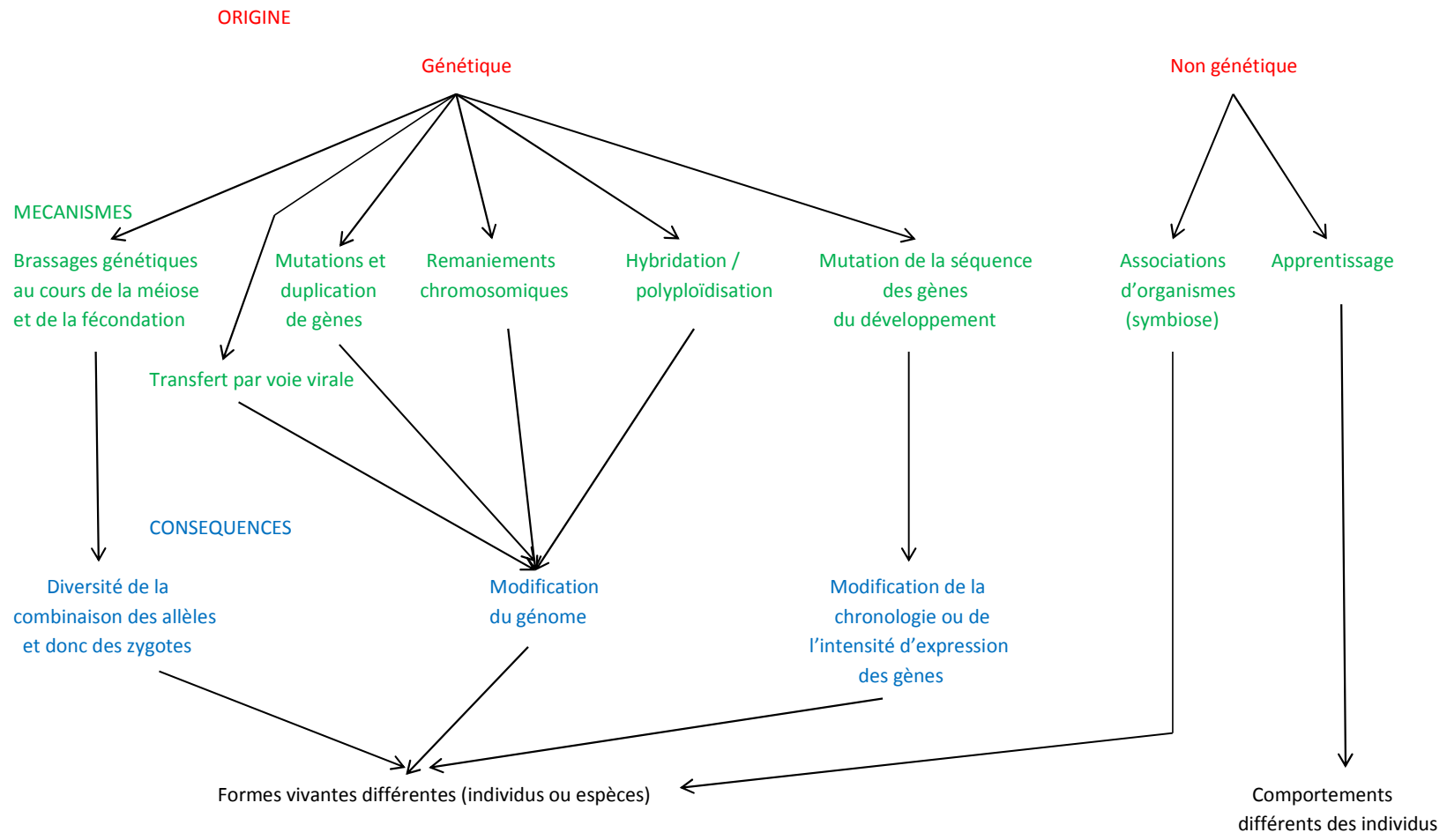
Une source de diversité des êtres vivants peut être acquise après la naissance par apprentissage et transmise d'une génération à l'autre par voie non génétique.

Les comportements animaux entrent en partie dans ce cadre. Certains, très stéréotypés, apparaissent innés, d'autres, très variables selon les individus apparaissent plutôt acquis après la naissance et fruits d'un apprentissage. C'est le cas de l'apprentissage du chant chez les oiseaux.

L'apprentissage du langage dans l'espèce humaine repose sur les mêmes principes. Il résulte d'un apprentissage développé après la naissance.

Bilan

- Chez les mammifères et chez les oiseaux, une diversification des comportements peut opérer sans modification du génotype. Ainsi :
 - en apportant du blé à une population de macaques japonais, on a constaté l'apparition d'un comportement nouveau (le lavage du blé) qui, par imitation, s'est répandu parmi les membres du groupe. De la sorte, cette population a acquis durablement un comportement qui la différencie des autres populations de macaques n'ayant pas accès au blé. L'apprentissage du comportement nouveau par imitation fut surtout le fait des jeunes (moins de 5 ans), qui s'imitent entre eux et imitent les adultes, et des femelles (passant beaucoup plus de temps en groupe que les mâles).
 - chez les moineaux à couronne blanche, des populations d'origine géographique distincte ont des chants différents. Ces « dialectes » ne sont pas hérités génétiquement, mais appris: les oisillons imitent les chants qu'ils entendent entre l'âge de 10 à 50 jours.
- Un comportement peut donc se transmettre de génération en génération dans une population par voie non génétique (apprentissage par imitation) et être à l'origine d'une diversification du vivant.



Les récifs coralliens (exercice type 2a)

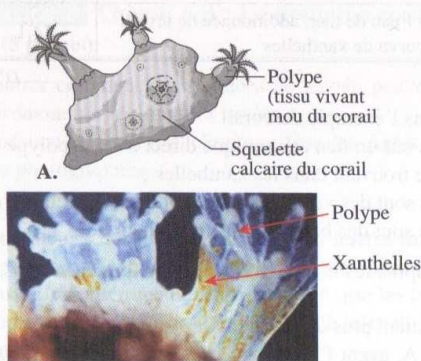
Les récifs coralliens sont des oasis de vie qui ne se rencontrent que dans les eaux claires et peu profondes de la zone intertropicale. Les coraux constructeurs de récifs sont des animaux (embranchement des Cnidaires) qui possèdent des algues eucaryotes unicellulaires (Xanthelles) dans leurs tissus et se développent dans des eaux très pauvres en nutriments.

On a montré que la capture de plancton ne représente que 10 à 20 % de l'alimentation des polypes.

Question

On cherche à comprendre, en exploitant les documents fournis, comment fonctionne l'association entre le polype et les xanthelles. Cochez la proposition exacte pour chaque question.

DOCUMENT 1. Le corail



A. Fragment de corail (d'après Lacaze-Duthiers in Beaumont Cassier. Biologie animale). B. Photo de polypes contenant des xanthelles dans leurs tissus.

DOCUMENT 2. Expérience de C.S. Rogers

Sur un récif corallien, à Puerto Rico, deux « serres » identiques, sous matière plastique transparente sont installées à 4 m de profondeur et à 5 m de distance, parallèlement l'une à l'autre.

Positionnées dans le sens du courant dominant, elles sont ouvertes aux extrémités (pour laisser passer le plancton) et renferment une population dense et comparable de coraux. Pendant cinq semaines, on recouvre la serre A d'un voile plastique noir. On mesure l'allongement des branches de coraux.

	Vitesse moyenne de croissance des branches en cm/an	
	Avant l'expérience	Après l'expérience
Serre A	8,3	0,5
Serre B	8,4	8,0

D'après l'article de R. Troade

DOCUMENT 3

On isole la xanthelle d'un polype et on la met en culture *in vitro*. À l'aide d'un marquage effectué au ^{14}C , on étudie l'activité photosynthétique (quantité de ^{14}C fixé, en coups par minute) et le rejet de carbone organique par la xanthelle dans le milieu (^{14}C relâché, en pourcentage du total fixé). On fait varier le milieu où sont placées les xanthelles, en y ajoutant éventuellement un broyat de polype (jus d'animal broyé).

Traitement expérimental	^{14}C fixé	^{14}C relâché
Xanthelle dans l'eau de mer	1,4	31 %
Xanthelle dans l'eau de mer, additionnée de broyat d'un polype pourvu de xanthelles	14,1	58 %

D'après Trench, 1971

Question 1. Dans l'exemple du corail :

- a) les xanthelles ont un lien anatomique direct avec le polype ;
- b) les polypes se trouvent dans les xanthelles ;
- c) les xanthelles sont des virus qui pénètrent dans les cellules du polype ;
- d) les xanthelles sont des bactéries photosynthétiques.

Question 2. D'après les documents 1 et 2, l'expérience de C.S. Rogers permet de dire que :

- a) la serre B contient plus de plancton que la serre A ;
- b) dans la serre A, avant l'expérience, la croissance des coraux est plus rapide que dans la serre B ;
- c) la lumière joue un rôle sur la croissance des coraux ;
- d) la croissance des branches des coraux dans la serre B est permise essentiellement grâce à l'apport de plancton.

Question 3. Pour le document 3 :

- a) on marque le carbone organique pour suivre son devenir ;
- b) on suit le carbone relâché par les polypes ;
- c) le carbone fixé est du carbone organique ;
- d) l'objectif de cette expérience est de comprendre la relation entre les polypes et les xanthelles.

Question 4. D'après le document 3 :

- a) la photosynthèse des xanthelles est favorisée en présence du polype ;
- b) la matière organique des polypes est utilisée par les xanthelles ;
- c) les polypes font aussi de la photosynthèse car ils relâchent du carbone organique ;
- d) les polypes utilisent le carbone minéral relâché par les xanthelles.

Question 5. Pour le corail, on peut dire que :

- a) les xanthelles apportent de la matière organique et du CO_2 au polype ;
- b) il y a un bénéfice réciproque entre le polype et les xanthelles ;
- c) le polype est le seul bénéficiaire, c'est une symbiose ;
- d) les xanthelles transfèrent leurs gènes aux polypes.