

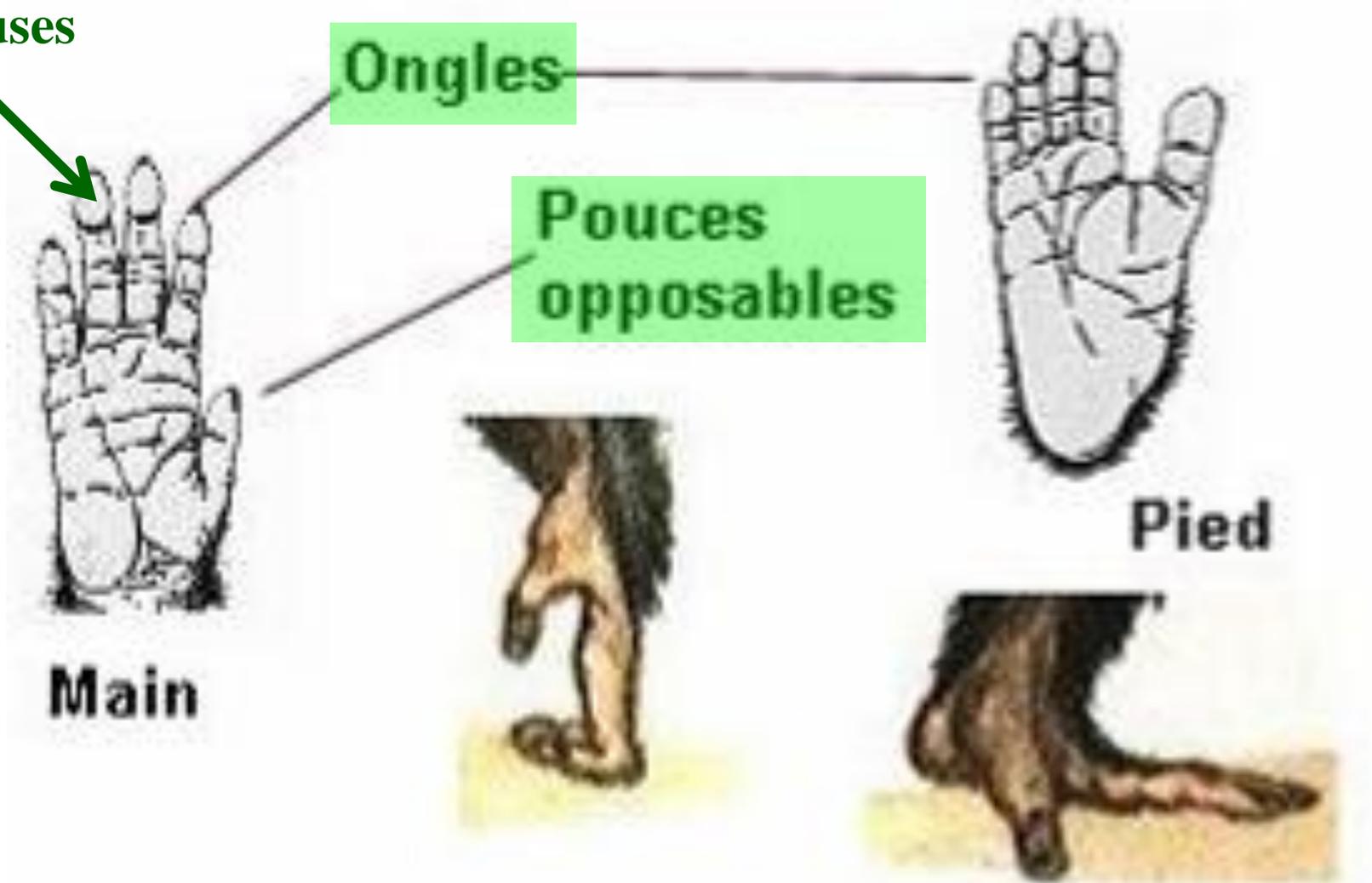
Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

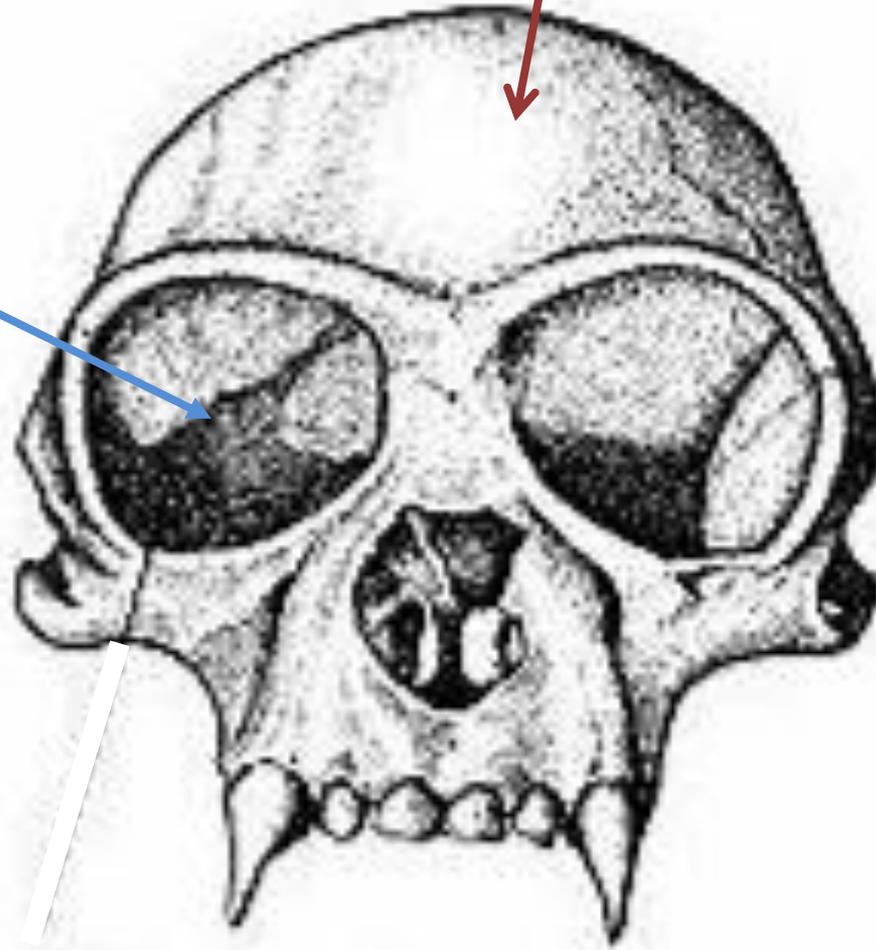
Caractéristiques des primates

**Nombreuses terminaisons
nerveuses**



Caractéristiques des primates

cortex cérébral développé



Grande orbite
+ cortex visuel
développé

Plus anciens fossiles de primates

Les premiers primates ont dû apparaitre entre
– 65 à – 50 Ma.

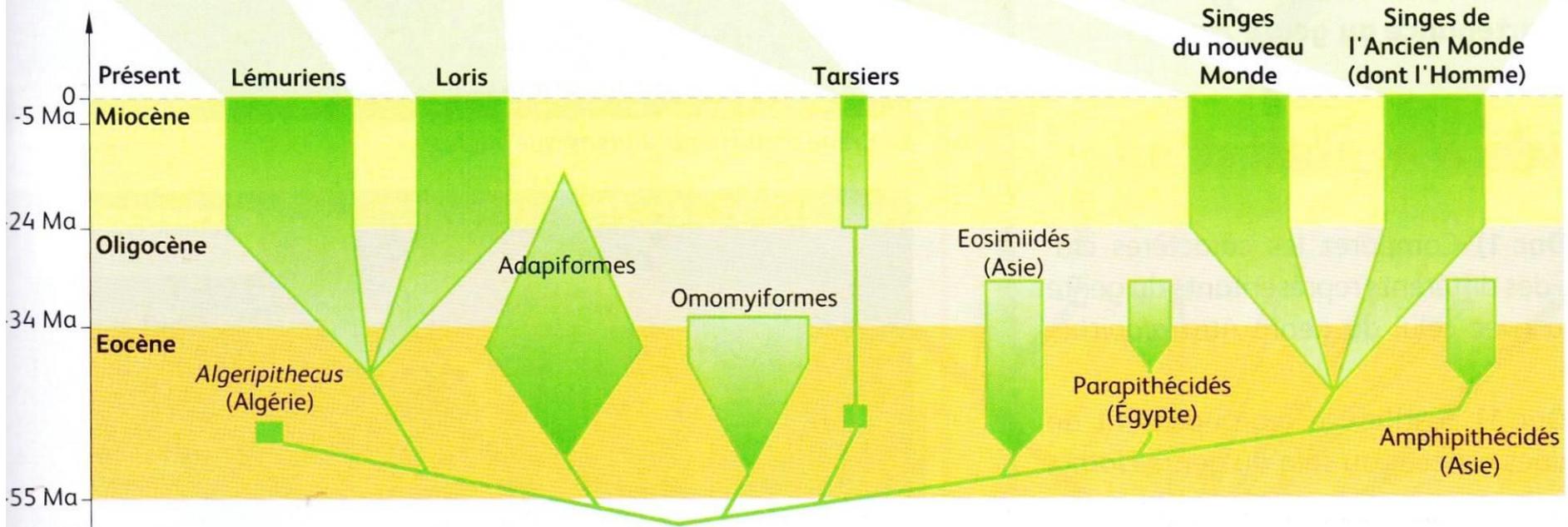


Darwinius masillae - 47 Ma



Algeripithecus - 50 Ma

Les primates, un groupe très diversifié dans le passé



Dans le passé, le groupe des primates était beaucoup plus diversifié qu'aujourd'hui

Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme au sein des primates.

1. Reconstituer une histoire évolutive.

**En comparant des caractères
morphologiques et anatomiques chez
différentes espèces**

- **Un caractère peut se trouver sous 2 états :**
 - **Un état ancestral (= primitif)**
 - **Un état dérivé (= innovation évolutive)**
 - **Apparition d'un caractère nouveau**
 - **Transformation d'un caractère préexistant**
- **Si 2 espèces possèdent le même état dérivé d'un caractère c'est qu'elles l'ont hérité d'un ancêtre commun qui possédait déjà ce caractère dérivé.**
 - => En comparant les caractères de différentes espèces, on peut établir les relations de parenté entre ces espèces et reconstituer leur histoire évolutive**

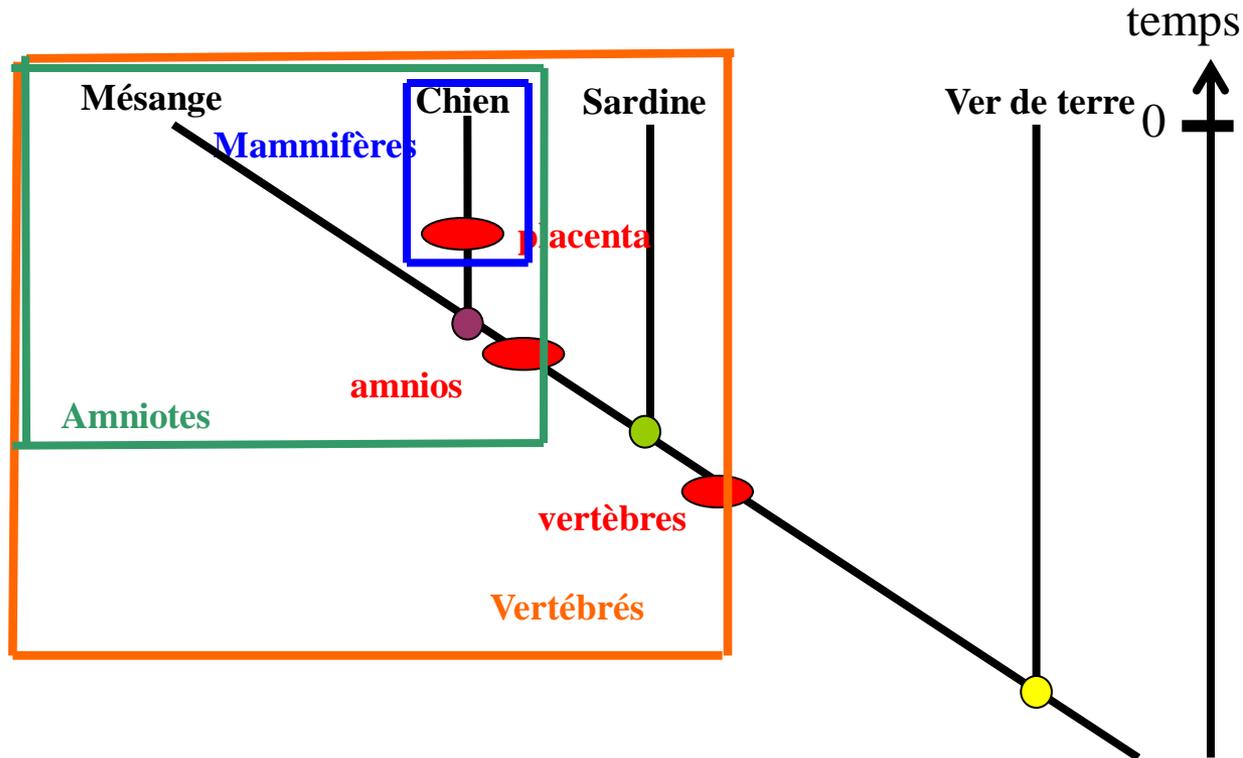
Reconstituer une histoire évolutive = phylogénie

Taxons--	caractères		
	vertèbres	amnios	placenta
Chien	1	1	1
Mésange	1	1	0
Sardine	1	0	0
ver de terre	0	0	0

Matrice
taxons/caractères

0 : état ancestral (ou primitif)
1 : état dérivé = innovation

-  Innovations évolutives
-  Ancêtre commun au chien et à la mésange
-  Ancêtre commun au chien, à la mésange et à la sardine
-  Ancêtre commun au chien, à la mésange et à la sardine et au ver de terre



Parenté la plus lointaine



**Peu de caractères
dérivés partagés**

Parenté la plus étroite

**De nombreux caractères
dérivés partagés**



**En comparant des séquences de
nucléotides de gènes ou des séquences
d'acides aminés de protéines**

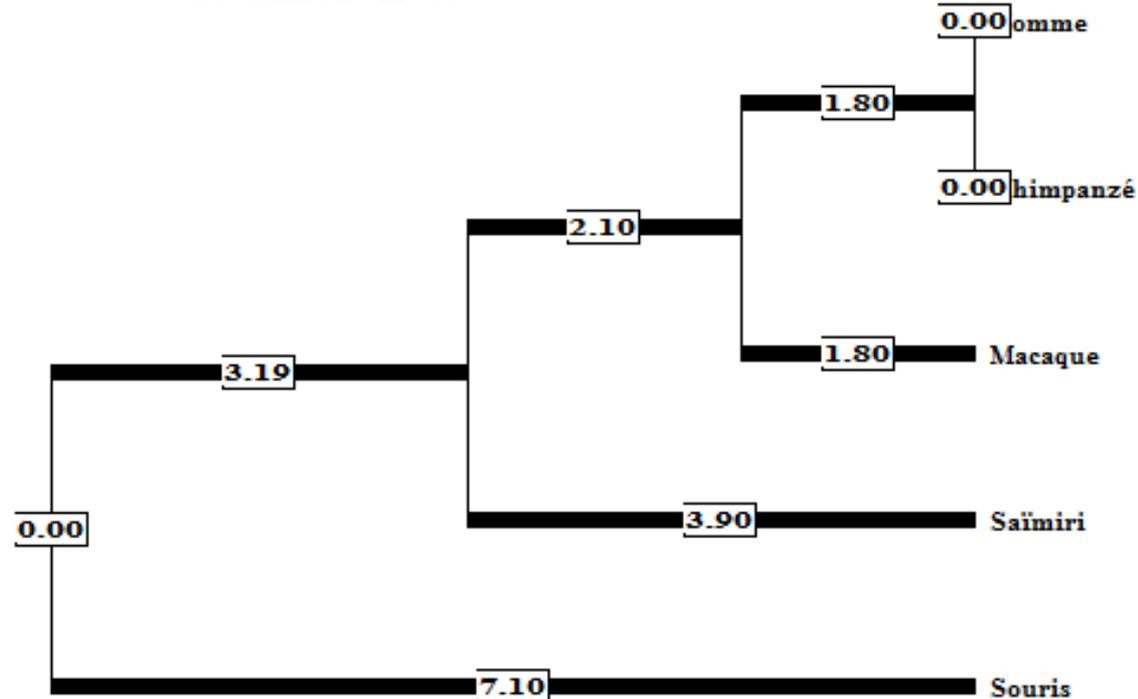
Comparaison des séquences de nucléotides du gène de l'opsine bleue chez différents vertébrés

				5				10					15				20				25				30				35				40				45				50				55										
Homme	A	T	G	A	G	A	A	A	A	A	T	G	T	C	G	G	A	G	G	A	A	G	A	G	-	-	-	T	T	T	T	A	T	C	T	G	T	T	C	A	A	A	A	A	T	A	T	C	T	C	T	T	C	A	G
Macaq	A	T	G	A	G	A	A	A	G	A	T	G	T	C	A	G	A	G	G	A	A	G	A	G	G	A	A	T	T	T	T	A	T	C	T	G	T	T	C	A	A	A	A	A	T	A	T	C	T	C	T	T	C	A	G
Chimp	A	T	G	A	G	A	A	A	A	A	T	G	T	C	A	G	A	G	G	A	A	G	A	G	-	-	-	T	T	T	T	A	T	C	T	G	T	T	C	A	A	A	A	A	T	A	T	C	T	C	T	T	C	A	G
Saimi	A	T	G	A	G	C	A	A	G	A	T	G	C	C	A	G	A	G	G	A	A	G	A	G	G	A	G	T	T	T	T	A	T	C	T	G	T	T	C	A	A	G	A	A	C	A	T	C	T	C	C	T	C	G	G
Souris	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	T	G	T	C	A	G	G	A	G	A	G	A	G	T	G	A	C	T	T	T	T	A	C	C	T	G	T	T	T	C	A	G	A	A	T	A	T	C	T	C	T	T	C	G	G

	Saïmiri	Homme	Chimpanzé	Souris	Macaque
Saïmiri	0	7.81	7.81	14.4	7.81
Homme		0	0	13.5	3.6
Chimpanzé			0	13.5	3.6
Souris				0	14.4
Macaque					0

% de différences

Demi matrice des distances



Arbre phylogénétique

Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

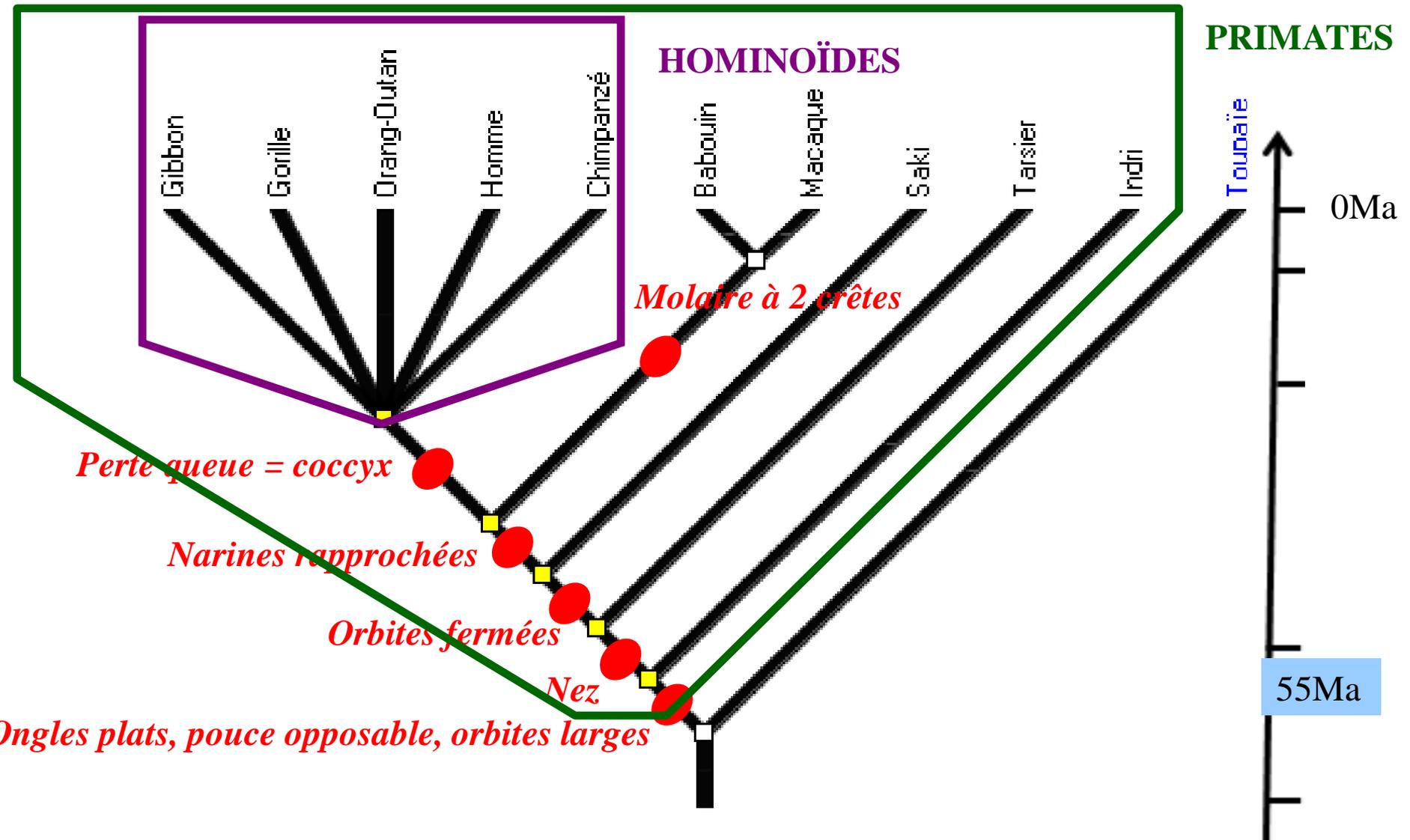
1. Reconstituer une histoire évolutive.

2. La place de l'Homme dans l'histoire évolutive des primates.

Place de l'Homme parmi les primates : matrice de caractères

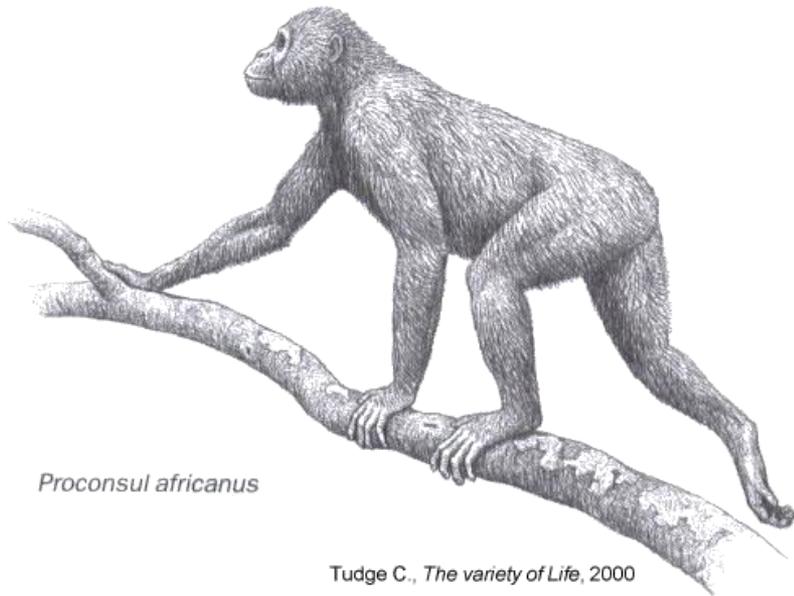
	Terminaisons des doigts	Pouce	Appendice nasal	Orbites	Narines	Queue
Chimpanzé	Ongles	Opposable	Nez	Fermées	Rapprochées	Absente
Gibbon	Ongles	Opposable	Nez	Fermées	Rapprochées	Absente
Gorille	Ongles	Opposable	Nez	Fermées	Rapprochées	Absente
Homme	Ongles	Opposable	Nez	Fermées	Rapprochées	Absente
Orang-Outan	Ongles	Opposable	Nez	Fermées	Rapprochées	Absente
Macaque	Ongles	Opposable	Nez	Fermées	Rapprochées	Présente
Babouin	Ongles	Opposable	Nez	Fermées	Rapprochées	Présente
Saki	Ongles	Opposable	Nez	Fermées	Ecartées	Présente
Tarsier	Ongles	Opposable	Nez	Ouvertes	Ecartées	Présente
Indri	Ongles	Opposable	Truffe	Ouvertes	Ecartées	Présente
Toupaïe	Griffes	Non opposable	Truffe	Ouvertes	Ecartées	Présente

Arbre phylogénétique obtenu à partir de caractères anatomiques

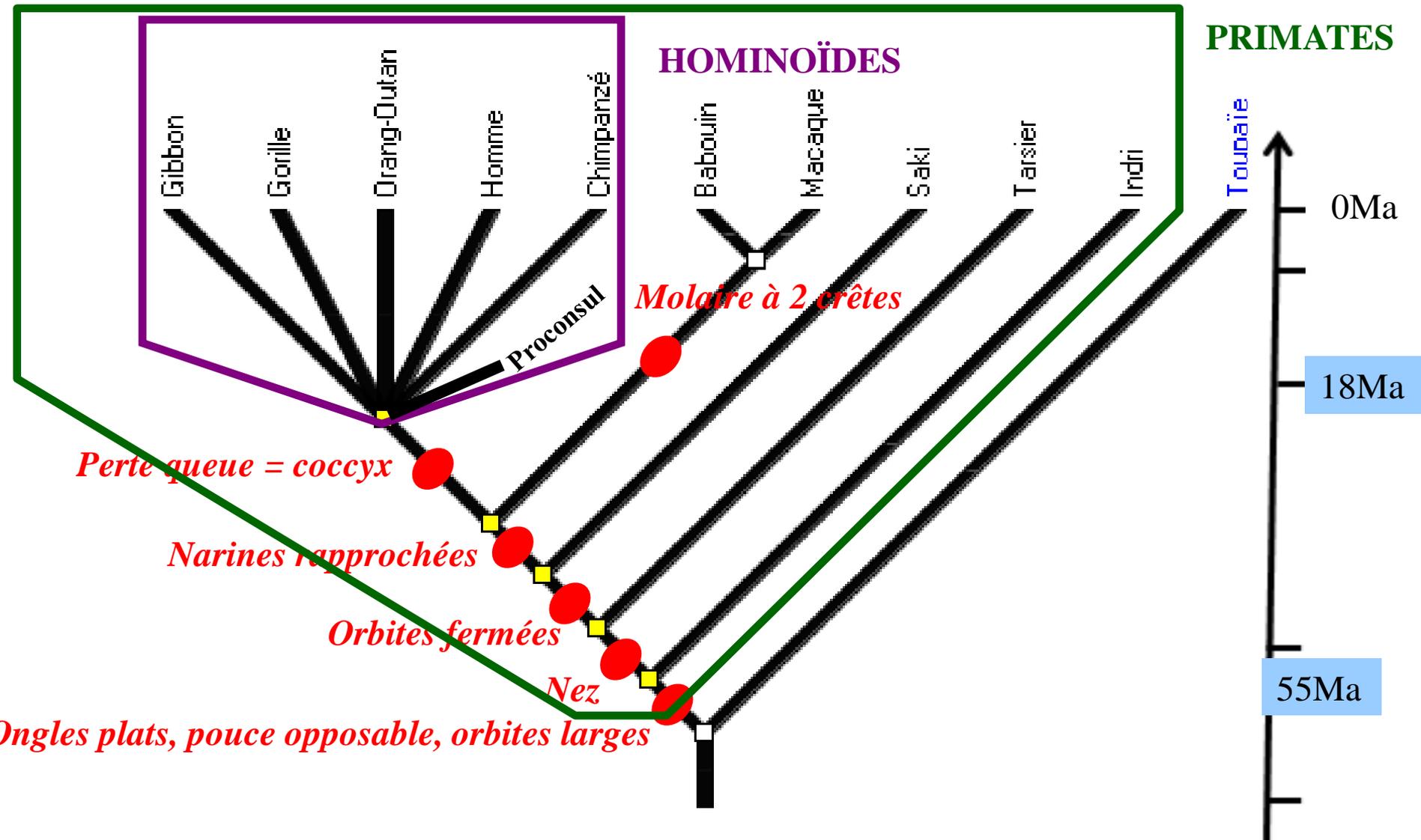


Les premiers grands primates

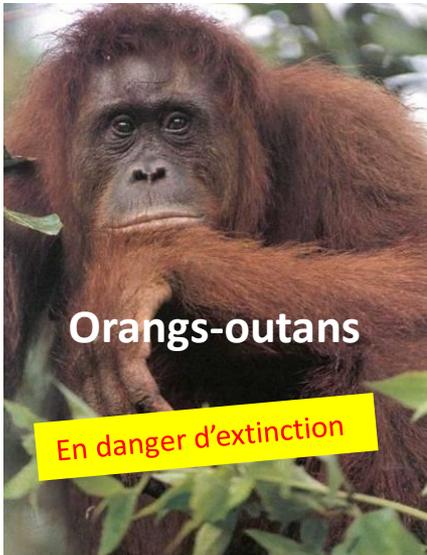
Fossile de *Proconsul africanus* -18 Ma



Arbre phylogénétique obtenu à partir de caractères anatomiques



De nombreuses espèces de grands primates sont aujourd'hui menacées d'extinction



Homme

Utilisation de données moléculaires pour préciser la place de l'homme parmi les hominoïdes

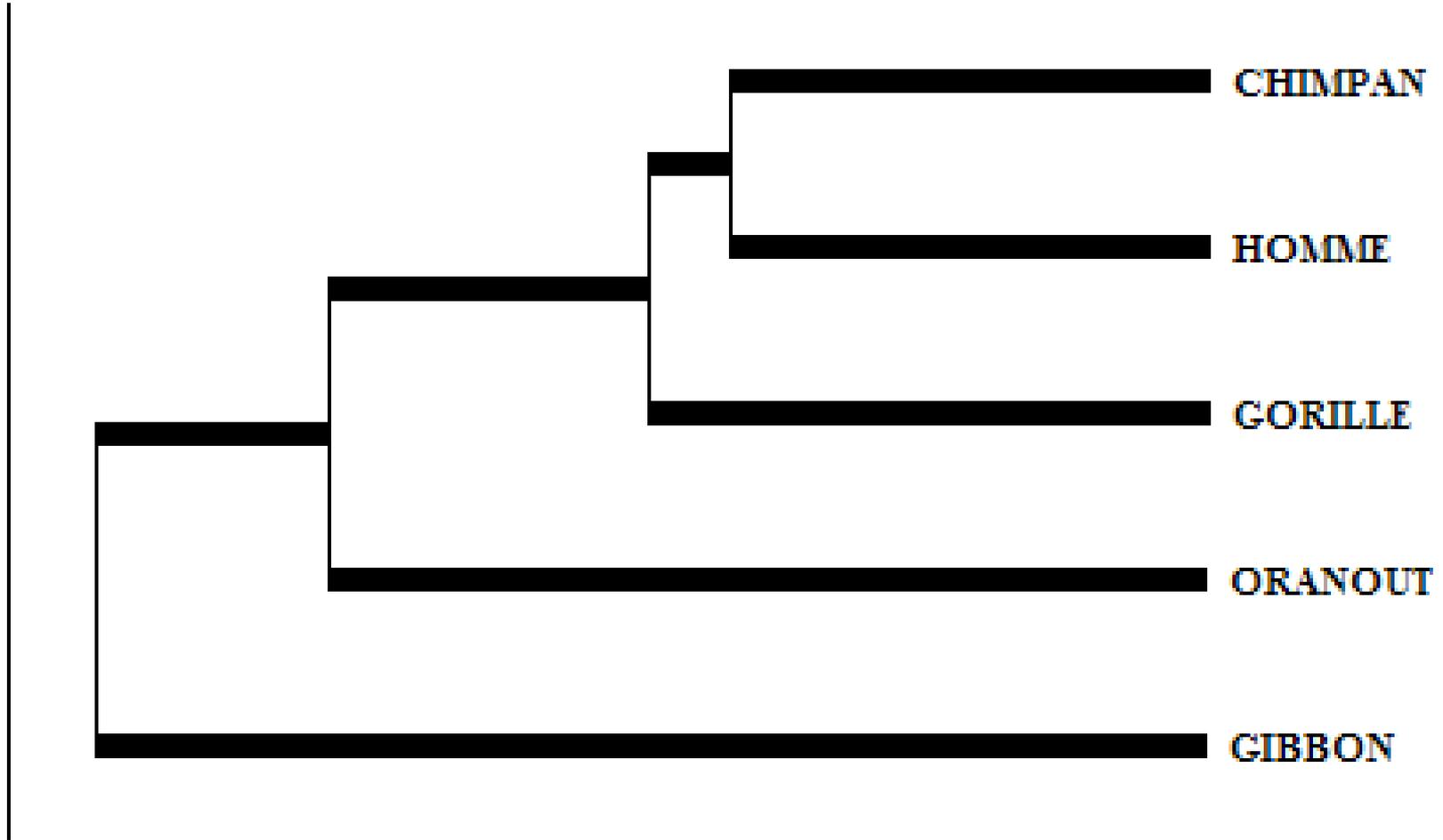
Comparaison de la séquence d'acides aminés d'une enzyme : la cycloxydase

				5				10				15				20				25				30				35				40										
GORILLE	M	A	H	A	A	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	T	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	C	F	L	V	L	Y	A	L
ORANOUT	M	A	H	R	A	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	V	I	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	C	F	L	V	L	Y	A	L
GIBBON	M	A	H	A	T	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	S	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	S	F	L	V	L	Y	A	L
MACAQUE	M	A	H	P	V	Q	L	S	L	Q	D	A	T	S	P	V	M	E	E	L	I	T	F	H	D	H	A	F	M	A	M	S	L	I	S	F	L	V	L	Y	A	L
CEBUS_ALBIFRONS	M	A	T	P	A	Q	L	G	L	Q	N	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	A	F	H	D	H	T	L	M	I	I	F	L	I	S	S	L	V	L	Y	I	I
ATELES	M	A	H	P	A	Q	L	G	L	Q	N	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	A	F	H	D	H	T	L	M	I	I	F	L	I	S	S	L	V	L	Y	I	I
ALOUATTA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	A	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	S	S	L	V	L	Y	V	I	

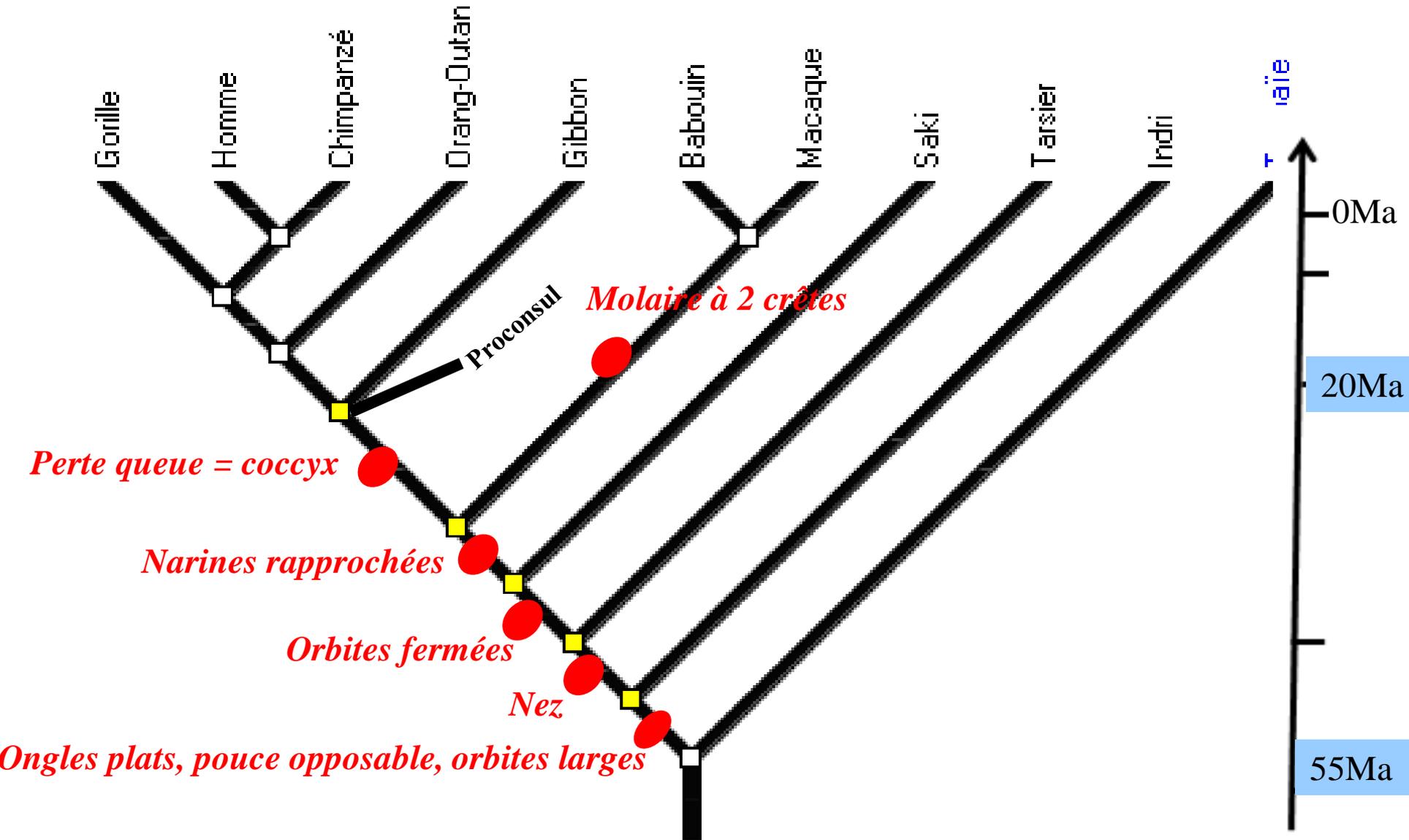
Utilisation de données moléculaires pour préciser la place de l'homme parmi les hominoïdes

	CHIMPAN	HOMME	GORILLE	ORANOUT	GIBBON
CHIMPAN	0	6	7	12	14
HOMME		0	7	14	13
GORILLE			0	9	14
ORANOUT				0	14
GIBBON					0

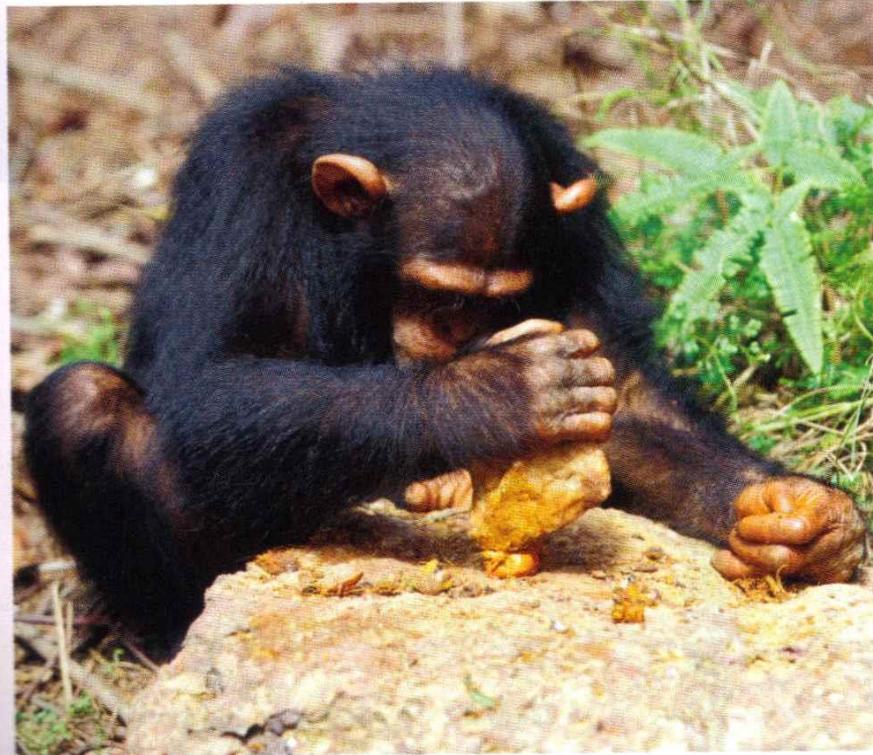
Utilisation de données moléculaires pour préciser la place de l'homme parmi les hominoïdes



Histoire évolutive des primates



L'Homme et le Chimpanzé partagent un ancêtre commun récent

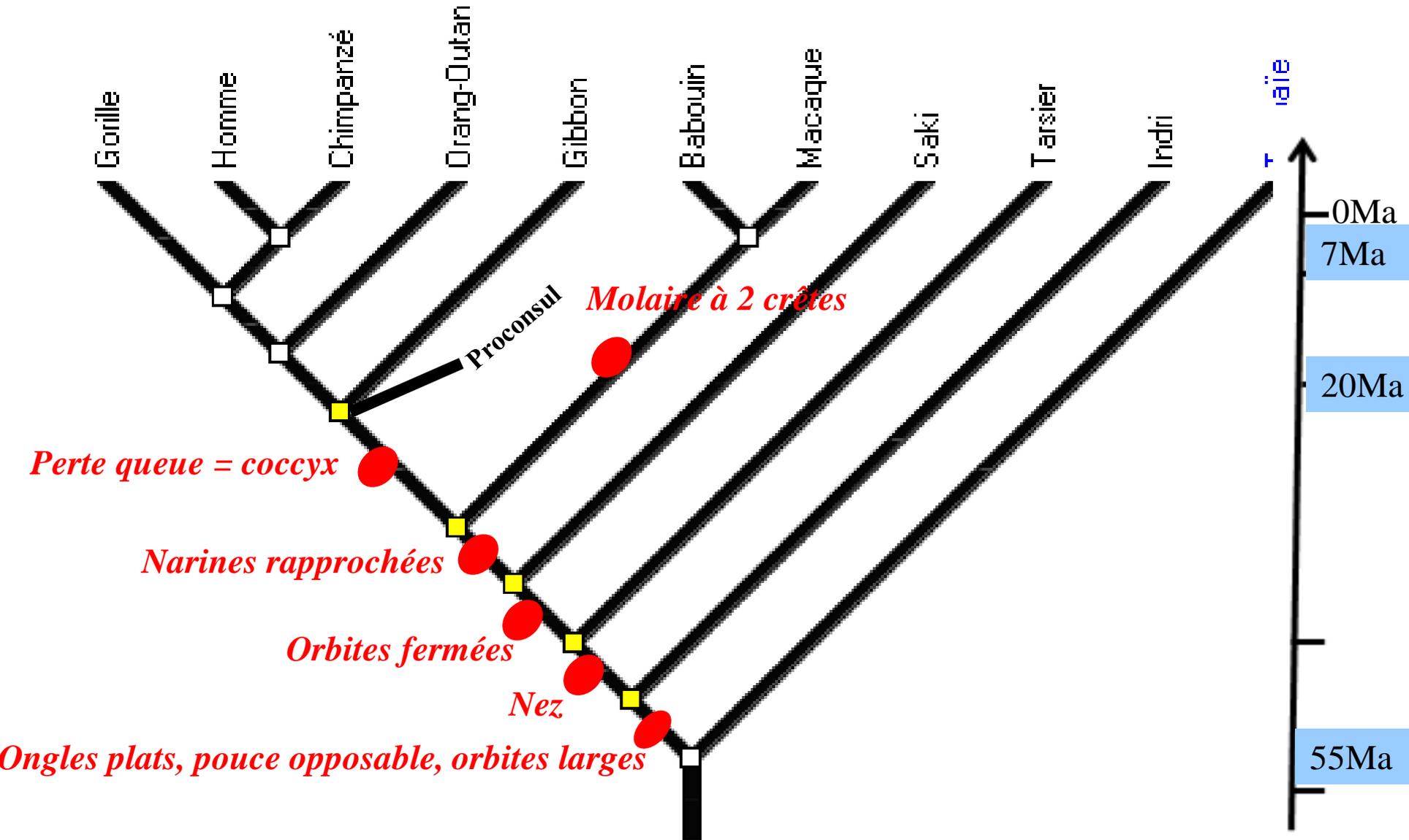


Casser une noix entre deux pierres, l'une servant de marteau et l'autre d'enclume, suppose la mise en relation de trois objets. Cette utilisation d'outils, la plus complexe connue naturellement à ce jour chez les animaux, se rencontre chez les chimpanzés.

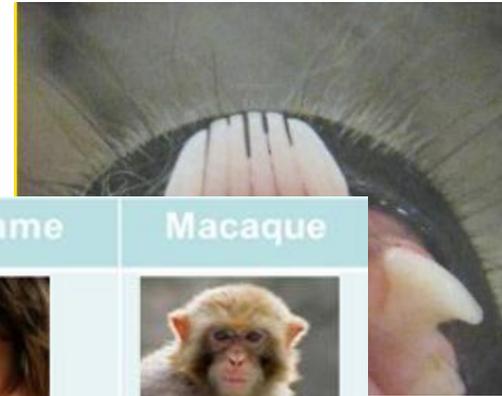
« Si l'on fait le bilan de ce que l'on a observé depuis 30 ans chez les chimpanzés, on s'aperçoit que tout ce que l'on avait cru voir se manifester en termes d'adaptation uniquement chez les hommes c'est-à-dire la bipédie, l'outil, la chasse, le partage de la nourriture, la sexualité, les systèmes sociaux, le rire, la conscience, l'empathie, la sympathie, les chimpanzés le font aussi. Donc, soit ils ont tout acquis indépendamment, soit cela vient du dernier ancêtre commun, ce qui est plus plausible. Cela veut dire que déjà dans le monde des forêts, il y a 6 à 7 millions d'années, toutes ces caractéristiques que l'on a cru propres à l'Homme existaient et font partie d'un bagage ancestral commun ».

Pascal Picq (*Entretien RFI*).

Histoire évolutive des primates



Place du fossile *Darwinius Masillae*



	Babouin	Chimpanzé	Indri	Homme	Macaque
					
Molaires à 2 crêtes	oui	non	non	non	oui
Peigne dentaire	non	non	oui	non	non
Pouce	Opposable	Opposable	Opposable	Opposable	Opposable
Queue ou coccyx	Queue	Coccyx	Queue	Coccyx	Queue
Truffe ou nez	Nez	Nez	Truffe	Nez	Nez

 **État dérivé**

qu'Ida appartient à un rameau du groupe des primates, aujourd'hui éteint, partageant certains caractères avec les lémuriens (incisives constituant un « **peigne dentaire** »).

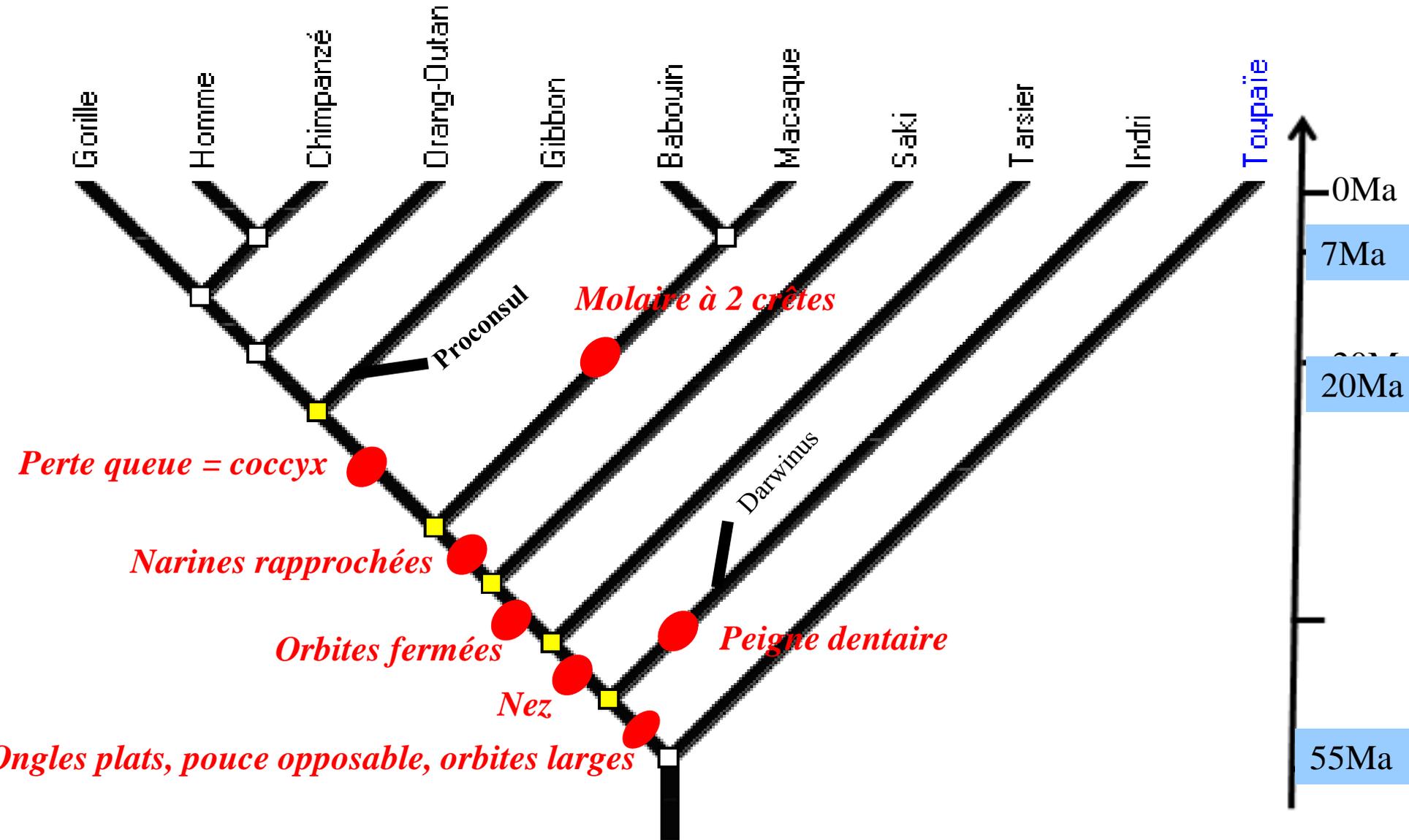
La radiographie du pied de *Darwinius masillae* révèle le caractère opposable du premier orteil et l'absence de griffe.



ossiles :
rtenant
années).
appelé
ert dans



Histoire évolutive des primates



Place du fossile *Darwinius Masillae*

Darwinius -47 Ma



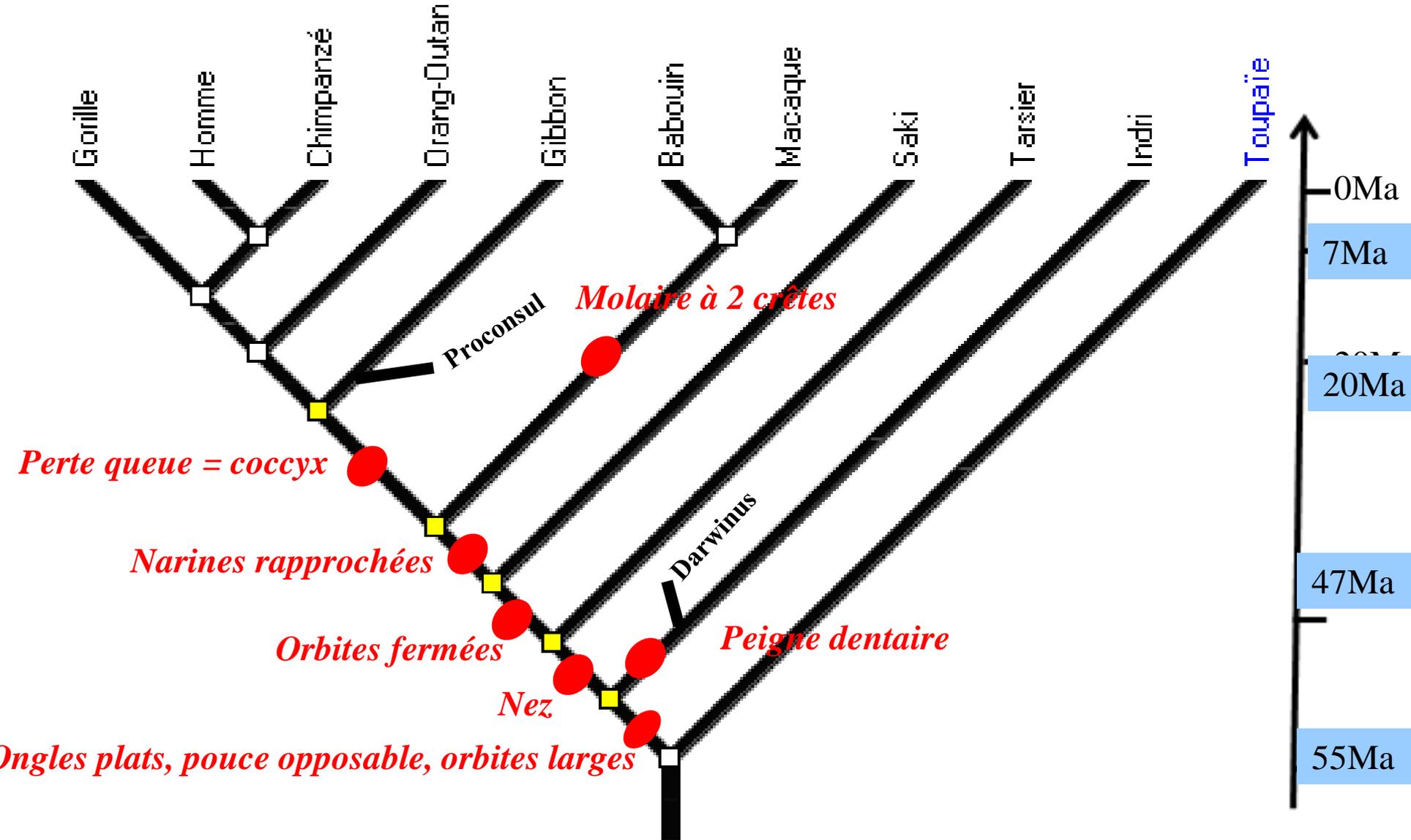
Plusieurs centaines de primates ne sont connues que par l'existence de fossiles : ce sont des espèces aujourd'hui disparues. Les plus anciens fossiles appartenant indiscutablement au groupe des primates datent de – 55 Ma (millions d'années). La photographie **a** présente *Darwinius masillae*, plus communément appelé Ida, un fossile remarquablement conservé (95 % du squelette), découvert dans le site fossilifère de Messel, près de Francfort en Allemagne et daté de – 47 Ma.

L'étude du squelette montre qu'Ida était une femelle arboricole, mesurant environ 1 m (longue queue comprise) et pesant 700 à 900 g. L'exceptionnelle conservation de ce fossile permet de voir des traces de fourrure et l'empreinte du tube digestif contenant le dernier repas (fruits, graines, feuilles). Une étude approfondie montre qu'Ida appartient à un rameau du groupe des primates, aujourd'hui éteint, partageant certains caractères avec les lémuriens (incisives constituant un « **peigne dentaire** »).



La radiographie du pied de *Darwinius masillae* révèle le caractère opposable du premier orteil et l'absence de griffe.

Histoire évolutive des primates



Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

1. Reconstituer une histoire évolutive.

2. La place de l'Homme dans l'histoire évolutive des primates.

C. La dynamique évolutive au sein du rameau humain.

L'Homme et le Chimpanzé partagent un ancêtre commun récent



Rameau humain



- 7 Ma

ancêtre
commun

Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

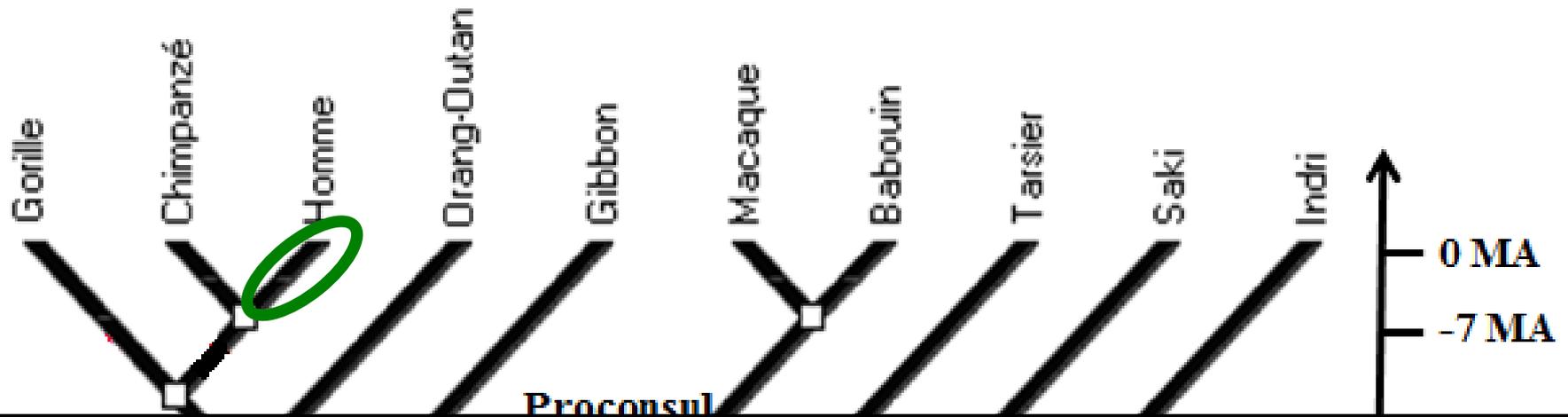
1. Reconstituer une histoire évolutive.

2. La place de l'Homme dans l'histoire évolutive des primates.

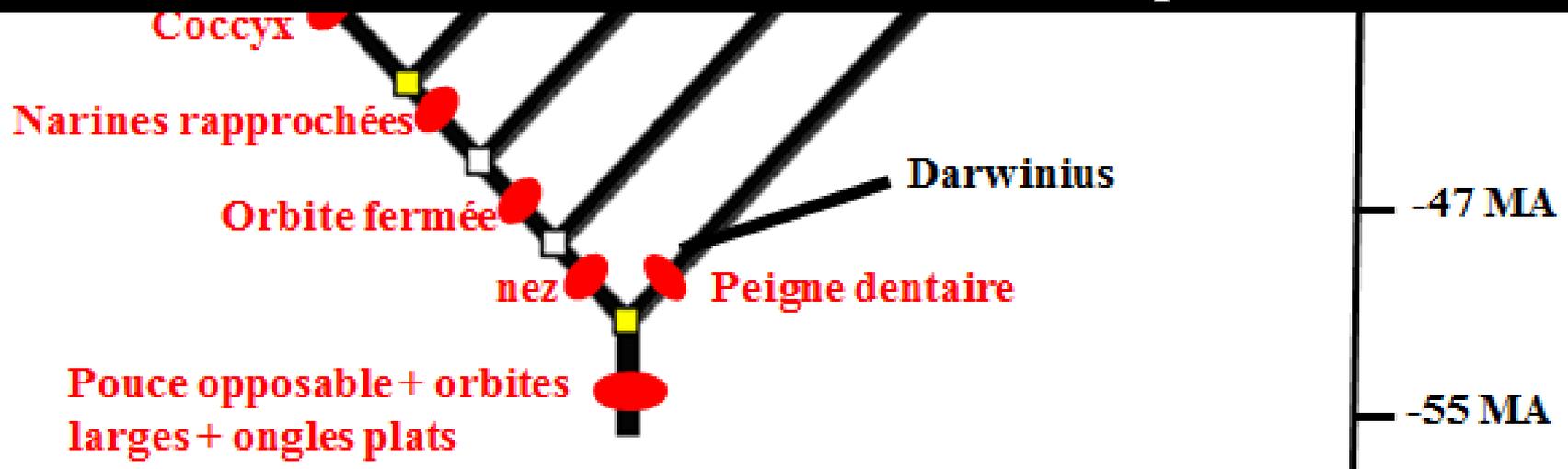
C. La dynamique évolutive au sein du rameau humain.

1. Les caractères dérivés propres à l'Homme

Intérêt de la comparaison Homme / Chimpanzé



Les caractères dérivés que possède l'Homme mais pas le chimpanzé sont forcément apparus sur le « rameau Humain » après le dernier ancêtre commun à l'Homme et au Chimpanzé



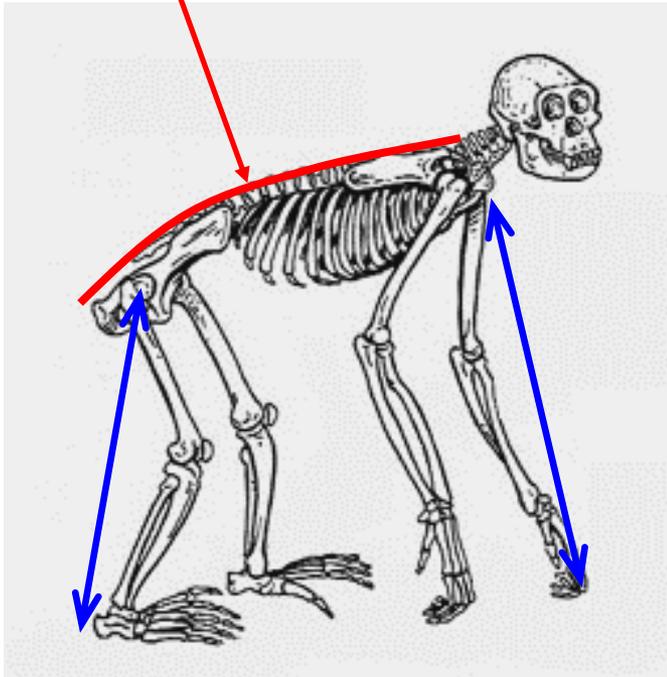
Caractères liés à la bipédie permanente

La colonne vertébrale

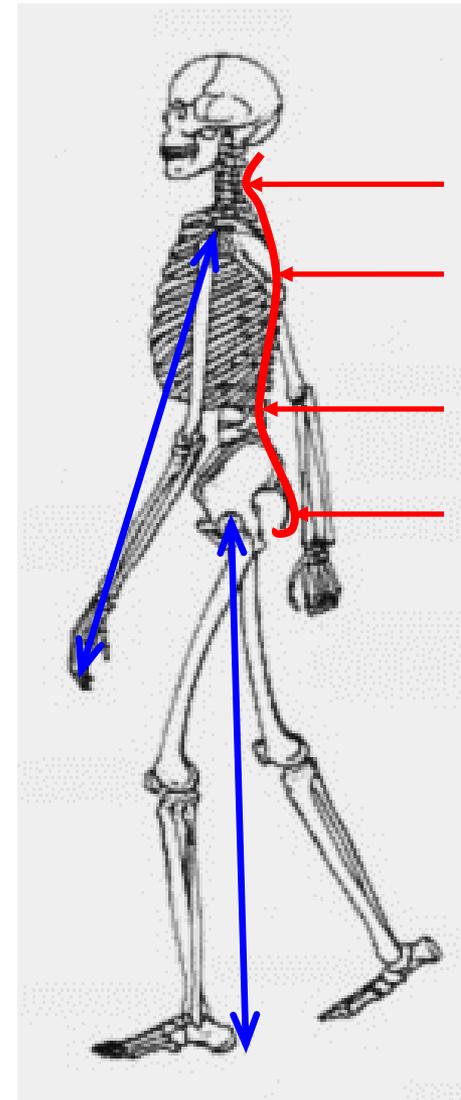
Les membres

Allongement du membre postérieur par rapport au membre antérieur

Membres supérieurs plus grands que les membres inférieurs
1 seule courbure



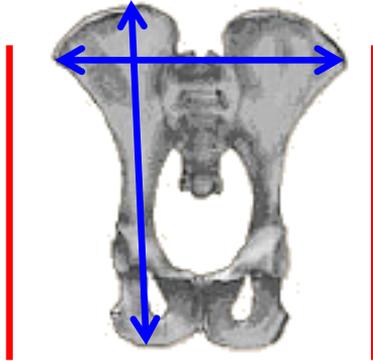
chimpanzé



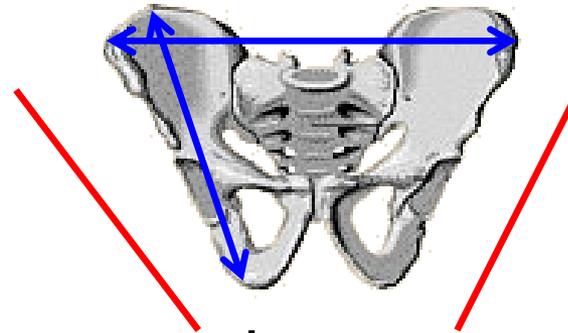
4 courbures

homme

Le bassin



grand singe

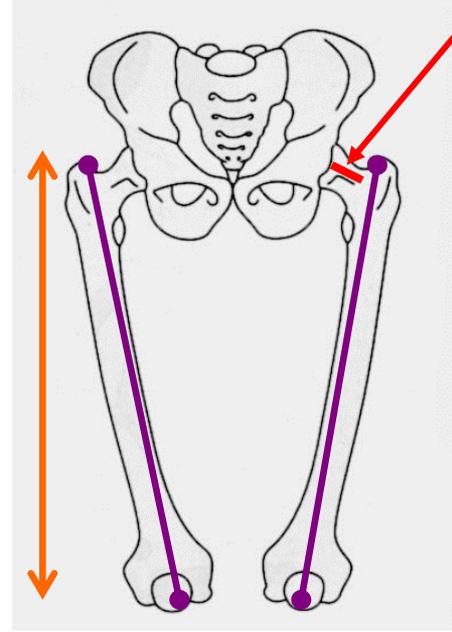
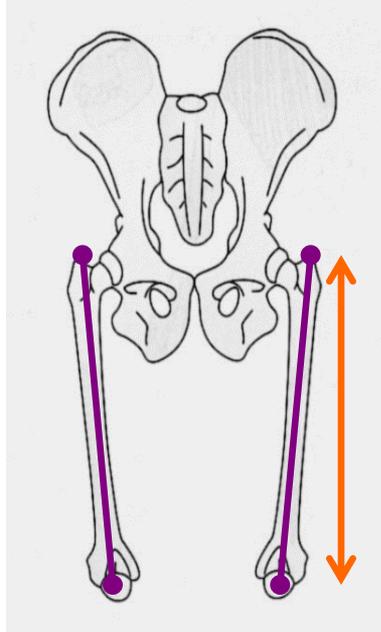


homme

Le bassin de l'homme est :

- court
- large
- évasé (en forme de corbeille)

Le fémur



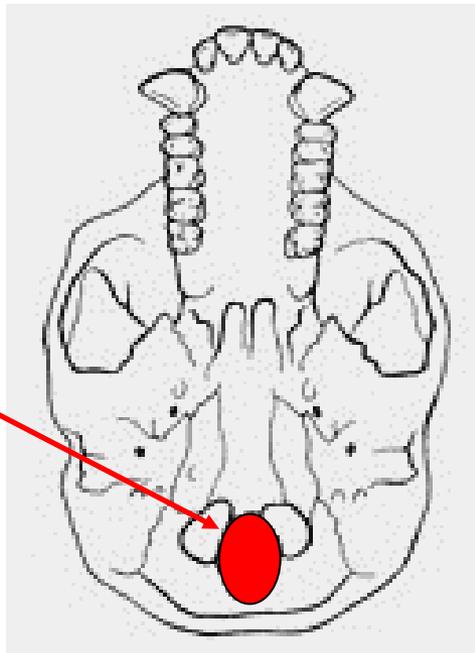
Col du fémur



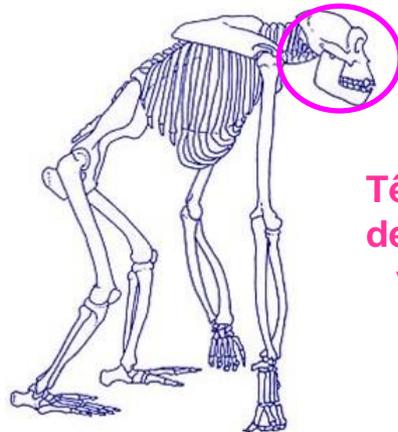
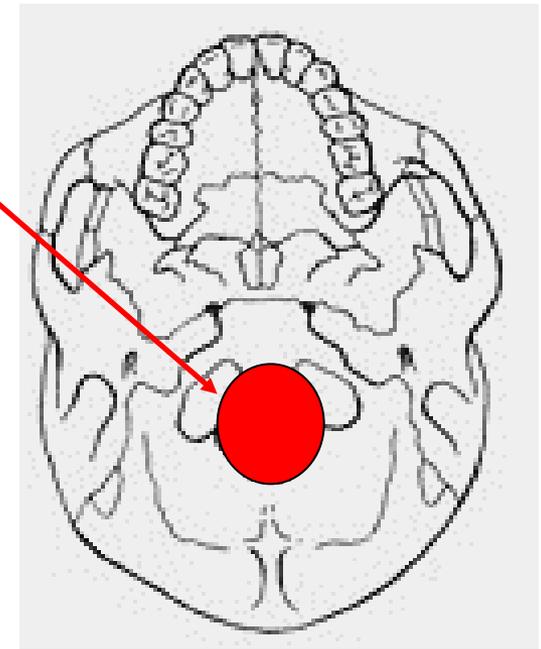
Le fémur est plus long et oblique par rapport à l'axe du corps
Le col du fémur est plus long

Trou occipital

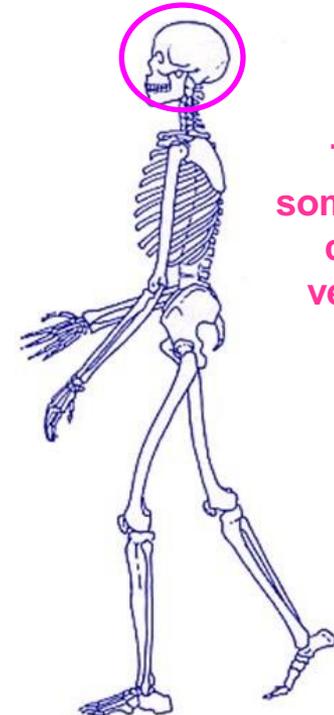
Trou occipital en position reculée



Trou occipital en position avancée



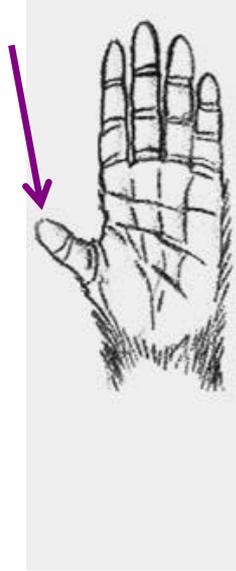
Tête en avant de la colonne vertébrale



Tête au sommet de la colonne vertébrale

La main

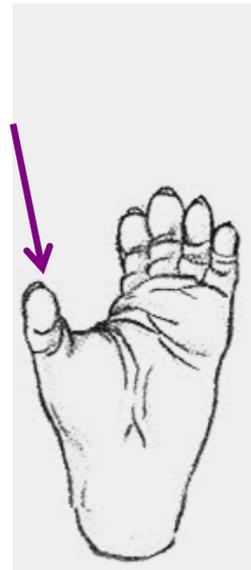
Mouvement du poignet 90 °



Main préhensile (rotation du poignet 180°)

Organe du toucher et de la préhension

Le pied



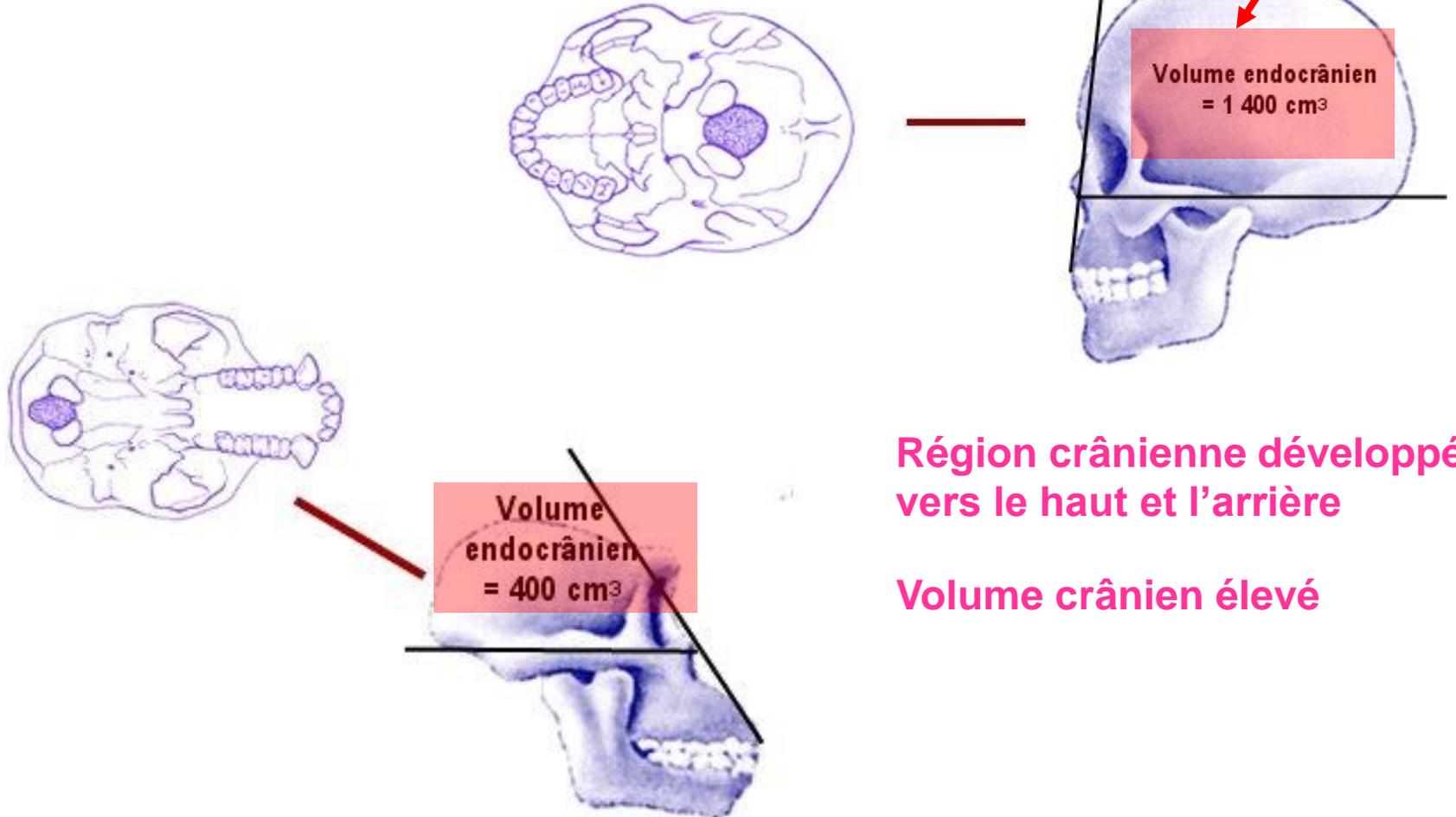
Orteil parallèle aux autres doigts : le pied n'est plus préhensile

Voûte plantaire



Caractères spécifiques du crâne et de la mâchoire

Le crâne



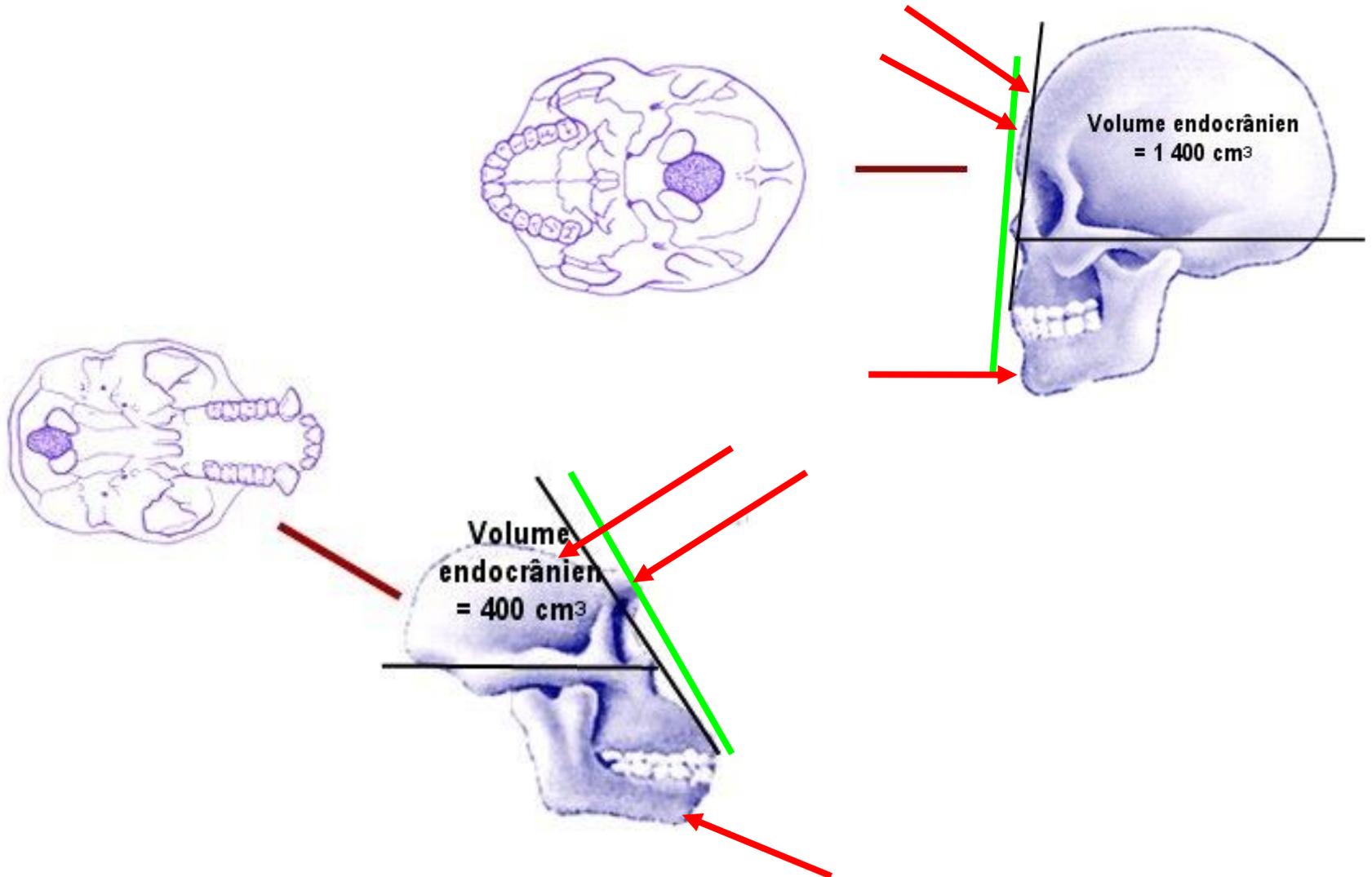
Région crânienne développée vers le haut et l'arrière

Volume crânien élevé

La face

Face presque plate = orthognathe
Front plat

Absence de bourrelets sus-orbitaires
menton

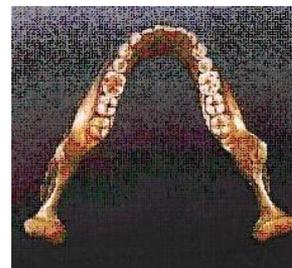
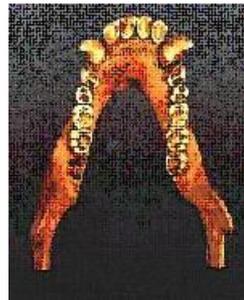
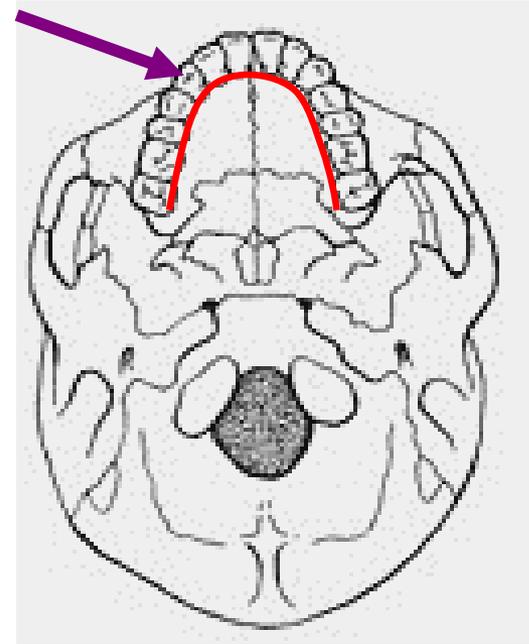
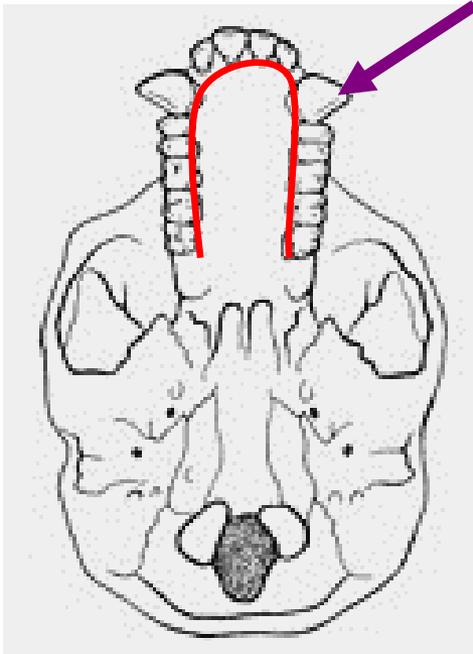


denture

Arcade dentaire parabolique (en V)

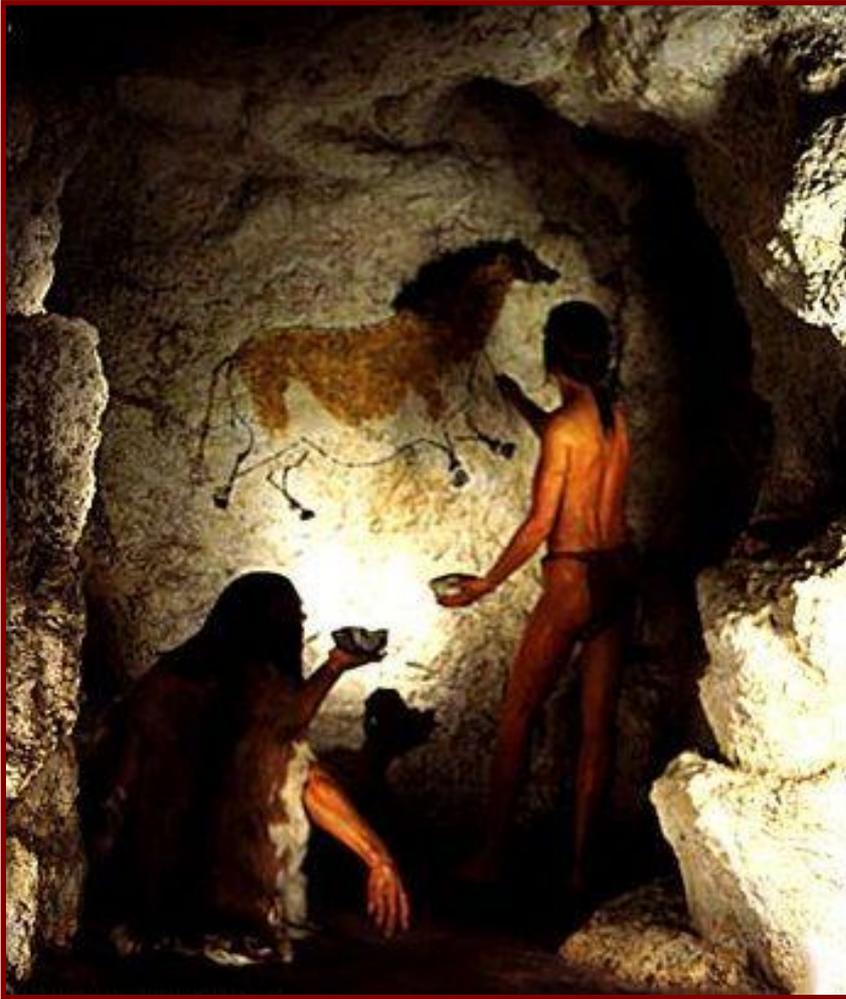
Dents serrées, peu différenciées de petite taille

Email épais



Activités sociales et culturelles

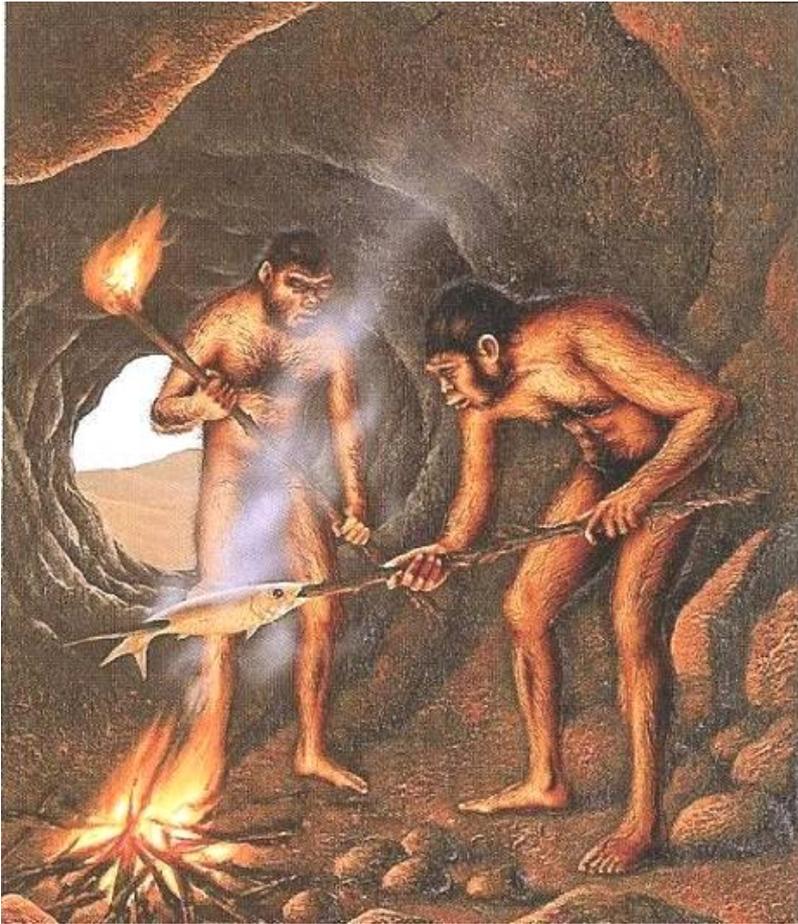
Activité culturelle



Invention de l'art



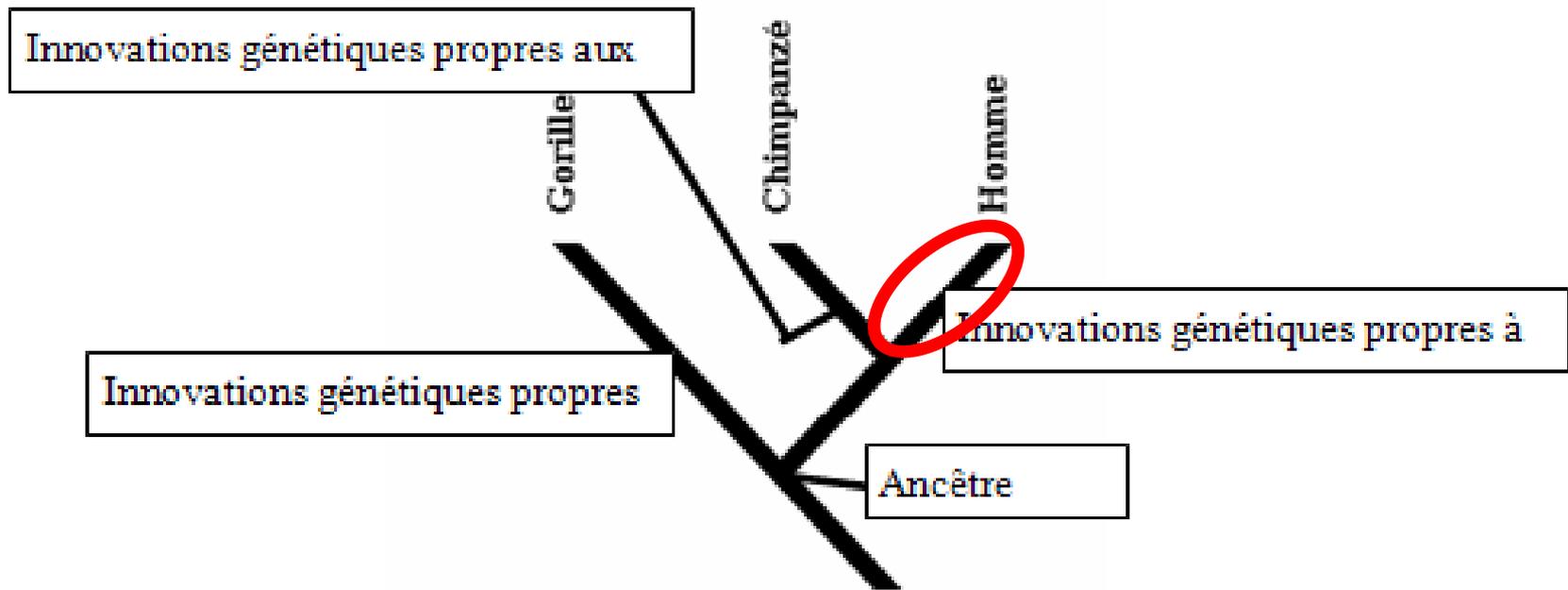
Conscience de la mort



Maîtrise du feu



Outils perfectionnés



Tout fossile qui possède au moins un caractère dérivé spécifique à l'Homme appartient au rameau Humain.

Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

1. Reconstituer une histoire évolutive.

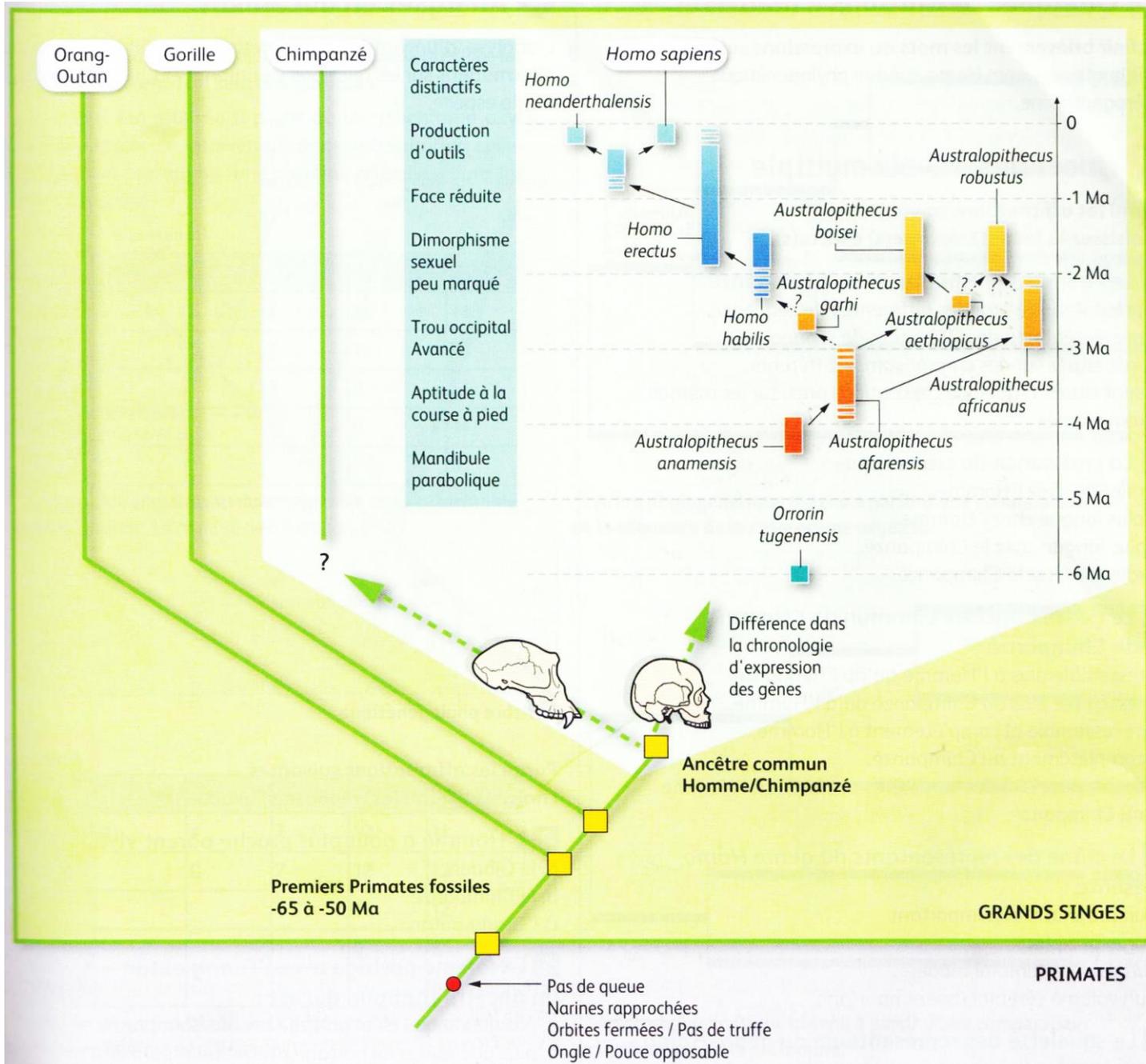
2. La place de l'Homme dans l'histoire évolutive des primates.

C. La dynamique évolutive au sein du rameau humain.

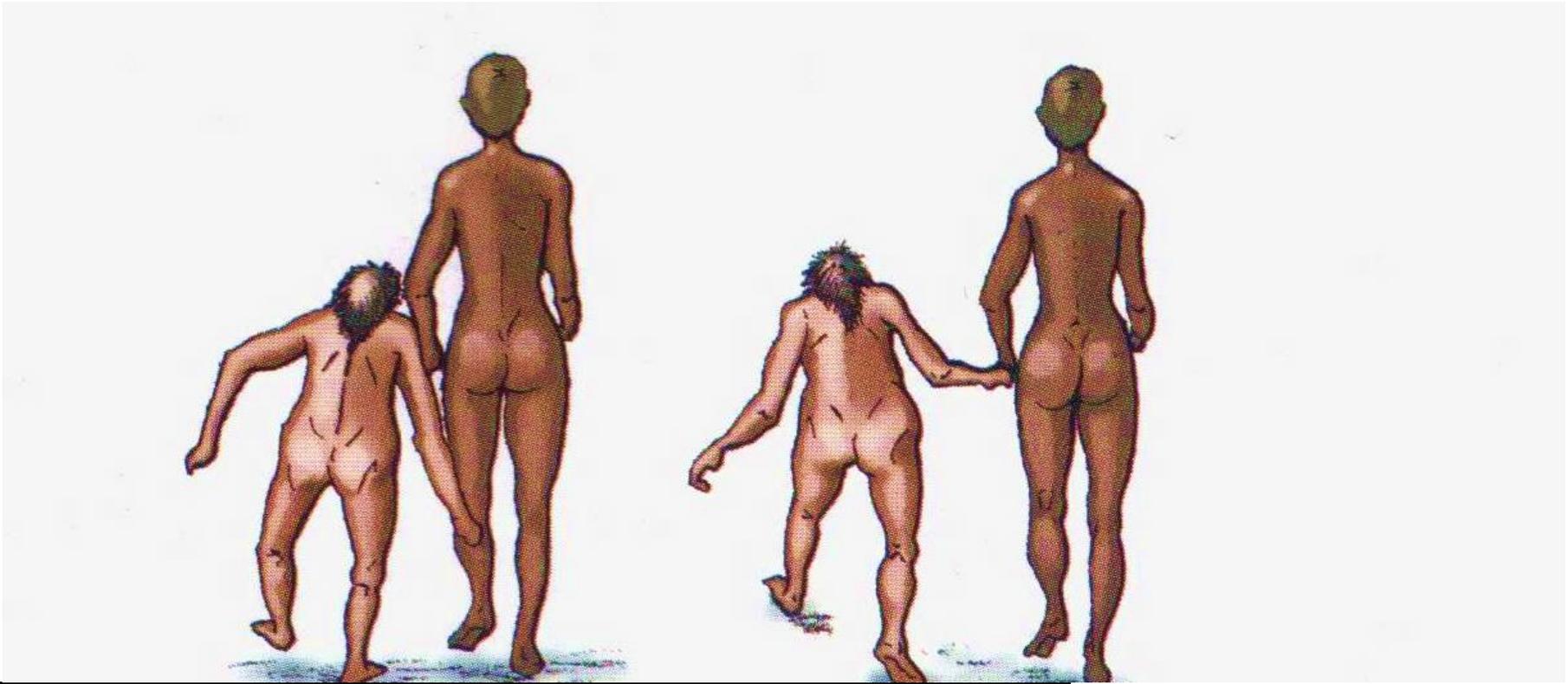
1. Les caractères dérivés propres à l'Homme

2. Etablissement d'une phylogénie au sein du rameau humain.

Histoire évolutive du rameau humain



Les Australopithèques



Bipédie permanente mais imparfaite

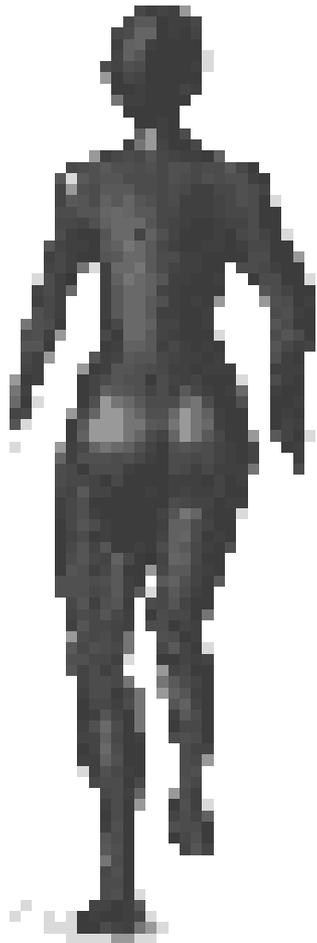
Les Australopithèques « robustes » :
Paranthropus

P. aethiopicus

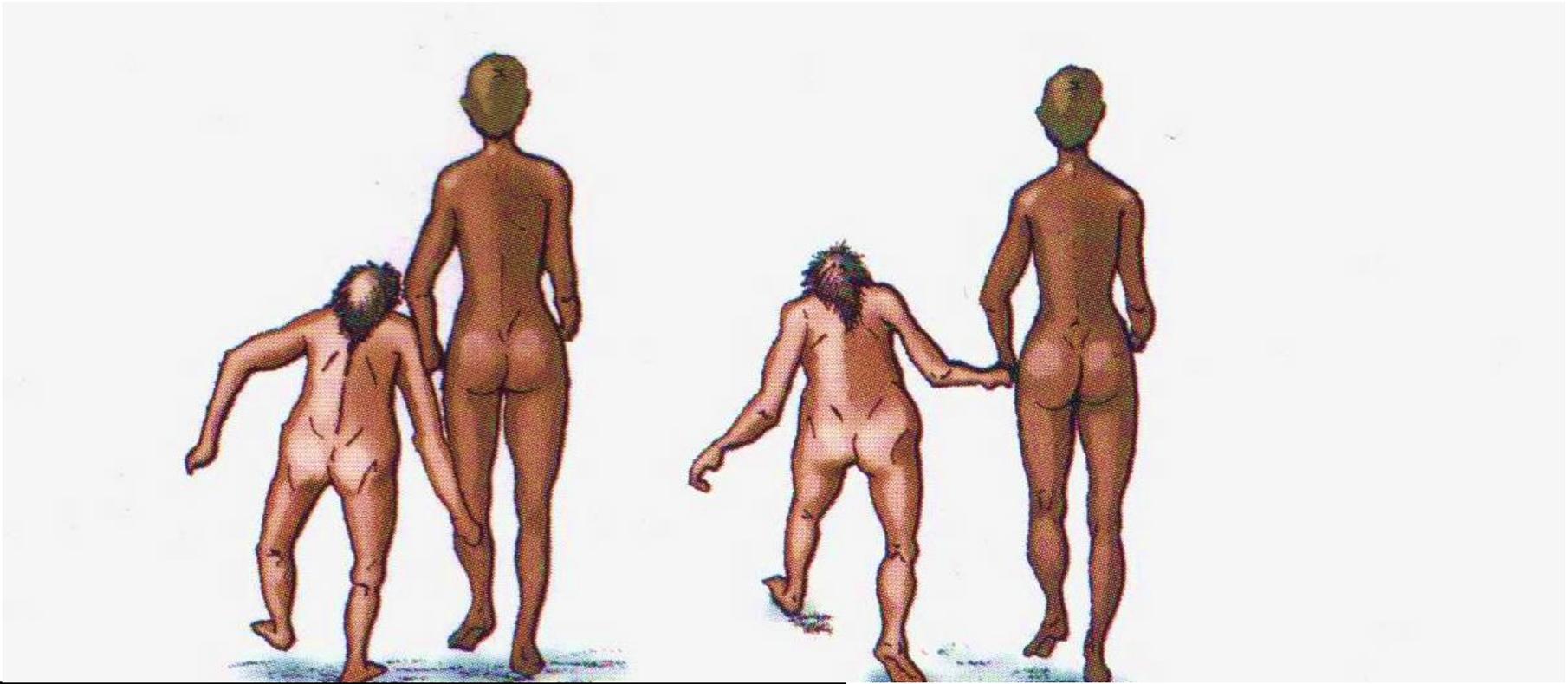
P. bosei

P. robustus





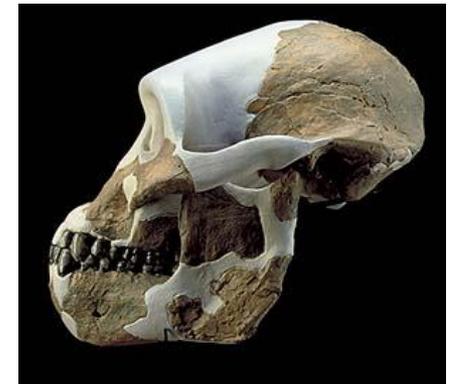
Les Australopithèques



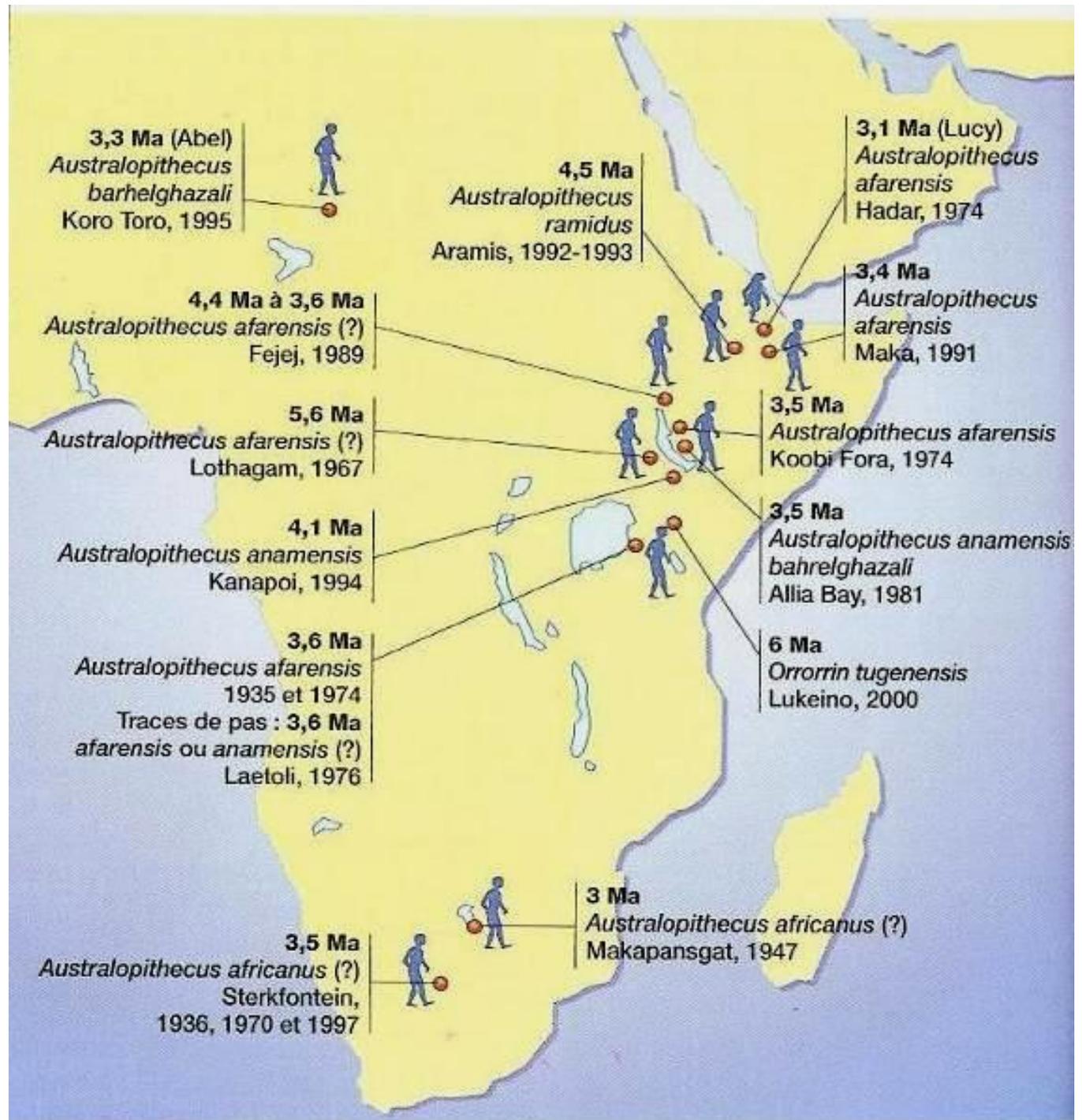
Bipédie permanente mais imparfaite

Face projetée vers l'avant (prognathe)

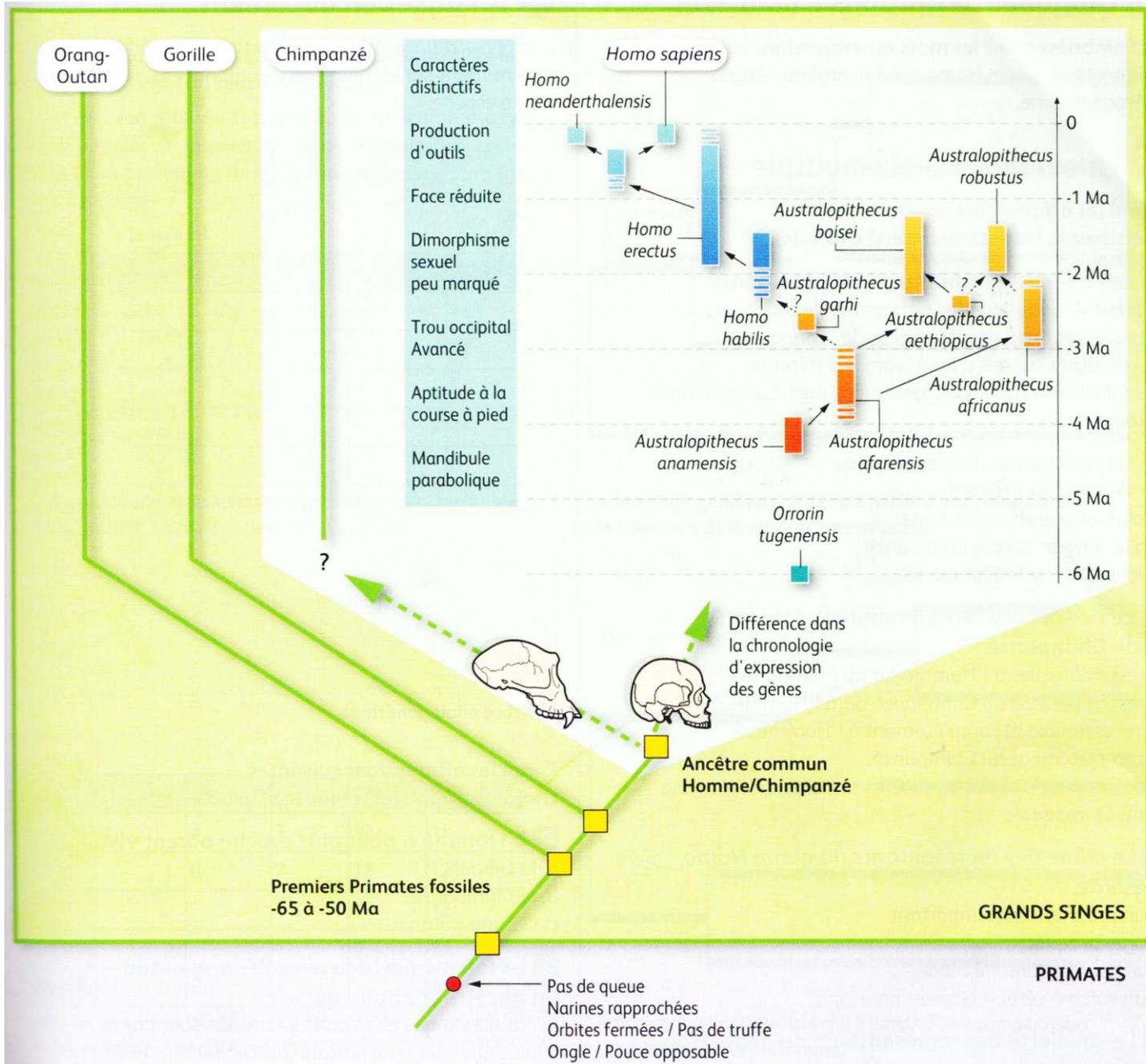
Capacité crânienne réduite



Répartition

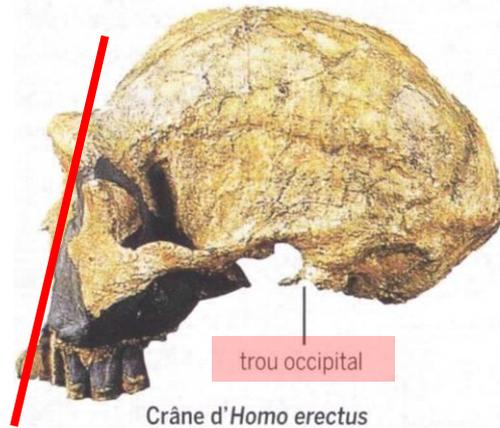


Histoire évolutive du rameau humain

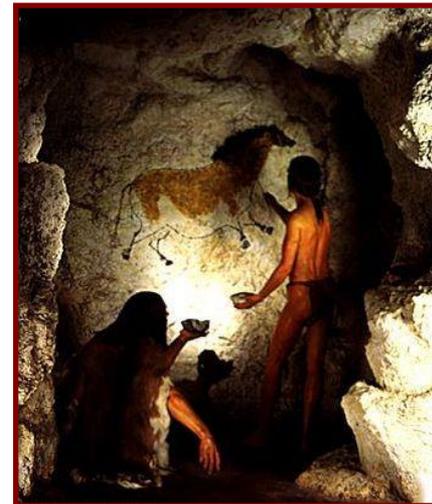


Caractéristiques du genre Homo

-2.5 Ma → actuel

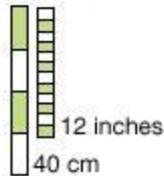


- **Bipédie plus élaborée => déplacement sur de longues distances**
- **Face plus plate (plus orthognathe)**
- **Capacité crânienne importante : > 600 cm³**
- **Mandibule parabolique (en V)**
- **Production d'outils complexes**
- **Pratiques culturelles**

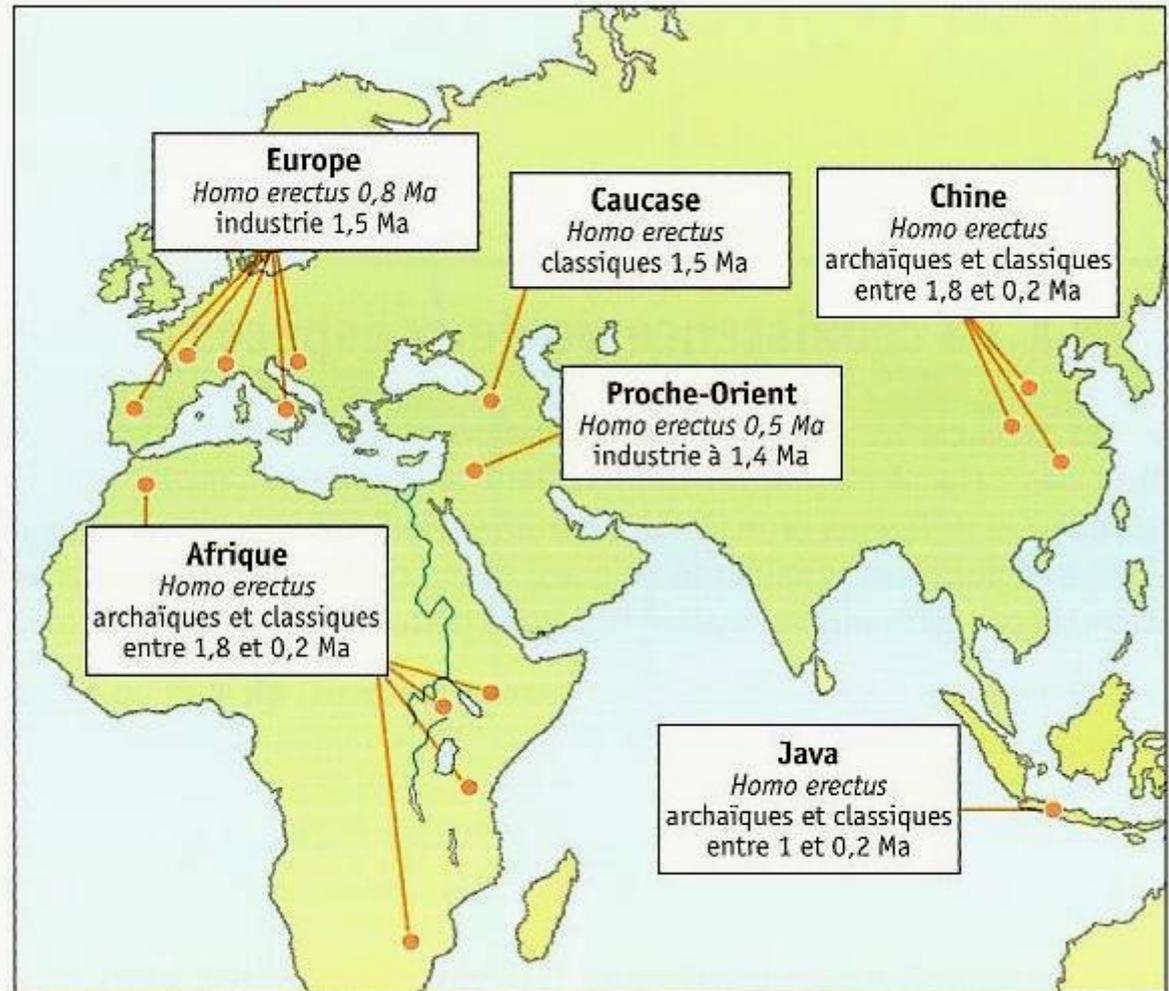




Homo erectus



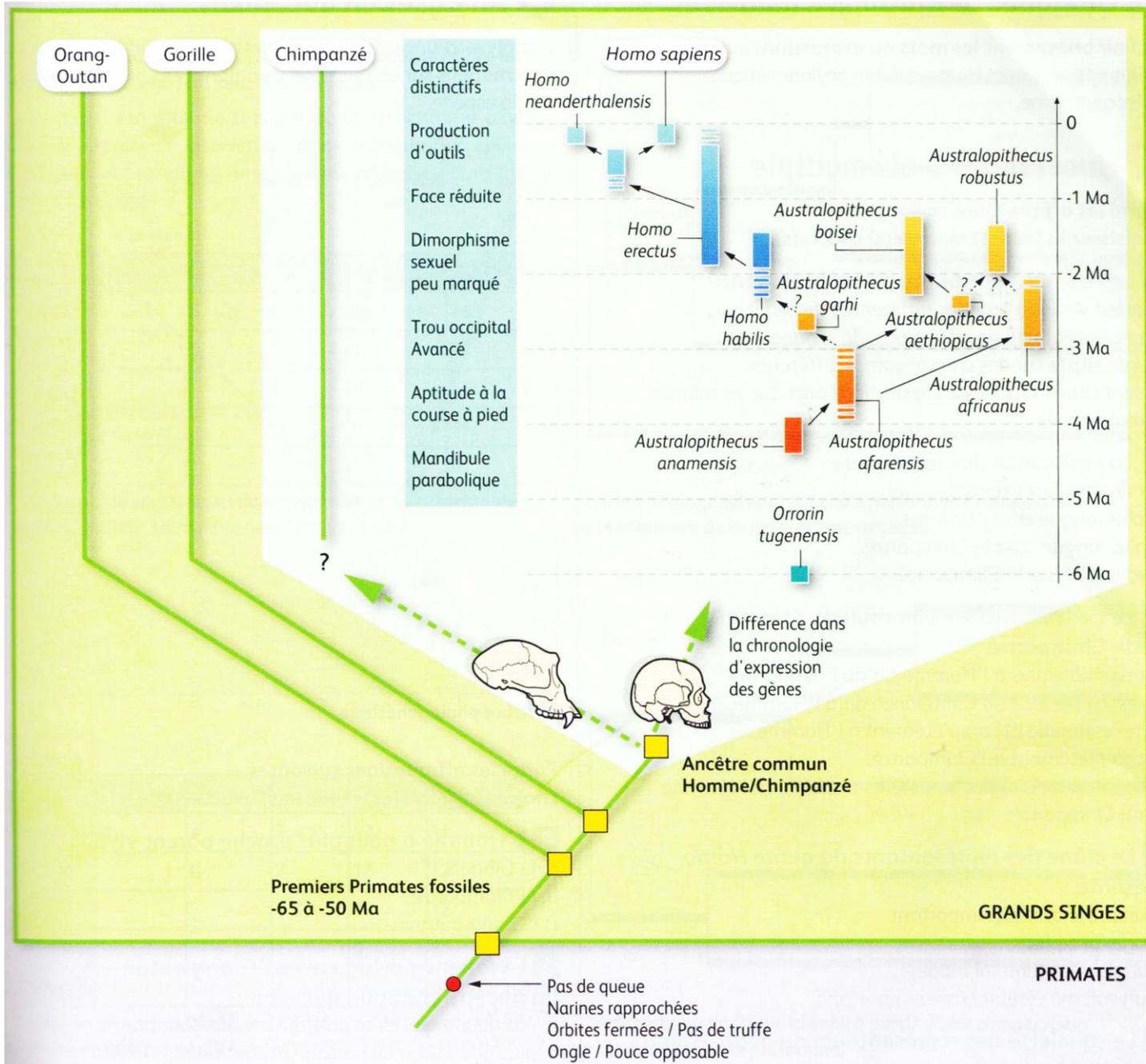
© 2005 Encyclopædia Britannica, Inc.

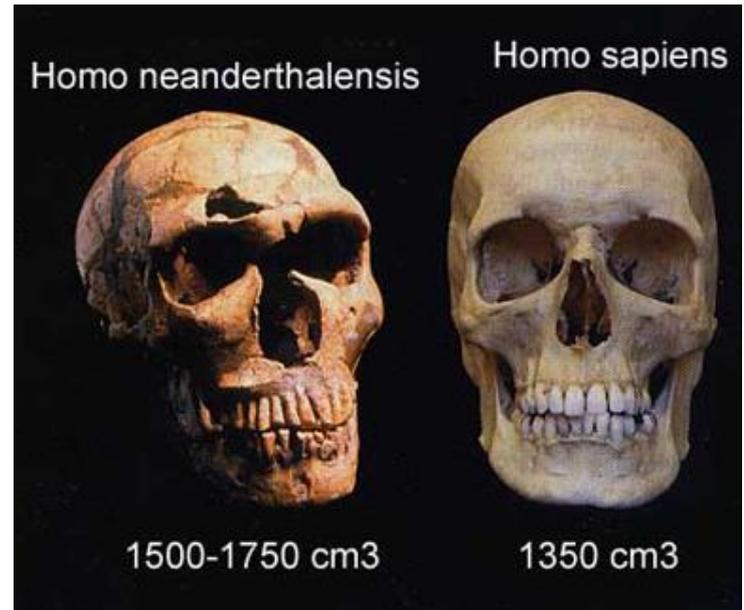


Carte de répartition des *Homo erectus* à travers l'ancien monde.

Homo erectus = grand migrateur qui a colonisé l'Afrique du nord, du sud, le proche orient, l'Asie et l'Europe.

Histoire évolutive du rameau humain





Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

1. Reconstituer une histoire évolutive.

2. La place de l'Homme dans l'histoire évolutive des primates.

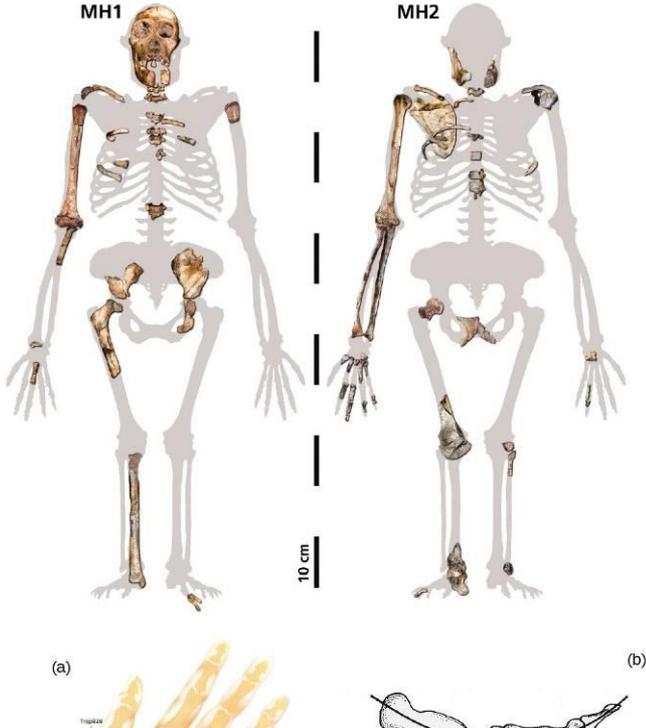
C. La dynamique évolutive au sein du rameau humain.

1. Les caractères dérivés propres à l'Homme

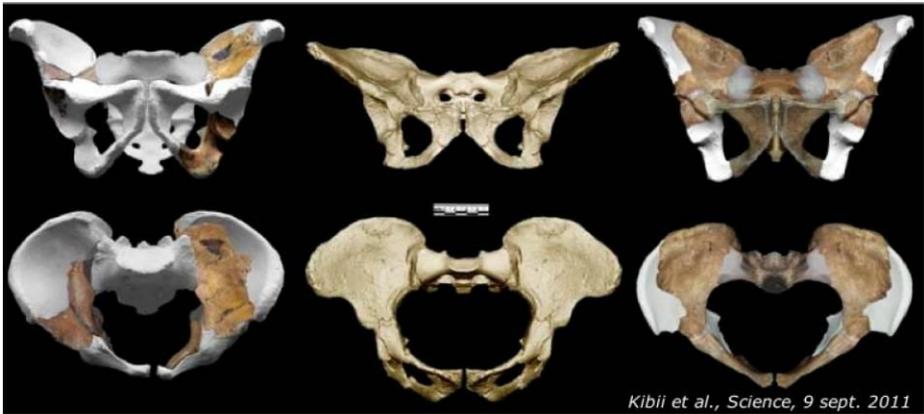
2. Etablissement d'une phylogénie au sein du rameau humain.

3. Controverses sur la phylogénie au sein du rameau humain.

Australopithecus sebida (2008) - 1.9 MA



Bipédie + affinée ??

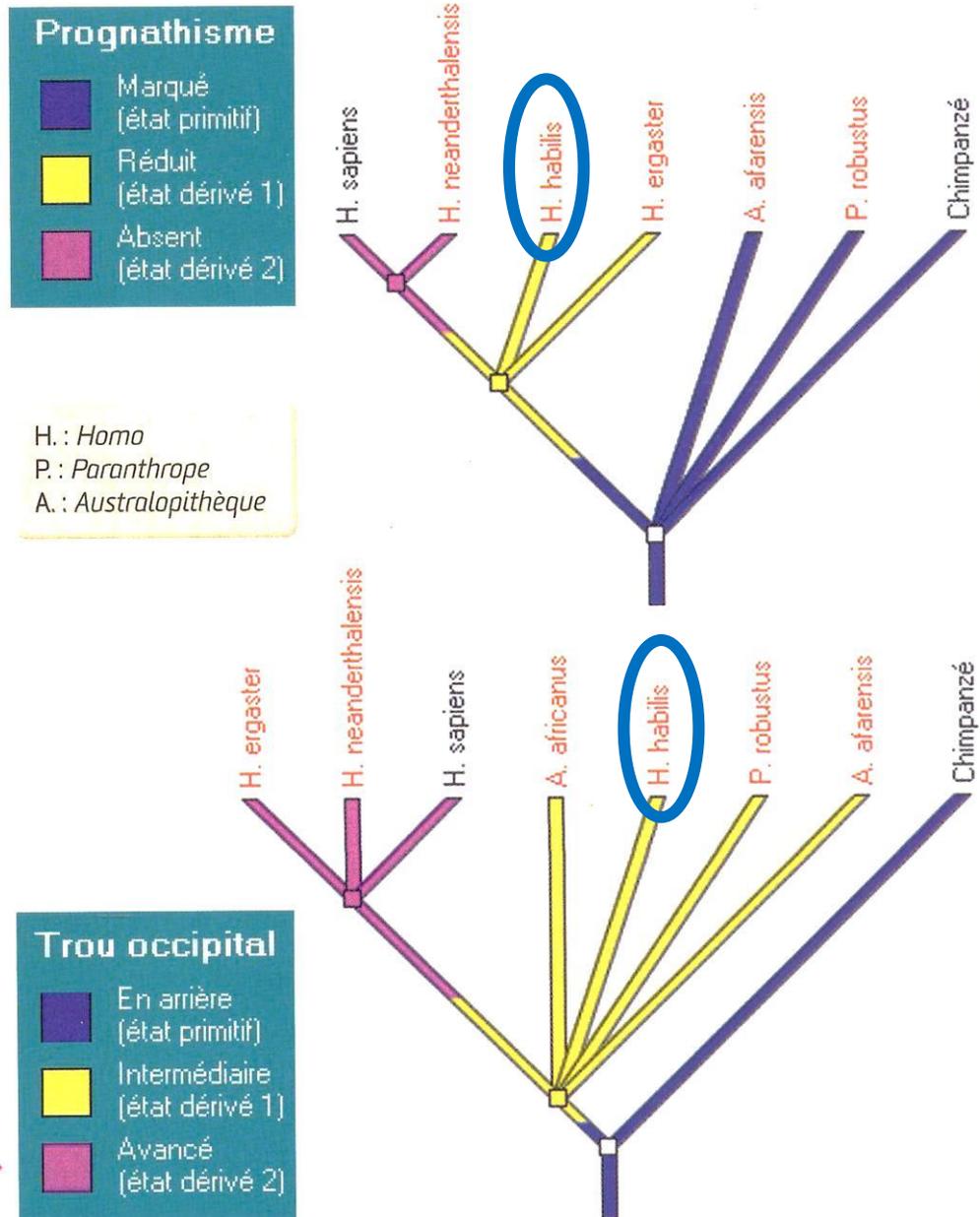


Main habile => manipulation d'outils perfectionnés ??



Capacité crânienne réduite (450 cm³)

Place d'*Homo habilis* sur l'arbre phylogénétique ?



Toumaï (*Sahelanthropus tchadensis*)

Découvert en juillet 2001 au **Tchad**. On ne possède que le crâne, quelques dents et des fragments de mâchoire.

Daterait de **7 MA** (datation relative).

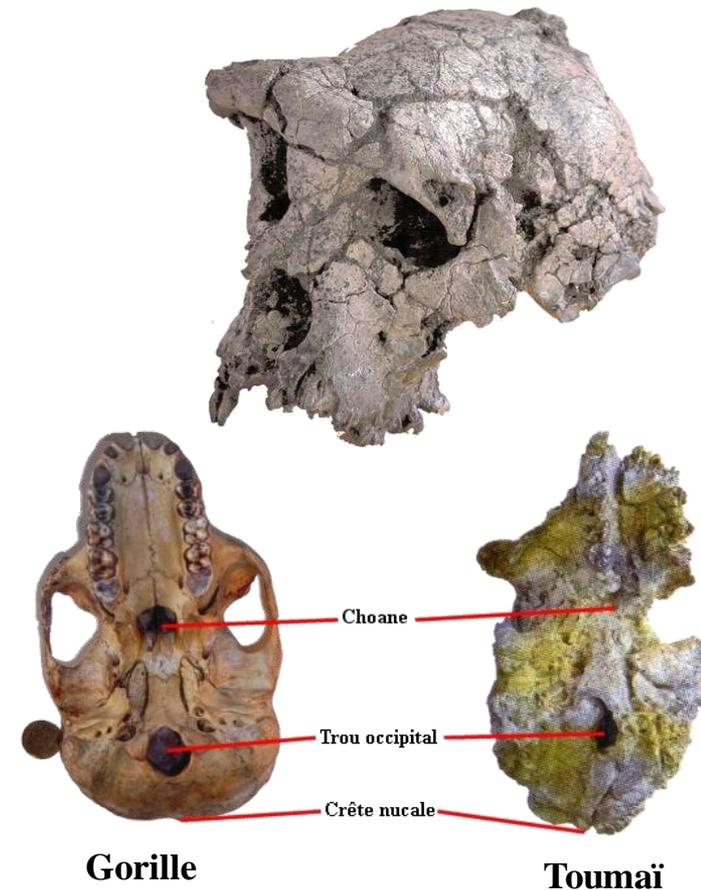
Trou occipital témoigne d'une position dressée.
Bipède ???

Face plus aplatie que celle des grands singes.

Canines courtes

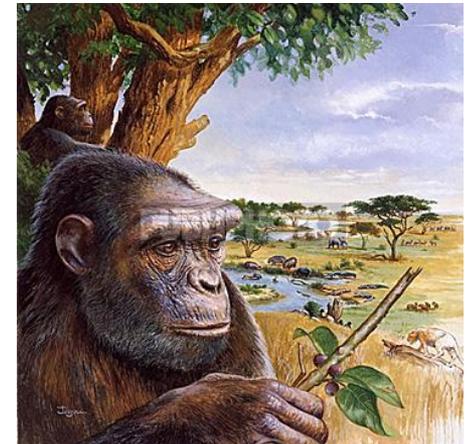
Mesurait quelque chose comme 1 à 1,3 m.

Capacité crânienne proche de celle du chimpanzé (360 à 370 cm³).



Gorille

Toumaï



Conclusion

- Homme = primate
- Partage un DAC récent avec le chimpanzé
- Histoire évolutive depuis ce DAC = rameau humain

Conclusion

Evolution anatomique marquée par :

- Acquisition bipédie permanente
- Augmentation du volume crânien et réduction de la face

Conclusion

- Caractère buissonnant du rameau humain : de nombreux rameaux ont existé et même cohabités
- nombreux fossiles dont les parentés sont mal précisées. Phylogénie en discussion

Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

C. La dynamique évolutive au sein du rameau humain.

II. L'Homme et le Chimpanzé, 2 espèces très proches mais différentes.

L'Homme est le Chimpanzé partageant un ancêtre commun récent



- 7 Ma  ancêtre
commun

Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

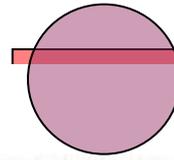
C. La dynamique évolutive au sein du rameau humain.

II. L'Homme et le Chimpanzé, 2 espèces très proches mais différentes

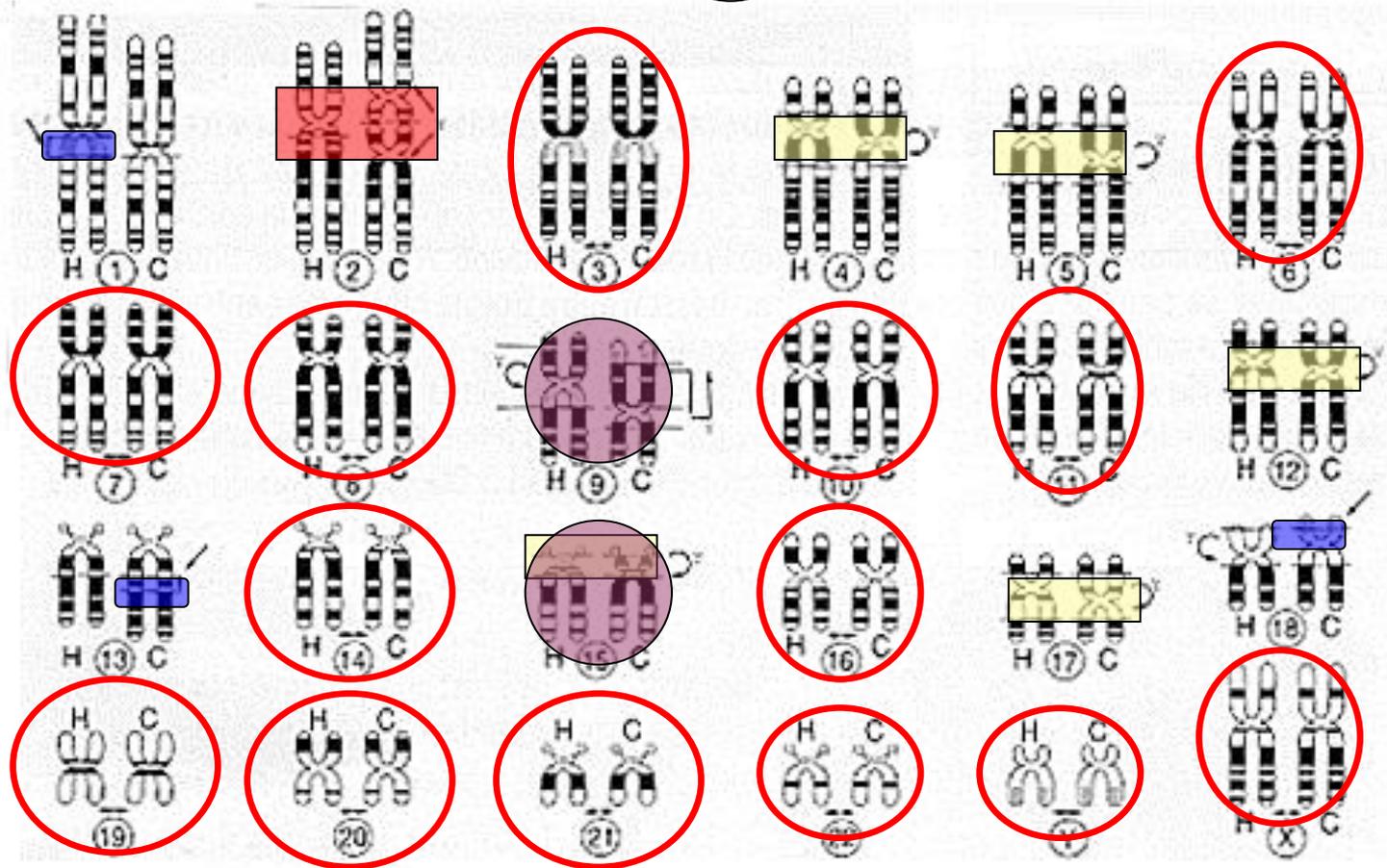
A. Comparaisons génétiques (Homme/Chimpanzé).

1. Comparaison des caryotypes

Comparaison des caryotypes de l'Homme et du Chimpanzé



Modifications complexes



Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

C. La dynamique évolutive au sein du rameau humain.

II. L'Homme et le Chimpanzé, 2 espèces très proches mais différentes

A. Comparaisons génétiques (Homme/Chimpanzé).

1. Comparaison des caryotypes

2. Comparaison des génomes.

Comparaison des génomes de l'Homme et du Chimpanzé

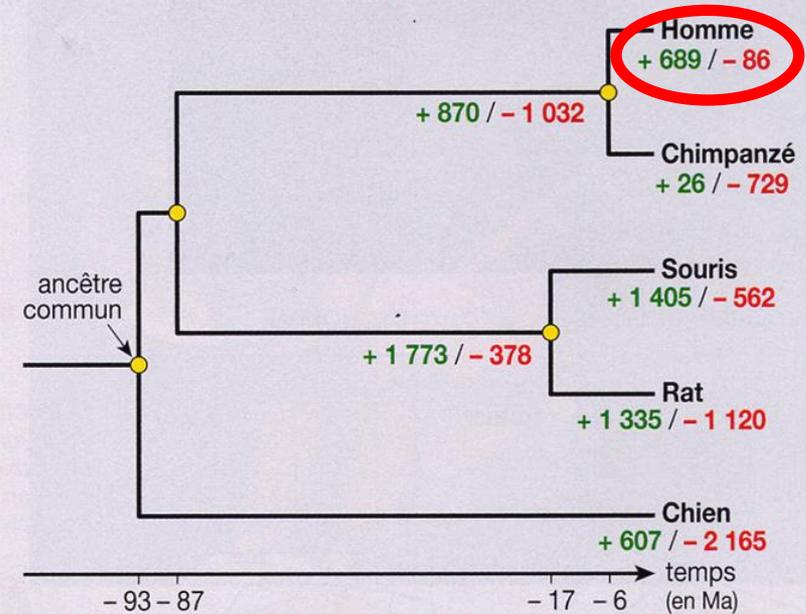
En 2005, le **séquençage** du génome d'un Chimpanzé, peu de temps après celui de l'Homme, a fourni des résultats précis et indiscutables :

- L'alignement des séquences de nucléotides fait apparaître une similitude de **98,77 %**.
- Le faible pourcentage de **variations ponctuelles** (1,23 %) représente néanmoins **37 millions de substitutions**. C'est dix fois plus que la différence moyenne constatée entre deux individus humains.
- L'étude plus précise des séquences génétiques et protéiques confirme que les différences Homme/Chimpanzé se caractérisent par un faible taux de mutations ponctuelles : en conséquence, une protéine humaine ne diffère le plus souvent d'une protéine de Chimpanzé que par un ou deux acides aminés.
- À ces différences ponctuelles, il faut ajouter des insertions ou additions de courtes séquences et des **duplications géniques**. Au total, on estime aujourd'hui qu'en tenant compte de l'ensemble de ces variations, la différence réelle entre le génome de l'Homme et celui du Chimpanzé se situe aux alentours de **6 à 7 %**.

L'importance des duplications géniques

À la différence des mutations ponctuelles, le nombre de duplications géniques distinguant les deux lignées apparaît élevé. Par exemple, il existe deux copies du gène codant pour l'amylase salivaire (une **enzyme**) chez le Chimpanzé contre six en moyenne chez l'Homme. L'impact de ces duplications géniques est cependant aujourd'hui en discussion.

Une estimation des gains et pertes de gènes (J. Cohen, 2007).



Très proche génétiquement mais très différents phénotypiquement ...



Chapitre 4. Un regard sur l'évolution de l'Homme

I. La place de l'Homme dans la dynamique évolutive des primates.

A. L'Homme est un primate.

B. La place de l'Homme parmi les primates.

C. La dynamique évolutive au sein du rameau humain.

II. L'Homme et le Chimpanzé, 2 espèces très proches mais différentes.

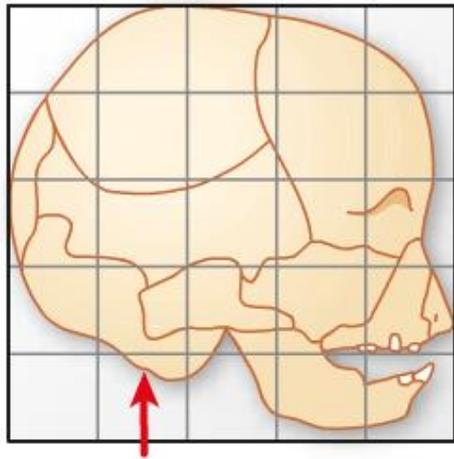
A. Comparaisons génétiques (Homme/Chimpanzé).

1. Comparaison des caryotypes

2. Comparaison des génomes.

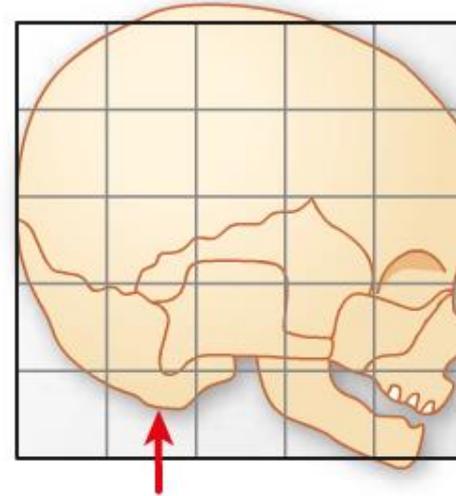
B. Acquisition des différences phénotypiques entre l'Homme et le Chimpanzé

CHIMPANZÉ

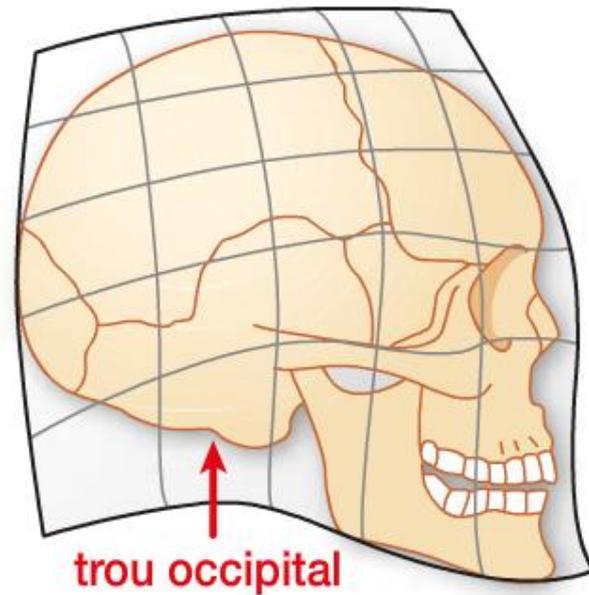
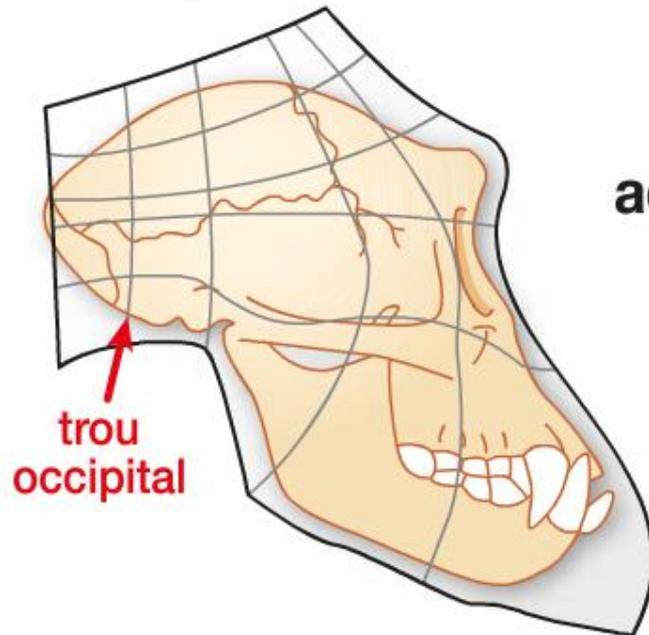


foetus

HOMME

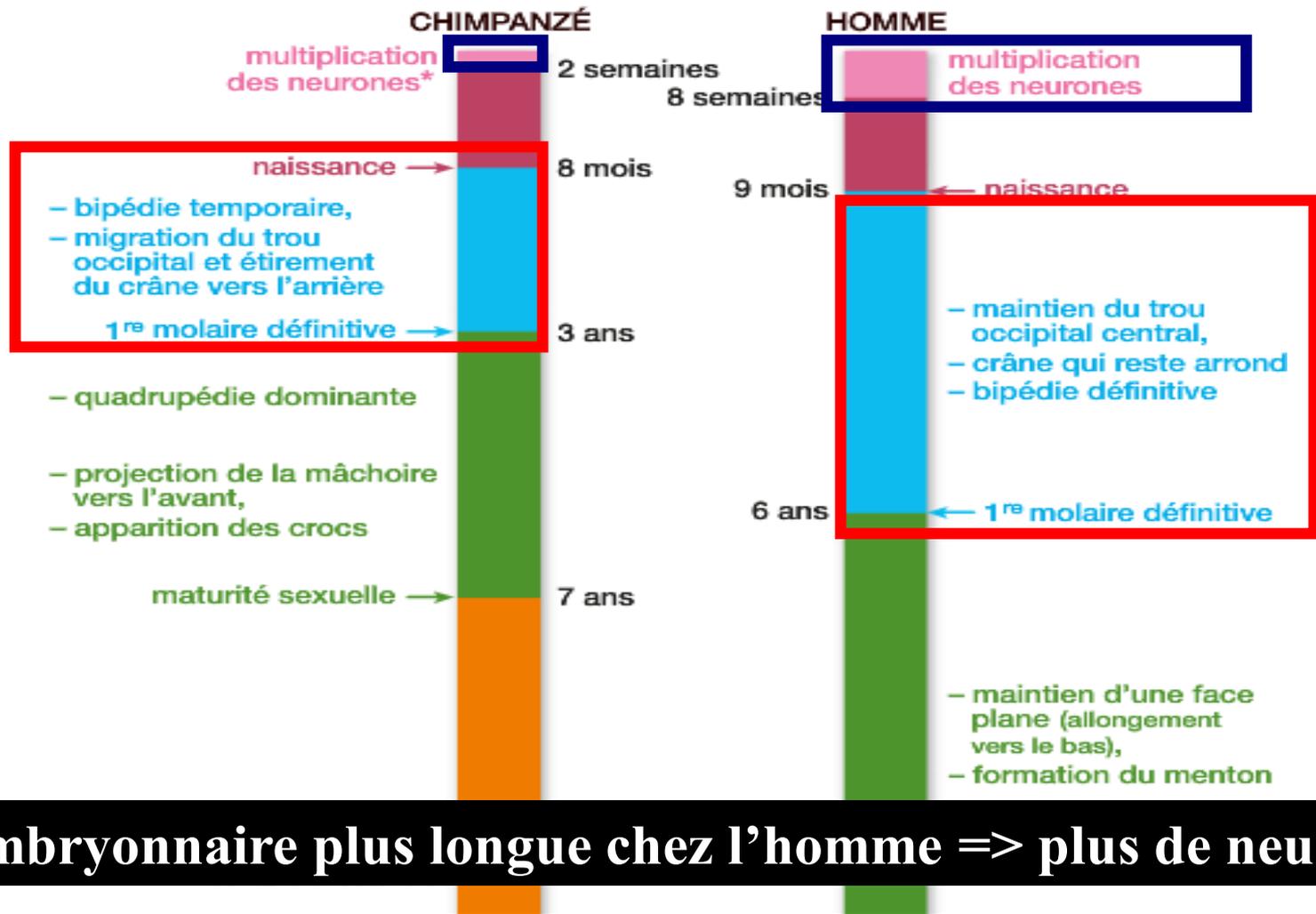


adulte



→ De faibles différences génétiques entre l'Homme et le Chimpanzé peuvent conduire à des différences phénotypiques importantes

Chronologie comparée du développement



Phase embryonnaire plus longue chez l'homme => plus de neurones

Phase juvénile plus longue chez l'homme =>

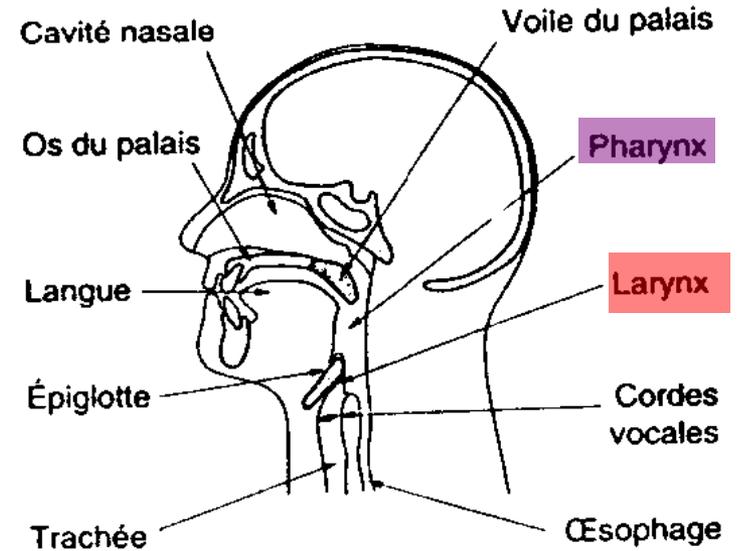
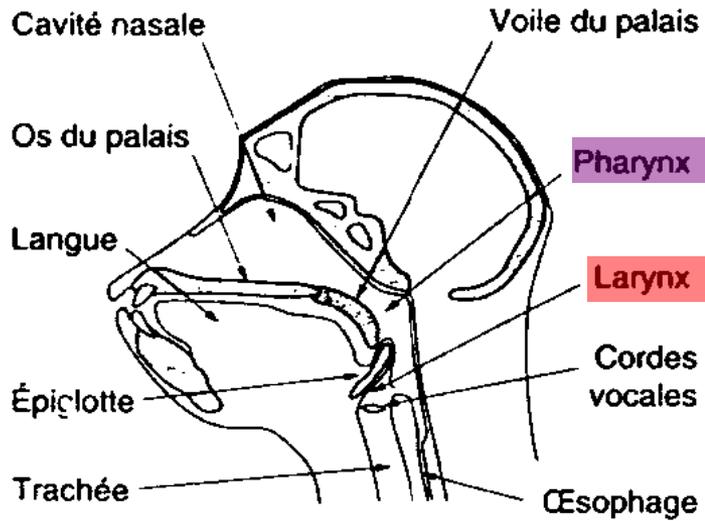
- crâne arrondi
- trou occipital avancé
- face orthognathe



→ De faibles différences génétiques entre l'Homme et le Chimpanzé peuvent conduire à des différences phénotypiques importantes

→ Les différences phénotypiques entre l'Homme et le chimpanzé ne sont pas seulement génétiques

Langage articulé



Origine génétique

Interaction avec les autres



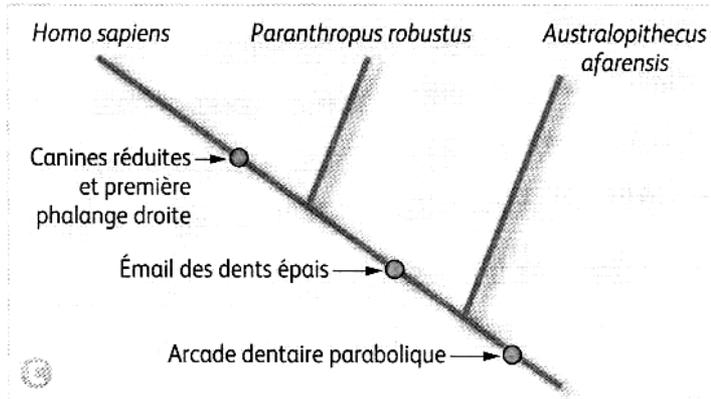
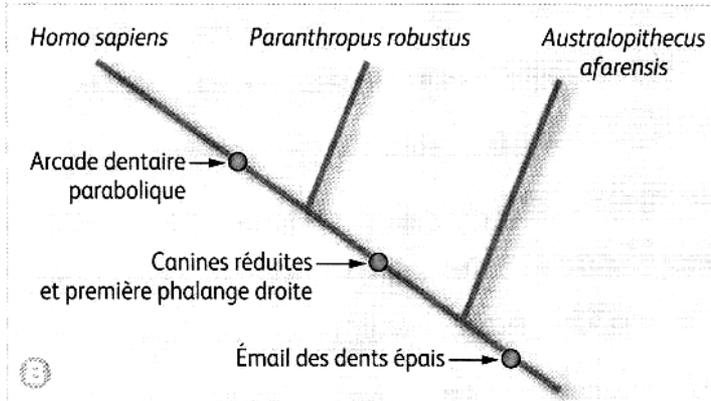
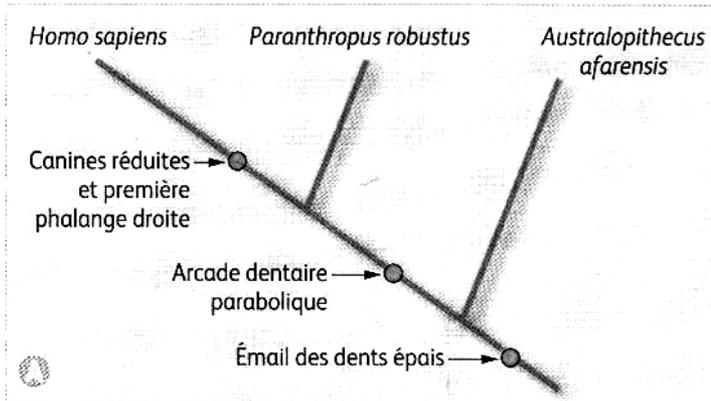


Bilan

L'établissement d'un phénotype Humain différent de celui des autres grands singes dépend :

- Des différences génétiques**
- Des différences dans la durée et l'intensité d'expression de gènes du développement**
- Des relation entre les individus (apprentissage)**

DOCUMENT 1 Arbre phylogénétique de trois représentants de la lignée humaine.
Seul le partage d'innovations évolutives témoigne d'une étroite parenté.



DOCUMENT 2 Tableau des caractères pour les quatre représentants de la lignée humaine d'après le logiciel Phylogène.

	Arcade dentaire	Canines	Première phalange	Épaisseur de l'émail des dents
<i>Australopithecus afarensis</i>	En U	Développée	Incurvée	Épais
<i>Paranthropus robustus</i>	En U	Réduite	Droite	Épais
<i>Homo sapiens</i>	Parabolique	Réduite	Droite	Épais
<i>Homo ergaster</i>	Parabolique	Réduite	Droite	Épais

Utiliser les documents pour cocher la (ou les) réponse(s) exacte(s) :

1. L'arbre phylogénétique présentant la bonne position des innovations est :

- a. L'arbre du document 1A
- b. L'arbre du document 1B
- c. L'arbre du document 1C

2. *Homo ergaster* est plus proche de :

- a. *Paranthropus robustus*
- b. *Australopithecus afarensis*

Justifier