

Faut-il s'intéresser à la bipédie ?

Analyse anatomique et biomécanique dans diverses classes animales. Utilité pour la recherche de la phylogénie humaine

Cyril CAZEAU

Clinique Geoffroy - Chirurgie Orthopédique - 59, rue St Hilaire - 75005 Paris

Introduction

La difficulté à classer

Classer les êtres vivants est une préoccupation qui remonte au moins à Aristote.

Carl Von Linné (1707 – 1778) nous a laissé la première classification moderne dans son « Systema Naturae ». L'utilité taxinomique et descriptive a été considérable, permettant d'avoir une vision générale sur l'organisation du monde vivant. Chaque animal est placé de manière fixe et définitive selon sa « ressemblance ». Lorsque celle-ci est jugée étroite, deux animaux seront rangés une fois pour toutes dans le même groupe. Cuvier (1769-1832) continuant l'œuvre de Linné, a rendu également un grand service aux sciences naturelles en fondant l'anatomie comparée. Contrairement à son prédécesseur, il ne s'était pas arrêté aux caractéristiques extérieures, aux analogies de surface, mais par la dissection et l'étude

des organes internes, avait pu fonder une nouvelle classification.

On comprend ainsi que le choix d'un critère de ressemblance est aussi capital qu'arbitraire, ayant une influence directe sur la classification. Ainsi, si on commet l'erreur de trop mettre en avant un trait donné, morphologique ou fonctionnel, de le sur-représenter par rapport aux caractéristiques complètes d'un individu, cela peut engendrer des erreurs.

Ainsi, on s'était arrêté au XVIII^e siècle au caractère « épaisseur de la peau » pour associer au sein des pachydermes (Pachydermata) des animaux tels que hippopotames, sangliers, rhinocéros, éléphants et même les chevaux. Les études ultérieures d'anatomie comparée et fonctionnelle, ainsi que la paléontologie avaient démontré qu'aucun lien de parenté ne les unissait. Un autre exemple classique a consisté à vouloir associer au sein d'un même groupe zoologique les animaux possédant des ailes, tels que la chauve-souris (mammifère) et l'oiseau. Leur res-

semblance superficielle n'aurait pas dû occulter le fait que l'aile représente dans ce cas un processus biologique appelé phénomène de convergence, apparu lors de l'évolution. La mise en avant excessive de ce seul caractère a donc entraîné une grossière erreur de classification. Ces errements, à différentes époques, sont peut-être attribuables aux manques de connaissances en matière d'anatomie comparée et fonctionnelle, et à une paléontologie encore absente. A l'extrême, la fixation arbitraire sur un critère de locomotion a conduit de manière caricaturale à l'absurde et cocasse description des Rhinogrades. Cette étude parue en 1962, fort bien documentée, porte sur des animaux fabuleux se déplaçant exclusivement sur leur appendice nasal et rivalise de sérieux avec les travaux biologiques les plus crédibles. En fin de préface, le Professeur P.P. Grassé lui-même nous met en garde : "biologiste, mon bon ami, souviens-toi que les faits les mieux décrits ne sont pas toujours les plus vrais".

Le créationnisme et l'Ordre Divin

Néanmoins, l'idée d'un Ordre Divin ayant classé de manière fixe et définitive les êtres vivants, avec une hiérarchie établie plaçant l'homme en son sommet, était à chaque fois en toile de fond. Linné et Cuvier étaient des adeptes du créationnisme qui proclame (encore) que « l'univers est le résultat singulier émanant d'un être transcendant ». Linné par exemple ne comprenait le terme « espèce » que sous une forme originelle créée par un être infini : « il y a autant d'espèces diverses que l'être infini a créé de formes distinctes originellement ».

Cuvier a suivi Linné sur la notion de Création Divine isolée de chaque espèce, et sur son caractère immuable. Bien qu'il fonde la paléontologie, l'étude scientifique des fossiles, il réfute l'idée d'une généalogie possible entre ces pièces fossiles et les formes vivantes actuelles. Il considère qu'il s'agit de tentatives avortées défectueuses émanant de la force créatrice, n'ayant pas mérité d'être animées par le souffle divin. Il voit même dans chaque période géologique caractérisée par des fossiles spécifiques une série de créations successives et indépendantes, séparées par des cataclysmes (catastrophisme). Il nie ce que Charles Lyell (1797-1875) publie en 1830 dans Principes de Géologie, montrant au contraire l'histoire lente, ininterrompue, continue de l'évolution de la terre.

En est-il de même avec l'utilisation que l'on a voulu faire du critère « Bipédie » ?

La survalorisation de ce concept a-t-elle conduit à unir de force dans une relation phylogénique directe et verticale singes et hommes, à y placer automatiquement les Australopithèques comme forme intermédiaire ? Le terme « bipédie » représente-t'il un caractère bien spécifique, ou au contraire regroupe-t'il en son sein des allures concernant des animaux qui ne sont pas forcément proches ?

Il semble que le choix de ce caractère soit

lié à des raisons complexes, dans lesquelles on peut identifier un mélange d'anthropocentrisme, de créationnisme allié au fixisme, associés à un irréprouvable sentiment de supériorité. Peut-être ne faut-il pas en être étonné chez ces auteurs anciens qui ont beaucoup œuvré pour décrire, classer, rendre plus lisible le monde vivant. Ils appartiennent tous au groupe de pensée créationniste estimant que la création est d'essence surnaturelle, préméditée par un créateur agissant selon un plan et ayant un but. Le dernier venu des êtres organisés, l'homme, a ainsi été créé par Dieu à son image, pour être le maître de la terre.

Le transformisme et la notion de supériorité

Plus étrange est la conservation de cette notion de supériorité avec les auteurs adeptes du transformisme. Ils admettent que les formes du monde vivant sont l'expression transitoire de l'évolution liée à des lois « mécaniques » (physico-chimiques, de l'hérédité, de l'adaptation) mais gardent cette notion d'être supérieur et bipède.

Buffon (1707-1788) en 1749 affirme que « tout marque dans l'homme sa supériorité sur tous les autres vivants ; il se tient droit et élevé..., il ne touche à la terre que par ses extrémités les plus éloignées, il ne la voit que de loin, et semble la dédaigner... », rendant indissociables les notions d'êtres humains, de supériorité, de bipédie.

Avec Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) arrive enfin la notion d'évolution, de transformisme qui énonce qu' « il existe une évolution biologique par les changements organiques transmis à la descendance qui est ainsi modifiée ».

Malheureusement, la notion de supériorité reste inconsciente, car Lamarck décrit la descente des arbres, le passage de la quadrupédie à la bipédie par le besoin de domination, avec modification du pied et de la main. Il existe encore un rapport de transformation étroit entre singe-quadrupédie-

infériorité, et homme-bipédie-supériorité.

Ernst Haeckel (1834-1919), dans son Histoire de la Création Naturelle des Êtres Organisés (1884), adepte de Lamarck et de Darwin, reste contrairement à ce dernier, attaché à ce que l'évolution progressive soit une loi du progrès ; il place néanmoins l'homme au sommet de son arbre généalogique. (Fig. 1)

Goethe (1749-1832), plus connu comme philosophe que comme naturaliste, a été adepte de la doctrine généalogique, plaçant l'homme dans le groupe des vertébrés. Il estimait néanmoins que l'homme représentait la perfection, au sommet de l'échelle.

Darwin (1809-1882), dans l'Origine des Espèces (1859), ne dit pas un mot sur l'origine animale de l'homme. Ce n'est que 12 ans plus tard, dans la Descendance de l'homme et la Sélection Sexuelle qu'il se déclare en faveur de cette hypothèse. Plus prudent, il n'avait vu qu'un rapport d'association de l'homme au groupe des primates sans adhérer à la théorie de son origine simiesque. Pour lui, l'homme n'avait pas de place privilégiée dans l'univers. L'évolution n'était pas forcément source de progrès, il n'avait pas émis de jugement de valeur sur la quadrupédie ou la bipédie, disant simplement que la locomotion devait devenir strictement bipède ou quadrupède en fonction du milieu écologique. Il ne s'était certes pas aventuré dans la société victorienne à essayer de déterminer l'ancêtre de l'homme, mais avait abandonné la vision anthropocentriste de ses prédécesseurs et surtout n'avait pas associé à l'homme un concept de supériorité.

Conséquences sur la pertinence de l'analyse du critère « bipédie »

Dans ce système, bien établi, la proximité phylogénique des grands singes avec l'homme étant acquise et évidente, il devenait difficile pour la paléontologie de

classer chaque trouvaille ailleurs que dans des états intermédiaires entre ces singes et l'homme, et à conclure à des rapports ancestraux. Cela avait été vraisemblablement renforcé par le désir sincère et/ou médiatique d'annoncer régulièrement le fameux Chaînon Manquant ou l'Ancêtre.

Cet article n'a pas la prétention d'évoquer le problème de la phylogénie de l'homme. Il a pour but d'illustrer l'idée que le critère d'analyse « bipédie » est survalorisé, reflet d'enjeux exposés plus haut. Pour cela nous allons montrer que l'homme n'a pas l'exclusivité de la bipédie, qu'il en existe plusieurs types au sein de différentes classes animales présentes et disparues, et que de très notables différences s'observent au sein même des primates et des hominoïdes fossiles.

Définition de la bipédie

Différents types de progressions terrestres existent, quadrupédie, bipédie, apode par reptation. Que signifie « bipédie » ?

Si on considère l'étymologie latine, cela signifie marcher sur deux pieds. Néanmoins évoquer l'étymologie pour définir le sens « vrai » est encore un acte de pouvoir comptant en rhétorique parmi les figures de mots, nonobstant le fait qu'en linguistique le mot n'a de valeur que dans le système présent d'une langue.

D'après Sabine Renous, la progression bipède est caractérisée par les éléments suivants : le corps du vertébré repose entièrement sur la répétition de mouvements, synchrones ou alternés des membres postérieurs. Les membres antérieurs, libérés de leurs fonctions dans la locomotion terrestre sont entièrement disponibles pour des activités nouvelles, comme le vol chez les oiseaux, ou l'usage non spécialisé de la main chez l'homme.

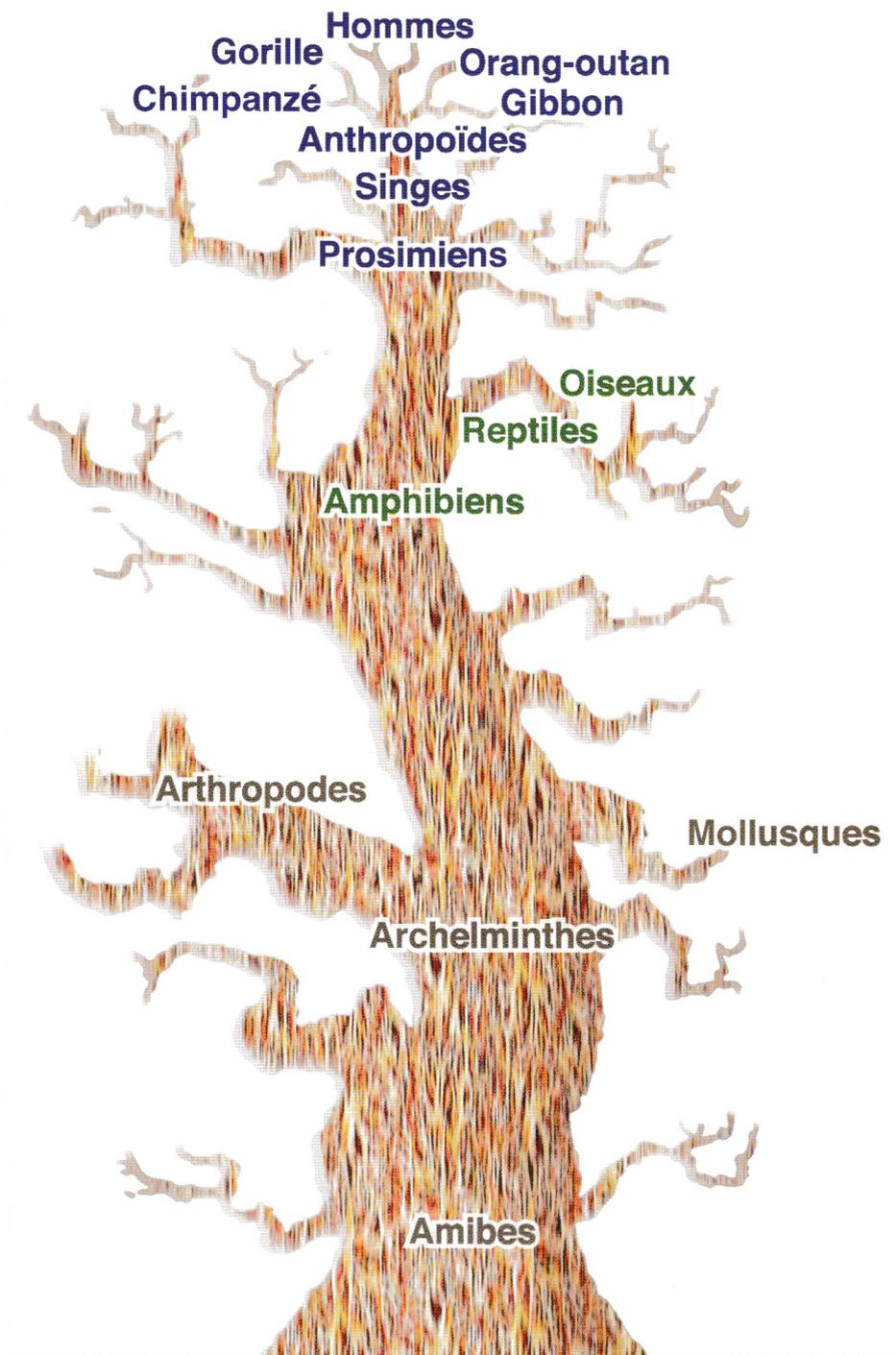


Fig. 1 : arbre phylogénétique de Haeckel.

Dans le monde animal, « bipédie » caractérise globalement le déplacement sur l'extrémité des membres inférieurs, sans préjuger du support qui peut être terrestre exclusif comme l'homme, ou par exemple les branches des arbres. Par ailleurs, cette bipédie peut être exclusive comme chez l'homme ou s'intégrer dans un répertoire locomoteur plus ou moins varié. Parmi les primates, par exemple le pourcentage de temps consacré à la bipé-

die est plus important chez le gibbon que chez le gorille, qui passe la plus grande partie de son temps en quadrupède.

Anatomie

L'homme n'a donc pas l'exclusivité de la bipédie, si l'on se réfère à ces définitions, et l'anatomie diffère selon les groupes zoologiques : dinosaures, oiseaux, primates, ours...

A) Les premières formes connues ayant adopté la bipédie sont certains dinosaures Archosaures, qui comprennent la plus grande partie des formes reptiliennes de l'ère secondaire (-250 à -64 millions d'années) (Fig. 2) en particulier pendant le

Jurassique et le Crétacé. Les auteurs insistent sur les particularités anatomiques de l'appareil locomoteur. La disposition classique des membres reptiliens est alors le membre transversal (Fig. 3), encore observée actuellement chez les crocodiles (Fig.

4), permettant à peine de soulever le corps. Cela a pour inconvénient de mettre en jeu des forces considérables au niveau des membres pour que l'animal puisse tenir son tronc et son ventre au dessus du sol. A partir de ce modèle, beaucoup d'Archosauriens adoptent une allure bipède semi-verticale, par développement de la queue et redressement à partir des membres postérieurs.

Au milieu du Trias, les Archosaures connaissent une grande radiation évolutive. L'évolution se fait par l'adoption par certaines lignées d'une posture érigée, nécessaire à la bipédie. Chez l'animal en position érigée, les membres sont positionnés verticalement sous le corps, le poids transmis directement au sol par les membres, sans exercer de bras de levier (moments musculaires et articulaires minimum). Pour que ce changement puisse se produire, de nombreuses modifications osseuses et articulaires apparaissent. Différents modèles mécaniques existent selon les groupes zoologiques et les époques. Au niveau des hanches, certains animaux (Eupakeria) sont en position « semi-érigée » (Fig. 3), l'acetabulum regarde en bas et en dehors, s'articulant sur un fémur qui ne possède pas de portion cervicale. D'autres (Saurosuchus) sont en position « érigée sur piliers », les membres inférieurs verticaux, le fémur dénué de portion cervicale s'adaptant dans un acetabulum regardant vers le bas. Cela devait vraisemblablement limiter l'amplitude de l'enjambée et diminuer le moment de force des muscles abducteurs de hanche. Enfin, d'autres groupes adoptent la position « érigée classique », l'acetabulum orienté en bas et en dehors s'articulant avec un fémur vertical mais excentré grâce à la présence d'une portion cervicale, ressemblant au modèle des quadrupèdes actuels. Sur le plan anatomique, le bassin qui supporte le poids de l'abdomen se développe et prend une forme triradiée, l'ilion se développe en particulier et s'unit en plus des vertèbres

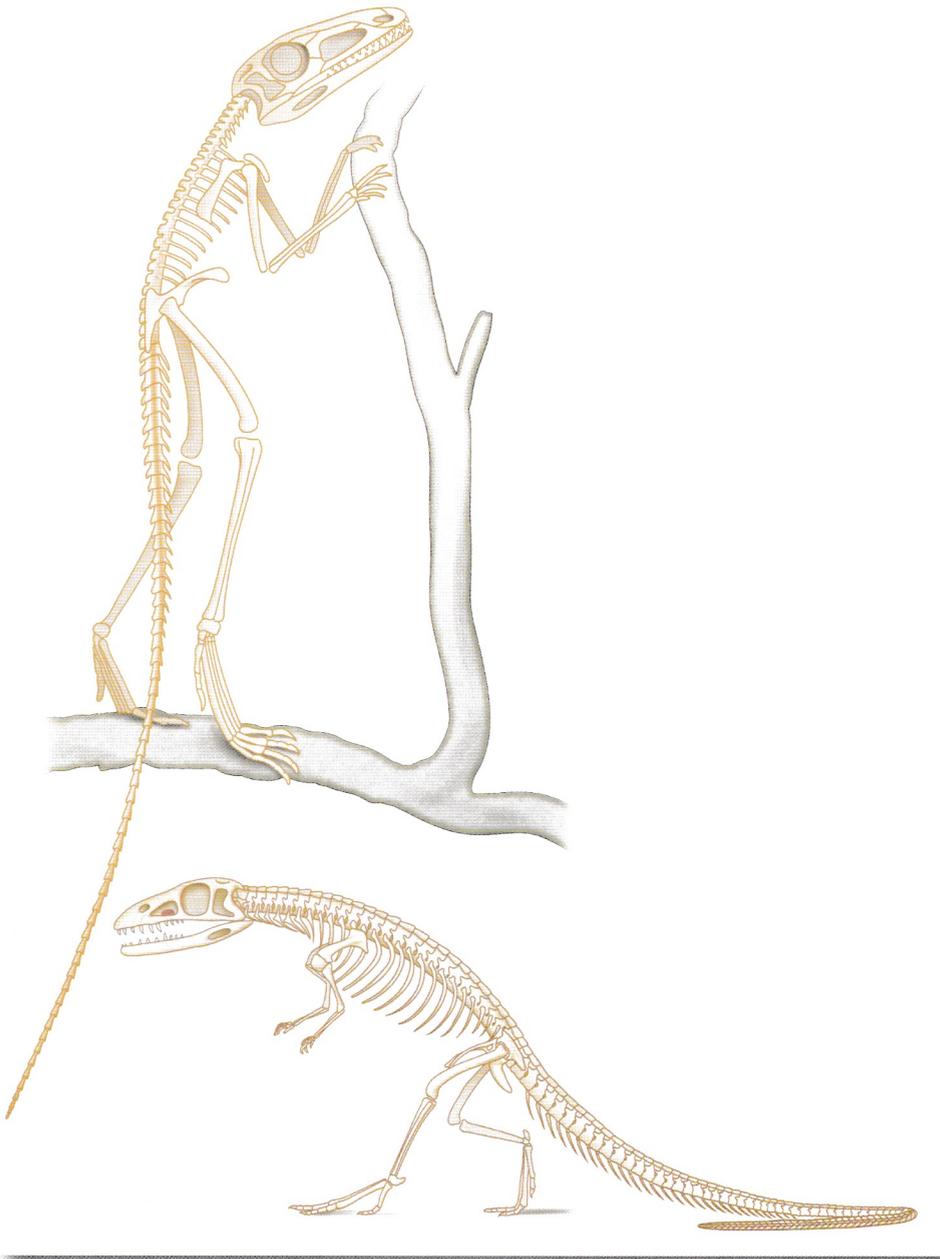


Fig. 2 : Dinosaures bipèdes de l'ère secondaire.

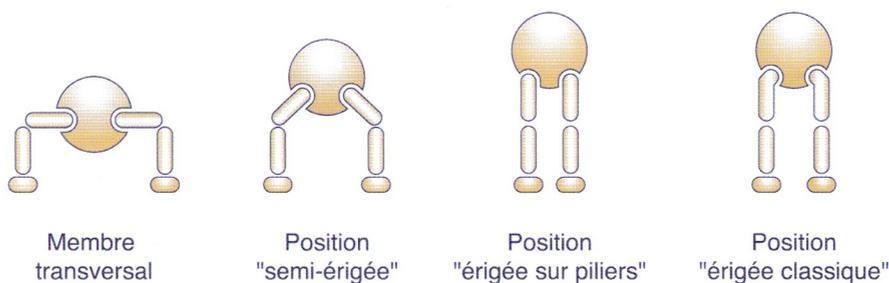


Fig. 3 : passage du membre transversal au membre parasagittal, divers types de position érigée.

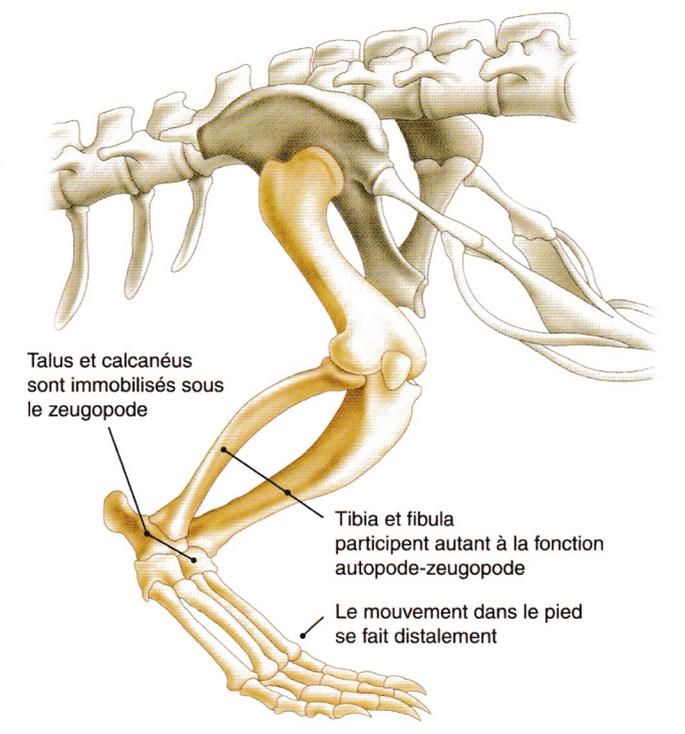


Fig. 4 : patte de reptile moderne : crocodile.

sacrées aux présacrées, lombaires et postsacrées caudales, pour former comme chez les oiseaux un *synsacrum* (Fig. 5). Les têtes fémorales se renforcent et constituent une surface portante, quatre apophyses osseuses sont présentes sur le fémur témoignant de nombreuses insertions musculaires entre bassin et fémur d'une part, mais aussi et surtout entre queue et fémur. Le tibia se renforce et la fibula s'atrophie.

En ce qui concerne la cheville et le pied, la bipédie est possible dans ces différents groupes selon des modèles mécaniques divers. Il peut s'agir d'une cheville « mesotarsienne primitive » présentant les caractéristiques de l'articulation intratarsienne reptilienne que l'on retrouvera chez les oiseaux ; la partie distale du tibia fusionne avec le tarse postérieur, le tarse antérieur avec les métatarsiens, (Fig. 6) le bloc talocalcanéen est fusionné au tibia, la mobilité présente au niveau des articulations de Chopart et de Lisfranc. Dans d'autres groupes de dinosaures bipèdes, la charnière mobile se situe entre le talus et le calcaneus (cheville mesotarsienne évoluée). Chez d'autres enfin, elles se situent dans la tibiotarsienne identique à celle des mammifères.

Sachant que des erreurs d'interprétation des documents paléontologiques sont possibles, cette description montre déjà qu'au sein des seuls dinosaures, la bipédie était compatible avec des modèles mécaniques différents, rendant l'usage de ce critère délicat pour juger de leur phylogénie.

B) Le deuxième groupe est constitué par les oiseaux, tous bipèdes, en particulier ceux qui ne volent pas : Autruches, Nandous, Emeus, Casoars et Kiwi. La bipédie est de type digitigrade, le bassin est triradié avec un *synsacrum* (Fig. 5), pour supporter le poids du corps mais avec un pubis et un ischion réduits à des baguettes allongées parallèles à la colonne vertébrale, probablement pour laisser le passage à de volumineux œufs. Le fémur est court, toujours plus

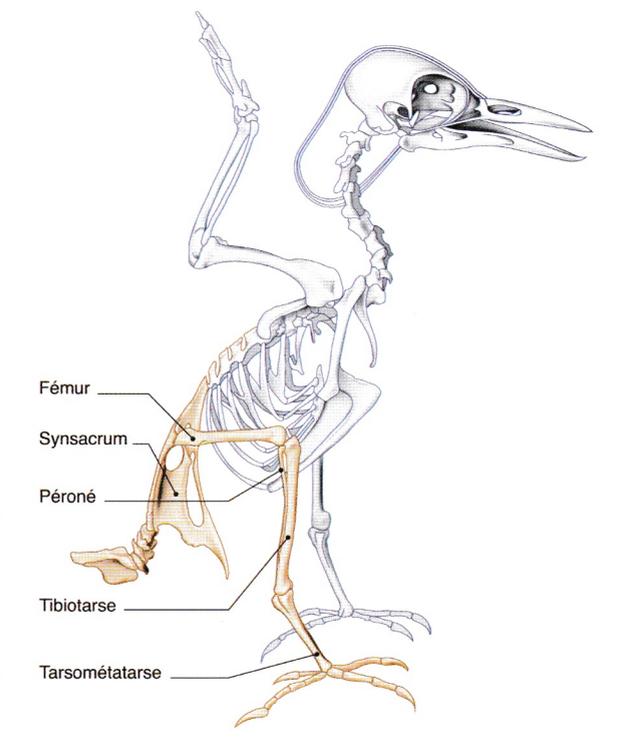


Fig. 5 : squelette d'oiseau.

court que le tibia, et l'angle ilio-fémoral fermé.

Comme les Archosaures dont ils sont proches, le tibia est solide, la fibula grêle, le tarse soudé en partie au tibia et aux méta-

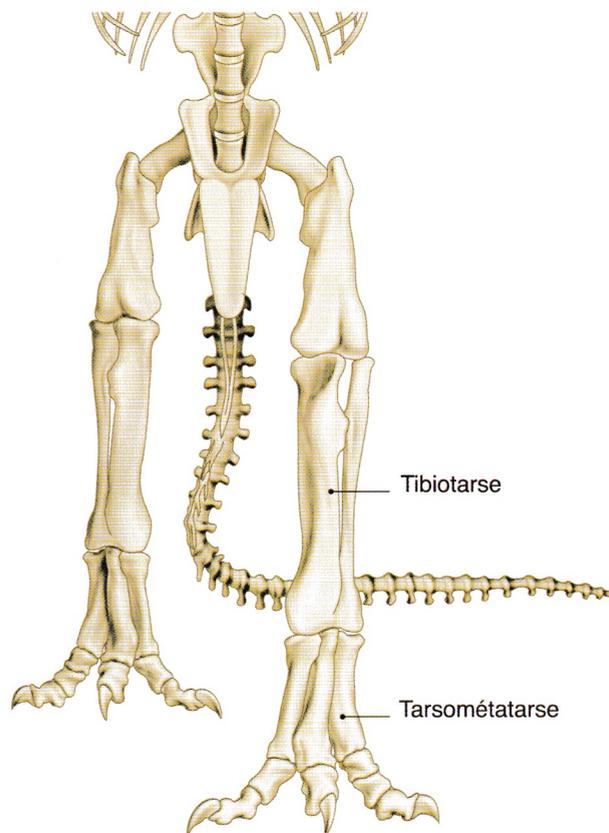


Fig. 6 : membres postérieurs d'un dinosaure bipède.

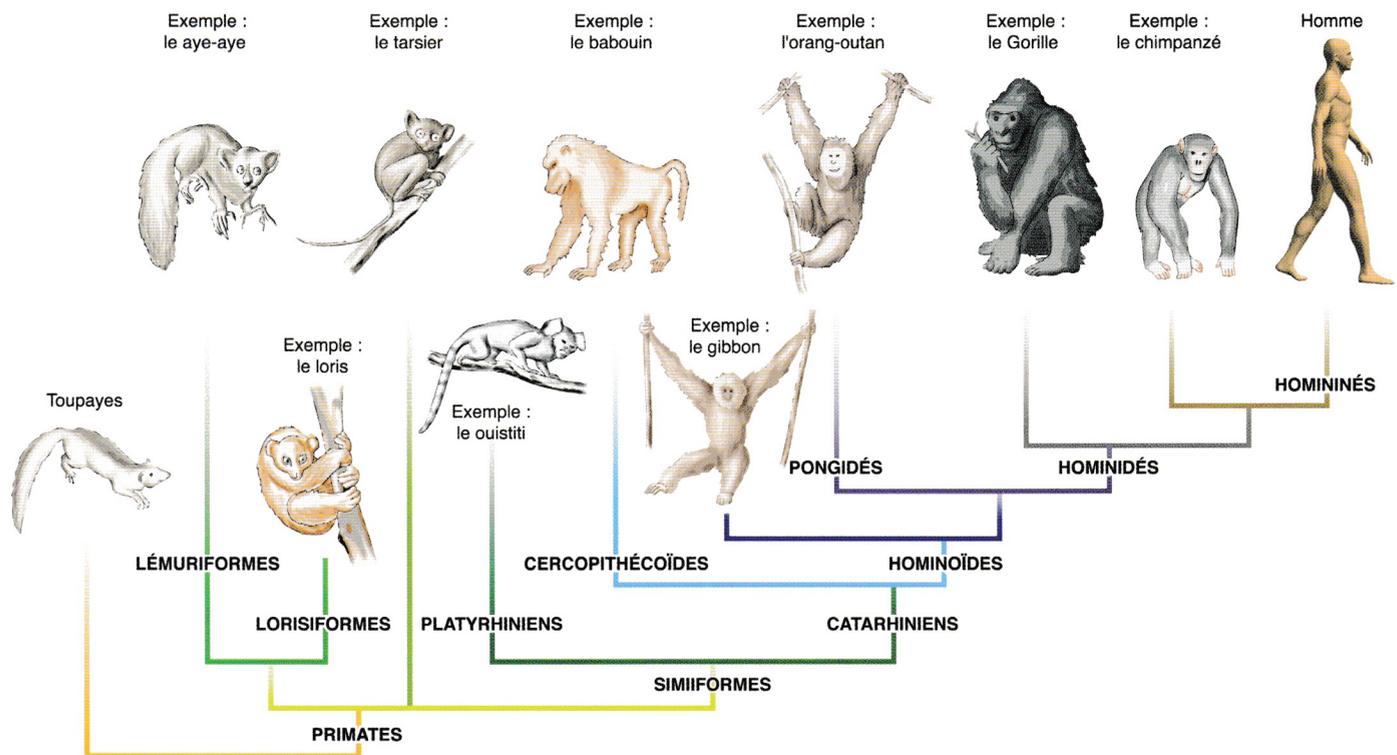


Fig. 7 : classification des primates.

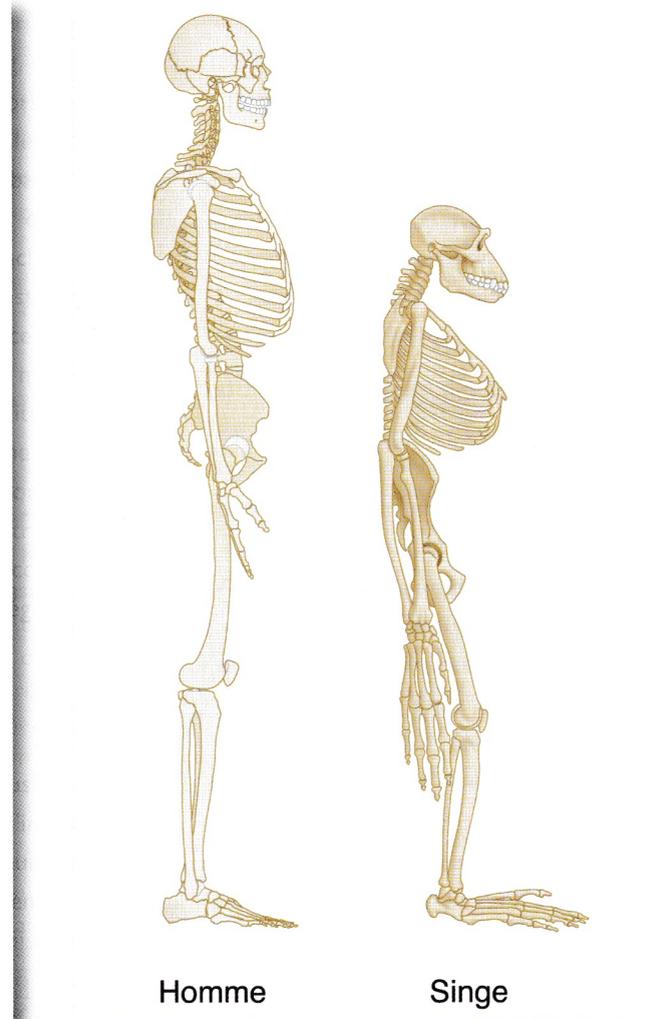
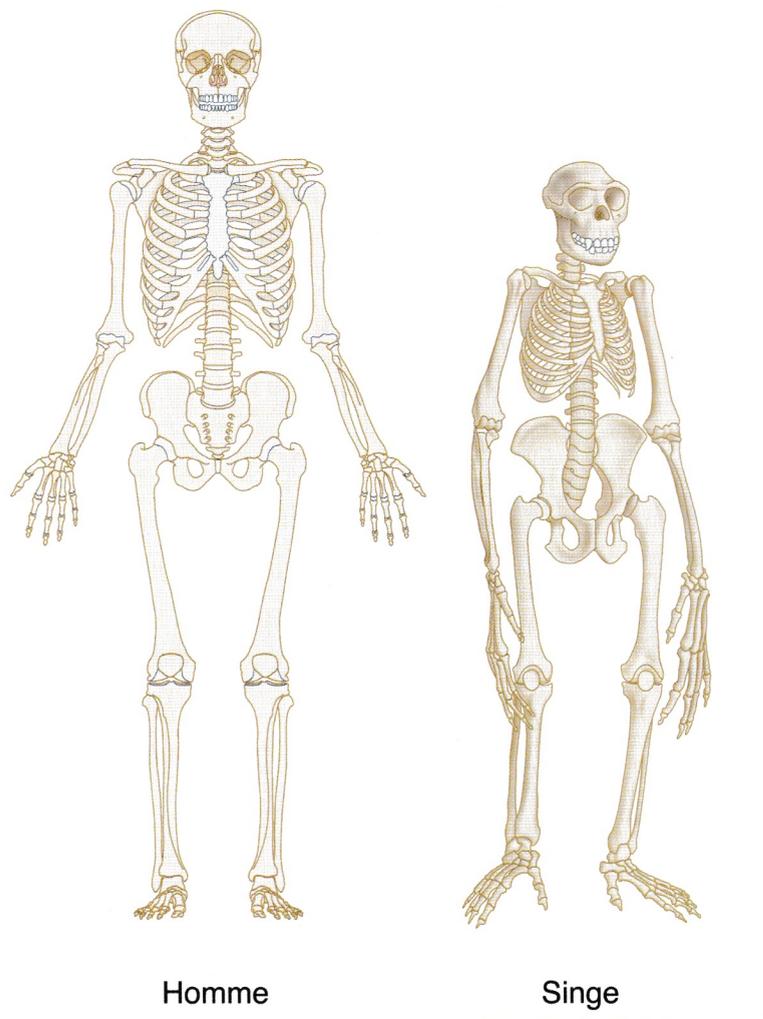


Fig. 8 : squelette de l'homme et du chimpanzé : face.

Fig. 9 : squelette de l'homme et du chimpanzé : profil.

tarses, constituant respectivement le tibiotarse (homologue du tibia humain) et le tarsométatarse (homologue du pied). Celui-ci s'appuie par les phalanges, le 5ème rayon a disparu et le premier est dirigé vers l'arrière. (Fig. 5)

Le troisième grand groupe est celui des primates, nous allons nous intéresser à l'homme, puis à ceux qui en sont anatomiquement les plus proches : les grands singes. La classification actuelle des primates est présentée dans la figure 7.

C) Dans le modèle humain (Fig. 8 et 9), on observe un élargissement des ailes iliaques avec raccourcissement de la symphyse pubienne constituant « un bassin », les membres inférieurs sont passés du stade transversal au stade parasagittal dressé, et sont très mobiles dans ce plan en antéro-postérieur. L'allongement du fémur est important, accompagné d'une excentration et un renforcement du col fémoral. Il existe par ailleurs une solidarisation du tibia à la fibula, avec absence de rotation dans le genou et la cheville, une faible inversion du pied, une marche plantigrade avec une voûte plantaire longitudinale et transversale rigide.

D) Chez les grands singes, comme le chimpanzé, le modèle est différent.

La posture générale est hanches et genoux en flexion (Fig. 8 et 9). Les membres antérieurs sont plus longs que les postérieurs, le thorax plutôt en entonnoir renversé. Le rachis présente seulement deux courbures, peu marquées, et l'angle lombosacré très important. Le bassin est haut et étroit avec des ailes iliaques plates et ouvertes, retenant moins les viscères que le bassin humain. Les fémurs sont verticaux, avec des condyles ronds au genou permettant la rotation à ce niveau. En ce qui concerne la cheville et le pied (Fig. 10 et 11) nous reprenons les éléments décrits avec Yvette Deloison. Dès le segment proximal, les différences sont notables : la surface articulaire talienne est quadrangulaire chez l'homme ne permettant que flexion extension, celle des autres

grands singes, triangulaire permet la rotation du pied. Le calcaneus humain oblique en haut et en avant, responsable de l'amorce de la voûte plantaire longitudinale repose au sol sur deux tubercules, un latéral et un médial assurant sa stabilité. C'est l'inverse chez les autres espèces caractérisées par un calcaneus horizontal de profil reposant de face sur son tubercule médial unique, donc disposé en varus. Les proportions sont également différentes. La taille du pied par rapport au membre postérieur est inférieure chez l'homme, mais le tarse est proportionnellement plus grand (Fig. 10 et 11). Les os longs sont plutôt rectilignes avec des sec-

tions triangulaires chez l'homme alors que chez les autres grands singes, les os sont fortement concaves en plantaire, de sections arrondies, sur un avant-pied proportionnellement très long. La forme de la palette métatarsienne n'offre pas de différences majeures contrairement au premier rayon. En effet chez l'homme, le premier métatarsien est presque parallèle aux quatre autres, peu mobile, relié par une arthrodie à la face distale du premier cunéiforme, et prolongé par un hallux plus ou moins en valgus et non opposable aux autres. C'est tout le contraire chez les autres hominoïdes ; le premier métatarsien est relié à son cunéiforme par une

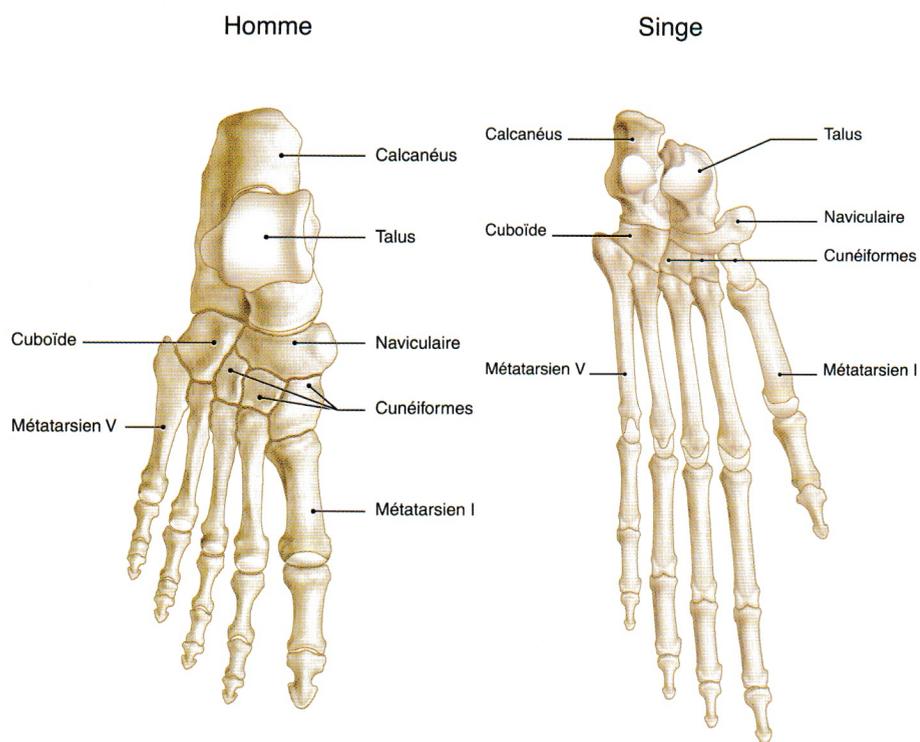


Fig. 10 : squelette du pied humain et du chimpanzé : face.

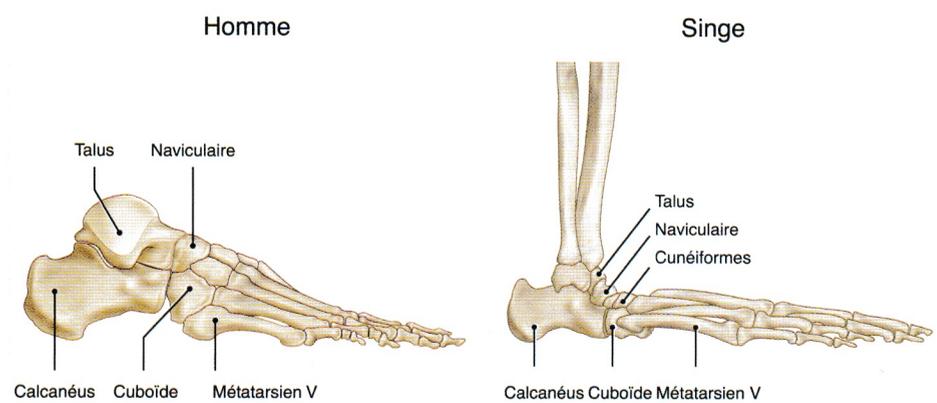


Fig. 11 : squelette du pied humain et du chimpanzé : profil.

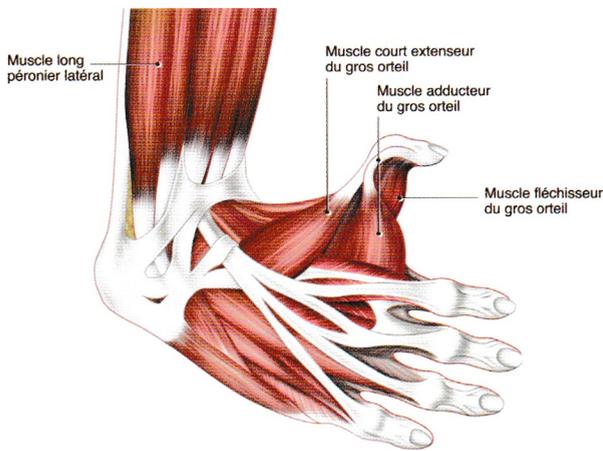


Fig. 12 : muscles du pied du chimpanzé.

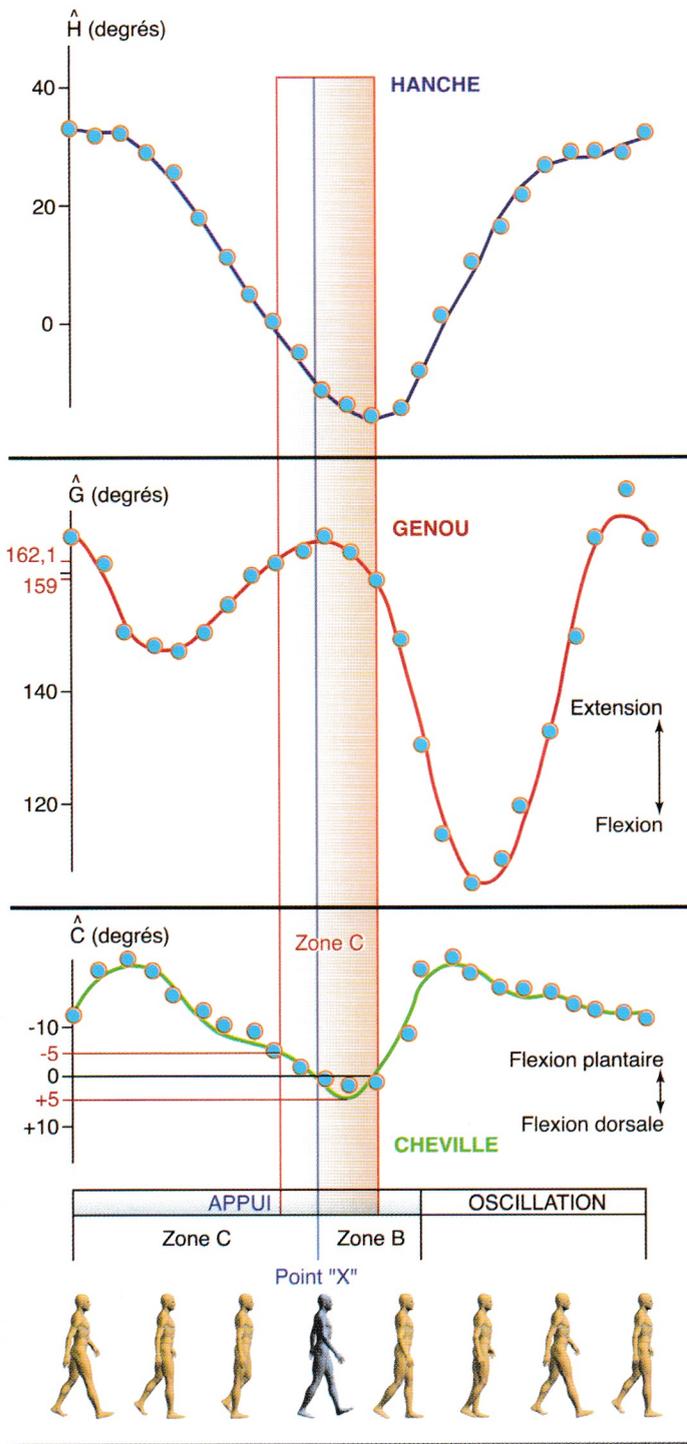


Fig. 13 : cinématique de la marche chez l'homme.

articulation de forme trochoïde autorisant rotation-opposition-ouverture de la première commissure responsables de la position en varus.

En ce qui concerne les muscles (Fig. 12), la différence majeure concerne l'importance considérable de la masse musculaire destinée à mobiliser l'hallux. Les simiens possèdent en particulier et contrairement à l'homme un court abducteur, court fléchisseur et un adducteur volumineux, très puissants, et même un long abducteur, absent chez l'homme. Cela confère une grande mobilité au premier rayon, très utile dans la locomotion arboricole. Les terminaisons tendineuses du long fléchisseur sont très différentes, leur intrication à la face plantaire permet de définir une cohésion structurelle musculaire active, qui s'oppose à la cohésion passive de la voûte plantaire humaine assurée par les structures osseuses.

D'autres animaux comme l'ours utilisent la bipédie, dont le modèle est encore différent.

Déroulement cinématique de la marche

A) Chez l'homme

Description de la phase d'appui (stance phase) : (Fig. 13)

Le pied rentre en contact avec le sol par le talon (heel strike ou heel contact ou foot strike), suivi du bord externe du pied et de la tête des cinq métatarsiens et des orteils ; c'est le déroulement du pas du talon à la pointe. Puis le talon quitte le sol, le pied restant rigide, les articulations métatarso-phalangiennes en hyperextension. La phase d'appui prend fin lorsque le pied quitte le sol (toe off ou foot off). Le tout dernier contact se fait par le gros orteil. La figure 13 permet d'analyser l'évolution angulaire de la hanche, du genou et de la cheville lors du déroulement de la marche. Dans la figure 14, nous

avons modélisé le membre inférieur sous formes de chaînons en respectant les valeurs angulaires de la figure 13, à trois instants précis : début d'appui, déroulement du pas au moment où la cheville est à 0°, lever du pas. Ces trois instants sont reportés dans le tableau 1.

Lors de la phase d'oscillation (swing phase) : le genou se fléchit jusqu'à sa valeur maximale au moment où la cuisse passe par la verticale, puis se remet en extension au moment du début d'appui, le heel-contact. Sa durée est toujours inférieure à celle de l'appui.

L'homme est un plantigrade vrai, dans le sens où la totalité de la face plantaire rentre en contact avec le sol au cours du cycle locomoteur. C'est par ailleurs une heel-strike plantigradie, le pied rentre en contact avec le support en premier par le talon.

Sur le plan articulaire, les seuls lieux anatomiques autorisant inversion et éversion sont l'articulation sous-talienne fonctionnant comme un couple d'arthrodies avec le calcaneus, et la médiotarsienne tournant autour du condyle talo-naviculaire. Cela s'oppose au modèle simiesque.

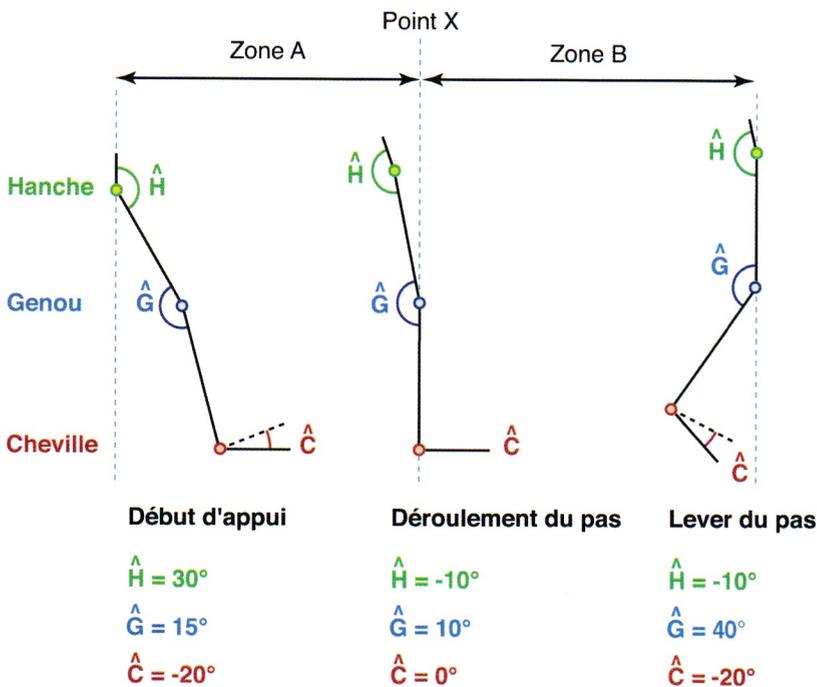


Fig. 14 : modélisation sous forme de chaînons des membres inférieurs, à trois instants de l'appui chez l'homme.

	Début d'appui	Déroulement du pas au point X	Lever du pas
HANCHE	+30° FLEXION	-10° EXTENSION	-10° EXTENSION
GENOU	+15° EXTENSION	+10° EXTENSION	+40° FLEXION
CHEVILLE	-20° FLEXION PLANTAIRE	0° NEUTRE	-20° FLEXION PLANTAIRE

Tableau 1 : valeurs angulaires des hanche, genou et cheville à trois instants de l'appui chez l'homme.

B) Les grands singes (Fig. 15)

Lorsqu'ils adoptent la bipédie terrestre, ne constituant pas chez eux une forme de locomotion fréquente, l'attitude est en flexion et abduction des hanches et des genoux. Le pied rentre en contact avec le sol cheville en flexion dorsale contrairement à l'homme. Le déroulement du pas se fait cheville en varus, exclusivement sur le bord latéral du pied, puis le pied médial rentre en contact avec le sol, orteils fléchis, à la différence de l'homme. La dernière phase est également très différente : le talon se décolle du sol alors que la partie antérieure du tarse et les métatarsiens restent en contact, définissant le « mid-tarsal break » s'opposant fondamentalement au modèle humain caractérisé par la rigidité du pied, les métatarso-phalangiennes quittant le sol en hyperextension passive.

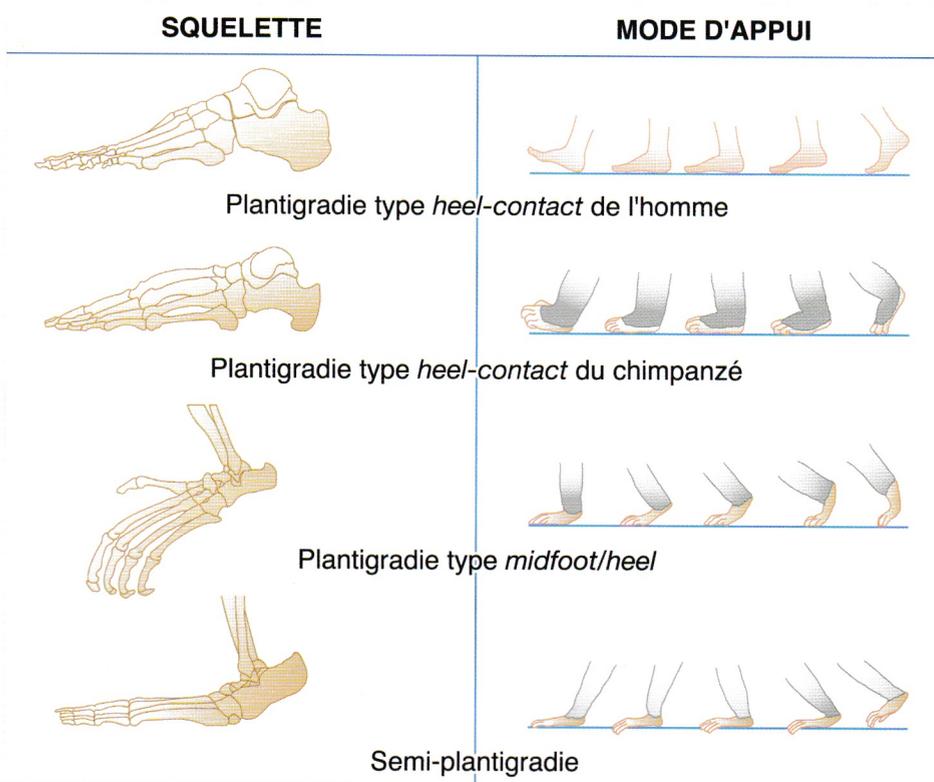


Fig. 15 : différents modes d'appui et de locomotion chez les primates.

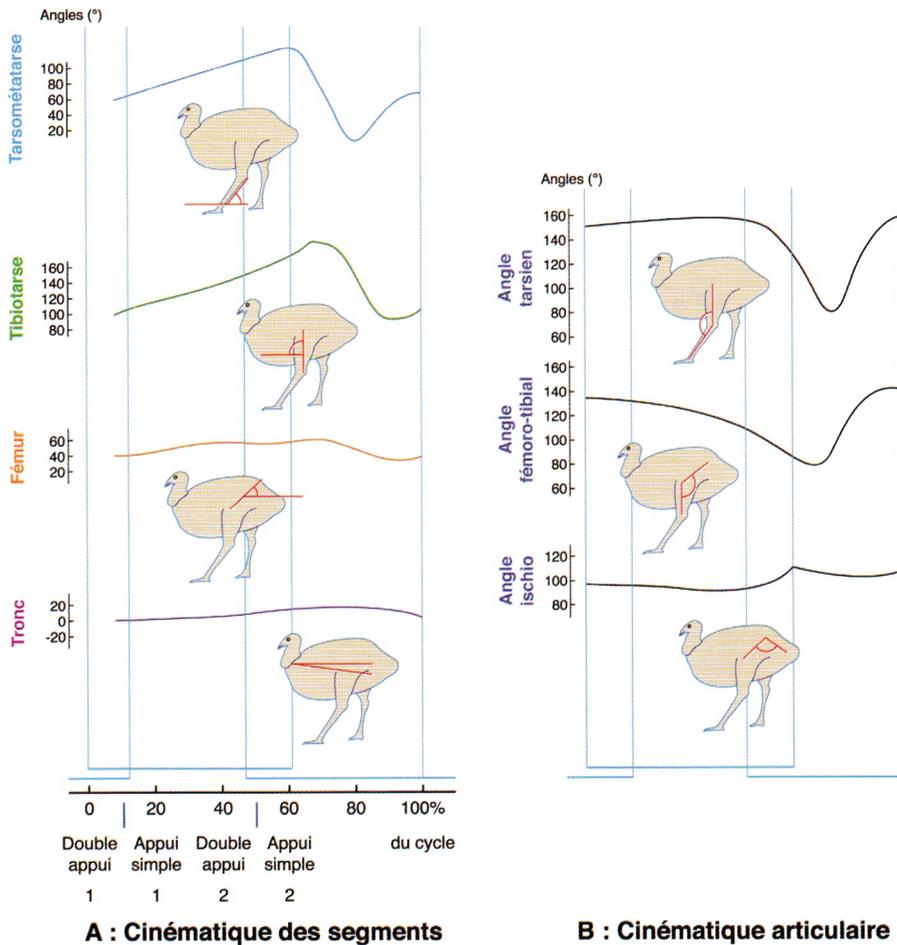


Fig. 16 : cinématique des segments de membre et des articulations chez les oiseaux.

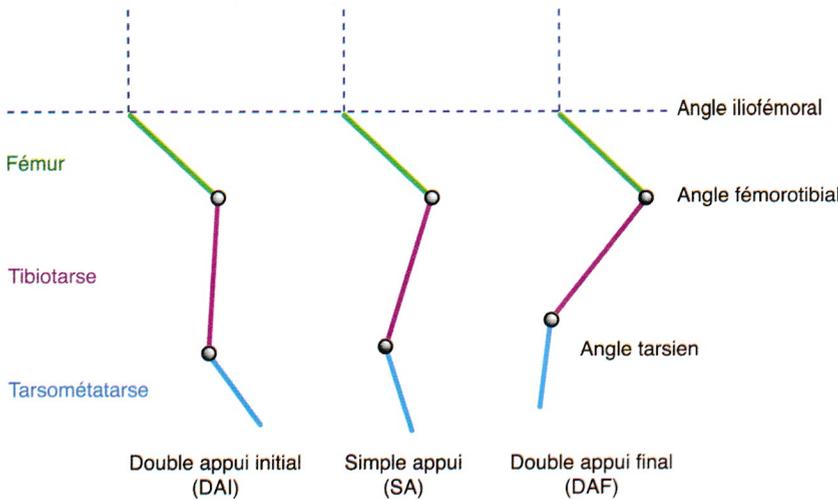


Fig. 17 : modélisation sous forme de chaînons des membres inférieurs, à trois instants de l'appui chez l'oiseau.

	DAI	SA	DAF
HANCHE	+48° FLEXION	+47° FLEXION	+46° FLEXION
ANGLE FEMOROTIBIAL « GENOU »	+50° FLEXION	+60° FLEXION	+80° FLEXION
ANGLE TARSINIEN « CHEVILLE »	140° FLEXION PLANTAIRE	145° FLEXION PLANTAIRE	150° FLEXION PLANTAIRE

Tableau 2 : valeurs angulaires des hanche, genou et cheville à trois instants de l'appui chez l'oiseau.

Il s'agit également d'une heel-strike plantigrade car le talon rentre en contact en premier avec le sol, s'opposant à d'autres singes (hylobates) chez qui il existe un contact simultané du talon et de l'avant-pied (mid-foot/heel plantigrady).

Enfin, tous les singes autres que les primates sont semi-plantigrades, car le talon est décollé en permanence du sol, en raison de l'orientation en bas et en avant du calcaneus. Le contact se fait exclusivement avec cuboïde, naviculaire, cunéiformes, métatarsiens, et phalanges.

Sur le plan du fonctionnement articulaire, les possibilités de rotation interne (adduction) et externe (abduction), de valgus et varus sont présentes à chaque niveau anatomique. Elles débutent grâce à la surface articulaire triangulaire tibio-talienne, puis sont autorisées à chaque interface articulaire, de proximal en distal, grâce à leur forme plutôt condylienne, s'opposant aux arthrodies humaines, et au type de cohésion interosseuse élastique, contrairement à la rigidité ostéoligamentaire humaine. Le pied simiesque est très souple et déformable dans sa totalité.

C) Chez les oiseaux, le déroulement de la marche est différent (Fig. 16). La bipédie est une digitigradie. On représente, sous forme de chaînons (Fig. 17), les segments anatomiques constitués par le fémur, le tibiotarse et le tarsométatarse en respectant les valeurs angulaires des articulations à trois instants du pas : double appui initial (DAI), simple appui (SA), puis double appui final (DAF) avant le lever (Fig. 17 et Tableau 2). On remarque que le tarsométatarse est orienté vers l'avant au début (DAI), puis se redresse (SA) pour se verticaliser (DAF) avant la phase d'oscillation. Le tibiotarse s'oriente, lui, de plus en plus vers l'arrière, et le fémur garde la même orientation. Sur le plan articulaire, l'angle ilio-fémoral reste toujours à peu près identique, très fléchi, l'angle fémorotibial (« genou ») se fléchit de 30°, l'angle tarsien (« cheville ») s'étend (flexion plantaire) de quelques degrés. Les articulations se déplacent plus dans le plan frontal, s'oppo-

s'oppose au modèle mécanique humain pour lequel le stockage élastique existe mais est de faible importance, les phénomènes de transfert d'énergie par le muscle bi-articulaire étant au premier plan.

Conclusion

La question de l'origine de l'homme n'est pas résolue.

L'utilisation du critère d'analyse « bipédie » est certainement utile à condition de parler du modèle strictement humain. Celui-ci, nous l'avons vu, est spécifique sur le plan anatomique, fonctionnel et biomécanique. Cette haute spécificité nous amène à réfléchir sur son origine tenant compte des lois d'irréversibilité de l'évolution.

L'utilisation confuse de cette entité anatomofonctionnelle nous conduirait à diffuser l'idée que les relations phylogéniques avec les autres grands primates sont directes par filiation, et à placer automatiquement, et à tort, les hominoïdes fossiles (Australopithèques) comme intermédiaires. ●

Bibliographie

- Bacon, A.-M.** La locomotion des primates du miocène d'Afrique et d'Europe. Cahiers de paléoanthropologie, CNRS éditions, Paris, 2001
- Beaumont, A. Cassier, P.** Biologie animale. Dunod, Paris, 1987
- Benton, J.M.** Atlas historique des dinosaures. Editions Autrement, Paris, 1998
- Berillon, G.** Les multiples bipédies, Pour la science, Editions française de Scientific American, N° 330, avril 2005
- Berillon, G.** Le pied des hominoïdes miocènes et des hominidés fossiles. Cahiers de paléoanthropologie, CNRS éditions, Paris, 2000
- Bouisset, S.** Biomécanique et physiologie du mouvement. Masson, Paris, 2002
- Buffetaut, E.** Histoire de la paléontologie. PUF, 1998
- Continenza, B. Darwin.** Pour la science, Editions française de Scientific American, fev-mai 2004
- Ducroquet, R.J. Ducroquet, P.** La marche et les boiteries. Masson, Paris, 1964
- Deloison, Y.** Préhistoire du piéton. Plon, 2004
- Gould, S.G.** The book of life. Ebury Hutchinson, Londres, 1993
- Grassé, P. P.** Zoologie, Vertébrés, 3^e édition, Masson, 1996
- Hartenberger, J. L.** Une brève histoire des mammifères. Belin, 2001
- Janvier, P. Tassy, P.** La recherche en paléontologie. Editions du Seuil, 1989
- Kapandji, I.A.** Physiologie articulaire, membre inférieur. Maloine S.A., 1989
- Lecointre, G.** Le Guyader, H. Classification phylogénétique du vivant. Belin, 2001
- Piveteau, J., Lehman, J.P. Dechaseaux, C.** Précis de paléontologie des vertébrés., Masson, 1978
- Picq, P. Coppens, Y.** Aux origines de l'humanité. Fayard, 2002
- Renous, S.** Locomotion. Dunod, Paris, 1994
- Seinandre, E.** Les origines de l'homme. Petite encyclopédie Larousse, Larousse, 2004.

PETITES ANNONCES

Alpes Maritimes - Cagnes sur Mer
MÉDECIN GÉNÉRALISTE, orientation ostéopathie,
 médecine du sport, importante clientèle,
CHERCHE SUCESSEUR pour 2010.

Cabinet médical équipé de 2 tables de manipulation électriques, dont une table de traction PECUNIA. Cabinet de kinésithérapie en dessous du cabinet.

Docteur Jean-Luc Poumarede :
 06 15 42 14 16 ou 04 93 20 42 21

Ref/30313233

MG Ostéopathe exclusif
 exerçant hors convention (secteur 3)
CÈDE CLIENTÈLE à La Voulte sur Rhône
 (entre Valence et Montélimar).

Conditions d'exercice et secteur agréables.
 Cabinet 45m² en location ~550 euros/mois
 Secrétariat d'entreprise ~300 euros/mois.
 Conditions à discuter. Cession fin 2010.

Contact : rey.roland@free.fr

Ref/31323334

Lille en centre-ville (secteur 2)
MÉDECIN SPECIALISTE
 en médecine du sport, ostéopathie,
 radiologie osseuse,
CHERCHE REMPLACANT RÉGULIER.

Contact : 03 20 55 44 12

Ref/30313233

Région Rhône Alpes - Haute Savoie
Médecin secteur 3, région Annemasse
CÈDE FICHIER de plus de 5000 patients,
 exerce en ostéopathie exclusive en Haute Savoie,
 proche de la Suisse.

Vendu 98 000 euros soit 55% du chiffre d'affaire moyen des deux dernières années, à débattre (cabinet informatisé, comptabilité faite par expert comptable, bilans disponibles).

Cession proposée en janvier 2011.

vous pouvez me contacter à
letetras74@orange.fr

Ref/31323334

Médecin spécialiste
MPR
 exerçant à
Strasbourg centre
RECHERCHE
CONFRÈRE
MPR ou
rhumatologue

en vue
 association-succession

Cabinet équipe radio.
 Exercice en association
 avec confrère
 rhumatologue
 Activité MMO
 dominante.

Adresse :
 1 place Kleber
 67000 Strasbourg
03 88 32 48 78

Ref/33343536