

A. KARCHOUD

## **Étude de la taxinomie des équidés d'après les mesures squelettales**

*Les cahiers de l'analyse des données*, tome 6, n° 4 (1981),  
p. 453-463

[http://www.numdam.org/item?id=CAD\\_1981\\_\\_6\\_4\\_453\\_0](http://www.numdam.org/item?id=CAD_1981__6_4_453_0)

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1981, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

## ÉTUDE DE LA TAXINOMIE DES ÉQUIDÉS D'APRÈS LES MESURES SQUELETTALES [SQUEL. EQUID.]

par A. Karchoud <sup>(1)</sup>

### 1 Discrimination interspécifique et analyse des correspondances

1.1 De la crâniométrie aux mesures squelettiques : Pour le statisticien la donnée de base d'une étude crâniométrique est un tableau de correspondance croisant un ensemble I d'individus (crânes) avec un ensemble J de mesures prises entre des repères déterminés du crâne ;  $k(i, j)$  étant la valeur de la mesure  $j$  pour le crâne  $i$ . Le Tome I du traité sur l'A. des D. comporte des études de L. Bellier et M. O. Lebeaux consacrés aux *Praomys* et aux *Cricetomys* ; ainsi qu'un abrégé de la Thèse de J. Mahé sur les Lémuriens ; depuis ont paru dans les Cahiers deux articles : l'un de L. Bellier et B. Abi Boutros sur les Crocidures (Vol II n° 4 pp 435-450) ; l'autre de V. Eisenmann et J.C. Turlot sur les équidés (Vol III n° 2 pp 179-201). Ces travaux ont montré que comme le laissait entendre la sûreté de discrimination atteinte par certains spécialistes - tel le regretté Heim de Balzac - sur le simple examen des crânes, l'analyse des données crâniométriques aboutit à des conclusions taxinomiques claires. La question restait cependant posée de l'extension de ces méthodes statistiques au traitement de mesures prises sur d'autres os que ceux du crâne.

Dans le cadre de son étude approfondie des Equidés actuels et fossiles, Mme V. Eisenmann, a rassemblé le plus grand nombre possible de mesures prises non seulement sur les crânes (cf. Eisenmann & Turlot ; *op. cit.*) mais aussi sur les os des membres. Le non-spécialiste a peine à imaginer que sur des os tels que le métatarsien, le métacarpien, ou la première phalange antérieure ou postérieure (cf. figure), il soit possible de prendre 14 mesures entre des repères bien définis... Au total, dans la mesure où elle trouvait dans les collections un squelette complet et intact, V. Eisenmann a pu prendre jusqu'à 140 mesures par individu. Cependant les collections comportent plus de crânes que de squelettes ; et ceux-ci sont rarement complets et intacts : ce qui oblige le statisticien à se contenter d'analyses partielles portant sur moins de 100 mesures ; et où certaines données manquantes ont dû être reconstituées.

1.2 Intérêt des diagnoses squelettiques : La discrimination telle qu'on la pratique en zoologie et notamment au sein du genre *Equus* repose la plupart du temps sur la morphologie externe des animaux. Dans le cas des Equidés actuels, c'est la coloration du pelage, la taille des oreilles et la forme de la queue qui fournissent les critères de distinction le plus souvent utilisés. Toutefois il peut arriver qu'un problème de détermination surgisse à propos d'un squelette isolé d'Equidé actuel. Mais l'objet principal des études ostéométriques est

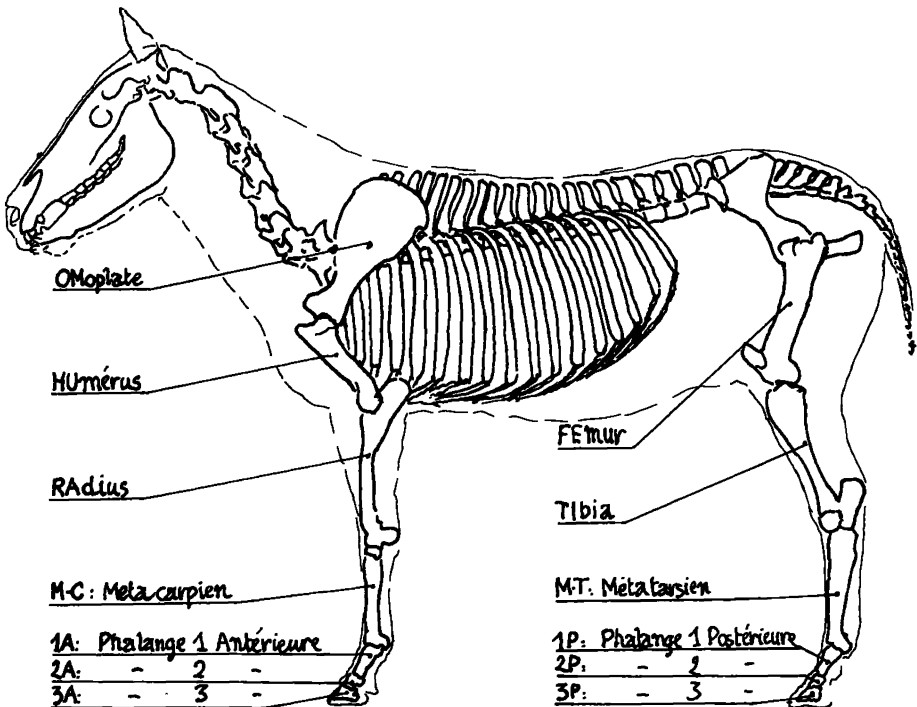
(1) Docteur-Ingénieur. Assistant-chercheur à l'École Centrale de  
Arts et Manufactures de Paris. 67, rue J. Longuet -  
92290 - Châtenay-Malabry

d'une part : d'acquérir une vue d'ensemble du taxon étudié (un genre dans notre cas) saisi à un niveau homogène de description (les os ; ou seulement les os des crânes ; ou les os des membres ; voire un groupe de mesures parmi celles qu'on peut prendre sur ces os).

d'autre part : de placer par rapport aux espèces actuelles, les fossiles récents (à partir e.g. du pliocène moyen: soit 3,5 millions d'années avant nous) pour lesquels il est clair qu'on ne connaît en général que les parties dures : dents ou ossements;

Quant aux fossiles, disons tout de suite qu'il est exceptionnel que des ossements soient découverts en connexion anatomique : le cas général étant qu'on ne dispose que d'ossements isolés, la reconstitution d'un individu ou d'un membre ne pouvant être associée avec sûreté. Pour la paléontologie seuls ont une portée pratique les essais de taxinomie fondée sur l'analyse des mesures prises sur un os unique. Les métapodes (métacarpiens ou métatarsiens) se trouvant en assez grand nombre dans les collections de fossiles, on s'intéresse à un tableau I x J croisant un ensemble I de métacarpiens (actuels ou fossiles) avec l'ensemble J des 14 mesures définies sur un tel os. De telles analyses nous ont apporté des résultats taxinomiques importants (cf. A. Karchoud, thèse ; et K. et Eisenmann à paraître) ; nous n'en parlerons pas toutefois dans le présent article.

Quant au panorama escompté du genre *Equus* les analyses portant sur quelques dizaines de mesures squelettiques aboutissent à une systématique générale analogue à celle fournie par la crâniométrie ; et presque aussi précise. En particulier les espèces semblent se ranger suivant un cercle ; schéma déjà proposé par Bourdelle d'après l'ensemble des caractères anatomiques internes et externes (cf. Eisenmann et Turlot: p. 191).



1.3 Les données de la présente étude : Quel que puisse être l'intérêt de définir, puis de recueillir minutieusement le maximum des données qu'offre chaque os, nous voulons ici nous borner à des mesures particulièrement simples, qu'un statisticien non familier avec la zoologie saisit sans peine : les longueurs de 13 os, désignés sur la figure par leurs noms et les sigles que nous utiliserons. L'intérêt de ces mesures n'est pas seulement d'être accessibles aux ignorants : du point de vue fonctionnel elles ont le mérite de caractériser l'appareil locomoteur, si essentiel chez des animaux adaptés à la course. De plus les résultats auxquels nous aboutissons ont l'originalité de fournir une discrimination entre les principaux groupes de même qualité que celles obtenues par d'autres voies, mais s'inscrivant dans un schéma arborescent tout autre que le cercle de Bourdelle ou ses variantes.

Quant aux individus, l'ensemble des 130 Equidés considérés forme 6 groupes principaux :

- Z : 14 Zèbres vrais ; *Equus zebra* ;
- B : 36 Zèbres de Burchell ; *Equus burchelli* ;
- H : 20 Hé miones ; *Equus hé miones* ;
- A : 9 Asiniens ; *Equus asinus* ou *Equus africanus* ;
- P : 17 Chevaux de Przewalski ; *Equus przewalskii* ;
- G : 21 Zèbres de Grévy ; *Equus grevyi* .

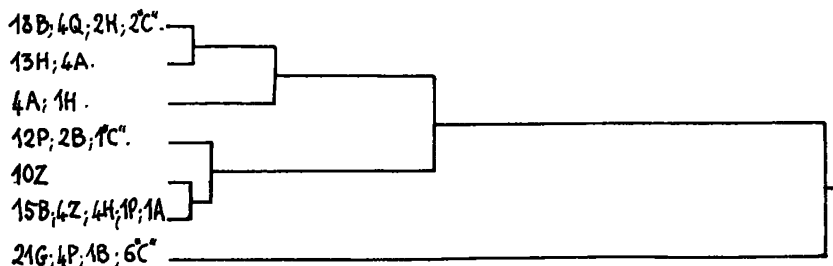
A quoi s'adjoignent 4 Couaggas (Q = *Equus quagga* ; cf. B) ; 3 Kiang (K = *Equus Kiang* ; cf. H) ; et 6 autres spécimens que nous noterons "C" sans entrer dans le détail (le sigle "C" servant aussi parfois pour les Kiangs).

Quant aux 13 mesures retenues, nous serons conduits après une première analyse (§ 2), à les transformer par un codage (§ 3) qui nous permettra d'entreprendre des analyses partielles (§ 4).

## 2 Analyse globale : 13 mesures et toutes les espèces

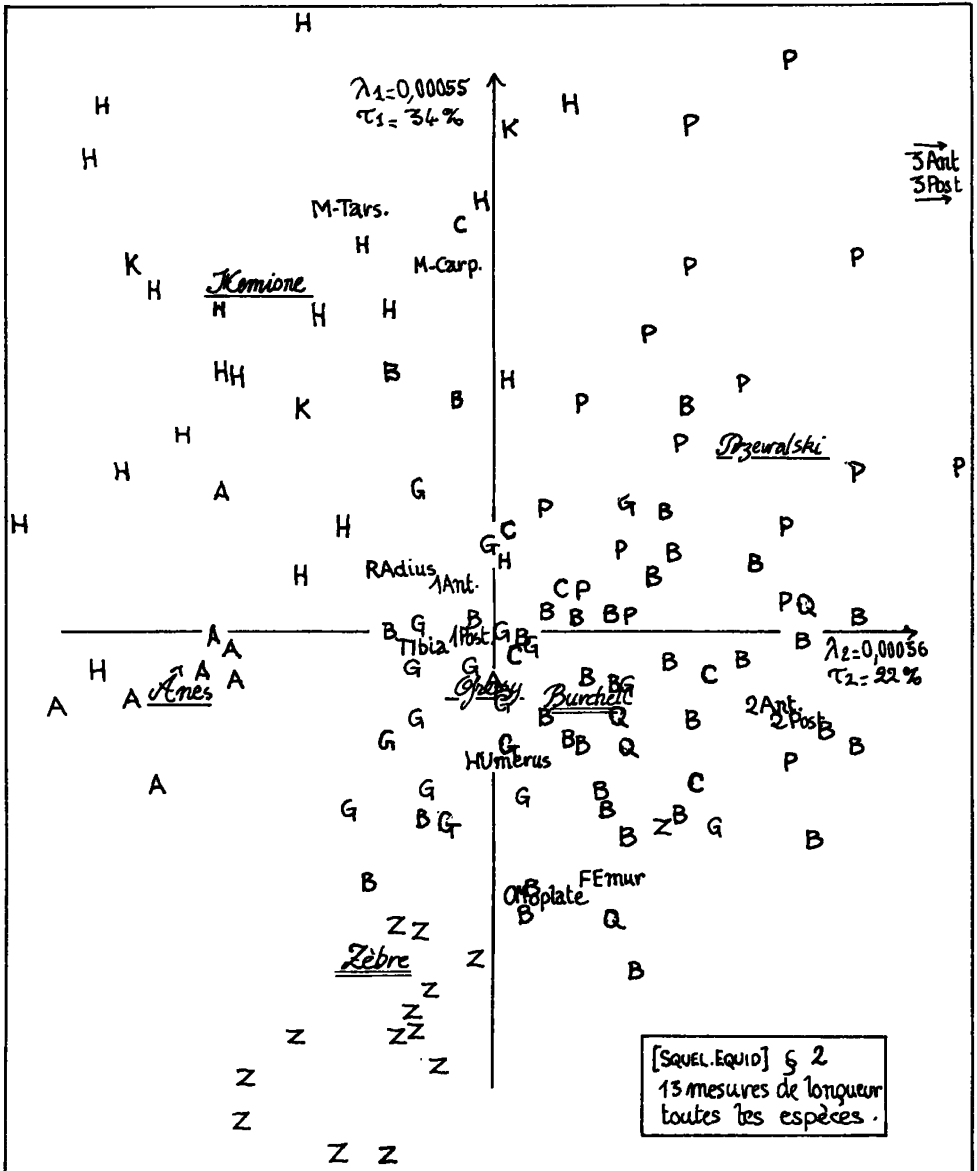
L'analyse du tableau de correspondance 130 × 13, fournit des valeurs propres très faibles : la première, qui extrait 36% de l'inertie, n'étant que de 0,00055. Les résultats n'en sont pas moins interprétables, à la fois quant aux individus et aux variables.

Pour plus de clarté, on a dans le plan 1 × 2 figuré les centres de gravité des 6 principales classes d'individus : H, A, P, G, B, Z. Mais la dispersion de chaque classe autour de son centre, une certaine discrimination apparaît possible surtout si l'on admet que les Kiangs vont avec les Hé miones (K, H) les Couagga avec les Burchell (Q, B) ; et qu'on néglige les "C". Quelques individus très écartés de leur groupe peuvent d'ailleurs avoir été l'objet de diverses erreurs (e.g. d'étiquetage...). Cependant une classification automatique effectuée sur



[SQUEL. EQUID.] § 2 : C.A.H : 13 mesures de longueur × toutes espèces

l'ensemble des 130 équidés d'après le même tableau de données, ne donne pas de classes pures (loin de là) ; le nuage des Burchell étant particulièrement dispersé.



Quant aux variables, une remarque s'impose : les points figurant deux segments homologues l'un antérieur, l'autre postérieur ne s'écartent jamais beaucoup : 1A va avec 1P (premières phalanges antérieure et postérieure) ; 2A avec 2P ; 3A avec 3P ; et aussi MC avec MT (note pour MC III et MTIII par Eisenmann 1979 (Géobios) pp 871, 872, 876, 877) (métacarpien avec métatarsien) ; Radius avec Tibia ; HUMérus avec FEMur ; quant à l'OMoplate son correspondant qui serait le bassin ne figure pas dans l'analyse (la ceinture pelvienne étant, somme toute bien distincte de la ceinture scapulaire...). Du point de vue statistique, cette proximité signifie similitude de profil : en d'autres termes constance des rapports antéropostérieurs : les six rapports (HU/FE), (RA/TI), (MC/MT), (1A/1P), (2A/2P), (3A/3P) sont chacun à peu près constants au sein du genre *Equus* ; plus précisément ils sont moins variables que les rapports entre segments non homologues : e.g., RA/2A ou RA/2P ; rapports dont la variabilité intragénérique se manifeste par la distance dans le plan 1 x 2 entre les points RA et 2A ou RA et 2P.

Or rapport quasi-constant ne signifie pas nécessairement : rapport dont la variation est purement aléatoire, dépourvue de sens : pour voir ce qu'il en est nous analysons au § 3 les 6 rapports antéropostérieurs.

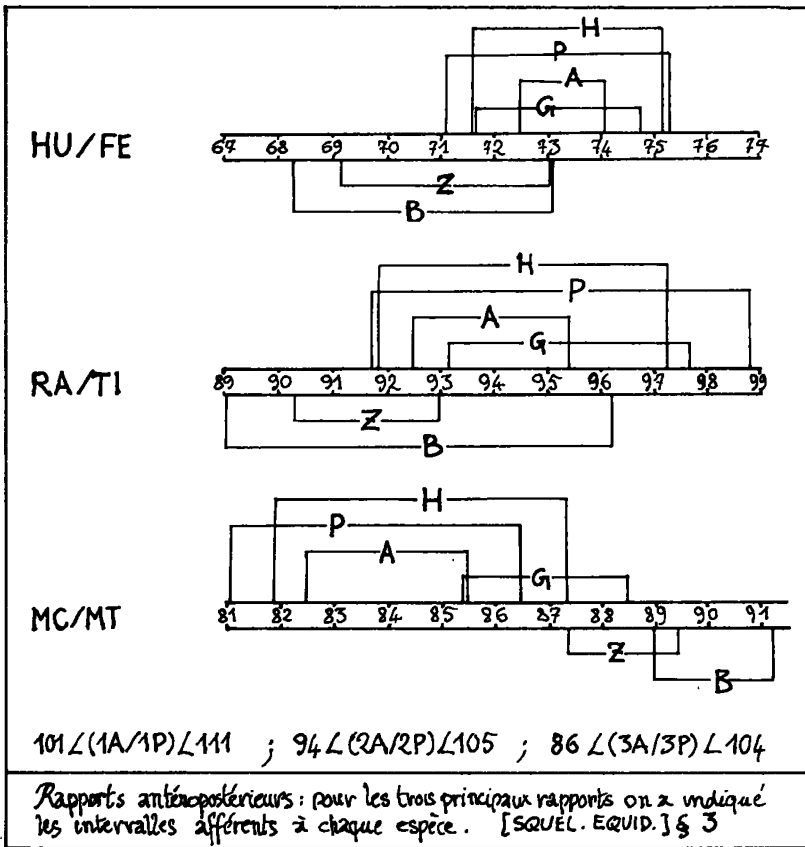
Auparavant, pour en finir avec cette première analyse, disons que l'axe 3 oppose l'OMoplate au FEMur, sans qu'il nous ait été possible de voir l'intérêt taxinomique de cette opposition au niveau des individus. De plus signalons qu'une autre analyse effectuée sur un tableau ayant 6 lignes principales (les moyennes des 6 principales classes d'équidés, H, A, P, G, B, Z) avec en lignes supplémentaires les 130 individus, a fourni des résultats tout analogues à ceux issus du tableau 130 x 13.

### 3 Analyse des rapports antéropostérieurs

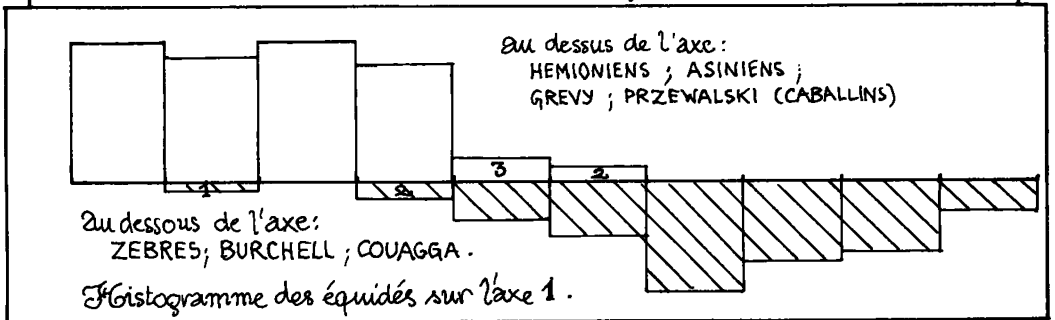
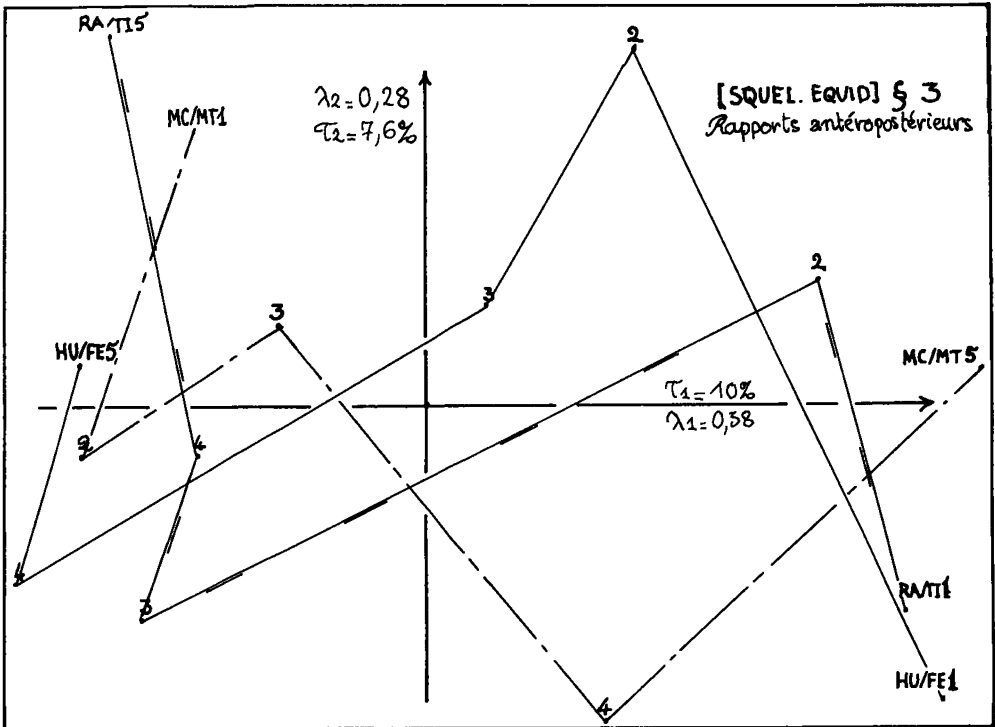
Pour effectuer cette analyse les six rapports ont été traités comme des variables hétérogènes, à découper en classes : on a fait cinq classes pour chaque rapport ; de 1 petit à cinq grand, les classes étant sensiblement d'égal effectif ; sauf pour la variable (2A.2P) qui au vu de son histogramme a été découpée en 4 classes. On a comme d'usage codé les données sous forme logique : avec e.g. un 1 à l'intersection de la ligne 1 et de la colonne HU/FE3 si l'individu 1 rentre dans la modalité 3 du rapport HUMérus/FEMur ; et 0 sinon. On a également grâce à l'obligeance de D. Maïti essayé un codage flou (i. e. en bref si un individu tombe à la limite de deux classes, mettre dans les colonnes afférentes à ces classes 0,5 et 0,5, ou 0,4 et 0,6 plutôt que 0 et 1...) : les résultats sont identiques du point de vue taxinomique : ils sont seulement plus agréables surtout pour les rapports relatifs aux phalanges, en ce que les modalités s'égrènent plus régulièrement.

Pour la taxinomie tout se lit sur l'axe 1. D'un côté (F1 < 0) Hémioniens, Asiniens, Przewalski et Grévy associés à de fortes valeurs de Radius/Tibia et HUMérus/FEMur ; ainsi qu'à de faibles valeurs de MétaCarpien/MétaTarsien. De l'autre (F1 > 0) Zèbres, Burchells, (et COuagga) associés aux rapports complémentaires.

Afin de préciser cette dichotomie au niveau des rapports individuels on a figuré les intervalles couverts par chaque espèce (en écartant éventuellement des individus isolés) : on lit e.g. que pour les Burchell HU/FE varie de 68 à 73 centièmes, etc.



	QLT	POID	INR	1-F	COR	CTR	2-F	COR	CTR	3-F	COR	CTR	
HU/FE	1 478	33	33	119	22	355	124	-692	120	97	105	3	1
	2 339	33	33	4	10	5	19	83	176	84	657	108	56
	3 347	33	33	1	14	2	2	21	11	5	675	114	28
	4 330	33	33	-3	70	86	-6	39	48	23	462	53	39
	5 243	33	33	1	14	58	-4	82	2	1	546	15	0
RA/TI	1 230	33	33	10	90	104	-4	83	59	28	24	0	0
	2 356	33	33	2	04	71	-2	22	26	12	98	0	0
	3 434	33	33	1	12	39	-5	74	83	39	177	23	123
	4 320	33	33	-3	54	28	-1	43	3	2	367	23	121
	5 368	33	33	8	1	50	8	1	19	93	70	1	98
MC/MT	1 176	33	33	-1	56	3	14	3	9	19	87	190	5
	2 204	33	33	1	80	56	-1	34	2	2	198	10	84
	3 333	33	33	3	2	11	-1	92	3	3	87	16	40
	4 483	33	33	1	40	14	-1	98	15	2	557	17	23
	5 243	33	33	1	32	152	9	5	2	4	20	4	2
1A/1P	1 116	33	33	1	60	1	7	4	23	113	11	4	2
	2 83	33	33	1	30	19	-7	2	0	0	19	36	46
	3 77	33	33	4	5	19	-1	0	3	2	30	25	11
	4 201	33	33	1	4	37	-4	5	20	20	59	32	19
	5 405	33	33	1	6	104	-10	1	26	26	26	50	26
2A/2P	1 62	74	23	1	9	14	2	0	0	130	0	0	2
	2 200	74	23	-2	5	62	1	19	19	0	11	3	0
	3 27	22	3	-1	1	0	-10	2	19	7	25	0	2
	4 194	33	33	1	0	0	-2	1	1	1	5	13	0
	5 112	33	33	-4	1	19	8	1	9	2	2	4	2
3A/3P	1 34	33	33	1	5	8	-2	1	1	1	1	2	1
	2 42	46	2	1	5	8	-4	1	1	1	1	2	4
	3 71	20	5	-7	6	1	2	6	6	3	676	64	36
[SQUEL.EQUID.] § 3				$\lambda_1 = 0,38$	$T_1 = 10\%$		$\lambda_2 = 0,28$	$T_2 = 7,6\%$		$\lambda_3 = 0,26$	$T_3 = 6,7\%$		



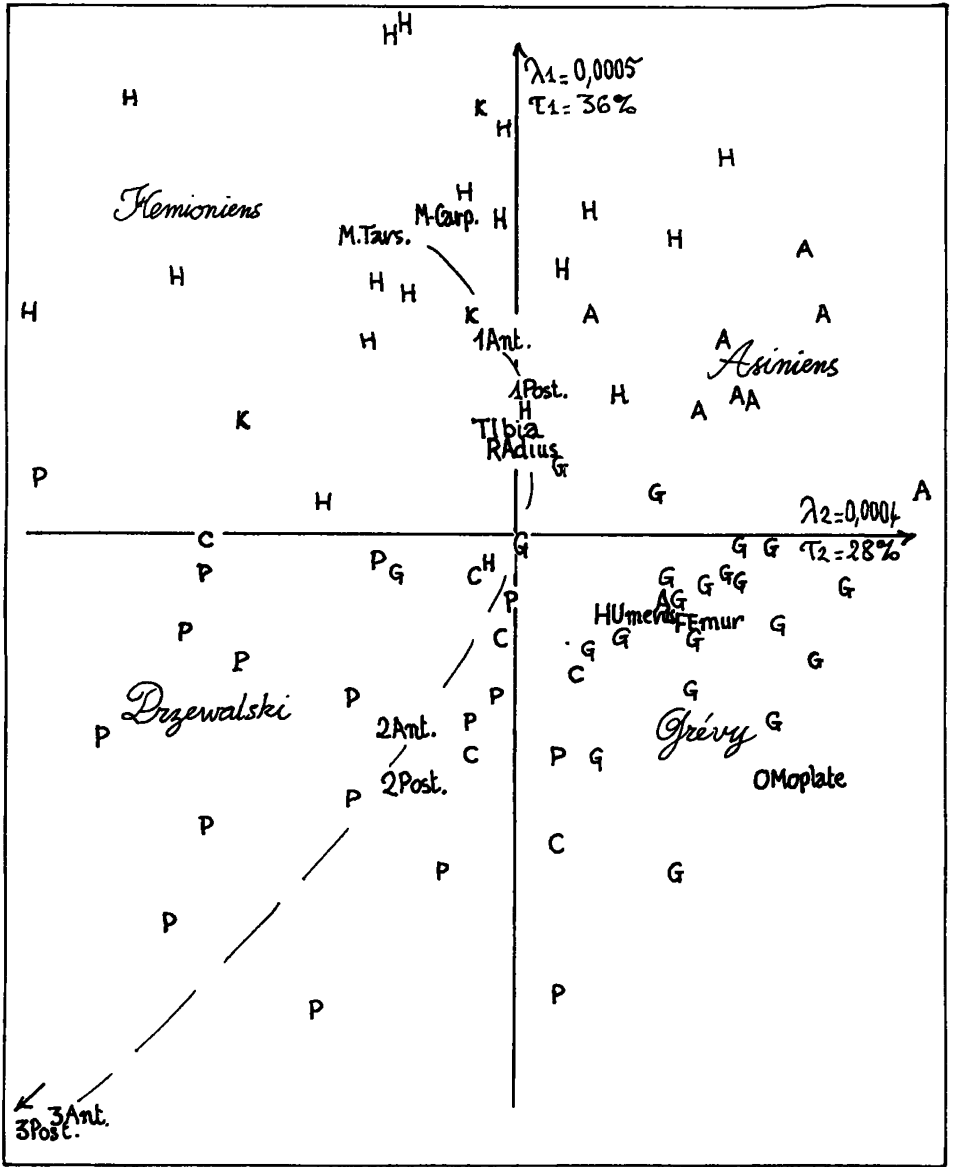
#### 4 Analyses partielles

La dichotomie obtenue au § 3 suggère de reprendre la discrimination tentée au § 2 sur l'ensemble des équidés ; mais en se bornant à l'un ou l'autre des deux groupes reconnus.

4.1 Hémioniens, Asiniens, Przewalski, Grévy : L'analyse factorielle porte sur un tableau 75 × 13 (75 individus ; 13 mesures).

Quant aux variables on retrouve les proximités entre segments homologues notées au § 2 et d'après lesquelles s'est orientée notre recherche. De plus, dans le plan 1 × 2 les segments de la "patte" se rangent sur une parabole dans leur ordre naturel des métapodes au sabot : MT et MC ; puis 1A et 1P ; 2A et 2P ; enfin 3A et 3P (très écartés) . Il faut ici comme au § 2 signaler sur l'axe 3 une opposition entre





[SQUEL. EQUID.] §4.1 : Correspondance entre 13 mesures de longueur et un sous-ensemble d'équidés distingués par l'analyse des rapports antéro-postérieurs

## Omoplate et Fémur.

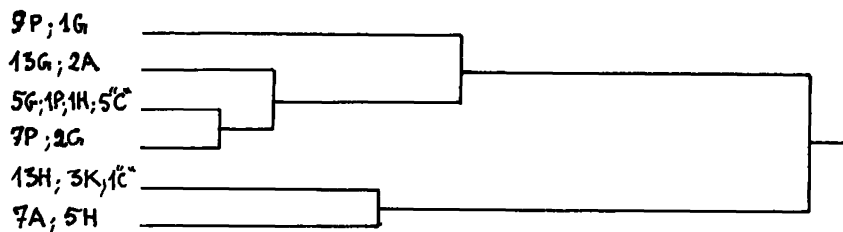
Quant aux individus, le plan 1 x 2 assigne, à chacune des quatre principales espèces retenues, un domaine ou ses individus se rangent à quelques exceptions près. La classification automatique permet de suivre les contiguïtés entre ces domaines : mais une analyse discriminante fondée e.g. sur la recherche des plus proches voisins de l'individu nouveau à classer (cf. Eisenmann et Turlot ; *op. cit.* p. 196), ou simplement sur le tracé de cloisons rectilignes dans le plan 1 x 2 permet manifestement une bonne séparation.

Compte-tenu à la fois de la C.A.H. et de l'analyse factorielle, on peut dire que le groupe s'organise suivant le schéma :

(Hémionens, Asiniens) ≠ (Przewalski, Grévy).

De plus il y a entre les deux classes un parallélisme qui rapproche H de P et A de G : signalons la ressemblance entre les MCIII de A et G (E et K, à paraître) : suivant le dessin  $\begin{array}{c|c} H & A \\ \hline P & G \end{array}$ , déjà vu au § 2.

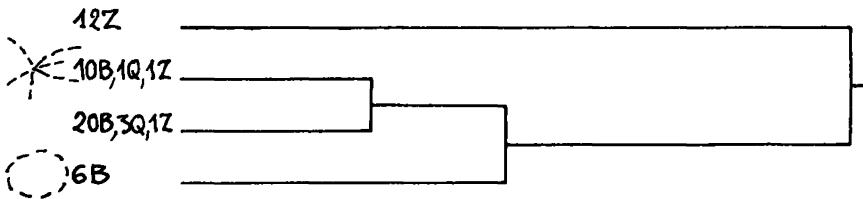
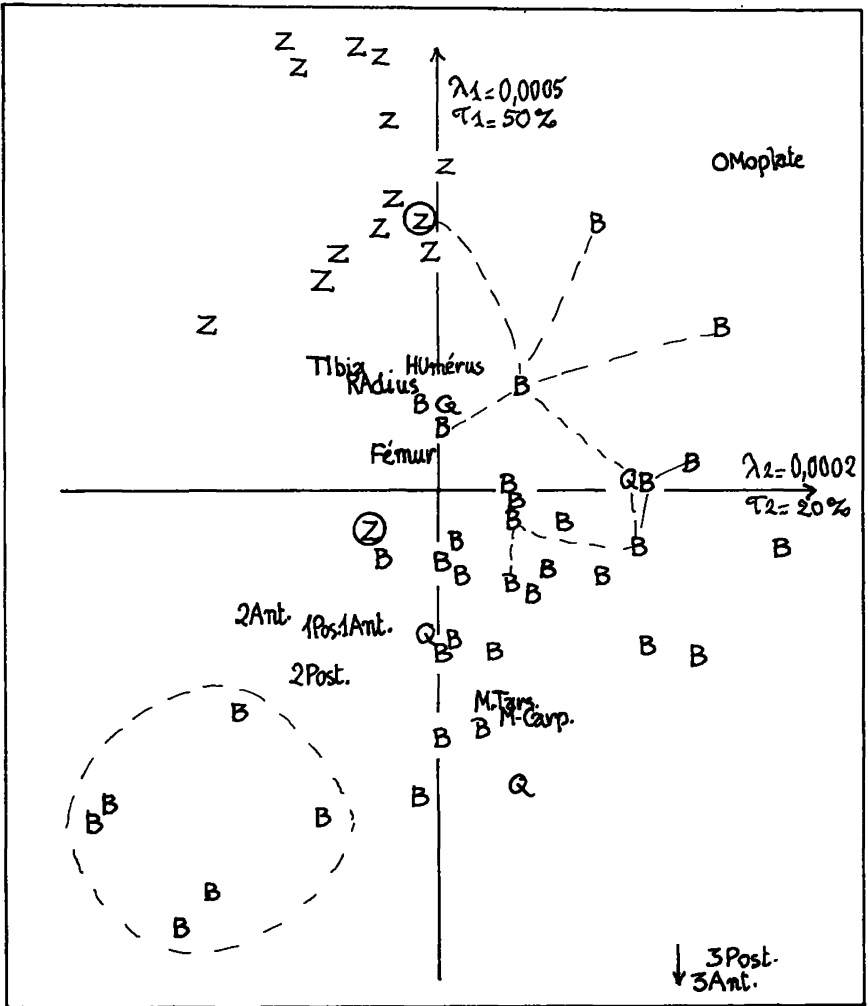
Il est satisfaisant que les Hémioniens ou demi-ânes, aillent avec les asiniens ; quant aux Grévy, une fois séparés (au § 2) des zèbres (dont ils ont toutefois la livrée !), les voici avec les Przewalski (Chevaux...).



[SQUEL. EQUID] § 4.1 : C.A.H d'après 13 mesures de longueur

4.2 Zèbres et Burchell : Cette analyse partielle porte sur un tableau 56 x 13 (56 individus ; 13 mesures de longueurs). La séparation est satisfaisante entre les deux espèces : les Zèbres de Burchell, auxquels s'intègrent les Couaggas, étant assez polymorphes pour fournir à la C. A. H. 3 classes. Sur le graphique plan issu de l'analyse des correspondances, il nous a été possible de figurer ces classes : l'une très écartée ( $F_1 < 0$  ;  $F_2 < 0$ ) (6B) est encerclée ; celle qui jouxte les zèbres est dessinée en reliant les individus qui la compose ; le reste constituant la classe médiane (20B, 3Q, 1Z).

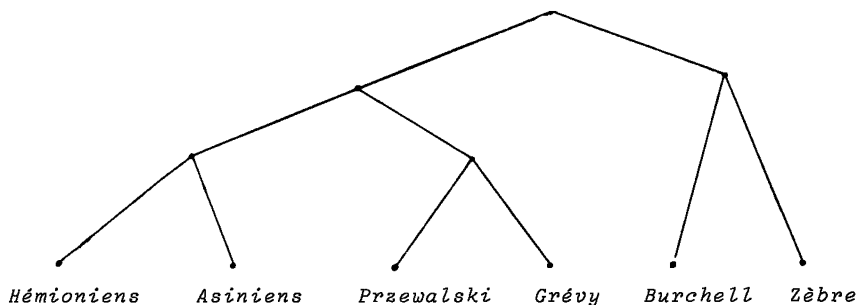
Dans la présente analyse l'Omoplate joue un rôle à part : puisque ce n'est pas exactement un segment du membre antérieur, et que son homologue le bassin n'est pas retenu ; de plus les phalanges 3A et 3P situées à l'intérieur du sabot peuvent présenter des caractères très spécialisés : on a donc refait l'analyse avec seulement 10 variables : HU, FE, RA, TI, MC, MT, 1A, 1P, 2A, 2P. Du point de vue taxinomique les résultats sont équivalents : les zèbres continuent de se détacher des Burchells à une extrémité de l'axe 1.



[SQUEL.EQUID.] §4.2 : Correspondance entre 13 mesures de longueur & ZEBRES, BURCHELL, QUAGGA : Analyse factorielle & C.A.H

5 Conclusion

Ainsi qu'on l'a annoncé nous sortons du schéma circulaire de Bourdelle, pour suggérer une arborescence : différente de celle suggérée par l'étude des crânes et dents (Eisenmann CRAC Sci 1979 pp 497-500).



avec dans la branche de gauche A plutôt proche de G, et H de P.

Quelle est la valeur photogénique de cet arbre ? De multiples caractères assurent la distinction entre les espèces d'équidés... Retenir les longueurs des os des membres parce qu'ils résument la structure de l'appareil locomoteur, et impliquent peut-être la démarche... est un choix ; facile pour le statisticien ; mais peut-être suspect au taxinomiste soucieux de ne construire des cladogrammes qu'après avoir distingué entre caractères plésiomorphes et apomorphes définis par Henning (1966) ; distinction qui au niveau de simples proportions entre longueurs semble plus qu'embarrassante... .

Nous croyons cependant que nos résultats méritent d'être examinés, comme le fruit d'une exploration que nous ont permises les amplies recherches de Madame V. Eisenmann.