Différenciation odontométrique entre *Arvicola amphibius* (Linnaeus, 1758) et *Arvicola sapidus* Miller, 1908 (Rodentia, Arvicolinae)

Alexandra-Cristina Paunesco[1] & Patrick Brunet-Lecomte[2]

[1] Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg, Am Jackobskirchhof 4, D-99423 Weimar, Allemagne
Adresse postale: 1245, Chemin Sainte-Foy # 1543, G1S4P2 Québec (QC), Canada (acpaunescu@hotmail.fr)

[2] 5, rue de Palanka, F-38000 Grenoble, France (patrick.brunet-lecomte@wanadoo.fr)

Paunesco, A.-C. & P. Brunet-Lecomte, 2013. Différenciation odontométrique entre *Arvicola amphibius* (Linnaeus, 1758) et *Arvicola sapidus* Miller, 1908 (Rodentia, Arvicolinae). *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois* 114 : 77-88.

Abstract. Odontometrical differentiation between *Arvicola amphibius* (Linnaeus, 1758) and *Arvicola sapidus* Miller, 1908 (Rodentia, Arvicolinae). – The calculation of different indexes obtained from measures taken on the occlusal surface of the first lower molar (M_1) on some geographical populations of vole species *Arvicola amphibius* (Linnaeus, 1758) and *Arvicola sapidus* Miller, 1908 (Rodentia, Arvicolinae), beforehand identified on cranial and jaw criteria, allows to differentiate both species with a percentage of misclassification below 5%. It is possible, for specimens for which we have only M_1, fossils in particular, to determine, with an acceptable risk error, to which species they belong.

Key words. *Arvicola*; voles, differentiation, odontometry.

1. Introduction

Selon Wilson & Reeder (2005), le genre *Arvicola* Lacépède, 1799 comprend trois espèces actuelles : *A. amphibius* (Linnée, 1758), décrit d'Angleterre (sans localité-type précise), *A. scherman* Shaw, 1801, décrit de Strasbourg (Alsace, France) et *A. sapidus* Miller, 1908, décrit de Santo Domingo de Silos (province de Burgos, Espagne). La priorité du nom d'espèce entre les deux taxons *A. amphibius* et *A. terrestris* (Linnée, 1758), décrits de Suède, dans la même publication et à la même page, actuellement considérés comme une seule espèce, a fait l'objet de discussions jusqu'à la proposition de Corbet (1978) montrant la priorité d'*amphibius* sur *terrestris* en raison du fait que *A. amphibius* a été en premier revu par Blasius (1857).

La systématique au sein du genre a fait l'objet de publications portant sur *A. amphibius* et *A. scherman* (in Wilson & Reeder 2005). Selon la phylogénie de l'ADN mitochondrial (gène cytochrome b), la systématique du groupe *amphibius* (incluant *scherman*) reste complexe (Wust-Saucy 1998) nécessitant encore des analyses avant d'être tranchée. Cette incertitude rend difficile, pour l'instant, de donner pour chacun de ces deux taxons leur répartition géographique respective, même si la forme plus fouisseuse *A. scherman* semble être plus particulièrement présente dans le Jura, les Alpes, le Massif central, les Pyrénées et les Monts cantabriques. C'est pourquoi, il nous semble préférable de considérer encore ces deux formes dans un ensemble ci-après nommé *A.* gr. *amphibius*.

Le groupe *A.* gr. *amphibius* présente une distribution géographique étendue, du Nord de la péninsule ibérique à l'Est jusqu'au bassin de la rivière Lena et de l'océan Arctique jusqu'au lac Baïkal (Corbet 1978, Wilson & Reeder 2005). En France, *A.* gr. *amphibius* occupe la moitié Est à l'exception du Midi méditerranéen, le Massif central, le Sud-Ouest aquitain et les Pyrénées (Le Louarn & Quéré 2003). *A. sapidus* montre une distribution géographique limitée à la péninsule ibérique (Palomo & Gisbert 2002) et en France, à une grande partie de l'Ouest, le

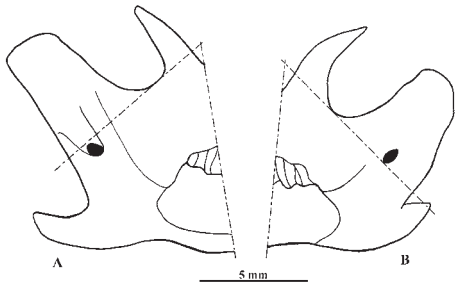


Fig. 1. Morphologie de la mandibule chez *Arvicola sapidus* (A) et *A.* gr. *amphibius* (B). *Morphology of the mandible in* Arvicola sapidus *(A) and* A. *gr.* amphibius *(B).*

Sud, le Massif central et le Morvan et dans l'Est et le Nord-Est (Le Louarn & Quéré 2003), sa répartition précise n'est pas encore connue, notamment en raison de la systématique du genre qui a compliqué la détermination exacte des espèces au cours du XXème siècle.

La distinction entre *A. sapidus* et *A.* gr. *amphibius* est aisée, pour les spécimens adultes, si l'on dispose d'un crâne et de ses mandibules. L'examen de profil de celles-ci (Chaline et al. 1974) montre une nette différence, le foramen mandibulaire étant proche du bord de la mandibule et plus bas que l'échancrure située entre les deux apophyses chez *A. sapidus* ou éloigné du bord et au niveau de l'échancrure chez *A.* gr. *amphibius* (fig. 1). La morphologie de la première molaire inférieure (M_1), la dent la plus informative dans l'étude de la systématique des campagnols, est aussi différentes entre les deux taxons, *A. sapidus* étant caractérisé, chez la plupart des spécimens, par une boucle à la partie antérieure interne de la M_1, nettement plus développée que chez *A.* gr. *amphibius*.

L'objectif de cette étude est d'identifier des critères odonthométriques, calculés à partir de mesures prises sur la surface occlusale des M_1 appartenant aux espèces actuelles *Arvicola sapidus* et *A.* gr. *amphibius*, dont l'appartenance spécifique a été établie au préalable par l'examen des mandibules, permettant d'identifier les deux espèces en l'absence d'autres critères que ceux offerts par les molaires isolées.

2. Matériel et méthode

Le matériel étudié est constitué de 63 premières molaires inférieures (M_1) d'*A. sapidus* provenant de Châlus (Haute-Vienne, Limousin) 20 M_1, Saint Yriex le Déjalat (Corrèze, Limousin) 13 M_1, Meymac (Corrèze, Limousin) 16 M_1, Fanlac (Dordogne, Aquitaine) 4 M_1, Saint André d'Allas (Dordogne, Aquitaine) 4 M_1, Bars (Dordogne, Aquitaine) 3 M_1, Valojoulx (Dordogne, Aquitaine) 3 M_1, et de 84 M_1 d'*A.* gr. *amphibius* provenant de Meymac (Corrèze, Limousin) 32 M_1, Saint Etienne de Crossey (Isère, Rhône-Alpes) 17 M_1, Moidieu Détourbe (Isère, Rhône-Alpes) 24 M_1, Faverges de la Tour (Isère, Rhône-Alpes) 11 M_1 (tabl. 1).

D'autres populations de petits effectifs ont permis de valider les analyses discriminantes obtenues : pour *A. sapidus* provenant de Troche (Corrèze, Limousin) 7 M_1, Beynat (Corrèze, Limousin) 2 M_1, Maisonnises (Creuse, Limousin) 2 M_1, Réalmont (Tarn, Midi-Pyrénées) 2 M_1, Santa Maria del Campo (Province de Burgos, Espagne) 2 M_1 et Quintana del Puente (Province de Palencia, Espagne) 2 M_1, et pour *A.* gr. *amphibius* provenant de Saint Yriex le Déjalat (Corrèze, Limousin) 1 M_1, Bars (Dordogne, Aquitaine) 2 M_1, de Fraissinhes (Lot, Midi-Pyrénées) 2 M_1 et de Argüeso (Province de Cantabrie, Espagne) 1 M_1 (tabl. 1).

La situation géographique des populations est donnée dans la fig. 2.

Vingt indices ont été calculés à partir des mesures prises sur la surface occlusale des M_1 (schéma donnée dans la fig. 3 ; nomenclature selon Hibbard 1950) :

Ind_Ll = (Longueur/largeur LSA3-BSA2)*100 = (v1/v20)*100 ;
Ind_LLT7L = [(Longueur – Longueur LSA5/Longueur] *100 = [(v1 – v2)/v1]*100 ;
Ind_LT7A7L = [(Longueur LSA5 – Longueur LRA4/Longueur] *100 = [(v2 – v3)/v1]*100 ;
Ind_LLA6L = [(Longueur – Longueur BRA3/Longueur] *100 = [(v1 – v6)/v1]*100 ;
Ind_LTA5L = [(Longueur LSA4 – Longueur LRA3/Longueur] *100 = [(v4 – v6)/v1]*100 ;
Ind_LTA4L = [(Longueur BSA3 – Longueur BRA2/Longueur] *100 = [(v8 – v7)/v1]*100 ;
Ind_LT3A3L = [(Longueur LSA3 – Longueur LRA2/Longueur] *100 = [(v10 – v11)/v1]*100 ;
Ind_LLA4L = [(Longueur – Longueur BRA2/Longueur] *100 = [(v1 – v7)/v1]*100 ;
Ind_largT45l = (largeur LSA4-BSA3/largeur

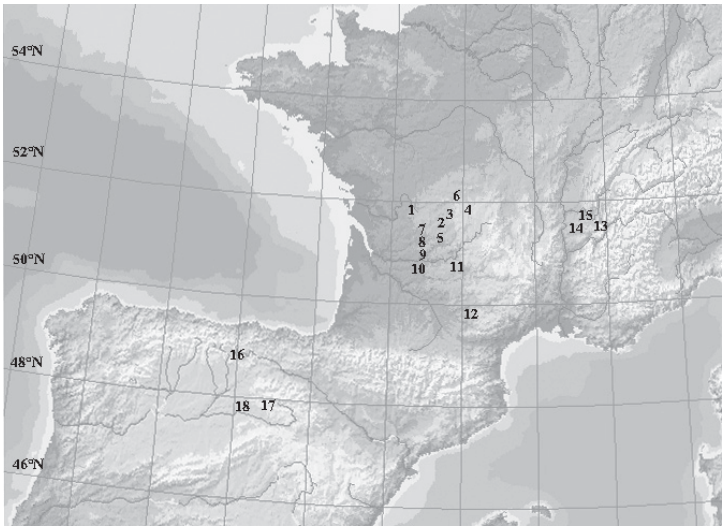


Fig. 2. Situation géographique des populations étudiées. *Geographical localisation of studied populations.* 1 : Châlus (Haute-Vienne, Limousin), 2 : Troche (Corrèze, Limousin), 3 : Saint Yriex le Déjalat (Corrèze, Limousin), 4 : Meymac (Corrèze, Limousin), 5 : Beynat (Corrèze, Limousin), 6 : Maisonnises (Creuse, Limousin), 7 : Bars (Dordogne, Aquitaine), 8 : Fanlac (Dordogne, Aquitaine), 9 : Valojoulx (Dordogne, Aquitaine), 10 : Saint André d'Allas (Dordogne, Aquitaine), 11 : Fraissinhes (Lot, Midi-Pyrénées), 12 : Réalmont (Tarn, Midi-Pyrénées), 13 : Saint Etienne de Crossey (Isère, Rhône-Alpes), 14 : Moidieu Détourbe (Isère, Rhône-Alpes), 15 : Faverges de la Tour (Isère, Rhône-Alpes), 16 : Argüeso (Cantabrie, Espagne), 17 : Santa Maria del Campo (Burgos, Espagne), 18 : Quintana del Puente (Palencia, Espagne).

LSA3-BSA2)*100 = (v19/v20)*100 ;
Ind_largA56A67 = (largeur LRA3-BRA3/largeur LRA4-BRA3)*100 = (v18/v17)*100 ;
Ind_largBAT45 = (largeur émarginations émail boucle antérieure/largeur LSA4-BSA3)*100 = (v16/v19)*100 ;
Ind_largA67T45 = (largeur LRA4-BRA3/largeur LSA4-BSA3)*100 = (v17/v19)*100 ;
Ind_largT2l = (largeur BSA2-BRA1/largeur LSA3-BSA2)*100 = (v25/v20)*100 ;
Ind_largT3l = (largeur LSA3-LRA2/largeur LSA3-BSA2)*100 = (v24/v20)*100 ;
Ind_largT4l = (largeur BSA3-BRA2/largeur LSA3-BSA2)*100 = (v23/v20)*100 ;
Ind_largT5l = (largeur LSA4-LRA3/largeur LSA3-BSA2)*100 = (v22/v20)*100 ;
Ind_largT7BA = (largeur LSA5-LRA4/largeur émarginations émail boucle antérieure)*100 = (v21/v16)*100 ;
Ind_largT24 = (largeur BSA2-BRA1/largeur BSA3-BRA2)*100 = (v25/v23)*100 ;
Ind_largT54 = (largeur LSA4-LRA3/largeur BSA3-BRA2)*100 = (v22/v23)*100 ;
Ind_largT35 = (largeur LSA3-LRA2/largeur LSA4-LRA3) = (v24/v22)*100.

Les indices calculés, plutôt que les mesures prises, ont été retenus pour les analyses statistiques car tout en étant aussi discriminants, ils sont plus compréhensibles pour les spécialistes étudiant l'odontométrie comparée des campagnols.

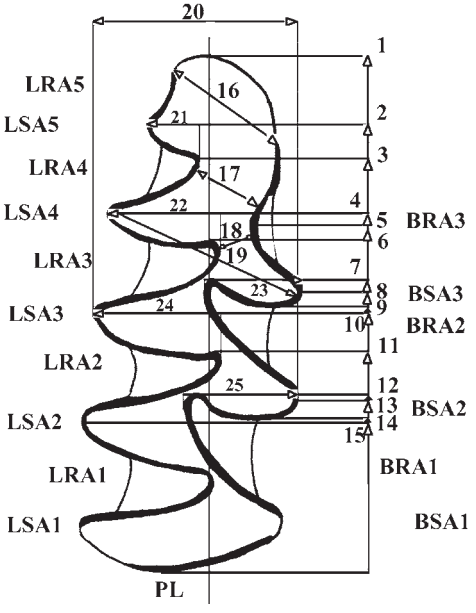


Fig. 3. Morphométrie de la première molaire inférieure d'*Arvicola*. *Morphometry of the first lower molar of* Arvicola. LRA*x* = angle rentrant lingual *x* (*lingual re-entrant angle x*), LSA*x* = angle saillant lingual *x* (*lingual salient angle x*), BRA*x* = angle rentrant buccal *x* (*buccal re-entrant angle x*), BSA*x* = angle saillant buccal *x* (*buccal salient angle x*).

Tableau 1. Coordonnées des localités ayant fourni le matériel d'Arvi*cola sapidus* et d'*A.* gr. *amphibius*. *Coordinates of localities having supplied* Arvicola sapidus *and* A. *gr.* amphibius *material*.

Pays	Région	Département	Localité	Coordonnées	Altitude (m)
France					
	Rhône-Alpes	Isère	Moidieu Détourbe	45°29'34"N 5°00'25"E	235-723
			Saint Etienne de Crossey	45°22'48"N 5°38'46"E	370-883
			Faverges de la Tour	45°35'31"N 5°31'28"E	285-432
	Limousin	Corrèze	Beynat	45°07'26"N 1°43'26"E	189-581
			Troche	45°23'19"N 1°26'32"E	277-413
			Meymac	45°32'12"N 2°08'52"E	593-976
			Saint Yriex le Déjalat	45°27'27"N 1°58'21"E	534-876
		Haute-Vienne	Châlus	45°39'21"N 0°58'53"E	310-444
		Creuse	Maisonnises	46°03'49"N 1°53'59"E	517-685
	Aquitaine	Dordogne	Fanlac	45°03'57"N 1°05'45"E	99-269
			Saint André d'Allas	44°53'12"N 1°10'03"E	106-287
			Bars	45°06'00"N 1°03'50"E	137-276
			Valojoulx	45°01'10"N 1°08'38"E	72-266
	Midi-Pyrénées	Lot	Fraissinhes	44°52'45"N 1°56'23"E	170-542
		Tarn	Réalmont	43°46'38"N 2°11'26"E	181-333
Espagne					
	Cantabrie	Cantabrie	Argüeso	43°01'54"N 4°12'00"O	945
	Castille et León	Burgos	Santa Maria del Campo	42°07'55"N 3°58'27"O	815
		Palencia	Quintana del Puente	42°05'01"N 4°12'23"O	769

Des séries de tests *t* de Student ont été effectuées pour comparer les moyennes entre les 2 espèces pour chacun des 20 indices et par la suite, une sélection automatique, parmi les indices significatifs au seuil de 5%, a été réalisée utilisant la procédure STEPDISC (méthode *stepwise*, valeur p entrée de 0,05 et valeur p sortie de 0,10), pour chacune des quatre situations suivantes :

a) Pour différencier les populations appartenant aux espèces *sapidus* et gr. *amphibius*.

b) Pour différentier les deux espèces *sapidus* et gr. *amphibius* de Meymac (Corrèze, Limousin).

c) Pour différencier la population gr. *amphibius* de Meymac (Corrèze, Limousin) de celles de l'Isère (Rhône-Alpes).

d) Pour différencier les populations *sapidus* d'Aquitaine (Dordogne) de celles du Limousin (Haute-Vienne et Corrèze).

Les indices discriminants identifiés dans chacune de quatre situations mentionnées ci-dessus, ont servi : 1) au calcul du pourcentage (%) de bonne classification, estimé par validation croisée (Tomassone et al. 1988), entre les deux espèces/groupes de populations, en employant la procédure DISCRIM ; 2) au calcul des variables (moyennes) canoniques et à la construction des graphiques pour visualiser leurs dispersions respectives, entre les espèces/populations, en utilisant la procédure CANDISC ; 3) aux validations des résultats obtenus par discrimination des populations étudiées avec d'autres populations, en employant la procédure DISCRIM.

Les spécimens d'*A. sapidus* de Fanlac, Saint-André-d'Allas, Bars et Valojoulx en Dordogne, ont été regroupés pour les analyses en une seule population de 14 M_1.

L'analyse statistique a été faite à l'aide du logiciel SAS version 9.2.

3. Résultats

La variation morphologique de la M_1 des *Arvicola* est illustrée dans la fig. 4 ; la description des variables par espèce/population est donnée dans les tableaux 2 à 4.

Tableau 2. Description (N = effectif, moyenne, écart-type, minimum, maximum, médiane, erreur type de la moyenne) des indices discriminants des populations d'Arv*icola sapidus* et d'*A.* gr. *amphibius*. *Description (N=sample size, mean, standard deviation, minimum, maximum, median, and standard error of the mean) of discriminating indexes in* Arvicola sapidus *and* A. *gr.* amphibius *populations.* [(1)] Populations : *A. sapidus* : 1. Châlus (Haute-Vienne, Limousin), 2. St. Yriex le Déjalat (Corrèze, Limousin), 3. Meymac (Corrèze, Limousin), 4. Dordogne, Aquitaine (Fanlac, St. André d'Allas, Bars et Valojoulx) ; *A.* gr. *amphibius* : 5. Meymac (Corrèze, Limousin), 6. Moidieu Détourbe (Isère, Rhône-Alpes), 7. St. Étienne de Crossey (Isère, Rhône-Alpes), 8. Faverges de la Tour (Isère, Rhône-Alpes) ; [(2)] Test *t* de Student, p < 0,0001 entre les deux groupes *sapidus* (4 populations) et gr. *amphibius* (4 populations) ; [(3)] Test *t* de Student, p < 0,0001 entre les deux groupes ; [(4)] Test *t* de Student, p < 0,0001 entre les deux groupes ; [(5)] Test *t* de Student, p = 0,0001 entre les deux groupes ; [(6)] Test *t* de Student, p = 0,0130 entre les deux groupes ; [(7)] Test *t* de Student, p = 0,0069 entre les deux groupes ; [(8)] Test *t* de Student, p < 0,0001 entre les deux groupes ; [(9)] Test *t* de Student, p < 0,0001 entre les deux groupes.

Ind_largT3l[(2)]							
Population[(1)]	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
A. sapidus	63	64,35	2,33	55,35	70,18	64,25	0,29
1	20	64,03	2,20	60,32	69,80	64,00	0,49
2	13	65,28	2,00	62,98	70,18	64,90	0,55
3	16	63,71	2,92	55,35	67,90	63,75	0,73
4	14	64,67	1,91	60,67	67,10	64,90	0,51
A. gr. *amphibius*	84	58,27	2,42	49,82	63,50	58,49	0,26
5	32	58,77	2,28	50,96	63,50	58,78	0,40
6	24	57,68	3,06	49,82	62,72	58,49	0,63
7	17	58,39	1,72	55,24	61,42	58,44	0,42
8	11	57,91	2,07	54,84	61,72	57,57	0,63
Ind_largT7BA[(3)]							
Population[(1)]	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
A. sapidus	63	38,50	12,16	8,52	74,59	38,94	1,53
1	20	39,92	12,48	22,17	62,11	40,47	2,79
2	13	36,37	8,99	25,27	56,24	33,24	2,49
3	16	38,34	16,61	8,52	74,59	39,35	4,15
4	14	38,63	8,77	21,09	48,49	41,99	2,34
A. gr. *amphibius*	84	19,08	5,78	8,70	36,50	18,05	0,63
5	32	21,22	5,80	10,63	36,50	21,31	1,02
6	24	18,60	5,95	10,69	31,47	16,73	1,21
7	17	16,44	5,10	8,70	28,69	15,47	1,24
8	11	18,01	4,62	13,06	26,60	18,38	1,39
Ind_largT24[(4)]							
Population[(1)]	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
A. sapidus	63	118,96	6,62	102,76	136,10	118,68	0,83
1	20	117,12	5,94	104,55	126,79	117,55	1,33
2	13	120,38	5,76	109,85	129,89	119,40	1,60
3	16	120,01	7,10	109,51	136,10	118,06	1,78
4	14	119,05	7,76	102,76	131,33	119,13	2,07
A. gr. *amphibius*	84	107,55	7,27	90,45	134,15	107,26	0,79
5	32	109,30	6,76	97,87	134,15	108,23	1,19
6	24	105,64	8,22	90,45	123,59	105,40	1,68
7	17	109,77	6,29	101,84	122,76	109,91	1,53
8	11	103,17	5,54	96,35	111,94	102,81	1,67

Ind_LLT7L[5]							
Population[1]	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
A. sapidus	63	9,12	2,42	4,22	14,93	9,22	0,30
1	20	9,43	3,06	4,80	14,51	8,48	0,68
2	13	8,80	1,33	6,28	10,30	9,45	0,37
3	16	9,15	2,80	4,22	14,93	9,67	0,70
4	14	8,95	1,79	5,91	11,13	9,08	0,48
A. gr. *amphibius*	84	10,61	2,09	4,19	15,11	10,59	0,23
5	32	11,48	1,77	8,57	15,11	11,42	0,31
6	24	10,63	2,22	6,67	14,67	10,58	0,45
7	17	9,48	2,17	4,19	13,75	9,85	0,53
8	11	9,80	1,57	7,54	11,62	9,63	0,47

Ind_LLA4L[6]							
Population[1]	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
A. sapidus	63	41,42	2,23	36,05	47,50	41,40	0,28
1	20	41,69	2,42	38,73	47,50	40,71	0,54
2	13	41,18	1,59	37,44	43,40	41,44	0,44
3	16	41,51	2,59	36,82	46,04	41,86	0,65
4	14	41,17	2,20	36,05	43,69	41,51	0,59
A. gr. *amphibius*	84	42,25	1,55	37,92	46,68	42,09	0,17
5	32	42,49	1,72	38,70	46,68	42,00	0,30
6	24	42,51	1,81	37,92	45,12	43,10	0,37
7	17	41,66	0,93	40,14	42,96	41,52	0,22
8	11	41,90	0,83	40,37	43,32	42,11	0,25

Ind_LLA6L[7]							
Population[1]	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
A. sapidus	63	30,10	2,62	19,65	35,66	30,37	0,33
1	20	30,30	2,41	27,08	34,91	30,16	0,54
2	13	30,32	1,31	27,72	32,12	30,39	0,36
3	16	29,57	4,04	19,65	35,66	30,42	1,01
4	14	30,23	1,86	25,67	32,70	30,25	0,50
A. gr. *amphibius*	84	28,97	2,36	23,29	34,79	29,31	0,26
5	32	28,60	2,02	24,59	31,48	29,16	0,36
6	24	30,21	2,33	25,83	34,79	30,36	0,47
7	17	27,87	2,40	23,29	31,30	28,30	0,58
8	11	29,04	2,38	23,41	31,77	29,19	0,72

Ind_LT5L[8]							
Population[1]	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
A. sapidus	63	51,32	3,00	42,99	56,06	52,08	0,38
1	20	53,40	1,68	50,00	56,06	53,32	0,38
2	13	50,12	2,49	45,79	52,70	51,06	0,69
3	16	50,93	3,69	42,99	55,19	51,93	0,92
4	14	49,92	2,64	45,10	53,37	49,56	0,71
A. gr. *amphibius*	84	46,51	3,97	35,88	53,74	46,72	0,43
5	32	46,03	4,52	35,88	53,74	46,04	0,80
6	24	47,60	3,59	39,98	53,41	47,62	0,73
7	17	45,77	3,63	40,57	51,71	44,52	0,88
8	11	46,69	3,43	39,75	50,36	47,89	1,04

		Ind_largT54[9]					
Population[1]	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
A. sapidus	63	108,39	8,10	90,61	124,82	109,06	1,02
1	20	111,63	7,39	99,73	124,82	112,21	1,65
2	13	105,82	5,44	97,01	115,50	104,78	1,51
3	16	106,88	11,09	90,61	123,02	110,54	2,77
4	14	107,88	6,19	98,94	117,63	107,15	1,65
A. gr. *amphibius*	84	98,59	10,23	70,78	126,06	98,77	1,12
5	32	95,74	10,25	70,78	109,21	96,63	1,81
6	24	101,95	9,99	89,55	126,06	100,47	2,04
7	17	99,63	10,86	81,82	113,93	99,07	2,63
8	11	97,93	8,32	82,43	110,73	99,69	2,51

3.1. Analyse discriminante entre les deux espèces sur l'ensemble des 8 populations géographiques du Limousin, Dordogne et Isère

Entre les deux espèces *A. sapidus* (4 populations) et *A.* gr. *amphibius* (4 populations), onze indices étaient significatifs au seuil de 5% (test *t* de Student) : Ind_largT3l (p<0,0001), Ind_largT7BA (p<0,0001), Ind_largT24 (p<0,0001), Ind_LLT7L (p=0,0001), Ind_LLA4L (p=0,0130), Ind_LLA6L (p=0,0069), Ind_LT5L (p<0,0001), Ind_largT54 (p<0,0001), Ind_largT2l (p<0,0001), Ind_Ll (p=0,0067) et Ind_largT45l (p=0,0003). Les huit premiers indices étaient aussi discriminants entre les deux espèces (tabl. 2).

La classification par validation croisée de l'analyse discriminante (sur 8 indices) donne 100% de bien classés pour *A.* gr. *amphibius* et 99% pour *A. sapidus* (1 M_1 mal classée pour la population de Valojoulx, Dordogne).

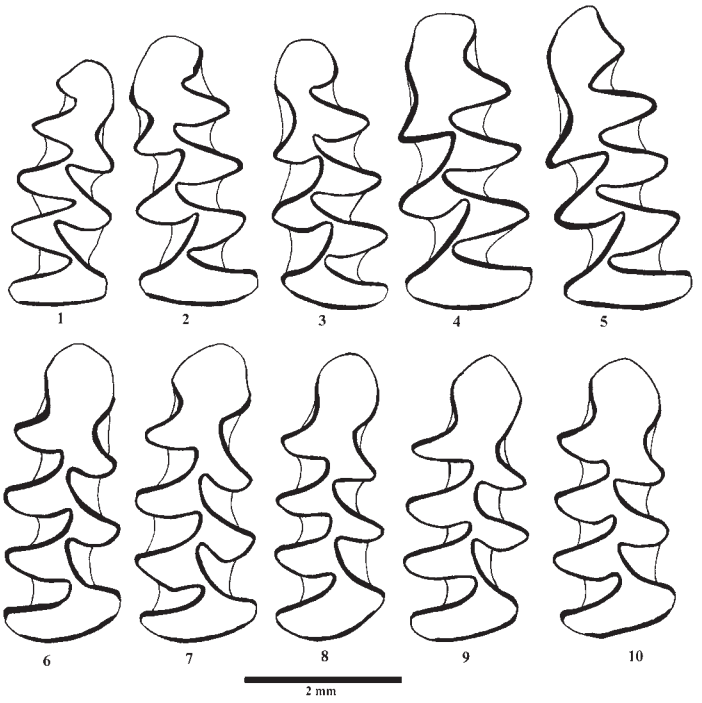


Fig. 4. Variation morphologique des M_1 d'*Arvicola sapidus* (1 à 5) et *A.* gr. *amphibius* (6 à 10). *Morphological variation of the M_1 of* Arvicola sapidus *(1 à 5) and* A. *gr.* amphibius *(6 to 10).* 1, 2, 6, 7 – Meymac (Corrèze, Limousin) ; 3 – Saint-André d'Allas (Dordogne, Aquitaine) ; 4 – Fanlac (Dordogne, Aquitaine) ; 5 – Châlus (Haute-Vienne, Limousin) ; 8 – Saint Etienne de Crossey (Isère, Rhône-Alpes) ; 9 – Moidieu Détourbe (Isère, Rhône-Alpes) ; 10 – Faverges de la Tour (Isère, Rhône-Alpes).

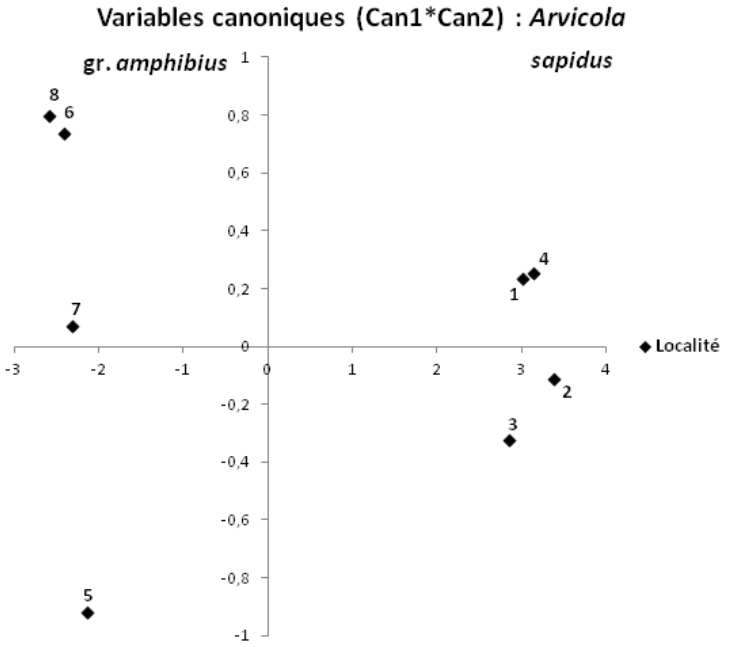


Fig. 5. Projection des centres de gravité des populations d'*Arvicola sapidus* et *A.* gr. *amphibius* dans le plan 1-2 de l'analyse canonique discriminante. *Projection of centroids of the* Arvicola sapidus *and* A. *gr.* amphibius *populations into the first two canonical discriminant axes. Arvicola sapidus*: 1: Châlus (Haute-Vienne, Limousin), 2: Saint Yriex le Déjalat (Corrèze, Limousin), 3: Meymac (Corrèze, Limousin), 4: Dordogne, *A.* gr. *amphibius* : 5: Meymac (Corrèze, Limousin), 6: Moidieu Détourbe (Isère, Rhône-Alpes), 7: Saint Etienne de Crossey (Isère, Rhône-Alpes), 8: Faverges de la Tour (Isère, Rhône-Alpes).

3.2. Analyse discriminante canonique entre les 8 populations géographiques du Limousin, Dordogne et Isère

L'analyse discriminante canonique faite entre les 8 populations géographiques sur les 8 indices retenus, permet de visualiser dans le plan canonique 1-2 (fig. 5), qui exprime 97% de la variance inter populations (axe 1 : 92%, axe 2 : 5%), la dispersion des 8 populations.

L'axe 1 sépare nettement les 4 populations d'*A. sapidus* (côté positif de l'axe) des 4 populations d'*A.* gr. *amphibius* (côté négatif de l'axe). L'axe 2, d'une part sépare les populations de Châlus et de Dordogne (côté positif de l'axe) des 2 populations corréziennes (côté négatif de l'axe) d'*A. sapidus* et d'autre part, sépare encore plus nettement la population limousine (côté négatif de l'axe) des 3 populations iséroises (côté positif de l'axe) d'*A.* gr. *amphibius*.

3.3. Analyse discriminante entre les deux espèces sur les 2 populations de Meymac

Entre les deux espèces *A. sapidus* et *A.* gr. *amphibius* de Meymac (Corrèze, Limousin), dix indices étaient significatifs au seuil de 5% : Ind_largT3l (p<0,0001), Ind_largT24 (p<0,0001), Ind_largT7BA (p=0,0009), Ind_LLT7L (p=0,0063), Ind_LTA4L (p=0,0012), Ind_LT5L (p=0,0005), Ind_Ll (p=0,0283), Ind_largT54 (p=0,0012), Ind_largT2l (p<0,0001) et Ind_largA67T45 (p=0,0432). Les quatre premiers indices étaient aussi discriminants entre les deux espèces (tabl. 2).

La classification par validation croisée de l'analyse discriminante (sur 4 indices) donne 94% de M_1 bien classées pour *A. sapidus* (1 M_1 mal classée) et 97% pour *A.* gr. *amphibius* (1 M_1 mal classée).

3.4. Analyse discriminante entre *A.* gr. *amphibius* de Meymac et *A.* gr. *amphibius* de l'Isère

Entre la population *A.* gr. *amphibius* de Meymac (Corrèze, Limousin) et celles d'*A.* gr. *amphibius* de l'Isère (Rhône-Alpes), dix indices étaient significatifs au seuil de 5%: Ind_largBAT45 (p<0,0001), Ind_largA67T45 (p<0,0001), Ind_largT2l (p<0,0001), Ind_largA56A67 (p=0,0399), Ind_LT7A7L (p=0,0367), Ind_LTA4L (p=0,0101), Ind_LT3A3L (p=0,0017), Ind_largT4l (p=0,0395), Ind_largT54 (p=0,0445) et Ind_largT7BA (p=0,0070). Les quatre premiers indices étaient aussi discriminants entre les deux groupes de populations (tabl. 3).

La classification par validation croisée de l'analyse discriminante (sur 4 indices) donne

Tableau 3. Description (N = effectif, moyenne, écart-type, minimum, maximum, médiane, erreur type de la moyenne) des indices discriminants des populations d'Arv*icola* gr. *amphibius* du Limousin et de Rhône-Alpes. *Discriminating indexes in* Arvicola *gr.* amphibius *populations of Limousin and Rhône-Alpes.* (1) Corrèze ; (2) Test *t* de Student, valeur p < 0,0001 entre les deux groupes ; (3) Test *t* de Student, valeur p < 0,0001 entre les deux groupes ; (4) Test *t* de Student, valeur p < 0,0001 entre les deux groupes ; (5) Test *t* de Student, valeur p = 0,0399 entre les deux groupes.

Ind_largBAT45(2)							
Population	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
Limousin (Meymac)(1)	32	67,74	4,42	60,55	75,95	67,49	0,78
Rhône-Alpes (Isère)	52	61,34	5,74	50,69	72,49	61,03	0,80
Moidieu Détourbe	24	59,13	5,27	50,69	72,49	59,26	1,08
St. Étienne de Crossey	17	62,02	5,67	52,30	71,97	60,67	1,38
Faverges de la Tour	11	65,10	4,98	53,91	70,88	66,34	1,50
Ind_largA67T45(3)							
Population	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
Limousin (Meymac)(1)	32	30,36	5,81	17,17	40,42	30,87	1,03
Rhône-Alpes (Isère)	52	36,88	5,72	21,40	45,78	37,63	0,79
Moidieu Détourbe	24	36,19	5,81	26,12	45,74	36,92	1,19
St. Étienne de Crossey	17	36,36	6,54	21,40	45,78	37,82	1,59
Faverges de la Tour	11	39,17	3,64	32,23	44,75	39,06	1,10
Ind_lT2l(4)							
Population	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
Limousin (Meymac)(1)	32	52,58	2,74	48,34	59,66	52,52	0,49
Rhône-Alpes (Isère)	52	49,71	2,57	43,13	54,80	49,96	0,36
Moidieu Détourbe	24	49,32	2,39	43,13	53,46	50,03	0,49
St. Étienne de Crossey	17	50,56	2,58	46,52	54,80	50,48	0,63
Faverges de la Tour	11	49,23	2,84	46,47	53,62	47,53	0,86
Ind_largA56A67(5)							
Population	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
Limousin (Meymac)(1)	32	79,97	18,40	56,93	129,60	77,86	3,25
Rhône-Alpes (Isère)	52	72,17	12,65	47,82	99,01	71,83	1,75
Moidieu Détourbe	24	67,74	11,95	47,82	87,95	66,94	2,44
St. Étienne de Crossey	17	77,66	13,35	56,21	99,01	74,76	3,24
Faverges de la Tour	11	73,36	10,11	57,17	93,21	73,94	3,05

81% de bien classés pour *A.* gr. *amphibius* de Meymac et 92% pour *A.* gr. *amphibius* de l'Isère (1 M_1 mal classée pour la population de Faverges de la Tour, 2 M_1 pour St. Etienne de Crossey et 1 M_1 pour Moidieu Détourbe).

3.5. Analyse discriminante canonique entre la population *A.* gr. *amphibius* de Meymac et *A.* gr. *amphibius* de l'Isère

Une analyse discriminante canonique faite entre les 4 populations des deux régions géographiques, sur les 4 indices retenus, permet de visualiser dans le plan canonique 1-2 (fig. 6), qui exprime 98% de la variance inter populations (axe 1 : 87%, axe 2 : 11%), la dispersion des 4 populations.

L'axe 1 sépare nettement la population Meymac (côté positif de l'axe) des trois populations iséroises (côté négatif de l'axe). L'axe sépare 2 la population de Saint Etienne de Crossey (côté négatif de l'axe) des 2 autres populations iséroises (côté positif de l'axe).

3.6. Analyse discriminante entre *A. sapidus* du Limousin et *A. sapidus* de Dordogne

Entre les populations d'*A. sapidus* d'Aquitaine (Dordogne) et celles d'*A. sapidus* du Limousin (Haute-Vienne et Corrèze), trois indices

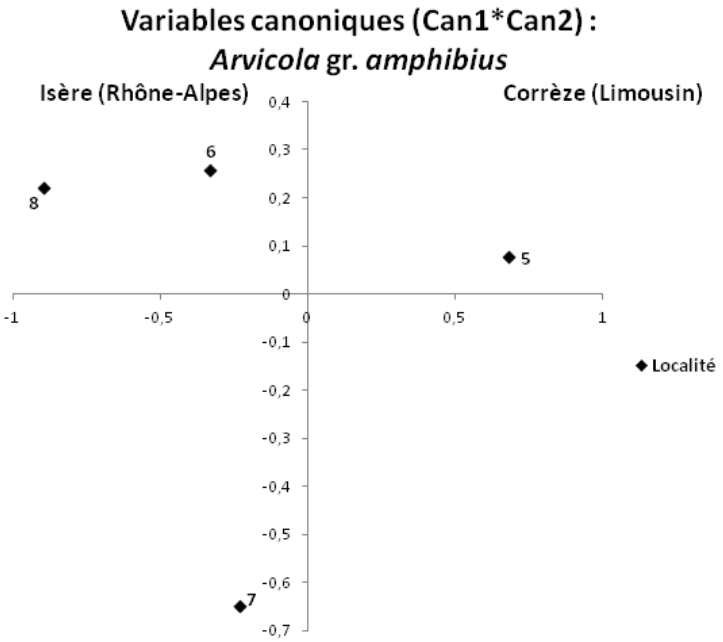


Fig. 6. Projection des centres de gravité des populations d'*A.* gr. *amphibius* dans le plan 1-2 de l'analyse canonique discriminante. *Projection of centroids of the* Arvicola *gr.* amphibius *populations into the first two canonical discriminant axes.* 5 : Meymac (Corrèze, Limousin), 6 : Moidieu Détourbe (Isère, Rhône-Alpes), 7 : Saint Etienne de Crossey (Isère, Rhône-Alpes), 8 : Faverges de la Tour (Isère, Rhône-Alpes).

étaient significatifs au seuil de 5% : Ind_LT5L (p=0,0460), Ind_LT3A3L (p=0,0498) et Ind_largT35 (p=0,0494). Les deux premiers étaient aussi discriminants entre les deux groupes de populations d'*A. sapidus* (tabl. 4).

La classification par validation croisée de l'analyse discriminante (sur 2 indices) donne 67% de bien classés pour *A. sapidus* du Limousin (3 M_1 mal classée pour la population de Châlus, 5 M_1 pour Saint Yriex le Déjalat et 7 M_1 pour Meymac) et de 57% pour *A. sapidus* de Dordogne (1 M_1 mal classée pour la population de Bars, 1 M_1 pour St. André d'Allas, 2 M_1 pour Fanlac et 2 M_1 pour Valojoulx).

3.7. Analyse discriminante canonique entre la population *A. sapidus* du Limousin et *A. sapidus* de Dordogne

Une analyse discriminante canonique faite entre les 4 populations des deux régions géographiques, sur les 2 indices retenus, permet de visualiser dans le plan canonique 1-2 (fig. 7), qui exprime 100% de la variance inter populations (axe 1 : 92%, axe 2 : 8%), la dispersion des 4 populations.

L'axe 1 sépare nettement la population de Châlus (côté positif de l'axe) des trois autres populations (côté négatif de l'axe). L'axe 2 sépare la population de Dordogne (côté négatif de l'axe) des 2 populations corréziennes (côté positif de l'axe).

3.8. Validation de résultats

Des analyses subséquentes ont permis, à l'aide des quatre indices (Ind_largT3l, Ind_largT7BA, Ind_largT24 et Ind_LLT7L) particulièrement discriminants entre les deux espèces *A. sapidus* et *A.* gr. *amphibius*, de confirmer l'appartenance spécifique des spécimens :

a) appartenant à *A. sapidus*, provenant de Troche (Corrèze, Limousin), de Beynat (Corrèze, Limousin), Saint Yriex le Déjalat (Corrèze, Limousin), de Maisonnises (Creuse, Limousin ; même s'ils appartenaient à des juvéniles), de Quintana del Puente (Province de Palencia, Espagne), de Santa Maria del Campo (Province de Burgos, Espagne) dans 100% des cas, de Réalmont (Tarn, Midi-Pyrénées) dans 50% des cas (1 spécimen sur 2 mal classé) ;

b) appartenant à *A.* gr. *amphibius*, provenant de Bars (Dordogne, Aquitaine), de Fraissinhes (Lot, Midi-Pyrénées; y compris des juvéniles) et d' d'Argüeso (Province de Cantabrie, Espagne) à 100%, de Saint Yriex le Déjalat (Corrèze, Limousin), à 0%, le seul spécimen étant mal classé.

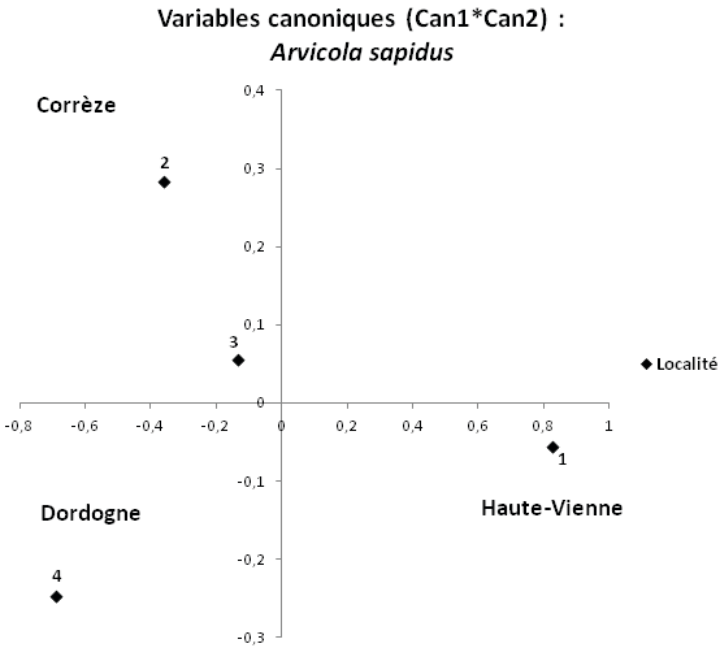


Fig. 7. Projection des centres de gravité des populations d'*Arvicola sapidus* dans le plan 1-2 de l'analyse canonique discriminante. *Projection of centroids of the* Arvicola sapidus *populations into the first two canonical discriminant axes.* 1 : Châlus (Haute-Vienne, Limousin), 2 : Saint Yriex le Déjalat (Corrèze, Limousin), 3 : Meymac (Corrèze, Limousin), 4 : Dordogne.

4. Discussion et conclusion

L'analyse discriminante faite sur des indices calculés à partir des mesures prises sur la surface occlusale de la M_1, permet de différencier nettement *A. sapidus* d'*A.* gr. *amphibius* quelle que soit l'analyse discriminante probabiliste considérée.

Les analyses pas à pas ont retenu comme étant les plus discriminants 13 indices, dont :

a) quatre indices (Ind_largT3l, Ind_largT7BA, Ind_largT24 et Ind_LLT7L) étaient discriminants autant dans l'analyse avec les 8 populations géographiques, que dans celle faite entre les deux espèces sur des spécimens provenant d'une même localité (Meymac) ;

b) un indice (Ind_LT5L) était discriminant dans l'analyse avec les 8 populations géographiques et dans celle avec les deux groupes de populations d'*A. sapidus* ;

c) quatre indices (Ind_largT2l, Ind_largBAT45, Ind_largA67T45 et Ind_largA56A67) étaient discriminants seulement entre les populations d'*A.* gr. *amphibius* ;

d) trois indices (Ind_LLA4L, Ind_LLA6L et Ind_largT54) étaient discriminants seulement entre les 8 populations géographiques appartenant aux deux espèces ;

e) un indice (Ind_LT3A3L) était discriminant seulement entre les populations d'*A. sapidus*.

Les quatre indices particulièrement discriminants entre les deux espèces ont permis globalement de bien classer 93% (27/29) des spécimens provenant d'autres localités, pour lesquels une identification spécifique par l'observation des mandibules avait été faite au préalable.

En moyenne, les M_1 d'*A. sapidus* ont un développement du triangle T3, par rapport à la largeur totale de la dent, et un rapport des largeurs entre les triangles T2 et T4 plus importants que les M_1 d'*A.* gr. *amphibius*. Les M_1 d'*A. sapidus* présentent généralement une ébauche de triangle T7 (LSA5) et, sa largeur par rapport à celle de la boucle antérieure, est significativement plus grande que chez les M_1 d'*A.* gr. *amphibius* ; cependant, la proportion de la longueur entre le LSA5 et la partie antérieure de la M_1, par rapport à la longueur totale de la dent, est plus faible chez *A. sapidus* que chez *A.* gr. *amphibius.*

Nous pouvons conclure que, dans un contexte d'incertitude, en présence seulement des M_1 isolées, en utilisant principalement les quatre indices (Ind_largT3l, Ind_largT7BA, Ind_largT24 et Ind_LLT7L), la distinction interspécifique entre *A. sapidus*

Tableau 4. Description (N = effectif, moyenne, écart type, minimum, maximum, médiane, erreur type de la moyenne) des indices discriminants des populations d'*Arvicola sapidus* d'Aquitaine (Dordogne) et du Limousin (Haute-Vienne et Corrèze). *Discriminating indexes in* Arvicola sapidus *populations of Aquitaine (Dordogne) and Limousin (Haute-Vienne and Corrèze*. (1) Dordogne inclut les localités : Fanlac, St. André d'Allas, Bars et Valojoulx ; (2) Haute-Vienne ; (3) Corrèze ; (4) Test *t* de Student, valeur p = 0,0460 entre les deux groupes ; (5) Test *t* de Student, valeur p = 0,0498 entre les deux groupes.

Ind_LT5L(4)							
Population	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
Aquitaine (Dordogne)(1)	14	49,92	2,64	45,10	53,37	49,56	0,71
Limousin	49	51,72	3,00	42,99	56,06	52,53	0,43
Châlus(2)	20	53,40	1,68	50,00	56,06	53,32	0,38
St. Yriex le Déjalat(3)	13	50,12	2,49	45,79	52,70	51,06	0,69
Meymac(3)	16	50,93	3,69	42,99	55,19	51,93	0,92
Ind_LT3A3L(5)							
Population	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Erreur type
Aquitaine (Dordogne)(1)	14	5,15	1,66	1,34	7,30	5,58	0,44
Limousin	49	6,07	1,47	3,14	11,37	5,76	0,21
Châlus(2)	20	6,22	1,59	4,23	11,37	5,88	0,36
St. Yriex le Déjalat(3)	13	6,09	1,07	4,54	7,91	5,68	0,30
Meymac(3)	16	5,88	1,66	3,14	8,97	5,98	0,41

et *A.* gr. *amphibius* peut être réalisée. Ceci peut ainsi avoir une application concrète dans l'identification spécifique des restes fossiles (M_1 isolées) du Pléistocène supérieur recueillis lors des fouilles dans des sites paléontologiques/archéologiques ou de matériel actuel en mauvais état.

Dans l'hypothèse où les analyses génétiques confirmeraient la distinction spécifique entre *A. amphibius* et *A. scherman*, il serait alors intéressant de faire des analyses discriminantes entre ces deux espèces à partir des indices proposés dans cette étude, ou d'autres calculés à partir des mesures prises sur la surface occlusale de la M_1, afin de voir si une détermination serait également possible entre ces deux espèces à partir de la M_1, tout comme il serait intéressant de voir si la distinction est la même entre *A. sapidus* et *A. amphibius* et entre *A. sapidus* et *A. scherman*.

Remerciements

Les mesures dentaires ont été prises au Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg – Weimar (Allemagne), grâce à la Fondation Alexander von Humboldt, que nous remercions vivement. Nous remercions pour leur aide dans l'obtention du matériel des différentes régions Nathalie Indelicato (Dordogne et Limousin) et Jean-François Noblet (Isère).

Bibliographie

Chaline, J., Baudvin, H., Jammot, D., Saint Girons, M.-C., 1974. Les proies des rapaces. Doin, Paris, 141 pp.

Corbet, G. B., 1978. The Mammals of the Palaearctic Region; a taxonomic review. British Museum (Natural History), Cornell University Press. 314 pp.

Hibbard, C.W., 1950. Mammals of the Rexroad Formation from Fox Canyon, Meade County, Kansas. *Contributions from the Museum of Paleontology,* University of Michigan, 8: 113-192.

Le Louarn, H. & Quéré J. P., 2003. Les rongeurs de France. *Faunistique et biologie*. 2ème édition. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris. 256 pp.

Palomo, L. J. & Gisbert, J. G., 2002. Atlas de los Mamiferos Terrestres de Espana. Madrid 564 pp.

Tomassone, R., Danzart, M., Daudin, J. J., Masson, J. P., 1988. Discrimination et classement. Masson, Paris. 172 pp.

Wust-Saucy, A.-G., 1998. Polymorphisme génétique et phylogéographie du Campagnol terrestre *Arvicola terrestris*. Diss. thesis, Université de Lausanne, 162 pp.

Wilson, D. & Reeder, D., 2005. Mammal species of the world a taxonomic and geographic reference. 3thd edition, Washington and London, 1207 pp.