Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 31 (1978)

Heft: 1

Artikel: Analyse statistique des minéraux lourds du Tertiaire Jurassien et Bressan

Autor: Guillaume, André / Guillaume, Solange / Hein, Patrice

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739411

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ANALYSE STATISTIQUE DES MINÉRAUX LOURDS DU TERTIAIRE JURASSIEN ET BRESSAN

PAR

André GUILLAUME [1], Solange GUILLAUME [1] et Patrice HEIN [2]

La géologie du Tertiaire jurassien est relativement bien connue, et de nombreuses analyses systématiques ont été réalisées sur les minéraux lourds de certaines de ses séries détritiques.

Les travaux antérieurs ont en particulier montré que des minéraux du métamorphisme alpin (essentiellement grenat et épidote), généralement absents des formations anté-miocènes, avaient été apportés dans la mer jurassienne au Miocène inférieur. Toutefois, ces minéraux se trouvent dans certaines formations anté-miocènes des synclinaux les plus internes. La présence (ou l'absence) de ces minéraux permet généralement, sinon des datations précises, du moins l'attribution des niveaux non datés de faciés souvent voisins à telle ou telle formation (S. Duplaix *et al.* 1962-1963, 1965).

Il nous a semblé intéressant d'effectuer une analyse statistique des minéraux lourds en associant des méthodes modernes d'analyse: classification par la méthode des nuées dynamiques, analyse des correspondances, classification ascendante hiérarchique, et analyse structurale par variogramme (pour les questions méthodologiques voir par exemple: A. Guillaume, 1975).

I. RÉSULTATS OBTENUS

Rappelons d'abord que les dépôts miocènes de la région étudiée sont généralement marins; ils affleurent dans la partie interne du Jura, en Bresse, et dans la zone molassique suisse. Dans le Jura lui-même, ils coexistent avec des niveaux oligocènes généralement conglomératiques, subcontinentaux, souvent mal datés. Tous ces niveaux se ressemblent plus ou moins, et il est souvent difficile de les différencier sur le terrain.

[1] Laboratoire de Tectonophysique, Université P. et M. Curie, Paris 75005.
[2] Adresse actuelle: Service de Géologie Appliquée, CNEXO, COB, Brest.

N°	X	Y	TOU	ZIR	GRE	RUT	ANA	SPH	STA	DIS	AND	EPI	AMP	E	1	2	3	4
1336	95.0	140.0	19	37	0	17	6	1	19	0	0	1	0	66.3	x		x	.
1341	97.5	141.2	38	33	0	6	3	0	14	3	0	3	0	63.4				
1342	99.4	144.4	50	10	0	4	3	0	28	4	1	0	0	57.1				
1349	115.0	136.9	23	31	0	10	1	0	30	5	0	0	0	63.5			x	
1352	51.9	199.4	11	68	1	11	4	0	1	2	0	0	0	44.8	x		x	.
1362	60.0	195.6	26	37	0	12	8	0	13	2	1	0	0	66.4	x		x	
1363	133.7	140.6	20	45	2	18	9	0	4	0	0	1	0	62.0	x		x	.
1364	85.0	213.8	18	44	3	17	6	0	8	3	0	0	0	65.9	x		x	.
1375	51.9	199.4	22	41	1	13	7	0	13	1	0	0	1	65.6	x		x	
1377	51.9	199.4	26	23	10	16	8	0	6	2	0	9	0	79.2	x		x	.
1378	51.9	199.4	13	62	3	9	4	0	8	1	0	0	0	53.7	x		x	.
1379	51.9	199.4	34	25	4	11	10	0	12	4	0	0	0	72.0				
1380	51.9	199.4	13	52	2	18	4	0	7	4	0	0	0	61.0	x		x	.
1381	51.9	199.4	10	64	2	15	6	0	2	0	0	1	0	50.0	x		x	.
1382	51.9	199.4	13	55	1	11	5	0	11	1	0	1	0	57.9	x		x	.
1383	51.9	199.4	6	67	3	17	5	0	1	0	0	0	0	44.8	x		x	.
1384	51.9	199.4	8	59	3	20	7	0	1	0	0	0	0	50.3	x		x	.
1385	51.9	199.4	22	33	6	21	10	0	4	1	0	1	0	69.5	x		x	.
1386	51.9	199.4	39	7	12	22	12	0	7	0	0	1	0	69.0				
1389	95.0	223.1	32	29	0	7	6	0	14	1	4	4	0	70.0				
1393	95.0	117.5	55	1	0	1	1	0	17	3	3	17	0	54.2				.
1403	152.5	177.5	12	27	10	10	6	4	6	6	0	4	0	77.0	x		x	.
1404	152.5	175.5	24	41	0	13	0	3	10	3	0	0	0	60.4	x		x	.
1406	120.6	130.0	57	14	0	10	4	0	13	2	0	0	0	55.6				
1406	120.6	130.0	44	18	0	13	4	0	19	2	0	0	0	62.2				
1407	165.0	202.5	51	7	0	5	0	0	35	1	1	0	0	48.9				
1408	166.2	200.0	37	20	0	7	2	0	30	0	1	0	0	58.2				
1409	167.5	206.2	16	43	0	7	5	0	23	2	1	0	0	61.8	x		x	
1410	160.6	227.5	41	22	6	8	18	1	2	0	1	0	0	65.4				
1413	106.2	94.4	23	48	0	11	5	0	11	1	0	1	0	60.3	x		x	.
1420	85.0	160.0	14	49	1	15	7	0	12	1	0	0	0	61.3	x		x	.
1420	97.5	180.0	26	39	1	7	2	0	22	3	0	0	0	62.3	x		x	
1500	62.5	126.2	32	34	0	11	11	0	10	2	0	0	0	65.1	x			
1674	102.5	111.2	24	30	1	14	7	0	18	3	0	0	1	70.6	x		x	
1675	95.0	127.5	18	42	1	16	7	0	14	2	0	0	0	65.9	x		x	
1683	133.7	140.6	10	58	4	19	6	0	2	0	0	1	0	54.7	x		x	.
1684	96.9	135.6	32	18	0	12	6	0	27	3	1	0	0	67.9				
1686	97.5	180.0	48	12	0	7	1	0	29	2	1	0	0	56.3				
1687	136.2	141.9	8	47	16	16	0	0	0	0	0	11	2	62.5	x		x	.
1688	135.0	140.6	11	56	1	22	8	0	1	0	0	1	0	52.9	x		x	.
1689	125.6	160.0	37	21	1	6	2	0	31	1	1	0	0	61.1				
1690	58.8	122.5	35	28	1	8	3	0	20	2	3	0	0	66.9				
1693	3.7	126.2	39	20	3	7	6	0	20	3	2	0	0	69.9				
1694	26.9	206.2	28	37	17	10	2	1	2	0	0	2	1	66.6	x		x	.
1696	60.0	120.6	43	20	1	5	5	0	20	3	3	0	0	66.0				
1703	120.6	130.0	21	23	9	10	6	1	9	1	0	16	0	79.1	x		x	.
1703	120.6	130.0	14	27	10	14	9	0	5	1	1	14	0	78.5	x		x	.
1704	51.9	100.0	25	52	0	5	1	0	13	3	1	0	0	55.3	x		x	
1764	61.9	119.4	7	54	6	13	5	0	6	2	0	6	0	64.2	x		x	.
1765	61.9	119.4	34	16	0	6	6	0	29	5	2	1	0	68.9				
1766	61.9	119.4	32	15	7	7	4	0	30	2	0	3	0	71.5				
1772	62.5	128.7	28	28	1	9	9	0	19	4	0	0	0	69.4			x	
1773	62.5	128.7	22	32	1	13	6	0	20	5	0	0	0	69.9	x		x	
1774	62.5	128.7	23	44	0	9	2	0	19	3	0	0	0	60.4	x		x	
1775	62.5	128.7	28	22	1	10	8	0	29	1	0	1	0	68.4				
1776	62.5	128.7	36	21	0	15	9	0	17	2	0	0	0	67.2				
1777	62.5	128.7	36	26	0	13	7	0	18	0	0	0	0	63.4				
2021	99.4	114.4	13	52	1	19	6	0	6	1	0	2	0	60.4	x		x	.
2023	156.2	177.5	8	29	18	9	3	1	8	1	0	18	0	75.4	x		x	.
2032	47.5	123.1	35	19	5	6	9	0	13	4	1	3	0	74.1				
2033	39.4	126.2	33	14	3	10	14	0	17	9	0	0	0	75.0				

N°	X	Y	TOU	ZIR	GRE	RUT	ANA	SPH	STA	DIS	AND	EPI	AMP	E	1	2	3	4
2034	47.5	123.1	20	35	2	7	7	0	20	3	0	2	0	69.5	x		x	
2035	47.5	123.1	43	9	1	8	8	0	28	1	1	0	0	62.5				
2036	47.5	123.1	43	17	0	8	8	0	22	2	0	0	0	63.1				
2037	138.1	138.1	46	10	0	3	2	0	37	2	0	0	0	52.2				
2039	47.5	123.1	41	15	1	7	6	0	27	3	0	0	0	64.1				
2040	47.5	123.1	26	8	1	11	9	1	36	8	0	0	0	70.7				
2042	130.0	160.0	25	39	3	8	4	0	17	4	0	0	0	67.0	x		x	
2112	110.0	103.7	21	24	1	9	21	0	20	1	0	3	0	73.2				
2113	103.7	95.0	18	43	0	15	8	0	14	1	1	0	0	64.8	x		x	.
2114	106.2	94.4	36	17	2	6	10	0	24	4	1	0	0	70.2				
2117	105.0	95.6	30	24	0	9	4	0	25	4	3	0	0	69.1				
2117	105.0	95.6	50	9	0	4	7	0	22	5	3	0	0	62.3				
2120	105.0	100.0	12	21	12	9	7	1	3	3	1	21	0	78.3	x		x	.
2121	105.0	100.0	29	24	1	4	17	0	18	6	1	0	0	71.8				
2121	105.0	100.0	33	14	0	6	15	0	21	6	4	0	0	72.9				
1334	102.5	111.2	0	4	12	0	0	0	1	1	4	78	0	34.7				
1335	102.5	111.2	1	7	12	2	0	3	0	0	1	74	0	40.3				
1339	111.2	135.0	1	2	23	0	0	2	1	0	0	67	2	40.1				
1340	111.2	135.0	2	2	22	1	1	2	1	0	0	62	7	50.1				
1343	115.0	138.1	1	3	18	0	0	1	1	0	0	75	0	33.5				
1365	136.0	159.4	1	6	24	1	1	2	2	0	1	59	1	50.7				
1366	122.5	143.7	2	7	5	1	1	0	1	0	0	83	0	30.6				
1390	93.8	222.5	16	18	10	3	0	0	16	0	2	33	0	71.0				x
1392	95.0	117.5	1	0	6	0	0	2	1	0	0	90	0	19.8				
1411	90.0	66.9	5	15	49	5	0	0	5	0	0	20	1	61.7		x	.	x
1418	150.0	162.5	2	7	22	3	0	0	1	0	1	62	1	48.3				
1419	93.8	43.8	8	2	33	2	1	1	2	0	1	41	1	56.7		x	.	
1499	47.5	123.1	9	24	9	4	2	1	10	1	0	40	0	70.3				x
1681	150.0	162.9	1	0	17	2	0	2	1	0	0	74	3	37.8				
1691	61.9	119.4	8	4	21	3	3	0	4	1	1	55	0	59.7				
1692	56.3	115.0	1	17	16	7	18	0	4	1	0	36	0	70.8				x
1700	230.0	220.0	11	8	17	4	3	1	10	2	1	43	0	73.0				x
1701	170.0	188.7	2	1	2	0	0	1	2	1	0	90	0	20.7				
1702	180.6	212.5	7	11	46	4	1	1	1	0	0	15	9	65.4			.	x
1705	49.4	93.8	2	2	17	3	2	2	4	1	1	65	0	51.2				
1706	49.4	93.8	4	7	17	3	2	0	3	2	6	56	0	62.2				
1707	51.9	97.5	3	3	11	3	1	0	5	8	3	59	0	57.8				
1708	64.4	100.0	1	3	3	0	1	10	3	4	2	71	0	46.0				
1709	64.4	100.2	3	3	15	3	1	2	3	2	1	67	0	51.3				
1714	47.5	123.1	2	5	11	3	2	1	3	1	2	69	1	51.4				
1716	156.2	176.2	4	8	40	3	1	0	2	0	0	42	0	55.0		x	.	
1717	156.2	176.2	4	17	41	4	1	1	4	0	0	28	0	63.5		x		x
1770	77.5	31.3	2	1	44	1	0	0	2	2	0	47	1	46.3		x	.	
1778	102.5	127.5	17	6	11	3	5	0	11	1	0	46	0	68.2				x
2000	214.4	199.4	4	5	15	0	1	0	1	1	0	73	0	40.0				
2001	214.4	199.4	5	1	7	0	0	0	1	0	3	83	0	30.1				
2002	214.4	199.4	1	2	23	0	2	12	0	0	0	58	0	47.8				
2004	213.1	160.0	1	1	43	0	0	2	0	0	0	52	0	38.1		x	.	
2005	213.1	160.0	2	4	30	1	2	2	0	0	0	59	0	46.3				
2006	213.1	160.0	2	2	36	2	0	0	2	1	0	54	0	45.3		x	.	
2007	182.5	170.0	1	1	7	1	0	2	1	0	0	79	6	35.7				
2008	182.5	170.0	2	4	9	1	1	2	1	1	0	75	2	41.2				
2009	202.5	158.7	1	3	6	0	1	1	0	0	0	88	0	23.3				
2010	216.9	160.0	4	3	15	3	0	0	1	0	0	73	1	40.6				
2011	227.5	162.5	4	3	14	0	0	0	0	0	0	79	0	31.0				
2110	105.0	97.5	2	6	31	1	2	2	1	0	0	55	0	50.4		x		
2111	101.9	91.2	1	1	19	1	0	1	2	1	1	67	5	45.7				
2116	101.9	91.9	2	1	26	0	0	1	1	1	0	64	2	41.6				
2118	101.9	90.9	3	3	38	1	1	0	2	1	0	50	1	50.1		x	.	
2119	102.1	91.8	2	1	22	1	0	2	5	2	0	63	1	48.4				
1680	150.0	162.9	1	1	18	1	1	0	1	0	0	63	13	46.5			.	
1771	80.6	31.9	22	5	47	7	7	0	3	0	0	9	0	65.0			.	x

FIG. 1

FIG. 1. — Données analysées.

Numéro du prélèvement = N°; Coordonnées kilométriques du lieu de prélèvement (relatives à l'angle sud-ouest de la région étudiée): X et Y; teneurs en chacun des onze minéraux: TOU à AMP; E = entropie relative. Les numéros 1336 à 2121 sont classés dans le groupe « oligocène » et les numéros 1334 à 1771 sont classés dans la catégorie « miocène », par la méthode des nuées dynamiques (partition en 2 classes). Colonne 1: Prélèvements de la classe oligocène constituant la forme forte d'effectif 39 après classification de l'ensemble des prélèvements en 3 classes (méthode des nuées dynamiques; x). Colonne 2: Prélèvements de la classe miocène constituant la forme forte d'effectif 9 après la classification de l'ensemble des prélèvements en 4 classes (méthode des nuées dynamiques; x). Colonne 3: Prélèvements de la classe oligocène regroupés ensembles (x) par classification ascendante hiérarchique des 124 prélèvements, en 4 branches, et prélèvements de la classe miocène regroupés ensembles (·) par la même classification. Colonne 4: Prélèvements de la classe oligocène regroupés ensembles (·) par classification ascendante hiérarchique de cette classe en deux branches, et prélèvements de la classe miocène regroupés ensembles (x) par classification ascendante hiérarchique de cette classe en deux branches.

Les échantillons (124) utilisés proviennent de terrains datés de (ou attribués à) l'Eocène, l'Oligocène terminal et du Miocène; ce sont ceux décrits dans des publications antérieures (S. DUPLAIX, S. GUILLAUME, 1962-1963; S. DUPLAIX, S. GUILLAUME et A. LEFAVRAIS, 1965). L'un de nous (P.H.) a d'abord étudié les échantillons par les méthodes classiques, pour déterminer en particulier les lois régissant les distributions de chacun des minéraux. Il a effectué ensuite les premières classifications par nuées dynamiques et analyse factorielle. Deux d'entre nous (A. et S.G.) ont poursuivi ce travail en utilisant les méthodes signalées plus haut.

Le tableau de la figure 1 indique les coordonnées géographiques des prélèvements analysés et les teneurs en chacun des 11 minéraux utilisés pour toutes les analyses. La colonne E de ce tableau donne les valeurs de l'entropie relative pour chaque échantillon.

I. 1. RÉSULTATS OBTENUS EN UTILISANT LA MÉTHODE DES NUÉES DYNAMIQUES

La méthode des nuées dynamiques a été appliquée pour obtenir successivement des partitions en deux, trois et quatre classes. Les traitements par cette méthode ont été effectués en tenant compte de tous les minéraux inventoriés (19; voir fig. 2). Les analyses ultérieures n'ont considéré que les 11 minéraux du tableau 1. Dix cycles de classification ont été parcourus, dans chacun des cas, afin de mettre en évidence des formes fortes.

I. 1.1 *Partitions en deux et en trois classes*

Le tableau figure 2 donne les résultats correspondant à des partitions en deux et en trois classes. Les valeurs indiquées sont les profils moyens (en pourcentage de minéraux) de chacune des classes. Les partitions obtenues sont toujours les mêmes,

quel que soit le cycle de classification. Les données sont donc classifiables, aussi bien en trois classes qu'en deux.

Minéraux	Deux classes		Trois classes		
	1	2	1	2	3
Effectifs	77	47	38	39	47
TOURMALINE	27,65	3,85	38,11	17,46	3,85
ZIRCON	30,69	5,13	17,74	43,41	5,13
GRENAT	2,64	20,85	1,37	3,87	20,85
RUTILE	10,66	1,87	8,00	13,26	1,87
ANATASE	6,25	1,38	6,89	5,62	1,38
BROOKITE	0,08	0,02	0,03	0,13	0,02
SPHENE	0,18	1,32	0,05	0,31	1,32
STAUROTIDE	15,81	2,68	22,32	9,46	2,68
DISTHENE	2,29	0,77	2,84	1,74	0,77
ANDALOUSITE	0,66	0,66	1,18	0,15	0,66
SILLIMANITE	0,08	0,02	0,03	0,13	0,02
CHLORITOIDE	0,03	0,09	0,00	0,05	0,09
EPIDOTE	1,94	59,38	0,95	2,90	59,38
AMPHIBOLE	0,06	1,23	0,00	0,13	1,23
GLAUCOPHANE	0,00	0,34	0,00	0,00	0,34
AUGITE	0,17	0,06	0,05	0,28	0,06
PYROXENE	0,18	0,21	0,18	0,18	0,21
CORINDON	0,10	0,00	0,13	0,08	0,00
TOPAZE	0,08	0,02	0,05	0,10	0,02

FIG. 2. — Profil moyen des classes obtenues après classification automatique (méthode des nuées dynamiques) en deux et en trois classes de l'ensemble des prélèvements.

Lorsque l'ensemble étudié est scindé en deux groupes, la classe 1 est constituée par 77 échantillons qui sont toujours les mêmes, et comprennent, entre autres, les échantillons datés de l'Eocène ou de l'Oligocène. De même, la classe 2 est toujours constituée par les mêmes 47 échantillons, dont ceux datés du Miocène. Chacune des classes correspond donc à une forme forte. La partition est principalement effectuée sur la base des pourcentages en épidote (% moyens = 1,94 et 59,38) et grenat (% moyens = 2,64 et 20,85) qui représentent à eux seuls environ 80% des minéraux de la classe 2. L'histogramme de l'épidote (fig. 3) montre d'ailleurs qu'il existe vraisemblablement deux groupes différents de ce minéral: l'un correspond à une distribution normale (% d'épidote: 21% environ). Le test de KOLMOGOROFF-

SMIRNOV effectué sur les deux groupes d'échantillons montre que l'hypothèse d'appartenance de ces deux groupes à la même population ne peut être acceptée au risque 5%.

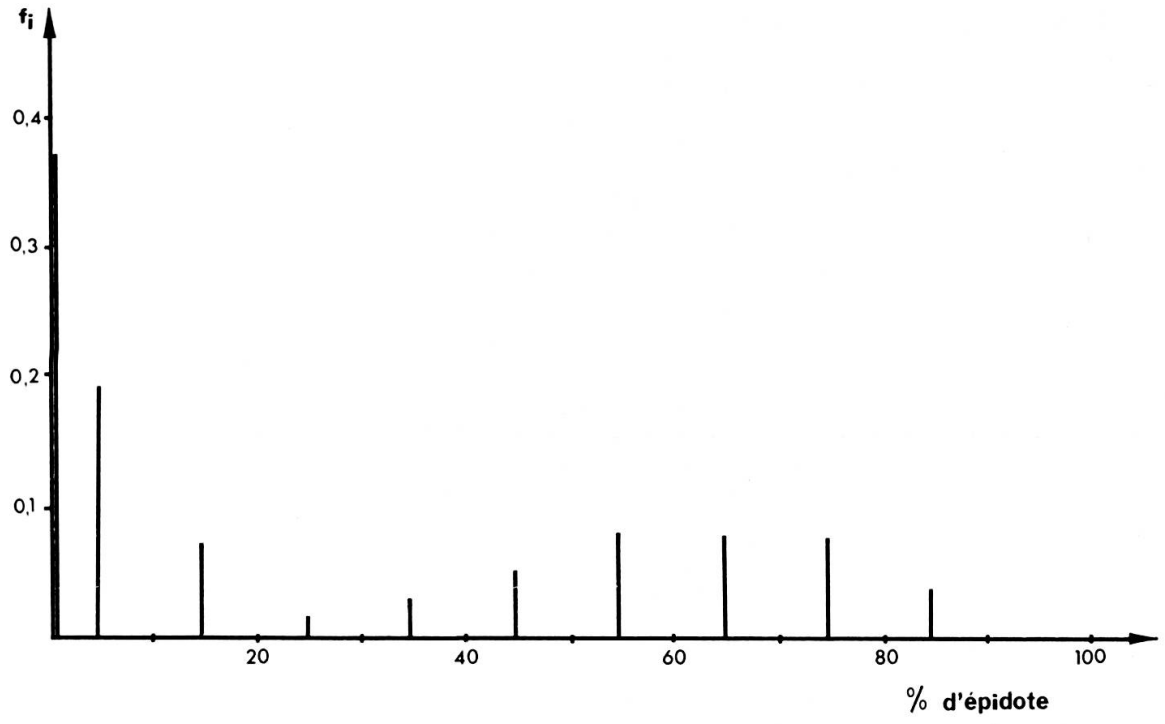


FIG. 3. — Histogramme de l'épidote (ensemble des prélèvements).

L'examen du tableau de la figure 2 montre que l'ensemble constitué par les échantillons « miocènes » est relativement stable. En effet, quand la partition est faite en trois classes, cet ensemble forme la classe 3 et comporte les mêmes 47 individus que précédemment. Par contre, les 77 éléments qui constituaient la classe 1 (« Oligocène ») se répartissent maintenant en deux groupes (nouvelles classes 1 et 2). Le premier (classe 1 = 38 échantillons) est caractérisé par l'association tourmaline (38,11% en moyenne)-staurotide (22,32% en moyenne), le second (classe 2 = 39 échantillons) par le couple zircon (43,41% en moyenne)-rutile (13,26% en moyenne).

I. 1.2 *Partition en quatre classes*

Les dix cycles de classification donnent des résultats qui diffèrent d'un cycle à l'autre. Il ne se dégage pas de partition nette. Cependant, chaque cycle fait généralement ressortir des classes déjà rencontrées (groupement des mêmes individus) ou des groupes de composition moyenne très voisine de celle de ces classes. Les données apparaissent au total encore classifiables. Le tableau de la figure 4 indique les profils moyens des classes à la suite des regroupements effectués en tenant compte des résultats antérieurs. Les classes 1 et 2 sont les mêmes que celles obtenues précé-

demment. Les classes 3 et 4 résultent de la scission de la précédente classe 3 (« Miocène »; classe numéro 2 de la partition en deux classes). Le groupe 3 est surtout caractérisé par le grenat (40,7% en moyenne) et l'épidote (37,5% en moyenne). Il contient les échantillons de la précédente classe 3 qui renferment un fort pourcentage de grenat. Le groupe 4 est surtout caractérisé par un fort pourcentage moyen d'épidote (66%).

Minéraux	Classes			
	1	2	3	4
TOURMALINE	38,11	17,46	5,45	3,36
ZIRCON	17,74	43,31	6,45	4,72
GRENAT	1,37	3,87	40,73	14,78
RUTILE	8,00	13,26	2,73	1,61
ANATASE	6,89	5,62	1,27	1,42
BROOKITE	0,03	0,13	0,00	0,03
SPHENE	0,05	0,31	0,64	1,53
STAUROTIDE	22,32	9,46	2,18	2,83
DISTHENE	2,84	1,74	0,36	0,89
ANDALOUSITE	1,18	0,15	0,09	0,83
SILLIMANITE	0,03	0,13	0,09	0,00
CHLORITOIDE	0,00	0,05	0,00	0,11
EPIDOTE	0,95	2,90	37,55	66,06
AMPHIBOLE	0,00	0,13	1,18	1,25
GLAUCOPHANE	0,00	0,00	0,55	0,28
AUGITE	0,05	0,28	0,18	0,03
PYROXENE	0,18	0,18	0,36	0,17

FIG. 4. — Profils moyens obtenus pour la partition en quatre classes retenue.

I. 2. RÉSULTATS OBTENUS PAR L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES

I. 2.1 *Analyse de l'ensemble des échantillons*

L'ensemble des échantillons a été soumis à l'analyse des correspondances, avec extraction des cinq premiers facteurs. Les résultats obtenus sont présentés par le tableau figure 5 et les figures 6 et 7.

ID	ΣCR	MASS	INR	$G_1(j)$	CR	CA	$G_2(j)$	CR	CA	$G_3(j)$	CR	CA	$G_4(j)$	CR	CA	$G_5(j)$	CR	CA
TOURMALINE	927	1883	112	652	610	114	-460	305	231	93	12	15	-12	0	1	9	0	0
ZIRCON	986	2123	136	594	470	106	593	469	431	-155	32	48	-23	1	2	-100	14	61
GRENAT	998	964	137	-891	479	109	233	33	30	883	470	701	155	14	45	-60	2	10
RUTILE	800	741	40	577	531	35	392	245	65	-20	1	0	10	0	0	121	23	30
ANATASE	703	445	36	565	338	20	49	3	1	35	1	1	143	22	18	567	339	403
SPHENE	508	62	35	-1040	165	10	12	0	0	-315	15	6	391	23	19	1417	305	351
STAUROTIDE	869	1095	81	651	490	66	-551	353	193	15	0	0	-43	2	4	-143	24	64
DISTHENE	319	173	18	444	162	5	-340	96	12	-97	8	2	111	10	4	228	43	25
ANDALOUSITE	238	67	20	44	1	0	-807	189	25	-243	17	4	161	7	3	-286	24	16
EPIDOTE	997	2396	335	-1240	940	524	-92	5	12	-292	52	192	1	0	0	-25	0	5
AMPHIBOLES	996	51	50	-1225	131	11	216	4	1	819	58	32	-2995	782	903	490	21	35
			1000			1000			1000			1000			1000			1000

FIG. 5. — Contributions des variables à chacun des cinq facteurs extraits de l'ensemble des données par l'analyse des correspondances.

Ce tableau indique pour chacune des variables (teneurs en minéraux analysées; identificateurs ID en colonne 1) et chacun des cinq facteurs extraits:

— la valeur G_1 (j) de la projection du point représentatif de la variable j sur l'axe factoriel i considéré, affectée du signe — si la projection est faite sur la partie négative de l'axe.

— la contribution relative CR, qui exprime la corrélation entre la variable j et le facteur i, ou encore la part prise par le facteur i dans l'explication de la dispersion du minéral j. Plus CR est élevée (proche de 1000, ou de 1) plus le minéral j est proche de l'axe.

— la contribution absolue CA de la variable j à l'inertie expliquée par le facteur i.

En outre, les colonnes 2, 3, 4 indiquent, pour chaque minéral, successivement:

— la somme ΣCR, des contributions relatives (colonne 2).
Cette somme est proche de 1000 si le nombre de facteurs extraits est suffisant. Elle exprime donc la qualité de la représentation de l'élément considéré dans l'espace des facteurs extraits.

— la masse MASS (colonne 3), en millièmes, du minéral. Cette masse est une masse *relative*, rapport du nombre de grains du minéral considéré ou nombre total de grains de minéraux décomptés.

— l'inertie du point relativement à l'inertie totale du nuage (colonne 4).

Les figures 6 et 7 représentent les projections des éléments (prélèvements et minéraux qui les décrivent) sur les plans des axes 1-2 (fig. 6) et 2-3 (fig. 7). Sur ces figures, les prélèvements sont représentés par des signes différents suivant leur appartenance à l'une ou l'autre des catégories obtenues par les classifications automatiques.

Le premier axe (60% de l'inertie totale) oppose principalement (fig. 6) le couple épidote-grenat à l'ensemble tourmaline-zircon et sépare les deux mêmes groupes d'individus de ceux obtenus par classification automatique en deux catégories. Les échantillons qui composent l'échantillon le plus homogène sont ceux rapportés au Miocène. A cette dichotomie correspond d'ailleurs la valeur propre élevée du premier facteur (0,71).

Le deuxième groupe d'échantillons (« Eocène-Oligocène ») est scindé en deux parties par le deuxième axe, (14% de l'inertie totale), qui oppose le couple tourmaline-staurotide principalement au zircon (fig. 7). Ce résultat est analogue à celui du classement en trois catégories par la méthode des nuées dynamiques. Enfin, le troisième axe (9% de l'inertie totale) oppose grenat et épidote comme le fait la partition automatique en quatre classes (fig. 7). Il faut cependant remarquer que la contribution relative de l'épidote est très faible. Cette partition n'est donc pas très significative.

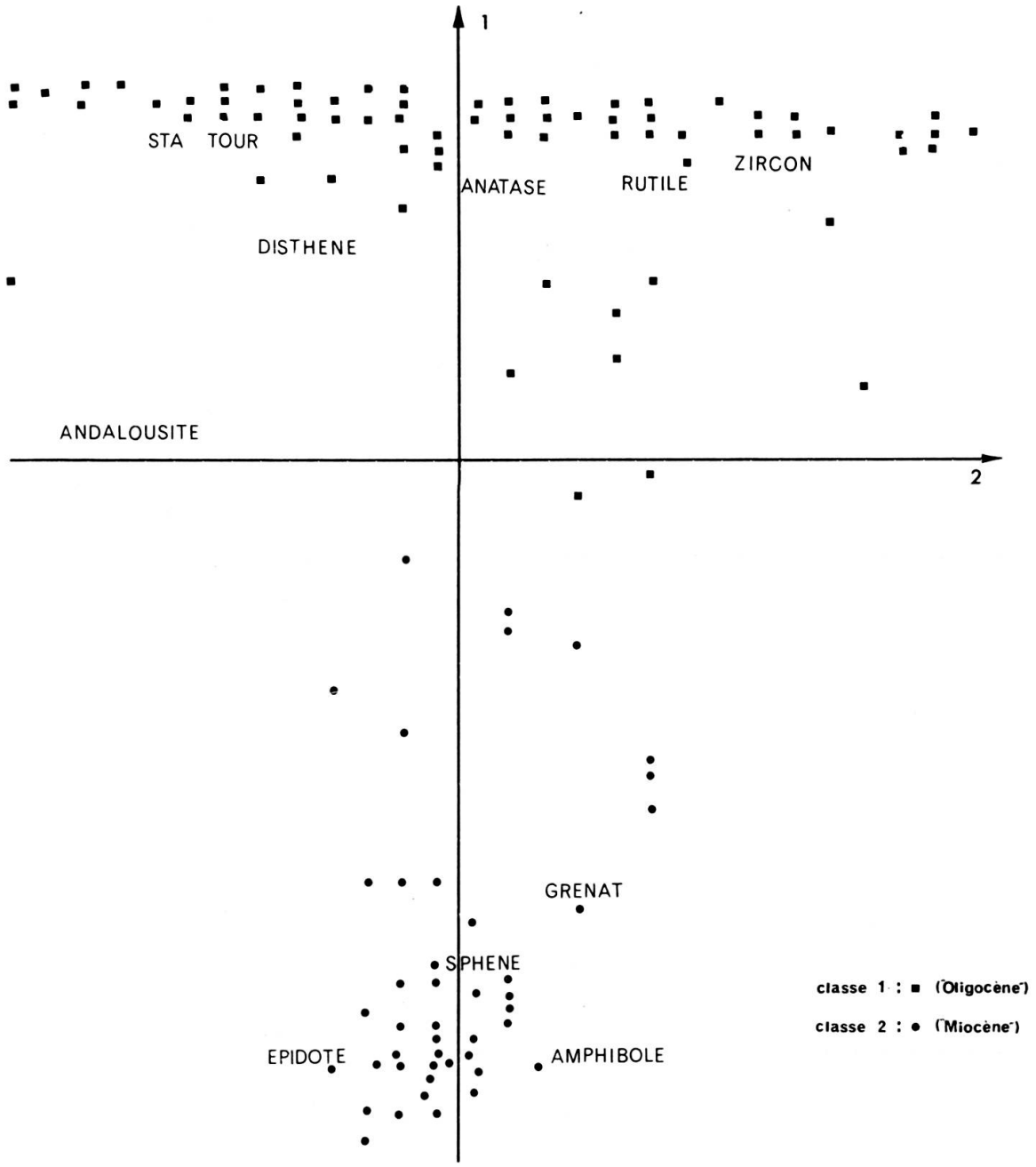


FIG. 6. — Projections des points-variables et des points-prélèvements sur le plan des axes 1-2 après analyse des correspondances de l'ensemble des données. Les deux classes obtenues par la méthode des nuées dynamiques sont représentées par des figurés différents.

On notera par ailleurs que la proximité des points représentatifs de la tourmaline et de la staurotide montre que ces deux minéraux sont bien corrélés.

L'interprétation de l'axe 4 est délicate: les contributions absolues et relatives sont toutes faibles sauf celle des amphiboles, qui extraient l'axe presque à elles seules, mais ont une masse relative faible (51). De même, le cinquième axe est extrait essentiellement par l'anatase et le sphène, opposés principalement à la staurotide, mais le sphène est assez mal situé dans l'espace des cinq facteurs extraits ($\Sigma CR = 508$).

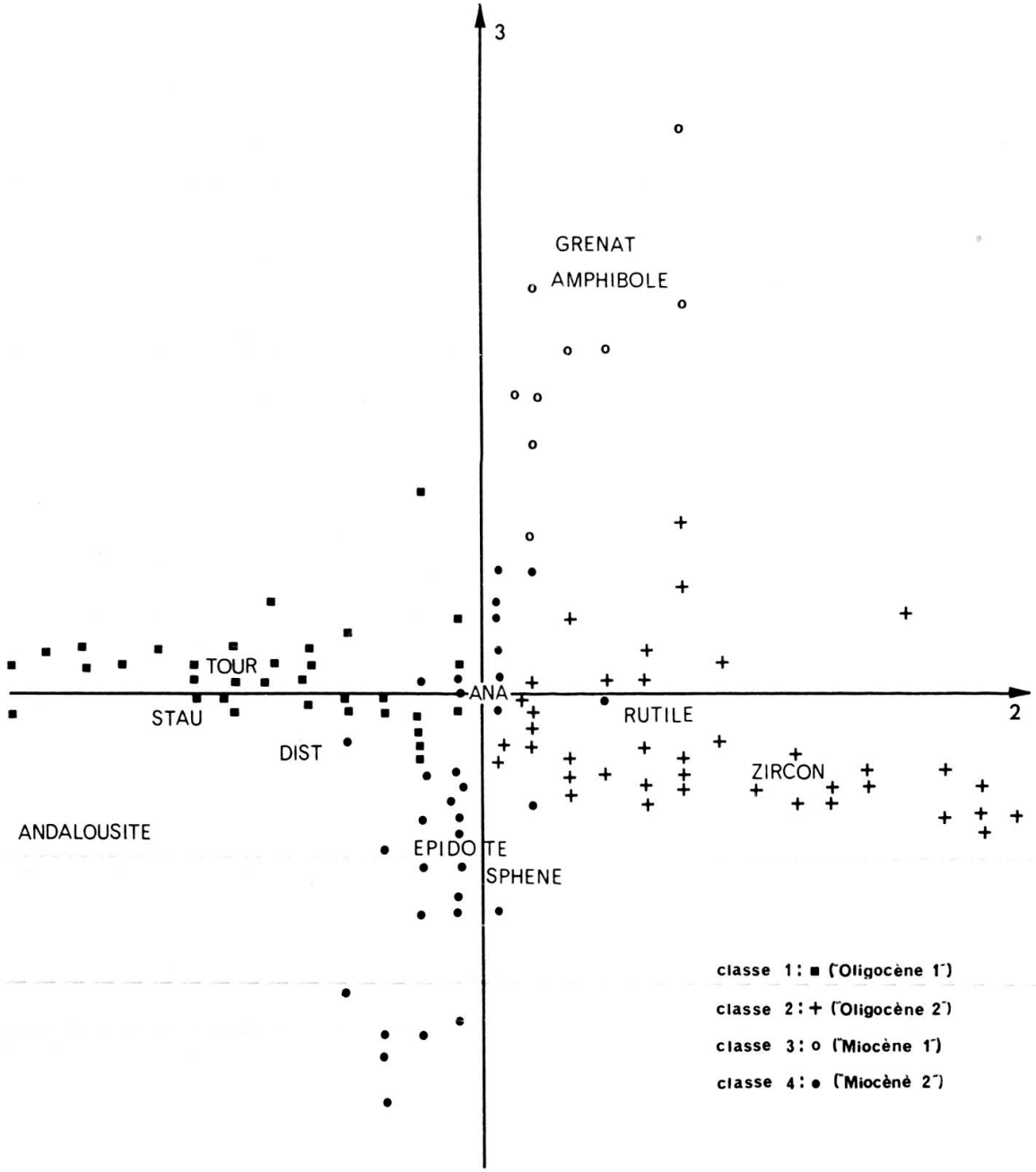


FIG. 7. — Projections des points-variables et des points-prélèvements sur le plan des axes 2-3 après analyse des correspondances de l'ensemble des données. Les quatre groupes obtenus par la méthode des nuées dynamiques (4 classes) sont représentés par des figurés différents.

La forme grossièrement triangulaire du nuage de points sur le plan des axes 1-2 (fig. 6) est remarquable. Elle montre que plus le premier facteur est grand, plus le deuxième est dispersé, donc particulièrement les teneurs en minéraux significatifs de ce facteur: plus les teneurs en épidote et grenat diminuent, plus sont dispersées celles en zircon et tourmaline et, à un moindre degré, en staurotide. Une dispersion analogue, mais de sens contraire sur l'axe 1, existe aussi dans le plan 1-3 (Nuage

tétraédrique) et des hyperboles apparaissent donc sur le plan 2-3 (fig. 7). Lorsque l'épidote (ou l'épidote et les amphiboles) est placée en élément supplémentaire (masse considérée comme nulle pour la recherche des axes d'inertie du nuage), le grenat a une corrélation très forte (CR = 980) avec le premier facteur; les contributions de la tourmaline et de la staurotide sont faibles (CR = 350 et 270); le nuage a toujours une forme triangulaire dans le plan 1-2: plus les teneurs en grenat diminuent, plus dispersées sont celles en zircon et tourmaline. La dichotomie est cependant moins nette que précédemment (première valeur propre = 0,51).

Quand l'épidote et le grenat sont placée en éléments supplémentaires, le premier axe (39% de l'inertie totale) est extrait par les amphiboles (CR = 870; CA = 79%; ΣCR = 1000) et les quelques prélèvements d'origines diverses à teneur exceptionnelle en amphibole (1340; 1681; 2007). Le deuxième axe (23% de l'inertie totale) est extrait par le sphène (CR = 710; CA = 79%). Le troisième est extrait par le zircon (CR = 0,91; CA = 91%; ΣCR = 984) qui s'oppose au couple tourmaline-staurotide (CR = 0,69 et 0,63; CA = 23% et 18,5%; ΣCR = 810 et 779).

Quand les amphiboles, le sphène et l'andalousite (minéraux exceptionnels) sont eux aussi placés en éléments supplémentaires, le premier axe (59% de l'inertie totale) est extrait par le zircon (CR = 930) opposé à la tourmaline et à la staurotide (CR = 770 et 680).

La séparation du groupe « oligocène » en deux parties, sur ces bases, est confirmée: les éléments les plus fortement corrélés à l'axe et ayant des contributions absolues relativement élevées se rassemblent en deux catégories:

— l'une à faible teneur en zircon et fortes teneurs en tourmaline et staurotide,
— l'autre dans laquelle les teneurs en zircon sont fortes et celles en tourmaline et staurotide faibles.

Le deuxième axe (14% de l'inertie totale) est extrait par l'anatase (côté négatif de l'axe; CR = 880; CA = 72%). L'interprétation en est difficile à ce stade du travail, les prélèvements provenant aussi bien du groupe « oligocène » que du groupe « miocène ». Il faut cependant remarquer que dans le plan 1-2, le nuage a tendance à prendre une forme triangulaire dont la pointe est située du côté de l'anatase.

I. 2.2 *Analyse des sédiments du groupe « oligocène »*

Cette analyse permet de préciser les résultats précédents. Lorsqu'elle est effectuée en tenant compte de l'ensemble des variables, le premier axe (41% de l'inertie totale) est extrait essentiellement par la staurotide et la tourmaline (CR = 740 et 720; CA = 21%; ΣCR = 909 et 936) et les prélèvements montrant des teneurs relativement élevées en ces minéraux. Le deuxième axe (28% de l'inertie totale) est extrait par l'épidote (CA = 49%; CR = 630; ΣCR = 993) le grenat (CR = 330;

CA = 16%), le zircon (CR = 410; CA = 26%; ΣCR = 986), et principalement par les prélèvements qui ne renferment pas d'épidote et montrent des teneurs relativement fortes en zircon. Dans le plan des axes 1 et 2, le nuage a une forme grossièrement triangulaire: plus le premier facteur est petit, plus le second a tendance à être dispersé.

Quand l'analyse est effectuée en plaçant l'épidote, le grenat et les amphiboles en éléments supplémentaires, le premier axe contribue pour 59% à l'inertie totale. Il est extrait par le zircon (CR = 940) qui s'oppose nettement à l'ensemble tourmaline (CR = 820) et staurotide (CR = 690). Le deuxième axe est extrait par l'anatase (CR = 720; CA = 52%; ΣCR = 955). Dans le plan des deux premiers axes, les prélèvements relativement riches en staurotide et tourmaline (groupe 1 de la classification en 3 classes; fig. 2) s'opposent sur le premier axe à ceux relativement riches en zircon. De plus, la forme triangulaire du nuage dans le plan 1-2 indique que plus le deuxième facteur est grand, plus la dispersion du premier est forte. Par ailleurs, le deuxième axe classe les prélèvements suivant leur teneur en anatase: les éléments à forte teneur se trouvent du côté négatif de cet axe. Les résultats obtenus pour l'anatase au paragraphe précédent sont donc confirmés.

I. 2.3 *Analyse des sédiments du groupe « miocène »*

Lorsque l'analyse tient compte de toutes les variables, le premier axe (35% de l'inertie totale) est extrait principalement par l'épidote (CR = 910; CA = 31%; ΣCR = 990) qui s'oppose au rutile (CR = 690; CA = 6,6%; ΣCR = 775) et, dans une moindre mesure à la tourmaline (CR = 530) et au zircon (CR = 510). Le deuxième axe (19% de l'inertie totale) est extrait par le grenat (CR = 580), et le troisième (10% de l'inertie totale) par les amphiboles (CR = 680).

Dans le plan des deux premiers axes, le nuage de points montre une forme analogue à celle donnée figure 6, et le premier axe classe dans l'ensemble les prélèvements en fonction de leur teneur en épidote.

Quand l'épidote est placée en élément supplémentaire, le premier axe est extrait par le grenat (CR = 610; CA = 21%; ΣCR = 991), opposé principalement à la staurotide (CR = 550; CA = 14%; ΣCR = 820) et, dans une moindre mesure, au zircon et à la tourmaline. Les contributions absolues des prélèvements dont les teneurs en staurotide sont élevées sont particulièrement fortes. Par ailleurs, ces mêmes échantillons renferment relativement peu d'épidote. Il faut d'autre part remarquer que les échantillons de la Bresse se trouvent du côté positif de l'axe et renferment relativement peu de grenat. Le deuxième facteur est extrait par le sphène (CR = 780; CA = 70%; ΣCR = 992). Le sphène a des contributions faibles sur les axes 1 et 2, de même que sur les premiers axes des analyses antérieures. Le facteur qui lui correspond apparaît donc comme local. L'axe 3 est extrait par les amphiboles (CR = 530; CA = 63%; ΣCR = 999).

Dans le plan des axes 1-2, le nuage perd sa forme triangulaire; l'épidote conditionne donc la dispersion du deuxième facteur en fonction de la grandeur du premier: globalement, quand sa concentration diminue, celles en grenat, staurotide, zircon et tourmaline sont de plus en plus fluctuantes.

Dans le plan des axes 1-3, le nuage a une forme en croissant parabolique dont l'axe de symétrie est l'axe 3. Il existe donc une relation fonctionnelle entre les facteurs 1 et 3 (effet Guttman), donc principalement entre les variables qui les caractérisent: amphibole d'une part (axe 3), grenat et staurotide d'autre part (axe 1). Les prélèvements effectués en Bresse se trouvent dans la partie du croissant située du côté positif de l'axe 1. Ils renferment en moyenne moins de grenat et plus de staurotide que les autres, ainsi que peu ou pas d'amphiboles.

Quand l'épidote, le grenat, les amphiboles et l'andalousite sont placés en éléments supplémentaires, les axes 1 (inertie = 35%), 2 (inertie = 25%) et 3 (inertie = 23%) sont respectivement extraits par le disthène, la tourmaline (et l'anatase) et le zircon.

Dans les plans des axes 1-2 et 1-3, les nuages ont des formes triangulaires qui indiquent que plus le premier facteur est grand plus les deuxième et troisième facteurs sont dispersés. Par ailleurs, la proximité dans tous les plans des points représentatifs du grenat et de l'épidote montre que ces deux variables sont bien corrélées.

D'autres analyses ont été effectuées en prenant en compte les coordonnées géographiques des prélèvements. Toutes montrent qu'il existe une corrélation entre la latitude et les teneurs en épidote. Les points représentatifs de ces deux variables sont cependant généralement proches du centre de gravité du nuage. La liaison entre les deux variables n'est donc pas très forte. A l'échelle de la région étudiée, la relation paraît être du deuxième degré (fig. 8). Les échantillons des parties nord et sud de la zone étudiée sont globalement moins riches en épidote que ceux de la zone centrale.

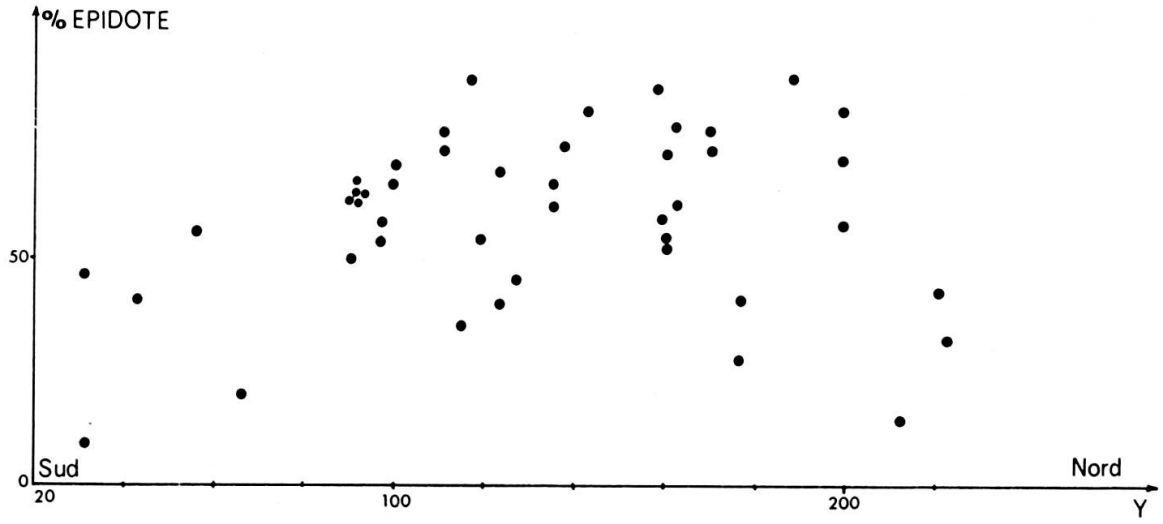


FIG. 8. — Evolution des teneurs en épidote dans les prélèvements du groupe miocène, en fonction de la latitude.

I. 3. Classification ascendante hiérarchique

Cette classification a été faite en utilisant la distance du khi-deux, afin que les résultats puissent être comparables avec ceux des analyses précédentes. Le critère d'agrégation choisi est de rendre maximal le moment centré d'ordre 2 d'une partition.

I. 3.1 *Analyse de l'ensemble des données*

Lorsque la classification est réalisée pour l'ensemble des *variables*, l'agrégation est celle indiquée figure 9. L'épidote est associée au sphène et le grenat aux amphiboles; les autres minéraux forment un groupe autonome dans lequel les éléments résistant à l'abrasion (staurotide, andalousite, tourmaline) sont associés. Il faut d'autre part noter que le zircon forme avec l'anatase et le rutile un sous-ensemble particulier dont la distance (au sens de la variance) au groupe des quatre minéraux ci-dessus est plus grande que celle du couple épidote-sphène au couple grenat-amphibole.

Quand la classification est faite pour l'ensemble des *prélèvements* deux groupes se dégagent nettement et forment les deux classes les plus hautes de la hiérarchie. Ils sont identiques (mêmes prélèvements) à ceux obtenus par la méthode des nuées dynamiques. Les analyses ultérieures ont donc porté sur les mêmes groupes que précédemment. Il faut cependant remarquer ici que lorsque 4 terminaisons sont demandées, les deux groupes « oligocènes » précédents et les deux groupes « miocènes » sont retrouvés, à quelques variantes près.

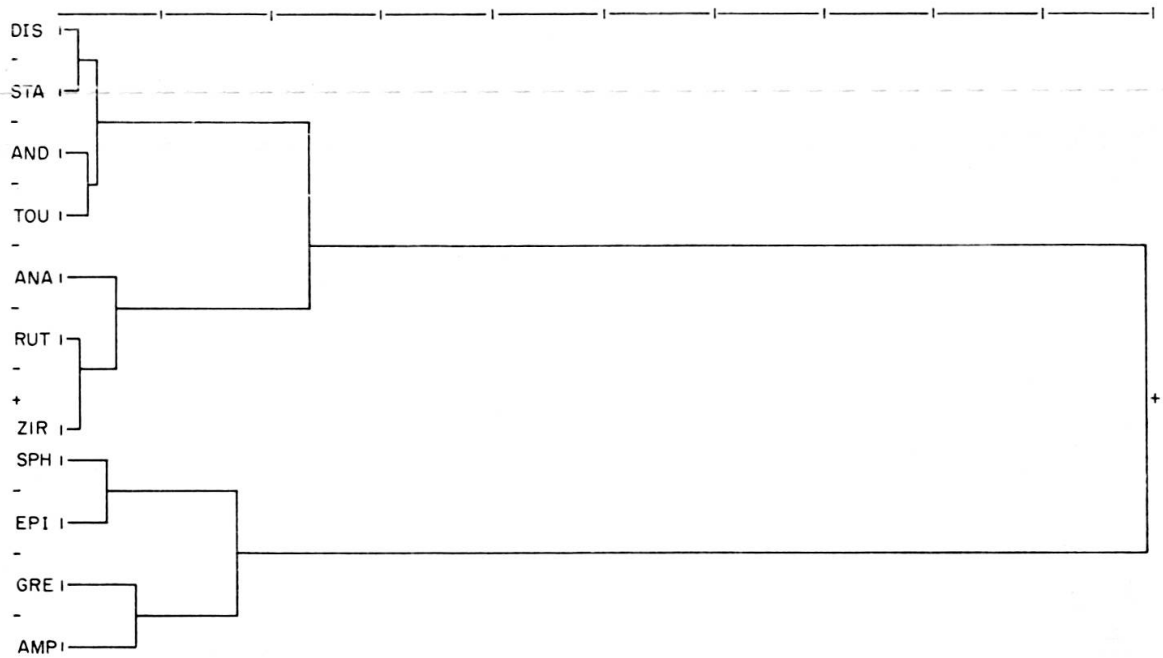


Fig. 9. — Arbre construit à la suite de la classification ascendante hiérarchique des variables pour l'ensemble des prélèvements.

I. 3.2 *Analyse des sédiments du groupe « oligocène »*

Quand la classification est réalisée sur les *variables*, la partition supérieure sépare ces variables en deux groupes, le premier étant constitué par la tourmaline, l'andalousite, le disthène et la staurotide. Ce groupe est stable, car des partitions en 3 et 4 classes conduisent à subdiviser l'autre groupe à l'intérieur duquel s'individualisent l'ensemble anatase-rutile-zircon.

Quand la classification est faite sur les *prélèvements*, un premier groupe est constitué par 29 échantillons. Ceux-ci participent tous, sauf un (la Ferté; n° 1393) à la constitution de la forme forte d'effectif 39 obtenue par la méthode des nuées dynamiques (partition en 3 classes). Quand la classification est faite sur l'ensemble des 124 échantillons tertiaires, ces 29 prélèvements sont toujours groupés, mais s'adjoignent 11 autres échantillons, qui proviennent principalement de la Bresse. Ces onze prélèvements existent aussi dans la forme forte ci-dessus (à l'exception d'un échantillon provenant du Tertiaire de Mouthe (n° 1349). Les classifications automatiques montrent donc que si des échantillons bressans appartiennent globalement à la « famille » des sédiments « anté-miocènes » certains d'entre eux au moins sont bien individualisés.

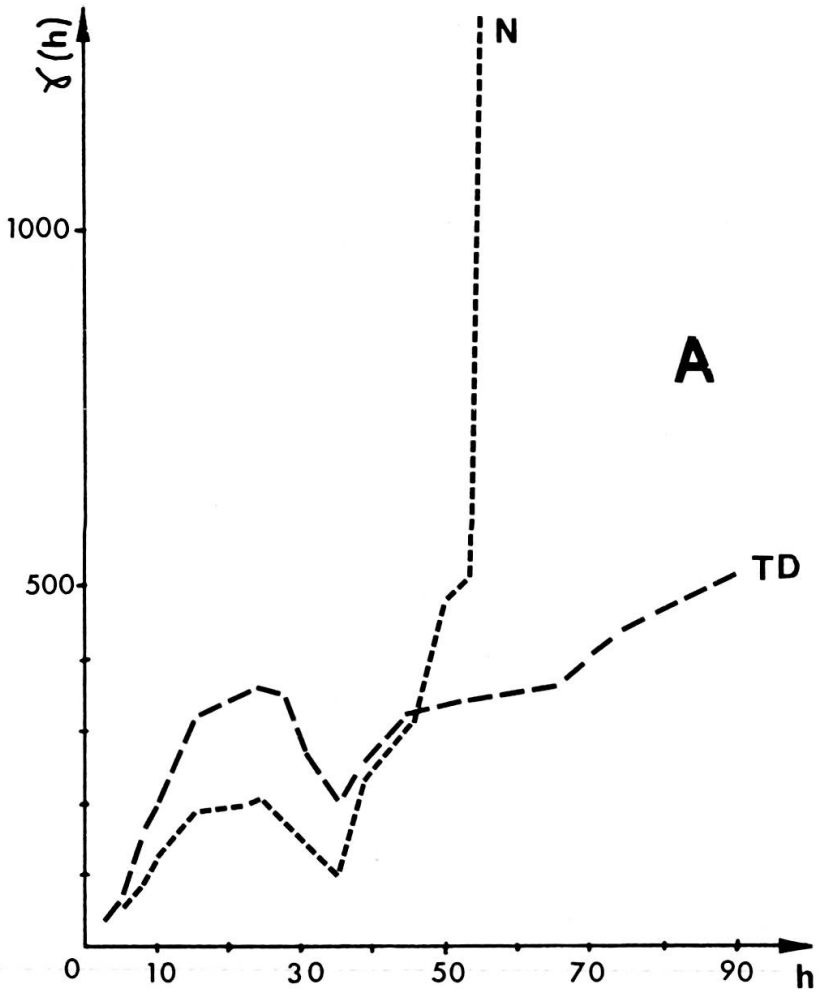
I. 3.3 *Analyse des sédiments du groupe « miocène »*

Quand la classification est faite sur les *variables*, le zircon et le rutile sont les deux éléments les plus liés. Un groupe formé par le sphène, l'épidote, l'andalousite et le disthène s'oppose à l'ensemble des autres minéraux. Ce groupe est stable et les partitions ultérieures s'effectuent dans le second ensemble, à l'intérieur duquel s'individualisent alors le grenat et les amphiboles. Quand l'épidote, les amphiboles, le sphène et l'andalousite ne sont pas prises en compte, le grenat s'oppose à l'ensemble des autres minéraux.

Quand les *prélèvements* sont classés en deux groupes, la partition est peu significative, les regroupements obtenus sont en effet différents de ceux issus de la classification par nuées dynamiques ou des autres classifications possibles (voir tableau fig. 1).

I. 4. Analyse structurale par étude du variogramme

Pour tous les minéraux, les variogrammes expérimentaux sont linéaires au voisinage immédiat de l'origine et montrent généralement une forte anisotropie géométrique. Leur allure est d'autre part souvent cahotique; ceci dénote l'existence de distributions assez anarchiques. De plus, les variogrammes ont un effet de pépite assez élevé; les erreurs de mesure étant relativement faibles, il est donc vraisemblable que le pas de l'échantillonnage est trop grand relativement à la taille des structures



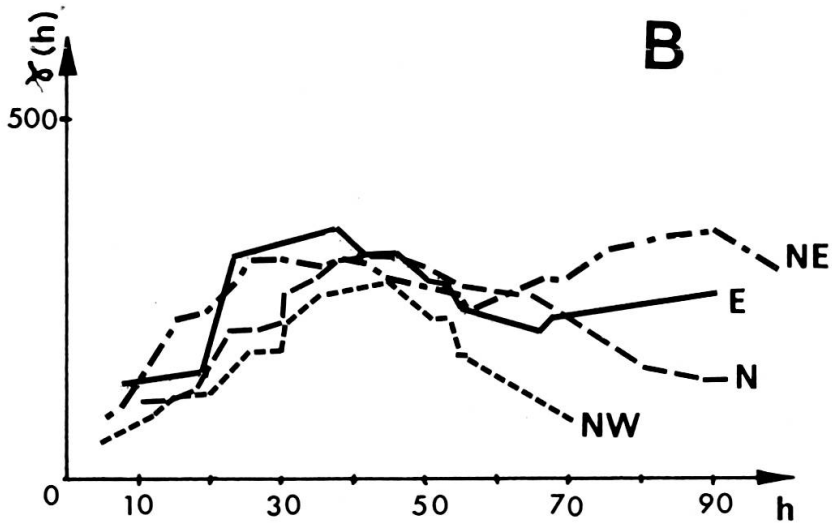


FIG. 10. — Variogramme de l'épidote pour les sédiments du groupe miocène.

(au sens mathématique de ce terme) analysées. Cependant, la qualité du réseau d'échantillonnage est pratiquement impossible à améliorer, compte tenu du nombre d'affleurements. Seuls l'épidote des sédiments « miocènes » montre des variogrammes utilisables (fig. 10). Le variogramme expérimental toutes directions (fig. 10*a*) montre un effet de pépite d'environ 10 unités. Il présente d'autre part un trou vers 35 km (« effet de trou ») et son allure générale suggère qu'il existe une dérive. Celle-ci est mise en évidence par le variogramme calculé pour la direction nord-sud à nord-est sud-ouest. Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux obtenus par l'analyse des correspondances, qui mettaient en évidence une corrélation entre les teneurs en épidote et la latitude. A l'échelle de la zone entière, cette dérive de l'épidote est vraisemblablement du deuxième degré (fig. 8). Elle a été éliminée par krigeage et les variogrammes des résidus correspondants sont reproduits figure 10*b*. Les courbes dessinées pour les directions nord-est et nord-ouest ont des paliers vers 30 km. La distribution de l'épidote est donc relativement bien organisée: elle correspond à une ou des structures d'environ 30 km de large dans les directions considérées.

II. CONSÉQUENCES GÉOLOGIQUES

L'analyse de la partition par nuées dynamiques en deux groupes d'échantillons, l'un « oligocène » et l'autre « miocène », montre que le partage est essentiellement basé sur l'épidote et le grenat. Ce résultat était connu (B. DUPLAIX *et al.*, 1963, 1965), ces minéraux étant nés lors du métamorphisme alpin et apparaissant à l'état détritique dans le tertiaire franc-comtois. Il faut souligner cependant que la distribution de l'épidote est binomiale négative pour les terrains du groupe « oligocène », et pratiquement normale pour ceux du groupe « miocène »; ce fait suggère que l'épidote (et les minéraux associés ?) a pu être répartie en amas localisés lors de la formation des sédiments du premier groupe (voir exemple C. ONDRICK et J. GRIFFITHS, 1963). Notons qu'un nouvel examen microscopique des minéraux eux-mêmes n'a pas permis de mettre en évidence deux types d'épidote, qui auraient pu correspondre l'un à la distribution binomiale, l'autre à la distribution normale. Bien qu'il soit négatif, cet argument est en faveur de l'hypothèse d'une distribution en amas. Il faut par ailleurs remarquer, pour ce qui concerne le premier groupe, que ce sont des prélèvements provenant d'affleurements situés dans la zone la plus interne du Jura qui renferment plus de 10% d'épidote. Les sédiments correspondants sont considérés là comme d'âge oligocène-terminal, voire aquitanien. Il est donc possible d'admettre que des bassins localisés se sont d'abord formés dans la haute-chaîne jurassienne, dans lesquels des minéraux exotiques ont pu être apportés. Puis, l'invasion marine s'est généralisée dans la haute-chaîne.

Les contributions absolues correspondant au premier facteur extrait de l'ensemble des prélèvements par l'analyse des correspondances peuvent être considérées

comme les teneurs en minéraux lourds d'une source ou d'un ensemble de sources de matériel détritique. Les minéraux les plus caractéristiques de cette source sont (voir fig. 5), l'épidote (CR = 940; teneur = 52,4%), la tourmaline (11,4%), le rutile (3,5%), le grenat (10,9%) et le zircon (10,6%).

L'interprétation peut être poursuivie en tenant compte de données connues grâce à des travaux antérieurs (S. DUPLAIX et S. GUILLAUME, 1962, 1963). L'essentiel des minéraux lourds des formations « oligocènes », tourmaline, zircon, staurotide, rutile et anatase, provient du remaniement des sédiments d'âge crétacé moyen. La corrélation trouvée entre les minéraux résistants que sont la tourmaline et la staurotide est ainsi expliquée. La « source » évoquée plus haut et correspondant au premier facteur était donc double: remaniement sur place d'une part (*cf.* deuxième facteur du § I.2.1, et premier facteur du § I.2.2.), apports exotiques d'autre part (*cf.* premier facteur du § I.2.1). Il est remarquable de constater (*cf.* forme triangulaire du nuage de la fig. 6) que la dispersion de l'ensemble tourmaline-staurotide-zircon (minéraux résistants) augmente lorsque diminuent les teneurs en détritiques alpins (épidote et grenat sont moins résistants que les précédents). L'arrivée de la « mer » miocène s'accompagne donc d'un brassage du détritique local avec diminution de la dispersion des constituants de ce détritique. Le rôle des minéraux alpins (épidote et grenat) peut être précisé par l'étude du groupe oligocène: plus l'influence de la source caractérisée par la staurotide et la tourmaline est faible, plus la dispersion des éléments caractérisant la source « épidote-grenat-zircon » est forte. Il faut remarquer que les sédiments du groupe oligocène ont une entropie relative moyenne ($E \simeq 63$) supérieure à celle de sédiments « miocènes » ($E \simeq 48$; fig. 1). Cette différence montre que le degré de mélange des minéraux est plus élevé dans le premier groupe que dans le second.

Le rôle joué par l'anatase sur la distribution des minéraux dans les sédiments oligocènes peut être précisé à partir des résultats obtenus pour ce groupe en plaçant l'épidote et le grenat en éléments supplémentaires pour effectuer l'analyse factorielle (§ II.2.2: forme du nuage dans le plan 1-2). Plus l'influence de la source caractérisée par l'anatase (deuxième facteur; CA = 52%) grandit, plus la dispersion des éléments de l'ensemble tourmaline-staurotide-zircon augmente. Les prélèvements étant classés le long de l'axe II de l'analyse des correspondances en fonction de leur teneur en anatase, on peut donc en conclure que plus la concentration en anatase diminue, plus la dispersion de l'ensemble tourmaline-staurotide est grande, en moyenne. Les prélèvements effectués en Haute-Saône sont parmi ceux qui ont dans ce cas la plus forte corrélation avec le premier facteur extrait. Ces prélèvements participent à la forme forte d'effectif 39 lorsqu'une partition en trois classes est faite par la méthode des nuées dynamiques sur l'ensemble des échantillons (éléments relativement riches en zircon et rutile).

Il n'existe pas d'argument qui permette d'expliquer la partition du groupe oligocène en deux ensembles. Il semble qu'il faille attribuer aux conditions locales

un rôle essentiel dans cette partition. Le premier ensemble est constitué par les échantillons en moyenne riches en zircon et rutile, donc en minéraux relativement lourds (densités = 4,65, et 4,89) et, dans le cas du zircon, résistant (dureté Mohs = 7,5). Le second est caractérisé en moyenne par des teneurs relativement élevées en minéraux résistants: tourmaline (dureté = 7) et staurotide (dureté = 7 à 7,5). Par ailleurs les prélèvements effectués en Haute-Saône montrent généralement des teneurs relativement élevées en zircon rutile et grenat (densité = 3,95). Il est donc vraisemblable que le secteur haute-saônois a constitué un piège pour ces minéraux venus des Vosges (haut-fond de la Serre de A. LEFAVRAIS) tandis que les minéraux plus légers et résistants, tourmaline (densité = 3,14) et staurotide (densité = 3,78) étaient entraînés jusqu'en Bresse. On comprend dès lors pourquoi, plusieurs échantillons bressans se singularisent lorsque les prélèvements « oligocènes » sont classifiés par l'analyse hiérarchique (§ I.3.2).

Le comportement de l'anatase peut être expliqué en tenant compte de la dureté relativement faible de ce minéral (dureté Mohs = 5 à 6): en milieu particulièrement agité et abrasif ce minéral disparait assez rapidement; persistent alors les résistants tels que tourmaline-staurotide-zircon, et à degré moindre, le rutile (dureté = 6 à 6,5). Mais les conditions locales sont alors telles que la dispersion de ces minéraux augmente.

L'homogénéité relative du cortège minéralogique des sédiments « miocènes » et le rôle déterminant de l'épidote ressortent de toutes les analyses effectuées. Il faut d'abord remarquer que les minéraux hérités apparaissent d'autant plus dispersés que les teneurs en épidote sont faibles. Il en est de même pour le grenat, mais on sait qu'en certains endroits (Haute-Saône) ce minéral peut avoir une origine double. L'épidote est le minéral le moins résistant de cet ensemble; elle est d'autre part moins lourde que le grenat. Dans des conditions de transport et de sédimentation particulièrement dures, elle a pu disparaître tandis que pouvaient persister d'autres minéraux, plus résistants et/ou plus lourds qu'elle. L'analyse des sédiments « miocènes » confirme que la Bresse a formé un bassin relativement autonome lors de la transgression miocène. Enfin, il faut noter que l'étude des variogrammes de l'épidote confirme les interprétations précédentes: les variogrammes des résidus montrent en effet que la largeur des bassins dans lesquels s'est avancée la mer miocène était d'environ 30 km. Ces dimensions sont celles qui peuvent être déduites d'autres données connues sur la Bresse et la Haute-Saône. Pour ce qui concerne le Jura lui-même, ces dimensions sont sensiblement celles des zones définies par les grands accidents, d'une part transverses d'autre part directionnels, de la chaîne. L'interprétation qui vient immédiatement à l'esprit est d'admettre que les bassins transversaux étaient séparés par des accidents dont les relations avec les grands décrochements actuels restent à définir. Ces résultats sont d'autre part compatibles avec ceux concernant les variations de faciès de certains niveaux du Jurassique supérieur (ligne isopiques dirigées est-ouest; voir notices de cartes géologiques au 1/50 000 de Champagnole et Morez-Bois-d'Amont).

Cette étude montre aussi que le faisceau de plis né selon D. AUBERT en certains points de la Haute-Chaîne à l'Oligocène ne devrait pas ou plus former des reliefs très importants quand la mer miocène s'est avancée, relativement facilement, sur les zones jurassiennes.

L'hypothèse de la naissance d'accidents transversaux lors d'une phase cassante « oligocène » a été maintes fois proposée. Les résultats donnés ici, basés sur des analyses statistiques objectives sont certainement ceux qui apportent, sinon la preuve, du moins de bons indices en faveur de cette hypothèse.

IV. CONCLUSION

Les résultats présentés ici montrent que les méthodes modernes de classification automatique et d'analyse factorielle peuvent permettre d'analyser objectivement et rapidement des données sédimentologiques trop complexes pour être traitées dans les mêmes conditions par les méthodes classiques. Plusieurs questions sont posées au géologue de terrain, à qui elles permettent d'ailleurs d'envisager de nouvelles hypothèses de travail: analyse approfondie des sédiments détritiques d'âge crétacé; étude de la distribution des épidotes dans les niveaux « anté-miocènes »; étude plus détaillée des sédiments affleurant au pourtour du massif de la Serre.

Ce travail montre aussi que les méthodes quantitatives peuvent permettre, quand elles sont mises en œuvre de manière systématique et coordonnée, de préciser de manière souvent inattendue nos connaissances sur l'évolution paléotectonique d'une région. C'est, entre autres, sur leurs résultats que devront être basés les modèles objectifs ultérieurs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement d'une part M. le Professeur GOGUEL, d'autre part l'équipe du laboratoire de statistique mathématique de l'Université P. et M. Curie pour leurs conseils et leurs critiques constructives.

BIBLIOGRAPHIE

BENZECRI, J. P. *et al.* (1973). L'analyse des données. 2 vol., *Dunod*, Editeur.

DIDAY, E. (1972). Nouvelles méthodes et nouveaux concepts en classification automatique et reconnaissance des formes. *Thèse*, Paris, 72/27-72/030, 1 vol., 220 p.

DUPLAIX, S. et S. GUILLAUME (1962-1963). Etude stratigraphique et minéralogique de formations tertiaires du Jura. *Rev. Géog. Phys. et Géol. Dyn.*, (2), V, 1, p. 37-54.

—— S. GUILLAUME et A. LEFAVRAIS (1965). Le Tertiaire de la Bresse. Stratigraphie et comparaison avec les régions voisines. *Rev. Géog. Phys. et Géol. Dyn.*, (2), VII, 2, p. 135-148.

GUILLAUME, A. (1975). Introduction à la géologie quantitative, 1 vol. 250 p. *Masson*, Editeur (sous presse).

—— (1976). Les variables régionalisées, *Lab. de tectonophysique*, Paris, 1 vol., 300 p.

HEIN, P. (1972). Contribution à l'étude de la répartition des minéraux lourds dans un bassin sédimentaire à l'aide des coefficients de similarité. *Rapport de stage*, Laboratoire de tectonophysique, 1 broch. 25 p.

MATHERON, G. (1970). La théorie des variables régionalisées et ses applications. *Cah. du C.M.M.*, fasc. 5, 212 p.

ONDRICKS, C. W. and J. C. GRIFFITHS (1969). Fortran IV Computer programs for fitting observed count data to discreet distribution models of binomial, Poisson and negative binomial. *Comp. Contr.*, No. 35.

SERRA, J. (1967). Un critère nouveau de découverte de structures: le variogramme. *Sc. de la Terre*, XII, 4, p. 275-290.

SOKAL, R. R. and P. H. A. SNEATH (1963). Principles of numerical taxononomy. 1 vol., *Freeman*, Editeur.