

# Caractérisation pétrologique du massif de "roches vertes" de la région d'Azegour (Haut Atlas occidental).

Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI

عز الدين العمراي الحسني

## ملخص

الخصائص الصخرية لكتلة «الصخور الخضراء» بمنطقة أزكور (الأطلس الكبير الغربي). تتكون كتلة الصخور الخضراء بأزكور من توالي تدفقات لافية بنيتها اما مصمتة أو عبارة عن مرق حممية وذات تركيب كيماوي متنوع. بالرغم من ذلك تتميز مجموع هذه التدفقات بطبيعة واحدة، فهي عبارة عن مواد بازلتية ضعيفة التطور تميل الى النوع الطوليبيتي. تعرض هذا البازلت القديم الى تحول جذري تحت تأثير التحول التماسي لكرانيت أزكور فأصبح عبارة عن امفيبوليت حقيقية. معالجة تركيب هذه الأخيرة على ضوء الأبحاث التجريبية حول استقرار الامفيبول، سمحت باستنتاج الظروف الفيزيائية-الكيميائية التي أدت إلى هذا التحول.

## RESUME

Le massif de "roches vertes" d'Azegour est composé d'une succession de coulées de lave à structure soit massive soit en pillow-lavas et à chimisme très variable. Toutefois l'ensemble de ces laves sont de même nature ; elles correspondent à un matériel basaltique peu évolué et à tendance tholeïtique. Ces paléobasaltes ont été transformés totalement, sous l'effet du métamorphisme de contact du granite d'Azegour, en de véritables amphibolites. L'analyse des paragenèses de ces dernières, à la lumière des travaux expérimentaux sur la stabilité des amphiboles, ont permis de remonter aux conditions physico-chimiques de leur évolution métamorphique.

## SUMMARY

Petrological characterization of the "green rocks" massif of Azegour area (Western High Atlas). The "green rocks" massif of Azegour is composed of a succession of homogeneous or pillow-lavas flows with variable chemical composition. However, the whole of these laves are of the same nature ; they correspond to a little evolved basaltic material of tholeïtic tendency. These paleobasalts have been completely transformed into real amphibolites, by the contact metamorphism of Azegour granite. Analysis of paragenesis of amphibolites, using the experimental results on the stability of amphibole, permitted to establish the physico-chemical conditions of their metamorphic evolution.

## GENERALITES

Au Sud-Ouest du village de Tizgui et au contact du granite d'Azegour (situé à 60 km, à vol d'oiseau, au SSW de Marrakech)affleure une colline bien individualisée, de couleur vert-foncé à noire, de contour subcirculaire et de diamètre moyen égal à 400 m (fig.1). Cette colline est constituée d'une succession de coulées de laves à structure massive et en "coussin" (pillow-lavas). Ces coulées présentent une puissance métrique à décamétrique et une direction méridienne avec un pendage fort vers l'Est.

PERMINGEAT (1957) avait cartographié ces laves sous le terme de "roches vertes". Celles-ci font partie d'une série volcano-sédimentaire attribuée au Paléozoïque inférieur (SCHAER, 1964 ; PERMINGEAT, 1957). L'ensemble de cette série a été redressé à la verticale par l'orogénèse hercynienne avant d'être localement métamorphisé par le granite d'Azegour. Certains auteurs admettent l'affectation de l'ensemble de la région par un métamorphisme général antérieur à la mise en place du granite et qui serait de très faible intensité.

Dans cette note nous nous intéresserons dans

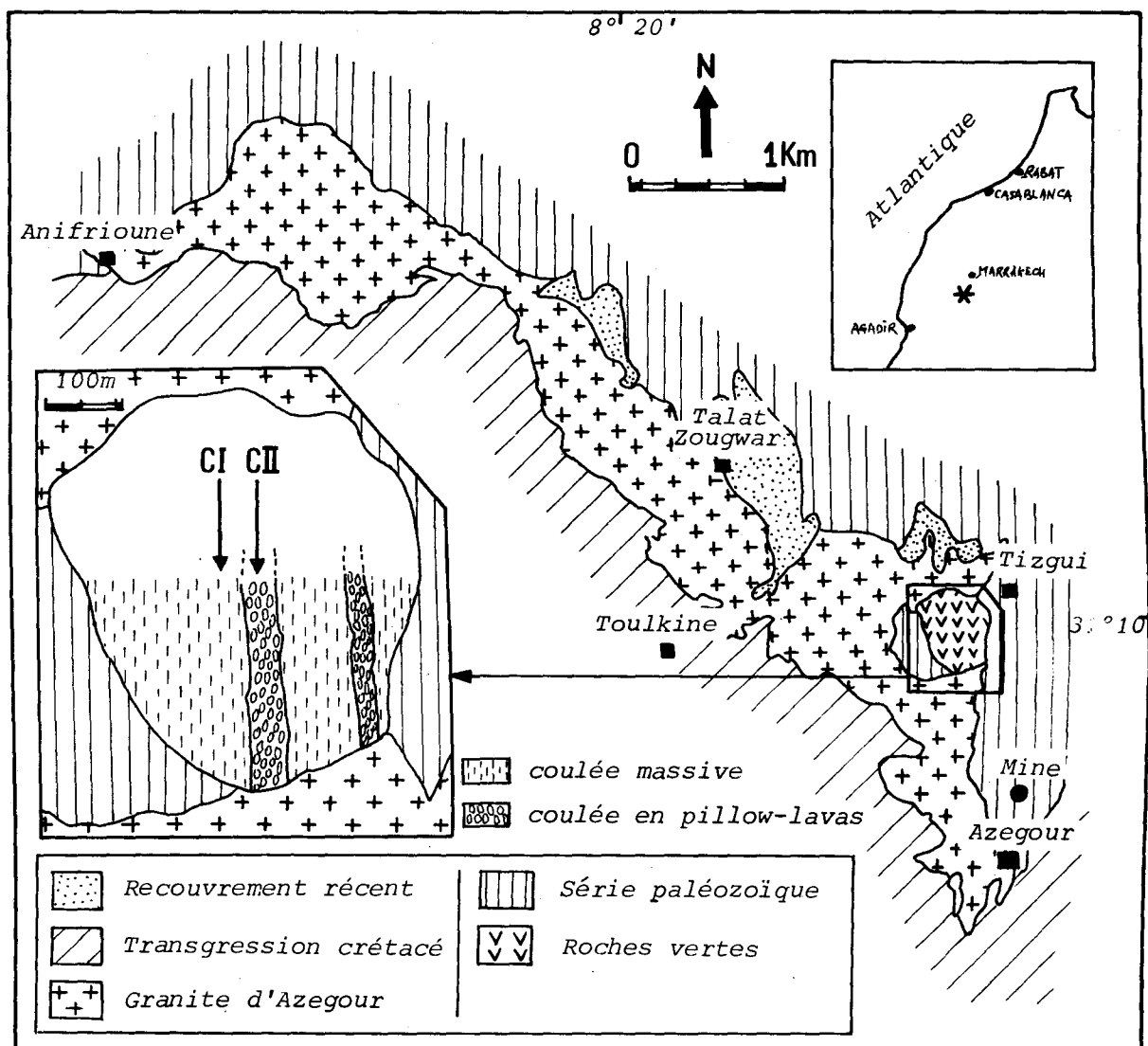


Figure 1 : Situation géographique et géologique du massif de "roches vertes" de la région d'Azegour (d'après PERMINGEAT, 1957 - modifiée) CI - CII : coupes d'échantillonnage.

une première partie à la nature magmatique de ces anciens basaltes et à leur variations structurales et chimiques. Dans une deuxième partie nous essayerons de discuter les conditions physicochimiques de leur évolution métamorphique.

Dans ce but un échantillonnage a été effectué suivant deux coupes parallèles et de direction N-S (fig.2).

Le long de la coupe CI, effectuée dans la coulée massive trois échantillons notés : (1M), (2M) et (3M) ont été prélevés respectivement à

240 m à 160 m et au contact avec le granite.

Le long de la coupe CII, effectuée dans la coulée à pillow-lavas, trois "coussins" notés : (1P) (2P) et (3P) ont été prélevés, respectivement, à 240m, à 160 m et au contact du granite. Pour chaque pillow-lavas nous avons séparé le cœur (C) l'écorce (E) et la matrice inter-pillow (I).

La notation et les symboles utilisés pour les différents échantillons sont portés sur le tableau I.

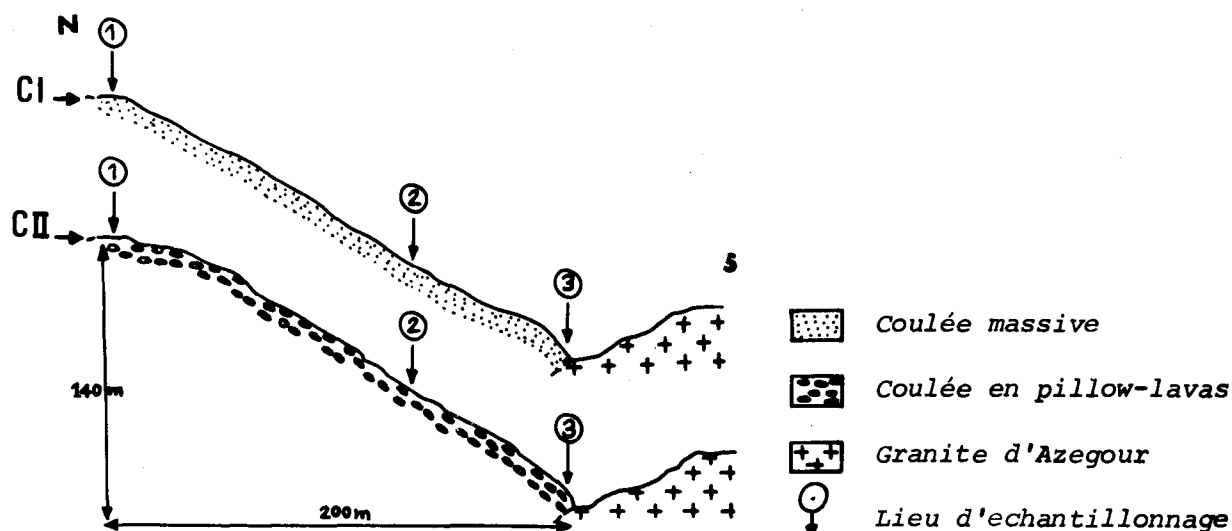


Figure 2 : Profils des deux coupes CI et CII faites respectivement dans la coulée massive et la coulée en pillow-lavas.

**PETROLOGIE ET GEOCHIMIE**

**DESCRIPTIONS PETROGRAPHIQUES**

**Coulée à structure massive**

Loin du granite, la roche (1M) est de couleur vert foncé et à grain fin. Elle est souvent parcourue, dans la direction méridienne, par des trainées vert clair d'épaisseur millimétrique à centimétrique. Une schistosité nette, de même orientation que l'ensemble de la coulée (N-S, 80E) est observée localement.

Tableau I : Codes et symboles correspondant aux différents échantillons analysés.

Distance au granite (m)		240	160	Contact	
Faciès		1	2	3	
Amphibolite massive	Code				
	M	○	●	●	
Amphibolite en pillow-lavas	P	C Coeur	□	■	■
		E Ecorce	△	▲	▲
		I Matrice	◇	◆	◆

En s'approchant du granite les trainées ainsi que la schistosité disparaissent progressivement. Tout à fait au contact (3M), la roche devient homogène et de teinte noire.

Au microscope, le faciès (1M) présente une texture microdoléritique et se compose :

- d'amphibole (72%)<sup>1</sup> en cristaux de taille inférieure à 1.5 mm, à contour déchiqueté et à polychroïsme net. D'après sa composition, déterminée à la microsonde, elle correspond à une pargasite ferrifère ;

- de plagioclase (18%) en baguettes squelettiques à composition d'andésine (An 35 - An 45). Les nombreux grains d'épidote qu'il renferme attestent de son origine plus basique ;

- de clinopyroxène (7%) en cristaux trapus, incolores à légèrement verdâtres et ayant la composition d'une salite. Ce minéral constitue, par endroit, des concentrations en forme de lentilles ou de filets (ceux-ci correspondent aux trainées vert clair observées macroscopiquement) ;

- d'oxydes de fer et de titane (3%) en minuscules grains envahissant la roche.

Au niveau des zones schistosées nous avons observé la même association minérale mais disposée selon une texture différente. Les amphiboles s'orientent parallèlement à la schis-

(1) - Analyse modale pondérale calculée selon la méthode de NICOLAS.

tosité et semblent se "fusionner" en lits continus qui s'intercalent avec des lits palgioclasiques moins épais.

Le faciès du contact avec le granite (3M) est homogène. Sa texture est lépidoblastique et se compose :

- d'amphibole (64%) en lattes subautomorphes, légèrement colorées en vert, avec un polychroïsme discret et possédant la composition d'une hornblende magnésienne ;

- de plagioclase (33%) sous forme d'un fond continu très séricitisé et à composition d'oligoclase basique (An23 - An29) ;

- d'oxyde de fer et de titane (3%) ;

- de phlogopite, très rare, en paillettes de couleur orange et à polychroïsme très faible. Celle-ci apparaissant se développer au dépens de l'amphibole.

### Coulée à structure en pillow-lavas

Elle se compose d'un empilement de "coussins" de lave de forme ellipsoïdale, légèrement dissymétrique et fortement étirée selon la direction Nord-Sud ( $Ng/Nm = 2$ ) (fig. 3). Ces "coussins" sont de taille très variable ( $Ng = 10$  cm à 130 cm) et montrent une zonation structurale fruste. En effet, sur chaque unité nous avons distingué :

- une écorce d'épaisseur proportionnelle à la taille du pillow, de teinte noire, écailleuse sur sa partie externe et possédant de nombreuses vacuoles blanchâtres dans sa partie interne ;

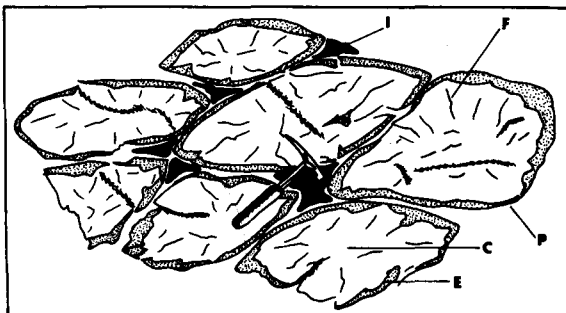


Figure 3 : Dessin, d'après photographie, d'un affleurement de pillow-lavas. C : cœur ; E : écorce ; F : fente radiaire ; I : matrice inter-pillow ; P : pédoncule.

- un cœur vert sombre avec de nombreuses plages irrégulières de teinte vert-clair. Des fractures plus ou moins radiaires y sont observées.

Entre ces "coussins" de lave nous avons souvent rencontré de petites masses de forme triangulaire et de nature pétrographique différente : matrice inter-pillow.

A la différence des pillow-lavas (1P), décrits ci-dessus, ceux du contact avec le granite (3P) sont entièrement de teinte sombre. Leur zonation est rendue ainsi à peine visible.

L'observation microscopique d'un "coussin" (1P) montre :

a — Une écorce (1E) composée :

- de cristaux subautomorphes de pargasite orientés parallèlement à la surface du pillow. Parfois ces amphiboles forment une masse continue d'aspect feutré et de couleur verte ;

- des plagioclases, très rares et complètement séricitisés ;

- de quelques grains d'ilménite ;

- de nombreux cristaux minuscules d'épidote et d'apatite.

Des vacuoles de forme circulaire ou ovoïde y existent. Elles sont composées de grains polygonaux d'andésine (An35- An45) sur lesquels se détachent un ou deux cristaux d'amphibole ou de pyroxène ;

b — Un cœur (1C) à texture arborescente composée :

- d'aiguilles d'amphibole de même nature que celle de l'écorce ;

- de cristaux polygonaux d'oligoclase (An10 -An30) ;

- de nombreux grains d'ilménite ;

- de clinopyroxène (salite) qui semble remplacer l'amphibole et l'ilménite pour former des plages vert-clair.

La matrice inter-pillow (1I) est constituée en grande partie de pargasite et d'andésine acide (An30 - An35). L'ilménite, le clinopyroxène ainsi qu'un grenat, probablement riche en grossulaire, sont présents en proportions variables.

Les pillow-lavas (3P) se distinguent des précédents par :

- leurs vacuoles remplies de plagioclase complètement séricitisé ;

- leurs amphiboles qui sont des hornblendes ;

Tableau II : Analyses chimiques et formules structurales des amphiboles des "roches vertes" d'Azegour. (Analyses chimiques effectuées à la microsonde électronique Camebax Nancy. Formules structurales calculées sur microordinateur Apple II à l'aide de programme établi par J.M. LEISTEL, laboratoire de pétrologie structurale et métallogénie - Nancy I).

Faciès	Coulée massive						Coulée à pillow - lavas											
	1M		0	3M			1E			1C	1I		3E		3C		3I	
	AM-1	AM-2	AM-3	AM-4	AM-5	AM-6	AM-7	AM-8	AM-9	AM-10	AM-11	AM-12	AM-13	AM-14	AM-15	AM-16	AM-17	AM-18
ANALYSE																		
SiO <sub>2</sub>	41.44	41.20	41.58	42.91	46.31	46.06	41.07	38.32	41.90	47.56	43.05	39.51	43.84	44.16	44.71	45.34	44.06	44.41
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.43	14.10	14.25	14.51	9.25	9.45	12.88	16.81	12.12	15.26	11.15	14.90	9.85	11.04	10.91	9.47	11.58	10.79
FED <sup>o</sup>	14.57	14.74	14.18	12.34	14.28	14.62	16.08	15.89	15.75	13.94	16.26	15.92	18.53	16.75	15.88	16.54	15.18	15.53
MNO	0.00	0.09	0.18	0.24	0.21	0.10	0.29	0.44	0.05	0.14	0.47	0.17	0.21	0.45	0.28	0.19	0.35	0.33
MGO	11.00	10.18	10.61	13.01	13.63	12.58	9.39	8.31	9.47	7.05	10.41	8.98	10.03	11.11	11.48	11.95	10.69	11.10
CaO	11.58	11.67	11.49	11.01	9.87	10.77	11.84	12.15	12.08	10.05	11.88	12.48	11.55	11.18	11.05	10.97	11.95	11.70
Na <sub>2</sub> O	2.78	2.75	3.18	2.59	1.73	1.85	3.07	3.31	2.55	4.62	2.39	2.61	2.22	2.44	2.37	2.06	2.30	2.22
K <sub>2</sub> O	0.46	0.50	0.40	0.10	0.07	0.13	0.17	0.21	0.19	0.11	0.22	1.01	0.30	0.18	0.19	0.23	0.16	0.28
TiO <sub>2</sub>	1.46	1.56	1.98	1.17	0.86	1.11	1.77	1.51	1.63	1.60	1.23	1.15	0.72	1.11	1.51	1.38	0.80	1.10
TOTAL	96.72	96.79	97.85	97.88	96.21	96.67	96.56	96.95	95.74	100.35	97.06	96.73	97.25	98.42	97.48	98.13	97.07	97.37
SI	6.199	6.190	6.167	6.149	6.676	6.727	6.263	5.841	6.429	6.764	6.464	6.056	6.585	6.459	6.590	6.604	6.569	6.590
AL (IV)	1.801	1.810	1.833	1.851	1.324	1.273	1.737	2.159	1.571	1.236	1.536	1.944	1.415	1.541	1.410	1.396	1.431	1.410
AL (VI)	0.567	0.486	0.657	0.599	0.248	0.353	0.578	0.860	0.620	1.321	0.437	0.747	0.328	0.362	0.328	0.229	0.403	0.460
FE3+	0.443	0.281	0.294	1.009	1.440	0.837	0.149	0.142	0.000	0.000	0.378	0.000	0.586	0.828	0.710	0.970	0.229	0.411
FE2+	1.375	1.567	1.461	0.459	0.266	0.939	1.899	1.881	2.020	1.657	1.659	2.040	1.735	1.212	1.239	1.633	1.661	1.511
MN	0.000	0.012	0.023	0.029	0.025	0.013	0.038	0.057	0.006	0.019	0.060	0.022	0.027	0.056	0.035	0.024	0.044	0.042
Mg	2.452	2.278	2.344	2.777	2.927	2.737	2.133	1.886	2.164	1.493	2.328	2.050	2.244	2.420	2.520	2.592	2.374	2.453
TI	0.164	0.176	0.221	0.126	0.093	0.122	0.203	0.173	0.188	0.171	0.139	0.133	0.081	0.122	0.167	0.151	0.090	0.123
CA	1.855	1.878	1.826	1.690	1.524	1.685	1.934	1.983	1.985	1.531	1.911	2.049	1.858	1.752	1.744	1.711	1.908	1.860
NA	0.805	0.800	0.914	0.719	0.484	0.523	0.907	0.977	0.758	1.273	0.695	0.775	0.646	0.691	0.677	0.582	0.665	0.638
K	0.088	0.096	0.075	0.018	0.013	0.025	0.033	0.041	0.037	0.020	0.042	0.197	0.057	0.034	0.036	0.043	0.031	0.053
Mg/(Mg+FE)	0.574	0.552	0.572	0.654	0.632	0.606	0.510	0.482	0.517	0.474	0.533	0.501	0.492	0.543	0.564	0.564	0.557	0.561

— leurs plagioclases légèrement plus basiques ;

— l'absence totale de clinopyroxène.

Nous précisons enfin que les échantillons des faciès (2M) et (2P) présentent des caractères pétrographiques intermédiaires et montrent un passage progressif entre les deux faciès extrêmes (1) et (3).

## ETUDE MINÉRALOGIQUE

### Les amphiboles

Les données analytiques sont portées sur le tableau II. Les formules structurales sont calculées à la base de 23 ( $O^{2-}$ ) selon la méthode préconisée par LEAKE (1978).

Dans la nomenclature de ce même auteur :

— les amphiboles des faciès éloignés du granite (1M et 1P) correspondent à des Ferroan-pargasites et des hornblendes Ferroan-pargasitiques ;

— les amphiboles des faciès de contact (3M et 3P) correspondent à des hornblendes magnésiennes et des hornblendes édénitiques.

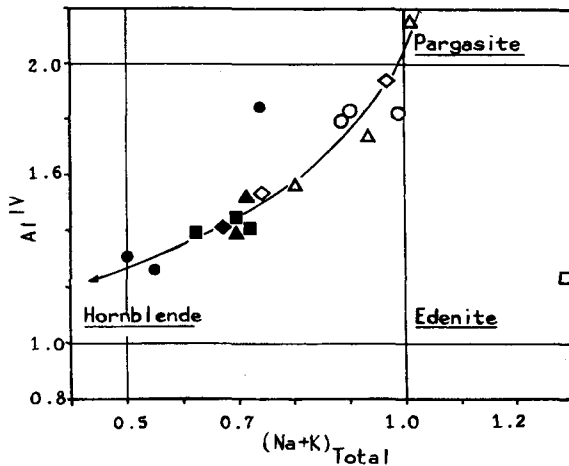


Figure 4 : Distribution des amphiboles des "roches vertes" d'Azegour dans le diagramme  $Al^{IV}$  -  $(Na + K)_{Total}$

Le diagramme de la figure 4 révèle une corrélation positive entre  $Al^{IV}$  et  $(Na + K)_{total}$  de ce minéral. Les différents points s'étalent d'une manière continue entre le pôle pargasite et le

pôle hornblende. Cette évolution chimique peut s'expliquer en terme des deux substitutions suivantes :

- $Si^{+} ( ) A \rightleftharpoons Al^{IV} + Na (A)$  : substitution édénitique ;
- $Si + Mg \rightleftharpoons Al^{IV} + (Al^{IV} \text{ ou } Fe^{3+})$  : substitution tschermakitique.

Les facteurs responsables de ces variations sont nombreux et différents selon les auteurs ; composition de la roche, pression, température, fugacité d'oxygène, etc... Une discussion dans ce sens sera menée ci-dessous.

### Les plagioclases

Les quelques analyses faites sur les plagioclases montrent, sur le diagramme Orthose-Albite-Anorthite (fig. 5), que la basicité moyenne de ceux du faciès (1) est légèrement plus élevée que celle des plagioclases du faciès de contact.

L'aspect en baguettes squelettiques, riches en grains d'épidote, ou en cristaux de forme polygonale attestent de l'origine métamorphique de ces plagioclases et leur recristallisation à partir du même minéral, mais de basicité plus élevée. La présence de quelques reliques d'un plagioclase basique (P18 = An 86) appuie cette hypothèse.

### Les clinopyroxènes

La projection des compositions de ces clinopyroxènes sur la classification de POLDER-VAART et HESS (1951) (fig. 6) les situe dans le champ des salites. Le léger glissement de certains points vers le domaine de la wollastonite serait lié à la richesse relative, de ce minéral, en Ca par rapport à Mg et Fe. Ce problème est assez souvent posé pour les clinopyroxènes calciques.

Selon les travaux expérimentaux de MOODY et al. (1983), ces salites seraient, par leurs caractères texturaux et par leur chimisme (richesse en Ca et pauvreté en Ti) d'origine métamorphique.

### Le mica noir

Les teneurs très élevées, de ce minéral, en Mg (4 atomes par formule unité) le situe dans le champ de la phlogopite sur la classification de FOSTER (1960). Sa richesse en  $Al_2O_3$  (18 à 20%)

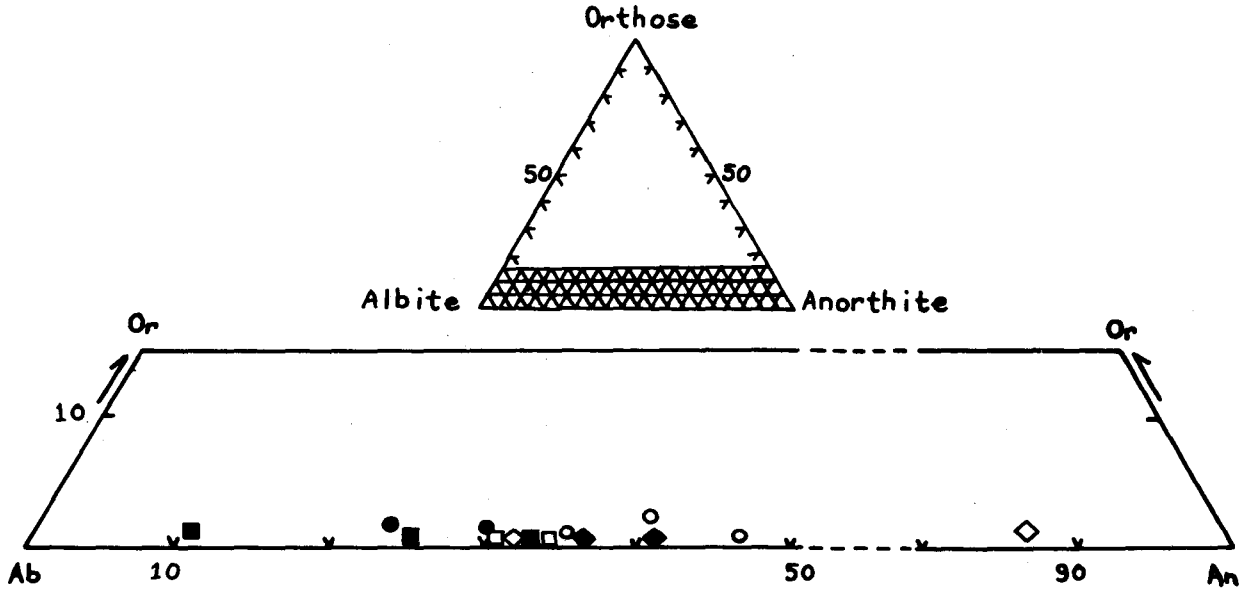


Figure 5 : Plagioclases des "roches vertes" d'Azegour dans le diagramme Albite-Orthose-Anorthite.

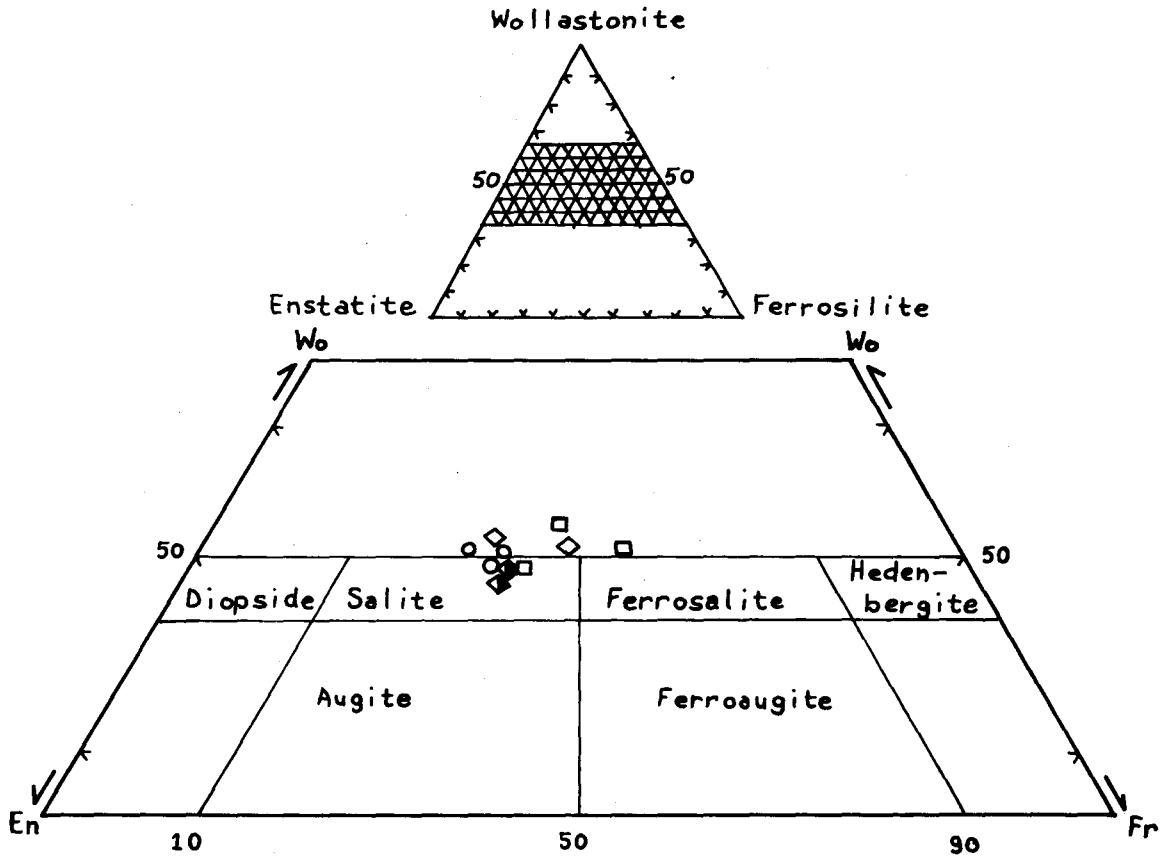


Figure 6 : Pyroxène des "roches vertes" d'Azegour dans le diagramme Ca-Fe-Mg de POLDEVAART et HESS (1951).

Tableau III : Analyses chimiques et normes CIPW des "roches vertes" d'Azegour (Analyste : R. MONTANARI - Université de Nancy I).

ANALYSE	Coulée massive			Coulée à pillow - lavas								
	○	●	●	△	□	◇	▲	■	◆	▲	■	◆
	1M	2M	3M	1E	1C	1I	2E	2C	2I	3E	3C	3I
SiO <sub>2</sub>	45.26	49.31	47.57	39.93	51.66	45.48	45.79	53.84	39.31	43.57	53.93	47.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.07	13.69	14.48	13.14	13.61	13.57	12.25	13.49	12.80	11.66	13.86	13.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> †	14.45	12.16	11.96	17.61	10.27	10.40	15.24	9.75	16.88	17.12	10.43	13.11
MnO	0.21	0.21	0.18	0.22	0.16	0.19	0.21	0.17	0.22	0.25	0.20	0.16
MgO	8.68	5.50	8.28	9.84	5.02	5.76	9.01	5.24	8.12	10.59	6.46	7.09
CaO	11.40	9.96	10.35	12.35	10.53	16.87	10.49	9.18	16.11	9.03	7.42	11.96
Na <sub>2</sub> O	2.19	4.04	2.82	2.64	4.68	1.09	3.12	4.90	1.27	2.34	4.98	3.05
K <sub>2</sub> O	0.34	0.30	0.29	0.39	0.30	1.50	0.31	0.16	0.20	1.04	0.11	0.30
TiO <sub>2</sub>	2.46	2.01	2.17	2.64	1.96	1.97	1.98	1.94	2.03	2.35	2.03	2.06
P.F.	0.86	1.08	1.02	0.85	0.63	2.16	0.94	0.89	2.00	1.61	0.79	0.76
TOTAL	98.92	99.26	99.12	99.61	98.82	98.99	99.34	99.56	98.94	99.56	100.21	99.04
QUARTZ	0.72	0.48	1.20	0.00	1.14	0.60	0.00	3.91	0.00	0.00	4.21	0.36
ORTHOSE	2.23	1.67	1.67	2.23	1.67	8.91	1.67	1.11	1.11	6.12	0.00	1.67
ALBITE	18.36	34.09	23.60	14.03	39.86	9.44	26.22	41.43	6.82	19.93	41.96	25.70
ANDRTHITE	24.76	18.36	26.15	22.81	15.02	27.54	18.64	14.19	28.93	18.08	15.58	21.98
DIOPSIDE	18.62	19.49	14.51	23.39	24.04	30.97	21.22	19.71	34.87	15.38	11.69	23.82
HYPERSTHENE	12.95	7.13	13.86	0.00	1.41	0.00	5.82	3.92	0.00	7.63	10.64	6.63
WOLLASTONITE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OLIVINE	0.00	0.00	0.00	9.57	0.00	0.00	4.78	0.00	2.81	8.16	0.00	0.00
NEPHELINE	0.00	0.00	0.00	4.62	0.00	0.00	0.00	0.00	1.99	0.00	0.00	0.00
SPHENE	0.53	0.42	0.46	0.00	0.44	0.42	0.42	0.42	0.00	0.48	0.42	0.46
PEROWSKITE	0.00	0.00	0.00	4.08	0.00	0.00	0.00	0.00	2.99	0.00	0.00	0.00
ILMENITE	0.46	0.46	0.46	0.00	0.30	0.46	0.46	0.30	0.46	0.61	0.46	0.30



serait pour son origine métamorphique (GAGNY, 1968). La présence exclusive de ce minéral au niveau des faciès (3) où il montre une étroite association avec l'amphibole pourrait indiquer sa cristallisation au dépens de ce dernier sous l'effet du métamorphisme de contact induit par le granite d'Azegour.

### APERÇU GEOCHIMIQUE

Le chimisme global de ces roches (tabl. III) marque leur caractère basique ( $\text{SiO}_2 = 40$  à  $50\%$ ) et leur sous saturation en silice (quartz normatif  $< 5\%$ ).

L'observation détaillée montre des variations assez importantes d'une part entre les différents échantillons de la roche massive et d'autre part entre les différentes parties d'un même pillow-lavas.

Admettant le caractère "stable" de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  et  $\text{MgO}$  au cours des processus d'altération et du métamorphisme (BESSON & FONTEILLES, 1974 ; FLOYD & WINCHESTER 1978, BEBIEN & al., 1980 ; FINLOW & STUMPFL, 1981), ces variations peuvent être attribuées à des phénomènes de différenciation magmatique.

La dérive géochimique révélée au sein de la roche massive serait principalement liée à une cristallisation fractionnée suivie d'une décantation des premiers minéraux formés : l'échantillon (1M) provient de la base de la coulée, où les minéraux ferro-magnésiens sont abondants ; les deux autres (2M) et (3M) correspondent respectivement au milieu et au sommet de cette coulée.

La structure en pillow-lavas de la deuxième coulée atteste particulièrement sa mise en place subaquatique. La forme en "coussin" est due à l'action conjointe de la pression d'eau et d'un refroidissement rapide (RITTMANN, 1958). A ce mode de mise en place sont souvent liées les zonations structurales et chimiques rencontrées au sein des pillow-lavas (VUAGNAT, 1949 ; MOORE, 1965 ; PETERLONGO, 1970 ; MEVEL, 1975).

Le diagramme  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{FeO}$ - $\text{MgO}$  de BESSON et FONTEILLES (1974) (fig. 7) révèle la distribution des différentes analyses le long d'une droite réglée sur des variations de l'alumine pour un rapport  $\text{FeO}/\text{MgO}$  presque constant. Les points figuratifs des cœurs et des écorces des pillow-lavas se situent de part et d'autre de ceux de la roche massive. Un essai de calcul de la composition chimique moyenne de l'ensemble du

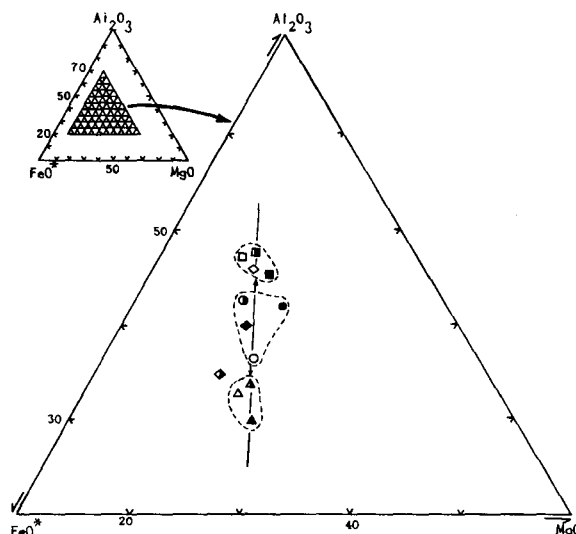


Figure 7 : Différents échantillons des "roches vertes" sur le diagramme  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{FeO}$  -  $\text{MgO}$  de BESSON et FONTEILLES (1974).

"coussin", tenant compte des propositions volumiques des différentes zones, a donné un bilan chimique voisin de celui de la coulée massive.

Pour ces pillow-lavas, la dérive géochimique existant entre le cœur et l'écorce est probablement liée à des migrations d'éléments chimiques par diffusion au moment du refroidissement rapide de la lave. Toutefois les deux roches seraient par leur chimisme global

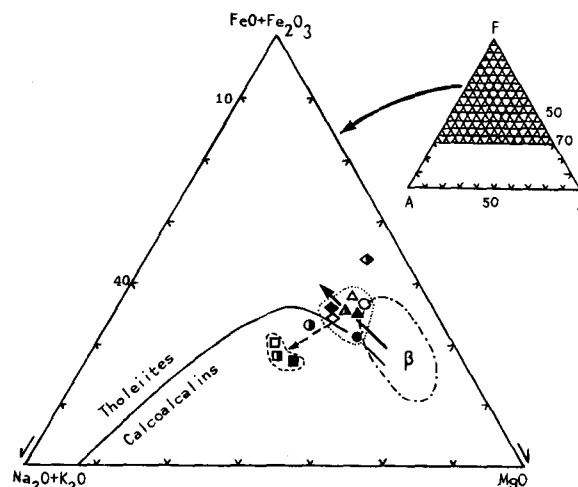


Figure 8 : "roches vertes" d'Azegour sur le diagramme A  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{F}(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{M}(\text{MgO})$ . B : champ de basalte initial.

presque identique et par leur étroite association spatiotemporelle issues d'un même magma d'origine.

L'utilisation du diagramme AFM (fig. 8) montre d'une part le caractère primitif, c'est à dire peu évolué, du liquide magmatique au moment de sa mise en place et d'autre part son début d'évolution avec un net enrichissement en fer (fenner trend) caractéristique d'une lignée tholéitique.

## CONCLUSION

Par leur pétrographie et leur chimisme ces roches correspondent à des orthoamphibolites. Les associations minérales des faciès situés à la même distance du granite sont identiques pour les deux coulées :

— au contact du granite, nous avons une cornéenne à hornblende magnésienne, oligoclase basique, phlogopite et ilménite ;

— loin du granite, les textures magmatiques (T. arborescente - T. microdoléritique) sont partiellement conservées. La paragenèse se compose d'amphibole pargasitique, andésine, salite et ilménite.

Le liquide magmatique parent de ces deux roches est le même et se caractérise par son état primitif au moment de son expression et par son début d'évolution suivant une tendance tholéitique. Les conditions de sa mise en place sont responsables de la différence de structure entre les deux coulées. Enfin les variations géochimiques rencontrées dans ces dernières sont principalement d'origine magmatique.

## METAMORPHISME

### INTRODUCTION

Deux populations d'amphiboles sont ainsi distinguées :

— une population d'amphibole riche en composant pargasitique. Celle-ci compose avec l'andésine, la salite et l'ilménite la paragenèse du faciès noté (1), situé à 240 m du contact visible avec le granite ;

— une population d'amphibole riche en composant hornblende ; celle-ci forme avec l'oligoclase basique, la phlogopite et l'ilménite, la paragenèse du faciès (3), situé au contact du granite.

Partant du chimisme de ces amphiboles et à la lumière des travaux expérimentaux de SPEAR (1980 et 1981) nous présenterons, ci-dessous, une discussion des conditions physico-chimiques d'évolution métamorphique de ces amphibolites d'Azegour.

## VARIATIONS DE LA COMPOSITION DES AMPHIBOLES

La composition chimique des amphiboles calciques est fonction de nombreux facteurs : composition de la roche hôte (LEAKE, 1964 ; de WAARD, 1967 ; BARD, 1970) conditions  $P_{H_2O}$  - T (SHIDO et MIYASHIRO, 1959), fugacité d'oxygène ( $fO_2$ ) (ERNST et SEMET, 1975 ; SPEAR, 1976) et P-T- $fO_2$  (SPEAR, 1980 et 1981).

Les courbes d'autocorrelation entre les faciès (1) et (3) établies pour les différents éléments et les divers échantillons n'ont montré aucune relation nette entre la variation du chimisme de l'amphibole et celle de la roche hôte. L'influence de ce premier facteur pourra ainsi être tenu pour négligeable.

Les graphes de la figure 9 A, B et C révèlent la présence de relations bien définies entre certains cations des amphiboles du faciès (1) et du faciès (3).

Sur le diagramme  $Al^{VI}/(Al^{VI} + Fe^{3+} + Ti) - Mg/(Mg + Fe^{2+})$  (fig. 9A), les individus du faciès (1) apparaissent nettement plus riches en aluminium octaédrique que ceux du faciès (3).

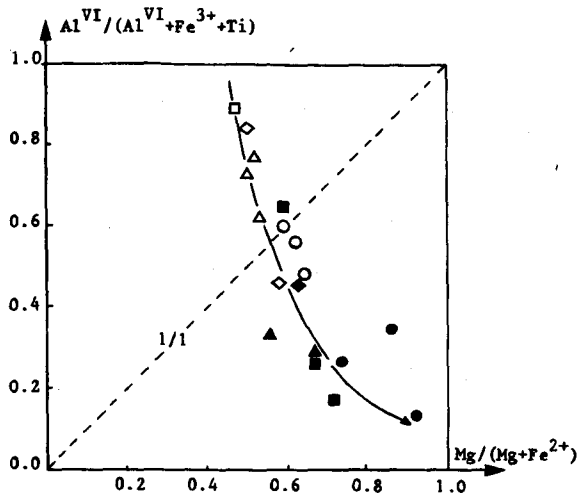
Les variations du magnésium sont par contre très faibles.

Le diagramme Ti -  $(Na + K)_{total}$  (fig. 9B) révèle la richesse relative en alcalins et en titane des amphiboles (1) par rapport aux amphiboles (3).

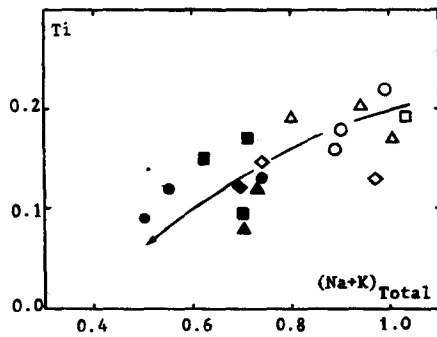
Le diagramme  $Fe^{3+} - Fe^{2+}$  (fig. 9C) montre l'enrichissement en fer ferrique et l'appauvrissement corrélatif en fer ferreux en allant vers les amphiboles situées au contact du granite.

Avant d'aborder l'analyse de ces variations et leur interprétation il nous semble utile de rappeler les résultats des travaux expérimentaux de SPEAR (1981) sur la stabilité et la variation des compositions des amphiboles en fonction des conditions T-P- $fO_2$  de leur formation. L'auteur a pu montrer que :

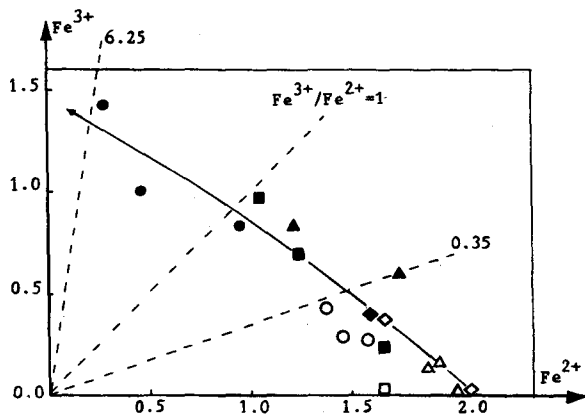
— pour une pression de fluide constante et un tampon de  $fO_2$  donné, l'amphibole s'enrichit en Na - K - Ti et Al et s'appauvrit en Si avec



A



B



C

Figure 9 Evolution du chimisme des amphiboles des "roches vertes" d'Azegour sur les diagrammes.  
 A :  $\text{Al}^{\text{VI}} / (\text{Al}^{\text{VI}} + \text{Fe}^{3+} + \text{Ti}) - \text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$   
 B :  $\text{Ti} - (\text{Na} + \text{K})_{\text{Total}}$   
 C :  $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$

l'augmentation de la température ;

— la même tendance se produit avec une diminution de  $f\text{O}_2$  pour une pression et une température constante ;

— le taux d'aluminium octaédrique et d'aluminium total augmente avec l'augmentation de la pression de fluide ;

— les rapports  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Mg}/\text{Fe}$  des amphiboles augmentent avec l'élévation de la  $f\text{O}_2$ .

Selon ces résultats expérimentaux, deux hypothèses peuvent être émises pour expliquer l'évolution du chimisme de nos amphiboles (cf. Tabl. IV).

Tableau IV : Sens d'évolution des compositions des amphiboles des faciès (1) et (3). Les données correspondent à des moyennes des amphiboles de la coulée massive.

Faciès	1M	3M
$\text{SiO}_2$	41.41	45.09
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.93	11.09
$\text{Na}_2\text{O}$	2.91	2.06
$\text{K}_2\text{O}$	0.45	0.10
$\text{TiO}_2$	1.67	1.05
$\text{Al}^{\text{VI}}$	0.637	0.400
$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	0.233	2.834
$\text{Mg} / \text{Fe}$	1.303	1.720

1°) les amphiboles du faciès (1) ont dû évoluer sous une même pression et une même fugacité d'oxygène mais sous des températures nettement plus élevées que celles des amphiboles du faciès (3) ;

2°) les amphiboles du faciès (3) ont dû évoluer sous une même température mais sous une fugacité d'oxygène nettement plus élevée que celles des amphiboles du faciès (1).

Partant de la première hypothèse, nous serions amenés à admettre la nature rétrograde du métamorphisme de contact du granite d'Azegour et à limiter son effet à quelques dizaines de mètres. Or, d'après les travaux antérieurs sur cette région, l'auréole de métamorphisme de contact de ce granite s'étend sur plus de 1,5 km.

Cette première hypothèse est ainsi rejetée. La variation des rapports  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  et  $Mg/Fe$  indiquant une évolution sous des conditions de  $fO_2$  variables serait par contre en faveur de la deuxième hypothèse.

Ainsi nous supposons qu'au niveau du faciès (1) la température et la pression apportées par le granite ont dû rééquilibrer la paragenèse existante en une paragenèse à amphibole pargasitique. Au niveau du faciès (3), les mêmes températures et pressions auxquelles s'ajoute une phase fluide assez abondante, ont donné une deuxième paragenèse à hornblende magnésienne. Les deux populations d'amphiboles et par conséquent les deux associations minérales observées dans les faciès (1) et (3) seraient liées à une même phase métamorphique : le métamorphisme de contact du granite d'Azegour.

## APPROCHE DES CONDITIONS P-T- $fO_2$ D'EVOLUTION DU METAMORPHISME.

Avec toutes les précautions d'usage nous avons essayé de fixer, par différents moyens, l'ordre de grandeur des trois principaux facteurs qui ont dû contrôler l'évolution métamorphique de ces amphibolites.

— La pression : Elle peut être estimée voisine de celle de mise en place du granite d'Azegour (EL AMRANI EL HASSANI, 1984), donc assez faible de l'ordre de 1,5 à 2 Kbar.

— La température : SPEAR (1980) a établi une relation entre la teneur en anorthite du plagioclase et le taux d'occupation du sodium dans le site M4 de l'amphibole. Les diagrammes de la figure 10 tracent l'évolution des compositions des deux minéraux pour différentes étapes d'un métamorphisme croissant.

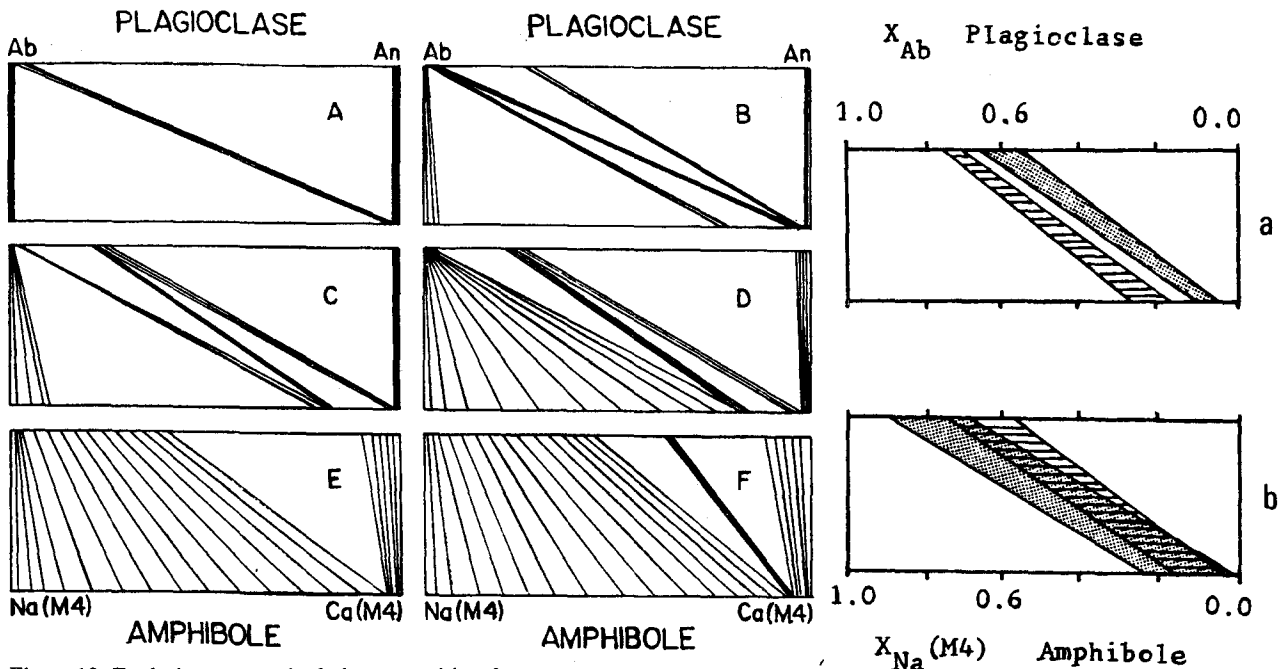


Figure 10 : Evolution comparée de la composition des associations amphiboles-plagioclase dans des conditions de métamorphisme croissant (d'après SPEAR, 1980). A-B-C : partie inférieure moyenne et supérieure du faciès schiste vert. D : transition faciès schiste vert-amphibolite ; E : Faciès amphibolite ; F : faciès granulite (ou zone à sillimanite).

Par comparaison, les associations des faciès (1) et (3) (fig. 11) s'approchent de celles du faciès amphibolite (E). Le diagramme Log-Log (fig. 12) proposé par le même auteur comme géothermomètre des équilibres d'échange entre amphibole et plagioclase indique, pour ces

Figure 11 : Composition des associations amphibole-plagioclase des "roches vertes" d'Azegour a : coulée massive ; b : coulée en pillow-lavas ; En pointillés : faciès (1) ; En hachurés : faciès (3).

amphibolites d'Azegour, un intervalle de température de cristallisation compris entre  $530 \pm 20$  et  $650 \pm 25^\circ C$ .

— La fugacité d'oxygène : pour des températures moyennes de l'ordre de  $650^\circ C$ , la rareté

des cristaux d'hématite et l'absence de sphène situent la fugacité d'oxygène maximale à la limite des domaines définis par les tampons Q.F.M (quartz-fayalite-magnétite) et H.M (hématite-magnétite) (SPEAR, 1981).

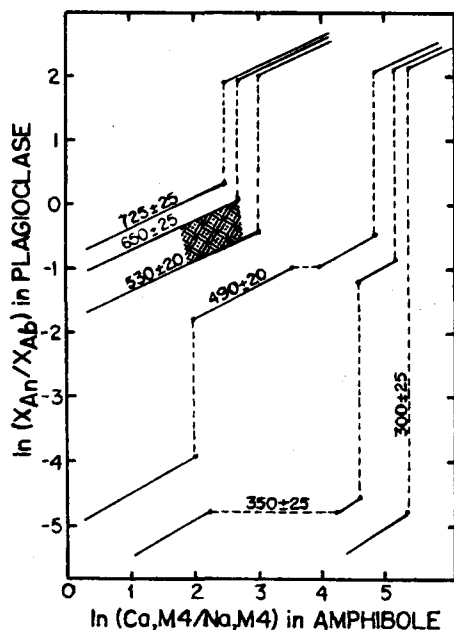


Figure 12 : Modèle empirique proposé par SPEAR (1980) pour estimer les températures d'équilibre des échanges entre amphibole et plagioclase. En pointillées : domaine des températures, probables, d'évolution des paragenèses des "roches vertes" d'Azegour.

## CONCLUSION

Partant des travaux expérimentaux sur la stabilité des amphiboles, les paragenèses correspondant à nos amphibolites seraient en rapport avec une même phase métamorphique : le métamorphisme de contact du granite d'Azegour. L'ensemble de l'ancien massif basaltique a dû, ainsi évoluer sous les mêmes températures (530 à 650°C), les mêmes pressions (1,5 à 2 kb) mais sous des conditions de fugacité d'oxygène ( $fO_2$ ) très différentes :  $fO_2$  beaucoup plus élevée dans les faciès de contact (1) que dans les faciès éloignés (3).

Une phase fluide peu abondante et certainement liée au pluton granitique pourrait expliquer la variation progressive et rapide de la fugacité d'oxygène enregistrée par ces paléobasaltes.

## CONCLUSION GENERALE

Les variations, aussi bien structurales (coulée massive, coulée en pillow-lavas) que chimique (zonation des "coussins"... ) observées au sein du massif de paléobasaltes sont liées aux conditions de mise en place de leur matériel magmatique. Celui-ci est le même pour l'ensemble des coulées et se caractérise par son état primitif (peu évolué) au moment de son expression et par sa tendance tholéitique.

Ces anciens basaltes ont été métamorphisés par le granite d'Azegour. Deux associations minérales extrêmes ont été distinguées :

- une paragenèse de contact composée d'hornblende magnésienne-oligoclase basique-phlogopite-ilménite ;

- une paragenèse éloignée constituée d'amphibole pargasitique-andésine-salite-ilménite. L'interprétation de ces observations nous a permis de remonter aux conditions physico-chimiques d'évolution de ces roches basiques. En effet ces derniers ont dû se transformer en amphibolites sous les mêmes conditions de température (530 à 650°C) et les mêmes pressions (1,5 à 2 kb) mais sous des fugacités d'oxygène croissantes vers les faciès de contact avec le granite.

## Remerciements

Les analyses chimiques de la roche totale et des minéraux ont été effectuées aux Laboratoires de la Faculté des Sciences de Nancy I. Le traitement des données a été effectué sur microordinateur Apple II à l'aide de programmes établis par les chercheurs du Laboratoire de Pétrologie Structurale et Métallogénie - Nancy I. dirigé par le Professeur Claude GAGNY. Que toutes les personnes qui m'ont facilité la réalisation de ce travail trouvent ici l'expression de mes plus vifs remerciements.

## REFERENCES

BARD J.P., (1970). - Composition of hornblendes formed during metamorphism of the Aracena metamorphic belt. *Contrib. Mineral.* 28, pp. 117-134.

BEBIEN J.; GAGNY Cl. et ROCCI G., (1980). - La place du

volcanisme dévonodinantien dans l'évolution magmatique et structurale de l'Europe moyenne varisque au paléozoïque. 25<sup>ème</sup> Congr. Géol. Int. Paris. Coll.C.6, Thème 3, pp.213-225.

- BESSON M. et FONTEILLES M., (1974). - Relations entre les comportements contrastés de l'alumine et du fer dans la différenciation des séries tholéitiques et calco-alkalines. Bull. Soc. Fran. Miner. Crist. 97, pp.445-449.
- DEER W.A.; HOWIE R.A. et ZUSSMAN J., (1976). - An introduction to the rockforming minerals. 9ème Ed. Logman. London, 528 p.
- EL AMRANI E.I., (1984). - Contribution à l'étude pétrologique, minéralogique, et de pétrologie structurale des formations de la région d'Azegour (Haut Atlas-Maroc). Thèse de 3ème cycle. Univ. Nancy I, 210p.
- ERNST W.G. et SEMET M., (1975). - Influence de la fugacité d'oxygène sur la stabilité de la magnésiohastingsite synthétique. 3ème R.A.S.T., Montpellier, p.134.
- FINLOW B.T. et STUMPFL E.F., (1981). - The behaviour in hydrothermally altered rocks associated with volcanogenic submarine-exhalative ore deposits. *Minerla. Deposita*, 16, pp. 319-328.
- FLOYD P.A. et WINCHESTER J.A., (1978). - Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rock using immobile elements. *Chem. Geol.*, 21, pp.291-306.
- FOSTER M.D., (1960). - Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *Geol. Survey Profess. Paper*. 354 B, 49 pp.
- GAGNY Cl., (1960). - Pétrogenèse du granite des crêtes (Vosges méridionales-France). Thèse Doctorat d'Etat, Fac. Sci. Univ. de Nantes.
- LEAKE B.E., (1964). - The relationship between composition of calciferous amphiboles and grade of metamorphism. In: *Controls of metamorphism*, Oliver and Boyd, pp.229-318.
- LEAKE B.E., (1978). - Nomenclature of amphiboles. *Amer. Mineral.* Vol. 63, pp.1023-1052.
- MEVEL C., (1975). - Les "pillow-lavas" spilitiques des massifs ophiolitiques du Chenaillet et des Gets (Alpes Françaises). Thèse de 3ème cycle. Univ. Paris VI, 223p.
- MOODY B.J.; MEYER D. et JENKINS E.J., (1983). - Experimental characterization of the greenschist / amphibolite boundary in mafic systems. *Amer. Journ. Sci.* Vol. 283, n°1, pp.48-92.
- MOORE J.G., (1965). - Petrology of deep-sea basaltes near Hawaii. *Amer. Journ. Sci.* Vol.263, pp.40-52.
- NICOLAS A., (1966). - Etude pétrochimique des roches vertes et de leurs minéraux entre Dora-Maira et Grande Paradis (Alpes piémontaises). Thèse d'Etat, Fac.Sci. Grenoble.France (première thèse).
- PERMINGEAT F. (et BOURG P.), (1957). - Le gisement de molybdène, tungstène et cuivre d'Azegour (Haut Atlas). Etude pétrographique et métallogénique. Notes et Mém. Ser. Géol. Maroc, n°141.
- PETERLONGO J.M., (1970). - Pillow-lavas à bordure variolitique et matrice basique dans la série de la Brévenne (Rhône. Massif Central Français). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XII, n°2, pp. 190-194.
- POLDEVAART A et HESS H., (1951). - Nomenclature of clinopyroxène in the system Ca Mg Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> - Ca Fe Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> - Fe<sub>2</sub> Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. *Journ. of Geo.*, 52, 472 p.
- RITTMANN A., (1958). - Il meccanismo di formazione delle lave a pillow die cosiddetti tufi palagonitici. *Boll. Sci. Nat. Catania*, 4, pp. 311-318. (in MEVEL C. 1975).
- SCHAER J.P., (1964). - Volcanisme Cambrien dans le massif ancien du Haut Atlas occidental. *C.R.Acad. Sci. Paris*, t.258, groupe 9, pp. 2114-2117.
- SPEAR F.A., (1976). - Ca amphibole composition as a fonction of temperature, fluid pressure and oxygen fugacity in a basaltic system. *Carnegie Inst. Washington year*. 75, pp. 775-779.
- SPEAR F.S., (1980). - Nasi-Ca Al exchange equilibrium between plagioclase and amphibole: an empirical model. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 72, pp.33-41.
- SPEAR F.S., (1981). - An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite. *Amer. Journ. Sci.*, Vol.281, pp.697-734.
- VON DER WEIDF., (1941). - Le gisement de molybdénite d'Azegour et la région de Guedmioua (Atlas de Marrakech, Maroc). *Lib. Univ. Genève*.
- VUAGNAT M., (1949). - Variolites et spilites. Comparaison entre quelques pillow-lavas britanniques et alpins. *Arch. Sci. Genève*, Vol.2, pp.224-236.
- WAARD (de) D., (1967). - The occurrence of garnet in the granulite facies terrane of Adirondacks Highlands and elsewhere: an amplification and a reply. *Journ. Petrol.*, 8,2, pp.210-232.

Article reçu le : 08.10.1986

**Adresse de l'auteur :**

Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI :  
Département de Géologie, Institut  
Scientifique, B.P. 703 Rabat-Agdal.