

**NOUVELLES CARACTERISATIONS PETROLOGIQUES ET
GEOCHRONOLOGIQUES DU GRANITE SUB-ALCALIN
POTASSIQUE D'AYAME, SUD-EST DE LA COTE D'IVOIRE**

Siédou TOURE^{1*}, Jean-Pierre PUPIN² et Robert YOBOU³

¹Laboratoire de Géosciences, UFR-SGE (Sciences et Gestion de l'Environnement),
Université d'Abobo-Adjamé, 02 BP 801 Abidjan 02. Côte d'Ivoire.

²Laboratoire de Pétrologie-Minéralogie, E.R. Stabilité et Réactivité des minéraux,
Université de Nice, Parc Valrose, 65000 cedex France

³SODEMI (Société pour le Développement Minier de Côte d'Ivoire).
01 BP 2816 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

(Reçu le 29 Janvier 2009, accepté le 13 Avril 2009)

* Correspondance et tirés à part, e-mail: siedoutou@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Les études récentes de pétrologie et de géochronologie sur le granite d'Ayamé ont précisé son caractère subalcalin potassique et un âge paléoprotérozoïque tardif de mise en place de 1950-1850 Ma ou Eburnéen. Cet âge le différencie des granites calco-alcalins de Bondoukou d'âge paléoprotérozoïque précoce de 2270-2140 Ma ou Burkinien. Les données géochimiques des éléments majeurs, couplées avec celles des Terres Rares et les résultats de la typologie du zircon accessoire, confirment l'affinité du granite d'Ayamé avec les granites alcalins et hyperalcalins de Ninakri, en Côte d'Ivoire. Ces résultats précisent au mieux, les analogies pétrogénétiques avec le granite de Tolla-Cauro en Corse (France), les « younger granites » du Nigeria, Niger et Cameroun.

Mots-clés : *pétrologie, géochronologie, subalcalin potassique, paléoprotérozoïque, Eburnéen, Burkinien et hyperalcalin.*

ABSTRACT

New characterizations of petrology and geochronology of Ayamé, potassic sub-alkaline granite East of Côte d'Ivoire.

Recent studies of Petrology and geochronology from Ayamé granite reported its potassic subalkaline character and a late paleoproterozoic age of 1950-1850 My or Eburnean. This age differentiates it from Bondoukou calcalkaline granites with early paleoproterozoic age of 2270-2140My or Burkinian. The

major elements from geochemical data coupled with those from Rares Earth elements and the results of the typology of the accessory zircon confirm Ayamé granite, alkaline and peralkaline Ninakri granites affinity in Côte d'Ivoire. These results indicate at best, petrogenetics analogies with Tolla-Cauro granite in Corsica (France), "younger granites" from Nigeria and Cameroon.

Keywords : *petrology, geochronology, potassic sub-alkaline, paleoproterozoic, Eburnean, Burkinian, and peralkaline.*

I - INTRODUCTION

Les caractérisations pétrologiques des granitoïdes de Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest ont été essentiellement basées sur les données géochimiques des éléments majeurs [1-5]. De même, les datations géochronologiques obtenues en Côte d'Ivoire et de façon générale en Afrique de l'Ouest, de 1960 à 1980, ont fourni des âges radiométriques essentiellement en âges conventionnels (AC) sur roches ou minéraux [6-14]. Par contre, l'utilisation des méthodes isochrones sur roches totales est assez récente ainsi que l'utilisation des données géochimiques des éléments traces et des Terres Rares [15-19]. Quant à l'utilisation de la méthode typologique du zircon accessoire, en Côte d'Ivoire, elle est simplement rare [20] [18] [19]. Au Maroc les travaux sur les granites hercyniens sont assez récents [21, 22]. En France, les résultats sont plus abondants avec les débuts des travaux des initiateurs de la méthode [23-27]. Ainsi, nos travaux récents de pétrologie et de géochronologie sur le granite d'Ayamé ont permis de préciser le caractère subalcalin potassique et un âge fini Paléoprotérozoïque par isochrone Rb/Sr sur 12 roches totales. L'âge éburnéen obtenu au sens Touré et collaborateurs en 1987 [15] et Lemoine et collaborateurs en 1990 [28], est de 1950-1850 Ma avec un taux initial du strontium $Sr_i = 0,70838 \pm 0,00359$ avec $MSWD = 3,2$ [19]. Ces ensembles granitiques d'Ayamé nous intéressent par la petite taille des batholites. Le granite de la carrière d'Ayamé, assez comparable par le caractère circonscrit, avait été préalablement caractérisé comme « Type Bondoukou ». En réalité l'âge et la nature pétrogénétiques diffèrent de ceux caractéristiques du massif de Bondoukou. Le premier de ces petits batholites que nous avons étudié, est situé dans l'unité d'Aboisso-Alépé au Sud-Est de la Côte d'Ivoire et affleure en grande partie dans la carrière d'Ayamé (**Figure 1**).

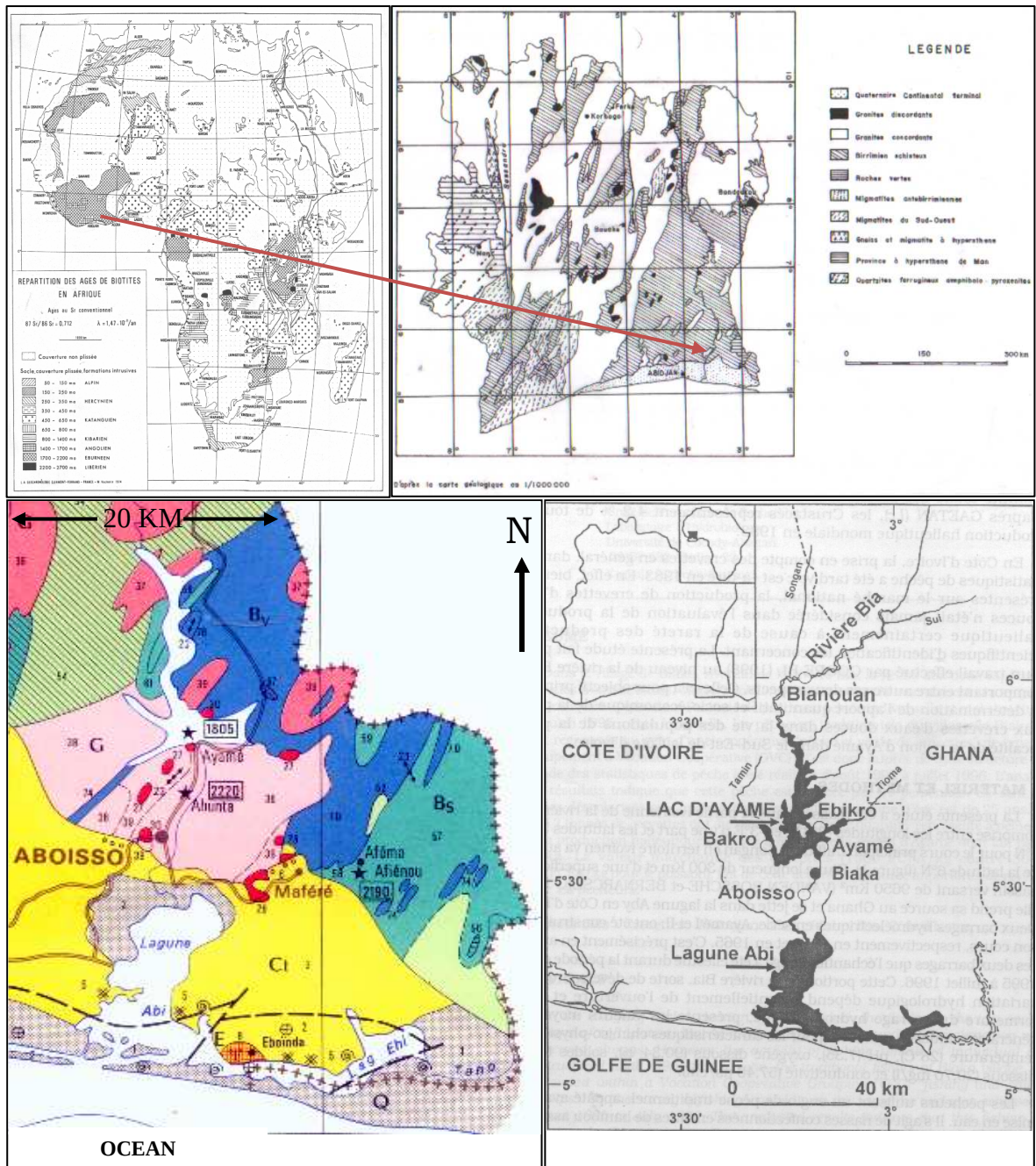


Figure 1 : Contexte géographique et géologique des petits pointements granitiques (rouge foncé) dans l'unité d'Aboisso [29].

Le granite d'Ayamé fait partie de nombreux petits massifs qui se succèdent de façon perlée et circulaire au sein du massif granitique d'Aboisso (**Figure 1**).

Les meilleurs affleurements sont offerts par la carrière d'Ayamé au nord-est d'Aboisso, avec ceux de Maféré à l'est ainsi qu'un petit pointement juste à l'Ouest d'Aboisso. Le granite d'Aboisso quant à lui, est presque centré sur le village d'Ahunata et recoupé par ces petits massifs. Le contexte volcano-plutonique proche est comparable à celui de Bondoukou et constitué de granitoïdes variés acido-basiques, dans un complexe volcano-plutonique et volcanoclastique (green stone belt) («Ceinture de roches vertes»).

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Echantillonnage

L'échantillonnage en vue de la datation par les méthodes Rb-Sr et Nd-Sm nécessite dans tous les cas la compétence d'un géologue. Ainsi, après la confection de lames minces de référence, les échantillons parfaitement sains, pour chaque faciès pétrographique ont été sélectionnés et l'élimination des patines d'altération superficielle et les souillures végétales éventuelles avec une scie au laboratoire.

II-2. Analyses géochimiques des roches

II-2-1. Broyage et porphyrisation

Les échantillons après un premier concassage au marteau, sont passés au broyeur à mâchoires. Le broyage peut se faire ensuite dans un broyeur à boules (ou à disques), lorsque les quantités à broyer sont importantes. Après une série d'opérations de quartage, le broyage sera finement réalisé dans un broyeur à anneaux (ou à billes). Enfin, certains échantillons destinés à des analyses spéciales, subissent une porphyrisation, qui est en fait un type de broyage fin à l'aide d'un mortier et un pilon en agate, pour éviter au maximum, les contaminations. Les poudres (fractions pulvérisées à moins de 200 meshes = 74 microns) seront enfin récupérées dans des tubes en plastique et expédiées au laboratoire d'analyses.

II-2-2. Analyses chimiques des éléments majeurs et des Terres Rares

Les analyses sont réalisées à l'aide d'un spectromètre standard, pour les 27 éléments Majeurs (SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 total- MnO - MgO - CaO - Na_2O - K_2O - P_2O_5 - TiO_2 -Perte) au feu à 1000°C et Traces (Ba-Be-Co-Cr-Cu-Ga-Nb-Ni-Rb-Sc-Sr-Tn-V-Y-Zn-Zr). En cas de compositions particulières pour lesquelles le programme spectrométrique serait en défaut, 13 éléments (SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 - FeO - MnO - MgO - CaO - Na_2O - K_2O - P_2O_5 - TiO_2 - CO_2 - H_2O totale) peuvent être analysés par voie humide. Les Terres Rares seront dosées au même titre que les traces (éléments dont la teneur dans les roches est souvent inférieure à 100 ppm).

De même qu'on les utilise en tant que outils pour la géochronologie, les Terres Rares sont utilisées pour la caractérisation géochimique, pétrogénétique et géodynamique des formations géologiques, à cause de leur grande stabilité. Les résultats de normalisation par rapport aux chondrites [30] font suite aux analyses avec les logiciels appropriés.

II-3. Analyses géochronologiques (procédure d'analyses au laboratoire)

La préparation chimique et les prédosages du Rb et Sr seront ensuite nécessaires par absorption atomique ou fluorescence X, ce qui permettra de choisir les échantillons qui favoriseront une meilleure répartition des points par rapport à l'abscisse du diagramme isochrone.

Cette pratique guidera aussi l'ajout d'étalon (ou spike) devant être mélangé à l'échantillon lors de la dilution isotopique, et fournira un contrôle des teneurs de Rb et de Sr mesurées plus tard au spectromètre de masse. Le Rb et le Sr seront ensuite extraits à partir d'une attaque fluo perchlorique. De 100 g de poudre environ, à laquelle sera ajoutée une solution mixte de rubidium et de strontium étalon (^{84}Sr enrichi à 99,89% et ^{87}Rb enrichi à 98%). Le Rb sera précipité sous forme de perchlorate et isolé par centrifugation. Le strontium sera purifié sur des colonnes de résines échangeuses d'ions. Les blancs de chimie sont couramment de l'ordre de 5 nanogrammes pour le strontium et inférieur au nanogramme pour le rubidium. Ce résultat peut être obtenu dans des laboratoires de chimie adaptés, maintenus en atmosphère filtrée et contrôlée, et par l'utilisation de réactifs très purs. Les échantillons ainsi traités seront ensuite analysés au spectromètre de masse AEI MS2S pour le rubidium et d'un VG isomass 54 E pour le strontium où l'ionisation est réalisée sur filament de tantale oxydé. La qualité des mesures sera vérifiée, tant par des analyses effectuées plusieurs fois, que par celles d'étalons externes, qui sont des échantillons dont on connaît parfaitement les caractéristiques isotopiques ou les teneurs en Rb et Sr.

Les points représentatifs des résultats expérimentaux seront reportés ensuite dans le diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$. Leur alignement graphique est calculé par la méthode des moindres carrées en utilisant le programme de Williamson [31] avec la constante de désintégration du rubidium ($\lambda^{87}\text{Rb} = 1,42 \times 10^{-11}/\text{an}$) et une erreur standard de 2% pour le rapport $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, et de 0,0001 pour le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Celui-ci a été normalisé pour $86/88=0,1194$.

L'analyse de CO_3Sr du Bureau des Standards (NBS 987) a donné sur le spectromètre de masse utilisé : $0,71021 \pm 0,00009$.

II-4. Méthode typologique du zircon accessoire (Pupin, 1976)

II-4-1. Indexation et caractéristiques essentielles

La classification typologique repose sur l'hypothèse que les formes cristallines du zircon constituent une réponse mathématique aux conditions du milieu de croissance. Il faut ajouter que les inclusions spécifiques riches en éléments

radioactifs et d'autres caractéristiques importantes des cristaux donnent des indications sur les conditions de cristallisation (température, pression, acidité, basicité, profondeur de mise en place, ...) des zircons dans les roches magmatiques et leurs conditions d'évolution dans les matériaux sédimentaires et volcano-sédimentaires.

Les indices des formes cristallines correspondent à un réseau quadratique centré (orientation structurale, Hartmann [32], Masson et Berry [33], (Figure 2) et diffèrent des indices basés sur un réseau quadratique à faces centrées (ancienne orientation morphologique) [34], orienté à 45° du précédent.

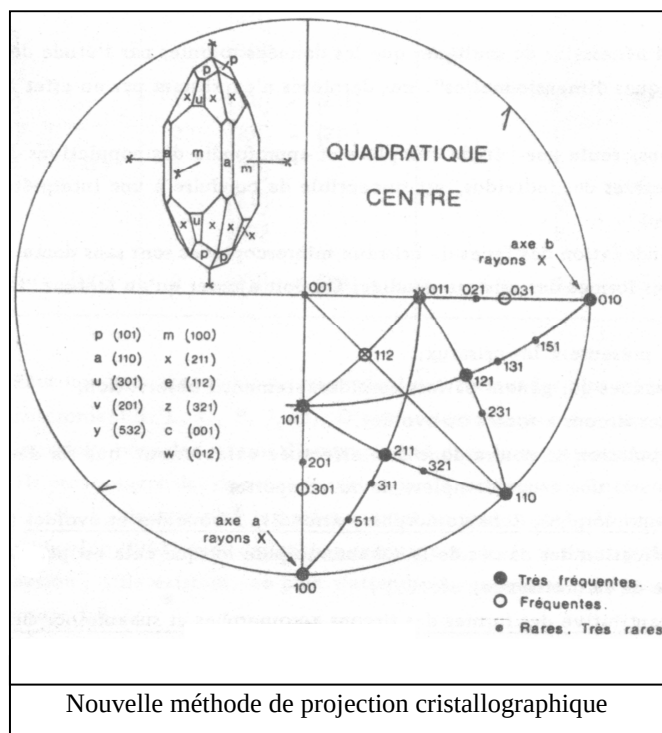


Figure 2 : Projection cristallographique des principales faces des cristaux de zircons naturels avec leurs fréquences relatives : Cas d'un réseau quadratique centré (orientation structurale).

II-4-2. Principe de la méthode typologique du zircon (Pupin, 1976)

II-4-2-1. Broyage

Les échantillons massifs (200 à 300 grammes) sont préalablement broyés (concassage) dans un broyeur à mâchoires et ensuite dans un broyeur à anneaux.

II-4-2-2. Tamisage

Le tamisage permet d'obtenir une fraction granulométrique comprise entre 50 et 160 microns, qui est conservée pour la suite des opérations.

II-4-2-3. Séparation densimétrique par le bromoforme

Chaque échantillon est placé dans une ampoule à décanter contenant le bromoforme. Les minéraux lourds de densité supérieure à celle du bromoforme, tombent au fond de l'ampoule et sont récupérés sur un filtre placé sur un entonnoir préparé à cet effet, en ouvrant le robinet. La fraction qui surnage et contenant les minéraux légers sera récupérée sur un autre filtre. On peut plus tard, si cela s'avère nécessaire, affiner la séparation densimétrique de la fraction contenant les minéraux lourds non magnétiques, à l'aide de l'iodure de méthylène.

II-4-2-4. Séparation électromagnétique de type FRANTZ-ISODYNAMIC

La séparation électromagnétique se fait progressivement, à l'aide d'un électroaimant de type Frantz-Isodynamic, dont l'intensité de l'ampérage est augmentée de OA à 1,7A. Pour les résidus des roches extrêmement riches en minéraux magnétiques, une utilisation de la méthode de séparation a lieu avec un aimant manuel, permettant de débarrasser l'échantillon, dans un premier temps, d'une quantité importante de ces minéraux magnétiques qui pourraient gêner énormément le déroulement de la séparation électromagnétique.

II-4-2-5. Montage des poudres de zircons entre lames et lamelles

La frange non magnétique obtenue ainsi à un maximum de 1,7 A, contenant les minéraux lourds (zircons, apatite, rutile, ...), est ensuite montée entre lames et lamelles dans du baume de Canada, pour être observée au microscope polarisant. Pour obtenir une fraction pure de zircons, il est nécessaire de passer ce résidu dans une ampoule contenant de l'iodure de méthylène, surtout en cas de besoin pour les datations par la méthode U/Pb sur zircons.

II-4-2-6. Détermination des types et sous-types de zircons au microscope polarisant

La définition d'un type correspond à la combinaison de certaines faces prismatiques et pyramidales. L'application de la méthode consiste à déterminer les types ou les sous-types contenus dans un échantillon, à partir de 100 cristaux entiers observés.

II-4-2-7. Calcul des indices A et T

Les deux indices A et T définissent donc la distribution moyenne d'une population de zircons homogène d'une même roche par un point de coordonnées

(I.A., I.T.), dans un diagramme ou peuvent en outre être représentés par leurs propres coordonnées (I.A., I.T.) les types principaux de la classification proposée (**Figure 3**).

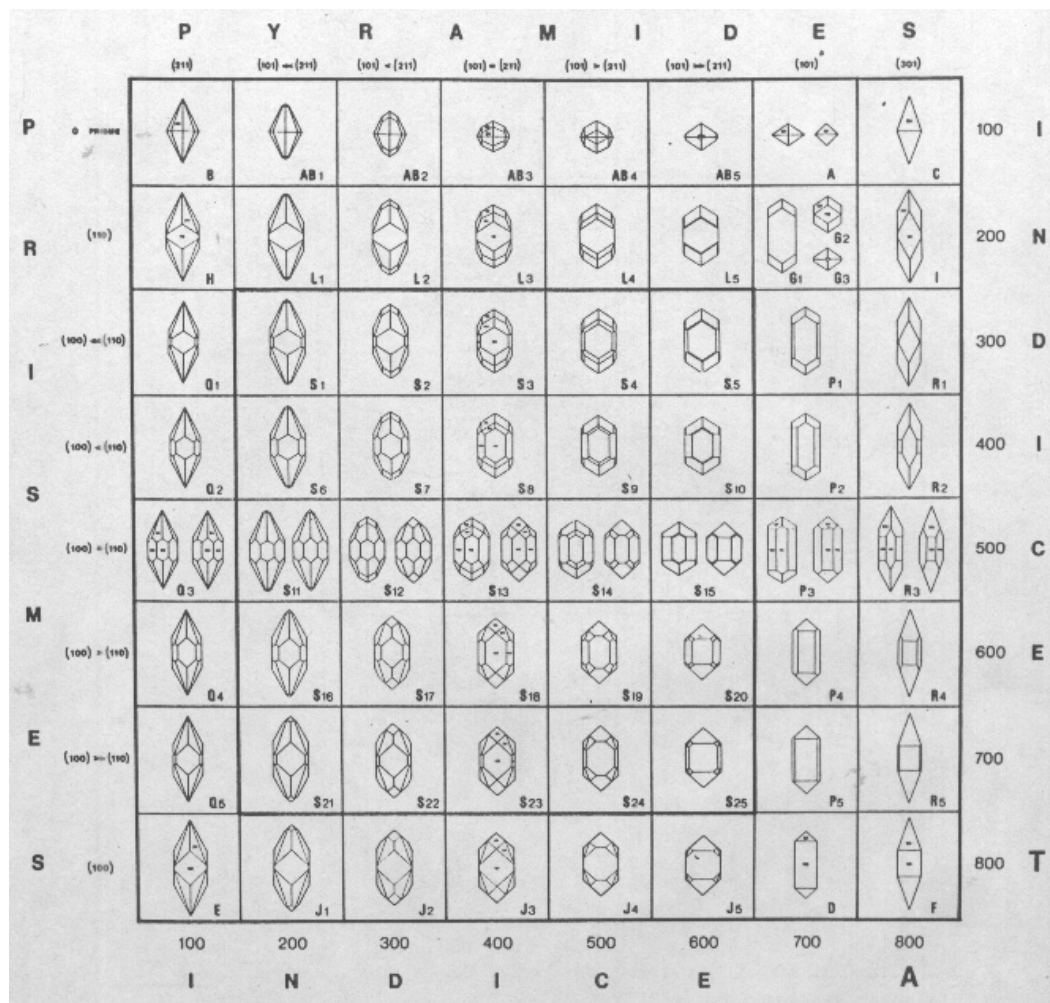


Figure 3 : Types et sous-types fondamentaux de la classification de Pupin et Turco [23] [24].

Ainsi tous les types et sous-types principaux sont affichés dans le diagramme de la classification [23]. Les types secondaires apparaissent subordonnés dans les populations naturelles de zircons de roches endogènes. Ils sont respectivement rattachés aux types principaux dont ils se déduisent par l'adjonction d'une ou plusieurs pyramides supplémentaires {301}, {112}, {321}, {311} et {511}.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Caractéristiques géologiques et descriptions pétrographiques

Le granite d'Ayamé est un granite gris clair à grain variable avec souvent des faciès aplitiques, pegmatitiques et microgrenus. La roche est parcourue par des filonnets grisâtres riches en amas de quartz bleuté très minéralisés surtout en pyrite et localisés dans des veines représentant de minuscules fractures. La composition est essentiellement formée de quartz, de plagioclase zone, de l'orthose très perthitique, du microcline et de l'amphibole. La biotite verte et le chlorite sont en amas autour de cristaux résiduels d'hastingsite. L'analyse modale du granite d'Ayamé donne 27,50% de quartz, 41,60% de feldspath potassique, 28,00% d'albite et 2,50% de ferromagnésiens. Les cristaux d'albite sont fréquents et une analyse modale effectuée donne 27,50% de quartz, 41,60% de feldspath potassique, 28% d'albite et 2,50% de ferromagnésiens (biotite et amphibole).

III-2. Les éléments majeurs

Les analyses des éléments majeurs (**Tableau 1**) montrent un taux de SiO₂ uniformément élevé, supérieure à 75%. De même, le taux du potassium reste constant et toujours supérieur à 4%, tandis que le taux de CaO, dans le granite d'Ayamé, se cantonne autour de 1%, quel que soit le faciès pétrographique concerné, le taux de potassium reste globalement supérieur à 3 %, en accord avec l'abondance du pourcentage modal de feldspath potassique (41,60%). L'échantillon (1) est un échantillon de dolérite qui recoupe le granité.

Tableau 1 : Analyses géochimiques des éléments majeurs des différents faciès pétrographiques du granite subalcalin potassique d'Ayamé.

Ech.	AY1	AY2	AY3	AY4	AY5	AY6	AY7	AY8	AY9	1
SiO ₂	76,5	77	76,5	76,3	76,3	75,3	76,9	75,7	76,3	48,9
Al ₂ O ₃	12,2	12,1	12,8	11,9	11,8	12,2	11,7	11,8	12	18
Fet	2,2	2	2,1	2,1	2,1	2,2	1,9	2,1	2,3	10,6
MgO	0,13	0,1	0,12	0,11	0,09	0,1	0,09	0,13	0,13	7,8
CaO	0,92	0,88	1,03	1,01	0,9	0,94	0,82	1,03	1,07	10,8
Na ₂ O	4,39	4,23	4,45	4,4	4,18	4,31	4,23	4,17	4,3	2,3
K ₂ O	3,11	2,91	2,89	3,4	3,28	3,53	3,42	3,37	3,37	0,45
TiO ₂	0,12	0,15	0,14	0,17	0,17	0,16	0,12	0,14	0,15	0,55
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05
MnO	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,2

Les différents diagrammes issus de l'exploitation des analyses, montrent le caractère homogène de ce granite et son caractère subalcalin potassique. En effet, le diagramme alcalin-silice de Kuno [35] place le granite dans le champ des granites alcalins et le diagramme R1-R2 de Batchelor et Bowden [36] place le granite dans le champ des granites post-orogéniques (6b) à la lisière des aires des granites anorogéniques (5) et syn-collisionnels (6a) (**Figure 4**).

De plus, les diagrammes K-Na-Ca et Q-Ab-Or montrent la position du granite à mi-chemin des lignées trondjhémittiques et calco-alcalines (**Figure 5**).

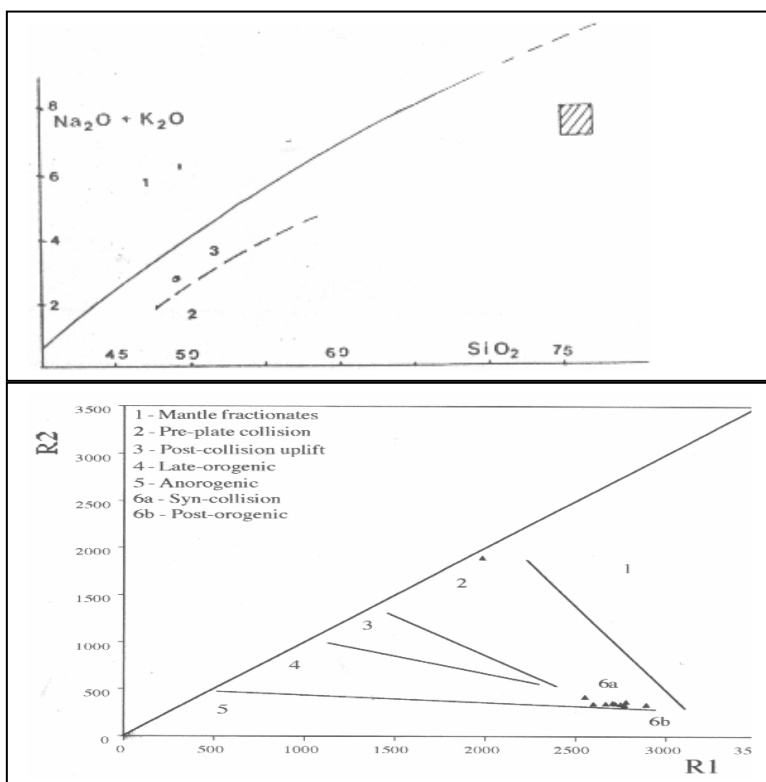


Figure 4 : Diagrammes alcalin-silice de Kuno [35] et R1-R2 de Batchelor et Bowden [36] des granites d'Ayamé.

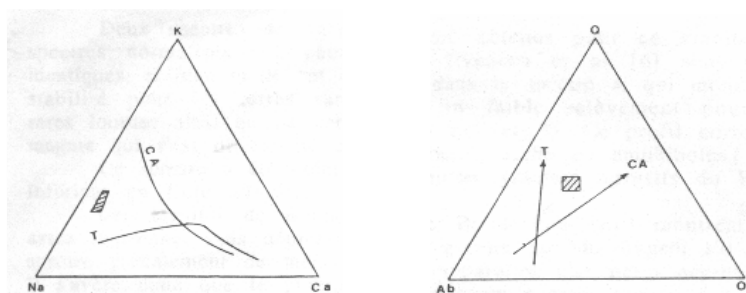


Figure 5 : Diagrammes K-Na-Ca et Q-Ab-Or (b) de Barker [37] dans le granite d'Ayamé.

Le diagramme Fe+Mg+Ti versus K- (Na+Ca) indique un déplacement vers le pôle tonalitebien que plus leucocrate (**Figure 6**).

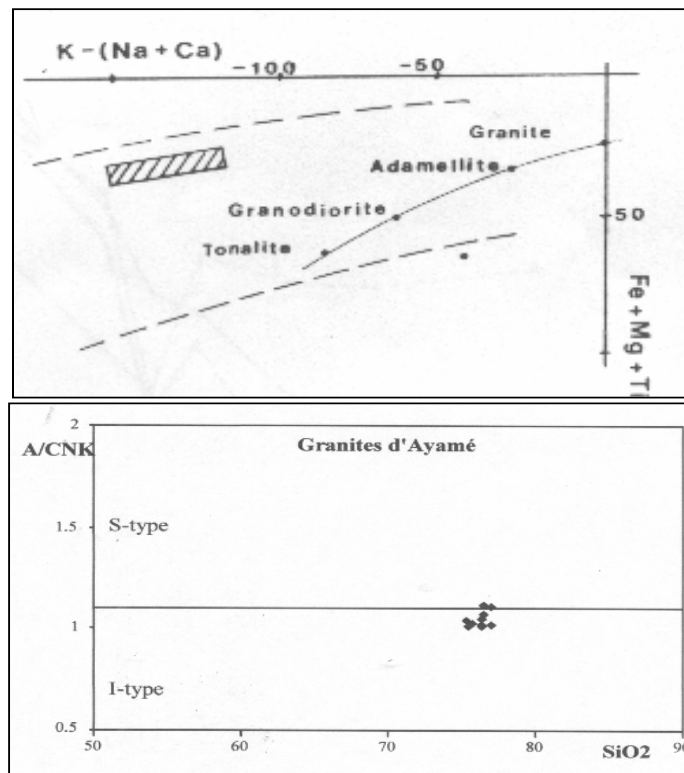


Figure 6 : Diagrammes $K-(Na+Ca)/Fe+Mg+Ti$ et S/I type White et Chapell [38] des granites d'Ayamé.

Les diagrammes S/I type de White et Chapell [38] montrent l'appartenance des granites d'Ayamé au type 1 (Igneous) (**Figure 7**).

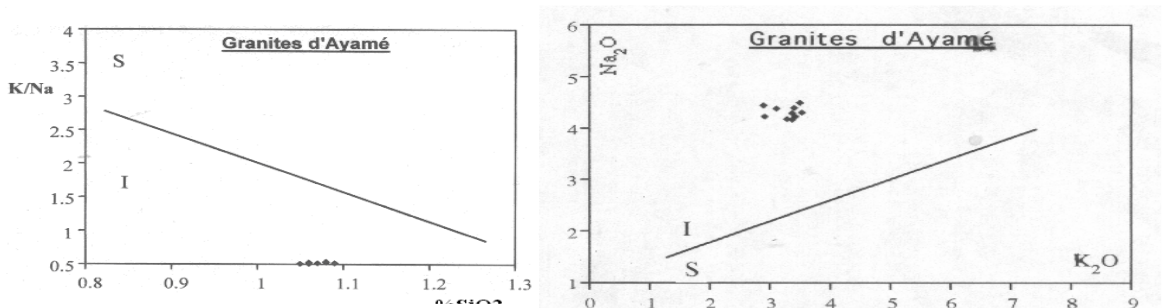


Figure 7 : Diagrammes S/I type White et Chapell [38] des granites d'Ayamé.

Le diagramme de Wright [39], place cependant le granite d'Ayamé dans le champ des granites alcalins (**Figure 8**).

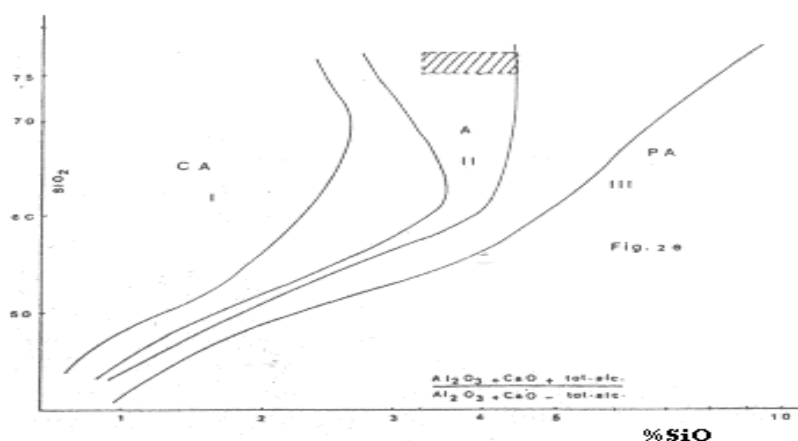


Figure 8 : Diagramme de Wright [39], montrant la position des granites d'Ayamé.

I : Domaine des compositions calco-alcalines. II : Domaine des compositions alcalines. III : Domaine des compositions percalines. Surface hachurée : Champ des compositions du granite d'Ayamé.

III-3. Les Terres Rares

Etudes comparatives des Terres Rares des granites d'Ayamé, Bondoukou, Ebikro, Siraodi et Ninakri.

Le **Tableau 2**, montre que les Terres Rares sont plus importantes dans les granitoïdes hyperalcalins de Ninakri, du moins dans le faciès grossier à pyroxène Ninal. Les valeurs du La (42 ppm à 152 ppm) (contre 32 ppm à 5 ppm, pour Bondoukou) sont nettement plus élevées dans les granitoïdes d'Ayamé, Ebikro, Ninakri et Siraodi. Les valeurs de Y (33 à 69 ppm) sont aussi plus élevées par rapport aux granitoïdes calco-alcalins (25 ppm à 4 ppm) de Bondoukou. Le constat est le même pour le Nd et le Ce, pratiquement pour l'Eu, avec une anomalie très prononcée et les Terres Rares totales STR sont nettement plus élevées dans les granites sub-alcalins d'Ayamé et alcalins (ou hyperalcalins) de Ninakri ainsi que dans les granites d'Ebike, géographiquement situé près d'Ayamé et dans les syénogranites de Siraodi (**Tableau 2**).

Les deux spectres des Terres Rares réalisés pour deux faciès pétrographiques (AY4 et AY8) sont parfaitement identiques et différents de ceux des granites calco-alcalins de Bondoukou (Bo) et Boundiali (B) (**Figure 9b**). Ces spectres obtenus à partir des teneurs normalisées par rapport aux chondrites [40] montrent une stabilité pour les Terres Rares moyennes (MREE) et un relèvement

substantiel des Terres Rares lourdes (HREE) par rapport aux granitoïdes de Bondoukou (Bo), de Boundiali (B) et Morifingso (M) (**Figure 9**).

Tableau 2: Analyses brutes des Terres Rares des granitoïdes d'Ayamé, Ebikro Siraodi et Ninakri.

	AY8	AY4	SIRAO	Ebik	Nina1	Nina
La	43,8	42,82	69,60	83,83	159,51	96,50
Nd	36,23	35,37	35,71	98,66	119,68	97,48
Eu	0,84	0,83	1,57	5,88	4,27	3,67
Dy	7,33	7,12	3,58	14,34	5,68	5,86
Yb	5,02	4,87	1,88	5,25	1,57	2,35
Ce	93,13	89,65	192,96	107,48	309,82	152,59
Sm	7,80	7,68	6,61	21,64	18,40	16,32
Gd	7,11	6,69	5,49	20,30	11,41	10,10
Er	4,68	4,52	2,05	6,53	2,12	2,59
Lu	0,80	0,87	0,23	0,59	0,22	0,41
ΣTR	206,74	200,42	319,88	264,50	632,68	387,87
Y	54,49	52,82	33,13	68,96	-	-

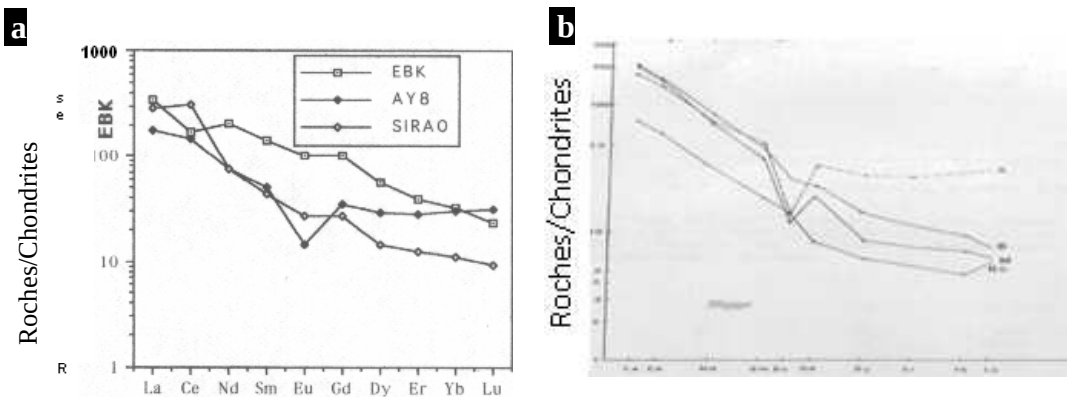


Figure 9 : a) Spectres de Terres Rares normalisées par rapport aux chondrites [40] des granites d'Ayamé (AY8), granite d'Ebikro (EBK) et la syénite de Siraodi (SIRAO). b) Spectres des Terres Rares d'Ayamé (A); de Bondoukou (B); Boundiali (B) et de Morifingso (M).

a) AY8: Ayamé

EBK: Ebikro

SIRAO: Siraodi

b) A: Ayamé

B: Boundiali

Bo: Bondoukou

M: Morifingso

II-4. Typologie du zircon accessoire

Les diagrammes de distribution des populations de zircons des granites d'Ayamé et de Ninakri sont très proches par la présence régulière de zircons à prisme 100 plus développés par rapport à 110 et la pyramide 101 plus développée par rapport à 211, ce qui leur confère des indices A I.A.=495 à 614, I.T.=695 à 750 pour Ayamé et I.A.=507 à 608, I.T.=717 à 751 pour Ninakri, très élevés, identiques à ceux des granites alcalins et hyperalcalins (**Figure 10, Figure 11 et Figure 12**). Les températures de formation des granites d'Ayamé sont estimées entre 800 et 900°C±50, par le géothermomètre de la typologie du zircon accessoire (**Figure 10 et Figure 11**).

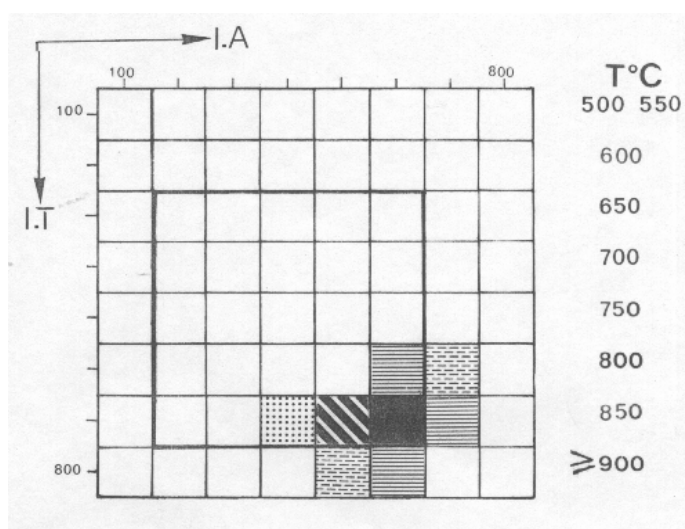


Figure 10 : Distribution typologiques : Echantillon AY6, des populations de zircons couplées avec la géothermométrie dans le granite subalcalin d'Ayamé (Côte d'Ivoire).

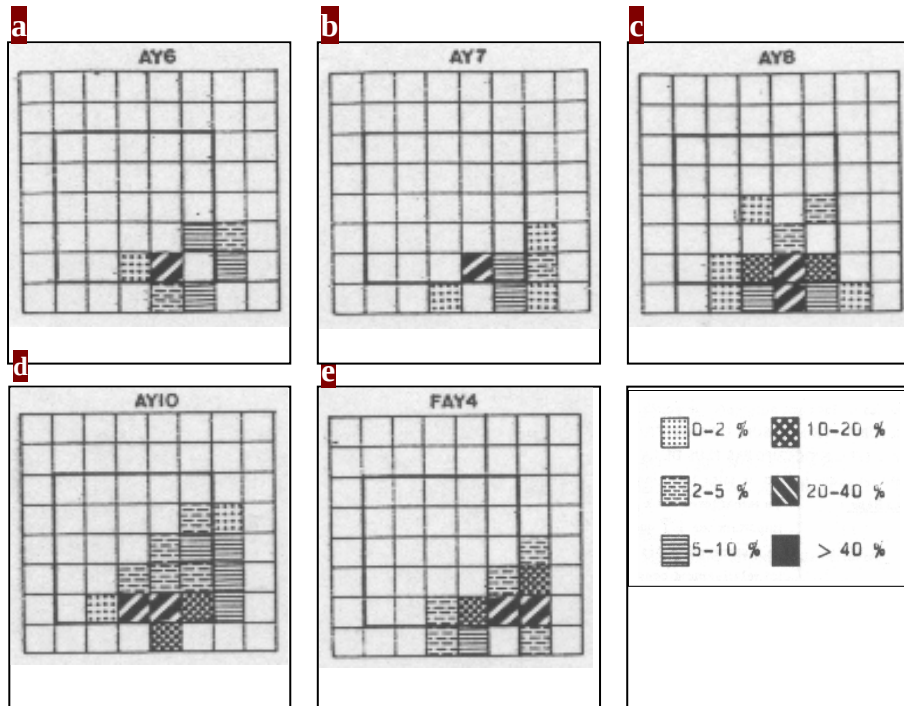


Figure 11 : Distributions typologiques des populations de zircon dans le granite subalcalin d'Ayamé (Côte d'Ivoire).

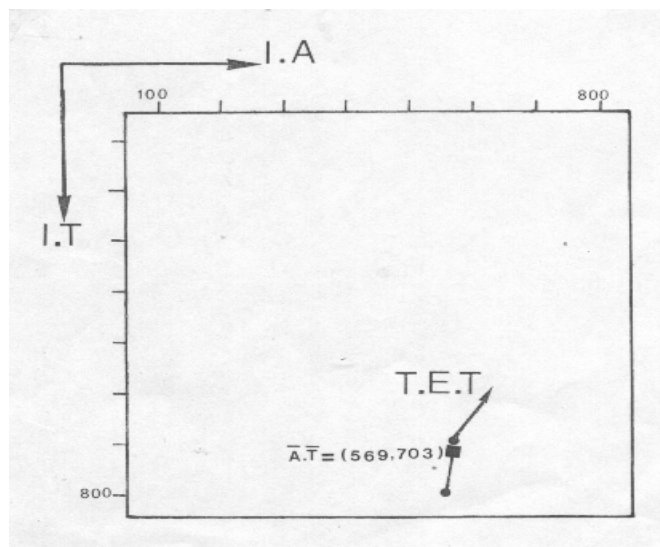
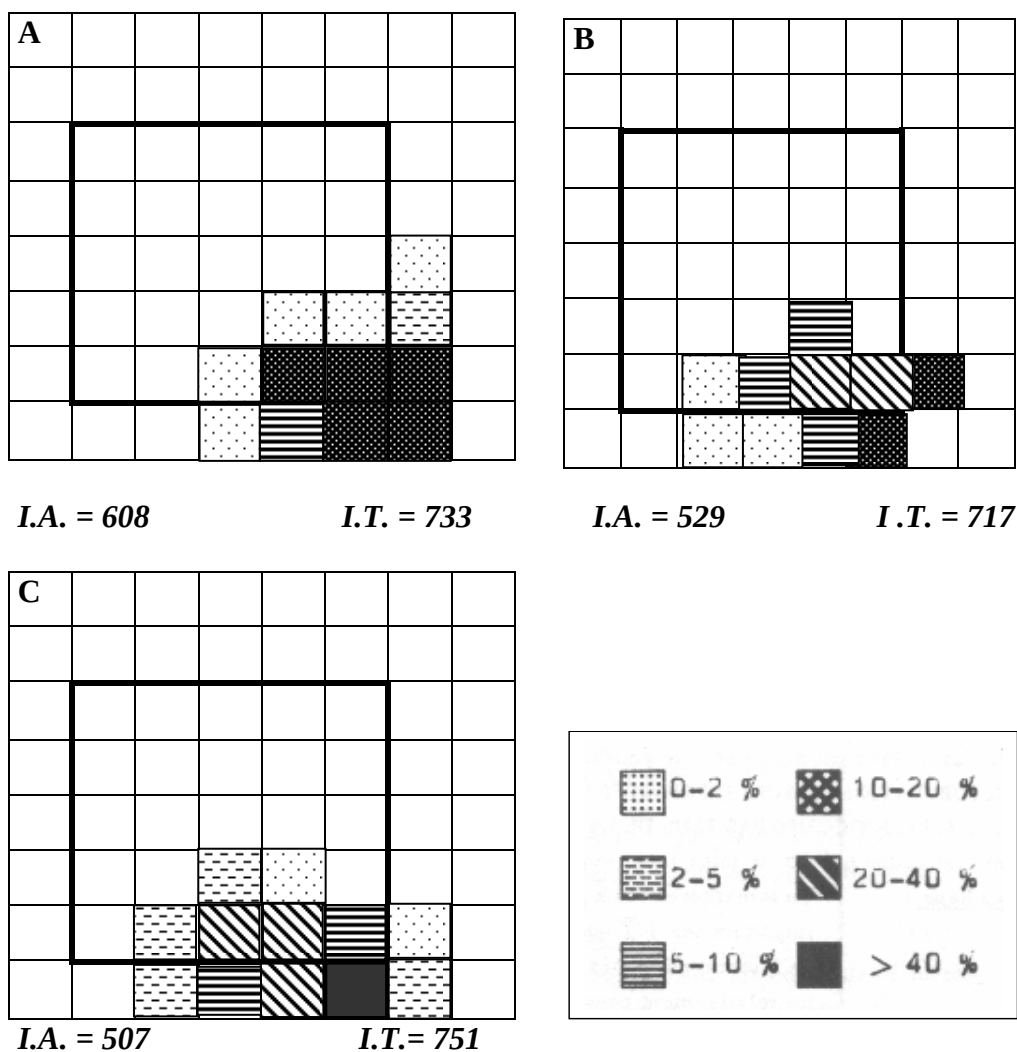


Figure 12 : Tendence d'Evolution Typologique (T.E.T.) du granite subalcalin potassique d'Ayamé.

On note ainsi que l'observation rapide des diagrammes de distributions typologiques des diverses populations des granitoïdes (**Figure 13**) et les valeurs de I.A et I.T. (**Tableau 3**), permettent de les classer, les distinguer entre eux et de les comparer aux autres formations granitoïdes locales ou régionales.



A: Faciès grossier à pyroxène (Echantillon FCPX), B: Faciès filonien à pyroxène (Echantillon T6Wed), C: Faciès à biotite (Echantillon T6).

Figure 13 : Diagrammes de distribution typologique des différents faciès pétrographiques (A, B, C) du massif granitique hyper alcalin de Ninakri [18] (Touré, modifiés [19]).

Tableau 3 : Comparaison des Indices A et T des granites d'Ayamé et de Ninakri.

Echantillons		I.A.	I.T.
AYAME	AY6	569	703
	AY7	524	750
	AY8	495	732
	AY10	606	743
	FAY4	614	695
NINAKRI	CASA/90	600	732
	YB/93-1	608	733
	YB/93-2	529	717
	YB/93-3	507	751

Les champs de répartition des différentes à partir des reports des points moyens des granitoïdes permettent de les différencier (**Figure 14**). Les granitoïdes calco-alcalins de Bondoukou= champ I, pauvres en potassium ; les autres granitoïdes calco-alcalins de Côte d'Ivoire (Séguéla, Gouméré et Toumodi) et Sénégal (Laminia-Kaourou) =champ II, légèrement plus riches en potassium ; les granites subalcalins potassiques (Ayamé) et (Ninakri) de Côte d'Ivoire =champ III, nettement plus riches en potassium (feldspath potassique plus abondant avec présence régulière de perthite). Les températures de formation de ces différents granitoïdes sont de plus en plus élevées de I à III, selon les données thermométriques (I.T.) de la méthode typologique du zircon accessoire avec une évolution positive des alcalins et surtout du taux de potassium, avec I.A. (acidité-alcalinité-agpaicité) de plus en plus élevé. Cette évolution serait probablement en rapport avec un gradient d'enrichissement en potassium, donc une zonation spatiale magmatique liée à la position éventuelle et l'éloignement de la zone de subduction (**Figure 10 et Figure 14**).

III-5. Résultats récents de géochronologie sur le granite d'Ayamé par isochrone Rb/Sr sur roches totales

Le granite d'Ayamé a été étudié et daté par isochrone Rb-Sr sur roches totales. L'étude a porté sur 12 échantillons comportant des faciès divers. Les résultats analytiques sont donnés dans le *Tableau IV*. Rb et Sr ont été déterminés par fluorescence X à l'École des Mines de St Etienne. Les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ont été déterminés à l'aide d'un spectromètre de masse VG isomass 54 E. Les isochrones ont été calculées en affectant les rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ respectivement d'une erreur standard de 1,5% et de 0,01% et en prenant pour valeur de désintégration de ^{87}Rb : $\lambda = 1,42 \times 10^{-11}/\text{an}$.

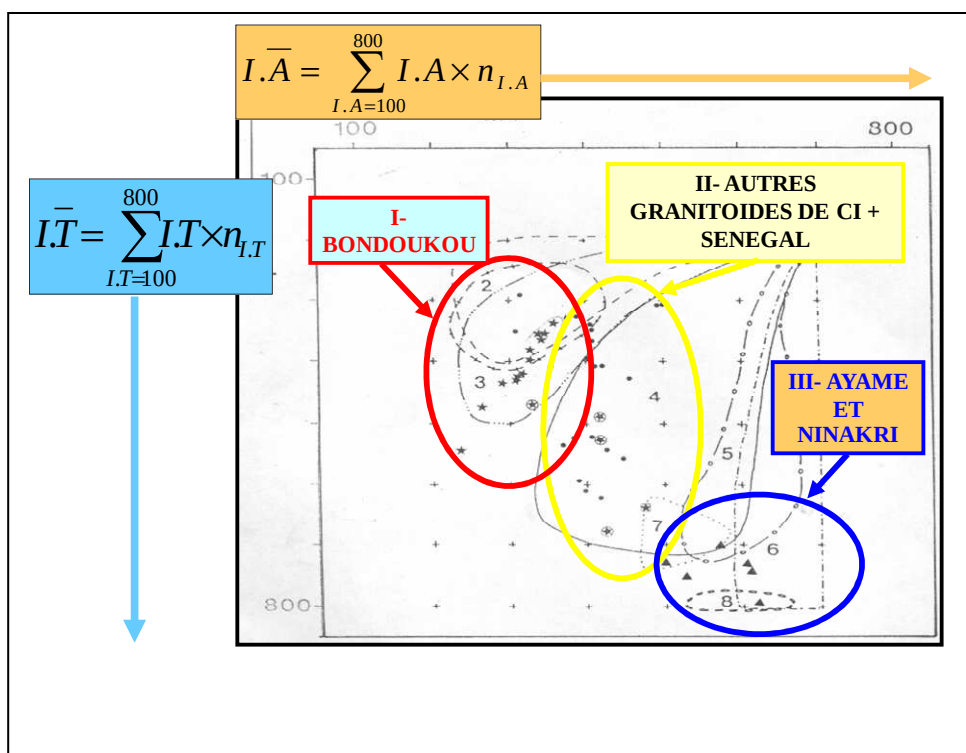
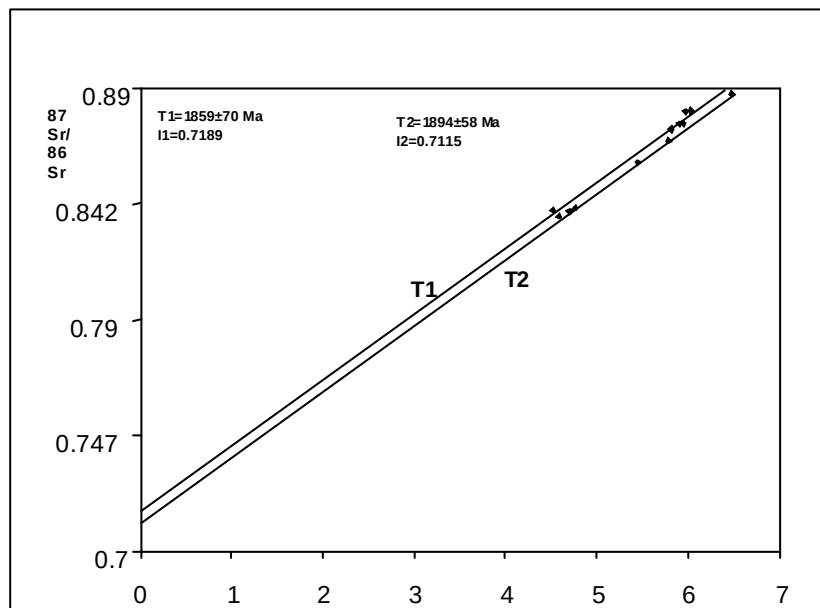


Figure 14 : Répartition des granites de Bondoukou (champ I), de (Séguéla, Gouméré et Toumodi et du Sénégal Oriental) (champ II); les granites d'Ayante et Ninakri (champ III).

Ces résultats ont permis de tracer deux isochrones parallèles avec respectivement un âge de 1859 ± 70 Ma et une valeur de Sri de 0,7189 et de 1894 ± 58 Ma avec un Sri de 0,7115 (**Figure 15**). Compte tenu de la dispersion des points sur ces deux isochrones, des valeurs élevées des Sri ainsi que l'existence de paragenèse secondaire, nous avons d'abord pensé que ces âges étaient liés aux phénomènes métamorphiques. Dans l'état actuel de nos connaissances sur ce granite, nous nous pencherons plutôt vers l'action des fluides minéralisateurs, tels que Bonin et collaborateurs [41] l'avaient évoquée dans les massifs minéralisés du Nigeria (younger granite). En effet, la présence de chalcoppyrite en assez grande quantité dans certains faciès du granite d'Ayamé, accompagnée probablement par d'autres minéralisations présentes dans les formations associées(or), milite en faveur de cela. La droite d'évolution calculée à partir des différents rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ indique que l'âge de mise en place de ce granite ne peut être supérieur à 2050 Ma.

Tableau 4 : Résultats analytiques des mesures isotopiques en roches totales.

N° échantillons	Rb	Sr	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
AY4	66.4	43.1	4.51485	0.83994
AY6	76.5	38.1	5.90430	0.87527
AY2	76.5	37.7	5.966990	0.88041
AY13	76.6	37.4	6.022580	0.88068
AY1	73.2	37.0	5.81630	0.87300
T1 = 1859 ± 70 Ma Sri = 0.71887 ± 0.00564 MSWD = 1.2				
AY9	65.2	41.7	4.58100	0.83754
AY8	68.2	42.5	4.70240	0.83929
AY5	69.5	37.5	5.44160	0.85958
AY12	68.8	35.0	5.77640	0.86824
AY10	72.6	35.9	5.94660	0.87516
AY7	73.9	33.6	6.47520	0.88764
AY3	68.6	42.2	4.76430	0.84072
T2=1894±58 Sri = 0.71153 ± 0.00446 MSWD = 0.48				

**Figure 15 : Isochrone Rb /Sr sur roches totales du massif granitique d'Ayamé.**

Une isochrone "globale" réunissant les douze points et donnant une valeur de 1958 ± 46 Ma ($Sr=0,70838 \pm 0,00359$ MSWD=3,2) peut être considérée comme une errochrone traduisant un lessivage de la croûte par une phase fluide [42] lors de la mise en place du granite.

IV- CONCLUSION

Cette étude a permis d'estimer la densité de la régénération de *P. erinaceus* et la caractérisation de la distribution en hauteur de l'espèce. Elle a aussi permis de caractériser la répartition spatiale des arbres dans les peuplements à dominance de *P. erinaceus*. Les principaux résultats ont montré que l'espèce régénère plus en savane qu'en forêt alors que la hauteur de régénération ne varie pas selon les formations naturelles. La distribution de la hauteur de régénération est en « J renversé » indiquant une stabilité du peuplement. Par ailleurs, l'étude a aussi permis de conclure que la répartition spatiale de la régénération de *P. erinaceus* est aléatoire avec une tendance vers l'agrégation pour de faibles rayons d'observation.

RÉFÉRENCES

- [1] - L. BODIN. Contribution à l'étude des granites birimiens dans le Précambrien de l'A.O.F. *Bull. Dir. Mines A.O.F.*, Dakar, 12 (1951), 113p.
- [2] - N.R. JUNNER. Notes of the classification of Precambrian of West Africa. *C.R. 19^{ème} Sess. Congr. Geol. Intern.*, Alger, 1952, 20 (1954) 115-127.
- [3] - D. SOULE DE LAFONT. Le Précambrien moyen et supérieur de Bondoukou (Côte d'Ivoire). *Bull. Dir. Fedr. Mines Géol.*, Dakar, 18 (1956).
- [4] - M. ARNOULD. Monographie des massifs de migmatites et de granites précambriens du NE de la Côte d'Ivoire et de la Haute-Volta méridionale. *BRGM. Paris/ DGPM.* Abidjan, (1960), 450p.
- [5] - R. CASANOVA. Géochimie et minéralogie des granitoïdes éburnéens de Côte d'Ivoire. Thèse Univ. Nice, (1973), 327p.
- [6] - M. BONHOMME. Contribution à l'étude géochronologique de la plate-forme de l'Ouest africain. Thèse. Ann. Fac. Univ. Clermont-Ferrand, Fr., Géol. Minéral, 5 (1962).
- [7] - M. CAEN-VACHETTE. Nouvelles mesures d'âges absolus des granités d'âge éburnéen de la Côte d'Ivoire. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 258, 5 (1964) 1569-1571.

- [8] - M. CAEN-VACHETTE. (1982). Récapitulation des âges radiométriques déterminés sur les formations cristallines et cristallophylliennes de l'Afrique de l'Ouest. *Travaux du Département Géologie et Minéralogie Clermont II et L.A. n°10 CNRS Chronologie des Terrains Cristallins* 5, rue Kessler 63038 Clermont-Ferrand Cedex. Serie Documentation, 4 (1982).
- [9] - M. CAEN-VACHETTE. Le craton ouest-africain et le bouclier guyanais: un seul craton au Protérozoïque inférieur. *Journal of African Earth Sciences*, vol.7, 2 (1988) 479-488.
- [10] - P. TEMPIER et S. LEMOINE. Données sur quelques dolérites du Sud-est de la Côte d'Ivoire et leur rapport avec un granite alcalin. *C.R. Soc. Géol. Fr*, Paris, 7 (1969), 254p.
- [11] - A. PAPON, M. ROQUES et M. VACHETTE. Age de 2700 millions d'années, déterminé par la méthode strontium, pour la série charnockitique de Man, en Côte d'Ivoire, 80 (1973).
- [12] - B. BESSOLES. Géologie de l'Afrique. Le craton Ouest Africain. *Mém. Bur. Rech. Géol. Min.*, 88 (1977), 402p.
- [13] - J. CAMIL. Pétrologie, chronologie des ensembles archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire). Implications pour l'histoire géologique du craton ouest-africain. Thèse Univ. Abidjan, (1984), 306p.
- [14] - J. CAMIL. Schéma d'évaluation des vieux noyaux d'Afrique de l'Ouest à partir du modèle de Man (Côte d'Ivoire). In : *Abstracts CIFEG, 14 th coll. Afr. Geol.*, Berlin, 12 (1987) 25-28.
- [15] - S. TOURE, M. CAEN-VACHETTE et P. TEMPIER. Nouvelles données pétrographiques, géochimiques et géochronologiques du massif granitique de Bondoukou (Côte d'Ivoire). Mise en évidence d'un âge Burkinien, par isochrone Rb/Sr sur roches totales. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 6, 3 (1987) 269-274.
- [16] - S. LEMOINE. Evolution géologique de la région de Dabakala (NE de la Côte d'Ivoire) au Protérozoïque inférieur. Possibilités d'extension au reste de la Côte d'Ivoire et au Burkina-Faso. Thèse Doctorat es Sciences, annexes. Université Blaise Pascal (ex Clermont II). Clermont-Ferrand, 389p (1988).
- [17] - K.A. YAO. Le volcanisme du sillon de Boundiali phénomène principal du Protérozoïque inférieur de cette région NNW de la Côte d'Ivoire. Thèse Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II. U.F.R. de Recherche Scientifique et Technique, (1993).
- [18] - R. YOBOU. Pétrologie des granitoïdes du Protérozoïque inférieur du Centre-nord de la Côte d'Ivoire (Ferkessedougou-Marabadiassa). Evolution magmatique et contexte géodynamique. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, (1993).
- [19] - S. TOURE. Pétrologie et géochronologie du massif de granitoïdes de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). Relations avec les formations volcaniques et volcano-détritiques du Zanzan, Koun, Tanda attribuées. Thèse Doctorat d'Etat Sciences. Université d'Abobo-Adjamé. Tomes I, II, 434p (2007).

- [20] - J.P. PUPIN, R. CASANOVA et G. TURCO. Les zircons de quelques granitoïdes précambriens de Côte d'Ivoire. *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.*, 55 (1975) 35-50.
- [21] - M. AMENZOU. Typologie du zircon des granitoïdes hercyniens du Maroc : conséquences pétrogénétiques et implications géodynamique. Thèse d'Etat, Univ. Moulay Ismaïl, Meknès, (1996).
- [22] - M. AMENZOU et A. EL MOURAOUAH. Typologie du zircon des granitoïdes hercyniens de la Meseta marocaine : zonation magmatique et implication géodynamique. *J. Afr. Earth Sci.*, 24 (1997) 125-139.
- [23] - J.P. PUPIN et G. TURCO. Le zircon accessoire en géothermométrie. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 274, Série D, (1972a) 2121-2124.
- [24] - J.P. PUPIN et G. TURCO. Application des données morphologiques du zircon accessoire en pétrologie endogène. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 275, Série D, (1972b) 799-802.
- [25] - J.P. PUPIN. Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Nice, 394p (1976).
- [26] - J.P. PUPIN. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: *Earth Sciences*, 91 (2000) 245-256.
- [27] - S. TOURE. Données nouvelles sur les formations détritiques de l'Arc de Castellane, Sud-est de la France. Conglomérats tertiaires des synclinaux de Saint-Antonin, Barème et Majastre). Pétrographie des roches endogènes. Application de la typologie du zircon accessoire. Approche paléogéographique. Thèse de Spécialité 3^{ème} cycle, Université de Nice, Laboratoire de Pétrologie-Minéralogie, U.E.R. Sciences et Techniques, 290p (1981).
- [28] - S. LEMOINE, P. TEMPIER, J.P. BASSOT, M. CAEN-VACHETTE, Y. VIALETTE, S. TOURE and U. WENMENG. The BURKINIAN orogenic cycle, precursor of the EBURNEAN orogeny in West Africa. *Geological Journal*, vol. 25 (1990) 171-188.
- [29] - DMG : Direction des Mines et de la Géologie. Carte géologique au 1/1.000.000, (1965).
- [30] - N. NAKAMURA, M. TATSUMOTO, P.D. NUNES, D.M. UNRUH, A.P. SCHWAB and T.R. WILDEMAN. 4.4 b.y. old clast in Boulder 7, Apollo 17. A comprehensive chronological study by U-Pb, Rb/Sr and Sm-Nd methods. *Proc. 7th Lunar Sci., Conf.*, (1976) 2309-2333.
- [31] - J. H. WILLIAMSON. Least squares fitting of a straight line. *Can. Jour. of Physics*, vol. 46, (1968) 1845-1847.
- [32] - P. HARTMANN. The morphology of zircon and potassium dihydrogen phosphate in relation to the crystal structure. *Acta Cryst. Danem.* vol.9, (1956) 721-727.

- [33] – B. MASSON and L.G. BERRY. Elements of Mineralogy. W.H. Freeman et Cie. Ed., San Francisco, London (1968).
- [34] - C.E.S. ARPS. Zircon in granites, gneisses and métasédiments from western Galicia (NW Spain): Preliminary report on investigations of crystal habit and other optical characteristics. *Bol. Geol. y Min.*, t. 81-2-3, (1970) 144-156.
- [35] - H. KUNO. Differentiation of basalt magma. In "Basalt": The Poldervaart Treatise on rocks of basaltic composition. *Wiley and sons Ed.* London (1968).
- [36] - R.A. BATCHELOR and P. BOWDEN. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Chemical geology*, 48 (1985) 43-55.
- [37] - F. BARKER. Trondjemite : definition, environnement and hypotheses of origin. In "Trondjemites, dacites and related rocks", *Barker Editor, Elsevier, Amsterdam*, (1979) 1-12.
- [38] - A.J.R. WHITE and B.W. CHAPPELL. Two contrasting granite types. *Pacific Géol.* 8, (1974) 173-74.
- [39] - WRIGTH J. B. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geol. Mag.* Vol. 106, n°4, (1969) 370-384.
- [40] - N.M. Evensen, J.P. HAMILTON and R.K. O'NIONS. Rare Earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Acta*, vol. 42, (1978) 1199-1212.
- [41] - B. BONIN, P. BOWDEN et Y. VIALETTE. Le comportement des éléments Rb et Sr au cours des phases de minéralisation: l'exemple de Ririwai (Liruei), Nigeria. *C.R.Ac.Sc., Paris*, (1979).
- [42] - Ph. VIDAL, L. DOSSO, P. BOWDEN et J.LAMEYRE. Strontium isotope geochemistry in syenite-granite alkaline complexes. In: *Origin and distribution of elements*, *AHRENS L.H. ed. Oxford, Pergamon Press*, (1979) 223-231.