

Chapitre I Généralité

Chapitre I Généralité

Section 1 Aperçu de la Recherche

1-1. Objectifs de la Recherche

L'objectif de cette Recherche est d'élucider la géologie et les conditions d'occurrence du gisement dans la région du Baoulé-Banifing afin de permettre la découverte de nouveaux gisements. Un autre objectif est de réaliser un transfert de technologie à destination de la partie malienne au cours d'exécution des travaux dans le pays.

1-2. Région faisant l'objet de la Recherche

La Figure I-1-1. présente la localisation de la région faisant l'objet de la Recherche. La région du Baoulé-Banifing est située sur le bassin des fleuves Baoulé et Banifing au sud-est de la capitale Bamako de 50 à 100km de distance.

Dans la zone de Tonfara-Bouraba située à la partie centrale de la région de Recherche, sont distribuées sur une étendue de 1000km² les formations birrimiennes qui sont un horizon encaissant la minéralisation aurifère dans l'Afrique de l'ouest. Dans la présente année de Recherche on a réalisé les travaux qui consistent principalement en étude des Régolithes et en étude géochimique dans toute la zone de Tonfara-Bouraba.

1-3. Contenu des travaux de Recherche

Les travaux principaux de Recherche sont constitués par l'analyse des images-satellite, les études géologique et géochimique et l'étude par forage. Le Tableau I-1-1 et I-1-2 montrent la nature et la quantité des travaux de Recherche.

Table I-1-1 The content and amount of the Phase III survey

Survey method	Quantity
Satellite image analysis	1,000km ²
Geological survey, regolith survey(Tonfara-Bouraba, Dioila)	1000km ² , 350km ²
Pits survey (Tonfara-Bouraba)	88 pits 408m
Geochemical soil survey(Tonfara-Bouraba)	5,030
Drilling survey Auger drilling (Torokoro, Kalako, Batouba, Sirikoro)	129 holes 2,400m

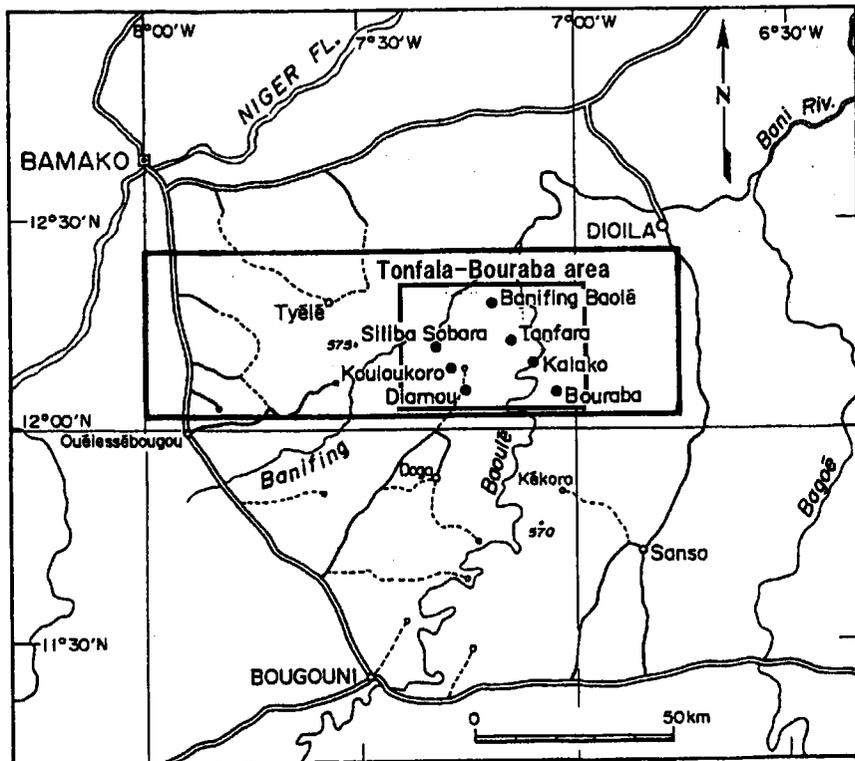
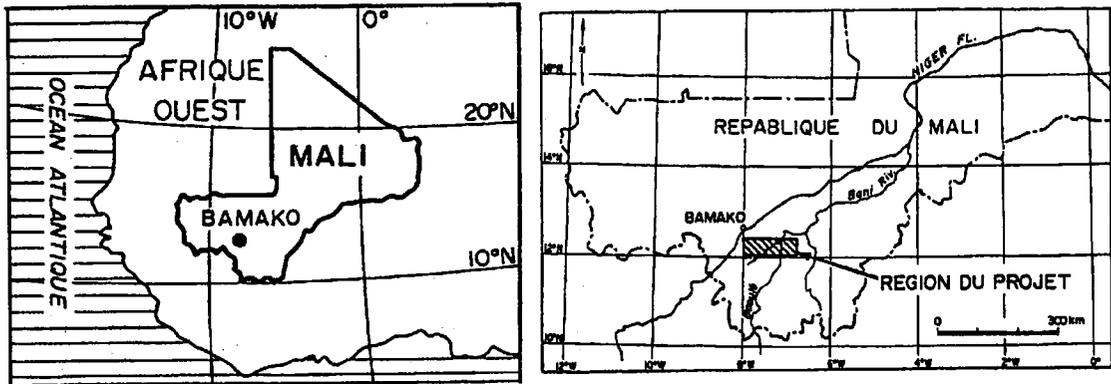


Fig.I-1-1 Location map of the survey area

Table I-1-2 List of the laboratory works

Survey method	Contents	Quantity
Geological survey	Chemical analysis (pits samples)	411
	Thin section	60
	K-Ar dating	34
	Mineral separation	4
	Whole rock chemical analysis	44
Geochemical soil survey	Chemical analysis	538
Drilling survey	Chemical analysis(cuttings)	2,400
	X-ray diffraction	233

1-4. Durée de la Recherche au pays

Du 12 au 15 novembre 2002 :Tokyo-Paris-Dakar-Bamako(déplacement)

Du 16 novembre 2002 au 23 janvier 2003 : l'étude au terrain

Du 23 au 25 janvier 2003 :Bamako-Dakar-Paris-Tokyo(déplacement)

1-5. Composition de la mission de Recherche

Le Tableau I-1-3 montre la composition de la mission d'étude

Tableau I-1-3 Composition de la mssion

Contrepartie Japonaise		Contrepartie Malienne	
La mission pour négociation			
YOKOYAMA, Shigeru	(MMAJ)	Modibo COULIBALY	(DNGM)
HIRAI, Koji	(JICA)	Ibrahima SISSOKO	(DNGM)
FUJII, Noboru	(MMAJ)	Fatiaga KONE	(PDRM)
NUIBE, Yasunori	(MMAJ)	Hassimi B.SIDIBE	(DNGM)
NAKUI, Koji	(MMAJ)	Seydou KEITA	(DNGM)
L'équipe pour l'étude			
Chef géologue: SUZUKI, Mitsuru	(SUMICON)	Chef géologue : Emanuel THERA	(DNGM)
Géologue : TOMIZAWA, Naoaki	(SUMICON)	Géologue : Lassana GUINDO	(DNGM)
Géologue : Hase, Masahiro	(SUMICON)	Géologue : Yaya DJERE	(DNGM)
Géologue : Nagao, Takaaki	(SUMICON)	Géologue : Naby FOFANA	(DNGM)
Géologue : Kai, Michiteru	(SUMICON)	Géologue : Moussa Holla MAIGA	(DNGM)
Géologue : Seto, Takayuki	(SUMICON)		
MMAJ : Metal Mining Agency of Japan		DNGM : Direction Nationale de la Geologie et des Mines	
JICA : Japan International Cooperation Agency		PDRM : Programme pour le Developement des Ressources	
SUMICON : Sumiko Consultants, Co., Ltd.		Minerales	

Section 2. Géographie de la région étudiée

2-1. Localisation, accès routiers

La région de Recherche de Baoulé-Banifing dont la superficie de 5800km² environ est située au sud-est de la capitale à la distance de 50 à 100km dans la partie sud-ouest de la République du Mali.

Pour l'exécution des travaux de recherche, on a établi les campements de bases dans le village de Dogo et dans le village de Kékoro en fonction des secteurs objets de recherche. De la capitale, Bamako à Dogo le parcours est de 200km soit environ 3 heures de temps en voiture, tandis que de Bamako à Kékoro il prend environ 5 heures de temps en véhicule pour parcourir 310 km de distance.

De chaque campement de base jusqu'au terrain d'étude, il prend d'une heure à une heure et demi de temps en véhicule tout terrain.

2-2 Climat et flore

La région climatique du Sud du Mali dans laquelle se trouve la région faisant l'objet de la Recherche appartient à la zone climatique de Savane où les deux saisons bien contrastées alternent : Saison d'hivernage et Saison sèche. De mi-Mai à octobre correspond à la saison d'hivernage. De novembre à mi-Mai s'étale la saison sèche. Les précipitations annuelles à la région de la Recherche sont en moyenne de 1400mm environ dont la plupart tombe dans les mois d'hivernage. Pendant la saison sèche il n'y a presque pas de pluie. La température moyenne annuelle est comprise entre 25° et 32°C environ. La température la plus haute atteint à 50°C.

La végétation dans la région caractérisée par la couverture totale de la surface par les forêts claires et les hautes herbes telles que les graminacées. A la surface des plateaux recouverts par les croûtes latéritiques les végétations sont très rares ou absentes.

Nous présentons ci-dessous les données météorologiques au Tableau I-2-1 et la carte portant sur le climat et les végétations au Mali à la figure I-1-2.

Tableau I-2-1 Le climat de la capitale, Bamako

	Jan.	Feb.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Temp. (°C)	24.8	27.7	30.3	31.5	31.3	29.0	26.6	25.8	26.3	27.4	26.4	24.5
Humid.(%)	28	23	23	35	52	67	77	83	80	68	50	36
Préc.(mm)	0.5	0.5	3.0	15.6	61.6	145.1	244.2	326.1	215.3	65.7	7.5	1.4

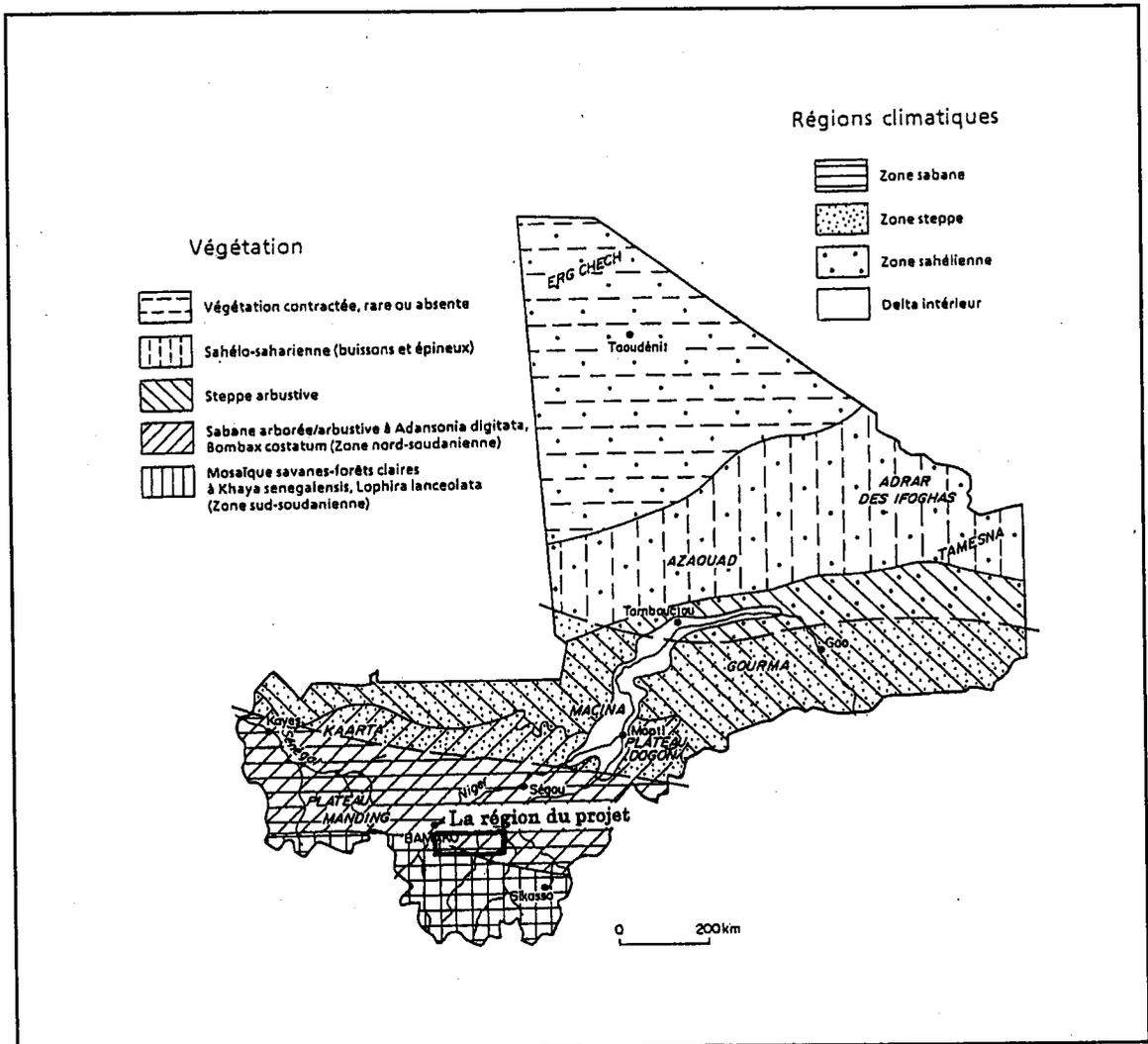


Fig.1-2-1 Climate and vegetation of mali

2-3 Relief

La région faisant l'objet de la Recherche consiste dans les plateaux en pente douce à 350m d'altitude environ dans lesquels sont parsemées de nombreuses petites collines et les massifs montagneux . Les courants des fleuves Baoulé et Banifing serpentent dans la partie centrale de zone de Recherche du sud au nord et confluent au Nord. Bien de leurs affluents sont développés dans la zone de recherche , mais la plupart tarissent en saison sèche.

Section 3 Aperçu géologique de la Région de Baoulé-Banifing

3-1 Géologie régionale de la zone de Recherches

La région du Baoulé-Banifing se situe au sein du craton ouest africain. Du côté de l'océan Atlantique, le craton se prolonge vers la zone de pli ouest africain. Du côté de l'intérieur continental, il se prolonge vers la zone orogénique pan-africaine.

La géologie du craton ouest africain se constitue principalement des formations birrimiennes qui auraient été formées à l'ère paléo-protérozoïque (2.4 à 2.2 milliards d'années avant notre ère), et métamorphosées (litho-faciès: schiste vert) par l'orogénèse Eburnéenne (2±0.2 milliards d'années) et des roches granitiques (granitoïde) intrusives sous forme de batholites qui pénètrent ces formations. D'après le BRGM (1989), les formations birrimiennes se subdivisent en deux: la partie supérieure riche en roches sédimentaires (le schiste, le grès, la roche pélitique, la grauwacke, etc.) (Fig. I-3-1). Les formations birrimiennes largement couvrant la partie sud-ouest du Mali dans laquelle se situe la zone de Recherches devra correspondre à la partie inférieure qui est constituée des roches métamorphiques à la litho-faciès de schiste vert qui sont principalement des roches pélitiques et psammitiques, associées par les roches volcaniques.

3-2 Géologie de la zone de Recherches

3-2-1 Géologie

La carte géologique de la zone du Baoulé-Banifing, la carte géologique de la zone de Tonfara-Bouraba avec sa coupe géologique sont respectivement montrées aux figures :

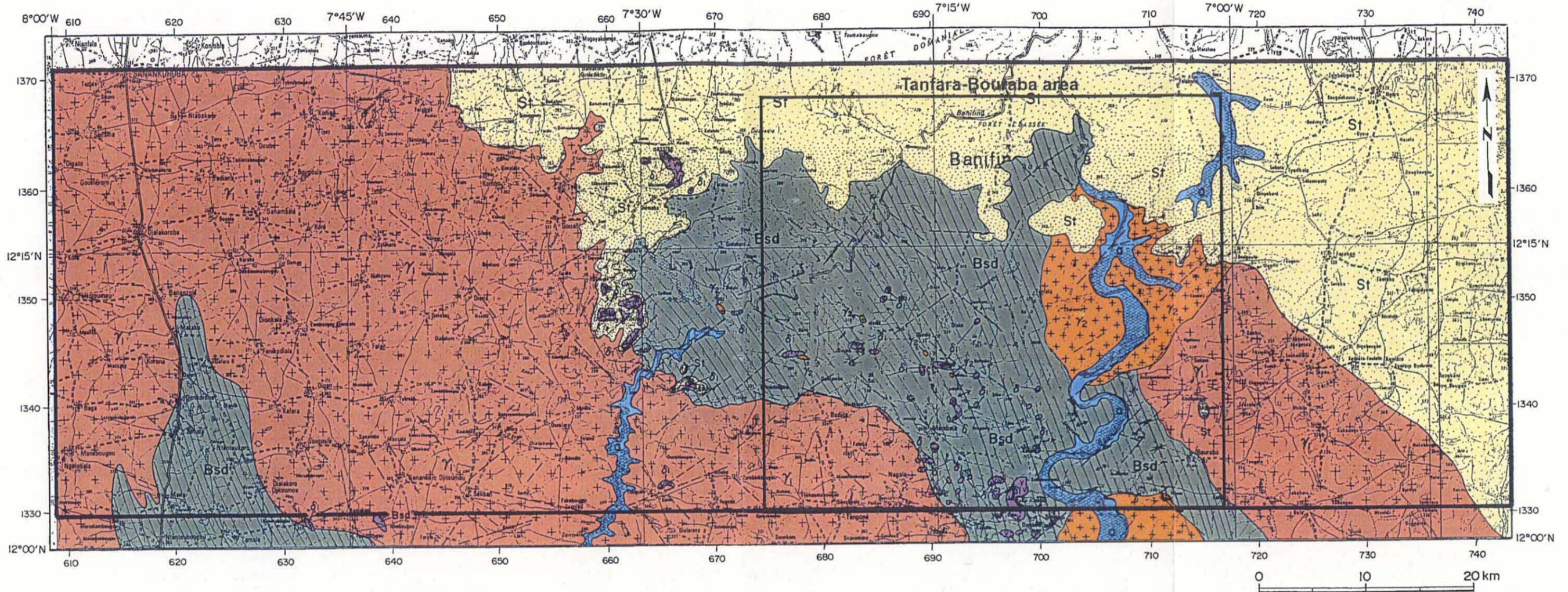
Figure I-3-2 et Figure I-3-3. La géologie de la zone de Tonfara-Bouraba est constituée des formations birrimiennes datant de l'ère paléo-protérozoïque et des roches intrusives qui pénètrent les formations birrimiennes. Par ailleurs, les roches volcaniques basiques en petite dimension probablement intrusives permianes sont réparties, ainsi que les couches détritiques quaternaires. Nous décrivons ci-dessous la géologie de la zone de Tonfara-Bouraba. Par ailleurs, les Appendices 1 et 2 présentent les résultats d'observation microscopique. La Figure I-3-4 et l'Appendice 3 montrent les résultats de la datation des roches. Dans la description suivante, les valeurs de datation se traduisent à l'âge de la roche entière, sauf le cas où l'on fait le commentaire particulier.

(1) Formations birrimiennes

Elles sont distribuées presque à la partie centrale de la zone de Tonfara-Bouraba en allongement dans la direction de NW-SE. Ces formations peu exposées à la surface de terrain dans l'ensemble de la zone ne nous permettent pas de mettre en évidence la stratigraphie et la nature des roches. Toutefois, nous avons rencontré les affleurements relativement nombreux dans les bordures ouest de la zone de distribution des formations birrimiennes qui s'étale dans les secteurs de Diamou et de Siriba-Sobara. Les roches affleurées présentent l'alternation des couches du grès et de la pélite gréseuse avec quelque peu de roches méta-volcanique basiques et acides. Ces dernières sont le schiste sujettes à la métamorphisme régionale de la litho-faciès du schiste vert.

Age (Ma)		Formation	Lithology	Igneous activity	Alteration and Mineralization
1800	..... ..... .....	Tarkwaian System Kaware Group	Quartzites, grits, phyllites, conglomerates (250-700m thickness)		
2130	XXXX XXXX XXXX		Granitoid and syenites	Eburnian Cycle	Metamorphism HTS Au sulphide
	∞∞ ∞ ∞∞	Upper Birrimien Basic Volcanic Subseries	Bulk of the Up. Birrimien normal greenstones and green schist		
	VVV VVV VVV	Upper Birrimien Acid Volcanic Subseries	Meta-rhyolite, qtz-felds porphyry, felsites and quartz-chlorite schist		
	.v. .v. .v.	Upper Birrimien Sedimentary - Volcanic Subs.	Meta-tuffaceous greywacke		
	..... ..... .....	Lower Birrimien Upper Arenaceous Subseries	Massive meta-sandstones, meta-graywacke and minor thin metasiltstone		
	v v	Lower Birrimien Upper Argillaceous Subseries	Predominantly rock assemblage of phyllite, siltstone, and their tuffaceous varieties		
	..... ..... ..... .....	Lower Birrimien Middle Arenaceous Subseries	Meta-graywacke, meta-siltstone phyllite, Typically tuffaceous and manganeseiferous in the middle parts Rhythmically bedded in the lower parts,		
	..... ..... .....	Lower Birrimien Lower Argillaceous Subseries	Predominantly phyllite, inter bedded with tuffaceous phyllite		
	..... ..... ..... .....	Lower Birrimien Lower Arenaceous Subseries	Lithic assemblage of meta-graywacke, meta-sandstone, meta-siltstone, phyllite and tuffaceous varieties of these rock types		
2600+	+++ +++ +++		? Unconformity? Granitoids, migmatites, ultramafic rocks and granulites	Liberian Cycle ?	

Fig.I-3-1 General stratigraphy



LEGEND

- Alluvial
 - Clay, silt and sand
- Intrusive rocks
 - Dolerite, Gabbro
 - Biotite hornblende diorite
- Sotuba Group
 - Fine grained sandstone
- Post-tectonic Granite
 - Alkali granite, Syenite, Quartz diorite
 - Hornblende biotite granite-granodiorite
- Birimien Group
 - Pelitic schist, psamitic schist

Fig.I-3-2 Geological map of Baule-Banifing area

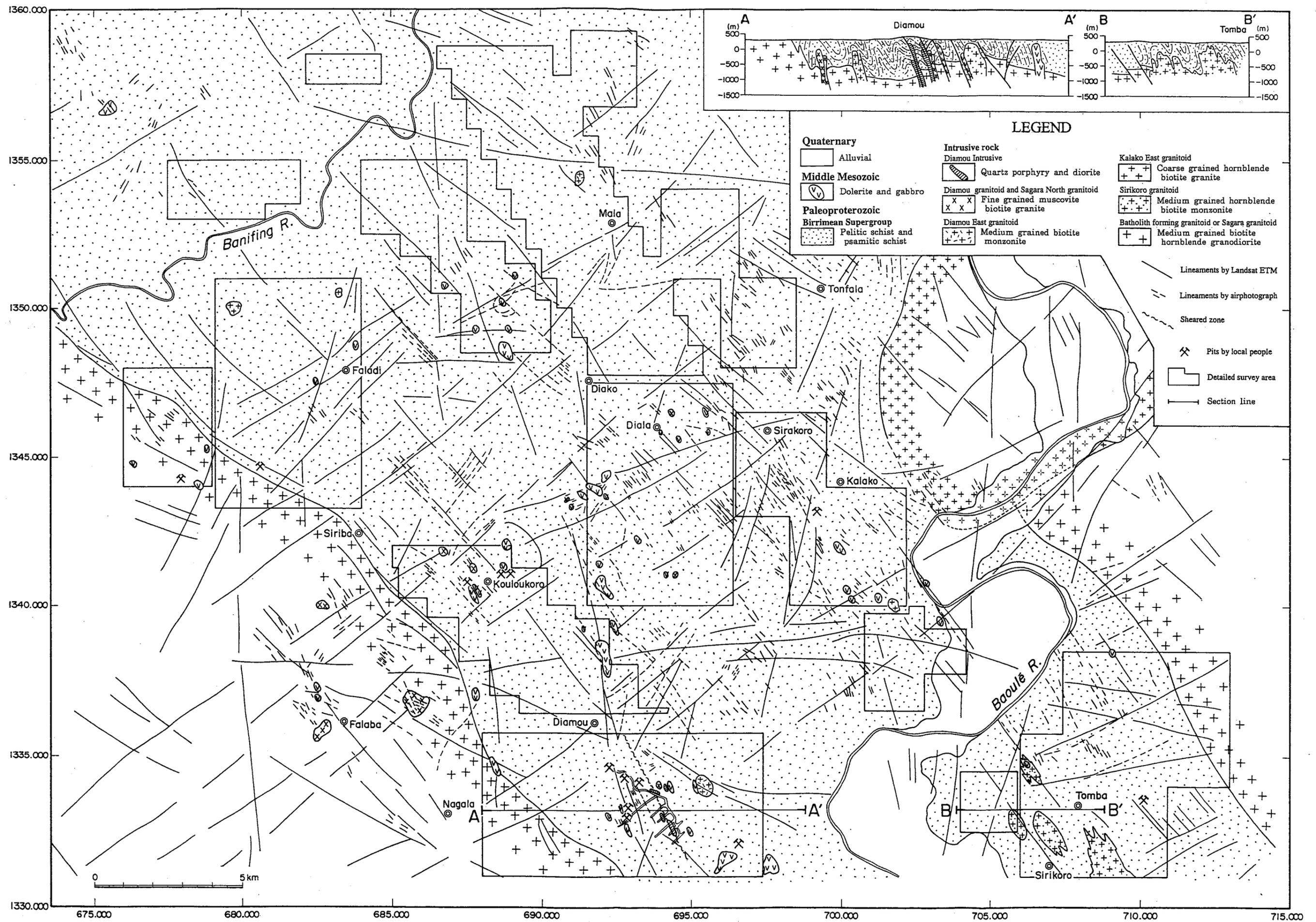


Fig. I -3-3 General geological map and geological section in Tonfara-Bouraba

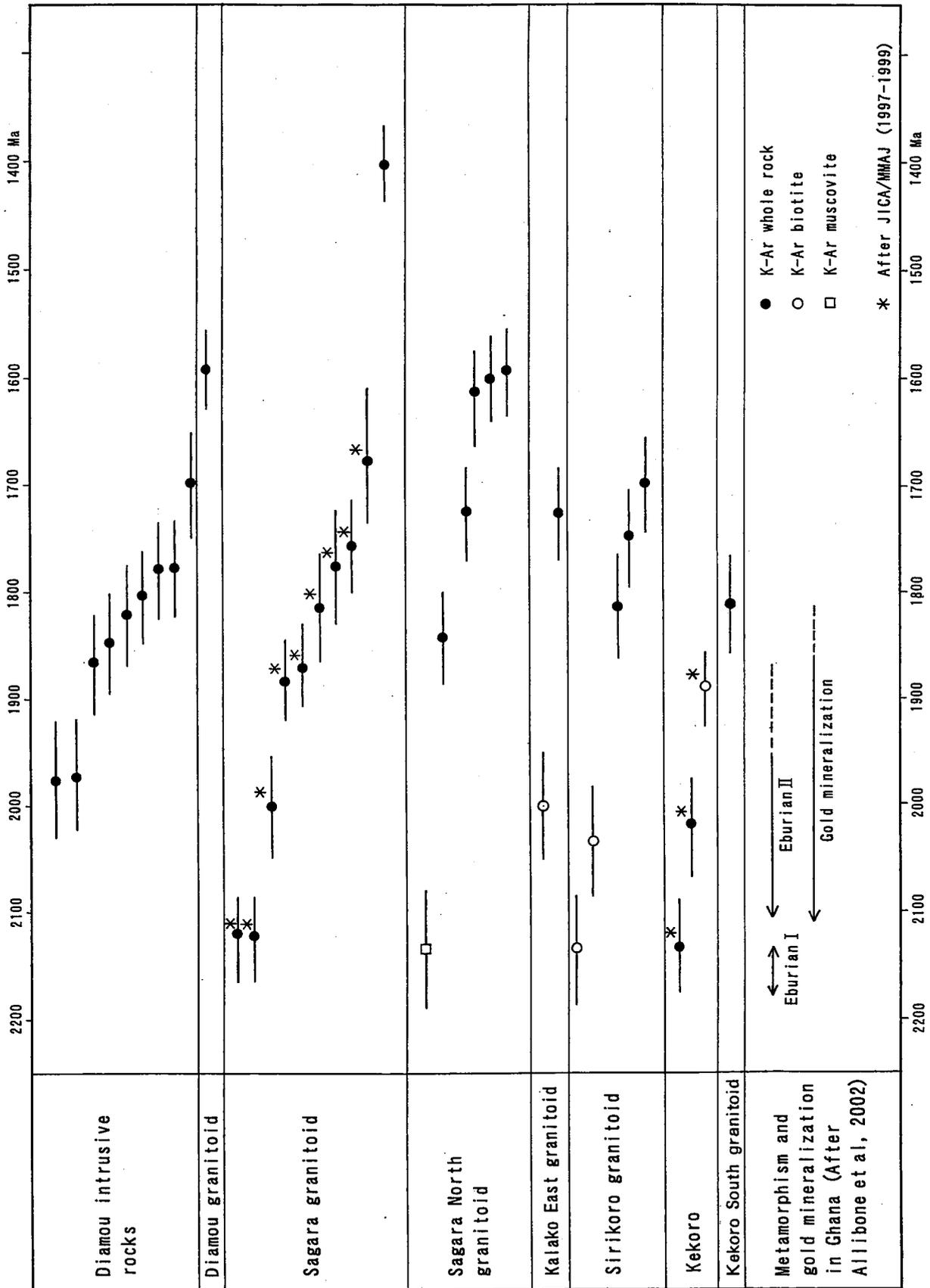


Fig. I -3-4 K-Ar dating of intrusive rock

(2) Roches intrusives paléo-protérozoïques

Elles sont constituées des roches volcaniques et des roches granitiques (granitoïdes) qui sont distribuées principalement dans les bordures des formations birrimiennes sous forme de batholite, amas ou de petit dyke (filon rocheux). Selon leur nature, occurrence et localisation, ces roches se subdivisent en : roches intrusives de Diamou, roches granitiques du Nord de Diamou, roches granitiques de l'Est de Diamou, roches granitiques au Nord de Sagala, roches granitiques à l'Est de Kalako, roches granitiques de Sirikoro, roches granitiques de Sagala et autres.

1) Roches intrusives de Diamou

Elles sont réparties dans la partie quasi centrale de la zone de Diamou sous formes de dykes (filons rocheux) dans les formations birrimiennes. Chaque dyke se présente de plusieurs à plusieurs dizaines de mètres de large et de plusieurs à plusieurs centaines de mètres de l'allongement dans la direction de NNW-SSE. Les roches sont la diorite et le porphyre quartzifère. Ces deux roches ont le contact dans les petites failles et se distribuent à la manière compliquée dans l'ensemble de la zone. La diorite est la roche en couleur grise sombre à grain moyen.

Les minéraux constituants principaux sont la plagioclase et l'actinolite accompagnées par le quartz et la biotite en petite quantité. Le porphyre quartzifère est la roche contenant les phénocristaux de feldspath et de quartz en abondance dans la pâte compacte de couleur blanc grisâtre. On rencontre parfois le porphyre quartzifère dont la pâte grain gros présente une apparence de l'aplite. Étant donné que les roches intrusives de Diamou contiennent la biotite à grain fin, l'actinolite et rarement la cordiérite, on peut penser qu'elles ont subi des influences thermiques après leur intrusion.

9 échantillons des roches intrusives de Diamou, à l'exception d'un échantillon apparemment rajeuni par l'influence thermique, montrent les valeurs de datation centrées aux gammes comprises entre 1780 Ma et 1880 Ma. Quant à la datation par roche, le porphyre quartzifère présente : 1976 ± 56 Ma à 1697 ± 50 Ma, tandis que la diorite présente : 1886 ± 48 Ma à 1779 ± 46 Ma. On peut dire qu'il n'y a pas de grande différence entre les valeurs de datation de ces deux roches. Compte tenu de leur âge et de leur occurrence en contact par les petites failles, il est possible que ces deux types de roches témoignent des activités magmatiques en caractère bimodal. Il est probable que ces roches montrent la datation plus jeune que celle réelle à cause de l'influence thermique. En tenant compte de ce fait, l'orogénèse de ces roches pourrait être estimée à la phase orogénique Eburnéenne de la Ghana.

2) Roches granitiques (granitoïdes) du Nord de Diamou

Elles sont distribuées dans le Nord du Secteur de Diamou en petite envergure. Elles sont constituées de la muscovite à grain fin et du quartz monzonitoïde à biotite. Ce sont les roches massives leucocratiques à grain fin teintées de rose. Ces roches sont constituées principalement du feldspath potassique, de la plagioclase, du quartz, de la biotite, de la muscovite et avec quelque peu de l'apatite. Un des échantillons de ces roches montre la valeur de 1591 ± 41 Ma. Selon la nature et leur répartition, ces roches seraient liées au porphyre quartzifère des roches intrusives de Diamou. Toutefois, la valeur obtenue de la datation de ces roches est 0.1 milliards d'années moins que celle du porphyre quartzifère.

3) Roches granitiques de l'Est de Diamou

Ces roches ont été vérifiées dans la zone de bloc dont l'étendue est de plus de plusieurs centaines de mètres en E-W sur plus de 100m en S-N , située à l'Est de la zone minéralisée centrale. Les roches sont constituées du quartz monzonitoïde à biotite leucocratique à grain moyen avec une faible structure de foliation. Par l'observation microscopique, on distingue les minéraux composants principaux qui sont le feldspath potassique, la plagioclase, le quartz, la bioite , associées par quelque peu d'apatite et de zircon. L'âge de ces roches est de 1279 ± 33 Ma. Dans la passée , dans cette zone et ses environs, on ne connaît pas de roches granitiques qui montrent de tel jeune âge de datation. Le fait d'intrusion de la diorite de l'ère Mésozoïque dans ces roches et ses voisinages peut nous faire penser que la diorite peut influencer sur la datation des ces roches.

4) Roches granitiques au Nord de Sagala

Elles sont distribuées de façon éparpillant , sous formes des amas dont le diamètre long éllipsoïdal de plusieurs centaines de mètres dans une zone couvrant le Nord de Sagala qui se situe à l'extrémité sud-ouest de la zone de Tonfara-Bouraba jusqu'à Kouloukolo. Les roches sont constituées de la roche monzonitoïde à biotite - muscovite grain fin à grain moyen dans laquelle souvent pénètre la pégmatisite intrusive. Les minéraux constituants principaux sont : feldspath potassique, plagioclase, quartz, biotite, muscovite. Ils sont accompagnés par quelque peu de zircon et d'apatite. 5 échantillons de ces roches présentent les valeurs de datation bien écartées les unes les autres: 1848 ± 48 Ma ~ 1594 ± 41 Ma. Par ailleurs, un échantillon a montré l'âge de 2136 ± 56 Ma qui est très ancien.

5) Roches granitiques à l'Est de Kalako

Elles sont distribuées sous formes du corps rocheux rond dont le diamètre long ellipsoïdal est de 10km environ. Elles sont constituées de la granite hornblendite à biotite dans laquelle on observe parfois de faible structure de foliation. Les minéraux constituants principaux sont : feldspath potassique, plaioclase, quartz, biotite, amphibole. Ils sont accompagnés par quelque peu de titanite et d'apatite. Un échantillon de ces roches présente les valeurs de datation de la biotite qui sont : 725 ± 44 Ma et 2010 ± 52 Ma. Ces valeurs de datation de la biotite peuvent être estimées à l'âge du système d'Eburnéen II de la Ghana.

6) Roches granitiques de Sirokoro

Elles sont distribuées sous formes des amas éllipsoïdals dont les diamètres longues sont comprises entre 500 m et 3 km et les diamètres courts sont de plusieurs centaines de mètres à 2 km environs. Elles sont composées du quartz monzonitoïde hornblendite à biotite à grain moyen. Les minéraux constituants principaux sont: feldspath potassique, plagioclase, quartz, biotite. Quelque peu de titanite , d'apatite et de zircon les accompagnent. Les échantillons de ces roches présentent les valeurs d'âge de la roche entière de 1697 ± 44 Ma à 1812 ± 47 Ma, tandis que les valeurs d'âge de la biotite sont de 2010 ± 52 Ma et 2042 ± 53 Ma. Ces deux sortes des valeurs de datation sont également estimables à l'âge des roches granitiques à l'Est de Kalako.

7) Roches granitiques de Sagala

Elles sont distribuées sous formes d'énormes batholites qui entourent les formations birrimiennes de la zone de Tonfara-Bouraba. Elles sont la granodiorite hornblendite à biotite à grain moyen.

Quant à ces roches , nous avons obtenu les valeurs de datation par les radiocarbone dans le cadre de "l'Etude de base para la coopération japonaise pour le développement des ressources minérales de la région de Kékoro,Baoulé-Banifing"(JICA/MMAJ 1997-1999). Ces valeurs sont centrées sur la période entre 1775 Ma et 1866 Ma. Ces deux périodes correspondraient aux périodes sur lesquelles sont centrées les valeurs de datation des roches d'intrusion de Diamou. Deux échantillons prélevés dans ces roches granitiques(granitoïde)de Sagala présentent les valeurs environnantes à 2120 Ma qui sontparticulièrementt anciennes.Ces périodes seront estimées à la période de la phase orogénique Eburnéenne du Ghana.

8) Roches granitiques du Sud de Kékoro

Elles sont distribuées dans les périmètres méridionaux environnant la zone minéralisée qui se situe au Sud de Kékoro en dehors de la zone de Tonfara-Bouraba.Nous décrivons ci-dessous ces roches pour la comparaison avec des roches décrites ci-dessus.

Ces roches sont la diorite quartzifère ou la diorite. Les minéraux constituants sont la plagioclase et le quartz.Les roches sont relativement riches en biotite qui aurait été formée secondairement. Les minéraux sous-composants sont la titanite et l'apatite . Un échantillon de ces roches a présenté une valeur de datation de 1813 ± 47 Ma. . Cet âge est compris dans l'étendue des valeurs de datation auxquelles sont centrées les roches intrusives de Diamou et les roches granitiques de Sagala.

(3) Roches intrusives permienes

Ces roches sont distribuées sous forme du corps rocheux dans toute la zone de Tonfara-Bouraba. La dimension de ces roches est,en général, de plusieurs dizaines de mètres de large sur l'allongement de plus de 100 m. Les roches sont la diorite à pyroxène à grain fin, le gabbro à pyroxène et le basalte à grain gros. Ces roches sont très souvent distribuées aux environs des anomalies magnétiques positives qui ont été extraites par la prospection magnétique aéroportée (aéroportée (JICA/MMAJ2001). 5 échantillons de ces roches présentent les valeurs de datation radiocarbone qui sont comprises entre 208 ± 7 Ma et 287 ± 8 Ma.

(4) Structure géologique

Les formations birrimiennes présentant l'inclinaison raide à l'Est dans la direction de NW-SE dans toute la zone de Tonfara-Bouraba constituent une simple structure monoclinale en apparence.Cependant, dans la zone de Diamou , les résultats d'étude de la détermination des litho-faciès ont vérifié la répétition des mêmes couches (JICA/MMAJ 2002)par le plissement dont la direction de l'axe de pli est NW-SE.En plus, la structure de pli d'une série de NW-SE a été vérifiée dans la partie centrale de la zone de Tonfara-Bouraba ainsi que dans la zone de Kékoro située au plus sud.

En tenant compte de ce fait, on peut estimer que la structure de pli sous forme ondulante dans les formations birrimiennes dans toute la région de Boulé-Banifing. Les

linéaments extraits sur les photos -satellites pourront refléter une structure sur une échelle relativement grande. Parmi ces linéaments, les directions prépondérantes sont : NNW-SSE ~ NW-SE , WNW-ESE ~ ENE-WSW. En outre, on reconnaît les directions N-S et E-W qui sont quand même moins fréquentes. Les directions N-S et E-W ont parfois une longueur de plusieurs dizaines de Km de façon intermittente.

De tels linéaments correspondront bien à la structure linéaire exprimée sur le plan différentiel de la première dimension verticale (JICA/MMAJ 2002 Fig II-2-23). Il est bien possible que ces tendances de linéaments expliquent très souvent la fracture.

Les photos - satellite ne permet pas de mettre en évidence le caractère et la relation périodique entre les linéaments. Toute fois , dans la zone de Diamou, les études par puits ont vérifié une prépondérance des directions de faille dans les directions de NW-SE, WNW-ESE, et ENE-WSW qui sont correspondantes aux directions des linéaments extraites sur les photo-satellite (JICA/MMAJ 2002). Les linéaments restitués sur photos-satellite et les failles vérifiées par l'étude sur terrain dans la zone de Diamou se correspondent selon leur direction concordante. Dans la zone de Diamou les linéaments de direction NNW-SSE et NW-SE correspondent aux failles renversées en inclinaison raide à l'Est , tandis que les directions WNW-ESE correspondent aux failles sénestres (à déplacement latéral gauche). Les directions de linéaments ENE-WSW correspondent aux failles normales à l'inclinaison raide sans déplacement considérable. De ce fait, toute la zone de Diamou aurait été dans les champs des contraintes régionales, lors de la formation des failles dont l'axe de compression est dans la direction de ENE-WSW. La direction de l'axe de pli vérifiée dans cette zone et ses environs sont concordante avec ce champs de contraintes.

Dans le secteur de Diamou, au long des failles de directions NNW-SSE ~ NW-SE et WNW-ESE pénètrent les roches intrusives de Diamou dont les bordures encaissant la minéralisation. Compte tenu de ce fait, ces deux directions de linéaments feront l'objet de l'examen, lorsqu'on sélectionnera des zones prometteuses.

Les linéaments extraits sur les photos-satellites pourront refléter les structures en dimension relativement petite. En effet, la concordance de la direction des linéaments avec la schistosité a été vérifiée dans de nombreux endroits. La plupart des linéaments interprétés se trouvent dans les directions NNW-SSE~NW-SE.

(5) Résultats d'analyse chimique de roche entière

A la base des résultats d'analyse chimique, nous décrivons ci-dessous les caractéristiques chimiques des roches intrusives, en employant de diverses cartes.

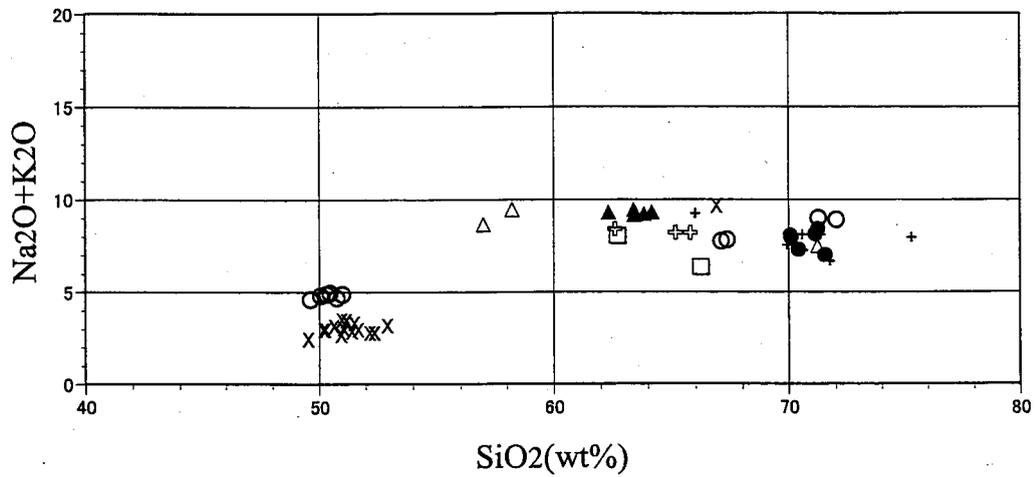
Les résultats d'analyse chimique sont montrés dans l'Appendice.

1) $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Fig.I-3-5)

Selon les valeurs de la teneur en SiO_2 (pourcentage en poids), les roches intrusives se subdivisent en deux groupes (Miyashiro et Kushiro).

Dans la première, les valeurs de teneur en SiO_2 sont centrées autour de 50% , tandis que dans la deuxième, les valeurs de teneur en SiO_2 sont comprises SiO_2 entre 58% et 73% . La première groupe correspond à la diorite des roches intrusives et aux roches basiques Mésozoïques. Le deuxième groupe correspond aux autres roches granitiques.

Parmi les roches classées dans le deuxième groupe, on peut noter que les roches granitiques situées à l'Est de Kalako sont pauvre en SiO_2 . Par contre, on a obtenu les valeurs



- Diamou Intrusive
- Diamou North Granotoid
- ▲ Diamou East Granotoid
- + Sagara North Granotoid
- △ Kalako East Granotoid
- ⊕ Sirikoro Granotoid
- Molira Granotoid
- × Mesozoic Intrusive

Fig. I -3-5 SiO₂/ K₂O+Na₂O variation diagram

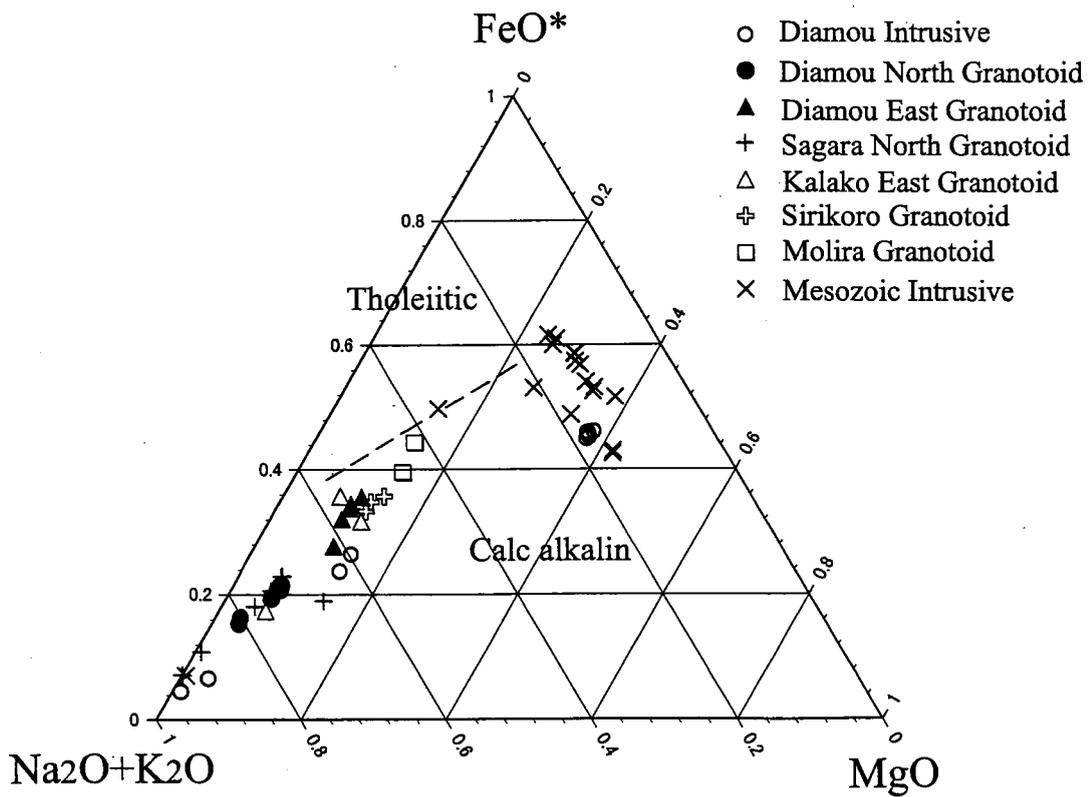


Fig. I -3-6 Molar proportion of Na₂O+K₂O , FeO*(total iron) and MgO

en SiO₂ supérieures à 70% des roches qui sont : porphyre quartzifère, des roches granitiques de Diamou, les roches granitiques du Nord de Diamou et celles au Nord de Sagala.

La teneur en Na₂O+K₂O est de 3%~ 5% dans la diorite des roches intrusives de Diamou et dans les roches basiques Mésozoïques. Elle est de 7%~10% dans les autres roches intrusives. Selon le classement des roches volcaniques par la teneur en SiO₂/Na₂O+K₂O, ces roches se trouvent dans le domaine frontière des roches alcaliques et des roches non-alkalique(Miyashiro et Kushiro 1975).

2) Diagramme AFM(Fig.I-3-6 , Irvine & Barragar 1971)

En utilisant le diagramme AFM, on reconnaît que les roches intrusives de la zone de Tonfara-Bouraba appartiennent à la direction de roche calco-alkaline.

3) Séries des roches granitiques (Fig.I-3-7 : Série de magnétite et Série d'ilménite)

Dans la série de magnétite sont classées les roches suivantes: Roches basiques intrusives de Diamou, roches intrusives Moyen Mésozoïques, roches granitiques à l'Est de Kalako, roches granitiques du Nord de Sagala. Les autres roches restantes se rapportent à peu près dans la direction d'ilménite ou dans le domaine frontière des deux séries.

4) Séries de roches granitiques(Type I et Type S)

Dans les séries de roches granitiques classées en deux types par Chappell et White (1979), le Type S représente le granite dont le genèse magmatique engagé par les roches éditimentaires détritiques(clastiques)dont les roches sédimentaires pélitiques en particulier. Le Type I représente le granite probablement formé par la refonte des roches magmatiques. Pour la distinction de ces deux types de séries, on utilise la proportion de Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)(Molarité supérieure à 1.1: Type S, Molarité inférieure à 1.1 : Type I) , ou le diagramme ACF ;la proportion CaO/(Al₂O₃-Na₂O-K₂O)+CaO+(FeO+MgO)).

Au moyen du diagramme ACF(Fig.I-3-8), les roches granitiques à l'Est de Diamou et celles du Sud de Kékoro se rapportent au Type S .Par contre, les roches granitiques du Nord de Diamou et les roches granitiques de Sirikoro ainsi que la diorite des roches intrusives de Diamou se rapportent au Type I.Toutes les roches restantes sont restituées dans le domaine chevauchant ou frontière de ces deux types.Par ailleurs, les roches granitiques à l'Est de Kalako qui contiennent l'amphibole comme le minéral constituant principal pourra être classées au Type I.

Table I-3-1 Granite series of the Intrusive rocks in Tonfara-Bouraba area

Granite series	Intrusive rocks
Magnetite series	I type Diamou Intrusive(Diorite) & Kalako East Granitoid
Ilmenite series	I type Diamou Intrusive (Quartz porphyry), Diamou North Granitoid & Sirikoro Granitoid
Ilmenite series	S type Diamou East Granitoid & Kekoro South Granitoid

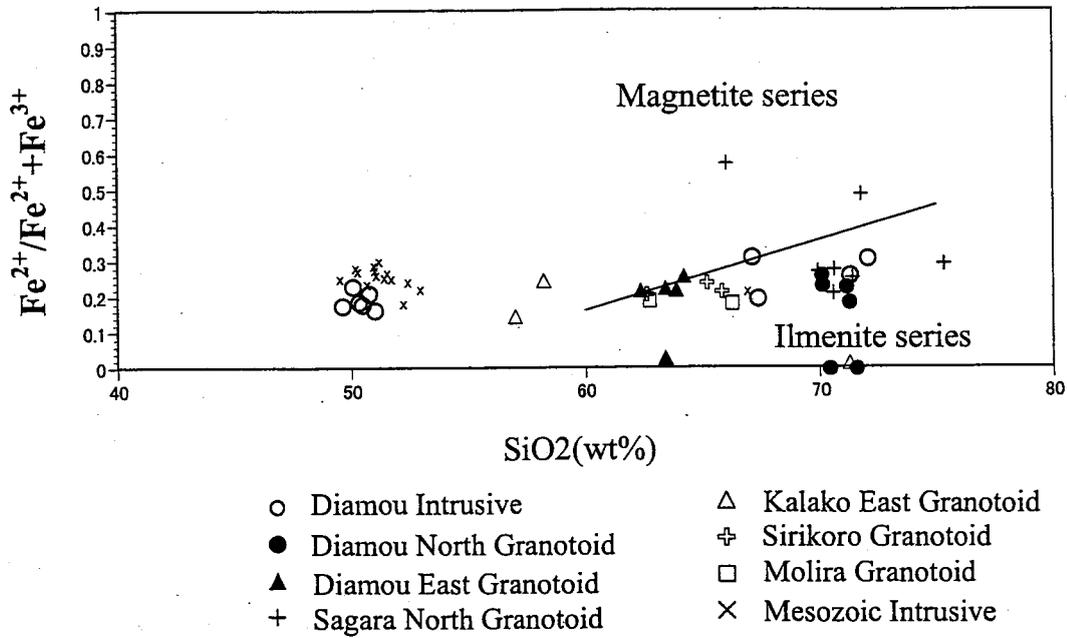


Fig. I -3-7 $SiO_2/(Fe^{3+}+Fe^{3+})$ variation diagram

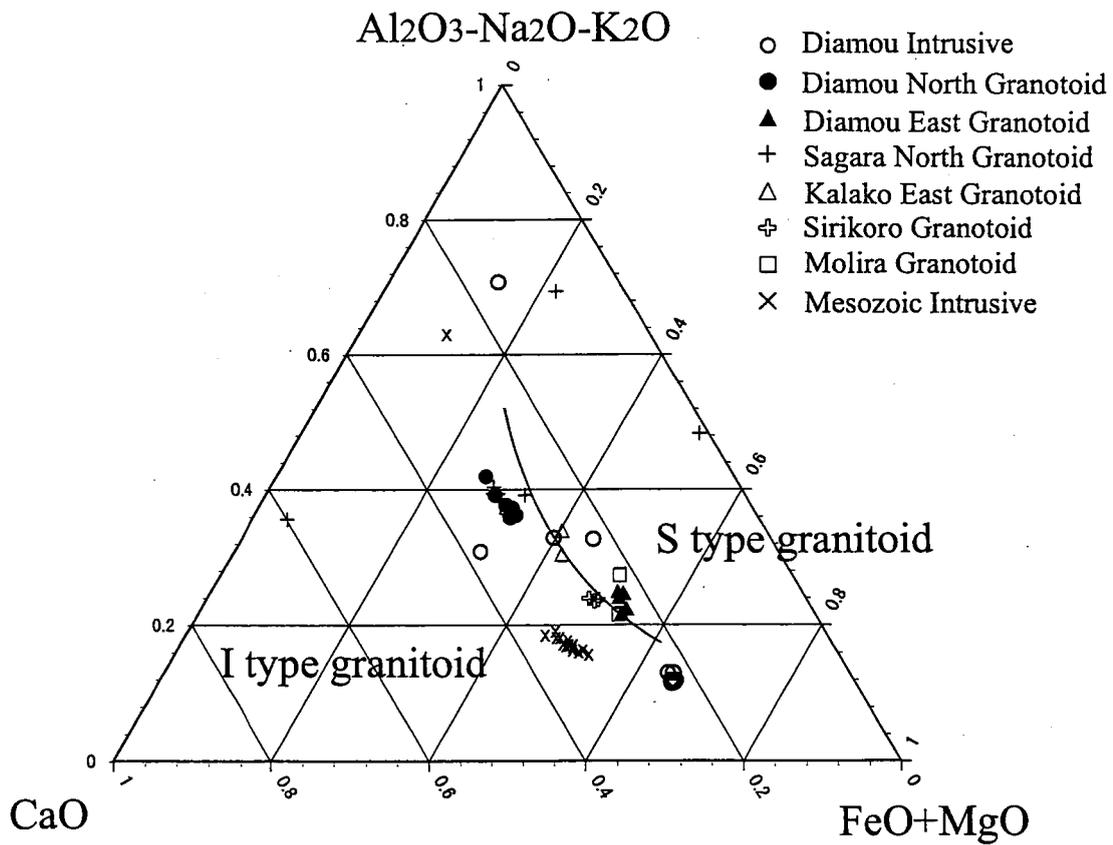


Fig. I -3-8 Molar proportion of CaO, $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$ and FeO+MgO

Nous décrivons ci-dessous la relation entre les roches intrusives et la minéralisation ou ses indices.

Les roches intrusives (diorite) de Diamou et les roches granitiques à l'Est de Kalako devront être classées au Type I. La présence d'une zone minéralisée encaissée dans les bordures des dykes de ces premières signifiera la relation entre la minéralisation et ces roches intrusives. La relation entre la minéralisation et les roches granitiques à l'Est de Kalako n'est pas nette. Toutefois, à l'ouest au delà de ces dernières, des anomalies géochimiques intéressantes ont été détectées (Voir la Chapitre II).

Le Type I (série d'ilménite) comprend les roches intrusives de Diamou (le porphyre quartzifère), les granitiques du Nord de Diamou et les granitiques de Sirikoro. On a extrait la zone minéralisée aux bordures des filons des roches intrusives (le porphyre quartzifère). Également, les anomalies géochimiques sont répandues largement dans les environs des roches granitiques dans le secteur de Sirikoro.

Les roches granitiques du Sud de Kékoro et celles de l'Est de Diamou sont en série d'ilménite, donc, elles devront être classées au Type S. D'autre part, on a vérifié une zone minéralisée aux environs des roches granitiques du Sud de Kékoro. On peut noter aussi que la zone minéralisée centrale reconnue se situe environ 1 km à l'ouest de la zone des roches granitiques de l'Est de Dimou.

Présentement, on reste à estimer que les roches granitiques de toutes les deux type de séries auraient des relations avec la minéralisations et des anomalies géochimiques sans pouvoir extraire des minéralisations prometteuses ni des anomalies intéressantes. Si on peut élucider dans lesquels séries appartiennent les roches magmatiques encaissant la minéralisation, cela nous permettra d'extraire des indices prometteurs à la manière plus efficace. On attend l'accumulation des données diverses, les valeurs de datation y comprises.

3-3 Indices des zones minéralisées prometteuses

La localisation des anciens sites d'orpaillages par la population locale est indiquée sur la carte géologique présentée dans la Figure I-3-3. La Figure I-3-4 présente la localisation des sites d'orpaillages vérifiés dans la zone de Tonfara-Bouraba. Les sites d'orpaillages locaux sont concentrés dans une zone chevauchant les secteurs de Diamou et de Siriba-Sobala, à 5 km loin des roches granitiques de Sagala. L'étendue de cette zone de concentration des sites d'orpaillage est concordante avec l'étendue des anomalies géochimiques. Cette zone peut être la plus prometteuse au point de vue de terrain encaissant la minéralisation aurifère dans la zone de Tonfara-Bouraba. Par ailleurs, on connaît également les traces des sites d'orpaillages en petite dimension dans les secteurs de Sirikoro et de Kalako.

On connaît de nombreux gisements aurifères encaissés dans les périmètres environnant de la zone de Recherche (Figure I-3-4). Ce sont les gisements aurifères dans les roches vertes. On estime que ces gisements aurifères sont encaissés dans les lignes tectoniques #, les plans stratifiques et les zones de fissures qui sont développées dans les formations birrimiennes et les roches magmatiques situées dans les voisinages de ces dernières.

Nous présentons ci-dessous le sommaire des gisements représentatifs de l'or au Mali : Sadiola, Loulo, Médinand, Kalana, Syama, et Morila. Ces gisements se sont produits dans le complexe Birrimien. Dans Tableau I-3-1, nous avons résumé le caractère de chaque gisement.

La mine de Sadiola : La mine de Sadiola se situe à près de 350 km à l'ouest de la capitale, Bamako, au voisinage de la frontière entre le Mali et le Sénégal. En ce qui concerne la quantité des ressources, celle de l'or est considérée comme près de 159t (la teneur moyenne : 3,06g/t Au) (DNGM, 2001 : document intérieur). Depuis décembre 1996, l'exploitation à ciel ouvert a commencé. La quantité de la production d'or en 2001 est 20,8t. Cette mine attire le regard en tant que la plus grande mine d'or dans le Mali, et comme une des mines les moins coûteuses dans le monde. L'exploitation est faite par SEMOS S.A. (dont le pourcentage d'apport est comme suit : Anglo-American S.A., 38%, Iamgold S.A., 38%, le gouvernement du Mali, 18%, IFC (International Finance Corporation), 6%). L'objet d'extraction est la saprolite qui contient l'or. La quantité minérale de la saprolite (zone oxydée) autour de la surface de la terre est 24,1Mt. Celle de la de saprolite (zone réduite) dans la partie inférieure est 18,9Mt. D'après le résultat de sondage, la zone de minéralisation d'or dans la partie profonde du sous-sol se répartit le long de la zone de fracture, qui s'appelle « la zone de la fracture Sadiola », ayant subi l'altération. Il est reconnu que cette zone se prolonge jusqu'à 400~500m du sous-sol.

La mine de Loulo : Elle se situe à près de 300 km au nord-ouest de Bamako, à près de 80km au sud de la mine de Sadiola. Ce gisement a été découvert en 1983. Aujourd'hui, SOMILO S.A. (dont le pourcentage d'apport est comme suit : Randgold S.A., 51%, La Source S.A., 29%, le gouvernement du Mali, 20%) effectue F/S. Le gisement d'or se produit dans la roche psammitique qui a subi l'action forte de la métamorphose en tourmaline. L'or se produit comme l'or naturel à l'état de dissémination dans la matrice de la roche psammitique. Il s'accompagne de la quantité énorme de minéral sulfuré à l'état de dissémination. D'après l'ancien document avant F/S, « le corps minéralisé Loulo 0 » se prolonge de 800m du sud au nord, de 10m de large, et sa quantité de ressources de la surface jusqu'à la profondeur de 150m au sous-sol est calculée comme 28,2t d'or (la teneur moyenne, 4,38g/t Au). (Dommanget et al., 1985)

La mine de Médinandi : Elle se situe au voisinage de la frontière entre le Mali et le Sénégal. En 1960, SONAREM a fait l'exploration, et a constaté Au 11,14g/t, et la quantité d'or de 4t. La roche-mère du gisement est la méta- grauwacke, et l'andésite, etc. du complexe Birrimien. La minéralisation est reconnue dans la zone de fracture du complexe Birrimien. Elle est à l'état de filon irrégulier, ou bien à l'état de dissémination. La zone de minéralisation est de 0,4-2,0m de large, et de 4-6km de long. L'or se produit, en s'accompagnant du filon de quartz et du minéral sulfuré. En tant que minéral sulfuré, la pyrite est la plus nombreuse, en s'accompagnant d'un peu de pyrrhotite, de chalcopyrite, de galène, et de sphalérite.

La mine de Kalana : Elle se situe au voisinage de la frontière entre le Mali et la Guinée, à près de 42km au sud de Yanfolila. Cette mine a été découverte en 1966 par

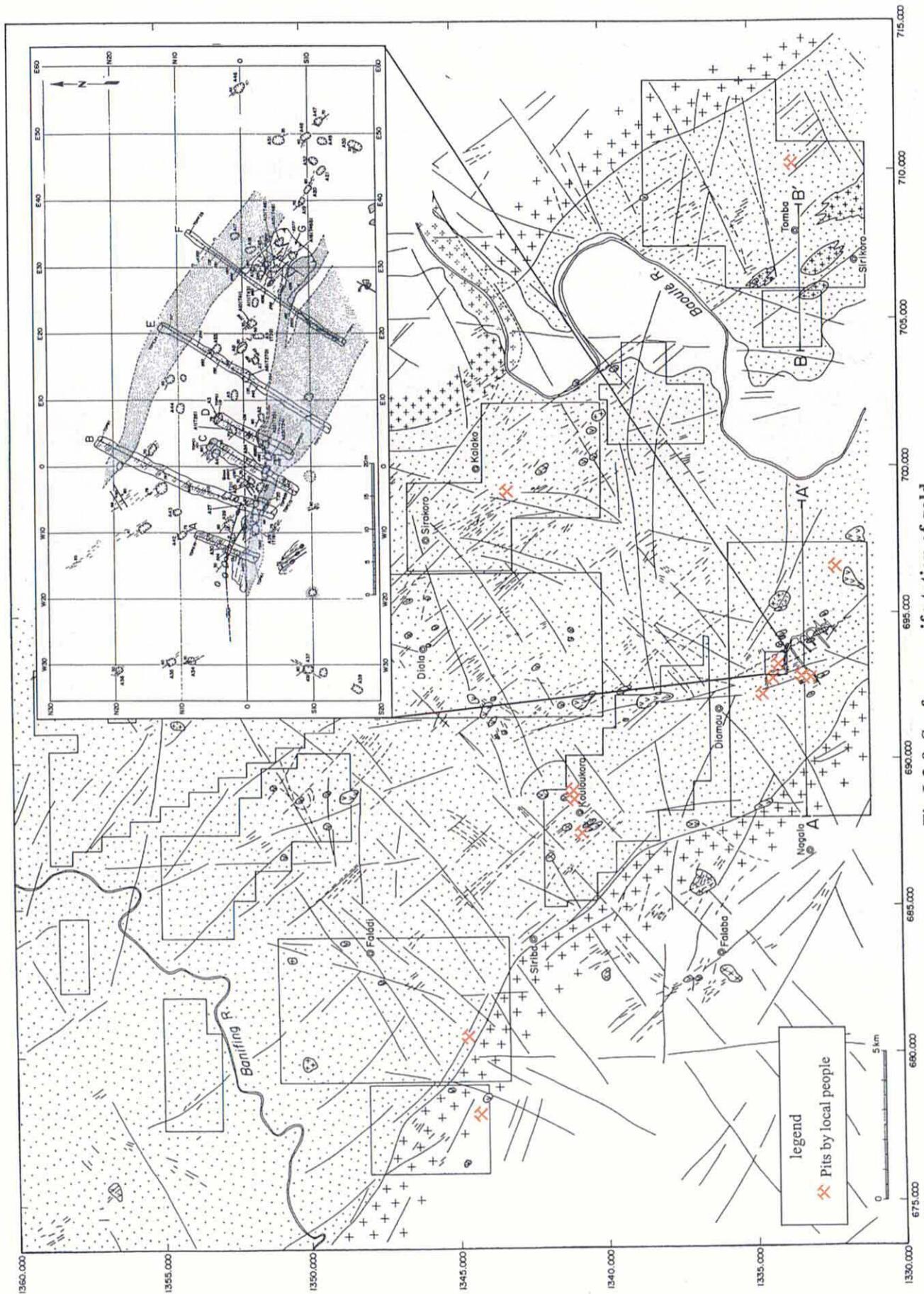


Fig. I-3-9 Surface manifestation of gold

SONAREM avec l'aide technique d'ancien URSS. Entre 1985 et 1991, elle a produit 2~3t d'or. Après l'effondrement d'ancien URSS, elle a suspendu l'exploitation. Depuis 1995, Ashanti Goldfield S.A. a obtenu la concession, et effectue maintenant F/S. L'or se produit dans le filon de quartz dont la roche-mère est la roche métasédimentaire et la diorite du complexe Birrimien. Dans le filon de quartz, la quantité énorme de l'arsénopyrite et de la pyrite est reconnue. La température de l'obturation de l'inclusion fluide est 340~420°C. En ce qui concerne la quantité des ressources, celle d'or est considérée comme près de 44t (la teneur moyenne, 15g/t Au) (DNGM, 2001 : document intérieur).

La mine de Syama : Elle se situe à près de 300km au sud de Bamako. Dans les années 1960, le levé aérien et la prospection de sondage ont été effectués par SONAREM. Pendant les années 1980~1986, la prospection géochimique du sol et la prospection de puits et de fossé ont été effectuées par DNGM et UNDP. En 1987, BHP a conclu un contrat de l'entreprise participation avec le gouvernement du Mali, et a commencé activement l'exploration dans cette zone si bien qu'il a découvert le gisement d'or à grande échelle, avec la quantité de minerais de 22,5Mt, la quantité d'or de 88,5t, et la teneur moyenne de 3,9g/t Au. Ensuite, comme il y avait la découverte des gisements de satellite tels que Syama Extension, Banaso, etc., la quantité de minerais a davantage augmenté. Depuis 1990, l'extraction à ciel ouvert a commencé, et 24t d'or s'est produite jusqu'à 1997. Depuis 1996, SOMISY S.A. (dont le pourcentage d'apport est comme suit : Randgold S.A., 65%, DNGM, 20%, IFC, 15%) a exploité cette mine. La roche-mère du gisement se compose de l'andésite, le basalte, et le chert du complexe Birrimien, et la zone de minéralisation d'or se développe dans la zone de fracture, en la direction du sud au nord, avec la pente ouest de 70°, et de 20~40m de large. Dans cette zone de fracture, on reconnaît largement la carbonisation, l'albitisation, la séricitisation, et la dissémination de pyrite, parmi lesquels l'or se produit à l'état de dissémination, comme l'or naturel.

La mine de Morila : Elle se situe à près de 30km, au sud-est de la zone Kékoro. Dans les années 1950, la France, dans les années 1970, la France et SONAREM, entre 1984 et 1987, le Mali et la Belgique ont respectivement effectué la prospection géochimique du sol, et les recherches des zones prometteuses, et ont découvert quelques points de l'anomalie géochimique et la zone de fracture. En 1992, BHP a obtenu la concession de Morila, et a effectué la prospection de sondage, et de puits, les recherches de VLF, et d'IP. Par conséquent, quelques zones de dissémination de sulfure et de l'anomalie d'IP ont été extraites. Depuis 1996, Randgold S.A. a succédé cette concession, et a découvert le gisement à grande échelle en 1997. En ce qui concerne la quantité des ressources, la quantité d'or est considérée comme 150t (la teneur moyenne, 4~6g/t Au) (DNGM, 2001 : document intérieur). L'or se produit comme l'or naturel à grain fin, à l'état de dissémination, dans la roche psammitique de qualité wacke dans le complexe Birrimien, ou bien dans la zone de dissémination de pyrite-arsénopyrite dans le biotite-schiste. On reconnaît un peu de filons fins de quartz qui est parallèle à la schistosité de la roche-mère.

Section 4 Histoires des exploration de la zone de Recherche

4-1 L'historique de l'exploration

Nous présentons ci-dessous le sommaire de l'histoire de l'exploration depuis 1970 autour de la région de Baoulé-Banifing. Nous présentons la carte de la présentation de l'exploration dans le passé dans Fig. I-4-1.

1970~1972 : SONAREM (Société Nationale de Recherches et d'Exploitation Minière) a effectué les recherches par sondages pour le spodumène au sein de la pegmatite dans la région de Bougouni.

1972~1974 : BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) a effectué la prospection géologique (partiellement la prospection géochimique), principalement pour Cu, Ni, Pb, Zn, Sn, Li, Nb, Ta, dans la région de Bougouni-Sikaso (l'étendue des recherches, 30.000km²).

1980~1990 : UNDP (United Nations Development Program) a effectué la prospection géochimique pour la vaste zone, afin d'explorer l'or dans la partie sud du Mali (l'étendue des recherches, 25.000km²).

1991~1994 : JICA (Japan International Cooperation Agency) et MMAJ (Metal Mining Agency of Japan) ont effectué la prospection géochimique afin d'explorer l'or dans la région de Bougouni (l'étendue des recherches, 14.000km²).

1998~2000 : JICA et MMAJ ont effectué la prospection géochimique et la prospection par sondages afin d'explorer l'or dans la région de Kékoro—Baoulé-Banifing (l'étendue des recherches, 7.000km²).

4-2 Le résultat sommaire des recherches entre 1998 et 2000

Dans Fig. I-4-1, nous présentons la carte du sommaire des recherches entre 1998 et 2000 dans la région de Kékoro—Baoulé-Banifing. Dans Tableau I-4-1, nous présentons le sommaire du résultat de cette recherche.

Table I-4-1 Exploration results in 1998 to 2000

	1998	1999	2000
Contents	<ul style="list-style-type: none"> • Satellite image analysis • Geological survey • Geochemical survey 	<ul style="list-style-type: none"> • Topographic map making • Geological survey • Geochemical survey • Pitting • RC drilling 	<ul style="list-style-type: none"> • Geophysical survey(IP) • RC drilling • Diamond core drilling
Results	Selected Kekoro area and Sagala area as the detail exploration site in three intense gold anomalous zones based on geochemical survey.	Concluded Kekoro F, northern part of Kekoro A, southern part of Sagala and northern part of Sagala as the first priority exploration sites.	Discovered gold mineralized zones (>1g/t Au) in Kekoro and Sagala based on survey as above. Gold bearing in meta sedimentary rock with anomalous pyrite and arsenopyrite or quartz veinlet in granodiorite.