

Caractéristiques structurales des granitoïdes des secteurs d'Ayorou et de Kandadji (Liptako, Ouest Niger)

[Structural characteristics of the granitoids in the Ayorou and Kandadji area (Liptako, western Niger)]

Gambo Ranaou Noura, Yacouba Ahmed, Mallam Mamane Hallarou, Hassane Ibrahim Maharou, Sofiyane Abdourahmane Attourabi, and Hamidou Garba Saley

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire des Eaux Souterraines et Géoressources,
Equipe Socle et Ressources Minérales, BP 10662 Niamey, Niger

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The Ayorou and Kandadji sectors are located in northern Niger's Liptako in the Téra-Ayorou pluton, composed mainly of granodiorites and various granites. This study investigates the structural characteristics of the granitoids of the Téra-Ayorou pluton in the Ayorou and Kandadji areas. Field and laboratory work revealed two major deformation phases, D1 and D2. Tectonic structures observed on granodiorites and synkinematic biotite granite (foliation, mineral lineation, shear corridors, folds and boudins identified) were assigned to deformation phase D1, which is ductile to semi-ductile. Other structures (quartzo-feldspathic, pegmatitic and doleritic fractures and veins) affecting all lithologies, have been linked to deformation phase D2, which is frankly brittle. The average direction of shortening of the compressive stress responsible for setting up the foliation (S) is generally N-S (Z N185° in Ayorou) and NNE-SSW (Z N225° in Kandadji). The shear zones were controlled by a shortening of average direction Z N195° (dextral shear zones) and Z N135° (senestial shear zones).

KEYWORDS: Granodiorites, granites, foliation, mineral lineation, shear zone, fractures.

RESUME: Les secteurs d'Ayorou et de Kandadji se situent au Nord du Liptako nigérien dans le pluton de Téra-Ayorou, composé essentiellement de granodiorites et de granites divers. Cette étude porte sur les caractéristiques structurales des granitoïdes du pluton Téra-Ayorou dans les secteurs Ayorou et Kandadji. Les travaux de terrain et les travaux de laboratoire ont permis de mettre en évidence deux phases majeures de déformation D1 et D2. Des structurales tectoniques observées sur des granodiorites et le granite à biotite syncinématique (foliation, de la linéation minérale, des couloirs de cisaillement, des plis et des boudins identifiés) ont été rattachées à la phase de déformation D1 qui est ductile à semi-ductile. D'autres structures (fractures et filons quartzo-feldspathiques, pegmatitiques et doléritiques) affectant toutes les lithologies, ont été reliées à la phase de déformation D2 qui est franchement cassante. La direction moyenne de raccourcissement de la contrainte compressive responsable de la mise en place de la foliation (S) est orientée globalement N-S (Z N185° à Ayorou) et NNE-SSW (Z N225° à Kandadji). Les couloirs de cisaillement ont été contrôlés par un raccourcissement de direction moyenne Z N195° (couloirs dextres) et Z N135° (couloirs senestres).

MOTS-CLEFS: Granodiorites, granites, foliation, linéation minérale, couloir de cisaillement, fractures.

1 INTRODUCTION

Les plutons granitoïdiques intrusifs dans les ceintures des roches vertes du Liptako nigérien ont fait l'objet de plusieurs travaux tendant à caractériser leur pétrographie ([1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]), leur géochimie ([8], [4], [6],) et leur géochronologie ([9], [10], [11], [12], [13], [8], [4]). Ces travaux ont démontré que les granitoïdes du Liptako sont des roches calco-alcalines mises en place en contexte de subduction à partir d'un point chaud ([4], [6]) et au cours de l'orogénèse éburnéenne entre 2000 à 2190 Ma ([2], [9],; [10], [11], [12], [13], [8], [4]).

Les études structurales réalisées dans le Liptako ont concerné essentiellement les ceintures des roches vertes de la Sirba ([3]), de Diagou-Darbani ([4], [12]), du Gorouol ([6]) et de Makalondi ([7]). Les études structurales entreprises principalement dans les plutons granitoïdiques sont limitées aux travaux de [9]; [12]; [15]. Les deux premiers auteurs ont mené des travaux à grande échelle couvrant l'intégralité des granitoïdes du Liptako mais donnant moins de visibilité et de précision à l'échelle locale. Ils ont mis en évidence plusieurs phases de déformations, possédant des caractéristiques multiples entre les périphéries et les centres des plutons. [15] ont tenté de caractériser les déformations en relation avec la mise en place des pegmatites à l'échelle locale (secteur Dibilo), au contact du pluton de Téra-Ayorou avec la ceinture de Diagorou-Darbani.

L'objectif de cette étude consiste à mieux caractériser les structures tectoniques qui affectent les granitoïdes du pluton de Téra-Ayorou, en particulier au centre de ce pluton.

2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le Liptako nigérien appartient au domaine Paléoprotérozoïque de la dorsale de Léo-Man, précisément sur sa bordure NE. Cette dorsale forme avec la dorsale Reguibat, le bloc cratonique de l'Afrique de l'Ouest (Fig. 1). Le Liptako nigérien est caractérisé par une alternance des ceintures de roches vertes (Gorouol, Dargorou-Darbani, Sirba et Makalondi) et des plutons granitoïdiques (Dargol-Gothèye, Torodi et Téra-Ayorou) orientés globalement NE-SW. Les secteurs d'Ayorou et de Kandadji, objet de la présente, se localisent au Nord du pluton de Téra-Ayorou. (Fig. 2). Les ceintures vertes sont représentées par des roches volcaniques (basaltes), des roches plutoniques basiques (gabbros) et des roches métamorphiques (amphibolites, pyroxénites, schistes, épidotite, grenatites et serpentinites, [1], [2], [3], [13], [4], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [6], [22], [23], [24], [25], [7]). Les plutons granitoïdiques sont formés par des roches plutoniques acides (granites, syénites, granodiorites, monzonites, tonalites, trondhjémites), intermédiaires (dacites) et des roches métamorphiques (gneiss et migmatites, [9], [10], [11], [12], [8], [4], [17], [5], [15]). Une couverture sédimentaire, comprenant des roches infracambriennes (grès quartzitiques, diamictites), oligocènes (alternance de grès argileux et de grès oolithiques) et quaternaires (alluvions, colluvions et dunes), repose en discordance majeure sur les formations birimiennes ([26], [27], [28], [29]).

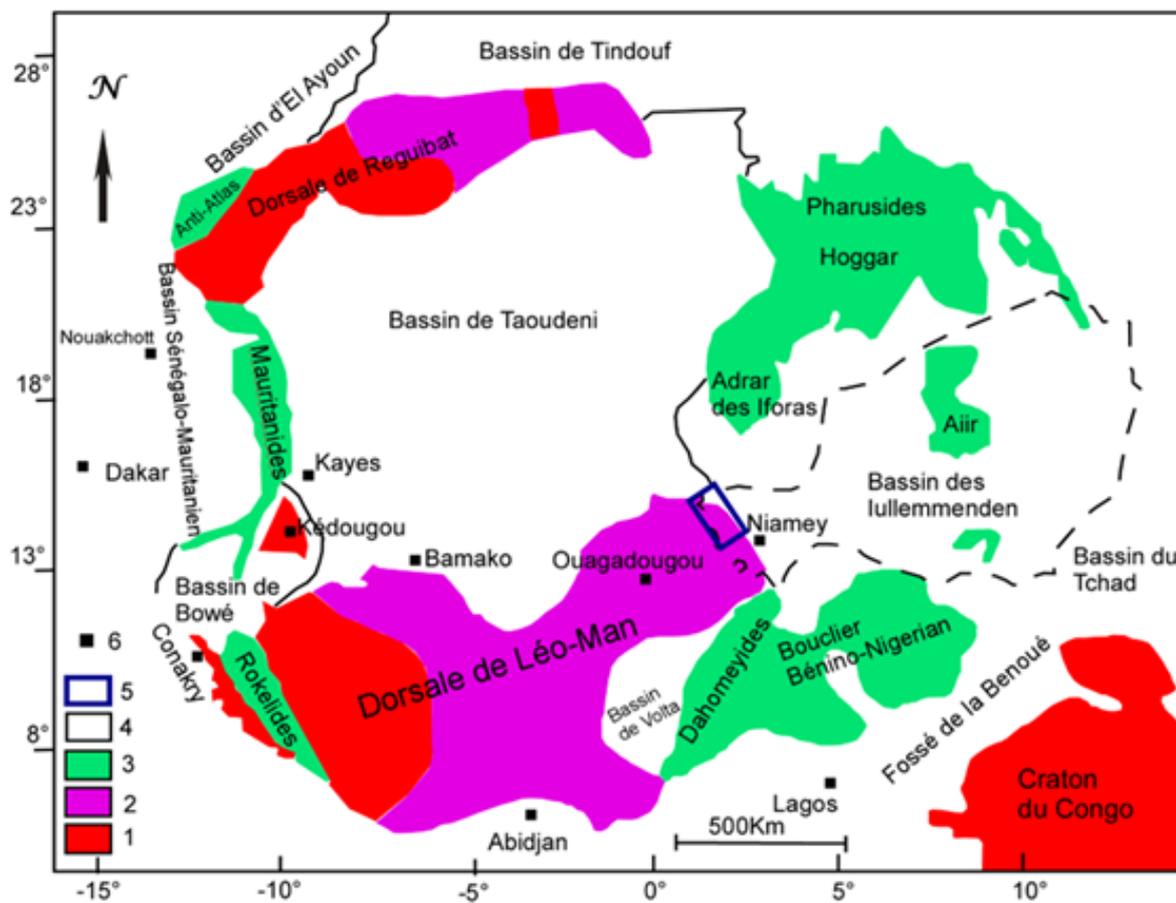


Fig. 1. Carte géologique simplifiée de l'Afrique de l'Ouest, montrant la localisation du secteur d'étude ([30]).

1: Archéen; 2: Birimien; 3: Zones mobiles panafricaines; 4: Bassins sédimentaires d'âge néoproterozoïque à paléozoïque; 5: Zone d'étude; 6: villes.

La géologie des secteurs d'Ayorou et de Kandadji est constituée à plus de 70% du volume total des roches par une granodiorite foliée ([9], [12]). Elle est recoupée au Nord du pluton par une granodiorite porphyrique à mégas cristaux de feldspaths, un granite à biotite à grains fins à moyens de nature syncinématique, un granite à deux micas post-cinématique, des diorites et syénites quartziques, des filons quartziques, quartzo-feldspathiques, pegmatitiques et des dykes d'aplites et de dolérites ([12]). Les structures tectoniques décrits dans les anciens travaux ont été développées essentiellement sur les granodiorites possédant des grains moyens à fins et une teinte grise.

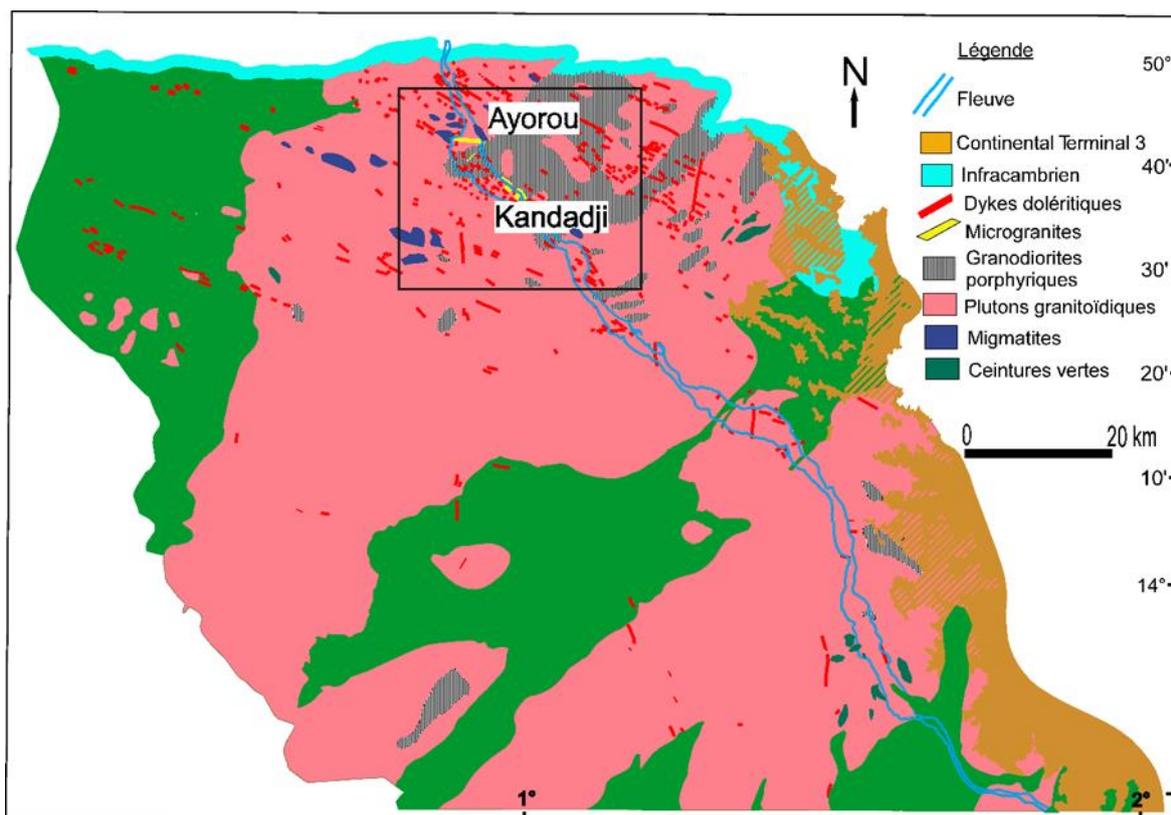


Fig. 2. Carte géologique du Liptako nigérien (extrait de la carte de [2])

3 METHODOLOGIE

La méthodologie mise en œuvre dans le cadre de cette étude a consisté en des travaux de terrain en des travaux de laboratoire.

Les travaux de terrain se résument en une collecte de données à travers la description pétrographique des lithologies et des structures tectoniques ayant affectées les affleurements. Cette démarche a permis également de faire des mesures structurales et le prélèvement des échantillons. Une centaine de mesures des plans de structures tectoniques a été réalisée sur le terrain.

Les travaux de laboratoire ont consisté à la confection des lames minces et leur observation au microscope polarisant, en vue de circonscrire les structures tectoniques intracristallines. L'étude de relations de recoupement entre les structures tectoniques identifiées à l'affleurement et lors des études microtectoniques et le traitement de mesures structurales au moyen du programme Stéréonet 10 ([31]) ont permis de déterminer les phases de déformations responsables de la mise en place des différentes structures affectant les granitoïdes ainsi que de comprendre les directions moyennes de raccourcissement de ces phases de déformation.

4 RESULTATS

Les granitoïdes des secteurs d'Ayorou et de Kandadji ont été affectés par des structures tectoniques (foliation, linéation minérale, couloirs de cisaillement, plis et boudins) liées à une première phase de déformation ductile à semi-ductile D1 et des structures (fractures et filons quartzo-feldspathiques, pegmatitiques et doléritiques) liées à une deuxième phase de déformation franchement cassante D2.

4.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA PHASE DE DÉFORMATION DUCTILE À SEMI-DUCTILE D1

- Foliation (S)

La foliation (S) affecte fréquemment les granodiorites et localement le granite à biotite syncinématique dans les deux secteurs d'étude. Cette foliation (S), présentant un caractère pénétratif, se matérialise à l'affleurement par une alternance de lits clairs quartzo-feldspathiques et de lits sombres fins de biotite et d'amphibole. Les mesures de plans de la foliation (S) montrent une variation locale dans les deux secteurs d'étude. A Ayorou, les trajectoires de la foliation (S) varient entre N80°-N110° et des pendages compris entre 60° et 75° vers le Sud ou SW (Fig. 3a). Par contre, à Kandadji, les trajectoires ont une direction allant de N110° à N130° pour un pendage 50°-65° vers le SW ou l'Ouest (Fig. 3b).

Le traitement des mesures des plans de la foliation (S) à l'aide du programme Stéréonet indique une direction moyenne de raccourcissement de l'azimut Z N185° (N-S) à Ayorou (Fig. 4a) et de l'azimut Z N225° (NNE-SSW) à Kandadji (Fig. 4b).

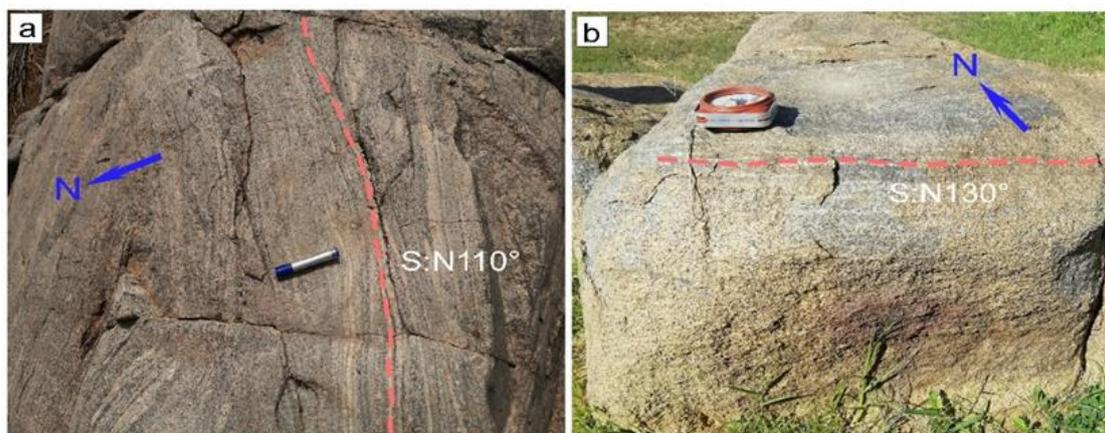


Fig. 3. Photographies montrant l'orientation de la foliation (S) (a) des granodiorites d'Ayorou et (b) du granite à biotite syntectonique de Kandadji. S: trajectoires de la foliation

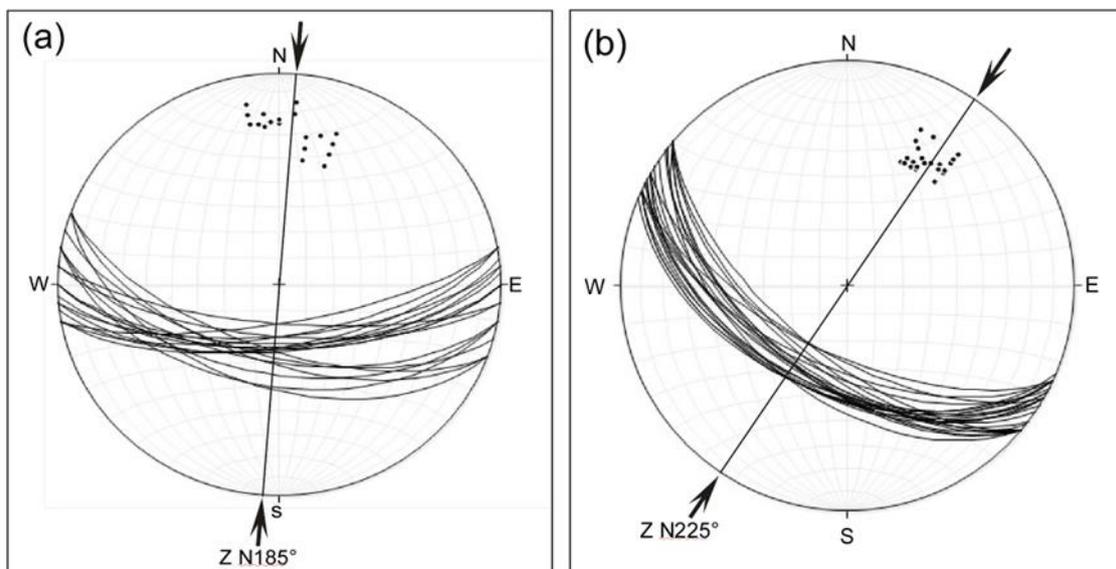


Fig. 4. Résultats de la projection stéréographique des plans de la foliation (S) mesurés à (a) Ayorou et (b) Kandadji.

- Linéation minérale

La linéation minérale a été observée localement sur les granodiorites au Nord et à l'Ouest d'Ayorou et au Sud de Kandadji. Elle est sécante au plan de la foliation (S) et se matérialise par un alignement préférentiel des cristaux allongés de plagioclase,

de biotite et d'amphibole (Fig. 5). Dans les deux secteurs, elle se caractérise par des faibles valeurs de plongement comprises entre 10° et 20° vers le SE ou le SW.



Fig. 5. Photographie montrant l'orientation et l'éirement des cristaux d'amphibole, de feldspaths et de biotite sur une granodiorite foliée.

- Couloirs de cisaillement

Les couloirs de cisaillement, observés au Nord et à l'Ouest d'Ayorou localement au Nord de Kandadji, ont affecté les granodiorites gneissiques et les granites à biotite migmatitiques. Généralement de nature semi-ductiles, ils ont réactivé les trajectoires de la foliation (S) en développant des plis, des boudins et des structures sigmoïdes (Fig. 6). Ils présentent le plus souvent une composante dextre où le plan C a une orientation comprise entre N100° à N110° et un pendage de 20° à 35° vers le Sud ou SW (Fig. 6a). En outre, des couloirs à jeu senestre et dont le plan C est orienté N40°-N55° (pour un pendage de 60° à 80° vers le Sud ou SE) ont été identifiés par endroit dans les deux secteurs (Fig. 6b).

La projection des mesures de plans C des couloirs de cisaillement sur les stéréogrammes (Fig. 7a, b) montre une direction moyenne de raccourcissement de l'azimut Z N195° (couloirs à jeu dextre) et de l'azimut Z N135° (couloirs à jeu senestre).

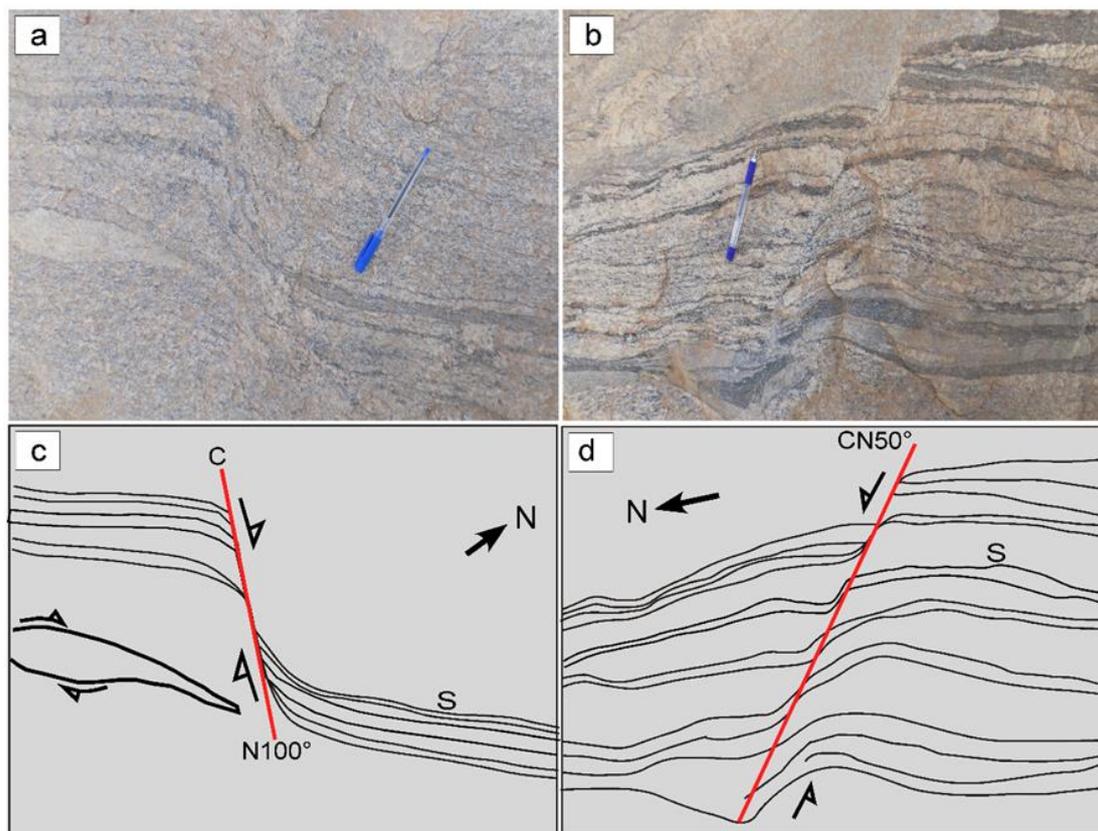


Fig. 6. Photographie montrant les couloirs de cisaillement semi-ductile à composante dextre (a) et senestre (b) associés aux granites gneissiques voire migmatitiques. S: trajectoire de la foliation plissée.

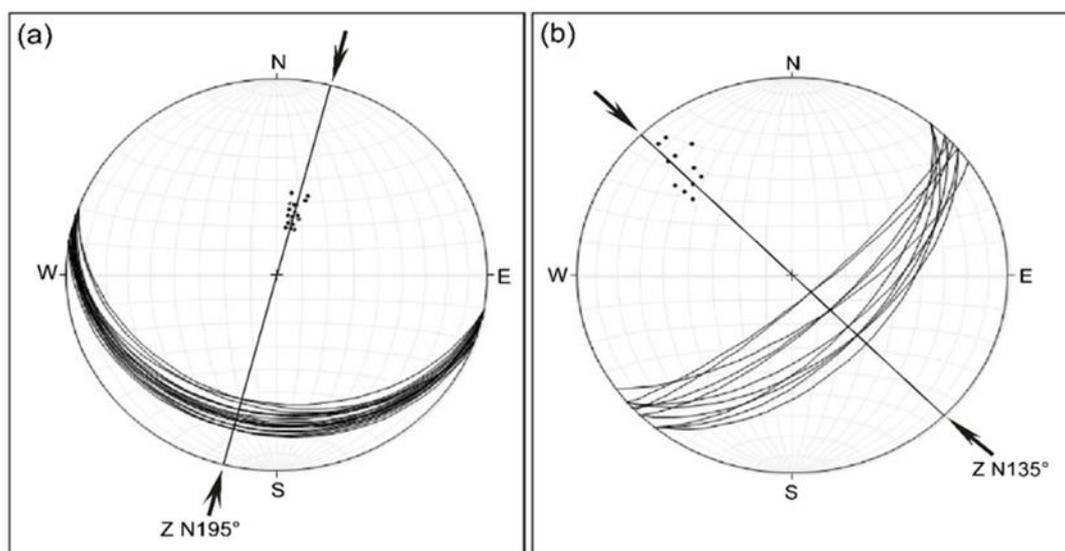


Fig. 7. Résultats de la projection stéréographique des plans C des couloirs de cisaillement semi-ductile à composante (a) dextre et (b) senestre.

- Plissement et boudinage

Le plissement et le boudinage affectent les granodiorites gneissiques et les granites migmatitiques. Les plis se caractérisent par des axes à faible plongement (20 à 30° vers le NE ou le NW). Ils sont essentiellement isopaques et localement anisopaques. Ils présentent des flancs et charnières dont l'organisation et l'agencement décrivent un S ou un Z (Fig. 8a). Les boudins sont

asymétriques et se dessinent à l'affleurement sur des lits quartzo-feldspathiques centimétriques et semblent paralléliser la trajectoire de la foliation (S) (Fig. 8b). Ils se caractérisent par endroit par des lentilles à géométrie sigmoïde fruste (fabrique S/C) mettant en évidence une composante rotationnelle dextre de la déformation.

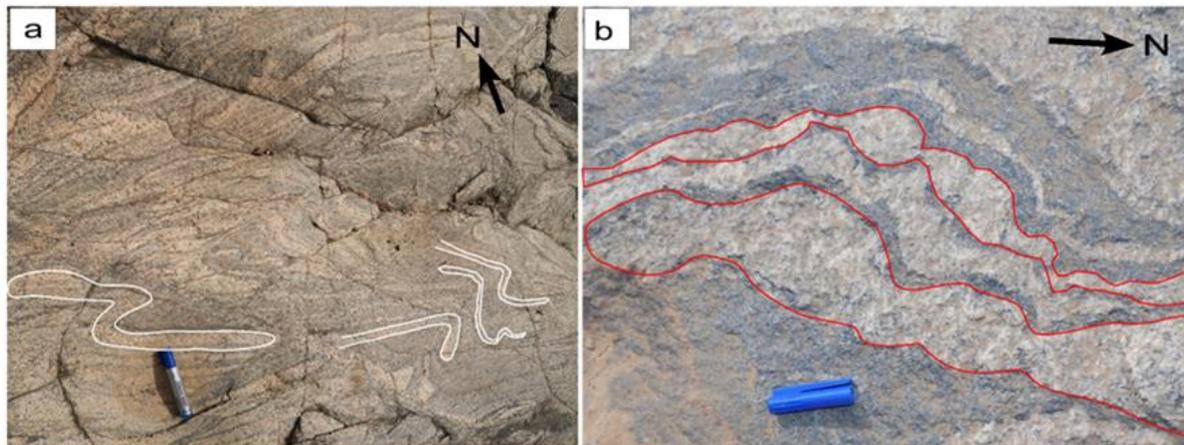


Fig. 8. Photographie montrant (a) des plis quasi-symétriques développés à partir de la foliation (S) sur une granodiorite gneissique et (b) des boudins asymétriques observés sur un granite migmatitique.

- Structures tectoniques intracristallines

Les observations des lames minces réalisées à partir des granodiorites (Fig. 9b, c, d) et du granite à biotite syncinématique (Fig. 9a) au microscopique polarisant indiquent des structures de la déformation ductile à semi-ductiles. La foliation (S) se reflète dans les microphotographies par une alternance de cristaux gris-blancs (quartz, plagioclase et orthose) et marron-verdâtres (biotite, chlorite, épidote, amphibole, Fig. 9a, b, c et d). Les cristaux de quartz présentent une extinction onduleuse ou des contours localement dentelés ou en forme ouillée dessinant un couloir du cisaillement ductile à jeu senestre (Fig. 9b). Le plagioclase et la biotite se caractérisent par des cristaux subautomorphes à xénomorphes, parfois tordus ou plissés (Fig. 9c). Ils sont tachetés avec l'amphibole par de minéraux secondaires (séricite, épidote et chlorite) typiques du faciès schiste vert (Fig. 9b, c et d). Les minéraux chloriteux associés à la biotite dessinent localement avec cette dernière des microplis (Fig. 9c).

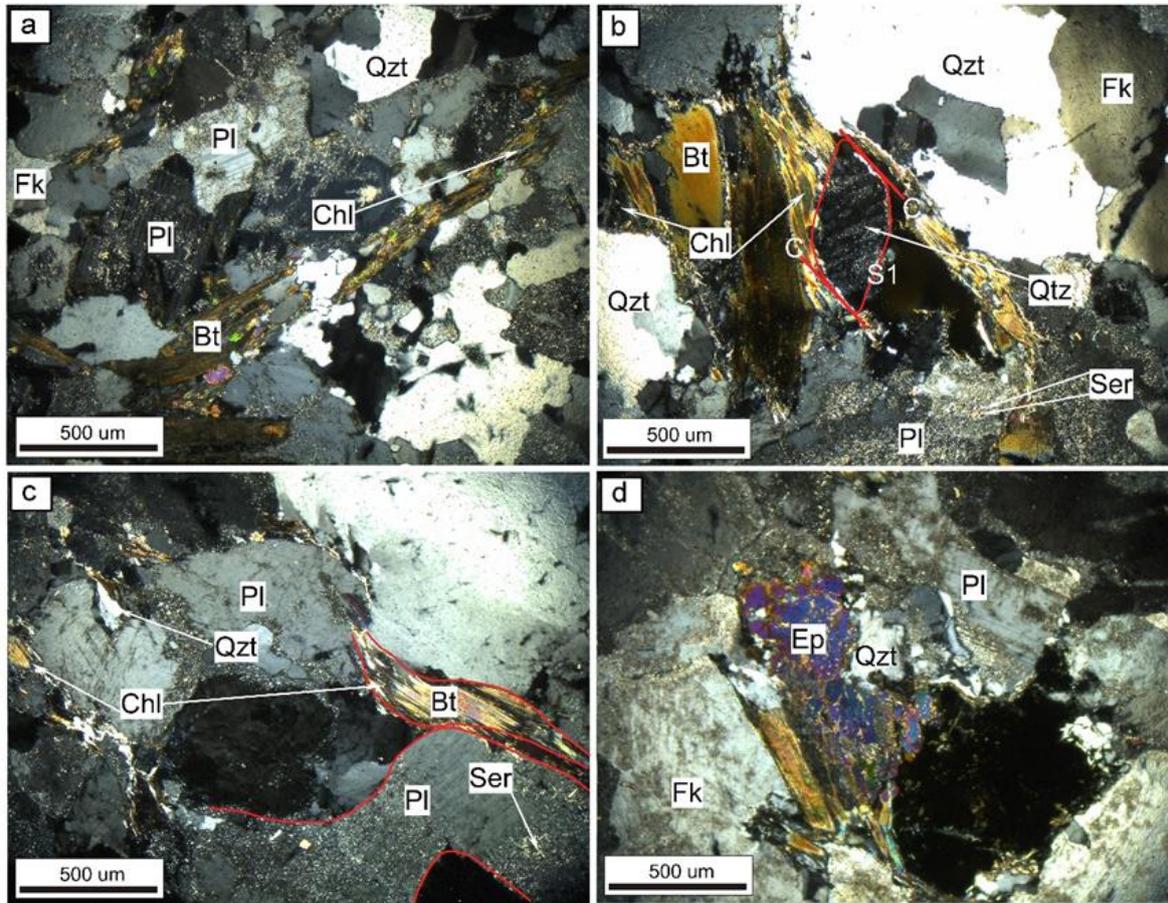


Fig. 9. Microphotographies montrant les minéraux constitutifs (a et b) du granite à biotite et (c et d) de la granodiorite des secteurs d'étude.

4.2 CARACTÉRISTIQUES DE LA PHASE DE DÉFORMATION CASSANTE D2

La phase de déformation D2 se manifeste sous forme de fractures et des filons quartziques, quartzo-feldspathiques, pegmatitiques et des dykes d'aplites et de dolérites, présentant des dimensions et des directions variables.

- Fractures

Les fractures apparaissent sous diverses formes et affectent toutes les lithologies sur des dimensions métriques à pluricentimétriques. La première catégorie de fractures forme des décrochements dextres ou senestres. Dans cette catégorie, des fractures de direction N00° à N20° recoupent des fractures d'orientation N100° à N140° (Fig. 10A, B). La deuxième catégorie est composée par des fractures conjuguées non cisillantes orientées N50° à N90° et N150° à N170°. Les deux catégories se matérialisent par endroit en des fractures de dimensions centimétriques, débitant les affleurements en feuillets (schistosité de fractures).

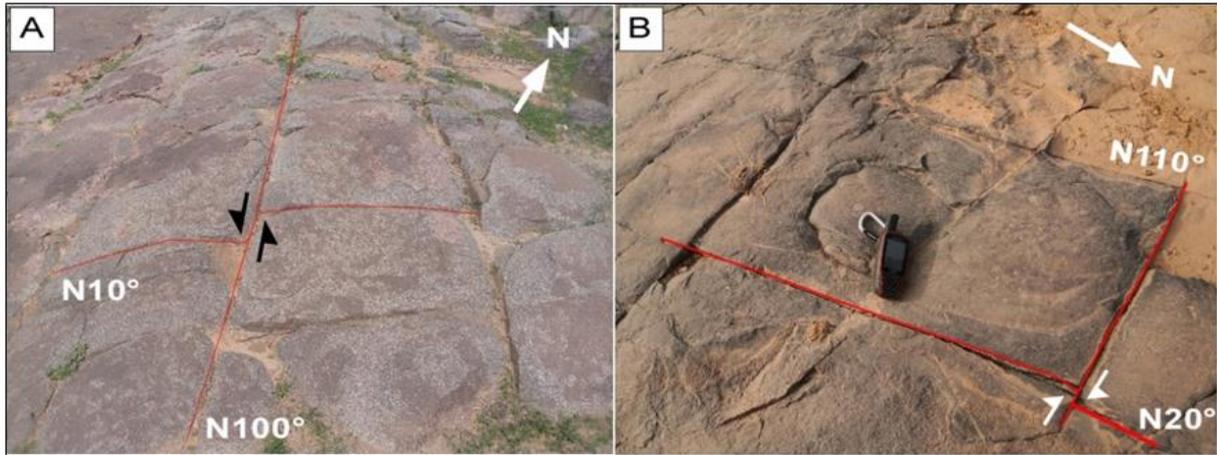


Fig. 10. Photographies montrant les fractures cisailantes à composante (a) senestre et (b) dextre affectant des granodiorites.

- Filons

Au niveau des affleurements des granodiorites gneissiques et des granites migmatitiques, certaines fractures sont remplies par des veinules de quartz, quartzo-feldspathiques, aplitiques, pegmatitiques ou doléritiques (Fig. 11). Les veines se distinguent à l’affleurement par des teintes blanchâtre (filons quartzitiques et quartzo-feldspathiques), grisâtre (aplités), rosâtre (pegmatites) et marron (dolérites). Ces filons recoupent des structures d’anatexis (leucosomes), traduisant ainsi un caractère tardif par rapport aux structures qu’elles recoupent. De même, des dykes doléritiques de largeur plurimétrique, de longueur métrique à plurikilométrique et d’orientation N100° à N140° recoupent ces granodiorites et granites.

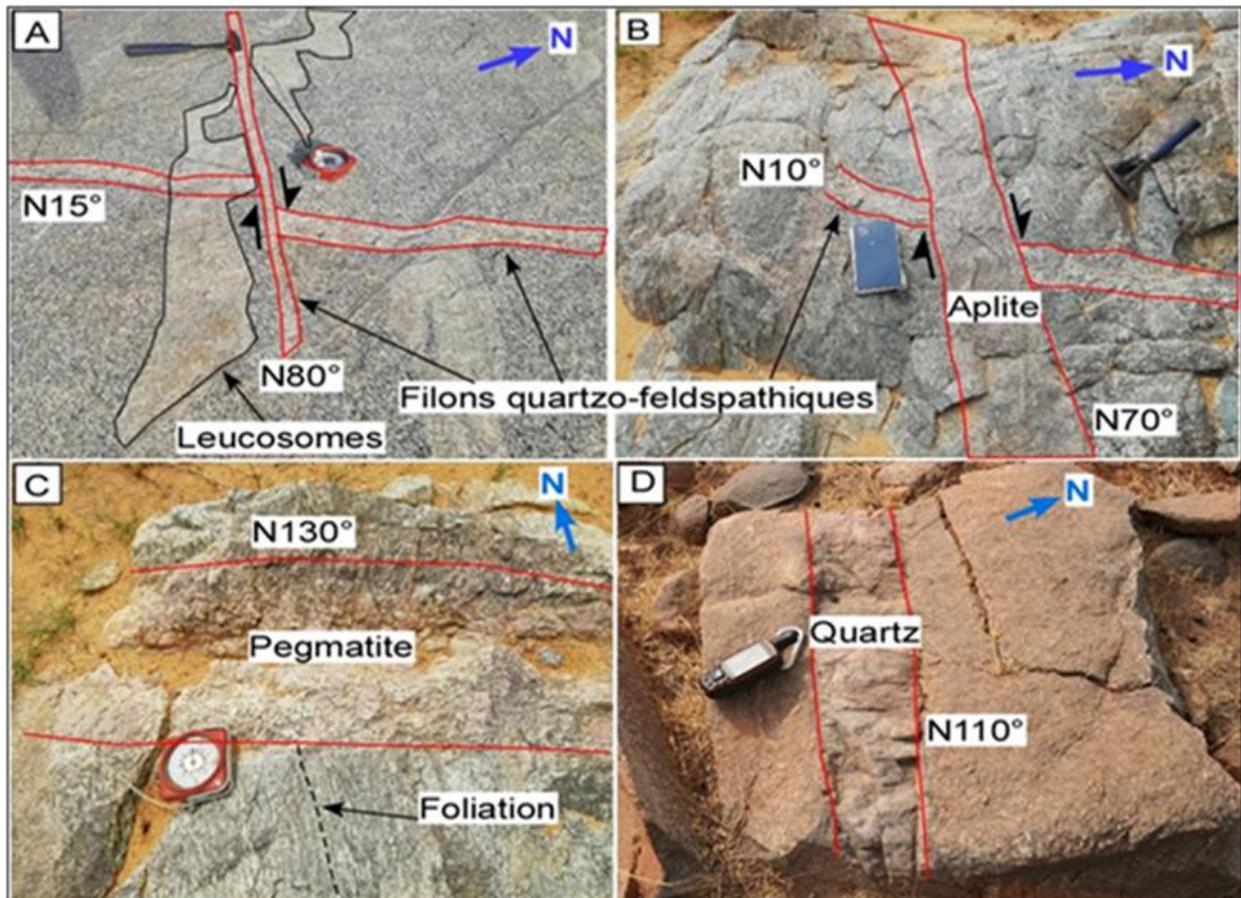


Fig. 11. Photographies montrant (A et B) des filons quartzo-feldspathiques et aplitiques injectés dans des fractures cisailantes à jeu dextre ou senestre et (C et D) des filons quartzitiques et pegmatitiques colmatant des fractures simples.

4.3 DISCUSSION

Les structures tectoniques (foliation, linéation minérale, couloir de cisaillement, fractures, filons) décrits dans le cadre de cette étude se rapprochent des résultats obtenus par [32], [33] dans les granodiorites de la Côte d'Ivoire et par [12], [4], [14], [14] dans les granodiorites et les granites du Liptako. L'hypothèse évoquée par [12], [14], [15] pour expliquer le changement des trajectoires de la foliation entre le centre des plutons (où elle est circulaire) et les périphéries (où elle est orientée globalement NE-SW), est la structuration en dôme du pluton de Téra-Ayorou. Cette caractéristique justifie aussi les variations des plans des couloirs de cisaillement (NNW-SSE au centre et NE-SW aux bordures) et du pendage de la linéation minérale (faible au centre et élevé aux bordures). Ces hypothèses expliquent ainsi le changement constaté dans les trajectoires de la foliation (S) dans les deux localités (E-W et NNW-SSE à Ayorou et NW-SE à Kandadji) et relativement la variation des directions de raccourcissement de la contrainte compressive de N-S (Ayorou) à NNE-SSW (Kandadji).

La phase de déformation D1 a été associée dans le Liptako à la tectonique verticale ou transcurrente couplée à l'expansion et au gonflement des plutons ([9]; [12], [3], [4], [14], [6], [7], [15]) ou à la tectonique tangentielle ([34]). Pour [14], elle serait guidée par la genèse et l'accrétion de la croûte continentale juvénile birimienne.

Le mécanisme de formation et d'acquisition des structures ductiles à semi-ductiles liées à la phase de déformation D1 a été discuté par plusieurs auteurs dans le Liptako et le Craton Ouest Africain.

La foliation a été acquise au cours de l'intrusion et de l'écartement des plutons simultanément à un resserrage de la contrainte compressive régionale, à un stade avancé de la cristallisation du magma ([9], [12], [3], [4], [14], [6], [7], [15]). Pour d'autres auteurs Ouest Africain ([35]), la foliation résulterait d'une tectonique transcurrente ou d'une conséquence lointaine engendrée par une zone de suture dans le domaine Paléoprotérozoïque de la dorsale de Man.

D'après les travaux de [9], [12], [4], [14], [6], [15], [7], la linéation minérale s'est formée lors d'un écoulement magmatique, suivit d'une déformation à l'état solide à haute température et que les faibles valeurs du plongement sont le reflet de gonflement des plutons.

Quant aux couloirs de cisaillement, ils ont été acquis à un stade tardif de la mise en place des plutons, au moment où ils étaient dans un état solide mais toujours ductile et qu'ils seraient guidés par des joints croisés dus à l'expansion du pluton de Téra-Ayorou ([12], [15]). Ces derniers auteurs ([15]) ont démontré que les deux couloirs de cisaillement sont contemporains, conjugués et ont été mis en place au cours d'une même compression.

Le mécanisme de formation des plis de type S et Z, a été rapporté en Côte d'Ivoire par [31], [32] sur des granodiorites. Ils seraient occasionnés d'après ces auteurs, par une flexion postérieure au fonctionnement des couloirs de cisaillement ductile.

Les boudins ont été mis en place par ségrégation, suivi d'une segmentation et d'un étirement des lits quartzo-feldspathiques suivant l'axe XZ de la déformation ([36], [6], [15]).

La phase cassante D2 mise en évidence dans le cadre de cette étude est comparable à la phase D2 mentionnée par [14] et [7] dans les ceintures vertes du Liptako. Elle correspond aussi à la phase D4 décrit par [4] et à l'épisode D1c décrit par [6] dans les ceintures vertes.

Cette phase a été attribuée par ces auteurs aux activités tectoniques tardi à post-éburnéens ou aux échos de l'orogénèse Panafricaine. Les fractures mises en évidence dans le cadre de cette étude, représentées essentiellement par des fractures N-S (N00-N20°, N150-N160°), WNW-ESE (N90-N110°) et ENE-WSW (N60-N80°), ont été évoquées par [37], [15], [7] dans les granitoïdes et les formations des ceintures vertes du Liptako. Les deux catégories de fractures ont été classées par [36] en décrochements éburnéens Pi1a (N00 et N10°) et Pi1b (N70 et N80°), en fractures tardi-éburnéennes Ps2a (N10 et N20°), Ps2b (N130° et N140°) et Pi2 (N100° et N110°) et en fractures post-birimiennes PS3 (N160° et N170°). Cette classification soutient les résultats de la présente étude du fait que les veinules quartziques, quartzo-feldspathiques, aplitiques, pegmatitiques remplissant localement certaines fractures, sont éburnéens à tardi-éburnéens ([2], [14], [4], [15]) et les filons de dolérites injectés dans les fractures sont tardi à post-birimiens ([3], [38], [39]).

Les deux phases de déformations D1 et D2 mises en évidence dans les secteurs d'Ayorou et de Kandadji sont similaires aux déformations décrites dans les roches birimiennes du Liptako nigérien et du Craton Ouest Africain dans son ensemble. Dans le Liptako, quatre phases de déformation (D1, D2, D3 et D4) ont été définies par [4], trois phases (D1, D2 et D3) par [7], deux phases (D1 et D2) par [3], [14], [15], [6]. Dans le Craton Ouest Africain, plusieurs phases de déformation ont été rapportées: deux phases (D1 et D2) par [40],; trois phases (D1, D2 et D3) par [41], [41], [42], [43], [35], [31], quatre phases (D1, D2, D3 et D4) par [44], [45], six phases (D1, D2, D3, D4, D5 et D6) par [46] et sept phases (D1, D2, D3, D4, D5, D6 et D7) par [47].

5 CONCLUSION

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude montrent que les granitoïdes des secteurs d'Ayorou et de Kandadji ont été affectés par deux phases majeures de déformation D1 et D2.

Les structures tectoniques occasionnées par la phase D1, typiques des événements orogéniques éburnéens, traduisent un continuum de déformation de l'état ductile (contrôlé par la mise en place de la foliation et de la linéation minérale) à l'état semi-ductile (contrôlé par la mise en place des couloirs de cisaillement, des plis et des boudins) dans un régime compressif interférant l'expansion latérale du pluton de Téra-Ayorou et son gonflement au centre.

L'existence des fractures éburnéennes dans un contexte compressif ne pourrait être expliquée que par des mouvements de réajustement isostatique localisés au sein d'une croûte continentale birimienne surépaissie, couplée à une inversion de contrainte. Les fractures tardi-éburnéennes résulteraient d'un relâchement de la contrainte compressive régionale tandis que les fractures post birimiennes pourraient être une conséquence directe des événements orogéniques Panafricains.

L'aspect symétrique des plans de la foliation (S) ainsi que l'orientation et l'étirement des cristaux impliquent une déformation dans un régime co-axiale tandis que l'asymétrie des plis et des boudins ainsi que la présence d'une composante rotationnelle (structures sigmoïdes au contact des couloirs de cisaillement) témoignent une déformation dans un régime non co-axiale.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les personnes dont les noms suivent: Mallam Mamane Hallarou, Hassane Ibrahim Maharou, Sofiyane Abdourahamane Attourabi et Hamidou Garba Saley, pour leur contribution lors de la collecte des données de terrain et/ou lors de la rédaction du manuscrit.

REFERENCES

- [1] E. Machens, «Notice explicative sur la carte géologique du Niger Occidental. Carte Géol. 1/200 000ème,» Dir. Mines Géol., Niger, 45p, 1967.
- [2] E. Machens, «Contribution à l'étude des formations du socle cristallin et de la couverture sédimentaire de l'Ouest de la République du Niger,» In Mém. BRGM N° 82, 1973.
- [3] I. Ama Salah, «Pétrographie et relations structurales des formations metavolcaniques et sédimentaires du Birimien du Niger occidental: Problème de l'accrétion crustale au paléoprotérozoïque inférieur,» Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléan, 270p, 1991.
- [4] A. Soumaila, «Etude Structurale, pétrographique et géochimique de la ceinture Birimienne de Diagorou Darbani, Liptako, Niger Occidental (Afrique de l'Ouest),» Thèse de Doctorat de l'Université de France-Comté, 260p, 2000.
- [5] S. A. Attourabi, Y. Ahmed, M. M. Hallarou, «Origin and Emplacement Conditions of the Dibilo Lithiferous Mineralization (Liptako, Western Niger),» International Journal of Science and Research (IJSR), 10 (10), 55–71, 2021.
- [6] M. M. Hallarou, «Contexte de mise en place des minéralisations en cuivre et en molybdène des formations birimiennes de la région de Kourki (Liptako, Ouest Niger) : Génèse et évolution magmatique,» Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, 255p, 2021.
- [7] H. Garba Saley, «Contexte de mise en place des minéralisations en chrome et en cuivre des formations birimiennes de la région de Makalondi (Liptako, Ouest Niger): implication géodynamique,» Thèse de Doctorat de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 260p, 2022.
- [8] A. Abdou, H. Bonnot, D. Bory Kadey, D. Chalamet, S. M. M. et Y. I., «Notice explicative des cartes géologiques du liptako à 1/100 000 et 1/200 000,» Ministère Des Mines et de La Géologie, Rép. Niger, 1998.
- [9] D. Dupuis, J. Pons, P. A., «Mise en place de plutons et caractérisation de la déformation au Niger occidental,» C.R. Acad. Sci. Paris, t. 323, Série II A, serie II a, 769–776, 1991.
- [10] C. Lama, «Apport de la méthode K-ar à la compréhension de l'histoire géologique des granitoïdes birimiens du Liptako (Niger Occidental) et des leucogranites à deux micas de Tagragra d'AKKA (Anti-Atlas Occidental, Maroc),» Thèse INPN l'Université de Lorraine, 142p, 1993.
- [11] A. Cheilletz, M. Cuney, B. C.-C. R. de, & 1992, U, «40 Ar/39 Ar ages of the Beauvoir topaze-lepidolite leucogranite and the Chedeville sodolithic pegmatite (North French Massif Central). Petrologic and geodynamic signfication,». Inis.laea.Org, 1994.
- [12] J. Pons, P. Barbey, D. Dupuis, J. M. Léger, «Mechanisms of pluton emplacement and structural evolution of a 2.1 Ga juvenile continental crust: the Birimian of southwestern Niger,» Precambrian Research, 70 (3–4), 281–301, 1995.

- [13] I. Ama Salah, J. P. Liegeois, A. Pouclet, «Evolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba): Géologie, géochronologie et géochimie,» *Journal of African Earth Sciences*, 22 (3), 235–254, 1996.
- [14] A. Soumaila, & M. Konaté, «Caractérisation de la déformation dans la ceinture birimienne (paléoprotérozoïque) de Diagorou-Darbani (Liptako nigérien, Afrique de l'Ouest), » *Africa Geoscience Review*, 12, No. 3, 161–178, 2005.
- [15] Y. Ahmed, S. A. Attourabi, M. M. Hallarou, L. I. Chamsi, G. R. Noura, C. M. M. Sanda, «Relationship between regional deformation and the emplacement of the Dibilo pegmatites (Liptako, West Niger),» *Journal of African Earth Sciences (Vol. 198, p. 104814)*, 2022.
- [16] A. Soumaila, et Z. Garba, «Le métamorphisme des formations de la ceinture de roches vertes birimienne (paléoprotérozoïque) de Diagorou-Darbani (Liptako, Niger, Afrique de l'Ouest),» (pp. 107–128), 2006.
- [17] A. Soumaila, P. Henry, Z. Garba, M. Rossi, «REE patterns, Nd-Sm and U-Pb ages of the metamorphic rocks of the Diagorou-Darbani greenstone belt (Liptako, SW Niger): Implication for Birimian (Palaeoproterozoic) crustal genesis,» *Geological Society Special Publication*, 297 (June), 19–32, 2008.
- [18] A. Soumaila, Z. Garba, I. A. Moussa, H. Nouhou, D. Sebag, «Highlighting the root of a paleoproterozoic oceanic arc in Liptako, Niger, West Africa,» *Journal of Geology and Mining Research.*, 8 (2), 13–27, 2016a.
- [19] A. Soumaila, Y. Ahmed, H. Nouhou, «Géochimie des basites et ultrabasites de Ladanka (Liptako, Niger),» *Journal Des Sciences I.S.S.N 0851 – 4631*, 16 (Decembre), 37–54, 2016b.
- [20] M. M. Hallarou, M. Konaté, A. S. Olatunji, Y. Ahmed, F. F. Ajayi, R. M. Abdul, «Re-Os Ages for the Kourki Porphyry Cu-Mo Deposits, North West Niger (West Africa),» *Geodynamic Implications,» European Journal of Environment and Earth Sciences*, 1 (4), 1–13, 2020a.
- [21] M. M. Hallarou, M. Konaté, A. S. Olatunji, Y. Ahmed, «The Kourki porphyry Cu-Mo deposit is located in the southern part of the Gorouol greenstone belt in Western Niger,» *Geological Society, London, Special Publications, Vol 1 (Issue 4 |)*, 1–13, 2020b.
- [22] M. M. Hallarou, M. Konaté, Y. Ahmed, M. M. S. Chékaraou, S. A. Attourabi, L. I. Chamsi, G. R. Noura, «Paleoproterozoic basalt rocks related to plumes in the Gorouol belt,» *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*, 2022.
- [23] H. Garba Saley, M. Konaté, Y. Ahmed, A. Soumaila, «Les minéralisations de manganèse du Nord Téra (Liptako, Ouest Niger): origine et conditions de mise en place,» *Rev. Cames*, 05, 18–28, 2017.
- [24] H. Garba Saley, A. Soumaila, M. Konaté, «Alteration Processes of Paleoproterozoic Manganese Protodes of the North Téra: Mineralogy and Geochemistry (West Africa),» *Journal of Geological Resource and Engineering*, 6 (5), 177–193, 2018.
- [25] H. Garba Saley, M. Konaté, A. Soumaila, «Étude texturale des chromitites paléoprotérozoïques de la Région de Makalondi, Province du Liptako nigérien, Ouest Niger: Origine et condition de mise,» *Researchgate.Net*, 18 (1), 186–202, 2021.
- [26] M. Konaté, Y. Ahmed, A. D. Gärtner, A. H. Alzouma, M. Ibrahim Hassane, K. Tourba, M. Hofmann, J. Zieger, U. Linnemann. «U–Pb detrital zircon ages of sediments from the Firgoun and Niamey areas (eastern border of West African Craton, West Niger),» *Comptes Rendus - Geoscience*, 350 (6), 267–278, 2018.
- [27] G. Alzouma, M. Konaté, Y. Ahmed, «Geodynamic context of the Proterozoic deposits of the Firgoun region (eastern border of the West African Craton, West Niger),» *Geological Society, London*, 502 (novem), 215–236, 2020.
- [28] H. Ibrahim Maharou, «Dynamique sédimentaire des grès de Niamey (Niger occidental) : indices de glaciation et déformations associées,» *Thèse de Doctorat de l'Université Abdou Moumouni de Niamey*, 188p, 2020.
- [29] H. Ousmane, K. D. Hantchi, L. B. Hamidou, I. A. Ali, M. Konaté, «Caractérisation de la déformation des dépôts oligocènes du Continental terminal 3 (Ct3) dans la région de Niamey (Bordure Orientale du Craton Ouest Africain, Bassin des Iullemmeden),» *European Scientific Journal ESJ*, 16 (15), 418–441, 2020.
- [30] R. Trompette, «Le Précambrien supérieur et le Paléozoïque inférieur de l' Adrar de Mauritanie (bordure occidentale du bassin de Taoudeni, Afrique de l' Ouest), un exemple de edimentation de craton. Etude stratigraphique et sédimentologique,» *Trav. Lab. Sci. Terre, Marseille (St Jérôme)*, 1 et 2, 573p. 1973.
- [31] R. Allmendinger, «Stereonet10,» version10.0, 2017.
- [32] F. J. L. H. Kouadio, H. N. Nesto, A. M. Ephrem, G. Allou, S. D. Chérubin, «Petrographic and Geochemical Characteristics of the Metabasites of the SASCA Domain (Yonaké, Mani- Béréby and Dehié Sectors), South-West Côte d'Ivoire,» *European Scientific Journal ESJ*, 16 (21), 2020.
- [33] Z. H. Siagné, T. Aifa, A. N. Kouamelan, N. N. Houssou, W. Digbeu, «Analyse structurale de la déformation dans les granitoïdes Éburnéens de la région de Doropo (Nord-Est De La Côte d' Ivoire),» *European Scientific Journal, ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 Faciès*, 17, 157–172, 2021.
- [34] A. Tshibubudze, K. A. A. Hein, «Structural setting of gold deposits in the Oudalan-Gorouol volcano-sedimentary belt east of the Markoye Shear Zone, West African Craton,» *Journal of African Earth Sciences*, 80, 31–47, 2013.
- [35] M. Dabo, T. Aifa, I. Gning, M. Faye, M. F. Ba, P. M. Ngom, «Lithological architecture and petrography of the Mako Birimian greenstone belt, Kédougou-Kéniéba Inlier, eastern Senegal,» *Journal of African Earth Sciences*, 131, 128–144, 2017.

- [36] F. Diatta, «Etude structurale, métamorphique et métallogénique du groupe de Dialé-Dalema: Cas de la faille Sénégal-Malienne de la partie septentrionale du batholite de Saraya,» Thèse de Doctorat de l'Université Cheikh Anta Diop Dakar, 222P, 2020.
- [37] L. Willems, A. Pouclet, F. V. J. P. Lenoir, «Phénomènes karstiques en milieux non carbonatés. Étude de cavités et problématique de leur développement au Niger occidental,». *Geomorph. N.F., Suppl. Bd.*, 103, 193–214, 1996.
- [38] P. Affaton, P. Gaviglio, A. Pharissat, «Réactivation du craton ouest-africain au Panafricain : Paléocontraintes déduites de la fracturation des grès néoproterozoïques de Karey Gorou (Niger, Afrique de l'Ouest),» *Comptes Rendus de l'Academie de Sciences - Serie IIa: Sciences de La Terre et Des Planetes*, 332 (4), 609–614, 2000.
- [39] L. Baratoux, U. Söderlund, R.E. Ernst, E. Roeber, M.W. Jessell, S. Kamo, S. Naba, S. Perrouty, V. Metelka, D. Yatte, M. Grenholm, D. P. Diallo, P.M. Ndiaye, E. Dioh, C. Cournède, M. Benoit, D. Baratoux, N. Youbi, S. Rousse, & A. Bendaoud, «New U–PB baddeleyite ages of mafic dyke swarms of the west African and amazonian cratons: Implication for their configuration in supercontinents through time,» *Springer Geology*, 263–314, 2019.
- [40] J. Ganne, M. Gerbault, S. & Block, «Thermo-mechanical modeling of lower crust exhumation-Constraints from the metamorphic record of the Palaeoproterozoic Eburnean orogeny, West African Craton,» *Precambrian Research*, 243, 88–109, 2014.
- [41] L. Baratoux, V. Metelka, S. Naba, M. W. Jessell, M. Grégoire, J. Ganne, «Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (2.2-2.0Ga), western Burkina Faso,» *Precambrian Research*, 191 (1–2), 18–45, 2011.
- [42] K. A. A. Hein, «Succession of structural events in the Goren greenstone belt (Burkina Faso): Implications for West African tectonics,» *Journal of African Earth Sciences*, 56 (2–3), 83–94, 2010.
- [43] E. Lebrun, J. Miller, N. Thébaud, S. Ulrich, & T. C. McCuaig, «Structural controls on an orogenic gold system: The world-class Siguirí gold district, Siguirí Basin, Guinea, West Africa,» *Economic Geology*, 112 (1), 73–98, 2017.
- [44] H. B. McFarlane, S. Block, J. Ganne, L. Baratoux, L. Ailleres, P. Betts, M. Jessell, «A Detailed Magmatic and Tectono-thermal Study of an Orogenic System in a Transitional Earth: The Eburnean Orogeny,» *AGU Fall Meeting, San Francisco, December 12-16, 2016.*
- [45] O. Wane, J. P. Liégeois, N. Thébaud, J. Miller, V. Metelka, & M. Jessell, «The onset of the Eburnean collision with the Kenema-Man craton evidenced by plutonic and volcanosedimentary rock record of the Massigui region, southern Mali,» *Precambrian Research*, 305, 444–478, 2018.
- [46] S. Perrouty, «Evolution structurale de la ceinture minéralisée d'Ashanti, SO Ghana,» Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse III-Paul Sabatier, 242p, 2012.
- [47] S. Block, L. Baratoux, A. Zeh, O. Laurent, O. Bruguier, M. Jessell, L. Ailleres, R. Sagna, L. A. Parra-avila, & D. Bosch «Paleoproterozoic juvenile crust formation and stabilisation in the south-eastern West African Craton (Ghana); New insights from U-Pb-Hf zircon data and geochemistry,» *Precambrian Research*, 287, 1–30, 2016.