

Cinématique des zones de cisaillement du Centre du Burkina Faso, Craton Ouest Africain : une approche par l'Anisotropie de la Susceptibilité Magnétique (ASM) et les microstructures

Saga SAWADOGO^{1*}, Adama Ouédraogo YAMEOGO^{1,2}, Abraham Seydou TRAORE¹ et Seta NABA¹

¹ *Université Joseph KI-ZERBO, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire Géosciences et Environnement, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso*

² *Université Norbert ZONGO, Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Technologies, BP 376 Koudougou, Burkina Faso*

* Correspondance, courriel : sawadsaga@gmail.com

Résumé

Dans le but de caractériser la cinématique dominante le long des zones de cisaillement du domaine Paléoprotérozoïque de la dorsale de Man/Léo, la présente étude a été entreprise dans la région centre du Burkina Faso sur une superficie d'environ 37036,96 km². Des échantillons ont été prélevés de préférence sur les zones de cisaillement et/ou dans leurs voisinages. Au laboratoire, ces échantillons ont fait l'objet de mesures d'Anisotropie de la Susceptibilité Magnétique (ASM) et d'examen de leurs microstructures. Les microstructures, nous ont permis d'apprécier le contexte rhéologique d'acquisition de chaque fabrique et *in fine* de distinguer des plutons anté, syn et post-cinématiques. Par les données sur les fabriques, nous avons montré que les zones de cisaillement qui contribuent à la circulation des fluides minéralisateurs dans de nombreux cas, sont soit transcurrentes au sens strict, transpressives ou correspondent à un aplatissement dominant. Cette approche permet d'avancer vers une meilleure compréhension du contrôle qu'exercent les zones de cisaillement sur la majorité des minéralisations aurifères dans le domaine Paléoprotérozoïque de la dorsale de Man/Léo.

Mots-clés : *zone de cisaillement transcurrent, Fabriques, anisotropie de la susceptibilité magnétique (ASM), Microstructures.*

Abstract

Kinematic of shear zones from central Burkina Faso (West African Craton): anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) and microstructures approach

In order to characterize the dominant kinematics along the Palaeoproterozoic shear zones of the Man/Leo Shield, the present study was undertaken in the central region of Burkina Faso over an area of approximately 37036.96 km². Samples were preferably taken from the shear zones and/or their surroundings. In the laboratory, these samples were subjected to Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) measurements and microstructures examination. The microstructures allowed us to appreciate the rheological context of acquisition of each fabric and *in fine* to distinguish ante-,syn and post-kinematics

plutons. Using the fabrics data, we have shown that the shear zones which contribute to the circulation of mineralizing fluids in many cases are either transcurrent in the strict sense, transpressive or correspond to a dominant flattening. This approach allows us to advance towards a better understanding of the control that shear zones exert over the majority of the gold mineralization in the Man/Leo Paleoproterozoic shield.

Keywords : *transcurrent shear zone, fabrics, anisotropy of magnetic susceptibility (AMS), microstructures.*

1. Introduction

Les terrains Paléoprotérozoïques de l'Afrique de l'Ouest encore appelés formations birimiennes sont constitués d'un assemblage de ceintures de roches vertes et de granitoïdes. Les ceintures de roches vertes sont formées de roches métavolcaniques et de roches métasédimentaires dont la succession lithostratigraphique a été longtemps un sujet de débat mais il est aujourd'hui admis qu'à la base se trouve un ensemble à dominance métavolcanique avec des basaltes à affinité tholéiitique et au sommet un ensemble à dominance métasédimentaire avec des intercalations métavolcaniques calco-alcalines [1-4]. La partie sommitale de ce deuxième ensemble correspondrait aux séries Tarkwaiennes dont l'extension est très limitée dans l'espace. D'après les données isotopiques Sm-Nd [1, 2, 5], l'essentiel des formations birimiennes de l'Afrique de l'Ouest constitue une croûte juvénile formée dans un bassin océanique loin de toute influence continentale. Localement, les données isotopiques Sm-Nd et Lu-Hf [6, 7] ont montré que certaines des roches du domaine Paléoprotérozoïque ont bien pu dériver du recyclage d'une croûte préexistante. Les granitoïdes très abondants et très variés ont connu une mise en place quasi-continue durant toute l'orogénèse Eburnéenne [3, 8]. Sur le plan tectonique, la première phase de déformation a été diversement interprétée selon les auteurs mais ce qui fait l'unanimité est que cette phase commence suite à la convergence de deux cratons archéens (Kénéma-Man à l'ouest et Congo à l'est) situés de part et d'autre du domaine Paléoprotérozoïque [3, 9]. Pour certains auteurs [9, 11], cette première phase s'est manifestée par une tectonique collisionnelle marquée par des chevauchements. Pour d'autres par contre [3, 13, 14], la première phase se traduit par un raccourcissement homogène. Dans tous les cas, les auteurs [8, 10] s'accordent sur le fait que cette première phase de raccourcissement sera par la suite accommodée par les zones de cisaillement transcurrent observées un peu partout dans le domaine Paléoprotérozoïque de la dorsale de Man (*Figure 1*) autrement appelé domaine Baoulé-Mossi.

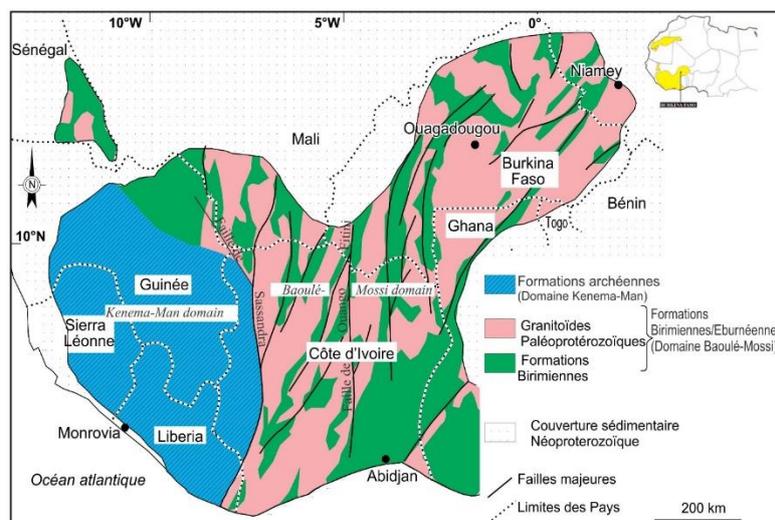


Figure 1 : Carte géologique synthétique de la dorsale de Man/Léo [11]

Pour ce qui concerne les zones de cisaillement transcurrent, une première classification a été proposée [11]. Selon cette classification, les zones de cisaillement d'orientation N-S de sens senestre correspondraient à la phase de déformation D2 qui intervient à la suite du raccourcissement régional (D1). La phase de déformation D3 correspondant alors aux zones de cisaillement d'orientation NE-SW à E-W avec un sens dextre. Les études postérieures ont montré que dans les deux cas d'orientations, des mouvements senestres et dextres pouvaient être observés [8, 15, 16]. Mieux, il a parfois été observé des sens de mouvements contradictoires sur différents segments d'une même structure cisillante [17, 18]. D'autre part, le long de certaines zones de cisaillement, il a été prouvé que le mouvement prédominant, loin d'être transcurrent, correspond plutôt à un aplatissement pur [19]. Toutes ces observations montrent qu'aucune classification ne fait l'unanimité. Les zones de cisaillement sont reconnues pour le contrôle qu'elles exercent sur les minéralisations aurifères du Paléoprotérozoïques de l'Afrique de l'Ouest [20 - 24]. Ainsi, une meilleure connaissance de leur cinématique, aiderait à mieux comprendre les mécanismes de circulation des fluides minéralisateurs. La présente étude, basée sur l'Anisotropie de la Susceptibilité Magnétique (ASM) couplée à l'analyse des microstructures, a pour but de contribuer à la clarification de la cinématique le long de certaines zones de cisaillement au centre du Burkina Faso (**Figure 2**). L'objectif, à terme, étant de proposer de nouveaux outils qui pourront aider à une meilleure caractérisation et classification des zones de cisaillement transcurrent à l'échelle régionale. La zone d'étude (Centre du Burkina Faso) est localisée entre les coordonnées 11° et 14° de latitude Nord ; 1° et 2° de longitude Ouest. Elle couvre les feuilles de Kaya, de Ouagadougou et de Pô (**Figure 2**) totalisant une superficie d'environ 37036,96 km².

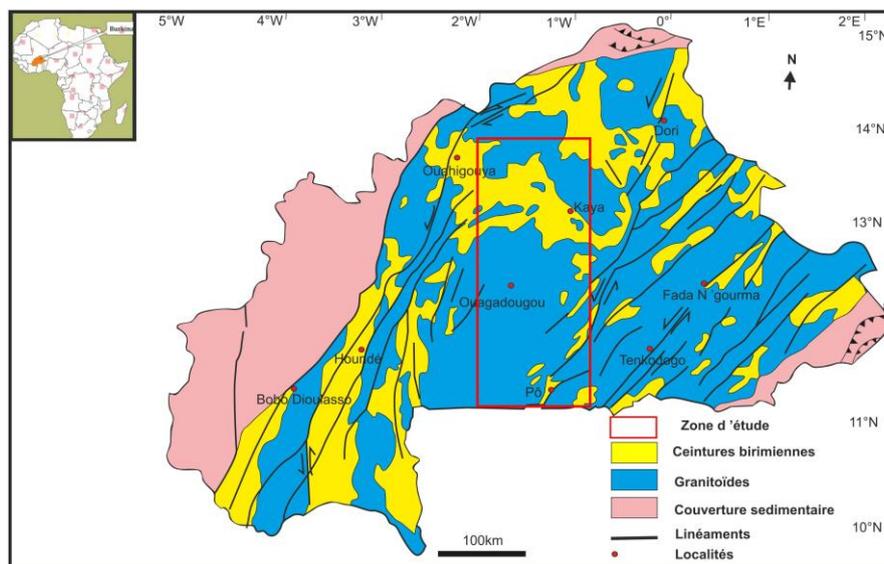


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude sur la carte géologique synthétique du Burkina Faso [8]

2. Méthodologie

- La première phase de l'étude a consisté à une interprétation des linéaments majeurs de la zone d'étude en nous servant des images de magnétisme aéroporté disponibles pour la zone d'étude [25].
- La deuxième phase a consisté aux travaux de terrain durant lesquels nous avons prélevé des carottes de roches orientées en suivant le protocole décrit par les auteurs [26]. Tant que les conditions d'affleurement le permettent, nous avons tenu à prélever nos échantillons le plus proche possible du tracé des linéaments.
- Dans la troisième phase, les échantillons ont été conditionnés pour les mesures de l'Anisotropie de la Susceptibilité Magnétique (ASM). Nous avons également confectionné des lames minces orientées pour les observations microscopiques.

3. Résultats

3-1. Interprétation des linéaments à partir de l'imagerie magnétique aéroportée

Le réseau de fractures existant [8] a été complété à partir de l'interprétation de l'imagerie aéroportée. L'image aéromagnétique (**Figure 3**) nous a permis d'interpréter des linéaments que nous avons ciblés pour les travaux de terrain. Au total 252 échantillons ont été prélevés.

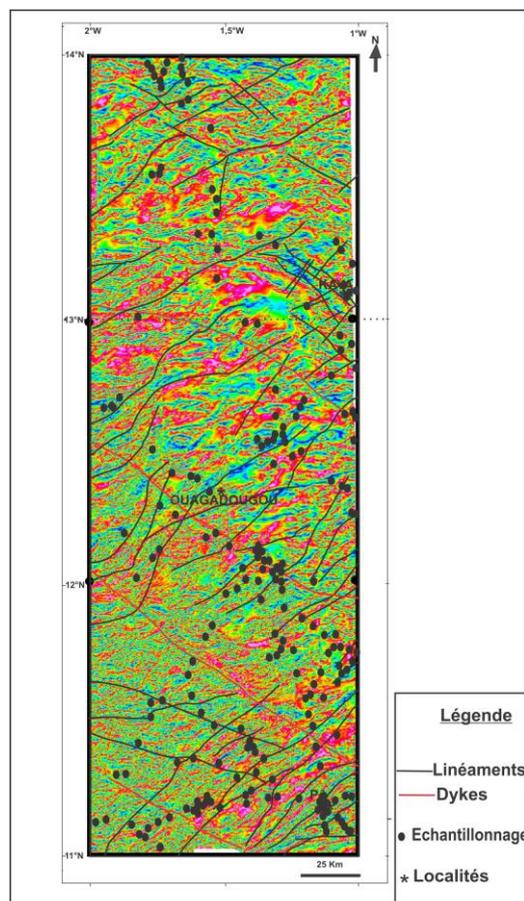


Figure 3 : Linéaments interprétés sur fond d'image aéromagnétique [11]

3-2. Études pétrographique et microstructurale

3-2-1. Étude pétrographique

Les observations précises effectuées au microscopique ont permis de distinguer trois principales lithologies dans la zone d'étude. Il s'agit des roches métavolcaniques (métabasaltes et métaandésites) qui constituent l'essentiel des formations des ceintures de roches vertes et qui selon les âges radiométriques [8] sont les formations les plus anciennes de la région. Ces roches sont toujours affectées par le métamorphisme régional de faciès schiste vert auquel se superpose localement la circulation hydrothermale. Au microscope, des minéraux reliques comme l'amphibole, l'olivine, les plagioclases, des feldspaths potassiques et des opaques sont observés. Les minéraux néoformés sont la chlorite, l'actinote, l'épidote et la muscovite. Deux générations de granitoïdes ont été identifiées et décrites dans la zone d'étude. La première correspond à ce qui est diversement appelée tonalite, trondhjémite et granodiorite (TTG) ou adakite en fonction des auteurs [8, 13]. Ces granitoïdes précoces sont facilement identifiables par leur rubanement plus ou moins net. On y

observe fréquemment deux minéraux ferromagnésiens, qui sont l'amphibole (environ 10 %) et la biotite (environ 15 %). Les minéraux blancs (environ 70 %) sont dans l'ordre d'abondance décroissante, les plagioclases, le quartz et les feldspaths potassiques. Les minéraux accessoires sont principalement le sphène, les opaques et l'épidote. La deuxième génération de granitoïdes est plus potassique et recoupe à la fois les ceintures de roches vertes et les granitoïdes de première génération. Ce sont des granitoïdes calco-alcalins à alcalins qui à la différence des granitoïdes de première génération ne présentent aucune fabrique évidente sur le terrain. Leur composition minéralogique est dominée par les minéraux blancs (environ 80 %) avec une quantité plus ou moins équivalente de plagioclases et de feldspaths potassiques suivis du quartz. La biotite est le minéral ferromagnésien dominant avec une proportion d'environ 10 %. Dans les rares cas où l'amphibole existe, sa proportion n'excède jamais 5 %. Les minéraux accessoires sont principalement le sphène et l'épidote.

3-2-2. Microstructures

Au total 52 lames minces orientées ont été observées au microscope polarisant dans le but de déterminer les principales microstructures des roches de la zone d'étude. Les principales microstructures observées sont :

- La microstructure de déformation à l'état magmatique (**Figure 4a**) caractérisée par une faible déformation ou pas du tout des minéraux de la roche,
- les microstructures de déformation à l'état solide haute température (**Figure 4b**) pour lesquelles, le quartz recrystallise en sous-grains présentant des sous-joints de grain bien polygonisés,
- les microstructures de déformation à l'état solide basse température (**Figures 4c et 4d**) caractérisées par des sous-joints de grains du quartz mal restaurés, les extinctions deviennent onduleuses et la recrystallisation difficile et hétérogène. La biotite se chloritise et le plagioclase se déstabilise partiellement en séricite.

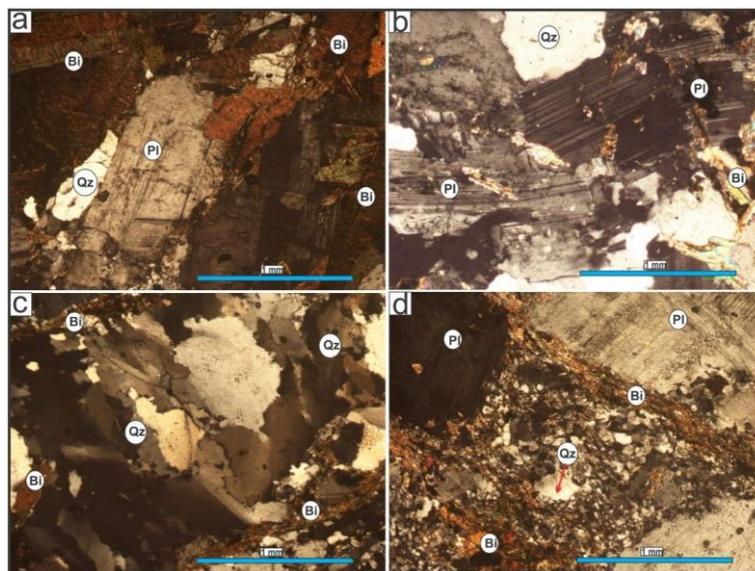


Figure 4 : Principales microstructures (Bi : Biotite, Qz : quartz, Mi : microcline, Pl : plagioclase, Sp : sphène).
 a : Etat magmatique ; b : Etat solide haute température avec des plagioclases flexurés et fracturés ;
 c : Etat solide basse température ; d : Microstructure mylonitique (basse température)

3-3. Fabrique magnétique

La fabrique magnétique correspond à la foliation magnétique et à la linéation magnétique. De nombreuses études (e.g. [26]), ont montré une bonne corrélation entre la fabrique magnétique et la fabrique minérale. La foliation magnétique est l'expression du plan d'aplatissement et la linéation exprime la direction et le sens de l'étirement. Les résultats de notre étude montrent que la foliation (**Figure 5**) est fort redressée dans environ 83 % des sites. Dans 15 % des sites, les pendages sont moyens et dans le restant (2 % des sites), les pendages sont faibles. Sur l'ensemble de la zone d'étude l'orientation moyenne de la foliation est approximativement NE-SW.

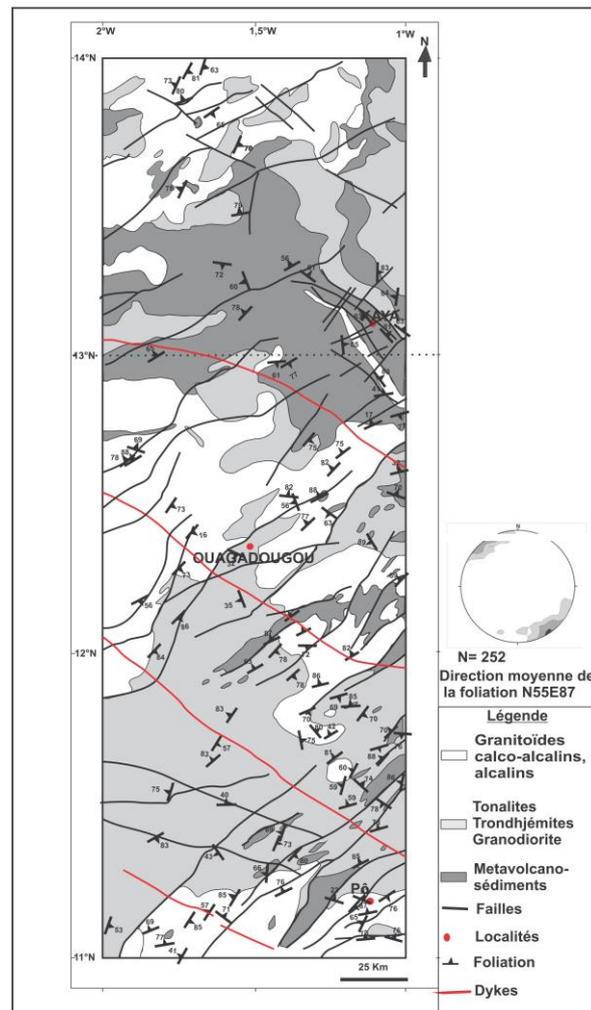


Figure 5 : Carte des foliations magnétiques des granitoïdes de la zone d'étude

La distribution cartographique de la linéation (**Figure 6**) montre que l'orientation moyenne de la linéation est à peu près NE-SW pour l'ensemble de la zone d'étude. Selon les statistiques, 30 % des linéations ont un fort plongement, 37 % ont un plongement moyen et 33 % ont un faible plongement.

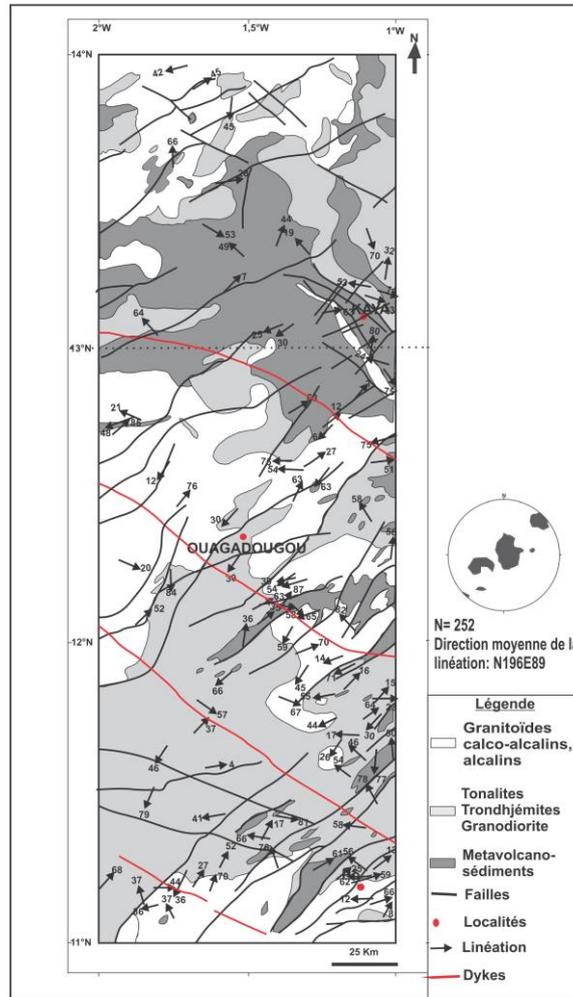


Figure 6 : Carte de linéations magnétiques des granitoïdes de la zone d'étude

L'organisation de la fabrique au niveau des zones de cisaillement et dans les granites fait observer deux cas de figures possibles : i) la trace cartographique des zones de cisaillement et la fabrique magnétique des granites peuvent être subparallèles et cela s'observe en beaucoup d'endroits ou ii) l'allure de la fabrique semble suivre le contour de certains plutons. L'attitude des fabriques magnétiques (linéations et foliations) et les microstructures associées ont permis de distinguer trois principaux types de mouvement le long des zones de cisaillement concernées (**Figure 7**). Il s'agit de :

- un mouvement transcurrent au sens strict caractérisé par des linéations à faible plongement associées à des plans de foliations fortement pentées,
- un mouvement transpressif caractérisé par des linéations moyennement plongeante le long de plans de foliations à pendages moyens,
- et enfin un mouvement d'aplatissement pur pour lequel les linéations sont fort plongeant le long de plans subverticaux.

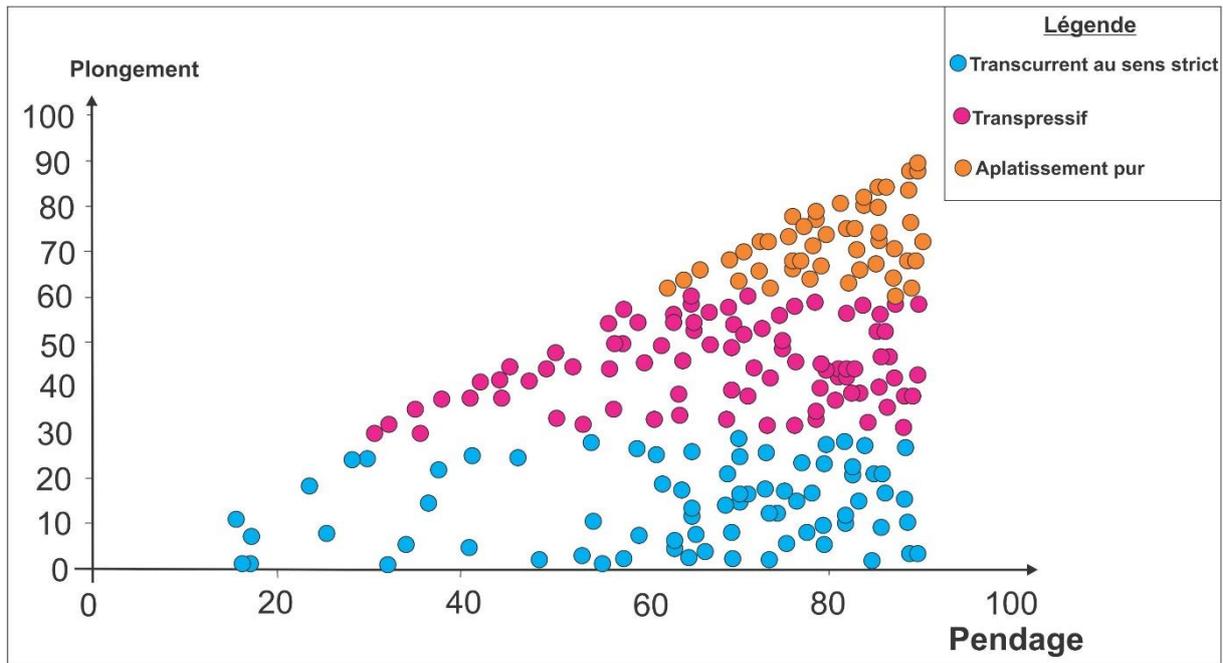


Figure 7 : *Plongement de la linéation en fonction du pendage de la foliation*

4. Discussion

4-1. Microstructures

Les microstructures sont en général l'expression de la rhéologie du matériau au moment de l'acquisition de la fabrique [26]. Les microstructures de déformation à l'état solide haute température sont acquises généralement aux limites des plutons de granitoïdes lorsque la mise en place de ceux-ci est contrôlée par la déformation cisailante et traduit de ce fait un continuum de déformation allant de l'état magmatique à l'état solide [27]. Par contre, les microstructures de déformation à l'état solide basse température sont imprimées après la solidification complète du granite [27]. En terme de chronologie des événements géologiques, cela voudrait dire que la microstructure d'état solide de haute température est quasi-synchrone de la mise en place du pluton alors que la mise en place du pluton est antérieure à la microstructure de basse température. Dans ce dernier cas, une autre possibilité à envisager est que la déformation se soit poursuivie dans un continuum depuis l'état magmatique jusqu'à l'état solide basse température en passant par l'état solide de haute température. Le cas particulier des microstructures d'état magmatique observé sur des roches pourtant positionnées le long d'une structure cisailante est significatif du fait que ces roches se sont mis en place après le cisaillement. A travers les microstructures, nous pouvons distinguer trois types de plutons d'après leur moment de mise en place et cela au regard de l'activité des structures cisailantes majeures. Il s'agit de ce que nous appellerons, les plutons anté, syn et post-cinématiques.

4-2. Fabrique

Ce sont les résultats de la fabrique et notamment la linéation qui apportent de précieuses informations sur la cinématique des zones de cisaillement. Mais il faut bien sûr apprécier chaque fabrique en associant le contexte rhéologique dans lequel elle a été acquise. Les trois principaux types de mouvements identifiés le long des zones de cisaillement en étude sont le mouvement transcurrent au sens strict, le mouvement transpressif et l'aplatissage pur. La principale conclusion qu'on peut tirer à partir de cette analyse de la

fabrique et surtout de la linéation est qu'il faut désormais tenir compte des zones transpressives dans la classification. Pour les granitoïdes qui postdatent la déformation cisailante, les linéations fortement plongeantes peuvent être interprétées comme étant des zones d'alimentation en magma au moment de la mise en place [17].

4-3. Cinématique des zones de cisaillement

Il est maintenant connu que l'ensemble du réseau de zones de cisaillement à travers le domaine Baoulé-Mossi de la dorsale de Man/Léo s'est produit pour accommoder le mouvement de raccourcissement régional suite à la convergence de deux cratons archéens [10]. L'analyse de la partition de la déformation et son corollaire qui est le réseau anastomosé de zones de cisaillement participe à une vision globale du déroulement des processus orogéniques. En appui à cette vision globale, il est aussi très important de caractériser la cinématique locale le long de chacune de ces zones dans le but de mieux affiner la compréhension et l'enchaînement des mouvements. Ce raisonnement ne peut se mener qu'avec les fabriques d'échelle de terrain (linéation et foliation). Les observations réalisées dans les puits miniers [28, 29] et dans les régions où les conditions d'affleurements le permettent [30, 31] montrent que de nombreuses zones de cisaillement autrefois considérées comme étant des zones transcurrentes ont plutôt fonctionné en régime transpressif. En utilisant l'argument des fabriques d'échelle de terrain ; nous sommes ainsi parvenus à montrer qu'il existe dans la zone d'étude, trois types de cinématiques possibles :

- un mouvement transcurrent au sens strict caractérisé par des linéations à faibles plongements associées à des foliations de forts pendages,
- un mouvement transpressif caractérisé par des linéations moyennement plongeantes associées à des foliations de pendages moyens à forts,
- et enfin, un aplatissement pur caractérisé par des linéations fortement plongeantes et des plans de foliations fortement redressées.

5. Conclusion

La présente étude, à partir des données de fabriques magnétiques et des microstructures, permet de préciser les caractéristiques des mouvements dominants le long d'un certain nombre de zones de cisaillement dans la partie centre du Burkina Faso. A travers les microstructures, nous avons distingué des plutons anté, syn et post-cinématiques et cela au regard de leur moment de mise en place comparativement à celle de l'activité des zones de cisaillement. Par les données sur les fabriques (linéation et foliation) nous avons montré que les zones de cisaillement, qui contribuent à la circulation de fluides minéralisateurs dans de nombreux cas, sont soit transcurrentes au sens strict, transpressives ou correspondent à un aplatissement dominant. Cette étude pose les bases d'une classification qui s'appuie sur la cinématique le long des zones de cisaillement. Généralisée dans l'espace du domaine Baoulé-Mossi, elle pourrait permettre de proposer une chronologie relative des zones de cisaillement qui prenne en compte la majorité des cas.

Remerciements

Ce travail est une contribution du Laboratoire Géosciences et Environnement. Nous remercions le Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB) qui a mis à notre disposition les moyens financiers à travers le projet SYSMIN.

Références

- [1] - W. ABOUCHAMI, M. BOHER, A. MICHARD and F. ALBAREDE, “*Journal of Geophysical Research*”, 95 (17) (1990) 605 - 617
- [2] - M. BOHER, W. ABOUCHAMI, A. MICHARD, F. ALBAREDE and N. ARNDT, “*Journal of Geophysical Research*”, 97 (B1) (1992) 345 - 369
- [3] - W. HIRDES, D.W. DAVIS, G. LUDTKE and G. KONAN, “*Precambrian Research*”, 80 (3 - 4) (1996) 173 - 191
- [4] - D. BEZIAT, F. BOURGES, P. DEBAT, M. LOMPO, F. MARTIN AND F. TOLLON, “*Precambrian Research*”, 101 (2000) 25 - 47
- [5] - B. TAPSOBA C. H. LO, B. M. JAHNA, S. L. CHUNGA, U. WENMENGA and Y. IIZUKA, “*Precambrian Research*”, 235 (2013) 208 - 229
- [6] - D. GASQUET, P. BARBEY, M. ADOU and L. J. PAQUETTE, “*Precambrian Research*”, 127 (2003) 329 - 354
- [7] - A. PETERSSON, A. A. SCHERSTÉNA, S. I. A. KEMPB, B. KRISTINSDÓTTIRA, P. KALVIGC and S. ANUM, “*Precambrian Research*”, 275 (2016) 286 - 309
- [8] - C. CASTAING, M. BILLA, P. J. MILESI, D. THIEBLEMONT, J. LE METOUR, E. EGAL, M. DONZEAU, BRGM COORDONNATEURS, C. GUERROT, A. COCHERIE, P. CHEVREMONT, M. TEGYEY, Y. ITARD, BRGM, B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, E. B. KABORE, C. OUEDRAOGO, BUMIGEB, C.J.KI, C. ZUNINO et ANTEA, “*Notice explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1 000 000*”, Ed. BRGM, Orléans, France, (2003) 147 p.
- [9] - J. L. FEYBESSE, M. BILLA, C. GUERROT, E. DUGUEY, L. J. LESCUYER, P. J. MILESI and V. BOUCHOT, “*Precambrian Research*”, 149 (3 - 4) (2006) 149 - 196
- [10] - D. CHARDON, O. BAMBA and K. TRAORÉ, “*BSGF - Earth Sciences Bulletin*”, 191 (2) (2020) 1 - 18
- [11] - L. J. FEYBESSE and P. J. MILESI, “*Precambrian Research*”, 69 (1994) 199 - 227
- [12] - T. BLENKINSOP, A. SCHMIDT MUMM, R. KUMI and S. SANGMOR, “*Geologisches Jahrbuch*”, 100 (1994) 131 - 153
- [13] - M. VIDAL, C. GUMIAUX, F. CAGNARD, A. POUCKET, G. OUATTARA and M. PICHON, “*Tectonophysics*”, 477 (2009) 145 - 159
- [14] - M. LOMPO, “*Journal of African Earth Sciences*”, 58 (1) (2010) 19 - 36
- [15] - L. BARATOUX, V. METELKA, S. NABA, W. M. JESSELL, M. GRÉGOIRE AND J. GANNE, “*Precambrian Research*”, 191 (1 - 2) (2011) 18 - 45
- [16] - S. PERROUTY, W. M. JESSELL, Y. BOURASSA, J. MILLER, D. APAU, A. L. PARRA-AVILA, B. LE MIGNOT, G. VELÁSQUEZ, J. GANNE, L. SIEBENALLER, L. BARATOUX, L. AILLÈRES, S.-A. ANDRÉ-MAYER, D. BÉZIAT and S. SALVI, “*Ore Geology Reviews*”, 78 (2016) 687 - 691
- [17] - N. VEGAS, S. NABA, L. J. BOUCHEZ and W. M. JESSELL, “*Journal of African Earth Sciences*”, 97 (6) (2008) 1165 - 1180
- [18] - S. BLOCK, L. BARATOUX, A. ZEH, O. LAURENT, O. BRUGUIER, W. M. JESSELL, L. AILLERES, R. SAGNA, A. L. PARRA-AVILA and D. BOSCH, “*Precambrian Research*”, 287 (2016) 1 - 30
- [19] - A. S. TRAORÉ, S. NABA, M. LOMPO, P. D. DIALLO, N. KAGAMBÈGA, “*Annales de l'Université de Ouagadougou*”, 004 (2006) 23 p.
- [20] - V. MARKWITZ, A. A. K. HEIN and J. MILLER, “*Precambrian Research*”, 274 (2016) 61 - 81
- [21] - L. BARATOUX, V. METELKA, S. NABA, P. OUIYA, L. SIEBENALLER, W. M. JESSELL, A. NARE, D. BÉZIAT, S. SALVI and G. FRANCESCHI, “*Journal of African Earth Sciences*”, 112 (2015) 419 - 439
- [22] - A. TSHIBUBUDZE and A. A. K. HEIN, “*Ore Geology Reviews*”, 78 (2016) 652 - 659
- [23] - P. OUIYA, L. SIEBENALLER, S. SALVI, D. BEZIAT, S. NABA, L. BARATOUX, A. NARE and G. FRANCESCHI, “*Ore Geology Reviews*”, 78 (2016) 623 - 630
- [24] - J. AUGUSTIN, D. GABOURY and M. CREVIER, “*Ore Geology Reviews*”, 78 (2016) 667 - 672

- [25] - BUMIGEB, "Levé géophysique aéroporté haute résolution en magnétisme et spectrométrie gamma du quart Nord-Est du Burkina Faso, Projet PADSEM (Programme d'Appui au Développement du Secteur Minier), Ministère des Mines et des Carrières", (2015)
- [26] - A. NEDELEC and J. L. BOUCHEZ, " *Pétrologie des granites*", *Vuibert, Société géologique de France*, (2011) 306 p.
- [27] - R. H. VERNON, " *Electronic Geosciences*", 5 (2000) 2
- [28] - A. FONTAINE, A. EGLINGER, K. ADA, A. S. A. MAYER, L. REISBERH, L. SIEBENALLER, E. LE MIGNOT, J. GANNE and M. POUJOL, " *Journal of African Earth Sciences*", 116 (2017) 96 - 122
- [29] - T. C. MCCUAIG, D. FOUGEROUSE, S. SALVI, L. SIEBENALLER, L. PARRA, R. SEED, D. BÉZIAT and S.-A. ANDRE-MAYER, " *Ore Geology Reviews*", 78 (2016) 639 - 644
- [30] - A. TSHIBUBUDZE, A. A. K. HEIN and C. T. MCCUAIG, " *Journal of African Earth Sciences*", 112 (2015) 382 - 418
- [31] - O. WANE, J.P. LIEGEOIS, N. THÉBAUD, J. MILLER, V. METELKA and W.M. JESSELL, " *Precambrian Research*", 305 (2018) 444 - 478