



Faculté des Sciences
Département de Géologie
Laboratoire de Pétrologie, Géochimie endogènes et Pétrophysique

Ph.D. dissertation submitted in partial fulfilment of the requirement

for the degree of Doctor of Sciences

Specialization: Structural Geology, Petrophysics, Mineral Resources

**Late-Eburnean magmatism and mineralization in the Kédougou-Kéniéba
inlier (southern West African craton): the Gamaye pluton, a multidisciplinary
approach integrating petro-structural and geochronological analyses**

by Aliou DEMBELE

Supervisor: Dr. Olivier BOLLE

Publicly defended on September 30, 2026 before the Examination Committee consisting of:

Prof. Jacqueline Vander Auwera	Université de Liège, Belgium	President
Dr. Bernard Charlier	Université de Liège, Belgium	Secretary
Prof. Jérôme Bascou	Université Jean Monnet, France	External examiner
Prof. Mamadou Lamine Bouaré	ENI-ABT, Mali	External examiner
Dr. Laurie Reisberg	Université de Lorraine, France	External examiner
Dr. Olivier Bolle	Université de Liège, Belgium	Supervisor

Abstract

The Kédougou-Kéniéba inlier (KKI) in the southern West African craton hosts several world-class orogenic gold deposits whose genetic relationships with Eburnean magmatism and deformation remain incompletely constrained. This study investigates the Gamaye pluton, a late-Eburnean granitoid emplaced in the KKI, ca. 2 km east of the Fekola gold deposit which is hosted by the ca. N-S-striking, sinistral strike-slip Fekola shear zone (FSZ). The latter is a possible segment of the regional Senegal-Mali shear zone (SMSZ) and both structures were (re)activated during a late-Eburnean transpressional tectonic event (D_2). A multidisciplinary approach combining anisotropy of magnetic susceptibility measurements, thermomagnetic analyses, field and microstructural observations, geochronology (U-Pb apatite dating), whole-rock geochemistry and petrographic investigation of associated pegmatite dykes was applied to the Gamaye pluton, complemented by Re-Os dating of pyrite from the Fekola gold deposit. The Gamaye pluton is a biotite granite, comprising a main leucocratic facies and a subordinate mesocratic facies. It has a high-K, peraluminous geochemical signature and its two facies represent probably cogenetic magmatic pulses. Its paramagnetic behavior is demonstrated by low magnetic susceptibility values and results of the thermomagnetic analysis. Field observations and microstructures reveal a strain gradient in the pluton, from a relatively well-preserved magmatic fabric in the northeast to a mylonitic fabric near the southwestern margin, in the southern prolongation of the FSZ. Magnetic foliations define a zone axis, parallel to a gently-plunging mean lineation and also concordant with the D_2 folding direction recorded in the pluton country-rocks. These relationships are consistent with syn- D_2 emplacement and deformation of the Gamaye in a partitioned transpressional system, with synmagmatic, contraction-dominated deformation away from the FSZ and shearing along this high-strain down to lower temperature conditions. U-Pb dating of apatite yields an age of 2106 ± 55 Ma for the Gamaye pluton and Re-Os dating of pyrite from the Fekola gold deposit gives an age of 2211 ± 235 Ma. These geochronological data, because of their large uncertainties, prevent establishing a robust temporal relationship between emplacement of the Gamaye pluton and the Fekola gold mineralization. Nevertheless, the Re-Os results are consistent with a possible crustal contribution to the Fekola mineralizing system, while also allowing for the involvement of metamorphic and magmatic fluids. The pegmatite dykes that cut across the Gamaye pluton are interpreted as highly evolved residual melts left after differentiation of the granite. More

evolved, Li-bearing components of this magmatic system are potentially present in the country rocks.

Key words: AMS, magnetic fabric, granite, pegmatite, Fekola shear zone, transpression, Senegal-Mali shear zone, U-Pb apatite geochronology, Re-Os pyrite geochronology, gold mineralization.

Résumé

La boutonnière de Kédougou-Kéniéba (BKK), située dans la partie méridionale du Craton ouest-africain, abrite plusieurs gisements d'or orogénique de classe mondiale dont les liens génétiques avec le magmatisme et la déformation éburnéens restent encore mal contraints. Cette étude porte sur le pluton de Gamaye, un granitoïde tardi-éburnéen mis en place dans la BKK, à environ 2 km à l'est du gisement aurifère de Fekola qui est associé à la zone de cisaillement de Fekola (ZCF), une zone de décrochement sénestre d'orientation approximative nord-sud. Cette dernière pourrait constituer un segment de la zone de cisaillement sénégal-malienne (ZCSM) et a été (ré)activée comme elle lors d'une phase tectonique transpressive tardi-éburnéenne (D_2). Une approche multidisciplinaire combinant mesures d'anisotropie de susceptibilité magnétique, analyses thermomagnétiques, observations de terrain et microstructurales, géochronologie (datation U-Pb sur apatite), géochimie sur roche totale et étude pétrographique de dykes pegmatitiques associés au granite a été appliquée au pluton de Gamaye, et complétée par une datation Re-Os de pyrite provenant du gisement de Fekola. Le pluton de Gamaye est un granite à biotite, composé d'un faciès leucocrate principal et d'un faciès mésocrate subordonné. Sa signature géochimique est celle d'un granite peralumineux riche en potassium et ses deux faciès représentent des « pulses » magmatiques probablement cogénétiques. Son comportement paramagnétique est démontré par de faibles valeurs de susceptibilité magnétique et par les résultats de l'analyse thermomagnétique. Les observations de terrain et les microstructures révèlent un gradient de déformation au sein du pluton, depuis une fabrique magmatique relativement bien préservée au nord-est jusqu'à une fabrique mylonitique près de la bordure sud-ouest, dans le prolongement méridional de la ZCF. Les foliations magnétiques définissent un axe de zone, parallèle à la linéation magnétique moyenne de faible plongement et concordant avec la direction de plissement D_2 enregistrée dans l'encaissant du pluton. Ces relations sont compatibles avec une mise en place et une déformation syn- D_2 au sein d'un système transpressif partitionné, avec une déformation syn-magmatique dominée par la contraction à distance de la ZCF et un cisaillement le long de cette structure, qui s'est poursuivi jusqu'à basse température. La datation U-Pb sur apatite fournit un âge de 2106 ± 55 Ma pour le pluton de Gamaye et la datation Re-Os sur pyrite du gisement d'or de Fekola donne un âge de 2211 ± 235 Ma. Ces données géochronologiques, en raison de leurs incertitudes importantes, ne permettent pas d'établir une relation temporelle robuste entre la mise en place du pluton de Gamaye et la minéralisation aurifère de Fekola. Néanmoins, les résultats Re-Os sont

compatibles avec une possible contribution crustale au système minéralisateur de Fekola, tout en suggérant l'implication de fluides métamorphiques et magmatiques. Les dykes de pegmatite recoupant le pluton de Gamaye sont interprétés comme des magmas résiduels très évolués issus de la différenciation du granite. Des composants encore plus évolués et riches en lithium de ce système magmatique sont potentiellement présents dans les roches encaissantes.

Mots clés : ASM, fabrique magnétique, granite, pegmatite, zone de cisaillement de Fekola, transpression, zone de cisaillement sénégal-malienne, géochronologie U-Pb sur apatite, géochronologie Re-Os sur pyrite, minéralisation aurifère.

Table of contents

Chapter 1. Introduction and geological setting.....	1
1.1. Introduction.....	1
1.2. Study framework.....	3
1.3. Geological setting	3
1.3.1. The West African craton (WAC)	3
1.3.2. The Kédougou-Kéniéba inlier (KKI)	6
Chapter 2. Methodology	20
2.1. Fieldwork and geological sampling	20
2.2. Analytical techniques	20
2.2.1. The AMS technique.....	20
2.2.2. Thermomagnetic measurements.....	25
2.2.3. Energy dispersive spectrometry (EDS)	26
2.2.4. Whole rock geochemistry.....	26
2.2.5. U-Pb geochronology on apatite.....	27
2.2.6. Re-Os geochronology on pyrite	28
Chapter 3. The Gamaye pluton: a tectonic marker of the late-Eburnean transpressional orogenic evolution of the Kédougou-Kéniéba inlier (southern West African craton).....	31
3.1. Introduction.....	31
3.2. Observations and results	33
3.2.1. Field observations	33
3.2.2. Petrography and microstructures.....	40
3.2.1. Rock magnetic study	42
3.3. Discussion.....	56
3.3.1. The Fekola shear zone.....	56
3.3.2. Syn-D ₂ emplacement and deformation of the Gamaye pluton.....	57

3.3.3. The Gamaye pluton: another evidence for widespread, late-Eburnean transpression and magmatism in the southern WAC	62
3.4. Conclusions.....	63
Chapter 4. The Gamaye pluton: geochemistry, apatite U-Pb geochronology and pegmatite petrography.....	64
4.1. Introduction.....	64
4.2. The pegmatite dykes	65
4.2.1. Field observations	65
4.2.2. Petrography and microstructures.....	68
4.2.3. Geochemistry of the Gamaye pluton.....	71
4.2.4. Apatite U-Pb geochronology	79
4.3. Discussion	87
4.3.1. Typology of pegmatites in the Gamaye pluton	87
4.3.2. Significance of the apatite U-Pb dates and geochemistry of the Gamaye pluton	89
4.4. Conclusions.....	91
Chapter 5. Re-Os geochronology of pyrite from the Fekola deposit.....	92
5.1. Introduction.....	92
5.2. Geology of the Fekola deposit	93
5.2.1. Lithostratigraphy	93
5.2.2. Deformation events	94
5.2.3. Mineralization and alteration	95
5.3. Results.....	97
5.3.1. Petrography	97
5.3.2. EDS analysis	100
5.3.3. Re-Os dating of pyrite.....	102
5.4. Discussion.....	104
5.4.1. Re-Os age of the Fekola ore deposit	104

5.4.2. Timing of gold mineralization emplacement in the sWAC	105
5.5. Conclusions.....	105
Chapter 6. General conclusions and perspectives	107
6.1. General conclusions	107
6.2. Perspectives	108
References	110
Appendix. Supplementary data	127