
Caractérisations pétrographique, géochimique et minéralogique de la plage bauxitique Kimvela du Kongo central en République Démocratique du Congo

Derick Ungu Ramazani^{1,2,3}, Albert Ongendangenda Tienge¹, Innocent Talizo Oridrio¹, Joseph Ngumbi Yamombo¹, Valentin Kanda Nkula^{1,3,4}, Dominique Wetshondo Osomba^{1,2}

⁽¹⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Géosciences. BP 127 Kinshasa XI (RDC). E-mail : derick.ungu@unikin.ac.cd

⁽²⁾Université de Kinshasa. Faculté de Pétrole, Gaz et Energies Nouvelles. Département d'Exploration-production. BP 127 Kinshasa XI (RDC)

⁽³⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Géosciences. Laboratoire de Géologie sédimentaire. BP 127 Kinshasa XI (RDC)

⁽⁴⁾Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM). BP 898 Kinshasa (RDC)

Reçu le 27 août .2024, accepté le 27 septembre 2024, publié en ligne le 28 septembre 2024

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v7i3.11>

RESUME

Description du sujet. Le développement de la filière de bauxite a fait l'objet de plusieurs investigations en République Démocratique du Congo. Ces investigations ont pu mettre en évidence des proportions intéressantes de ce minerai à Sumbi situé dans la partie occidentale de la République Démocratique du Congo. Ce gisement étudié dans certaines de ses plages, comme à Kimvela, présente cependant quelques incertitudes sur les plans pétrographique, chimique et minéralogique.

Objectif. L'étude vise à améliorer la connaissance du gisement de Sumbi principalement de la plage de Kimvela en identifiant les différents ensembles de formations rocheuses et en les caractérisant sur le plan pétrographique, minéralogique et géochimique afin d'apporter les précisions nécessaires sur les incertitudes relevées et tabler éventuellement sur leur valorisation.

Méthodes. A la suite d'un éventaire documentaire sur la région, six échantillons, ont été collectés, lesquels ont subi une analyse pétrographique à l'aide des microscopes optique et géochimique par spectrométrie de fluorescence X (XRF) et par diffraction RX.

Résultats. Les résultats obtenus ont montré une évolution pétrographique de l'ensemble d'altération superficielle à partir des roches basaltiques. Les produits d'altération ont indiqué des concentrations en bauxite très variables dans différents horizons avec des pics de 28,16 % de gibbsite et 64,85 % de Kaolinite.

Conclusion. L'évolution minéralogique à travers différents horizons met en exergue un processus de lessivage et de néoformation. Les teneurs calculées plotées aux différents diagrammes ternaires montrent la prédominance d'une tendance Kaolinique.

Mots-clés : Bauxite, pétrographie, minéralogie, géochimie, latérisation, Kimvela.

ABSTRACT

Petrographic, geochemical and mineralogical characterisation of the Kimvela bauxite range in Kongo central, Democratic Republic of Congo

Description of the subject. The development of the bauxite industry has been the subject of a number of investigations in the Democratic Republic of the Congo. These investigations have brought to light interesting proportions of this mineral at Sumbi, in the western part of the Democratic Republic of the Congo.

Objective. The aim of the study is to improve knowledge of the Sumbi deposit mainly on Kimvela beach by identifying the various rock formations and characterizing them petrographically, mineralogically and geochemically in order to provide the necessary clarifications on the uncertainties identified and to assess their potential value.

Methods. Following a literature survey of the area, we sampled around 6 samples, which underwent petrographic analysis using optical microscopes and geochemical analysis by X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and X-ray diffraction (XRD).

Results. The results obtained showed a petrographic evolution of the surface alteration ensemble from basaltic rocks. The alteration products indicated highly variable bauxite concentrations in different horizons, with peaks of 28.16 % gibbsite and 64.85 % kaolinite.

Conclusion. Mineralogical evolution across different horizons highlights a process of leaching and neof ormation. Calculated grades plotted on different ternary diagrams show the predominance of a Kaolinic trend.

Keywords: Bauxite, petrography, mineralogy, geochemistry, laterization, Kimvela.

1. INTRODUCTION

L'aluminium, dérivé de la bauxite, joue un rôle crucial dans les technologies de transition à faible émission de carbone, notamment les cathodes des batteries au lithium, nickel, cobalt, aluminium (NCA) et les piles à combustible à hydrogène. La République démocratique du Congo (RDC) possède certains des gisements de bauxite les plus importants et les plus riches du monde, avec des réserves comprises entre 100 et 150 millions de tonnes, contenant 42,6 % d'alumine (gibbsite). La région de Sumbi, située dans la province du Kongo central, regorge d'importantes ressources en bauxite, en particulier dans la région de Kimvela.

Cette région fait partie du domaine bauxitique du Kongo central qui s'étend sur environ 100 km de Mbanza Mateke au sud-est de Kai Mbaku au nord-ouest en passant par Isangila, Sumbi, Tsala. Cette zone bauxitique est étroitement associée au vaste domaine correspondant à des bandes de roches basiques, volcanites et sillons du Mayumbe. Celles-ci forment des bandes parallèles de direction NNW-SSE conformes à la direction structurelle de la chaîne Ouest-congolienne (Grosemans, 1951).

Ces roches basiques interstratifiées, dans la Diamictite inférieure du Kongo central et dans le Sansikwa (Ongendangenda *et al.*, 1986), contiennent sur leurs bandes, des bauxites constituant ainsi le domaine bauxitique du Kongo central. Ce domaine forme une bande allongée de direction NNW-SSE, comprise entre 4°45' et 5°30' de latitude Sud, et entre 13° et 13°45' de longitude Est (Kaseba *et al.*, 1997). Le principal gisement de cette région est celui situé sur le plateau de Sumbi, au Nord d'Isangila. Il fait l'objet des discussions juxtaposant les argumentaires qui prônent, d'une part, une bauxitisation indirecte traduite par une altération latéritique des laves doléritiques (Bocquier, 1959) passant d'abord par une phase argileuse kaolinique qui, par transformation, conduit à l'accumulation d'alumine formant des bauxites (roche mère – kaolinite – bauxite) (Valeron, 1972b; Boulangé *et al.*, 1988; Dubroeuq *et al.*,

1988) ; et d'autre part, une bauxitisation directe c'est-à-dire une transformation directe des dolérites (roche mère) en bauxite sans passer par la phase argileuse (Kaolinite) (Kaseba *et al.*, 1997).

Bien que certaines études aient mis en évidence des concentrations remarquables de bauxites dans certaines plages de la région de Sumbi, il subsiste cependant certaines incertitudes sur d'autres plages qui posent des questionnements sur le processus de mise en place et la quantification du potentiel réel de ce gisement. La plage bauxitique de Kimvela qui fait l'objet de cette étude constitue un des maillons de ce gisement dont les mécanismes géologiques intervenus au cours de l'histoire des profils bauxitiques ont engendré des fortes accumulations des oxydes de fer et d'alumine restent méconnus.

Ce travail analyse les processus de latérisation dans la partie occidentale de la RD Congo en mettant un accent particulier sur les évolutions des caractères pétrographique, géochimique et minéralogique dans la plage bauxitique de Kimvela du gisement de Sumbi en vue de poser le jalon de son éventuelle évaluation économique et financière. Cette dernière constitue un maillon important de la valorisation de l'Aluminium et la programmation d'une exploitation durable de ce minerai important dans la transition énergétique.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

Situé à environ 80 km au nord de la Ville de Matadi et à 70 km du Territoire de Tshela sur la route qui mène vers Luozi, la plage bauxitique de KIMVELA se trouve dans la partie nord du gisement de Sumbi qui est l'un des secteurs du Territoire de Seke-Banza, dans le District du Bas-Fleuve, Province du Kongo-Central, en République Démocratique du Congo. Cette zone est comprise entre 4°45' et 5°30' de latitude Sud, et entre 13°45' et 13°00' de longitude Est et est limitée à l'Est par le Territoire de Luozi, à l'Ouest par le Territoire de Lukula et de Moanda, au

Nord par le Territoire de Tshela et au Sud par la Ville

de Matadi (gisement de Sumbi) (Figure 1).

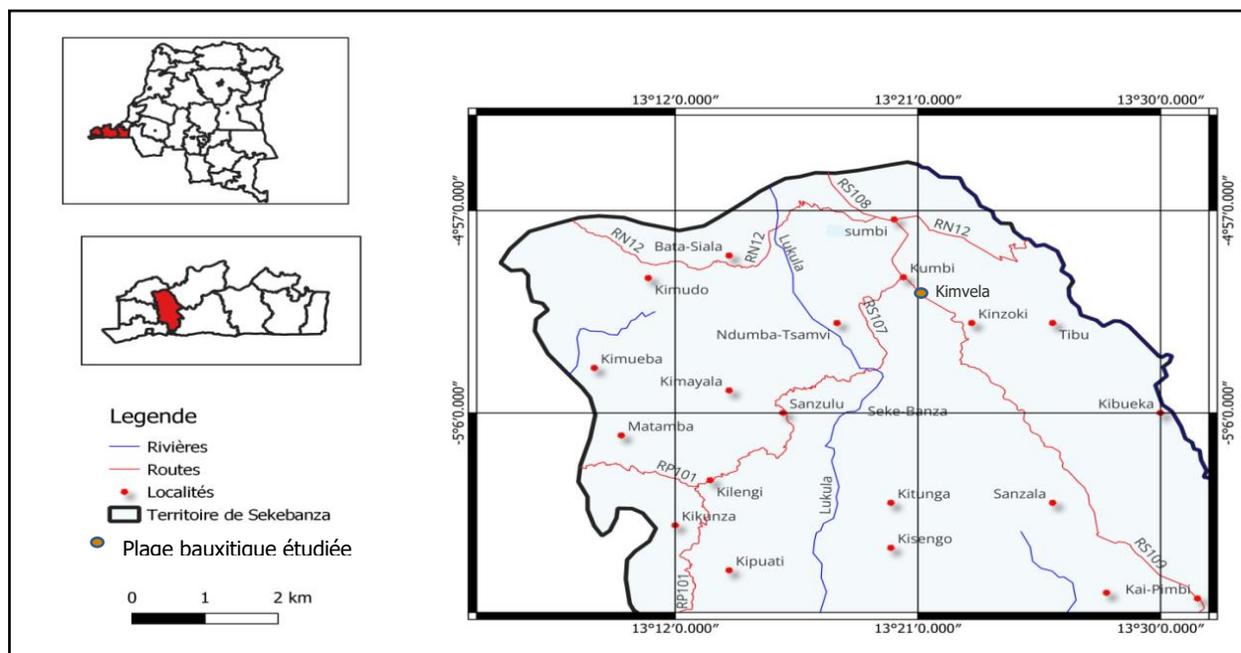


Figure 1. Carte de localisation du secteur d'Etude

2.2. Contexte géologique

La région bauxitique du Kongo central est localisée dans un domaine correspondant aux «bandes» de roches basiques constituées des microdolérites, des basaltes et des andésites (Cahen *et al.*, 1978). Ces roches éruptives basiques sont interstratifiées dans la diamicrite inférieure du Kongo central (Lepersonne, 1950) où les andésites recouvrant cette diamicrite, forment le cœur d'un anticlinal orienté vers le nord alors que les basaltes affleurent principalement le long de l'axe anticlinal. Ces roches se répartissent en 4 bandes NNW-SSE, conformes à la direction structurale de la chaîne ouest-congolienne, et interstratifiées dans la formation de la diamicrite inférieure et dans le sous-groupe de la Sansikwa (Lepersonne, 1974a; Lepersonne, 1974b, cité par Kaseba *et al.*, 1997) (Figure 2). Nicolas de Kun Surmontée par le sous-groupe du Haut-Shiloango, la diamicrite inférieure et le Sansikwa constituent respectivement les termes lithostratigraphiques inférieur du Groupe Ouest-congolien (Tack *et al.*, 2001) (Figure 2).

Dans cette région, la diamicrite inférieure repose par discordance sur les syénites de la Sansikwa dont les lithologies des assises supérieures sont constituées des quartzites plus ou moins grossiers, avec des passées phylladeuses et même schisteuses. Sur la même formation de diamicrite inférieure repose, également par discordance, le sous-groupe du Haut-

Shiloango, constitué lui aussi des quartzites, phyllades et schistes et le tout reposant sur un conglomérat de base (Figure, 8). Le sous-groupe de la Sansikwa, quant à lui est représenté par des quartzites et des psammites affleurant en crête bordant les roches basiques situées en contrebas (Kaseba *et al.*, 1997) et mesures structurales des pendages mesurés dans les quartzites de ce sous-groupe montrent que la bande basique constitue le cœur d'un anticlinal à l'axe SSE-NNW à faible ennoyage nord.

La bande de la lave basique large de 3 à 5 km se trouve encaissée symétriquement entre les deux formations sédimentaires précambriennes (Kaseba *et al.*, 1997). Ces couches sont redressées et comportent un étage quartzitique ; ces quartzites sont des roches qui résistent à l'érosion et ralentissent l'érosion des roches basiques dans la région de Sumbi. Cette situation a favorisé la conservation d'une pénélaine mi- tertiaire s'étendant entre les cotes 650 et 700 m (Kaseba *et al.*, 1997). Le plateau de Sumbi a subi à la fin tertiaire, une latérisation sous un climat favorable, avec formation d'une cuirasse assez généralisée. Au Pléistocène, la région a été recouverte de 3 à 5 m de limons argileux, avant de subir l'érosion par les cours d'eau actuels ; une érosion freinée par les seuils résistants qu'ils ont eu à franchir pour la quitter. Ces limons du Pléistocène sont principalement constitués

d'argile kaolinique et d'hydroxydes ou d'oxydes de fer avec peu ou pas de quartz libre (Kaseba *et al.*, 1997),

Dans la région de Sumbi, l'altération latéritique des laves doléritiques et basaltiques interstratifiées dans la formation de diamictite inférieure et le sous-groupe de la Sansikwa est à l'origine de la mise en place du gisement bauxitique et cette différenciation résulte des modifications chimiques et minéralogiques,

concomitantes aux modifications texturales et structurales ayant affecté la roche-mère (Ongendangenda *et al.*, 1986). Les concentrations des oxydes majeurs analysées donnent en moyenne 42,6 % de Al_2O_3 , 36,9 % de Fe_2O_3 et 0,5 % de SiO_2 . Ces latérites sont constituées de gibbsite, de kaolinite et de goéthite. Les valeurs de gibbsite semblent être les plus élevées entre 15 et 30 mètres de profondeur.

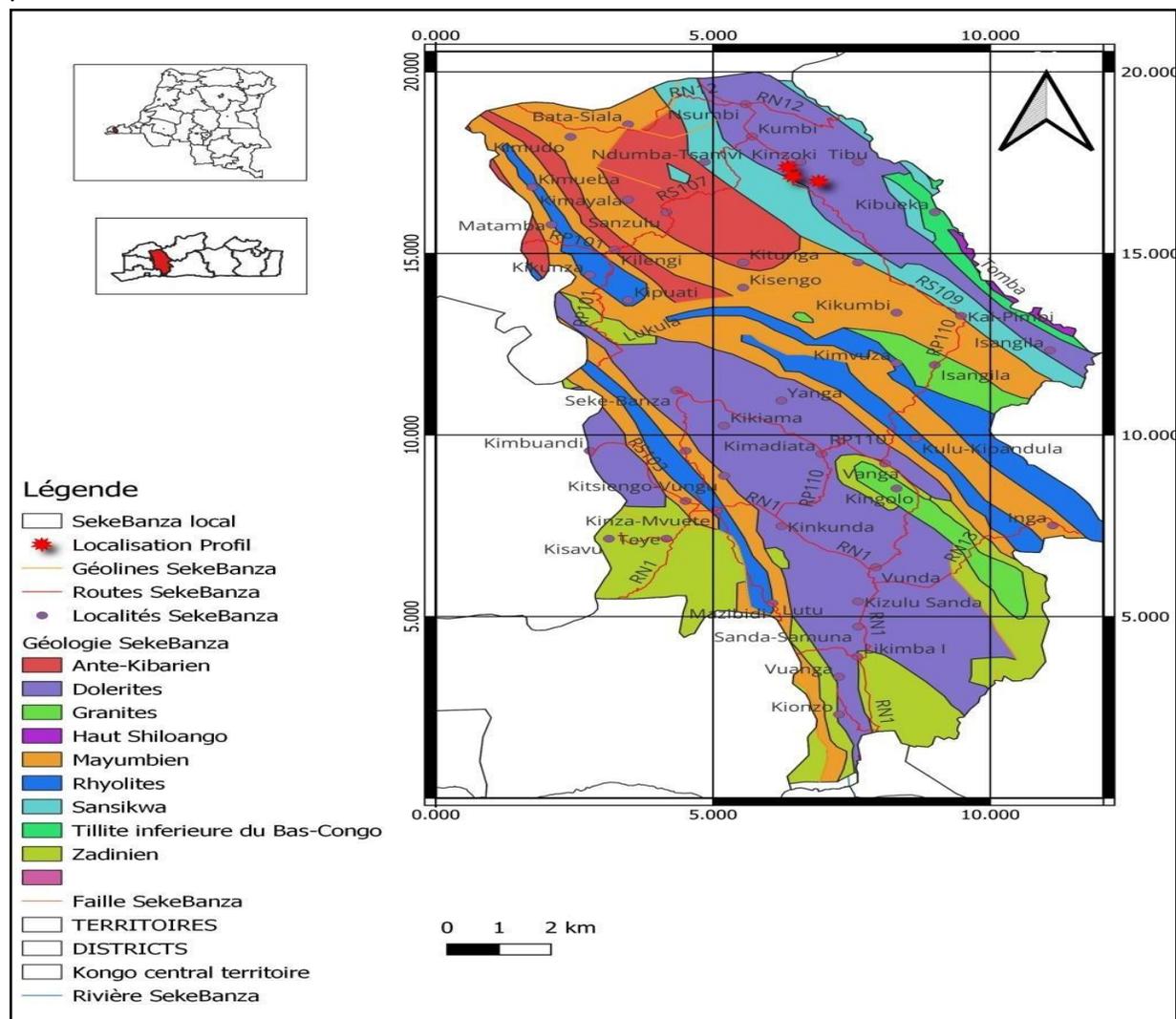


Figure 2. Extrait de la Carte géologique du territoire de SEKEBANZA, Province du Kongo Central

2.3. Approche méthodologique

Récolte des données sur terrain

Les échantillons des roches ont été prélevés le long des profils d'altération sur le lit des ruisseaux, à travers un puits et une tranchée. Ces travaux de terrain ont consisté à montrer comment évoluent petrographiquement, géochimiquement et minéralogiquement les concentrations minérales

depuis les ensembles des roches mères et à travers tous les horizons contenus dans les profils d'altération.

Analyse au laboratoire

Les échantillons sélectionnés ont subi des analyses suivantes : (i) analyse géochimique réalisée par

spectrométrie de fluorescence X (XRF) ; (ii) analyse minéralogique a été réalisée par diffraction des rayons X (XRD) dans les laboratoires du CREN-K et de métrologie du département de physique de l'Université de Kinshasa ; (iii) Elaboration des diagrammes géochimiques classiques : Diagramme triangulaire de classification des bauxites latéritiques à partir des compositions minéralogiques d'après (Boulangé *et al.*, 1988; Tardy *et al.*, 1997; Meshram *et al.*, 2011; Schellmann, 1986; Bárdossy, 1982) modifié par Sinisi (2018).

Traitement des données et interprétation des résultats

Les traitements statistiques et cartographiques informatisés à l'aide des logiciels spécifiques tels

que : Microsoft Excel, XLStat, Measure, Origin 8,5 et SIG (ArcGIS, Quantum GIS) ont été utilisés. Les caractéristiques suivantes ont été analysées : (i) Pétrographiques essentiellement orientées sur la définition des mécanismes d'enchaînement des paragenèses minérales et ceux qui guident le processus d'altération des formations superficielles ; (ii) Géochimiques qui ont permis de classier à travers différents diagrammes ternaires, le type des minéraux de bauxites, les trajectoires de démantèlement géochimiques et les degrés de latérisation ; (iii) Minéralogiques qui définissent les évolutions des phases minérales depuis l'ensemble des roches mères jusqu'aux formations d'altération superficielle.

3. RESULTATS

3.1. Analyses pétrographiques

Macroscopie

Le soubassement de ce profil est constitué des ensembles des roches mères dont les échantillons suivants ont été prélevés (Figure 3 et Tableau 1) : (i) Echantillon KU1 prélevé à la rivière Mbutu à Kimvela à une altitude de 543 m ; (ii) Echantillon KU2 prélevé à la Rivière Tembila/Route Kmbenza Matanga – Kumbu à une altitude de 511 m ; (iii) Echantillon KU3 prélevé à la Rivière Lukula/Route Kmbenza Matanga – Kumbu à une altitude de 514 m ; (iv) L'échantillon KU4 prélevé à la Vallée de la Rivière Kulakula à Kumbu à 520 m.

Sur le plan macroscopique

La description des échantillons est présentée au tableau 1.

Tableau 1. Résumé de la description macroscopique des roches de l'ensemble de la roche mère

Echantillons	Description
KU1	Roche de soubassement très compacte, à structure massive dont les minéraux ne sont pas visibles à l'œil nu. Elle présente une coloration grisâtre et est moyennement dense. Le contact avec la partie d'altération est bien marqué ; cette dernière est constituée d'un niveau argileux très enduré de coloration jaunâtre.
KU2	Roche qui présente le même faciès que celle observée dans la station KU1. En outre, il a été observé la présence de fins cristaux de quartz inframillimétriques, inclus en grande proportion dans la roche et visibles par leur éclat vitreux et leurs brillances caractéristiques. On observe également dans la roche quelques minéraux à éclat métallique arrondis, à faible proportion et à taille millimétrique. Faiblement dense, la roche est compacte et présente une structure massive de coloration grisâtre.
KU3	Roche qui présente une coloration grisâtre avec des fins cristaux inframillimétriques de quartz disséminés dans toute la roche et quelques minéraux à éclat métallique éparses de forme arrondie. Ce faciès est semblable à celui observé à la station KU2 . A la surface de la roche, un début d'altération est visible par un niveau argileux de coloration jaunâtre à rougeâtre indurés.
KU4	Roche massive, compacte et fraîche, présentant une coloration noirâtre avec un contact de niveau d'altération clairement visible. On y observe respectivement une grande quantité des cristaux de quartz de taille millimétrique et à brillance caractéristique, une proportion moyenne des minéraux blanchâtre, terne, de formes variables et de taille millimétrique ainsi qu'une grande proportion des minéraux sombres non visibles à l'œil nu et responsables de la coloration de la roche. D'apparence saine, on y observe un contour d'altération très marqué et constitué d'un niveau d'argiles indurées de coloration jaunâtres.

Les horizons sus-jacents constitués des ensembles des formations d'altération se présentent de la base au sommet comme suit (Figure 3) et Tableau 2.

Tableau 2. Résumé de la description macroscopique de l'ensemble des formations d'altérations superficielles

Lithologie	Description
Ensemble à altération en boules (KU5a1)	Gros blocs d'altérites de taille centimétrique à décimétrique dans une matrice argileuse de couleur jaunâtre à rougeâtre de forme anguleuse, Il a été observé un sol argileux friable hétérogène de couleur brune à jaunâtre contenant une faible proportion de petites boules et/ou des gravillons, A l'intérieur des boules, on observe des zonalités concentriques caractérisées par deux bandes de coloration différentes (rougeâtre et jaunâtre). Il y a aussi quatre contours concentriques alternant suivant les deux colorations évoquées ci-haut, De l'extérieur vers l'intérieur, on a : (i) D'abord un contour de coloration jaunâtre ; (ii) Suivi d'un contour de coloration rougeâtre ; (iii) Ensuite un contour de coloration jaunâtre ; (iv) Et enfin, un contour de coloration rougeâtre.
Ensemble cuirasse ferrugineuse (KU5a2)	Cuirasse latéritique nodulaire de taille décimétrique à métrique, de couleur rouge-gris en forme d'amas, très dure et dense. Les cavités autour de la cuirasse sont occupées par les argiles jaunâtres. En découpant la cuirasse, il s'observe une zone rougeâtre à sombre, incrustée de petits cristaux de quartz de taille millimétrique (4 à 5mm).
Ensemble argilo-sableux	<p>KU5b1 Zone d'altérites indurées à texture massive et pseudobréchique : il y a essentiellement des pisolites indurées de taille centimétriques à décimétriques à texture massive concrétionnée et pseudobréchique. Brisées au marteau, ces pisolites se disloquent en petits blocs clivés montrant visiblement la texture pseudobréchique conservée de la roche mère sous-jacente, La couleur caractéristique varie du brun rouge au rouge sang. Les diaclases qui découpent les petits bancs en blocs de toute taille ont été également observées, La conservation du clivage est visible.</p>
	<p>KU5b2 Zone de pisolites ferrugineuses non consolidés dans une matrice argileuse ou argilo-ferrugineuse à texture nodulaire : Variant entre 1,5 à 2 mètres d'épaisseur, cet horizon est caractérisé par une multiplicité des gravillons concrétionnés ou des pisolites non consolidés de couleur rouge sombre plongés dans de l'argile kaolinique jaunâtre et présentant des textures massive, nodulaire voire vacuolaire. Ces pisolites présentent un faciès de granules de formes variées mais pour la plupart arrondis, Brisées au marteau, les couches concentriques apparaissent de colorations différentes évoluant d'une manière centripète du noyau vers les épontes de la pisolite.</p>
	<p>KU5c Zone de cuirasse ferrugineuse et pisolitique à texture massive et nodulaire : Dans cette zone, la roche s'individualise en des pisolites dans un mélange des limons argileux. Elle marque le passage vers un niveau de couverture essentiellement limoneux avec interaction des activités biologiques. Epais de plus ou moins 4 mètres, cette zone est très indurée de couleur rouge sang à jaunâtre et est constituée d'éléments (pisolites) grossiers (jusqu'à 10 mm) soudés par une matrice brunâtre des argiles colmatant des vides périnodulaires concentriques.</p>
	<p>KU5d Horizon de couverture des limons argileux : Dans cet horizon se présente des dépôts détritiques meubles, vraisemblablement argileux à grains très fins (classe des lutites). Dans cet ensemble argileux, se trouvent quelques grains pisolitiques résiduels résistant au démantèlement des cuirasses ferrugineuses. Ce niveau est sous l'influence constante des activités organiques végétales et anthropiques, d'où une coloration à tendance noirâtre mais dont les rares pisolites gardent une coloration rouge sombre. Cet horizon est typique de l'horizon gravillonnaire ou caillouteux ferrugineux, meuble de surface.</p>

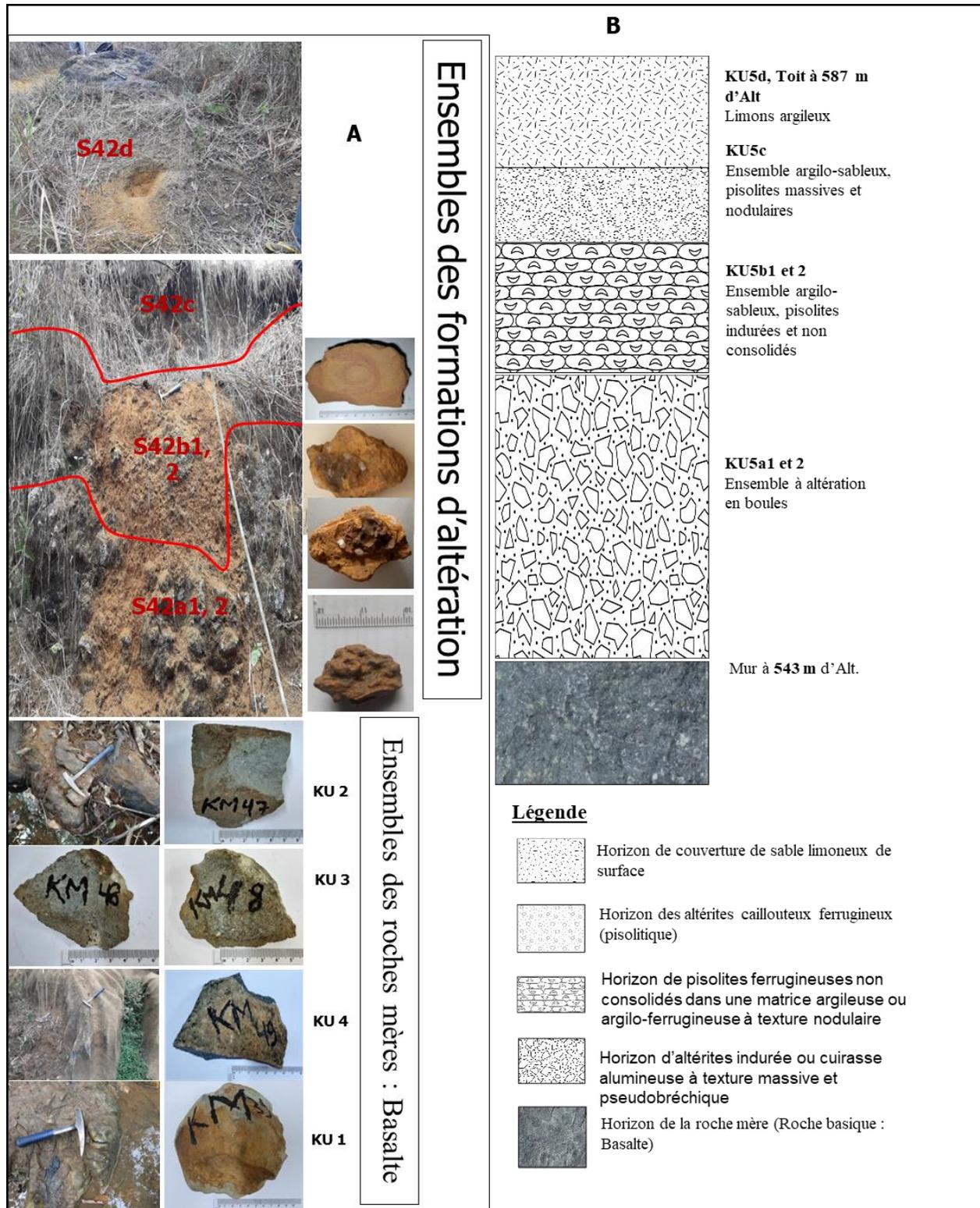


Figure 3. Synthèse de Profil d'altération de la plage de Kimvela : (A) Photographie des échantillons prélevés dans Profils de Kimvela, (B) Modélisation des profils d'altération à Kimvela

A l'échelle microscopique, les observations des trois roches suivantes tirées des analyses des lames minces ont été décelées (Figure 4) :

(i) les lames de l'**Echantillon KU3** montrent une structure trachy doleritique ou microlithique caractérisée par la présence multiple des cristallites en forme de baguettes de plagioclases et parfois inclus dans les pyroxènes très visible sur la lame. La paragenèse minérale observable dans cette lame est faite de microlithes de feldspaths plagioclases, d'olivines, de pyroxène et des cristallites de verre.

(ii) En lumière naturelle (LPNA), le Feldspath plagioclase se présente à faible relief et en nombreuses petites baguettes. Les Pyroxènes sont visibles à des couleurs d'absorption variable avec quelques individus allongés, Quant aux olivines limpides, elles se présentent à fort relief.

(iii) En lumière polarisée (LPA), pour le feldspath plagioclase, on observe des macles polysynthétiques à extinction alterne avec des couleurs de biréfringence basse (gris du 1er ordre). Les Pyroxènes présentent des couleurs de biréfringence moyennes (fin du 1er à début du 2e ordre) et une extinction oblique (augite parfois maclée) ; et les Olivines avec teintes vives de biréfringence (2e et 3e ordre).

(iv) Les plages des lames de l'échantillon **KU4** montrent une structure subophitique à microlithique porphyrique. La mesostase est essentiellement microlithique, Les minéraux sont à peine visibles dans la lame, il y a aussi des opaques. L'albite est incolore, de relief faible et présente des inclusions noires en LN. Quant aux olivines, elles sont rares et parfois visibles avec teintes vives orangées de biréfringence (2e et 3e ordre). Les roches analysées sont des basaltes.

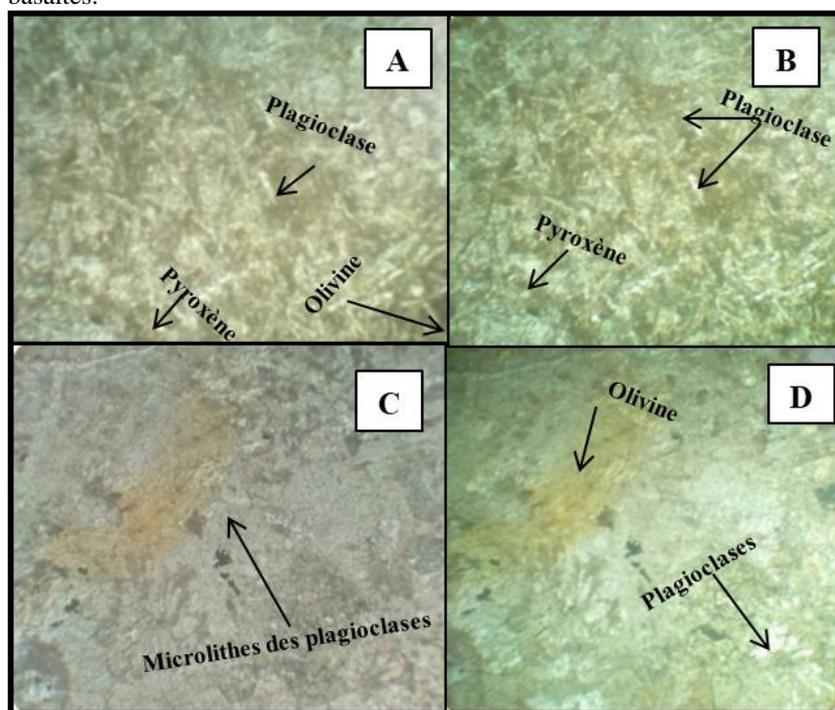


Figure 4. Les lames minces des échantillons KU3 et KU4 et Vue microscopique en LPNA et LPA

3.2. Analyse géochimique

Fluorescence X

Les principales compositions des oxydes majeurs de profil dressé à Kimvela montrent les variations statistiques suivantes (Tableau 3 et Figure 5) : (i) Les teneurs en SiO_2 s'étendent de 19,06 % à 46,05 % avec une moyenne de 32,37 % ; (ii) Les teneurs en Al_2O_3 varient de la roche saine jusqu'aux allotérites sur une fourchette de 15,9 % à 26,43 % avec une moyenne dégagée de 21,44 % ; (iii) Fe_2O_3 qui présente des proportions assez élevées, s'étend sur une fourchette de 19,04 % à 56,52 %. La moyenne calculée est 36,91 % ; (iv) Les teneurs en TiO_2 assez faible varient de 3,09 % à 8,25 % avec une moyenne de 5,98 %.

Tableau 3. Compositions en éléments majeurs d'échantillons représentatifs du profil Kimvela

Echant,	Prof (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	ICA
KU6c	0,00	46,05	26,27	9,04	0,05	8,17				0,01	0,16			100,00
KU5d	-2,00	31,43	21,43	7,34	0,11	7,91	0,05	0,28	0,13	0,07	0,19	0,15	0,10	97,90
KU5c	-2,82	20,27	23,28	6,60	0,11	8,25	0,03	0,28	0,13	0,07	0,31	0,19	0,17	98,15
KU5b	-12,00	23,74	17,77	2,34	0,11	3,43	0,06	0,31	0,06	1,22	0,12	0,23	0,19	97,64
KU5b	-19,00	45,09	26,43	0,50	0,05	7,37				0,09	0,18			100,00
KU3	-37,00	19,06	18,97	6,52	0,08	3,66	0,04	0,29	0,04	0,38	0,21	0,22	0,22	98,09
KU2	-84,00	40,98	15,90	6,05	6,23	3,09	3,66	2,06	0,91	0,46	0,23	0,07	0,08	70,57
Moyenne	-22,40	32,37	21,44	6,91	0,96	5,98	0,77	0,64	0,25	0,33	0,20	0,17	0,15	94,62
Minimum	-84,00	19,06	15,90	9,04	0,05	3,09	0,03	0,28	0,04	0,01	0,12	0,07	0,08	70,57
Maximum	0,00	46,05	26,43	6,52	6,23	8,25	3,66	2,06	0,91	1,22	0,31	0,23	0,22	100,00

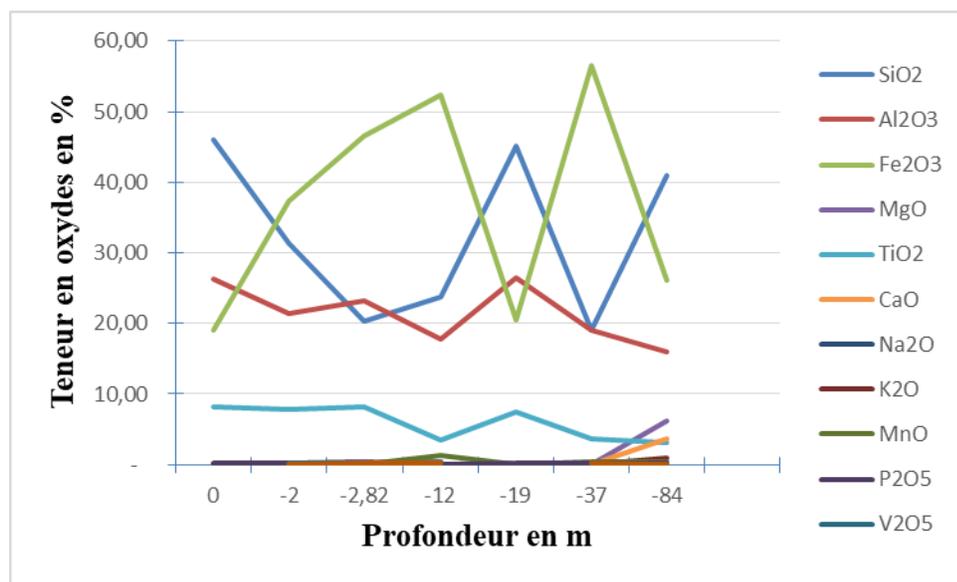


Figure 5. Courbes montrant les variations des teneurs en pourcentages des éléments majeurs dans le Profil de Kimvela

Diffraction des rayons X

Les données de base nécessaires à la détermination des minéraux par diffraction des rayons X et à l'interprétation des paramètres de cristallinité sont présentées aux tableaux 4 et 5 ainsi que la figure 6.

Tableau 4. Paramètres statistiques issus de l'analyse par diffraction RX des échantillons de Kimvela après traitement par Measure et Origin 8,5.

Paramètres statistiques		Echantillon
		KU5b
Moyenne de la courbe en μa		21,0
Pente moyenne de la courbe $\mu\text{a}/^\circ\text{C}$		-1,0
Valeur minimum en $^\circ\text{C}/\mu\text{a}$		43,1/12
Valeur Maximale en $^\circ\text{C}/\mu\text{a}$		9,3/46
Points d'équivalence		
1 ^{er} Point	XRay (ID01) Angle cristallin en $^\circ\text{C}$	13,4
	Xray (ID01)/Intensité μa	29,0
	Valeur de p en μa	-29,0
2 ^{ème} point	XRay (ID01) Angle cristallin en $^\circ\text{C}$	17,7
	Xray (ID01)/Intensité μa	23,0
	Valeur de p en μa	26,0

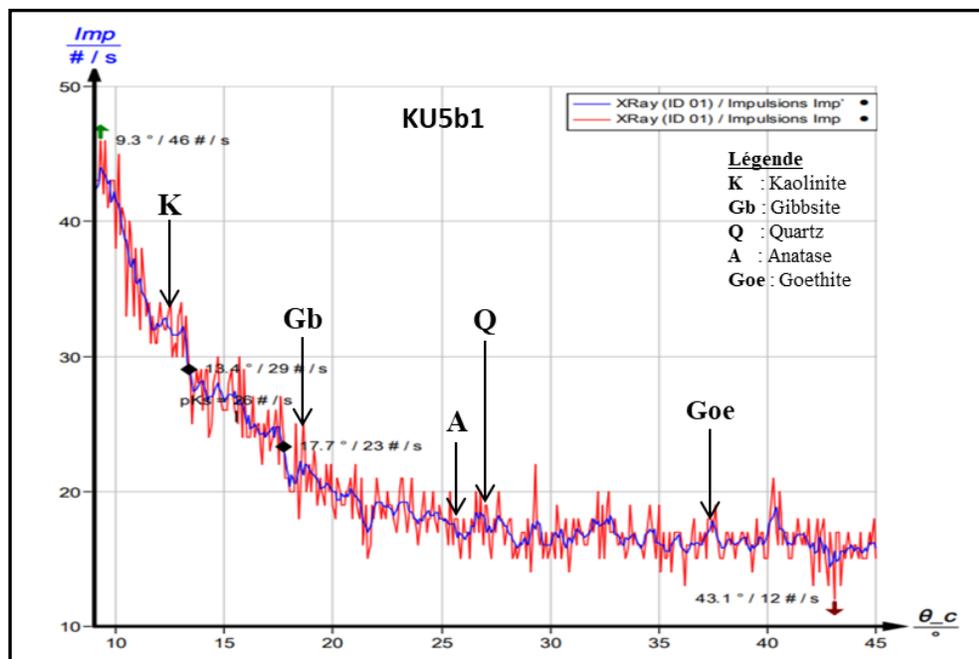


Figure 6. Courbe Compilation des Spectres RX des préparations orientées naturelles (gauche) et des Diffractogrammes des poudres désorientées (droite) des échantillons KU5b

Tableau 5. Estimation semi-quantitative de la minéralogie totale effectuée de quelques échantillons

Echantillons	Minéraux	Facteur correctif	d (Å)	2θ	Intensité	Intensité corrigée	Pourcentage
KU3	Kaolinite	0,247	7,25-7,02	12,40	18,00	4,45	43,56
	Quartz	0,34	3,37-3,31	26,70	5,40	1,88	18,46
	Anatase	0,07	3,54-3,50	25,30	5,67	0,40	3,89
	Goethite	0,15	2,46-2,43	21,47	9,69	1,49	14,62
	Gibbsite	0,22	4,93-4,79	18,25	8,83	1,99	19,47
						10,21	100,00
KU5b	Kaolinite	0,40	7,25-7,02	12,40	32,20	13,07	26,40
	Quartz	1,00	3,37-3,31	26,70	18,00	18,00	36,34
	Anatase	0,07	3,54-3,50	25,30	18,00	1,26	2,54
	Goethite	0,24	2,46-2,43	36,60	16,33	4,03	8,15
	Gibbsite	0,64	4,93-4,79	18,25	20,50	13,16	26,57
						49,53	100,00
KU5b	Kaolinite	0,40	7,25-7,02	12,40	49,40	20,06	50,69
	Quartz	0,05	3,37-3,31	26,70	31,20	1,78	4,49
	Anatase	0,07	3,54-3,50	25,30	31,67	2,22	5,60
	Goethite	0,27	2,46-2,43	36,60	28,33	7,82	19,76
	Gibbsite	0,20	4,93-4,79	18,25	36,83	7,70	19,45
						39,57	100,00
KU6c	Kaolinite	0,40	7,25-7,02	12,40	52,40	21,27	64,85
	Quartz	0,05	3,37-3,31	26,70	15,20	0,87	2,64
	Anatase	0,07	3,54-3,50	25,30	16,67	1,17	3,56
	Goethite	0,27	2,46-2,43	36,60	12,33	3,40	10,38
	Gibbsite	0,20	4,93-4,79	18,25	29,17	6,10	18,58
						32,81	100,00
KU5c	Kaolinite	0,40	7,25-7,02	12,40	22,20	9,01	57,07

	Quartz	0,05	3,37-3,31	26,65	10,33	0,59	3,73
	Anatase	0,07	3,54-3,50	25,30	9,67	0,68	4,28
	Goethite	0,27	2,46-2,43	36,60	9,00	2,48	15,73
	Gibbsite	0,20	4,93-4,79	18,25	14,50	3,03	19,19
						15,79	100,00
KU5d	Kaolinite	0,25	7,25-7,02	12,40	33,2	8,53	51,09
	Quartz	0,05	3,37-3,31	26,65	12,17	0,69	4,15
	Anatase	0,07	3,54-3,50	25,30	13,00	0,91	5,45
	Goethite	0,27	2,46-2,43	36,55	6,75	1,86	11,15
	Gibbsite	0,20	4,93-4,79	18,25	22,50	4,70	28,16
						16,70	100,00

Classification et Evolution des phases minérales

L'analyse enrichie des données pétrographiques appelle à considérer les données géochimiques du profil étudié. C'est ainsi que lorsque les données chimiques contenues dans le tableau 3 ci-dessus sont plotées dans les diagrammes ternaires $SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$ contextualisés décrivant : (i) la classification des Bauxites selon (Boulangé, 1983); (ii) la variation des chemins géochimiques du démantèlement d'après (Beauvais 1999) ; (iii) les degrés de latérisation (Schellmann, 1986b). Dans le premier diagramme, trois champs peuvent être distingués correspondant aux bauxites, aux bauxites ferrugineuses et aux bauxites argilo-ferrugineuses. Les données du secteur d'étude conformé à ce diagramme se présentent de la manière suivante (Figure, 7).

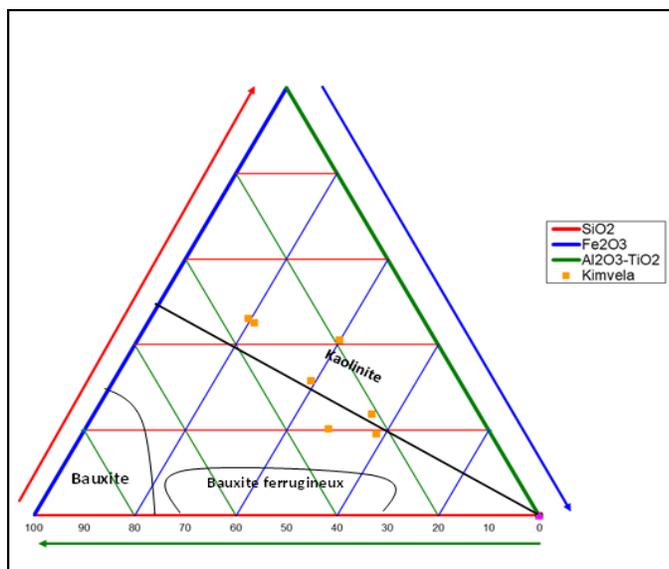


Figure 7. Diagramme $Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3$ triangulaire en T contextualisé dans notre secteur d'études montrant la classification des bauxites (Boulangé, 1983)

Dans le second diagramme ternaire, les données plotées permettent de ressortir les chemins de démantèlement des échantillons dans notre secteur d'études décrit d'après (Beauvais, 1999), se rapportant à la destruction des édifices cristallins en produits d'altérations. Selon cet auteur, le démantèlement chimique d'une cuirasse se résume en quelques opérations simples (Figure, 8) : (i) le point de départ est un matériel massif ou nodulaire, riche en fer, pauvre en quartz et moyennement alumineux, Le minéral alumineux dominant est la kaolinite, Le minéral ferrugineux le mieux représenté est l'hématite, La goethite lui est subordonnée ; (ii) le démantèlement conduit à un matériau appauvri en fer et relativement enrichi en aluminium.

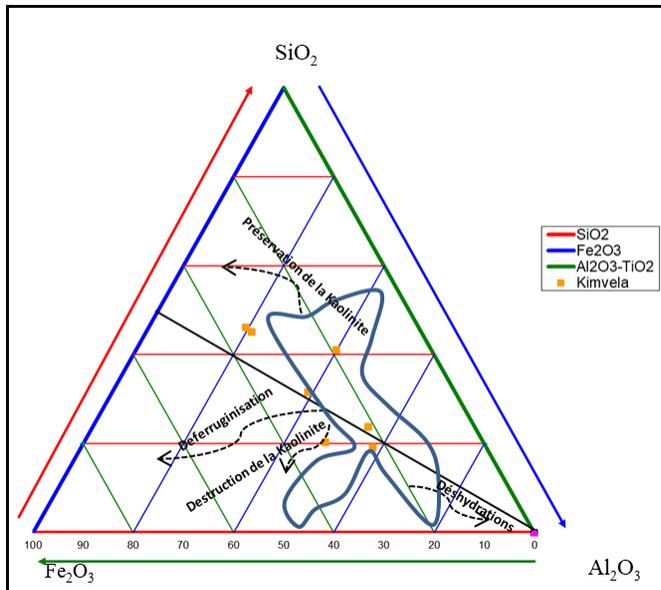


Figure 8. Diagramme ternaire $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ montrant les trajectoires de démantèlement géochimiques d'après (Beauvais, 1999), indiquant différentes tendances suivies lors de la formation de la bauxite selon que le quartz soit présent ou absent dans la matrice microgranulaire molle. Ici, la partie encadrée montre la projection des données dans le diagramme contextualisé (Tardy, 1993) ; (Meshram et Randive, 2011).

Dans le diagramme ternaire $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ de (Schellmann, 1986b) relevé en troisième lieu et couramment utilisé pour montrer le contrôle minéral, la classification de la bauxite et le degré de latérisation (Figure 9) nous permet à travers les données chimiques de notre secteur d'étude de déterminer à travers la variabilité chimique les différents degrés de latérisation (Gu *et al.*, 2013). A Kimvela, les données plotées dans ce diagramme se présentent comme suit (Figure 9).

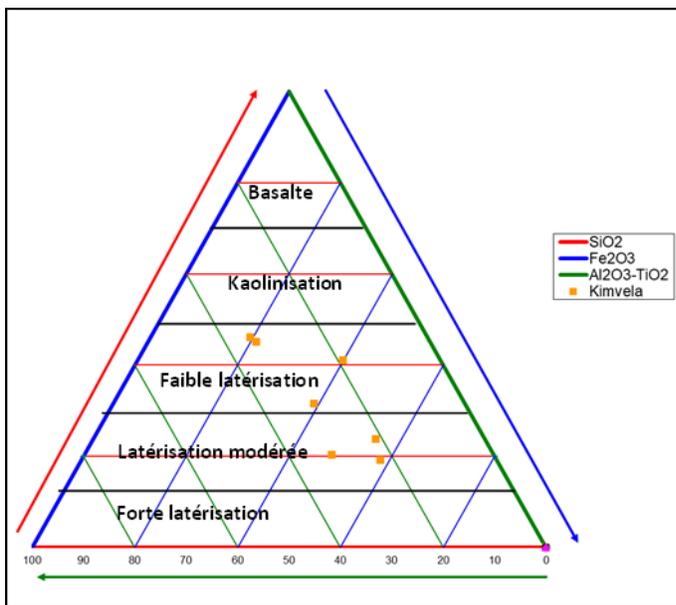


Figure 9. Diagramme ternaire $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ contextualisé montrant les degrés de latérisation (Schellmann, 1986b)

Par ailleurs, l'évolution minérale se rapportant à notre secteur d'étude telle que ressortie des analyses comparées de la géochimie des oxydes majeurs et de la pétrographie permet de montrer le degré de latérisation, le contrôle minéral et la classification de la bauxite selon Bardoshshi, modifié d'après (Sinisi, 2018). Dans ce diagramme de

variation triangulaire utilisant Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 , les données plotées de Kimvela et rapportées aux différents champs se présentent comme suit (Figure 10).

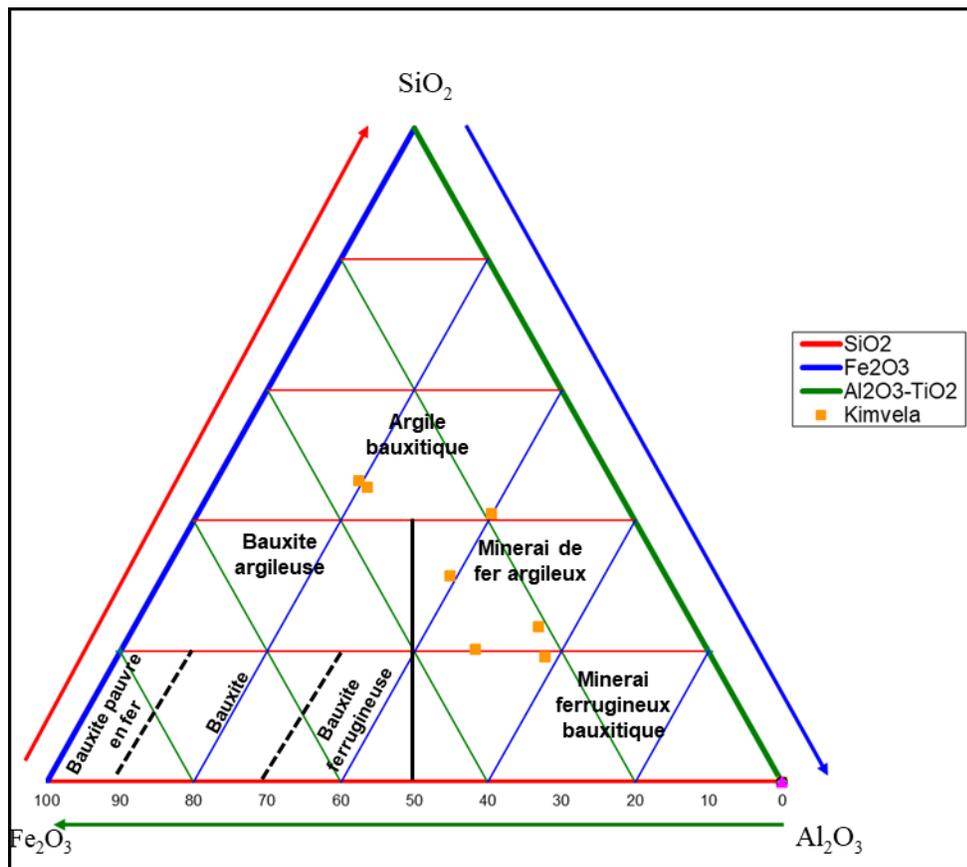


Figure 10. Diagramme ternaire de classification de la bauxite de Bardoshshi, modifié d'après (Sinisi, 2018), montrant la classification de la bauxite avec les points figuratifs des compositions des échantillons des roches analysés du Profil de Kimvela

4. DISCUSSION

4.1. Caractéristiques pétrographiques

L'analyse pétrographique des formations de notre secteur d'étude a relevé les caractéristiques sur l'ensemble des roches et celui des formations altérations superficielles.

Ensemble des roches mères

Les descriptions tant macroscopiques que microscopiques, nous ont permis de mettre en évidence une lithologie faite de basalte. Au microscope, les roches analysées (KU1, KU3 et KU4) présentent d'une manière générale une texture intergranulaire et microlitique dont les principaux minéraux sont : (i) Minéraux primaires : Plagioclases, Pyroxènes et Olivines ; (ii) Minéraux secondaires : minéraux opaques ; (iii) Minéraux opaques : oxydes de fer ; (iv) Minéraux d'altération : Quartz, Chlorite,

Ensemble des Formations d'altérations

Des études menées par Nahon (1976) sur la séquence des cuirasses ferrugineuses sur grès du Crétacé de N'Dias, au Sénégal, ont décrit l'enchaînement des faciès cuirassés dans le paysage. Les évolutions des faciès pétrographiques y rencontrées et décrites dès lors comme modèles standards de l'altération et le démantèlement des formations de soubassement se présentent de la manière suivante : (a) la roche mère ; (b) l'ensemble tacheté ; (c) l'ensemble ferrugineux nodulaire ; (d) la cuirasse de faciès massif ; (e) la cuirasse de faciès mixte ; (f) la cuirasse pseudopisolitique (appelé ici protopisolitique) ; (g) l'ensemble caillouteux ferrugineux (pisolitique) ; et (h) l'ensemble sable limoneux de surface.

On retrouve partout, plus ou moins bien décrit suivant les cas, l'ensemble de ces faciès, Dans notre région d'étude, les ensembles des formations décrites se rapportent sur quelques horizons modèles évoqués ci-haut mais d'autres horizons n'ont pas été échantillonnés.

A Kimvela, la succession lithologique des horizons d'altération se présente de la base au sommet comme suit : (i) Ensemble à altération en boules (KU5a1), représenté par des gros blocs d'altérites de taille centimétrique à décimétrique avec zonation observée et le tout moulé dans une masse argileuse meuble ; (ii) Ensemble cuirasse ferrugineuse (KU5a2) : Cuirasse latéritique nodulaire de taille décimétrique à métrique ; (iii) Ensemble argilo-sableux : sol argileux friable et hétérogène constitué de la zone d'altérites indurées à texture massive et pseudobréchique (KU5b1), la zone de pisolites ferrugineuses non consolidés dans une matrice argileuse ou argilo-ferrugineuse à texture nodulaire (KU5b2) et la zone de cuirasse ferrugineuse et pisolitique à texture massive et nodulaire (KU5c) ; (iv) Horizon de couverture des limons argileux (KU5d) présentant des dépôts détritiques meuble, grain très fin.

4.2. Caractéristiques géochimiques

Lorsque les données chimiques contenues dans les tableaux sont plotées dans le diagramme $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ contextualisé et couramment utilisé dans la classification des Bauxites (Boulangé, 1983) (Figure 7), trois champs peuvent être distingués correspondant aux bauxites, aux bauxites ferrugineuses et aux bauxites argilo-ferrugineuses ; De l'analyse des caractéristiques chimiques des échantillons de ces trois groupes se rapportant à ce secteur d'étude, il se dégage les faits suivants : (i) aucun échantillon analysé ne se retrouve dans la zone de forte concentration bauxitique qui présente des concentrations en alumine (Al_2O_3) supérieures à 75 %, le Fe_2O_3 compris entre 1-8 % et les teneurs en SiO_2 variant entre 1-12 % ; (ii) la grande majorité des échantillons plotés se retrouvent dans la Zone kaolinique caractérisée par des proportions assez élevées en Fe_2O_3 .

A Kimvela, le diagramme montrant les trajectoires de démantèlement géochimiques d'après (Beauvais 1999) relève une tendance à la préservation de la Kaolinite est observée avec des évolutions vers la zone de sa destruction. Les équilibres qui s'observent par deux voies sont distingués selon que le quartz est présent ou absent de la matrice meuble microgranulaire : Kaolinite dans le premier cas ou gibbsite dans le second. Dans les deux cas, le démantèlement se résume en une déferruginisation.

Dans le diagramme ternaire $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ contextualisé montrant les degrés de latérisation (Schellmann, W, 1986b), les échantillons riches en Al_2O_3 indiquent des degrés de latérisation plus élevés, tandis que les compositions riches en SiO_2 ont subi une faible latérisation (Meyer, *et al.*, 2006). Considérant les données géochimiques telles que présentées montrent que les formations d'altérations superficielles du champ de Kimvela présentent une latérisation faible à modérée.

4.3. Evolution des phases minérales

Comme pour les analyses des plages de Sumbi décrites par Kaseba *et al.* (1997), à Kimvela, les proportions minérales montrent des teneurs très élevées en Kaolinite culminant jusqu'à 64,84 % dans l'échantillon KU6c. Cette tendance haussière serait soutenue d'une part, par le maintien de la silice dans les conditions de climat favorable et d'autre part, par la resiliification de la gibbsite par la silice libérée lentement par le lessivage du quartz. Le pic de la teneur en gibbsite est situé à 26,57 % pour l'échantillon KU6b. Les diagrammes de variation triangulaire utilisant $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ sont couramment utilisés pour montrer le degré de latérisation, le contrôle minéral et la classification de la bauxite, Dans ce diagramme (Fig. 10), la majorité des latérites alumineuses se situent dans la catégorie des Argiles Bauxitiques, de Minerai de fer argileux et de minerai ferrugineux bauxitique.

5. CONCLUSION

L'étude a porté sur les caractérisations pétrographique, géochimique et minéralogique de la plage bauxitique de Kimvela. En effet, la pétrographie des formations du profil étudié a permis l'identification de basalte comme l'ensemble de roche mère. Ce basalte de d'apparence saine, compacte et chromatiquement bien reconnaissable à l'œil nu, présente d'une manière générale une texture intergranulaire et microlitique dont les principaux minéraux sont le plagioclase par fois en altération en albite (albitisation), le pyroxène, l'olivine, le quartz, la chlorite et les oxydes de fer sous forme d'opaque.

L'étude des horizons d'altérations dans l'ensemble des formations d'altération superficielles montre que les différents profils du secteur d'étude contiennent, à des différences près, des successions du mur au toit, des faciès suivants : (i) les altérites indurée ou cuirasse alumineuse à texture massive et pseudobréchique ; (ii) les pisolites ferrugineuses non consolidés dans une matrice argileuse ou argilo-ferrugineuse à texture nodulaire ; (iii) les cuirasses

ferrugineuses et pisolitiques à texture massive ; (iv) les altérites caillouteuses ferrugineuses (pisolitiques) ; (v) les formations de couverture de sable limoneux de surface.

L'analyse comparée des oxydes majeurs a permis de caractériser les formations de secteur d'étude en les classifiant à travers différents diagrammes ternaires suivant le type des minéraux de bauxites, les trajectoires de démantèlement géochimiques et les degrés de latérisation. Ainsi, dans le premier diagramme, il se dégage, d'une part, que la grande majorité des échantillons plotés se retrouvent dans la Zone kaolinique caractérisée par des proportions assez élevées en Fe_2O_3 et d'autre part, les données provenant de ce profil se retrouvent dans la zone de forte concentration bauxitique qui présente des concentrations en alumine (Al_2O_3) supérieures à 75 %, le Fe_2O_3 compris entre 1-8 % et les teneurs en SiO_2 variant entre 1-12 %.

Dans le second diagramme, les tendances majeures montrent que les trajectoires de démantèlement géochimique renseignent une tendance à la préservation de la Kaolinite avec des évolutions vers la zone de sa destruction, la latérisation observée étant faible à modérée. L'évolution minéralogique effectuée après analyse par diffraction RX et dépouillée à travers les logiciels mesure et origine montre que les formations présentent un assemblage minéralogique évolutif fait de la Kaolinite, la gibbsite, le quartz, l'anatase et la goéthite.

A Kimvela, la forte tendance de la composition de la Kaolinite est soutenue d'une part, par le maintien de la silice dans les conditions de climat favorable et d'autre part, par la resiliification de la gibbsite par la silice libérée lentement par le lessivage du quartz.

Comme pour Kimvela, la caractérisation holistique du gisement de Sumbi passe par la détermination des influences des variations géomorphologiques sur la mise en place des profils d'altération. Ceci consistera à modéliser les toposéquences caractéristiques pour le gisement bauxitique de Sumbi dans son ensemble dont l'évolution du modelé et la succession chronologique des cycles climatiques permettent d'envisager le fonctionnement différentiel des profils.

Références

Ambrosi J., P., Nahon D. & Herbillon A. J., 1986. The epigenetic replacement of kaolinite by hematite in laterite-petrographic evidence and the mechanisms involved. *Geoderma*, 37(4), 283-294. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(86\)90030-3](https://doi.org/10.1016/0016-7061(86)90030-3).

Bárdossy G., 1982. *Karst Bauxites*. 1st Ed, Elsevier, Vol. 14. <https://shop.elsevier.com/books/karst-bauxites/bardossy/978-0-444-99727-2>.

Beauvais A., 1999. *Paléoclimats et dynamique d'un paysage cuirassé du centrafricain : morphologie, pétrologie et géochimie*. Thèse Doctorat, Terre, océan, Université des Poitiers, combien de page ?????

<https://www.sudoc.fr/246334266>.

Beauvais A., 1999. Geochemical balance of lateritization processes and climatic signatures in weathering profiles overlain by ferricretes in Central Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(23), 3939-3957. [https://doi.org/10.1016/S00167037\(99\)00173-8](https://doi.org/10.1016/S00167037(99)00173-8).

Bocquier G., 1959. *Rapport de Mission au Bas-Congo*, 69 p.

Bocquier G., Gavaud M. & Boulet R., 1984. *Etude pédologique du Niger Central*. Rapport général ORSTOM, Centre de Dakar Hann édition, 347 p.

Boulangé B., 1983. *Les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire: les faciès, leur transformation, leur distribution et l'évolution du modelé*. Sciences, Paris: Thèse de l'Université Paris VII, https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-11/02941.pdf.

Boulangé B. & Millot G., 1988. La distribution des bauxites sur le craton ouest-africain, Distribution of bauxites on the West African Craton. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 41(1), 113-123, <https://doi.org/10.3406/sgeol.1988.1785>.

Cahen L., Ledent D. & Tack L., 1978. Données sur la Géochronologie du Mayumbien. *Bull. Soc. Belge Géologie*, 87, 101-112. De Kun N., 1965. *The Mineral Resources of Africa*. Elsevier, 740 p.

Dubroeuq D., Didier Michel G. & Millot G., 1988. A High Bauxitic Surface in the Amazon Territory of Venezuela, Mapping through the Radar-Slar Imagery and Exploratory Examination, Existence d'une Haute Surface Bauxitique En Amazonie Vénézuélienne, Première Reconnaissance et Cartographie à l'aide Des Images Radar-Slar, *Sciences Géologiques, Bulletins et Mémoires*, 41(1), 99-111. <https://doi.org/10.3406/sgeol.1988.1784>.

Grosemans P., 1951. Intrusions basiques et laves des formations anciennes du Bas-Congo. *Ann. Mus. roy. Congo Belge, Sc. géol.*, 9, 61p ,

Gu J., Zhilong H., Hongpeng F., Zhongguo J., Zaifei Y. & Jiawei Z., 2013. Mineralogy, geochemistry and genesis of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, Northern Guizhou Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 130, 44-59. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.03.003>.

Kaseba M.K., Paepe R., Boski T., Herbosch A., Naud. J. & Charlet J.-M., 1997. Genèse et évolution des profils bauxitiques latéritiques sur des surfaces d'aplanissement post-éocènes au Bas-Zaïre (Zaire). *GéoProdig, portail*

d'information géographique, pp. 409-442.
<http://geoprodig.cnrs.fr/items/show/76545>.

Lepersonne J., 1950. *New Elements Concerning the Stratigraphy of Ancient Sites in Bas-Congo Provin.* In Bruxelles, 22 p.

Lepersonne J., 1974a. *Carte géologique de Zaïre : dressée par les géologues du Musée royal de l'Afrique centrale et du Bureau de recherches géologiques et minières sous la direction de J. Lepersonne, S.l. : République du Zaïre Commissariat d'Etat aux Mines Service Géologique.*
<https://lib.ugent.be/catalog/rug01:001376152>.

Lepersonne J., 1974b. *Notice explicative de la Carte géologique du Zaïre au 1/2,000,000, Rép. du Zaïre.* Direction de la Géologie, Kinshasa: Mus. roy. Afr. centr., Tervuren, 66 p.

Meshram R. R. & Randive R., 2011. Geochemical study of laterites of the Jamnagar district, Gujarat, India: Implications on parent rock, mineralogy and tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6), 1271-1287.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.07.014>.

Meyer F.M., Kolb J., Sakellaris G.A. & Gerdes A., 2006. New ages from the Mauritanides belt: recognition of Archean IOCG mineralization at Guelb Moghrein, Mauritania, *Terra Nova*, 18, 345-352.

Ongendangenda Tienge A., Mpiana Kenababo C. & Kampunzu A. B., 1986. *Caractérisation du volcanisme ouest-Congolien à l'aide des clinopyroxènes : Cas des roches basiques de Sumbi au Bas-Congo.* UNESCO, Geology for economic development, pp. 153-162.

Sinisi R., 2018. Mineralogical and Geochemical Features of Cretaceous Bauxite from San Giovanni Rotondo (Apulia, Southern Italy): A Provenance Tool. *Minerals*, 8 (12), p. 567, <https://www.mdpi.com/2075-163X/8/12/567>.

Schellmann W., 1986. A new definition of laterite. *A new definition of laterite*, n°120, pp, 1-7.

Tack L., Wingate M.T.D., Liegeois J.-P., Fernandez-Alonso M. & Deblond A., 2001. *Early Neoproterozoic magmatism (1000–910 Ma) of the Zadinian and Mayumbian Groups (Bas-Congo): onset of Rodinia rifting at the western edge of the Congo craton*, Precambrian Research, Elsevier, Volume110, 277-306,
[https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(01\)00192-9](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(01)00192-9).

Tardy Y., 1993. *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*, Masson, Paris, 459 p.
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:38818>.

Tardy Y., Boeglin J.-L. & Roquin C., 1997. Petrological and geochemical classification of bauxites and their associated iron-rich laterites, *Carvalho A, (ed.), Boulangé Bruno (ed.), Melfi A,J, (ed.), Lucas Yves (ed.) Brazilian bauxites, Sao Paulo (BRA)*; Paris : USP ; ORSTOM, pp. 23-49,
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010011395>.

Valeron I., 1972. *Bauxites*, Developments in Soil Science. Elsevier edition.
<https://shop.elsevier.com/books/bauxites/valeton/978-0-444-40888-4>.