

Tests préliminaires de récupération par cyanuration en bouteilles d'échantillons combinés de minerais latéritique et argileux de la province aurifère du Yaouré dans le Centre de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)

[Preliminary tests for recovering by bottled cyanidation from combined lateritic and clayey ores samples of the gold-bearing province of Yaouré in central Côte d'Ivoire (West Africa)]

Paul Tonga TIEMOKO and Gbele OUATTARA

Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi) / Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et Sciences géographiques / Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2013 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 "Yaoure" gold deposit (Central Ivory Coast, West Africa) is composed of several types of ores: quartz vein, sulphide facies (45-50 m in depth), oxidized facies (35-45 m in depth) and, on the surface, a clayey zone. Therefore some physical features like permeability are essential in the heap leaching method. Taken separately, the ore associated with the clay show some recovery problems, when the humidity level is more than 12 to 15%. For this cause, the Department of science and mining resources of INP-HB has study the blending method thus to face that problem. It's consisting of mixing the clayey ore with different other types of ore proportionally to obtain a heterogeneous ore and increase its permeability thus. A leaching test has been achieved on six samples (blended clayey and lateritic ores) to determine the maximum recovery and the optimum consumption in reagents (NaCN and CaO). The tests results permit to obtain the best figure with 96.63% of reconstituted quantity recovery with reagents consumption of 1.41 kg/t in NaCN and 0.45 kg/t in CaO. In addition, some "in column" leaching tests must be done often to simulate the leaching in heap with the aim of determining some technical, physical and economic parameters to improve the process and therefore to increase the recovery.

KEYWORDS: Lateritic and clayey ores, Cyanidation in bottle, Gold recovery rate, Yaouré gold province, Central Ivory Coast, West Africa.

RESUME: Le gisement d'or de la province aurifère du "Yaouré" (Centre de la Côte d'Ivoire) est constitué de plusieurs types de minerais dont, du quartz filonien, un faciès sulfuré en profondeur (45-50 m), un faciès oxydé de mi-profondeur (35-45 m) et, plus en surface, un faciès argileux. Ces minerais sont donc de perméabilités différentes, propriété essentielle pour la cyanuration. Pris individuellement, le minerai argileux pose des difficultés de cyanuration liées à son imperméabilité lorsque l'humidité est supérieure à 12 – 15%. Ce qui a emmené le Département de recherche et de formation en Sciences de la Terre de l'INP-HB à étudier la méthode du "blending" qui consiste à combiner les différents types de minerais en roche avec le minerai argileux, afin de le rendre hétérogène et augmenter ainsi sa perméabilité. Des essais de lixiviation en bouteilles ont été réalisés sur six échantillons combinés de minerais argileux et latéritique pour déterminer le taux de récupération maximum et la consommation optimum en réactifs (NaCN et CaO). Les tests réalisés sur une densité de pulpe à 50% de solides montrent que le meilleur résultat obtenu au cours de ces essais indique une récupération de 96,63% de l'or en calculant par rapport aux quantités reconstituées, avec une consommation en réactifs de 1,41 kg/t pour le NaCN et 0,45 kg/t pour le CaO. Pour la suite de l'étude, des essais de lixiviation en colonne doivent se faire pour simuler la lixiviation en tas et en déterminer les paramètres économiques.

MOTS-CLEFS: Minerais latéritique et argileux, Cyanuration en bouteilles, Taux de récupération de l'or, Province aurifère du Yaouré, Centre de la Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest.

1 INTRODUCTION

L'or, métal noble par excellence, est l'un des métaux les plus prisés aujourd'hui, vu son coût qui ne cesse de croître sur le marché international (plus de 1700 \$ l'once Troy en 2012 (1 once Troy = 31,10348 g)). Le gisement d'or de la province aurifère du Yaouré comporte plusieurs types de minerais distincts dont, notamment [1] :

- Du quartz filonien qui indique les origines hydrothermales de la minéralisation aurifère ;
- Un faciès sulfuré en profondeur (45-50 m) dans les roches vertes ;
- Un faciès de mi-profondeur (35-45 m) en altération (faciès dit "oxydé") encore compétent pour le concassage, mais qui connaît un début d'argilisation et où les sulfures et carbonates sont quasiment détruits ;
- Un faciès plus en surface où l'oxydation y est intense mais avec conservation de la texture de la roche. Ce minerai est dit "argileux".

Ces minerais sont de perméabilités différentes, propriété essentielle dans la cyanuration de l'or. Pris individuellement, le minerai argileux pose des difficultés de cyanuration lorsque l'humidité est supérieure à 12 – 15%. Avec l'accroissement des cours de l'or de ces dernières années, et donc de la baisse de la teneur de coupure du gisement à 0,6 g/t (gisement exploité par, CLUFF Gold (WA) Côte d'Ivoire, aujourd'hui Amara Gold Plc), il est apparu nécessaire d'étudier les conditions de traitement d'un nouveau minerai de type "latéritique", surtout en combinaison avec le minerai argileux. L'initiative de cette étude a été prise par le Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (INP-HB) en Côte d'Ivoire.

L'objectif principal de l'étude est d'hétérogénéiser le mélange obtenu et d'augmenter ainsi sa perméabilité. De façon spécifique, il s'agissait de réaliser des tests de cyanuration en bouteilles en vue de l'optimisation des taux de récupération de l'or dans les échantillons combinés de minerais latéritiques et argileux de la mine d'Angovia. Ces tests devraient permettre de quantifier le contenu en or du mélange obtenu et de déterminer les paramètres nécessaires à la récupération maximale de l'or.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 LE MILIEU BIOPHYSIQUE

La province aurifère du "Yaouré" se situe au centre de la Côte d'Ivoire, à l'extrême Est de la Région du Marahoué, dans le Département et la Sous - Préfecture de Bouaflé (Figure 1). Elle est dominée par un massif montagneux très découpé et long de vingt (20) kilomètres sur dix (10) kilomètres de large environ. Le sommet le plus haut du massif culmine à six cent (600) mètres d'altitude au dessus de la pénéplaine environnante qui n'est qu'à deux cent (200) mètres [2]. La région appartient à l'unité structurale déformée du Protérozoïque inférieur ou Birimien du Yaouré, et comporte (Figure 2) :

- Un ensemble de gneiss migmatiques à biotites, marqués par une foliation centimétrique serrée, pouvant s'atténuer et disparaître par endroit pour donner à la roche l'aspect d'un granite homogène. Ces gneiss se rencontrent seulement sur la bordure ouest du Yaouré ;
- Un ensemble sédimentaire constitué d'un matériel vert sombre argilo-silteux passant à des grès fins grauwackeux parfois enrichis en niveaux quartzeux ;
- Un ensemble essentiellement volcanique constitué de coulées de basaltes andésitiques en coussin qui sont associées à de minces niveaux d'épiclastites et de hyaloclastites ;

Tardivement, des intrusions plutoniques de gabbros, d'ultrabasites, de diorites quartziques subvolcaniques, de dykes, de rhyolites-dacites et de granites discordants marquent la fin du magmatisme régional [3]-[7].

L'étude a été réalisée dans la carrière de la mine d'Or d'Angovia et sur l'un des deux sommets de la colline "Blanguand", celui qui culmine à 356 m d'altitude, de latitude N: 07°00,556', de longitude W: 005°31,027'. Sur ce sommet, se retrouvent une épaisse cuirasse latéritique aurifère, polygénique par endroits, à fragments de quartz et de roches vertes de taille centimétrique, indiquant la présence de brèches volcaniques. L'altération de ce matériau rocheux conduit à d'épaisses couches de sols brunifiés, argilisés, très riches en éléments grossiers, notamment au bas et à la mi-pente [8].

2.2 HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION D'OR DANS LE YAOURÉ

Les travaux de prospection pour or dans la région du "Yaouré", ont commencé depuis les années 1920 par des prospecteurs travaillant pour leur propre compte ou celui de compagnies privées. Ces travaux se sont poursuivis avec la Direction des Mines de l'Afrique Occidentale Française (AOF), puis par le Bureau de Recherches Géologique et Minière (BRGM, France) pour aboutir à la découverte d'un gisement d'or en 1993. Le permis d'exploitation a été attribué à une société dénommée « Compagnie Minière d'Afrique (CMA) » qui a exploité une partie du gisement de 1998 à 2003. Le permis

a été ensuite repris par la compagnie CLUFF GOLD (WA) Côte d'Ivoire qui a développé, de 2004 à 2007, des travaux de certification et entamé en fin 2007, l'exploitation du gisement additionnel des "Monts Yaouré".

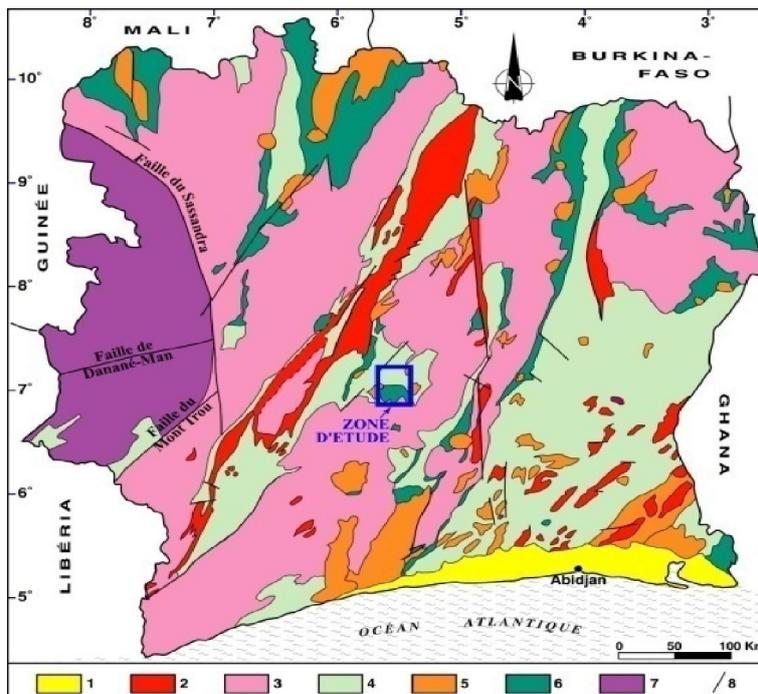


Fig. 1. Carte géologique simplifiée de la Côte d'Ivoire et localisation de la zone d'étude, modifiée d'après [9]. 1= formations post-birimiennes; Domaine Paléoprotérozoïque: 2= granitoïdes à deux micas de type bassin; 3= granitoïdes indifférenciés; 4= bassins métasédimentaires; 5= granitoïdes de type ceintures de roches vertes d'âge; 6= volcanites; 7= domaine archéen; 8= fractures majeures

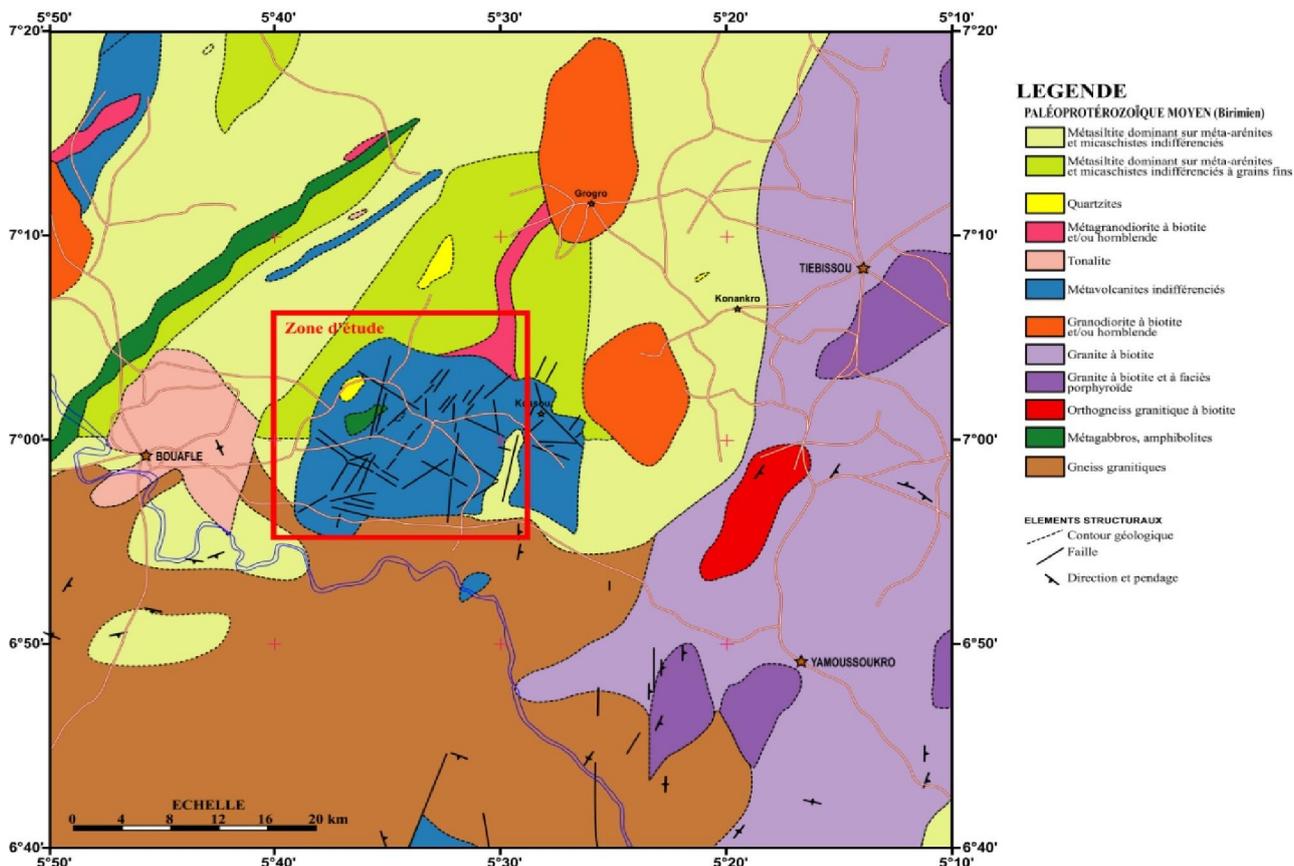


Fig. 2. Carte géologique des monts Yaouré, modifié d'après [10]-[11]

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 PREPARATION DES ECHANTILLONS

Un lot de vingt (20) échantillons dont 10 échantillons de minerais latéritique et 10 de minerais argileux totalisant 25 kg a été réceptionné au laboratoire de géologie et de traitement des minerais de l'INP-HB. Le lot de dix (10) échantillons de minerai latéritique a été prélevé entre le niveau 20 et la surface des sondages RAB au sommet de la colline Blangand. Ces sondages ont été réalisés sur divers points à des dates différentes et portent les dénominations suivantes : Lat-1-10 (0 - 2 m), Lat-3-10 (2 - 4 m), Lat-5-10 (4 - 6 m), Lat-6-10 (6 - 8 m), Lat-7-10 (8 - 10 m), Lat-8-10 (10 - 12 m), Lat-12-10 (12 - 14 m), Lat-13-10 (14 - 16 m), Lat-15-10 (16 - 18 m), Lat-16-10 (18 - 20 m). Le lot des 10 échantillons de minerai argileux a été prélevé dans la carrière de minerai argileux en exploitation.

La teneur moyenne en or est de l'ordre de 4,5 g/t pour le minerai argileux et de 2,5 g/t pour le minerai latéritique. Le choix du mélange est dû au fait que la latérite peut être facilement fragmentée et agglomérée, contrairement au minerai argileux, surtout lorsqu'il est humide. Ainsi, le mélange des deux types de minerais a été réalisé dans les proportions 1/2 pour le minerai latéritique et 1/2 pour le minerai argileux ; l'objectif étant de rendre plus perméable le minerai argileux plus riche en or.

L'ensemble des 20 échantillons est mis sur une bâche et mélangé à la pelle pour former un tas homogène. A l'aide d'un grand « diviseur », le tas est divisé en deux lots approximativement de même quantité, soit 12,5 Kg. L'un a été gardé en stock et l'autre réservé pour les différents tests. Ce dernier lot a été réduit dans un concasseur à mâchoires (KEEGOR-Jaw crusher) à 100% passant 2 mm. Par quartage du produit obtenu, une partie en a été extraite pour l'analyse quantitative de l'or, une autre pour l'analyse chimique totale, et une troisième pour l'étude minéralogique. Le reste a été re-mélangé puis passé au broyeur à meule (KEEGOR – vertical spindle pulverizer) pour donner un produit à 80% passant 75 µm. Par la suite, il a été quarté en douze portions destinées aux essais de cyanuration en bouteilles. Des prélèvements de 500 g ont été effectués sur chacune de ces douze portions pour déterminer, par analyse quantitative, les teneurs en or de l'alimentation pour chaque essai. Le schéma général de la préparation des échantillons est indiqué dans la Figure 3.

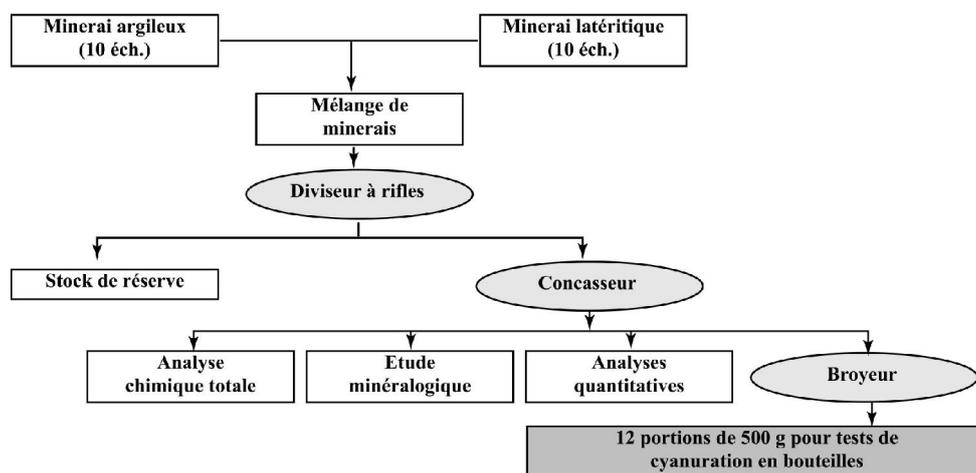


Fig. 3. Schéma général de préparation des échantillons

3.2 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses ont été réalisées dans les laboratoires de sol, de chimie et de Géologie de l'INP-HB de Yamoussoukro. Il s'agit de l'analyse minéralogique, de l'analyse chimique totale et de l'analyse quantitative.

4 ESSAIS DE CYANURATION EN BOUTEILLES

Les essais de cyanuration en bouteille ont été réalisés à différentes densités de pulpe puis en faisant varier la concentration de cyanure ajoutée à la pulpe aux différents essais. Les essais en bouteilles à différentes densités de pulpe ont été réalisés avec des sous-échantillons prélevés dans le composé. Les sous-échantillons ont été mis dans différentes bouteilles contenant de l'eau cyanurée à une concentration de 1g de NaCN/litre ; le pH a été ajusté avec de la chaux pour le maintenir entre 10,5 et 11. Les tests ont été réalisés à des densités de pulpe fixés à 40% solides, 50% solides, et 60% solides.

Chaque test a été fait en double pour vérifier la répétitivité des résultats, soit six tests réalisés (Tableau 1). Suite aux premiers résultats, nous avons décidé de continuer les analyses. Six autres essais en bouteilles ont été réalisés en faisant varier les quantités de cyanure ajoutées aux pulpes préparées à une densité de 50% solides (Tableau 2). Les différents pH ont été maintenus entre 10,5 et 11.

Table 1. Pulpes préparées à différentes densités en bouteilles

Densité de la pulpe % solide	Poids (grammes)				PH
	Minerai	Eau	CaO	NaCN	
40	400	600	0,23	0,60	10,5
40	400	600	0,24	0,60	10,5
50	500	500	0,25	0,50	10,5
50	500	500	0,26	0,50	10,5
60	600	400	0,27	0,40	10,5
60	600	400	0,27	0,40	10,5

Tableau 2. Pulpes préparées à différents taux de concentration de cyanure de sodium

Densité de la pulpe % solides	Poids (grammes)				PH
	Minerai	Eau	CaO	NaCN	
50	500	500	0,25	0,75	10,5
50	500	500	0,25	1,00	10,5
50	500	500	0,25	1,25	11,0
50	500	500	0,09	1,50	11,0
50	500	500	0,04	1,75	11,0
50	500	500	0,00	2,00	11,0

Les bouteilles contenant les différentes pulpes ont été déposées par lots de six sur un agitateur tournant (Roller). L'agitateur a été réglé à une vitesse de rotation de 75 tours par minute. Les bouteilles étaient ouvertes pour obtenir une bonne aération pendant l'opération. Elles ont été agitées en les faisant tourner sur elles-mêmes pendant 72 heures. A la fin de l'agitation, le contenu de chaque bouteille a été filtré à l'aide d'un filtre à pression. Les résidus ont été rincés chacun avec un litre d'eau, les solutions riches et les solutions de rinçage ont été dosées pour le cyanure résiduel et l'alcalinité protectrice. Des prélèvements de la solution riche et de la solution de rinçage ont été envoyés au laboratoire d'analyses pour déterminer les contenus en or. Les résidus rincés ont été séchés à l'étuve et des échantillons en ont été prélevés pour l'analyse quantitative de l'or.

5 RESULTATS ET DISCUSSION

5.1 ANALYSES QUANTITATIVE ET CHIMIQUE TOTALE

Les principaux minéraux de valeur contenus dans le minerai sont l'or et l'argent. Les différentes analyses faites sur les échantillons de l'alimentation des essais en bouteilles montrent que les teneurs en or varient entre 4 g/t et 6,6 g/t. Les éléments déterminés par l'analyse chimique totale sont : Al₂O₃ (8,78%), Fe₂O₃ (0,26%), MnO (0,01%), MgO (0,01%), CaO (0,01%), Na₂O (0,12%), K₂O (0,07%), TiO₂ (0,5%), P₂O₅ (0,33%), SiO₂ (pourcentage non déterminé).

5.2 ETUDE MINERALOGIQUE

Elle a été effectuée en stéréomicroscopie à un agrandissement de 25 fois. Les principaux minéraux déterminés dans l'échantillon sont l'or, la pyrite, le mica et le quartz. L'étude effectuée sur environ 63 g d'échantillon du minerai a mis en évidence 1% pyrite, 59% de mica, 40% de quartz, et 3 points d'or.

5.3 BILAN METALLURGIQUE (AU) A PARTIR DE L'ANALYSE QUANTITATIVE

Les résultats des analyses quantitatives ont permis de faire les bilans des lixiviations en bouteilles présentés par les tableaux 3 et 4 ci-après.

5.4 PULPES PREPAREES A DIFFERENTES DENSITES DE PULPES

Les résultats obtenus pour les tests effectués à différentes densités de pulpes (40% à 60% solides) ne caractérisent pas de manière évidente une tendance particulière de récupération de l'or qui se situe à un taux relativement élevé par rapport aux quantités reconstituées ; ils se situent entre 79,67% et 92,39%. Toutefois, on observe que le plus important taux de récupération se situe à une densité de 50% de pulpe. Ainsi, pour la suite de l'étude, il a donc été choisi la pulpe à 50% de solides.

5.4.1 PULPES PREPAREES A DIFFERENTS TAUX DE CONCENTRATION DE CYANURE DE NACN ET DE CAO

En faisant varier la concentration de cyanure de 1,5 g/l à 4 g/l dans une pulpe à 50% solide, on constate que : les taux de récupération sont assez élevés, variant entre 91,09 et 96,63% par rapport à la quantité reconstituée, le taux de récupération est le plus élevé avec une concentration en cyanure de 2 g/l, une certaine quantité d'or n'a pas été dissoute par le cyanure et se retrouve dans le résidu, une infime quantité d'or reste introuvable puisque la quantité d'or reconstituée est inférieure à celle déterminée à l'alimentation.

De l'or a été retrouvé dans le résidu parce qu'il pourrait y avoir eu passivation du cyanure par la présence soit d'ions retardateurs libérés en solution par les minéraux accompagnateurs de l'or tels que la pyrite. En effet, l'analyse de la composition minéralogique des échantillons indique la présence de pyrite (1%) qui pourrait être à la base de cette passivation. La pyrite est un cyanicide qui complexe le cyanure soit sous la forme ferrocyanate $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$, soit sous la forme thiocyanate SCN^{-1} qui sont inertes pour l'or [12]-[13]-[14].

Il convient de signaler que le minerai est constitué de sulfures disséminés et d'or libre. L'or se présente sous des habitus divers, en plage variant de 1 à 150 μm , inclus dans la structure solide des sulfures ou libre dans la gangue (silice, carbonates, mica blanc). L'or des sulfures est donc de type "réfractaire" [15], difficile à extraire car les sulfures et particulièrement la pyrite est inaltérable dans les conditions de cyanuration. La récupération nécessite alors un prétraitement oxydant pour libérer l'or (grillage, oxydation chimique, bio-oxydation).

Tableau 3. Bilan métallurgique (Au) des essais en bouteilles avec variation de la densité de la pulpe

Densité % solide	Alimentation			Solution riche			Solution de rinçage			Qt d'Or	Résidus			Qt d'Or	% récupération /Qt reconstituée
	Poids (g)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	Volume (ml)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	Volume (ml)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	extrait (mg)	Poids (mg)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	reconstituée (mg)	
40	400	4126	1,65	415	1217	1,01	1000	102	0,10	1,11	396,50	2188	0,12	1,23	90,24
40	400	4179	1,67	450	1152	1,02	1000	89	0,09	1,11	397,00	2268	0,15	1,26	88,10
50	500	4320	2,16	320	1800	1,33	1000	210	0,21	1,54	496,80	2087	0,25	1,79	86,03
50	500	4097	2,05	315	1836	1,58	1000	244	0,24	1,82	497,10	2421	0,15	1,97	92,39
60	600	4451	2,67	230	2579	1,59	1000	373	0,37	1,96	597,50	2276	0,50	2,46	79,67
60	600	6594	3,96	250	2390	2,60	1000	497	0,50	3,1	596,10	2405	0,33	3,43	90,38

Tableau 4. Bilan métallurgique (Au) des essais en bouteilles avec variation de la concentration en cyanure

Solution NaCN (g/litre)	Alimentation			Solution riche			Solution de rinçage			Qt d'Or	Résidus			Qt d'Or	% récupération /Qt reconstituée
	Poids (g)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	Volume (ml)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	Volume (ml)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	extrait (mg)	Poids (mg)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	reconstituée (mg)	
1,50	500	4650	2,33	310	2275	1,61	1000	483	0,25	1,86	491,8	2507	0,13	1,99	93,47
2,00	500	4734	2,37	285	2382	1,68	1000	425	0,33	2,01	495,5	2162	0,07	2,08	96,63
2,50	500	5148	2,57	285	2212	1,53	1000	360	0,26	1,79	496,1	2391	0,19	1,98	90,40
3,00	500	4907	2,45	280	2280	1,54	1000	329	0,23	1,77	495,5	2233	0,11	1,88	94,15
3,50	500	4838	2,42	280	2349	1,56	1000	375	0,28	1,84	493,8	2389	0,18	2,02	91,09
4,00	500	4985	2,49	290	2325	1,47	1000	350	0,25	1,72	493,2	2304	0,14	1,86	92,47

5.5 BILAN DES CONSOMMATIONS EN REACTIFS CHIMIQUES (NACN ET CAO)

Deux types d'évaluation ont été faites : la consommation des réactifs chimiques à l'essai avec variation de la densité de la pulpe et celle des réactifs chimiques à l'essai avec variation de la concentration de cyanure.

5.5.1 LA CONSOMMATION DE CYANURE DE SODIUM

La consommation de cyanure décroît au fur et à mesure que la densité de la pulpe augmente (tableau 5) : de 1,35 kg/tonne de minerai dans la préparation de 40% solides à 0,65 kg/tonne de minerai dans la préparation à 60% solides. En faisant varier la concentration de cyanure de 1,5 g/l à 4 g/l, le taux de récupération de l'or évolue en "dents de scie " de 93,47% correspondant à 1,5 g/l à 92,47% correspondant à 4 g/l, avec un pic de 96,63% correspondant à 2 g/l de NaCN. La quantité de cyanure consommée croît progressivement avec une augmentation de sa concentration dans la pulpe au départ (tableau 6) : de 0,96 Kg/tonne de minerai pour une concentration de 1g/l de solution à la préparation, elle monte à 2,49 kg/tonne pour une concentration de cyanure de 4 gr/l (Tableau 6). Cette croissance ne s'accompagne pas de celle du taux de récupération à partir de 2 g/l. Cela pourrait s'expliquer par la présence de pyrite (FeS₂) qui favorise une consommation importante de cyanure pendant la lixiviation et empêche une bonne récupération de l'or.

Tableau 5. Consommation de NaCN à l'essai en bouteilles avec variation de la densité de pulpe

Densité de la pulpe % solides	Poids (grammes)				Consommation NaCN en kg/t de minerai
	Minerai	NaCN initial	NaCN final	NaCN consommé	
40	400	0,600	0,058	0,542	1,35
40	400	0,600	0,063	0,537	1,34
50	500	0,500	0,019	0,481	0,96
50	500	0,500	0,019	0,481	0,96
60	600	0,400	0,009	0,391	0,65
60	600	0,400	0,010	0,390	0,65

Tableau 6. Consommation de NaCN à l'essai avec variation de la concentration de cyanure

Concentration de NaCN dans la pulpe (g/l)	Poids (grammes)				Consommation NaCN en kg/t de minerai
	Minerai	NaCN initial	NaCN final	NaCN consommé	
1,50	500	0,750	0,048	0,702	1,40
2,00	500	1,000	0,294	0,706	1,41
2,50	500	1,250	0,352	0,898	1,80
3,00	500	1,500	0,484	1,016	2,03
3,50	500	1,750	0,552	1,198	2,40
4,00	500	2,000	0,755	1,245	2,49

5.5.2 LA CONSOMMATION DE CHAUX

La quantité de chaux consommée par contre décroît progressivement de 0,45 kg/tonne de minerai pour une concentration de cyanure de 1,5 g/l à une consommation nulle pour une concentration de cyanure de 4 g/l (Tableaux 7 et 8). Cela peut s'expliquer, avec l'augmentation de la quantité de NaCN, par la passivation progressive des ions cyanures due à la formation des complexes de ferrocyanates ou de thiocyanides liés à la présence de sulfures. L'alcalisation de la pulpe va, en conséquence, baisser progressivement.

Tableau 7. Consommation de CaO à l'essai en bouteilles avec variation de la densité de pulpe

Densité de la pulpe % solides	Poids (grammes)				Consommation CaO en kg/t de minerai
	Minerai	CaO initial	CaO final	CaO consommé	
40	400	0,230	0,007	0,223	0,56
40	400	0,240	0,007	0,233	0,58
50	500	0,250	0,005	0,245	0,49
50	500	0,260	0,005	0,255	0,51
60	600	0,270	0,004	0,266	0,44
60	600	0,270	0,004	0,266	0,44

Tableau 8. Consommation de CaO à l'essai avec variation de la concentration de cyanure

Concentration de NaCN dans la pulpe (g/l)	Poids (grammes)				Consommation CaO en kg/t de minerai
	Minerai	CaO initial	CaO final	CaO consommé	
1,50	500	0,250	0,027	0,223	0,45
2,00	500	0,250	0,025	0,225	0,45
2,50	500	0,250	0,047	0,203	0,41
3,00	500	0,090	0,067	0,023	0,05
3,50	500	0,040	0,004	0,036	0,07
4,00	500,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Une synthèse de la consommation en réactifs chimiques est indiquée dans le tableau 9.

Tableau 9. Récapitulatif des bilans des analyses

Concentration NaCN (g/litre)	Teneur d'alimentation en or (ppb)	Récupération par rapport à la quantité reconstituée	Consommation en réactifs (Kg/tonne de minerai)	
			NaCN	CaO
1,50	4650	93,47	1,40	0,45
2,00	4734	96,63	1,41	0,45
2,50	5148	90,40	1,80	0,41
3,00	4907	94,15	2,03	0,05
3,50	4838	91,09	2,40	0,07
4,00	4985	92,47	2,49	0,00

6 CONCLUSION

Les tests réalisés dans le cadre de cette étude indiquent qu'on peut inclure dans les réserves exploitables, des minerais latéritiques en combinaison avec le minerai argileux. En effet, les essais de lixiviation en bouteilles ont été effectués pour déterminer l'extraction maximale de l'or, la consommation en cyanure et en chaux. Ces essais montrent bien que le minerai soumis au "blending" est facilement lixiviable, avec une récupération de l'or de 91,09 à 96,63%, dans des conditions de traitement bien spécifiques (variation d'ajouts de cyanure et de chaux). En somme, la récupération maximale (96,63%) est obtenue avec une consommation de 2 g/l de NaCN et 0,225 g/l de CaO, soit respectivement 1,41 kg/tonne et 0,45 kg/tonne de minerai. Des taux de récupération similaires ont été obtenus dans le gisement aurifère de Sega au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest) [16].

La consommation de chaux est relativement faible et décroît avec l'augmentation en concentration de cyanure ajoutée. Les différents paramètres déterminés à partir des essais pourront permettre de comparer les coûts de production au gain qu'elle peut obtenir par la récupération de 96,63% dans ce minerai. Il faut cependant retenir que les échantillons traités ont été préparés dans des conditions optimum d'opération (broyage fin, excès de réactifs, homogénéisation de la pulpe, etc.). Pour la récupération de l'or contenu dans les résidus, nous recommandons l'ajout à la pulpe de sels de thallium qui, soulignons-le, augmentent de façon spectaculaire la dissolution de l'or lorsqu'il y a passivation. Les résultats pourraient indiquer si ce réactif peut être utilisé sur les tas de lixiviation dans des conditions économiques acceptables.

Nous recommandons, pour la suite de l'étude, la réalisation d'essais en colonnes sur le minerai argileux et latéritique combinés pour permettre de mieux cerner les conditions d'opération sur le terrain (temps effectif de cyanuration, tenue des agglomérats de minerai, perméabilité des tas à lixivier, consommation effective de réactifs) et surtout, la fiabilité des résultats de la cyanuration en bouteilles ainsi que les écarts à observer pour une meilleure récupération de l'or.

REFERENCES

- [1] C.M.A., "Rapport technique du service Mine et Géologie," *Compagnie Minière d'Afrique, Mine d'Angovia*, document non publié, 2000.
- [2] L. Gauthier, "Contact forêt-savane en Côte d'Ivoire centrale ; évolution du recouvrement ligneux des savanes de la réserve de Lamto (Sud du V-baoulé)," *Candolléa*, vol. 45, pp. 628-629, 1990.
- [3] R. Fabre, P. Ledru, and J. P. Milési, "Le Protérozoïque inférieur (Birimien) du centre de la Côte-d'Ivoire: évolution tectonique et corrélations," *C. R. Acad. Sci. Paris*, vol. 311, ser. II pp. 971-976, 1990.
- [4] R. Fabre and B. Morel, "Stratigraphie des unités birimiennes dans le centre de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)," *Bulletin de la Société Géologique, France (BSGF)*, vol. 164, no. 4, pp. 609-621, 1993.
- [5] K. Affian, F. B. Anoh, E. V. Djagoua, M. Robin, M. C. Azagoh, P. NGuessan, K. F. Kouamé, M. B. Saley, and J. Biémi, "Contribution de la télédétection à la recherche de gisement d'or dans la région d'Angovia en Côte d'Ivoire," *Télédétection*, vol. 4, no. 3, pp. 277-288, 2004.
- [6] G. B. Koffi, G. Ouattara, and A. K. Yao, "Geometry and kinematics of structures controlling the mineralization of Angovia gold mine (Central Ivory Coast, West Africa)," *Revue International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 2, February 2013, ISSN 2229-5518*, à paraître, 2013.
- [7] SRK Consulting (UK) Ltd, "Technical review of the Angovia gold mine, mount Yaouré, Côte d'Ivoire," *Prepared under National Instrument 43-101 and accompanying documents 43-101F1 and 43-101CP. Report Prepared for : CLUFF GOLD PLC, 24 Queen Anne Gate, London (UK), SW1H 9AA*, 2008, www.srk.co.uk / www.cluffgold.com.
- [8] A. Yao-Kouamé, G. F. Yao, A. K. N'Guessan, T. P. Tiémoko, and Y. K. Kloman, "Etude morphopédologique du bassin versant du mont Blanguand dans le massif du Yaouré en région centre de la Côte d'Ivoire," *Afrique SCIENCE*, vol. 04, no. 3, 2008, <http://www.afriquescience.info/document.php?id=1216>. ISSN 1813-548X.
- [9] B. Tagini, "Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Essai de géotechnique régionale," *Thèse Université Lausanne, Société pour le Développement Minier de la Côte d'Ivoire (SODEMI), Abidjan, Côte d'Ivoire*, 302 p, 1971.
- [10] M. Jaujou, "Le levé géologique du degré carré de Bouaké, Rapport de fin de mission," *Bureau de Recherches Géologique et Minière (BRGM), France*, 1970.
- [11] M. Diallo, "Cartographie géologique et structurale : Proposition d'un modèle géologique du corps minéralisé," *Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de technique, INP-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*, 56 p., Rapport non publié, 2009.
- [12] N. P. Finkelstein, "The chemistry of the extraction of gold from its ores," *Gold metallurgy in South Africa, Adamson, R. J. (ed.), Johannesburg, Chamber of Mines of South Africa*, pp. 84-351, 1972.
- [13] E. Jessica, "Effet de la granulométrie sur la cyanuration de l'or," *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en génie de la métallurgie pour l'obtention du grade de maître en sciences (M. Se.)*, 183 p., décembre 2007.
- [14] G. Deschênes, M. Rousseau, J. Tardif, and P. J. H. Prud'Homme, "Effect of the composition of some sulphide minerals on cyanidation and use of Lead Nitrate and Oxygen to alleviate their Impact," *Hydrometallurgy*, pp. 205-221, August 1998.
- [15] M. D. Adams, "The chemical behaviour of cyanide in the extraction of gold. 2. Mechanisms of cyanide loss in the carbon-in-pulp process," *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 90, no.3, pp. 67-73, 1990.
- [16] OreZone, "Orezone confirme des résultats métallurgiques positifs pour le gisement aurifère de Segá, Des recouvrements HL indiqués > 90% pour les CIL et 85% pour la lixiviation en tas de ressources oxydées". <http://www.orezone.com/fr/actualités/communiqués-de-presse/2011/4/orezone-confirme-des-résultats-métallurgiques-positifs-pour->