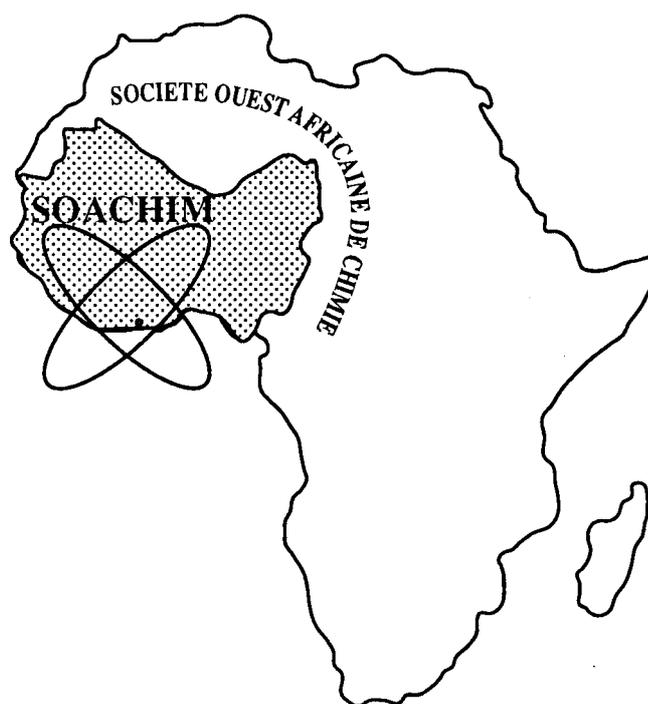


# *Etude métallurgique du minerai de granodiorite aurifère de Koupèla, Centre-est Burkina Faso*

**Augustin Sebgo, Ousmane Bamba,  
Sâga Sawadogo, Aristide Zongo**

***Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie***

*J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*(2016), 041 : 11 - 19  
21<sup>ème</sup> Année, Juin 2016



ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2  
Cote INIST (CNRS France) : <27680>  
Site Web: <http://www.soachim.org>

## **Etude métallurgique du minerai de granodiorite aurifère de Koupèla, Centre-est Burkina Faso**

**Augustin Sebgo<sup>1</sup>, Ousmane Bamba<sup>1\*</sup>, Sâga Sawadogo<sup>1</sup>, Aristide Zongo<sup>2</sup>**

<sup>1,2,3</sup> *Université Ouaga I Pr Joseph Ki-Zerbo, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire des Géoressources et de l'Environnement (LAGREN), Ouagadougou, BP 7021, Burkina Faso*

<sup>2</sup> *Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB), Ouagadougou, BP 601, Burkina Faso*

(Reçu le 15/05/2016 – Accepté après corrections le 13/10/ 2016)

**Résumé :** Les tests métallurgiques ont été conduits sur les minerais de granodiorite aurifère de Koupèla située au Centre-est du Burkina Faso. Ce massif à composition granodioritique, est lardé de filons de microgranite, de pegmatite, d'aplite, et de quartz. L'or se trouve dans des filons de quartz encaissés dans la granodiorite, ou disséminé dans les parties cisailées et altérées du massif. Ce dernier type de minerai qui a fait l'objet de la présente étude a une densité moyenne de 2,56 g/cm<sup>3</sup>, un work index moyen de 14, 27 kWh/sht et une teneur moyenne de 2,85 ppm. Les résultats des tests métallurgiques ont mis en évidence des caractéristiques minéralogiques favorables et la possibilité d'extraction de l'or par les méthodes conventionnelles de traitement du minerai dans des conditions satisfaisantes avec les projections de rendement d'extraction d'or de la manière suivante :

- La gravimétrie : 37 %
- La lixiviation directe par le cyanure en milieu agité : 77%
- La flottation : 76 %

En raison des faibles taux de récupération des différents tests et dans les soucis d'optimiser le rendement, la combinaison expérimentale la plus efficace serait la flottation – lixiviation précédé d'un broyage fin pour le traitement du minerai de granodiorite aurifère de Koupèla. Mais la cyanuration appliquée isolément reste moins onéreuse.

Mots clés : Or, granodiorite, minerai, traitement

## **Metallurgical study of the ore of Koupèla granodiorite gold-bearing, East central region Burkina Faso**

**Abstract:** The metallurgical tests were conducted on gold-bearing granodiorite ores of Koupèla in East Central Burkina Faso. This massive of granodiorite composition is encased in microgranite, pegmatite, aplite and quartz veins. Gold is primarily found in quartz veins hosted in granodiorite, or disseminated in sheared and altered granodiorite. The disseminated gold, investigated in the present study, has an average density of 2.56 g/cm<sup>3</sup>, an average work index of 14, 27 kWh/sht and an average grade of 2.85 ppm.

The metallurgical tests indicate favorable mineralogical characteristics and the possibility of gold extraction by conventional methods of ore processing in satisfactory conditions with an estimated gold recovery of:

- gravimetric analysis: 37%
- direct leaching using cyanide in a stirred medium: 77%
- flotation: 76%

Because of the low recovery rates observed in the different tests and with a view to optimize the performance, the most effective experimental combination for gold-bearing granodiorite ore treatment of Koupèla would be the flotation and leaching preceded by a fine grinding. However, the only use of cyanide remains so far the least expensive treatment method.

Keys words: Gold, granodiorite, ore, processing

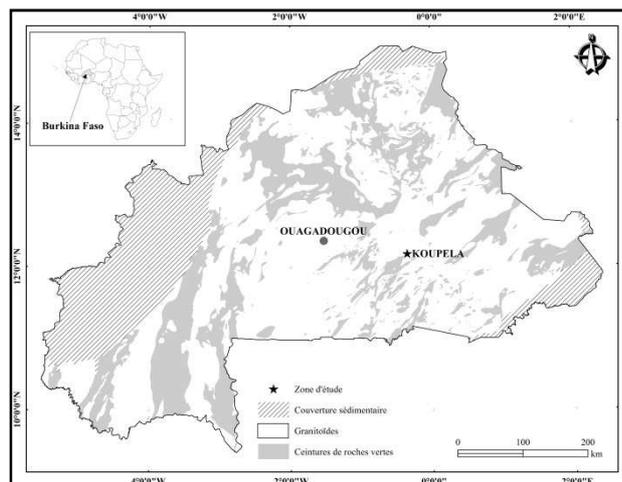
---

\* *Auteur de correspondance* : Ousmane Bamba : [bamousmane@gmail.com](mailto:bamousmane@gmail.com), Tel 25377720

## 1. Introduction

Au début des années 1990, des auteurs ont constatés en Alaska et Yukon l'existence de liens entre les minéralisations aurifères et des intrusions magmatiques<sup>[1,2,3]</sup>. Ce type de gisement a également fait l'objet d'études à Timbarra en Australie<sup>[4]</sup> puis en Galice centrale d'Espagne<sup>[5]</sup>. Au Burkina Faso le gîte d'or de Koupèla représente un exemple type de minéralisations aurifères associées aux granitoïdes. Des études géologiques ont permis de caractériser le massif qui est localisé au Centre-est du pays et à 140 km de Ouagadougou la capitale (**figure 1**). Dans ce gîte, l'or se trouve dans des filons de quartz encaissés dans la granodiorite, ou disséminé dans les portions cisailées et altérées de celle-ci. Ce dernier type de minerai de granodiorite qui est un nouveau type de gîte aurifère au Burkina Faso, a fait l'objet d'une étude minéralogique et de récupération de l'or par différentes méthodes de traitement du minerai. Le traitement des minerais d'or permet de séparer de la gangue un concentré d'or, ou mieux de produire l'or métal. Dans tout procédé de traitement de minerai d'or on distingue deux étapes importantes : la préparation du minerai et la concentration du métal précieux. Les techniques de base de concentration de l'or sont la gravimétrie, la flottation, la lixiviation, l'amalgamation. Ces techniques de traitement des minerais d'or sont basées sur les propriétés naturelles du métal. Les principales propriétés des minéraux d'or ayant conduit au développement des méthodes de traitement des minerais d'or sont les suivantes : (i) la densité de l'or et des minéraux porteurs en général très élevée a conduit au développement de la méthode de concentration gravimétrique ; (ii) le caractère naturellement hydrophobe de la surface de l'or natif qui lui confère une excellente flottabilité a fait de la flottation une méthode de traitement des minerais d'or ; (iii) la solubilité de l'or dans les solutions alcalines et diluées de cyanure a donné naissance à la lixiviation au cyanure ; (v) la mouillabilité de l'or par le mercure est utilisée dans l'amalgamation.

L'article présente les méthodologies employées dans la conduite des essais de traitement de ce minerai de granodiorite aurifère et les résultats obtenus. Un examen comparatif des résultats de cette étude a été également réalisé au regard des minerais d'autres gîtes d'or du Burkina Faso. Les différents essais ont permis de proposer une méthode de traitement efficace pour le minerai de granodiorite aurifère de Koupèla.



**Figure 1 :** Carte géologique simplifiée du Burkina Faso avec la localisation de la zone d'étude<sup>[6]</sup>.

## 2. Démarche et outils

Le minerai de granodiorite aurifère après avoir fait l'objet d'examen pétrographique et minéralogique a subi des tests métallurgiques. Ces tests qui ont été effectués au service minéralurgique du laboratoire du Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB), comprennent la détermination de la densité, de l'indice de broyabilité, et des essais minéralurgiques dans le but de vérifier l'adaptabilité du minerai à différentes méthodes de traitement.

### 2.1. Détermination de la densité du minerai

La densité est un paramètre majeur dans l'estimation de la nature d'un minerai ou de son contenu métal et peut être déterminée par diverses méthodes. Toutefois, la méthode choisie doit être adaptée au type de minéralisation et au contexte géologique<sup>[7,8]</sup>. Dans le cadre de cette étude, il a été question de déterminer la densité à partir d'une balance densimétrique Sartorius de précision 0,1g. L'échantillon est d'abord pesé à l'air libre puis immergé dans l'eau. Au total cinq (5) échantillons de minerai ont été prélevés pour l'opération.

Soit  $D$  la densité de l'échantillon,  $Pr$  son poids à l'air libre ou poids réel,  $Pa$  son poids dans l'eau ou poids apparent, on a : 
$$D = \frac{Pr}{Pr - Pa}$$

### 2.2. Détermination de l'indice énergétique du minerai

L'indice énergétique de Bond ou work index est une grandeur qui caractérise la broyabilité d'une matière. Il est exprimé en kWh/short-ton et

correspond à l'énergie nécessaire pour réduire cette matière à une certaine granulométrie. Les work index de certaines substances comme le quartz pur ou le manganèse sont connus et utilisés comme références. La démarche a consisté à déterminer le work index (WI) du minerai par la méthode indirecte avec le quartz pur comme substance de référence et dont le WI est égal à 13,57 kWh/sht. Pour ce faire, le quartz et le minerai sont concassés et tamisés séparément à 2 mm puis divisés chacun, en 4 tas d'échantillons identiques de 600 g. Un (01) échantillon (tas) de chaque substance est tamisé et soumis à une analyse granulométrique afin de déterminer par extrapolation linéaire le  $D_{80}$  correspondant. Le  $D_{80}$  représente le diamètre du plus gros morceau après concassage, soit le diamètre du tamis qui laisse passer 80% des grains concassés. Après broyage, ce diamètre est plus réduit et correspond à  $d_{80}$ . Ainsi les  $D_{80}$  et  $D'_{80}$  respectivement du quartz et du minerai concassés ont été déterminés par analyse granulométrique. Par la suite, un autre échantillon du quartz a été broyé pendant un temps donné, puis un autre échantillon de minerai pendant le même temps et dans les mêmes conditions. L'analyse granulométrique de ces derniers a permis de déterminer par extrapolation linéaire et tracé graphique sur papier semi-log, les  $d_{80}$  correspondants. Les mêmes opérations de broyage ont par la suite été répétées pour les trois échantillons restants de chaque substance mais avec des temps de broyage variables. Chaque temps de broyage correspondant à un work index inconnu, on a considéré comme Indice Énergétique du minerai, la valeur moyenne des différents indices trouvés.

### 2.3. Tests d'adaptabilité à certaines méthodes de traitement de minerai

Pour réaliser les essais de traitement, le minerai devait être broyé à une granulométrie inférieure ou égale à 250  $\mu\text{m}$ . Le  $d_{80}$  de ce minerai broyé qui a été déterminé par analyse granulométrique était de 169  $\mu\text{m}$ . Les méthodes de traitement de minerai étudiées sont, la concentration gravimétrique par table à secousses encore appelée tablage, la lixiviation au cyanure et la flottation

#### 2.3.1. Test gravimétrique

Les méthodes de concentration basées sur la gravimétrie utilisent l'effet combiné de la masse, du volume et de la forme des particules, pour obtenir différentes trajectoires des particules dans un milieu liquide statique ou en mouvement. Pour l'or libre dans le minerai et à granulométrie relativement grossière ( $> 75 \mu\text{m}$ ), ces méthodes sont

particulièrement simples et efficaces en raison de la masse volumique très élevée de ce métal<sup>[9]</sup>. Les principales méthodes de concentration gravimétrique de l'or sont : (i) La concentration par nappe pelliculaire fluente (Sluice box, Table à secousses, etc.); (ii) La concentration par centrifugation (Concentrateur Knelson, Falcon, Icon, Gold kacha, gold Konka, etc.). La méthode de la nappe pelliculaire fluente est utilisée dans le cadre de la présente étude sur 8kg de minerai. Ce procédé de séparation est basé sur la longueur de parcours effectué par une particule sur un plan incliné à la surface duquel, s'écoule par gravité un film liquide. Les grains sont triés par taille et par densité et les concentrés sont collectés à la fin de la table à secousses. Ils sont séchés à l'étuve puis analysés par spectrométrie SAA pour quantifier l'or contenu. Les concentrés ont également permis le triage manuel à la loupe binoculaire des particules d'or et des minéraux lourds accompagnateurs.

#### 2.3.2. Test de la lixiviation au cyanure

L'hydrométallurgie est un procédé de traitement qui consiste à mettre en solution puis à récupérer les éléments de valeur d'un minerai. Le traitement varie selon la nature du minerai mais il peut être regroupé en trois opérations successives : lixiviation, purification et électrolyse<sup>[10]</sup>. La lixiviation ou lessivage au cyanure a pour but de dissoudre dans une solution un ou plusieurs constituants minéralogiques. Les solides résiduels sont séparés de la solution enrichie par filtration ou décantation. Pour cette étude, 2kg du minerai ont été lixiviés dans les conditions d'une concentration solide (Cs) de 50%, 6 g de cyanure à 3000 g/t et un pH 10 du milieu. Les jus cyanurés issus du lessivage ont été prélevés suivant des temps préfixés allant de 10mn jusqu'à 72 h. Les teneurs en or du jus cyanuré ont été déterminées par spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

#### 2.3.3. Test de flottation

La flottation est un procédé de séparation solide-solide dans un milieu aqueux des phases solides, liquides, et gazeuses. Elle consiste à rendre hydrophobes certaines espèces minérales tout en laissant hydrophiles les autres. Pour que la flottation soit effective, des bulles d'air doivent se lier aux particules de minerai et les remonter à la surface. Par conséquent, les particules de minerai doivent être particulièrement fines<sup>[11]</sup>. La flottation peut être globale et consiste donc à récupérer plusieurs espèces minérales dans un même concentré. Elle est

sélective ou différentielle lorsqu'on récupère séparément chaque espèce minérale moyennant des réactifs chimiques (activant ou déprimant). Dans le cadre de la présente étude, il s'agissait d'une flottation simple avec pour but d'étudier la récupération de l'or. Par ce procédé de traitement, 1kg du minerai a été flotté dans les conditions d'une concentration solide (Cs) de 40%, et de collecteur xanthate. Les sous-produits de la flottation constitués d'un concentré et d'un rejet sont récupérés, séchés à l'étuve, pesés et analysés afin d'en déterminer les teneurs en or par SAA.

### 3. Résultats et discussions

#### 3.1. Caractéristiques pétrographiques minéralogiques

Macroscopiquement, le minerai de granodiorite aurifère de Koupèla est une roche leucocrate à mésocrate à texture microgrenue porphyroïde avec de gros cristaux de feldspath potassique et de quartz. La roche présente des lamines parallèles larges d'environ 2 mm et des veinules de quartz tronçonnées. Au microscope, il est constitué de différentes phases présentées dans le **tableau I** suivant. Le quartz et les plagioclases sont les minéraux dominants avec 25 % chacun, suivis de la biotite et la hornblende 15% chacun, et le

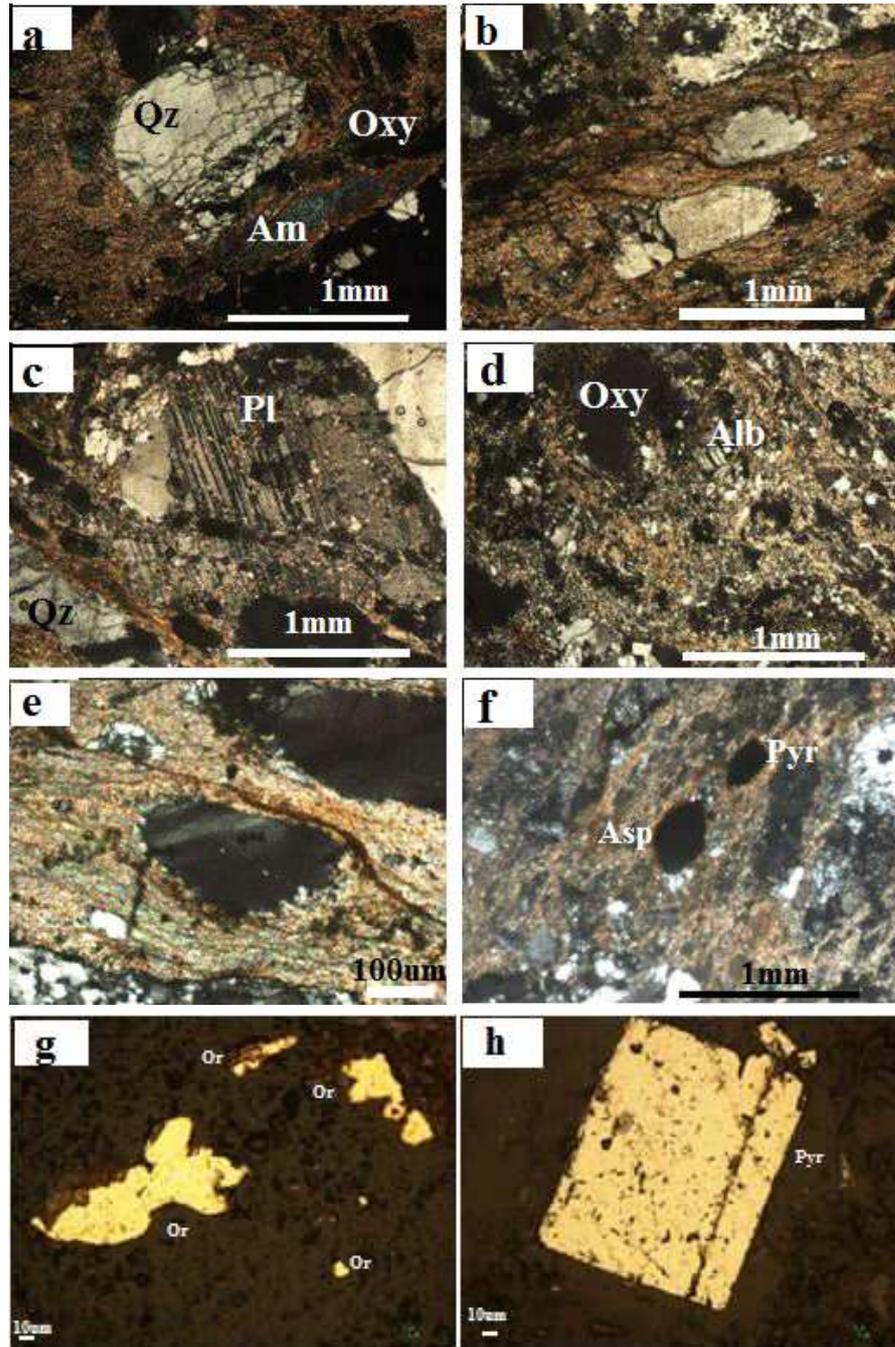
microcline et l'orthose 10 % chacun (**tableau I**) avec des accessoires à pourcentage négligeable (<1%). Les cristaux de quartz sont de différentes tailles et les larges plages montrent un caractère bréchique ou sont enrobées de phyllites, d'oxydes ou de carbonates (**figure 2, Ph. a ; b**). Les feldspaths présentent des caractères poecilites (quartz, biotite, plagioclase) et perthitiques avec des ouvertures remplies de minéraux d'altération (phyllites, quartz, orthose, carbonate et oxydes) (**figure 2, Ph. c**). La damouritisation et la saussuritisation des plagioclases s'accompagnent d'une recristallisation avec la création d'une matrice de produits d'altération de damourite, épidote et carbonate. Les cristaux d'albite en abondance, présentent des tailles variables et se transforment en micas, carbonates et oxydes (**figure 2, Ph. d**). La biotite forme avec les autres minéraux phylliteux, les oxydes et les carbonates, une matrice de produits d'altération autour des porphyroclastes de quartz et de feldspath (**figure 2, Ph. e**). La majorité des minéraux sont altérés en chlorite et recristallisés. Les cristaux d'hornblende sont déstabilisés en chlorite, épidote ou oxydes de fer. Les accessoires sont des opaques (arsénopyrite, pyrite) avec lesquels l'or est généralement lié (**figure 2, Ph. f ; h**). Les particules d'or, en général fines (de tailles inférieures à 75µm) sont libres (**figures 2, Ph. g**) ou associées aux sulfures (71%) représentés par la pyrite et l'arsénopyrite (**tableau II**).

**Tableau I :** Proportion des minéraux du minerai de granodiorite aurifère

Minéraux	Minéraux blancs (70%)				Minéraux sombres (30%)	
	Quartz	Plagioclase	Microcline	Orthose	Biotite	Hornblende
%	25%	25%	10%	10%	15%	15%

**Tableau II :** Proportion des minéraux lourds accompagnateurs de l'or

Minéraux lourds opaques		Minéraux lourds transparents			
82%		18%			
Sulfures (Pyrite et Arsénopyrite)	Oxydes de fer	Zircon	Epidote + Allanite	Apatite	Sphène
71%	29%	50%	35%	12%	3%



**Figure 2 :** Vues microscopiques des phases constitutives du minerai de granodiorite aurifère.  
a : Cristal de quartz bréchifié ; b : Cristaux de quartz enrobés de phyllites ; c : Plagioclase fracturé ; d : Cristaux d'albite ; e : Cristal de plagioclase enrobé de phyllites ; e : Minéraux sulfurés ; g ; h : Vues en sections polies respectivement de l'or et de la pyrite

### 3.2. Densité

Les résultats des mesures de densités du minerai sont représentés dans le **tableau III**. Les résultats obtenus indiquent des densités relativement homogènes et comprises entre 2,54 et 2,60.

La densité moyenne déduite du minerai vaut 2,56. Un examen comparatif de cette densité permet de constater qu'elle est médiane par rapport à celles des minerais d'autres gisements du Burkina Faso qui varient de 2,30 à 2,72 (**tableau IV**).

**Tableau III :** Densités du minerai de granodiorite de Koupèla

N° échantillon	Poids réels (g) Pr	Poids apparents (g) Pa	Densités D = Pr/Pr-Pa	Densité moyenne /5
1	382,14	231,85	2,54	2,56
2	459,17	281,70	2,59	
3	456,50	281,17	2,60	
4	215,98	130,90	2,54	
5	226,95	137,85	2,55	

**Tableau IV :** Densités des minerais d'autres gisements du Burkina Faso

Gisements	Alga	Bissa	Essakane	Mana	Bomboré	Taparko	Youga
Type de minéralisation	Filonien (quartz)	Filonien (quartz)	Filonien (stockwerk de quartz)	Filonien (quartz) et disséminé (arénite, conglomérat)	Filonien (quartz) et disséminé (méta gabbro et granodiorite)	Filonien (quartz)	Filonien (quartz)
Densité moyenne du minerai	2,60	2,31	2,38	2,51	2,60	2,66	2,71

### 3.3. Indice de broyabilité de Bond du minerai

Les résultats des analyses granulométriques des différentes opérations de broyage ont permis de représenter sur des diagrammes semi-log, les courbes de répartition des passants cumulés des différents échantillons. Un exemple d'obtention graphique de  $D_{80}$  est illustré dans la **figure 3** dont la courbe est obtenue à partir des valeurs du **tableau V** qui présente les données granulométriques du quartz concassé. En procédant de la même manière, les différents  $D_{80}$  ont été déduits graphiquement. Les valeurs ( $D_{80}$  et  $d_{80}$ ) déduites à partir de ces courbes sont conformes à celles calculées par extrapolation linéaire et présentées dans le tableau récapitulatif qui suit (**tableau VI**).

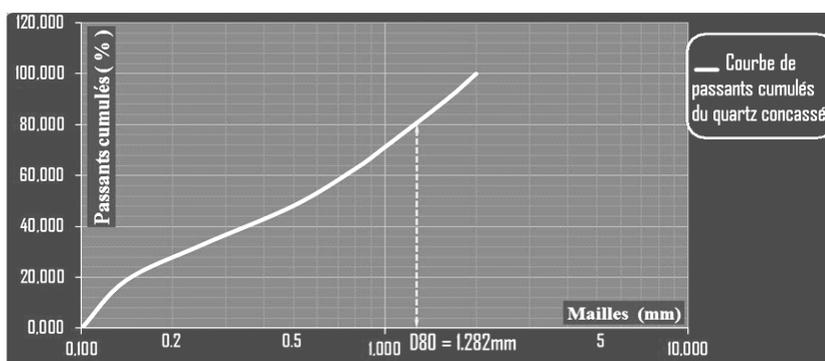
Avec ces  $d_{80}$ , les différents work index ont été calculés à partir de la formule de Bond :

$$W = WI = 10WI \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) = 10W'I \left( \frac{1}{\sqrt{d'_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D'_{80}}} \right)$$

$$W'I = \frac{\left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)}{\left( \frac{1}{\sqrt{d'_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D'_{80}}} \right)} WI \quad \text{Avec :}$$

- W le travail ou l'énergie qu'il faut (Work index) pour broyer une matière,
- WI et W'I respectivement les Work Index de l'élément de référence et du minerai,
- $D_{80}$  et  $D'_{80}$  respectivement les  $D_{80}$  du quartz de référence et du minerai concassés,
- $d_{80}$  et  $d'_{80}$  respectivement les  $d_{80}$  du quartz de référence et du minerai, broyés en différents temps.

L'indice moyen du minerai obtenu à partir des work index des différents temps de broyage est présenté au tableau suivant (**tableau VII**).



**Figure 3:** Courbe granulométrique du quartz concassé

**Tableau V :** Analyse granulométrique du quartz concassé

Mailles (mm)	Poids des refus (g)	Pourcentages des refus	Refus cumulés (%)	Passants cumulés (%)	D <sub>80</sub> (mm)
2,000	0,000	0,000	0,000	100,000	1,282
1,600	60,490	10,082	10,082	89,918	
1,000	112,380	18,730	28,812	71,188	
0,800	50,720	8,453	37,265	62,735	
0,500	87,450	14,575	51,840	48,160	
0,250	91,870	15,312	67,152	32,848	
0,140	84,290	14,048	81,200	18,800	
<0,140	112,800	18,800	100,000	0,000	
Totaux	600,000	100,000			

**Tableau VI:** Récapitulatif des différents d<sub>80</sub>

Echantillons	Quartz concassé	Minerai concassé	Quartz broyé 5mn	Quartz broyé 15mn	Quartz broyé 25mn	Minerai broyé 5mn	Minerai broyé 15mn	Minerai broyé 25mn
D <sub>80</sub> (mm)	1,28	1,33	-	-	-	-	-	-
d <sub>80</sub> (mm)	-	-	0,35	0,18	0,14	0,35	0,20	0,15

**Tableau VII :** Récapitulatif des différents work index

	Temps mis	5 mn	15 mn	25 mn
Work Index W'I (kWh/Short ton)		13,49	14,58	14,74
Work Index moyen W'I (kWh/Short ton)			14, 27	

Le work index de la granodiorite de Koupèla 14,74 kWh/Short est inférieur à ceux des gisements de Bissa (19,79), Bomboré (16,8) et Youga (17,46) mais supérieur à ceux d'Alga (11,95) et d'Essakane (11,70).

### 3.4. Tests métallurgiques

La conduite des tests métallurgiques sur les échantillons du minerai permet d'obtenir le maximum d'informations pour l'établissement d'un flowsheet de traitement du minerai. Plusieurs analyses (SAA et XRF) ont été réalisées pour déterminer la teneur moyenne en or de la granodiorite. Les résultats des analyses indiquent une teneur moyenne de 2,85 ppm Au. Cette teneur est retenue comme la teneur du tout-venant et utilisée pour l'estimation des taux de récupération des différents essais de traitement du minerai de granodiorite de Koupèla.

#### 3.4.1. Aptitude du minerai à la concentration gravimétrique par table à secousses

**Tableau VIII :** Tableau récapitulatif des résultats de la méthode gravimétrique

	Poids (g)	Poids (%) = (Poids écht./Poids total)x100	Teneur en ppm (g/t # mg/kg)	Stock métal (mg) = (Masse écht. x teneur)/1000	Taux de récupération (%) = (Stock métal écht. /stock métal tout-venant) x100
Concentré	48	0,60	176,63	8,48	37
Mixtes	2914	36,43	1,69	4,92	21
Rejets	5038	62,97	1,09	5,49	24
Tout-venant	8000	100	2,85	22,80	

Les résultats issus des tests gravimétriques sont présentés dans le **tableau VIII**. Il ressort un taux de récupération de 37 % et une teneur en or de 8,48 mg/kg. Cependant les rejets renferment toujours des stock-métaux non négligeables avec une teneur en or pouvant atteindre 1,09 mg/kg.

#### 3.4.2. Aptitude du minerai à la cyanuration

Les résultats analytiques obtenus sont présentés à la **figure 4**. Il ressort des teneurs croissantes depuis T<sub>0</sub> (10 mn) à T<sub>12</sub> (7 h) auxquels correspondent des teneurs optimums en or respectivement de 2,19 ppm et 4,38 mg/kg. Après 7 h, les teneurs décroissent mais restent à peu près constantes comme l'indique la courbe d'évolution du taux de dissolution (**figure 4**).

En somme, on retient que 7 h suffisent pour récupérer le maximum de métal du minerai soit un taux de récupération de 77 %. Ce taux est bas pour une opération de lixiviation au cyanure.

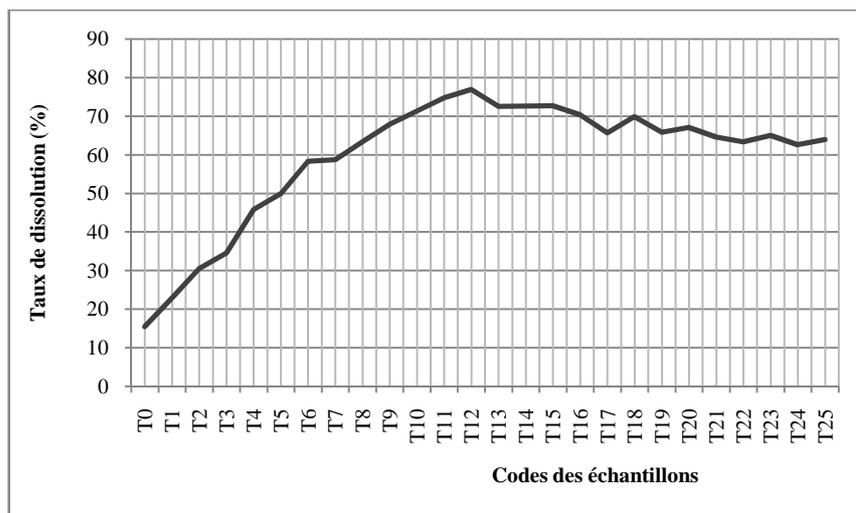


Figure 4 : Courbe d'évolution du taux de dissolution en fonction du temps

### 3.4.3. Aptitude du minerai à la flottation

Le **tableau IX** présente les résultats de la flottation et indique un taux de récupération de 76%.

### 3.5 Comparaison avec un minerai filonien

L'examen comparatif des résultats du minerai de granodiorite aurifère de Koupèla avec ceux du filon de quartz aurifère d'Alga situé au nord du Burkina Faso [8] montre que (**tableau X**) :

- Les minerais présentent des densités sensiblement égales ;
- Les teneurs sont nettement plus élevées pour le minerai de quartz d'Alga ;
- Le work index du quartz d'Alga est nettement inférieur à celui du minerai de granodiorite de Koupèla ;
- La maille de libération du quartz est nettement supérieure à celui de la granodiorite de Koupèla ;
- Les taux de récupération des différentes méthodes sont supérieurs pour le minerai de quartz ;
- Le temps de lixiviation du minerai de granodiorite est nettement inférieur à celui du quartz.

En somme, il ressort que les grains d'or de la granodiorite sont plus fins (<75 µm) que ceux du quartz ; ce qui exige plus d'énergie pour le broyage.

### 4. Conclusions

Les tests métallurgiques conduits sur le minerai de granodiorite aurifère de Koupèla, indiquent des caractéristiques minéralurgiques suivantes :

- Une densité réelle du minerai égale à 2,56 ;
- Un indice énergétique de 14,27 kWh/short ton. Cet indice moyen est proche de celui du granite pur qui est de 14,39 kWh/short ton.

La lixiviation présente le plus fort taux de 77 %, suivie de la flottation avec un taux de 76 %, puis le tablage avec un taux de 37 %. Le tablage, en raison de la taille fine des grains d'or (<75 µm) est une méthode moins appropriée. La lixiviation apparaît donc la méthode la plus adéquate ici. Cependant, en raison du faible taux de récupération de cette méthode et dans les soucis d'optimiser le rendement, la meilleure combinaison serait la flottation – lixiviation pour le traitement du minerai de granodiorite aurifère de Koupèla. Mais ceci reste un résultat technique de laboratoire. Dans la réalité et pour tenir compte des considérations économiques, il est nettement plus judicieux de s'en tenir à la lixiviation au cyanure.

Tableau IX: Récapitulatif des résultats de la flottation.

Echantillons	Poids (g)	Poids (%)	Teneur (ppm)	Stock métal (mg)	Taux de récupération (%)
Concentré	278	27,80	7,78	2,16	<b>76</b>
Rejets	722	72,20	0,15	0,11	<b>4</b>

**Tableau X : Récapitulatif des résultats des études**

Minerais	Caractéristiques Minéralurgiques					Méthodes de traitement							Méthodes proposées
	Densité	T.m du T-V	Work index	Flottation		Cyanuration en bouteille			Cyanuration en tas		Séparation gravimétrique		
		g/t		Kwh/ Sht	Grain (µm)	T.R (%)	Grain (µm)	T.D (%)	Durée	Grain (µm)	T.D (%)	Grain (µm)	
Quartz d'Alga	2,60	23,76	11,95	250	80	1430	95,71	24h	5000	92,71	100	48,23	Cyanuration en tas
Granodiorite de Koupèla	2,56	2,85	14,27	169	75,89	169	76,91	7h	-	-	169	37,19	Flottation + cyanuration

**Légende explicative :** T.m du T-V = Teneur moyenne du tout-venant ; Grain = granulométrie du minerai broyé pour le test ; T.R = taux de récupération ; T.D = taux de dissolution ; Durée = temps de cyanuration pour obtenir le taux de dissolution correspondant.

La très faible minéralisation de l'or milite aussi en faveur de la cyanuration et non la flottation. A l'instar du traitement du minerai latéritique et argileux de la province aurifère de Yaouré<sup>[12]</sup>, il est également recommandé l'ajout à la pulpe, de sels de thallium qui permet d'augmenter la dissolution de l'or lorsqu'il y a passivation. Ce qui permettra d'obtenir des rendements plus élevés (>95 %) tout en produisant moins d'effluents cyanurés.

A la lumière des résultats de cette étude, il ressort clairement les recommandations les mieux adaptées suivantes pour le traitement du minerai aurifère granodioritique : En raison de la granulométrie très fine des grains d'or (< 75µm) et leur association avec les sulfures, un circuit de flottation suivi d'un broyage ultrafin (<10 µm) s'avère donc nécessaire. En effet, selon<sup>[11]</sup>, l'association des particules d'or aux sulfures, engendre lors des traitements des phénomènes d'encapsulation et, la flottation suivie d'un broyage ultrafin concède un gain de rétablissement d'environ 6 %.

## 5. Remerciements

A l'issue de cette étude les auteurs remercient le Directeur Général du BUMIGEB de l'époque Dr Samuel Nakolendoussé, pour les différentes facilitations et son ouverture d'esprit.

## 6. Références bibliographiques

[1] Sillitoe, R. H. 1991 - Intrusion-related gold deposits, in Foster, R. P., (ed.), in Gold metallogeny and exploration - Blackie, Glasgow, 165-209.  
 [2] Hollister, V. F. 1992 - On a proposed plutonic porphyry gold deposit model - Nonrenewable Resour, 1, pp.293-302.  
 [3] Bakke, A. A. 1995 - The Fort Knox "porphyry" gold deposit: structurally controlled stockwork and shear quartz vein, sulfide-poor mineralization hosted by a Late

Creaceous pluton, east-central Alaska, in Schroeter, T. G., (ed.), in Porphyry deposits of the northwestern cordillera of North America - Can Inst Min Metall, Spec Vol 46, pp. 795-802.

[4] Mustard, R. 2001 - Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales, Australia - Mineralium Deposita, 36, pp.542-562.

[5] Gloaguen E. Apports d'une étude intégrée sur les relations entre granites et minéralisations filoniennes (Au et Sn-W) en contexte tardiorogénique (Chaîne Hercynienne, Galice centrale, Espagne). Mineralogy. Université d'Orléans, 2006. French. <tel-00107391>

[6] Castaing, C., Billa M., Milési, J.P., Thiéblemont, D., Le Métour, J., Egal E., Donzeau, M., BRGM coordonnateurs, Guerrot, C., Cocherie, A., Chèvremont, P., Tegye, M., Itard, Y., BRGM, Zida, B., Ouédraogo, I., Koté, S., Kaboré, B.E., Ouédraogo, C., BUMIGEB, Ki, J.C., Zunino, C., ANTEA. Notice explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1 000 000. Ed. BRGM, Orléans, France, 2003, p.147.

[7] Lipton I T. Measurement of Bulk Density for Resource Estimation, in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice (Ed : A C Edwards), (2001) p. 57-66.

[8] Bamba O. Conception des méthodes de traitement du minerai de quartz aurifère d'Alga (Burkina Faso). Annales de l'Université de Ouagadougou – Série C, Vol.007 (2009) pp.16-35.

[9] Michel R. 1984. Métallurgie de l'or. Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques M 2384-3 (1984) pp.7

[10] Vignes J.L, Jehanne. L'hydrométallurgie, Le Bup n°857, Vol.97 (2003). 5, pp. 1281-1299.

[11] Lemaire W, Dunlop I, Charlier C, Gramme I. Etude du procédé de flottation pour l'extraction d'or. Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°26 (2012). pp. 151-169.

[12] Tiémoko P.T, Ouattara G. 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). International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 2 No. 2 Feb. (2013). pp. 180-188.