

Préparé en collaboration avec le Bureau de Recherches Géologiques et Minières et la Direction Nationale de la Géologie et des Mines sous les auspices du Département d'État américain

# Les ressources potentielles en diamants alluviaux et l'évaluation de la capacité de production du Mali

Scientific Investigations Report 2010–5044

**Couverture.** Vue d'escarpement de Tambaoura au sud de Kéniéba, Mali, mars 2007.

# Les ressources potentielles en diamants alluviaux et l'évaluation de la capacité de production du Mali

Par Peter G. Chirico, Francis Barthélémy, et Fatiaga Koné



L'exploitation artisanale d'or à Moralia, Mali, février 2007.

Préparé en collaboration avec le Bureau de Recherches Géologiques et Minières et la Direction Nationale de la Géologie et des Mines sous les auspices du Département d'État américain

Cette traduction en français de SIR 2010–5044 sortit en 2013. Le rapport original en anglais est sorti en 2010.

(This French translation of SIR 2010–5044 was released in 2013. The original report in English was released in 2010.)

Scientific Investigations Report 2010–5044

**U.S. Department of the Interior**  
**U.S. Geological Survey**

**U.S. Department of the Interior**  
SALLY JEWELL, Secretary

**U.S. Geological Survey**  
Suzette M. Kimball, Acting Director

U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2013

Cette traduction en français de SIR 2010–5044 sortit en 2013. Le rapport original en anglais est sorti en 2010.

(This French translation of SIR 2010–5044 was released in 2013. The original report in English was released in 2010.)

For more information on the USGS—the Federal source for science about the Earth, its natural and living resources, natural hazards, and the environment, visit <http://www.usgs.gov> or call 1–888–ASK–USGS.

For an overview of USGS information products, including maps, imagery, and publications, visit <http://www.usgs.gov/pubprod>

To order this and other USGS information products, visit <http://store.usgs.gov>

Any use of trade, firm, or product names is for descriptive purposes only and does not imply endorsement by the U.S. Government.

Although this information product, for the most part, is in the public domain, it also may contain copyrighted materials as noted in the text. Permission to reproduce copyrighted items must be secured from the copyright owner.

Citation suggérée:

Chirico, P.G., Barthélémy, Francis, et Koné, Fatiaga, 2013, Les ressources potentielles en diamants alluviaux et l'évaluation de la capacité de production du Mali: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5044, 23 p., <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5044/>. (Cette traduction en français de SIR 2010–5044 sortit en 2013. Le rapport original en anglais est sorti en 2010.)

# Table des Matières

Résumé .....	1
Introduction.....	1
Système de certification du processus de Kimberley .....	1
Principe de validation des statistiques du processus de Kimberley .....	2
Objectifs du projet.....	2
Programme et calendrier .....	2
Phase I. La recherche .....	2
Phase II. Contrôles de terrain .....	2
Phase III. Elaboration du rapport .....	3
Phase IV. Restitution du projet.....	3
Equipe du projet .....	3
Eléments de géologie des régions de Kéniéba et Bougouni .....	3
Introduction à la géologie du Mali .....	3
Géologie de la région de Kéniéba .....	4
Géologie de la région de Bougouni .....	8
Indices primaires de diamant .....	8
Age des kimberlites .....	10
Morphologie surfaciale des kimberlites .....	10
Les gisements de diamants alluvionnaires .....	10
Les diamants.....	11
Méthodologie pour l'évaluation du potentiel diamantifère du Mali .....	11
Collecte des données de terrain et inventaire des données disponibles .....	11
Les zones étudiés et l'exploitation minière .....	12
L'évaluation des diamants potentiels .....	12
Le calcul cylindrique des gisements primaires kimberlitiques .....	13
La méthode de la surface des alluvions .....	13
Evaluation par la méthode volume-teneur .....	13
L'approche du contenu par kilomètre.....	14
Méthodologie pour estimer la capacité de production du Mali .....	15
Les résultats.....	16
Le calcul cylindrique des gisements primaires de diamants .....	16
La méthodologie de la surface .....	16
La méthode volume-teneur .....	16
Le plateau de la région de Kéniéba .....	16
La région de Bougouni .....	19
Les résultats de l'approche du contenu par kilomètre.....	19
Un résumé du potentiel en diamants de Kéniéba et de Bougouni .....	19
La capacité de production en diamants .....	22
La discussion .....	22
Conclusions.....	22
Les Références.....	23

## Les Illustrations

1. Une carte de la géologie générale du Mali.....	5
2. Carte démontrant les formations géologiques de Birrimien du Mali et la présence de diamants et d'or.....	6
3. Carte démontrant les zones en courbes diamantifères dans la région de Kéniéba.....	7
4. Carte démontrant les zones en courbes diamantifères dans la région de Bougouni.....	8

## Les Tableaux

1. Résumé des pipes kimberlitiques identifiés au Mali.....	9
2. Classification des ruisseaux Strahler (1964) et largeur des plateaux alluviales connexes.....	14
3. Rendement de diamants par kilomètre de longueur des ruisseaux, Mali.....	15
4. Les ressources des kimberlites diamantifères, Kéniéba, Mali.....	16
5. L'évaluation des ressources en diamants dans la plaine alluviale de Kéniéba et le plateau de Tambaoura, Mali, utilisant la méthode de la surface.....	17
6. L'évaluation des ressources en diamants alluviaux, plateau de Kéniéba, Mali, utilisant l'approche volume-teneur.....	17
7. L'évaluation des ressources en diamants alluviaux, région de Bougouni, Mali, utilisant l'approche volume-teneur.....	18
8. L'évaluation des ressources en diamants alluviaux, région de Kéniéba, Mali, utilisant l'approche du contenu par kilomètre.....	20
9. L'évaluation des ressources en diamants alluviaux, région de Bougouni, Mali, utilisant l'approche du contenu par kilomètre.....	20
10. Résumé de l'estimation des ressources en diamants présumées et spéculatives, région de Kéniéba, Mali.....	21
11. Résumé de l'estimation des ressources en diamants présumées et spéculatives, région de Bougouni, Mali.....	21

## Facteurs de conversion

Multiplier	Par	Pour obtenir
centimeter (cm)	0,3937	inch (in.)
meter (m)	3,281	foot (ft)
kilometer (km)	0,6214	mile (mi)
square meter (m <sup>2</sup> )	0,0002471	acre
hectare (ha)	2,471	acre
square kilometer (km <sup>2</sup> )	247,1	acre
cubic meter (m <sup>3</sup> )	35,31	cubic foot (ft <sup>3</sup> )

# Les ressources potentielles en diamants alluviaux et l'évaluation de la capacité de production du Mali

Par Peter G. Chirico,<sup>1</sup> Francis Barthélémy,<sup>2</sup> et Fatiaga Koné<sup>3</sup>

## Résumé

En mai 2000, une réunion a été organisée à Kimberley, en Afrique du Sud, par les représentants de l'industrie du diamant et les dirigeants des gouvernements africains afin de développer une procédure de certification dans le but de garantir que les envois à l'exportation de diamants bruts n'étaient liés à aucun conflit. Les résultats de cette réunion ont été formellement supportés plus tard en décembre 2000 par les Nations Unies, dans une résolution adoptée par l'Assemblée générale. En 2002, le système de certification du processus de Kimberley (SCPK) était ratifié et signé par les pays producteurs de diamants et par les pays importateurs de diamants. À la fin de 2007, plus de 70 pays étaient adhérents volontaires au SCPK.

Pour empêcher le commerce des « diamants de la guerre » tout en protégeant le commerce légitime, le SCPK exige que chaque pays mette en place un système interne de contrôles pour éviter que les diamants de la guerre entrent par l'entremise de cargaisons des diamants bruts. Chaque diamant ou cargaison de diamants doit être accompagné d'un certificat du processus de Kimberley (PK) et doivent être contenus dans un emballage inviolable.

L'objectif de cette étude était (1) d'estimer la dotation en ressources diamantifères alluviales du Mali, basé sur de preuves géologiques, des études antérieures, et des données récentes sur le terrain et (2) d'évaluer la capacité de production actuelle du secteur minier de diamants alluviaux. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour estimer la ressource potentielle en diamants. Cependant, car il y a généralement un manque de données sur les activités d'extraction de diamants au Mali, et parce que le temps de mener des travaux sur le terrain et l'accès aux zones diamantifères sont limitées, quatre méthodes différentes ont été utilisées: le calcul cylindrique des gisements primaires kimberlites, la méthode de la surface des alluvions, la méthode du volume-teneur, et l'approche du contenu par kilomètre.

Environ 700 000 carats se trouvent dans des dépôts alluviaux dans la région de Kéniéba, dont 540 000 carats se trouvent au sein des dépôts à teneur concentrée. De plus, on

estime que 580 000 carats ont été relâchés par les kimberlites primaires dans la région. On croit donc que le total des ressources estimées en diamants de la région de Kéniéba soit d'environ 1 300 000 carats. On estime que les zones de Bougouni comprennent 1 000 000 de carats dont plus de la moitié, soit 630 000 carats, sont dans les dépôts concentrés. Lorsqu'ils sont combinés, les régions de Kéniéba et Bougouni sont estimées d'avoir 2 300 000 carats de diamants.

## Introduction

### Système de certification du processus de Kimberley

Dès la fin des années 1990, les guerres civiles et les conflits armés en Sierra Leone et en Angola ont amené la communauté internationale à prendre conscience du problème des « diamants de la guerre » ou « diamants du sang ». En 2001, l'Assemblée générale des Nations Unies imposa un bannissement sur le commerce des diamants du Libéria face au constat que le président libérien Charles Taylor assurait l'armement et l'entraînement des groupes rebelles Sierra léonais du FRU (Front Révolutionnaire Uni) qui était en conflit avec le gouvernement central de Sierra Leone, contre un paiement en diamants. De la même manière, en République démocratique du Congo (RDC), à la fin des années 1990, l'exploitation diamantifère était régulièrement notée comme permettant le financement des forces rebelles à l'origine de la situation de guerre civile (Le Billon, 2008).

En mai 2000, lors d'une conférence rassemblant à Kimberley, en Afrique du Sud, les représentants de l'industrie diamantifère et les dirigeants des États africains, le principe de la mise en place d'un système de certification garantissant que les diamants exportés n'étaient pas impliqués dans le financement de conflits armés était accepté. Plus tard, la même année, la décision fut soutenue par une résolution de l'Assemblée générale des Nations Unies. En 2002, le système de certification du processus de Kimberley (SCPK) fut ratifié par les pays impliqués, à l'importation comme à l'exportation dans le commerce du diamant. À la fin de 2007, plus de 70 pays étaient adhérents volontaires au SCPK.

<sup>1</sup>U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, U.S.A.

<sup>2</sup>Bureau de Recherches Géologiques et Minières, France.

<sup>3</sup>Direction Nationale de la Géologie et des Mines, Mali.

## 2 Les ressources potentielles en diamants alluviaux et l'évaluation de la capacité de production du Mali

La mise en place du SCPK a pour but d'éviter la commercialisation des diamants de conflits tout en protégeant le commerce légal des diamants brut à travers un contrôle de la filière depuis la production jusqu'aux différents stades d'exportations et d'importations à travers le monde. Parvenir à cet objectif suppose que chaque pays adhérent mette en place un système de contrôles internes permettant de bannir les « diamants de conflits » du système d'échange mis en place. Ainsi, chaque lot de diamants bruts exporté ou importé doit être accompagné d'un certificat contenu dans un emballage étanche. Le certificat comporte un volet d'exportation, un volet de la vérification à l'importation, et un papillon de sécurité. Le processus de Kimberley (PK) exige de ses adhérents qu'aucun échange de lots de diamants bruts ne s'effectue avec un pays non membre. Une autre obligation du SCPK est celle d'enregistrer les artisans mineurs (diamineurs) ainsi que les acheteurs opérant dans le pays. Cette recommandation est à la charge du pays concerné (Olsson, 2006).

Les pays membres du PK ont, d'autre part, l'obligation de transmettre annuellement les volumes exportés ou importés ainsi que leur valeur. Les données collectées sont mises à disposition du public et transmises aux différents organismes en charge de la compilation statistique des données du PK.

### Principe de validation des statistiques du processus de Kimberley

S'il s'avère difficile d'obtenir un contrôle indépendant des données statistiques de production fournies par les pays membres du SCPK, il est néanmoins possible d'obtenir des éléments de cadrage en combinant la compréhension du potentiel en ressources diamantifères et la capacité de production ou l'intensité de l'activité extractive. Ces éléments de cadrage, quand ils sont disponibles, peuvent fournir des éléments de comparaison permettant une validation des statistiques fournies. Dans l'éventualité où les statistiques fournies seraient très divergentes des éléments de cadrage, des investigations supplémentaires pourraient s'avérer nécessaires pour confirmer l'absence de diamants illicites dans les flux.

Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) a récemment réalisé une étude de la République du Congo (Congo-Brazzaville) afin d'établir les éléments de cadrage (Barthélémy et al., 2006). Cette étude a été l'occasion de mettre au point une méthodologie qui a été validée par les experts du PK. Une étude comparable a été menée au Libéria par l'U.S. Geological Survey (USGS) (Wahl, 2007). L'étude a contribué à l'évaluation du potentiel diamantifère du Libéria tout en permettant la levée des interdictions portant sur l'exploitation et le négoce des diamants.

L'activité menée par le BRGM et l'USGS se poursuit. Les deux organismes se sont récemment associés pour mener conjointement une évaluation du potentiel diamantifère alluvial ainsi que de la capacité de production au Mali ainsi qu'en République centrafricaine.

### Objectifs du projet

Six objectifs étaient assignés au projet:

1. Etablir une synthèse de l'information historique disponible dans les domaines de la géologie et de la production diamantifère alluviale du Mali.
2. Développer un modèle pour estimer le potentiel en ressources diamantifères du Mali.
3. Utiliser le modèle pour estimer la capacité de production des diamants bruts du Mali.
4. Etablir un Système d'Information Géographique (SIG) permettant de structurer les informations disponibles sur l'exploitation minière de diamants.
5. Transférer ce SIG au Mali pour améliorer le suivi de l'activité dans les zones minières.
6. Présenter les résultats obtenus dans le cadre d'un atelier mené en partenariat avec la Direction Nationale de la Géologie et des Mines (DNGM) du Mali.

### Programme et calendrier

L'étude a comporté quatre phases successives pour une durée totale du projet d'un an et demi. Les phases étaient la recherche, les contrôles de terrain, l'élaboration du rapport, et la restitution du projet.

#### Phase I. La recherche

Cette première phase du projet a consisté à rassembler les données disponibles concernant les ressources ainsi que la production diamantifère du Mali. L'étude bibliographique a été complétée par la collecte des cartes géologiques, géophysiques ainsi que des images satellites. Au cours de cette phase, les données rassemblées ont été évaluées en fonction de leur intérêt pour les objectifs du projet.

Une base de données géo-référencées regroupant les indices diamantifères ainsi que les indices d'or alluvionnaires a été compilée à partir des éléments disponibles. Les teneurs, quand elles existaient, ont été intégrées dans cette base. Dans la mesure où elles étaient géo-référencées, les données historiques ont ainsi pu être représentées cartographiquement. Cette première phase s'est étalée sur une durée de 4 mois.

#### Phase II. Contrôles de terrain

Les enquêtes de terrain et collectes de données complémentaires destinées à identifier et caractériser les zones diamantifères ont été effectuées dans le cadre de deux campagnes de terrain, l'une dans la région de Kéniéba, l'autre dans celle



Une hutte typique près de Kéniéba, Mali.

de Bougouni. Ces deux campagnes ont été l'occasion de nouer des contacts fructueux avec les équipes de la DNGM aussi bien à Bamako.

La campagne de terrain dans la région de Kéniéba s'est déroulée en février 2007, et elle associait les équipes de la DNGM et du BRGM à celles de l'USGS. Dans la région de Bougouni, les contrôles de terrain ont été réalisés avant la fin de la saison sèche en avril 2007, et ils associaient des équipes de la DNGM et du BRGM.

Dans la région de Kéniéba, l'équipe chargée des reconnaissances regroupait 10 scientifiques. Les reconnaissances dans les zones kimberlitiques ou d'exploitation alluviale de l'or s'effectuaient dans le cadre d'équipes composites de deux ou quatre personnes. Deux équipes conduire des levés au GPS de haute précision pour cartographier les routes et les infrastructures, ainsi que de points de contrôle destinés à finaliser le redressement géométrique des images satellites.

En avril 2007, une équipe joint de la DNGM et le BRGM a visité la région de l'exploitation d'or alluvial en Bougouni et recueillies les données aux sites d'exploitations d'or. Le travail d'identification et de caractérisation de l'activité a été plus spécialement orienté vers la collecte d'information concernant la découverte de diamants lors de l'activité d'orpaillage couramment mené dans la zone. La phase II a duré 3 mois.

### Phase III. Elaboration du rapport

C'est au cours de cette phase qu'ont été préparées et élaborées les évaluations du potentiel diamantifère et de la capacité de production. Toutes les données collectées ayant été compilées au préalable et ensuite structurées après numérisation dans les bases de données du SIG. La rédaction du rapport a conclu cette troisième phase dont la durée approximative a été de 7 mois.

### Phase IV. Restitution du projet

La validation des éléments du rapport ainsi que de ses conclusions a été réalisée dans le cadre d'un atelier. Cet atelier, qui a réuni de nombreux experts de la DNGM, outre les membres de l'équipe du projet, a comporté une part de formation à l'utilisation et la mise en œuvre des outils développés dans le cadre du projet. Il a été tenu compte des observations recueillies aussi bien au cours de l'atelier que lors des discussions avec les membres de l'équipe du projet pour finaliser et mettre à jour les livrables élaborés. Cette dernière phase s'est étalée sur une période d'environ 4 mois.

### Equipe du projet

Le projet a été financé par le Economic Support Fund (ESF) du Département d'Etat américain et réalisé dans le cadre d'une équipe tri-partite réunissant l'USGS, le BRGM, et la DNGM du Mali.

L'équipe du projet était constituée:

Peter G. Chirico, USGS, Chef du projet, Géographe  
 Omayra Bermudez-Lugo, USGS, Economiste minier  
 Emily Phillips, USGS, Chercheuse  
 Michael Warner, USGS, Analyste SIG/images satellitaires  
 François M.J. Lampietti, USGS, Consultant, géologue économiste

Francis Barthélémy, BRGM, Géologue  
 Yves Husson, BRGM, Géologue

Waly Diawara, DNGM, Directeur Nationale Adjoint,  
 Ingénieur Economiste minier  
 Fatiaga Kone, DNGM, Chef Division Géologie  
 Bourema Djiguiba, DNGM, Expert SIG  
 Yaya Djire, DNGM, Ingénieur des mines

## Éléments de géologie des régions de Kéniéba et Bougouni

### Introduction à la géologie du Mali

Le Mali est situé dans la partie nord-oriental du craton ouest africain et du bouclier Touareg, deux ensembles crustaux qui ont été réunis à l'époque Néoprotérozoïque (orogénie panafricaine). Le craton ouest africain affleure principalement dans la partie occidentale du pays à proximité de la frontière avec le Sénégal constituée par la rivière Falémé. Le bouclier Touareg affleure essentiellement dans la partie orientale du Mali dans la zone montagneuse des Adrar des Iforas.

Le craton ouest africain est formé de deux ensembles principaux: d'une part la dorsale Réguiabat qui s'étend du nord

du Mali et d'autre part le bouclier de Man qui s'étend au sud. Le bouclier de Man regroupe des formations Archéennes et Birrimiennes (Protérozoïque inférieur à moyen). Des complexes granito-gneissiques avec des ceintures volcanogéniques qui présentent beaucoup de points communs avec les ceintures de roches vertes Archéennes (Kusnir, 1999).

Le bassin de Taoudeni qui forme une vaste synclise entre la dorsale Réguibat et le bouclier de Man se caractérise par des dépôts marins de faibles profondeurs (Schlüter, 2006) qui s'étagent depuis le Néoprotérozoïques jusqu'au Carbonifère. Ils sont constitués de grès, dolomies, calcaires, et siltites. Enfin, les parties occidentales et centrales du Mali sont constituées de dépôts Crétacé, Paléogène, et Néogène couronnés de formations quaternaires représentées par des sables dunaires et des sols latéritiques.

Au Mali, le craton ouest africain du bouclier de Man affleure en deux régions, d'une part dans la région de Kéniéba le long de la frontière avec le Sénégal et d'autre part dans la région de Bougouni située au sud de Bamako à proximité des frontières avec la Guinée et la Côte d'Ivoire (illustrations 1, 2).

### Géologie de la région de Kéniéba

La région de Kéniéba (illustration 3) est sous-tendue de roches qui datent de l'Archéen au Protérozoïque inférieur du Birrimien (2 300–1 900 mega-annum, Ma). À l'est de Kéniéba, l'escarpement de Tambaoura s'élève de façon abrupte à près de 500 mètres (m) d'élévation. L'escarpement de Tambaoura est composé de grès du Cambrien supérieur et couvre la géologie du Birrimien. À cet endroit, le Birrimien est composé de schistes, de grauwackes, de quartzites, et de marbres légèrement métamorphosés. Au nord de Kéniéba, des formations volcanogéniques, incluant des andésites et des basaltes, apparaissent également (Arnold, 1991).

La région de Kéniéba, en bordure occidentale du craton ouest africain, correspond à une fenêtre de forme triangulaire appartenant au domaine Eburnéen (2 030–1 830 Ma). Ce domaine largement représenté en Afrique occidentale, couvre la partie sud du Mali et réapparaît précisément dans la fenêtre de Kédougou-Kéniéba et celle, plus petite, au nord de Kayes (Bessoles, 1997). Ce domaine Eburnéen est constitué principalement de sédiments à caractère de flyschoides, de volcanites, et de complexes granito-gneissiques (Milési et al., 1989).

Le soubassement géologique de la fenêtre de Kédougou-Kéniéba qui s'étend de part et d'autre de la frontière sénégalomaliennne est représenté par des ensembles Birrimiens d'âge Paléoprotérozoïque. L'ensemble inférieur comprend une formation de schistes et grauwackes et argilo-siltites avec des niveaux graphiteux et conglomératiques, une formation volcano-sédimentaire acide, et une formation carbonatée à volcanites acides associées. L'ensemble supérieur consiste

des formations basaltiques, andésitiques, et rhyodacitiques auxquelles sont associés des dépôts fluvio-deltaïques.

L'ensemble est largement pénétré par des granitoïdes indifférenciés correspondant à plusieurs phases du cycle Eburnéen. Le Protérozoïque inférieur est recouvert en discordance par des formations horizontales d'âge Protérozoïque supérieur à Paléozoïque, appartenant au bassin de Taoudeni.

Structuralement, la fenêtre de Kédougou-Kéniéba jalonne la bordure occidentale et méridionale du craton et qui délimite la ceinture mobile des Mauritanides-Rockellides. Cette ceinture plissée appartient au domaine Panafricain (600 Ma).

Des massifs granitiques superposent les métavolcanites. Le complexe batholithique de Kakadian dans la région septentrionale de Kéniéba date de 2 180 à 1 960 Ma (Direction Nationale de la Géologie et des Mines, 1987). Les pipes kimberlitiques superposent le grès du Birrimien et du Cambrien supérieur de l'escarpement de Tambaoura avec les batholites granitiques, la diorite, le gabbro, et les fossés et les sills doléritiques (Arnold, 1991). Michel (1996) suggère que le magmatisme kimberlitique pourrait dater du Crétacé inférieur mais souligne également la possibilité de plusieurs événements d'intrusion kimberlitique. Les kimberlites sont généralement considérées comme étant d'âge du Protérozoïque inférieur (1 000 Ma).

L'activité d'orpaillage artisanal vieille de plus de 2 000 ans concerne à la fois des gisements primaires (les structures filoniennes de Tabakoto ont été exploitées à plus de 50 m de profondeur) et les alluvions anciennes et récentes, notamment celles de la rivière Falémé et de ses affluents (illustration 2). Des gisements primaires filoniens d'or sont identifiés dans le Birrimien et font l'objet de l'exploitation industrielle à Loulo et Tabakoto. Ces gisements se localisent préférentiellement en relation avec des quartzites riches en tourmaline (Direction Nationale de la Géologie et des Mines, 1987).

La province kimberlitique de Kéniéba enjambe les unités Birrimiens de la fenêtre de Kédougou-Kéniéba et l'escarpement de Tambaoura. Vers l'ouest, la plaine de la vallée de la Falémé est constituée par des schistes Birrimiens, injectés de filons de quartz aurifères et des dykes doléritiques, et traversés de quelques batholites de granitoïdes et de pipes kimberlitiques. Ces faciès schistes ont été affectés par le second événement tectono-métamorphique Eburnéen, responsable de grands décrochements nord-sud à nord-est/sud-ouest. À l'est, cette plaine est bordée par l'escarpement de Tambaoura, qui représente les grès d'âge Protérozoïque supérieur et une couverture conglomératique sur les roches Birrimiennes; quelques buttes de grès subsistent dans la plaine Birrimienne. Ces grès sont injectés de dykes et sills doléritiques formant des niveaux particulièrement résistants.

Des croûtes latéritiques couvrent une grande partie du paysage. Les croûtes ferrugineuses sont composées principalement des nodules hématites et goéthites et sont entre 1 et 5 m d'épaisseur.

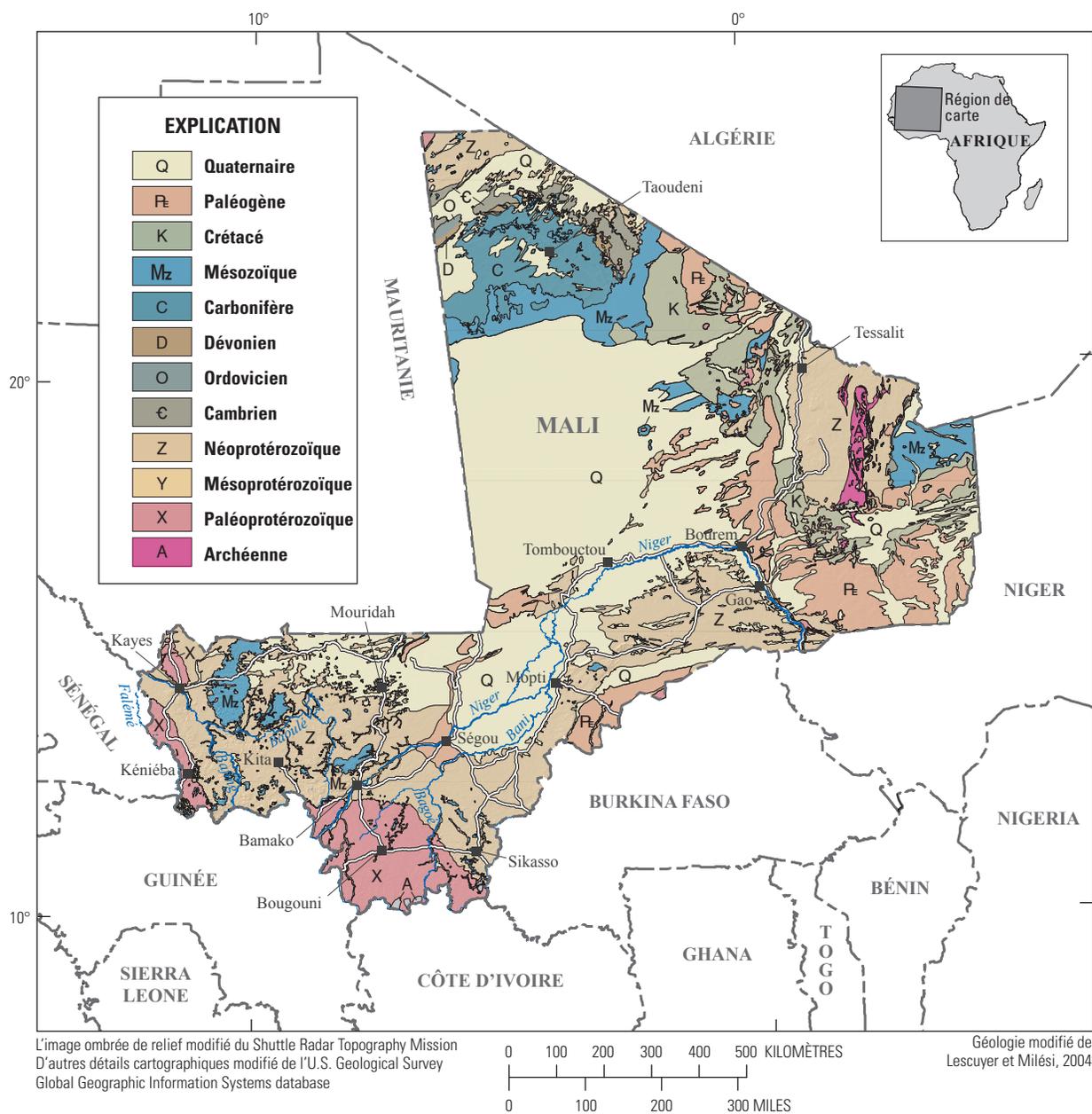


Illustration 1. Une carte de la géologie générale du Mali.

6 Les ressources potentielles en diamants alluviaux et l'évaluation de la capacité de production du Mali

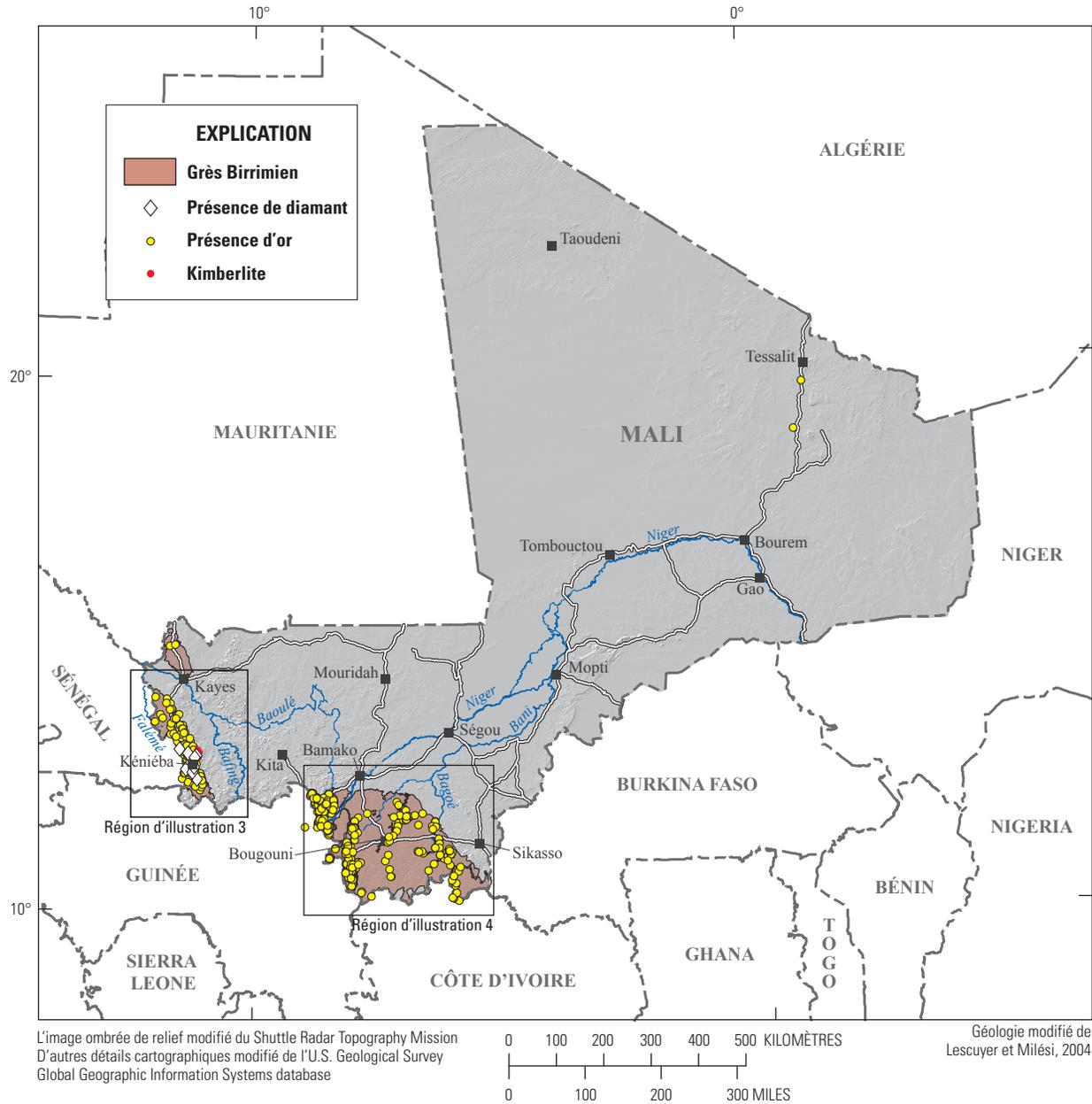
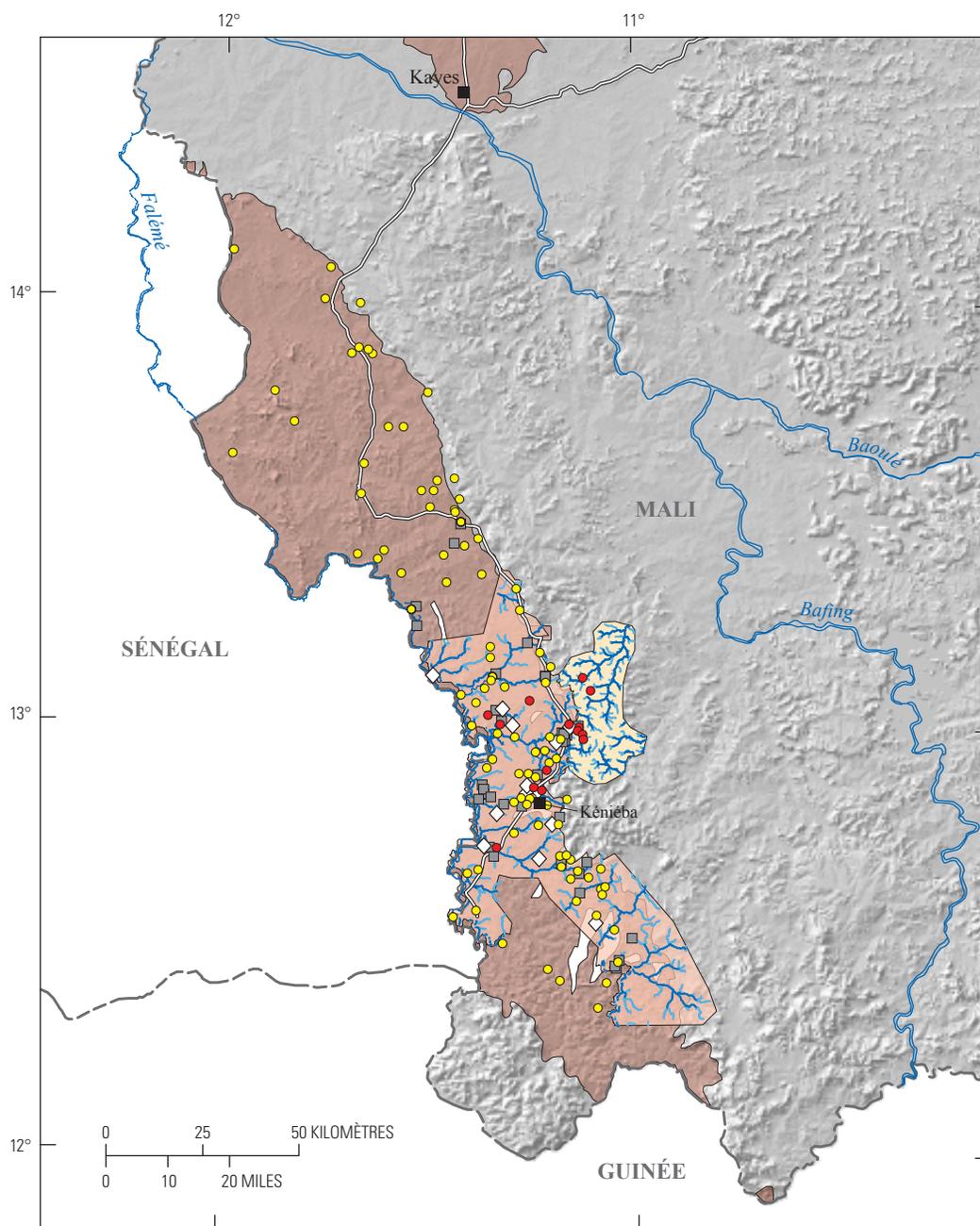


Illustration 2. Carte démontrant les formations géologiques de Birrimien du Mali et la présence de diamants et d'or.



L'image ombrée de relief modifiée du Shuttle Radar Topography Mission  
 D'autres détails cartographiques modifié de l'U.S. Geological Survey  
 Global Geographic Information Systems database

Géologie modifiée de  
 Lescuyer et Milési, 2004

**EXPLICATION**

- |   |   |
|---|---|
|  Grès Birrimien                            |  Présence de diamant |
|  Zone en courbe de Kéniéba                 |  Présence d'or       |
|  Zone en courbe d'escarpement de Tambaoura |  Kimberlite          |
|  Ruisseau majeur                           |  USGS/ BRGM site     |
|  Ruisseau mineur                           |   |

**Illustration 3.** Carte démontrant les zones en courbes diamantifères dans la région de Kéniéba.

## Géologie de la région de Bougouni

Le Birrimien de la région de Bougouni (illustration 4) est constitué de formations granito-gneissiques auxquelles sont associées quatre ceintures de roches vertes, respectivement: Bagoé, Bougouni-Keikoro, Yanifolia, et Kangaba. La ceinture de Bagoé constitue un synclinorium qui s'allonge parallèlement à la rivière Bagoé. Le bassin est composé des schistes et grauwackes; les métavolcanites flanquent les bords du bassin.

La ceinture de Bougouni-Keikoro est composée des roches métamorphosées thermiquement, mais contient aussi des andésites. La ceinture de Yanifolia est composée des schistes et grauwackes avec des volcanites et quartzites mineurs. La ceinture de Kangaba est dans la partie la plus sud-ouest du Mali, s'étendant jusqu'en Guinée, et la géologie est similaire à celle de la ceinture de Yanifolia. (Direction Nationale de la Géologie et des Mines, 1987).

Ces quatre ceintures font l'objet de nombreux permis d'exploration pour l'or primaire et les diamants. Durant le cours du projet un programme d'exploration financé par le

System of Stabilization of Export Earnings from Mining Products (SYSMIN) procédait à des investigations de sub-surface pour localiser l'existence d'intrusions kimberlitiques autour de Bougouni, suite à des anomalies géophysiques. Les données concernant ces travaux n'étaient pas utilisées dans cette étude.

## Indices primaires de diamant

Les kimberlites du Mali sont restreintes à un secteur de 30 x 50 kilomètres (km) formant une grappe serrée. Elles sont intrusives à la fois dans les roches Birrimiennes et le grès Protérozoïque supérieur, mais elles ont plus grande abondance dans la plaine Birrimienne.

Suite à la première découverte de diamants réalisée par des orpailleurs et reportée en 1954 dans la région de Kéniéba, plusieurs de kimberlites ont été identifiées dans le cadre des nombreux travaux d'exploration réalisés. Parmi celles-ci, 8 des 29 kimberlites sont réputées diamantifères. Depuis les découvertes premières, beaucoup plus de diamants étaient trouvés, et la taille maximale enregistrée est de 232,7 carats.

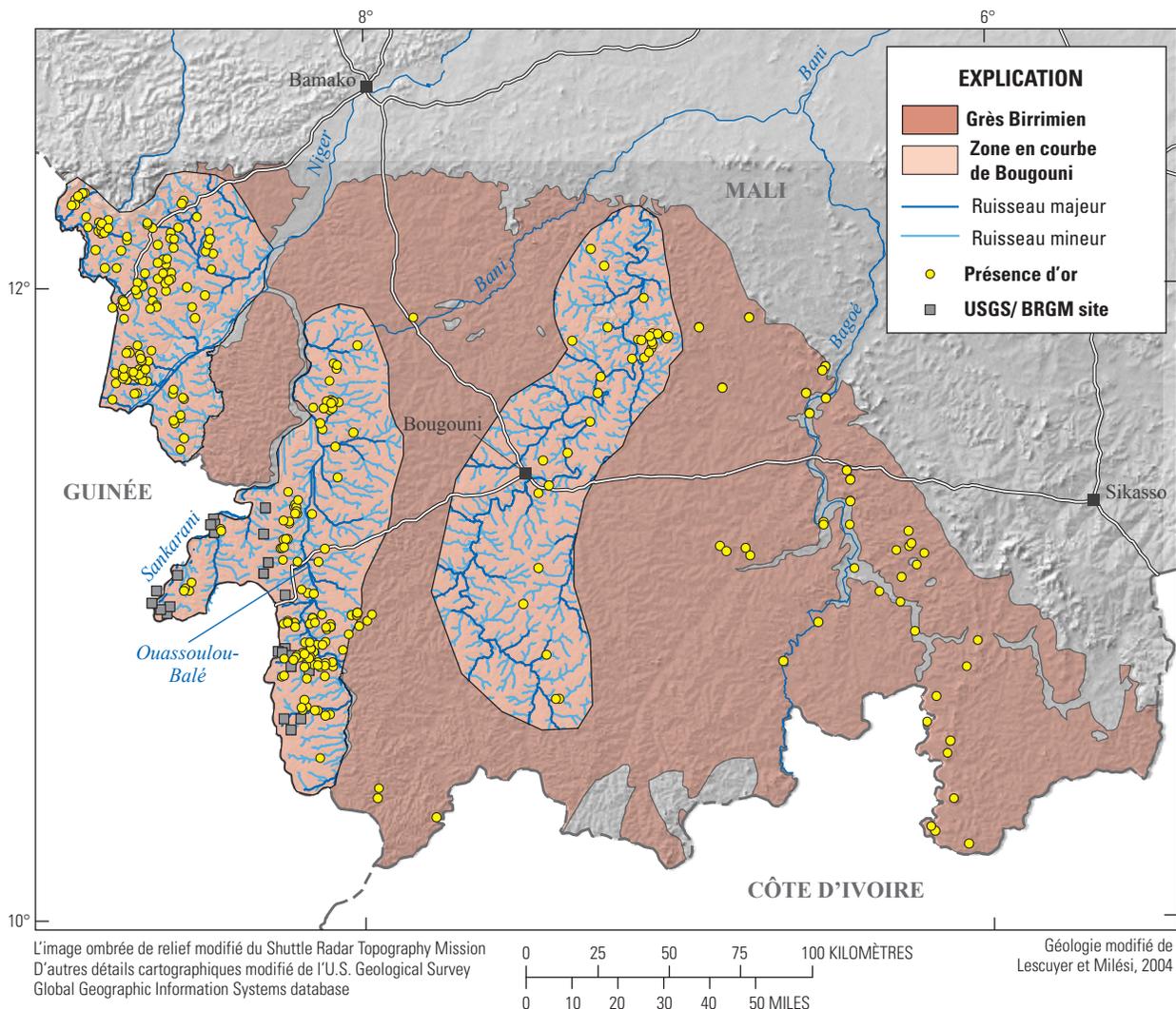


Illustration 4. Carte démontrant les zones en courbes diamantifères dans la région de Bougouni.

Tableau 1 monte un résumé des occurrences des kimberlites pour la région de Kéniéba dans l'ouest du Mali.

De 1954 jusqu'au 1957, la Direction Fédérale des Mines et de la Géologie (DFMG) entreprend une prospection des alluvions de la région de Kéniéba suivie par la recherche de kimberlites. Un diamant de 98 carats fut ainsi découvert dans le placier de Sansanto le long de la rivière Doundé. Des autres diamants ont été trouvés, dont un dans le pipe de Sekonomata.

De 1963 jusqu'au 1966, la Selection Trust, compléta l'exploration par un échantillonnage alluvionnaire et en sol et mis ainsi en évidence huit nouveaux pipes, respectivement:

Batifara, Mission, Silifoundou, Kéniéba, Fanson, Rivière Orange, Bilali Sud, et Dabora. Trois pipes s'avèrent diamantifères: Cirque Nord et Sud, Mission, et Bilali Sud. Pendant ces années La Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minière (SONAREM) prospecta l'est du Mali et Bougouni, Sikasso, et Kéniéba à l'ouest.

En 1979, le Syndicat Diamant de Mali (Syndicat) a lancé une grande campagne d'exploration qui s'est poursuivie jusqu'en 1983. La prospection alluviale et éluviale, la magnétométrie, et d'autres types techniques géophysiques ont été utilisées dans la découverte de nouveaux corps kimberlitiques (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 1983).

**Tableau 1.** Résumé des pipes kimberlitiques identifiés au Mali.

[BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières; DFMG, Direction Fédérale des Mines et de la Géologie (France); MADE, Mali Diamond Exploration; SELCO, Selection Trust Exploration (Great Britain); SONAREM, Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minière; Syndicat, Mali Diamond Syndicate (créé par BRGM, Mines et Ressources SA, DFMG); —, inconnu]

Nom	Surface (hectares)	Diamètre (mètres)	Nombre des pierres	Poids (carats)	Découvreur des diamants	Travaillé sur pipe
Bilali Sud	4	—	6	8,79	SELCO, Syndicat	BRGM, MADE
Cirque Nord	11	—	4	8,14	SELCO	DFMG, SONAREM, BRGM
Cirque Sud	8,2	—	1	0,3	Syndicat	DFMG, SELCO, SONAREM, BRGM
Sekonomata	2	—	1	0,223	DFMG	BRGM, MADE, Syndicat
Batifara	4,9	250	1	0,15	Syndicat	SELCO, MADE
Rivière Orange	5	—	1	0,05	Syndicat	SELCO, BRGM
Mission	0,2	60	1	0,05	SELCO	BRGM
Pipe 117	10,5	—	14	microdiamants	Syndicat	MADE
Fougola	0,25	—	—	microdiamants	—	MADE
Kassama	—	—	0	0		SELCO, MADE
Kereko	—	—	0	0		MADE
Tenin-Camara	—	—	0	0		MADE
Delys	0,8	—	0	0		MADE
Yaya	—	—	0	0		
Samba	—	—	0	0		
Fili-Yoro	—	—	0	0		
Sounkourou	—	—	0	0		
Koufara	4	—	0	0		Syndicat
Kobato	17	—	0	0		DFMG, SELCO, SONAREM, BRGM, Syndicat
Toromaya	10	200	0	0		DFMG, SELCO, BRGM, Syndicat
Maniaguinti	3,5	—	0	0		Syndicat
Dabora	3	—	0	0		SELCO, Syndicat
Pipe 47	1	—	0	0		Syndicat
Kéniéba	0,3	—	0	0		SELCO, BRGM, Syndicat
Pipe 49	0,75	—	0	0		Syndicat
Silifoundou	0,7	—	0	0		SELCO, BRGM, Syndicat
Fanson	0,4	—	0	0		SELCO, BRGM, Syndicat
Sakola	0,6	—	0	0		SELCO, BRGM, Syndicat
Bilali Nord	0,33	65	0	0		SELCO, BRGM, Syndicat



L'exploitation artisanale d'or à Moralia, Mali, février 2007.

Il convient de noter que l'ensemble de cette partie du craton est minéralisé en diamant, de l'ouest de la Guinée jusqu'au nord du Burkina Faso. Un examen de la carte des occurrences des diamants indique que les kimberlites connues semblent insuffisantes pour expliquer l'extension vaste des indices de diamant. Il faut donc considérer que les centres primaires de dispersion sont certainement plus nombreux qu'il n'apparaît dans l'état actuel des connaissances. Au Mali, outre les zones inventoriées dans le cadre de ce projet, d'autres zones disposent encore ainsi d'un potentiel diamantifère. L'Adrar des Iforas et la région de Sikasso peuvent avoir aussi le potentiel diamantifère compte tenu de leur situation géotectonique (Direction Nationale de la Géologie et des Mines, 1987).

## Age des kimberlites

On ne dispose pas de datation récente concernant les kimberlites, cependant, des éléments d'information pourraient être fournis par une connaissance plus précise des positions respectives des kimberlites et des dolérites. Le pipe de Kobato, situé sur le plateau, est traversé par un dyke de dolérite. Il en

est de même pour celui de Bilali Nord dans la plaine. Il faut donc admettre, qu'au moins ces pipes sont antérieurs aux intrusions doléritiques, tout au moins à celles d'âge supposé Crétacé moyen ou supérieur. Il n'est en effet pas exclu que des venues plus anciennes (Panafricain) aient pu se manifester. Pour l'heure, l'absence d'argument probant ne contredit pas cependant un âge Crétacé inférieur pour les kimberlites, mais ils sont généralement considérés d'être Protérozoïque inférieur.

## Morphologie surfacique des kimberlites

En surface, les aires occupées varient entre 8 et 20 hectares (ha). A l'exception d'un seul, Sakola, les sections sont régulières de forme arrondie ou quelquefois en forme de haricot. Les pipes de Cirque s'étale sur 700 m et se rétrécit à 250 m dans sa partie médiane. Le pipe de Kobato a une section circulaire de près de 500 m de diamètre. Pipe 117, présente une forme allongée et arquée de près de 600 m, qui laisse suspecter une connexion avec les deux petits corps voisins de Kéniéba et de Mission. Les pipes kimberlitiques identifiés sont synthétisés dans le tableau 1.

## Les gisements de diamants alluvionnaires

La découverte de diamants dans les alluvions concerne de vastes zones au Mali. Beaucoup de diamants ont été trouvés dans les bassins hydrographiques qui ne vident pas des zones avec des kimberlites connues. Le plus grand nombre de découvertes connues a été fait dans les zones alluviales proches d'escarpement de Tambaoura dans la zone de Kéniéba (Direction Nationale de la Géologie et des Mines, 1987). L'autre zone où de nombreuses découvertes ont été mentionnées sans l'identification de gîtes primaires est la zone de Yanifolia dans le sud du Mali. Toutes les découvertes ont été faites par des orpailleurs artisanaux qui sont d'autant plus méritants d'avoir identifiés les diamants que les techniques gravimétriques qu'ils mettent en œuvre ne sont pas optimales pour la récupération du diamant.

À l'heure actuelle, dans le domaine du diamant, la seule activité extractive existante est artisanale et concerne exclusivement les alluvions anciennes exploitées pour l'or. Le diamant ne constituant qu'un sous-produit de l'orpaillage.

Les paléo-placers exploités correspondent à un épisode d'alluvionnement d'extension régionale. Ils se sont déposés sur une paléo-topographie qui n'est jamais recoupée par le drainage actuel. C'est ce qui explique l'absence de potentiel notable d'or ou des gîtes diamantifères dans les alluvions récentes de la plaine de Kéniéba. Les chenaux actuels ne semblent pas se superposer exactement aux paléo-chenaux. En conséquence, les paléo-placers ne sont pas limités aux secteurs mis en évidence par l'orpaillage. L'or et le diamant peuvent se retrouver simultanément, mais la présence des minéralisations aurifères dépend bien évidemment de la distance à la source

primaire. L'illustration 2 montre l'emplacement des diamants et d'or dans la géologie Birrimienne.

## Les diamants

Le diamant n'a jamais fait l'objet d'exploitation exclusive au Mali, et généralement quelques échantillons de gros volume ont été prélevés à la surface des kimberlites. La majorité de ces pierres a été découverte fortuitement par les orpailleurs. Un certain nombre proviennent toutefois des travaux d'exploration effectués par les entreprises qui cherchent des kimberlites.

Le caractère remarquable des diamants de Kéniéba est leur taille exceptionnelle: près de 15 pour cent des pierres trouvées sont supérieures à 15 carats et représentent plus de 95 pour cent en poids. Des diamants supérieurs à 50 carats sont fréquents. La taille maximale enregistrée est de 232,7 carats. Toutes ces pierres sont de qualité gemme, il est donc inutile d'insister sur leur valeur commerciale qui peut atteindre plusieurs milliers de dollars au carat. Selon une étude antérieure réalisée par Sélection Trust, trois types de diamant ont été individualisés:

- Des combinaisons d'octaèdre-dodécaèdre, avec des faces octaédriques rarement parfaites et des arêtes ondulées
- Des formes irrégulières avec des faces courbes légèrement givrées
- Des dodécaèdres

## Méthodologie pour l'évaluation du potentiel diamantifère du Mali

L'objectif de cette étude est à double objet. Le premier but consiste à évaluer la richesse d'origine naturelle des ressources en diamants au Mali que l'on peut dénommer comme « ressources potentielles en diamants », selon des preuves géologiques et une collecte récente de données de terrain. Le deuxième but consiste en l'évaluation de la capacité de production par l'entremise des conditions humaines et en ressources actuelles au Mali et en la mesure de l'intensité de l'activité minière. Un degré d'analyse indépendante sera rejoint en évaluant les ressources potentielles et la capacité de la production et en comparant ces données auprès des chiffres de production de diamants publiés provenant du Mali.

Plusieurs méthodes possibles peuvent être utilisées pour estimer les ressources potentielles en diamants. Toutefois, étant donné que l'exploitation minière de diamants est secondaire à la production d'or alluvial, il existe un certain manque au niveau de l'enregistrement des données liées à l'ensemble de l'exploitation minière du Mali. De plus, il existe un manque au niveau des données quant à l'exploitation

minière, et puisque le temps nécessaire pour effectuer du travail sur le terrain et que l'accès aux régions d'exploitation minière en diamants est limité, quatre différentes méthodologies ont été utilisées dans cette étude pour évaluer le potentiel en diamants: le calcul cylindrique des gisements primaires des kimberlites, la méthode de la surface des alluvions, la méthode volume-teneur, et l'approche du contenu par kilomètre. Les résultats de ces méthodes seront ensuite recoupés aux fins de clarification et de surcontrôle des erreurs.

## Collecte des données de terrain et inventaire des données disponibles

Une recherche exhaustive de la littérature traitant de la géologie et de l'exploitation minière du Mali a été effectuée dans le cadre de cette étude. Le but qui sous-tendait une recherche bibliographique était de déterminer l'étendue des données déjà recueillies qui pourraient être utiles à la mise sur pied d'évaluations de l'exploitation minière et d'obtenir une historique géologique générale. Les renseignements liés aux gisements des diamants primaires (kimberlites), aux sites d'exploitation minière de diamants et d'or alluviaux, aux techniques, aux teneurs des travaux diamantaires, et à l'historique des occurrences en diamants ont été tirés de plusieurs publications et entrés dans une base de données de tous les indices de diamants. La base de données a ensuite été utilisée pour extraire des paramètres clés des zones d'exploitation minière alluviales de Kéniéba et de Bougouni. Ces paramètres alimentent les tableaux que l'on retrouve dans cette étude.

La collecte de données au cours des campagnes sur le terrain au Mali a fourni des renseignements importants quant au nombre d'artisans et de fouilleurs de diamants travaillant dans le pays. Les renseignements quant à la productivité des travaux alluviaux et le montant de la couverture aux sites spécifiques ont été mesurés et enregistrés. Les visites de sites ont révélé la nature des alluvions, l'épaisseur des couches de gravier en cours d'exploitation, et les types de dépôts géomorphologiques. Dans le but de rassembler les renseignements provenant du terrain de façon précise, un questionnaire détaillé a été élaboré et utilisé.

Chaque équipe de terrain a reçu un ensemble de carnets de questionnaire. Les carnets comprenaient des formulaires vierges que les équipes de terrain remplissaient à chaque site visité au cours de l'étude sur le terrain. Il était important d'enregistrer les renseignements spatiaux précis quant à l'emplacement (longitude et latitude) des sites miniers ainsi les conditions minières. Les conditions minières pouvaient inclure la grandeur et la profondeur de la mine, la distance entre la mine et la rivière, la ville et la rue le plus près, la profondeur du recouvrement et l'épaisseur du gravier. De plus, on a posé des questions en ce qui a trait au rythme de la production, au nombre de mineurs et d'équipes et des tâches additionnelles remarquées dans les régions environnantes. Le questionnaire standardisé assure qu'un ensemble conforme de données est recueilli à chaque site même si les équipes travaillaient

séparément à des sites et des temps différents à travers le pays. Les données de terrain recueillies par l'entremise de cette méthode ont été ajoutées à la base de données des occurrences de diamants alluviaux.

Une base de données cartographiques des occurrences kimberlitiques connues, des fouilles d'or et de diamants alluviaux, des sites d'exploitation minière, et des récupérations de diamants a été utilisée pour développer les zones d'exploitation minière des dépôts diamantifères qui sont présentement actives au sein des régions de Kéniéba et de Bougouni du Mali (illustration 2). Cette base de données cartographiques est tirée de la base de données des occurrences en diamants et en or alluviaux et des données de terrain recueillies au cours de l'étude.

À cause d'un manque des données concernant les sources primaires, il n'est pas possible de calculer le potentiel diamantifère primaire, sauf pour les sites kimberlitiques connus où il existe des données disponibles suffisantes.

## **Les zones étudiées et l'exploitation minière**

Trente-quatre sites ont été visités dans la zone de Kéniéba et ont fait l'objet d'une description dans la base de données transmise et intégrée au SIG. Vingt d'entre eux concernaient l'exploitation d'alluvions, les autres des corps primaires d'or. La découverte de diamants a été reportée dans dix sites, soit dans la moitié des indices alluvionnaires inventoriés. Le périmètre du plateau n'a pas fait l'objet d'inventaire, aucune activité artisanale notable n'y a été rapportée.

L'activité artisanale se développe d'abord dans les alluvions anciennes (paléo-placers) exploitées pour l'or régionalement et dans une moindre mesure dans les alluvions récentes de la rivière Falémé qui constitue la frontière avec le Sénégal. Aucune exploitation pour les diamants primaires n'a été observée malgré l'existence de plus de 20 corps kimberlitiques.

Il convient de prendre en compte le fait que les paléo-placers ne sont pas limités aux secteurs mis en évidence par l'orpaillage. La zone d'intérêt pour le diamant peut donc raisonnablement être étendue vers le nord ou vers bien que l'information sur ses zones ne sont pas disponibles.

Si l'épaisseur des alluvions exploitées peut parfois atteindre 2 m, le niveau auquel s'intéressent les orpailleurs-diamineurs ne dépasse pas en général 0,50 m. Cette zone d'intérêt est divisée en parties égales entre la partie supérieure du soubassement affecté et les couches plus grossières directement au dessous. Les graviers minéralisés sont constitués de: grès, quartzites, dolérites, galets des conglomérats Néoprotérozoïques ainsi que des galets du filonien quartz. La proportion relative des différentes sources d'approvisionnement du gravier est très variable. Par exemple, les galets des conglomérats Néoprotérozoïques peuvent représenter plus de 50 pour cent des graviers au sud (zone de Dabiya) et être limité à moins de 5 pour cent des graviers plus au nord.

Les méthodes d'exploitation sont restées inchangées depuis des décennies. Après fonçage un puits (les puits sont en général de 0,80 de diamètre), le niveau minéralisé est sous-cavé à partir des puits dans un rayon de 2,5 à 3 m. L'activité reste familiale même si la population active peut se déplacer sur des distances de près de 60 kilomètres (km). La découverte d'un gîte primaire aurifère à Moralia (quartz à or visible), où près de 1 000 personnes travaillaient lors de notre passage en février-mars 2007, a ainsi vu l'installation provisoire de près de 200 personnes au village de Moralia, situé 15 km au nord de Kéniéba et 3 km au nord-ouest de la mine d'or de Tabakoto.

L'estimation du nombre d'artisans actifs dans la zone a tenu compte des observations saisonnières faites, complétées, et recoupées par les autres sources d'information: contact avec les coopératives d'artisans ou données disponibles auprès de la DNGM. Un effectif de 4 000 artisans a été retenu pour la zone de Kéniéba. La période d'activité de 200 jours tient compte d'une activité duale: l'extraction minière et l'agriculture.

Trois zones du potentiel diamantifère ont été individualisées dans la zone de Bougouni, elles cumulent une surface de 17 878 kilomètres carrés (km<sup>2</sup>). Vingt-quatre sites artisanaux d'exploitation ont été inventoriés, 21 d'entre eux étaient des sites alluvionnaires. La récupération de diamants a été signalée dans 17 d'entre eux. Les reconnaissances menées sur le terrain permettent de confirmer l'extraction de diamants dans la zone. Les diamants sont récupérés lors de l'exploitation pour l'or dans les alluvions anciennes des deux principaux fleuves du secteur: la Ouassoulou-Balé et la Sankarani, mais aussi de ruisseaux secondaires, dont la taille peut atteindre 1 km de long pour plus de 100 m de large, avec des puissances de gravier « auro-diamantifère » qui peuvent atteindre 1,5 m.

L'exploitation est méthodique mais peut s'étaler sur plusieurs années. Elle se fait par puits de diamètre 0,7 m à une maille fréquemment de 15 x 2 m, le gravier étant sous-cavé à partir de ces puits. Malgré l'utilisation de cette technique de sous cavage sur de distances qui dépassent 5 m, peu d'accidents nous ont été signalés. Les problèmes de l'infiltration de l'eau sont fréquents et l'utilisation de moto-pompes nous a été reportée. Le lavage s'effectue en général sur place à la calebasse. Aucune amalgamation de l'or au mercure n'est pratiquée.

## **L'évaluation des diamants potentiels**

Le potentiel en diamants de deux régions du Mali a été évalué. La première région s'agit de la région de Kéniéba qui s'étend dans la partie occidentale du Mali le long de la frontière avec le Sénégal (illustration 3). La deuxième est la région de Bougouni qui est au sud de Bamako près de la frontière de la Guinée et de la Côte d'Ivoire (illustration 4).

Un total de quatre différentes méthodologies a été utilisé dans ces deux régions pour évaluer la richesse potentielle en diamants. La première méthodologie consiste en un calcul cylindrique des gisements primaires de diamants dans les

kimberlites diamantifères connues. Cette méthodologie a été utilisée dans la région de Kéniéba seulement, où la présence des kimberlites est connue. La deuxième méthodologie consiste en la méthode de surface. La méthode de surface estime le montant des diamants alluviaux ayant été érodés et déposés à travers une grande plaine alluviale généralement uniforme. Encore une fois, il s'agit d'une méthodologie utilisée dans la région de Kéniéba seulement et seulement dans la partie s'étendant à l'ouest de l'escarpement de Tambaoura. La troisième méthodologie consiste en l'approche en volume-teneur. L'approche en volume-teneur estime un volume de matière alluviale le long des ruisseaux et des rivières au sein d'une zone de gisements diamantifères précises et désignes et ensuite une teneur en diamant au minerai est assignée pour chaque mètre cube d'alluvions au sein de la zone. L'approche en volume-teneur est utilisée dans la région du plateau de haute terre de Kéniéba ainsi que dans trois zones précises dans la région de Bougouni. La quatrième et dernière méthodologie d'évaluation consiste en l'approche du contenu par kilomètre. L'approche du contenu par kilomètre calcule la longueur totale des ruisseaux et des rivières au sein d'une zone diamantifère précise et estime ensuite le nombre de carats par kilomètre selon les statistiques observées du rendement de diamants le long des rivières. Dans le cadre de cette approche, la portée des rivières est classée selon sa richesse; les ruisseaux à teneur la plus élevée sont classés comme étant « très riches », le prochain niveau de richesse étant classé comme étant « riche » et le moins élevé comme étant « pauvre ». Un nombre de carats par kilomètre est évalué pour chaque catégorie de ruisseaux. Les sections suivantes décrivent les quatre méthodes d'évaluation de façon plus détaillée.

## Le calcul cylindrique des gisements primaires kimberlitiques

La première approche utilisée pour évaluer les ressources potentielles en diamants du Mali consiste en un calcul cylindrique des gisements primaires kimberlitiques. Dans le cadre de cette méthode, la surface des gisements des kimberlites diamantifères connues est calculée à partir du diamètre du modelé des kimberlites qui a été calculé et enregistré. Ensuite, le montant d'érosion est estimé comme étant 500 m depuis l'émergence des kimberlites et est utilisé pour calculer le volume de diamants que chaque gisement kimberlitique ait produit. Le volume est converti en tonnes métriques en multipliant les mètres cubes par 2,40, donnant ainsi le poids total de matière en tonnes. Afin de calculer le montant de carats distribués de la roche originale des kimberlites, la mesure antérieure et la teneur enregistrée en carats par tonne est multiplié par le total calculé de tonnes. Le produit final s'agit de l'évaluation du total des carats par kimberlite que l'on considère érodé et distribué à travers la plaine et le plateau alluviaux de Kéniéba.

## La méthode de la surface des alluvions

La méthodologie de la surface des alluvions est utilisée pour calculer la richesse d'alluvion en diamants d'une plaine dépositionale généralement uniforme. Cette méthodologie est utilisée dans la plaine et le plateau alluviaux de la région de Kéniéba. Un SIG est utilisé pour mesurer la surface totale des surfaces évaluées. En ce qui concerne cette étude, une mesure reflète la plaine alluviale de Kéniéba et une deuxième mesure reflète le plateau de Kéniéba au-dessus de l'escarpement de Tambaoura. L'ensemble de la surface n'est pas considérée comme ayant des graviers qui sont diamantifères. On estime plutôt que seulement 2 pour cent de toutes les surfaces mesurées contiennent du gravier diamantifère. Dans les deux cas, l'épaisseur de la couche de gravier diamantifère est calculée à 30 centimètres (cm). Le volume total du gravier diamantifère est calculé en multipliant l'épaisseur de 30 cm par les 2 pour cent de la surface totale. À partir du volume total de gravier diamantifère, 75 pour cent sont considérés comme ayant une teneur minéralisée « de base » en diamants par mètre cube. Les 25 pour cent restants sont considérés comme ayant une teneur minéralisée « concentrée ». Le volume du gravier à teneur de base est multiplié par la « teneur de base » qui, à Kéniéba, est de 0,01 carat par mètre cube ( $\text{kt}/\text{m}^3$ ). Le volume de « teneur concentrée » est multiplié par 0,10  $\text{kt}/\text{m}^3$ . Le produit de ces multiplications donne une estimation du nombre total de carats ayant été déposés au sein des sédiments alluviaux de la plaine et du plateau alluviaux de Kéniéba.

## Evaluation par la méthode volume-teneur

L'approche de la volume-teneur estime un volume de matière alluviale pour chaque ruisseau d'une classe de ruisseaux particulière et désigne une teneur en diamants au minerai pour chaque mètre cube d'alluvions. Dans le cadre de cette méthode, des données historiques sur les teneurs en diamants, les fouilles et le rendement de chaque zone diamantifère ont été recueillies. Un modèle Numérique de Terrain (MNT) a été utilisé pour évaluer les ruisseaux et les rivières ainsi que la base de données d'ensemble du système de bassins hydrologiques de la région. Le calcul des valeurs linéaires des longueurs du réseau de bassins a été mesuré à l'aide d'un SIG.

L'approche méthodologique du volume et de la teneur peut être décrite de façon mathématique comme suit:

$$P = (V \times T1) + (1/4V \times T2) \quad (1)$$

où

$P$  représente les ressources potentielles en diamants estimées, et  
 $V$  est le volume d'alluvions.

Le volume d'alluvions est déterminé, dans le cadre de cette méthode, en estimant la largeur du plat alluvial et en le multipliant par l'épaisseur de la couche de gravier en cours

d'exploitation minière. Le produit de cette multiplication donne un nombre égal au volume du gravier diamantifère. La largeur des dépôts des plats alluviaux est déterminée en évaluant une largeur selon la classe de la rivière ou du ruisseau.

La classification des ruisseaux s'agit d'un processus selon lequel une carte du réseau du lit fluvial est analysée quantitativement. Les plus petits affluents dans les parties les plus supérieures du bassin hydrographique se voient attribuer une classe de niveau un. Ils s'agissent des segments les plus petits et les plus courts du réseau fluvial. Lorsque deux ruisseaux de classe un se rencontrent, un ruisseau de classe deux prend forme. Un ruisseau de classe trois n'est formé que lorsque deux ruisseaux de classe deux se rencontrent. Cette analyse se poursuit jusqu'à ce que tous les ruisseaux et les rivières du lit fluvial du réseau aient été classés. La logique qui sous-tend ce système de classification des ruisseaux de Strahler (1964) est que la classe est directement proportionnelle à la grandeur du bassin hydrographique, à la dimension des lits, et aux mesures de débit d'eau pour chaque segment de ruisseau.

Suivant cette logique, dans chaque niveau individualisé, on peut considérer que le large des plateaux alluviales le long des segments des ruisseaux sont homogènes. Les paramètres retenus pour chaque niveau hiérarchique défini par la méthode Strahler correspondent à ceux définis dans des contextes comparables (Barthélémy et al., 2006) après vérification et validation par les reconnaissances de terrain réalisées dans le cadre de ce projet. Le tableau 2 illustre la façon dont chaque ruisseau est identifié à l'aide d'une largeur alluviale selon sa classe.

Pour chaque largeur de plateaux alluviales, il existe également une mesure connexe de l'épaisseur de la couche de gravier au sein d'alluvion diamantifère connu. Encore une fois, les valeurs des épaisseurs du gravier proviennent d'études

antérieures au Mali et d'observations récentes sur le terrain. L'épaisseur des couches de gravier correspond à la classe des ruisseaux puisque les ruisseaux possédant les plus hautes classes ont une histoire plus importante quant aux dépôts et ont des dépôts de gravier plus importants tel que vérifié sur le terrain.

La richesse en diamants des couches de gravier n'est pas égale, toutefois. Les concentrations des différents dépôts de gravier au sein des plateaux alluviales peuvent varier selon l'historique des dépôts, le type d'environnement fluvial, et la période au cours de laquelle le gravier alluvial a été déposé pour la première fois. Afin de tenir compte de ces variations dans l'historique des dépôts, deux teneurs de gravier sont utilisées dans la formule. La première teneur est considérée comme teneur de « base » et s'applique à tous les graviers alluviaux calculés pour le volume. La deuxième est la teneur de « concentration ». La valeur s'applique seulement à 25 pour cent du volume total calculé du gravier alluvial dans le dépôt.

La valeur  $T1$  correspond à la teneur de « base » et s'applique au volume complet de la plateaux alluviales. Les teneurs de base sont déterminées à partir d'observations sur le terrain précédentes figurant dans les tableaux selon la région d'étude. Elles sont déterminées soit en tant que résultat moyen d'échantillonnage de terrain ou de poids moyen.

La valeur  $T2$  correspond à la teneur de « concentration » des graviers alluviaux. Cette teneur tient compte du fait que les occurrences en diamants ne sont pas uniformes à travers l'ensemble du dépôt. De plus, des études antérieures ont déterminés qu'il est peu probable que des mineurs artisanaux travaillent dans des régions où le gravier est de classe inférieure à 0,1–0,2 kt/m<sup>3</sup> (Barthélémy et al., 2006). L'exception à la règle s'agit des cas où les mineurs artisanaux fouillent dans l'espoir de trouver une pierre rare mais volumineuse dans un dépôt très bas et où la récupération de diamants n'est pas le but premier des mineurs artisanaux. Au Mali, les teneurs de base sont aussi basses que 0,01 kt/m<sup>3</sup>. C'est parce qu'au Mali, l'exploitation minière de diamants découle de l'exploitation minière artisanale d'or. Les mineurs ne fouillent donc pas spécifiquement pour des diamants et leur équipement minier et leurs pratiques ne conviennent pas à la récupération de diamants. On estime que la teneur de concentration au Mali est de 0,10 kt/m<sup>3</sup> dans la région de Kéniéba et de 0,05 kt/m<sup>3</sup> dans la région de Bougouni.

**Tableau 2.** Classification des ruisseaux Strahler (1964) et largeur des plateaux alluviales connexes.

Classification des ruisseaux Strahler	Largeur de la plateaux alluviales (mètres)	Épaisseur de la couche de gravier diamantifère (mètres)
1	5	0,15
2	10	0,20
3	20	0,30
4	30	0,40
5	40	0,50
6	50	0,60
7	70	0,80
8	100	1,00

## L'approche du contenu par kilomètre

Bardet (1974) a suggéré qu'une autre approche possible pour déterminer le potentiel diamantifère alluvionnaire du Mali consiste en l'évaluation de la teneur des ressources en diamants en fonction du montant de carats découverts par kilomètre de longueur du ruisseau ou de la rivière le long

**Tableau 3.** Rendement de diamants par kilomètre de longueur des ruisseaux, Mali.

[valeurs exprimés en carats par kilomètre]

Zone	T1- Ruisseaux très riches	T2- Ruisseaux riches	T3- Ruisseaux pauvres
Kéniéba	750,00	250,00	80,00
Bougouni	350,00	120,00	40,00

desquels ils sont découverts. Ses études classaient les rivières et les ruisseaux en trois catégories générales: très riche, riche, ou pauvre. Bardet a désigné une échelle de valeur des classes allant de 400 carats par kilomètre (kt/km) à 10 000 kt/km pour chaque catégorie. Le travail sur le terrain effectué par l'équipe détermine les catégories suivantes relativement au contenu diamantifère par kilomètre pour les rivières qui figurent au tableau 3. Tout comme la technique de l'approche en volume-teneur, des données historiques quant aux teneurs en diamants, aux fouilles et au rendement ont été recueillies pour chaque zone diamantifère. Le même système de bassins hydrologiques du pays a été utilisé pour calculer les longueurs et les classes des ruisseaux nécessaires. Le calcul des valeurs linéaires des longueurs du réseau de bassins hydrographiques a été mesuré à l'aide d'un SIG.

À la suite de cette catégorisation, l'étude a utilisé une version modifiée de l'approche Bardet que l'on peut représenter à l'aide de la formule suivante:

$$R_{total} = (L1 \times T1) + (L2 \times T2) + (L3 \times T3) \quad (2)$$

et selon laquelle  $R_{concentré} = (V2 \times T2) + (V3 \times T3) \quad (3)$

Chaque zone en courbes a été identifiée par une teneur moyenne de diamants par kilomètre de longueur de ruisseau. Ces teneurs correspondent à T1 pour un rendement très riche, T2 pour un rendement riche, et T3 pour un rendement pauvre. La longueur totale des ruisseaux au sein de chaque étude est calculée. La longueur totale des ruisseaux dans chaque catégorie (soit très riche, riche et pauvre) est ensuite calculée à partir du total et est identifiée par chacune des variables L1, L2, et L3. À l'aide de ces deux paramètres, la longueur cumulative des ruisseaux de chacune des trois catégories de richesse des ruisseaux est établie. La longueur cumulative des ruisseaux au sein de chaque catégorie est ensuite multipliée par le nombre de carats par kilomètre pour ce type de ruisseau. Le résultat de cette multiplication est un montant total estimé de carats pour chaque type de richesse des ruisseaux pour chaque région d'étude. Le total des carats par kilomètre est additionné pour

chaque région d'étude, fournissant ainsi une richesse totale estimée pour chaque région d'étude.

## Méthodologie pour estimer la capacité de production du Mali

La capacité de production de diamants est définie comme le volume actuel de diamants (calculée en tant que nombre total de carats) pouvant être produits à l'aide des ressources humaines et physiques actuelles. L'estimation de la capacité de production en diamants ne reflètent pas la possibilité future d'un investissement de capitaux, d'une exploration, ou de techniques d'exploitation minière améliorées, ni d'une augmentation en ressources humaines (capital de main d'œuvre) dans le secteur minier. Il s'agit plutôt d'une mesure de l'état actuel du secteur d'exploitation minière de diamants selon des données recueillies récemment sur le terrain et des recherches antérieures sur l'exploitation minière, les teneurs du gravier, et les estimations du nombre total de fouilleurs et de petites coopératives minières. Afin d'évaluer la capacité de production de diamants, un modèle en fonction d'une formule a été mis sur pied. Son énoncé mathématique est le suivant:

$$P_i = (V_m / j \times t) \times j \times A_i \quad (4)$$

où

- $P_i$  étant égal au total de la capacité de production actuelle,
- $V_m / j$  étant égal au volume de matière traitée quotidiennement par chaque artisan,
- $t$  étant la teneur moyenne du gravier,
- $j$  étant égal au nombre total de journées que travaillent un fouilleur chaque année, et
- $A_i$  étant égal au nombre total de fouilleurs.

Le paramètre tenant compte de la teneur ( $t$ ) utilisé lors de l'évaluation est la valeur moyenne des zones de Kéniéba et de Bougouni et est égal à 0,05 kt/m<sup>3</sup>. Le calcul de l'activité humaine d'exploitation minière ( $V_m / j$ ) est de 0,1 mètre cube (m<sup>3</sup>) par fouilleur par jour et tient compte des situations qui varient considérablement à travers le pays et réunit également l'étendue du taux de recouvrement qui va d'environ 0 à 40:1 en ce qui a trait aux dépôts. On estime que le nombre total de jours ( $j$ ) travaillés est de 200 journées par année, compte tenu des sanctions et de l'inaccessibilité à plusieurs dépôts lors de la saison des pluies et la variabilité des activités agricoles pour beaucoup de mineurs. On estime que le nombre total d'artisans au cours du travail de reconnaissance sur le terrain ( $A_i$ ) est de 4 000 à Kéniéba et 2 000 à Bougouni.

**Tableau 4.** Les ressources des kimberlites diamantifères, Kéniéba, Mali.

	<b>Cirque Nord et Sud</b>	<b>Bilali Sud</b>	<b>Rivière Orange</b>
Diamètre de la surface kimberlitique (mètres)	61 124,11	13 784,76	15 917,71
Surface kimberlitique (mètres carrés)	192 026,89	43 306,06	50 006,92
Profondeur calculée de l'érosion (mètres)	500,00	500,00	500,00
Volume totale du kimberlite érodé (mètres cubes)	96 013 446,37	21 653 032,08	25 003 459,28
Conversion de mètres cubes à tonnes métriques	2,40	2,40	2,40
Poids total (tonnes)	230 432 271,28	51 967 277,00	60 008 302,27
Divisé par 1 000 tonnes	230 432,27	51 967,28	60 008,30
Carats calculée par 1 000 tonnes	2,02	2,24	0,03
<b>Estimation en ressources (carats)</b>	<b>465 473,19</b>	<b>116 406,70</b>	<b>1 800,25</b>
<b>Total</b>			<b>583 680,14</b>

## Les résultats

### Le calcul cylindrique des gisements primaires de diamants

Les trois kimberlites diamantifères de la région de Kéniéba sont Cirque Nord et Sud, Bilali Sud, et Rivière Orange. À l'aide de registres historiques de la teneur de ces kimberlites obtenues à partir d'échantillonnage de diamants, une série de calculs a été effectuée. Les calculs montrent la surface et l'estimation du volume qui ont été érodés et ayant distribués des diamants dont on croit proviennent de la roche en caissante. Le tableau 4 illustre les résultats des calculs et montre plus spécifiquement qu'on estime que Cirque Nord et Sud ont distribué environ 465 000 carats alors que Bilali Sud et Rivière Orange en ont distribués 116 000 et 1 800, respectivement. Ces diamants sont évalués comme ce qu'il reste de la matière alluviale de la plaine et du plateau alluviaux de Kéniéba.

### La méthodologie de la surface

On estime que les surfaces de la plaine alluviale de Kéniéba et du plateau de Tambaoura sont les hôtes secondaires des diamants érodés à partir des gisements primaires de kimberlite. La méthodologie de la surface a été utilisée pour évaluer le nombre de diamants qui pourraient encore se trouver dans les sédiments alluviaux de chacune de ces surfaces. En ce qui concerne la plaine et le plateau, une série de surfaces, de volumes, et un volume final de diamants figure au tableau 5. À l'aide de la méthode de la surface, on calcule que la plaine alluviale est l'hôte d'environ 18 760 540 carats de diamants. On calcule que 4 690 135 carats se trouvent en dépôts concentrés au sein de la plaine alluviale. On estime que le plateau de Tambaoura est l'hôte d'environ 3 525 067 carats dont 881 266 carats sont déposés en gravier alluvial de

teneur concentré. On croit que le nombre total de carats qui est déposés dans la région de Kéniéba est d'environ 700 000 dont juste un peu plus de 550 000 sont situés en dépôts de teneur concentrée.

### La méthode volume-teneur

Les résultats de l'évaluation méthodologique de la volume-teneur sont présentés pour chaque zone de dépôt de diamants identifiée dans la représentation cartographique. Le tableau 6 présente les résultats pour la région de Kéniéba, et le tableau 7 présente les résultats de la région de Bougouni.

### Le plateau de la région de Kéniéba

Le tableau 6 illustre les résultats du plateau de Kéniéba évalué à l'aide de la méthodologie de volume-teneur. Le tableau illustre la longueur totale en kilomètre de tous les ruisseaux et les rivières de la région faisant l'objet d'étude. L'estimation de l'épaisseur des plateaux alluviales et du gravier figure au tableau 6 et correspond également à la méthode de classification des ruisseaux tel que décrit dans le tableau 2. Le total des longueurs pour chaque classification de ruisseaux est multiplié par l'épaisseur des plateaux alluviales et du gravier correspondante et donne le volume total du gravier diamantifère. Le volume total du gravier de teneur de « base » est calculé en divisant le total par trois-quarts. Les graviers de « base » de la région de Kéniéba au Mali possèdent une teneur de 0,01 kt/m<sup>3</sup>, représentant ainsi la richesse estimée de la teneur de « base » du gravier de cette zone.

Pour chaque zone de courbes, le volume du gravier à teneur « concentrée » est calculé comme un-quart du total des alluvions de la zone. Le gravier à teneur « concentrée » (T<sub>2</sub>) de Kéniéba est de 0,10 kt/m<sup>3</sup>. La richesse estimée du gravier à teneur « concentrée » est calculée en multipliant le volume « concentré » par la teneur « concentrée » et donne la richesse estimée du gravier à teneur « concentrée ».

**Tableau 5.** L'évaluation des ressources en diamants dans la plaine alluviale de Kéniéba et le plateau de Tamboura, Mali, utilisant la méthode de la surface.

	Surface totale de la plaine et du plateau (mètres carrés)	Estimation de la surface de gravier (2% du total)	Épaisseur du gravier (mètres)	Estimation du volume du gravier diamantifère (mètres cubes)	Volume du gravier à teneur du base (75% de la surface du gravier) (mètres cubes)	Gravier à teneur du base (carats par mètre cube)	Ressources en diamants du gravier à teneur de base du plateau (carats)	Volume du gravier à teneur concentrée (25% de la surface du gravier)	Gravier à teneur concentrée (carats par mètre cube)	Ressources en diamants du gravier à teneur concentrée du plateau (carats)
Plaine alluviale	3 126 756 756,00	62 535 135,12	0,30	18 760 540,54	14 070 405,40	0,01	140 704,05	4 690 135,13	0,10	469 013,51
Plateau Tamboura	587 511 207,00	11 750 224,14	0,30	3 525 067,24	2 643 800,43	0,01	26 438,00	881 266,81	0,10	88 126,68
<b>Total</b>	<b>3 714 267 963,00</b>	<b>74 285 359,26</b>		<b>22 285 607,78</b>	<b>16 714 205,83</b>		<b>167 142,05</b>	<b>5 571 401,94</b>		<b>557 140,19</b>
<b>Richesse spéculative en diamants du gravier à teneur concentrée de la région de Kéniéba, approche de la surface</b>										
<b>Total de la richesse spéculative en diamants de la région de Kéniéba, approche de la surface</b>										
<b>724 282,24</b>										

**Tableau 6.** L'évaluation des ressources en diamants alluviaux, plateau de Kéniéba, Mali, utilisant l'approche volume-teneur.

Classification des ruisseaux Strahler	Nombre de ruisseaux par classification Strahler	Longueur des ruisseaux (mètres)	Estimation de la largeur de la plaine alluviale (mètres)	Épaisseur du gravier (mètres)	Volume du gravier (mètres cubes)	Volume du gravier de base (75% du volume total du gravier) (mètres cubes)	T1 (Teneur de base) en carats par mètre cube	Estimation de la richesse du gravier à teneur de base (carats)	Volume du gravier à teneur concentrée (25% du volume total du gravier) (mètres cubes)	T2 (Teneur concentrée) en carats par mètre cube	Estimation de la richesse du gravier à teneur concentrée (carats)	Estimation de la richesse totale, Teneur de base + Teneur concentrée (carats)
1	685,00	386 353,91	5,00	0,15	289 765,43	217 324,07	0,01	2 173,24	72 441,36	0,10	7 244,14	9 417,38
2	298,00	170 106,24	10,00	0,20	340 212,48	255 159,36	0,01	2 551,59	85 053,12	0,10	8 505,31	11 056,91
3	148,00	87 453,41	20,00	0,30	524 720,46	393 540,35	0,01	3 935,40	131 180,12	0,10	13 118,01	17 053,41
4	101,00	56 680,73	30,00	0,40	680 168,76	510 126,57	0,01	5 101,27	170 042,19	0,10	17 004,22	22 105,48
5	53,00	31 158,28	40,00	0,50	623 165,60	467 374,20	0,01	4 673,74	155 791,40	0,10	15 579,14	20 252,88
6	16,00	5 164,62	50,00	0,60	154 938,60	116 203,95	0,01	1 162,04	38 734,65	0,10	3 873,47	5 035,50
<b>Total</b>		<b>736 917,19</b>			<b>2 612 971,33</b>	<b>1 959 728,50</b>			<b>653 242,84</b>		<b>65 324,29</b>	<b>84 921,56</b>
<b>Richesse spéculative en diamants du gravier à teneur concentrée de la région de Kéniéba, approche volume-teneur</b>												
<b>Total de la richesse spéculative en diamants de la région de Kéniéba, approche volume-teneur</b>												
<b>84 921,56</b>												

Tableau 7. L'évaluation des ressources en diamants alluviaux, région de Bougouni, Mali, utilisant l'approche volume-teneur.

Classification des ruisseaux Strahler	Nombre de ruisseaux par classification Strahler	Longueur des ruisseaux (mètres)	Estimation de la largeur de la plateforme alluviale (mètres)	Épaisseur du gravier (mètres)	Volume du gravier (mètres cubes)	Volume du gravier de base (75% du volume total du gravier) (mètres cubes)	T1 (Teneur de base) en carats par mètre cube	Estimation de la richesse du gravier à teneur de base (carats)	Volume du gravier à teneur concentrée (25% du volume total du gravier) (mètres cubes)	T2 (Teneur concentrée) en carats par mètre cube	Estimation de la richesse du gravier à teneur concentrée (carats)	Estimation de la richesse totale, Teneur de base + Teneur concentrée (carats)
<b>Zone A, Ouest</b>												
1	1 356,00	1 631 432,76	5,00	0,15	1 223 574,57	917 680,93	0,01	9 176,81	305 893,64	0,05	15 294,68	24 471,49
2	624,00	795 365,17	10,00	0,20	1 590 730,34	1 193 047,76	0,01	11 930,48	397 682,59	0,05	19 884,13	31 814,61
3	365,00	479 244,36	20,00	0,30	2 875 466,16	2 156 599,62	0,01	21 565,00	718 866,54	0,05	35 943,33	57 509,32
4	181,00	207 078,37	30,00	0,40	2 484 940,44	1 863 705,33	0,01	18 637,05	621 235,11	0,05	31 061,76	49 698,81
5	121,00	131 252,13	40,00	0,50	2 625 042,60	1 968 781,95	0,01	19 687,82	656 260,65	0,05	32 813,03	52 500,85
6	37,00	35 143,72	50,00	0,60	1 054 311,60	790 733,7	0,01	7 907,34	263 577,90	0,05	13 178,90	21 086,23
<b>Total</b>		<b>3 279 516,51</b>			<b>11 854 065,71</b>	<b>8 890 549,29</b>			<b>2 963 516,43</b>		<b>148 175,83</b>	<b>237 081,31</b>
<b>Zone B, Central</b>												
1	1 641,00	2 429 245,43	5,00	0,15	1 821 934,07	1 366 450,55	0,01	13 664,51	455 483,52	0,05	22 774,18	36 438,68
2	742,00	1 140 813,93	10,00	0,20	2 281 627,86	1 711 220,90	0,01	17 112,21	570 406,97	0,05	28 520,35	45 632,56
3	402,00	573 018,77	20,00	0,30	3 438 112,62	2 578 584,47	0,01	25 785,84	859 528,16	0,05	42 976,41	68 762,25
4	219,00	286 290,76	30,00	0,40	3 435 489,12	2 576 616,84	0,01	25 766,17	858 872,28	0,05	42 943,61	68 709,78
5	46,00	37 394,48	40,00	0,50	747 889,60	560 917,20	0,01	5 609,17	186 972,40	0,05	9 348,62	14 957,79
6	186,00	165 024,91	50,00	0,60	4 950 747,30	3 713 060,48	0,01	37 130,60	1 237 686,83	0,05	61 884,34	99 014,95
7	38,00	25 881,21	70,00	0,80	1 449 347,76	1 087 010,82	0,01	10 870,11	362 336,94	0,05	18 116,85	28 986,96
<b>Total</b>		<b>4 657 669,49</b>			<b>18 125 148,33</b>	<b>13 593 861,25</b>			<b>4 531 287,08</b>		<b>226 564,35</b>	<b>362 502,97</b>
<b>Zone C, Est</b>												
1	2 354,00	2 739 898,10	5,00	0,15	2 054 923,58	1 541 192,68	0,01	15 411,93	513 730,89	0,05	25 686,54	41 098,47
2	1 037,00	1 408 252,10	10,00	0,20	2 816 504,20	2 112 378,15	0,01	21 123,78	704 126,05	0,05	35 206,30	56 330,08
3	568,00	713 596,05	20,00	0,30	4 281 576,30	3 211 182,23	0,01	32 111,82	1 070 394,08	0,05	53 519,70	85 631,53
4	221,00	250 247,79	30,00	0,40	3 002 973,48	2 252 230,11	0,01	22 522,30	750 743,37	0,05	37 537,17	60 059,47
5	189,00	184 084,59	40,00	0,50	3 681 691,80	2 761 268,85	0,01	27 612,69	920 422,95	0,05	46 021,15	73 633,84
6	353,00	357 889,05	50,00	0,60	10 736 671,50	8 052 503,63	0,01	80 525,04	2 684 167,88	0,05	134 208,39	214 733,43
<b>Total</b>		<b>5 653 967,68</b>			<b>26 574 340,86</b>	<b>19 930 755,64</b>			<b>6 643 585,21</b>		<b>332 179,26</b>	<b>531 486,82</b>
<b>Richesse spéculative en diamants du gravier à teneur concentrée de la région de Bougouni, approche volume-teneur</b>												<b>706 919,44</b>
<b>Total de la richesse spéculative en diamants de la région de Bougouni, approche volume-teneur</b>												<b>1 131 071,10</b>

La richesse totale estimée est ensuite additionnée pour chaque zone. La richesse estimée pour les dépôts de gravier à teneur « concentrée » du plateau de Kéniéba est de 65 324 carats. Lorsqu'elle est combinée à la richesse du gravier à teneur de « base », le total de ressources estimées est de 84 921 carats.

## La région de Bougouni

Trois zones en courbes de dépôts alluviaux d'or et de diamants potentiels ont été identifiées à partir de la base de données du point d'emplacement montrant l'emplacement des fouilles et des travaux d'or alluvial dans la région de Bougouni du Mali. Le calcul volume-teneur a été effectué pour chaque zone de dépôts diamantifères. L'illustration 4 montre la carte de la région de Bougouni et des trois zones faisant l'objet de cette étude.

Le tableau 7 illustre les résultats de l'approche en volume-teneur pour la région de Bougouni. Le tableau est divisé en trois sections. Chaque section correspond à l'une des trois zones cartographiques identifiées. Chaque section du tableau énumère les ruisseaux et les rivières classés selon Strahler et enregistre la longueur totale en kilomètres de chaque classification Strahler pour chaque zone. La longueur totale selon l'échelle Strahler est multipliée par l'épaisseur du dépôt de gravier donnant le volume total du gravier. Le volume total du gravier à teneur de « base » est calculé en multipliant le total d'alluvions par trois-quarts. Le gravier de « base » de la région de Bougouni possède une teneur de 0,01 kt/m<sup>3</sup>, représentant ainsi la richesse estimée de la teneur de « base » du gravier de cette zone.

Le volume du gravier à teneur « concentrée » est calculé en multipliant le total d'alluvions de la zone par un-quart pour chaque zone en courbes. Le gravier de teneur « concentrée » (*T2*) du gravier de la région de Bougouni est de 0,05 kt/m<sup>3</sup>. La richesse estimée du gravier à teneur « concentrée » est calculée en multipliant le volume « concentré » par la teneur « concentrée » et donne la richesse estimée du gravier à teneur « concentrée ».

La richesse totale estimée est ensuite additionnée pour chaque zone. La richesse estimée des dépôts de gravier à teneur « concentrée » de Bougouni est de 706 919 carats. Lorsqu'elle est combinée à la richesse du gravier à teneur de « base », le total de ressources estimées est de 1 131 071 carats.

## Les résultats de l'approche du contenu par kilomètre

Les tableaux 8 et 9 illustrent les résultats de l'approche du contenu par kilomètre pour les régions de Kéniéba et Bougouni. La longueur totale des ruisseaux proviennent du SIG des zones diamantifères connues. Les pourcentages sont obtenus à partir de la longueur totale selon la classification « ruisseaux très riches », « ruisseaux riches », et « ruisseaux

pauvres ». En ce qui concerne la zone de Kéniéba, 5 pour cent de la longueur totale des ruisseaux sont classés comme étant « très riches », 20 pour cent sont classés comme étant « riches », et l'autre 75 pour cent sont classés comme étant « pauvres ». Dans le même ordre, en ce qui concerne les trois zones de Bougouni, 5 pour cent de la longueur totale des ruisseaux sont classés comme étant « très riches », 20 pour cent sont classés comme étant « riches », et les autres 75 pour cent sont classés comme étant « pauvres ».

Chaque longueur de ruisseaux classée par zone est multipliée par le contenu par kilomètre estimé et ensuite additionnée par zone. En ce qui concerne la zone de Kéniéba, on estime 750 kt/km pour les dépôts « très riches », 250 kt/km pour les dépôts « riches » et 80 kt/km pour les dépôts « pauvres ». On estime que les dépôts de la zone de Bougouni sont moins riches que les dépôts de la zone de Kéniéba. On estime donc 350 kt/km pour les dépôts « très riches », 120 kt/km pour les dépôts « riches », et 40 kt/km pour les dépôts « pauvres ».

Le total estimé des dépôts de la région de Kéniéba, selon l'approche du contenu par kilomètre, est de 108 695 carats. Le total estimé des dépôts des zones de Bougouni, selon l'approche du contenu par kilomètre, est de 971 828 carats.

## Un résumé du potentiel en diamants de Kéniéba et de Bougouni

Les tableaux 10 et 11 montrent les résultats du résumé de la richesse estimée des ressources en diamants des régions de Kéniéba et de Bougouni. Le tableau 10 illustre les trois différentes méthodes utilisées dans la région de Kéniéba pour les dépôts alluviaux de diamants et une quatrième méthode pour l'évaluation des ressources primaires en diamants dans les kimberlites. La moyenne des trois résultats des ressources alluviales en diamants de la plaine et du plateau alluviaux de Kéniéba est calculée, regroupant les trois méthodes en une donnée d'évaluation. On estime qu'environ 700 000 carats se trouvent dans des dépôts alluviaux dans la région de Kéniéba dont on calcule que 540 000 carats se trouvent au sein des dépôts à teneur concentrée.

De plus, on estime que 580 000 carats ont été relâchés par les kimberlites primaires dans la région. On croit donc que le total des ressources estimées en diamants de la région de Kéniéba soit d'environ 1 300 000 carats.

Le tableau 11 illustre le résumé des résultats de la méthode volume-teneur et du contenu par kilomètre pour les zones de Bougouni évaluées. Tout comme la région de Kéniéba, les résultats de deux méthodologies différentes ont été regroupés en une donnée moyenne illustrant la richesse de Bougouni. En résumé, on estime que les zones de Bougouni comprennent 1 000 000 de carats dont plus de la moitié, soit 630 000, dans les dépôts de teneur concentrés.

On estime qu'ensemble les régions de Kéniéba et de Bougouni du Mali possèdent une richesse en diamants de 2 300 000 carats.

**Tableau 8.** L'évaluation des ressources en diamants alluviaux, région de Kéniéba, Mali, utilisant l'approche du contenu par kilomètre.

Longueur totale des ruisseaux	L1- 5% de la longueur totale de classe très riche	T1- Ruisseaux très riches (carats par kilomètre)	Ruisseaux très riches, contenu calculé (carats)	L2- 20% de la longueur totale de classe riche	T2- Ruisseaux riches (carats par kilomètre)	Ruisseaux riches, contenu calculé (carats)	L3- 75% de la longueur totale de classe pauvre	T3- Ruisseaux pauvres (carats par kilomètre)	Ruisseaux pauvres, contenu calculé (carats)	Total (carats)
736,92	36,85	750,00	27 634,50	147,38	250,00	36 846,00	552,69	80,00	44 215,20	108 695,70
Richesse spéculative des zones concentrées (contenu calculé des ruisseaux très riches + contenu calculé des ruisseaux riches), région de Kéniéba, Mali.										<b>64 480,50</b>
Estimation de la richesse totale alluviale, région de Kéniéba, approche du contenu par kilomètre										<b>108 695,70</b>

**Tableau 9.** L'évaluation des ressources en diamants alluviaux, région de Bougouni, Mali, utilisant l'approche du contenu par kilomètre.

Zone en courbes	Longueur totale des ruisseaux	L1- 5% de la longueur totale de classe très riche	T1- Ruisseaux très riches (carats par kilomètre)	Ruisseaux très riches, contenu calculé (carats)	L2- 20% de la longueur totale de classe riche	T2- Ruisseaux riches (carats par kilomètre)	Ruisseaux riches, contenu calculé (carats)	L3- 75% de la longueur totale de classe pauvre	T3- Ruisseaux pauvres (carats par kilomètre)	Ruisseaux pauvres, contenu calculé (carats)	Total (carats)
Bougouni, Ouest (zone A)	3 280,00	164,00	350,00	57 400,00	656,00	120,00	78 720,00	2 460,00	40,00	98 400,00	234 520,00
Bougouni, Central (zone B)	4 658,00	232,90	350,00	81 515,00	931,60	120,00	111 792,00	3 493,50	40,00	139 740,00	333 047,00
Bougouni, Est (zone C)	5 654,00	282,70	350,00	98 945,00	1 130,80	120,00	135 696,00	4 240,50	40,00	169 620,00	404 261,00
<b>Total</b>	<b>13 592,00</b>	<b>679,60</b>	<b>350,00</b>	<b>237 860,00</b>	<b>2 718,40</b>	<b>360,00</b>	<b>326 208,00</b>	<b>10 194,00</b>	<b>40,00</b>	<b>407 760,00</b>	<b>971 828,00</b>
Richesse spéculative des zones concentrées (contenu calculé des ruisseaux très riches + contenu calculé des ruisseaux riches), région de Bougouni, Mali.										<b>564 068,00</b>	
Estimation de la richesse totale alluviale, région de Bougouni, approche du contenu par kilomètre										<b>971 828,00</b>	

**Tableau 10.** Résumé de l'estimation des ressources en diamants présumées et spéculatives, région de Kéniéba, Mali.

Estimation des ressources primaires (si la fréquence des pierres > 50 et 100 carat est suffisante), estimé par volume										
	Total des ressources primaires (si la fréquence des pierres > 50 et 100 carat est suffisante), estimé par volume	Total des ressources présumées, méthode de la surface	Partie du total dans les zones concentrées, méthode de la surface	Total des ressources présumées, méthode volume-teneur	Partie du total dans les zones concentrées, méthode volume-teneur	Total des ressources présumées, méthode du contenu par kilomètre	Partie du total dans les zones concentrées, méthode du contenu par kilomètre	Ressources dans les zones alluviales concentrées	Total moyen des ressources	Total
Plaine alluviale	—	609 718,00	469 013,00	—	—	—	—	469 013,00	609 718,00	
Escarpement Tambaoura (plateau)	—	114 565,00	88 127,00	84 922,00	65 324,00	1 08 696,00	64 481,00	72 644,00	102 728,00	
Total des ressources alluviales	—							541 657,00	712 446,00	
Kimberlites connues	291 600								291 600	
Kimberlites non découvertes	291 600								291 600	
<b>Total des ressources primaires</b>										<b>583 200</b>
<b>Total des ressources en diamants présumées et spéculatives dans la région de Kéniéba, Mali</b>										
										<b>1 295 646</b>

**Tableau 11.** Résumé de l'estimation des ressources en diamants présumées et spéculatives, région de Bougouni, Mali.

Région	Total des ressources présumées, méthode volume-teneur	Partie du total dans les zones concentrées, méthode volume-teneur	Total des ressources présumées, méthode du contenu par kilomètre	Partie du total dans les zones concentrées, méthode du contenu par kilomètre	Ressources dans les zones alluviales concentrées	Total moyen des ressources
Bougouni Ouest (zone A)	237 081,00	148 176,00	234 520,00	136 120,00	142 148,00	235 800,50
Bougouni Central (zone B)	362 503,00	226 564,00	333 047,00	193 307,00	209 935,50	347 775,00
Bougouni Est (zone C)	531 487,00	332 179,00	404 261,00	234 641,00	283 410,00	467 874,00
<b>Total</b>	<b>1 131 071,00</b>	<b>706 919,00</b>	<b>971 828,00</b>	<b>564 068,00</b>	<b>635 493,50</b>	<b>1 051 449,50</b>
<b>Total des ressources en diamants présumées et spéculatives dans la région de Bougouni, Mali</b>						
						<b>1 051 449,50</b>

## La capacité de production en diamants

Au Mali, l'extraction de diamants est un sous-produit de l'extraction d'or. Par conséquent, les méthodes actuellement employées dans le secteur de l'exploitation d'or ne sont pas le meilleur pour l'extraction des diamants. Donc, l'évaluation de la capacité de production a été menée pour intéresser la situation actuelle, sur la base des observations de terrain. Des équipes d'artisans travaillent généralement ensemble dans des groupes de jusqu'à quatre personnes par équipe, et les activités des membres de l'équipe sont liées au sexe. Les femmes ont été observées à transporter et laver le minerai, ce qui a généralement été creusé par les hommes.

Le modèle de la capacité de production en diamants a été utilisé pour calculer la capacité de production estimée du Mali. Le modèle a été déclaré mathématiquement dans l'équation 4. D'après les observations faites sur le terrain au cours des deux excursions sur le terrain, les paramètres suivants ont été développés. La calculation de la capacité de production est:

$$6\ 000 = (0,1 \times 0,05) \times 200 \times 6\ 000 \quad (5)$$

Les résultats du modèle estimé peut être exprimée de façon plus réaliste qu'une gamme de valeurs de 3 000 carats à 9 000 carats par année. En raison de la nature hautement imprévisible du secteur artisanal et la compréhension que les recouvrements de diamant sont secondaires à la production d'or alluvial, une gamme de valeurs semble plus cohérente avec les observations et les données recueillies sur le terrain.



Une femme travaille à la battée et cherche d'or, Mali, février 2007.

## La discussion

L'objectif de cette étude était d'estimer les ressources géologiques et la capacité de production des diamants au Mali. Pour accomplir ce but, quatre méthodes ont été utilisées pour estimer le potentiel des ressources géologiques de deux régions du Mali connus pour avoir des diamants. Une méthode supplémentaire a été utilisée pour estimer la capacité de production du secteur de l'exploitation des diamants, basée sur des données concernant le nombre de mineurs artisanaux, leur productivité, et les teneur des gisements des diamants.

Le résultat de l'évaluation des ressources géologiques a calculé qu'environ 2 300 000 carats des diamants primaires et alluviaux restent au Mali. Les estimations montrent que 1 300 000 carats sont situés dans la région de Kéniéba et 1 000 000 carats sont situés dans la région de Bougouni. Les estimations de la capacité de production montrent que le Mali peut produire entre 3 000 et 9 000 carats par année, étant donné l'état actuel de l'activité minière et la productivité.

Cette étude compte sur des modèles de la deposition alluviale et la concentration des diamants dans des grandes zones du Mali. Peu d'études précédentes ont recueilli des données détaillées sur la teneur et la nature des sites miniers spécifiques. Par conséquent, une variété de méthodes théoriques ont été utilisés dans cette étude pour prédire le potentiel des ressources. De plus, les gisements diamantifères alluviaux du Mali ont une teneur basse et se sont étendre dans les grandes plaines et vallées alluviales. Les mineurs artisanaux sont plus investi dans le secteur d'or alluvial que le secteur de diamant. La récupération d'or est l'objectif principal du mineur, donc les outils et les méthodes utilisés au Mali sont plus appropriés pour trouver d'or que les diamants.

## Conclusions

Compte tenu des données disponibles, deux zones peuvent être considérées comme étant prioritaires en terme de potentiel diamantifère. Elles sont toutes deux localisées dans le sud-ouest du Mali, dans la région de Kéniéba d'une part, et dans celle de Bougouni d'autre part, au sein des formations Birrimiennes du craton ouest-africain. Les seules occurrences primaires connues sont situées dans la région de Kéniéba où entre 20 et 30 kimberlites ont été circonscrites. L'essentiel du potentiel est contenu dans les alluvions anciennes de faible épaisseur sous fort recouvrement avec des taux de découverte qui peuvent atteindre dans des cas extrêmes 40 pour 1. Dans tous les cas rencontrés, l'activité extractive

est exclusivement artisanale, le diamant constituant un sous-produit de l'orpaillage.

Une estimation du potentiel diamantifère géologique a été entreprise dans ces deux zones en mettant en œuvre plusieurs méthodes expérimentales déjà validées dans d'autres pays dans des contextes comparables. Les ressources alluvionnaires moyennes totales estimées par trois méthodes différentes s'élèvent à 1 763 895,5 carats dont 1 177 150,5 carats dans des zones à plus fortes concentrations (tableaux 10 et 11).

Dans la zone de Kéniéba où huit corps kimberlitiques sont diamantifères, le potentiel primaire peut-être estimé à 583 200 carats. Les kimberlites mises en évidence jusqu'à présent montrent pour certaines une minéralisation en diamant, faible à modeste mais loin d'être négligeable. Les tests effectués sur les pipes Cirque Nord et Sud et Bilali Sud montrent ainsi des teneurs très voisines de l'ordre de 2 carats pour 1 000 tonnes et des diamants de taille relativement élevée, avec près de 1,7 carats par pierre pour Cirque Nord et Sud et 2,2 carats par pierre pour Bilali Sud.

La province de Kéniéba est particulièrement connue pour avoir fourni des diamants de grande taille, entre 15 et 100 carats et jusqu'à 232 carats, en même temps toutefois que des populations de petites pierres. Ainsi, près de 15 pour cent des pierres sont supérieures à 15 carats et représentent en fait plus de 95 pour cent en poids. Les diamants étant en outre de qualité gemme, leur valeur commerciale peut, avec de telles dimensions, atteindre plusieurs milliers de dollars au carat.

Dans le domaine alluvionnaire, les teneurs prises en compte dans le cadre de cette étude sont très conservatrices. Le manque d'un fort recouvrement joint à une faible épaisseur des niveaux de graviers laisse peu d'espoir pour valoriser autrement la ressource que dans le cadre d'une activité artisanale. L'exercice pourrait être rendu d'autant plus attrayant qu'une importante proportion des pierres rencontrées semble exceptionnelle aussi bien en poids qu'en qualité.

Près de 6 000 personnes sont actuellement impliquées dans l'orpaillage dont 4 000 pour la seule zone de Kéniéba. Avec une implication qui ne dépasse pas 200 jours par an dans le secteur artisanal, la capacité de production annuelle de diamants est entre 3 000 et 9 000 carats par an.

La perspective de découverte de gisements primaires reste cependant subordonnée à des travaux complémentaires. Il est raisonnable d'envisager de réelles possibilités de gisements primaires non seulement dans les zones diamantifères inventoriées dans le cadre de cette étude mais aussi dans des zones localisées dans un contexte géostructural favorable comme l'Adrar des Iforas.



Le lavage artisanal d'or sur la Rivière Falémé, février 2007.

## Les Références

- Arnold, R.R., 1991, Project evaluation report on the Kenieba diamond concession, Republic of Mali, West Africa: Mink Mineral Resources Inc., 23 p.
- Bardet, M.G., 1974, Géologie du diamant, gisements de diamants d'Afrique: Bureau de Recherches Géologiques et Minières Memoir, v. 2, no. 83, 223 p.
- Barthélémy, F., and others, 2006, Republic of the Congo, diamond potential, production capacity, and the Kimberley Process—Final Report: Bureau de Recherches Géologiques et Minières RC-54589-EN, 99 p.
- Bessoles, B., 1997, Géologie de l'Afrique, Le craton ouest-africain: Bureau de Recherches Géologiques et Minières Memoir, no. 88, 402 p.
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), 1983, The diamond bearing and kimberlitic province of Kenieba, Development perspectives: Orléans, France, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 20 p.
- Direction Nationale de la Géologie et des Mines (DNGM), 1987, Mineral resources of Mali: Direction Nationale de la Géologie et des Mines, United Nations, Project UNDP/DTC/MLI/85/007.
- Kusnir, I., 1999, Gold in Mali: Acta Montanistica Slovaca, v. 4, p. 311-318.

- Le Billon, Philippe, 2008, Diamond wars? Conflict diamonds and geographies of resource wars: *Annals of the Association of American Geographers*, v. 98, no. 2, p. 345–372.
- Lescuyer, J.L., and Milési, J.P., 2004, Africa GIS and SIGAfrrique network—Geological and metallogenic information system, tools for sustainable development: France, 20ème Colloque de Géologie Africaine.
- Michel, J.C., 1996, La province kimberlitique et diamantifère de Kéniéba, Mali: *Africa Geoscience Review*, v. 3, no. 2, p. 231–246.
- Milési, J.P., Feybasse, J.L., Ledru, P., Dommanget, A., Ouegraogo, M.F., Marcoux, E., Prost, A., Vinchon, C., Sylvain, J.P., Johan, V., Tegye, M., Calvez, J.Y., and Lagny, P., 1989, Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'ouest—Leurs relations avec l'évolution lithostructurale au Protérozoïque inférieur: Orléans, France, BRGM, accompagnies Chronique de la recherche minières, no. 497, 98 p.
- Olsson, Ola, 2006, Diamonds are a rebel's best friend: *The World Economy*, Blackwell Publishing, v. 29, no. 8, p. 1133–1150.
- Schlüter, Thomas, 2006, Geological atlas of Africa, with notes on stratigraphy, tectonics, economic geology, geohazards and geosites of each country: Berlin, Springer, 272 p.
- Strahler, A.N., 1964, Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, *in* Chow, V.T., ed., *Handbook of applied hydrology*: McGraw-Hill, p. 4–40.
- Wahl, R.R., 2007, Geologic, geophysical, and mineral localities map of Liberia—A digital compilation: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007–1258, 2 DVDs.

For more information concerning this publication, contact:

Peter G. Chirico  
U.S. Geological Survey  
National Center, MS 926A  
Reston, VA 20192  
[pchirico@usgs.gov](mailto:pchirico@usgs.gov)

Publishing support provided by:

Raleigh Publishing Service Center  
Reston Publishing Service Center.

