

Mines, Or et cyanure



Mine de Ity
2005 RCI





Une mine entre ciel et terre

7 Réception des solutions aurifères

5-Mise en aires de cyanuration et aspersion de solution de cyanure

4-Stockage minéral.....

3-Transport roulage.....

1-Extraction.....

2-Evacuation des matériaux stériles et morts terrain en verses compactée

8 Fusion du lingot à partir du traitement des solutions

LES INFRASTRUCTURES DU SITE MINIER

- ① L'USINE D'ÉMULSION ▶ Fabrication d'émulsion et dépôt d'explosifs
- ② L'USINE DE TRAITEMENT ▶ Installations de broyage-concassage, cuves de lixiviation¹ au cyanure² et unité de destruction du cyanure
- ③ LA PLATEFORME DE SERVICES ▶ Ateliers de maintenance, distribution et stockage de carburants
- ④ LA BASE-VIE ▶ Capacité de plus de 450 chambres et structures de loisirs
- ⑤ LA FOSSE MINIÈRE ▶ 2,5 km x 400 m x 120 m de profondeur en moyenne
- ⑥ LES VERSES À STÉRILES³ ▶ Stockage des roches non-exploitable
- ⑦ LE PARC À RÉSIDUS ▶ Stockage des résidus de traitement décyanurés



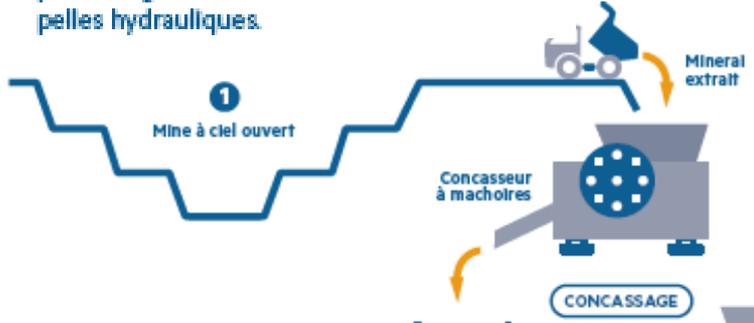


Extraction et concassage



Tir à l'explosif en roche dure

1 Fragmentation du mineral à l'aide d'explosifs puis chargement dans des camions avec des pelles hydrauliques.



Front de taille en fosse

Concassage et/ou démottage

(démottage seul dans les saprolithes)



Chargement



Stockage et homogénéisation des minerais



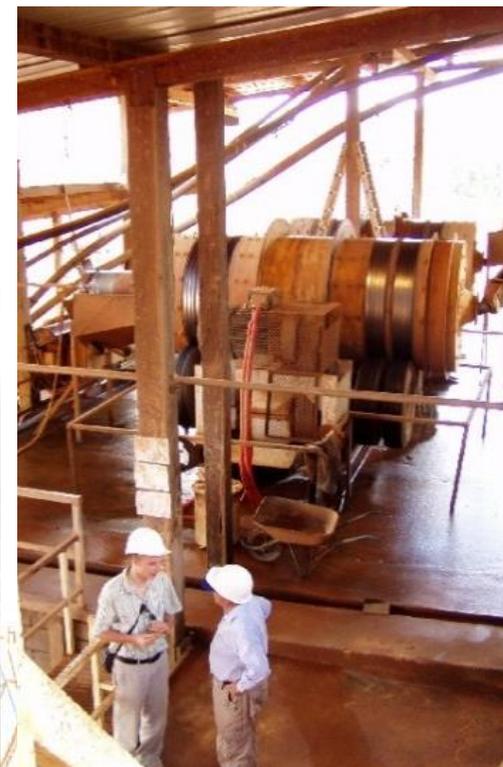
Site de Dieu-Merci : carrières et usine



Concentrateur centrifuge
(Cliché : J-F. Thomassin)



Site de Dieu-Merci en 2005 Cliché : J-F. Thomassin



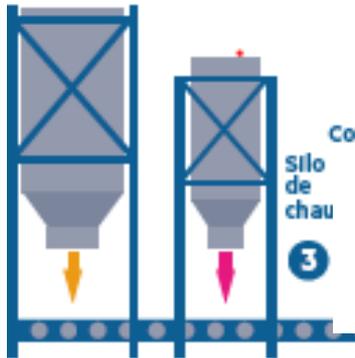
Le broyage
(Cliché : J-F. Thomassin)



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Additifs au minerais



3 Ajout de chaux avant broyage (346 kg/h) pour garantir un pH basique contrôlé ($\approx 10,5$).
La maîtrise d'un pH à 10,5 permet d'éviter la formation de cyanure d'hydrogène (gaz toxique) et stabilise le cyanure de sodium.

En cyanuration en tas, l'ajout de chaux et ciment se fait après le démottage afin de bouleter le minerais argileux pour avoir une bonne percolation et éviter les effets de parapluie ou d'écran avec les particules argileuses

La chaux est remplacée par de la soude afin d'obtenir le pH de 10,5 favorable à la récupération de l'or et aux bonnes pratiques de sécurité



Cylindre de bouletage

Ajout du ciment



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Les sulfures et le drainage acide DMA



Sulfates sur fragment
de sulfures non lixivié
par la cyanuration en
tas



fragment de sulfures : Pyrite et
pyrrhotite et marcassite
à
teneur en Or total 20g/t et de
densité 4,8

Non cyanurable en Tas !!!!



La **pyrite** est un minéral qui se retrouve dans la pierre et qui produit de l'acide sulfurique en s'oxydant au contact de l'humidité et de l'oxygène. Lorsque ce phénomène se produit en dessous d'une fondation, il peut provoquer le soulèvement et la fissuration de la dalle de béton.

La **pyrrhotite**, pour sa part, est une espèce minérale composée de sulfure de fer, d'une couleur jaune bronze qui noircit à l'air. En cristallisant en lamelles, elle peut provoquer des fissures dans le béton.
<http://fr.canoe.ca/infos/quebeccanada/archives/2010/12/20101219-072213.html>



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Neutralisation du drainage acide DMA par les marbres carbonatés du gisement



marbres carbonatés de la fosse Mont Ity



Neutralisation des jus acides par les marbres carbonatés



Stockages des minerais sulfurés or et cuivre et en attente de la prochaine cyanuration en cuves



Jus acide à pH = 2.5



minerais de cuivre (Chalcopyrite) consommateur de cyanure

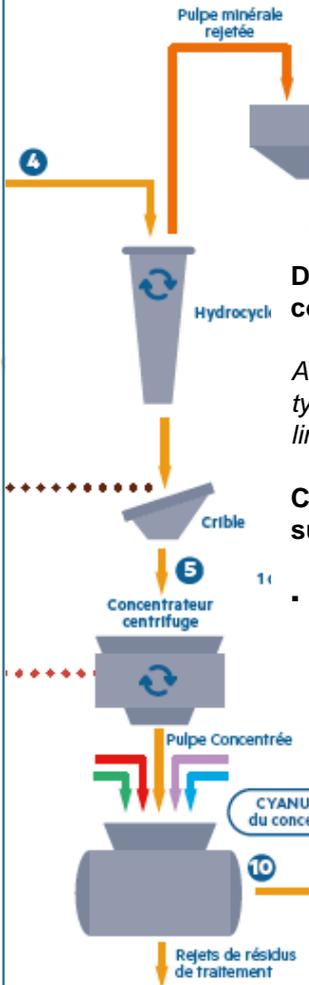


Géosciences pour une Terre durable

brgm



La Pré concentration gravimétrique

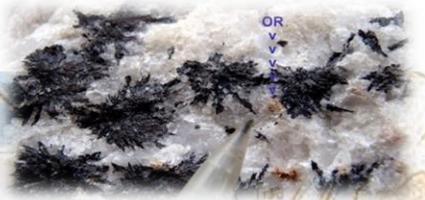
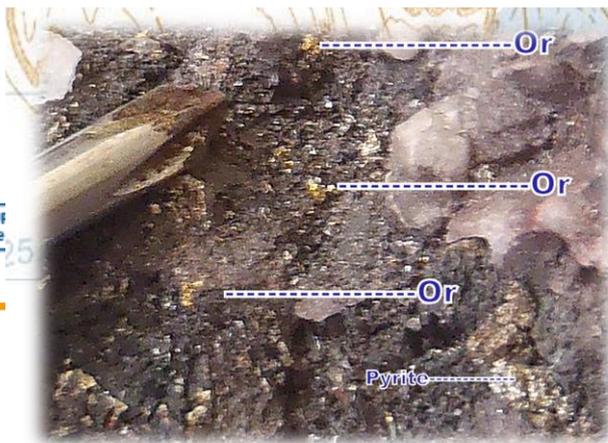
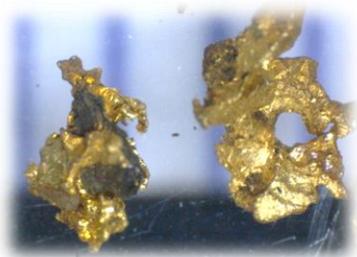
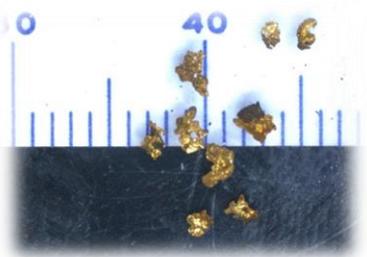


- 4 Pulpe minérale inférieure à 75µm libérant les grains d'or.
- 5 Concentration gravimétrique pour récupérer l'or grossier de la pulpe broyée.

Dans le minerai broyé il existe de l'or difficilement fracturable car malléable. Il convient de le récupérer en phase primaire par gravité / densité

A Essakane BF, en 2011, dans les minerais superficiels, appréciés des orpailleurs) ce type de récupération constituait parfois jusqu'à 30% de la production et permettait de limiter les consommations de produits coûteux

Cet or pépétique est particulièrement fréquent dans les altérations de minerais très sulfurés de type « chapeau de fer »



Analyses minéralogiques du minerai

“...Representative sub-samples of **the UFZ and LFZ master composites** were examined by Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron (QEMSCAN) to identify the types of minerals and bulk associations, and to provide quantitative information on mineral percentages, particle size, shape, degree of liberation and locking analysis, and carrier mineral inspections for gold and silver. The results of the mineralogical analyses are fully documented in Inspectorate’s report, “Mineralogical Study on the Master Composites,” January 2015.



Principales enveloppes de minerai

UFZ: Zone supérieure à dominante de roches felsiques intrusives parfois sécants ou Upper Felsic Zone

LFZ : Zone inférieure sous jacente à roches volcano sédimentaires ou Lower Favorable Zone

...Key Findings from the mineralogical study were:

- The main sulfide minerals in the two master composites were **pyrite and pyrrhotite**, which accounted for 3.1% to 3.8% of the total mass. **Chalcopyrite was the principal copper bearing mineral**, and carried 98% of the copper in the test samples. Only trace amounts of copper were contained in chalcocite/covellite, bornite, and tetrahedrite. **Other sulfide minerals, including sphalerite, galena, arsenopyrite, bismuthinite, cobaltite, and FeNi(Co)-sulfarsenide, were all at trace levels.**
- The sulfide minerals were contained in a silicon rich non-sulfide gangue host. Over 95% of the non-sulfide minerals occurred as different types of silicates: including quartz, feldspar group minerals, muscovite/illite/biotite, chlorite, amphibole/pyroxene and kaolinite. The iron oxides occurred mostly as magnetite, hematite and ilmenite.
- **The majority of the gold grains in the test gravity concentrate were present as native gold or gold electrum sized < 20 µm (12 to 13 µm on average). However, the coarsely grained gold, sized >30 µm, carried about 90% of the gold contained in the gravity concentrates.** In comparison to LFZ composite, UFZ composite contained relatively higher amounts of native gold. In addition, the gold-mercury bearing mineral, gold amalgam [(Au,Ag)Hg], was observed in the UFZ composite.
- The gold liberation data showed that less than a quarter of the gold in the test composite was liberated. **The unliberated gold was mostly interlocked with pyrite and non-sulfide gangue.** A relatively low amount of gold was associated with chalcopyrite and sphalerite.....

Les principaux minerais des zones UFZ et LFZ sont la **pyrite et la pyrrhotite**

Le **cuivre** est principalement **(98%) contenu dans la chalcopyrite**

L'**arsenic** est présent sous formes de traces d' **arsénopyrite**

Les sulfures sont encaissés dans une **gangue siliceuse non sulfurée**

Les oxydes de fer sont sous forme de **magnétite , hematite et ilmenite**

Les **argiles caractérisées** sont déterminées comme **illite et kaolinite**

Dans les minerais, l'or est libre et celui récolté par gravité est sous forme native et/ou electrum or/argent

Figure 47 – **Bon % de récupération en carotte des zones minéralisées**
Sulphide Mineralisation Intersection in One of Columbus Drillholes (MO1164)



SRK Consulting (U.S.), Inc.

NI 43-101 Technical Report on Updated Resource - Montagne d'Or Gold Deposit, Paul Isnard Project- Pages 65 à 75

<http://www.columbusgoldcorp.com/i/pdf/techrep-2015-06-03-Paul-Isnard-SRK.pdf>



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Le procédé de cyanuration en cuves

Avantages et contraintes



Lixiviation en cuve

Points forts	Facteurs limitant ou de vigilance dans le contexte guyanais	Recommandations pour une mise en œuvre en Guyane
La lixiviation en cuve à un meilleur rendement pour des minerais riches	Très important car si les résidus contiennent encore de l'or exploitable ils pourraient faire l'objet de réexploitation illégale mettant à mal les travaux de réhabilitation	L'étude de faisabilité dont les résultats sur les paramètres d'exploitation seront inclus dans l'Etude d'Impact sur l'Environnement
	Présence de mercure naturel : les procédés de traitement pour récupérer facilitent la concentration du mercure dans les résidus et les jus cyanurés et peut être émis aux différentes étapes du procédé	Mise en place de mesures de prévention d'émissions et de récupération du mercure sous forme liquide
	Déficit de personnel technique qualifié	<ul style="list-style-type: none"> • Former les opérateurs aux bonnes pratiques • Vérifier les capacités techniques de l'opérateur • Assurer un suivi régulier du respect des bonnes pratiques et du plan de gestion
	Stabilité du parc à résidus (principale cause d'accident = rupture de digue du parc ou débordement)	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer un dimensionnement et une gestion rigoureuse des ouvrages de stockage • Assurer un suivi strict et régulier, notamment en période de fortes pluies • Nécessité d'utiliser des techniques de stockage non conventionnelles (résidus épaissis), qui diminue les risques et facilite une réhabilitation progressive
	Caractéristiques chimiques des déchets et notamment des autres métaux potentiellement mobilisés (As, Sb, Fe, Zn, Cu...)	Destruction des cyanures et confinement du parc à résidus. Nécessité d'un suivi post fermeture

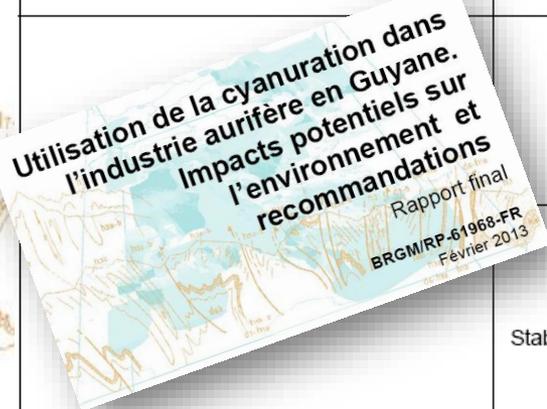


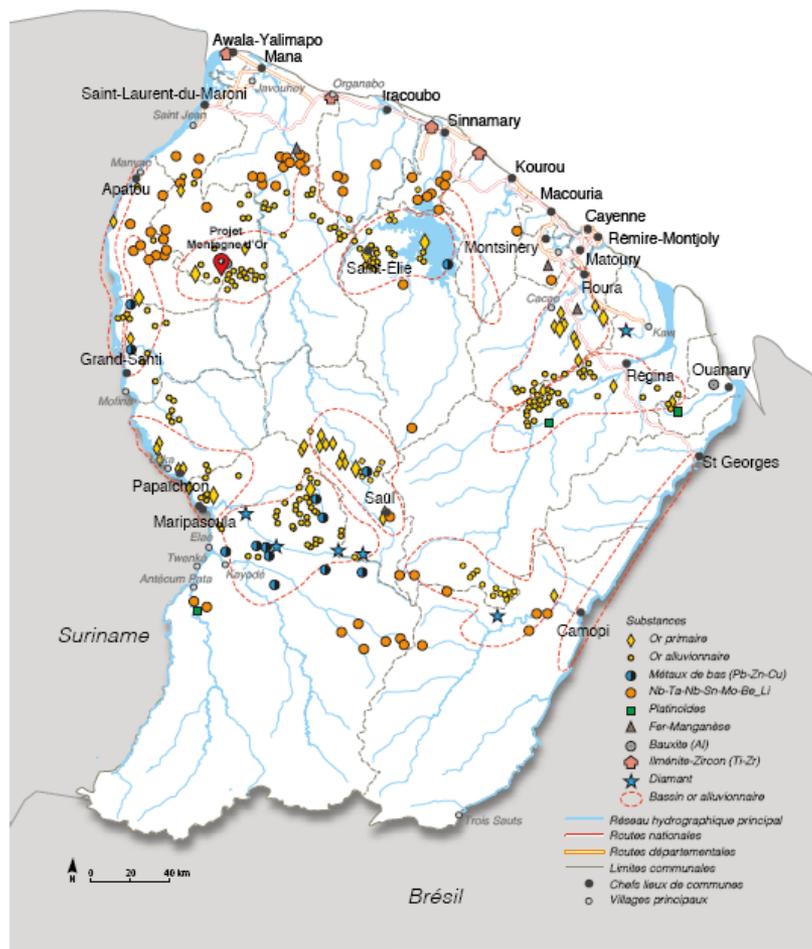
Figure 17 : lixiviation en cuve - synthèse des points forts et des contraintes pour la Guyane

Minéralogies des minerais primaires guyanais



Name of deposit	Type of primary deposit	Morphology-type	Ore mineralogy	Gangue mineralogy
Saint-Elie	Au-Fe-Cu-tellurides orogenic mesothermal veins, hosted by brittle-ductile faults and granitoids	Vein (sub-vertical & sub-horizontal, syn-to late-D2)	Py, Po, Ccp, Bi-Tell., Fe-Ag-Au-Tell., Gold	Qtz, Carb, Bt, Chl, Ms, Tur, Scheel
Saint-Pierre	Au-Fe-Cu-tellurides-Pb orogenic mesothermal veins and disseminated sulphides, hosted by brittle-ductile faults and granitoids	D2-related Qtz vein / stockwork, and post D1/pre-D2 disseminated sulphides in host-rock and breccia	Py, Ccp, Gn, Fe-Ag-Au-Ni-Pb-Tell., Mag, Pektite, free native gold, Brt	Qtz, Carb, Ab, Chl, Rt, Mag, Tur, Ms

Legend: Apy: arsenopyrite, Brt: barite, Bis: Bismuthinite, Bi-Tell.: Bi-tellurides, Cv: covellite, Ccp: chalcopyrite, Chr: chromite, C cubanite, Fe-Ag-Au-Ni-Pb-Tell.: Fe-Ag-Au-Ni-Pb-tellurides, Gers: gersdorffite, Gn: galena, Lin: linnaeite, Mag: magnetite, Marc: marcasite, Mill: millerite, Mo: molybdenite, Pn: pentlandite, Py: pyrrhotite, Py: pyrite, Sph: sphalerite, Ab: Albite, Amph: amphibole, Bt: Biotite, C Carbonates, Chl: Chlorite, Clt: Chloritoid, Ky: kyanite, Ep: epidote, Ilm: ilmenite, Mag: Magnetite, Ms: Muscovite, Qtz: quartz, Rt: rutile, Scheel: scheelite, Tur: Tourmaline.



Name of deposit	Type of primary deposit	Morphology-type	Ore mineralogy	Gangue mineralogy
Camp Caïman	Au-As orogenic mesothermal veins and disseminated sulphides, related to shear-zones	Dissemination of sulphides and quartz vein (D2-related)	Py, Apy, Gold	Qtz, Chl, Ms
Adieu-Vat	Au-Fe-Cu-Pb orogenic mesothermal veins, hosted by brittle-ductile faults and granitoids	Stockwork (post-D1/pre-D2 to late-D2)	Py, Ccp, Mag, Gn, Gold	Qtz, Carb, Chl, Tur, Ep, Rt
Isard Mort de Saül	Au-Fe-Cu-Zn-Pb orogenic mesothermal veins, hosted by brittle-ductile faults	Vein (post-D1/pre-D2 to syn-D2)	Py, Po, Ccp, Sph, Gold	Qtz, Tur, Ms
Changement	Au-Fe-Cu-tellurides-Zn-Mo orogenic mesothermal veins and disseminated sulphides, hosted by brittle faults	Vein, stockwork and disseminated sulphides (post D1/pre D2 to late-D2)	Py, Pb, Ccp, Mag, Apy, Marc, Cv, Sph, Gn, Mo, Ph, Gers, Mill, Bi-Tell., Fe-Ag-Au-Tell., Kromite, Tetradymite, native gold ($40 \mu\text{m}$ free or in pyrite or in fissures)	Qtz, Carb, Ms, Chl, Tur
Louloué	Au-Fe-Cu-tellurides-Zn-Mo orogenic mesothermal veins and disseminated sulphides, hosted by brittle-ductile faults and granitoids	Stockwork and sulphides dissemination (in granitoids and host-rocks) (syn- to late-D2)	Py, Pb, Ccp, Sph, Gn, Mo, Lin, Bis, Bi-Tell., Fe-Ag-Au-Tell., Tetradymite, Akentite, Akentite, Heulandite, native gold ($40 \mu\text{m}$ free or in pyrite or in fissures)	Qtz, Carb, Chl, Tur, Ms
Repenit	Au-Fe-Cu-Zn-Pb orogenic mesothermal veins, hosted by brittle-ductile faults	Vein and stockwork (D2-related)	Py, Po, Ccp, Gn, Sph, Au-Tell., Gold	Qtz, Carb, Ms, Chl
Sophie	Au-Fe-Cu-Zn-Pb orogenic mesothermal veins, hosted by brittle-ductile faults	Vein and stockwork (D2-related)	Py, Ccp, Sph, Gn, Gold	Qtz, Chl, Ms
Saint-Elie	Au-Fe-Cu-tellurides orogenic mesothermal veins, hosted by brittle-ductile faults and granitoids	Vein (sub-vertical & sub-horizontal, syn-to late-D2)	Py, Po, Ccp, Bi-Tell., Fe-Ag-Au-Tell., Gold	Qtz, Carb, Bt, Chl, Ms, Tur, Scheel
Saint-Pierre	Au-Fe-Cu-tellurides-Pb orogenic mesothermal veins and disseminated sulphides, hosted by brittle-ductile faults and granitoids	D2-related Qtz vein / stockwork, and post D1/pre-D2 disseminated sulphides in host-rock and breccia	Py, Ccp, Gn, Fe-Ag-Au-Ni-Pb-Tell., Mag, Pektite, free native gold, Brt	Qtz, Carb, Ab, Chl, Rt, Mag, Ep, Tur, Ms
Yauou A	Au-Fe-Cu orogenic mesothermal veins, hosted by granitoids and brittle-ductile faults	Quartz-Albite vein / stockwork (syn-to late-D2)	Py, Pb, Ccp, Mo, Cub, Mag, Pn, Tetradymite, native gold in Py	Qtz, Ab, Chl, Carb, Ms
Yauou B (See Figure 8a)	Au-Fe-Cu "stratabound" (pre-D1-D2) epigenetic disseminated sulphides, hosted by Paramacca volcanoclastic rocks	Disseminated sulphides along strata (pre-D1-D2)	Py, Po, Ccp, Cub, native gold in Py	Chl, Ab, Carb, Ms
Yauou B (See Figure 8b, c, d)	Au-Fe-Cu D2-related "stratabound" epigenetic mesothermal veins, hosted by Paramacca volcanoclastic rocks	Folded (pre-to syn-D2, Figure 8b) and "unfolds" (late D2, Figure 8d) veins with disseminated sulphides along strata	Py, Po, Ccp, Gn, Bt, native gold in Py, free gold in Qtz or associated with Ccp	Qtz, Chl, Ab, Carb, Ms

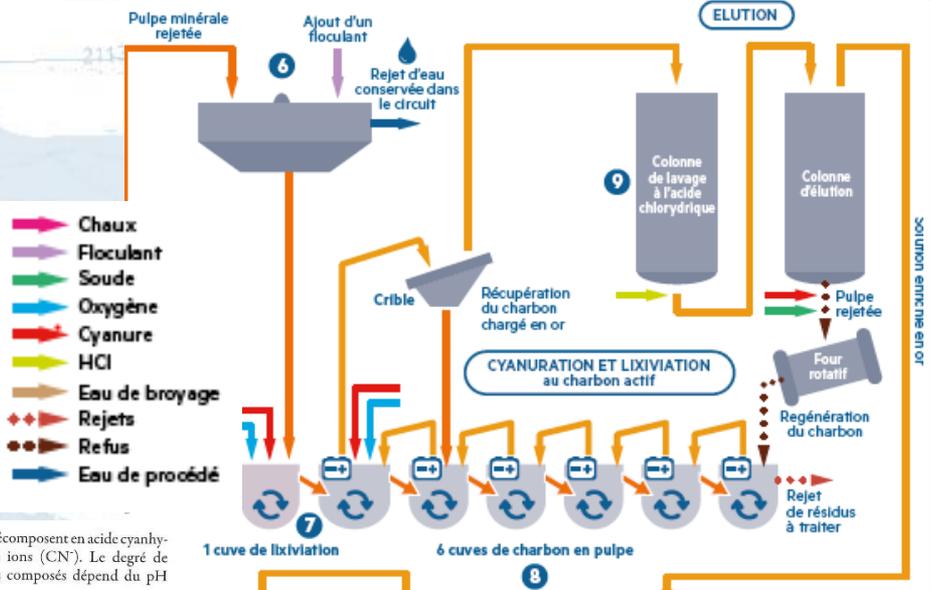
Legend: Apy: arsenopyrite, Brt: barite, Bis: Bismuthinite, Bi-Tell.: Bi-tellurides, Cv: covellite, Ccp: chalcopyrite, Chr: chromite, C cubanite, Fe-Ag-Au-Ni-Pb-Tell.: Fe-Ag-Au-Ni-Pb-tellurides, Gers: gersdorffite, Gn: galena, Lin: linnaeite, Mag: magnetite, Marc: marcasite, Mill: millerite, Mo: molybdenite, Pn: pentlandite, Py: pyrrhotite, Py: pyrite, Sph: sphalerite, Ab: Albite, Amph: amphibole, Bt: Biotite, Carb: Carbonates, Chl: Chlorite, Clt: Chloritoid, Ky: kyanite, Ep: epidote, Ilm: ilmenite, Mag: Magnetite, Ms: Muscovite, Qtz: quartz, Rt: rutile, Scheel: scheelite, Tur: Tourmaline.



Le procédé de cyanuration en cuves

- Le minerai **ROM (Run Of Mine)** est concassé et broyé à une dimension de 50 à 150µm puis est mis en pulpe agitée avec de l'eau, du cyanure en présence d'air.
- Les cinétiques sont rapides (24 à 48h) et les taux de solubilisation de l'or varient de 40 à 99% suivant les types de minerais, des mailles de libération de l'or, des taux d'oxydations des minéraux...
- Le rendement de cyanuration d'un minerai d'or saprolitique peut être de 99%.
- La récupération de l'or contenu dans les solutions s'effectue par adsorption sur charbon actif en pulpe.
- Le procédé fonctionne à contre-courant, c'est-à-dire que dans un sens, il y a appauvrissement en or dans la pulpe et dans le sens contraire, le charbon actif s'enrichi en or. Ce procédé permet d'effectuer la récupération de l'or sans séparation liquide-solide (le charbon étant d'une maille plus importante que les plus grosses particules de minerai).

Les charbons sont ensuite traités dans un circuit dit DER (Désorption – Electrolyse– Régénération pour recyclage) afin d'en récupérer l'or et le fondre pour Doré



Les sels de cyanure se décomposent en acide cyanhydrique (HCN) et en ions (CN⁻). Le degré de décomposition en ces composés dépend du pH (figure 5).

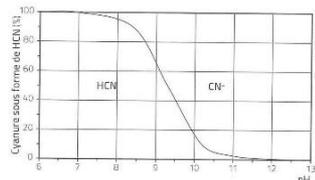


Figure 5 – Équilibre entre HCN et CN⁻ en fonction du pH [3, 4].

- Avec les agitateurs des cuves de charbon, le charbon est présent de manière uniforme dans la pulpe. L'or est alors absorbé par le charbon actif.
- L'élué permet de retirer d'éventuel polluant (par lavage acide) et remettre en solution le produit par l'ajout de cyanure de sodium et de soude.
- Ajout d'oxygène basse pression pour favoriser la dissolution de l'or. Ajout de cyanure de sodium pour la mise en solution de l'or. Ajout de soude pour maîtriser le PH. Ajout de flocculant pour épaissir la pulpe.

- Chaux
- Flocculant
- Soude
- Oxygène
- Cyanure
- HCl
- Eau de broyage
- Rejets
- Refus
- Eau de procédé



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Le cyanure

Les cyanures de sodium et de potassium sont des produits chimiques classés (figure 4) "Très toxique" (T+) et "Dangereux pour l'environnement" (N).



Très toxique (T+) Dangereux (N) pour l'environnement

Figure 4 – Catégories de danger des cyanures [1].

Les cyanures de sodium et de potassium se présentent sous la forme de poudre blanche, hygroscopique, sans odeur à l'état sec. Ils sont solubles dans l'eau et les solutions ont un caractère basique (pH = 11 pour une solution 0,1 N de cyanure de potassium).

Les cyanures de sodium et de potassium sont des produits qui se décomposent lentement au contact de l'eau, de l'humidité de l'air ou du dioxyde de carbone, libérant de faibles quantités de cyanure d'hydrogène, gaz inflammable et très toxique.

Le choix du sel de cyanure utilisé en cyanuration est fonction de sa solubilité dans l'eau et de la disponibilité en cyanure. Étant donné ses propriétés par rapport à d'autres sels, c'est le cyanure de sodium qui est le plus utilisé industriellement (tableau 1).



On relève plusieurs accidents liés aux cyanures dans l'industrie aurifère à travers le monde, dont une trentaine ces 25 dernières années. Ces accidents sont généralement liés à des déversements suite à la rupture d'un bassin de stockage des résidus du fait d'une mauvaise gestion du bilan hydrique (notamment lors de conditions météorologiques extrêmes) ou par défaut de conception et de construction. On relève également quelques accidents relatifs au transport du cyanure (figure 21).

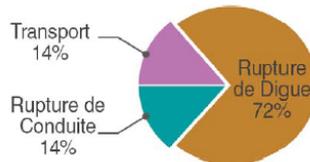


Figure 21 : Répartition des causes des principaux accidents sur les exploitations aurifères entre 1975 et 2000 (PNUJ, 2006)

Tableau 1 – Caractéristiques de sels de cyanure potentiellement intéressants pour la cyanuration [1, 3, 4]

Réactif	Formule chimique	Cyanure disponible (%)	Solubilité dans l'eau à 25 °C (g/l)
Cyanure de sodium	NaCN	53,1	480
potassium	KCN	40,0	500
calcium	Ca(CN) ₂	56,5	se décompose

Les sels de cyanure se décomposent en acide cyanhydrique (HCN) et en ions (CN⁻). Le degré de décomposition en ces composés dépend du pH (figure 5).

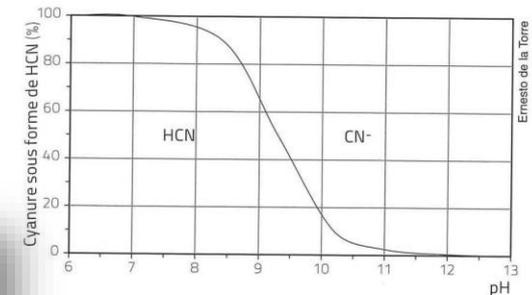


Figure 5 – Équilibre entre HCN et CN⁻ en fonction du pH [3, 4].

Le cyanure dans nos assiettes

Fruits et légumes qui produisent du cyanure

Fruits à noyaux

Les amandes contenues dans les noyaux de certains fruits renferment une toxine naturelle appelée glycoside cyanogène. Les abricots, les cerises, les pêches, les prunes et les prunes à pruneaux sont tous des fruits à noyaux. La chair du fruit en soi n'est pas toxique. Normalement, la seule présence de glycoside cyanogène n'est pas dangereuse. Toutefois, **lorsque l'on mâche les amandes contenues dans le noyaux de ces fruits, le glycoside cyanogène peut se transformer en acide cyanhydrique, qui est toxique pour les humains.** La dose létale de cyanure varie entre 0,5 et 3,0 mg par kilogramme de poids corporel. C'est pour cette raison que l'on ne recommande pas de manger les amandes qui se trouvent à l'intérieur des noyaux de ces fruits.

Bien qu'il ne soit pas recommandé de le faire, certaines personnes ont recours aux amandes d'abricots amères entières ou moulues pour aromatiser les aliments, en tant qu'aliment santé ou à des fins médicinales. [Pour en savoir plus sur les amandes d'abricots amères](#), veuillez consulter le site Web de Santé Canada.

Racine de manioc et pousses de bambou

La toxine du glycoside cyanogène se trouve également dans la racine de manioc et les pousses fraîches de bambou, ce qui rend leur cuisson essentielle avant la mise en conserve ou la consommation. **Le manioc comporte deux grands types : doux et amer. Le premier possède une teneur en cyanure inférieure à 50 mg par kilogramme de poids frais, tandis que celle du manioc amer est supérieure à 50 mg par kilogramme.** En cuisant le manioc doux, on en réduira la teneur en cyanure sous les niveaux jugés non toxiques. Toutefois, le manioc amer contient plus de toxines et doit être préparé et cuit adéquatement avant d'être consommé. En râpant la racine et en trempant les râpures dans l'eau pour une durée prolongée, il y aura lessivage du cyanure et réduction des teneurs en toxines. **En plus du trempage, la cuisson servira à détoxifier davantage les racines avant leur consommation.**

Le glycoside cyanogène que l'on trouve dans le bambou frais se décompose rapidement lorsque le bambou est placé dans l'eau bouillante, ce qui élimine les risques associés à sa consommation. Les pousses de bambou qui sont mises à **bouillir pendant 20 minutes à 98 °C perdent près de 70 pour cent de leur teneur en cyanure,** et peuvent en perdre jusqu'à 96 pour cent si l'on augmente la température et la durée de cuisson. Pour les teneurs élevées, la détoxification maximale est atteinte après deux heures de cuisson.



TABLE 1. Cyanide Concentrations in Selected Plants

Plant Species	Concentration (mg.kg ⁻¹)
Cassava (sweet varieties)	
leaves	377-500
roots	138
dried roots	46-<100
mash	81
Bamboo tip	Max. 8,000
Lima bean (Burma)	2,100
Almond (Bitter)	280-2,500
Sorghum (young plant, whole)	Max. 2,500

Source: Excerpted from Eisler, 1991

<http://www.inspection.gc.ca/aliments/information-pour-les-consommateurs/fiches-de-renseignements-et-infographies/produits-et-risques/fruits-et-legumes/toxines-naturelles/fra/1332276569292/1332276685336>

<https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-document-technique-cyanure.html>



Cyanuration en tas : réalisation et usages d'aire de lixiviation avec géotextile



Epanrages de couche drainante en latérite gravillonnaire criblée en base de tas



Aplanissement suppression des vides et soudures



Réalisation de surfaces planes inclinées



Pose de géotextile résistant et imperméable



Etat ultime des tas avec la structuration en couches successives empilées



Cyanuration en tas : réalisation et usages d'aire de avec géotextile



Mise en tas



Arrosage à la solution de cyanure



Géotextile étanche



Récupération des solutions cyanurées et confinement dans les bassins



Système de récupération des solutions cyanurées

Etude géotechnique et projet d'infrastructures d'exhaure



Carotte de sondage de Saprolite exposée a l'air 24h en saison sèche



Parement des talus en Saprolite en saison sèche



SRK Consulting (U.S.), Inc.
NI 43-101 Technical Report on Updated Resource -
Montagne d'Or Gold Deposit, Paul Isnard Project- Pages 63

Table 13.1.6: **Saprolite** Variability Compositing List
Hole ID Met-14-04 From 2.0 (m) To 51.8 (m)
Length 49.8(m) Weight 106 (kg)
Source: Inspectorate, 2015

Fosse d'extraction en Saprolite a la saison des pluies



Fosse en 2014



Fosse en 2018

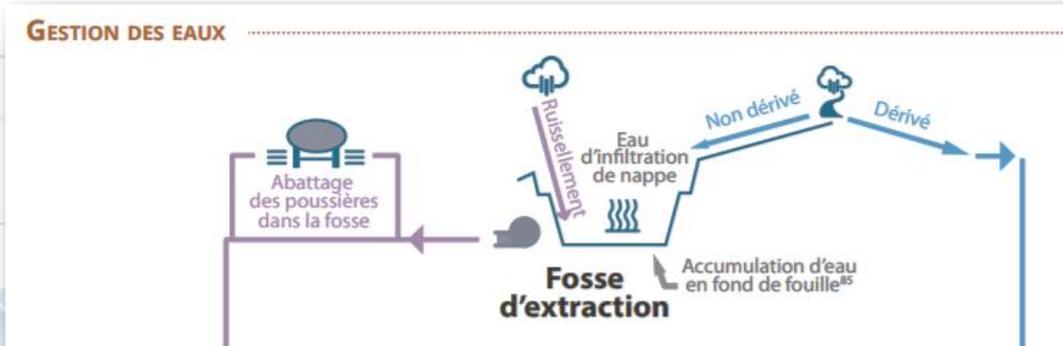
Parement des talus en saison des pluies 2012



Gestion des eaux et les infrastructures d'exhaure



Eau de ruissellement en saison des pluies



Suivi des rabattements de nappe pour une extraction d'un minéral sec extrait des chantiers de qualité et sécurisé



Eau de remontée de nappe par absence de pompage d'exhaure



- 7** Ajout de cyanure de sodium pour la mise en solution de l'or.
Ajout d'oxygène basse pression pour favoriser la dissolution de l'or.

Le cyanure sur site



Document public

Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère en Guyane. Impacts potentiels sur l'environnement et recommandations

Rapport final

BRGM/RP-61968-FR
Février 2013



Arrivée des futs de cyanure NaCN en futs de 55kg



Rappel des bonnes pratiques concernant l'utilisation du cyanure

- Justifier de la **formation du personnel** à utiliser et gérer le cyanure,
- Justifier des **compétences des cadres à gérer** une usine de cyanuration,
- **Recyclage intégral du cyanure à l'intérieur de l'usine** par un procédé adéquat
- S'il y a **rejet de cyanure, destruction des cyanures par un procédé au moins aussi efficace que SO₂ + UV** ;
- Adhésion au **international cyanide code management** ;
- Justifier **d'une logistique continue sans rupture de stock ni d'approvisionnement** ;
- **Justifier d'un stock de produits destructeurs du cyanure équivalent** à la quantité de cyanure engagée dans l'usine (stock et en cours),



**INSTITUT INTERNATIONAL
DE GESTION DU CYANURE**

**Sociétés d'extraction de l'or
Protocole de conformité pré-
opérationnelle**

**Pour le
Code international de gestion du cyanure**

www.cyanidecode.org

Octobre 2009

Le Code international de gestion du cyanure (ci-après appelé « le Code »), ce document et d'autres documents ou sources d'informations cités comme sources de référence à www.cyanidecode.org sont considérés comme étant fiables et ont été préparés en bonne foi d'après les informations dont disposaient les rédacteurs. Cependant, aucune garantie n'est offerte quant à l'exactitude ou l'intégralité de ces documents ou de ces sources d'information. Aucune garantie n'est offerte quant au pouvoir de l'application du Code, des documents supplémentaires disponibles ou des documents cités comme sources de référence de prévenir les dangers, accidents, incidents ou blessures des employés et/ou des membres du public sur un site spécifique où l'or est extrait du minerai par le processus de cyanuration. La conformité au Code n'a pas pour but de remplacer, de violer ou de modifier et ne remplace pas, ne viole pas ou ne modifie pas de quelque manière que ce soit les exigences liées aux statuts, aux lois, aux réglementations, aux ordonnances ou autres au niveau national, local ou de l'Etat concernant les domaines inclus dans ce document. La conformité au Code est entièrement volontaire, n'a pas pour but de créer, d'établir ou de reconnaître et ne crée pas, n'établit pas ou ne reconnaît pas d'obligations ou de droits légalement exécutoires de la part de ses signataires, de ses partisans ou de toute autre partie.

Utilisation de la cyanuration dans
l'industrie aurifère en Guyane.
Impacts potentiels sur
l'environnement et
recommandations

Rapport final

BRGM/RP-61968-FR
Février 2013



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Rappel des bonnes pratiques concernant l'utilisation du cyanure (2)

- **idem pour les fûts d'hypochlorite de Calcium** (cas de son utilisation pour détruire certains cyanures).
- Justifier d'un **monitoring de l'étude d'impact et de l'encours du procédé** ;
- Justifier d'une « **formation « procédé »** » ;
- **Assistance technique externe** (suivi de procédé, géotechnique, environnementale) ;
- Zone de **rétenion étanche, avec facilité de reprise des matériaux, des cuves contenant des solutions cyanurées**,
- **Réaliser les bilans cyanures à tous les nœuds du procédé** ; cette comptabilité participe à la maîtrise des flux du stock aux rejets (sur INVENTEO-USIMPAC par exemple),
- **Respect strict de la réglementation**
- **Contrôle strict de la conformité des moyens de transport, de trajets, du conditionnement et de la sécurité des matériaux potentiellement dangereux par des personnes habilités pour éviter accidents ou malveillances**



Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère en Guyane. Impacts potentiels sur l'environnement et recommandations

Rapport final
BRGM/RP-61968-FR
Février 2013



Géosciences pour une Terre durable

brgm



1.2.2 LES INSTALLATIONS CLASSEES POUR L'ENVIRONNEMENT

Les cyanures sont, selon la nomenclature des ICPE1, assujettis à différentes rubriques. Le détail de la nomenclature des ICPE est disponible sur le site : <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/accueil.php>.

L'arrêté du 2 février 1998 modifié définit les conditions de surveillance des émissions des ICPE dans l'air et dans l'eau (chapitre VII) :

- si le flux horaire d'acide cyanhydrique, de brome, de chlore, ou d'hydrogène sulfuré dépasse 1 kg/h, la mesure en permanence des émissions est réalisée (article 59).
- si le flux journalier autorisé dépasse 200 g/jour de cyanures, une mesure journalière est réalisée à partir d'un échantillon d'eau, prélevé sur une durée de 24 h (article 60).

INERIS, 2011. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Cyanures, DRC-11-118962-11076A, 81 p. (<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>)



Cyanures et activité minière de l'Union Européenne



Cyanures et activité minière :

La Directive de l'Union Européenne sur la Gestion des Déchets Miniers (2006/21/EC) de mars 2006 permet d'utiliser le cyanure dans ce secteur mais en limitant les concentrations de cyanure dans les bassins de résidus. La directive prévoit la diminution des concentrations maximales de cyanure dans les bassins de résidus pour les anciennes mines existantes qui passent de 50 ppm en mai 2008 à 20 ppm en mai 2013 et à 10 ppm en mai 2018. Actuellement, pour les nouvelles mines ouvertes, la concentration maximum est de 10 ppm.

Sans portée réglementaire actuelle, **la résolution du Parlement européen du 5 mai 2010 (2) porte sur l'interdiction générale de l'utilisation des technologies à base de cyanure dans l'industrie minière de l'Union européenne.** Ce texte invite, entre autre, « la Commission Européenne à mettre en place une interdiction totale de l'utilisation des technologies à base de cyanure dans l'industrie minière de l'Union européenne avant la fin 2011, seul moyen fiable de protéger nos ressources en eau et nos écosystèmes contre la pollution au cyanure générée par les activités minières, et à réaliser parallèlement une évaluation d'incidence ordinaire ».

Depuis la parution de ce texte, la question suivante (3) a été posée au parlement européen du 21 octobre 2011 : « La Commission entend-elle donner suite à la demande du Parlement européen et interdire, d'ici la fin de l'année, le recours aux technologies à base de cyanure dans l'industrie minière de l'Union européenne ? ».

La réponse de la Commission européenne (4) a été la suivante : **la Commission n'a pas l'intention d'introduire une interdiction générale sur l'utilisation du cyanure dans les mines d'or dans l'Union européenne. Jusqu'à présent, aucune alternative adéquate à l'utilisation du cyanure pour l'extraction de l'or n'existe sur le marché. Une interdiction totale de cyanure impliquerait soit l'arrêt de l'extraction européenne, soit l'export des aurifères pour un traitement hors Union européenne où des normes environnementales moins strictes sont en vigueur....** (Commission Européenne, 2011b).

(2) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2011:081E:0074:0077:FR:PDF>

(3) <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+WQ+P-2011-009615+0+DOC+XML+V0//FR>

(4) <http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=P-2011-009615&language=FR>

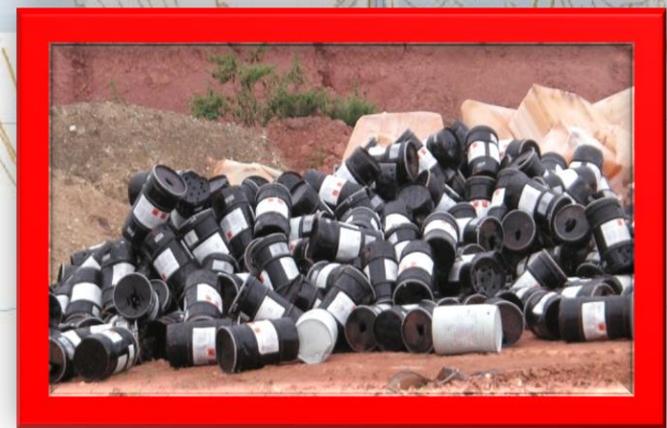
INERIS, 2011. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Cyanures, DRC-11-118962-11076A, 81 p.
(<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>)



Le cyanure sur site : le déchargement



Mauvaises et bonnes pratiques



« L'utilisation de cyanure de sodium présente des risques liés à la toxicité de ce produit. Une recherche dans la base de données des accidents ARIA, du ministère chargé de l'environnement, indique que la majorité des accidents observés concerne des fuites de solution cyanurée. Ainsi, avec les moyens mis en œuvre et dispositions prises, le risque d'accident humain et environnemental sera maîtrisé. <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/> Le conditionnement en briquettes solides limitera aussi les risques en cas d'accident routier lors de l'approvisionnement du site minier.



Le cyanure sur site : les options

<http://www.inmatrade.com/de/nacn-type-a>

NaCN type A

April 3, 2018 18:46:07 CET

Characteristics	
Fraction of total mass of sodium cyanide, % typical	99
Fraction of total mass of sodium cyanide, % min	98
Fraction of total mass of caustic soda, % max	0,8
Fraction of total mass of sodium carbonate, % max	0,3
Fraction of total mass of iron, % max	0,001
Fraction of total mass of heavy metals of sulfur hydrogen group	none
Density, kg/dm	1,596
Bulk density, kg/liter	0,85

Properties

Sodium cyanide is mainly used to extract gold and other precious metals in mining.

The main applications of sodium cyanide is a gold mining (cyanide leach), as well as zinc-plating and gilding metal products.

Sodium cyanide is a highly toxic substance (strong poison).

Sodium is manufactured in the shape of white briquettes.

Packing

- 45 kg net in steel drum with inner PE bag
- 1.000 kg net in UN certified big bag & wooden box

Characteristics of the packing

Weight of the cylinder, kg	5
The cylinders wall thickness, mm	0,5 - 0,55
Net weight, kg	45, 1.000
Net payload, MT / 20' sea container	
for 45kg drums	15.345
for 1.000kg big bags in wooden boxes	20.000

Sodium cyanide is also packed into UN-approved 2-ply polypropylene-polyethylene big bags that are stowed into wooden boxes. Net weight of one big bag is 1 000 kg.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Dégradation du cyanure



Exposition maximale aux UV et compartimentage de monitoring sur la verse à résidus de 510ha de la Mine d'Essakane (BF)

Taux d'utilisation des différents procédés de destruction des cyanures.

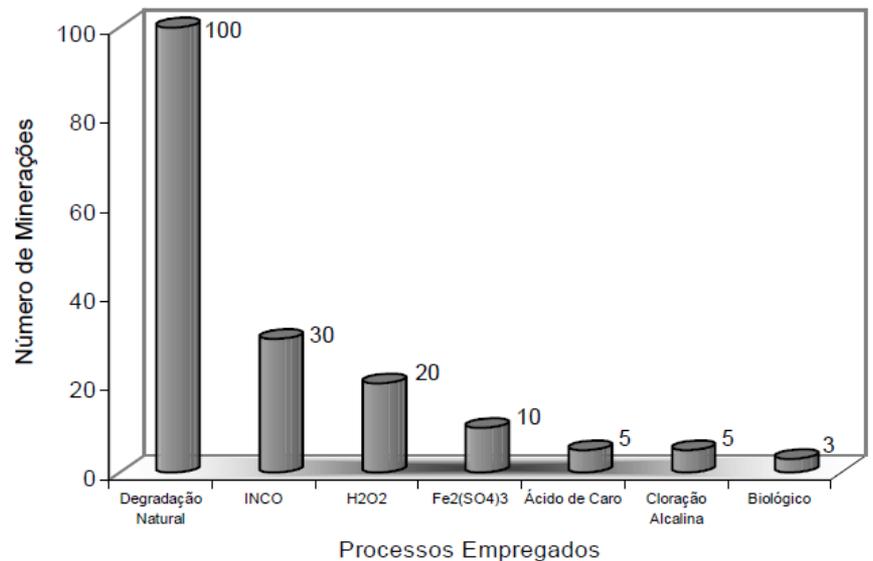
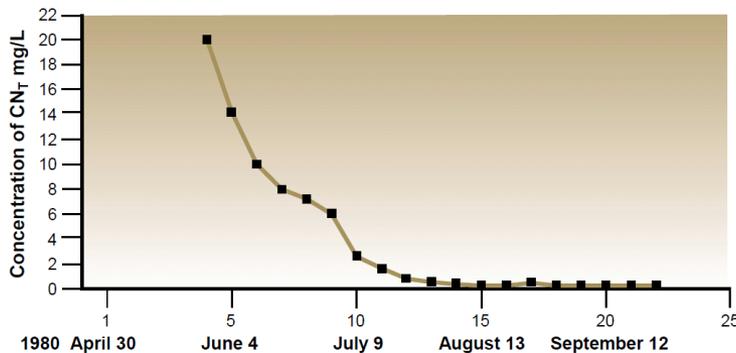


FIGURE 5. Example of Cyanide Degradation in a Shallow Pond



Source: adapted from Schmidt et al., 1981.

Exemple de dégradation du cyanure dans un bassin à l'air libre, aux UV du soleil et à la température ambiante. La dégradation de 20 à 0mg/L s'effectue ici en 12 semaines.

Dégradation du cyanure



Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère en Guyane. Impacts potentiels sur l'environnement et recommandations
Rapport final
BRGM/RP-61968-FR
Février 2013

Beaucoup de processus peuvent transformer les cyanures : l'oxygène, les UV, l'acide, les bactéries...le schéma suivant regroupe leur comportement en fonction du milieu dans lequel ils se trouvent. On y observe aussi les produits de dégradation dont la plus part sont de l'oxygène et des produits azotés

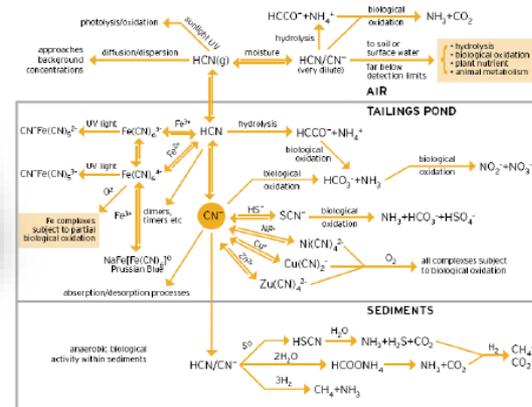


Figure 2 : Comportement et transformation du cyanure à l'intérieur d'un bassin à résidus (tailings pond) et dans différents compartiments de l'environnement (air et sédiment) (Mudder et al., 1991)

• Destruction des cyanures résiduels

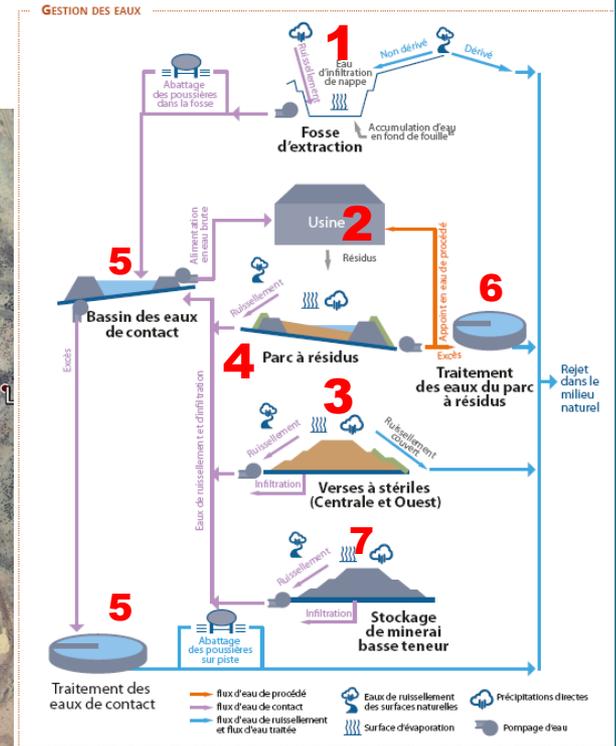
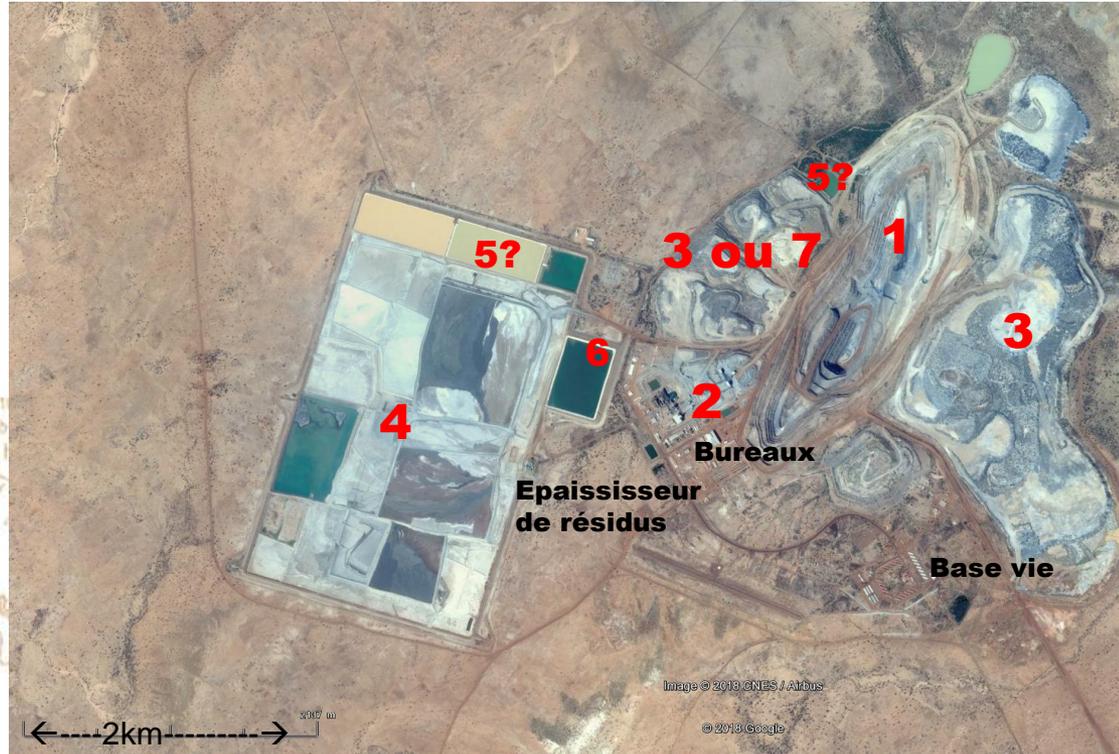
Un effort particulier devrait être fait pour qu'aucun cyanure de type WAD (cyanure libre + cyanure aisément libérable) ne soit évacué dans les sols ou dans les eaux ou les bassins. Une des méthodes consiste à recycler totalement le cyanure à l'intérieur de l'usine, par un procédé de type AVR (acidification – volatilisation – recyclage) par exemple.

La destruction des cyanures WAD est souvent réalisée par le procédé INCO (oxydation par SO₂ + air), le procédé à l'acide de Caro, avec l'appui des UV et de l'oxygène de l'air dopé par la température.

Pour des raisons de sécurité, les procédés de destruction des cyanures sont réalisés en amont des bassins de décantation des pulpes.

La norme depuis 2010, pour les rejets d'une installation autorisée après 2008 est de 10 ppm (mg/kg) au point de déversement des résidus dans le bassin. Le cyanure est exprimé en cyanure aisément libérable.

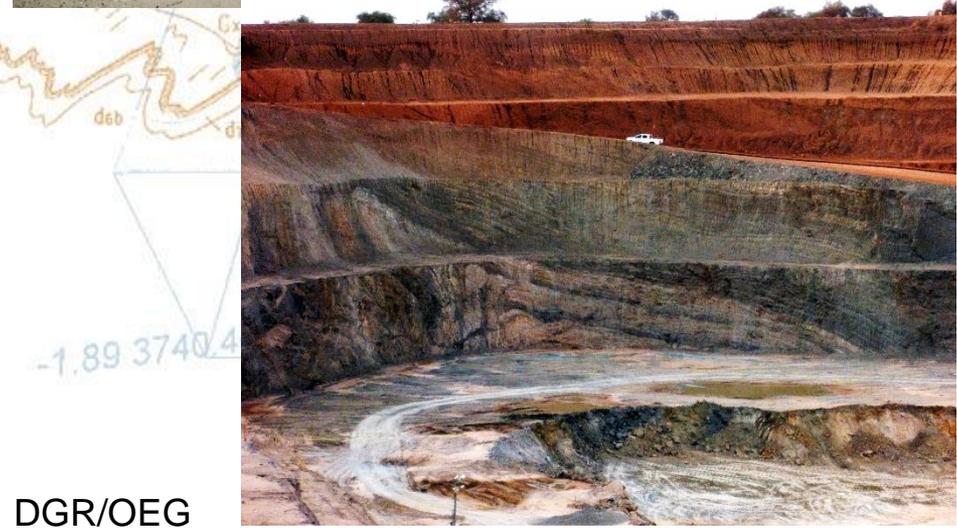
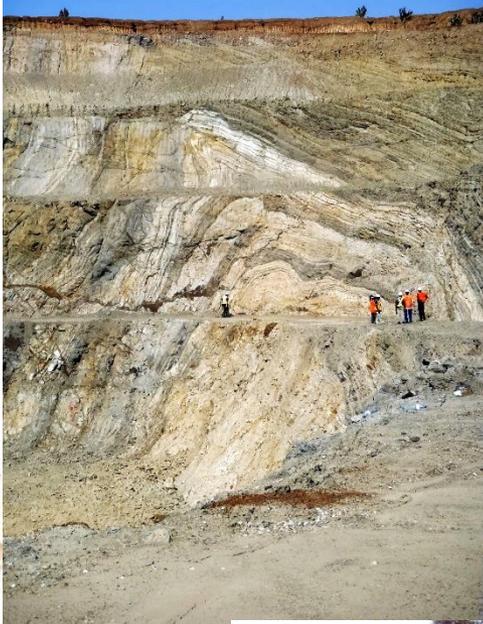
Infrastructures de traitement et gestion des eaux



Google Earth



Mines à ciel ouvert et infrastructures



DGR/OEG



LE STOCKAGE DES STÉRILES ET DES RÉSIDUS MINIERS (1)

CMO : LE STOCKAGE DES STÉRILES ET DES RÉSIDUS MINIERS

« Deux verses de stockage des stériles d'extraction (verses à stériles) et un parc de stockage des résidus de traitement miniers sont prévus. La verse à stériles centrale et le parc à résidus seront situés sur le « flat 80 » **de la crique Infirmes, zone qui a fait l'objet d'intenses travaux d'orpaillage depuis la fin du XIXème siècle (exploitation historique)** jusqu'à ces dernières années. Son altitude est d'environ 90 m NGG 81. Après 12 années d'exploitation, le parc à résidus d'une superficie de 190 ha aura une capacité de 45 millions de m³, avec une hauteur maximale de 57 mètres après quatre phases de rehaussement étalées sur les 12 ans. Il sera délimité sur 3 de ses flancs par des digues et sur le dernier par le bas du versant de la montagne Pauline. **Les zones de stockage des stériles et le parc à résidus miniers ont été conçus de façon à garantir leur stabilité tout en assurant une imperméabilité et préserver ainsi les eaux de surface et les eaux souterraines durant l'opération et après la fermeture de la mine (voir page 93).**»



Ancien fond de flat placer orpaillé avec présences de débris métalliques et blocs anguleux pouvant, à la compaction différentielle, cisailer et perforer des géotextiles classiques

« Pour le parc de stockage des résidus miniers, l'étanchéité du fond du bassin sera assurée au moyen d'une géomembrane 82 imperméable recouvrant l'intégralité du fond et des flancs. »



80 Vallée à fond plat.

81 NGG : nivellement général de la Guyane- ensemble de repères permettant de déterminer l'altitude d'un lieu. En Guyane, le niveau de référence est le niveau moyen de la mer à Cayenne.

82 Matériau synthétique ou naturel, se présentant sous forme de bande, utilisé en contact avec le sol pour assurer une fonction d'étanchéité **et soumis à des normes de qualité spécifiques à cette fonction.**



Géosciences pour une Terre durable

brgm

LE STOCKAGE DES RÉSIDUS MINIERS (2)

CMO Le risque de rupture de digue du parc à résidus
Afin de prévenir ce risque, et d'assurer une stabilité optimale des digues, les études géotechniques déjà réalisées sont actuellement complétées de manière à avoir une très bonne connaissance du site et de parfaitement définir les critères de conception et les procédures de construction de l'ouvrage.

La base de données spécialisée de Riskope intitulée « 100 ans de retour d'expérience de ruptures de digues de parc de stockages de résidus miniers » est en accès libre sur le site : <https://www.riskope.com/2017/02/22/hundred-years-lessons-learned-tailings-dams-failures/>.

Cette accidentologie couvre 289 évènements, sans limitation géographique, survenus entre 1915 et 2016. A noter que le nombre total d'accidents par décennie est passé de 50 accidents dans la période 1960 -1980, à moins de 30 par décennie depuis les années 2000, bien que le nombre de digues de parcs à résidus miniers dans le monde ait augmenté.

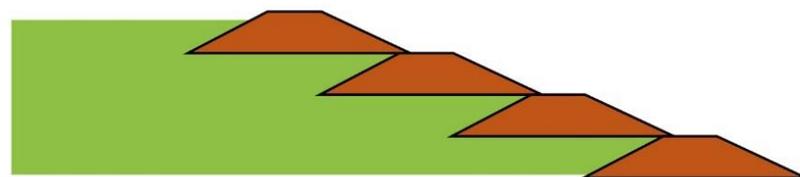
Lorsque le type de construction est documenté, 58 % des digues incriminées avaient été construites selon le mode de construction « amont », alors que celles construites selon la méthode « aval » représentent 17 % de cet échantillon.

« La méthode de construction « amont » consiste à rehausser la digue en s'appuyant sur les résidus stockés qui, lorsqu'ils ne sont pas assez consolidés, fragilisent le soubassement de l'ouvrage.

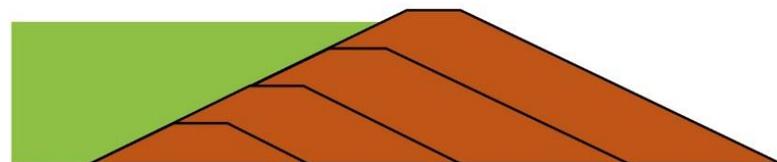
La méthode de construction « aval », qui consiste à ajouter des matériaux sur le versant extérieur des digues permettant ainsi d'assurer une meilleure stabilité, a été retenue pour le projet Montagne d'Or. »



2113 21 5786 13 0



Méthode « amont »



Méthode « aval » retenue pour le projet

Source : Compagnie minière Montagne d'Or



Valorisation des productions autochtones



Etude de « EBS Soil Stabilizer » comme matériaux de revêtement sur les routes en terre : cas des routes minières d'Essakane S.A.

Tableau 7 : Comparatif des deux stabilisateurs

	EBS	MELASSE
Composition chimique	Nano copolymère	une faible quantité de sucre, de la vitamine B6 et des minéraux (calcium, magnésium, potassium et fer).
Etat physique	Liquide	Liquide
Couleur	Blanc laiteux (avant de traiter) transparent (une fois traité)	noire
Provenance	Afrique du sud	Cote d'Ivoire
Superficie d'application	224 906 m ²	224 906 m ²
Equipements utilisés	<ul style="list-style-type: none"> - Niveleuse - Chargeuse - Benne - Tracto pelle - Compacteur - Citerne d'eau - Citerne pour le produit 	<ul style="list-style-type: none"> - Niveleuse - Compacteur - Citerne d'eau - Citerne pour le produit - Chargeuse - benne
Technique d'application	<ul style="list-style-type: none"> - Racler la surface - Arroser d'eau - Etaler la latérite - Compacteur - Arroser du produit 	<ul style="list-style-type: none"> - Nivelier - Compacteur - Scarifier - Arroser d'eau - Arroser du produit
Contraintes	Fermeture de la route traitée	Fermeture de la route traitée (épandage nocturne)
Entretien	Journalier : balayage du gravier Annuel : épandage du produit	Journalier : aucune maintenance Annuel : Faible circulation : 2 fois/an Forte circulation : 3 fois /an
Quantité de produit	101 207.7litres (0.45l/m ²)	899 624 litres (4l/m ²)
Ratio d'eau/produit	20 :1	<ul style="list-style-type: none"> - Couche mince : 3 :1 - Couche épaisse : 2 :1 ou 1 :1
Solubilité	Soluble (avant de traiter) Insoluble (une fois traité)	Soluble avant et après le traitement



le dépoussiérage à l'eau des pistes de roulage génère des flaques argileuses glissantes en augmentant les ruissellement et la création de nid de poules

la mélasse pour endurcir la surface et éviter le dépoussiérage à l'eau des pistes de roulage des lieux de vie et bureau ?



http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1252



Documentations et liens utiles



Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère en Guyane. Impacts potentiels sur l'environnement et recommandations. Rapport final BRGM/RP-. 61968-FR, 120 pages.. MOISAN M. et BLANCHARD F - 2012

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61968-FR.pdf>

La mine responsable en France – Référentiel technique – Tome 8 - Exploration et exploitation minière en Guyane

http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/tome_08_guyane_final24032017.pdf

Cyanure Guyane Ineris- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.pdf

<https://substances.ineris.fr/fr/substance/getDocument/3097>

Projet Montagne d'or - dossier du maître d'ouvrage

<https://montagnedor.debatpublic.fr/images/Documents-Mo-montagnedor/Montagnedor-dossier-maitre-ouvrage-vweb.pdf>

Fine Gold Recovery – Alternatives to Mercury and Cyanide Purpose of study January 2007

<https://www.researchgate.net/publication/314237371>

SRK Consulting (U.S.), Inc. NI 43-101 Technical Report on Updated Resource - Montagne d'Or Gold Deposit, Paul Isnard Project

<http://www.columbusgoldcorp.com/i/pdf/techrep-2015-06-03-Paul-Isnard-SRK.pdf>

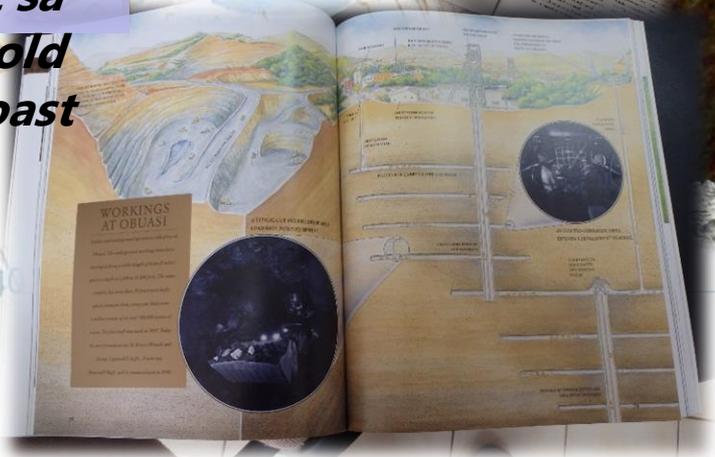
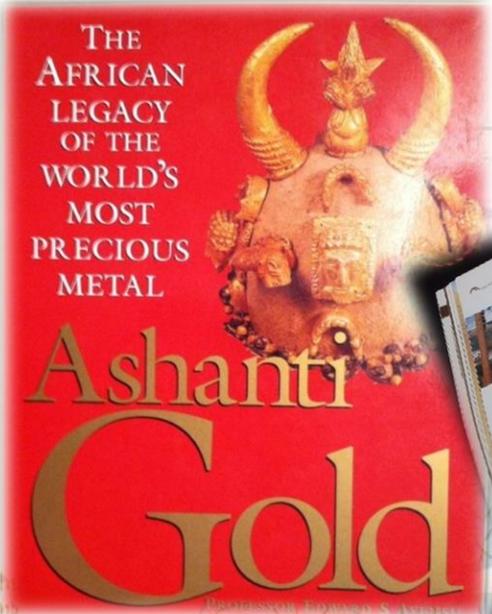
Columbus Gold Corporation Paul Isnard Project Montagne d'Or Prospect 4 August 2014

<http://www.columbusgoldcorp.com/i/pdf/techrep-2014-08-04-Paul-Isnard.pdf>

Méthodes d'exploitation aurifères au Guatemala

<https://riosuerte.com/in-the-beginning-there-was-gold/>





La valorisation de l'activité aurifère par les parties prenantes

Le Ghana et sa Gold Coast

