



#MAROC_MINES_OR: Les techniques et conditions d'exploitation des mines aurifères

#MAROC_MINES_OR: Les techniques et conditions d'exploitation des mines aurifères
 Préambule
 L'exploitation minière consiste à extraire des minerais, c'est-à-dire des roches de la croûte terrestre contenant des minéraux ou des métaux utiles en proportion suffisamment intéressante pour justifier leur exploitation. Dans cet article, il est question de l'or, dont le symbole chimique est Au. Deuxième matière métallique (après le cuivre) à avoir été découverte par l'Homme, l'or est un métal qui, de tout temps, n'a cessé de fasciner, d'attiser les convoitises et de déchaîner les passions. Les premières exploitations aurifères connues et décrites sont celles qui eurent lieu en Égypte, cinq millénaires avant notre ère. L'une des premières cartes minières de l'histoire de l'humanité est probablement celle représentant les mines d'or souterraines dans l'Ouadi Hammamat (une zone se situant entre Louxor et la mer Rouge). Datant de 1150 avant J.-C, elle est exposée au Museo Egizio de Turin (Italie). Figure 1 La carte minière d'Ouadi Hammamat Depuis ces temps reculés, l'activité minière n'a cessé de progresser et de s'adapter aux défis auxquels elle a dû faire face. Les méthodes d'extraction et de traitement des minerais n'ont cessé d'évoluer, mobilisant pour ce faire toutes les ressources de la recherche et développement. De nouveaux modèles miniers basés sur les progrès considérables réalisés en matière de sécurité, de protection de l'environnement, de mécanisation et de numérisation ont au fil du temps vu le jour. Les techniques d'exploitation des mines aurifères La phase d'exploitation d'une mine correspond à la période durant laquelle on

extrait le minerai pour valoriser le métal (ou les métaux) commercialisable(s) qu'il contient. Elle peut se poursuivre sans interruption sur une longue période pouvant aller de plusieurs années à quelques décennies. Elle comprend aussi bien l'extraction et le traitement du minerai que les activités connexes. L'extraction du minerai Pour l'extraction des minerais d'or, les deux principales techniques utilisées sont : - la mine souterraine, - et la mine à ciel ouvert. Le choix du type de mine dépend de différents facteurs, tels que la profondeur du gisement, sa géométrie, son contexte géologique et géomorphologique, son empreinte au sol et les coûts d'extraction. La mine souterraine L'exploitation d'une mine souterraine consiste à extraire le minerai d'un gisement à partir de puits et de galeries créés sous la surface du sol, sans qu'il soit nécessaire d'enlever l'intégralité des matériaux stériles qui le surmontent. Dans les mines souterraines, on pratique une extraction plus sélective comparativement à celle opérée dans les mines à ciel ouvert, le rapport entre le volume de stériles et le volume de minerai extrait y est d'ailleurs beaucoup moins élevé. Les stériles sont souvent utilisés en tant que matériau de remblayage pour servir au renforcement des parois et plafonds des excavations souterraines. Les stériles qui ne servent ni à la construction ni au remblayage sont remontés à la surface pour y être entreposés. Pour une exploitation souterraine, une quantité minimale de morts-terrains est donc enlevée pour accéder au gisement ; elle correspond aux travaux d'ossature, par exemple, des rampes, des descenderies, des galeries, des puits… Ces derniers permettent d'accéder au minerai et de mettre en place toutes les infrastructures nécessaires pour assurer l'aération, l'exhaure, l'accès du personnel et l'évacuation du minerai. La Figure 2 ci-dessous présente une coupe transversale typique d'une mine souterraine. Figure 2 Coupe transversale d'une mine souterraine (d'après « Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux », gouvernement du Canada) Les fondations du chevalement du puits principal reposent sur les morts-terrains, il abrite le skip qui sert de monte-charge. Le fond du puits sert de puisard. À différentes profondeurs de la mine, des galeries horizontales sont creusées qui permettent d'atteindre la zone minéralisée ou d'accéder aux chantiers. Des rampes d'accès sont utilisées pour atteindre les différents niveaux d'exploitation. Le minerai peut être envoyé vers un concasseur souterrain pour y être fractionné, avant d'être stocké dans la trémie à minerai. Des galeries d'exploration sont creusées pour échantillonner, à l'aide de forages, les zones minéralisées se situant plus en profondeur. Un puits de ventilation conduisant à la surface permet un apport d'air frais. Résumé des principaux avantages et caractéristiques/inconvénients d'une mine souterraine - Un taux de roche excavée souvent moindre que pour une mine à ciel ouvert ; - Une teneur de la minéralisation variant de modérée à très haute ; - Une profondeur allant de 200 à 3 000 m (voire plus) ; - Un investissement généralement plus élevé que celui nécessaire dans les mines à ciel ouvert ; - Une étendue de l'opération en surface plus faible (d'où une réduction de l'impact environnemental) ; - Une récupération possible de la roche stérile pour servir au remblayage souterrain (une diminution des rejets à la surface) ; - Des coûts de production à la tonne généralement plus élevés que ceux des mines à ciel ouvert ; - Un échéancier de mise en production plus long ; - Des risques plus élevés. La mine à ciel ouvert (MCO) L'exploitation à ciel ouvert (MCO ou open pit) est la méthode privilégiée pour extraire le minerai de gisements situés près de la surface (typiquement entre 0 et 400 m de profondeur) ; le coût par tonne de minerai extrait est généralement inférieur à celui du minerai extrait en recourant à des méthodes souterraines. Le choix de la méthode à ciel ouvert porte sur : - les possibilités d'extension de la fosse (en hauteur (ou en profondeur), en longueur et en largeur) ; - la géométrie des flancs, en gradins plus ou moins hauts et pentus, en banquettes plus ou moins larges, avec pour objectifs de limiter le volume des stériles et d'assurer la stabilité des pentes. On distingue classiquement, selon la disposition des zones minéralisées : - l'exploitation en découverte (pour des gisements stratiformes, peu profonds et s'étendant sur une grande surface horizontale) ; - l'exploitation en

fosse (lorsque le gisement s'enfonce dans le sous-sol et présente une extension latérale réduite). Pour les minerais d'or, c'est l'exploitation en fosse qui est la règle. Les exploitations à ciel ouvert requièrent généralement le recours à des engins de chantier aux gabarits « hors normes », comme ceux que l'on peut rencontrer dans certaines grosses carrières ou exploitations de granulats (pelles hydrauliques, dumper, chargeuses de fort gabarit). La constante amélioration technologique de ces engins et leur adaptation aux méthodes d'extraction actuelles ont été des éléments déterminants dans le choix du type d'exploitation le plus adapté. C'est ainsi que de plus en plus de mines sont exploitées à ciel ouvert en raison des progrès réalisés sur ce type de matériels et de leur capacité de chargement, qui permettent d'abaisser les coûts d'exploitation de ces mines. La Figure 3 ci-dessous décrit le schéma d'une exploitation à ciel ouvert en fosse. Figure 3 Schéma d'une exploitation à ciel ouvert en fosse (Source : <http://ticri.univ-lorraine.fr>). Résumé des principaux avantages et caractéristiques/inconvénients d'une mine à ciel ouvert - En général, un haut volume de roche excavée (taux de production élevé) ; - Une teneur de la minéralisation variant de faible à haute ; - Des mines peu profondes (de 0 à 400 m (parfois plus) de profondeur) ; - Étendue de l'opération en surface plus grande que les opérations souterraines (impact environnemental plus important) ; - Des coûts de production à la tonne très bas ; - Un équipement d'extraction de grandes dimensions ; - Une mise en production rapide. La Figure 4 ci-après donne l'exemple d'une exploitation à ciel ouvert en fosse. Il s'agit de la fosse Royal Hill de la mine d'or de Rosebel exploitée par IAMGOLD, au Suriname. Figure 4 La mine d'or de Rosebel au Suriname Photo © IAMGOLD

Le traitement des minerais Le traitement des minerais (appelé minéralurgie) regroupe les méthodes mises en oeuvre pour séparer les minéraux ou les métaux de la roche encaissante pour permettre leur récupération et leur valorisation. Un procédé minéralurgique comporte sommairement deux étapes successives : - la comminution (ou fragmentation) : elle se décompose en deux stades, une opération de concassage suivie d'un broyage plus ou moins fin du minerai ; ces deux opérations s'effectuent en plusieurs étapes, au travers de criblages intermédiaires visant, selon le cas, à éliminer une partie (stérile) du minerai ou à recycler vers l'amont les plus grosses particules ; - la séparation proprement dite, visant à dissocier les phases minérales valorisables de la roche encaissante stérile ; on peut utiliser des méthodes exclusivement physiques (magnétiques, gravimétriques, optiques, électrostatiques, etc.), physico-chimiques (flottation), biochimiques (action de bactéries) ou chimiques (cyanuration). Le concentré obtenu fait souvent l'objet d'un conditionnement final avant d'être envoyé vers la métallurgie. Le cas particulier des minerais d'or Cet article étant consacré aux minerais d'or, nous ne présenterons ici que les types de traitements applicables à ces minerais. Lorsqu'il se présente sous forme native (le plus souvent le cas), l'or est quasi pur. Mais il peut être disséminé sous forme de particules de plus ou moins grandes dimensions (de quelques microns à quelques millimètres) dans la roche ou être un accompagnateur d'autres types de minerais (minerais d'arsenic, de cuivre, d'antimoine…). Le choix des procédés de traitement dépendra du fait que l'or est ou non libre, sa granulométrie a aussi une incidence. Figure 5 Quelques exemples de matériels utilisés pour procéder au traitement gravimétrique des minerais d'or Photo © Philippe Matheus

Les principaux cas de figure rencontrés sont les suivants : - Minerais dans lequel l'or est libre et grossier (alluvions, éluvions, filonien oxydé). - Peuvent être mis en oeuvre des traitements physiques et physico-chimiques : - particules > 200 μm : gravimétrique (de base : jig, sluice, tables) ; - particules < 200 μm : gravimétrique (base améliorée + centrifuge) et flottation (hydro et pyrométallurgie). Minerais dans lequel l'or est libre, mais finement disséminé (< 50 μm) ou inclus dans un autre minéral (pyrite ; arsénopyrite ; zone sulfurée). Peuvent être appliqués des traitements physiques et physico-chimiques (gravimétrique de pré-concentration (centrifuge) et flottation), ainsi que des traitements chimiques (prétraitement par bio-métallurgie ou voie thermique ; hydrométallurgie

(emploi de cyanure)). Les procédés de traitement gravimétrique Les procédés de traitement gravimétrique s'appuient sur l'une des propriétés physiques de l'or, à savoir sa densité. Ces procédés consistent donc à travailler sur la différence de densité existant entre l'or (densité 19,3) et les autres minéraux qui l'accompagnent dans le but de les séparer. Si l'or libre se présente sous la forme de paillettes ou de grains (cas des gisements alluvionnaires), il n'y a pas besoin de préparation mécanique préalable autre que le débouillage du minerai ; le traitement gravimétrique s'applique alors directement sur le gravier aurifère. Dans le cas de gisements primaires se composant de roches dures et compactes, il faudra faire subir au minerai une préparation mécanique (la comminution), laquelle est destinée à libérer l'or contenu dans la roche. Soucieux de ne pas entrer dans des détails trop techniques, nous nous contenterons de citer quelques matériels de traitement qui s'appuient sur les principes de fonctionnement gravimétrique : - sluice, cône, spirale (saltation = mode de transport de particules dans un courant) ; - jig (accélération différentielle pulsion/suction) ; - table à secousses (accélérations différentielles et couches) ; - concentrateur centrifuge (effet centrifuge, accélération radiale jusqu'à 300 G).

La flottation La flottation est une technique de séparation fondée sur les différences d'hydrophobicité que présentent les surfaces des particules à séparer. C'est un procédé de séparation d'un mélange de corps finement broyés ; il utilise la propriété qu'ont certaines substances de fixer en milieu aqueux des bulles d'air, ce qui leur permet d'afficher une densité artificiellement réduite. Les minéraux hydrophobes s'accrochent spontanément aux bulles d'air contenues dans un bain liquide et ont de ce fait tendance à remonter à la surface ; les minéraux hydrophiles tombent au contraire au fond du bain. La flottation utilise cette propriété en activant aussi bien les caractères hydrophobes (grâce à des collecteurs) que les caractères hydrophiles (grâce à des déprimants). La séparation de la gangue et des minéraux est réalisée dans des cellules de flottation, ce sont de grands bacs de plusieurs mètres cubes dans lesquels on introduit la pulpe, qui est un mélange d'eau et des produits à séparer lesquels ont été préalablement broyés à une taille de 100 ou 200 μm . Une agitation est entretenue pour maintenir les particules en suspension et l'utilisation de produits moussants (huile de pin, alcools, acide crésylique) favorise la formation des bulles d'air. La mousse enrichie en minéral hydrophobe est évacuée par débordement. La flottation est utilisée industriellement pour concentrer les minerais de nombreuses substances minérales, qu'elles soient ou non métalliques, en particulier les minerais sulfurés qui peuvent contenir de l'or. Cette technique permet de concentrer les teneurs initiales (on passe de quelques g/t à quelques milliers de g/t). Mais le concentré obtenu doit encore subir un traitement, car si la flottation conduit à l'obtention de concentrés riches en différents éléments (or, cuivre, zinc, etc.), elle ne permet pas d'opérer la séparation de ces éléments.

La cyanuration L'extraction hydrométallurgique par cyanuration est le procédé le plus répandu (la production mondiale d'or provient à plus de 80 % de mines utilisant la cyanuration). Le principe en est le suivant, l'or présent dans le minerai est traité par une solution diluée de cyanure (essentiellement de sodium) en milieu basique ($\text{pH} \geq 10$) et en présence d'oxygène : Schématiquement, on peut différencier deux grandes méthodes de cyanuration : - la cyanuration en cuve, - et la lixiviation en tas.

Figure 6 Principe de la flottation et exemples de cellules Photo \textcopyright J.-F. Thomassin

La cyanuration en cuve La mise en oeuvre traditionnelle de la cyanuration est effectuée dans une série de cuves. Le minerai après broyage ($\leq 100 \mu\text{m}$) est introduit sous forme de pulpe dans des réacteurs placés en série pour y être mis en contact avec le cyanure. Dans les cas les plus fréquents, ces réacteurs possèdent un système d'agitation (hélice) qui permet de maintenir la pulpe en suspension et d'assurer le brassage de l'air dans la cuve. Une injection d'air supplémentaire est parfois assurée via des tubes placés près du système d'agitation. Le temps de séjour de la pulpe dans les réacteurs est fonction de la cinétique d'extraction de l'or qui a été définie lors des essais préalables. La solution d'ions aurocyanures et la

pulpe ne sont pas séparées et passent dans des cuves contenant du charbon actif destiné à adsorber l'or (voir le paragraphe ci-après intitulé « La récupération de l'or »). Lixiviation en tas La lixiviation en tas est plutôt destinée au traitement des minerais à très faible teneur. Préalablement à l'opération de lixiviation, le minerai tout venant ou le minerai concassé est gerbé sur des tas de 10 à 20 mètres de hauteur qui reposent sur une couche imperméable (membrane étanche). Une solution de cyanure dilué est pulvérisée sur le tas ; et en percolant à travers le minerai, elle dissout l'or qui y est présent. La solution, qui est dite « sursaturée » d'or, est ensuite dirigée vers un bassin, pour y être pompée et envoyée dans des colonnes où l'or est récupéré par adsorption sur charbons actifs. Le procédé de lixiviation en tas offre un certain nombre d'avantages : - Les coûts de broyage sont réduits puisque le minerai est uniquement concassé ; - La solution de cyanure est recyclée lors de son passage à travers le tas, réduisant ainsi la quantité de cyanure utilisée dans le processus de traitement ; - Cette méthode convient tout particulièrement aux minerais affichant les plus faibles teneurs, qui sont poreux ou présentent une fracturation susceptible de permettre à la solution cyanurée de percoler jusqu'à l'or. La récupération de l'or La solution contenant le complexe aurocyanures peut être traitée par cémentation (procédé Merrill-Crowe) en utilisant du zinc. Mais, de plus en plus souvent, c'est la fixation de l'or sur charbon actif qui est utilisée comme nous venons de l'évoquer. Une tonne de charbon actif peut permettre d'adsorber 70 kg d'or. L'or est récupéré en traitant le charbon grâce à une solution chaude (portée à température d'ébullition) se composant de 1 % de soude et de 0,1 % de NaCN (cyanure de sodium). Le charbon est recyclé après avoir été chauffé à 600-750 °C, à l'abri de l'air. L'or est récupéré par électrolyse. Il se dépose sur une cathode en laine de fer, avant d'être fondu. L'or obtenu est d'une haute pureté. Les mines aurifères de Guyane Rappel historique C'est en 1854 que Paoline, un orpailleur brésilien, découvre pour la première fois (découverte officielle) de l'or dans une rivière de l'Est guyanais. Cet événement provoqua rapidement une ruée vers l'intérieur des terres de milliers de prospecteurs qui écrémeront au fil des années les zones les plus riches des placers mis en évidence. Pendant près d'un siècle, la Guyane va vivre au rythme des découvertes de filons et des déceptions, des rushes et des périodes d'accalmie au cours desquelles les mineurs rivaliseront d'audace et d'ingéniosité pour arracher à la terre guyanaise un peu plus de 200 tonnes d'or ! Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les accords de Bretton Woods, qui fixent arbitrairement le cours de l'or à 35 \$ l'once, sonnent le glas de cette grande aventure. Il faudra attendre la fin de ces accords, en 1971, et la mise en oeuvre de l'inventaire minier de la Guyane par le BRGM, en 1975, pour qu'une timide reprise de l'activité se dessine. Figure 7 À gauche : exemple de lixiviation en tas. À droite : des cuves de cyanuration et utilisation du procédé d'adsorption sur charbons actifs Photo © J.-F. Thomassin Les années 1990 voient l'arrivée de nouveaux opérateurs miniers qui vont introduire en Guyane la méthode d'extraction de l'or reposant sur l'emploi de lances monitor et de pompes à gravier. L'efficacité de cette technique nouvelle particulièrement adaptée à l'exploitation de l'or alluvial va conduire les petits mineurs et les PME de Guyane à rapidement l'adopter, conduisant ainsi à relancer une activité alluvionnaire jusqu'alors atone. En quelques années, la production alluvionnaire légale va décoller pour atteindre un peu plus de 4 tonnes en 2001, et ce malgré un cours de l'or déprimé. La contrepartie sera un développement anarchique et exponentiel de l'activité illégale qui était jusque-là limitée, celle-ci perdure aujourd'hui. Au début de ces mêmes années 1990, les grandes compagnies minières internationales lancent de nouveaux programmes d'exploration suite, notamment, à la publication des résultats de l'inventaire minier du BRGM. Malgré le coup d'arrêt porté par l'État français, en 2008, au projet d'exploitation du gisement de camp Caïman par IAMGOLD, certaines sociétés internationales vont poursuivre leurs programmes de recherches aboutissant à de nouvelles découvertes, comme celle du gisement de Montagne d'Or dans l'Ouest guyanais actuellement au stade de l'étude de sa faisabilité.

L'exploitation minière en Guyane aujourd'hui En Guyane, l'activité du secteur minier se borne actuellement à l'exploitation de gîtes aurifères superficiels, de placers alluviaux ou de gisements primaires de subsurface. Les opérateurs miniers sont des entreprises artisanales et des sociétés d'exploitation de type PME ou PMI. Par nature peu capitalistiques, elles peinent pour mobiliser les lourds moyens financiers que requiert l'activité minière industrielle portant sur des gisements primaires importants. Cette activité génère un peu plus de 500 emplois pour une production annuelle qui stagne entre 1,2 et 1,5 tonne d'or. Les différents types de gisements exploités en Guyane Les gisements actuellement exploités en Guyane sont de deux types (voir la Figure 9 de la page suivante) : - des petits gisements primaires de la zone d'oxydation dans la saprolite ; - et des placers alluvionnaires (accessoirement des éluvions). Figure 8 Un exemple de mine à ciel ouvert, l'usine de Dieu Merci, en 2011 Photo © Philippe Matheus Figure 9 Synthèse des différents gisements exploités en Guyane (d'après BRGM, 2004) Les types d'exploitation Petits gisements primaires Même si par le passé, il y a eu quelques tentatives d'exploitation souterraine en Guyane, les exploitations actuelles de petits gisements primaires sont de type « à ciel ouvert » (MCO). Les placers alluvionnaires Même si elle reste du type MCO, l'exploitation des placers alluvionnaires s'avère très spécifique. Si elle n'est pas pratiquée en France métropolitaine, elle l'est en revanche en Guyane. Cette exploitation est cependant soumise à certaines règles qui sont, pour l'essentiel, énumérées ci-dessous. Les activités d'exploitation minière sont interdites dans les cours d'eau dont le lit mineur est inférieur à 7,5 mètres de large. Elles sont également interdites : - dans les cours d'eau dont le lit mineur a une largeur comprise entre 7,5 et 20 mètres, sur les terrasses situées à une distance de moins de 35 mètres de la berge du cours d'eau ; - dans les cours d'eau dont le lit mineur est d'une largeur supérieure à 20 mètres, dans une bande d'au moins 50 mètres, et ce afin de limiter les risques liés aux crues au travail en lit majeur. La largeur de cette bande est fixée de manière précise par l'acte autorisant les travaux sur la base d'une analyse des zones d'expansion des crues et de limites des crues fournie par le pétitionnaire à l'appui de sa demande. L'acte autorisant les travaux impose également à l'exploitant de travailler en toute saison en circuit fermé ; et fixe, pour les rejets, un niveau de concentration des matières en suspension (MES) qui ne peut être supérieur à 35 mg/l. Un schéma « type » décrivant les différentes phases d'exploitation est présenté dans la Figure 10 de la page suivante. Figure 10 Placers alluvionnaires. Schéma « type » d'exploitation (d'après Philippe Matheus) La Figure 11 de la page suivante est une vue aérienne d'une exploitation alluvionnaire en Guyane. Elle montre les différentes phases d'exploitation et présente le travail en circuit fermé. Figure 11 Photo aérienne d'une exploitation alluvionnaire en Guyane Photo © Philippe Matheus Les méthodes de traitement Petits gisements primaires À ce jour, seules la société Auplata et la Société de Mines de Saint-Élie exploitent des gisements primaires. Les méthodes de traitement des minerais extraits de la zone d'oxydation des gisements exploités sont uniquement gravimétriques. Le schéma de traitement est globalement le même, à quelques variantes près : - Après une phase de concassage primaire par concasseur à mâchoires, le minerai est ensuite acheminé vers une série de broyeurs à marteaux qui le réduisent à une granulométrie ≤ 2 mm. - Le minerai mis en pulpe circule sur des sluices destinés à piéger l'or « gros » avant d'être pompé vers un (ou plusieurs) broyeur(s) à boulets afin d'être amené à une granulométrie ≤ 200 μm. La pulpe est ensuite dirigée vers un (ou plusieurs) concentrateur(s) centrifuge(s) destiné(s) à piéger l'or fin. - La surverse du concentrateur est acheminée vers un hydrocyclone positionné en tête du broyeur afin de ne recycler que la fraction > 200 μm, laquelle sera rebroyée avant de passer à nouveau dans le concentrateur. Entre 1987 et 1996, la mine de Changement, dans l'Est guyanais, a traité, avec de très bons résultats, son minerai oxydé par lixiviation en tas, après concassage et une phase de gravimétrie, dans des aires étanches couvertes (en raison des fortes précipitations qui caractérisent cette région). La société Auplata



construit actuellement une usine de traitement par cyanuration en cuve d'une capacité de 300 tonnes/jour, qui devrait être opérationnelle dans le courant du second semestre 2018. Figure 12 Différentes étapes d'extraction et de traitement du minerai Les placers alluvionnaires Pour les exploitations alluvionnaires, la méthodologie est la suivante : - Le gravier minéralisé est débourbé sur une grille de calibrage équipée d'un scalpeur. La pulpe contenant la fraction la plus fine (< 20 mm) circule sur une série de sluices étagés garnis de métal déployé et de moquettes qui permettent le piégeage de l'or. - Les sluices sont « levés » (clean-up) à intervalles réguliers, les concentrés sont traités au laboratoire au moyen de tables à secousses afin de récupérer l'or sous forme de concentrés de tablage, lesquels sont ensuite acheminés vers un comptoir de fonte, avant de faire l'objet d'un affinage. L'emploi du mercure est interdit en Guyane depuis 2006, une interdiction que la grande majorité de la profession avait anticipée depuis de nombreuses années ne travaillant plus que par gravimétrie. Une réhabilitation/revégétalisation À l'issue de l'exploitation, les sites sont réhabilités et revégétalisés au fur et à mesure, conformément au processus présenté dans la Figure 13 ci-contre. Figure 13 Placers alluvionnaires. Schéma « type » de réhabilitation et de revégétalisation (d'après Philippe Matheus) Photo © Philippe Matheus Mis en ligne sur Cairn.info le 30/10/2018 <https://doi.org/10.3917/rindu1.184.0010> Le 4 Novembre 2018 Source web Par : cairn