

# La mine et le traitement des minerais de nickel



Les gisements de la Nouvelle-Calédonie appartiennent à la catégorie des gisements oxydés. Ils se sont formés par enrichissement en nickel au cœur de manteaux d'altération latéritiques développés sous climat tropical à partir des péridotites\* constituées principalement d'olivine.

Selon leur composition chimique, les mineurs distinguent deux catégories de minerais résultant des processus

d'altération, les minerais « saprolitiques\* » ou minerais silicatés riches en garniérites\* et les minerais « latéritiques », limonites\* des Anglo-Saxons, riches en oxydes et hydroxydes de fer. Tous deux sont exploités à ciel ouvert. Cette exploitation impacte directement les écosystèmes et les mesures de restauration écologique sont obligatoires. Les minerais sont soit traités sur place par pyrométallurgie\* pour les minerais silicatés ou par hydrométallurgie\* pour les minerais latéritiques, soit traités

en Australie, Corée et Japon pour l'essentiel à ce jour. Les impacts environnementaux sont étudiés, limités aux normes en vigueur et étroitement surveillés par des observatoires indépendants ; conjuguer la valorisation de ces ressources non durables en respectant les hommes et leur environnement est une priorité absolue qui devra le rester sur la base d'efforts constants, de rigueur, de législation, d'élévation partagées des consciences et de la déontologie en la matière.

## La formation des gisements

La Nouvelle-Calédonie est un fragment de croûte continentale initialement rattaché au nord-est de l'Australie. Il s'en est détaché au Crétacé\* (80 Ma) et s'est éloigné à la faveur d'une dorsale aujourd'hui inactive. À l'Éocène\* terminal, il y a 35 à 40 Ma, le chevauchement d'un fragment de lithosphère océanique sur le substratum volcano-sédimentaire constitue l'événement géologique majeur (voir planche 13). De la nappe ophiolitique\*, aujourd'hui profondément érodée, il ne reste que la partie inférieure formée de péridotites qui couvrent actuellement environ un tiers de la surface de la Grande Terre.

L'olivine est le constituant principal de la péridotite non altérée. Elle contient une faible proportion de nickel, variable entre 0,2 et 0,3 %. C'est l'altération supergène\* de la péridotite sous climat tropical qui a conduit à la formation des gisements latéritiques. Le minimum de temps nécessaire au développement d'un gisement oxydé par altération de la roche est de 1 à 3 millions d'années. Cette durée est fonction de la pluviosité\*, de l'acidité des solutions qui percolent à travers la roche, de l'intensité de sa fracturation, de la prééminence des processus d'altération géochimique sur ceux de l'érosion mécanique.

La distribution au sein des profils des volumes fragilisés par la fracturation, ou au contraire épargnés, forme un réseau complexe de drains et d'obstacles le long desquels progresse le « front » d'altération, et où peut ensuite se concentrer la minéralisation. Ce phénomène est essentiel puisque le processus d'altération seul ne permettrait pas d'atteindre des concentrations en nickel exploitables. Le jeu des fractures crée les

contrastes physiques indispensables aux enrichissements qui assurent des volumes exploitables.

L'hydrolyse de la péridotite se traduit par le lessivage différentiel des minéraux formant la roche, les plus mobiles étant le magnésium et le silicium, ce qui a pour effet principal la concentration résiduelle des métaux (fer, nickel, chrome, cobalt). L'altération pénètre d'abord le long des joints et des fractures et « découpe » la roche en blocs irréguliers. Elle se déploie ensuite dans le reste du volume rocheux. La dissolution progressive des blocs conduit à la disparition de la péridotite et à son remplacement par les produits résiduels du lessivage.

Le nickel détaché de la structure minérale de l'olivine par l'hydrolyse s'associe d'abord aux oxydes et hydroxydes de fer nouvellement formés, puis il en est largement libéré lors de leur cristallisation en goethite, étape terminale du processus d'altération. Il migre alors vers la base du profil par entraînement en milieu aqueux où il peut y être piégé, s'y accumuler et former des silicates de nickel et de magnésium de couleur vert-bleuté, la garniérite.

## Les « terrains » des mineurs sont le reflet des grandes subdivisions du profil d'altération

Le « chrome de fer », la cuirasse et les pisolites ferrugineuses sont au sommet du profil d'altération. D'aspect scoriacé, épaisse de 1 à 3 m (très exceptionnellement 10 m), la cuirasse est le produit de la cimentation par les hydroxydes de fer des débris ferrugineux en place, ou remaniés. Elle est composée d'oxyhydroxydes ferriques, essentiellement de goethite. La grenaille pisolitique meuble fait la transition avec les terres.

Les « terres », saprolites\* fines, rouges puis jaunes, sont caractérisées par l'apparition de petits gravillons ferrugineux dans leur partie supérieure. L'hydrolyse des silicates est très largement achevée et la texture originelle a totalement disparu. Seuls persistent les oxydes et hydroxydes ferriques. Le volume initial de roche a été divisé par cinq, la densité par deux, la concentration en fer multipliée par dix. L'épaisseur des « terres » peut varier de quelques mètres à plus de 40 ; les latérites jaunes moins évoluées, plus argileuses et généralement légèrement enrichies en nickel et cobalt, en constituent la partie inférieure.

La « transition » est la zone de passage de la saprolite fine jaune à la saprolite grossière, habituellement inférieure à 3 m. C'est l'horizon qui contient le plus d'oxydes de cobalt et de manganèse, avec du nickel ; sa couleur varie du jaune au brun-verdâtre. Avec l'horizon des latérites franches, il forme le « minerai latéritique » ou encore « limonitique ». Les « garniérites », saprolite grossière située à la base du profil, sont l'expression naissante de l'altération de la roche mère, début de l'hydrolyse des silicates primaires. Cette zone est souvent recoupée de diaclases le long desquelles s'amorce d'abord le processus d'altération. La texture originelle de la roche est largement conservée. Elle présente un potentiel de rétention du nickel très important : la concentration peut être multipliée par 10, voire davantage. On parle alors de minerai « garniéristique ». L'épaisseur peut aussi varier de quelques mètres à plus de 40. Les saprolites les moins évoluées se situent à la base du profil et sont plus pauvres en nickel que celles qui sont proches de la transition avec les horizons de surface.



Un sondage au sol



Népoui - Le tritout en amont de la laverie



Le roulage du minerai



L'acheminement par convoyeur à Kouaoua



Le port de Doniambo

Jusqu'en 1987, année de construction en Australie d'une unité capable de valoriser les minerais basse teneur des latérites par hydrométallurgie, seul l'horizon saprolitique de base était exploité par les sociétés minières. La valorisation des basses teneurs a permis de tirer profit d'un plus grand volume altéré, tout en diminuant les quantités de matériaux stériles « de découverte ». En 2010, les minerais latéritiques de basses teneurs riches en fer représentent 31 % de la production des mines et 50 % des exportations de la Nouvelle-Calédonie.

## L'exploitation des mines

### La délimitation des gisements et l'évaluation des ressources

Le relief montagneux profondément disséqué reflète les intenses phénomènes d'érosion qui ont suivi la mise en place des péridotites et leur altération. La nappe ophiolitique est maintenant éclatée en plusieurs massifs isolés, séparés par des plaines ou des vallées.

Le géologue fait d'abord l'inventaire des surfaces favorables à partir de photographies aériennes, qu'il valide ensuite par des missions de reconnaissance au sol. Il s'agit de délimiter les plateaux ou les zones de faibles pentes qui pourraient receler des profils d'altération encore non érodés. Dans bien des cas, les surfaces non explorées sont sans accès, ou d'accès difficile, si bien que le recours à l'hélicoptère est souvent nécessaire. La prospection au sol a pour but de déterminer le potentiel nickélicifère des surfaces sélectionnées. Les affleurements sont levés au GPS et reportés sur un plan, analysés *in situ* à l'aide d'un spectromètre pour délimiter la minéralisation, puis décrits et échantillonnés pour apprécier les potentialités minières et métallurgiques du site (nature de la roche, degré d'altération et caractéristiques chimiques). Cette investigation ne donne toutefois qu'une indication superficielle qui doit être

complétée notamment par des sondages carottés en profondeur. Il s'agit alors de résultats d'exploration, mais pas encore de ressources minérales.

Depuis le début des années 2000, le recours plus fréquent à la prospection géophysique permet d'apprécier le développement du profil d'altération et de matérialiser *a priori* les volumes minéralisés qui pourront être recoupés ensuite par les sondages. Le cas échéant, les réseaux de drainage les plus importants peuvent être repérés, ce qui complète la connaissance de l'hydrogéologie du secteur. Cette information est particulièrement importante, car les massifs constituent de vastes réservoirs d'eau douce, indispensables à l'irrigation des plaines situées en contrebas.

Étant donné les difficultés d'accès, la volonté de réduire l'impact environnemental, l'évolution des moyens techniques depuis les années 1980 (sondeuses et hélicoptères) et la mise en place d'une réglementation plus contraignante, les sociétés optent de plus en plus pour les sondages hélicoptérés. Les carottes sont mesurées au fur et à mesure de leur remontée, décrites et analysées.

La densité des sondages, le taux de récupération des carottes prélevées et la précision des analyses déterminent la fiabilité ultérieure des modèles et calculs économiques à ce stade de la recherche. Souvent, plusieurs retours sur site sont nécessaires avant de parvenir au degré de connaissance suffisant pour définir les véritables ressources.

Le processus d'évaluation du gisement débute par la modélisation géologique de l'amas sur la base des observations déduites des sondages, étape qui permet de calculer les ressources minérales contenues. Des « facteurs miniers » sont ensuite introduits afin de simuler les effets de l'exploitation et du processus de valorisation. On quantifie ainsi les ressources

exploitables, qui seront dites supposées, indiquées ou mesurées en fonction de la précision de la modélisation géologique et de la densité d'information.

Une fois cette ressource délimitée et caractérisée, les projecteurs modélisent alors l'exploitation en tenant compte de l'ensemble des contraintes, notamment d'ordre environnemental et géologique (présence de forêt, continuité de la minéralisation, etc.). Cette modélisation aboutit au projet minier final et au dimensionnement de la flotte d'engins.

### L'extraction minière

Les mines de nickel sont toutes exploitées à ciel ouvert, bien que, jusque dans les années 1920, certaines d'entre elles furent exploitées (Boakaine à Canala) à l'aide de galeries creusées le long des filons de « garniérite », là où les teneurs en nickel étaient les plus fortes (7 % en moyenne en 1904 et 5,35 % en 1920).

Le schéma d'exploitation se résume à six étapes : la construction des voies d'accès et des ouvrages de gestion des eaux de ruissellement, le décapage des produits surmontant la partie valorisable des gisements, l'extraction des minerais et les tris successifs, l'évacuation des produits vers les sites de chargement, les chargements des minéraliers et la réhabilitation des sites.

Compte tenu du relief montagneux, et afin que les engins puissent évoluer sur des zones planes, les mines s'organisent en gradins d'une hauteur de l'ordre de 4 à 6 m, séparés par des banquettes afin de garantir la stabilité de l'ensemble. Certaines carrières, pour les plus importantes, peuvent compter plus de 20 niveaux.

Les tracés des voies d'accès projetés au bureau sont balisés par les topographes. Les routes sont ouvertes en déblais, en conservant un merlon naturel d'une hauteur minimale de 1,2 m afin de préserver le talus aval. Chaque passage de talweg

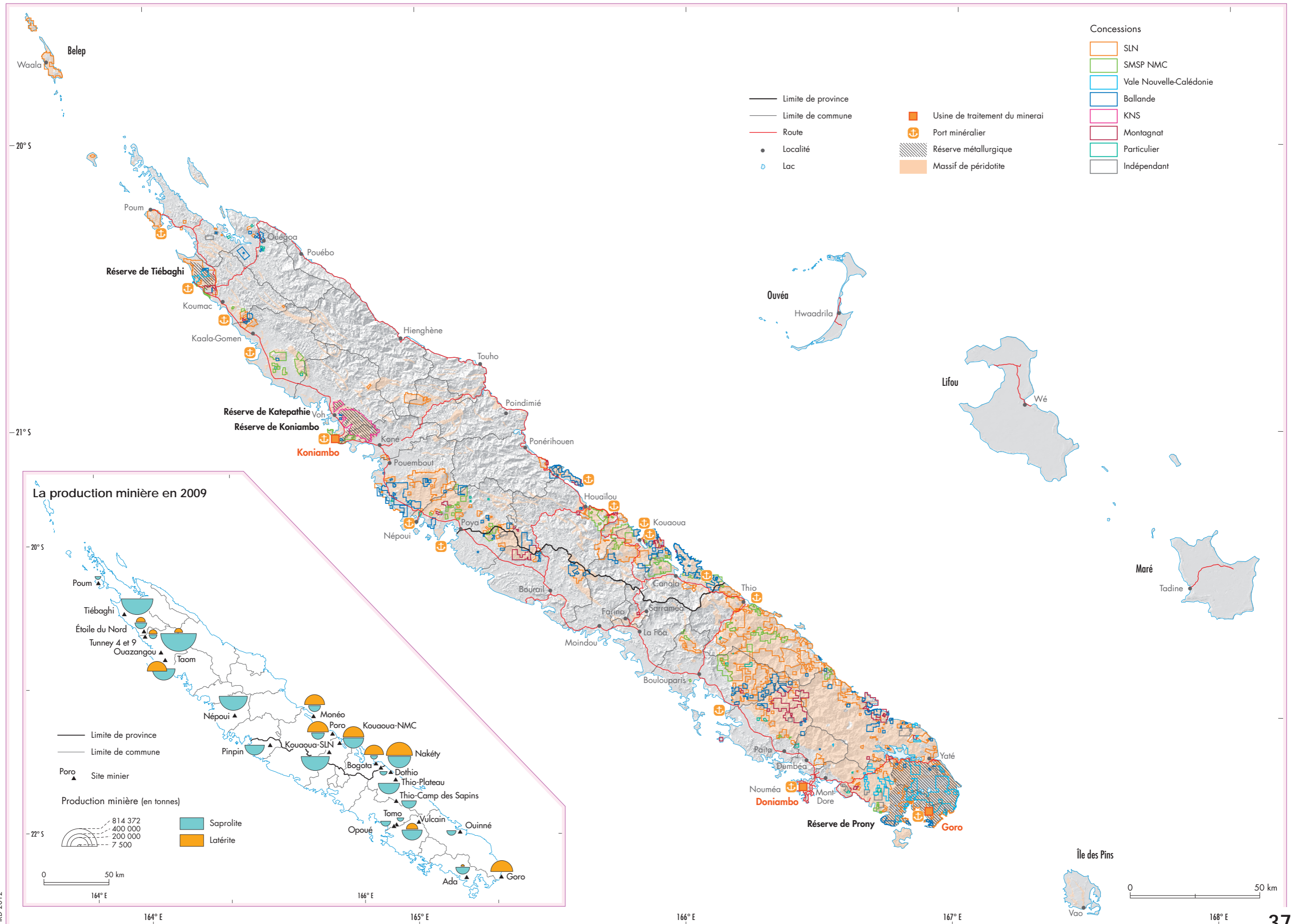
fait l'objet d'un aménagement. La pente moyenne des voies principales d'accès est inférieure à 10 % pour des questions de sécurité.

Les travaux de décapage consistent à extraire les parties stériles recouvrant le gisement, en séparant d'abord les végétaux et la terre végétale qui sont réutilisés tout de suite pour réhabiliter les travaux antérieurs. Les latérites rouges, non valorisables, sont évacuées vers les sites d'entreposage définitifs appelés « verses à stériles ».

Ces dernières sont construites en couches successives de 5 à 6 m d'épaisseur à l'arrière d'une butée de blocs rocheux. Chaque couche est décalée de la précédente pour offrir à l'ensemble une pente globale inférieure ou égale à 27°. Chaque verse est équipée d'un système de drainage interne et externe afin de mettre l'édifice hors d'eau et à l'abri des eaux de ruissellement provenant de l'amont. Elles sont ensuite reboisées avec des espèces endémiques\*. Ces techniques ont été développées par la SLN entre les années 1980 et 1990. Certaines de ces verses peuvent atteindre une hauteur de plus de 120 m et contenir plusieurs millions de mètres cubes de matériaux. Aujourd'hui, ces déblais, qui étaient préférentiellement édifiés dans les petites vallées, sont entreposés dans les anciennes zones d'extraction et contribuent ainsi à la remise en état du site et au remodelage des terres.

En fonction de leur teneur en nickel et en cobalt, les latérites jaunes sont acheminées vers les installations de chargement puis expédiées vers l'usine de Yabulu en Australie, seule cliente pour les traiter. Il n'est pas rare de décapier plus de 15 m de produits latéritiques de surface avant de commencer à extraire les saprolites.

L'extraction des minerais est effectuée au moyen de pelles hydrauliques qui ont remplacé les engins à câbles



utilisés jusqu'au début des années 1980. Toutefois, les gisements n'étant pas homogènes, il est nécessaire d'échantillonner régulièrement les fronts de taille ou de procéder à des sondages à maille très serrée, afin de guider correctement l'exploitation et sélectionner le tout venant du stérile qui ira directement en verse.

Les minerais contiennent néanmoins des fractions stériles qu'il faut éliminer lors d'une opération de triage. Cette étape conditionne la transformation du tout-venant en minerai marchand. L'opération est traditionnellement réalisée à l'aide d'une grille inclinée dont les barreaux sont espacés d'une dizaine de centimètres (grizzly). L'entrechoc des produits permet de récupérer également la pellicule altérée qui entoure les blocs sains tout en écartant les blocs durs incassables. En fonction des caractéristiques des minerais et des quantités à produire, certains mineurs ont opté pour des moyens mécanisés (crible vibrant, wobbler, scalper) plus efficaces.

Le minerai valorisable est ensuite évacué vers les sites de chargement en bord de mer. Cette opération est le plus souvent confiée aux sous-traitants de roulage, les « rouleurs\* ». En 2010, pas moins de 300 camions de 20 à 30 t de charge utile ont fait chaque jour des va-et-vient entre les mines et les sites de chargement. Les rouleurs sont rémunérés à la tonne transportée par kilomètre (tku), qui varie d'une mine à l'autre, notamment en fonction de la configuration du site. D'autres mines acheminent leur minerai par convoyeurs à bandes. Longtemps le plus long du monde (11 km, 3 courbes et 500 m de dénivellation), celui de la SLN à Kouaoua, mis en service en 1977, a transporté plus de 29 millions de tonnes de minerai jusqu'à présent.

En fonction de leur nature géologique et de leur évolution géochimique, certains minerais se prêtent toutefois à un tri plus fin. La SLN est la seule du secteur à avoir étudié puis installé, à Népoui en 1994 et à Tiébaghi en 2008, des unités d'enrichissement appelées « laveries ». Le minerai est d'abord criblé, concassé puis broyé finement et mélangé à de l'eau pour obtenir une pulpe qui est acheminée de la mine vers la laverie en contrebas par des conduites. Une série d'opérations physiques (tris granulométriques, gravimétriques et attrition fine) permet de séparer progressivement les grains stériles des grains plus

riches en nickel. Ces opérations de concentration offrent ainsi la possibilité d'optimiser la récupération du métal et la durée d'exploitation des gisements (+ 25 %).

Afin d'être embarqué à bord des minéraliers, le minerai est stocké au bord de la mer en layons, afin de faciliter son séchage, ou en tas en fonction de la place. Pour charger les bateaux, les mineurs utilisent soit le chaladage (14 sites), ce qui nécessite la construction d'un « wharf », soit des convoyeurs à bandes (6 sites). Le chaladage est confié à des équipes d'« intermittents » qui sont rémunérés à la tonne chargée et qui utilisent les moyens de la société minière, ainsi que les grues du navire. Les chalands, d'une capacité de 300 t en moyenne, sont chargés directement depuis le wharf puis tirés en groupe par un remorqueur vers les minéraliers. Les trajets à travers le lagon peuvent être longs (jusqu'à 7 km) car les tirants d'eau des navires, de capacité variable de 17 000 à 65 000 t ne leur permettent pas d'approcher partout près des côtes. Dans une configuration normale, il faut compter 5 à 6 jours pour charger 45 000 t de minerai. Chaque année, une centaine de minéraliers viennent chercher du minerai de nickel, soit 9 à 10 bateaux par mois environ.

La remise en état des sites miniers, obligatoire depuis la réforme du code minier, est dorénavant garantie financièrement au démarrage. Elle doit être organisée au fur et à mesure de l'exploitation et viser à l'installation à terme d'une couverture végétale apte, à protéger les pentes contre l'érosion, à organiser



© D. Becker

La revégétalisation

les écoulements au plus proche des conditions originelles et à assurer la reconstitution et la préservation de la diversité biologique originelle. Les travaux comprennent le remodelage des terrains affectés par l'exploitation, la mise en sécurité des fronts de taille et le remblaiement des décanteurs. La mise en place d'un dispositif pérenne de gestion des eaux, notamment des eaux de ruissellement, doit garantir une distribution des débits très proche des débits d'origine, voire identique. La végétalisation commence par une couverture pionnière capable d'enclencher la succession vers des groupements végétaux plus complexes dans une logique de restauration écologique.

En 2010, la Nouvelle-Calédonie a produit 8 700 000 th\* de minerai, réparties en 69 % de minerai dit garniéritique (sapolite grossière) et 31 % de minerai dit latéritique, ce qui constitue un record historique. Pour cette production, environ 40 millions de tonnes de produits ont été extraits puis triés, soit environ 22 millions de mètres cubes arrachés aux massifs par des engins de plus en plus gros et de plus en plus sophistiqués. L'épuisement progressif des minerais à forte teneur oblige en effet à produire de plus en plus de minerai moins riche afin de satisfaire une équivalence, voire même une augmentation en nickel métal contenu. De fait, les mineurs se sont dotés de gros moyens et il n'est plus rare de voir sur les chantiers des tombereaux de 100 t attendant leur précieux chargement d'une pelle hydraulique de 130 à 200 t, à raison de 10 à 20 t par godet !

Sur l'ensemble des exploitations travaillent chaque jour environ 1 500 engins, dont 250 tombereaux d'une capacité moyenne variant de 50 à 100 t de charge utile, auxquels s'ajoutent environ 300 « rouleurs ». Au total, ce sont 2 200 personnes qui s'activent chaque jour sur l'ensemble des mines de la Nouvelle-Calédonie.

Jean-Sébastien Baille, Fabrice Colin  
avec la collaboration de Daniel Marini,  
Gil Monteil, Michel Lardy

## Mining and processing of ore

*The marked weathering occurring on the emergent peridotites under the effect of the tropical climate over 35 to 40 million years led to the formation of lateritic deposits of nickel. It takes 1 to 3 million years for the metal to concentrate in the lower weathering horizons, which reach depths of 20-50 m. Concentrations increase the closer one comes to the non-weathered rock, with the appearance of iron-rich red saprolites, followed by garnierite below the saprolite grit. For decades, only this part of the horizon was exploited, but from 1987 new methods of metallurgical processing from Australia enabled the lateritic deposits, in which concentrations are lower, to be used. This represents today 31% of the production of the mines and 50% of New Caledonian exports.*

*The mapping of the ore deposits requires drawing-board and field work, and prospecting and boring operations that are rendered difficult by the very mountainous terrain of the Grande Terre. For this reason, prospecting is often done by helicopter. Bore samples are then analysed to determine the extent of the deposit, and its economic value. Exploitation is then modelled, before the first quarrying is undertaken, and the corresponding processing and conveying installations are set up, often in zones where access is a technical challenge.*

*Various types of machinery take off the first sterile layer and this waste is heaped and generally replanted. The metal-rich layers are then extracted and conveyed to sorting units by heavy trucks. The ore that can be valorised is transported to the sea by private haulage contractors, or "rouleurs", who are paid per tonne transported. Certain mines use conveyor belts to transport the ore.*

*The low-concentration ores are in some cases subjected to refining processes in enrichment plants known as "laveries", where a series of sorting processes increases nickel concentration. The ore is stored in the coastal area to dry before loading onto the ore carrier vessels via wharfs that are equipped with conveyor belts, or else by 300 t lighters. The loading of the ships lasts 5 to 6 days.*

*The rehabilitation of the mining sites is organised as the exploitation progresses: earth-moving, reorganisation of water runoff, restoration of vegetation.*

*Ore production in 2010 was 8.7 million t, for which 40 million t of material was extracted using ever more powerful machinery. In all, 2,200 people work in the nickel mines.*

Baille J.S., Colin Fabrice, Marini D. (collab.),  
Monteil G. (collab.), Lardy Michel (collab.).

La mine et le traitement des minerais de  
nickel.

In : Bonvallot Jacques (coord.), Gay J.C.  
(coord.), Habert Elisabeth (coord.). Atlas de la  
Nouvelle Calédonie.

Marseille (FRA), Nouméa : IRD, Congrès de la  
Nouvelle-Calédonie, 2012, p. 165-168.

ISBN 978-2-7099-1740-1