

EXPERIENCE VECUE EN PROSPECTION MINIERE

INTRODUCTION

La prospection minière, aussi appelée prospection ou exploration minérale, représente un vaste champ d'application de la géologie à la recherche, et si possible à la découverte et la mise en valeur, de ressources minérales qu'elles soient métallifères ou non. Les multiples techniques, des plus anciennes aux plus modernes, constituent un large éventail d'investigation mis à la disposition du géologue d'exploration qui devra choisir celles qui sont les plus appropriées à un stade donné de prospection eu égard aux conditions financières, infrastructurelles, climatiques, géologiques, géomorphologiques et, même quelques fois, politiques de la région investiguée.

PREPARATION AVANT LE DEPART SUR LE TERRAIN

La préparation d'une mission de terrain est certainement l'une des étapes cruciales déterminant le futur plus ou moins fructueux d'une campagne de prospection. Elle consiste principalement à rassembler et à compiler des cartes et de nombreuses informations de natures diverses, comme par exemple des cartes topographiques, géologiques, géomorphologiques, métallogéniques, pédologiques, géomorphologiques et éventuellement des photos satellitaires et/ou aériennes ainsi qu'éventuellement des cartes géophysiques, géochimiques préexistantes complétées quelques fois par des plans de travaux miniers antérieurs. Toutes les informations afférentes à ces cartes sont regroupées et synthétisées afin de déterminer au mieux les potentialités minérales d'abord d'une région (prospection régionale ou stratégique) et ensuite d'un secteur plus détaillé (prospection détaillée ou tactique).

MISSION DE TERRAIN

La seconde étape consiste naturellement à se rendre sur le terrain sélectionné ou requis en expertise par une société ou un groupe minier. La préparation logistique et organisationnelle de la mission est fondamentale car elle déterminera ultérieurement les conditions de travail et de productivité sur le terrain. La prospection se déroule quasi toujours en équipes pluridisciplinaires ce qui, moyennant une bonne cohésion du groupe, favorise souvent de meilleures chances de succès. Hormis le personnel purement technique, il y a souvent dans ces équipes un responsable administratif et financier associés à une équipe logistique expérimentée. L'étude préalable du contexte local - impliquant la prise en compte du cadre socio-économique, la situation de stabilité ou non politique, le degré de développement des infrastructures et des voies de communications du pays concerné - représente également un facteur crucial pour la bonne réussite d'une mission.

La logistique est évidemment très importante dans ce genre de mission qui se déroule le plus souvent bien loin des conditions habituelles de nos pays, que ce soit au niveau climatique, économique ou politique. Il est souvent nécessaire d'installer un camp principal d'où seront menés les travaux d'exploration à moins que l'équipe ne prenne la décision de construire un camp "en dur" afin de permettre des recherches pendant une plus longue période. Souvent le géologue-chef de projet est également chargé d'organiser des camps de prospection secondaires dits aussi "camps volants". Le matériel doit évidemment être le plus adéquat eu égard au climat et au type de gîte recherché ainsi qu'à la durée de la prospection. Les "résidences secondaires" sont généralement des tentes de toile dans les contrées tropicales ou tempérées et des igloos ou cabanes dans les régions plus froides. Les moyens de

subsistance consommables sont le plus souvent acheminés par véhicule, avion ou hélicoptère, du centre urbain le plus proche. En général, le ravitaillement en produits frais est hebdomadaire.

EXPERIENCE PERSONNELLE

CADRE DE TRAVAIL

Pour vous mettre dans l'ambiance, je vais vous conter par la suite quelques expériences personnelles vécues durant ma vie de prospecteur qui débuta quelque part en Afrique centrale, plus exactement au *Gabon* en 1984 (**figure 1**). Il s'agissait ici d'un programme d'inventaire minier qui s'est prolongé sur une dizaine d'années, de 1980 à 1990. Sur une telle période, les conditions de travail se devaient évidemment d'être les meilleures et les plus stables possibles.

Le pays est soumis à un climat équatorial où alternent deux saisons sèches et humides. Les travaux de prospection avaient lieu évidemment en période sèche, c'est-à-dire d'avril-mai à septembre-octobre. L'humidité y est constamment très élevée, aux alentours des 100% et la chaleur souvent moite et suffocante au soleil. Ce type de climat a évidemment favorisé le développement d'une épaisse couverture végétale et surtout d'une forêt équatoriale, dite primaire, très dense. Elle couvre près de 85% du territoire. Le *Gabon* possède une essence d'arbre très particulière. Il s'agit de l'okoumé, un bois très léger, utilisé dans les pays occidentaux pour la fabrication de panneaux de contre-plaqué. Il est intensivement, trop diront certains, exploité dans tout le pays. Cependant, le dense réseau de pistes mis en place par les forestiers afin d'acheminer les billes de bois vers le port d'*Owendo* (au sud de *Libreville*) facilitait grandement les déplacements pour la prospection au cœur de cette forêt quelques fois impénétrable. A l'époque, l'équipe d'exploration minière des Nations Unies (département technique D.T.C.D.) était basée à *Libreville* et comptait au total une dizaine de géologues expatriés (italiens, allemands, hollandais, belges), trois à cinq géologues gabonais formés au B.R.G.M. en *France*, ainsi que de nombreux stagiaires géologues temporaires, aides, ouvriers et techniciens divers. L'ensemble a été dirigé par un directeur général expatrié (français) et par la suite par un géologue ayant été formé au B.R.G.M.

Le service comptait notamment un garage bien équipé, un laboratoire de chimie analytique assez rudimentaire mais efficace (ICP à flamme pour analyse multi-élémentaires), une salle informatique mise en service à partir de 1987 (PC, table à digitaliser & "plotter" graphique A0) ainsi qu'un bureau dessin comportant un appareillage de tirage et de reproduction de cartes sur support papier et calque & un secrétariat avec photocopieuse sophistiquée. Le gouvernement gabonais entrepris en 1985 la construction d'un nouvel édifice de style futuriste afin d'abriter la direction générale de la géologie & des ressources minières (DGRM).

La mise à disposition de locaux climatisés fût grandement apprécié par l'ensemble du personnel.



Figure 1. Carte de localisation (Gabon) avec illustration approximative du secteur de prospection attribuée par le gouvernement au PNUD dans le socle archéen ($\pm 1^\circ$ carré).

DEROULEMENT D'UNE MISSION DE PROSPECTION

PHASE GENERALE

Une campagne de terrain débutait le plus souvent vers le mois d'avril ou mai, en fonction des conditions climatiques, par l'installation d'un camp de base. Ce dernier comprenait une dizaine voir une vingtaine de tentes en toile ainsi que des paillotes en bois ou torchis abritant cuisine, bureau et un lieu de stockage des échantillons de prospection. Nous avions même droit aux douches (faites de ballons de caoutchouc). Le coin W.C. était souvent sommaire et heureusement bien à l'écart du camp.

Le personnel permanent du camp était constitué d'un chef logistique, d'un ou deux cuisiniers particulièrement choyés, de femmes d'ouvrage pour l'entretien des lieux de vie, de manutentionnaires et hommes à tout-faire, de chauffeurs, de chasseurs et évidemment de géologues, techniciens de prospection et ouvriers pour l'échantillonnage et l'ouverture des pistes et profils de prospection.

La journée typique d'une mission de prospection commence au levé du soleil, à 6 heures. Il ne faut pas perdre de temps car la nuit tombe " pile " à 18 heures et il n'y a pas de quart d'heure académique. Les balades à la torche en pleine forêt équatoriale sont franchement à déconseiller, même pour des personnes aguerries. Après quoi c'est le doux moment de la toilette quotidienne avant le petit-déjeuner qui doit être assez consistant pour supporter une longue journée de travail. Les journées se déroulaient comme cela six jours sur sept. Après quoi c'est le départ, généralement en véhicule 4 X 4, pour un point prédéterminé sur une carte oro-hydrographique. A partir de cet emplacement commence le cheminement à pied. En

prospection générale, le trajet peut varier de 10 à 30 km par jour tandis qu'en prospection de détail la distance est plus restreinte, variant de 1 à 5 km.

Les précautions d'usage concernaient les serpents venimeux (genre vipère du *Gabon*, cobra, et autres bestioles similaires sympathiques), les pièges formés par les végétaux (racines, fosses de piégeage occultées par des branchages ou feuilles mortes), les systèmes de piège installés par les indigènes et pas toujours balisés, les grands animaux tels que buffles et éléphants ainsi que, je dirais surtout, les insectes nuisibles comme les moustiques, mouches tsé-tsé, insectes inoculant les filaires,

Le travail de terrain du géologue-prospecteur en mission d'exploration générale consiste principalement à élaborer un plan ou une carte géologique en observant et échantillonnant les différents affleurements disponibles. Il fût décidé d'établir les documents géologiques à l'échelle du 1 :200.000 (pour mémoire, 1 cm sur plan = 2 km sur le terrain). Pour y parvenir on possède un support cartographique de base. C'est une carte oro-hydrographique ou planimétrique si possible à l'échelle du 1 :50.000, généralement agrandies à partir des cartes au 1 :200.000. De bonnes cartes topographiques du *Gabon* ont été dressées à cette échelle depuis les années 50 à partir de photos aériennes par l'Institut Géographique National français, I.G.N.

Les ouvriers sont chargés de récolter les échantillons alluvionnaires et/ou de sol et d'ouvrir les profils à la machette, ce qui n'est pas toujours chose aisée. Les échantillons alluvionnaires sont prélevés dans le lit des cours d'eau. Ils sont de deux type : les sédiments de ruisseau (" stream sediments ") et les minéraux lourds formant la partie dense des graviers alluvionnaires. Les premiers se trouvent souvent au fond des cours d'eau et sont formés par des boues ou matériaux noirâtres très fins. Les seconds sont des graviers lavés à la batée jusqu'à obtenir un concentré final comprenant la plupart des minéraux denses tels que silicates ferro-magnésiens d'origine magmatique - pyroxènes, micas, amphiboles, olivine, sphène - ou de genèse métamorphique - andalousite, disthène, sillimanite, grenat - ou encore et le plus souvent des oxydes divers - magnétite, ilménite, goethite, spinelles difficilement altérables. Une fraction légère (quartz, minéraux felsiques, apatite, monazite, ...) trop importante peut être complètement éliminée par séparation aux liqueurs denses en laboratoire.

Les " streams " sont placés dans des sachets en plastique résistants avant d'être numérotés. En prospection générale, la position des échantillons est le plus souvent déterminée préalablement sur une carte du réseau hydrographique ou topographique (au *Gabon* : 3 éch./km² pour les " streams " et 1 éch./km² pour les alluvions). Le but de la manoeuvre est de déterminer des zones d'anomalie. Qu'est-ce qu'une anomalie minérale ou métallifère ? C'est une zone plus ou moins grande et régulière plus riche en certains éléments, métaux ou minéraux d'intérêt, par rapport au niveau régional moyen. Pour mettre en évidence ces anomalies, il faut donc analyser les échantillons. Les " streams " subissent une analyse multi-éléments (souvent les métaux courants comme Fe, Mn, Ti, Mg puis des éléments dits en traces car présents en faible quantité - Au, Ag, Pt, Ni, Cr, Co, Cu, Sr, Ba, Rb, Hg, Sb, As, Cd, ... en fonction de l'élément principal recherché). Des analyses statistiques assez simples permettent le plus souvent de définir des seuils d'anomalie géochimique à l'échelle régionale. Elles sont réalisées à partir de l'étude des distributions des teneurs qui montre, dans un environnement complexe dit multivarié, des points d'inflexion sur le graphe des fréquences cumulées correspondant aux différentes populations de concentrations. Pour définir une anomalie positive, il suffit de sélectionner la dernière population avant de déterminer le seuil des teneurs anormales. Ce seuil géochimique permet d'isoler environ les 2.5% ou 5% des valeurs (teneurs) les plus hautes de la dite population pour une distribution de type normal ou dite de *Gauss*. De nombreuses études ont néanmoins montré la relative efficacité de ce mode arbitraire de calcul des teneurs anormales. Quelques fois, l'intuition

fondée sur les données géologiques, géomorphologiques et autres méthodes bat en brèche toutes ces manipulations sophistiquées.

Par ailleurs, les valeurs anormales en métaux peuvent dépendre assez fortement de la lithologie (lithochimie) qui peut interférer grandement au moment de l'estimation des anomalies. C'est dans cette optique que le choix d'une panoplie d'éléments bien choisis permet, non seulement de préciser dans de nombreuses situations la nature lithologique au sein de zones pauvres en affleurement et/ou très altérées, mais également d'estimer au mieux les interférences, le brouillage ou même le télescopage induit par la répartition d'éléments communs associés aux différents faciès rencontrés en prospection. Enfin, tous les mécanismes secondaires de piégeage, fixation cationique par la matière organique, précipitation secondaire supergène avec ou sans agglomération et/ou accrétion, lessivage souvent différentiel, transport liés aux processus d'altération, quelle soit hydrothermale ou climatique, sont évidemment très importants à évaluer, et constituent un facteur interprétatif essentiel en phase détaillée de reconnaissance.

Les techniques analytiques sont variées et dépendent évidemment de l'élément analysé. Par exemple, la plupart des éléments en traces communs (métaux de base et éléments felsiques) tels que Cr, Ni, Cu, Sr, Rb... sont dosés par absorption atomique ou I.C.P. (atomisation à la flamme ou par torche à plasma : I.C.P.) après attaque bi ou triacides. Les éléments précieux tels que Au sont mesurés par absorption atomique après nébulisation sous très haute température, souvent dans un four à graphite. D'autres éléments très rares comme ceux de la famille des platinoïdes requièrent des techniques encore plus sophistiquées & complexes et par conséquent plus onéreuses.

Les fonds de batées sont généralement représentés par des minéraux dits lourds ou denses car riches en Fe et Mg. Ils sont examinés au binoculaire. La pratique sur plusieurs années permet de parvenir à une détermination relativement sûre et à une quantification assez rapide. Certains minéraux magnétiques sont préalablement séparés par des champs magnétiques croissants et les fractions granulométriques sont déterminées par passage au travers de tamis à mailles de taille décroissante (technique surtout utilisée pour les grains d'or). Le report de l'ensemble des résultats des déterminations sur carte permet de délimiter plusieurs secteurs d'intérêt. D'une part des secteurs minéralogiques reflétant principalement le contexte lithologique ainsi que des anomalies métallographiques utiles pour circonscrire des zones minérales enrichies.

C'est ainsi que l'ensemble de ces techniques dites géochimiques ont permis, au *Gabon*, de définir de nombreuses anomalies en Cr-Ni-Cu-Pt liées à des roches ultrabasiques (principalement des massifs alignés NNE-SSW) et des anomalies aurifères dans des roches de natures diverses. Les résultats ont également contribué à mieux connaître la géologie (plus précisément la lithologie) grâce à la répartition des paramètres analysés. Cette méthode indirecte est très appréciée dans les pays à réseau hydrographique dense et soumis à une altération chimique intense sous un climat chaud et humide (caractérisé par des phénomènes importants de latéritisation). Cette altération est si forte qu'elle provoque la quasi disparition de la roche originelle sous des dizaines de mètres de sol meuble ou induré. La couleur brune à rouge indique un enrichissement général en fer. Quelques fois, des traces noires au sein des zones rouges suggèrent la présence de manganèse (cristaux de manganite/pyrolusite). Les rares affleurements sont observables dans les parties hautes des cours d'eau ou ont été dégagés lors de la construction de pistes ou de routes. A ce stade de la prospection, l'étude géologique est assez sommaire. Il s'agit plutôt d'observer les quelques affleurements à une échelle variant du 1 :200.000 au 1 :50.000 (**figure 2**). Le but est de récolter un maximum d'échantillons en un minimum de temps. Eh oui ! La productivité existe aussi dans ce domaine.

Quelques échantillons représentatifs sont récoltés pour affiner le cadre lithologique. Ces roches sont examinées à la loupe sur le terrain (grossissement 8 à 10 x) et quelques roches sont ramenées en salle de microscopie pour observation en lame mince et/ou analyse chimique. La technique se rapportant à l'étude des lames minces s'appelle la pétrographique et aboutit quelques fois à la pétrologie lorsqu'une ou des hypothèses sont émises à propos de l'origine des roches examinées ainsi que des conditions de formation de la roche. Cela se passe souvent avec le support d'autres techniques comme la géochimie (analyse d'éléments majeurs et en traces), la géochimie isotopique, la spectrométrie de masse, ... Etant donné que ma spécialité est la pétrologie, plus précisément celle des roches magmatiques et accessoirement celle des roches métamorphiques, vous ne vous étonnerez pas, et vous m'en excuserez certainement, si je vous en parle plus en détails par la suite.

En plus des techniques habituelles de terrain, dites au marteau et géochimique, le *Gabon* a également mis en œuvre une campagne aérogéophysique multicanaux (méthode du magnétisme, électromagnétisme, de la radiométrie) ce qui a permis notamment de découvrir et circonscrire des anomalies d'éléments appelés "terres rares" (dont le niobium, Nb, était le plus enrichi) liées à une minéralisation enchâssée au sein d'une intrusion annulaire de carbonatite (roche intrusive alcaline de la famille des syénites). Une des cartes les plus spectaculaires illustrant les résultats de la campagne géophysique aéroportée est présentée en **figure 3**. Il s'agit de la carte magnétométrique avec représentation du champ magnétique résiduel (celui corrélé essentiellement à la lithologie et, en principe, débarrassé de toute influence perturbatrice du champ terrestre et celui lié à des infrastructures anthropiques, bien improbable en pleine forêt vierge). On y observe clairement une structure anormale (de 250 à 300 km d'extension) en arc concave vers le sud lardant le Nord du pays. Elle correspond à ce que l'on appelle un sillon ferrifère régional qui est intimement associé à une ceinture de roches vertes ("greenstone belt"), structures si importantes pour la recherche de l'or en contexte précambrien, que ce soit dans un domaine archéen (âge > ± 2.5 .10⁹ ou années) - *Canada, Australie* - ou protérozoïque (570.000 < âge < ± 2.5 10⁹ années) - en *Amazonie & Australie*.

Rappelons ici que l'âge des plus anciennes formations cristallines est d'environ 3.9 Ga (roches trouvées dans les cratons du *Groenland & Afrique du Sud*). Les méthodes de datation (géochronologie absolue) sont diverses mais principalement sont la mesure des rapports Rb/Sr et U/Th pour les roches plutoniques felsiques à basiques. Les rafraîchissements ultérieurs des rapports isotopiques par métasomatisme ou métamorphisme (de contact ou d'origine orogénique) sont courants et peuvent induire des problèmes sinon des erreurs dans les datations. C'est pour cela qu'un examen pétrographique attentif éventuellement associé à des mesures de géobarothermométrie (mesure des températures et des pressions régnant lors de la formation des minéraux primaires - magmatiques - ou issus d'un métamorphisme profond) est souvent nécessaire et peut même être parfois révélateur de l'origine des roches. C'est l'étude génétique des roches que l'on qualifie de pétrologie. La méthode géobarothermométrie est fondée sur l'étude des rapports de certains éléments (souvent Fe/Mg et éléments en traces ferromagnésiens associés) dans les minéraux cibles, tels que, généralement, les minéraux réfractaires de première cristallisation : pyroxènes (clino/ortho > 1 pour la plupart des pyroxénites/lherzolites & clino/ortho < 1 pour les orthopyroxénites magmatiques - pauvres en Ca - et dans les granulites qui sont des faciès d'ultramétamorphisme correspondant à une formation sous des hautes température et pression lithostatique $P_{total} - pCO_2$), péridots, les grenats (souvent riches en Mg-Cr dans les roches magmatiques et métamorphiques profondes) ainsi que les spinelles et les amphiboles Fe-Mg (souvent appartenant à la famille de la hornblende). Il faut absolument choisir des phases cristallines qui ne montrent aucun signe de déséquilibre comme la corrosion, les signes de transformation (par invasion) en autres minéraux plus superficiels ou d'origine métasomatique, c'est-à-dire issus de processus ultérieurs d'hydrothermalisme. Il est évident que

les minéraux affectés par tout type d'altération climatique sont à proscrire pour ce type d'étude. La présence de tels mécanismes d'altération est un signe clair témoignant de l'ouverture, à un moment donné et tardif, du système thermodynamique en provoquant, notamment, la modification des rappports isotopiques originels associés à des variations minéralogiques et chimiques importantes.

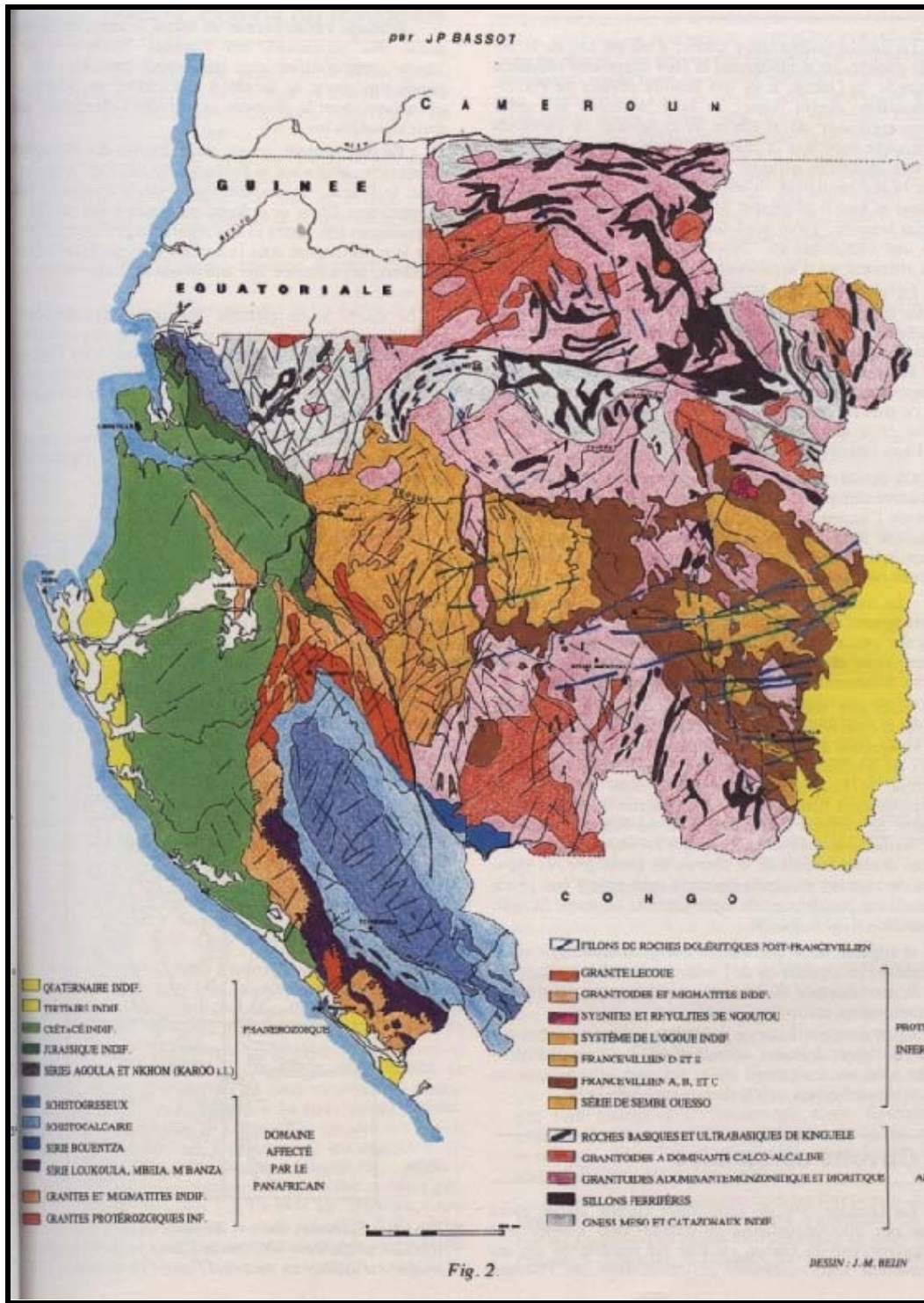


Figure 2. Carte géologique générale du Gabon (d'après Bassot)

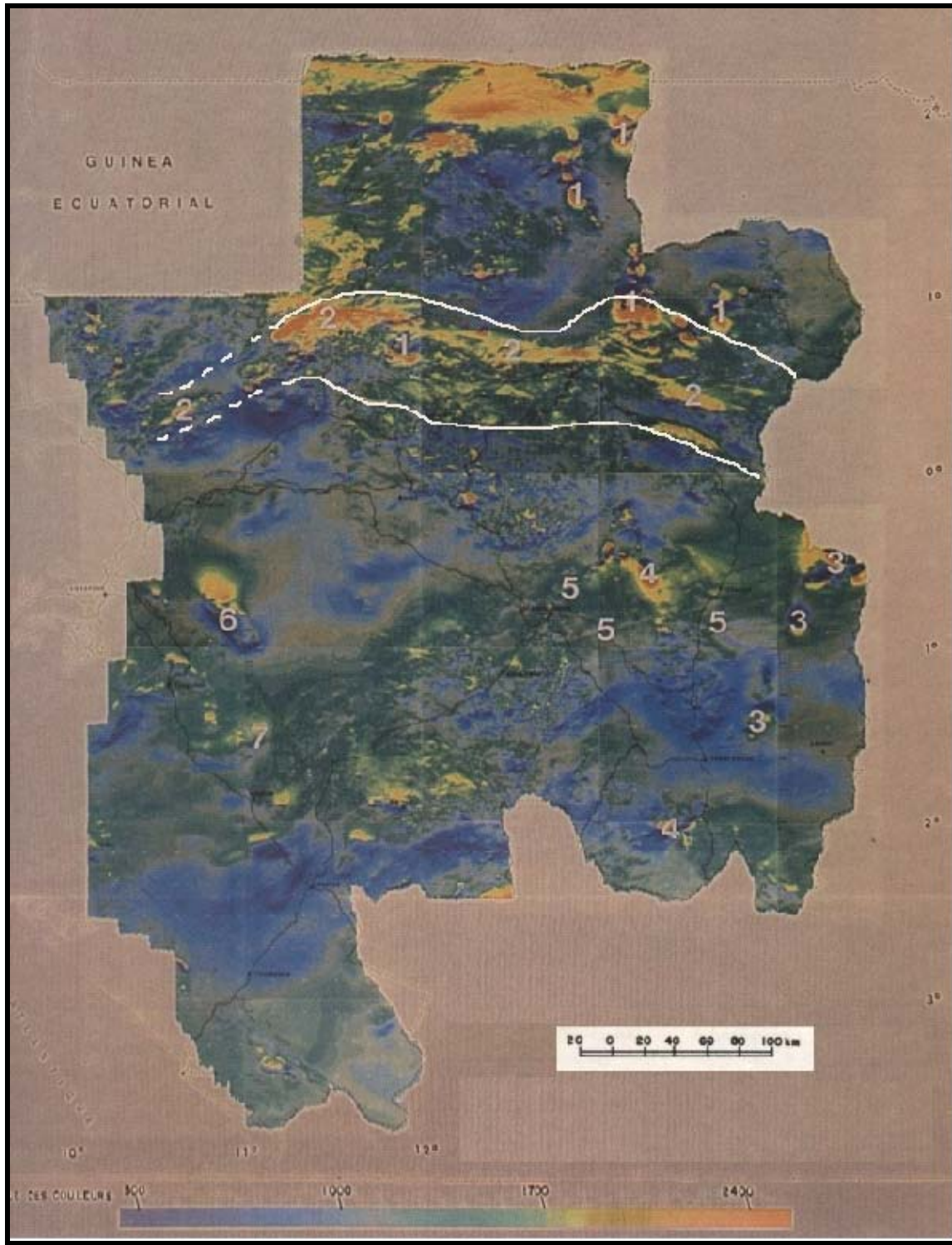


Figure 3. Carte aéromagnétique du Gabon (remarquez l'anomalie en arc concave vers le sud délimitée approximativement en trait blanc située au Nord du pays correspondant au sillon ferrifère ou greenstone belt). La limite septentrionale tranchée correspond à la structure tectonique continue (faille de charriage régionale) visible sur la carte géologique de Bassot.

Voilà, après cette première étape de défrichage, les premières cartes géologiques et d'anomalies métallifères et minérales sont dressées. Il s'agit à présent de les interpréter pour pouvoir élaborer d'autres cartes de recherche, celles de la future campagne de prospection de détails. A ce stade, les travaux requièrent beaucoup plus de précision et d'interprétation fine. Il s'agit souvent de prélever une série de sols alignés sur ce que l'on appelle un profil ou layon.

La densité et la géométrie d'échantillonnage dépendent à la fois de la géomorphologie, de la lithologie, de la dispersion secondaire de l'élément cible et enfin du type et de l'importance (teneur/tonnage) de la minéralisation recherchée par la société ou la compagnie minière. La **figure 4** illustre les résultats d'un programme d'exploration détaillée pour la recherche d'or au Nord du *Gabon* (domaine archéen et protérozoïque inférieur).

Afin de vous faire part de la difficulté relative au type d'élément recherche, je vais à présent vous parler de la différence de comportement entre métaux dits de base comme Fe (fer), Mn (manganèse), Cu (cuivre), Cr (chrome), Ni (nickel), Ti (titane), Co (cobalt) et le fameux métal précieux tant convoité qu'est Au (or). Les anomalies en métaux de base, formant le plus souvent des gîtes métallifères ou minéralisations quand elles ne sont pas anthropiques, ont généralement une extension latérale et verticale importante. Les teneurs sont relativement élevées et surtout distribuées d'une façon homogène malgré la présence éventuelle de cheminées (brèches tectoniques ou sédimentaires), filons ou sillons plus minéralisés que la gangue. Les minéraux contenant les métaux de base sont les plus souvent des sulfures en zone réduite (présents sous le niveau aquifère à l'abri de toute oxydation), des sulfates en zone intermédiaire et des oxydes/carbonates à un niveau superficiel appelé aussi zone oxydée.

Les sulfures sont principalement la pyrite (FeS_2), la chalcopyrite (FeCuS_2), l'arsénopyrite (FeAsS), la bornite (Cu_5FeS_4), Par exemple, les sulfures, dits mates, riches en Ni, se rencontrent souvent en poche ou en niveaux lenticulaires dans les roches ultrabasiques. Ils coexistent avec des oxydes (chromite, spinelle) et des minéraux ferro-magnésiens de haute pression-température (grenat, orthopyroxène, olivine, jadéite, ...). Ces produits sont quelques fois enrichis en platine et éléments associés (rhodium, ...). Des sulfures de Fe, \pm As (arsenic), Cr, Ni sont aussi souvent présents dans des roches très ferrifères appelées itabirites et étroitement associées à des ceintures de roches vertes appelées communément en anglais " greenstone belts ". Ces faciès de roches vertes montrent communément un complexe ophiolitique - socle ultrabasique à péridotite/pyroxénite plus ou moins serpentinisé par l'eau de mer évoluant graduellement vers des basaltes océaniques spillitiques (basaltes altérés par l'eau de mer et enrichis en Na - sodium) localement exhibant des textures en coussins (" pillow lavas ") ce qui est caractéristique d'un refroidissement en milieu aqueux, dans ce cas océanique. De telles structures organisées formées par des roches vertes se retrouvent actuellement dans des zones anciennes ou actuelles de collision continentale. Telles sont les ophiolites (type *Ivrea*) présentes dans l'arc alpin. En réalité, ces massifs sont des reliques de croûte océanique restés coincés et piégés au cours du processus de collision entre deux plaques continentales séparés initialement par un océan primitif à croûte basaltique. C'est pour cette raison que les ophiolites forment le plus souvent des lambeaux discontinus mais quasi toujours avec une structure régionale arquée typique des arcs insulaire et de certaines marges continentales hybrides (Sicile, mer ionienne).

Le fait de trouver des roches ultrabasiques dans ces complexes montrent que la collision fût très violente. Elle a généré le chevauchement ou le charriage de roches vertes pour constituer des nappes de croûte océanique (souvent observables en lambeaux) englobant une partie du manteau supérieur sous-jacent. On y trouve également un recouvrement de matériaux

d'accumulation secondaire typiques d'une sédimentation chimique sous grande profondeur. Telles sont les radiolarites, cherts, silex, jaspes et autres produits très enrichis en fer et silice à l'Ere précambrienne. Par ailleurs, la présence d'une fraction élevée de magnétite dans les itabirites suggère qu'à cette époque les conditions étaient assez réductrices par manque d'oxygène. Certaines structures communes des roches ferrifères précambriennes font également penser que la précipitation du fer aurait pu être catalysée ou même produite par certaines bactéries anaérobiques (vivant sans oxygène) associées à des algues du type algues bleues.

Le type de faciès décrit ci-dessus est particulièrement intéressant d'un point de vue minier puisqu'il est susceptible de renfermer des minéralisations assez rares (platine & éléments rares associés dans les roches ultrabasiques, chromite dite podiforme, ...) ainsi que des sulfures dans les basaltes océaniques (rappelez-vous des " fumeurs noirs " actuels localisés près des dorsales médio-océaniques déchargeant des quantités impressionnantes de gaz riches en métaux de base, soufre et autres métaux précieux !). Eh bien ce sont justement ces dépôts minéraux, à l'origine soufrés, que l'on retrouve quelques fois dans ce type de secteurs ophiolitiques bien souvent situés aux abords immédiats de l'axe d'expansion océanique originel après qu'il eût cessé de fonctionner. Outre les fameux dépôts sédimentaires stratiformes type *Katanga*, les autres minéralisations riches en Fe-Ni-Cr-Co sont le plus souvent trouvés dans des roches intrusives de type gabbro-pyroxénite (intrusions stratiformes ou " layered intrusions ") et sont formés par l'accumulation différentielle les minéraux réfractaires de première cristallisation lors de la différenciation par cristallisation fractionnée (voir article relatif au *Stromboli*) prenant place sous l'effet de la gravité et pouvant être associés quelques fois à des mouvements convectifs turbulents dans la chambre magmatique en voie de refroidissement. Des processus de réalimentation et de mélange (" mixing ") au sein de la chambre magmatique sont également susceptibles d'engendrer des processus de cristallisation économiquement intéressantes. Les paramètres importants sont la composition initiale du liquide silicaté, la composition et la teneur en gaz, la profondeur de la mise en place qui détermine le paramètre pression lithostatique (le poids de la colonne de roche sus-jacente) ainsi que le degré de fracturation influant sur la pression totale des fluides, notamment d'eau, d'oxygène, de gaz carbonique et de soufre. Il est à noter que le déséquilibre d'un ou de plusieurs de ces paramètres favorise quasi toujours un événement anormal, telle une éruption volcanique si la magma est proche de la surface ou une minéralisation s'il y a rupture d'équilibre physico-chimique en profondeur, avec formation possible de brèches magmatiques souvent observables et associées à des cumulats dans les chambres magmatiques minéralisées

Pour terminer cette partie métallogénique liée aux roches ultrabasiques-basiques, on peut signaler que le modèle actuel de la tectonique des plaques semble plus ou moins bien s'appliquer aux roches beaucoup plus anciennes, comme celles du Précambrien inférieur (âgées approximativement de 3.5 à ± 1.9 milliards d'années au *Gabon*). Le sillon ferrifère du *Gabon* septentrionale, incluant les roches vertes (" greenstone belts "), forme une mégastructure très similaire à celle constituée par les reliques ophiolitiques de l'arc alpin. Cette structure est très bien individualisée sur la carte des données aéromagnétiques (**figure 3**).

Revenons à présent à l'exercice délicat de la campagne de prospection détaillée. Les sols et les roches sont donc prélevés selon une maille régulière qui varie de 500 m pour les métaux de base à 50 mètres pour l'or, en tout cas dans un premier temps. Les données chimiques permettront de dresser une carte des anomalies géochimiques dans les sols (figure 4). La carte géologique (exemple en **figure 5**) doit, à ce stade, être dressée avec le plus de soins et de détails possibles. Il s'agit à présent de pouvoir associer exactement les anomalies métallifères à la géologie, que ce soit dans le cadre d'un gîte minéral / minéralisation associé à une lithologie ou à une fracturation (tectonique) et bien souvent les deux à la fois. Les outils

du géologue sur le terrain sont alors les suivants : boussole précise pour déterminer la direction exacte des prélèvements (type “ topochoix ”), topefil ou décamètre permettant de mesurer les distances, peinture et toposignal pour localiser les lieux d’échantillonnage et/ou de mesure, papier millimétrique (à présent souvent ordinateur portable) afin d’élaborer la carte de cheminement et d’y reporter toutes les données d’acquisition, évidemment le sacrosaint marteau ainsi qu’une poire pour la soif (cubi de whisky ou de gnole locale à boire si possible modérément). Un altimètre et/ou un de ces instruments modernes style G.P.S. peut parfois être utile en contrée désertique. Le reste, comme les crayons de couleurs, sucettes au coca et autres gadgets, est accessoire mais peut être parfois bien agréable !

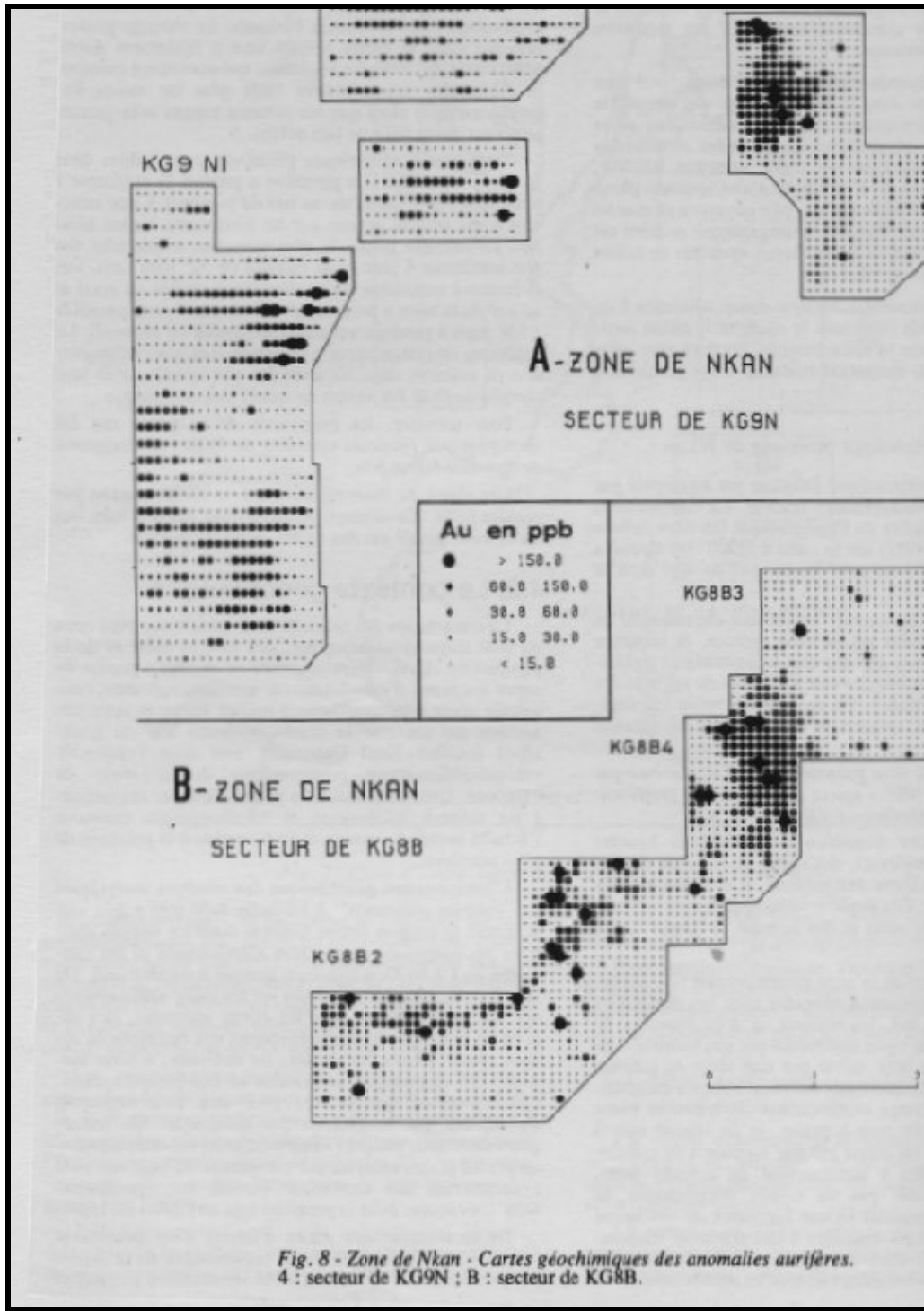


Figure 4. illustrant la distribution d'anomalies aurifères dans des sols du Nord du Gabon

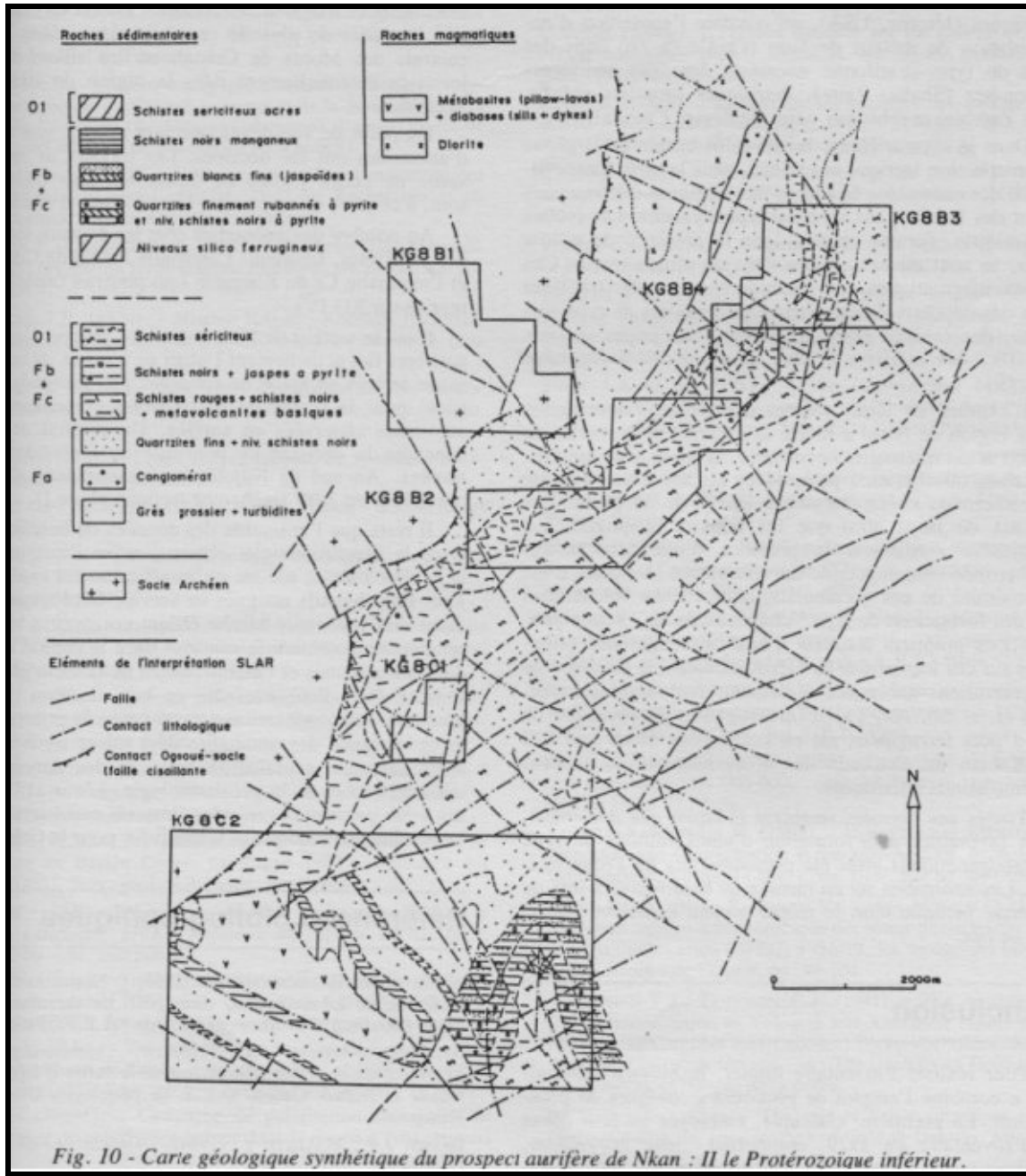


Figure 5. - Carte géologique d'un prospect aurifère en phase d'évaluation semi-détaillée

Voilà nous y sommes, le travail de terrain est terminé et la campagne s'achève par une fête éblouissante toute en couleurs avec ambiance et bière locale (la *Sobraga*) à gogo. Elle peut couler à flots car rien ne peut plus perturber la progression de notre recherche. Néanmoins, il faut encore penser à démonter la camp et à transporter hommes et échantillons en lieux sûrs, c'est-à-dire la capitale, *Libreville*.

L'OR, UN METAL TANT CONVOITE !

Parlons à présent en quelques lignes de la prospection de l'or, élément si convoité donc tant recherché malgré son relativement faible prix actuel. Rappelons que le prix de ce métal précieux inoxydable est fixé par once de métal, c'est-à-dire environ 30 grammes. (aujourd'hui il équivaut à ±335.000 FB par kilo).

L'exploration de l'or est délicate à réaliser car le métal noble possède la particularité fâcheuse d'avoir une distribution dite erratique, c'est-à-dire qu'on ne le trouve que par poches très localisées, moyennement ou très riches, et cela même au sein des filons de quartz aurifères tels " *mother lode* " en *Californie*. Un seul filon semble faire exception à la règle. Il s'agit de celui de *Kamituga* situé au Nord-Kivu (*Congo démocratique*). Ce filon de quartz aurifère puissant et continu est très riche. Il a été longuement exploité par diverses compagnies du groupe " Union Minière/Empain ". Malheureusement, ce type de veine aurifère (appelé aussi " bonanza ") est exceptionnel. C'est pourquoi on cherche le plus souvent à délimiter des structures géologiques, susceptibles de renfermer des minéralisations, par voie indirecte (en utilisant principalement la géophysique). La détection et surtout la délimitation des enrichissements ne peut se faire uniquement par la géochimie. De plus, il faut explorer en profondeur car la structure ou le degré de minéralisation peut considérablement varier en fonction de ce paramètre.

D'autre part dans les régions à climat tropical ou équatorial comme au *Gabon* la couverture d'altération est si épaisse (de 10 à 100 mètres) qu'il est souvent indispensable de procéder à la réalisation de forages par tarières (manuelles ou mécanisées) pouvant pénétrer la couche meuble jusqu'à environ 30 mètres parfois plus. Le but de cette manoeuvre est de vérifier l'enracinement des anomalies, pour tenter de savoir si elles sont en place ou non. Un décalage important entre anomalie superficielle et profonde indique souvent un mouvement du sol (anomalie allochtone). En cas de résultats positifs, le but ultime est évidemment la réalisation d'une campagne de forages carottés (souvent diamantés) qui permettra de vérifier l'anomalie ou la minéralisation (teneur, continuité, gangue) en profondeur. Au préalable, il est souvent recommandé de réaliser une courte campagne géophysique pour délimiter l'extension de la structure encaissante. Les principales méthodes utilisées sont le magnétisme (pour les roches basiques à magnétite et/ou pyrotite ou les itabirites), l'électromagnétisme, la résistivité, V.L.F. pour les filons de quartz à or libre, la polarisation induite pour les roches minéralisées en sulfures. Les observations et l'étude de l'altération superficielle des roches minéralisées est également un indicateur précieux pour évaluer la potentialité d'un gîte minéral. La présence d'un corps appelé " chapeau de fer " est par exemple très caractéristique de l'oxydation en surface des minéraux sulfurés riches en fer formant souvent des filons sulfurés ou des roches basiques/intermédiaires sulfurées. Le lessivage différentiel des métaux du à l'altération chimique sous climat chaud et humide est le moteur de la genèse des chapeaux de fer. Le fer oxydé (+3) a en effet la propriété d'être très peu mobile et donc de s'enrichir vis-à-vis d'éléments plus mobiles (Mg, Ca, Zn, Cu, ...). Il forme soit des oxydes (hématite) soit quand il est hydraté cristallise sous forme d'hydroxydes de la famille de la goethite ou encore de composés amorphes comme la limonite. Les sulfures ferrifères- pyrite, arsénopyrite, chalcoppyrite, ...- donnent par oxydation et/ou hydroxylation de l'ilménite, magnétite, hématite, goethite, covellite, ...plus ou moins riches en métaux de base et manganèse. Les structures minérales rencontrées dans ces faciès altérés sont souvent caractéristiques. Il s'agit de reliques, encore appelé fantômes, des minéraux originels préexistant au phénomène d'oxydation. On les nomme " boxwerks " en anglais et ils présentent souvent des phases ferrifères s'étant développées par invasion graduelle in situ du minéral primaire telle la pyrite par exemple. On retrouve alors sa forme cubique ou pentagonale typique ou alors, après

lessivage complet du fer et éléments accompagnateurs (Cr,Ni,Cu,Co,Ti), l'empreinte laissée par le cristal (c'est un peu le Pompei des cristaux).

Il est à ce stade temps de parler quelque peu du contexte géologique des gîtes aurifères primaires ou en roches. Il y en a de plusieurs types mais le plus connu est certainement celui représenté par les filons de quartz aurifères pouvant recouper diverses familles de roches. La gamme d'âge de mise en place des filons aurifères à travers le monde est très large. Elle s'étend du Précambrien inférieur (de 2.5 à 1.6 Ga) au Cénozoïque supérieur (Paléogène : de 24.5 à 1.5 Ma). Les études géologiques réalisées à travers le monde depuis près de 50 ans ont permis de définir une classification métallogénique. Celle-ci est assez complexe et nous allons parler par la suite uniquement à deux groupes principaux de minéralisations aurifères primaires (hormis les gîtes alluvionnaires très nombreux à travers le globe).

Les filons de quartz aurifères sont de deux types. Il sont soit à or libre (Au) dominant souvent coexistant avec de l'argent (Ag) soit en étroite association avec des sulfures (arsénopyrite principalement). La répartition spatiale des affinités géochimiques des minerais est généralement assez évidente pour permettre une classification régionale des associations géochimiques minéralisatrices. Elles sont plus ou moins homogènes et on les appelle des provinces métallogéniques. Par exemple, le *Mexique* possède des provinces métallogéniques à Au-Ag-±Hg (*Michoacan, Sonora*) et d'autres à Au-As±Sb (*Basse Californie*). Les roches encaissantes sont diverses : roches métamorphiques mais aussi sédimentaires, moins souvent roches magmatiques ou alors faciès volcaniques de composition intermédiaire à acide. Le quartz exhibe communément une texture typique (texture saccharoïde, et se présente souvent translucide bleuté à fumé). L'analyse minutieuse des microbulles de gaz (fluides) emprisonnées dans le quartz peuvent dans bien des cas permettre d'évaluer certains paramètres physico-chimiques (salinité, température, pression partielle en certains fluides, Ph, Eh...) et en déduire si le contexte était idéale ou non pour permettre la précipitation (cristallisation) de l'or eu égard à la concentration d'or ionique (souvent Au⁺ et/ou Au⁺⁺⁺) dans le fluide minéralisateur.

Deux périodes géologiques semblent particulièrement propices à la formation de tels filons aurifères. Il s'agit du Précambrien supérieur (encore appelé Protérozoïque) et du Cénozoïque (antérieurement appelé précédemment Ere tertiaire).

Les minéralisations filoniennes précambriennes se sont mises en place principalement dans des roches sédimentaires et/ou légèrement métamorphiques (faciès schiste vert à amphibolite sup.). Les granites et gneiss sont quasi dépourvus d'enrichissements aurifères, excepté s'ils se trouvent dans des zones fortement tectonisées comme dans des couloirs de charriage et/ou de cisaillement ductile (" shear zones "). C'est souvent le cas au *Gabon*, surtout dans la région du Centre-Ouest, appelée " shear zone " de *Lambaréné* enchâssée dans les roches faiblement métamorphisées d'âge protérozoïque supérieur.

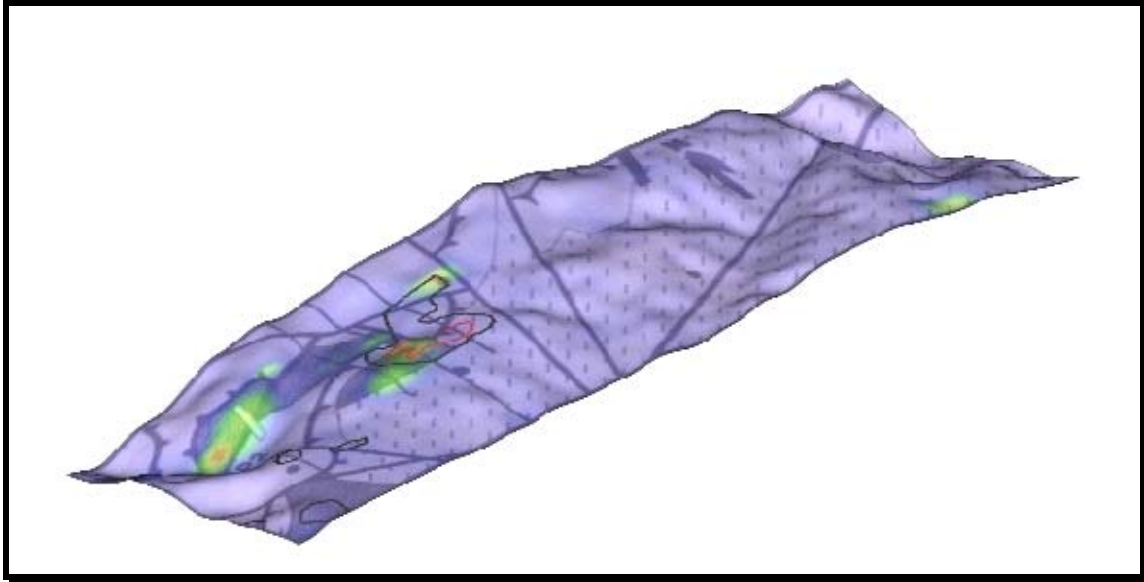


Figure 6. Exemple illustrant la mise en valeur des résultats d'une prospection détaillée pour l'or. Visualisation d'un modèle topographique 3D formé par la superposition de plusieurs couches (altimétrie, géologie, anomalies Au et As) - Site de prospection détaillé d'Arteaga : Michoacan (Mexique)- Melchior & al, 1992. L'observation de ce modèle illustre la coïncidence spatiale d'anomalies Au-As et d'une lithologie particulière (granodiorite). La minéralisation aurifère mésozoïque est lithologiquement disséminée et diffuse au sein d'une granodiorite. Elle est également quelques fois concentrée dans des filons/filonnets de quartz émanant de la roche intrusive intermédiaire. En périphérie immédiate du corps magmatique se trouve une veine de quartz qui a été exploitée par les habitants d'un village proche. Les éléments traceurs ou accompagnateurs de l'or sont Ag & As (en faible quantité). A noter que les anomalies du strontium (Sr) sont superposées à la roche intrusive enrichie en calcium (Ca) par la présence d'un plagioclase plus basique. Enfin, on pourra également mentionner que l'or alluvionnaire est bien présent dans les lits des cours d'eau drainant la structure minéralisée. Cependant, la jeunesse du relief encore actuellement en voie de surrection en bordure de marge continentale (où a lieu un mécanisme de subduction le long de la dorsale de méso-américaine) empêche toute concentration importante par sédimentation en milieu calme et cela bien que le démantèlement mécanique soit important.

De multiples filons aurifères de quartz traversent des micaschistes et des amphibolites pouvant donner lieu localement à de véritables gisements comme celui d'Etéké, notamment étudié par des géologues belges et français du B.R.G.M. (le fameux Bureau de Recherches Géologiques & Minières dont le siège central est situé à Orléans). De plus, dans le cas d'Etéké, une forte oxydation a engendré un enrichissement superficiel important suite à l'altération chimique intense en climat tropical.

Par ailleurs, l'extraction du minerai en zone meuble, résultant d'une forte altération climatique et/ou hydrothermale, réduit considérablement les coûts malgré une dilution globale de la teneur engendrée par la remobilisation et la dispersion secondaire de l'or. C'est également ce processus d'altération secondaire et de remobilisation superficielle qui favorise le transport et l'accrétion à certains endroits de nouvelles particules d'or pour donner naissance à ce que l'on appelle communément des pépites. Dans les cours d'eau, des pièges mécaniques comme des "pot holes" ou marmites achèvent le processus de concentration

mécanique par gravité pour pouvoir accumuler des pépites. Le rôle de certaines bactéries dans la formation des pépites est également à signaler comme le suggèrent certaines structures typiques observées sur la surface de nombreuses pépites secondaires dites supergènes ou encore accrétonnées.

Enfin, pour en revenir aux méthodes de prospection, il est également intéressant de rapporter que certaines bactéries (voir références bibliographiques en fin de texte) peuvent être aussi utilisées pour la prospection, moyennant certaines précautions au cours de la préparation stérile des échantillons.

Des études ont montré que, en général, plus la teneur en argent dans la pépite aurifère est élevée, plus elle est éloignée de sa source, donc de la roche primaire qui contenait cet or. Récemment, des observations effectuées sur la morphologie de certains grains d'or alluvionnaires ou supergènes (grains trouvés dans les sols) ont permis également d'estimer la distance de transport des fragments aurifères à partir de leur source et de la faire correspondre avec le rapport Ag/Au du grain transporté.

Le second type principal de gîte aurifère est beaucoup plus récent parce qu'il apparaît au Cénozoïque (Tertiaire) et se forme encore actuellement. Il s'agit de ce que l'on appelle la Province métallogénique aurifère circum-pacifique associé à un volcanisme de composition intermédiaire à acide en contexte subductif. L'affinité magmatique de ce volcanisme à minéralisations aurifères épithermales est le plus souvent calco-alcalin bien qu'il puisse plus rarement être tholéiitique, donc en bordure de la marge ou du fossé. On trouve ces minéralisations quasi dans toutes les régions à tectonique de subduction tels que le *Japon*, les *Philippines*, les archipels mélanésiens de *Papousie-Nouvelle-Guinée*, *Vanuatu*, *Fidji*, ..., la *Nouvelle-Zélande*, dans la *Cordillère des Andes* (surtout au *Chili*, *Pérou*, *Bolivie*, *Argentine*) émergeant à proximité d'une marge continentale active, en Amérique centrale, principalement dans l'arc des *Caraïbes* (*Petites Antilles*, *Haiti*) et enfin sur la côte ouest des *Etats-Unis* (*Nevada*, *Californie*, *Wyoming*, *Washington*, ...) et du *Canada* (*Colombie britannique*) ainsi qu'en *Alaska*. Les minéralisations sont de deux types : disséminées ou filoniennes. L'altération hydrothermale, dite épithermale parce que les fluides minéralisateurs sont de basse température et circulant à relativement faible profondeur, joue un rôle fondamentale dans la genèse de ces gîtes. Suite à des forages de reconnaissance près de la centrale géothermique de *Wairakei* (région de *Taupo* située dans l'île volcanique du nord de la *Nouvelle-Zélande*), des études très détaillées sur des assemblages minéraux liées aux processus d'altération hydrothermale ont montré l'existence de zonations typiques dans les différents faciès altérés : en gros ce sont la zone potassique interne, la zone propylitique intermédiaire et la zone argilisée extérieure associées à une température des fluides d'altération décroissante du centre vers la périphérie ainsi qu'une variation de leur composition plus ou moins riche en soufre et certains éléments en traces. Comparant leurs résultats avec ceux des géologues américains et eu égard aux données fournies par les prospections dans la ceinture circum-pacifique, les géologues néo-zélandais ont pu déduire une corrélation spatiale entre le type d'altération hydrothermale et la présence d'or mais aussi d'autres métaux comme le cuivre et le molybdène. L'or se trouve le plus souvent dans les zones intermédiaires (altération propylitique) et plus superficielles (altération argillique) et quasi jamais au centre, c'est-à-dire au cœur du secteur altéré. On notera que des phénomènes d'interférence et d'interpénétration (télescopages) des zones d'altération peuvent jouer les "trouble-fête" pour masquer ou oblitérer complètement l'identification des structures. Ce sont les limites contraignantes des modèles théoriques qui s'appliquent bien souvent à la recherche de gîtes minéraux, à tel point que l'on dit qu'une minéralisation ne ressemble jamais à une autre, même si c'est sa sœur jumelle sur le plan du modèle génétique théorique. Par ailleurs, on n'oubliera pas que certaines structures géologiques préexistantes, telles que

les failles, dykes, ring dykes, cisaillements..., jouent un rôle fondamental dans les processus de mise en place des minéralisations et de leur développement ultérieur. Elles servent notamment à canaliser les fluides minéralisateurs et à servir de piège physico-chimique lors de noeuds ou de variation lithologique et/ou tectonique brutale. C'est par exemple le cas des minéralisations de type " caldera " aux îles Fidji. Par exemple, l'ensemble du faisceau de failles liées à l'effondrement de certains édifices volcaniques explosifs a permis par la suite aux fluides minéralisateurs hydrothermaux postvolcaniques de circuler jusqu'à rencontrer des conditions physico-chimiques propices à la genèse de gîtes plus ou moins riches en or.

Un autre groupe de minéralisation aurifère épithermale est le type disséminé sulfuré ou non. Ce groupe représente actuellement l'intérêt majeur pour les grandes compagnies minières (telles que Anglo-American, BHP-Utah, ...). Il s'agit en fait de gîtes souvent très volumineux mais peu riches en or. On les a dénommé minéralisations aurifères basse teneur (" low grade ") - haut volume (" high volume "). Elles sont intéressantes économiquement parce qu'elles se trouvent souvent dans des roches très altérées (hydrothermalement) et donc généralement assez meubles pour pouvoir les broyer sans utiliser trop d'énergie bien coûteuse. De plus, les surprises ne peuvent qu'être agréables eu égard à la répartition relativement homogène (vis-à-vis de minéralisations filoniennes de même origine) d'une teneur minimale. Ces minéralisations renferment en général 1 à 5 grammes par tonne de roche constituent le plus souvent un tonnage dépassant plusieurs centaines de millions de tonnes, soit un volume d'environ deux fois et demi plus élevé que le tonnage.

C'est ainsi qu'au *Nevada* (gîte hydrothermal type *Carlin* dans des carbonates surmontant des rhyolites) des collines et même des montagnes entières sont arasées. Des plans de reboisement et d'assainissement sont alors mis en place après l'exploitation (en tout cas ça devrait être le cas). Le problème induit par ce type de minéralisations renfermant une quantité appréciable d'arsénopyrite, sulfure ferrifère riche en arsenic, réside dans la dispersion par lessivage des rejets miniers très toxiques.

En matière de prospection de l'or, l'accent a été mis très récemment sur la recherche de telles minéralisations d'extension importante mais de faible teneur. Récemment, on s'est mis à extrapoler les modèles des gîtes aurifères épithermaux à des contextes géologiques beaucoup plus anciens tels que ceux du Protérozoïque en Afrique de l'Ouest (*Mali*, *Niger*, *Côte d'Ivoire*) ou en *Australie* (*Kalgoorlie*). Et les résultats positifs suggèrent que le modèle épithermal global est applicable dans des formations d'âge élevé, ± 2.5 Ga.

PROBLEMATIQUE LIEE A L'EXPLOITATION DES MINERAIS D'OR.

Ajouté à la pollution fréquente au mercure (Hg) utilisé pour l'amalgamation de l'or dans la plupart des pays dits en développement, les problèmes environnementaux liés à l'extraction minière, et particulièrement de l'or, mettent l'accent sur la nécessité de contraindre les compagnies minières et les groupes d'exploitation artisanaux à utiliser des méthodes d'extraction propres telles que notamment la séparation par gravité (méthodes gravimétriques).

Les contingences financières et structurelles dans les pays les plus pauvres ainsi que le laxisme (souvent associé à la corruption) des autorités politiques compétentes limitent bien évidemment fortement l'application de telles mesures. Des cas de pollution grave ont souvent émaillé les étapes d'exploitation de l'or. La rupture de digues dans des bassins de retenue des rejets miniers ou dans des zones de stockage des minerais traités ont régulièrement défrayé la chronique minière et provoqué le tollé hautement justifié des populations, notamment au Brésil, Surinam, et autres pays amazoniens. Par ailleurs, l'utilisation de plus en plus fréquente et intensive de composés cyanurés pour la lixiviation des minerais aurifères de basse teneur pose avec encore plus d'acuité le problème d'éventuelles contaminations graves par

percolation dans les sols et nappes aquifères régionales et destruction du cadre naturel originel.

QUELQUES IMPRESSIONS PERSONNELLES

Voilà, nous venons de faire ensemble un tour d'horizon succinct de quelques méthodes d'exploration minière avant de parler des principales minéralisations associées à des roches magmatiques ou encore incluses sous forme filoniennes dans des roches métamorphiques ou filoniennes. Tout cela vous semble probablement assez complexe mais la nature est elle-même très complexe en soi mais elle est si passionnante et riche.

Comme beaucoup de choses du vaste domaine des sciences de la nature et notamment celles de la terre, on peut rappeler que c'est la nature qui décide et dirige. Nous ne pouvons être qu'humbles et admiratifs avant d'essayer de découvrir, aussi bien scientifiquement qu'esthétiquement ou artistiquement, toutes les merveilles naturelles de notre fabuleuse planète.

EPILOGUE

J'aurais encore voulu vous parler d'autres prospections menées au Mexique (formidable pays minier renfermant des richesses minérales encore insoupçonnées), de la Patagonie argentine où le froid glacial et impétueux vous fouette à chaque instant le visage pour vous rappeler que la nature reste seule maîtresse ou encore le Vietnam avec ses fourmières humaines regroupées autour des champs d'exploitation alluvionnaire, le Mali avec ses garimpos anonymes, véritables forçats du travail, accroupis au fond d'un étroit boyau à 30 mètres de profondeur et s'asphyxiant littéralement par manque d'aération, véritablement l'enfer sur terre !



Signe d'une amitié belgo-mexicaine de poids lors d'une prospection dans l'Etat de Sonora (Mexique)

Quelques références bibliographiques pour information

Manuel du prospecteur minier ; manuels et méthodes 2 - J-B Chaissier & J. Morer ;
Edition du Bureau de recherches géologiques et minières ; 1980.

Dictionnaire de géologie - A. Foucault & J.F. Raoult ; Editions Masson, 1984.
Les mots soulignés sont en grande partie explicités dans cet ouvrage mis régulièrement à jour.

Exploration minérale par géochimie des sols dans la région d'Arteaga (Michoacan, Mexique) - Melchior A., Neybergh H., Dejonghe L., Buvé L., Cardenas J., Nunez J., Bastida R. Annales Société géologique de Belgique, 155, pp. 227-243, 1992.
Concerne la présentation des résultats principaux d'un programme exploration minière au Mexique (dans le cadre d'une collaboration belgo-mexicaine financée conjointement par les deux Etats).

Geomicrobiology applied to mineral exploration in Mexico - A. Melchior, J. Cardenas, L. Dejonghe. Journal of geochemical exploration, 51, pp. 193-212, 1994.
Concerne des essais d'une méthode nouvelle d'exploration aurifère (d'abord au Mexique puis en Argentine).

L'inventaire minier du Gabon - Chronique de la recherche minière. B.R.G.M.
Juin 1988, N°491. Participation collégiale de plusieurs auteurs, notamment les géologues du UN/DTCD pour le chapitre intitulé " Apport de l'inventaire aux connaissances géologiques & minières des feuilles à 1/200.000 de Libreville, Kango et Lambaréné (Gabon).
*A noter que les **figures 2, 3, 4** (UN/DTCD), **5** (UN./DTCD) sont reprises de ce chapitre.*



2 outils indispensables du géologue d'exploration

