

#### 4.4 Provinces Métallogéniques

Compte tenu des résultats des levés géologiques supplémentaires réalisés sur 13 indices, les domaines métallogéniques ont été examinés en mettant l'accent sur les gisements d'or et de cuivre. Les 5 domaines suivants (table 4.4.1 et figure 4.4.1), ont été sélectionnés sur la base de ces investigations :

1. formation ferrugineuse rubanée (BIF)
2. gisement d'or dans les BIF
3. gisement d'or dans les ceintures de roches vertes
4. gisement d'or et de cuivre dans les ceintures de roches vertes
5. gisement de chromite

Tableau 4.4.1 : Provinces métallogéniques

Province métallogénique	Domaine géologique	Type de gisement	Gisement	Substance	Age de minéralisation
Formation ferrugineuse rubanée (BIF)	Dorsale Reguibat	Gisement d'origine BIF de type supérieur	Tiris Rhein, Aouj, Kedia d'Idjill TO14, M'haoudat Tasiast	Fe	Archéen
Gisement d'or dans les BIF (roches vertes)	Dorsale Reguibat	Gisement Mésothermal en réseau et disséminé épithermal à mésothermal		Au	Protérozoïque
Gisement d'or dans une ceinture de roches vertes	Dorsale Reguibat	Veine hypothermale	Tijirit Ator	Au	Protérozoïque
Gisement d'or et de cuivre dans une ceinture de roches vertes	Mauritanides	Veine mésothermale Carbonates	Indice 78 Guelb Moghreïn	Au Cu	? Protérozoïque supérieur
Gisement de chromite	Mauritanides	Gisement de chromite orthomagmatique	Guidimaka	Cr PGE	Protérozoïque supérieur
	Dorsale Reguibat	Gisement de chromite orthomagmatique	Amsaga	Cr	?

##### (1) Province de la formation ferrugineuse rubanée (BIF)

C'est un domaine métallogénique qui a été formé dans la Dorsale de Reguibat, et il est constitué de la formation de fer de Tiris et de la formation de fer de Koedia-Idjill. Les gisements de la formation de Tiris sont considérés être probablement des dépôts métamorphiques de sédiments clastiques originaires des BIF archéennes du type Algoma. Cependant les gisements

de fer de la formation de Koedia-Idjill sont des BIF de type Superior qui ont été formées dans le Protérozoïque après la formation des gisements de fer de Tiris dans l'archéen. Géographiquement, la plus ancienne formation a eu lieu à côté de la formation de fer de Koedia-Idjill. Ainsi, les deux formations de fer peuvent être classées dans un seul domaine métallogénique. Les réserves de minerais de fer dans ce domaine sont estimées à 1 milliard de tonnes

## **(2) Gisements d'or dans les BIF**

C'est un domaine métallogénique des gisements d'or qui ont été formés dans les BIF et les ceintures de roches vertes dans la Dorsale de Reguibat, et le Tasiast et il est représentatif des gisements d'or. Bien que l'âge de la formation des couches de magnétite qui constitue la roche mère (l'archéen) est différent de l'âge des minéralisations aurifères (le Protérozoïque), le gisement est constitué de dépôts d'or hydrothermaux (épithermaux à mésothermaux) avec des indices provenant de la dissémination et/ou de la structure en réseau le long des fractures de la roche mère. Une exploration intense a été entamée sur le secteur de Piment dans le Tasiast, et les réserves brutes y compris les réserves calculées sont estimées à 25 millions de tonnes. Il existe des zones potentielles au Sud et au Nord du secteur de Piment où le même type de minéralisation d'or est fort probable.

## **(3) Gisements d'or dans la ceinture de roches vertes**

C'est un province métallogénique de type de gisements d'or en veines qui a été formé dans les ceintures de roches vertes dans la Dorsale de Reguibat et des Mauritanides composés de ceintures de roches vertes. Les gisements aurifères en veines dans la Dorsale Reguibat se sont développés à la faveur de la fracturation, accompagnant les lignes tectoniques. La veine d'Ator est représentative des veines d'or dans ce domaine.

L'indice 78 est un prospect d'or dans les Mauritanides, et sa formation peut être liée aux activités tectoniques des Mauritanides. La veine d'or est caractérisée par la présence locale d'une grande teneur d'or supérieure à 10g/t d'or.

Bien que cette province métallogénique soit située dans les deux zones (la Dorsale Reguibat et la chaîne des Mauritanides), il n'est pas encore évident que ces deux formations aient le même âge géologique.

## **(4) Gisement d'or et de cuivre dans la ceinture de roches vertes**

Il s'agit de la province métallogénique des gisements d'or et de cuivre, de type hydrothermal de substitution qui ont été formés dans les Mauritanides. Ce sont les gisements de Guelb Moghrein, et les prospects de Tabrinkout et de Kadiar dans la chaîne des Mauritanides.

La roche mère de ces gisements est constituée de carbonates, et partiellement de roches vertes. L'indice est massif, disséminé ou en veines. Sur la base de la structure en veines et du paragenèse du minerai, le gisement de Ouedelemguil fait partie de cette province. Cette province mauritanienne recèle d'importantes ressources de cuivre.

L'âge de formation du dépôt est supposé être en fin du Paleozoic. La minéralisation a eu lieu au même moment de la formation de ceintures de roches vertes. L'exactitude d'appartenance du dépôt à l'IOCG est un sujet important à clarifier dans cette province métallogénique.

#### **(5) Gisements de chromite**

C'est une province de gisements de chromite de type Podi-forme qui ont été formés parallèlement aux roches ultra-mafiques dans les Mauritanides. Ce levé a mis en évidence que le gisement de chromite de Guidimaka est accompagné par des EGP (éléments du groupe du platine ). Il existe le même type de gisement podi-forme de chromite dans l'Amssaga dans la partie occidentale de la Dorsale de Reguibat. Bien qu'il fasse partie d'une différente province géologique (Dorsale de Reguibat), il fait aussi partie de cette province métallogénique. La clarification de la différence entre la province géologique et cette province métallogénique est une question à aborder dans l'avenir.

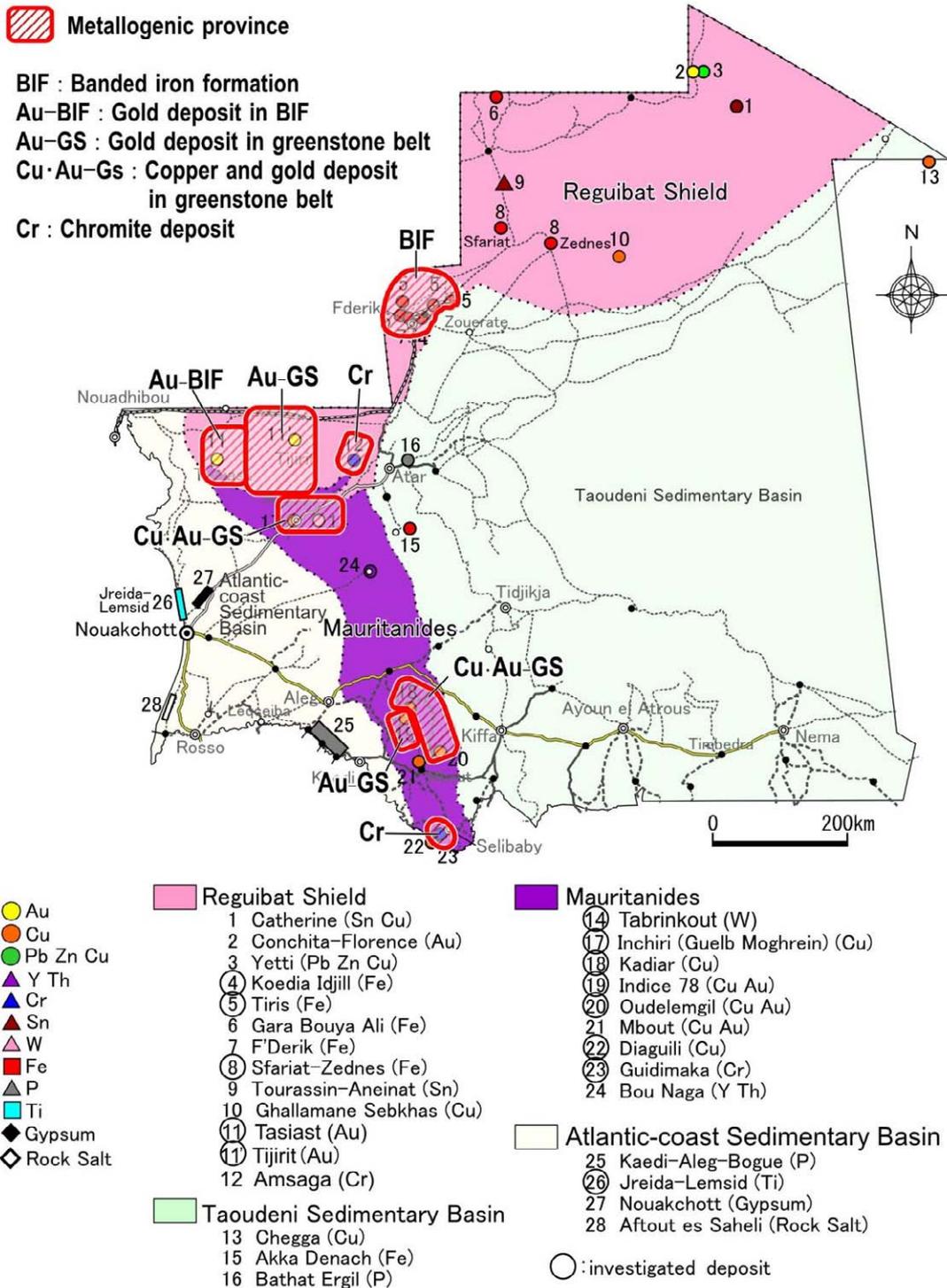


Fig. 4.4.1 Provinces Métallogéniques en Mauritanie

#### 4.5 Modèles de gisements Miniers

Ce chapitre décrit les modèles de gisements miniers (gisement de fer de Tiris, gisement de Koedia-Idjill, le gisement d'or de Tasiast, le gisement d'or et de cuivre de Guelb Moghrein et l'indice 78 dans les Mauritanides) sur la base du levé géologique supplémentaire.

##### 4.5.1 Formation de fer de Tiris

Cette formation est composée de gisements de Guelb El Rhein, Guelb El Aouj, Guelb Atomai etc.

Le minerai de fer de magnétite à grains grossiers est exploité à partir de ces gisements.

Le minerai de magnétite se rencontre lenticulaire ou disséminé dans les quartzites, leptinites et amphibolites du groupe de Tiris d'âge précambrien (avant 1,7 Ga au moins). L'épaisseur de la masse minéralisée est d'environ 100m avec une longueur d'environ 1km.

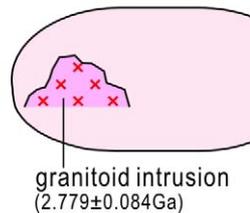
Chaque gisement comprend du minerai de fer à une grande échelle (BRGM, 1975 ;SNIM rapport inédit). Presque tous les gisements datés du précambrien (spécialement avant 1,9 Ga) sont des formations ferrugineuses rubanées (BIF), mais le gisement de Tiris précité est un cas particulier.

Cependant il existe deux possibilités :

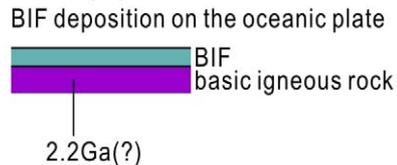
- 1- les concentrations de fer se sont formées comme des BIF y compris les formations de Tiris
- 2- Après la sédimentation de ces formations elles ont émigré à travers un autre processus.

Comme un processus considérable de dispersion de minerai de fer, les concentrations de fer formées des BIF ont été diffusées et injectées dans d'autres roches à cause de la température élevée du métamorphisme (1,6 Ga l'âge estimée des

2.8Ga

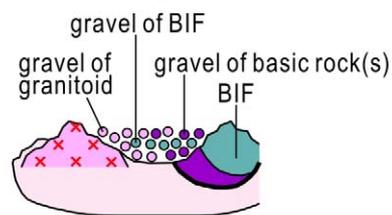


2.2Ga(?)



2.1Ga(?)

thrust up of the oceanic plate on the continent  
→ weathering and sedimentation



2.0(?) - 1.6Ga

amphibolite-facies metamorphism changed ferruginous sedimentary rocks to magnetite-bearing gneiss

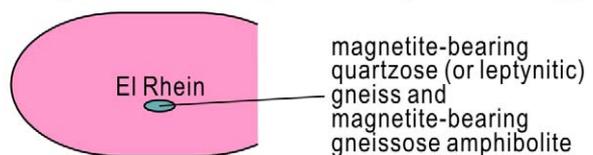


Fig. 4.5.1 Mineral deposit model of the Tiris iron formation

amphibolites et 1,5 Ga l'âge estimée de Pheldspar à potassium), des amphibolites qui contiennent les BIF.

Cependant, dans les cartes géologiques du BRGM (1975) et la SNIM (données inédites), les limites entre les quartzites, leptinites et amphibolites sont tracées clairement comme des limites lithologiques. Il est difficile de supposer qu'une diffusion intense des composantes chimiques par la haute température et une mixture chimique entre nombreux types des roches a eu lieu dans le passé géologique.

La diffusion mécanique est considérée comme un autre processus de diffusion. Après l'érosion et le concassage des BIF, les clastiques d'origine granitique et des roches mafiques ainsi que les oxydes de fer ont été diffusées. Il est raisonnable qu'après le métamorphisme régional, les clastiques riches en quartz ont été transformées en quartzite à magnétite, les clastiques dominées par le quartz et le feldspath ont été transformées en leptinites à magnétite et les clastiques mafiques ont été transformées en amphibolites à magnétite. La raison pour laquelle les grains de magnétite seront grossiers est que les oxydes de fer clastiques fournis par les BIF étaient de taille conglomératique. Il y a de multiples possibilités pour les roches qui ont constitué la source des clastiques mafiques. Pour la simplification, dans la Fig. 4.5.1, les BIF ont été marquées comme des BIF de type Algoma avec des roches mafiques. Bien que le modèle de datation par Rb-Sr montre 2.2 Ga, l'amphibolite fournie pour les mesures a subi une chloritisation intense. Donc, il n'est pas clair lequel des âges enregistrés est l'âge exact de la formation des roches mafiques éruptives.

#### **4.5.2 le groupe ferrugineux de Koedia Idjill**

Ce groupe est constitué par les gisements de F'Deirik, Seyala, Rouessa, Tazadit, TO14 et de M'Haoudat. Les BIF typiques se rencontrent dans le groupe d'Idjill dans le Précambrien. Le groupe d'Idjill qui constitue la roche mère est constitué de 7 nappes (fig. 4.2.5, Bronner et al, 1992). Parmi les 7 nappes, trois unités (1,5 et 6 dans la figure 4.2.5) sont de petites échelles et affleurent en étroites sections et leur formation géologique est ambiguë. D'autre part, le reste des unités du groupe (2,3,4 et 7 dans la figure 4.5.2) montre des différents faciès lithologiques. C'est ainsi que l'unité de La broche est constituée de conglomérats, l'unité de l'Achouil est formée de schistes pelitiques, l'unité de Tazadit est constituée des BIF et de schistes basaltiques avec des disséminations d'hématites et de metabasalte. Les unités présentent des faciès lithologiques différents. La description de chaque unité et l'interprétation géologique de chaque cas sont détaillées comme suit :

##### **(1) Unité de La broche :**

cette unité est constituée de conglomérats et dans certaines parties de l'unité de La broche, des orthoquartzites sont reconnues dans les cailloux et les graviers cimentés par les oxydes de fer et les matériaux de la silice (fig. 4.5.2). Sur la base de leur faciès lithologique, il est compréhensible

que la sédimentation du fer et de la silice, diffusés dans l'eau de la mer et se sont déposés dans le fonds de la mer soit liée au même phénomène que celui de la formation des BIF dans un mer peu profond a cote du continent composé d'orthoquartzites. Kato et al (1998) et Kato (2003) a éclairci le processus de formation des BIF en menant des recherches sur les BIF, situées dans l'Ouest Australien a travers (1) l'émission du fer et de la silice par les volcans situés dans le vallée du rift continental ;(2) la sédimentation des clastiques oxydées sur le fond de la mer, après l'oxydation et l'émission des matériaux ». sur la base de leur théorie, le mécanisme précité de formation des conglomérats est considéré comme ce qui suit :

- 1). la vallée de rift marin est formé, le rift continental commence à se diviser
- 2). Après le commencement de la division continentale, le rift était étroit et a connu l'accumulation de cailloux et de graviers dérivés du continent dans la partie peu profonde de la mer près du rift continental.
- 3). Les cailloux et graviers ont été cimentés par le matériaux ferrugineux et siliceux émis par la vallée du rift marin.



Fig. 4.5.2 Galets et graviers de conglomérat d'orthoquartzite avec des oxydes de fer et des matériaux de roches siliceuses

## (2) Unité d'Achouil

L'unité d'Achouil est constituée de schistes pelitiques et sa sédimentation est considérée avoir eu lieu dans un environnement océanique, c'est-à-dire que l'activité de la vallée du rift a continué, le fonds océanique s'est élargi et l'environnement océanique s'est mis en place. Cette unité manque de concentrations d'oxyde de fer, ce qui signifie que l'émission des matériaux siliceux venant du rift a été suspendu.

(3) Unité de Tazadit :

L'unité de Tazadit est constituée des BIF et des concentrations locales de roches clastiques. Ce qui signifie que le fonds océanique a continué à s'élargir et il a constitué un environnement marin plus océanique que dans le cas de l'Unité d'Achouil. c'est à dire que la zone de la mer a eu cet environnement au moment où les formations clastiques du continent rarement atteint se sont formées. Dans cet environnement les matériaux de fer et de silica commence à être émis et les BIF ont été formées après la sédimentation des formations clastiques au niveau du fonds de la mer.

En outre, le gisement de Seyala contient de petites couches de schistes basaltiques, ce qui signifie que ce schiste basaltique peut être lié aux schistes basaltiques de l'unité de M'haoudat. Comparés avec les schistes basaltiques, l'âge de la sédimentation de l'unité de Tazadit est la même que celui de l'unité de M'haoudat.

(4) Unité de M'haoudat

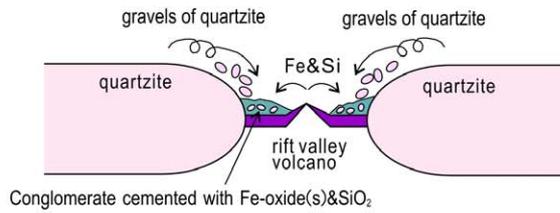
L'unité de M'haoudat est dominée par les schistes basaltiques et les metabasaltes, les hématites disséminés au sein des schistes basaltiques. Ainsi, il est considéré qu'une autre activité volcanique basaltique différente que la crête qui a eu lieu au moment de la formation des BIF, et le basalte était éjecté ailleurs, (2,3 Ga selon le modèle de datation Rb-Sr réalisé sur la roche totale) et après les pyroclastes basaltiques ont été jaillies. La dissémination précitée des hématites pourra être due à la précipitation des oxydes de fer pendant les intervalles de sédimentation pyroclastique.

(5) Nappe de charriage du groupe de Idjill

Selon le processus précité, après l'élargissement de fonds de la mer et la formation du rift et de la crête, la sédimentation variante et avancée a eu lieu et le groupe de Idjill est formé. Il est concevable que le groupe Idjill a été charrié sur la croûte continentale composée du groupe de Tiris (environ 2,0 Ga). En ce moment, le groupe d'Idjill était divisé en 7 nappes (Bronner et al, 1992), et après ces couches feuilletées ont subi l'évènement du métamorphisme du faciès des schistes vertes. Il est probable que ce métamorphisme a continué jusqu'à 1,8 Ga sur la base de datation des muscovites de l'unité de M'haoudat par la méthode de K-Ar ou jusqu'à 1,6 Ga selon une datation Rb-Sr de la roche totale des schistes basaltiques de la même unité.

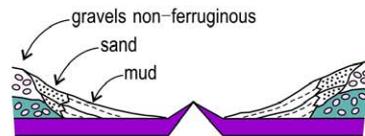
1

Stretching apart of the continental crust and spreading of the oceanic plate with Fe&Si exhalation



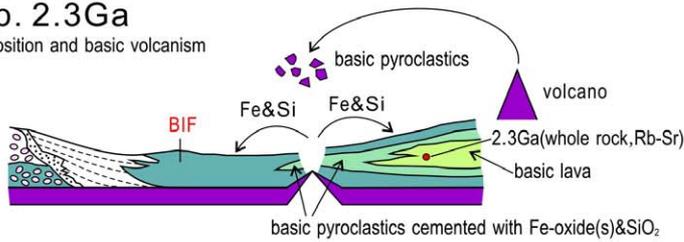
2

Deposition of clastics and spreading of the oceanic plate without Fe&Si exhalation



3 app. 2.3Ga

BIF deposition and basic volcanism



4 app. 2.0Ga(?)

Thrusting caused by the collision of the continental plates → and then the green schist-facies metamorphism that completed around 1.8Ga

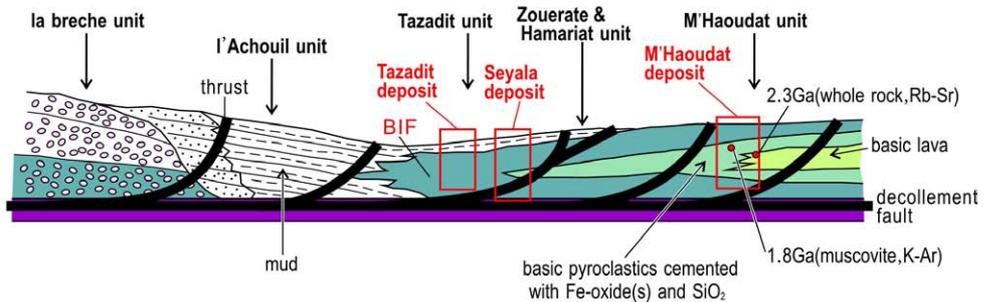


Fig. 4.5.3 Modèle de gisement minéral des BIFs de Koedia-Idjill

#### 4.5.3 Gisement d'or de Tasiast

(1) phase hydrothermale

Le gisement est constitué de veines de quartz contenant de l'or recoupant les BIF de type Algoma et de disséminations d'or dans les BIF. L'influence du processus hydrothermal sur le gisement est confirmé par la minéralisation de l'or, des petites concentration de dissémination de pyrrhotite, de minéralisation de tungstène et une zone blanche fortement argilifère (voir Figure 4.3.3). La minéralisation d'or, de tungstène et la zone blanche fortement argilifère sont supposées être formées sous différentes températures, sur la base de l'homogénéité des températures des fluides inclusifs et les températures estimées sur la base des assemblages de minerais d'argile. Il est nécessaire de calculer la température de formation à partir de celle de l'homogénéisation sur la base de la compensation de la pression. Selon les circonstances de dépôt, la pression est supposée être de 1,5kb et la température de formation est présumée être égale à la température d'homogénéisation plus environ 100°C.

La minéralisation du tungstène a eu lieu sous une plus haute température d'environ 380° C. la salinité des fluides de formation de minerais est estimée à environ 37 wt% de NaCl équivalent. Le fluide de formation de minerai est sensé être sous les conditions d'oxydation sur la base de la dissolution du chromium reconnue dans la zone de minéralisation de tungstène.

L'argilisation des argiles blanches a eu lieu sous une température moyenne d'environ 300 °C. sur la base des types des minerais argileux, le fluide de formation de minerai est sensé être neutre ou légèrement acide. Car la dissolution intensive du fer des BIF nécessite ce fluide comme un facteur réductif.

L'or a été produit sous une plus faible température d'environ 250°C. la salinité du fluide de formation est sensée être environ 26wt% NaCl éq.

Si la minéralisation et l'altération précitées ont eu lieu sous forme de chaîne d'activité hydrothermale, la température la plus élevée devra produire le premier minerai et la plus basse devra produire le dernier. C'est-à-dire qu'il est fort probable que cette chaîne a eu lieu dans l'ordre qui suit :

- 1- La minéralisation du tungstène
- 2- L'argilisation des argiles blanches
- 3- La minéralisation de l'or (fig 4.5.4)

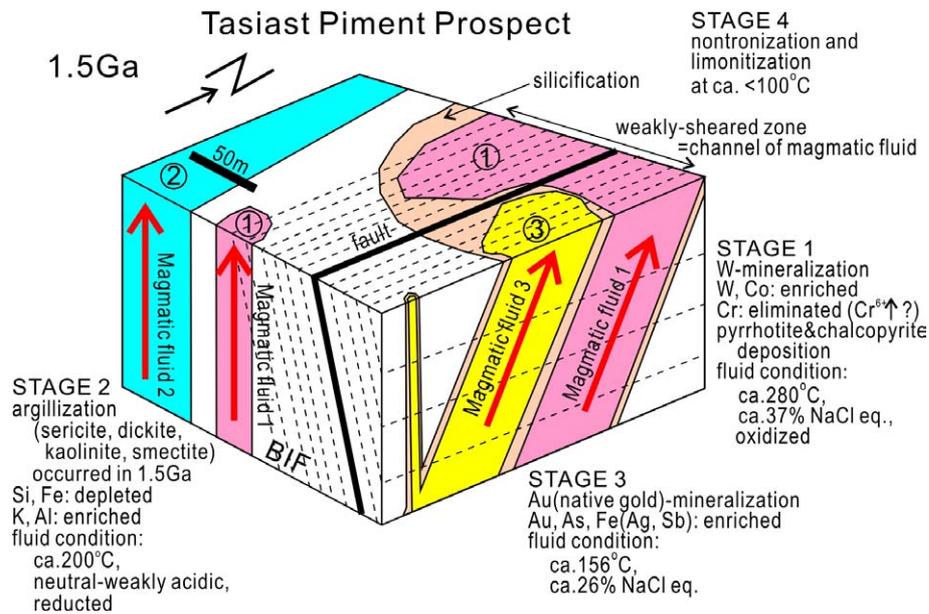


Fig. 4.5.4 Modèle de gisement Minier du gisement d'or de Tasiast

## (2) Cheminement de minéralisation du fluide

Dans une partie de la zone minéralisée en dessus de 1g/t pour l'or, le détritit provenant des tranchées a été fortement concassé. Les petits détritits montrent la destruction des couches par les fractures, et ce qui signifie que le fluide a passé en ascendant sur la zone de cisaillement et a perdu des parties de son contenu dans les environs de cette zone. L'orientation dominante de la zone de cisaillement est à peu près présumée être N-S, en tenant compte de la tendance que la zone des minéralisations aurifères montre une teneur de 0,1-1 g/t pour l'or comme la teneur la plus basse. (voir figure 4.3.3).

Entre temps, la minéralisation d'or la plus riche ne se trouve pas au centre de la zone de faible minéralisation mais elle se trouve dans la partie Nord de celle-ci. Ce qui signifie que le levé géochimique est conforme avec les résultats publiés dans « Gold shoots plunging in a southerly direction » (Rio Narcea Gold Mines, 2005). Il semble que la minéralisation du fluide s'est déplacé non pas verticalement mais dans une direction nord.

## (3) L'âge des minéralisations

La méthode approximative de K-Ar montre une âge de 1,9 Ga dans les sericites pauvres en potassium ( les sericites qui contiennent à peu près 1% de Potassium) collectés de la surface dans la zone argilifère. Higashihara et al, (2004) a révélé que la méthode approximative K-Ar appliquée sur les sericites pauvres en potassium ou les muscovites pauvres en potassium a montré un âge qui est à 29% plus ancien que l'âge réel. Compte tenu de cette remarque, il se

peut que les sericites pauvres en potassium susmentionnées aient un âge réel d'environ 1,5 Ga. Cet âge présumé est soutenu par les résultats de la méthode K-Ar appliquée sur un sericite séparé de la zone blanche argilifère et prélevé d'un échantillon de carottage.

Si la minéralisation d'or a eu lieu simultanément avec l'argilisation (1,5 Ga), l'âge devient plus récent de 0,2- 0,3 milliard d'années, que l'âge basée sur la méthode approximative K-Ar (1,8-1,7 Ga), réalisée sur un amphibolite des schistes à amphibolite considéré comme roche mère dans le gisement de Tasiast et sur un muscovite des biotites- muscovites.

Tandis qu'il est présumé que les âges approximatives des minerais dans les schistes cristallins montre l'âge terminal pour le la métamorphisme, la minéralisation aurifère a eu lieu 0,2-0,3 Ga après l'âge terminal du métamorphisme. Cependant, la minéralisation aurifère dans le tasiast ne peut pas être considérée comme synorogénique et elle ne peut pas être considérée comme un gisement d'or orogénique. Si l'anatexie s'est produite sous une faible croûte au moment du métamorphisme, il est possible que la magma s'est refroidis et s'est installée pendant 0,2-0,3 billions d'années. C'est pour cela que l'activité magmatique comme force dirigeante du processus hydrothermal n'a pas montré de relation avec le mouvement de la croûte qui a pris fin dans l'ordre de 1,8-1,7 Ga.

Izawa (1993) estime que l'une des plus grandes pics de minéralisation aurifère a eu lieu depuis 1,5 Ga, et pendant cette période 600 tonnes d'or ont été formés. Il est fort probable que certaines conditions géologiques ont eu lieu dans la zone de Tasiast pour la mise en place des minéralisation aurifères à ce temps là.

#### **4.5.4 les gisements d'or et de cuivre dans les Mauritanides**

##### **(1) Aperçu de l'histoire géologique des Mauritanides**

Selon Lecorche et al, (1989) et Le Page et Lecorche (1991), les Mauritanides sont constitués de ceintures de roches vertes composés de nombreuses nappes de charriage déposés sur la Dorsale de Reguibat.

Lecorche et al ont donné les explications suivantes :

La croûte continentale de Hajar Dekhen située à l'ouest, en collusion avec la Dorsale de Reguibat dans sa partie orientale. À ce moment, la plate océanique située entre ces deux croûtes continentales a tranché comme une tôle et a entré dans l'espace situé entre les deux croûtes le long des zones de charriage.

Higashihara (2005) a conclu que le charriage qui a formé les Mauritanides a eu lieu depuis 680 Ma en tenant compte de la théorie de tectonique des plaques, sur la base de l'âge de la formation des skarnes du gisement de Guelb Moghreïn (691±30 Ma) et celui de l'intrusion et l'éruption des roches magmatiques alcalines du complexe de Bou Naga y compris les syénites (680±10 Ma).

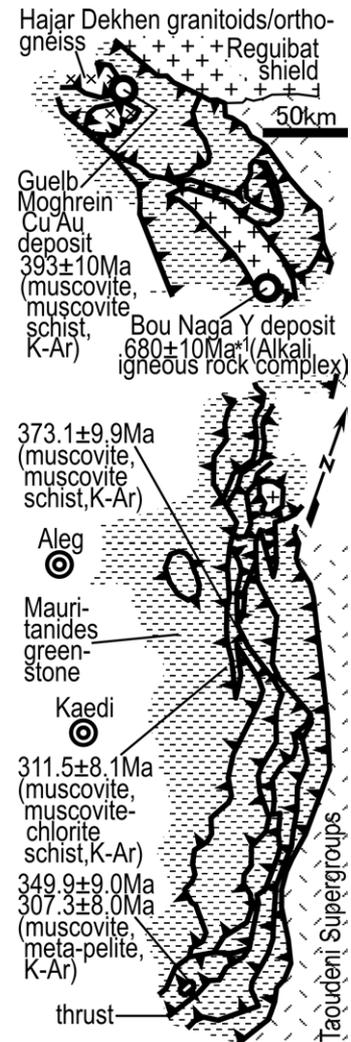
Après la collision, les Mauritanides ont subi le métamorphisme du faciès des schistes verts. Ce métamorphisme est sensé avoir duré jusqu'à l'âge de  $393 \pm 10$  à  $307 \pm 8$  Ma, sur la base de la datation K-Ar réalisée sur un muscovite dans les schistes à muscovite des Mauritanides (fig 4.4.5)

L'activité plutonique dans les Mauritanides est due à la collision (environ 680 Ma) de deux croûtes continentales qui a formé les Mauritanides (Higashihara, 2005). Il est considéré que la croûte proche du charriage marquée par la collision des croûtes continentales s'est foncé dans le manteau et la température s'est élevée, l'anatexie a eu lieu et l'activité plutonique a eu lieu dans la zone vaste des Mauritanides. La formation de skarnes avec minéralisation en or et cuivre dans le gisement de Guelb Moghrein et l'activité magmatique alcaline dans le complexe de Bou Naga étaient liées à une série d'activités plutoniques (Higashihara, 2005). Il est probable que les minéralisations d'or et de cuivre dans d'autres endroits des Mauritanides soient de même résultats de la même activité plutonique.

## (2) Le gisement d'or et de cuivre de Guelb Moghrein

Le gisement est supposé être de type Oxyde de fer- Cuivre-Or (IOCG) qui remplaçait les roches carbonatées en interaction avec les roches vertes. À côté du gisement, les roches vertes sont constituées essentiellement de (biotite) schistes chloritiques du faciès des schistes verts, et associées avec des métagabros qui contiennent l'amphibolite qui montre une datation K-Ar de 1,7 Ga (Murakami, données inédites) et de l'amphibolite qui montre un âge Ar-Ar de 1,7 Ga (Murakami et autres, 2005). Un petit bloc de muscovite pollitique a été confirmé dans les schistes verts, et la datation K-Ar du muscovite dérivé de ce bloc a révélé un âge de  $0,39 \pm 0,01$  Ga qui correspond à l'âge terminal du métamorphisme du faciès des schistes verts. Les BIF de type Algoma constituent des couches minces dans les schistes verts dans les environs du gisement (Strickland et Martyn, 2001). La page d'accueil de Murakami suggère que la totalité des roches vertes sont du groupe de l'Archéen.

Les skarnes à fer et magnésium constitués du talc et de cummingtonite ont été formés dans les roches carbonatées et les roches vertes avant  $0,69 \pm 0,03$  Ga, avant la minéralisation du gisement. On suppose que la magma dérivée de l'anatexie précitée a intervenu au-dessous du gisement et a chauffé les roches carbonatées en produisant la skarnisation. Après cela, l'oxyde de fer composé essentiellement de magnétite avec un peu de pyrite et de pyrrhotite cristallisé, le



sulfite de cuivre (chalcopyrite), se sont cristallisés et la minéralisation aurifère a eu lieu en même temps, les carbonates et une partie des skarnes ont été remplacés (Murakami et autres, 2005). La formation  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  de Chalcopyrite produite à ce moment là contient +2,22 ‰ (Murakami, données inédites). En appliquant cette valeur à Ishihara et Sasaki (1989), il pourra être considéré que la granite liée à la minéralisation fait partie des séries de magnétite. Dans les roches vertes et dans les environs du gisement il a été reconnu que le chrome a été diffusé et que le fluide de minéralisation a été touché par l'oxydation. Le transfert du fer dans les conditions d'oxydation n'apparaît pas probable. Apparemment, à coté de la minéralisation du fluide, il y avait un flux d'eau souterraine réductrice et ce flux a transporté les ions de  $\text{Fe}^{+2}$  vers le gisement ou il a traversé le fluide magmatique et l'ion de  $\text{Fe}^{+2}$  a subi une oxydation pour se déposer comme oxyde de fer. Dans ce cas, les BIF de type Algoma qui ont été confirmées dans les roches vertes dans les environs du gisement sont considérées comme source d'alimentation en fer pour le gisement. Le nickel et le cobalt qui se manifestent dans le minerai avec de bonnes teneurs doivent être diffusés et transportés de la même manière que le fer. Le cuivre et l'or doivent être d'origine magmatique. Dans ce cas, si Meinert (1977) est appliqué à ce gisement, il sera possible de considérer que la magma contenait moins de 63% de  $\text{SiO}_2$ .

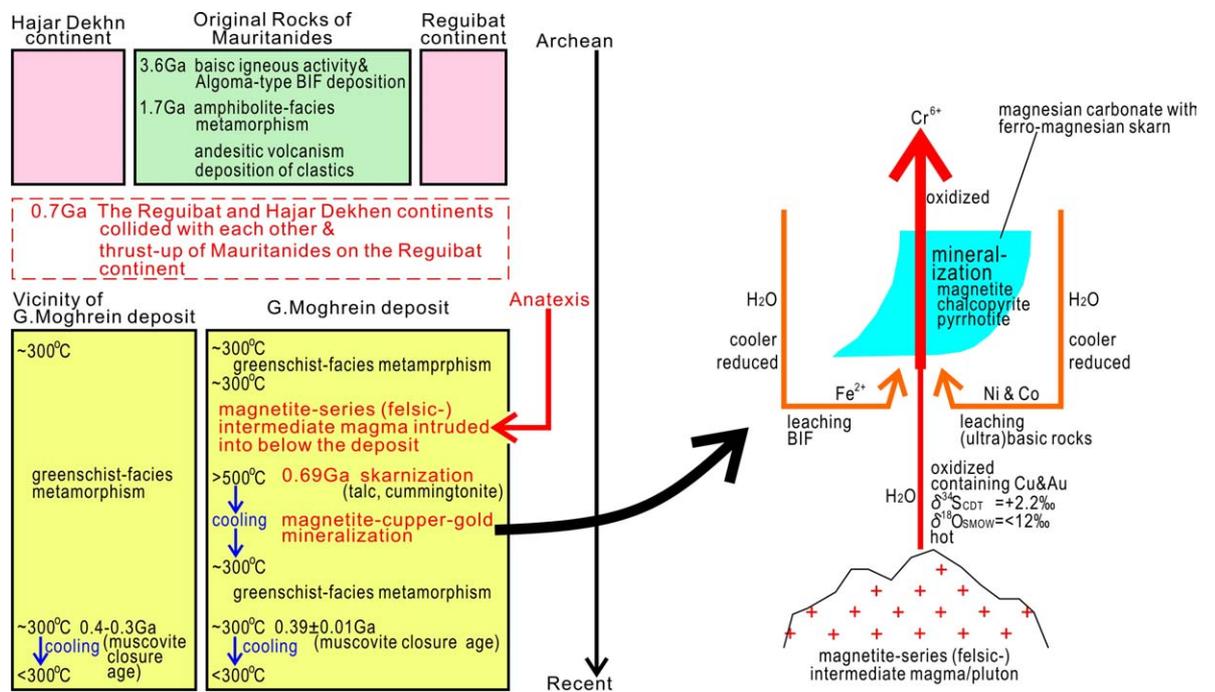


Fig. 4.5.6 Modèle de gisement Minéral du gîte de cuivre et or de Guelb Moghrein

### (3) le prospect d'or et de cuivre de l'indice 78

Ce prospect est constitué de gisement hydrothermal composé de chalcocite, malachite, des veines de quartz or natif, recoupant la schistosité, des lenticules de malachite à or injectées dans la schistosité et des schistes verts dérivés de roches pyroclastiques andésitiques et méta-andésitiques. Les minéralisations d'or et de cuivre dans ce prospect sont enfermées dans une zone rectangulaire de 100 m de largeur et 600 m de longueur qui tend à être orientée NNW-SSE, et les veines de quartz en dehors de cette zone sont stériles (voir fig 4.2.12), bien qu'elles sont étendues sur des grandes surfaces. Le fait que la minéralisation aura lieu le long d'une droite étendue suggère l'existence de fracturation au dessous de cette zone. Mais sur la surface il n'existe pas de traces de fracturation.

Ainsi, on considère que ces supposées fractures peuvent être cachées dans la Dorsale de Reguibat juste en dessous de la formation méta-théolitique des Mauritanides qui constitue la roche mère du prospect. Le magma généré en anatexie a monté pour produire l'or et le cuivre au long des fractures supposées depuis 680 Ma et une autre magma est venue après pour former les veines stériles de quartz (fig 4.5.7).

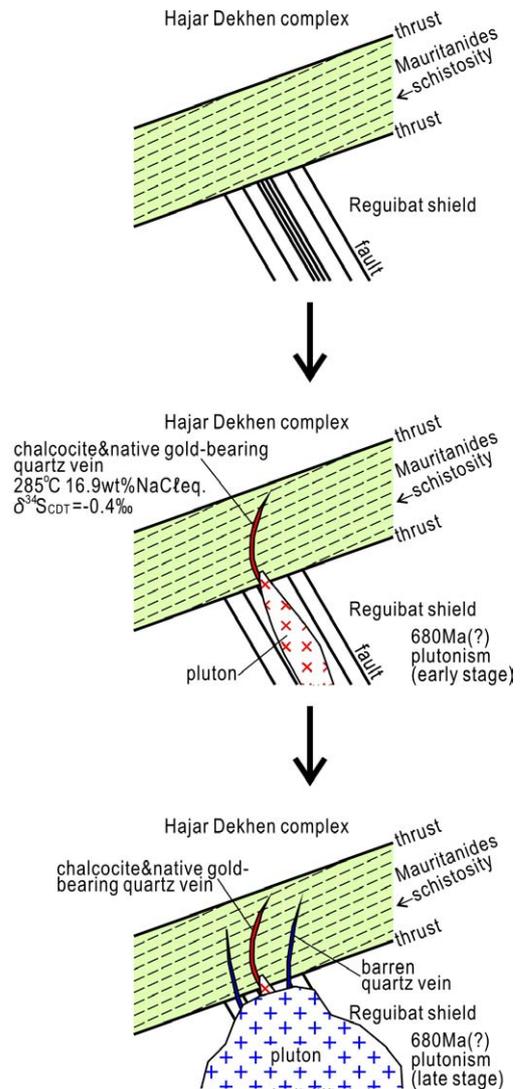


Fig. 4.5.7 Mineral deposit model of the Indice 78 copper and gold prospect

### 4.6 Sélection des zones prometteuses

Les 13 gisements choisis pour le levé géologique supplémentaire ont été étudiés pour la confirmation de leurs statu de zones prometteuses et ces dernières ont été sélectionnées. En tant qu'objectif pour l'exploration et le développement des gisements métalliques en Mauritanie, et en tenant compte de la situation actuelle des infrastructures et de l'intérêt à l'investissement, la première priorité est accordée aux gisements d'or, en deuxième lieu, les gisements de cuivre et en troisième lieu les gisements de métaux rares. Donc, le processus de sélection des zones prometteuses dans le cadre du plan stratégique de développement a été concentré sur les zones où la promotion de l'exploration d'or et de cuivre est possible.

#### 4.6.1 Zones prometteuses

Sur la base de l'investigation des gisements et des prospectes dans ce levé, la zone de Tasiast (or), Tijirit (or), Amssaga (Cr) ont été choisies comme des zones prometteuses dans la Dorsale de Reguibat et la zone d'Akjoujt (Cu, Or : le gisement de Guelb Moghreïn et le prospect de Tabrinkout) et la zone de Guidimaka (Cr, Pt) dans les Mauritanides.

Tableau4.6.1 Promising areas

Domaine géologique	Minéralisation	Zone prometteuse	Objectif d'exploration
Dorsale de Reguibat	Or disséminé et en réseau, épithermal à mésothermal	Tasiast	-BIF à magnétite -Altération hydrothermale avec Nontronite
	Or en Filons de Quartz hypothermal	Tijirit	-Filons de Quartz dans les roches basiques. -tectonique
	Chromite Podi-forme	Amssaga	-Serpentine
Mauritanides	Or et Cu remplaçant les carbonates	Akjoujt	-Carbonates dans les schistes basiques
	Chromite Podi-forme	Sélibabi	-Serpentine dans les ceintures de roches vertes

#### 4.6.2 Gisement prometteur et minéralisation

##### (1) Zone de Tasiast

Le gisement de Piment dans le Tasiast est un gisement d'or hydrothermal dans les BIF à magnétite dans une ceinture de roches vertes dans la Dorsale de Reguibat. L'indice comporte des filons de quartz, de quartz en réseau et dissémination. Les schistes chloritiques et amphibolitiques sont dominants dans les magnétites, et des garnets prophyroblastiques se manifestent aussi. Les veines de quartz et les lenticules de pyrrhotite se situent aux schistes chloritiques à magnétite. L'or natif existe avec la pyrrhotite. Sur la surface, les BIF sont exposées à l'hématitisation, limonitisation, nontronitisation et kaolinisation par un processus supergène associées aux veines de quartz.

Le secteur de Piment a été intensivement exploré, il a été identifié que le minerai principal s'étend sur environ 1 Km dans une direction N-S, avec une largeur d'environ 25 m, et que la partie montrant une bonne teneur d'or est plongée vers le Sud (Rio Narcea Gold Mines, 2005). Les réserves sont estimées à environ 25 Millions de tonnes, teneur de 2,6 g/t avec un contenu total d'or de 2.084 million oz (65t).

Les BIF altérées qui ont subi une silicification, une argilisation blanche et une nontronitisation sont distribuées sur 5 Km vers le Nord et environ 10 Km dans la direction Sud-Sud-Est du secteur de Piment.

Donc, il est probable qu'une minéralisation aurifère similaire se trouve en dessous des secteurs et elle est sensée être sous forme de deux ou trois gisements.

## **(2) Zone de Tijirit :**

Le filon d'Ator dans le Tijirit est constitué de veines de quartz aurifères formées dans les ceintures de roches vertes protérozoïques dans la Dorsale de Reguibat. Des lignes tectoniques orientées NNE-SSW sont développées dans la zone et les veines de quartz porteuses d'or se sont formées dans des fractures parallèles à ces lignes. La caractéristique des veines d'or dans le filon d'Ator est la co-existence de la minéralisation en cuivre composée de malachite et une existence locale de grandes teneurs en or (supérieure à 10 g/t d'or).

L'exploration sous les veines de quartz dans le secteur d'Ator n'est pas encore effectuée, et la continuité des gisements vers le bas reste non confirmée. Il n'y a pas eu suffisamment de levés entamés aux alentours de la zone. Tandis qu'il y a la possibilité de l'existence de veines d'or. Il est donc nécessaire de faire un levé géologique détaillé sur la zone.

Les anomalies géochimiques en dessus de 100 ppb sont dispersées dans une large zone de 6 Km de l'Est à l'Ouest et 8 Km du Nord au Sud et environ 30 Km Sud-ouest du secteur d'Ator (OMRG, 1996). Des dykes et des failles orientées NNE-SSW sont remarquables dans le secteur. Le faciès lithologique est similaire à celui d'Ator. Sur la base de l'environnement géologique similaire, l'existence des veines porteuses d'or est probable.

Le secteur Ouest de Tijirit situé à 110 Km au Sud- Ouest du secteur d'Ator, dans l'extension Sud- Est de la zone de Tasiast est composé de roches vertes dispersées dans la direction NE-SW. Tandis que quelques anomalies géochimiques d'or ont été observées sur une zone de 30X5 Km dans ce secteur (fig. 4.3.2), il est possible que des filons de quartz hydrothermaux et des réseaux en quartz à gisement d'or similaires à ceux qui existent dans le Tasiast existent dans ce secteur. L'une des zones prometteuses est localisée dans ce secteur.

## **(3) Zone d'Akjoujt**

Le gisement de Guelb Moghreïn et le prospect de Tabrinkout sont des gisements hydrothermaux d'or et de cuivre formés dans les Mauritanides. Les gisements ont remplacé les couches de carbonates dans les schistes verts. Des grains grossiers de magnétite apparaissent dans les carbonates intercalées dans les schistes verts. Les sulfures minéraux de chalcopyrite et de pyrrhotite s'observent sous forme de veines ou disséminés aux environs de ces grains de magnétite. À la surface, les veines de quartz porteuses d'or et de malachite recoupent les schistes verts, et la malachite se dissémine dans les roches carbonatées. Pour le moment, les réserves prouvées sont de 23,6 millions de tonnes, la teneur moyenne est de 1,88 % Cu, 1,41 g/t Au et 143 ppm de Co.

La partie supérieure de ce type de gisements est un gossan altéré à silicifié ; ils résistent à l'érosion. Ils forment des collines et des affleurements accidentés pénétrant les pénéplaines.

Dans la zone de 40 Km entre le gisement de Guelb Moghreïn et le prospect de Tabrinkout ils existent pas mal de prospects d'or et de cuivre tels que Elkhader (principal), El Khader (Breccia), El Joul et l'anomalie A1 (Marentheir, 1997). À part les travaux de forage et de tranchées réalisés sur une partie du prospect, il n'y a pas eu de travaux d'exploration suffisants dans cette zone. Dans un proche avenir, il est possible de détecter de bonnes minéralisations en or et en cuivre remplaçant les roches carbonatées. Cette zone a été ainsi sélectionnée comme une zone prometteuse.

#### **(4) Zone de Sélibaby**

Le gisement de Guidimaka dans la zone de Sélibaby est un gisement de chromite de type podi-form dans les serpentinites des Mauritanides. Le gisement est de 10-40 m de long et d'environ 15 m d'épaisseur. Huit corps minéralisés ont été confirmés par le levé. Puisque la plupart des minéraux de chrome sont ferro-magnésiochromite, la teneur en chrome est faible et varie entre 22-33% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mais ce levé a mis en évidence une minéralisation de groupe de platine qui montre une teneur de 0,07-0,1 g/t de Pt dans le minerai de chromite. Le levé a confirmé l'osmium comme un grain de métal et l'irarsite, laurite, l'erlichmanite et la cuproiridsite comme des minéraux de sulfure.

Dans cette zone on a rencontré 5 gisements de chromite (BRGM, 1975). Les gisements No1, No2 et No3 ont été explorés par ce levé. Tandis que les minéraux du groupe de platine ont été confirmés, il y a possibilité de l'existence des EGP dans d'autres minéralisations de chromite dans cette région.

#### **(5) Zone de l'Amssaga**

Le prospect de chromite est situé dans la zone de l'Amssaga, dans la Dorsale Reguibat, avec une serpentine dans un complexe d'anorthosite. La zone minéralisée est formée dans une zone de 400X300m dans le prospect de chromite de Guelb El Foulet, et sur une surface de 10KmX500m dans la zone d'El Heirich. La teneur en chrome varie entre 30-36% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (BRGM, 1975). La distribution des minerais de chromite dans l'Amssaga est plus large que celle dans le gisement de Guidimaka à Sélibaby (3x4 Km). Il n'y a pas d'information sur les EGP dans l'Amssaga. Dans la mesure où la structure géologique est similaire à celle du gisement de Guidimaka, elle est une zone susceptible de contenir des EGP.

### **4.7 Principaux éléments des sondages et méthodes d'exploration**

Sur la base des résultats du levé géologique, les orientations concernant le levé et les méthodes d'exploration des gisements prometteurs sont décrites comme suit :

#### **(2) Zone de Tasiast**

### 1). Orientations

- Les BIF liées à la minéralisation aurifère dans les schistes à chlorite et à amphibolite sont dominants dans les magnétites.
- L'observation des minerais altérés est très importante à la surface, particulièrement l'existence de la nontronite due au processus supergène, qui constitue un élément indicateur de la minéralisation aurifère. La nontronite se rencontre sous forme de veines ou disséminée dans les BIF hématitisées et limonitisées.
- La zone de l'argilisation blanche composée de sericite et de kaolinite est étendue dans la section extérieure de la zone de nontronite de l'enrichissement secondaire. La roche et les minerais ont été observés et décrits en tenant compte du zonage de l'altération
- Les porphyroblastes de garnet montrant un intense métamorphisme se rencontrent près de la pyrrhotite coexistante avec l'or dans les échantillons de carottage. L'existence du garnet à la surface suggère une minéralisation aurifère autour des roches contenant le garnet.

### 2) Méthodes d'exploration

- Un levé aéromagnétique semble un outil effectif pour l'indexation des BIF à magnétite qui constituent la roche mère des gisements dans les ceintures de roches vertes.
- La localisation des zones d'existence des minerais d'or qui sont comme le Tasiast, des gisements mésothermaux, la discrimination des minéraux altérés et du zonage de l'altération hydrothermale est une méthode d'exploration importante.

## **(2) Zone de Tijirit**

### 1) Principaux éléments

- Les filons de quartz porteurs d'or sont formés le long des fractures orientées NNE-SSW dans la ceinture de roches vertes. Les veines de quartz sont composées d'une tendance NNE et d'une autre NNW qui forment un rangement échelonné en diagonal.
- Un peu plus loin, l'altération est devenue faible autour des veines de quartz porteuses d'or et le zonage de l'altération a disparu. Partout où la minéralisation aurifère se trouve dans des veines de quartz, elle est accompagnée par une minéralisation de cuivre représentée par la malachite.

### 2) Méthodes d'exploration

- La reconnaissance géologique conduite près des points de jointure des linéaments de la direction ENE-WSW et NE-SE sur les images satellite régionales.

- Par ce que l'existence de minerai secondaire de cuivre comme la malachite suggère une minéralisation aurifère, l'observation des affleurements de filons de quartz est très importante.

### **(3) Zone d'Akjoujt**

#### 1) Principaux éléments

- Un chapeau de fer est intensif à la surface, résistant à l'érosion et constituant des petites collines.
- Les roches mères sont des carbonates à magnétite et magnésite dominant dans des schistes verts.
- Les minéraux sulfuriques se rencontrent sous forme disséminée ou en veine, près des grains de magnétite dans les roches carbonatées, ainsi que dans les limites entre les roches carbonatées et les schistes verts.
- Les filons de quartz aurifères recoupent les carbonates à magnétite et peuvent représenter le chemin des activités hydrothermales.

#### 2) Méthodes d'exploration

- Un levé aéromagnétique semble une méthode efficace pour la discrimination des roches carbonatées qui constituent la roche mère du gisement dans les schistes à chlorite.
- Si l'or et le cuivre atteignent la surface, il y a une certaine possibilité que la minéralisation soit profonde jusqu'à les limites des filons de quartz et des fractures, il est nécessaire de réaliser des sondages dans les roches vertes jusqu'à l'atteinte de la roche seine.

### **(4) Zone de Sélibaby**

#### 1) Principaux éléments

- Le gisement est un gisement de chromite de type Podi-forme, situé dans les serpentinites sur une petite échelle avec un faible teneur de 22-33% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Le minerai de chromite massive contient principalement de la ferro-magnésiochromite.
- Il est confirmé que le PGM existe en grain de métal fin et que les minéraux de sulfure sont dans des ferro-magnésiochromites ou chlorites. Dans les conditions d'existence des EGP dans le gisement, la valeur marchande des chromites sera plus importante. Il y a une possibilité que les EGP soient concentrés dans certaines parties des minerais de chromite.

#### 2) Méthodes d'exploration

- Un levé aéromagnétique est une méthode efficace pour distinguer les minerais de chromite des serpentinites.
- La définition de la schistosité de la serpentinite est utilisée pour délimiter les corps minéralisés en chromite. Une analyse structurale est nécessaire.
- Un programme de sondage est nécessaire pour déterminer la profondeur des masses minéralisées et pour vérifier l'existence des EGP.

#### **(5) Zone de l'Amssaga**

##### 1) Principaux éléments

- Le gisement de chromite devra exister dans les unités de serpentinites analogue au gisement de celui de Guidimaka dans la zone de Sélibaby.

##### 2) Méthodes d'exploration

- Un levé aéromagnétique représente une méthode efficace pour discriminer les masses minéralisées en chromite des serpentinites.
- La schistosité de la serpentinite est utilisée pour délimiter les masses minéralisées de chromite.

#### **Référence**

- Artignan, D., Maurin, G., Bellal A. O., Dieye, A. and Taleb, A. O. (2000) Discovery of a new auriferous province in the Tasiast and Tijirit Archean (Mauritania): Chron. Rech. Min. no. 538, 3-16 (in French).
- Blanc, A., Caruba, C., Caruba, R., Dars, R. Ohnenstetter, D., et Peucat, J.J. (1986) Age archéen du socle de la fenêtre de Bou Naga (Mauritanie); âge pan-africain des massifs intrusifs alcalins. 11 R.S.T., Clermond-Ferrand 25-27 Mars 1986. (in French).
- Bronner, G. (1978) Carte géologique de F'Dérik-Oum Dférat à 1/100.000. Trav. Lab. Sci. Terre, Saint-Jérôme, Marseille. 6 sheets. (in French).
- Bronner, G., Chauvel, J. and Triboulet, C. (1992) Les formations ferrifères du Précambrien de Mauritanie : origine et evolution des quartzites ferrugineux. Chron. Rech. Min., no. 508, 3-27. (in French with English abstr.).
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières (1968) Carte Géologique echelle 1/1.000.000. Mauritanie Ministère de l'Industrialisation, de l'Artisanat et des Mines, Direction des Mines et de l'Industrie (Nouakchott), 6 sheets. (in French).
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières (1975) Mineral Plan of the Islamic Republic of Mauritania. Mauritania Min. Ind. Planning Development, 567p.

- Cahen, L., Snelling, N.J., Delhal, J., Vail, J.R., Bonhomme, M., and Ledent, D. (1984) The geochronology and evolution of Africa. Clarendon Press (Oxford), 512p.
- Caruba, R., Baumer, A., Lo, K., Blanc, A., Kane, M., Ohnenstetter, D., Souelim, M.O., et Toutin-Morin, N. (1991) Métallogénie en Mauritanie. Caruba, R. et Dars R. eds., Géologie de la Mauritanie, Univ. de Nice et Imprimerie du C.R.D.P. de Nice, Nice, 233-256. (in French).
- Higashihara, M., Marutani, M., Bellal, A. O., Dioumassi, B., Ousmane, D. and Emenetoullah, L. (2004) Plate-tectonic and metallogenic evolutions of western Reguibat shield : proposition of a hypothesis. Prog. Abstr. Internat. Geol. Correlation Prog. Conf. (UNESCO/IUGS) 485, Nouakchott, 5-13 Dec., 2004, 10-13.
- Higashihara, M. (2005) Model of Mineralization in Mauritanides, Western Mauritania. Abstr. Anal Meeting Soc. Res. Geol., O-06.
- Ishihara, S. and Sasaki, A. (1989) Sulfur isotopic ratios of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids of the Sierra Nevada batholith: a reconnaissance study. *Geology*, 17, 788-791.
- Izawa, E. (1993) Gold from the perspective of history of the globe. Resurrection of the gold country "Zipangu", Iwanami Shoten, Tokyo, 40-61. (in Japanese).
- Kato, Y. (2003) Banded iron formation. Shikazono, N., Nakano, T. and Hayashi, K. eds., Resource and environmental geology: studies on global history and environmental pollution. Soc. Res. Geol., Tokyo, 71-76. (in Japanese)
- Kato, Y., Ohta, I., Tsunematsu, T., Watanabe, Y., Isozaki, Y., Maruyama, S., and Imai, N. (1998) Rare earth element variations in mid-Archean banded iron formations: implications for the chemistry of ocean and continent and plate tectonics. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 3475-3497.
- Kerswill, J.A (1993) Models for Iron-Formation-hosted Gold Deposits, Geological Association of Canada, Special paper 40, 171-199.
- Lecorche, J.P., Dallmeyer, R.D. and Villeneuve, M. (1989) Definition of tectonostratigraphic terranes in the Mauritanides, Bassaride, and Rokelide orogenes, West Africa. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 230, 131-144.
- Le Page, A. et Lecorche J.P. (1991) Un exemple d'orogène polyphase, pan-africain à hercynien, en Mauritanie. *Geologie de la Mauritania*, CRDP de Nice, 79-94. (in French).
- Marenthier, M. (1997) Project or Inchiri (République Islamique de Mauritanie), Campagne de sondages 1997. Rap. BRGM N2588-La Source 10.069, 102p.
- Meinert, L.D. (1997) Application of Skarn Deposit Zonation Models to Mineral Exploration. *Explor. Mining Geol.*, 6, 185-205.
- Mining Journal Supplement (2000) Mauritania 12p.

- Ministère des Affaires Economiques et du Développement (Mauritanie) and Office Mauritanien des Recherches Géologiques (2003) Carte géologique de la région Ouassat-Sfariat (nord Mauritanie) 1:200 000. 1 sheet, (in French).
- Ministry of Mining and Industry - Department of Mining and Geology (2004) Guide of Mining Investor, Mauritania Islamic Republic, SIGM 52p.
- Murakami, H., Watanabe, Y., Marutani, M. and Higashihara, M. (2005) Geology and mineralization of the Guelb Moghrein Fe-oxide Cu-Au (IOCG) deposit, Mauritania. Abstr. Anal Meeting Soc. Res. Geol., O-02.
- Office Mauritanien des Recherches Géologiques (1990) Recherche miniere orientee dans les Mauritanides : rapport final. OMRG internal report, 116p. (in French).
- Office Mauritanien des Recherches Géologiques (1994) Prospection aurifère dans le Tasiast-Tijirit et les Sud-Mauritanides : compte rendu de la campagne 1993-1994. OMRG internal report, 121p. (in French).
- Office Mauritanien des Recherches Géologiques (1995a) Prospection aurifère dans les Sud-Mauritanides : Rapport de fin de campagne 1994-1995. OMRG internal report, 99p. (in French).
- Office Mauritanien des Recherches Géologiques (1995b) Prospection aurifère dans les Sud-Mauritanides : synthèse des campagnes de 1993-1995. OMRG internal report, 23p. (in French).
- Office Mauritanien des Recherches Géologiques (1996a) Prospection aurifère dans le Tasiast-Tijirit : compte rendu de la deuxième campagne 1995-1996. OMRG internal report, 68p. (in French).
- Office Mauritanien des Recherches Géologiques (1996b) Prospection aurifère dans le Tasiast-Tijirit (Mauritanie) : rapport final, synthèse des campagnes de 1993 à 1996. OMRG internal report, 38p. (in French).
- Project de Renforcement Institutional de Secteur Miner (2004) New geological maps at 1: 200, 000 scale produced under the PRISM project, Phase 1 Southern Mauritania. Ahmeyim.
- Rio Narcea Gold Mines Ltd., (2005) Tasiast project: <http://www.rionarcea.com/>.
- Ritz, M. and Bellion, Y. (1989) Geologic sections across the onshore Senegal-Mauritania basin derived from geoelectric studies. Can. Jour. Earth Sci., 26, 65-73.
- Ritz, M. and Bellion, Y. (1990) Structure of the Atlantic margin of Mauritania (western Africa) based on geoelectrical and drilling data. Geol., 18, 571-574.
- Strickland, D. C. and Martyn, E. J. (2001) The Guelb Moghrein Fe-oxide copper-gold-cobalt deposit and associated mineral occurrences, Mauritania: in Porter, TM. Ed, Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: A global perspective, vol. 2, 275-291.
- Untenbogaardt, W. And Burke, E.A.J. (1985) Tables for microscopic identification of ore minerals. 430p. Dover Publication, Inc

- Vachette, M. et Bronner, G. (1973) Ages radiométriques Rb/Sr de 2.900 et 2.700 m.a. des series précambriennes de l'Amsaga et du Tiris, Dorsale Réguibat (Mauritanie). 7e Coll. Int. Geol. Afr., Firenze 1973, Trav.Lab. Sci. Terre, St. Jérôme, Marseille, 1975, Serie B, 11, 147. (in French).
- Yoshida, K. (1992) Knowledge and business of mineral products. Research Institute of International Trade and Industry. 920p. (in Japanese).

## Chapter 5 Evaluation Minière

### 5.1. Analyse des Données par Télédétection

#### 5.1.1 Vue d'ensemble des Images Satellite

La télédétection est un moyen d'observation et d'enregistrement de caractéristiques distantes, généralement à partir d'un avion ou de satellites. Les images satellite couvrant chacune des milliers de km<sup>2</sup> sont idéales pour cartographier des régions aussi vastes et éloignées comme la Mauritanie avec une végétation parsemée. (Fig.5.1.1)

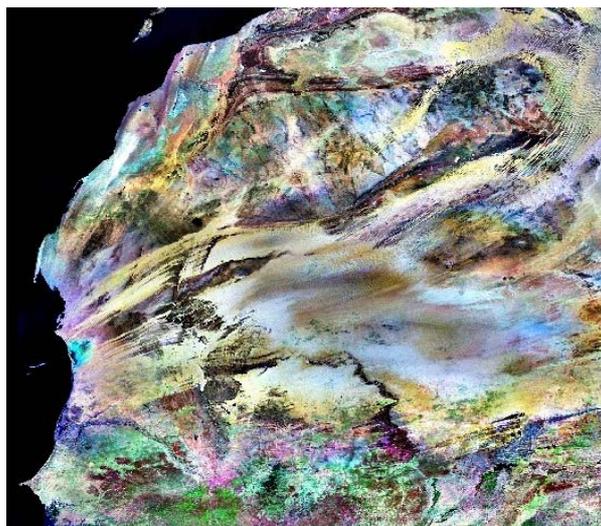


Fig.5.1.1

Un mosaïque de ca.100 images LANSAT couvrant le territoire Mauritanien (source : ER Mapper site web)

#### (1) Cartographie géologique

La cartographie géologique utilisant la télédétection apparaît sous deux principales formes : structurale et lithologique. Les images satellite offrent une vue synoptique d'une région, permettant de cartographier certaines grandes caractéristiques qui n'auraient pas apparu avec la photographie aérienne. Il y a deux aspects dans la cartographie structurale : de simples alignements (faille, direction d'une faille, filon) et des caractéristiques complexes (plis, domes, bassins) (Fig.5.1.2)



Fig.5.1.2 IMAGE

Ebauche de carte d'alignement LANDSAT de la région de M'Bout, Mauritanie (Source: British Geological Survey)

Une cartographie lithologique limitée peut être réalisée par un avion interprète de photos, en se fondant sur les différences de ton et de texture de l'image en plus de la reconnaissance du modèle et de la forme. Avec l'imagerie multi-spectrale, on peut aller plus loin et plus rapidement en

utilisant des réponses spectrales distinctes de différents roches et minéraux. De plus, comme l'imagerie multi-spectrale est numérique (contrairement aux photographies classique), on peut utiliser l'ordinateur pour traiter, améliorer et classifier automatiquement les données dans des cartes lithologiques.

## (2) Images LANDSAT

Les images LANDSAT, chacune couvrant ca. 170km x 170km ont été un élément clé de la télédétection géologique depuis 1973. En plus de la visualisation de la Terre dans le spectre visible, les satellites multi-spectrales comme LANDSAT détecte aussi dans les rayons infra-rouges (Fig.5.1.3) : ceci facilite la cartographie de pétrographies, de structures régionales et d'autres types de paysages terrestres.

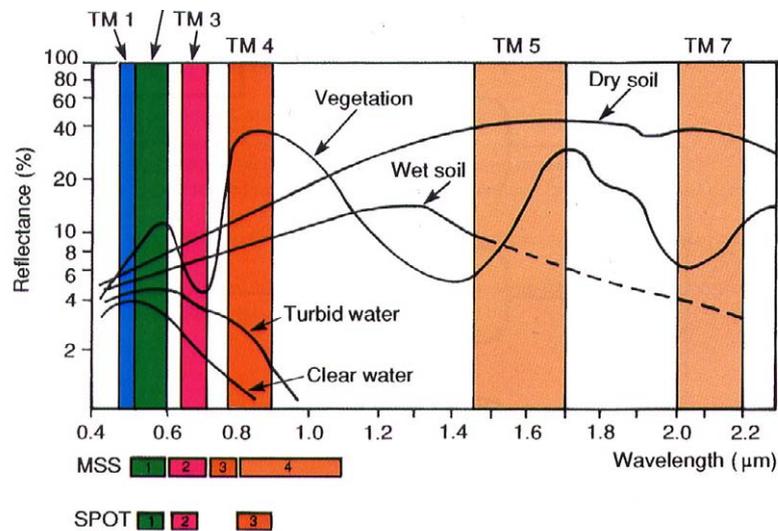


Fig.5.1.3 Signatures spectrales des détecteurs de LANDSAT Thématique Mapper (TM), LANDSAT MSS et SPOT (source : Lawrence et al., 1994).

## (3) L'imagerie du Satellite ASTER

L'imagerie du satellite ASTER offre un nouveau moyen amélioré de la cartographie géologique et devient la principale source de données de l'équipe de JICA pour la cartographie des ressources minérales en Mauritanie. Ayant deux fois plus de bandes spectrales que LANDSAT (Fig.5.1.4), ASTER peut également visualiser la surface de la Terre avec plus de détails et produit un Modèle d'Elevation Numérique pour chaque 60km x 60km de vue- il est aussi relativement bon marché, à 70 à 100 \$ par scène.

### Spectrum Composition of Optical Sensors

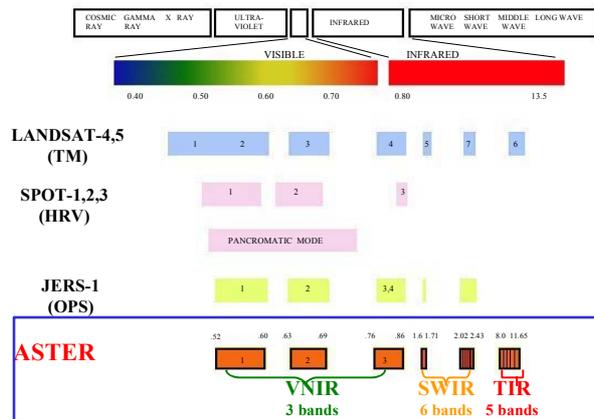


Fig.5.1.4 Résolution spectrale d'ASTER par rapport aux autres satellites (sources : ERSDAC)

Un exemple d'une meilleure performance d'ASTER par rapport à LANDSAT TM pour la cartographie des minéraux est donné en Fig.5.1.5 : avec les données ASTER on peut identifier non seulement des zones d'altération hydrothermale mais aussi on peut automatiquement cartographier les principaux types de minéraux. (Tableau 5.1.1)

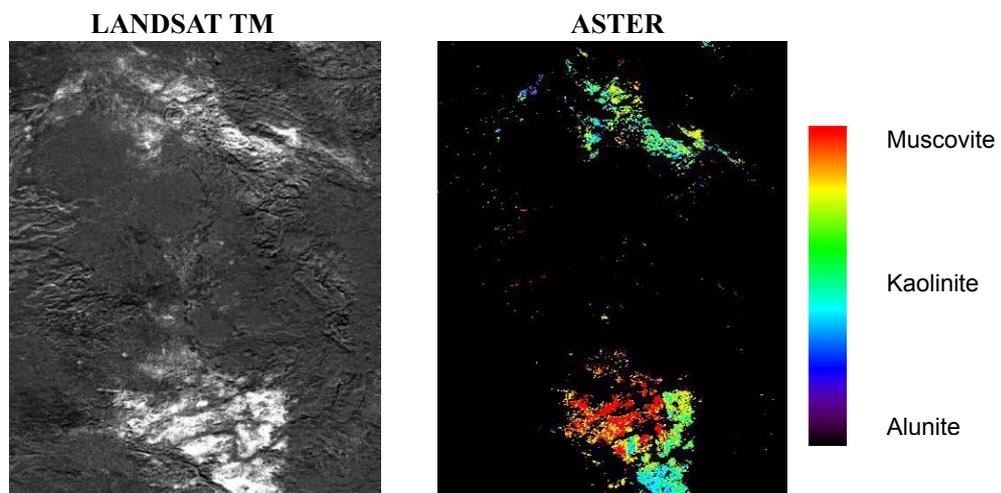


Fig.5.1.5 Comparaison entre LANDSAT et ASTER pour cartographier une altération hydrothermale. L'alunite est un indicateur minéral de gisements d'or (source : Infoterra plc)

Tableau 5.1.1 Résumé des minéraux détectables par ASTER (source :USGS)

ASTER SPECTRAL REGION/ SPATIAL RESOLUTION	BAND CENTER, MICROMETERS	COMPOSITIONAL INFORMATION
VNIR / 15 m	B1 - 0.56 B2 - 0.66 B3 - 0.81	FERRIC AND FERROUS IRON AND REE ABSORPTION
SWIR / 30 m	B4 - 1.65 B5 - 2.17 B6 - 2.21 B7 - 2.26 B8 - 2.33 B9 - 2.40	- AL-O-H IN CLAYS, MICAS, SULFATE MINERALS - CO <sub>3</sub> IN CARBONATES - Mg-O-H IN AMPHIBOLES, MICAS - H-O-H IN EVAPORITES, CLAYS
TIR / 90 m	B10 - 8.30 B11 - 8.65 B12 - 9.10 B13 - 10.00 B14 - 11.30	- SILICATE MINERALS, ESPECIALLY SHIFT TO SHORTER WAVELENGTHS - SULFATE MINERALS - CARBONATE MINERALS

#### (4) Stratégie de recherche fondée sur ASTER

Les bandes de détection spectrale d'ASTER en Ondes Courtes Infrarouges (OCI) et Infrarouges Thermales (IRT) offrent un moyen pour améliorer l'efficacité de la prospection minérale. Les indicateurs minéraux clé pour des types variés de recherche minérale peuvent être directement identifiés par l'imagerie traitée d'ASTER (Tableau 5.2.1). Ce qui permet de gagner beaucoup de temps dans la phase de recherche initiale de terrain et l'analyse géochimique des échantillons collectés, permettant aux forages cibles d'être assez vite sélectionnés. 'L'avantage d'ASTER' est résumé dans la Fig.5.2.6:

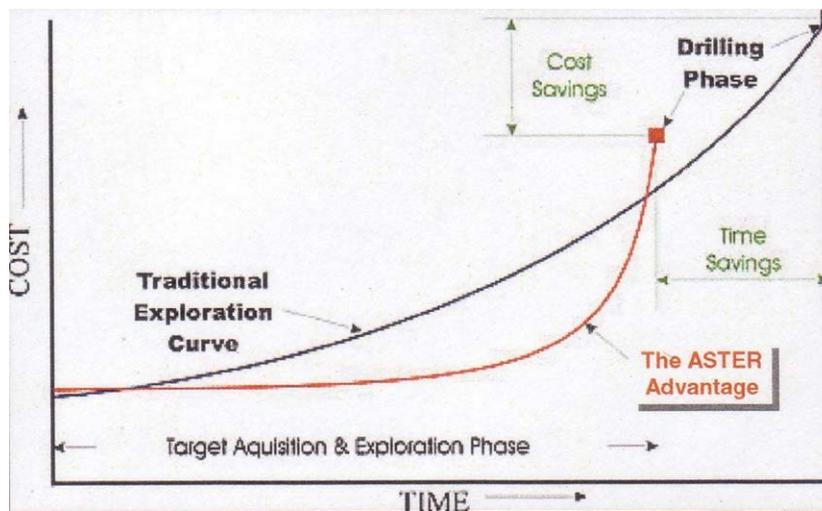


Fig.5.1.6 Economies de temps et de moyens financiers dans la recherche : l'avantage d'ASTER. (source T. Coudahy, CSIRO, Australie)

Un autre avantage de l'utilisation des données d'ASTER est que son MEN (Modele d'Elevation Numérique) peut avoir un graphique de carte minérale dérivée d'ASTER et être visualisé en 3-D ou même comme 'réalité virtuelle' de survol ; ce qui aide les géologues à visualiser la nature d'un gisement donné. Aussi les données ASTER sont un outil utile pouvant être exposé pour attirer d'éventuels investisseurs. L'exemple de Death Valley en Californie est donné en Fig.5.2.7

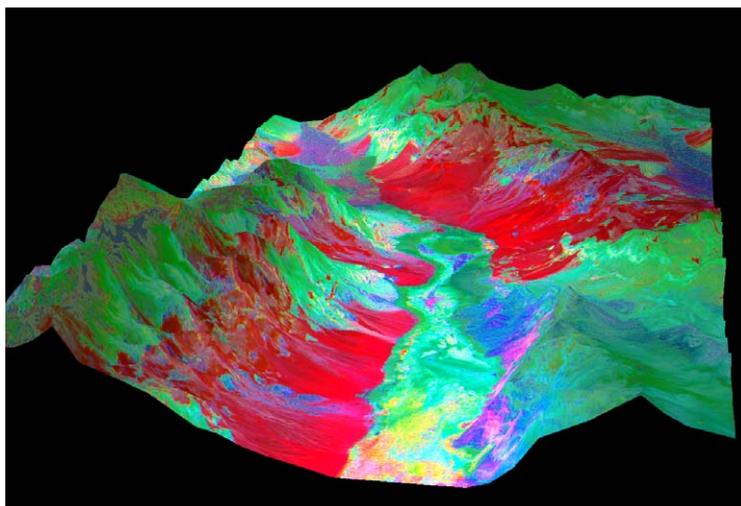


Fig.5.1.7 Death Valley : MEN d'ASTER recouvert d'une carte minérale dérivée d'ASTER  
Red = Quartzite Vert = carbonate Jaune-rose = Evaporites (source : USGS)

#### **(5) Efficacité de l'Analyse par Télédétection**

- Les images de LANDSAT TM et d'ETM ont été utiles pour la cartographie géologique régionale.
- Les images du nouveau satellite ASTER permettent de cartographier des familles minérales associées à d'autres types de gisements de minerai.
- Les cartes minérales générées par ASTER produisent aux prospections classiques d'énormes économies de temps et de moyens financiers.
- Le MEN d'ASTER permet une production de vue en 3-D et des 'survol', pouvant aider les modélisateurs de gisements miniers et attirer les investisseurs.

#### **5.1.2 Exploration Minière /Déterminer les site à développer**

Les images LANDSAT ETM ont été utilisées par l'étude pour examiner les zones de minéralisation connues. Les images de LANDSAT ETM numériquement traitées ont été comparées aux cartes géologiques appartenant au système d'informations géologiques du PRISM (SIGM). Des sondages de terrains ont été effectués pour vérifier la 'réalité de terrain' et collecter des échantillons pour l'analyse de signature spectrale et l'identification

minérale au niveau de l'OMRG à Nouakchott.

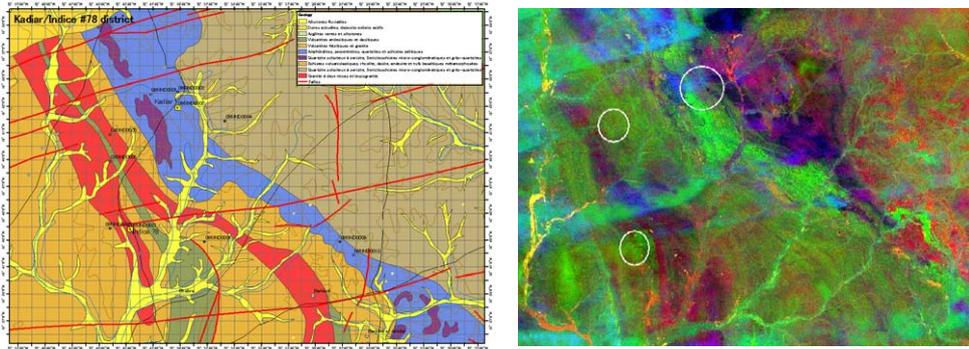
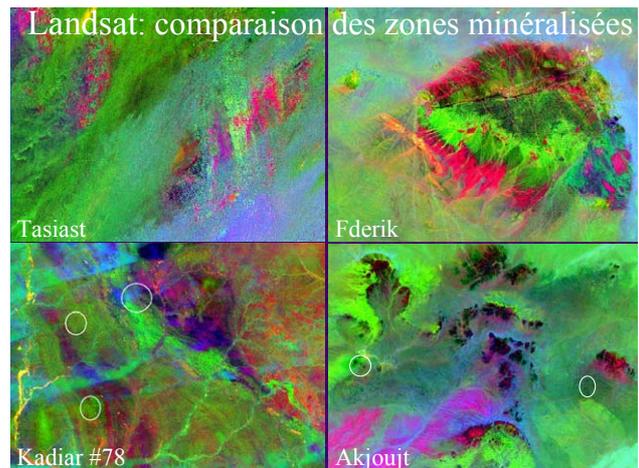


Fig.5.1.8 montre un exemple de la région de M'Bout-Kadiar au sud de la zone de minéralisation des Mauritanides. Les mêmes routines de traitement de l'image qui étaient utiles pour la cartographie lithologique de M'Bout-Kadiar, ont été appliquées à d'autres régions potentielles, permettant ainsi une comparaison inter-régionale. (Fig. 5.1.9).

Fig.5.1.9 Comparaison de régions minéralisées, utilisant le même traitement LANDSAT (RGB 5/7 4/5 3/1)



### (1) Procédé technique de Télédétection

La méthode d'analyse de télédétection utilisée pour l'exploration minérale est présentée en détail dans l'Annexe I, 3.2. du Rapport Provisoire. La méthode d'analyse de télédétection, présentée dans la Fig 5.1.10 utilisant la caractéristique du « Spectre Minéral ». Cette méthode est composée du pré-traitement, l'analyse et la production ou résultat.

### 2). Le pré-traitement

Le pré-traitement occupe de 50 à 60% de tout le processus depuis la collection des données à l'analyse à partir de l'acquisition des données satellite.

#### a. Recherche et acquisition des données

Les données satellite sont obtenues à partir de l'Internet. En premier lieu les conditions de

couverture nuageuse, la quantité de nuage et la qualité de l'image, la date d'observation sont vérifiés dans un domaine analytique, chaque scène des données satellite d'archives du site web. Les données sont sélectionnées à partir de ce résultat et obtenues à travers le site web.

Dans le cas de ASTER :

<http://imsweb.aster.ersdac.or.jp/ims/html/MainMenu/MainMenu.html>

Dans le cas de Landsat

<http://edcwww.cr.ugs.gov>

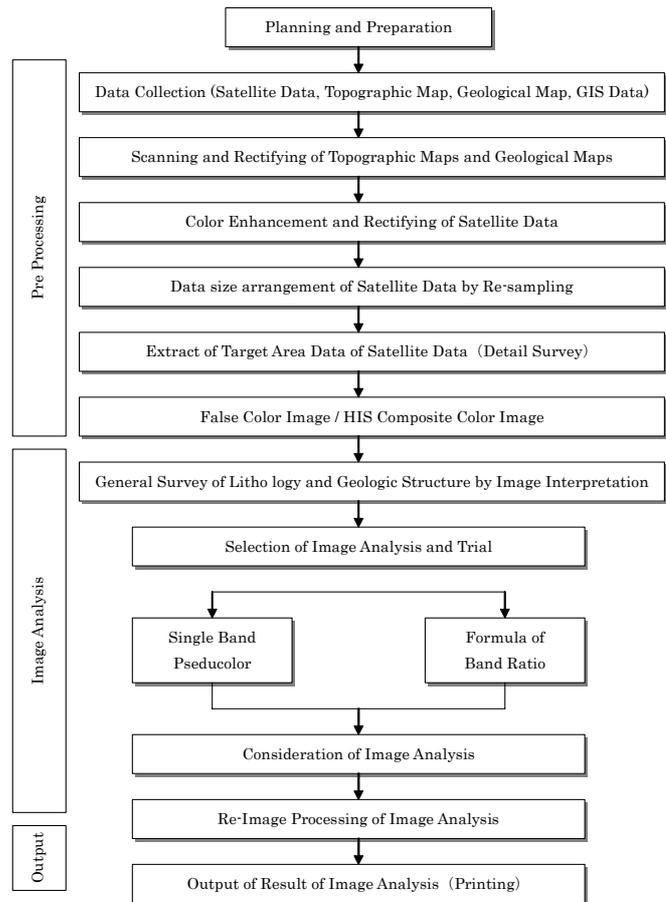
Fig. 5.1.10 Diagramme d'analyse des Images  
Voir figure 5.1.10 pour les détails des ces analyses typiques.

**b. Acquisition de cartes topographiques et géologiques et de données SIG**

Dans cette étape ces cartes topographiques et géologiques et les données SIG sont obtenues ; elles sont relatives au domaine de l'étude. Ces données sont utilisées comme si elles étaient numériques. Quand elles étaient des cartes en papier, pour les changer en données numériques, elles ont été scannées.

**c. Amélioration des couleurs et correction géométrique**

Après que les données satellite sont indiquées sur l'écran, l'histogramme est changé et l'amélioration de la couleur signifie que la méthode a produit une image claire. La correction géométrique est une méthode de correction où chaque transfert de pixel de mêmes coordonnées recouvre le traitement de données satellite, de données de cartes géologiques et de données SIG. Après avoir sélectionné des points de contrôle en utilisant une carte topographique à l'échelle 1:200000, la correction géométrique a été faite en système de coordonnées UTM 28. La même méthode est utilisée pour la carte géologique et les données de GIS. Pour la correction géométrique des données satellite de correction géométrique des données satellite, elle selectionne mieux les points sombres (dans le cas d'intersection de routes ou de bosses dans les caractéristiques géographiques) avec à la fois des cartes topographiques et des données de satellite comme point de contrôle de terrain sur vingt points. C'était ajusté pour que l'erreur de chaque point de contrôle ne



dépasse pas le nombre de pixel.

#### **d. Ajustement et rééchantillonnage du volume des données de satellite**

Un pixel des données satellite s'adapte à la résolution du détecteur. Dans le cas de ASTER, il y a trois catégories: VNIR 15m, SWIR 50m et TIR 90 m. Dans le cas de LANDSAT trois résolutions existent: Infra-rouge visible 30m, infra-rouge thermic de 60m et visible monochrome de 60m. Le but d'opérer l'ajustement du volume des données est d'égaliser la taille des images et surtout de faciliter la composition des images . (Dans ces cas, une composition d'image de couleur fausse) et le recouvrement de traitement. Dans le cas d'Aster, en prenant le rééchantillonnage de toutes les bandes dans 15m de résolution, chaque composition de bande de VNIR, SWIR et TIR devient possible. Il est de même pour ce qui concerne Landsat.

#### **e. Relation entre l'extraction des endroits ciblés et composition des images :**

L'extraction des données est basée sur les données de satellite, la carte géographique et géologique. Les images de base de l'étude sont générées à partir des collections de trois bandes qui engendrent des images fausses ou HIS (Hue Intensity and Saturation). Le produit de cette opération sont les cartes géographiques et topographiques. Fig. 5.1.11 montre une image d'Akjoujt fausse couleur avec les bandes ASTER 3.2.1 et des couleurs HIS améliorées. Trois bandes ont été choisies à partir des données multi-bandes d'ASTER and de LANDSAT, et trois couleurs primaires (Rouge, Vert et Bleu leur sont affectées, donc une image de composition colorée a été constituée. Différentes images de composition colorées sont réalisées par cette méthode. L'image fausse couleur est utilisée parce que la composition d'images contient une image de longueur d'onde infrarouge qui ne peut être vue dans le champ visible. Dans le cas de l'exemple ci-dessus les bandes ASTER 3, 2 et 1 sont affectées de rouge, vert et bleu. L'image de renforcement de couleur de HIS (Hue, Intensity, Saturation) est utilisée pour le contraste de composition, l'intensité et la saturation au lieu des couleurs primaires RVB. On dit souvent que cette image est convenable aux zones d'altération et à la classification de la lithologie.

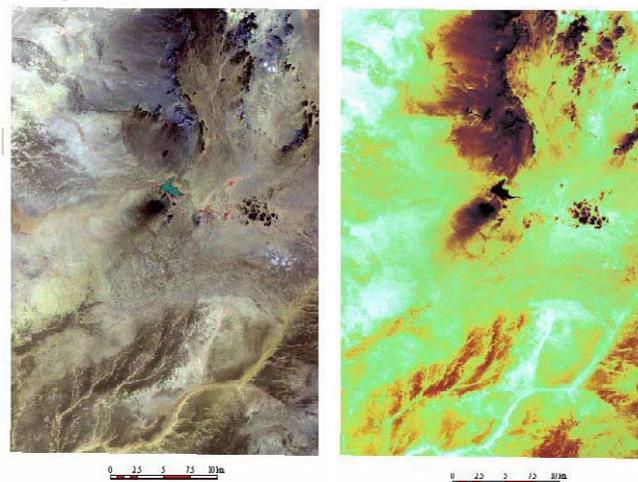


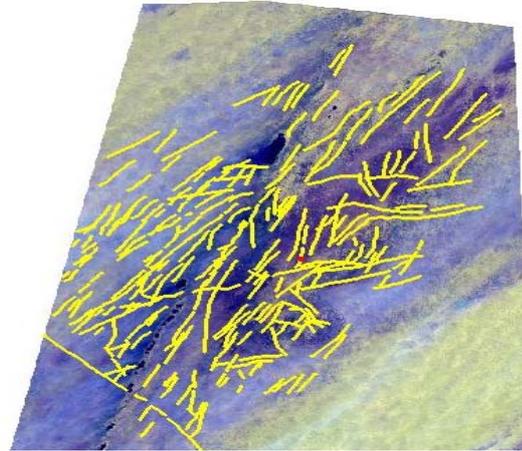
Fig. 5.1.11. Image fausse et image HIS de couleur améliorée d'Akjoujt.

## 2). Analyse des images

L'analyse des images est composée de deux étapes : Interprétation et analyse

### a. Interprétation des images :

L'interprétation des images est une méthode d'interprétation d'une structure géologique utilisant des images fausses couleurs, des images de saturation HIS améliorée, des cartes géologiques, etc. Elle doit renforcer les connaissances relatives à la géomorphologie à la géologie dans la zone à étudier. Aussi on place le point pour la classification de la lithologie et l'extraction de linéaments. Fig. 5.1.12 le cas d'extraction de linéament de Tijirit.



5.1.12 L'extraction des linéaments à Tijirit.

### b. Analyse des images

C'est une méthode qui emploie des techniques statistiques et informatique de télédétection, Il y a une seule image radio pour l'analyse des images surtout de données géologiques. La technique aide à juger les données de géomorphologie, de géologie, de lithologie, des caractères spectrales des minerais etc., car il est toujours nécessaire de faire essais. Comme dans les Fig. 5.1.2 et Fig. 5.1.2 de ASTER et de LANDSAT respectivement, montrent la technique d'analyse de l'image minérale à partir des matériaux existants. L'analyse des images a été réalisée par ces techniques dans le cadre de cette étude.

#### 5.1.2 Technique d'analyse des images de ASTER.

"Produit Minéral"	Absorption du spectre	ASTER	
		Band	Analyse des images
Oxide de Fer	0.4~0.6 0.8~1.0	Band1	RBV: 321 image a couleur fausse (ver)
		Band2	Ratio:(Band1/Band2 or Band1/Band3)
Calcite		Band8	RGB: 865 image a couleur fausse false color image (vers + bleu) Ratio:(Band6+Band9)/Band8
"Kaorinite Montmorilonite"		Band6	RGB: 865 image couleur fausse (rouge-violet)
"Alunite"		Band5	RGB: 865 image a couleur fause (jaune ) (Band5+Band7)/Band6
Silicate	8~12		(Band11×Band11)/(Band10×Band12)
Carbonate		Band14	Band13/Band14
SiO <sub>2</sub>			Band13/Band12
Vegetation		Band2	Band3/Band2

Table 5.1.3 Technique de Traitement des Images de LANDSAT

Mineral Commodity	Spectral Absorption ( $\mu m$ )	LANDSAT	
		Band	Method of image analysis
Iron oxide	0.4~0.6	Band1	RGB: 321 false color image (green)
	0.8~1.0	Band2	Ratio:(Band1/Band2 or Band1/Band3)
Végétation			Band4/Band3

**(2) Télédétection et ciblage de l'exploration- aperçu d'avancement**

- a. Des visites de sites clé de minéralisation ont été effectuées (notamment dans les régions d'Akjoujt Fe-Cu-Au et de M'Bout Cu-Au-Fe-Mn-Ba) pour évaluer l'efficacité de la télédétection par satellite pour la recherche minière.
- b. Le LANDSAT américain (ETM) est très utile à l'échelle régionale et la cartographie de la géologie générale mais reste peu efficace pour la cartographie minérale de sites spécifiques.
- c. On trouve les images ASTER beaucoup plus efficaces que celles de LANDSAT dans l'identification de plusieurs types de minéraux associés à des zones d'altération épithermales et mésothermales, aussi bien que des zones de roches de silification et de méta-carbonate à potentiel économique élevé.
- d. ASTER offre également le moyen d'utiliser l'imagerie thermique nocturne pour détecter des zones de minéralisation couvertes de dunes de sable ou d'alluvions (Fig.5.1.13), spécialement s'il est utilisé avec des données géophysiques et de sondages.

- e. Le spectromètre portable offert par la JICA (POSAM) a été utilisé pour déterminer les signatures spectrales des échantillons provenant des sites de terrain ; il sera un outil efficace à utiliser avec l'imagerie satellite multi-spectrale d'ASTER.

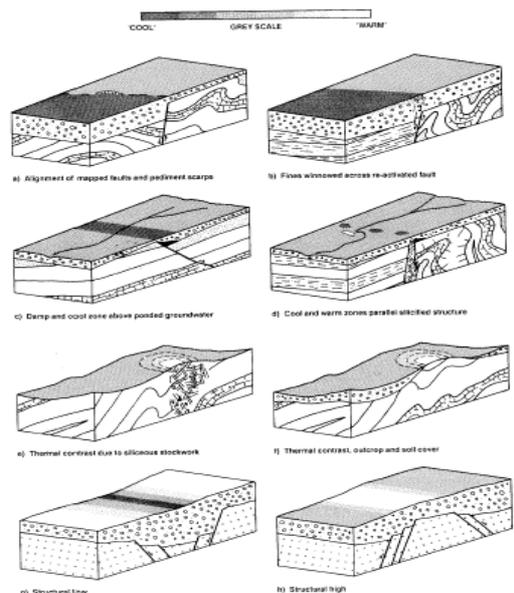


Fig. 5.1.13 Zones de minéralisation couvertes, détectées par les images thermiques nocturnes.

**(3) Télédétection & ciblage minéral- recommandations**

### **1) Etape 1 :**

- Les images ASTER doivent être achetées pour tous les sites de minéralisation reconnus comme ayant un potentiel élevé.
- Un sondage de 'réalité de terrain' doit être réalisé dans chaque site, impliquant une reconnaissance des caractéristiques pétrographiques et structurales aussi bien que la collecte des échantillons pour analyse au spectromètre avec POSAM.
- L'imagerie thermique nocturne d'ASTER doit être obtenue pour chaque site comme les zones de minéralisation sont souvent couvertes de sédiments récents.

Note 1 : les données réelles de terrain, les signatures spectrales et les images thermiques des sites de minéralisation vont sensiblement améliorer l'efficacité de la cartographie minérale basée sur ASTER et aider au modelage des gisements miniers.

Note 2 : des données géophysiques régionales aéroportées (gravité/ magnétique/ radiométrie) sont d'autant plus nécessaires pour la zone de minéralisation des Mauritanides qui est couverte de sable Cénozoïque et d'alluvions.

### **2) Etape 2 :**

- Les sites secondaires doivent être examinés avec l'imagerie ASTER dans la mesure où il y a plus de chance de détecter leur minéralisation après que les sites connus aient été examinés.
- Le choix des sites pour des sondages ASTER supplémentaires peut être assisté par le GIS pour examiner des ensembles de données multiples de recherche (géochimiques, géophysiques et des données des sondages).

### **(4) Ciblage des ressources minérales**

Les cibles d'exploration sont concrétisées par une analyse d'optimisation basée essentiellement sur la lecture et l'analyse des données des images et des informations géologiques, géographiques et sur la qualité des roches, etc. Dans cette étude, l'or et le cuivre sont les cibles d'exploration déterminées par une analyse totale y compris par le levé géologique de site supplémentaire et les analyses de télédétection, etc. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus Akjoujt et Tijirit étaient des exemples de cibles de recherche. Pour plus de clarification sur les cibles d'exploration, il était nécessaire de collecter les données géologiques et les gisements de minerai de la Mauritanie. La précision de l'analyse de télédétection est améliorée par l'accumulation de données indiquant les caractéristiques géologiques, les types de gisements de minerais car il existe plusieurs types de minerais d'or et de cuivre. Par exemple, les caractéristiques d'altération obtenues par l'étude de terrain et par les mesures de POSAM sont efficaces pour les analyses de télédétection (Fig. 1.14)

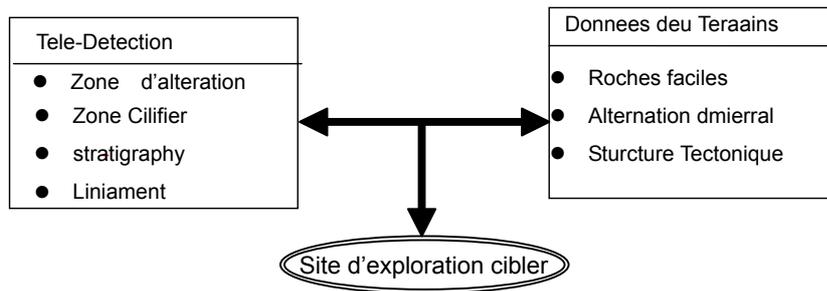


Fig. 5.1.14 Analyse de télédétection et cibles d'exploration.

Comme les zones d'Akjoujt et Tijirit-Taziast sont des cibles d'exploitation, des données géologiques détaillées sont en train d'être accumulées. En conséquence, l'utilisation de ces données rend les cibles potentiels plus effectifs pour l'analyse de télédétection.

## 5.2 Provinces Géologiques et Caractéristiques de Gisements Miniers

Chaque province géologique est différente à cause de sa structure géologique et de son histoire. Le volume du gisement de minerais est souvent fonction du type de gisement de minerai qui caractérise chaque province géologique. En conséquence, c'est un cible important pour l'exploration et aussi une base d'une potentielle évaluation.

### 5.2.1 Les caractéristiques des dépôts de minerais dans chaque Province Géologique .

#### (1) La Dorsale Reguibat

La partie orientale abrite de l'or, du cuivre, de l'étain, du plomb et des traces de zinc.

- Manifestations d'or Conchita-Florence----filon de quartz porteur d'or en migmatites
- Manifestations de cuivre-etain Catherine-----Greisen
- Manifestations de plomb Yetti et de Zinc----Filon de sulphure hydrothermale le long des fractures.

Dans la partie centrale, des gisements et manifestations de fer sont les plus fréquents et sont exploités

- Gisements de fer de Kedia-Idjil-----gisement hématite zone
- Gisements de fer de Tiris-----gisements magnetite
- Gara Bouya Ali-----minerai de goethite
- Sfariat-Zednes-----gisement magnetite
- Tourassin-Aneinat-----Anomalie geochimique d'étain dans du granite
- Gallamane Sebkhass-----Anomalie geochimique de cuivre

A l'ouest, les gisements d'or et les manifestations de chrome se produisent

- Des gisements de fer, d'or, de terres rares et de nickel dans le Tasiast----des gisements d'or s'étendent le long des fractures en manifestations de BIF, LI, Be et Ta dans le pegmatite et le nickel apparaît dans des roches ultramafiques.

- Presence de chrome dans l'Amsaga-----gisement de chromite orthomagmatique (zoné, disseminé)

Dans la Dorsale Reguibat, du kimberlite a été decouvert en 1998 et l'existence du diamant a été confirmée. Jusqu'en 2000, 17 kimberlites ont été signalés découverts.

### (2) Le Bassin de Taoudeni

Des manifestations de cuivre et de phosphate ont été découvertes dans le Bassin de Taoudeni.

- Présence de cuivre à Chegga-----dissémination de cuivre dans du gré ferrugineux
- Akka Danach-----concentré d'hématite dans du schiste sableux
- Bathat Ergil-----minéraux de phosphate dans du gre ferrugineux

### (3) La Chaîne des Mauritanides

Elle est composée de roches vertes et de plusieurs manifestations d'or, de cuivre, de chrome et de terre rare.

- Gisement du Guelb Moghreïn-----gites disseminés d'or-cuivre ont changé des roches carbonatées en roches volcano-sédimentaires
- Présence de cuivre a Kadir----dissémination de cuivre dans des roches carbonatées ferreuses riches en magnésium
- Guidimaka-----gite de chromite massif en serpentinite
- Bou Naga-----gites de Thorium et de lithium dans des alkalines intrusives

### (4) Le Bassin Sédimentaire Cotier

Des gisements de gypse, de roches de sel, de phosphate et d'ilmenite sont répartis dans le bassin sédimentaire de la côte Atlantique.

- Les gisements de phosphate de Kaédi-Aleg-Boghé-----des sédiments de phosphate associés aux dolomies détritiques-calcaires pendant l'Eocène le long du Fleuve Sénégal.
- Des gites d'ilmenite le long de la côte Atlantique-----des sédiments de dunes et de sable cotiers Récents et Tertiaires. La concentration d'ilmenite est liée au cycle sédimentaire (transgression de Nouakchott du Quaternaire).
- Du gypse au nord de Nouakchott-----formation de gypse en dunes
- Aftout-Sahéli-----gites de roches de sel du Quaternaire

Le tableau 5.2.1 représente la relation entre la région géologique décrite ci-dessus et les formes de minéralisation.

Tableau 5.3.1 Province Géologique et Minéralisation

Regions géologiques		Roches	Minéralisation
Dorsale Reguibat	Est	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granite</li> <li>• Migmatite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Greisen (Cu, Sn)</li> <li>• Filon de quartz portant de l'or</li> <li>• Filon Fe plomb et de zinc</li> </ul>

	Centrale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quartzite ferrugineux, leptynite</li> <li>• Itabirite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formation de fer zonée</li> </ul>
	Ouest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schiste basique, quartzite ferrugineux</li> <li>• Granite</li> <li>• Amphibolite, serpentinite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gite d'or associé avec (BIF)</li> <li>• Pegmatite (Li,Be)</li> <li>• Gites de chromite (zone,dissemine)</li> </ul>
Mauritanides		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schiste basique, carbonates</li> <li>• Serpentine</li> <li>• Roche alcaline granitique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gite de cuivre et d'or dissemine</li> <li>• Gite de cuivre dissemine</li> <li>• Gite de chromite massif</li> <li>• Gites de Thorium et de Lithium associé à l'alcaline intrusive</li> </ul>
Bassin de Taoudeni		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grés</li> <li>• Schiste sableux-boueux</li> <li>• Grés ferrugineux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dissémination de cuivre dans du gré</li> <li>• Concentre d'hématite dans du schiste</li> <li>• Minéraux de phosphate</li> </ul>
Bassin sédimentaire cotier (Atlantique)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dolomie détritique, calcaire</li> <li>• Sable cotier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gite de phosphate</li> <li>• Gite alluvionnaire de Titanium</li> </ul>

### 5.2.2 Gisements Cibles à mettre en Valeur

Les gites du Guelb Moghreïn et de Tasiast sont répertoriés comme gisements cibles de métaux non-ferreux à mettre en valeur. Ces deux gisements sont des exemples concrets d'évaluation de ressources en Mauritanie. Après un levé géologique détaillé, les données sur les deux mines ont été accumulées pour la géologie et la minéralisation et ces données seront utiles pour les explorations futures.

#### (1) Gisements du Guelb Moghreïn

Les gisements du Guelb Moghreïn sont situés à 250km au nord-est de Nouakchott et à 5 km à l'ouest d'Akjoujt. C'est un gisement de cuivre-or qui, à l'origine a remplacé les carbonates existants. Cette mine est mise en valeur et exploitée depuis 1955 et porte le nom d'Akjoujt. Toutefois, l'exploitation de la mine s'est arrêtée en 1998 à cause d'une augmentation soudaine des prix de l'énergie et de problèmes liés au traitement minier.

En 1997, une étude de faisabilité a été conduite avec une société minière australienne. Les réserves de minerai ont été évaluées à 23,6 million de tonnes avec une teneur de 1,88% de Cu et de 1,41g/t Au.

En juin 2004, First Quantum Minerals Ltd au Canada a signé un accord avec Guelb Moghreïn Mines d'Akjoujt (Gemak) relatif à l'acquisition d'une part de 80% dans le gisement de cuivre-or du Guelb Moghreïn. Dans la seconde moitié de l'année 2004, MCM (Canada) a obtenu l'autorisation et a débuté son action de remise en valeur. First Quantum débutera son opération par la production de 12.000t par an de cuivre à partir de 2006. les réserves de minerai sont évaluées à 23,7 million de tonnes avec une teneur de Cu de 1,88% et Au de 1,4g/t (Cu 446.000t et Au 32t en métal). Tout autour de ce site minier, plusieurs zones minéralisées existent dans ce grand espace qui a un

potentiel élevé de gisements de minerai de mêmes types. Les données détaillées concernant les réserves calculées sont brevetées et ne sont pas accessibles au public ; ce qui rend impossibles les évaluations. En ce moment, il ya une production de petite échelle, mais on pense qu'environ 40 à 50.000 tonnes de cuivre métallique peuvent être produites par an même des gisements moyens, si le volume de minerai dans le zones environnantes pouvait être confirmé.

## **(2) Gisement de Tasiast**

C'est un gisement d'or hydrothermal se situant à 300 km au nord de Nouakchott. La formation Archéenne de l'Amsaga constitue un socle tout autour du gite. On peut trouver dans cette zone du quartzite ferrugineux, du chlorite schiste et de l'amphibolite. Le gite pourrait être un gisement d'or hydrothermal où il ya des précipités d'or le long des stratifications et failles dans les formations sédimentaires zonées de minerai de fer (BIF).

En avril 2004, Taziast Gold Company du Canada a annoncé l'achèvement de l'étude de faisabilité bankable pour son projet or de Tasiast dont il est propriétaire exclusif. L'étude a montré que les réserves de minerai prouvées et probables sont d'ordre de 9 million de tonnes avec 886.000 onces d'or (environ 28,5t) et une teneur de 3,06g/t Au. On a commencé le développement dans le but de produire 120.000 onces d'or par an en fin 2006. La vie d'une mine est estimée à moins de 10 ans. Autour du site, il y a plusieurs zones minéralisées qui recèlent un potentiel élevé de gisements de minerai de ce type. A cause du manque de données pour effectuer des évaluations, on peut douter de la rentabilité. Tandis que les estimations de la teneur du gisement indiquent qu'il peut être suffisamment rentable à exploiter à ciel ouvert, les problèmes liés à l'infrastructure, à la garantie de main-d'oeuvre qualifiée et leurs coûts ne sont pas à négliger car pouvant constituer un lourd fardeau financier.

## **5.3. Méthodes d'Evaluation des Ressources Minières**

### **5.3.1 L'évaluation des ressources minières**

Actuellement, le gouvernement mauritanien n'a pas de normes d'évaluation des ressources minières. Aucune loi ou règlement relatifs à ce sujet n'existent à ce jour. Le gouvernement Mauritanien a rendu public l'estimation de son potentiel minier (Tableau 2.5.1) mais ces données ne sont pas mise à jour.

L'évaluation économique des ressources minières actuelle que l'on exploite a été effectuée par des parties tiers (recherche et exploitation) telles que des détenteurs de licenses qui font des recherches et développement dans les zones, et par des compagnies consultantes des pays occidentaux. Par exemple, le gisement de cuivre-or du Guelb Moghreïn et le gisement d'or de Tasiast étant des cibles de mise en valeur minière ont été évalués selon leurs réserves, leur teneur et leurs contenus en métal, par des sociétés de consultation canadiennes sur la base des normes australiennes ou des Critères du Gouvernement Canadien. Les résultats de l'évaluation des

ressources minières ont été communiqués à la DMG et par la suite enregistrés.

La recherche minière étant à ces débuts en Mauritanie, l'OMRG et la DMG ne maîtrisent pas les techniques de calcul des réserves de minerai qui sont la base de l'évaluation des ressources minières. La SNIM, pour sa part, utilise des techniques de calcul de réserves de minerai dans ses propres opérations. La méthode de calcul des réserves de minerai pour les gisements de fer n'est pas si compliquée comparée à celle utilisée pour les gisements de métaux non-ferreux comme l'or, l'argent, le cuivre, le plomb et le zinc.

Rappelons que si le volume de ressources minières n'est pas estimé correctement par rapport aux objectifs de promotion de l'investissement, cela conduit à un impact négatif sur les activités minières. L'or est estimé à 30 t à Tasiast, le cuivre à environ 45 tonnes, et l'or à 32t à Akjoujt. Normalement, si la nature géologique d'un gisement de minerai est le même que ceux ci-dessus, on peut espérer que le volume peut être calculé. Actuellement, à l'exception des gisements dont il est question dans cette étude, il ya un autre gisement de minerai devant être évalué et estimé. L'exploration est au niveau de déclarer les zones minéralisées et les recherches de minéralisation, donc il est essentiel d'estimer le potentiel minier et d'en déterminer les volumes attendus. Pour l'OMRG, « l'évaluation des ressources » signifie l'estimation des volumes probables de réserves. La précision des volumes attendus est améliorée selon l'avancement du levé géologique. Par exemple, dans l'étude passée et dans celle-ci, il est possible de trouver dans le type de gisement de Guelb Moghreïn 5-6 zones minéralisées de 50 km sur 20km (environ 100km<sup>2</sup>). Ces zones sont supposées contenir comme volumes attendus des métaux équivalents : le cuivre 300t et l'or 200t. Dans les zones de Tasiast-Tijirit, il ya possibilité de trouver une potentialité de 30 blocks (1block : 30km par 40km) qui contient un volume total d'or de 300t. De plus, la matière première du gisement d'or qui est une cible des compagnies juniors, peut avoir un potentiel supplémentaire de 50t dans chacune des 4unités, ce qui fait un total supplémentaire d'or de l'ordre de 200t. En conséquence, seulement dans les zones d'Akjoujt et de Tasiast-Tijirit, il existe des réserves potentielles d'environ 3-5 million de tonnes de cuivre métal et 700 à 1.500 tonnes d'or massif. Sur la base de cette information, l'OMRG devrait, en sa qualité d'organisation géologique, d'utiliser les données des levés pour estimer les réserves potentielles et fournir ces données aux investisseurs ; ce qui à son tour, attire les compagnies étrangères et renforce les activités d'exploration.

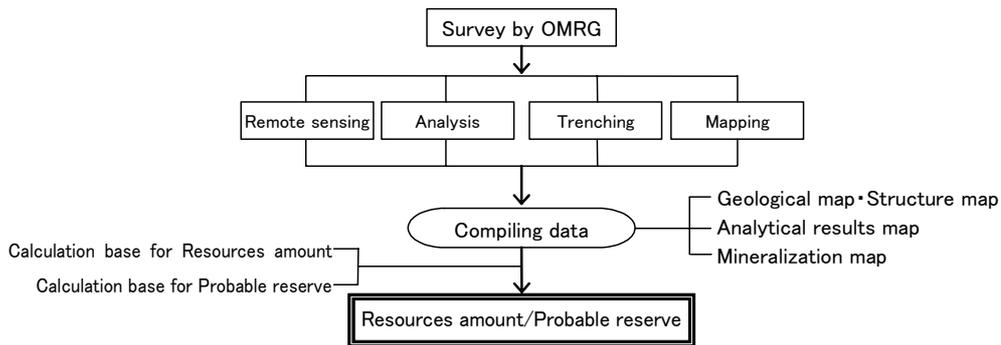


Fig.5.3.1 Evaluation des Ressources par L'OMRG

### 5.3.2 Le Minerai de Fer de la SNIM

Le département des mines et de la recherche de la Société qui produisait le minerai de fer, a conduit des travaux de forage témoins pour accroître les réserves de minerai exploitables autour des sites de TO14 du secteur Tazadit, El Rhein et M'Haoudat. La SNIM a son propre centre d'analyse et ses ingénieurs géologues. Ils recalculent les réserves de minerai en considérant les changements dus à l'exploitation des sites. (Tableau 4.2.1)

Dans le futur, il est nécessaire pour les géologues Mauritanien de partager entre eux les méthodes et les compétences en matière de calculs de chaque gisement et d'estimation et d'évaluation des ressources minérales du pays.