ONHYM

المكتب الوطني للهيدروكاربورات و المعادن

OFFICE NATIONAL DES HYDROCARBURES ET DES MINES

Septembre 2021

RECHERCHE STRATEGIQUE

Dans le domaine de l'exploration minière, il est désormais acquis que les gisements affleurant deviennent de plus en plus rares et que les découvertes futures ne pourront émaner que de gisements cachés. Cette réalité, conjuguée à la nécessité d'optimiser économiquement les différentes phases d'exploration, impliquera le lancement de grandes campagnes d'exploration sur de larges zones par l'utilisation des techniques d'exploration, comme la télédétection, l'hyperspectrale aéroportée, la géophysique aéroportée et la géochimie permettant de circonscrire des cibles pour la recherche minière.

Dans cette perspective, l'ONHYM a réalisé durant la période 2005-2019, un programme de recherche stratégique comprenant :

- trois campagnes de géochimie sol et alluvionnaire en **2005-2007**, **2009-2010** et **2013-2016**, dans les Provinces du Sud
- deux campagnes hyperspectrales aéroportées en **2008-2009**, et **2011-2012** dans l'Anti-Atlas central (massif de Siroua) et l'Anti-Atlas occidental (boutonnières de Kerdous, Bas Draa, Akka nord et Tata),
- une campagne de géophysique aéroportée AFMAG dans l'Anti-Atlas occidental en **2011-2012.**

En outre, Une quatrième campagne de géochimie stream – sediment et alluvionnaire est en cours dans le Haut Atlas central.

1- Les campagnes géochimiques :

a- Dans les Provinces du Sud

Dans le cadre des programmes de recherche et d'exploration minière menés par l'ONHYM, trois campagnes de géochimie sol et alluvionnaire ont été réalisées dans les Provinces du Sud. Les zones couvertes se situent à environ 150 Km au Sud-est de la ville de Dakhla et ont intéressé les feuilles topographiques régulières au 1/100 000 de Sdar, Ma'talla, Ouday Çfa, Mzayzat As-Sakkoum, Al Aggaya, Set Al Ayn Al Bayda, Lahjayra Al Bayda, Bir Gandouz, Imlily, Al Faj et Madnat Aghracha.

Les caractéristiques de ces campagnes sont consignées dans le tableau ci-dessous :

		Campagne 2005-2007	**Campagne 2009-2010**	**Campagne 2013-2016**
But		Circonscrire des anomalies géochimiques qui constitueraient des cibles de recherches minières		
Situation géographique		Région de Dakhla – Oued Ed-Dahab		
Superficie		5 000 km²	5 000 km²	3 100 km²
Fraction granulométrique retenue après test d'orientation		< 250 µm pour le sol < 2 mm pour l'alluvionnaire		
Eléments analysés pour le sol (43 éléments)		Au, Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Ni, Cu, Fe, Hg, Li, Mg, Mn, Si, Ca, Na, Al, K, Mo, Nb, Ta, P, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr, Pt, Pd et Rh.		
Eléments analysés pour l'alluvionnaire (21 éléments)		Au, Ag, As, Ba, Be, Bi, Ce, Cu, Hg, Mo, Nb, Ta, Pb, Sn, Ti, W, Zn, Zr. Pt, Pd et Rh.		
Nombre d'échantillons prélevés	sol	10 004	10 000	6 200
	alluvionnaire	1 019	1 000	620
Nature des cartes générées (géochimie sol)		• Carte d'échantillonnage sol • Cartes des anomalies mono élémentaires sol • Cartes des anomalies sol • Carte de synthèse sol		
Nature des cartes générées (alluvionnaire)		• Carte d'échantillonnage alluvionnaire • Carte des points anomaliques alluvionnaires • Carte des anomalies minéralogiques • Carte de synthèse de la géochimie alluvionnaire • Carte de synthèse alluvionnaire (minéralogie)		

Une importante base de données a été générée est sert de base pour le ciblage conceptuel. Ainsi, Une centaine de cible de recherche prometteuses ont été définies et hiérarchisées et font l'objet d'un contrôle géologique.

La figure 1 reporte la localisation des trois campagnes réalisées dans les Provinces du Sud :

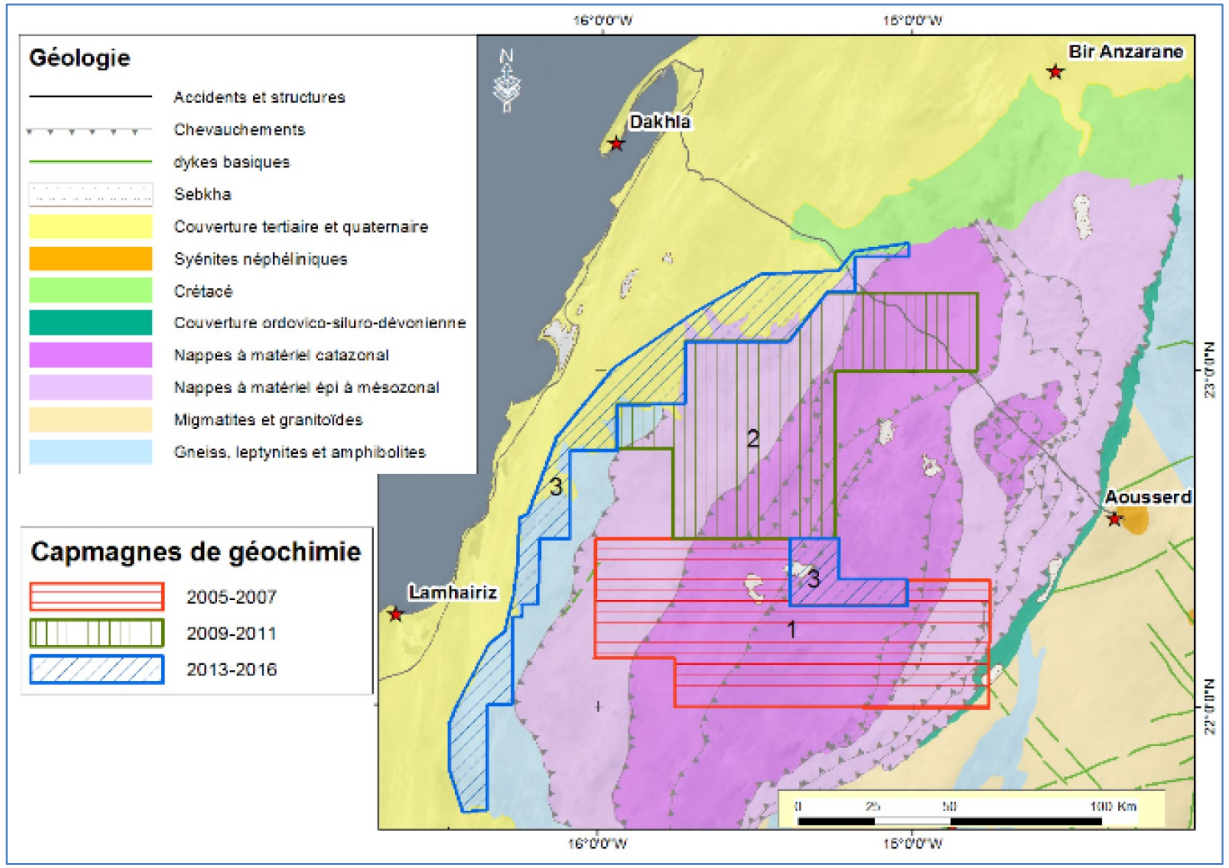

Fig. 1 – Carte de situation des campagnes géochimique réalisées dans les Provinces du Sud

Les travaux ont débuté par une étude d'orientation pour définir la fraction granulométrique la plus représentative pour les échantillons de sol, et qui donne le meilleur contraste géochimique entre les valeurs du fond géochimique et les valeurs anomales. Pour les échantillons alluvionnaires, l'objectif était d'orienter la recherche sur la définition de la paragenèse minérale du secteur.

Les résultats des différentes campagnes géochimiques sont consignés dans une base de données. Les données analytiques ont fait l'objet de traitements statistiques (statistiques élémentaires, analyse factorielle et matrices de corrélation). En outre, les cartes de distribution des éléments chimiques ou des anomalies géochimiques pour le sol et l'alluvionnaires (minéraux lourds) ont été élaborées.

Les résultats des différentes campagnes géochimiques sont disponibles sous formats numérique et papier et sont présentés sous formes de notices explicatives, d'atlas géochimiques, de bases de données Access et de projets ARCGIS.

L'interprétation des anomalies géochimiques obtenues en relation avec le contexte géologique et tectonique du secteur ont permis d'établir une synthèse des résultats, pour chacune des campagnes, mettant en exergue les différentes associations des éléments à affinité géochimique. Ainsi, différentes associations caractérisant les contextes géologiques ont été définies pour le sol et l'alluvionnaires dans chacune des campagnes. Le tableau ci-dessous résume les différentes associations définies pour le sol.

Campagne 2005-2007		Campagne 2009-2010		Campagne 2013-2016	
C1-G.1	Ni, Cr, Co, Mg ± V ± Ti ± Fe ± Pt ± Pd ± Au ± Cu	**C2-G.1**	U, Th, Ce, Ta, Nb, Ba ± Ag ± Sn ± W ± Pb ± As ± Pt ± K	**C3-G.1**	Co, Mg, Cu, Fe, V ± Cr ± Ni ± Zn
C1-G.2	Ni, Cr, Co, Cu, Pt, Pd, Rh, Mg ±Te ± Ag ± Sr ± Fe ± Na ± Au	**C2-G.2**	Ni, Cr, Co, Mg ± V ± Ti ± Fe ± Pt ± Pd ± Au ± Cu ± Ag	**C3-G.2**	Ni, Cr, Co ± Cu ± V ± Fe ± Mg
C1-G.3	Ni, Cr, Co, Mg, Pt, Pd, Rh, Au ± Cu ± Ti ± Sc ± U ± Te	**C2-G.3**	Co, Fe, Sc ± Cu ±Ag ± Ti ± V ± Mg ± K	**C3-G.3**	U, Th, Ce ± Ba ± Na ± K ± Be ± Y ±Sn ± Pb ± Nb ± As
C1-G.4	Pb, Zn, As, ± Ag ± Cd ± Sn	**C2-G.4**	U, Th, Y ± Ce ± Pb ± Zn	**C3-G.4**	Pb, Zn, As ± Y ± Th ± U ± K ± Li ± Be ± Sn ± Ce ± Nb ± Cr ± Co
C1-G.5	U, Th, Ce, Ta, Nb, Ba, ± Ag ± Sn ± W ± Pb ± As ± Pt ± K	**C2-G.5**	W, Sb, K ± Ag ± Cd ± Sn	**C3-G.5**	Th, Ce, Nb ± Y ± Sn ± Be ± Pb ± Nb ± As ± K
C1-G.6	U, Th, Zr, ± Y ± Ce ± Pb ± K			**C3-G.6**	Cr, Co, Ce, Cu ± Sn ± Te ± Nb ± Bi ± Ba ± Sr ± W
C1-G.7	Cu, Co, Fe, V ± Ti ± Sc ± Mg ± Na ± Zn				

b- Dans le Haut Atlas central

Une campagne de géochimie stream sediment et alluvionnaire est en cours de réalisation dans le Haut Atlas central. Celle-ci vise à couvrir 10 000 km^2 et à prélever 21 000 échantillons dont 10 000 stream sediment, 10 000 alluvionnaires et 1 000 pour l'étude minéralogique.
Les analyses chimiques prévues sont :

	Eléments chimiques à analyser	Nombre de déterminations prévues
Pour le stream sediment	Au, Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ca, Ce, Co, Cr, Na, Ni, Cu, Fe, Hg, Ir, Li, Mg, Mn, Si, K, Mo, Nb, Ta, Os, P, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr, Pt, Pd, Re, Rh et Ru.	470 000
Pour l'alluvionnaire	Ag, As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Ir, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, Os, Pb, Pd, Pt, Re, Rh, Ru, Sb, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn et Zr	390 000

La localisation de la zone couverte est donnée dans la figure 2.

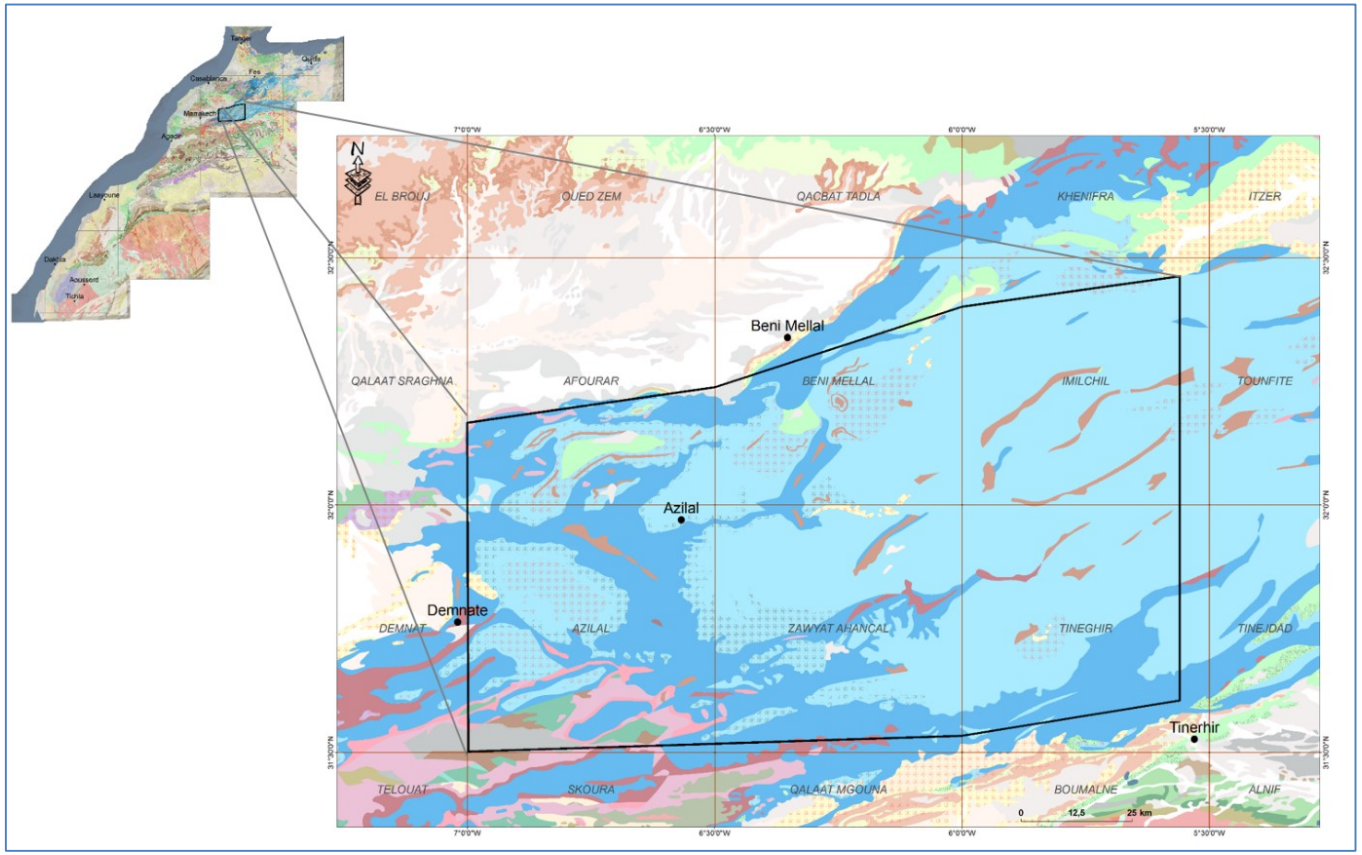

Fig. 2 – Carte de situation de la campagne géochimique en cours de réalisation dans le Haut Atlas central

Les travaux ont aussi débuté par une étude d'orientation qui a permis de définir la fraction granulométrique qui peut donner le meilleur contraste géochimique entre les valeurs du fond et celles anomales pour les échantillons stream sediment.

Les résultats de cette campagne seront structurés sous forme d'une base de données. Les données analytiques feront l'objet des traitements statistiques nécessaires (statistiques élémentaires, analyse factorielle et matrices de corrélation) à l'élaboration des cartes de distribution des éléments chimiques et des cartes des anomalies mono et multiélémentaires.

2- Les campagnes de l'hyperspectral :

L'ONHYM a réalisé deux campagnes de télédétection hyperspectrales dans l'anti atlas. La première a concerné le massif de Siroua (Anti-Atlas central) et la seconde a couvert les boutonnières de Kerdous, Bas Draa, Akka Nord et Tata dans l'Anti-Atlas occidental. La figure ci-dessous montre la localisation de ces deux campagnes.

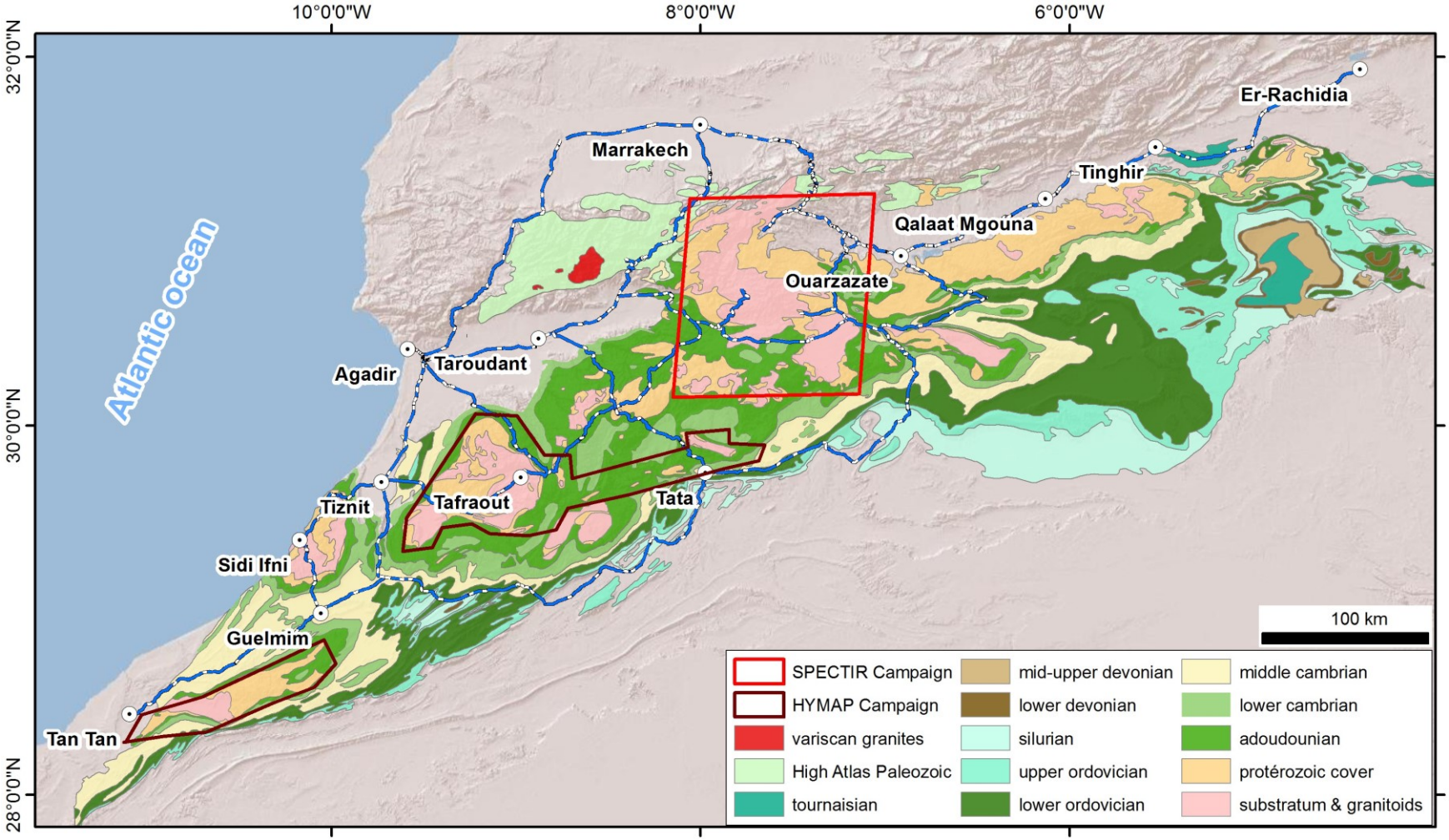

Fig. 3 – Carte de situation et cadre géologique général de la zone des deux campagnes hyperspectrales

Ces campagnes ont permis d'obtenir une cartographie détaillée des minéraux d'altération liés à plusieurs types d'altérations hydrothermales relatives à différents types de modèles métallogéniques. Les caractéristiques de ces campagnes sont consignées dans le tableau ci-dessous :

	Campagne 2008-2009	**Campagne 2011-2012**
But	Identification de tous les minéraux d'altération et leurs associations en relation avec les zones minéralisées, notamment : Alunite, Kaolinite, Pyrophyllite, Montmorillonite, Illite, Chlorite, Séricite, Jarosite, Hématite, Goethite, Talc, Calcite, Dolomite.	
Situation géographique	Anti-Atlas central (massif de Siroua)	Anti-Atlas occidental (les boutonnières de Kerdous, Bas Draa, Akka Nord et Tata)
Superficie	10 000 km²	10 100 km²
acquisition de données	✓ Acquisition de données par le spectroradiometre hyperspectral SPECTIR ✓ Résolution géométrique est de 05 m. ✓ 350 bandes spectrales ✓ Le système de positionnement géographique est le GPS Différentiel	✓ Acquisition de données par le spectroradiometre hyperspectral HYMAP ✓ Résolution géométrique est de 05 m. ✓ 128 bandes spectrales ✓ Le système de positionnement géographique est le GPS Différentiel
Traitements et interprétations des données	✓ Traitement des données acquises, ✓ Identification des minéraux d'altération, ✓ Structuration de la base de données. ✓ Contrôle de qualité sur le terrain de six zones prioritaires par le spectroradiomètre de terrain, échantillonnage roches et leur analyse par DRX.	
Nature des cartes générées	✓ Cartes au 1/50 000 des minéraux d'altération identifiés dans le secteur ; ✓ Carte de synthèse des minéraux d'altération par association minérale.	

Les résultats de ces campagnes constituent une assise de base pour la recherche minière où 13 cibles ont été identifiées dans le massif de Siroua et 52 cibles dans les boutonnières de Kerdous, Bas Draa, Nord d'Akka et Tata avec définition de leurs modèles métallogéniques en fonction de leurs paragenèses minérales définies.

Cibles définies dans le massif de Siroua (Campagne 2008-2009)

Priorité1	Tidili : Epithermal à Pyrophyllite, dickite, kaolinite, Al-illite
	Khzama : Porphyre Halo Propyllitique, rhyolite ? porphyre, à high Al illite, dickite zone
	La brèche de Siroua : Epithermal encaissé dans des roches alcalines à Alunite, kaolinite, Al-illite
	La chaine de Taghodout : probablement Epithermal (Similaire à Walker Lane) à Al-illite, pyrophyllite, dickite et kaolinite
Priorité 2	Tidili Nord, Tidili Sud, Tidili SE : Epithermal avec possibilité de porphyre à Tidili nord, à Pyrophyllite, dickite, kaolinite, Al-illite et illites zonées
	Le complèxe volcanique de Siroua (Siroua A-E) :Epithermal encaissé dans des roches alcalines à Alunite, kaolinite et Al-illite
	Zgounder NE à Al-illite et kaolinite
	Zone d'altération NW : Epithermal à Alunite, pyrophyllite, dickite, kaolinite et Al-illite
	Tafrent NE à Al-illite
Priorité 3	Khzama Nord à Al-illite et kaolinite
	Taghdout Sud, SW, Ouest, NW : Epithermal probable à Al-illite et kaolinite
	Izazen, Izazen Ouest: Prophyre à Al-illite, kaolinite à apparence circulaire
	NW A, B : Porphyre probable à Al-illite et kaolinite

Cibles définies dans les boutonnières de Kerdous, Bas Draa, Akka nord et Tata (Campagne2011-2012)

Cible de Type 1	Minéraux sélectionnés à partir de l'intégration des données et du modèle de minéralisation aurifère type (West Autralia,M. P Schwann);
Cible de Type 2	Altération argilique avancée : pyrophyllite, dickite, goethite ;
Cible de Type 3	Zone de cisaillement et de contact : illite et phengite observés dans plusieurs prospects et extensions, important dans les zones de cisaillement et proches des zones de contact de sédiment carbonaté-phyllitique ;
Cible de Type 4	Altération argilique : paragonite, illite, phengite
Cible de Type 5	Destruction de chlorite : chlorite remplacée par des minéraux felsiques et le mélange séricite-carbonate,
Cible de Type 6	Goethite : sa présence conjointe à d'autres minéraux ciblés
Cible de Type 7	Dykes de pegmatites : illite-oligoclase pour cartographie ;
Cible de Type 8	petites zones d'anomalie de kaolinite

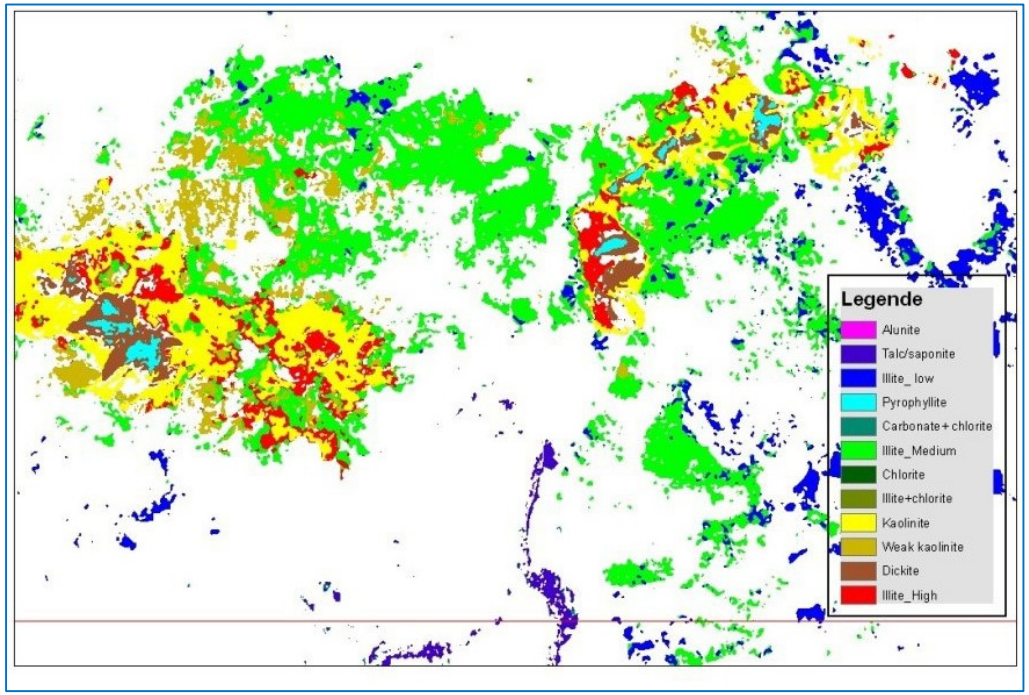

Fig. 4 – Carte d'altération, dans le secteur de TIDILI

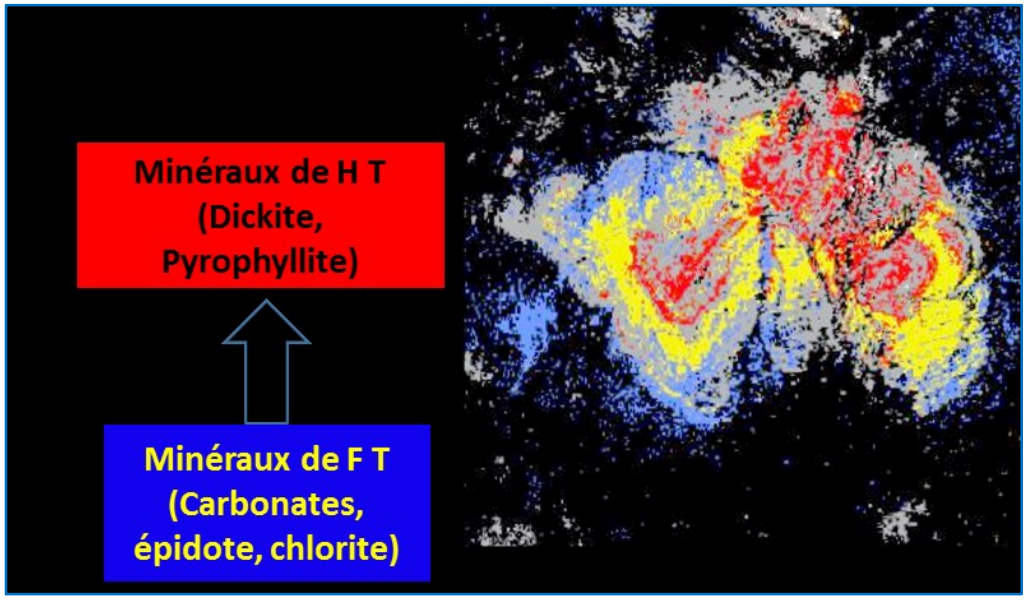

Fig. 5 – Exemple d'anomalie représentant la zonalité d'altération dans la vallée d'Ameln

3- La campagne de géophysique aéroportée AFMAG-ZTEM :

Sur la base du modèle caractérisant la mine de cuivre de Tazalaght dans l'Anti Atlas Occidental, une campagne menée par la méthode ZTEM géophysique aéroportée a été opérée. Cette campagne qui vise la recherche de gisements de cuivre cachés a couvert la zone située entre les boutonnières précambriennes de Kerdous, Akka et Ighrem sur une superficie de 4 000 km².

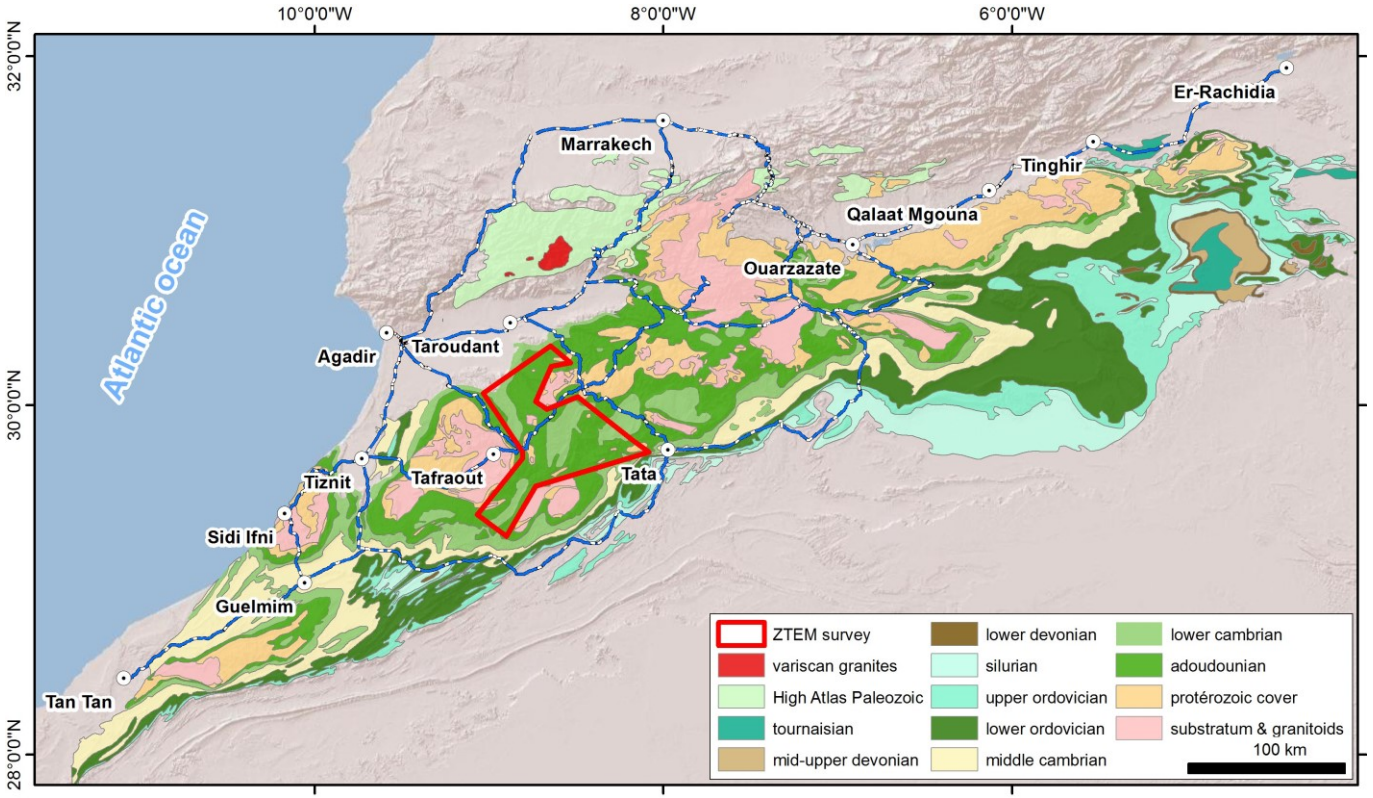

Fig. 6 – Carte de situation et cadre géologique général de la campagne de géophysique aéroportée AFMAG-ZTEM

L'AFMAG est une méthode géophysique aéroportée qui se base sur l'électromagnétisme inductif, et qui possède un pouvoir de pénétration en profondeur très important. Elle est de ce fait bien adaptée à la recherche de gisements cachés et profonds.
Le contraste de la résistivité caractérisant les formations géologiques présentes dans la zone étudiée, a permis d'obtenir des cartes et des coupes à plusieurs niveaux de profondeur , dans le but de localiser les Paléo-reliefs liés à la minéralisation cuprifère dans la zone d'étude.

Ainsi, la campagne réalisée se caractérise par les spécificités techniques suivantes :

Méthode **Paramètre**	**ZTEM**	**Magnétométrie**
Nombre de lignes de vols/ traverses	422/22	
Espacement des lignes	300m	
Espacement des traverses	1000m	
Fréquence des mesures	25 Hz, 37 Hz, 75 Hz, 150 Hz, 300 Hz, 600 Hz	
Capteur mobile	Boucle réceptrice de 7,4m de diamètre pour la mesure des composantes verticales	Magnétomètre héliporté
Station de référence	2 bobines verticales et orthogonales de 3,5 m de diamètres fixées au sol pour capter les composantes horizontales	Magnétomètre de base fixe
Vitesse moyenne du vol	80 km/h	
Paramètres mesurés	Composante en phase et en quadrature du champ magnétique induit	Champ magnétique total

Les données de cette campagne géophysique ont été interprétées de façon qualitative et quantitative :

- ***Interprétation qualitative :***

Les composantes en phase et en quadrature du champ électromagnétique fournissent des indications sur la variation de la conductivité des terrains. L'analyse des cartes établies pour les différentes fréquences montrent une bonne corrélation avec les unités géologiques. Les formations précambriennes sont relativement résistives par rapport à la couverture carbonatée de l'infracambrien. Le niveau de la série de base qui marque la transition entre les deux unités présente un contraste de résistivité important qui permet de suivre son évolution spatiale en profondeur. Ces données peuvent contribuer à la cartographie géologique surtout dans les zones inaccessibles et au choix des zones potentielles pour l'exploration minière.
La divergence totale en phase issue de la combinaison des composantes en phase dans les directions x et y cernent avec plus de précision les anomalies et met en relief les zones conductrices qui reflètent les failles, les contacts et les zones d'altération. Les plus fortes résistivités reflètent les formations précambriennes. Les plus conductrices coïncident, en surface, avec les niveaux de la série de base, de la série de lie de vin ou encore avec les fractures. Les cartes du champ magnétique réduit au pôle mettent en évidence les structures magnétiques, les formations précambriennes montrent des perturbations.

- ***Interprétation quantitative :***

Les anomalies ZTEM ponctuelles sélectionnées par piquetage et interprétées sont positionnées sur la carte avec les indications concernant leur amplitude maximale, la fréquence correspondante et la profondeur estimée de la source.

L’inversion 2D des données ZTEM fourni une approche quantitative des résultats. Elle permet en effet de tracer la distribution de la résistivité du sous-sol et identifier les structures géologiques et les zones d'intérêt – spécialement les paléoreliefs du socle Précambrien sous la couverture sédimentaire Paléozoïque favorable aux gisements cuprifères.
Les résultats de l’inversion 2D sont présentés en sections interprétées, et aussi sous forme de cartes de résistivité extraites à différents niveaux montrant l’évolution des structures en fonction de la profondeur. Plusieurs corps résistants interprétés comme des hauts fonds cachés sont identifiés et individualisés sous la couverture.

L’étude géophysique héliportée par la méthode AFMAG (ZTEM) réalisée dans l'Anti -Atlas occidental a permis de définir un certain nombre d’unités structurales matérialisées par leurs contrastes de résistivité. Elle confirme l’existence en profondeur de hauts fonds favorables à la concentration de minéralisation cuprifère. Des conducteurs pouvant correspondre à d’éventuelles altérations ont été également localisées en profondeur et peuvent être considérés comme des cibles potentielles pour plus d’investigation. L’ensemble de ces résultats a permis de cerner les zones les plus prometteuses pour mener les études géologiques et géophysiques de détail.

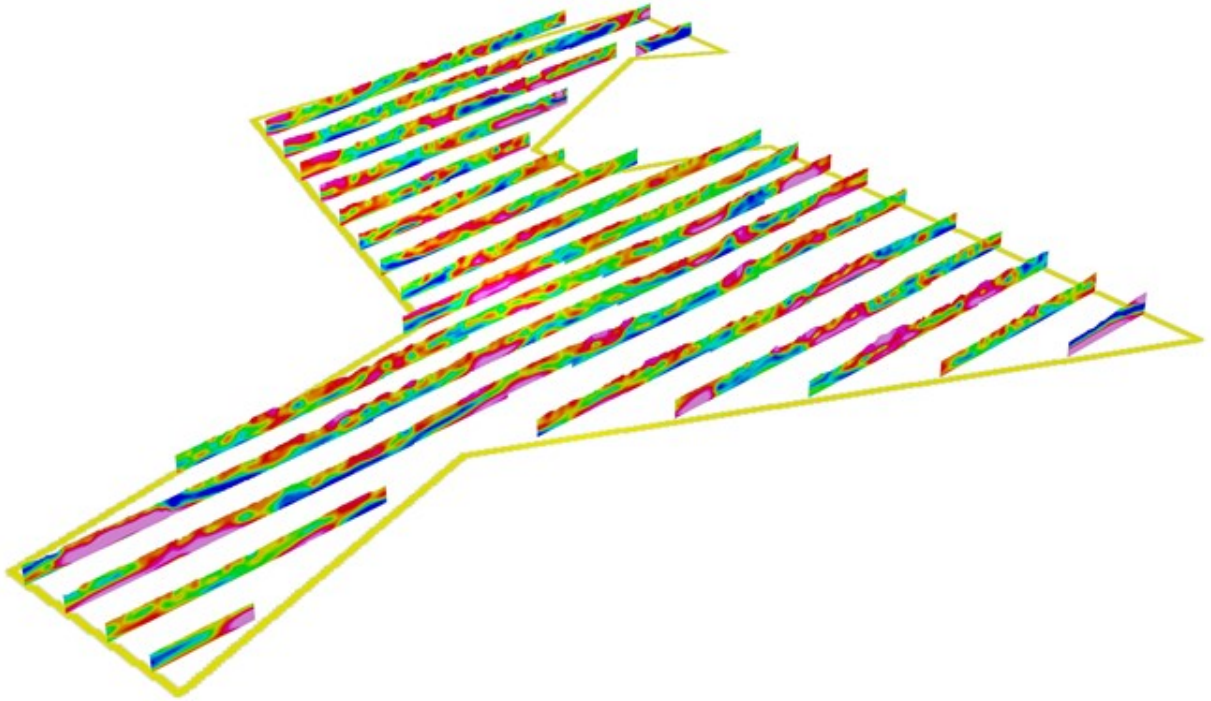

Fig. 7 – Modélisation 3D des coupes de résistivité