



**British
Geological Survey**

NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL

ROYAUME DU MAROC

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DU COMMERCE,
DE L'ÉNERGIE ET DES MINES

DEPARTEMENT DE L'ÉNERGIE ET DES MINES

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE

PLAN NATIONAL DE CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE



La rapport final pour les travaux de recherches géologique pour la realisation de cinq cartes géochimique au 1/100 000 dans le domaine de l'Anti-Atlas (Maroc)

Marché N° 8: 97-98/DG

Commissionnement du Rapport CR/01/031^N

Août 2001

La rapport final pour les travaux de recherches geologique pour la realisation de cinq cartes géochimique au 1/100 000 dans le domaine de l'Anti-Atlas (Maroc)

C. C. JOHNSON
D. M. A. FLIGHT
T. R. LISTER
M. H. STRUTT

Référence bibliographique:

JOHNSON, C. C, FLIGHT,
D.M.A, LISTER, T.R. ET
STRUTT, M.H. 2001. La rapport
final pour les travaux de recherches
géologique pour la realisation de
cinq cartes géochimique au
1/100 000 dans le domaine de
l'Anti-Atlas (Maroc) *British
Geological Survey/Direction de la
Géologie*. Marché N° 8: 97-98/DG.
Commissioned Report, CR/01/031.
56 pp.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

Le British Geological Survey est un organisme qui s'occupe des études géologiques en Grande Bretagne et en Irlande du Nord (dans ce dernier cas il agit en tant qu'agence de service du gouvernement nord irlandais), ainsi que des projets relatifs à l'environnement des plates-formes continentales, ceci étant son métier de base. Il se charge également de programmes d'aides techniques britanniques, dans le domaine de la géologie, aux pays en voie de développement, tels que définis par le Département pour le Développement International et par d'autres agences.

Le British Geological Survey est un organe du Natural Environment Research Council.

British Geological Survey:

Keyworth, Nottingham NG12 5GG

☎ Tel: 0115-936 3100 Fax: 0115-936 3200
e-mail: sales@bgs.ac.uk web: www.bgs.ac.uk
i-shop: www.british-geological-survey.co.uk

Société mère:

Natural Environment Research Council

Polaris House, North Star Avenue, Swindon, Wiltshire SN2 1EU
☎ Tel: 01793-411500 Fax: 01793-411501

DIRECTION DE LA GEOLOGIE

La Direction de la Géologie est le service géologique national du Maroc. Elle prépare et met en œuvre les orientations relatives à la recherche géologique et à la prospection des ressources du sol et du sous-sol du pays. En particulier:

- Elle est chargée de la coordination de tous les travaux de recherches géologiques réalisés sur le territoire national;
- Elle établit l'infrastructure géologique du pays. A cet effet, elle dresse les cartes géologiques et thématiques ayant rapport avec la géologie. Elle publie les résultats des études scientifiques et techniques réalisées dans ce domaine;
- Elle collecte, centralise et diffuse les données se rapportant aux divers travaux de recherches d'intérêt géologique exécutés à travers le Royaume;
- Elle effectue toute étude permettant la connaissance géologique des ressources minérales et énergétiques du sol, du sous-sol et de plate-forme continentale;
- Elle est chargée de l'inventaire et de la recherche des gîtes minéraux, des roches industrielles, des matériaux de construction, des roches ornementales, des substances énergétiques, des eaux thermo-minérales et des ressources géothermiques;
- Elle veille à la sauvegarde des sites géologiques, minéralogiques et paléontologiques;
- Elle participe aux études relatives à la prévention et à la réduction des risques naturels d'origine géologique;
- Elle participe, en collaboration avec les organismes concernés et dans le cadre des thèmes liés à ses compétences à l'organisation de séminaires et de rencontres scientifiques, à caractère national, régional et international, ainsi qu'à la représentation du pays dans les réunions et manifestations internationales;
- Elle participe à la conception, la coordination, la mise en œuvre, le suivi et l'élaboration des projets de coopération dans le domaine géologique;
- Elle dispose de laboratoires de recherches et d'analyses qu'elle exploite pour son propre compte et pour le compte de tiers;
- Elle participe, en liaison avec les organismes concernés, à l'élaboration et au contrôle des normes de qualité des matériaux d'origine minérale.

Direction de la Géologie

Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Énergie et des Mines

BP 6208 Rabat

Maroc

☎ +212 37 688700 Fax: 212 37 88713

e-mail: admin@gov.ma

www.mem.gov.ma

REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes ont contribué à la réalisation et à l'achèvement avec succès de ce projet. Cette contribution a été effective durant les différentes étapes de travail. Nous remercions Messieurs K. Benhida et H. Dembélé (Geopole bureau d'étude) pour la rédaction des sections géologiques et géologiques. En plus de l'aide à la collecte des données, plusieurs personnes nous ont courtoisement conseillées et fait profiter de leurs connaissances régionales, si importantes pour le travail de terrain. De toutes les personnes qui ont contribué au projet, nous tenons à remercier particulièrement:

Chefs d'équipes: D. M. A. Flight; T. R. Lister et M. H. Strutt

Echantillonneurs:

Kate Denton	Youssef Mouhach	Mouloud Sakhi
Richard Alston	Mohamed Khaffou	Moha Sekkou
Lucy Bunce	Brahim El Boukhissi	Ahmed Zeggan
Jeremy Inglis	Benaser Ennaciri	Moha Otmani
Joanna Christie	Mohamed Oukhira	Abdella Soufi
John Banks	Mohamed Aledjik	Hmad Zenno
Mairi Nicholson	Mehdi Bensid	Mohand Ihmadi
Abderrahman Binis	Lhoussaine Achir	Ali Khalfaoui
Mohamed Chakiri	Maryem Bhar	Said Ouassou
Mustapha Bakkal	Abdelazizi Zinelabine	
Mustapha AitElbacha	El Mustapha El Madkouri	
Lahcen Talaghroum	M.Lahcen Houchaimi	

Laboratoire:

M. N. Ingham	C. J. B. Gowing	N. D. Eatherington
M. A. Allen	K. Barker	C. Brettle
M. Cutler	K. Cook	S. Morley
R. Baines	S. Carter	

SIG:

G. N. Wiggans	K. Cook	B. C. Chacksfield
---------------	---------	-------------------

Cartographie:

N. A. Spencer

Assistants des chefs d'équipe: J. Freeman et J. E. Hirst

Logistique locale:

A. Moushine Y. Azirar

Expert en Métallogénie:

J. S. Coats

Coordinateurs du BGS:

J. W. Baldock J. H. Powell P. N. Dunkley
J. Harvey

Suive et contrôle (Direction de la Géologie):

M. Hmeurras A. Laghbi
M. Fdil M. Mournir

Traduction:

K. Benhida

Publications:

S. Freestone E. Yarwood A. Hill

ABBREVIATIONS

BGS	British Geological Survey
DG	Direction de la Géologie
Lot 2	Zone de projet concernant les feuilles de Boumalne et Qaala't Mgouna
Lot 1	Zone de projet concernant les feuilles de Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul
NERC	Natural Environment Research Council
PII ²	Précambrien II (supérieur)
PII ¹	Précambrien II (inférieur)
PIIIg	Précambrien III (granites alcalins)
PIII ²	Précambrien III (supérieur)
PIII ¹	Précambrien III (inférieur et moyen)
PNCG	Plan National de Cartographie Géologique
σ	Déviatiion standard (<i>écart-type</i>)
$(x + 2\sigma)$	Moyenne plus deux déviations standards
$(x + 3\sigma)$	Moyenne plus trois déviations standards

TABLE DES MATIERES

Résumé	vii	2.1	Exemple de fiche de terrain utilisée au cours des prélèvements stream-sédiments	5
1 Introduction	1	2.2	Exemple de forme de saisi ACCESS de la base de données de terrain	6
2 Méthodologie	4	2.3	Tableau périodique des éléments chimiques où sont indiqués les éléments déterminés au cours de cette étude	8
2.1 Stratégie d'échantillonnage	4	2.4	Exemple de graphique de contrôle (graphique Shewhart) du Cu des échantillons références standards MB	10
2.2 Echantillonnage	4	2.5	Exemple de graphique X-Y des échantillons doubles (duplicatas) et répliques	11
2.3 Préparation des échantillons	6	2.6	Exemple des options MS ACCESS permettant de lister les données de la carte de Qalaa't Mgouna à partir de la base de données du Lot 2	12
2.4 Analyses chimiques	7	3.1	Exemple de carte mono-élémentaire à symboles au 1/100 000	14
2.5 Procédures de contrôle des erreurs	7	3.2	Exemple d'image géochimique quadrillée de l'atlas géochimique	17
2.6 Bases de données	9	4.1	Diagramme de matrice de corrélation du Lot 1 (basé sur les coefficients de corrélation de Pearson)	21
2.7 Travaux d'interprétation et élaboration des cartes géochimiques	9	4.2	Résultats de Cu-As-Sb dans les stream-sédiments du Lot 1 présentés sous forme de carte à trois composants (ternaire)	23
3 Documents Produits	13	4.3	Diagramme de matrice de corrélation du Lot 2 (basé sur les coefficients de corrélation de Pearson)	24
3.1 Cartes géochimiques mono-élémentaires régionales au 1/100 000	13	4.4	Résultats de Cu-Pb-Zn dans les stream-sédiments du Lot 2 présentés sous forme de carte à trois composants (ternaire)	27
3.2 Cartes de position des échantillons	13	5.1	Estimations des dépenses relatives à ce projet ...	28
3.3 Cartes de contours couleurs	15			
3.4 Cartes de synthèse géochimique	16			
3.5 Notice explicative relative à chaque carte	16			
3.6 Test d'orientation	16			
3.7 Atlas géochimiques	16			
3.8 Rapport final	18			
3.9 CD-ROM	18			
4 Résumé des Résultats Géochimiques	19			
4.1 Lot 1	19			
4.2 Lot 2	22			
5 Conclusions et Recommandations	28			
5.1 Stratégie d'échantillonnage	28			
5.2 Analyses chimiques	29			
5.3 Cibles à exploration	30			
5.4 Recommandations pour les futures études	30			
6 References Bibliographiques	32			

ANNEXES

A Procédures de prélèvement des échantillons de drainage	33
B Valeurs tolérées pour les références standards MB1 et MB3	37
C Définitions des tableaux des bases de données access	38
D Tableau des occurrences minérales	41
E Statistiques des principaux groupes lithologiques	47

FIGURES

1.1 Carte de localisation de la zone étudiée	1
1.2 Figure montrant les positions relatives des feuilles topographiques au 1/100 000 du Lot 1 (Taliwine, Taznakht et Agadir Melloul) et du Lot 2 (Qalaa't Mgouna et Boumalne)	2
1.3 Tableau des variations de température et de pluviométrie de la région Ouarzazate	2

TABLEAUX

1.1 Tableau indiquant les limites des cartes et diverses autres informations	3
2.1 Numéros réservés aux échantillons de contrôle	7
2.2 Analyse ANOVA des échantillons de contrôle du (i) Lot 1 et (ii) Lot 2	9
2.3 Fichier prj.Lambert Maroc rajouté au répertoire MapInfo permettant l'utilisation de la projection Lambert Maroc Sud	12
3.1 Tableau synthétisant les différents types de minéralisations reportés dans les cartes de synthèse	15
4.1 Récapitulatif des informations relatives au nombre d'échantillons stream-sédiments et concentrés de batée du Lot 1	19
4.2 Informations statistiques des échantillons stream-sédiments du Lot1	20
4.3 Abondance des éléments dans la croûte continentale et dans diverses lithologies	20
4.4 Matrice de coefficient de corrélation de Pearson des 8319 échantillons stream-sédiments du Lot1	21

4.5	Récapitulatif des informations relatives au nombre d'échantillons stream-sédiments et concentrés de batée du Lot 2	24	C.4	Table de définition ACCESS de la base de données Au et Hg (concentrés de batée)	39
4.6	Informations statistiques des échantillons stream-sédiments du Lot 2	25	C.5	Table de définition ACCESS de la base de données des analyses XRF des concentrés de batée	40
4.7	Matrice de coefficient de corrélation de Pearson des 5164 échantillons stream-sédiments du Lot 2	26	PHOTOGRAPHIES		
A.1	Exemple d'une liste de numéros aléatoires ("Random Nymber List RNL")	36	2.1	Prélèvement d'un échantillon stream-sédiment	5
B.1	Valeurs tolérées pour MB1 et MB2	37	2.2	Prélèvement d'un échantillon de minéraux lourds (concentré de batée)	5
C.1	Table de définition ACCESS de la base de données de terrain	38	2.3	Laboratoire de préparation des échantillons du BGS	6
C.2	Table de définition ACCESS des données d'analyse XRF stream-sédiment	39	2.4	Appareil Spectro X-lab ED(p) - XRF des laboratoires du BGS	7
C.3	Table de définition ACCESS de la base de données Be et Li (stream-sédiments)	39			

RÉSUMÉ

Ce rapport final est une présentation globale du Projet de Cartographie Géochimique Régionale réalisé sur les cartes topographiques régulières au 1/100 000 de Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul (Lot 1) et de Boumalne et Qalaa't Mgouna (Lot 2). Ce travail a nécessité la collecte et l'analyse d'environ 14 200 échantillons stream-sédiments, prélevés à une densité d'un échantillon par kilomètre carré (1/km²). Vingt éléments ont été déterminés à partir de la fraction granulométrique $-250 \mu\text{m}$ des stream-sédiments : *Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, et Zr*. Les concentrés de batée ont été prélevés sur 10 % des sites et analysés pour le même nombre d'éléments, plus *Au et Hg*.

Les résultats de ce projet sont détaillés dans d'autres rapports, toutefois un large résumé est donné ici. Les principales productions de ce projet (cartes mono-élémentaires au 1/100 000 ; cartes de contours en couleur ; cartes thématiques ; notices explicatives ; atlas géochimiques et CD-ROM) sont également décrites dans ce rapport final. Ici, l'accent est mis principalement sur la stratégie et la méthodologie d'échantillonnage utilisées au cours de cette étude. Les diverses procédures sont présentées de manière détaillée. Des recommandations sur la conduite à adopter dans de futures études similaires sont données dans la conclusion.

SUMMARY

This report represents the final product of the Regional Geochemical Mapping Project covering the 1/100 000 scale map sheets of Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul (Lot 1) and Boumalne et Qalaa't Mgouna (Lot 2). This work has involved the collection and analysis of nearly 14 200 stream sediment samples at a sampling density of 1 sample per square kilometre. Twenty elements have been determined on the $-250 \mu\text{m}$ fraction of the stream sediment, namely *Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, et Zr*. Panned concentrates were collected from 10% of the sites and analysed for a similar range of elements and included Au et Hg.

Results from this project have been reported elsewhere but a summary of the results is given here. The main products of the project (1/100 000 scale single element maps; colour contour maps; thematic maps; notices explicatives; geochemical atlases et CD-ROMs) are described. This report is principally concerned with the strategy and methodology used in the project and procedures used are presented here in detail. Recommendations for the conduct of future such surveys is given in the conclusion to the report.

1 INTRODUCTION

Ce rapport concerne l'étude réalisée par le British Geological Survey (BGS) dans le cadre du contrat avec le Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Energie et des Mines du Royaume du Maroc, et supervisée par la Direction de la Géologie, Rabat (Marché N° 8/97-98). Ce travail a été effectué entre novembre 1998 et août 2001, et a couvert les cinq feuilles topographiques régulières au 1/100 000 de Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul (Lot 1) et de Boumalne et Qalaa't Mgouna (Lot 2) (voir Figures 1.1 et 1.2).

Le contrat (Marché N° 8/97-98) spécifie que le travail à réaliser est une étude géochimique régionale de type stream-sédiment couplé à l'alluvionnaire; la densité de prélèvement pour le stream-sédiment étant d'un échantillon par kilomètre carré (1/km²) avec des prélèvements alluvionnaires sur 10% des sites. Les méthodes de prélèvement et d'analyse chimique ont été déterminées suite au test d'orientation réalisé dans la région durant le mois de novembre 1998 (BGS, 1999). L'étude d'orientation a montré que la fraction granulométrique -250 µ est la plus appropriée à l'échantillonnage géochimique régional du stream-sédiment de cette partie de la chaîne de l'Anti-Atlas (voir Section 2). Les principaux objectifs de cette étude sont l'identification d'éventuelles minéralisations et la définition de provinces d'importance géochimique.

La géologie et la géologie régionales, ainsi que les résultats géochimiques, sont décrits de manière détaillée dans les autres rapports (voir Section 3), et de ce fait, ne seront pas présentés ici. L'objectif de ce rapport est de

fournir une description détaillée de la stratégie et de la méthodologie utilisées au cours de ce projet, ainsi qu'un récapitulatif des principaux résultats. Une évaluation critique de ce type d'étude géochimique, ainsi que des recommandations sur la conduite à adopter dans de futurs projets similaires au Maroc, sont données en conclusion.

La région d'étude, située à proximité de la ville de Ouarzazate, dans la chaîne de l'Anti-Atlas, est divisée en deux parties, Lot 1 et Lot 2 (Figures 1.1, Figures 1.2 et Tableau 1.1). Le Lot 1 se localise à l'ouest - sud ouest de la ville de Ouarzazate et couvre essentiellement la partie centrale de l'Anti-Atlas. L'Anti-Atlas correspond à une vaste zone anticlinale, orientée WSW-ESE, se suivant de l'Atlantique jusqu'en Algérie. Ce domaine est limité au Nord par l'accident sud-atlasique qui le met en contact avec la chaîne du Haut Atlas. La limite Sud est moins précise, puisque le domaine se prolonge au-delà des formations tabulaires plio-quadernaires (Hamada) et se rattache directement au bouclier Ouest Africain. Le point culminant de la région est le volcan du Sirwa avec 3 305 m, toutefois, les montagnes du Haut Atlas, situées dans la partie Nord-Ouest de la carte de Taliwine, avoisinent les 3 000 m.

Le Lot 2 se localise à 40 km à l'est — nord est de la ville de Ouarzazate. Cette partie de la chaîne de l'Anti-Atlas peut être divisée en trois régions topographiques. Au Sud, et couvrant une grande partie de la feuille de Boulmane, se situent les montagnes abruptes du Jbel Saghro, avec des sommets culminants à plus de 2 000 m. La ville de Boulmane se localise dans une vaste plaine, orientée SW-NE, constituée de sédiments récents. Elle couvre une grande partie de la feuille de Qalaa't Mgouna. Les secteurs Nord Ouest et Nord de la feuille de Qalaa't Mgouna, ainsi que le coin Nord Ouest de la carte de Boulmane, sont occupés par la chaîne du Haut Atlas. La topographie des terrains sédimentaires mésozoïques est tout à fait différente ici de celle du massif précambrien du Jbel Saghro, avec des pics atteignant les 3 432 m (Jbel Aklim).

Le climat est semi-aride avec la majeure partie des précipitations entre les mois de septembre et de décembre (Figure 1.3). L'échantillonnage de cette étude a été réalisé au cours de la saison sèche, entre les mois de mars et d'août 1999. Du fait qu'essentiellement les affluents de second et de troisième ordre ont été échantillonnés, les cours d'eau étaient secs durant toute cette période. Malgré que la région soit semi-aride, le réseau hydrographique est bien développé. Il est actif durant la saison humide, soit entre les mois d'octobre et de janvier. Les sommets des montagnes, tel que le Sirwa, sont enneigés durant l'hiver, et les ruisseaux canalisent les eaux de la fonte des neiges au cours des premiers mois de l'année.

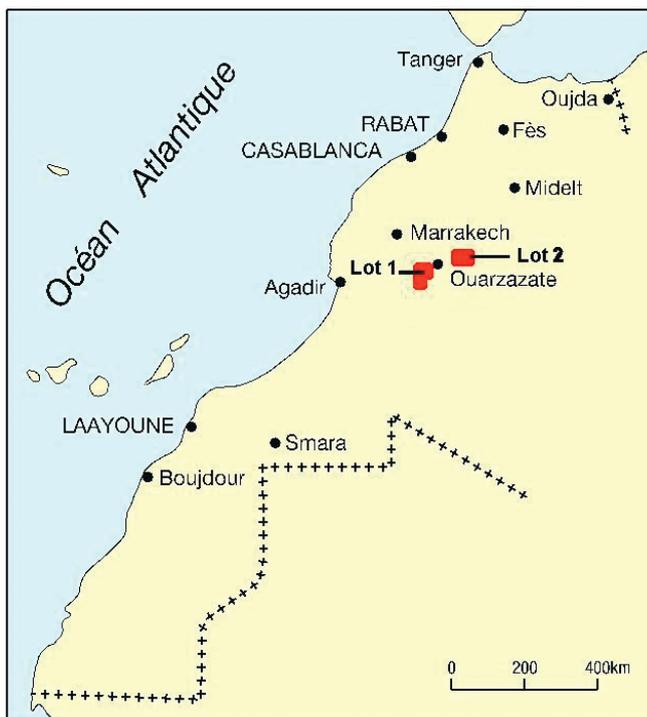


Figure 1.1: Carte de situation de la zone étudiée

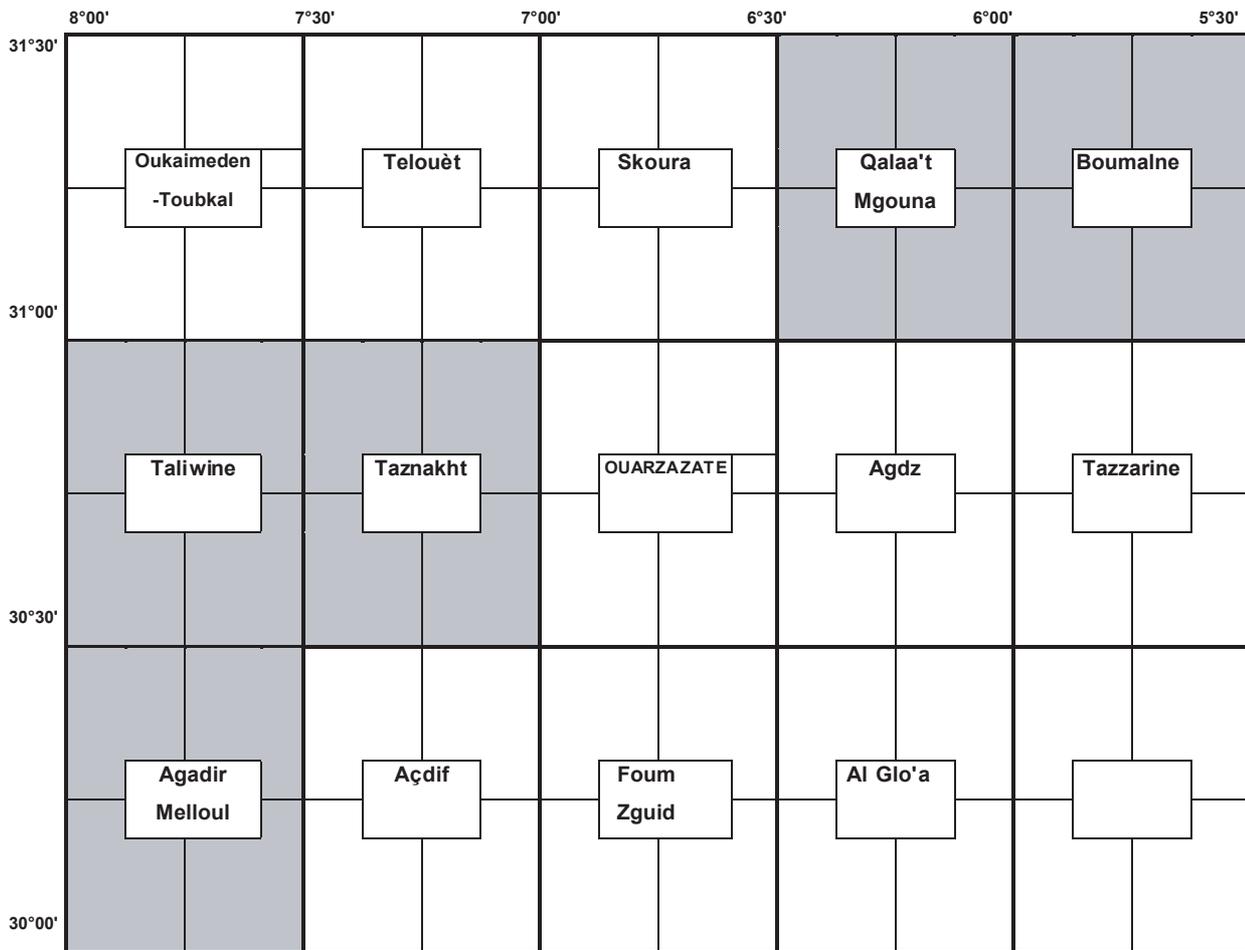


Figure 1.2: Figure montrant les positions relatives des cartes topographiques au 1/100 000 du Lot 1 (Taliwine, Taznakht et Agadir Melloul) et du Lot 2 (Qalaa't Mgouna et Boumalne)

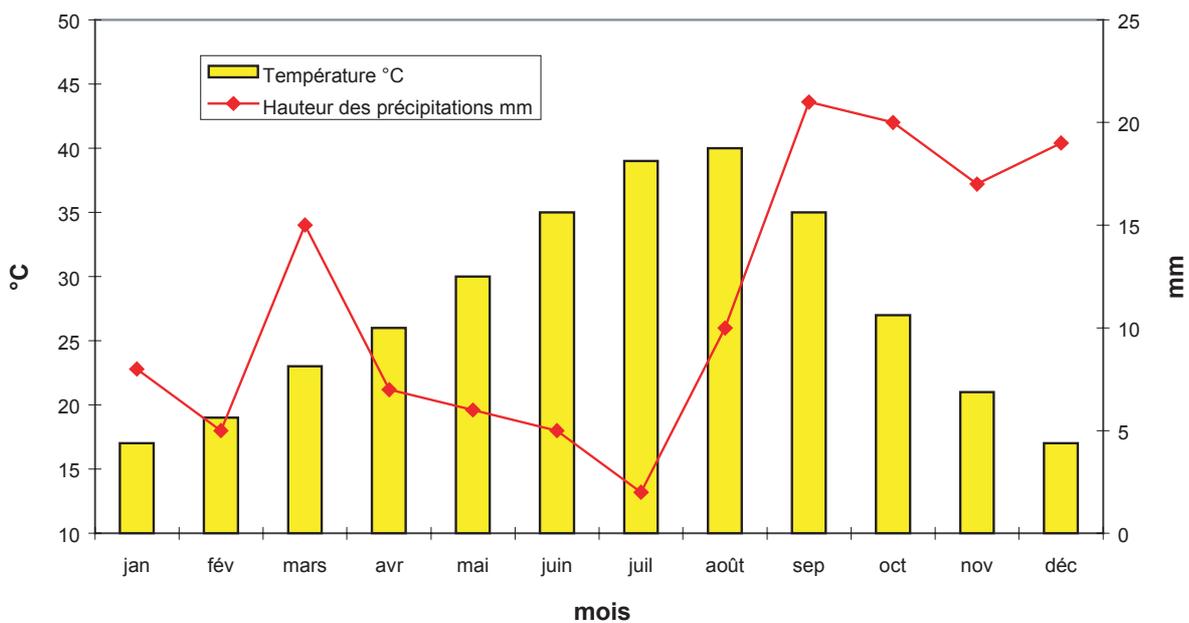


Figure 1.3: Tableau des variations de température et de pluviométrie dans la région de Ouarzazate

1/100 000	1/50 000	N° Feuille	Min Lat	Max Lat	Min Long	Max Long	x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4	Aire (km ²)
	Assarag	NH-29-XVII-3c	30,75	31,00	-7,75	-8,00	251120	419150	275040	418650	275600	446350	251730	446870	662
Taiwine	Sirwa	NH-29-XVII-3b	30,50	30,75	-7,50	-7,75	274470	390950	298470	390480	298970	418190	275040	418650	664
	Tachoukacht	NH-29-XVII-3d	30,75	31,00	-7,50	-7,75	275040	418650	298980	418190	299470	445900	275600	446350	662
	Taiwine	NH-29-XVII-3a	30,50	30,75	-7,75	-8,00	250500	391460	274470	390950	275040	418650	251120	419150	663
	Taghdout	NH-29-XVII-4a	30,50	30,75	-7,25	-7,50	298470	390480	322440	390060	322890	417780	298970	418190	664
Taznakht	Tamallakout	NH-29-XVII-4c	30,75	31,00	-7,25	-7,50	298970	418190	322890	417780	323330	445480	299470	445900	662
	Taznakht	NH-29-XVII-4b	30,50	30,75	-7,00	-7,25	322440	390060	346460	389720	346840	417420	322890	417780	665
	Tikirt	NH-29-XVII-4d	30,75	31,00	-7,00	-7,25	322890	417780	346840	417420	347210	445120	323330	445480	662
	Agadir Melloul	NH-29-XVII-1a	30,00	30,25	-7,75	-8,00	249240	336070	273350	335540	273920	363240	249860	363750	667
Agadir Melloul	Assaragh	NH-29-XVII-1b	30,00	30,25	-7,50	-7,75	273350	335540	297460	335080	297960	362770	273920	363240	667
	Ighriy	NH-29-XVII-1d	30,25	30,50	-7,50	-7,75	273920	363240	297960	362770	298470	390480	274470	390950	666
	Tabadrist	NH-29-XVII-1c	30,25	30,50	-7,75	-8,00	249860	363750	273920	363240	274470	390950	250500	391460	665
	Ayt Toumert*	NH-29-XXIV-2c	31,25	31,50	-6,25	-6,50	395300	472200	419100	472000	419210	499690	395600	499890	656
Qalaa't Mgouna	Khmis Dades*	NH-29-XXIV-2d	31,25	31,50	-6,00	-6,25	419100	472000	442840	471930	443120	499680	419210	499690	660
	Qalaa't Mgouna	NH-29-XXIV-2b	31,00	31,25	-6,00	-6,25	419000	444550	442720	444200	442840	471930	419100	472000	655
	Sidi Flah*	NH-29-XXIV-2a	31,00	31,25	-6,25	-6,50	395050	444650	419000	444550	419100	472000	395300	472200	657
	Boumalne*	NI-30-XIX-1c	31,25	31,50	-5,75	-6,00	442840	471930	466660	471820	466790	499500	443120	499680	658
Boumalne	Ikniwn	NI-30-XIX-1b	31,00	31,25	-5,50	-5,75	466550	444120	490440	444070	490470	471780	466660	471820	661
	Imter*	NI-30-XIX-1d	31,25	31,50	-5,50	-5,75	466660	471820	490470	471780	490520	499460	466790	499500	658
	Tiwtit	NI-30-XIX-1a	31,00	31,25	-5,75	-6,00	442720	444200	466550	444120	466660	471820	442840	471930	660

* la feuille topographique de carte n'est pas disponible

(x3,y3)

(x4,y4)

coordonées:
(Maroc-Sud)

(x1,y1)

(x2,y2)

Tableau 1.1: Tableau indiquant les limites des cartes ainsi que d'autres informations

2 MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

2.1 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

La cartographie géochimique régionale a consisté en des prélèvements de stream-sédiments dans les lits vifs des cours d'eau à une densité d'un échantillon par kilomètre carré. Généralement seuls les affluents de second et troisième ordre ont été échantillonnés. Les prélèvements alluvionnaires ont été effectués sur 10% des sites du stream-sédiment. Ces directives sont spécifiées par le maître d'œuvre dans le Marché N° 8/97-98.

La stratégie d'échantillonnage globale a été définie suite à une étude d'orientation réalisée dans cette région de la chaîne de l'Anti-Atlas par le BGS en novembre 1998. Les résultats et les conclusions de cette étude d'orientation ont déjà été présentés par le BGS (1999). Ce rapport d'orientation comprenait également des exemples de cartographies géochimiques réalisées dans d'autres régions semi-arides du monde. Ces zones climatiques ont beaucoup moins fait l'objet d'études d'explorations géochimiques que les régions tempérées, qui sont bien mieux documentées.

Ce projet, est le premier programme de cartographie géochimique régionale systématique à être réalisé au Maroc. D'autres études géochimiques dans cette région de la chaîne de l'Anti-Atlas ont déjà eu lieu, comme les travaux PNUD/BRPM (1973), mais sur des zones plus restreintes et dans un objectif purement minier. La finalité du présent travail, réalisé dans le cadre du Plan National de Cartographie Géologique (PNCG), est l'intégration de ces deux régions dans une base de données géochimiques nationale et leur utilisation avec d'autres paramètres géoscientifiques régionaux. D'où la nécessité d'un bon contrôle de qualité qui permettra aux résultats d'être aisément intégrés dans les futures études géochimiques; Il s'agit donc d'une considération majeure dans la définition de la stratégie d'échantillonnage et des procédés d'analyse.

Le principal objectif du test d'orientation est la détermination de la fraction granulométrique du stream-sédiment devant être prélevée et analysée. Elle doit permettre de donner pour chaque élément le meilleur contraste entre le fond géochimique et les anomalies (principalement les anomalies associées aux minéralisations métallifères). Durant l'étude d'orientation deux importants facteurs, déterminants en régions semi-arides, ont été pris en considération. Le premier étant que les cours d'eau sont secs pratiquement toute l'année, et de ce fait, la dispersion mécanique des éléments est plus importante que la dispersion hydromorphe. Le deuxième étant que du matériel éolien très fin, provenant de bassine de drainage différente, peut contaminer le stream-sédiment.

La principale recommandation du test d'orientation est que la fraction granulométrique -250μ est la plus appropriée aux objectifs de cette étude géochimique régionale. Les conclusions du rapport d'orientation (BGS, 1999) sont résumées ci-dessous:

1. Les méthodes et techniques utilisées dans le cadre de la cartographie géochimique régionale au Royaume Uni (G-BASE) et dans d'autres régions du monde (p.ex. Sumatra, Indonésie) peuvent être adoptées pour cette

zone de la chaîne de l'Anti-Atlas. Du point de vu logistique, l'échantillonnage pourra être réalisé par un ensemble de 5 à 10 équipes composées chacune par deux personnes. Les équipes seront basées dans un camp de base central et se déplaceront principalement par véhicules tout-terrains.

2. L'échantillonnage dans cette région devra être effectué entre mars et septembre, en évitant de préférence les mois très chauds de juillet et août. Durant la période comprise entre octobre et février, il y a un risque important d'interruption du programme d'échantillonnage par la pluie, les jours sont plus courts et les températures nocturnes peuvent avoisiner le zéro degrés.
3. Il est recommandé d'utiliser la fraction granulométrique -250μ du stream-sédiment pour l'analyse chimique. Il y a évidence de dilution éolienne dans la fraction granulométrique -63μ . L'utilisation globale de la fraction granulométrique grossière -250μ diminue la proportion des fines dans le poids total de l'échantillon. En outre, si des travaux futurs nécessitent l'utilisation de la fraction fine, celle-ci pourra être extraite du matériel des échantillons doubles. Il va de soit que cette opération n'est réalisable que si la fraction fine est initialement prélevée.
4. Beaucoup de travaux d'exploration antérieurs dans cette région avaient utilisé une densité de prélèvements supérieure à un échantillon par kilomètre carré. La dispersion mécanique des éléments, beaucoup plus que la dispersion hydromorphe, nécessite une grande densité d'échantillonnage car elle ne se produit que sur de faibles distances. Toutefois, divers exemples dans les textes de référence semblent indiquer que l'analyse de la fraction granulométrique -250μ prélevée à une densité d'un échantillon par kilomètre carré permet de détecter des anomalies en terrain semi-aride.
5. Dans plusieurs échantillons d'orientation, seule une faible quantité de matériel fin (-150μ) a pu être prélevée. L'utilisation de la fraction -250μ permet d'avoir des échantillons à granulométrique consistante et pouvant être prélevés sur l'ensemble de la zone.

2.2 ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été réalisé entre mars et août 1999. Une description détaillée de la procédure d'échantillonnage est donnée en Annexe A et se résume comme suit:

Les sites d'échantillonnage sont pré-positionnés par les chefs d'équipes sur les cartes topographiques au 1/50 000 existantes ou sur les cartes topographiques au 1/100 000 quand les cartes au 1/50 000 ne sont pas encore disponibles. A chaque équipe d'échantillonnage (habituellement composé de deux géologues diplômés) est assignée une zone d'où doivent être prélevés 8 à 12 échantillons par jour. Les groupes d'échantillonneurs sont transportés, par véhicules tout terrain, jusqu'à des lieux

précis dans leur zone d'échantillonnage, tôt le matin et repris en fin de journée.

Chaque équipe d'échantillonnage (binôme) dispose d'une carte topographique, d'une boussole et d'un GPS pour leur orientation jusqu'au site de prélèvement. Afin d'éviter toute source de pollution, tels que les villages ou les pistes, les échantillonneurs sont autorisés à repositionner les sites de prélèvement. Les sites de prélèvements sont marqués par un symbole à la peinture. Les systèmes GPS, de type Garmin XL12, sont programmés pour positionner les sites en utilisant le réseau de coordonnées métriques Maroc Sud, indiqué sur toutes les cartes topographiques de cette région. La précision du GPS est estimée à plus ou moins 30 mètres. Chaque équipe doit reporter avec précision le site d'échantillonnage sur la carte topographique. Chaque site de prélèvement est numéroté selon une liste préétablie de numéros (numérotation séquentielle), et une fiche de terrain lui est assignée. Un exemple de fiche de terrain utilisée dans cette étude est présenté dans la Figure 2.1.

Chaque échantillon est composé de cinq prélèvements récoltés sur une distance de 25 m le long du lit vif du cours d'eau. La couche superficielle est éliminée sur 2 à 5 centimètres pour éviter toute contamination éolienne. Les sédiments secs sont tamisés en premier lieu à travers un Nylon d'une maille de 2 mm, puis à travers un Nylon d'une maille de -250μ . Approximativement 250 à 300 grammes de sédiments sont prélevés de chaque site. La fraction homogénéisée -250μ est divisée en deux échantillons (A et B) — un échantillon étant destiné au laboratoire du BGS pour analyse chimique, et un second étant destiné à être conservé par la Direction de la Géologie. Chaque échantillon est mis dans un sac en plastique de 12 cm x 20 cm avec une étiquette indiquant le numéro du site et l'identité de l'échantillonneur. Les étiquettes sont rédigées avec des marqueurs à encre indélébile noire.

Sur 10% des sites, 10 kg de matériel à fraction granulométrique — 2 mm sont prélevés pour être panés au camp de base. Les sites de prélèvements alluvionnaires sont choisis dans les cours d'eau les plus dynamiques.

Pour chaque lot de 100 prélèvements, un site est échantillonné en double. Cet échantillon double de terrain (duplicata) est prélevé sur le même tronçon de 25 m dans le lit vif du cours d'eau et en cinq prises légèrement décalées



Photographie 2.1: Prélèvement d'un échantillon stream-sédiment

		GPS	
Nom de la carte (1:50 000)	Numero de la carte (1:50 000)	Date	
Preleveurs d'échantillon	Code d'area:	Numero d'emplacement:	Numero de double:
Code de type d'échantillon	Latitude	Longitude	Est-X Nord-Y
Temps:	Ordre fluvial:	Dimension du cours d'eau:	Regime du cours d'eau:
Code de contamination:	Code d'usage de terre:	Code des minéraux:	
Types des roches			
Notes:			

Figure 2.1: Exemple de fiche de terrain utilisée au cours des prélèvements stream-sédiment

par rapport à celles de l'échantillon original. A cet échantillon double est assigné un numéro différent, et de ce fait, devient un échantillon de contrôle indécélable.

Dès le retour au camp, les chefs d'équipe vérifient les positions des sites enregistrées dans la mémoire GPS par rapport à leurs situations initiales sur la carte topographique. Dans le cas où les coordonnées GPS et les coordonnées de la carte sont différentes, les secondes sont retenues, car considérées plus précises. Les deux coordonnées sont notées sur les fiches de terrain, mais seules celles de la carte sont enregistrées dans la base de données de terrain.

Chaque équipe dispose d'un micro-ordinateur où sont enregistrées quotidiennement les données des fiches de terrain. De ce fait, toute erreur ou divergence peut être décelée et corrigée immédiatement. Les données sont saisies sous ACCESS, en utilisant un modèle similaire à celui de Figure 2.2. Cette base de données est désignée au sein de ce rapport par: base de données de terrain.

Les chefs d'équipe dressent également une carte de référence ("master plots") de localisation des échantillons prélevés pour chaque feuille topographique. Les échantillons sont collationnés et vérifiés par lots de cent en utilisant



Photographie 2.2: Prélèvement d'un échantillon de concentré de batée

STREAM SEDIMENTS : INFORMATION DE TERRAIN

Nom de la carte (1:50 000): Tikiit Date: 03/03/99 GPS: 10

Préleveur (CCJ B: DMF) Code d'area: L1 Numéro de emplacement: 345

Code de type d'échantillon: C Echantillon double:

Latitude: N 30.89782 Longitude: W 7.23657 Est (x): 34567 Nord (y): 87654

Temps: 1 Ordre fluvial: 1 Dimension: 1 Régime du cours d'eau: 1

Contamination: Code de contam.: AB Code d'usage de terre: 3 Code des minéraux: gal chal

Types des roches: GRES, CALCAIRES

Notes: filons de calcite. Qlqs morceaux de verre

VERSION 2.1 26 février 1999

Figure 2.2: Exemple de forme de saisi ACCESS de la base de données de terrain

un système préétabli de listes de numéros de contrôle aléatoire. La majorité des échantillons sont secs au moment de leur prélèvement. Les rares échantillons humides sont séchés à l'air libre avant d'être enfermés dans les sacs en plastic.

Les échantillons alluvionnaires sont lavés à la batée dans un point d'eau à proximité du camp de base. Une inspection des minéraux lourds des concentrés est effectuée à la loupe et les observations notées au dos des fiches de terrain.

2.3 PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Le procédé de préparation des échantillons stream-sédiment est le suivant:

1. Les échantillons stream-sédiment arrivent au laboratoire du BGS par lots de 500. Chaque lot est enregistré et désigné par un numéro de laboratoire. Afin d'éviter toute confusion avec d'autres échantillons étiquetés d'une manière similaire et provenant d'autres projets, chacun reçoit un nouveau numéro spécifique qui est listé et référencé par rapport au numéro original.
2. A la réception, les échantillons sont contrôlés avec la liste des numéros jointe à eux. Chaque liste comprend 100 échantillons et chaque lot contiennent 5 listes. Pour chaque 100 échantillons, 2 numéros sont réservés aux échantillons standards (étalons géochimiques) et 2 autres aux futurs échantillons doubles de laboratoire. De ce fait, pour chaque 100 échantillons numérotés, 96 proviennent du Maroc (les doubles et les standards sont insérés au cours de la préparation des échantillons).
3. Les échantillons reçus directement du terrain sont généralement secs, tamisés à -250μ et pèsent au moins 50 g chacun (une grande proportion de chaque échantillon reste au Maroc, au Ministère de l'Énergie et des Mines). Quand occasionnellement des échantillons sont mouillés ou humides, ils sont séchés à $< 40^\circ\text{C}$ ($\pm 3^\circ\text{C}$) durant toute une nuit, puis désagrégés et broyés dans un mortier en agate.
4. Les échantillons sont homogénéisés en les mélangeant (30 secondes maximum) dans les sacs à l'aide d'une spatule en corne. De chaque échantillon est prélevé $13,0 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ de matériel. Le produit est placé dans un

broyeur planétaire à billes en agate de type P5 d'une capacité nominale de 80 ml. Chaque broyeur contient 4 billes de 15 mm. L'excès de poudre restant de chaque échantillon est temporairement stocké dans le sac d'échantillon original.

5. Les échantillons pesés sont broyés pendant 25 minutes à plus de 270 tpm (tours par minute). Du produit broyé est prélevé $8,0 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$ de poudre destinée à la confection de pastilles pressées pour analyse XRF. Le reste de poudre est placé dans des petits sacs en plastic étiquetés (90 mm x 125 mm) prêt à être utilisé dans des analyses autres que XRF.
6. Les pastilles de 32 mm de diamètre destinées au XRF sont confectionnées par ajout de $2,0 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$ de paraffine à la poudre et broyées avec des billes en agate pendant 3 minutes à 200 tpm. Le produit obtenu est pressé pendant quatre secondes à une pression de 25 tonnes, dans des étuis calibrés de 32 mm de diamètre, à l'aide d'une presse de type Herzog HTP40.
7. Les pastilles étiquetées avec un code spécifique sont placées dans du papier de soie à l'intérieur de boites métalliques propres, puis expédiées au ED-XRF pour analyse. Pour chaque livraison de pastilles, un accusé de réception signé par l'un des membres du laboratoire XRF est délivré.
8. L'équipe s'occupant de la préparation des échantillons insère dans chaque lot de 500 des échantillons secondaires de référence standard du Maroc, 4 "bas" (MB1) et 4 "élevés" (MB3). Ces numéros sont assignés en accord avec la liste dressée auparavant par le responsable de la préparation des échantillons. Les deux emplacements vacants dans chaque lot de 500 sont réservés au laboratoire afin d'y insérer des échantillons étalons standards internationaux (GSS-5 et GSS-7). Ces derniers sont choisis pour contrôler les éléments non couverts par les standards MB1 et MB3 (échantillons contenant un peu d'Ag, Mo, Sn et W).



Photographie 2.3: Laboratoire BGS de préparation des échantillons



Photographie 2.4: Appareil Spectro X-lab ED(p) — XRF des laboratoires du BGS

Le laboratoire de préparation des échantillons produit également un échantillon d'analyse réplique de chaque échantillon double de terrain (duplicata). Des numéros spéciaux leurs sont réservés. Ces répliques sont produites par le mélange et l'éclatement en deux des échantillons duplicatas de terrain.

Les concentrés de batée reçus au laboratoire sont scindés en deux échantillons par un séparateur, un pour l'analyse chimique et l'autre pour une éventuelle étude minéralogique. La portion destinée à l'analyse chimique est broyée d'une manière similaire à celle des échantillons stream-sédiments décrite plus haut, afin de produire une poudre <math><50 \mu</math>. Celle-ci est divisée à nouveau afin de produire un échantillon de 5,0 g placé dans un sac en plastique et destiné au dosage de l'Au et du Hg. La poudre restante, minimum de 6,0 g, est utilisée pour la confection de pastilles pour analyse par XFR. Dans le cas d'une quantité insuffisante de poudre (c.-à-d. <math><17,0 \text{ g}</math>) la priorité est donnée à l'analyse de l'Au et Hg plutôt qu'à l'analyse XFR.

2.4 ANALYSES CHIMIQUES

2.4.1 XRF

Les échantillons stream-sédiment et les concentrés de batée sont analysés par un spectromètre de fluorescence aux rayons X (XRF) de type Spectro X-LAB 2000 (voir photographie 2.4). Cet appareil utilise l'énergie dispersive fluorescente des rayons X (ED XRF) et permet de doser un grand nombre d'éléments. Les éléments déterminés dans le cadre de ce contrat sont énumérés dans la Figure 2.3. A l'exception du Be, Li, Hg, et Au, tous les autres éléments sont déterminés par XRF.

Tableau 2.1: Liste des numéros réservés aux échantillons de contrôle

LOT 1	DupA	RepA	DupB	RepB	Standard
List 1	**34	**99	**56	**31	**04 **24
List 2	**02	**67	**38	**10	**25 **58

LOT 2	DupA	RepA	DupB	RepB	Standard
Liste A	** 38	**03	**23	**33	**32 **90
Liste B	**01	**83	**77	**76	**20 **63

2.4.2 Analyses autres que XRF

Tous les échantillons stream-sédiment sont analysés pour Be et Li, et les concentrés de batée pour Au et Hg au laboratoire Bondar Clegg Canada Ltd. de Vancouver. Le béryllium et le lithium sont déterminés par spectromètre d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES). La préparation de l'échantillon consiste en la mise en solution de 1,0 g de poudre de fraction -250μ dans un mélange de HF, HNO₃, HClO₄ et HCl.

L'Au est déterminé sur un échantillon de 30 g par grillage en utilisant une litharge standard de fusion coupellation. Le produit obtenu est mis en solution par l'eau régale puis analysé par spectromètre d'absorption atomique. Le Hg est analysé par la mise en solution de 1,0 g de produit dans l'eau régale, puis par dosage par spectromètre d'absorption atomique des vapeurs froides dégagées.

Il est à noter qu'en raison de la méthode d'analyse utilisée, XRF, d'autres éléments chimiques que les 28 discutés ici sont déterminés. Les résultats bruts d'analyse de ces éléments additionnels (dont Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Sc, Ga, Ge, Ce, Se, Rb, Cs, La, Nd et Hf) sont inclus dans les CD-ROM des bases de données numériques (Direction de la Géologie, 2001a, b).

2.5 PROCÉDURES DE CONTRÔLE DES ERREURS

Le contrôle de qualité des résultats d'analyse est une composante importante du projet. Ce contrôle est réalisé par l'insertion par les chimistes d'échantillons standards durant chaque session d'analyse, et par l'insertion, de façon aléatoire, par les géochimistes d'échantillons de contrôle non connus par les chimistes. Le ED XRF est calibré en utilisant plusieurs échantillons de références internationales (étalons géochimiques) tel que stipulé dans le rapport d'orientation (Annexe F du BGS, 1999). Les échantillons de contrôle utilisés par les géochimistes sont les doubles de terrain (duplicatas), les répliques de laboratoire, les standards internes (locaux) et les standards internationaux.

2.5.1 Echantillons doubles de terrain (duplicatas)

Ils sont prélevés sur le terrain dans les mêmes sites que les échantillons normaux. Dans le Lot 1, les listes de nombres aléatoires 1 et 2 sont utilisées et dans le Lot 2 les listes A et B. La nomenclature réservée aux échantillons de contrôle est donnée dans le Tableau 2.1. Duplicata (DupA) est l'échantillon normal et Duplicata B (DupB) est l'échantillon de contrôle utilisé pour contrôler la variabilité dans ce site. Dans chaque lot de 500 échantillons à analyser, il y a 10 échantillons duplicatas (5 paires de double).

IA										VIII A												
H	IIA																				He	
Li	Be											III A	IV A	V A	VIA	VII A						Ne
Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	— VIII B —			IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl						Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br						Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I						Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At						Rn
Fr	Ra	Ac																				
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	S	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw					

Éléments de Main Transition
 Éléments de Terre Rare
 Éléments d'Actinide

après classification de Chemical Abstract Services

Figure 2.3: Tableau périodique des éléments chimiques indiquant les éléments déterminés dans cette étude. Les éléments déterminés dans les stream-sédiments sont en rouge, ceux des concentrés de batée sont soulignés

2.5.2 Echantillons doubles de laboratoire (répliques)

Ils sont préparés et insérés dans les lots d'échantillons durant la phase de préparation ; le but étant l'évaluation des erreurs de laboratoire. Les numéros réservés aux échantillons répliques sont donnés dans le tableau 2.1. Réplique A (RepA) est une portion de DupA et RépliqueB (RepB) est une portion de DupB. Durant la préparation des répliques, une attention particulière est portée afin de diviser les échantillons de façon très homogène. Dans chaque lot de 500 échantillons à analyser, il y a 10 échantillons répliques.

2.5.3 Matériel standard de référence (SRM)

Ils sont insérés dans les lots à la fin de l'opération de préparation des échantillons et avant l'envoi pour analyse. Les numéros réservés à ces standards sont donnés dans le Tableau 2.1. Ces numéros, ainsi que la nature du matériel standard, ne sont pas connus des analystes (chimistes). Les SRM peuvent être identifiés dans la base de données de terrain par la dénomination "échantillon type" de terrain.

Cinq différents échantillons standards (SRM) couvrant l'ensemble des éléments à déterminer sont utilisés. Il s'agit de MB1 et MB3, échantillons stream-sédiments du Maroc prélevés au cours du test d'orientation dans la région de Ouarzazate (BGS, 1999); GSS-5 et GSS-7, SRM d'origine chinoise; et CANMET LAKE-SED 2 (LKSD-2) spécialement utilisé pour le contrôle du Be et du Li. Les valeurs tolérées pour ces SRM sont données en Annexe B. Dans chaque lot à analyser de 500 échantillons il y a 10 SRM.

2.5.4 Contrôle interprétatif des échantillons

L'analyse des variations (ANOVA) pour contrôle des échantillons est réalisée grâce au logiciel statistique SAS. Les résultats de cette analyse statistique sont donnés dans le Tableau 2.2. Les tests ANOVA permettent de voir s'il y a plus de variations des teneurs d'un élément donné dans différents sites ou dans le même site (montré par les échantillons doubles de terrain — duplicatas) ou entre les

échantillons répliques (montrant la variabilité d'analyse). Pour que l'échantillonnage régional et les méthodes d'analyse soient considérés comme valides, la plus part des variations doivent être attribuées à la variabilité entre les sites de prélèvement.

Les analyses ANOVA obtenues confirment que le procédé d'échantillonnage, ainsi que la méthodologie d'analyse, sont très bons. La seule exception est le cobalt qui montre une variation élevée. Ceci est dû à l'interférence engendrée par la quantité élevée de fer dans les échantillons. Le pic spectral du fer utilisé dans les analyses ED-XRF interfère avec le pic spectral du cobalt. Toutefois, cette précision des analyses du cobalt est acceptable pour une prospection géochimique, car le contraste entre le fond et les anomalies est élevé. Comme prévu, les éléments dont les teneurs sont à la limite ou en dessous du seuil de détection (Ag, Bi, Cd, Te, Th, U, W) montrent beaucoup de variations entre les échantillons répliques.

Pour l'ensemble des éléments, il n'y a qu'une très faible variation entre les teneurs des échantillons doubles de terrain (duplicatas), confirmant de ce fait le bon choix de la fraction granulométrique à analyser et de la méthode d'échantillonnage.

Les résultats d'analyse du matériel standard de référence sont reportés sur un graphique de contrôle (Shewhart) dont un exemple est donné dans la Figure 2.4. Un graphique est tracé pour chaque élément et pour chaque échantillon de référence. Vu leur nombre très élevé, ils ne sont pas inclus dans ce rapport. Ils sont disponibles sous format digital (MS Word 97) dans le CD-ROM (Direction de la Géologie, 2001 a, b). Ces graphiques sont utilisés pour déterminer et visualiser le contrôle de qualité. Quand le résultat est en dehors de la moyenne avec \pm trois déviations standards, le lot est rejeté. Ces graphiques sont également utilisés pour déceler toute erreur réalisée au cours de la période d'analyse. Le seul élément montrant une dérivation significative est le molybdène, où une augmentation de 1,5 $\mu\text{g/g}$ est notée

Elements	Variations (%)			
	Sites	Duplicatas	Répliques	Total
Ag	2.7193	0.0000	97.2807	100
As	99.5744	0.2556	0.1700	100
Ba	99.5641	0.2944	0.1415	100
Be	95.6789	0.0000	4.3211	100
Bi	95.4449	0.0000	4.5551	100
Cd	13.8361	0.0000	86.1639	100
Co	68.6439	0.0000	31.3561	100
Cr	99.0051	0.2933	0.7016	100
Cu	99.0679	0.0921	0.8399	100
Fe ₂ O ₃	98.9610	0.9041	0.1349	100
Li	98.3441	0.0000	1.6559	100
MnO	99.0357	0.8001	0.1642	100
Mo	79.3723	11.9387	8.6890	100
Nb	99.5499	0.4251	0.0250	100
Ni	93.1000	0.0000	6.9000	100
Pb	97.6080	2.1987	0.1934	100
Sb	90.2153	2.3122	7.4725	100
Sn	94.0362	0.2867	5.6771	100
Sr	99.8779	0.0774	0.0447	100
Te	0.0000	0.0000	100	100
Th	92.8791	0.0000	7.1209	100
TiO ₂	98.3582	1.4452	0.1965	100
U	71.1965	0.1202	28.6833	100
V	99.0381	0.3177	0.6442	100
W	88.0914	8.8383	3.0702	100
Y	96.9617	1.8054	1.2330	100
Zn	99.4340	0.4571	0.1089	100
Zr	98.7967	1.0113	0.1920	100

(i) Lot 1

Elements	Variations (%)			
	Sites	Duplicatas	Répliques	Total
Ag	2.7193	0.0000	97.2807	100
As	99.5744	0.2556	0.1700	100
Ba	99.5641	0.2944	0.1415	100
Be	95.6789	0.0000	4.3211	100
Bi	95.4449	0.0000	4.5551	100
Cd	13.8361	0.0000	86.1639	100
Co	68.6439	0.0000	31.3561	100
Cr	99.0051	0.2933	0.7016	100
Cu	99.0679	0.0921	0.8399	100
Fe ₂ O ₃	98.9610	0.9041	0.1349	100
Li	98.3441	0.0000	1.6559	100
MnO	99.0357	0.8001	0.1642	100
Mo	79.3723	11.9387	8.6890	100
Nb	99.5499	0.4251	0.0250	100
Ni	93.1000	0.0000	6.9000	100
Pb	97.6080	2.1987	0.1934	100
Sb	90.2153	2.3122	7.4725	100
Sn	94.0362	0.2867	5.6771	100
Sr	99.8779	0.0774	0.0447	100
Te	0.0000	0.0000	100	100
Th	92.8791	0.0000	7.1209	100
TiO ₂	98.3582	1.4452	0.1965	100
U	71.1965	0.1202	28.6833	100
V	99.0381	0.3177	0.6442	100
W	88.0914	8.8383	3.0702	100
Y	96.9617	1.8054	1.2330	100
Zn	99.4340	0.4571	0.1089	100
Zr	98.7967	1.0113	0.1920	100

(ii) Lot 2

Tableau 2.2: Analyses ANOVA des échantillons de contrôle du Lot 1 (i) et Lot 2 (ii)

entre le début (mai 1999) et la fin des analyses (mai 2000). Mais d'une façon globale, il n'y a pas eu de dérivation significative au cours des analyses des échantillons.

Les analyses des échantillons doubles (duplicatas) et des répliques sont également reportées sur graphique X-Y, tel que montré par la Figure 2.5 (pour Cu et Ni). Ces graphiques sont disponibles en format digital sur CD-ROM (Direction de la Géologie, 2001 a, b) et sous forme de fichier MS Excel 97.

2.6 BASES DE DONNÉES

2.6.1 Base de données de terrain

Celle-ci est saisie quotidiennement durant la période d'échantillonnage. Elle est contrôlée et validée à la fin du travail. La grille de coordonnées de cette base de données est tracée et comparée avec la carte de référence ("master plot") de localisation des échantillons, et toute inexactitude est corrigée. La structure du tableau ACCESS de cette base de données de terrain est résumée en Annexe C (Tableau C.1).

2.6.2 Bases de données des analyses

Les résultats des analyses sont reçus des laboratoires BGS et Bondar Clegg sous forme de fichiers numériques. Ces fichiers originaux sont fournis dans le CD-ROM des données (Direction de la Géologie, 2001 a, b). Les données originales sont reformatées, les éléments non requis par ce contrat sont éliminés et les valeurs au-dessous (ou au-dessus) des limites de détection sont remplacées. Les résultats enregistrés comme inférieurs au seuil de détection (indiqué par "<" par le laboratoire BGS et par "-" par Bondar Clegg) sont remplacés par une valeur équivalente aux deux tiers de la limite inférieure de détection. Les valeurs enregistrées comme supérieures (indiquées par ">") sont remplacées par une valeur qui correspond à la limite supérieure de détection.

Les données d'analyse sont stockées sous forme de quatre tableaux dans la base de données ACCESS: les résultats ED XRF du stream-sédiment (XRFdata/données XRF); les résultats EDXRF des fonds de batée (XRFpans/XRF batées); les résultats du béryllium et lithium dans les stream-sédiments (BeLidata/données Be et Li) et les résultats de l'or et du mercure dans les concentrés de fond de batée (AuHgpan/Au,Hg batées). La structure de ces tableaux de données est présentée en Annexe C (Tableaux C.2 et C.5). Les tableaux sont accessibles dans la base de données ACCESS par un numéro de site (clef) et les résultats peuvent être transférés vers EXCEL pour l'analyse statistique et le traçage de carte.

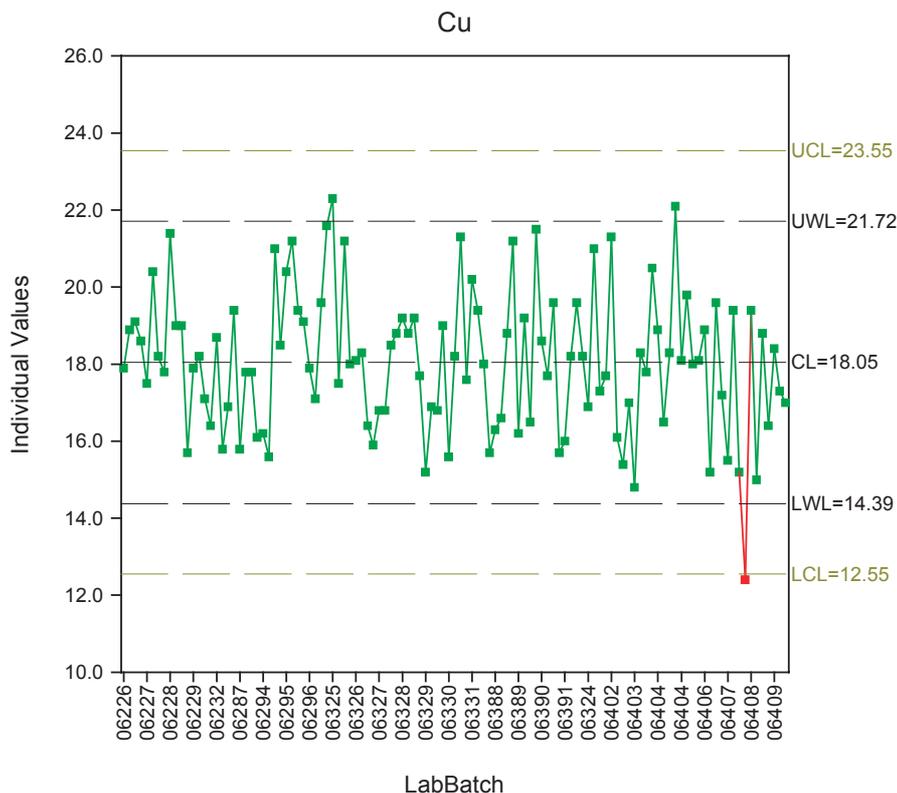
Les principales bases de données des Lots 1 et 2 sont utilisées pour créer les fichiers numériques des cinq cartes de la région d'étude. Chaque carte a une base de données analytique et une base de données de terrain qui sont présentées sous forme numérique dans le CD-ROM (Direction de la Géologie, 2001 c, d, e, f, g).

2.7 TRAVAUX D'INTERPRÉTATION ET ÉLABORATION DES CARTES GÉOCHIMIQUES

Les analyses chimiques, avec les numéros des sites de prélèvement et les coordonnées de leurs positions (Maroc Sud), sont transférées de MS ACCESS à MS EXCEL 97 en utilisant les options (type requête) servant à extraire les paramètres à partir de la base de données de chaque carte

Process Statistics	
Total :	115
Rows	All
Std Dev	1.83
CpM:	N/A
CpK	N/A
Est % out SL (Cap)	N/A
Act % out SL	N/A
Dist :	Normal
X-Bar	18.05
Est Sigma	1.83
Sigma Type	Est
MR-Bar:	2.04

Chart Point	
Label :	
X:	
X UCL	
X CL	
X LCL	
MR:	



Process Statistics	
Total :	115
Rows	All
Cell Width	1.00
Std Dev	1.83
Range	9.9
Skewness	0.065
Kurtosis	-0.007
PP:	N/A
PR:	N/A
PpM:	N/A
PpK	N/A
PpU	N/A
PpL:	N/A
Z-upper (Perf)	N/A
Z-lower (Perf)	N/A
Est % out SL (Perf)	N/A
Act % out SL	N/A
Dist :	Normal
Fit Test	S-Wilk
Fit	0.979
p-value	0.4539

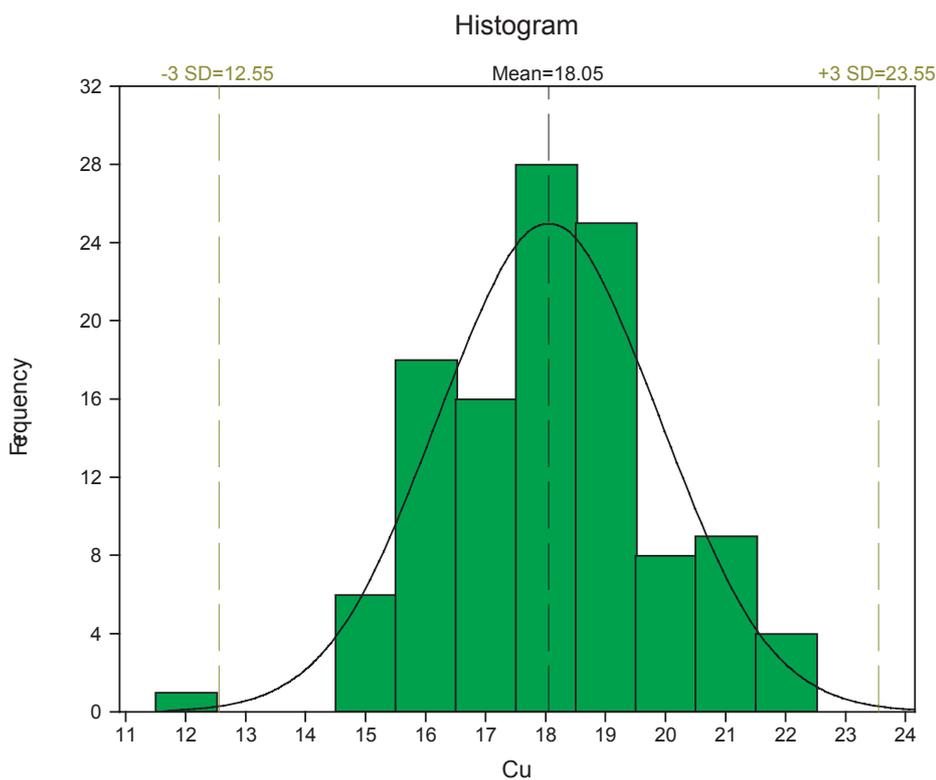


Figure 2.4 : Exemple de graphique de contrôle (graphique Shewhart) du Cu des échantillons de référence standards MB1 (Tracé grâce au logiciel d'analyse QA)

topographique. Un exemple de schéma d'options est donné en la Figure 2.6.

Les modules statistiques MS EXCEL sont utilisés afin de produire des graphiques descriptifs pour chaque élément, y compris les histogrammes. Les analyses multivariantes (analyses de corrélation et facteurs d'analyse) sont réalisées grâce aux logiciels UNISTAT.

Les cartes du réseau hydrographique au 1/100 000 sont scannées et utilisées comme fond pour toutes les applications. Le traçage des cartes est réalisé grâce au logiciel MapInfo. Dans le but d'utiliser la grille des coordonnées Lambert Maroc Sud, un fichier complémentaire de "projection" a dû être rajouté au répertoire MapInfo (voir Tableau 2.3).

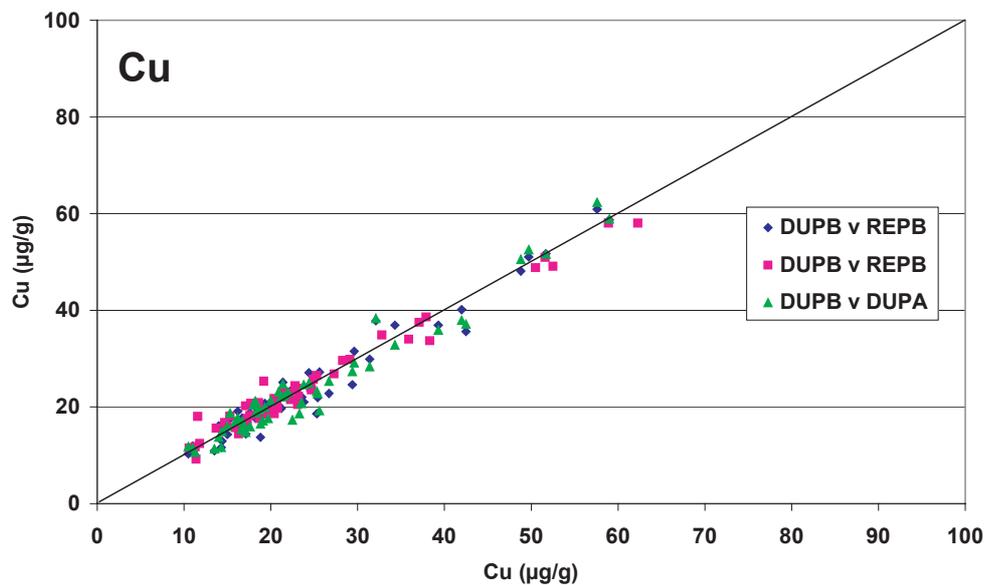
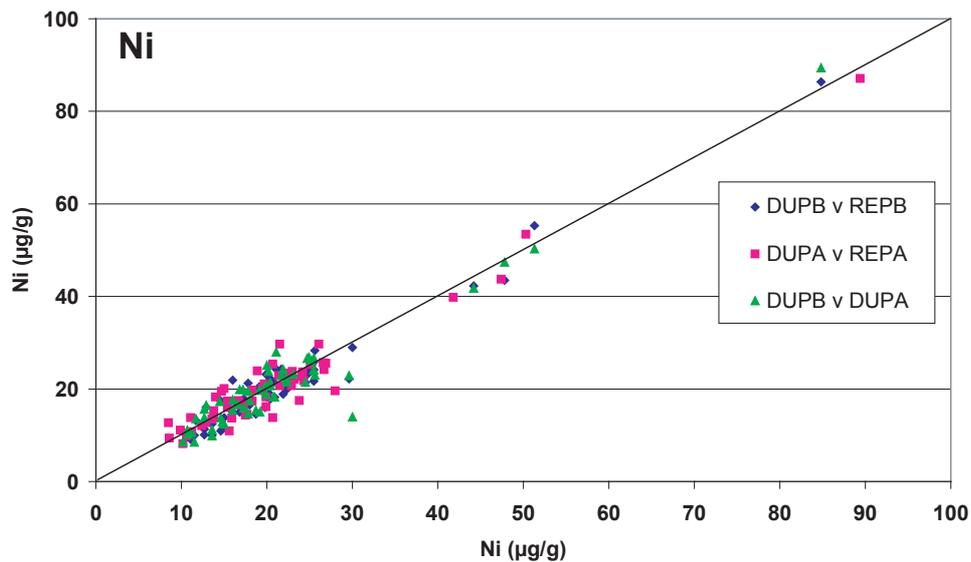


Figure 2.5: Exemple de graphique X-Y des échantillons doubles (duplicatas) et répliques

Les fichiers MapInfo sont transférés à la section cartographie du BGS pour la production de cartes de qualité supérieure. Cette section emploie le logiciel Bentley Microstation et un traceur Hewlett Packard DJ2000. Les produits finaux de ce projet, ainsi que les méthodes

utilisées pour leur obtention, sont présentés avec plus de détails dans la Section 3.

Les images quadrillées de l'atlas géochimique sont produites sous forme ARC-INFO par utilisation du programme G-MAP du BGS fonctionnant sous UNIX.

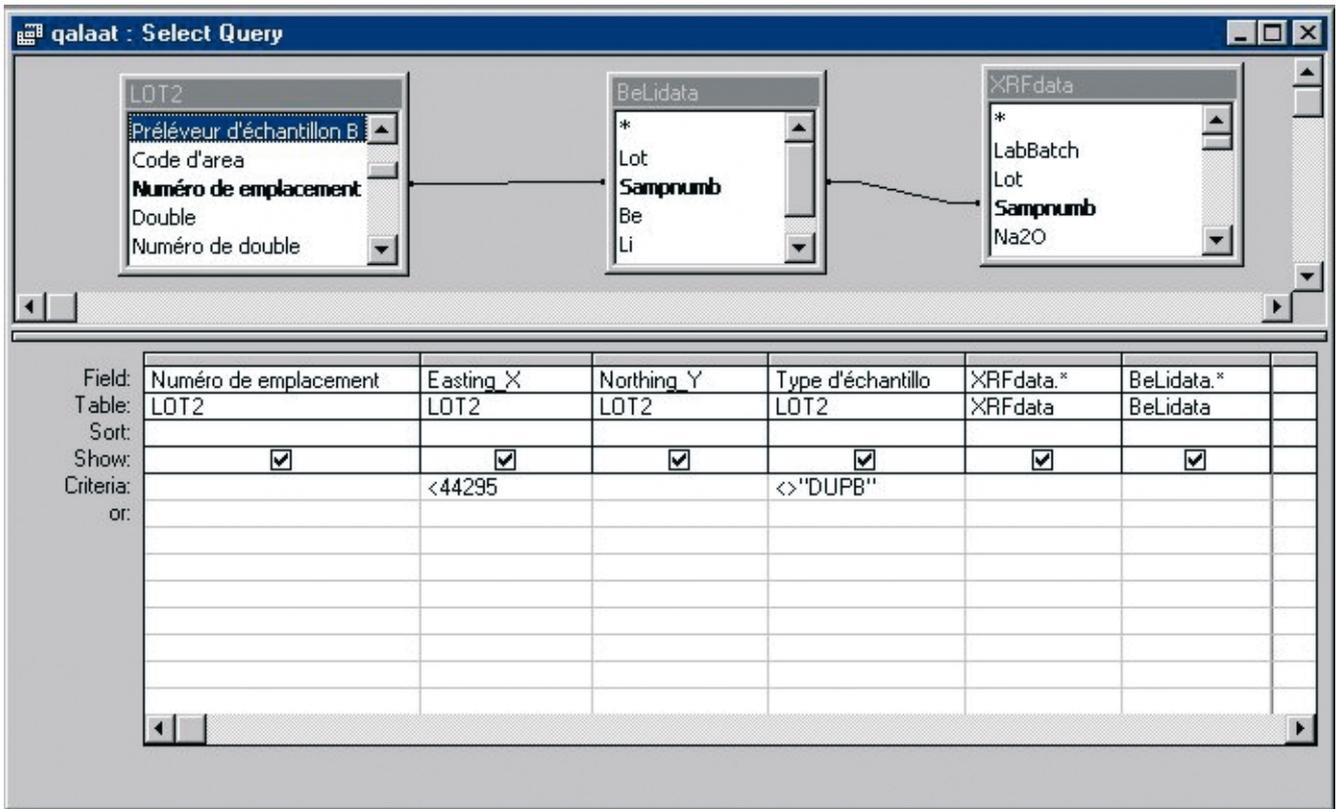


Figure 2.6: Exemple des options MS ACCESS permettant de lister les données de la carte de Qalaa't Mgouna à partir de la base de données du Lot 2

"---- Lambert Maroc (BGS for Morocco Project)----"	
"Zone I (Nord Maroc)",	3, 55, 7, -5.4, 33.3, 31.72786641202, 34.8717272112, 500000, 300000
"Zone II (Sud Maroc)",	3, 55, 7, -5.4, 29.7, 28.1063294800, 31.2932791054, 500000, 300000
"Zone III (La'youn)",	3, 55, 7, -5.4, 26.1, 24.5075340813, 27.6921073632, 1200000, 400000
"Zone IV (Ad-Dakhla)",	3, 55, 7, -5.4, 22.5, 20.9075742561, 24.0921050540, 1500000, 400000

Tableau 2.3: Fichier prj. Lambert Maroc rajouté au répertoire MapInfo permettant l'utilisation de la projection Lambert Maroc Sud

3 DOCUMENTS PRODUITS

3.1 CARTES GÉOCHIMIQUES MONO-ÉLÉMENTAIRES AU 1/100 000

Les principaux documents produits par cette étude régionale sont des cartes géochimiques mono-élémentaires au 1/100 000 pour chacune des cinq feuilles (Boumalne, Qalaa't Mgouna, Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul — Direction de la Géologie, 2000a, b, c, d, e). Ces cartes sont décrites dans les notices explicatives relatives aux cinq feuilles couvrant la zone d'étude (cf. Section 3.5). Un exemple de ce type de carte géochimique est présenté à échelle réduite dans la Figure 3.1.

Pour chacune des cinq feuilles il y a 28 cartes mono-élémentaires:

Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe₂O₃, Li, MnO, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Te, Th, TiO₂, U, V, W, Y, Zr et Zn.

Dix exemplaires de chaque carte ont été produites pour la Direction de la Géologie, neuf copies sur papier et une copie sur plastic. Chaque carte est disponible sous forme numérique dans les CD-ROM des cinq feuilles (Direction de la Géologie, 2001c, d, e, f, g).

Chaque carte comporte les informations suivantes:

Réseau hydrographique — Il est extrait de la carte topographique au 1/100 000. Il permet d'identifier le bassin de drainage d'où a été prélevé chaque échantillon. Il est à noter que dans la plupart des cas, ce sont les cartes topographiques au 1/50 000 qui ont été utilisées sur le terrain pour la localisation des sites d'échantillonnage, et qu'il y a des divergences entre les cartes au 1/50 000 et au 1/100 000. En particulier, beaucoup d'affluents de premier et de second ordre n'apparaissent pas dans les cartes au 1/100 000. Cette carte du réseau hydrographique est disponible sous forme numérique dans le CD-ROM de chacune des cinq feuilles (Direction de la Géologie, 2001c, d, e, f, g).

Informations topographiques — Certaines informations des cartes topographiques ont été intégrées dans les cartes géochimiques. Il s'agit des routes, des pistes, des villes, des villages et des sommets des montagnes. Ces informations topographiques sont disponibles sous forme de tableaux MapInfo dans le CD-ROM de chacune des cinq feuilles (Direction de la Géologie, 2001c, d, e, f, g).

Géologie simplifiée — Un fond géologique simplifié est intégré dans chaque carte. Ces données sont extraites des rapports géologiques préparés pour ce projet (Benhida K., 2000 & Dembélé D., 2000). Les cartes simplifiées sont tirées de diverses cartes géologiques publiées (p.ex. Saadi (1975) et Choubert & al, (1980)). Cette géologie simplifiée est disponible sous forme de tableaux MapInfo dans le CD-ROM de chacune des cinq feuilles (Direction de la Géologie, 2001c, d, e, f, g). Les polygones géologiques ont été utilisés pour sélectionner les données des différentes lithologies à analyser statistiquement (cf. Annexe E).

Résultats des stream-sédiments — Ces résultats sont présentés sous forme de symboles hexagonaux coloriés de

différentes tailles. Chaque hexagone contient une ligne verticale dont le milieu indique le point exact d'échantillonnage. Les résultats sont groupés en un maximum de 9 classes, le seuil de chaque groupe étant déterminé par les tranches d'intervalles calculées par MS Excel. Les intervalles utilisés sont: 99; 97,5; 95; 90; 80; 70; 50; et 25. Quand un élément ne montre que des résultats restreints, le nombre de classes est réduit. Les dérivations des classes d'intervalles sont discutées dans les notices explicatives.

Résultats des concentrés de batée — Des échantillons de minéraux lourds ont été prélevés d'environ 10% des sites stream-sédiments. Les résultats des éléments sont présentés sur les cartes sous forme d'un numéro situé sur le coté droit d'une croix noire. Il n'y a pas de résultat de concentré de batée pour Li, Be et Te. Les divers résultats des concentrés de batée sont discutés dans les notices explicatives.

Occurrences minérales sélectionnées — La Direction de la Géologie a sélectionné les occurrences minérales les plus importantes de la liste de l'annexe D devant être reportées sur les cartes. Cette liste provient des rapports de Benhida (2000) et de Dembélé (2000). Elle est basée principalement sur les informations disponibles au Ministère de l'Energie et des Mines. La précision de localisation des minéralisations est faible, avec une marge d'erreur qui peut atteindre ± 2 km. Ceci est dû soit à la conversion des coordonnées géographiques en coordonnées métriques (Lambert), soit simplement à des données erronées. Ce genre d'erreur a été confirmé par les contrôles GPS réalisés au cours de la phase d'échantillonnage. De ce fait, il faut utiliser avec précaution cette base de données géologique.

Histogrammes et traitements statistiques simples — Pour chaque élément, et pour chaque carte, il y a un histogramme montrant à la fois la fréquence et la fréquence cumulative des résultats, ainsi que des données statistiques simples. Les paramètres statistiques et les histogrammes sont obtenus grâce à l'utilisation de MS Excel 97. La méthode pour réaliser des histogrammes à partir de MS Excel est présentée dans les notes du séminaire qui a été organisé à Rabat¹.

3.2 CARTES DE POSITION DES ÉCHANTILLONS

Pour chacune des cinq feuilles étudiées, une carte de localisation des échantillons est produite. Pour chaque carte, neuf copies sur papier et une sur plastic sont tracées. Sur chaque carte sont indiqués les positions et les numéros des sites échantillonnés. La marge d'erreur de positionnement est estimée à un maximum de ± 50 m, ce qui correspond sur une carte au 1/100 000 à moins de 0,5 mm, soit l'épaisseur d'un trait de crayon. Les informations suivantes sont également à noter:

¹ Workshop de Cartographie Géochimique Régionale. Rabat, Maroc. Juin 2000

خريطة المغرب الجيوكيميائية
 تالوين
 CARTE GEOCHIMIQUE DU MAROC
 TALIWINE

Réalisée par:
 Chef de projet: C.C. JOHNSON
 Géochimiste: D.M.A. FLIGHT, J.R. LISTER, J. FERRISSAN, M.H. STRUTT, J.E. THIRST
 Laboratoire: M.N. INGHAM, C.J.B. GOWING, M.A. ALLEN, G.N. WIGGANS
 SIG: G.N. WIGGANS
 Cartographe: N.A. SPENCER

British Geological Survey
 NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL

Suivie et contrôlée par:
 M. HMEURRAS, A. LAGHIBDI, M. EDIL, M. MOUNIR

Cuivre (Cu) نحاس

Echelle 1/100 000 مقياس

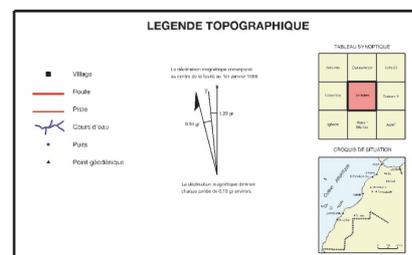
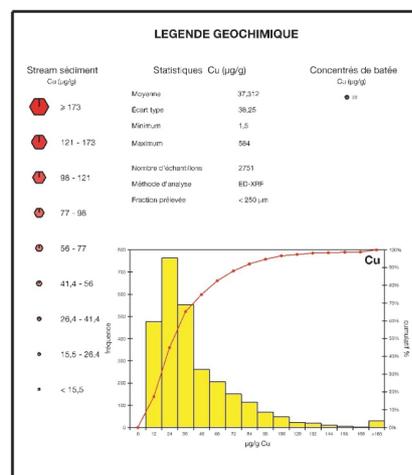
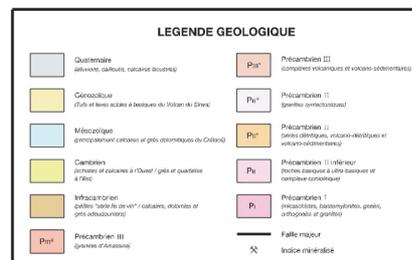
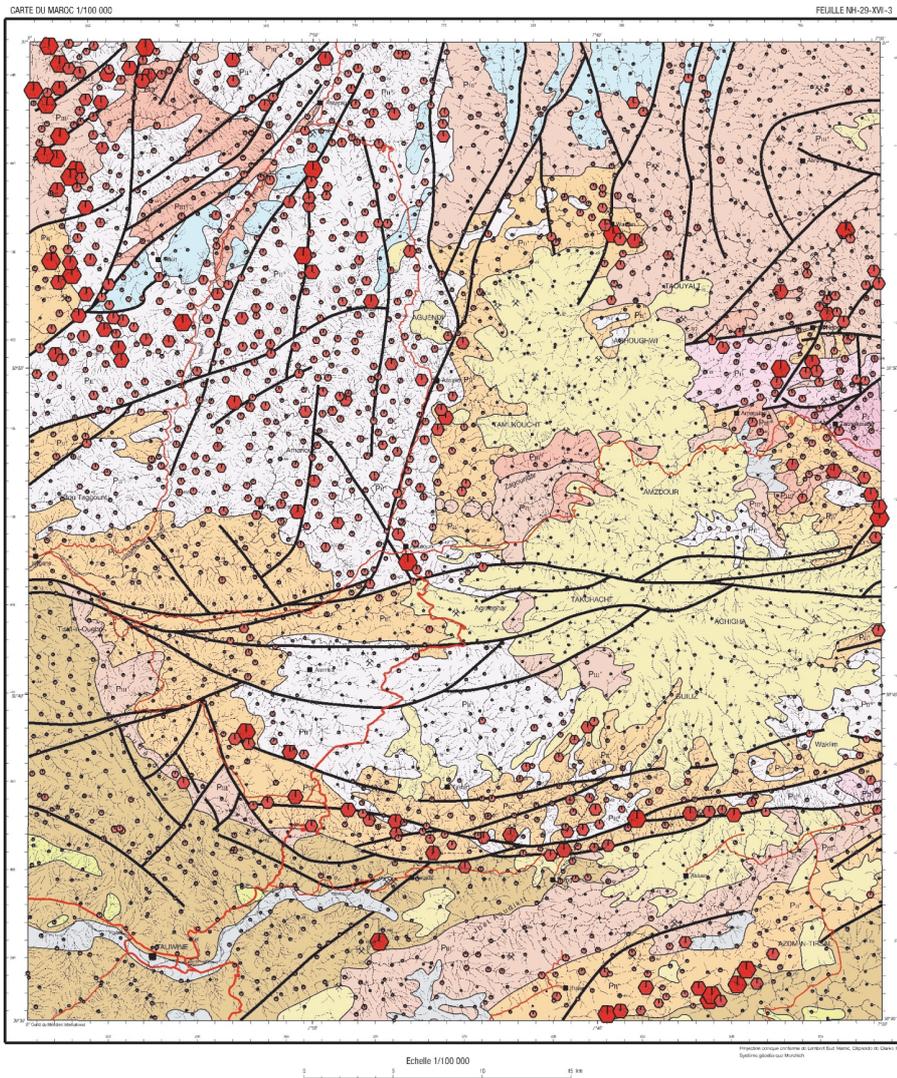


Figure 3.1: Exemple de carte à symboles mono-élémentaire au 1/100 000 (taille réduite)

- Lot 1: les échantillons sont numérotés de 1 à 8798, avec comme préfixe "L1", pour avoir un numéro d'échantillon unique.
- Lot 2: les échantillons sont numérotés de 1 à 5600, avec comme préfixe "L2", pour avoir un numéro d'échantillon unique.
- Les numéros d'échantillons ont été répartis dans le terrain d'une façon aléatoire. De ce fait, ils n'indiquent pas l'ordre de prélèvement.
- En certains endroits, des échantillons doubles ont été prélevés. Leurs numéros ne sont pas indiqués dans les cartes.
- Les informations sur l'emplacement des échantillons proviennent de la base de données de terrain. Elles sont

- disponibles sous forme numérique dans les divers CD-ROM (Direction de la Géologie, 2001 c, d, e, f, g).
- Les cartes originales de terrain (en général au 1/50 000) ont été remises à la Direction de la Géologie.

Dans la légende de chacune des cartes de position des sites, il y a un tableau récapitulatif des statistiques d'échantillonnage de chaque feuille au 1/50 000, ainsi qu'un schéma synoptique des coupures au 1/50 000. Dans le tableau, la superficie totale de chaque carte est calculée, et l'aire pouvant être échantillonnée est estimée. Cette dernière n'inclut pas les routes, les villes, les villages, les lacs, les sommets des montagnes et toute zone ne pouvant être échantillonnée.

3.3 CARTES DE CONTOURS COULEURS

Des séries de cartes de contours en couleur ont été produites au 1/100 000 pour les éléments les plus utiles à l'exploration de minéraux métallifères. Il s'agit de As, Cu, Pb, Sb, Sn, W et Zn. Les autres éléments importants, tels que Ag, Bi, Cd et Te, n'ont pas été traités car un trop grand pourcentage de leurs résultats est à la limite ou inférieur au seuil de détection analytique. Tous les éléments sont présentés sous forme d'images géochimiques quadrillées dans les atlas (cf. Section 3.7).

Plusieurs logiciels différents ont été essayés pour la production des cartes de contour en couleur, incluant Vertical Mapper (généralisé au programme MapInfo) et Arc View. Ces essais ont montré que le programme le plus approprié à ce type de carte est GeoSoft. Les données ont été interpolées selon une grille régulière en utilisant l'algorithme de grignage (RANGRID GX) sous logiciel Geosoft/Oasis Montaj version 5.0. La maille de la grille adoptée est de 250 m, ce qui représente environ le quart du pas d'échantillonnage. Le rayon d'interpolation est de 10 km. Les intervalles des classes de couleurs ont été déduits à partir d'une classification en pourcentages adoptée pour l'élaboration des cartes de l'atlas géochimique. Les contours couleurs

ont été générés en utilisant Earth Vision.

Dans l'objectif de s'assurer que les lignes de contour se continuent dans les bordures des cartes adjacentes, les données de chaque Lot ont été fusionnées et traitées ensemble. De ce fait, les cartes d'un même Lot ont des seuils identiques pour chaque contour d'intervalle.

Il est à souligner que les cartes géochimiques à contours à cette échelle ont une utilité très limitée. Elles transgressent plusieurs critères déterminants requis pour avoir des contours fiables:

- Les données géochimiques, contrairement à ceux de la géophysique, ne sont pas continues dans la surface du sol. Les bassins de drainage ont des superficies limitées, et l'extrapolation ne doit pas se faire à travers des bassins adjacents.
- Les contours peuvent produire des modèles artificiels, particulièrement si les sites ne sont pas tout à fait aléatoires.
- Certaines procédures d'extrapolation, telle que "inflexion minimum", méthode utilisée pour ces cartes, peuvent produire des données négatives là où la distance entre de très faibles et de très forts résultats est faible.

Tableau 3.1: Tableau synthétisant les différents types de minéralisations reportés dans les cartes de synthèse géochimiques.

(Bou – Boumalne; Qal – Qalaa't Mgouna; Taz – Taznakht; Tal – Taliwine; et Aga – Agadir Melloul)

Type de minéralisation	Feuilles	Eléments
Minéralisations d'Ag (de type Zgounder/Imiter)	Tal/Taz/Qal/Bou	Ag-As-Bi ± Sb, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb
Minéralisations liées à des ophiolites	Tal/Taz	Co-Ni-Ag
Minéralisations hydrothermales et épithermales liées aux formations volcaniques PIII	Tal/Taz/Aga/Bou	Sb-As ± Cu
Amas sulfurés encaissés dans les formations volcaniques PII	Tal/Taz/Aga	Cu ± Zn, As
Minéralisations stratiformes à la base de l'Infracambrien	Tal/Aga	Mn-Cu ± Pb
Minéralisations filoniennes (le long de failles N-S) (de type "Mississippi Valley Type")	Tal	Pb-Zn
Minéralisations filoniennes dans l'Infracambrien	Tal/Aga	Pb ± Ba, Zn, Cu
Minéralisations liées aux granites PIII	Tal/Taz/Qal/Bou	Cu-Mo-Sn ± W W-Cu-Au ± Zn Sn-W Mo-W ± Zn, Pb
Minéralisations stratiformes de Mn (de type Tiouine)	Taz/Bou	Mn-Pb-Ba (± Sn, Mo, Cd, Be, Bi, As)
Minéralisations liées aux pegmatites PI	Aga	Be-Sn ± Cu
Minéralisations sous formes de veinules (brèches) dans les gneiss PI	Aga	Cu-Zn-W
Minéralisations filoniennes épi/mesothermales PII/PIII (de type Tiwit)	Bou	Cu-As-Sb ± Au, Ag
Minéralisations filoniennes encaissées dans le PII	Bou	Pb-Zn

A cette échelle du 1/100 000, les cartes ponctuelles où chaque point indique la teneur de l'élément dans le bassin de drainage, sont les plus significatives et peuvent être utilisées pour les travaux de suivi. Du point de vue perspectives régionales, les images de l'atlas géochimique permettent de mieux visualiser les provinces métallogéniques.

3.4 CARTES DE SYNTHÈSE GÉOCHIMIQUE

Toutes les données numériques produites dans le cadre de ce projet (p.ex. résultats géochimiques, géologie simplifiée, occurrences minérales et fond topographe simplifié) ont été traitées dans un système SIG MapInfo. Initialement, la géochimie a été représentée sous forme de carte ponctuelle à symboles de forme hexagonale de différentes couleurs, avec comme valeurs: la moyenne plus deux déviations standards et moyenne plus trois déviations standards. Ceci a permis de définir des zones anomaliques pour chaque élément. Ces zones à teneurs élevées sont décrites systématiquement pour chaque élément dans les notices explicatives. Les cartes de ces zones à teneurs élevées ont été tracées par MapInfo et incluses dans les notices.

Dans les régions où la présence de minéralisation est connue, les zones à teneurs élevées en des associations d'éléments particuliers ont été tracées pour chaque carte afin d'indiquer des cibles potentielles pouvant faire l'objet d'exploration. Ceci a permis d'obtenir une série de cartes thématiques au 1/100 000 pour chaque feuille de la région d'étude. Un récapitulatif des types de minéralisations reportées sur les cartes est donné dans le Tableau 3.1.

3.5 NOTICE EXPLICATIVE RELATIVE À CHAQUE CARTE

Une notice explicative accompagne chaque série des 28 cartes mono-élémentaires:

BOUMALNE: Johnson C. C. (2001). Carte Géochimique du Maroc. Notice explicative de la feuille de Boumalne au 1/100 000. *British Geological Survey, Commissioned Report Series, No.CR/01/026.*

QALAA'T MGOUNA: Johnson C. C. (2001). Carte Géochimique du Maroc. Notice explicative de la feuille de Qalaa't Mgouna au 1/100 000. *British Geological Survey, Commissioned Report Series, No.CR/01/027.*

AGADIR MELLOUL: Johnson C. C. (2001). Carte Géochimique du Maroc. Notice explicative de la feuille d'Agadir Melloul au 1/100 000. *British Geological Survey, Commissioned Report Series, No.CR/01/030.*

TALIWINE: Johnson C. C. (2001). Carte Géochimique du Maroc. Notice explicative de la feuille de Taliwine au 1/100 000. *British Geological Survey, Commissioned Report Series, No.CR/01/029.*

TAZNAKHT: Johnson C. C. (2001). Carte Géochimique du Maroc. Notice explicative de la feuille de Taznakht au 1/100 000. *British Geological Survey, Commissioned Report Series, No.CR/01/028.*

Chacun de ces rapports comporte une description détaillée de la géologie et de la gîtologie régionale, ainsi que des discussions systématiques de la distribution géochimique des éléments déterminés dans les stream-sédiments et les concentrés de batée. Les paramètres statistiques simples, ainsi que des tableaux, sont calculés pour

les 1% des résultats les plus élevés enregistrés dans les stream-sédiments et les concentrés de batée.

3.6 TEST D'ORIENTATION

Avant le lancement du projet, une étude d'orientation a été réalisée en novembre 1998 dans l'objectif de tester la méthodologie d'échantillonnage et de déterminer la fraction granulométrique optimale des stream-sédiments devant être analysée. Les conclusions de ce travail sont présentées dans la Section 2.1 de ce rapport.

Le rapport complet du test d'orientation est disponible à la Direction de la Géologie:

BGS (1999): Résultats de l'étude d'orientation et analyses chimiques des stream-sédiments dans le domaine de l'Anti-Atlas (Maroc). *British Geological Survey, Rapport confidentiel préparé à l'intention de la Direction de la Géologie, Rabat.*

Du fait que c'était la première étude géochimique systématique régionale au Maroc, le test d'orientation revêtait un caractère primordial. Le choix de la fraction granulométrique des sédiments à analyser peut influencer d'une manière significative sur la détermination des modèles géochimiques. Comme le principal aspect de cette étude est relatif à l'exploration des gîtes métallifères, il est très important d'obtenir dans les zones minéralisées un contraste maximum par rapport au fond géochimique. Dans un environnement aride comme celui de la région d'étude, il est important de prendre en compte la possibilité d'avoir des dilutions éoliennes des sédiments prélevés.

Le choix de la fraction granulométrique à utiliser (ici -250μ) est toujours un compromis pour satisfaire plusieurs exigences, et certains éléments (p.ex. Sn) sont mieux identifiés dans des fractions plus grossières. Toutefois, le bon choix de la méthodologie choisie est prouvé par les excellents résultats obtenus dans les cartes et les images géochimiques. Ces cartes montrent des fluctuations qui peuvent être attribuées à la présence de minéralisations connues ou à des variations lithologiques. Aucune contamination éolienne significative n'apparaît. Il est recommandé de publier ce travail d'orientation dans une revue géochimique internationale, car peu d'études ont été réalisées à ce jour en région semi-aride. La plupart des publications sont relatives à des études géochimiques dans des régions tempérées.

3.7 ATLAS GÉOCHIMIQUES

Les résultats géochimiques de chaque élément sont présentés dans deux atlas (Lot 1 et Lot 2) sous formes d'images géochimiques quadrillées à une échelle correspondant au format A3:

JOHNSON C. C. (2001). Atlas Géochimique Régional: Feuilles de Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul. *British Geological Survey Commissioned Report, Series, No. CR/01/033.*

JOHNSON C. C. (2001). Atlas Géochimique Régional: Feuilles de Boumalne et Qalaa't Mgouna. *British Geological Survey Commissioned, Report series, No. CR/01/034.*

Chaque atlas géochimique comporte un descriptif des méthodes utilisées au cours de l'étude régionale, ainsi

Arsenic (As)

Taliwine, Taznakht et Agadir Melloul

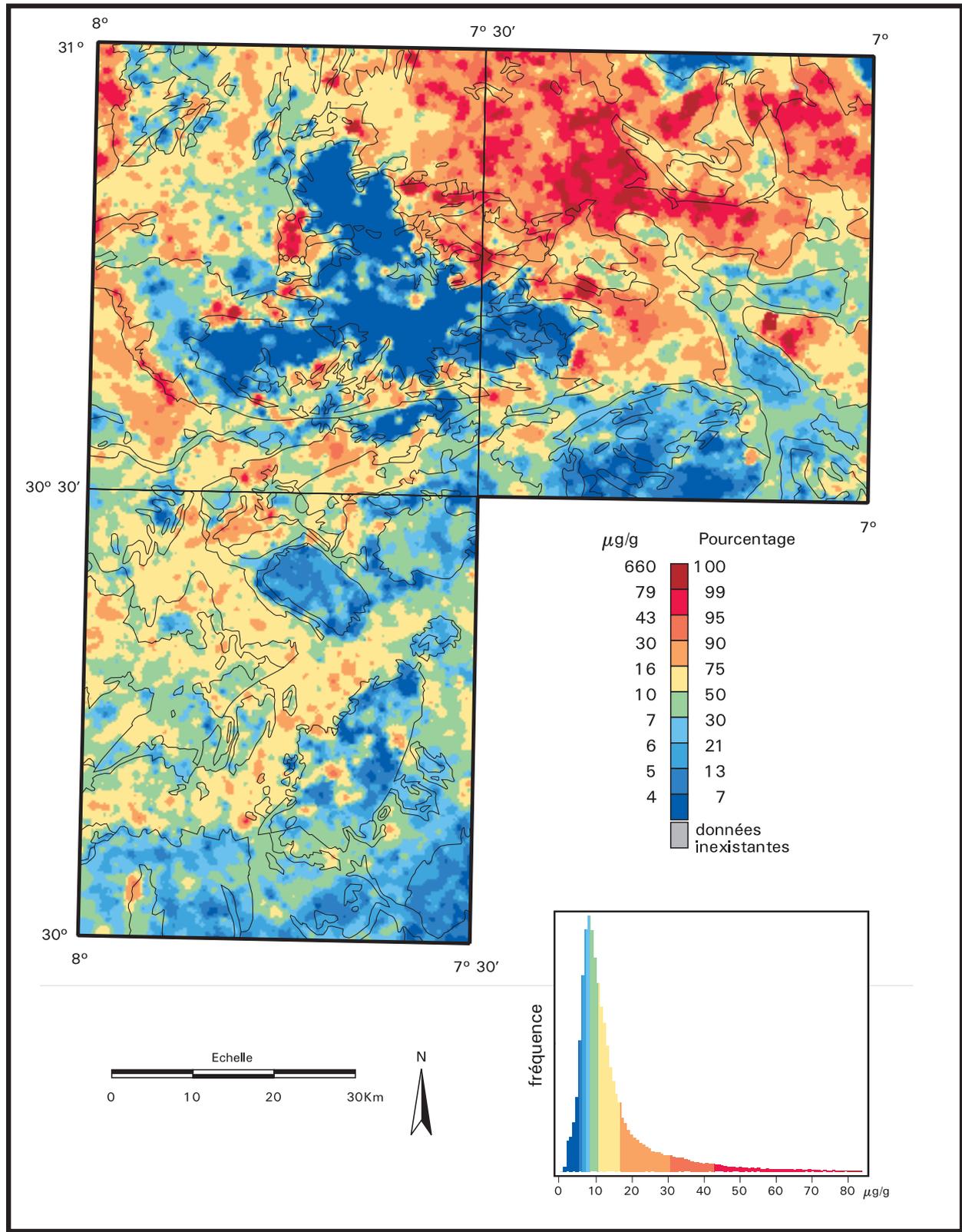


Figure 3.2: Exemple d'image géochimique quadrillée présentée dans les atlas géochimiques (échelle réduite)

qu'un aperçu géologique et géochimique. Pour chaque élément déterminé sont présentées ses caractéristiques géochimiques ainsi que sa distribution régionale. Les données de la région couverte par chaque atlas sont divisées en sous-ensembles en fonction d'une classification géologique simplifiée, ce qui permet l'obtention des moyennes et des intervalles des éléments dans les différentes lithologies. Les données des analyses statistiques des différentes lithologies sont présentées dans l'annexe E de ce rapport. L'analyse de corrélation et l'analyse factorielle ont été utilisées pour identifier les associations d'éléments.

Vingt huit images géochimiques en couleur ont été produites grâce à ARC/INFO. Un exemple d'image géochimique des atlas (à échelle réduite) est présenté dans la figure 3.2. La méthode de quadrillage par inversement de carré a été utilisée ici. Cette méthode est différente de celle utilisée pour les cartes de contour. En plus de ces images géochimiques, un certain nombre de cartes à trois composants (cartes ternaires) a été réalisé (voir exemple de ce genre de carte dans la Section 4). Ces cartes à trois composants (ternaires) sont une excellente méthode pour visualiser des lithologies particulières ou des minéralisations à signatures géochimiques spécifiques.

3.8 RAPPORT FINALE

Le présent document correspond au rapport final. Vingt copies ont été remises à la Direction de la Géologie, dont voici la référence complète:

JOHNSON C. C., FLIGHT D. M. A., LISTER T. R. & STRUTT M. H. (2001). Rapport final des travaux de recherches géologiques pour la réalisation de cinq cartes géochimiques au 1/100 000 dans le domaine de l'Anti-Atlas (Maroc). *British Geological Survey Commissioned Report Series, No. CR/01/031.*

3.9 CD-ROM

Toutes les données numériques générées par ce projet ont été enregistrées dans des CD-ROM et remis à la Direction de la Géologie. Sept CD-ROM différents ont été produits, un pour chacune des cinq cartes de la région d'étude et un pour chacun des deux lots. Ces CD-ROM ont les références suivantes:

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques du Lot 1 (feuilles de Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul) - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques du Lot 2 (Feuilles de Boumalne et Qalaa't Mgouna) - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille de Boumalne au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille de Qalaa't Mgouna au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille de Taznakht au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille de Taliwine au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*

DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille d'Agadir Melloul au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*

4 RECAPITULATIF DES RESULTATS GEOCHIMIQUES

4.1 LOT 1 (TAZNAKHT, TALIWINE ET AGADIR MELLOUL)

Les informations concernant le nombre des échantillons prélevés sont données dans le tableau 4.1. Pour le Lot 1, 8321 échantillons stream-sédiments ont été prélevés (y compris les deux échantillons perdus, L1 1166 et L1 3041¹), plus 87 échantillons doubles de terrain et 350 échantillons répliques (doubles) et standards de laboratoire. Les résultats de ces 8319 échantillons de sédiments sont reportés sur les cartes géochimiques. En incluant les duplicatas, les répliques et les références standards, le nombre total d'échantillons saisis dans la base de données est de 8758. Les échantillons de contrôle peuvent être identifiés dans la base de données de terrain (cf. Tableau C.1, Annexe C) sous la rubrique "Type d'échantillon":

Code	Type d'échantillon
C	Stream sediment
P	Concentré de batée
DUPA	Premier échantillon double (résultats reportés sur les cartes)
DUPB	Second échantillon double (résultat utilisé uniquement pour le contrôle)
REPA/REPB	Echantillons doubles de laboratoire (répliques)
MB1/MB3	Echantillons standards de référence local (MAROC)
GSS5/GSS7/LKSD2	Echantillons standards de référence internationale

1 Il s'agit d'échantillons perdus ou rejetés pendant la procédure de contrôle.

Un total de 810 échantillons de concentrés de batée ont également été prélevés.

Les paramètres statistiques des stream-sédiments du Lot 1 sont présentés dans le tableau 4.2. Cette série de données a été subdivisée davantage afin d'obtenir des informations sur les principaux faciès lithologiques de la région. Les résultats sont présentés en annexe E. La comparaison de ces résultats avec les teneurs moyennes crustales des divers éléments (Tableau 4.3) permet de faire les constatations suivantes:

- Ag, As, Ba, Bi, Fe, Li, Mn, Mo, Nb, Pb, Sb, Ti, U, W et Zr sont des éléments présents avec des teneurs supérieures aux valeurs moyennes de la croûte.
- Be, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Th et V sont présents avec des teneurs inférieures aux moyennes crustales.
- Cd, Sn, Y et Zn sont présents avec des teneurs équivalentes aux moyennes crustales.
- La formation volcanique du Sirwa (Cénozoïque) est particulière du fait que géochimiquement c'est la lithologie qui se différencie et se distingue le plus par ses teneurs élevées en Be, Mn, Mo, Nb, Sn, Sr, Ti et Zr. Cette lithologie est marquée par des valeurs relativement faibles en Li, Cr et Cu.
- Le Précambrien inférieur (PII¹) a une signature géochimique caractéristique, avec les teneurs les plus élevées en As, Cr, Cu, Fe, Li, Ni et Sb. Le Cr et le Ni sont particulièrement élevés, conséquence de la présence du complexe ophiolitique de Khzama.

Cartes au 1/50 000	Nombre d'échantillons Stream-sédiment	Surface Totale de la carte (km ²)	Surface d'échantillons (km ²)	Densité de prélèvement (1/km ²)	Nombre de concentrés de batée
TAZNAKHT	2818	2653	2581	1,1	275
Tamallakout	757	662	649	1,2	77
Tikirt	709	662	637	1,1	70
Taznakht	757	665	647	1,2	73
Taghdout	595	664	648	0,9	55
TALIWINE	2751	2651	2607	1,1	275
Assarg	659	662	650	1,0	66
Tachoukacht	785	662	654	1,2	78
Sirwa	644	664	658	1,0	65
Taliwine	663	663	645	1,0	66
AGADIR MELLOUL	2750	2665	2627	1,0	260
Tabadrist	745	665	655	1,1	68
Ighriy	687	666	655	1,0	65
Assaragh	684	667	657	1,0	65
Agadir Melloul	634	667	660	1,0	62
Totals	8319	7969	7815	1,1	810

échantillons perdus	2
duplicatas	87
échantillons standards répliques	350
le nombre total d'échantillons	8758

Tableau 4.1: Récapitulatif des informations relatives au nombre d'échantillons stream-sédiments et concentrés de batée du Lot 1

Tableau 4.2:
Informations
statistiques des
échantillons
stream-sédiments
du Lot1

Element	Units	Moyenne	Médiane	Mode	Écart Type	Skewness	Intervalle	Minimum	Maximum	Nombre total
Ag	µg/g	0,32	0,27	0,27	0,464	72,19	39,13	0,27	39,40	8319
As	µg/g	15,51	10,00	7,00	20,180	9,50	669,60	0,20	669,80	8319
Ba	µg/g	581	453	392	846	19	31085	105	31190	8319
Be	µg/g	2,08	1,90	1,90	0,727	2,97	12,23	0,67	12,90	8319
Bi	µg/g	0,69	0,67	0,60	0,222	15,18	9,03	0,47	9,50	8319
Cd	µg/g	0,30	0,27	0,27	0,141	8,02	4,23	0,27	4,50	8319
Co	µg/g	18,27	16,00	14,00	6,592	2,99	123,40	0,60	124,00	8319
Cr	µg/g	65,77	57,20	0,53	171,375	39,82	10289,50	0,50	10290,00	8319
Cu	µg/g	29,98	22,30	17,70	31,923	9,02	794,57	1,53	796,10	8319
Fe ₂ O ₃	%	6,554	5,665	10,200	3,196	3,083	41,920	0,770	42,690	8319
Li	µg/g	36,53	34,00	35,00	15,660	1,57	171,00	8,00	179,00	8319
MnO	%	0,123	0,102	0,102	0,191	49,179	12,402	0,018	12,420	8319
Mo	µg/g	2,41	2,00	1,90	2,023	14,77	93,10	0,40	93,50	8319
Nb	µg/g	31,48	15,30	12,10	54,232	5,21	973,50	4,80	978,30	8319
Ni	µg/g	23,21	21,90	22,90	21,716	21,53	1013,47	0,53	1014,00	8319
Pb	µg/g	21,80	17,00	15,80	42,853	61,23	3409,50	4,50	3414,00	8319
Sb	µg/g	1,32	0,53	0,53	2,391	8,68	69,10	0,40	69,50	8319
Sn	µg/g	2,05	1,70	1,40	1,523	4,72	27,20	0,40	27,60	8319
Sr	µg/g	131,64	94,90	87,80	189,846	19,68	8170,70	11,30	8182,00	8319
Te	µg/g	0,67	0,67	0,67	0,024	74,88	2,30	0,40	2,70	8319
Th	µg/g	9,96	7,40	6,30	10,481	7,08	212,20	0,40	212,60	8319
TiO ₂	%	0,998	0,787	1,121	0,696	4,207	12,076	0,114	12,190	8319
U	µg/g	4,21	3,70	3,50	2,768	3,57	36,50	0,50	37,00	8319
V	µg/g	109,71	89,40	75,50	68,917	4,42	1108,70	3,30	1112,00	8319
W	µg/g	2,02	1,87	1,73	0,834	20,69	36,50	1,20	37,70	8319
Y	µg/g	28,59	26,00	24,10	10,197	2,95	149,10	7,10	156,20	8319
Zn	µg/g	77,58	59,30	46,90	55,325	2,91	730,00	13,40	743,40	8319
Zr	µg/g	383	284	249	355	7	8714	47	8761	8319

Tableau 4.3:
Abondance des
éléments dans
la croûte
continentale et
dans diverses
lithologies

Eléments	Croûte continentale	Roches ultrabasiqes	Roches basaltiques	Roches granitiques	Roches sédimentaires
Ag	0,08	0,06	0,11	0,04 – 0,05	0,05 – 0,12
As	1,8	1,0	2,0	1,5 – 1,9	<5 – 20
Ba	425	0,4	330	420 – 480	10 – 580
Be	3,0	-	0,5	5,0	1 – 5
Bi	0,17	-	0,15	0,1	0,2 – >5
Cd	0,2	-	0,13	0,09	0,1 – 0,8
Co	29	150	48	1– 7	0,1 – 19
Cr	122	1600	170	4 – 22	11 – 90
Cu	68	40	40 – 60	12	5 – 50
Fe	62200	94300	86500	14200 – 29600	3800 – 47000
Li	20	-	10	30	5 – 60
Mn	950	1600	1500	390 – 540	170 – 700
Mo	1,2	1,0	1,0	2,0	0,5 – 70
Nb	20	20	10	22	17 – 41
Ni	99	2000	130	4,5 – 15	<5 – 90
Pb	13	1	6	15 – 19	5 – 23
Sb	0,2	0,1	0,2	0,2	<0,1 – >1
Sn	2	0,5	1,5	1,5 – 3,0	<1 – 6
Sr	384	1	465	100 – 440	20 – 1000
Te	-	0,001 – 0,006	0,001 – 0,006	0,001 – 0,006	0,002 – 0,009
Th	9,6 – 12	-	<1,0	10 – 40	1,7 – 13
TiO ₂	10000	300	13800	1200 – 3400	400 – 4600
U	2,3	0,001	0,6	4,8	0,5 – 1000
V	136	40	250	44 – 88	<15 – 260
W	1,0 – 1,5	0,1 – 0,8	0,5 – 1,0	1,5	<0,5 – 2
Y	31	32	32	40	4 40
Zn	76	50	105	39 – 60	30 – 190
Zr	162	45	140	140 – 175	20 – 800

Certaines unités lithologiques dominent le modèle géochimique régional, de ce fait, au point de vu régional elles ont tendance à masquer les anomalies géochimiques causées par des minéralisations. Les roches volcaniques cénozoïques du Sirwa constituent probablement la lithologie la plus remarquable, avec des valeurs élevées en Be, Mn, Mo, Nb, Sn, Sr, Ti et Zr. Les cartes géochimiques reflètent très précisément la présence des affleurements de cette formation qui couvrent une grande partie de la feuille de Taliwine. L'ophiolite de Khzama présente comme prévu une signature géochimique très distincte.

Les images géochimiques de l'atlas (Johnson, 2001a) montrent que le principal trait structural de la région, l'accident anti-atlasique, marque souvent la limite entre les différents domaines géochimiques. Les métasédiments PII (pélites noires et les séquences volcano-sédimentaires d'arc) jalonnants la zone de faille, orientée approximativement E-W, apparaissent comme étant l'une des cibles les plus prometteuses pour l'exploration minière.

Les cartes à trois composants (cartes ternaires) présentées dans l'atlas géochimique (Johnson, 2001a) représentent une technique très utile pour distinguer les associations particulières d'éléments, et permettent de distinguer entre les variations attribuées aux changements lithologiques et celles causées par des minéralisations discrètes. La combinaison Cu-As-Sb (reproduite dans ce rapport à échelle réduite — Figure 4.2) montre par exemple un vaste domaine à cuivre élevé couvrant la zone à granite au NW de Taliwine et une zone à teneurs élevées en Cu le long de l'Accident anti-atlasique et en bordure de la boutonnière d'Iguerda. Sur la même carte, de petites zones minéralisées, telles que Zgouder (#37) et Aït Kalla (#15), apparaissent sous forme de taches blanches indiquant la présence de valeurs élevées en Cu, As et Sb.

Les minéralisations connues du Lot 1 sont généralement bien définies par les stream-sédiments. Plusieurs zones anomaliques pouvant faire l'objet d'une exploration détaillée en tant que cibles potentielles, sont systématiquement inventoriées dans les rapports de Johnson, 2001c, d, e). Du point de vu recherche de minéraux métallifères, la région couverte par la carte de Taliwine est la plus prometteuse, suivie par celle de Taznakht, puis par celle d'Agadir Melloul. A l'exception des valeurs élevées en Be enregistrées dans la boutonnière PI d'Iguerda, il n'y a que peu de zones anomaliques à explorer dans la feuille d'Agadir Melloul.

Les types de minéralisations de la région du Lot 1 sont définis dans la série de cartes de synthèse géochimique (cf. Section 3.4 et un récapitulatif est présenté dans le tableau 3.1. Il est à noter ici que la définition de zones caractérisées par des types spécifiques de minéralisations est très spéculative et convient plus pour des cartes à plus petite échelle que celle au 1/100 000 exigée par le contrat. La géologie simplifiée et les données géologiques ne sont pas suffisamment précises pour être utilisées dans la définition et la sélection de cibles sur le terrain. Les types de minéralisations sont basés uniquement sur les résultats géochimiques, et de ce fait, peuvent sembler ne pas correspondre au cadre géologique. Les signatures géochimiques peuvent souvent indiquer la présence de minéralisations cachées, chose qu'il est difficile de faire avec la couverture géologique actuelle.

Les principaux types de minéralisation du Lot 1 sont:

Minéralisation Ag du type Zgouder. Les principaux éléments sont Ag, As, Bi et Sb, avec \pm Cd, Pb, Zn et Cu. C'est une minéralisation stratiforme "black shale", avec remobilisation secondaire au PIII. On dénombre trois zones

sur la feuille de Taliwine : Zgouder, Aït Kalla et le Sud-Est de Tachakoucht.

Minéralisation à Co-Ni-Ag liée aux ophiolites de Bou Azzer. Elle est similaire à la précédente, mais les métaux sont libérés durant l'altération hydrothermale des serpentinites.

Minéralisation épithermale et hydrothermale liée aux roches volcaniques PIII. Elle montre une forte signature Sb-As souvent associée au Cu. Il y a de nombreuses zones de ce type sur la feuille de Taznakht, et une vaste zone associée au Cu se localise dans le coin Nord-Ouest de la feuille de Taliwine.

Amas sulfuré volcanogène dans le PIIv. Ce type est bien défini sur l'image géochimique du Cu dans l'atlas où une bande à teneurs élevées en cuivre jalonne l'accident anti-atlasique. Les teneurs en Cu sont plus élevées que le fond géochimique, mais généralement inférieures à la moyenne plus de déviations standards. Le Cu est en général associé aux valeurs élevées de Zn.

Minéralisation filonienne du type Mississippi. Elle se localise dans le Nord de la feuille de Taliwine où des failles N-S sont minéralisées en Pb-Zn.

Minéralisation stratiforme de la base de l'Infracambrien. Des teneurs élevées de Mn et Cu, plus ou moins Pb, sont enregistrées à la base de l'Infracambrien sur les feuilles de Taliwine et d'Agadir Melloul (p.ex. Tirzit #61 - #64).

Minéralisation filonienne dans l'Infracambrien. Il semble y avoir un certain nombre d'anomalies métallifères, probablement associées à des filons encaissés dans des faciès carbonatés, sur les feuilles de Taliwine et d'Agadir Melloul. Ce sont généralement des gîtes de Pb avec \pm Ba, Zn et Cu.

Minéralisation filonienne associée aux granites alcalins. Une petite zone a pu être identifiée sur la feuille de Taliwine (#3 Imoghsane) où des anomalies à Cu-Mo-Sn \pm W sont présentes. Une anomalie géochimique similaire a été observée sur la feuille de Taznakht, mais dans des formations volcaniques PIII. Il pourrait y avoir un granite alcalin caché dans cette région.

4.2 LOT 2 (BOUMALNE ET QALAA'T MGOUNA)

Le récapitulatif concernant le nombre d'échantillons prélevés dans ce Lot est présenté dans le tableau 4.5. Dans la région couverte par le Lot2, 5164 échantillons stream-sédiments ont été prélevés (aucun échantillon perdu), plus 55 échantillons doubles de terrain et 221 standards de laboratoires et échantillons répliques. Les résultats des 5164 échantillons de sédiment sont reportés sur des cartes géochimiques. En ajoutant les doubles, les répliques et les standards de référence, ce sont au total 5440 échantillons qui sont enregistrés dans la base de données de terrain. 515 échantillons concentrés de batée ont été également prélevés.

Les informations statistiques relatives aux stream-sédiments du Lot 2 sont présentées dans le tableau 4.6. Cette série de données a été subdivisée davantage pour obtenir plus d'informations sur les principales lithologies de la région. Les résultats sont présentés dans l'annexe E. La comparaison de ces résultats avec les teneurs moyennes crustales des divers éléments (Tableau 4.3) permet de faire les constatations suivantes:

Cu-As-Sb

Taliwine, Taznakht et Agadir Melloul

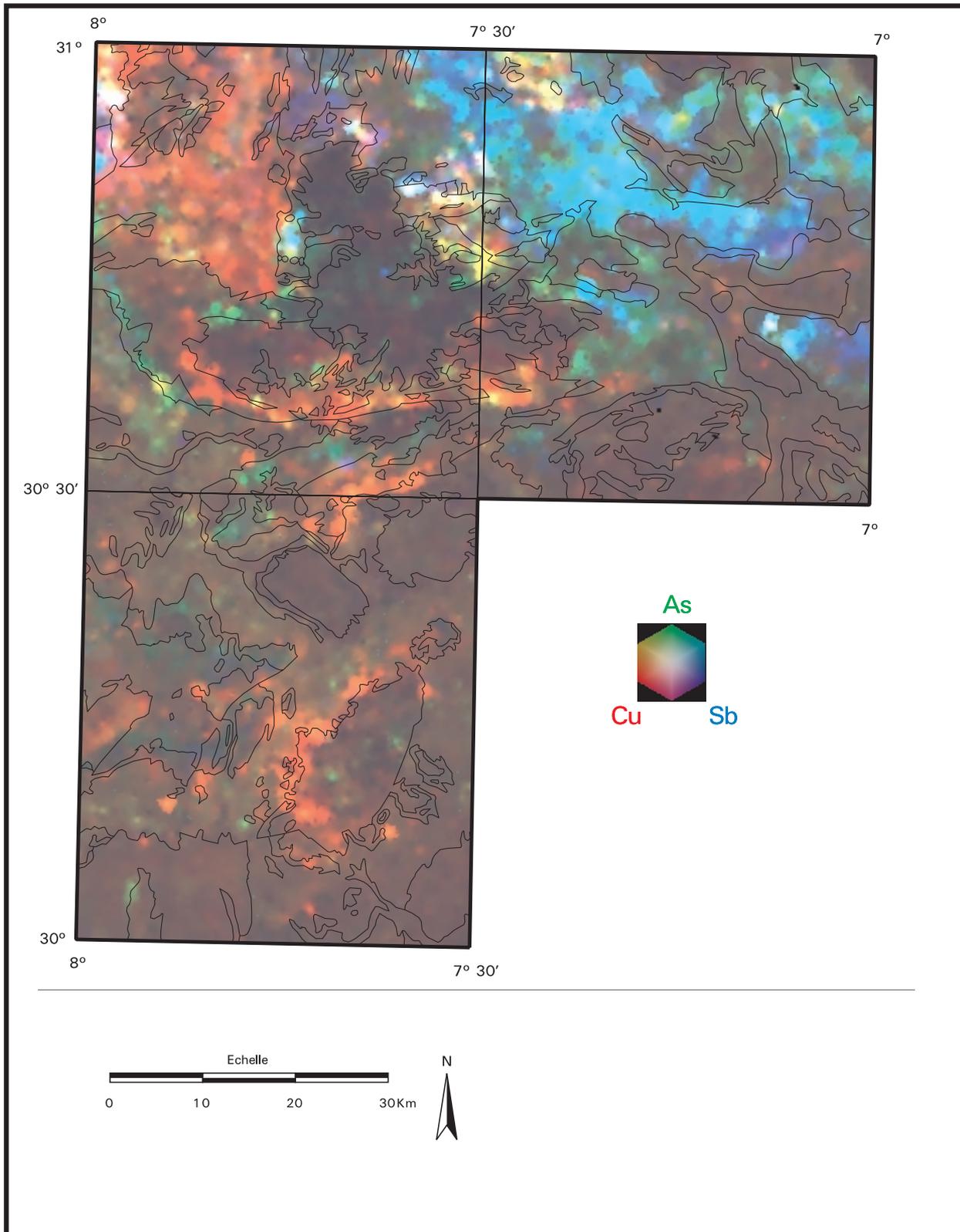


Figure 4.2: Résultats de Cu-As-Sb dans les stream-sédiments du Lot 1 présentés sous forme de carte à trois composants (carte ternaire)

- Ag, As, Ba, Bi, Li, Mo, Pb, Sb, Ti, U, W, et Zr sont des éléments présents avec des teneurs supérieures aux moyennes crustales.
- Be, Co, Cr, Cu, Ni, Th, V, et Sr ont des teneurs inférieures aux moyennes crustales.
- Cd, Fe, Mn, Nb, Y et Zn sont des éléments présents avec des teneurs équivalentes aux moyennes crustales.
- Les échantillons stream-sédiments prélevés dans le Précambrien II inférieur (PIIi) sont significativement enrichis en Ag, As, Pb, Zn et W.
- Les stream-sédiments provenant des zones à granites PIII (PIIIg) ont des teneurs élevées en As, Th, U et Y.
- Les échantillons stream-sédiments prélevés dans des terrains plus jeunes (couverture cénozoïque et quaternaire, et couverture mésozoïque) sont généralement appauvris en la plupart des éléments, particulièrement en Be, Co, Ni, Th et Y.
- Les échantillons stream-sédiments provenant des formations PII moyen et supérieur (PII₂) montrent de nombreux résultats élevés en Fe et Mn.

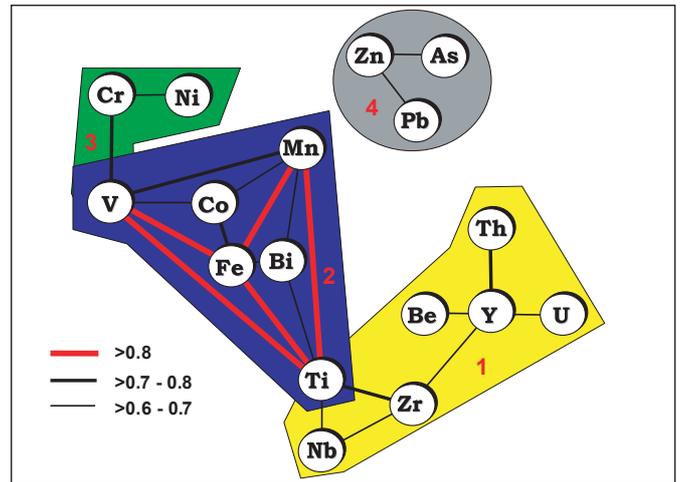


Figure 4.3 : Diagramme de la matrice de corrélation du Lot 2 (basé sur les coefficients de corrélation de Pearson)

Les résultats de l'analyse de corrélation (coefficient de corrélation de Pearson) sont présentés dans le tableau 4.7. La représentation de ces résultats sous forme de diagramme de matrice de corrélation (Figure 4.3) permet de mieux les visualiser. La matrice de corrélation montre quatre groupes distincts d'éléments:

1. Les éléments incompatibles: Y, Th, Be, U, Zr et Nb.
2. Eléments des roches basiques: V, Co, Mn, Fe, Bi et Ti. Ce groupe d'éléments montre certaines des plus fortes corrélations.
3. Eléments basiques / ultrabasiques: Cr, Ni et V.
4. Minéralisation sulfurée à métaux de base: Zn, Pb et As.

L'analyse factorielle permet d'identifier les importants facteurs suivants:

Facteur 1 a de fortes charges de V, TiO₂, Cr, Fe₂O₃, MnO et Bi. Tous ces éléments ont des valeurs élevées dans la zone du pluton granitique PIIg de Jbel Oussilkane.

Facteur 2 a de fortes charges de Li, Ni, Co, Cu et Cr, et peut être lié aux concentrations élevées de ces éléments dans les terrains du Haut Atlas.

Facteur 3 a de fortes charges de Pb, Cd, Zn, As, Ag et Bi. Il est étroitement lié aux minéralisations sulfurées, principalement dans la zone à soubassement de métasédiments PII.

Facteur 4 a de fortes charges de tous les éléments incompatibles: Y, Th, Be, U, Zr, Nb, Sn, Co et Mo. Tous montrent des valeurs élevées dans les granites alcalins PIII, ainsi que dans le massif PIIg de Jbel Oussilkane.

Facteur 5 a une signification moindre. Il s'agit d'un seul élément factoriel décrivant amplement la variation du Sr qui se rencontre en concentrations élevées dans les phonolites tertiaires et les affleurements de gypse, ou dans les sédiments évaporitiques et lacustres de l'Eocène.

La petite zone à résultat "élevés" en Te de la feuille de

Tableau 4.5: Récapitulatif des informations relatives au nombre d'échantillons stream-sédiments et concentrés de batée du Lot 2

Cartes au 1/50 000	Nombre d'échantillons stream-sédiment	Surface totale de la carte (km ²)	Surface d'échantillonnée (km ²)	Densité de prélèvement (1/km ²)	Nombre de concentrés de batée
BOUMALNE	2585	2637	2565	1,01	259
Tiwit	658	660	652	1,01	67
Ikniwn	663	661	649	1,02	68
Imtir	641	658	635	1,01	66
Boumalne	623	658	629	0,99	58
QALAA'T MGOUNA	2579	2628	2547	1,01	256
Sidi F lah	623	657	644	0,97	61
Qalaa't Mgouna	691	655	625	1,11	70
Khmis Dades	655	660	635	1,03	66
Ayt Toumert	610	656	643	0,95	59
Totals	5164	5265	5112	1,01	515

échantillons perdus 0
 duplicatas 55
 échantillons standards et répliques 221

le nombre total d'échantillons **5440**

Tableau 4.6:
Informations
statistiques des
échantillons stream-
sédiments du Lot 2

Element	Units	Moyenne	Médiane	Mode	Écart Type	Skewness	Intervalle	Minimum	Maximum	Nombre total
Ag	µg/g	0,41	0,27	0,27	1,863	42,92	92,53	0,27	92,80	5164
As	µg/g	14,01	8,60	4,30	24,521	7,95	436,90	0,40	437,30	5164
Ba	µg/g	541	512	673	471	8,52	12438	82	12520	5164
Be	µg/g	1,72	1,80	0,67	0,920	10,18	35,23	0,67	35,90	5164
Bi	µg/g	0,67	0,67	0,67	0,189	13,37	6,93	0,40	7,33	5164
Cd	µg/g	0,33	0,27	0,27	0,216	6,30	4,23	0,27	4,50	5164
Co	µg/g	14,84	14,67	14,00	4,695	2,00	49,40	0,60	50,00	5164
Cr	µg/g	64,15	56,60	54,20	41,740	12,72	1486,10	2,90	1489,00	5164
Cu	µg/g	25,48	21,10	19,90	27,639	23,02	1196,50	4,50	1201,00	5164
Fe₂O₃	%	4,850	4,647	4,376	2,593	4,225	63,079	0,701	63,780	5164
Li	µg/g	29,21	28,00	27,00	12,871	2,22	132,00	7,00	139,00	5164
MnO	%	0,087	0,077	0,111	0,059	5,768	1,434	0,013	1,447	5164
Mo	µg/g	2,58	2,30	2,40	2,248	18,03	97,00	0,40	97,40	5164
Nb	µg/g	17,66	14,40	13,40	15,439	5,69	213,20	4,10	217,30	5164
Ni	µg/g	21,01	18,90	16,20	11,874	5,85	336,30	2,70	339,00	5164
Pb	µg/g	31,56	22,30	22,00	49,094	12,16	1318,80	5,20	1324,00	5164
Sb	µg/g	1,12	0,53	0,53	1,757	10,80	45,90	0,40	46,30	5164
Sn	µg/g	2,37	1,70	0,47	3,580	17,13	122,30	0,40	122,70	5164
Sr	µg/g	119,43	101,20	92,50	97,420	16,10	3992,70	27,30	4020,00	5164
Te	µg/g	0,67	0,67	0,67	0,079	29,73	3,70	0,40	4,10	5164
Th	µg/g	9,21	7,80	0,47	8,761	4,49	159,10	0,40	159,50	5164
TiO₂	%	0,839	0,707	0,622	0,768	9,740	21,784	0,186	21,970	5164
U	µg/g	4,22	3,90	3,40	2,258	2,44	32,70	0,40	33,10	5164
V	µg/g	89,70	79,90	78,30	66,972	11,09	2280,50	13,50	2294,00	5164
W	µg/g	1,99	1,87	1,80	1,247	32,60	66,90	1,10	68,00	5164
Y	µg/g	25,87	24,30	18,00	11,968	2,13	160,70	5,90	166,60	5164
Zn	µg/g	80,08	66,70	78,00	64,611	4,91	1002,90	10,10	1013,00	5164
Zr	µg/g	435	371	335	322	6,99	6207	112	6319	5164

Boumalne apparaît comme étant plus une anomalie analytique qu'une réelle anomalie géochimique. Malgré la présence d'un grand nombre de résultats inférieurs au seuil de détection, les résultats d'éléments tels que W et Ag doivent donner une image géochimique significative perturbée par de petites zones à teneurs "élevées" causées par des fluctuations analytiques.

Sur la base de l'analyse des différents groupes lithologiques (voir annexe E du présent rapport et les graphiques de résultats des atlas géochimiques) il apparaît que les lithologies les plus favorables pour les éléments métalliques sont le Précambrien II inférieur (PIIi) pour Ag, As, Cu, Pb, W et Zn) et les granites alcalins du Précambrien III (PIIIg) pour As, Sn et W.

L'analyse de corrélation et l'analyse factorielle des 5164 échantillons des stream-sédiments donnent des associations d'éléments similaires pouvant être liées à diverses lithologies acides et basiques. En raison des nombreux gîtes minéraux présents dans la région, des associations sulfurées peuvent être observées malgré un fond géochimique régional important. L'analyse de corrélation associe Zn, Pb et As, et l'analyse factorielle (facteur 3) regroupe ensemble Pb, Cd, Zn, As, Ag et Bi. Ces associations d'éléments sont enregistrées principalement dans les secteurs à soubassement de métasédiments PII.

Comme mentionné précédemment à propos du Lot1, les cartes à trois composants (cartes ternaires) présentées dans l'Atlas géochimique (Johnson, 2001b) constitue une technique très utile pour distinguer des associations particulières d'éléments. Les variations peuvent être attribuées

aux différences lithologiques et à des sources discrètes de minéralisation. Par exemple la carte de Cu-Pb-Zn du Lot 2 (reproduite dans le présent rapport à petite échelle sur la figure 4.4) montre qu'il est possible de faire la distinction entre des teneurs élevées en Cu associées soit à une lithologie particulière, soit à une minéralisation. Les valeurs élevées en cuivre se localisent dans le nord-est de la région. Elles se corrélient à des terrains à basaltes triasiques. Toutefois, les résultats élevés en cuivre associés à des teneurs élevées en Pb et Zn apparaissent en petites taches blanches sur la carte Cu-Pb-Zn, elles sont indubitablement associées à des minéralisations sulfurées.

La majorité des images géochimiques et des cartes à trois composants montre une relation claire entre la géochimie et les principales unités structurales de la région. Trois provinces géochimiques peuvent être identifiées:

1. *Province Géochimique Précambrienne.* Elle correspond au domaine du massif du Saghro et se caractérise généralement par des valeurs élevées en la plupart des éléments, particulièrement les éléments métalliques. Ceci démontre que c'est la province la plus prometteuse pour l'exploration minière.
2. *Province Paléozoïque et Mésozoïque.* Cette province correspond à l'unité structurale du Haut Atlas et s'étend de manière prédominante dans la partie Nord-Ouest de la feuille de Qalaa't Mgouna.
3. *Province Cénozoïque et Quaternaire.* Elle correspond à l'unité structurale du sillon préafricain. La zone est essentiellement plate avec le quartz comme minéral

Cu-Pb-Zn

Qalaa' t Mgouna et Boumalne

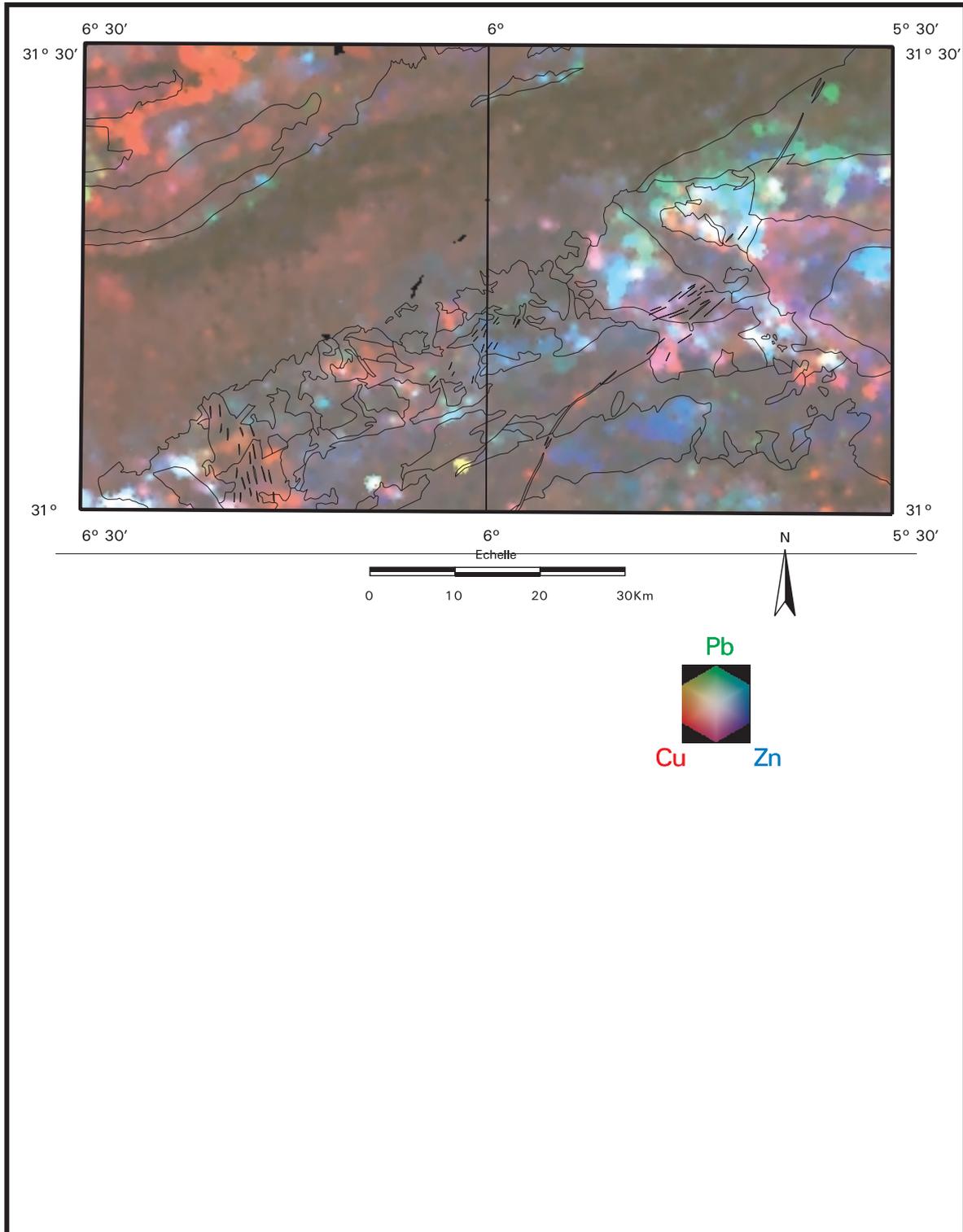


Figure 4.4: Résultats de Cu-Pb-Zn dans les stream-sédiments du Lot 2 présentés sous forme de carte à trois composants (carte ternaire).

5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

La clarté de l'information sur les cartes géochimiques et les images est la preuve du bon choix de la stratégie d'échantillonnage adoptée dans ce projet de cartographie régionale. Il y a une bonne corrélation entre les stream-sédiments et les roches environnantes du bassin d'alimentation; et les gîtes minéraux connus sont bien indiqués. La méthodologie d'échantillonnage utilisée ici devrait servir de base à la stratégie d'échantillonnage géochimique nationale au Maroc.

Le test d'orientation réalisé au début du projet était essentiellement destiné à déterminer les méthodes à utiliser dans ce type d'environnement. Il était particulièrement important d'identifier les différentes fractions granulométriques présentes pour déterminer la fraction qui donne le meilleur contraste entre les anomalies et le fond géochimique, et pour minimiser l'impact des apports éoliens.

La maille d'échantillonnage (c.-à-d. un échantillon par kilomètre carré) était définie par le contrat de travail. Celle-ci a été considérée comme satisfaisante pour avoir une haute résolution de détail géochimique à une échelle régionale. Ce type de projet de cartographie régionale constitue uniquement la première phase de tout programme d'exploration minière. La seconde phase de suivi des cibles demande une densité d'échantillonnage plus importante avec une plus grande utilisation des concentrés de batée.

Il existe bon nombre de points concernant la stratégie d'échantillonnage qui méritent d'être discutés davantage:

a. Utilisation d'étudiants diplômés en géologie comme échantillonneurs

La phase d'échantillonnage du projet est la partie la plus dispendieuse du projet (cf. figure 5.1). Ce travail doit être conduit efficacement avec un haut niveau de contrôle de qualité. Les échantillons prélevés aux mauvais endroits, ou mal prélevés, peuvent fortement dévaluer l'étude tout entière. Des échantillonneurs géochimiques expérimentés sont nécessaires pour diriger les équipes et pour assurer le bon déroulement du programme d'échantillonnage.

Deux stratégies différentes d'échantillonnage peuvent être adoptées pour prélever des échantillons stream-sédiment dans une région montagneuse comme celle de l'Anti-Atlas, la collecte d'échantillons par hélicoptère, ou la collecte à pied en utilisant plusieurs équipes d'échantillonneurs. Le BGS a opté pour la seconde méthode pour échantillonner les Lots 1 et 2. Les équipes d'échantillonnage sont présentées au début de ce rapport. Le prélèvement par hélicoptère peut accélérer la phase d'échantillonnage mais il présente un risque élevé et demande en place d'importantes procédures.

Il y a peu d'avantage à prélever rapidement des échantillons si la préparation et l'analyse chimique ne peuvent pas être faits à la même cadence.

Les étudiants employés par le BGS pour faire l'échantillonnage étaient très fortement motivés et travailleurs ; et avec une moyenne de 12 échantillons par jour ils ont dépassé le quota journalier prévu. Le budget utilisé pour financer l'échantillonnage a profité directement à des

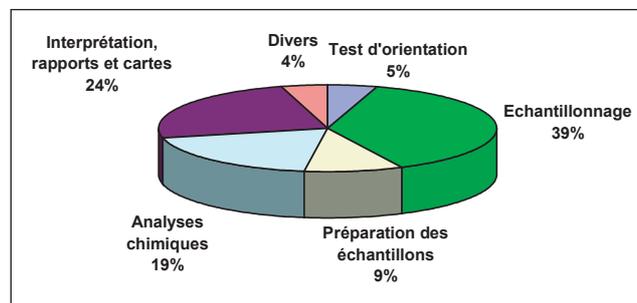


Figure 5.1: Estimations des dépenses relatives à ce projet (répartition des coûts)

marocains et à l'économie locale. Ce qui n'aurait pas été le cas si l'échantillonnage avait été réalisé par hélicoptère. Ceci a permis également de former un groupe d'échantillonneurs géochimiques expérimentés marocains, ce qui constitue un atout essentiel pour attirer des investissements et réaliser davantage de travaux d'exploration dans la région. Un stage de formation de très courte a suffi pour apprendre aux étudiants à échantillonner de manière correcte. En tant qu'étudiants, ils étaient capables de résoudre des problèmes géologiques simples sur le terrain, tels qu'identifier les roches et les minéraux les plus courants. Le programme d'échantillonnage a démarré avec l'introduction dans le groupe de quelques étudiants expérimentés venant du Royaume Uni qui avaient auparavant travaillé dans le Programme de Cartographie Géochimique Régionale du Royaume Uni (Geochemical Baselines – G-BASE).

b. Prélèvement des concentrés de batée

Le principal objectif de ce projet était de créer une série de cartes géochimiques régionales en utilisant les stream-sédiments des lits vifs des chenaux de drainage. Dans cette région montagneuse de l'Anti-Atlas, l'utilisation des concentrés de batée aurait été probablement la méthode la plus courante pour l'exploration, et c'est pour cette raison que des prélèvements de concentrés de batée ont été inclus dans le contrat. Cependant, une des conclusions de ce projet est que l'utilisation des concentrés de batée est insatisfaisante quand ils sont prélevés à la densité prescrite par le contrat (de 10% des sites stream-sédiments). Les raisons sont:

- Il est plus difficile et plus coûteux de prélever un concentré de batée qu'un stream-sédiment, particulièrement dans une zone où il n'y a pas d'eau pour paner les échantillons.
- Tandis qu'il est facile d'apprendre aux étudiants à prélever des échantillons stream-sédiments, il faut par contre plus d'expérience pour paner les échantillons et identifier les minéraux lourds dans le fond de batée.
- Les échantillons des concentrés de batée sont souvent mieux prélevés dans les grands cours d'eau, de ce fait, il n'est pas toujours satisfaisant de prélever un échantillon

de minéraux lourds au même emplacement qu'un échantillon stream-sédiment.

- L'analyse chimique ne donne pas une bonne mesure quantitative de l'élément présent. Ceci du fait que la quantité de matériaux de départ peut varier, et l'échantillon final peut être dilué par des minéraux plus légers selon la technique de concentration utilisée. Il y a également des quantités variables de minéraux lourds pré-concentrés naturellement dans le lit du cours d'eau qui ne peuvent pas être quantifiés.
- L'analyse des concentrés de batée est très problématique à cause de la nature de la matrice de l'échantillon. La plupart des analyses géochimiques sont définies pour des échantillons à matrice de silice, et les valeurs des limites de détection et de précision données par les laboratoires sont habituellement pour des matériaux siliceux. Les concentrés de batée tendent à ressembler plus à des échantillons de minerai avec une prédominance d'une matrice à fer, par conséquent la précision et l'exactitude d'analyse sont moins bonne.

Il n'y a pas de doute de l'utilité des concentrés de batée pour identifier certains types de minéralisation. Mais on ne peut considérer les concentrés de batée comme le matériau d'échantillonnage indiqué pour un programme de cartographie géochimique régionale. Les concentrés de batée devraient être utilisés uniquement dans des zones reconnues comme intéressantes par les stream-sédiments.

Les résultats des concentrés de batée sont reportés sur les cartes mono-élémentaires sous forme de numéros adjacents au site d'échantillonnage. La densité d'échantillonnage a été insuffisante pour obtenir des modèles de distribution géochimique. Les résultats de Au, Ta, Ce et Hg (ces éléments n'ont pas été déterminés dans les stream-sédiments) sont discutés dans la Section 4.29 de chacune des Notices Explicatives.

c. Période de l'année pour l'échantillonnage

Le projet a été réalisé au cours de la période de l'année la plus propice pour l'échantillonnage stream-sédiment, entre les mois de mars et août. Les raisons du choix de cette période pour effectuer les prélèvements sont les suivantes:

- L'accès aux zones montagneuses peut être extrêmement difficile entre novembre et début février en raison des inondations et de la neige.
- Durant cette période, les cours d'eau échantillonnés étaient pratiquement toujours secs dans l'ensemble de la zone. Ceci a permis d'éviter des changements qui auraient pu se produire en raison de l'afflux de nouveaux sédiments pendant les crues.
- Les mois de mars à juin sont généralement plus frais, et durant les mois d'été les journées sont plus longues, ce qui permet de rester plus longtemps sur le terrain.
- Durant l'année de l'échantillonnage (1999) le mois sacré de Ramadan était en début d'année. Pour des raisons logistiques, Ramadan n'est pas une période appropriée pour réaliser une grande campagne d'échantillonnage

Il n'y a aucune information disponible sur les variations saisonnières ou annuelles des tendances géochimiques.

d. Positionnement des sites de prélèvement:

Les sites de prélèvement étaient planifiés par les chefs d'équipe, mais à sur place, l'équipe d'échantillonnage

faisait le choix définitif de l'emplacement exact. Les coordonnées des sites de prélèvement étaient déterminées par système GPS de type GARMIN. Elles sont sensées avoir une précision supérieure à 30 m (cf. BGS, 1999), mais comme les cartes de base comportent des inexactitudes (p.ex. tracé des cours d'eau), la précision du report des emplacements ne dépasse pas les 50 m. Le système GPS donnait également des résultats erratiques pour les mesures prises dans les canyons ou à proximité de falaises. La localisation définitive des sites n'était pas basée seulement sur les données GPS, mais également sur la position indiquée par les échantillonneurs sur les cartes.

Les coordonnées métriques Maroc-Sud ont été utilisées pour indiquer la position des échantillons prélevés. Il est plus facile d'utiliser un quadrillage métrique que des longitudes et des latitudes (système géographique). Cependant, les cartes topographiques de cette région comportent plusieurs systèmes de quadrillage confus et complexes (latitude/longitude, Maroc-Nord, Maroc-Sud et UTM). Il est important que la base de données géochimiques nationales soit standardisée en un seul système. Le système Maroc-Sud a été utilisé dans ce projet simplement par ce que c'était le seul système métrique commun aux cinq feuilles topographiques. Les informations nécessaires pour l'utilisation du système de coordonnées métriques dans MapInfo sont données dans le tableau 2.3.

Les sites de prélèvement des échantillons ont été marqués par des symboles à la peinture indélébile. Ceci a été réalisé dans un objectif de contrôle, mais généralement il n'est pas nécessaire dans ce type d'étude régionale de retourner sur un site particulier.

Plusieurs problèmes sont liés à cette exigence de marquage des sites de prélèvement:

- Aucune peinture n'est permanente (indélébile), particulièrement dans un environnement fréquemment soumis à des tempêtes de sables.
- Dans de nombreux sites il n'y a aucun emplacement convenable pour marquer à la peinture le symbole, excepté le sol sableux.
- Les symboles peints sur la roche défigurent l'environnement (pollution visuelle).

Les positions des sites de prélèvement sont enregistrées dans la mémoire GPS, et ceci est le meilleur moyen pour vérifier que les échantillonneurs ont bien été dans un site.

e. Fraction granulométrique

L'utilisation de la fraction -250μ du stream-sédiment était pratique. Au cours de l'échantillonnage, cette fraction relativement grossière peut être prélevée in situ par tamisage du sédiment sec. Ceci réduit le poids des échantillons que les échantillonneurs ont à porter et accélère fortement le travail d'échantillonnage. Comme prévu dans l'étude d'orientation, les sédiments contiennent généralement une très faible proportion de matériaux très fins. Le choix d'une fraction grossière pour les analyses signifiait la possibilité d'avoir toujours une quantité suffisante de matériaux. De plus, l'excédent de poudre d'échantillon pourrait être tamisé pour obtenir une fraction plus fine en cas de besoin.

5.2 ANALYSES CHIMIQUES

Un bref aperçu des méthodes d'analyse est présenté dans les Sections 2.4 et 2.5 du rapport. Le contrôle de qualité

des données d'analyse a représenté une part importante de ce projet, et ceci dans l'objectif de s'assurer de la compatibilité avec les futures études. Les données de contrôle de qualité plus détaillées sont disponibles sur CD-ROM pour chaque Lot. La préparation d'échantillons standards marocains constitue une partie du processus de contrôle, et ces échantillons pourraient être incorporés dans le programme d'analyse de n'importe quelle cartographie géochimique future. Les résultats tolérés pour les échantillons de contrôle MB 1 et MB 3 sont donnés dans l'Annexe B. Il est fortement recommandé pour s'assurer de la cohérence entre les études géochimiques futures de disposer d'une série de matériaux standards de référence.

Le programme analytique pour les analyses des stream-sédiments a été d'une manière générale très satisfaisant, toutefois il est suggéré à ce que certains éléments ne soient plus déterminés de façon routinière d'une part, et d'autre part, il faudrait inclure d'autres éléments. L'or est une omission notable dans le programme d'analyse des stream-sédiments de ce projet. Au, Hg et B pourraient être ajoutés au programme analytique, mais du fait que ces éléments ne peuvent être déterminés avec précision par XRF aux teneurs présentes dans la région, l'ajout de ces éléments alourdiront considérablement les coûts d'analyse.

Les résultats de Te ont été particulièrement décevants, la plupart étant en dessous de la limite de détection. Une méthode d'analyse plus sensible est nécessaire pour obtenir des résultats significatifs en Te.

L'emploi de la très récente technologie ED-XRF a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants pour le projet. Ce système XRF est très compact, d'entretien relativement facile et nécessite peu de conditions particulières. Un tel système XRF (voir photographie 2.4) pourrait facilement être installé au Maroc et assurer une cohérence des résultats dans un programme national de cartographie géochimique. Un alimentateur automatique d'échantillons a été récemment élaboré pour l'appareil, ce qui va permettre de réaliser des analyses en continu et d'accélérer la phase analytique du programme.

La méthode XRF permet de produire diverses analyses totales pour une vaste gamme d'éléments. Ceci fournit une base de données géochimiques très utile aussi bien pour les études environnementales que pour l'exploration. Plusieurs éléments supplémentaires à ceux exigés dans le contrat ont été déterminés. Ils sont inclus dans les CD-ROM des Lots 1 et 2 (Direction de la Géologie, 2001a,b).

Le contrôle de qualité des données d'analyses est décrit dans la Section 2.5. Tous les éléments, excepté le Co, ont été déterminés avec une précision d'analyse satisfaisante. Pour le travail de géochimie régionale, la précision n'a pas besoin d'être très bonne, du fait que c'est beaucoup plus l'identification de résultats élevés que des valeurs précises qui est exigée.

5.3 CIBLES D'EXPLORATION

Les atlas géochimiques contiennent des images géochimiques qu'on peut utiliser pour délimiter la plupart des zones prometteuses pour l'exploration minière. Pour le Lot1, la feuille de Taliwine paraît être la région la plus prometteuse. Les métasédiments PII (pélites noires et séquences volcano-sédimentaires d'arc) jalonnant l'accident majeur anti-atlasique, paraissent être les cibles les plus prometteuses pour l'exploration minière. Dans le Lot 2, les analyses statistiques de la géochimie des différentes lithologies suggéreraient le Précambrien II inférieur et les

granites alcalins du Précambrien II comme cibles prometteuses.

Les séries de cartes mono-élémentaires au 1/100 000 de chaque feuille topographique sont les plus utiles pour la définition de bassins de drainage intéressants à étudier davantage.

Les zones fortement anomaliques sont systématiquement décrites dans les Notices Explicatives, et ces rapports devraient être cités dans l'inventaire des zones potentiellement intéressantes à explorer au Maroc. Ces zones à teneurs élevées ont été définies simplement en utilisant la moyenne plus deux ou trois déviations standards (écart-type), puis par le système SIG MapInfo. Des séries de cartes (cf. section 3.4) combinantes différentes anomalies d'élément indiquent des secteurs où divers types de minéralisation sont présents. De ce fait, ces cartes thématiques sont un outil complémentaire pour définir les zones à explorer. Les zones "matallogéniques" montrées dans les cartes de synthèse géochimique au 1/100 000 sont tout à fait théoriques et doivent être redéfinies avec plus de détails et de précisions géologiques et gîtologiques. Cette étude géochimique est une composante du vaste Plan National de Cartographie Géologique (PNCG). Des informations géologiques et géophysiques récentes sont disponibles maintenant. Elles devraient être combinées avec les résultats de ce projet dans un système SIG pour permettre une approche multidisciplinaire susceptible de définir des cibles à explorer.

5.4 RECOMMANDATIONS POUR LES FUTURES ÉTUDES

1. La méthodologie d'échantillonnage utilisée pour les Lots 1 et 2 devrait être adoptée comme méthode standard pour toute la région de l'Anti-Atlas; c'est à dire une densité d'échantillonnage d'un échantillon par kilomètre carré et l'analyse chimique de la fraction -250μ . La cartographie géochimique régionale dans d'autres régions du Maroc devrait être précédée par une étude d'orientation détaillée permettant de définir la stratégie d'échantillonnage la plus efficace pour chaque zone.
2. L'emploi d'étudiants diplômés en géologie comme échantillonneurs travaillant en équipes et à pied devrait être considéré comme le meilleur moyen pour la collecte d'échantillons. Il permet d'obtenir un groupe d'échantillonneurs expérimentés; ce qui est nécessaire pour attirer des investissements extérieurs dans le domaine de l'exploration minière. Contrairement à l'échantillonnage par hélicoptère, cette méthode fait bénéficier l'économie locale.
3. L'équipe de la Direction de la Géologie devrait être plus impliquée dans la phase d'échantillonnage du projet, dans un rôle de superviseur. Pour un programme national de cartographie, on doit exiger que des géologues marocains expérimentés dirigent les projets d'échantillonnage. Le système du contrat de travail insiste fortement sur la livraison rapide des produits, ce qui n'encourage pas le transfert satisfaisant de connaissance et d'expérience. Des projets bilatéraux pourraient être le moyen le plus satisfaisant pour assurer un plus grand échange de savoir-faire entre le soumissionnaire (ici le BGS) et les géologues marocains.
4. Les échantillons de référence MB1 et MB3 devraient être introduits dans l'analyse des échantillons des

futures zones d'étude, ainsi les données des différents projets pourront être standardisées et fournir une base de données géochimiques nationale unique.

5. Une base de données géochimiques nationale devrait être créée afin de pouvoir rassembler l'ensemble des données géochimiques régionales générées par les différentes études de cartographie géochimique.
6. Il faudrait établir un ensemble plus cohérent de matériaux standards de stream-sédiments marocains. Ceci est essentiel pour assurer une compatibilité à long terme entre les futurs projets de cartographie géochimique.
7. Les concentrés de batée ne devraient pas être utilisés dans la cartographie géochimique régionale, et de ce fait il est recommandé de ne pas les inclure dans les futurs contrats de cartographie. Dans le cas où ils seraient exigés, ils devraient être prélevés à une densité plus grande que celle de ce projet, et éventuellement en tant que projet séparé. Seuls les concentrés de batée provenant de zones reconnues comme étant intéressante par les stream-sédiments devraient être analysés.
8. Au et Hg devraient être déterminés systématiquement dans tous les stream-sédiments. Te a besoin d'être dosé par une méthode permettant une plus basse limite de détection (c.-à-d. $< 0,7 \mu\text{g/g}$), sans cela presque tous les échantillons seront en dessous du seuil.
9. Le Spectra ED-XRF est fortement recommandé pour les analyses chimiques. Cet appareil de petite taille nécessite une simple installation, avec principalement de l'électricité et une source d'approvisionnement en azote liquide pour le refroidissement La machine pourrait être rapidement montée au Maroc.
10. La plus grande partie des produits finaux de ce projet est constituée par des cartes imprimées. Ceci a nécessité beaucoup de temps et d'argent. Trop de temps a été consacré à des petits détails non techniques (p.ex. taille et position des logos), quand plus d'attention aurait du être accordée au contenu scientifique. Il aurait été préférable de mettre l'accent sur les produits numériques générés par ce projet et qui sont disponibles sur les CD-ROM.
11. Les cartes mono-élémentaires à l'échelle 1/100 000 constituent un outil idéal pour la planification des travaux de suivi. Les images de l'atlas géochimique à plus petite échelle donnent une vue d'ensemble régionale de la géologie, des structures et des provinces métallogéniques. La série de cartes de contours en couleur apporte très peu d'informations supplémentaires. Bien que ce soit un produit attrayant par ses couleurs, c'est une représentation déformée de la géochimie des bassins de drainage. Il est recommandé de ne plus exiger ce type de carte dans les futurs contrats.
12. Les cartes de synthèse géochimique ont été réalisées à l'échelle 1/100 000. Ces cartes auraient été meilleures à une échelle plus petite, car le degrés de précision des informations géologiques et gîtologiques disponibles ne permet pas de définir avec exactitude des zones cibles.
13. Un petit nombre de chaque type de carte a été produit pour la Direction de la Géologie. Cependant, la DG n'a ni les logiciels ni le matériel nécessaires pour réaliser des cartes d'une telle qualité. La DG devrait donc exiger dans chaque contrat un nombre plus important de cartes ou, ce qui serait la meilleure solution, s'équiper et développer le savoir-faire pour produire des cartes similaires. L'impression d'une grande quantité de ce genre de carte n'est pas très coûteuse, mais il est beaucoup plus préférable de les produire à la demande.
14. Un local destiné au stockage de toutes les poudres d'échantillons en surplus provenant des divers projets de cartographie géochimique devra être créé. Ces échantillons seront de ce fait disponibles pour d'autres analyses et études. Le travail d'orientation devrait faire l'objet d'une publication dans une revue géochimique internationale.
15. Les données géochimiques de ce travail pourraient être utilisées dans le cadre de nombreuses études post-universitaires, en particulier pour étudier le comportement des éléments chimiques en environnement semi-aride. Un des projets pourrait être l'étude du rapport Ti/Zr comme moyen de détermination de la proportion de sédiments éoliens (une zone de travail est décrite dans le rapport d'orientation).
16. Les résultats de cette étude devraient être intégrés dans les nouvelles données géophysiques et géologiques générées par les autres projets du Plan National de Cartographie Géologique (PNCG). L'actuelle base de données des gîtes minéraux est pauvre et les localisations doivent être précisées avec exactitude.
17. La plupart des sociétés minières internationales utilisent l'anglais comme langue de travail. Dans l'objectif d'intéresser plus d'investisseurs étrangers, les rapports devraient contenir des textes en anglais et les cartes des sous-titres en anglais.
18. Un système unique standardisé est nécessaire pour les coordonnées X/Y des emplacements des sites. Bien que les coordonnées géographiques (longitude et latitude) soient probablement les mieux adaptées pour une utilisation à l'échelle nationale, il est de loin plus facile d'utiliser le système métrique.
19. Les échantillons de contrôle ont démontré la validité de la stratégie d'échantillonnage, du fait que la variabilité entre sites est bien inférieure à la variabilité dans un même site. Cependant aucune information concernant les variations saisonnières en géochimie stream-sédiment n'est disponible. Un projet spécifique est nécessaire pour étudier les changements intervenant sur une longue période, ce qui ne peut être réalisé dans le cadre d'un contrat de travail aussi court.

6 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENHIDA, K. (2000). Synthèse géologique et gîtologique des feuilles topographiques au 1/100 000 de Taliwine - Taznakht et Agadir Melloul (Lot 1), Anti-Atlas, Maroc. *Geopole Bureau d'étude - Rapport confidentiel préparé à l'intention du BGS.*
- BGS. (1999). Résultats de l'étude d'orientation et analyses chimiques des stream - sédiments dans le domaine de l'Anti-Atlas (Maroc). *British Geological Survey - Rapport confidentiel préparé à l'intention de la Direction de la Géologie, Rabat.*
- CHUBERT, G., DESTOMBES, J & GAUTHIER, H. (1980). Carte géologique de l'Anti-Atlas, feuilles de Dadès et Sagro au 1/200 000 + notice. *Notes & M. Serv. géol. Maroc N° 161.*
- DEMBÉLÉ, H. (2000). Synthèse géologique et gîtologique des feuilles topographiques au 1/100 000 de Qalaa't Mgouna et Boumalne (Lot 2), Anti-Atlas, Maroc. *Geopole Bureau d'étude - Rapport confidentiel préparé à l'intention du BGS.*
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2000a). Carte géochimique du Maroc - Feuille de Boumalne au 1/100 000.
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2000b). Carte géochimique du Maroc - Feuille de Qalaa't Mgouna au 1/100 000.
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2000c). Carte géochimique du Maroc - Feuille de Taznakht au 1/100 000.
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2000d). Carte géochimique du Maroc - Feuille de Taliwine au 1/100 000.
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2000e). Carte géochimique du Maroc - Feuille d'Agadir Melloul au 1/100 000.
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001a). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques du Lot 1(feilles de Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul) - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001b). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques du Lot 2 (Feuilles de Boumalne et Qalaa't Mgouna) - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001c). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille de Boumalne au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001d). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille de Qalaa't Mgouna au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001e). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille de Taliwine au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001f). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille de Taliwine au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*
- DIRECTION DE LA GÉOLOGIE. (2001g). CD-ROM des résultats géochimiques des stream-sédiments + données numériques de la feuille d'Agadir Melloul au 1/100 000 - *British Geological Survey - Marché N° 8:97-98/DG.*
- JOHNSON, C. C. (2001a). Atlas géochimique régional - feuilles de Taznakht, Taliwine et Agadir Melloul. *British Geological Survey Commissioned Report Series, No.CR/01/033.*
- JOHNSON, C. C. (2001b). Atlas géochimique régional - feuilles de Boumalne et Qalaa't Mgouna. *British Geological Survey Commissioned Report Series, No.CR/01/034.*
- JOHNSON, C. C. (2001c). Carte géochimique du Maroc - Notice explicative de la feuille de Taznakht au 1/100 000 - *British Geological Survey Commissioned Report Series, No.CR/01/028.*
- JOHNSON, C. C. (2001d). Carte géochimique du Maroc - Notice explicative de la feuille de Taliwine au 1/100 000 - *British Geological Survey Commission Report Series, No.CR/01/029.*
- JOHNSON, C. C. (2001e). Carte géochimique du Maroc - Notice explicative de la feuille d'Agadir Melloul au 1/100 000. *British Geological Survey Commissioned Report Series, No.CR/01/030.*
- JOHNSON, C. C. (2001f). Carte géochimique du Maroc - Notice explicative de la feuille de Boumalne au 1/100 000. *British Geological Survey Commissioned Report Series, No.CR/01/026.*
- JOHNSON, C. C. (2001g). Carte géochimique du Maroc - Notice explicative de la feuille de Qalaa't Mgouna au 1/100 000. *British Geological Survey Commissioned Report Series, No.CR/01/027.*
- PNUD/BRPM. (1973). Mineral Survey in the Anti-Atlas. Geochemical general report. *BRPM (431.172), Gal-23 - Rapport inédit.*
- SAADI, M., HILALI, E. A. & BENSALD, M. (1975). Carte structurale du Maroc au 1/200.000 - *Notes & M. Serv. géol. Maroc N° 278.*

ANNEXE A: PROCEDURES DE PRÉLÈVEMENT DES ECHANTILLONS DE DRAINAGE

Les procédures de traçage de cartes géochimiques régionales sont basées sur celles utilisées dans le programme G-BASE au Royaume-Uni. Elles sont adaptées pour leur application au Maroc et seront modifiées suivant les besoins au fur et à mesure de l'expérience acquise pendant la phase principale du prélèvement des échantillons. Le personnel clef dans les diverses procédures est constitué par des "Voluntary Workers", géologues diplômés cherchant à acquérir de l'expérience dans les techniques d'exploration. Ils sont désignés ci-après par les initiales VW.

Le personnel de la Direction de La Géologie, avec l'accord du Chef du Service de la Géochimie, sera affecté aux équipes de prélèvement d'échantillons pendant une période spécifique dans l'objectif de se familiariser avec toutes les procédures présentées ci-dessous.

A.1 HYGIENE ET SÉCURITÉ

Les Chefs d'équipe sont responsables de l'hygiène et de la sécurité des membres de l'équipe. Les informations concernant les questions d'hygiène et de sécurité seront communiquées aux VW avant de commencer le travail.

Le contenu des troussees de premiers secours et de sécurité doit être expliqué aux VW. Ces troussees doivent rester en tous temps dans les sacs à dos de terrain. Les VW devraient posséder des connaissances fondamentales pratiques en premiers soins d'urgence, telles que position de rétablissement, réanimation, pose d'attelles. Les signaux de détresse conventionnels internationaux devront être exposés.

Le prélèvement des échantillons doit toujours s'effectuer à deux personnes. Il est important d'insister auprès des binômes chargés de l'échantillonnage, sur la nécessité de rester ensemble en permanence au cours de la journée.

A.2 FORMATION DES AGENTS VW/ECHANTILLONNEURS

Les échantillonneurs devront recevoir une formation adéquate dans tous les aspects du prélèvement d'échantillons géochimiques avant qu'il ne leur soit demandé de commencer le travail systématique.

La formation sera officiellement entreprise le lendemain du rassemblement du groupe de terrain. Par conséquent, aucune autre activité ne devrait être prévue. Il est conseillé de sélectionner un cours de formation approprié avant la pratique.

Les VW doivent bien connaître le plan de situation et comprendre le protocole nécessaire pour compléter une carte de données de site sur le terrain. Le personnel devrait s'assurer de la compétence de chaque membre de l'équipe en matière de cartes de données de terrain. Les VW qui jugeront ceci particulièrement problématique pourront demander une prorogation de formation individuelle (peu de VW compléteront cette étape sans commettre de faute sur les cartes de données terrain au cours des premiers

jours sur le terrain). Les VW doivent bien connaître les différents réseaux cartographiques utilisés. Ils doivent également savoir lire et créer des références de cartes. Chaque site de prélèvement d'échantillons doit être positionné en utilisant un instrument GPS. Les VW doivent être formés sur la manière d'enregistrer un changement avec une précision optimale. La manière conventionnelle de situer une position sur une carte à l'aide d'une boussole doit également être apprise.

La procédure complète d'échantillonnage d'un site, consistant à rassembler un échantillon de stream sédiment et un concentré de minéraux lourds, devrait être démontrée par des membres du personnel et/ou par des VW expérimentés. Cette procédure devrait inclure le remplissage d'une carte de données de site sur le terrain ainsi que l'enregistrement de toutes les observations de site. Les VW devraient ensuite se séparer en groupes de deux et répéter le processus de prélèvement, le chef d'équipe observe et donne des conseils. D'une manière générale, 3 à 4 heures devraient être accordées pour cette phase de formation. Le traitement à la batée des concentrés en terrain aride, comme celui du Maroc, exigera qu'une formation dans cette activité ait lieu loin du site d'échantillonnage, à proximité d'une source d'eau.

Une fois que les chefs d'équipe seront satisfaits et que tous les VW sont raisonnablement compétents dans le prélèvement d'échantillons, le groupe reviendra à la base pour une pause et pour un récapitulatif global. Lorsque la campagne d'échantillonnage commencera, les membres du personnel, ou d'autres VW expérimentés, devraient être chargés de surveiller les VW sur le terrain pendant les premiers jours. En ce qui concerne la campagne au Maroc, cette tâche sera confiée à plusieurs étudiants échantillonneurs expérimentés provenant du Royaume-Uni que BGS fournira.

A.3 PLANIFICATION DE LA CAMPAGNE

A.3.1 Planification globale

Une planification détaillée est effectuée bien avant que le travail de terrain ne commence.

Ceci est essentiel afin de pouvoir identifier le placement sur le terrain et les limites de prélèvement des échantillons. Le nombre total exact d'échantillons doit être calculé afin de déterminer la durée de la période de terrain et de sous-diviser efficacement la région.

Le programme des sites planifiés est effectué sur des copies plates en couleur des feuilles au 1/50 000 ou au 1/100 000. Les cartes en noir et blanc ne conviennent pas pour cette opération, étant donné que dans la plupart des cas, les caractéristiques topographiques différentes se distinguent par les couleurs.

Les sites de sédiments doivent être prévus à une densité de 1 point par km carré et là où le drainage en surface est bien défini. Les sites devraient être principalement situés sur des cours d'eau de premier et second ordre, et disposés en amont des sources évidentes de contamination, tels

qu'intersections routières et bâtiments. Il conviendra également de veiller à ce que les sites soient prévus en amont des confluent afin de minimiser les effets causés par le mélange des sédiments et la dispersion en amont.

Une fois toute la planification entreprise et les limites établies, un jeu complet de cartes en duplicata devra être préparé afin de s'assurer que les deux parties sur le terrain ont bien compris la sous-division d'échantillonnage.

A.3.2 Planification — quotidienne

La planification quotidienne dépend du type d'échantillons ramassés et du terrain échantillonné. Dans les régions montagneuses au relief varié, seuls des échantillons de sédiments seront prélevés. Dans ce cas, un maximum de neuf sites par binôme d'échantillonneurs est prévu.

Etablir à l'avance le plan détaillé de toutes les journées d'une base particulière est une bonne procédure. Ceci est réalisé en plaçant les sites par groupes pratiques et sensés: relief, route, grandes rivières et points appropriés pour emprunter les ponts devraient entrer en ligne de compte. Cette étape doit être méticuleusement effectuée afin de faciliter le déroulement journalier du programme sur le terrain.

Les cartes des sites de terrain devraient être préparées un jour à l'avance afin de permettre aux VW de se familiariser avec la région et d'y intégrer les données géologiques et d'accès appropriés.

A.4 ATTRIBUTION DES FICHES DE TERRAIN — LISTES DE NUMÉROS SÉQUENTIELS

Les fiches de terrain sont attribuées suivant une des quatre listes de numéros au hasard - numérotation séquentielle - (RNL: "Random Number List"), deux pour chaque équipe de terrain. Un exemple d'une liste de numéros séquentiels est présentée dans la figure A.1. Une équipe de terrain utilisera 1 & 2 de RNL et l'autre A & B de RNL. Les deux listes RNL attribuées à chaque groupe de terrain devraient être utilisées en alternance pour les 100 consécutives.

Les fiches de terrain sont pré-numérotées et triées par ordre correspondant à la RNL associée. Les RNL tiennent également lieu de listes de contrôle d'échantillons de terrain, et sont par conséquent de très importants documents. Les cartes ne doivent en aucun cas être émises sans faire référence à la RNL.

Les nombres aléatoires figurent au verso des listes RNL. Les fiches de terrain devraient être émises à partir du premier numéro disponible (non utilisé). La première fiche dans la boîte de rangement devrait correspondre au premier numéro disponible sur la liste. Compter le nombre de sites attribués à la paire d'échantillonneurs et attribuer les fiches par ordre. Sur la RNL, il faut indiquer le binôme d'échantillonneurs ayant reçu chaque jeu de fiches ainsi que la date. Il est essentiel que les fiches puissent être attribuées aux échantillonneurs. Il s'agit peut-être de la seule manière de corriger les erreurs de numérotation sur le terrain, et ainsi que d'autres fautes.

En fin de la journée de prise d'échantillons, les fiches devraient être récupérées et redistribuées. Lorsque ceci se produit, les initiales du nouveau binôme d'échantillonneurs devraient être marquées à côté du numéro sur la RNL, et la nouvelle date d'émission indiquée. Cette procédure garantit que toutes les fiches de terrain dans chaque centaine (100) ont actuellement un échantillon associé.

Pour toutes les 100 fiches, il existe une paire en duplicata de terrain. Ces fiches devraient être attribuées

ensemble en UN site. L'examen des zones actuelles d'échantillonnage devrait être effectué avant d'attribuer le site en double, car ceci ajoutera sans aucun doute 30-40 minutes à la journée du binôme d'échantillonneurs.

Vérifier que les fiches attribuées aux "STD" et "Reps" ne sont pas émises par erreur. Les erreurs pouvant être identifiées sur la RNL doivent être rectifiées immédiatement.

A.5 VALIDATION DES FICHES DE DONNÉES DE TERRAIN

Les VW doivent être encouragés à vérifier sérieusement leurs fiches de données avant de les remettre à la fin de chaque journée. Les références de réseau et les données de terrain sont particulièrement sujettes à erreur. La référence du réseau enregistrée sur chaque fiche de terrain doit être vérifiée par rapport au changement enregistré dans la mémoire GPS.

Le personnel devrait désigner un endroit où les VW pourront déposer les fiches de données, ainsi que les carnets 'Filofax', les plans de terrain, les crayons et les feuilles utilisés ce jour-là. Ceci afin d'éviter au personnel de gaspiller du temps chaque matin en essayant de repérer les fiches de terrain du jour précédent.

En premier lieu, vérifier que le nombre de fiches rendues correspond au nombre de fiches émises, enlever les fiches non utilisées et en établir les raisons. Il est utile que les VW indiquent sur la fiche de terrain les raisons pour lesquelles les échantillons n'ont pas été prélevés. Vérifier chaque fiche, l'une après l'autre, d'après la carte géographique et l'instrument GSP afin d'établir l'emplacement correct.

Vérifier que toutes les autres inscriptions sur la fiche sont correctes, en particulier les codes et les abréviations.

Une fois la vérification terminée, les fiches seront ordonnées par ordre numérique avant l'enregistrement des informations dans la base de données.

Les erreurs commises sur les fiches devraient être inscrites par les agents VW responsables. Il est important de régler les problèmes dès le début. Une fois que des habitudes sont prises, il est difficile de les **changer**, en particulier les mauvaises!

Il convient de maintenir à jour la base de données et de ne pas laisser s'accumuler un arriéré de fiches non enregistrées. Ceci afin d'éviter toute confusion pendant les changements de personnel et de faciliter l'établissement d'une routine quotidienne de travail. Une fois, toutes les données mémorisées, les fiches devront être recombinaisonnées (par centaine) dans les boîtes de rangement.

A.6 EQUIPEMENT À TRANSPORTER PAR LES AGENTS VW SUR LE TERRAIN

Le personnel devrait s'assurer que les agents VW disposent de l'équipement complet pour chaque journée de terrain. Chaque binôme d'échantillonneurs devrait posséder:

1. Instrument GPS
2. Boussole
3. Sifflet
4. "Objectif" portable
5. Trousse de premiers soins
6. Sac de survie en polythène
7. Ensemble de crible, 1 batée

8. Pelle
9. Carte topographique avec sites marqués
10. Filofax avec cartes de terrain et numéro de téléphone mobile
11. Sachet d'échantillon en polytène à fermeture avec emplacement pour écriture.
12. 10 x 14" auto-collants de réserve.
13. Crayons rouges et noirs, plus crayons de réserve.
14. Deux sacs à dos pour transport d'échantillons
15. 2 Marteaux de géologues ½lb
16. Torche et piles
17. Bouteilles d'eau
18. Peinture pour marquer les sites

A.7 ECHANTILLONNAGE DE DRAINAGE

A.7.1 Sélection du site

A effectuer par les agents VW

Le site à échantillonner devrait être situé le plus proche possible du site présélectionné et indiqué sur la carte géographique, pour autant que les conditions de surface le permettent. La contamination évidente doit être évitée, ex: localiser les sites au-dessus des intersections de routes/cours d'eau. Tous les efforts doivent être faits pour prélever le sédiment en lit vif au milieu du chenal.

A.7.2 Echantillons de drainage : prélèvement de stream-sédiment et de concentré des minéraux lourds

A effectuer par les agents VW

Chaque échantillon de sédiment doit comprendre un composite de cinq petites prises prélevées sur une distance de 20 à 25 m dans le lit vif du cours d'eau. Chacune des petites prises devrait être prélevée aussi près que possible du centre du chenal de drainage.

Un échantillon de concentré des minéraux lourds doit être prélevé dans 10% des sites des stream-sédiments. Un composite suffisant de matériaux de 2000 µ pour remplir un grand sac de polythène résistant à 'refermeture' doit être prélevé dans les cinq sites le long du chenal.

Les mains doivent être propres et exemptes de bijoux, pansements adhésifs, crème ou lotion pour les mains

1. Echantillonneur 1

Positionner de façon stable sur la batée grise en fibre de verre le jeu de tamisage comprenant deux cadres circulaires en bois prévus avec tissu filtrant en Nylon à maille 2000 µm et 250 µm dans les tamis supérieur et inférieur respectivement. La batée et les tamis doivent être propres et exempts de toute matière particulière avant le commencement de l'opération.

Enlever la matière superficielle éolienne ou croûte de sel (approximativement 2-5 cm) à l'aide de la pelle. Remplir le tamis supérieur de sédiment grossièrement trié. 15-25 kg de matériel seront normalement nécessaires.

2. Echantillonneur 2

Au fur et à mesure que le remplissage se poursuit, frotter le matériau contre le tamis supérieur, en fournissant suffisamment de sédiments -2000 µ dans le deuxième tamis pour produire la quantité adéquate -250 µ (normalement 200-300 g). Enlever le tamis supérieur. Frotter doucement le matériau -2000 µ dans le tamis inférieur, en forçant la fine matière fractionnée -250 µ dans la batée collectrice.

3. Echantillonneur 1

Après avoir creusé suffisamment les sédiments pour pouvoir échantillonner le stream sédiment et le concentré des minéraux lourds, transférer le numéro d'échantillon de la carte pré-numérotée sur tous les conteneurs d'échantillons requis pour ce site particulier, en utilisant le crayon marqueur Pentel. De plus, au-dessous du numéro d'échantillon, le code de type d'échantillon devrait être marqué (C pour sédiments, P pour concentrés de batée); au-dessous du code de type d'échantillon, les initiales du binôme d'échantillonneurs devraient être apposées avec celles de la personne complétant la carte de données. A l'aide d'un crayon à bille rouge, marquer l'emplacement exact sur la carte topographique en traçant une petite ligne perpendiculaire à l'écoulement du cours d'eau. Compléter les détails de la fiche de terrain au crayon à bille rouge.

Transférer minutieusement la fine matière fractionnée-250 µ dans le sac à échantillon.

En ce qui concerne les échantillons de concentrés à la batée, 10 kg au moins doivent être prélevés dans un sac plastique doublé, qui seront ramenés au camp de base pour traitement à la batée.

Le numéro du site d'échantillonnage devrait être inscrit à la peinture sur un affleurement de roche voisin ou un petit tas de pierres.

A.8 ECHANTILLONNAGE DOUBLE

A effectuer par les agents VW

1. Un site dans chaque lot de 100 est désigné pour le prélèvement d'un échantillon double de terrain. Une paire spécifique de numéros d'échantillons, et de fiches de terrain, sont attribuées à cet échantillon et à son double.

2. Dans le site, l'échantillon double devrait être prélevé à moins de 25 m de l'original. Les doubles sont normalement étiquetés avec le numéro attribué approprié.

A.9 CONTROLE DES ÉCHANTILLONS

A effectuer par le personnel ou des super-agents VW

Les échantillons prélevés sur le terrain par les agents VW doivent être vérifiés chaque jour puis re-vérifiés avant d'être expédiés de la base de terrain.

A.9.1 Vérification journalière

a. A leur retour, chaque binôme d'échantillonneurs devrait arranger leurs échantillons en ordre numérique ascendant (de gauche → à droite).

b. La vérification devrait être effectuée par le Chef d'équipe ou le Chef d'équipe adjoint et, chaque fois que possible, par deux personnes ; la première vérifiant à haute voix les numéros marqués sur les échantillons, la deuxième cochant la liste de contrôle.

c. Avant de cocher la liste de contrôle, le numéro et le code du type-échantillon de chaque échantillon devraient être vérifiés pour contrôler la lisibilité et toute autre anomalie évidente vis-à-vis d'autres échantillons provenant de ce site. Les corrections doivent être effectuées clairement au crayon marqueur noir.

d. Les listes de contrôle comportent quatre variations (correspondant à RNL 1, 2, A ou B). Les numéros et types-échantillons devraient être énoncés et cochés d'un trait diagonal sur le devant des listes de contrôle d'échantillons.

e. Si un échantillon a été préalablement coché, le problème devra être résolu immédiatement. En premier lieu, en se référant au verso de la liste de contrôle, établir si le numéro d'échantillons a été émis à l'échantillonneur en question. Dans ce cas, le problème concerne une suite d'échantillons incorrectement numérotés antérieurement, ce dernier devant être retrouvé et renuméroté. Réciproquement, si l'échantillonneur n'a pas reçu le numéro d'échantillon, ce dernier aura probablement été mal transcrit dans la fiche de terrain et devrait être vérifié. Il peut arriver que deux fiches de terrain soient numérotées incorrectement de la même manière ; dans ce cas, un jeu d'échantillons et la fiche de terrain/plan doivent être renumérotés.

f. Les échantillons, une fois cochés, devraient immédiatement être rangés dans des conteneurs de stockage appropriés.

g. S'occuper immédiatement des échantillons de sédiment/batée devant être remis dans les sacs.

A.9.2 Revérification:

a. A l'achèvement de chaque lot de cent échantillons, chaque numéro d'échantillon devrait être revérifié avant l'expédition de la base de terrain. Cette opération est effectuée le plus efficacement possible par deux personnes, l'une d'entre elles devrait être le Chef d'équipe ou le Chef d'équipe adjoint.

b. Pour chaque type d'échantillon, l'échantillon individuel devrait être identifié et vérifié sur la liste des numéros d'échantillons (avec un trait diagonal perpendiculaire à l'original).

c. Tout étiquetage incertain devrait être rectifié immédiatement.

d. Les anomalies devraient être rectifiées en se référant aux listes de contrôle, cartes de terrains, cartes géographiques et initiales sur les paquets échantillons. Au cas où deux échantillons seraient numérotés de la même manière, il n'est pas possible de résoudre le problème et les deux échantillons devront alors être jetés et un autre sera à nouveau prélevé sur le(s) site(s) approprié(s).

A.10 STOCKAGE DES ÉCHANTILLONS

A garder par le Chef d'équipe ou le Chef d'équipe adjoint

La sécurité des échantillons a une grande importance. Les échantillons devraient être entreposés en lieu sûr, aucun accès ne devrait être permis sans l'autorisation préalable du Chef d'équipe ou de son adjoint.

1. Stream sédiments:

Après avoir été cochés, les échantillons de stream sédiments devraient être soigneusement entreposés avant le regroupement prévu le lendemain à la base de terrain.

2. Concentrés de batée:

Les sacs des batées devraient être entreposés en lots de 100 dans un sac en plastique à auto-fermeture clairement étiqueté. L'étiquetage devrait indiquer le type d'échantillon et la gamme de numéros.

MOROCCO GEOCHEMICAL MAPPING PROJECT (MGMP) Random List A

Area	Area Code	Sample Numbers
Lot 1		

No.	Pair	Date									
26			90			49			66		
70			52			29			82		
71			57			99			25		
10			84			95			17		
39			12			80			14		
09			88			22			18		
46			51			61			01		
37			36			92			02		
23			56			04			11		
79			59			64			65		
94			19			53			48		
43			60			72			74		
83			81			55			24		
15			89			96			27		
07			20			67			41		
28			47			93			62		
91			06			77			58		
69			78			63			30		
05			98			32			08		
75			34			03			85	DupA	
50			73			86			45	DupB	
21			13			33			35	RepA	
87			38			16			54	RepB	
40			68			42			100	STD1	
44			31			76			97	STD2	

01/04/99

Tableau A.1: Exemple d'une liste de numéros aléatoires

ANNEXE B: VALEURS TOLEREES POUR LES REFERENCES STANDARDS MB1 ET MB3

MB1

	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe ₂ O ₃	Li	MnO	Mo	Nb
moyenne (x)	0,33	9,34	903,93	1,15	0,74	0,29	18,82	56,13	18,20	7,449	15,95	0,064	4,19	25,52
Ecart type (σ)	0,19	0,77	18,20	0,28	0,05	0,12	0,51	4,39	1,72	0,088	1,19	0,001	0,77	0,72
(x + 2σ)	0,70	10,88	940,33	1,72	0,83	0,53	19,84	64,90	21,65	7,624	18,32	0,066	5,73	26,96
(x - 2σ)	-0,04	7,79	867,52	0,58	0,64	0,06	17,80	47,35	14,76	7,274	13,58	0,062	2,64	24,08

	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	Te	Th	TiO ₂	U	V	W	Y	Zn	Zr
moyenne (x)	11,94	18,60	1,02	2,90	368,32	0,67	7,16	1,466	5,63	125,44	2,00	31,29	49,02	1168,41
Ecart type (σ)	2,10	0,94	0,46	0,55	4,69	0,00	2,30	0,021	1,24	6,62	0,08	0,90	1,70	22,09
(x + 2σ)	16,15	20,48	1,94	4,01	377,71	0,67	11,76	1,509	8,11	138,68	2,17	33,09	52,43	1212,59
(x - 2σ)	7,73	16,72	0,10	1,79	358,94	0,67	2,57	1,424	3,16	112,19	1,83	29,50	45,61	1124,22

MB3

	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe ₂ O ₃	Li	MnO	Mo	Nb
moyenne (x)	0,46	92,95	780,30	1,83	0,86	0,30	17,73	67,52	59,97	7,211	53,83	0,121	2,08	13,93
Ecart type (σ)	0,36	1,56	15,65	0,20	0,04	0,11	1,02	4,55	2,70	0,075	3,69	0,002	0,57	0,48
(x + 2σ)	1,19	96,07	811,60	2,23	0,93	0,53	19,78	76,62	65,37	7,361	61,21	0,124	3,22	14,88
(x - 2σ)	-0,27	89,82	749,00	1,43	0,79	0,08	15,69	58,43	54,58	7,060	46,45	0,117	0,94	12,98

	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	Te	Th	TiO ₂	U	V	W	Y	Zn	Zr
moyenne (x)	16,84	36,55	6,20	3,42	189,03	0,67	21,40	0,724	5,20	113,39	2,38	25,08	195,56	544,93
Ecart type (σ)	2,55	1,37	0,62	0,53	2,17	0,00	3,29	0,012	1,95	4,26	0,25	0,60	2,94	9,88
(x + 2σ)	21,94	39,30	7,45	4,49	193,37	0,67	27,97	0,748	9,11	121,91	2,89	26,28	201,43	564,69
(x - 2σ)	11,74	33,80	4,96	2,36	184,69	0,67	14,83	0,701	1,30	104,87	1,87	23,88	189,68	525,16

Tableau B.1: Valeurs tolérées pour MB1 et MB3

Le tableau ci-dessus indique les valeurs tolérées pour les deux échantillons de références (étalons géochimiques régionaux) du Maroc, MB1 et MB3. Ces échantillons ont été collectés au cours de l'étude d'orientation (BGS, 1999). Ils ont été analysés de façon répétitive durant la période d'analyse (cf. Section 2.5.3). Toutes les teneurs sont en µg/g, à l'exception de Fe₂O₃, TiO₂ et MnO qui sont en %. Les résultats de MB1 sont basés sur 79 déterminations réalisées sur les lots du laboratoire numérotés de 06226 à 06391. Les résultats de MB3 sont basés sur 82 déterminations réalisées sur les lots du laboratoire numérotés de 06226 à 06391.

ANNEXE C: DÉFINITIONS DES TABLEAUX DES BASES DE DONNÉES ACCESS

Toutes les données de terrain, les données d'analyses et les informations sur les occurrences minérales ont été stockées dans les bases de données MS ACCESS 97. Un pour Lot 1 (lot1.mdb) et des autres pour Lot 2 (lot2.mdb).. Ces ci sont

sous forme digitale dans le CD-ROM (Direction de la Géologie, 2001a, b). Les définitions des tableaux de la base de donnée sont les suivantes:

Nom	Information	Type	Length
LOT2			
<i>Def. Updatable:</i>	<i>True</i>		
<i>Date Created:</i>	<i>30/06/99 11:53:38</i>		
<i>Last Updated:</i>	<i>11/01/00 16:52:22</i>		
<i>RecordCount:</i>	<i>5439</i>		
<i>OrderBy:</i>	<i>LOT2.[Numéro de emplacement]</i>		
<i>OrderByOn:</i>	<i>True</i>		
Nom de la carte		Text	255
Date		Date/Time	8
GPS		Number (Double)	8
Préleveur d'échantillon A		Text	255
Préleveur d'échantillon B		Text	255
Code d'area		Text	255
Numéro de emplacement		Number (Double)	8
Double		Yes/No	1
Numéro de double		Number (Double)	8
Type d'échantillon		Text	255
Latitude		Number (Double)	8
Longitude		Number (Double)	8
Easting_X		Number (Double)	8
Northing_Y		Number (Double)	8
Ordre fluvial		Number (Double)	8
Regime du cours d'eau		Number (Double)	8
Dimension du cours d'eau		Number (Double)	8
Temps		Number (Double)	8
Contamination		Yes/No	1
Code de contamination		Text	255
Code d'usage de terre		Number (Double)	8
Code des mineraux		Text	255
Mineraux des bateés		Text	255
Types des roches		Text	255
Notes		Text	255

Tableau C.1: Table de définition ACCESS de la base de données de terrain

Name	Information	Type	Length
XRFdata			
<i>Def.</i>	<i>True</i>		
<i>Date Created:</i>	<i>19/11/99</i>		
<i>Last Updated:</i>	<i>12/01/00</i>		
<i>RecordCount:</i>	<i>6440</i>		
<i>OrderByOn:</i>	<i>False</i>		
LabBatch		Text	255
Lot		Text	255
Sampnumb		Number	8
Na2O		Number	8
MgO		Number	8
SiO2		Number	8
K2O		Number	8
CaO		Number	8
TiO2		Number	8
V		Number	8
Cr		Number	8
MnO		Number	8
Fe2O3		Number	8
Co		Number	8
Ni		Number	8
Cu		Number	8
Zn		Number	8
Ga		Number	8
As		Number	8
Rb		Number	8
Sr		Number	8
Y		Number	8
Zr		Number	8
Nb		Number	8
Mo		Number	8
Ag		Number	8
Cd		Number	8
Sn		Number	8
Sb		Number	8
Te		Number	8
I		Number	8
Ba		Number	8
W		Number	8
Hg		Number	8
Pb		Number	8
Bi		Number	8
Th		Number	8
U		Number	8

Tableau C.2: Table de définition ACCESS des données d'analyse XRF stream- sédiment

Name	Information	Type	Length
BeLidata			
<i>Def.</i>	<i>True</i>		
<i>Date Created:</i>	<i>02/12/99</i>		
<i>Last Updated:</i>	<i>12/01/00</i>		
<i>RecordCount:</i>	<i>5890</i>		
<i>OrderByOn:</i>	<i>False</i>		
Lot		Text	255
Sampnumb		Number	8
Be		Number	8
Li		Number	8
BGStd		Text	255

Tableau C.3: Table de définition ACCESS de la base de données Be et Li (stream-sédiment)

Name	Information	Type	Length
AuHgpan			
<i>Def.</i>	<i>True</i>		
<i>Date Created:</i>	<i>07/07/00</i>		
<i>Last Updated:</i>	<i>07/07/00</i>		
<i>RecordCount:</i>	<i>515</i>		
Sampnumb		Number	8
Au		Number	8
Hg		Number	8

Tableau C.4: Table de définition ACCESS de la base de données Au et Hg (concentrés de batée)

Name	Information	Type	Length
XRFpans			
<i>Def.</i>	<i>True</i>		
<i>Date Created:</i>	<i>06/07/00</i>		
<i>Last Updated:</i>	<i>06/07/00</i>		
<i>RecordCount:</i>	<i>515</i>		
<i>OrderByOn:</i>	<i>False</i>		
LabBatch		Text	255
Lot		Text	255
Sampnumb		Number	8
Na2O		Number	8
MgO		Number	8
Al2O3		Number	8
SiO2		Number	8
K2O		Number	8
CaO		Number	8
TiO2		Number	8
V		Number	8
Cr		Number	8
MnO		Number	8
Fe2O3		Number	8
Co		Number	8
Ni		Number	8
Cu		Number	8
Zn		Number	8
As		Number	8
Rb		Number	8
Sr		Number	8
Y		Number	8
Zr		Number	8
Nb		Number	8
Mo		Number	8
Ag		Number	8
Cd		Number	8
Sn		Number	8
Sb		Number	8
Ba		Number	8
Ce		Number	8
Ta		Number	8
W		Number	8
HgX		Number	8
Pb		Number	8
Bi		Number	8
Th		Number	8
U		Number	8

Tableau C.5: Table de définition ACCESS de la base de données des analyses XRF des concentrés de batée

ANNEXE D: TABLEAU DES OCCURRENCES MINERALES

LOT 1

1. TALIWINE

No	Nom	Substance	X	Y	Morphologie	Age	Nature
1	Tanemaguelt Kebir *	Fe	253400	432300	Amas lenticulaire	PIII	Conglomérats et tufs
2	Talat n'Bour	Au (Cu)	264000	437900	Veines	PII	Granodiorite
3	Imoghsane	Mo (Cu)	264000	438500	Veinules (brèches)	PIII	Granite alcalin
4	Amzarkou *	Mn	267500	441300	Couche stratiforme	Crétacé	Grés dolomitique
5	Bou Maden	Cu (Pb)	274300	438000	Filons	PIII	Andésites et granite
6	~~~~	Pb (Ag)	274700	438500	Veinules	PIII	Andésites
7	Iguerdi-n-Tissikht	Mn	276900	439700	Couche stratiforme	Crétacé	Calcaires
8	~~~~	Pb	280700	440200	Filon (faille)	PIII	Ignimbrites
9	Aghbalou-n-Tagout	Mn	283150	440150	Couche stratiforme	Crétacé	Calcaires
10	~~~~	Ba	296000	443250	Filon	PIII	Rhyolites et ignimbrites
11	~~~~	Cu	293800	440500	Veines (faille)	PIII	Volcano-sédimentaire
12	Timiline	Cu (Ag, Au)	280900	438100	Filons et imprégnations	PIII	Andésites et tufs
13	Bou Idmamen	Pb (Ag)	284600	438600	Veinules et mouches	PIII	Andésites et tufs
14	Si El Haj Anhbalou *	Mn (Fe)	286700	439000	Lentilles	Crétacé	Calcaires
15	Ait Kalla	Cu (Ag)	284000	436600	Filons (fractures)	PIII	Andésites et rhyolites
16	Tizi-n-Faskine	Cu	292100	438700	Veines (faille)	PIII	Ignimbrites
17	Aguendi	Cu	274400	432800	Veinules et disséminations	PII	Granites et schistes tachetés
18	~~~~ *	U	278700	431500	Veines	Miocène	Phonolites
19	Taska	U	277700	431300	Veines	Miocène	Tufs acides
20	Assaka	U	274100	427200	Brèche	PII	Granite
21	Anmid	Cu	288100	430400	Filons	PIII	Andésites
22	Igrioun	Cu	295500	433800	Filons	PIII	Ignimbrites
23	Tafert	Cu	297000	432600	Veinules (brèches)	PIII	Ignimbrites
24	Ouaouzougarte	Cu	264000	423600	Filons	PII	Granodiorite
25	~~~~	U	279700	427300	?	Miocène	Tufs acides
26	~~~~	U	283300	428200	?	Miocène	Trachytes
27	Tilemsine	Cu	291100	429000	Veines et imprégnation	PII	Roches basiques (ophiolite)
28	~~~~	Ba	298700	430100	Filon	PIII	Conglomérats et tufs
29	Arhbalou	Cu	266200	421200	Filon	PII	Granodiorite
30	~~~~ *	U	281400	424200	Filons	Miocène	Phonolites
31	~~~~ *	U	286300	424000	Filons	Miocène	Phonolites
32	Tourtit *	U	295900	425600	Veinules (brèches)	PII	Granite
33	Tourtit	Cu	298000	426400	Veines (faille)	PII	Roches ultrabasiques
34	Tizi Zougakht	Cu (Ag)	295000	424100	Imprégnation	PII	Conglomérats
35	Kdet	Cu	295800	424300	Veinules (brèches)	PII	Andésites, conglomérats
36	Tachakoucht	Cu (Ag)	298500	424200	Veines	PI	Blastomylonite albitique
37	Zgounder	Ag (U)	276000	420400	Veinules et disséminations	PII	Grés (volcano-sédimentaire)
38	~~~~	Cu	298400	421200	Filon	PII sup,	Volcano-sédimentaire
39	Tizi Asdrem	Co	295500	419700	Stockwerk	PII	Grés et siltstones
40	~~~~	Pb	264200	414400	Filon	PII	Volcano-sédimentaire
41	Asfzimmer	Mn	275000	414000	Filon	Miocène	Tufs acides
42	~~~~ *	U	270100	411300	Veinules	PII	Quartzites
43	Ait Ighmou W,	Mn	294600	412600	Filon	Miocène	Tufs
44	Ait Ighmou E,	Mn	295200	413300	Filon	Miocène	Tufs
45	Tizi-n-Wakssane	Cu	259000	404000	Couche	InfraC	Schistes (série de base)
45	Tizi-n-Wakssane	Ba	259000	404000	Filons	PIII sup,	Conglomérats

46	Ait Iggelt (Tizi-n-Taddart)	Mn (Ba)	259000	403350	Lentille et filons	PIII sup,	Conglomérats
47	Talmentoukht	Mn	260800	402700	Veines	PIII	Brèches volcaniques et tufs
48	Iferghane (Tifadine)	Co (Cu, U)	270200	404200	Veinules (brèches)	PII	Quartzo-phyllades
49	Iferhane	Co	271800	404800	Veines (fractures)	PII	Migmatites
50	Tagjdit W	Ba	270800	398900	Filon	InfraC	Calcaires et dolomies
51	Tagjdit E	Ba	271200	398900	Filon	InfraC	Calcaires et dolomies
52	Taouyelt	Cu	273800	400800	Veines (faille)	PII	Migmatites et grés
53	Akhfamane	Cu	274000	401000	Veines (faille)	PII	Migmatites et grés
54	Ouaouargout W	Cu	275900	401400	Veines (faille)	PII	Migmatites et granite
55	Ouaouargout E	Cu	277900	401800	Veines (faille)	PII	Migmatites
56	Tinider	Cu	282000	404000	Veines (faille)	PII	Migmatites et granite
57	Ait Saddene	Cu	284900	402600	Veines (faille)	PII	Migmatites et granite
58	Tamennot-n-Oufella W	Cu	286900	402500	Veines (faille)	PII	Migmatites
59	Tamennot-n-Oufella E	Cu	288500	402400	Veines (faille)	PII	Migmatites
60	Arg	Cu	276800	399700	Corps stratiforme	InfraC	Calcaires et dolomies
61	Tirzit 1	Cu	268000	393000	Corps stratiforme	InfraC	Calcaires et dolomies
62	Tirzit 2	Cu	268800	394200	Corps stratiforme	InfraC	Calcaires et dolomies
63	Tirzit 3	Cu	269300	395000	Corps stratiforme	InfraC	Calcaires et dolomies
64	Tirzit 4	Cu	270600	395200	Corps stratiforme	InfraC	Calcaires et dolomies
65	Gounine *	Fe	277700	394500	Couche (dissémination)	PIII	Schistes
66	Ihoukarn S	Cu	284500	394400	Dissémination	PII	Alternance de schistes et grés
67	Ihoukarn N	Cu (Ag)	286900	396200	Filon	PIII	Conglomérats et grés
68	Igounane Ouanas	Cu	288000	393000	Dissémination	PII	Andésites
69	Azdm-n-Tirsal	U	294700	395300	?	Miocène	Phonolites

2. TAZNAKHT

No	Nom	Substance	X	Y	Morphologie	Age	Nature
70	Tidzi	Cu	306400	443400	Veinules (brèches)	PIII	Andésites, tufs, rhyolites
71	Idm-el-Baroud *	Cu	305500	440100	Veinules (brèches)	PIII	Andésites et tufs
72	~~~~	Mn	319500	442700	Filon	PIII	Rhyolites
73	Tidili *	Mn	321600	441800	Filons	PIII	Rhyolites
74	Migouden	Mn	325300	441000	Couches stratiformes	PIII	Pérites rouges
75	Taourart	Mn	318700	436400	Filon	PIII	Rhyolite
76	Tiouine	Mn	324000	438000	Couches stratiformes	PIII	Conglomérats
77	Tiouine'	Be	324500	438000	Filons	PIII	Conglomérats
78	Migoudene *	Mn (Cu)	326400	438000	Lentilles stratiformes	PIII	Conglomérats et ignimbrites
79	Offremt	Mn	332800	438900	Couches stratiformes	PIII	Conglomérats et pérites
80	Offremt'	Be	333000	438000	Filons	PIII	Conglomérats
81	Inken *	Mn (Fe)	335900	437900	Lentilles	PIII	Roches volcaniques
82	Tikirt	Mn	336400	438900	Filon	PIII	Roches volcaniques
83	Tikirt 1 *	Mn	339100	437800	Filonets	PIII	Rhyolites et conglomérats
84	Tikirt 2*	Mn (Cu)	342300	437800	Filons	PIII	Micaschistes, volcano-detritiques
85	Aglagal Nord	Ba	339100	435700	Filon	PIII	Rhyolite
86	~~~~	Mn	314200	431800	Filon	PIII	Volcanites acides
87	~~~~	Mn	318000	431700	Filon	PIII	Volcanites acides
88	Jbel Ahardane	Mn	342300	430500	Filon	PIII	Volcanites acides
89	Inki	Co, Ni (Cu,Mo)	301000	420500	Veinules et mouches	PII	Grés et andésites
90	Boulmane I *	Cu	307000	421700	Filons	PIII	Volcanites
91	~~~~~	Mn	313500	426300	Filon	PIII	Volcanites acides
92	Daousdrem	Mn	319300	428300	Filon	PIII	Andésites et tufs
93	Indiout *	Mn (U)	318200	423400	Filon	PIII	Conglomérats
94	Irherm-n-Tissilit	Mn (F)	331200	424800	Filon	PIII	Conglomérats
95	Jbel N'tissili *	U	334100	425000	Filon	PIII	Conglomérats
96	Timkit	Mn	337200	427200	Filon	PIII	Volcanites acides

97	~~~~~	Mn	336400	422200	Filon	PIII	Volcanites acides
98	Taguenzalt *	Mn	343500	426700	Filonets	PIII	Rhyolites
99	Talhent *	Ba	345400	426700	Lentille	PIII	Rhyolites
100	Tinzouad *	Mn	302100	414400	Filons	PII	Arkoses
101	Tinzaline	Mn	311300	415800	Filons	PIII	Conglomérats
102	Jbel Inktou W	Mn	317800	419600	Filon	PIII	Volcanites acides
103	Jbel Inktou E	Cu	319200	419200	Filon	PIII	Volcanites acides
104	Bachkoun 1	Mn	318800	412400	Filons	PIII	Volcanites acides
105	Bachkoun 2	Cu	321400	414500	Veines (fissures)	PIII	Andésites
106	Haloukt *	Mn, Cu	318000	410400	Filons	PIII	Andésites
107	Merzoug (Tizegzaouine) *	Cu	311600	408700	Veines (brèches)	PIII	Andésites
108	Tinzouad	Mn	311300	417200	Filons	PIII	Conglomérats
109	Tafrent	Au	299900	403700	Dissémination	PII	Volcanites basiques
110	Nkob *	Cu (U)	306700	403200	Filonets	PII	Serpentine et schistes
111	Tigmi Tsaoud *	Mn, Cu	313100	405000	Lentilles	PIII	Grès, conglomérats, rhyolites
112	Taurirt N	Mn	317500	405000	Couche et filon	PIII	Conglomérats
113	Taurirt S	Mn	318200	404000	Couche et filon	PIII	Conglomérats
114	Jbel Amesing	Cu (Ag)	324500	405700	Filons et lentilles	PIII	Conglomérats
115	~~~~~	Mn	325600	407100	Filon	PIII	Andésites
116	Talfraout	Mn	328500	415200	Filon	InfraC	Schisto-calcaire
117	Tamega	Mn	328000	409600	Filon	PIII	Rhyolites et tufs
118	Ait Zig (Bou Issegou) *	U	333900	410200	Filons	PIII	Andésites et tufs
119	El Borj	Mn	336400	410200	Filon	PIII	Andésites et tufs
120	Bou Safsaf	Cu	343800	409000	Veines (brèches)	PIII	Andésites et tufs
121	Taguenzalt *	Mn (U)	345000	404500	Filonnets	PIII	Rhyolites
122	~~~~~	U	300100	394100	?	Miocène	Phonolites
123	Tazenakht	Be (U - Th)	317000	399000	Filon (pegmatite)	PI	Granite
124	Tazenakht (Village)	Be	327000	399000	Filon (pegmatite)	PI	Granite et micaschistes
125	Tafountent	Mn	333500	400000	Filon	PIII	Andésites
126	Aïn Igouramen	U	318000	391400	?	PI	Migmatites
127	Timjcht *	Be	320900	390100	Filon (pegmatite)	PI	Gneiss
128	Assersa	Be	325000	394000	Filon (pegmatite)	PI	Granite et micaschistes
129	Azguemerzi	Be	329000	392000	Filon (pegmatite)	PI	Granite et migmatites

3. AGADIR MELLOUL

No	Nom	Substance	X	Y	Morphologie	Age	Nature
130	Anammer (Timicha) *	Cu	250300	382200	Stratiforme	InfraC	Calcaires
131	Imgoun *	Fe	261600	387500	Filon	InfraC	Calcaires
132	Imadiden	Cu	264600	386500	Stratiforme	InfraC.	Calcaires
133	Ifri	Cu	264400	385500	Stratiforme	InfraC	Calcaires et dolomies
134	Jbel Tifirar *	Mn (Ba, Fe)	267800	376300	Stratiforme	PIII	Roches volcano-sédimentaires
135	Jbel Maaden Ries *	Be	293300	370200	Filon (pegmatite)	PI	Granite, gneiss
136	Gratoune	Cu (Fe)	264200	367200	Filon (quartz)	PI	Micaschistes
137	Amsmatert (Idamghane)	Cu	251800	363200	Mouches (filon de quartz)	PI	Orthogneiss
138	Igmir 1	Cu	251300	360200	Veinules (brèches)	PI	Gneiss
139	Assaka	Cu	253400	361400	Veinules (brèches)	PI	Gneiss
140	Zaou'a	Cu	253000	360000	Mouches (filon de quartz)	PI	Orthogneiss
141	Igmir 2	Ba	254200	359200	Lentilles et filonnets	PIII	Rhyolite
142	Agadir Melloul *	Be (Fe)	269100	361500	Filon (pegmatite)	PI	Granite
143	Imoula	Fe	273300	363101	Filon (quartz)	PI	Orthogneiss
144	Taïfst	Be	277200	360700	Filon (pegmatite)	PI	Granite et micaschistes
144	Taïfst	Be (Nb, Ta)	278400	361700	Filon (pegmatite)	PI	Granite et micaschistes
144	Taïfst	Cu	278100	360300	Mouches (filon de quartz)	PI	Granite et micaschistes
144	Taïfst	Cu	278300	361200	Mouches (filon de quartz)	PI et InfraC	Micaschistes et calcaires
145	Bou Dra 1	Cu	282700	366800	Stratiforme et filons	InfraC	Calcaires

146	Bou Dra 2	Cu	284000	363900	Mouches (filon de quartz)	PI	Migmatites
147	Timghart	Be	289000	366300	Filon (pegmatite)	PI	Micaschistes et gneiss
148	Igounerda	Be	287100	362200	Filon (pegmatite)	PI	Micaschistes et migmatites
149	Iguerda	Be, Nb, Ta	287700	361800	Filon (pegmatite)	PI	Micaschistes et migmatites
150	Talandawt	Be	290700	365300	Filon (pegmatite)	PI	Micaschistes et gneiss
151	Tizi-n-Walous	Cu (Fe)	291700	365500	Stratiforme	InfraC	Calcaires et dolomies
152	Tizi-n-Azrar	Cu	250700	355500	Lentilles	InfraC	Siltstones
153	Izerzer	Cu	259600	356400	Lentilles	InfraC	Dolomies
154	Ouinislane *	Fe	278500	352100	Filons (pegmatite)	PI	Granite
155	Aninigue	Be	283100	357200	Filon (pegmatite)	PI	Migmatites et granite
156	~~~~~	Be	284000	357800	Filon (pegmatite)	PI	Micaschistes et gneiss
157	~~~~~	Be	283300	355400	Filon (pegmatite)	PI	Micaschistes et gneiss
158	Ikouia-n-Djaline *	Be	285000	355700	Filon (pegmatite)	PI	Granite
159	~~~~~	Be	283900	353400	Filon (pegmatite)	PI	Micaschistes et gneiss
160	Asghar	Fe	289000	359300	Filon (quartz)	PI	Micaschistes et gneiss
161	Aguinane *	Fe	289800	357400	Filon	InfraC	Siltstones

LOT 2

1. BOUMALNE

No	Nom	Substances	X	Y	Morphologie	Age	Nature
1	Imiter	Pb (Ag)	464900	485290	Cassure	Paléozoïque	Grès
2	Imiter	Pb (Ag)	467000	485090	Cassure	Paléozoïque	Grès
3	Timadrouine	Pb (Ag)	469500	484290	Filon	Paléozoïque	Grès
4	Timadrouine	Pb (Ag)	470600	486590	Filon	P III	Rhyolite
5	J, Igoudrane	Cu	476100	485890	Filon	P III	Rhyolite
6	J, Igoudrane	Cu	474300	484790	Filon	P III	Rhyolite
7	J, Igoudrane	Cu	476900	484390	Filon	P III	Rhyolite
8	J, Igoudrane	Cu, Pb	475000	484390	Filon	P II	Granodiorite
9	J, Igoudrane	Pb (Ag,Cu)	473800	483790	Filon	P II	Granodiorite
10	J, Igoudrane	Pb	474600	483690	Filon	P II	Granodiorite
11	J, Igoudrane	Cu	475800	483590	Filon	P III	Rhyolite
12	J, Igoudrane	Zn	474600	481990	Filon	P III	Rhyolite
13	J, Igoudrane	Cu	475500	482190	Filon	P III	Rhyolite
14	J, Igoudrane	Cu	476600	481790	Filon	P III	Rhyolite
15	Bou Zemmour	Cu	458600	480790	Filon	P III	Dacite
16	Bou Zemmour	Pb	460700	480590	Filon	P III	Dacite
17	Anou Nizam	Pb	459900	479690	Filon	P III	Dacite
18	Anou Nizam	Pb	458700	479690	Filon	P III	Rhyolite
19	Tissidelt	Pb	463700	480890	Filon	P III	Rhyolite
20	Tissidelt	Pb (Ag)	464800	481490	Filon	P III	Rhyolite
21	Tissidelt	Pb, Cu, Ag	464700	480390	Filon	P III	Rhyolite
22	Akka n'Tachkakachta	Cu	471400	480390	Imprégnation et filon	P II	Grès
23	Akka n'Tachkakachta	Pb	472600	480690	Filon et stockwerk	P II	Grès
24	Akka n'Tachkakachta	Pb, Cu, Ag	473700	481290	Filon	P II	Grès
25	Akka n'Tachkakachta	Pb, Zn, Cu	474000	480190	Filon	P II	Grès
26	Igoudrane	Pb, Zn, Cu	476300	480190	Filon	P III	Rhyolite
27	Aguerd n'Habab	Pb, Zn, Cu	463500	479690	Filon	P III	Dacite
28	Aguerd n'Habab	Cu	464300	478190	Filon	P II	Granodiorite
29	Aguerd n'Habab	Cu	465000	477790	Filon	P II	Granodiorite
30	Aguerd n'Habab	Cu	466700	478390	Filon	P II	Granodiorite
31	Bou Teglimt	Cu	469200	478140	Filon	P II sup	Granodiorite
32	Bou Teglimt	Pb	470550	479190	Filon	P II sup	Granodiorite
33	Bou Teglimt	Pb, Cu	470200	477890	Filon	P II sup	Granodiorite
34	Bou Teglimt	Au	471150	478040	Stockwerk	P II sup	Granodiorite
35	Bou Teglimt	Cu	471500	478090	Stockwerk	P II sup	Granodiorite
36	Bou Teglimt	Pb	469500	477690	Filon	P III	Rhyolite
37	Assanef n' Terhda	Pb	473600	478940	Filon	P II	Grès
38	Tirza	Cu	475800	478490	Filon	P II sup	Granodiorite
39	Tirza	Cu	476700	479090	Filon	P II sup	Granodiorite
40	Taourirt n'Irhial	Pb	477000	478590	Imprégnation	P II sup	Granodiorite
41	Taourirt n'Irhial	Cu	478100	479090	Imprégnation	P II sup	Granodiorite

42	Tiounouine	Pb	454500	476090	Filon	P III	Granite
43	Tiounouine	Fe	452500	473890	Brèche	P III	Granite
44	Tiounouine	Pb	454400	474090	Filon	P III	Granite
45	Izemgane	Pb	459200	478490	Filon et brèche	P II	Grès
46	Izemgane	Pb	458050	477990	Filon et brèche	P II	Grès
47	Izemgane	Pb	456600	476790	Filon et imprégnation	P II	Grès
48	Izemgane	Cu	459250	476340	Filon	P II	Grès
49	Izemgane	Cu	459850	475290	Filon	P II	Grès
50	Izemgane	Cu	457000	475140	Brèche et imprégnation	P II	Grès
51	Izemgane	Cu	457950	475120	Imprégnation	P II	Grès
52	J.n' Habab	Pb, Zn	465000	474590	Filon	P III	Dacite
53	Ikkis	Cu	468200	474490	Filon	P III	Rhyolite
54	Ikkis	Cu	469500	476590	Filon	P III	Rhyolite
55	Ikkis	Cu	470700	475390	Imprégnation	P III	Rhyolite
56	Ikkis	Pb, Cu	471800	475690	Filon	P III	Rhyolite
57	Ikkis	Pb	472400	476190	Filon	P III	Rhyolite
58	Ikkis	Cu	472800	475590	Imprégnation	P III	Rhyolite
59	Assanef n' Terhda	Pb	473200	476490	Imprégnation	P II	Grès
60	Assanef n' Terhda	Pb	474800	478140	Filon	P II	Grès
61	Assanef n' Terhda	Pb, Cu	474500	477190	Filon	P II	Grès
62	Assif Ikkis	Pb,	473800	475000	Filon	P II sup	Granodiorite
63	Isk n' Tougnamas	Pb, Cu	476500	476090	Filon	P II sup	Granodiorite
64	Isk n' Tougnamas	Cu, Pb	476900	476790	Filon	P II sup	Granodiorite
65	Tazlout	Cu, Ag, Au	480500	477790	Filon	P II sup	Granodiorite
66	Tazlout	Cu	481400	477990	Filon	P II sup	Granodiorite
67	Isk n' Tougnamas	Cu	480200	477090	Filon	P II sup	Granodiorite
68	Anou n' Ouachacha	Cu, Pb	479200	473590	Filon	P II sup	Granodiorite
69	Tiboulkhirine	Pb, Cu	460400	473640	Filon	P II	Grès
70	Tiboulkhirine	Pb	461800	474140	Filon	P II	Grès
71	Tiboulkhirine	Pb, Ag	460900	473290	Stockwerk	P II	Grès
72	Tiboulkhirine	Cu, Pb, Ag, Au	461400	472990	Stockwerk	P II	Grès
73	Tiboulkhirine	Pb, Ag	459400	472590	Broyage	P II	Grès
74	Tiboulkhirine	Pb	459900	472990	Broyage	P II	Grès
75	Taourirt Tamelalt	W, Cu, Au	460700	472490	Filon	P II sup	Granodiorite
76	Izourzane	Pb, Zn, Cu	461000	471840	Filon	P II sup	Granodiorite
77	Izourzane	Pb, Cu	461800	471290	Filon	P II sup	Granodiorite
78	Izourzane	Cu	463500	470590	Filon	P II	Grès
79	Moumarih	Cu	464400	473690	Stockwerk	P II	Grès
80	Moumarih	Cu	462500	472740	Filonnets quartz	P II	Grès
81	Moumarih	Cu	463500	472190	Stockwerk	P II	Grès
82	Moumarih	Cu	464400	472740	Filon et stockwerk	P II	Grès
83	Tigliout	Cu, Pb	469300	473490	Filon	P III	Rhyolite
84	Tigliout	Pb, Cu	469000	472790	Filon	P III	Rhyolite
85	Tigliout	Pb, Cu	469500	472090	Veinules de quartz	P II sup	Granodiorite
86	Tigliout	Fe	470200	472290	Imprégnation	P III	Rhyolite
87	Taadi	Cu	476100	474390	Filon	P II sup	Granodiorite
88	Taadi	Cu	475800	473390	Filon	P II sup	Granodiorite
89	J.Oussilkane	Cu	476000	472040	Filon	P II sup	Granodiorite
90	Imin Terhsa	Cu	456000	470390	Filon	P II	Grès
91	Imin Terhsa	Pb	457150	468640	Imprégnation	P II	Grès
92	Imin Terhsa	Zn	458650	469540	Stockwerk	P II	Grès
93	Imin Terhsa	Pb	460500	469390	Filon et broyage	P II	Grès
94	Imin Terhsa	Cu	455950	468990	Filon	P II sup	Granodiorite
95	Tizi n' Tazegzaout	Cu	465350	470390	Filon	PII	Grès
96	Aguerd n' Habab	Cu	466500	468840	Filon	PII	Grès
97	Assamart Boutiraout	Cu	477300	469290	Filon	PII Sup	Granodiorite
98	Assamart Boutiraout	Cu	459900	467540	Filon	PII Sup	Granodiorite
99	Amajdadar	Cu	468150	466040	Filon	PII	Grès
100	Amajdadar	Cu	468950	466040	Filon	PII Sup	Granodiorite
101	J, Berdouz	Cu	472500	467790	Filon	PII Sup	Granodiorite
102	Mikbi	Cu	472700	465240	Zone de broyage	PII Sup	Granodiorite
103	Mikbi	Cu	473350	465090	Filon	PII Sup	Granodiorite
104	Irherm n' Ilemchane	Cu	475200	466340	Stockwerk	PII	Grès
105	Irherm n' Ilemchane	Cu	475950	466440	Stockwerk	PII	Grès
106	Outtaoui	Cu	477800	467390	Filon	PII Sup	Granodiorite
107	Outtaoui	Cu	479200	467690	Stockwerk	PII Sup	Granodiorite
108	Outtaoui	Pb	478650	467340	Filon	PII	Grès
109	Chaaba	Cu	470600	465490	Filon	PII	Grès
110	Ait Mersid	Cu	466000	462490	Filon	PIISup	Granodiorite

111	Amajdadar	Pb, Cu	468220	463330	Filon	PIISup	Granodiorite
112	Tinislane	Pb, Cu	469060	464170	Filon	PIISup	Granodiorite
113	Tifri	As, Au	470000	463590	Filon	PII	Grès
114	Ikniwn	Cu	472300	463390	Filon	PII	Grès
115	Ikniwn	Pb	475000	464090	Filon	PII	Grès
116	Ikniwn	Fe, Au	475600	462790	Stockwerk	PII	Grès
117	Tagmout	Cu, Pb	478500	462640	Filon	PIII	Andésite
118	Tiout	Cu, Pb	481300	461590	Filon, stockwerk	PII	Grès
119	Asfalou	Cu, Ag	479900	460590	Imprégnation et filon	PII	Grès
120	Tiwit	Cu	481200	461090	Stockwerk	PII	Grès
121	Tanemlalt	Au	481500	459590	Filon	PIII	Conglomérat
122	Tanemlalt	Cu, Ag	480700	459140	Filon	PIII	Rhyolite
123	Tanemlalt	Fe, Au	481200	459090	Filon	PIII	Rhyolite
124	Tanemlalt	Cu, Ag	479400	459290	Filon, imprégnation	PII sup	Granodiorite
144	Imiter (mine)	Ag (Hg)	468700	482790	Veines et dissémination	PII	Pélites noires
145	Igoudrane (gisement)	Ag	473400	482690	Veines et dissémination	PII	Pélites noires
146	Tiwit (mine)	Au, Cu	463300	462090	Filons et imprégnation	PII sup	Granite
147	Foum El Kouss (travaux)	Pb, Zn (Ag)	474600	488990	Filon	Paléozoïque	Grès et schistes
148	Akka n'Oulili - Bou Gafer	Cu (Ag)	489600	461090	Filon	PIII	Granite
149	Tizi Moudou	Cu (Ag)	487500	458690	Fissures et veines	PIII	Rhyolite et tufs
150	Tizi N'oussatour	Cu (Ag)	488900	454990	Fissures et veines	PIII	Rhyolite et tufs
151	Ouin Ougoultim	Cu	489000	471890	Fissures	PIII	Granite
152	Tikkadarine	Au (Ag)	469400	463190	Veinules de quartz	PII Sup	Granite
153	J, Bourbarouk	Cu (Pb)	466200	477190	Veines	PIII	Rhyolite
154	Ait Bou Iknifen	Mn	458000	496090	Stratiforme	Eocène	Calcaires

2. QALAA'T MGOUNA

No	Nom	Substances	X	Y	Morphologie	Age	Nature
125	Tafoughal n' Tiderkeit *	Cu,Fe	441800	449890	Filons	PIII	Rhyolites
126	Ait Ibrirène (Boulmane) *	Pb	441200	492290	Corps stratiformes	Lias	Dolomies
127	Ait Lahcen *	Cu,Pb	433900	464590	Filons	PIII	Granites alcalins
128	Ait ou Benali I et II *	Cu	423900	460940	Filons	PIII	Microgranites
129	Ait Toumert *	Pb	416400	494190	Filons	Lias	Calcaire et dolomies
130	Ait Youb *	Mn, Fe	418950	458990	Filons	PIII	Microgranites
131	Akka n'Tannzite *	U	418950	447940	Filons	PIII	Granites
132	Amesker - Amejgag	Pb	429000	492290	Filons	Lias Pliocène	Conglomerats
133	~~~~~*	Cu (U)	425830	447890	Filons	PIII	Granites alcalins
134	Bou Imarine *	Cu, Fe	425830	444290	Filons	PIII	Granites alcalins
135	Ifri n' Haunza *	Mn, Fe, Cu	436850	460940	Filons	PII	Andésites, microdiorites
136	Larjam *	Pb, Cu, Mo	433900	460940	Filons	PII	Andésites, microdiorites
137	Sidi Flah	Pb, Cu, Zn	399200	444290	Filons	PIII	Granites alcalins
138	Tafraout n' Oulouj *	Cu	441580	457240	Filons	PII	Andésites, microdiorites
139	Taghia n' Saada *	Cu, Au, Pb	440000	460940	Filons	PII	Andésites, microdiorites
140	Tagmoute *	Cu, Fe, Pb, U	435280	446090	Stockwerk	PIII	Rhyolites
141	Taourirt n' Tamlelt *	U	441200	460940	Filonnets	PII	Andésites, microdiorites
142	Tizi n' lys *	Mn, Fe	429000	457240	Filons	PIII	Tuf, brèches et
143	Tizi n' Oulli *	Fe	416400	481190	Stratiforme	Eocène	Calcaire gréseux

* Après Benhida (2000) et Dembélé (2000)

Les noms suivis d'un astérisque (*) proviennent de la base de données du Ministère de l'Energie et des Mines. Les coordonnées sont en Lambert Sud-Maroc (système géodésique Merchiche). Leur positionnement est en coordonnées géographiques (degrés et minutes), ce qui donne une marge d'erreur de 1600 m en X et 1840 m en Y. Afin d'uniformiser les données, nous les avons transformés en coordonnées Lambert Sud-Maroc.

ANNEXE E: STATISTIQUES DES PRINCIPAUX GROUPES LITHOLOGIQUES

Lot 1

Les résultats sont pour des données équilibrées où le dessus et le bas 1% des résultats pour chaque groupe ont été enlevés

Les lithologies sont décrites en plus détail dans Johnson (2001)c,d,e

Tous les résultats dans µg/g (excepté Fe₂O₃, MnO et TiO₂ en %). Ces résultats sont présentés en forme de graphiques dans l'atlas géochimique (Johnson, 2001a).

Quaternaire

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li	
Nombre	550	550	550	550	550	549	549	549	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	562	550	550	550	550	550	550	550	550
Maximum	3,977	364,0	120,3	0,335	19,530	36,0	45,7	39,7	182,5	81,9	2954,0	63,6	977,6	183,8	7,4	1,0	0,9	5,6	8,5	0,7	1630,0	3,9	65,1	1,5	20,9	7,5	3,3	70,0	
Minimum	0,354	35,2	23,2	0,032	1,956	9,3	7,6	9,0	23,6	2,5	44,9	12,1	156,2	7,5	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	225,8	1,4	9,1	0,5	1,8	1,0	0,7	11,0	
Moyenne	0,883	95,2	56,0	0,097	5,573	15,9	21,2	21,0	56,6	13,4	161,3	26,8	325,6	23,3	2,0	0,3	0,3	1,7	1,0	0,7	452,6	1,9	18,9	0,7	7,5	3,5	1,7	30,0	
Médiane	0,720	83,6	55,1	0,080	4,907	14,7	20,9	20,1	49,1	9,4	94,7	24,6	291,1	15,0	1,9	0,3	0,3	1,5	0,5	0,7	400,8	1,8	15,7	0,7	6,9	3,4	1,7	28,0	
Ecart type	0,535	44,4	14,0	0,054	2,503	3,7	6,6	6,0	26,3	11,5	317,3	8,3	132,5	24,6	1,0	0,1	0,1	0,9	1,1	0,0	188,0	0,3	8,8	0,1	3,4	1,3	0,4	11,3	

Cénozoïque

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li	
Nombre	483	483	482	483	483	482	482	480	483	480	483	483	483	482	482	483	482	482	482	482	493	483	482	483	483	483	483	482	483
Maximum	6,416	325,0	141,7	0,523	25,030	44,0	49,2	87,2	415,8	42,0	870,6	72,7	3206,0	562,6	15,1	1,2	0,7	10,6	3,4	0,7	1166,0	5,9	39,0	1,6	41,9	11,0	7,4	53,0	
Minimum	0,600	28,4	0,5	0,071	3,887	6,8	1,6	2,2	51,9	0,5	59,5	23,6	240,8	14,5	0,5	0,3	0,3	0,9	0,5	0,7	241,0	1,3	10,3	0,6	4,6	1,2	1,8	10,0	
Moyenne	2,017	113,1	21,8	0,216	8,797	20,9	9,3	13,2	160,9	5,9	374,8	37,9	917,7	172,5	4,2	0,3	0,3	3,7	0,6	0,7	662,1	2,7	17,0	0,8	14,4	4,3	3,5	22,4	
Médiane	1,687	98,1	14,0	0,202	7,779	19,3	6,8	9,2	143,8	3,7	374,6	36,0	790,5	162,6	3,8	0,3	0,3	3,4	0,5	0,7	686,5	2,4	16,3	0,7	12,6	4,1	3,4	20,0	
Ecart type	1,169	61,6	25,3	0,087	3,862	6,0	7,9	13,0	68,0	6,9	196,9	8,5	496,1	92,7	2,7	0,1	0,1	1,7	0,3	0,0	189,6	0,8	3,6	0,2	6,9	1,9	1,0	8,5	

Mésozoïque

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
Maximum	2,071	309,8	162,1	0,409	13,700	39,3	34,6	94,5	250,4	31,4	249,8	51,3	2195,0	33,1	10,1	0,9	1,6	5,5	4,5	0,7	3734,0	2,9	167,5	1,1	55,2	16,4	2,4	58,0
Minimum	0,272	25,9	19,7	0,032	1,282	7,3	6,5	7,8	14,3	2,3	31,4	7,5	156,7	5,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,7	301,8	1,2	8,3	0,5	0,6	1,2	0,7	9,0
Moyenne	0,787	92,2	49,3	0,113	4,985	15,4	14,3	27,8	79,0	11,0	92,0	22,6	378,6	13,6	2,0	0,3	0,3	1,9	1,1	0,7	732,9	1,8	27,0	0,6	8,9	4,2	1,4	25,4
Médiane	0,743	83,0	43,6	0,104	4,562	14,0	13,1	20,4	67,3	9,2	82,1	23,1	313,3	13,3	1,7	0,3	0,3	1,7	0,7	0,7	552,8	1,7	22,5	0,6	5,6	3,7	1,5	23,0
Ecart type	0,355	53,0	23,5	0,061	2,656	6,1	5,6	20,0	50,1	6,6	47,3	8,5	283,0	5,2	1,3	0,1	0,2	1,1	0,8	0,0	609,0	0,4	20,4	0,1	10,0	2,9	0,5	11,3

Cambrien

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	710	707	712	710	709	708	710	711	709	710	710	710	709	711	706	708	709	710	709	725	710	709	711	710	710	709	711	710
Maximum	0,967	103,7	78,8	0,177	7,413	22,6	35,8	32,7	82,0	25,5	146,1	41,1	436,3	25,5	3,0	1,0	0,9	3,6	2,6	0,7	1792,0	2,1	33,0	0,8	14,3	5,9	2,5	67,0
Minimum	0,470	51,1	44,0	0,043	3,421	12,0	15,0	12,2	25,4	3,5	51,0	17,6	165,8	9,7	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,7	232,3	1,5	9,0	0,5	2,6	1,1	1,1	21,0
Moyenne	0,612	75,4	61,0	0,084	4,503	14,4	24,0	20,6	49,3	7,4	87,2	23,2	255,9	12,9	1,7	0,3	0,3	1,4	0,6	0,7	451,5	1,7	16,2	0,6	6,3	3,1	1,8	38,2
Médiane	0,599	74,7	60,9	0,079	4,428	14,0	23,8	20,4	48,6	6,7	84,1	23,0	247,8	12,4	1,6	0,3	0,3	1,3	0,5	0,7	390,8	1,7	15,6	0,6	5,8	3,1	1,8	38,0
Ecart type	0,080	10,3	6,7	0,027	0,601	1,6	4,0	3,9	11,3	3,0	20,7	2,8	45,8	2,2	0,5	0,1	0,1	0,6	0,2	0,0	213,3	0,1	3,8	0,0	2,1	1,0	0,3	8,2

Infracambrien

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	1907	1909	1910	1910	1907	1913	1917	1908	1913	1912	1906	1906	1907	1907	1907	1912	1916	1909	1908	1946	1906	1912	1905	1903	1911	1911	1914	1912
Maximum	1,722	171,8	89,9	0,271	10,480	30,0	41,0	105,0	130,2	34,3	216,5	39,0	612,7	119,3	4,6	1,0	0,8	3,7	3,7	0,8	1694,0	2,7	89,3	0,9	16,8	6,5	3,5	104,0
Minimum	0,402	48,7	36,7	0,043	3,144	12,0	12,6	11,0	22,0	3,8	38,0	16,0	150,6	9,1	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	223,2	1,5	8,6	0,5	2,6	1,2	1,1	22,0
Moyenne	0,636	81,3	61,4	0,099	4,809	15,2	24,8	26,6	52,6	10,8	91,1	23,3	257,1	15,7	2,0	0,3	0,3	1,4	0,7	0,7	388,7	1,8	20,3	0,6	7,0	3,5	1,8	48,7
Médiane	0,596	78,4	61,3	0,090	4,574	14,7	24,4	24,0	49,2	9,8	88,1	22,7	247,6	13,1	2,0	0,3	0,3	1,3	0,5	0,7	353,0	1,7	17,5	0,6	6,5	3,5	1,8	45,0
Ecart type	0,171	17,6	9,1	0,039	1,044	2,7	4,8	11,8	18,6	4,9	27,0	3,8	63,5	11,4	0,7	0,1	0,1	0,6	0,4	0,0	138,7	0,1	10,6	0,1	2,5	1,0	0,4	16,7

Précambrien IIIg (granites)

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li	
Nombre	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
Maximum	3,107	271,0	102,2	0,259	14,490	44,0	31,3	135,4	237,1	72,8	408,8	80,1	1647,0	206,2	11,8	1,0	0,8	9,1	5,1	0,7	2131,0	8,8	51,7	1,0	210,2	36,3	4,7	87,0	
Minimum	0,380	35,3	9,9	0,060	3,316	12,0	3,7	6,6	36,6	2,6	55,0	19,3	177,0	10,4	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,7	258,7	1,6	9,9	0,5	3,9	1,5	0,7	14,0	
Moyenne	0,967	99,5	44,8	0,123	6,717	19,5	14,8	36,7	102,5	12,7	125,1	42,0	517,1	40,7	3,3	0,3	0,3	4,0	0,9	0,7	621,3	2,6	19,7	0,7	29,4	9,2	2,5	32,6	
Médiane	0,807	84,5	42,5	0,113	6,171	16,7	13,9	31,2	96,4	9,6	105,2	40,6	426,4	23,2	2,6	0,3	0,3	3,6	0,5	0,7	511,4	2,2	17,4	0,7	15,7	6,1	2,4	30,0	
Ecart type	0,479	49,5	20,4	0,047	2,382	6,7	6,3	25,0	39,5	10,5	72,7	13,2	287																

ANNEXE E: STATISTIQUES DES PRINCIPAUX GROUPES LITHOLOGIQUES

Précambrien IIg (granites syntectoniques)

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li	
Nombre	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	766	782	766	766	766	766	766	766	766	766
Maximum	5.007	808.0	331.9	0.353	30.620	51.0	53.3	161.8	352.3	53.3	490.6	83.2	3358.0	300.2	14.0	1.1	0.8	8.7	4.8	0.7	2024.0	6.2	65.0	1.9	108.9	25.9	4.8	77.0	
Minimum	0.449	27.7	6.1	0.039	3.249	12.0	2.7	5.8	40.4	1.5	58.6	18.5	156.8	7.9	0.5	0.3	0.3	0.5	0.4	0.6	233.5	1.6	9.3	0.5	1.6	1.1	1.2	12.0	
Moyenne	1.334	174.6	69.9	0.144	9.115	23.8	19.7	49.3	128.7	11.8	157.7	37.5	681.4	31.0	3.5	0.3	0.3	2.5	0.9	0.7	504.5	2.4	21.6	0.8	22.2	7.6	2.2	30.6	
Médiane	1.158	149.1	57.1	0.142	8.403	22.0	18.4	45.8	120.6	9.8	150.3	35.8	494.5	19.0	2.9	0.3	0.3	2.2	0.5	0.7	484.3	2.3	19.9	0.7	16.7	6.2	2.1	28.0	
Ecart type	0.669	118.6	48.6	0.054	4.150	7.9	9.5	29.1	55.3	8.2	63.9	11.3	549.4	37.6	2.2	0.1	0.1	1.4	0.7	0.0	162.2	0.6	8.7	0.2	19.0	5.2	0.5	11.7	

Précambrien IIv

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li	
Nombre	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852
Maximum	3.868	349.0	203.4	0.337	15.190	44.0	72.3	196.0	331.7	83.4	547.0	68.2	1228.0	222.0	8.2	1.1	0.9	7.2	7.3	0.7	1148.0	3.6	76.2	1.3	26.8	7.6	4.2	59.0	
Minimum	0.474	41.0	6.1	0.039	2.665	10.7	2.6	6.6	24.9	2.5	37.1	15.1	161.2	9.7	0.5	0.3	0.3	0.5	0.4	0.7	187.9	1.3	7.2	0.5	0.8	1.0	1.1	13.0	
Moyenne	1.199	129.4	70.0	0.126	7.655	21.6	25.8	35.8	88.4	12.6	121.8	28.8	336.5	29.0	2.2	0.3	0.3	1.7	0.8	0.7	456.0	2.0	16.6	0.7	7.6	3.3	2.2	33.4	
Médiane	1.073	120.4	66.4	0.114	7.345	19.3	24.3	26.0	71.6	10.0	95.1	27.3	268.5	16.3	1.9	0.3	0.3	1.6	0.5	0.7	425.7	2.0	14.0	0.7	6.7	3.1	2.1	33.0	
Ecart type	0.512	54.2	31.9	0.058	2.286	6.8	12.3	30.3	54.0	9.7	81.2	7.3	185.2	35.4	1.2	0.1	0.1	1.0	0.9	0.0	162.0	0.3	9.0	0.1	4.1	1.4	0.5	10.4	

Précambrien III (inférieur)

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	46	44	44	44	44	44	44	44
Maximum	1.941	350.0	6447.0	0.269	15.860	69.0	653.6	127.5	337.7	202.0	244.5	38.0	643.6	87.1	3.8	3.8	1.0	5.5	27.6	0.7	597.5	4.2	54.6	1.1	14.2	6.0	2.4	50.0
Minimum	0.378	103.8	63.6	0.106	6.388	16.7	18.9	21.0	86.9	5.4	87.8	10.6	105.7	7.5	1.0	0.3	0.3	0.5	0.5	0.7	151.6	1.7	12.4	0.6	0.6	0.9	0.7	18.0
Moyenne	0.905	173.0	962.1	0.183	9.210	26.4	161.8	60.2	160.8	36.8	156.0	23.8	223.3	17.8	2.4	0.4	0.4	1.6	3.0	0.7	354.3	2.7	25.5	0.8	4.4	2.4	1.5	32.7
Médiane	0.862	164.7	512.7	0.179	8.620	21.7	139.9	53.2	139.2	24.2	155.9	24.9	169.2	14.6	2.4	0.3	0.3	1.2	1.5	0.7	340.6	2.7	22.9	0.7	4.0	2.3	1.6	33.0
Ecart type	0.304	47.3	1259.6	0.041	1.878	11.1	141.4	27.5	62.9	36.8	39.9	6.3	136.9	13.2	0.8	0.6	0.2	1.1	4.5	0.0	129.4	0.5	9.9	0.1	3.0	1.0	0.4	8.7

Précambrien I

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li	
Nombre	572	571	573	571	573	573	573	572	573	572	572	573	572	572	572	572	572	572	572	572	584	572	572	572	572	572	572	572	572
Maximum	2.303	255.5	145.9	0.212	12.190	39.0	63.3	177.6	146.3	38.6	229.2	99.4	722.2	75.4	4.0	1.0	0.8	5.0	2.2	1.0	1051.0	3.1	28.1	1.3	27.7	9.0	3.8	63.0	
Minimum	0.397	39.6	28.1	0.024	3.036	11.3	9.8	8.9	20.0	2.8	46.0	14.1	146.5	8.6	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4	0.7	242.1	1.5	8.1	0.5	2.5	1.1	1.1	16.0	
Moyenne	0.859	93.2	62.3	0.068	5.865	17.5	25.1	30.3	49.8	8.2	101.7	27.7	293.8	14.4	1.7	0.3	0.3	2.0	0.6	0.7	415.0	1.8	14.2	0.6	8.8	3.4	2.3	32.2	
Médiane	0.756	82.3	59.9	0.061	5.530	16.0	23.8	23.7	43.3	7.0	95.1	25.3	267.0	13.4	1.6	0.3	0.3	1.8	0.5	0.7	394.0	1.7	13.7	0.6	7.8	3.3	2.2	31.0	
Ecart type	0.350	38.5	17.9	0.032	1.785	5.3	8.7	21.0	23.2	4.9	31.3	8.9	103.7	5.2	0.6	0.1	0.1	0.9	0.2	0.0	116.4	0.2	3.3	0.1	3.9	1.5	0.6	9.8	

Lot 2

Les résultats sont pour des données équilibrées où le dessus et le bas 1% des résultats pour chaque groupe ont été enlevés
Les lithologies sont décrites en plus détail dans Johnson (2001)f,g

Tous les résultats dans µg/g (excepté Fe₂O₃, MnO et TiO₂ en %). Ces résultats sont présentés en forme de graphiques dans l'atlas géochimique (Johnson, 2001b).

Couverture cénoïque et quaternaire

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	1913	1915	1913	1914	1913	1914	1911	1921	1912	1913	1912	1912	1913	1915	1914	1914	1913	1914	1915	1915	1915	1914	1914	1918	1913	1915	1917	1914
Maximum	2.107	207.8	125.7	0.137	9.198	22.7	45.8	50.0	119.9	34.6	598.0	38.0	854.4	44.7	5.6	1.1	1.1	8.0	3.9	0.7	1110.0	2.9	45.7	0.9	16.4	8.1	2.4	47.0
Minimum	0.230	19.1	29.0	0.020	1.037	6.7	6.0	7.2	14.0	1.0	39.2	8.6	155.0	4.9	0.5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.7	114.7	1.3	6.6	0.5	0.4	0.8	0.7	8.0
Moyenne	0.617	69.5	60.6	0.055	3.394	12.5	17.6	19.0	47.2	5.8	123.4	17.5	326.9	12.5	2.2	0.3	0.3	1.2	0.7	0.7	343.1	1.7	16.8	0.6	4.0	3.5	1.0	22.1
Médiane	0.569	66.6	58.5	0.055	3.314	12.7	16.9	18.4	46.6	4.6	104.1	17.0	303.1	11.2	2.1	0.3	0.3	0.8	0.5	0.7	291.9	1.7	16.3	0.6	3.3	3.5	0.7	22.0
Ecart type	0.279	32.7	18.4	0.022	1.504	3.0	7.3	7.6	19.7	4.6	70.6	4.9	114.1	6.1	0.8	0.1	0.1	1.2	0.4	0.0	168.9	0.2	6.3	0.1	2.9	1.3	0.4	7.7

Couverture mésozoïque

	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383
Maximum	1.164	224.3	256.0	0.153	10.300	36.0	88.4	163.1	192.7	11.0	390.4	33.1	565.1	19.6	3.9	1.0	1.4	2.9	1.5	0.7	756.1	2.5	98.4	0.8	13.9	6.4	2.6	92.0
Minimum	0.322	40.5	39.8	0.033	2.197	10.7	12.2	8.4	18.3	0.7	45.0	12.4	127.5	7.1	0.6	0.3	0.3	0.4	0.4	0.7	122.7	1.5	8.0	0.5	0.6	1.3	0.7	16.0
Moyenne	0.646	96.2	93.1	0.077	4.704	15.2	33.8	34.8	64.7	4.6	100.8	19.9	259.2	11.4	2.1	0.3	0.4	0.9	0.6	0.7	274.1	1.9	20.9	0.6	5.1	3.5	1.3	44.5
Médiane	0.624	88.8	77.9	0.074	4.275	14.0	29.0	27.1	59.4	4.5	92.6	19.4	247.5	11.1	2.1	0.3	0.3	0.8	0.5	0.7	252.3	1.8	17.4	0.6	4.7	3.4	1.3	41.0
Ecart type	0.170	39.7	45.5	0.026	1.707	4.1	16.0	23.8	28.0	2.0																		

ANNEXE E: STATISTIQUES DES PRINCIPAUX GROUPES LITHOLOGIQUES

Complexe des granites alcalins du Précambrien III

	TiO2	V	Cr	MnO	Fe2O3	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	633	633	633	632	633	633	634	634	634	633	633	634	633	633	633	633	633	634	633	633	633	633	633	632	633	633	634	633
Maximum	5.217	336.0	147.4	0.377	14.670	31.3	37.9	85.0	484.5	183.4	186.6	98.2	2184.0	102.5	13.7	1.4	1.3	21.7	7.7	0.7	1017.0	7.4	199.0	1.5	82.7	18.1	4.2	44.0
Minimum	0.545	48.6	21.0	0.048	3.568	12.7	6.7	11.7	49.1	5.1	58.0	21.6	281.2	12.3	1.1	0.3	0.3	1.2	0.4	0.7	363.1	1.7	16.7	0.6	5.7	1.6	1.5	16.0
Moyenne	1.122	93.4	49.1	0.109	6.201	16.8	17.2	26.3	103.2	19.2	102.8	39.1	643.8	27.0	3.8	0.3	0.3	4.7	1.3	0.7	610.7	2.3	36.5	0.7	17.5	6.2	2.5	28.1
Médiane	0.888	83.5	47.3	0.099	5.723	16.0	16.7	22.0	86.0	11.1	100.1	35.8	538.5	22.3	3.4	0.3	0.3	3.9	0.7	0.7	602.5	2.0	29.2	0.7	14.6	5.7	2.5	28.0
Ecart type	0.672	35.4	17.1	0.043	1.818	3.3	5.3	13.3	60.2	24.8	24.4	12.8	337.7	15.4	2.0	0.2	0.2	3.0	1.2	0.0	114.1	0.9	24.5	0.1	11.4	2.7	0.5	5.5

Précambrien III supérieur

	TiO2	V	Cr	MnO	Fe2O3	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249
Maximum	1.538	199.4	105.5	0.274	10.380	35.0	54.9	48.5	347.4	30.9	253.5	56.4	596.3	24.3	3.6	1.3	0.7	8.0	4.0	0.7	3381.0	3.1	66.5	0.8	16.1	8.7	3.2	79.0
Minimum	0.495	47.7	34.3	0.051	3.365	12.0	10.3	9.6	52.6	5.5	59.6	25.2	297.6	12.6	0.5	0.3	0.3	0.8	0.4	0.7	335.9	1.7	16.4	0.6	5.5	1.3	1.7	20.0
Moyenne	0.763	82.0	53.1	0.094	5.150	15.5	21.7	17.7	90.1	12.5	98.2	37.0	430.0	18.1	2.0	0.3	0.3	2.8	0.8	0.7	645.6	1.9	26.4	0.6	10.9	4.6	2.3	34.1
Médiane	0.706	73.8	49.7	0.080	4.581	14.0	18.9	17.3	70.8	11.5	84.4	36.4	428.6	17.8	2.0	0.3	0.3	2.5	0.5	0.7	548.5	1.8	23.8	0.6	10.4	4.6	2.3	31.0
Ecart type	0.226	28.5	13.6	0.041	1.616	4.2	8.6	4.6	51.5	4.4	38.7	6.7	58.9	2.1	0.6	0.2	0.1	1.1	0.6	0.0	398.6	0.3	9.0	0.1	2.7	1.6	0.3	11.0

Précambrien III inférieur et moyen

	TiO2	V	Cr	MnO	Fe2O3	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	688	688	688	689	688	688	687	687	689	687	688	688	688	688	688	687	688	689	688	688	688	688	688	690	689	690	689	689
Maximum	2.214	229.8	129.7	0.232	10.280	31.0	37.7	79.4	244.7	78.5	314.7	51.8	885.6	70.9	5.7	3.5	0.9	9.1	9.8	0.7	4660.0	4.0	193.4	1.0	23.4	9.4	3.8	53.0
Minimum	0.507	56.6	30.9	0.055	3.444	12.0	9.7	11.8	48.9	6.8	65.2	20.3	265.5	11.4	0.6	0.3	0.3	0.5	0.4	0.7	393.6	1.6	15.6	0.5	5.1	1.2	1.5	19.0
Moyenne	0.813	93.4	55.4	0.109	5.667	16.1	19.6	24.5	91.5	18.1	108.2	29.6	421.6	17.9	2.5	0.4	0.3	2.8	1.7	0.7	829.1	2.0	35.4	0.7	10.9	4.5	2.2	32.0
Médiane	0.752	86.5	53.3	0.102	5.382	15.3	19.2	21.2	82.4	14.2	100.1	29.0	402.0	16.1	2.4	0.3	0.3	2.6	1.3	0.7	657.5	1.9	27.0	0.7	10.1	4.4	2.2	32.0
Ecart type	0.230	27.1	14.7	0.033	1.330	3.1	4.9	11.0	32.5	11.3	31.0	5.0	97.0	7.1	0.9	0.4	0.1	1.3	1.5	0.0	543.2	0.3	23.1	0.1	3.3	1.7	0.4	5.8

Précambrien II supérieur

	TiO2	V	Cr	MnO	Fe2O3	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353	353
Maximum	10.520	760.0	416.1	0.612	25.850	39.3	47.3	124.6	332.9	103.6	324.7	74.8	4063.0	108.5	19.8	1.8	0.9	14.4	12.1	0.7	1237.0	5.6	122.9	1.9	55.6	16.0	3.6	53.0
Minimum	0.542	64.4	26.4	0.072	4.431	13.3	9.8	12.5	65.3	3.4	79.8	18.7	262.1	10.8	1.0	0.3	0.3	0.9	0.4	0.7	425.1	1.7	18.2	0.6	4.9	1.3	1.3	19.0
Moyenne	1.617	161.7	80.1	0.157	7.867	19.0	22.5	35.1	123.1	17.7	147.9	33.9	715.4	24.6	3.8	0.3	0.3	3.4	1.3	0.7	644.8	2.4	36.4	0.8	15.3	5.8	2.3	33.2
Médiane	0.940	112.9	59.6	0.135	6.724	17.3	20.3	32.1	111.1	12.2	139.6	29.0	478.4	16.6	2.8	0.3	0.3	2.7	0.5	0.7	641.4	2.1	31.6	0.7	13.2	5.2	2.2	33.0
Ecart type	1.617	120.7	57.4	0.083	3.536	5.1	7.9	15.7	46.4	15.5	41.9	12.0	584.6	17.6	2.8	0.2	0.1	2.2	1.6	0.0	107.7	0.6	17.0	0.2	8.7	2.9	0.4	7.2

Précambrien II inférieur

	TiO2	V	Cr	MnO	Fe2O3	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Pb	Bi	Th	U	Be	Li
Nombre	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306
Maximum	1.754	263.9	119.9	0.199	8.954	34.0	49.3	114.4	703.5	285.0	186.5	33.1	797.7	30.9	6.1	6.1	2.2	14.2	10.4	0.7	1001.0	10.1	578.2	2.4	33.4	7.0	2.7	53.0
Minimum	0.597	72.2	36.4	0.065	4.319	13.3	11.2	17.9	55.7	7.8	76.1	20.8	237.1	10.9	1.0	0.3	0.3	0.5	0.4	0.7	416.7	1.7	17.9	0.6	5.2	1.3	1.5	23.0
Moyenne	0.842	102.5	66.8	0.109	5.841	16.7	26.6	39.7	152.1	43.1	117.3	26.3	372.3	15.3	2.5	0.6	0.4	2.6	1.8	0.7	591.2	2.3	82.8	0.8	11.2	3.8	2.1	34.8
Médiane	0.795	99.2	68.1	0.104	5.707	15.3	26.5	34.5	119.3	27.4	113.9	26.1	357.8	14.6	2.4	0.3	0.3	2.2	1.1	0.7	568.4	2.1	46.3	0.7	10.0	3.8	2.1	34.0
Ecart type	0.186	20.6	14.1	0.025	0.866	3.6	7.2	18.1	104.8	45.4	22.8	2.7	86.6	2.9	0.9	0.8	0.3	1.9	1.8	0.0	89.8	0.8	101.7	0.2	4.7	1.2	0.3	6.3