

*Potentiel de minéralisation des  
domaines miniers de la Société Mines  
Tany Hafa (MTH)*

*(Région de Zazafotsy - Sahambano - Ranotsara au  
Sud de Madagascar)*

Fascicule 2 :  
*Modélisation géologique des différents types de minéralisation*

Le présent fascicule intitulé « **Modélisation géologique des différents types de minéralisation** » des domaines miniers de la Société Mines Tany Hafa (MTH) est le deuxième fascicule et vient à la suite d'un premier fascicule sur l'« Etat des connaissances géologiques et minières » pour la réalisation d'une étude de compilation bibliographique intitulée « Potentiels de Minéralisation des domaines miniers de la Société Mines Tany Hafa (MTH) (Région de Zazafotsy – Sahambano – Ranotsara) ». Le premier fascicule a fait un rappel succinct des différents cadres géologiques des domaines miniers de MTH et a cadré chacun des domaines dans son contexte tectonique et lithologique. Il a été mis particulièrement en évidence que le caractère majeur de la déformation de Ranotsara est à mettre en cause et ce, à l'observation des images numériques de géophysique. Ranotsara serait une grande flexure qui est responsable d'une zonation tectonique répétitive avec trois Domaines d'Homogénéité Structurale (DHS) évoluant d'un domaine marqué par des replissements occasionnant la formation de plis en fourreau à un domaine ultime de déformation où la déformation est plus régulière et matérialisée par des trajectoires de foliation mieux organisées avec cependant des plis asymétriques déracinés. La mise en place de l'essentiel des minéralisations reconnues se serait faite par la circulation de fluide à la faveur du premier épisode de plissement.

Ce deuxième fascicule utilisera les informations et les données des images numériques de la géophysique aéroportée (spectrométrie et magnétométrie) pour essayer de mieux affiner la collecte des informations relatives aux conditions gîtologiques des diverses indications de minéralisation des domaines miniers des Mines Tany Hafa.

#### **I- Les informations obtenues de la carte numérique radiométrique du radioélément K (potassium)**

Le potassium K est un élément chimique composé de trois isotopes ( $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  et  $^{41}\text{K}$ ). L'isotope 40 radioactif du potassium se désintègre pour générer deux isotopes radiogéniques  $^{40}\text{Ca}$  et  $^{40}\text{Ar}$ . La désintégration est accompagnée d'une émission de radiation caractéristique mesurable.

Le potassium est un élément chimique majeur constituant des feldspath qui est un minéral discriminant majeur des différentes roches communes. En effet, seules les ultrabasites sont à déficit flagrant de feldspath. Parmi les feldspath, les plagioclases sont faiblement constitués de potassium (inférieur à 10 %) et les feldspath des basites et des

ultrabasites sont du plagioclase basique. L'expression du potassium des basites et des ultrabasites est donc faible à très faible. Par contre les roches essentiellement formées de feldspath ont une bonne expression de K. Le radioélément K permet alors de faire un relatif bon discriminant dans la définition à distance des roches d'une région donnée.

L'analyse thématique de la distribution de la concentration calculée du radioélément K dans le domaine qui nous intéresse montre les classes suivantes

- classe 1 : avec uniquement des expressions radiologiques de la concentration en K entre 3,078 à 3,645 ppm ;
- classe 2 : avec les expressions radiologiques de la concentration en K comprises entre 2,587 à 3,645 ppm. De très rares expressions des concentrations comprises entre 0,427 et 0,746 ppm
- classe 3 : forte expression des concentrations comprises entre 2,885 et 3,645 ppm (60 %), expressions moyennes des concentrations comprises entre 2,069 à 1,896 ppm (25%). Les concentrations comprises entre 1,070 à 1,152 ppm sont rares (10%)
- classe 4 : essentiellement avec les expressions radiologiques comprises entre 2,727 à 3,076 ppm (30 %) dans une matrice avec des expressions comprises entre 1,234 à 1,810 ppm
- classe 5 : les plus fortes expressions de la concentration de K sont comprises entre 2,465 à 2,727 ppm et représentent 30 % de la distribution, la matrice est formée par les concentrations inférieures à 0,068 ppm et celles comprises entre 0,586 et 0,826 ppm
- classe 6 : les plus fortes expressions radiologiques correspondent aux valeurs de la concentration comprises entre 1,896 et 2,465 ppm et représentent 60 % des valeurs ; le reste étant les valeurs de concentration en K comprises entre 1,070 et 1,234 ppm
- classe 7 : très faible expressions des fortes valeurs de la concentration en K (5% des concentrations comprises entre 2,160 et 2,587 ppm) dans une matrice formée de 80 % des concentrations comprises entre 0,746 et 0,909 ppm (80%) et 15 % des concentrations inférieures à 0,068 ppm
- classe 8 : 90 % des concentrations exprimées sont inférieures à 0,068 ppm.

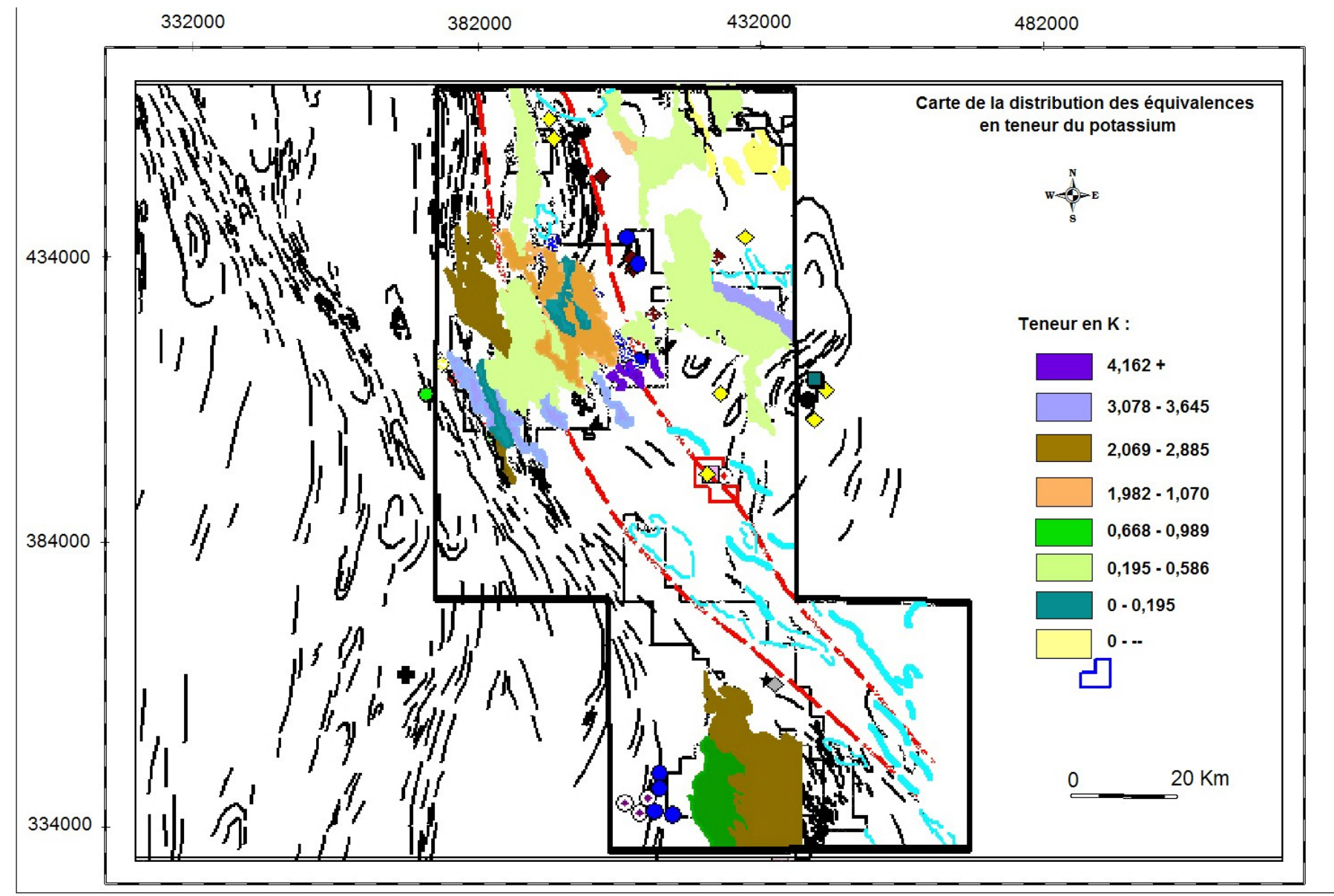
Ces différentes classes sont rencontrées dans quatre secteurs dont deux correspondent respectivement à la flexure de Zazafotsy (dans les environs de Sahambano) et à la flexure de Beraketa (dans les environs de Iakora). Le troisième secteur est localisé dans les environs de

Ambatraomby tandis que le quatrième est dans les environs de Belemboka. Le reste de la zone étudiée est constituée d'une matrice globale dont les plus fortes valeurs de la concentration en K (3,317 à 4,162 ppm) ponctuent des « points charnières » sur des bandes de concentrations comprises entre 1,932 et 2,357 ppm enrobées par des plages de valeurs de concentrations entre 0,909 et 0,989 ppm. Ces bandes alternent avec les plus basses valeurs de la concentration de K (inférieures à 0,068 ppm).

Une bonne corrélation entre les domaines d'homogénéité structuraux définis précédemment et la distribution globale des concentrations en K est observée. Les plus fortes valeurs de concentrations en K (classes 1, 2 et 3) sont essentiellement localisées dans le DHS 1. Contrairement les plus fortes valeurs de la concentration en K (classe 1) sont d'une part, très morcelées et d'autre part, également associées au DHS 1 et DHS 2. Les classes de concentration 4 et 6 sont essentiellement localisées au sein du DHS 2 tandis que la classe de concentration 8 n'est retrouvée que dans le DHS 1. Les classes de concentration 5 et 7 alternent avec les hautes valeurs de concentration de K au sein du DHS 1.

L'allure des secteurs définis par les classes de la valeur de la concentration en K est globalement conforme à celle de la déformation régionale.

Les allures de distribution générale de la concentration des valeurs du potassium ne respectent pas l'organisation des faciès pétrographiques au niveau de la région. Ceci est assez compréhensible du fait que toutes les formations géologiques rencontrées dans la région sont, du point de vue de leurs composants minéraux, similaires : elles sont toutes essentiellement constituées de feldspath et de quartz. Aussi les réponses spectrométriques ne peuvent – elles être que le reflet de cette similarité de composition. D'ailleurs l'expression radiologique de ce que nous avons plus haut défini comme expression d'une matrice si on se réfère à la distribution de la concentration en K.



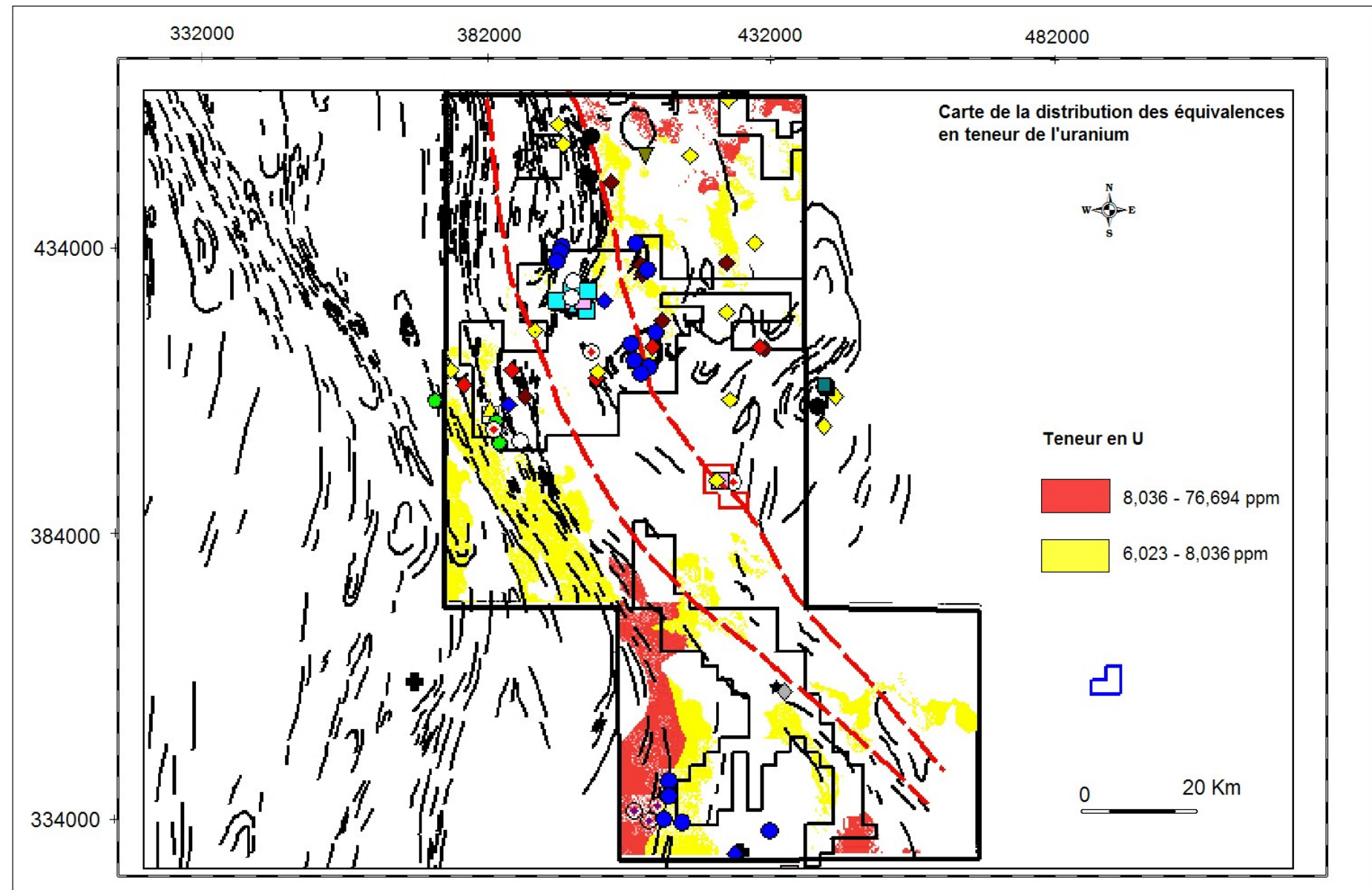
## II- *Les informations obtenues de la carte de la distribution de la concentration en uranium (U)*

L'uranium est un autre radioélément à trois isotopes  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  et  $^{234}\text{U}$ . Dans la chaîne de désintégration, chacun de ces trois isotopes donnent un élément radiogénique. L'uranium est un élément en trace qui caractérise les roches issues des liquides magmatiques évolués ainsi que des liquides terminaux du fractionnement magmatique. En d'autres termes, l'uranium est retrouvé dans les granites et les filons tardi-magmatiques. Comme le potassium, il permet également de discriminer les roches. Dans le cas qui nous intéresse où le magmatisme non ou peu affecté par le métamorphisme est rare, l'uranium pourrait principalement être lié à des circulations de liquide, à des événements périplutoniques tel que la skarnisation ou à une remobilisation associée au métamorphisme.

Comme dans le cas du radioélément potassium, l'analyse thématique de la carte de la distribution de la concentration en uranium a permis de mettre en évidence douze classes de la concentration en uranium :

<b>Rang des classes</b>	<b>Concentration en uranium par classe (ppm)</b>	<b>Rang des classes</b>	<b>Concentration en uranium par classe (ppm)</b>
1	50,43	7	1,21
2	34,90	8	1,12
3	11,11	9	1,07
4	2,26	10	0,72
5	2,17	11	0,62
6	1,66	12	0,44

***Moyenne superficière régionale : 14 ppm***



Cette analyse thématique fait ressortir trois zones de valeurs qui, en raison des moyennes de la concentration qui leur sont attribuées, traduisent des formations géologiques relativement enrichies en uranium. Ce sont les classes 1, 2 et 3. Toutefois, la concentration moyenne superficielle régionale étant égale à 14 ppm, traduit que seules les classes 1 et 2 représentent des zones anormales régionales. Il faut toutefois remarquer que cette anomalie ne veut pas de prime abord signifier des zones à minéralisation en uranium ni même indiquer des zones potentiellement favorables à une minéralisation en uranium. Elles indiquent tout simplement qu'une partie préférentielle des formations géologiques contiennent l'uranium en concentration plus élevée que la moyenne régionale.

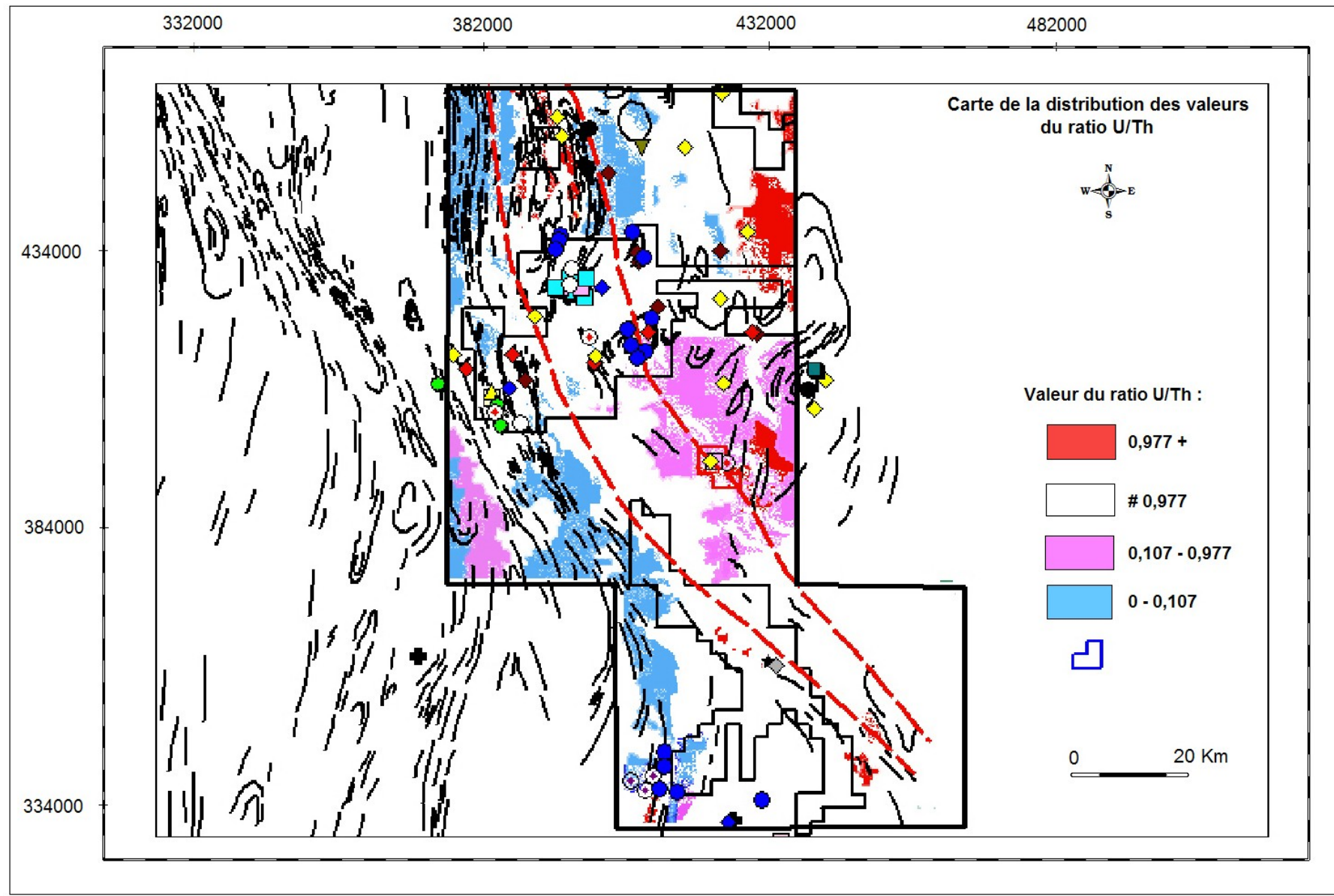
La juxtaposition de la carte des zones des classes de concentration 1 et 2 et de la carte géologique régionale à l'échelle du 1/500 000 montre sans aucune ambiguïté que l'enrichissement en uranium correspond aux contacts lithologiques régionaux. Cette situation offre une possibilité de modèle : l'enrichissement en uranium est indépendant de la lithologie donc il est postérieur à la mise en place des roches et qu'il est lié à une circulation régionale ayant utilisé les joints des couches. Il est toutefois important de noter que les plus fortes concentrations en uranium correspondent aux zones de flexures donc aux DHS 3, les flexures notées sur le fascicule 1 étant la flexure de Zazafotsy au niveau du secteur de Sahambano, la flexure de Beraketa au niveau de Iakora. La classe 2, de plus grande extension géographique, couvre les DHS 2 et partiellement les DHS 1 en même temps qu'elle suit le tracé global du linéament de Ranotsara tel qu'il l'a été connu depuis et que nous avons précisé sur le fascicule 1 comme étant la zone d'étirement due au mécanisme de la flexure.

### **III- *Les informations obtenus de la carte de la distribution des valeurs du ratio U sur Th***

L'uranium et le thorium sont deux actinides dont le comportement géochimique est similaire étant tous les deux des éléments hygromagmatophiles. Toutefois, l'uranium est plus mobile que le thorium, en d'autres termes, l'uranium est facilement lessivé par rapport au thorium. Cette différence de comportement permet d'utiliser le ratio U/Th comme élément discriminant. Une altération par les fluides lessivera l'uranium et donc accroîtrait la valeur du ratio.

Le tableau ci-après présente les résultats de l'analyse thématique faite sur le ratio U sur Th.





<b>Classe</b>	<b>Valeur du ratio U/Th</b>	<b>Relative signification du ratio</b>
1	3 298,342	Très riche en uranium. Horizon à uranium seul
2	1 443,203	Très riche en uranium. Horizon à uranium presque seul
3	1,184	Thorium co-existant avec uranium presque dans la même proportion
4	0,092	Uranium en petite proportion. Environnement thorifère
5	0,033	
6	0,028	
7	0,026	
8	0,020	Uranium presque absent. Horizon thorifère

#### **IV- Compréhension de la juxtaposition des distributions de K et de U {U-K}**

Les deux éléments chimiques K et U ont une forte affinité pour les termes liquides évolués (à comprendre autant en liquides magmatiques qu'en liquides tardi-magmatiques). En d'autres termes les formations géologiques qui contiennent K devraient normalement contenir également U. L'absence en l'un ou l'autre des deux éléments dans les milieux qui devraient leur être favorable implique d'autres mécanismes géologiques ou d'autres facteurs pouvant être d'ordre pétrologique qui faciliterait le transfert préférentiel de l'un des deux éléments. Dans le cas qui nous concerne, le terrain est de nature métamorphique. Déjà à ce niveau le comportement des deux éléments par rapport au métamorphisme (sauf des roches initialement de nature ultrabasique où la stabilité des feldspath est relativement limitée) doit être tenu en compte. Le potassium est un élément chimique qui entre normalement dans la constitution des roches métamorphiques par le biais de la stabilité des feldspath (notamment les orthoclases). L'uranium par contre ne conditionne pas la stabilité d'une phase pétrogénétique mais il se fait piégé dans les sites cristallins suivant diverses modalités. L'uranium et le potassium sont facilement lessivés par n'importe quel type de liquide dont le liquide métasomatique et les fluides hydrothermaux et même l'eau météorique. Tous ces liquides sont susceptibles d'avoir agi sur les formations géologiques de cette partie sud de l'île. Le terrain est métamorphique, il a été affecté par la troisième épisode d'aplanissement et de pénéplanation qui a mis en œuvre l'érosion aréolaire donc l'eau météorique. Ces faits permettent de proposer qu'un rééquilibrage des concentrations en les deux auraient

normalement dû se passer et que leurs présences relatives respectives seraient le reflet de leurs concentrations initiales.

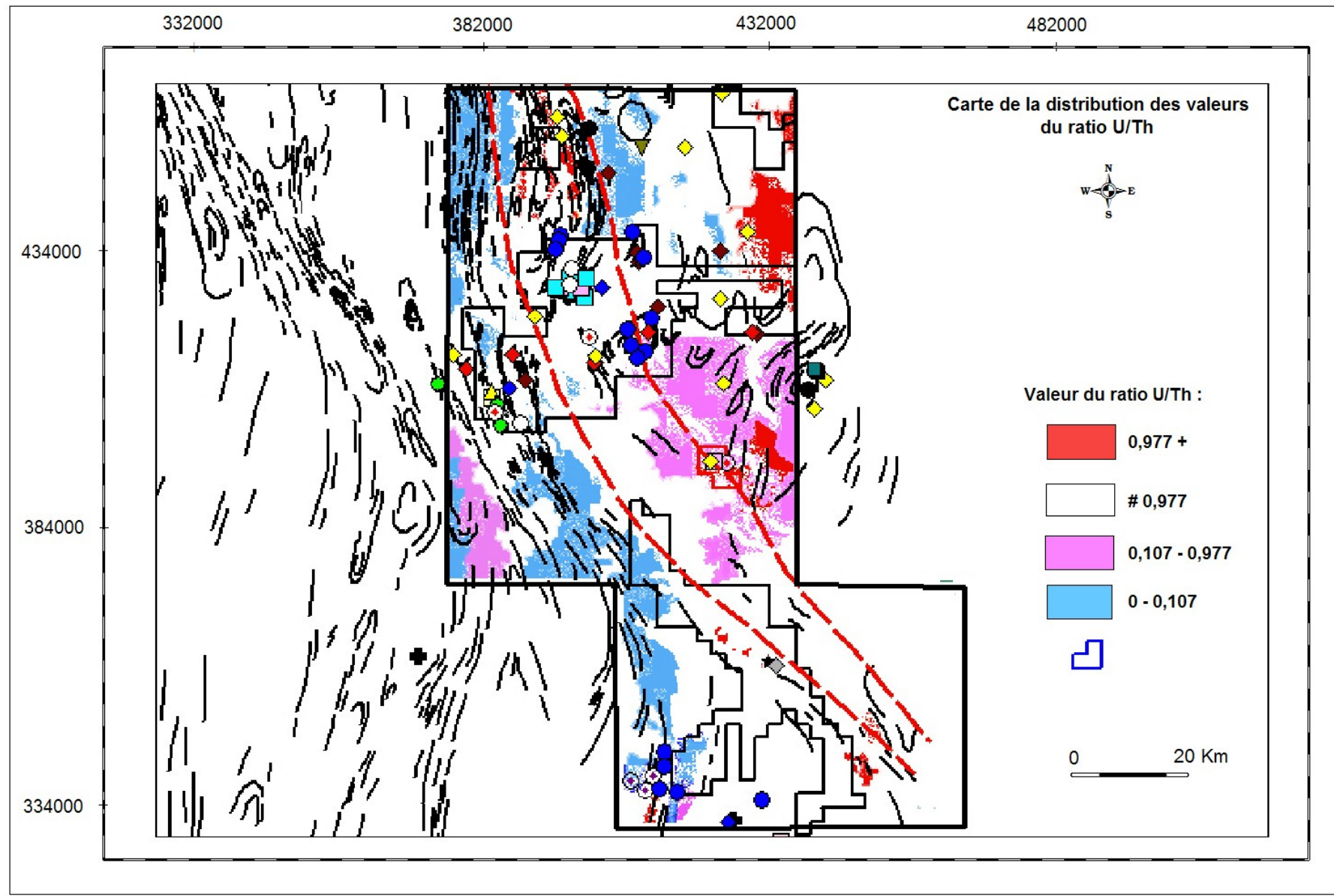
Toutefois, la carte de la juxtaposition des concentrations en potassium et en uranium fait apparaître quatre domaines :

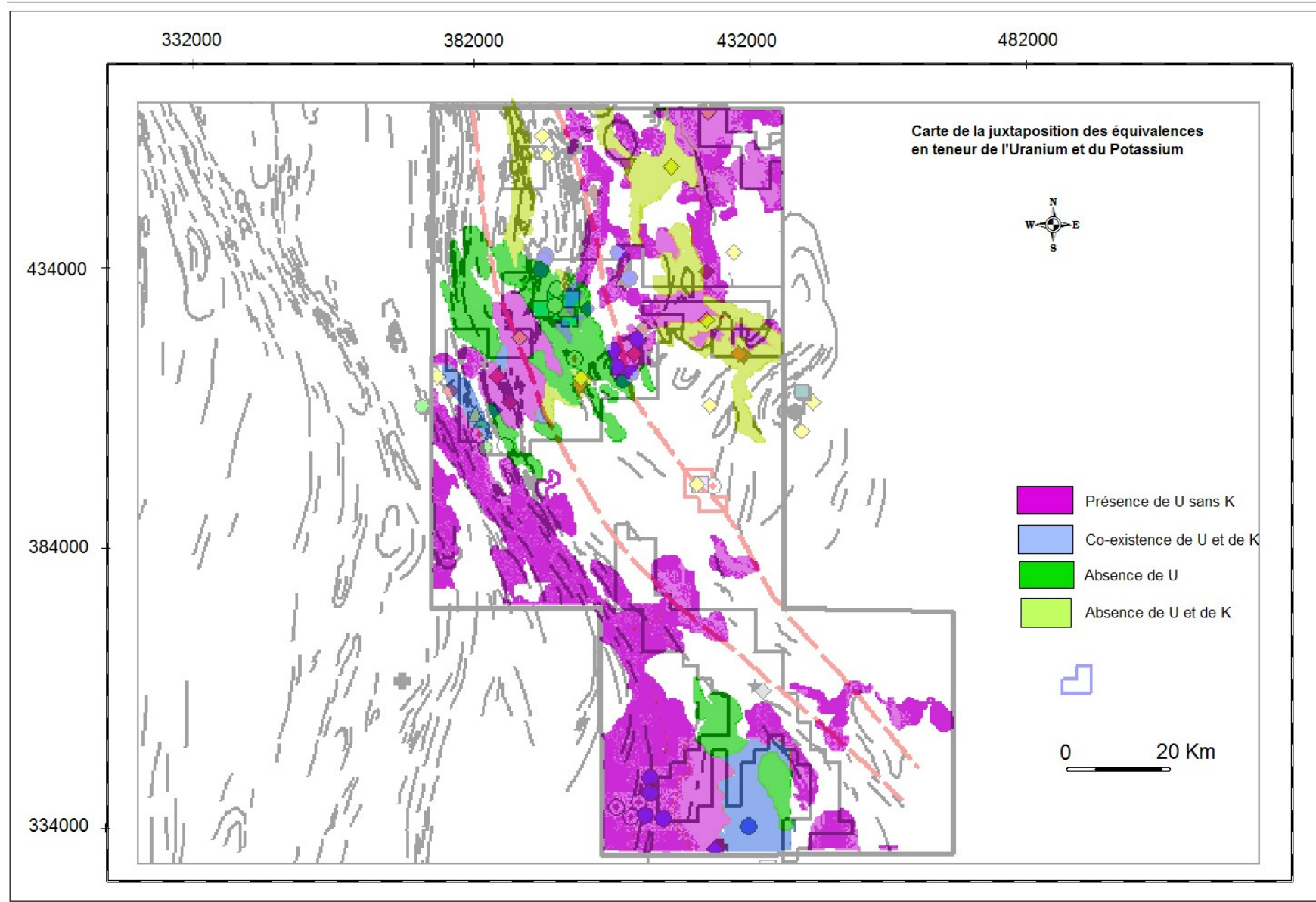
- domaine 1 (couleur bleu clair sur la carte): U sans K ou K très faiblement exprimé : ceci pourrait correspondre soit à un domaine initial sans K ou à fort déficit de K qui serait un domaine de liquide plutôt siliceux du genre quartz soit à un domaine de fort lessivage de K. En la juxtaposant aux cartes tectoniques, on note que ce domaine épouse bien les déformations dues aux flexures et il est bien individualisé dans le DHS 3. L'explication qu'on peut avancer est que ce domaine correspond à un lessivage du potassium par des liquides qui auraient circulé à la faveur des déformations majeures des roches ;
- domaine 2 (bleu clair sur la carte) : c'est un domaine où co-existent U et K. Ce domaine est localisé dans le DHS 1 où la déformation est relativement moindre. Le bon rapport des proportions relatives de présence des deux éléments est remarquable et ce domaine risque de n'être que l'expression pétrologique des formations géologiques ;
- domaine 3 (couleur vert sur la carte) : K sans U ou U très faiblement exprimé ;
- domaine 4 (couleur jaune clair sur la carte) : domaine où ne prévaut ni U ni K. Il est remarquable de noter que ce domaine est (i) nettement sécant par rapport au premier domaine et (ii) il est localisé dans les zones de structuration fermée des plis en fourreau possible.

#### V- ***Juxtaposition des cartes {U-K} et du rapport U/Th***

L'analyse thématique ci – dessus a été ramenée à quatre groupes de comportement du ratio U/Th

- groupe 1 (rouge sur la carte) : U n'a pas été lessivé : ceci suppose que soit Th n'a pas été initialement présent, soit que le secteur n'aurait été que très faiblement affecté par les actions des fluides pour la très simple raison que Th est beaucoup plus immobile relativement à U. Du fait de la localisation préférentielle de ce groupe dans les domaines les plus stables (DHS 1), il serait moins erroné de caler ce relatif immobilisme de Th et de voir ce groupe comme étant un produit de remobilisation ou de mobilisation des fluides lors ou suite à des événements métamorphiques qui auraient remobilisés plus facilement l'uranium des roches pré-existantes que leur thorium ;





- groupe 2 (couleur rose sur la carte) : les valeurs du ratio U/Th sont voisines de 1 par valeurs supérieures propose que l'uranium est légèrement dominant par rapport à Th. On peut également interpréter ceci comme tout simplement étant une absence de lessivage dans le cas des formations géologiques où U et Th ont été initialement présents dans des proportions comparables. Toutefois, leur localisation dans des secteurs plus déformés par rapport à ceux du groupe 1 ci-dessus qui nous permet de suggérer qu'il s'agit plutôt d'un léger lessivage ;
- groupe 3 (couleur bleu) : les valeurs du ratio U/Th mettent en évidence soit une absence de U soit un très fort lessivage de U. Nous abondons pour cette dernière hypothèse du fait que ce groupe n'est localisé que soit dans DHS 3 soit suivant les domaines de lamination liés aux flexures (ancien passage de la faille de Ranotsara) ;
- groupe 4 (sans couleur affectée sur la carte) : c'est un domaine plus général où d'une part, les déformations associées aux flexures sont moindres et d'autre part, où le ratio U/Th est voisin de 1 beaucoup plus par valeurs légèrement inférieures.

Un bref survol de ce comportement permet d'apprécier que le comportement du ratio U/Th serait beaucoup plus à lier aux intensités des déformations associées aux flexures.

De la juxtaposition des deux cartes ( $\{U-K\}$  et U/Th), on tire :

- 1- que le long des plus fortes déformations associées aux flexures de Zazafotsy et de Beraketa, le milieu est de comportement apparemment contradictoire car il est caractérisé par une présence de l'uranium dans un milieu à très fort déficit de potassium tandis que le ratio U/Th montre nettement que l'uranium et le potassium y ont été très lessivés. Quoiqu'en apparence contradictoire, cette situation conforte la circulation au travers et au moyen des déformations majeures associées aux flexures des roches ;
- 2- que les domaines de non lessivage de l'uranium (dépression ou absence de Th) correspondent à une co-existence de K et de U. Ceci risque d'être l'expression de manifestations granitiques ;
- 3- que les domaines à K sans présence ou à très forte dépression de U sont sécants aux deux domaines ci-dessus décrits et risquent de souligner des zones de mise en place de manifestations tardives telles que la pegmatitisation ;



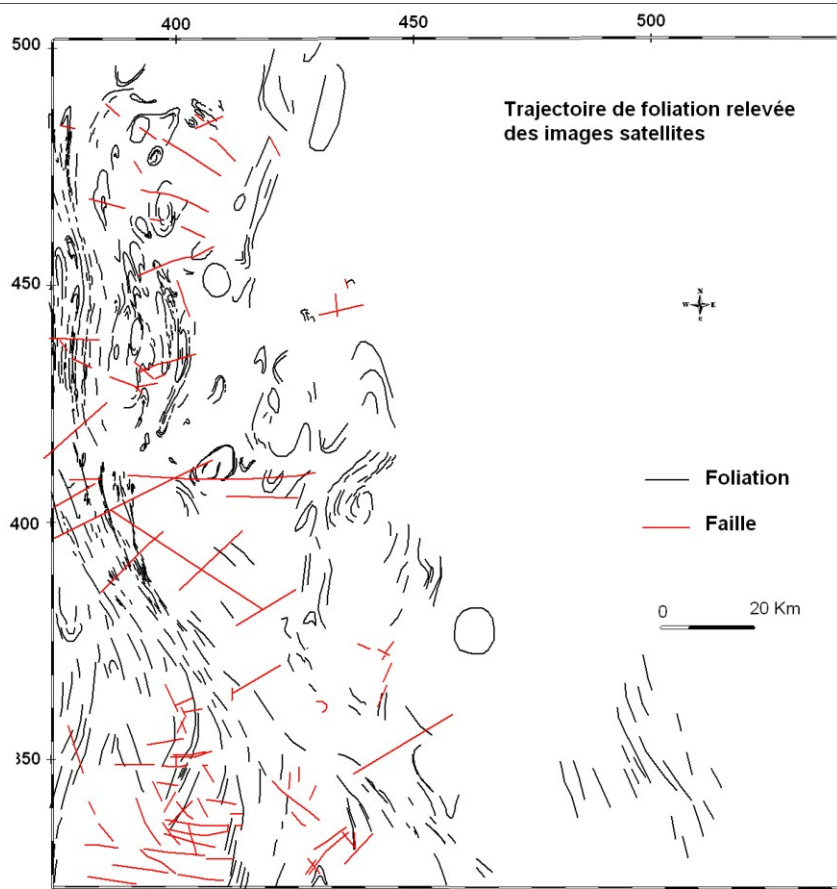
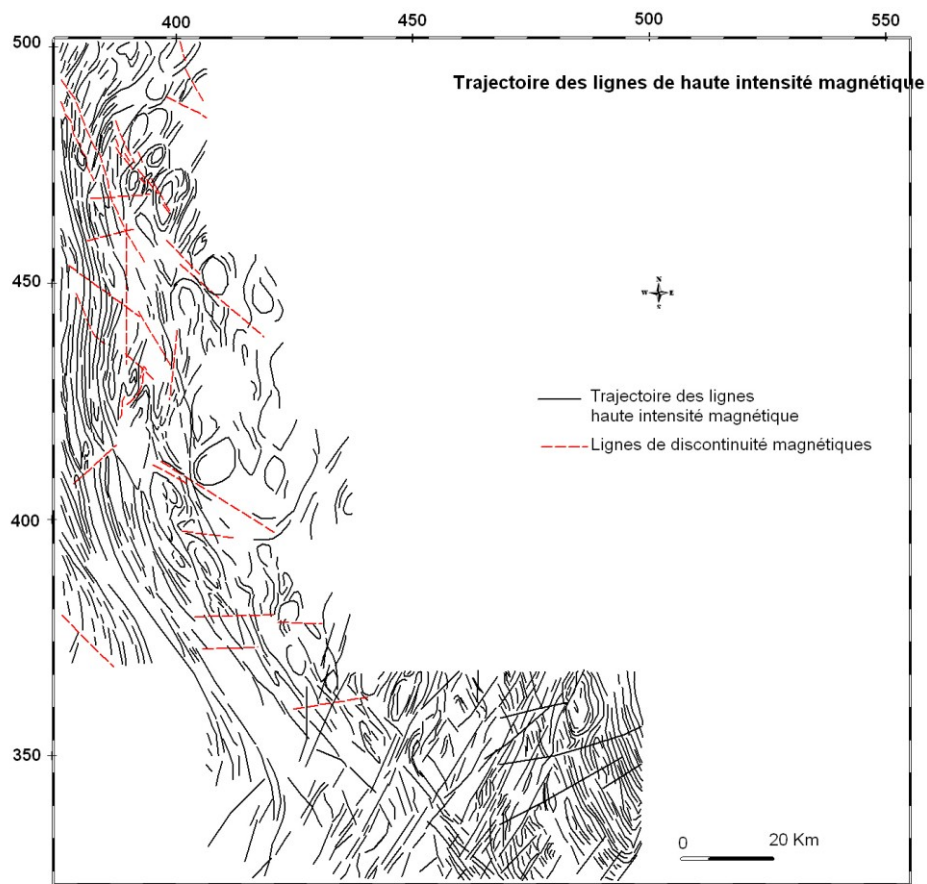
**VI- *Juxtaposition de toutes les informations des radioéléments et de la distribution des indices de minéralisation***

D'une manière générale, une seule règle régit les différentes minéralisations : juxtaposition d'un ratio U/Th voisin de 1 et prépondérance nette de K. Ceci met en avant que le vecteur de la minéralisation est très probablement des fluides qui auraient circulé à la faveur des grandes déformations. La nature potassique laisse suggérer deux possibilités. La première est que les minéralisations sont liées à une ou plusieurs épisodes de pegmatisation. La deuxième est que les minéralisations seraient à associer à un épisode de biotisation. Pour la partie Nord du domaine d'étude, les deux scénarii sont l'un comme l'autre probable en raison de la proximité de migmatite et de granite porphyrique.

**VII- *La lecture et la compréhension de la carte de la première dérivée verticale du champ magnétique terrestre***

Au plan de la tectonique, l'exploitation de la carte de la première dérivée verticale du champ magnétique terrestre n'apporte rien de substantiel par rapport aux apports antérieurs de l'imagerie satellitale. Par contre ce qui ressort d'une manière sans équivoque est le remplissage des fracturations régionales.

*Potentiels de minéralisation des domaines miniers de la Société Mines Tany Haifa  
(Région de Zazafotsy - Sahambano - Ranotsara au Sud de Madagascar)*





## **CONCLUSIONS GENERALES**

Lors de ces conclusions générales, nous allons d'abord reprendre les points forts de tout ce qui a été dit. Tout d'abord, il ressort que les minéralisations sont très probablement associées avec les circulations des fluides qui empruntent les voies qui leur sont offertes par les déformations régionales. Nous avons également mis en évidence que l'essentiel de ces minéralisations sont des héritages d'une déformation plicative antérieure faisant que seules aux DHS 2 et 3 sont apparemment en relation avec l'essentiel des indications de minéralisation. Par ailleurs on a aussi pu mettre en évidence les comportements des radioéléments dans les secteurs de minéralisation.

Nous proposons le schéma suivant de minéralisation des zones environnantes des domaines miniers de la Société Mines Tany Hafa.

### **1- Minéralisations associées aux circulations des fluides**

La circulation des fluides aurait dû être grandement favorisée et facilitée par les déformations majeures auxquelles sont associées des mécanismes de plis et de replis. Des intersections avec des structures cassantes favorisent également des accumulations de substances minérales utiles. En raison du mécanisme de repli qui prévaut dans la région, la circulation et le piégeage des fluides minéralisateurs, notamment le fluide siliceux (quartz), les fluides pegmatitiques et les fluides métasomatiques. Ceci fera très probablement que les corps porteurs de la minéralisation comme les pegmatites et le quartz peuvent avoir des géométries capricieuses et peuvent même acquérir des points d'étranglement. Qui ne sont que dus au repli. La carte numérique du potassium montre que les « lignes » les plus potassiques sont soit en position sécante par rapport à l'alignement général des « lignes » des isovaleurs, soit rendent compte du remplissage des grands accidents régionaux. Ce fait suggère alors une circulation de fluides tardifs par rapport aux premiers. Cet aspect de la circulation des fluides devrait également permettre une distinction, par la texture et la zonation des pegmatites, les différentes générations de liquides augmentant ainsi le nombre des paramètres de guidage de la prospection. Il est possible que les pegmatites zonées et/ou déformées soient fertiles car comme constaté antérieurement, les minéralisations seraient associées à la déformation plicative antérieure à la déformation plicative postérieure.

## **2- Minéralisations associées aux fluides métasomatiques**

Ceci est une très théorie de notre part. La proposition est justifiée par le fait qu'on note dans la région la présence de la scheelite et de la cassitérite ainsi que l'affleurement d'un granite porphyrique du type andringitréen et des migmatites. Des fluides métasomatiques peuvent en être générés.

## **3- Possibilité de minéralisation associée à un paléo-rollfront**

Cette autre hypothèse est également purement élocubative de notre part. En effet et comme on le sait, la région a été affectée durant le Jurassique par un événement d'aplanissement et de pénéplanation. On constate actuellement, une distribution zonée de l'uranium et du thorium faisant que la distribution du ratio U/Th n'est pas très conforme à ce qu'on aurait dû s'y attendre : un équilibre d'une part, entre le potassium et l'uranium et d'autre part, entre l'uranium et le thorium. En raison de l'expression de la concentration enregistrée atteignant plus de 76 ppm diffus et concentré au mieux dans les zones non déformées alors que dans toute la zone, il n'est reporté qu'un indice d'uranium. Nous souhaitons qu'un jour on puisse vérifier que les zones relativement peu déformées et de haute expression de l'uranium soient ou non des paléochenaux repris par les métamorphismes ultérieurs et que l'unique indice d'uranium répertorié serait ou non localisé dans un front d'oxydo-réduction actuellement stabilisé et rendu mature par les événements tectono-métamorphiques successifs ultérieurs.

## **4- Analyses des possibilité d'extension des différents types de minéralisation**

Au niveau actuel des connaissances auxquelles on a pu accéder, aucune mention des teneurs et des concentrations des minéraux des substances utiles n'est portée par les auteurs antérieurs. Ceci suppose les réserves à mettre aux raisonnements qui seront faits et sera à tenir compte dans l'estimation des opportunités d'extension. Toutefois, nous pensons que la prospectivité subséquente de la zone n'est pas à remettre en cause. Comme dans le cas des approches géologiques et des modèles que nous avons proposés, les approches du potentiel de minéralisation ne peuvent être considérées comme définitives sans des contrôles sur le terrain et des données de laboratoire.

Des fiches individuelles pour l'or, l'uranium et la scheelite – la cassitérite – la columbite sont présentées en annexe à ce fascicule et ce, en raison d'une plus grande complexité de compréhension de leur métallogénie. En ce qui concerne les autres indications de substances, nous jugeons que les éléments fournis sur le tableau intitulé « **Brèves descriptions des**

**minéralisations reconnues dans les domaines miniers de Mines Tany Hafa »**

préalablement établi et destiné à MTH suffisent pleinement. Toutefois, nous donnons ici les principales orientations conséquentes de ce tableau :

- 1- l'environnement n'est pas très favorable à l'individualisation d'un gîte de fer pouvant être doté d'intérêt minier. La plus large majorité des indications de fer sont en dehors des domaines miniers de MTH et répertoriés dans les environs des domaines miniers B, D et F. L'unique indication de fer dans le domaine minier F (coordonnées 432,52/353,92) a été portée comme « fer » par les anciens auteurs. Elle est dans un environnement lithologique de gneiss à pyroxène et elle est très probablement encaissée dans du quartzite dont les indications d'affleurement lui sont proches. Sur l'ensemble de la zone d'étude, on note des mentions de l'affleurement du quartzite. Il est conseillé de vérifier d'abord, la présence de la magnétite comme minéral accessoire du quartzite et d'autre part, si cette présence est vérifiée, définir l'ubiquité de la magnétite et sa distribution au sein du quartzite.
- 2- si le graphite présente des intérêts miniers dans la région, son intérêt économique risque d'être fortement ébranlé par la faible épaisseur de latérisation et par l'insuffisance d'eau faisant que, sauf cas d'une réserve exceptionnellement importante, les gîtes de graphite de cette région ne concurrenceraient pas les gîtes du versant Est où les roches porteuses et les roches encaissantes sont intensément latéritisées et la région est fortement arrosée ;
- 3- le corindon revêt une importance minière et économique. Sa localisation sur la carte et sa projection sur les images satellitales mettent bien en évidence son contrôle de minéralisation par les intersections entre un réseau régional de failles d'orientation générale NE-SW avec d'autres réseaux régionaux de failles E-W et/ou NW-SE. Et plus rarement NNW-SSE. En conséquence de quoi, la région d'étude est potentiellement favorable à la prospection d'éventuels autres gîtes de corindon qui serait à tabler sur une étude tectonique régionale préalable, les conditions citées plus hauts étant très présentes opposées à un petit nombre des indices et des gîtes répertoriés. Les indications de corindon sont rapportées au domaine minier D de MTH. Toutefois, les conditions de son possible piégeage sont très présentes dans le domaine minier F de MTH ;
- 4- Le marbre, de sa signification commerciale, est toutes roches qui donnent un bon poli avec ou sans marbrure (sur le plan géologique, des figures décoratives dues aux déformations souples de la roche) et ayant une teinte bien exprimée et attrayante. La

condition sine qua non est que le gîte puisse offrir des tranches épaisses sans déformation cassante, même interne. N'importe quelle roche s'y prête. Du granite affleure dans la région, il peut fournir un marbre dans les tons du blanc s'il a une tendance monzonitique ou dans les tons du rose s'il est potassique. Les paramètres de définition des gîtes des roches et de leurs déformations ne sont pas disponibles dans la bibliographie et doivent être acquises sur le terrain.

La même conclusion tient pour la pierre à chaux qui est une poche ou un passage de calcaire dépourvu de dolomite ;

5- Le minéraux des éléments chimiques associés aux liquides tels que le béryl, la phlogopite, la calcédoine et le cristal de roche sont, dans le contexte régional, à considérer en tenant compte des divers événements géologiques qui ont affecté le Sud malgache.

- L'individualisation du minéral béryl est conditionnée par un liquide post-évolution magmatique ou d'un liquide granitique dans le cadre d'une mobilisation du type alcalin. Sa coloration est, par contre, due aux impuretés chimiques. Les indications de béryl répertoriées sont localisées dans le domaine minier D (402,44/421,37 et 385,80/403,08). Ces indices sont géographiques proches des granites dits andringitréens sécants, alcalins et porphyriques. On peut penser soit à un télescope lié à ces granites soit à une circulation fluide du type mobilisation granitique. En sus des indications cataloguées dans le domaine minier D, les domaines miniers A, B, C, D et E sont potentiellement favorables à la présence du béryl du fait de leur proximité relative des granites ;
- Le cristal de roche est la forme limpide du quartz. Il est rare qu'on puisse diagnostiquer la présence du cristal de roche et des diverses formes colorées sauf qu'il se forme dans les filons (qui ne doit pas manquer dans la région) et dans les fractures (la région est singulièrement tectonisée). En d'autres termes, le cristal de roche et ses formes teintées sont potentiellement présents dans cette région. Les indices répertoriés sont aux points de coordonnées 384/396 et 393/404

Le même raisonnement tient pour la calcédoine (calcédoine, agate et onyx) qui est une forme microcristalline du quartz

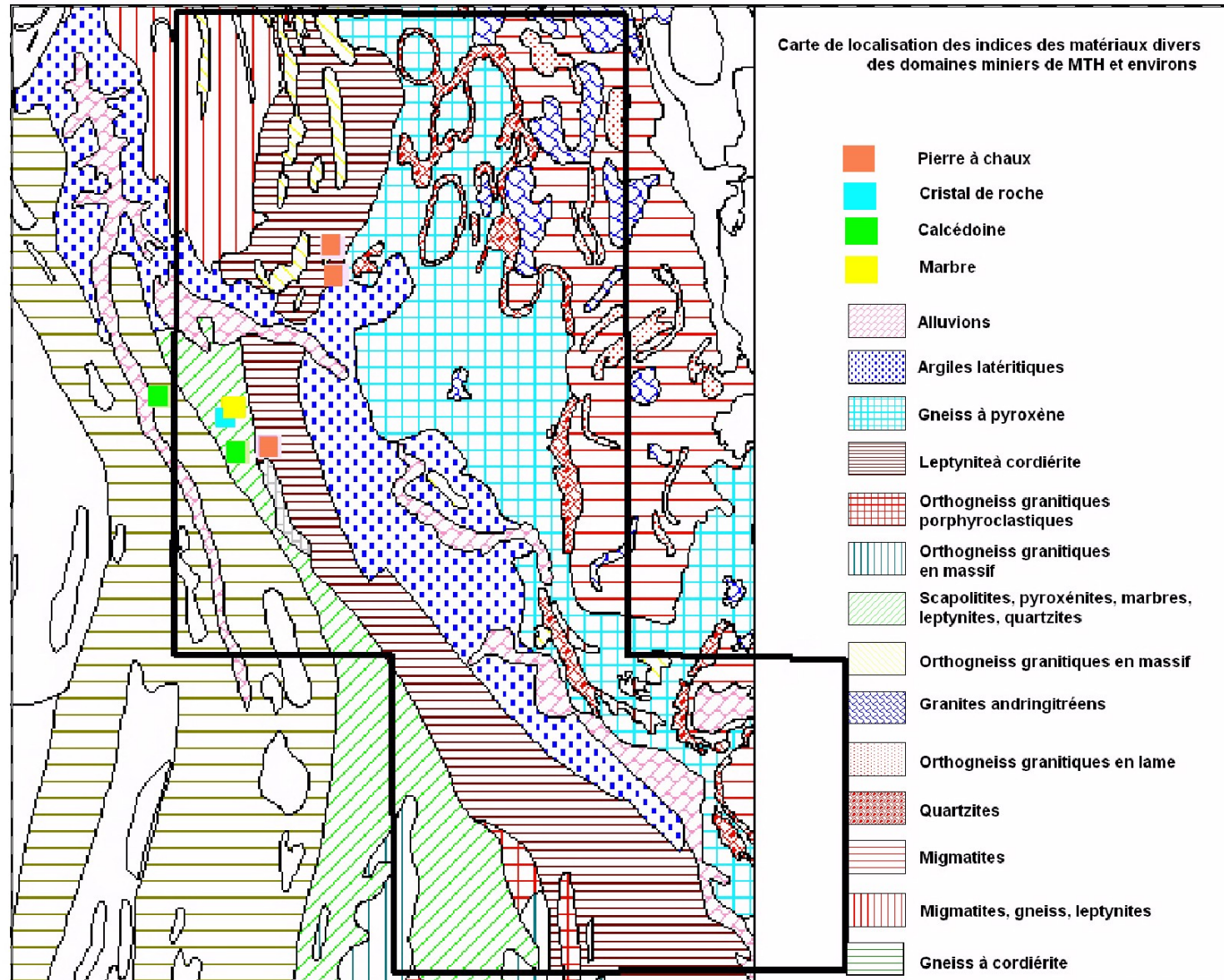
- la phlogopite est, dans cette partie de l'île, liée aux diverses ceintures magmatiques définies par Windley. Les indices répertoriés sont d'une part, en

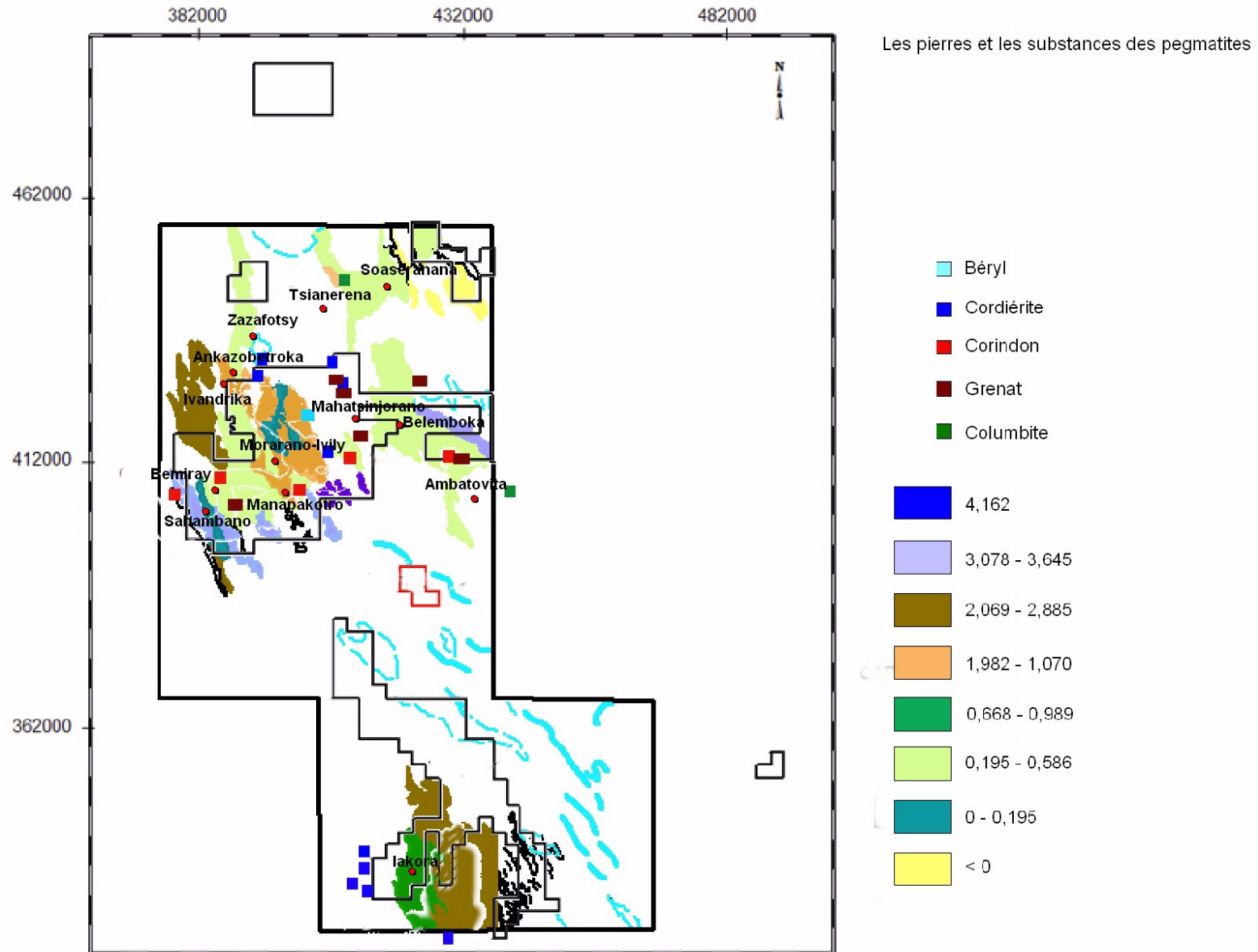
dehors mais relativement proche (6 kilomètres à l'Ouest du domaine minier F de MTH) et d'autre part, associées à la ceinture de Beraketa qui est également la flexure du même nom. Ces indications peuvent éventuellement conduire à des accumulations exceptionnelles en profondeur au niveau de l'intersection de la foliation régionale associée à la haute déformation de la flexure et des fractures et failles régionales (dans d'autres régions comme Ampandrandava, ces failles sont de direction sub-équatoriale). Il est alors conseillé de voir de plus près le développement des indices de phlogopite du domaine minier F et de prêter une attention particulière les intersections des trajectoires de la foliation associée à la flexure de Beraketa avec la tectonique cassante subséquente ;

- 6- la cordiérite et le grenat sont des minéraux néoformés par le métamorphisme. Ils sont disséminés au sein des roches métamorphiques. Pour qu'il y ait une concentration exceptionnelle en ces minéraux du métamorphisme, il aurait fallu d'autres facteurs tels que la remobilisation ultérieure par les liquides métasomatiques ou les mobilisats. Leur concentration peut aussi faire dans les leucosomes si ces derniers se développent d'une manière exceptionnelle et se comporte alors comme un fluide. Les faciès en fusion des gneiss sont les hôtes les plus favorables ;

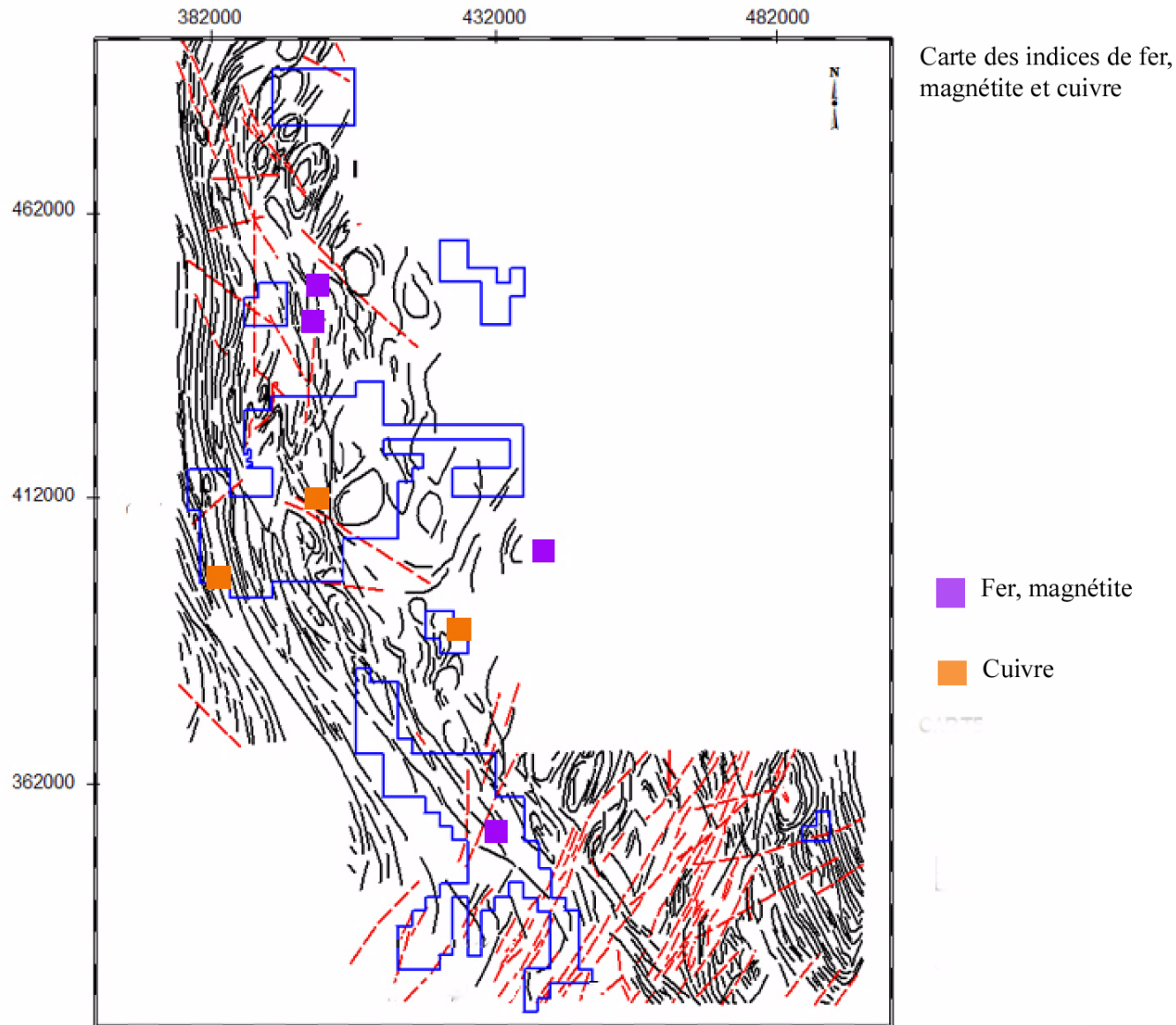
## **A N N E X E S**

### **Annexe 1 : Quelques cartes de localisation des indices de minéralisation**









**Annexe 2 : Fiche sur les indications en minéralisation sur l'or**

L'or est connu dans cette région sous ses deux formes : l'or alluvial (en italique gras sur le tableau) et l'or primaire. Le tableau ci-après récapitule les informations connues. Environ 60% des indications d'or sont de nature alluvionnaire.

<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Domaine minier</b>	<b>DHS</b>	<b>Contrôle lithologique</b>
395,22	448,48	Hors domaine minier : proche B	II	Gneiss à grenat
394,59	452,01	Hors domaine minier : proche B	II	Gneiss à grenat
<b>417,38</b>	<b>446,46</b>	<b>Hors domaine minier : proche C</b>	<b>I</b>	<b>Origine probable : Gneiss à grenat</b>
423,93	456,37	C	I	Granite à amphibole
401,16	408,94	D	II	Granite à amphibole et à biotite
<b>401,33</b>	<b>407,64</b>	<b>D</b>	<b>II</b>	<b>Origine probable : Gneiss à amphibole et à biotite</b>
375,72	409,26	Hors domaine minier : proche D	III	Origine probable : Gneiss leptynitique
386,47	409,18	D	II	Origine probable : Leptynite granitoïde à grenat
423,53	419,37	Hors domaine minier : proche D	I	Origine probable : Gneiss basique et orthogneiss
428,80	431,16	Hors domaine minier : proche D	I	Origine probable : Granite à amphibole
424,37	404,20	Hors domaine minier : proche D	I	Origine probable : Gneiss à amphibole et à biotite
422,02	389,94	E	II	Origine probable : Gneiss à amphibole et à biotite

En accord avec les définitions des domaines d'homogénéité structurale qu'on a préalablement établies, il s'avère que l'essentiel des indices d'or est contrôlé par autant le DHS 1 que le DHS 2. Il est alors remarquable de noter l'absence d'indice dans le DHS 3 des zones de haute déformation des flexures. Cette situation peut être liée soit à un intense lessivage soit à un démantèlement – arrachage – transport soit à une absence préalable de minéralisation en or. Ce troisième scénario semble très peu probable. Les deux premiers scénarii suggèrent une présence initiale de l'or.

On rappelle brièvement que l'or est ramené sous forme cationique des entrailles de la terre par le magmatisme basique et/ou ultrabasique. Il lui faut alors un événement géologique générateur de fluide pour l'en soutirer et pour favoriser son accueil et son piégeage ultérieur et

éventuellement sa concentration. On entend alors classiquement par gîtes primaires d'or, l'or des fluides tardi-magmatiques ou des fluides métasomatiques (exemple des pegmatites et du quartz), l'or des formations métamorphiques hérités des niveaux de décantation par voie gravitaire de l'or comme les quartzites ou des hérités des faciès détritiques fins qui auraient piégés l'or fin comme les gneiss et l'or des remobilisations des liquides hydrothermaux à diverses températures. On n'a pas retrouvé les indications bibliographiques de ce dernier cas. L'existence antérieure d'un magmatisme basique est supposée par les gneiss mafiques à amphibole tandis que la biotite pourrait attester de l'altération de minéraux mafiques antérieurs. Les conditions semblent alors être remplies pour une opportunité de minéralisation en or.

L'environnement géologique de la zone est très favorable du fait qu'autant les faciès pétrographiques que les minéraux indicateurs des faciès du métamorphisme militent pour un accès à la fusion partielle des formations géologiques et de leur mobilisation. Toutefois, et aux vues du contrôle lithologique décrit par le tableau ci-dessus, nous suggérons les possibilités suivantes quant à l'extension des structures de minéralisation :

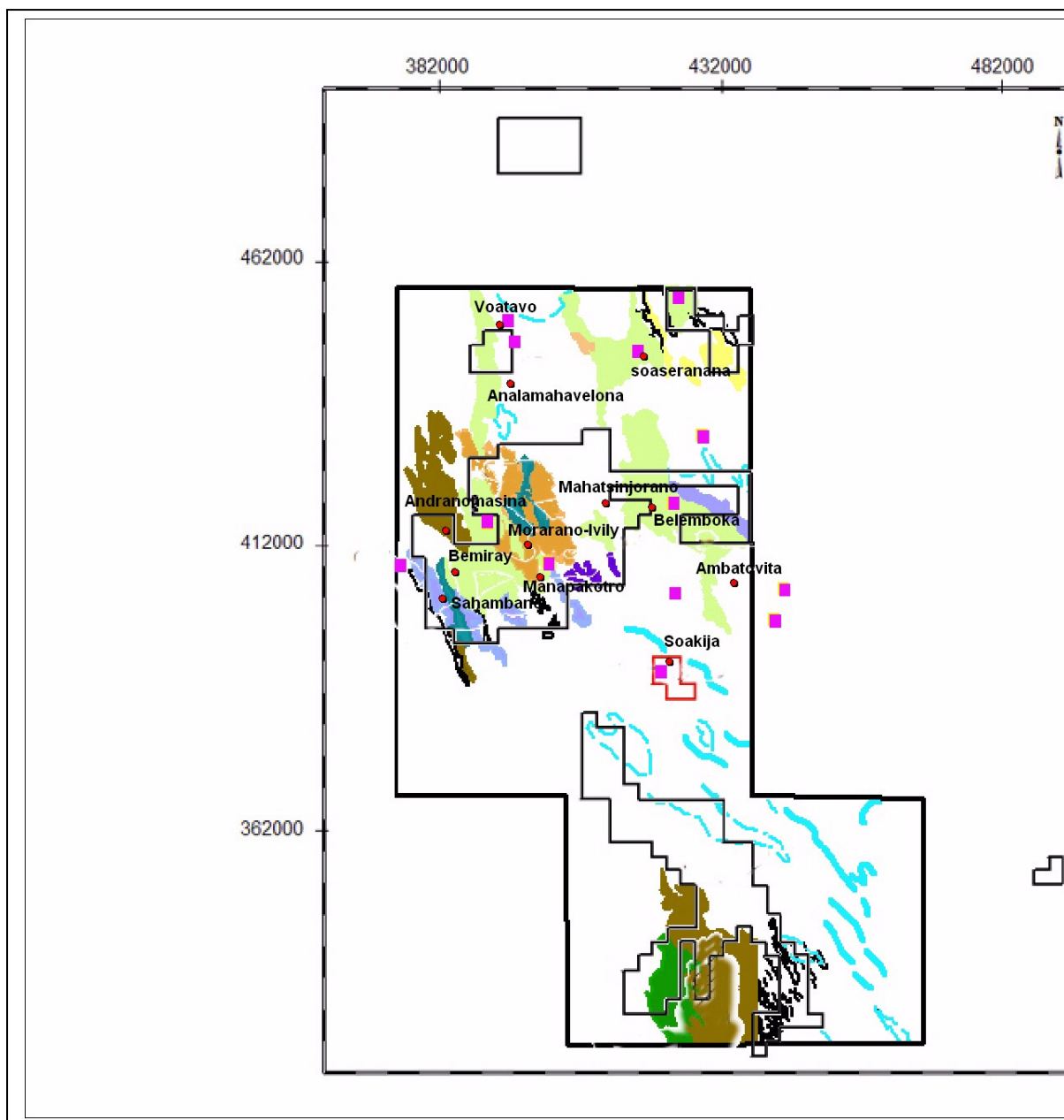
- la probabilité pour le gneiss à grenat de dériver d'une formation basique est quasiment nulle par contre, il a la possibilité de faire partie d'une séquence pélitique initiale donc d'avoir pu piéger initialement l'or fin. La troisième possibilité est l'or remobilisé. Dans ce dernier cas, la minéralisation associée est à mettre sur le compte de la circulation de liquide à la faveur des déformations du gneiss. Les indications bibliographiques semble favoriser ce cas, aussi est – t – il très peu possible le piégeage pour mener à des fortes concentrations de l'or du fait de la faible présence des séquences magmatiques basiques originelles. La même conclusion est à faire pour le contrôle lithologique par la leptynite, de plus elle ne peut pas dériver d'une formation magmatique basique initiale du fait de sa déficience plus ou moins prononcée en termes mafiques ;
- les termes mafiques sont par contre à considérer en priorité : les gneiss basiques. En effet, les gneiss basiques et les gneiss à amphibole pourraient dériver de formations basiques magmatiques et avoir une concentration préalable en minéraux mafiques donc une présence initiale des minéraux des éléments sidérophiles auxquels est géochimiquement associé l'or. Toutefois, l'or, s'il y est, serait disséminé (ce qui diminuerait grandement son intérêt minier). L'autre possibilité est que l'or aurait été lessivé et remobilisé par les fluides ultérieurs. Dans ce cas, les voies de circulation du liquide seraient également les lieux de piégeage de l'or qui, si le milieu aurait été ultra-acide, favoriserait son nourrissage et donc l'augmentation de sa taille. Si ces gneiss sont d'un héritage sédimentaire, la possibilité de présence de l'or s'amenuise sans un mécanisme d'oxydo-réduction qui favoriserait la précipitation de l'or réduit. Nous n'avons pas retrouvé dans la bibliographie les assemblages minéraux qui nous permettent de suggérer ce genre de mécanisme et nous le considérons comme inexistant dans la zone ;
- nous proposons une plus grande attention dans le cas d'un environnement du granite à amphibole. Dans tous les cas, pour stabiliser l'amphibole, le granite a eu une quantité significative d'éléments chimiques mafiques qu'il aurait pu hériter d'un ascendant basique intensément orthogneissifié et mis en fusion. Le fluide généré aurait beaucoup mieux concentré l'or. Le seul paramètre à vérifier serait la présence de minéraux indicateurs d'une réduction permettant à l'or de se précipiter tels que la co-existence de la magnétite et d'un sulfure de fer.

De ces considérations, nous proposons la hiérarchie décroissante des considérations : l'environnement de granite à amphibole (aux points de coordonnées 423,93/456,37, 401,16/408,94 en indices de minéralisation primaire et au point 428,80/431,16 pour un indice alluvionnaire) et les filons associés, les gneiss basiques (aux points de coordonnées 423,53/419,37 en indices alluvionnaires) et les gneiss à amphibole (aux points de coordonnées 401,33/407,64, 424,37/404,20, 422,02/389,94, en indices alluvionnaires) et les gneiss à grenat ainsi que les leptynites. En bref, l'or est prioritairement à prospector dans les domaines miniers C et D puis E.

Toutefois, et quelque soit l'environnement géologique considéré, il est systématiquement à considérer le mécanisme de repli qui générerait

- soit un laminage et un déplacement par fluage différentiel des minéraux sur les flancs des plis antérieurs faisant que les minéraux les plus lourds dont l'or se concentreraient dans les milieux les plus « en fosse » soit au niveau des charnières des plis postérieurs;
- soit un circuit de circulation des fluide avec des intersections où le régime ne peut être que turbulent et donc favoriserait un dépôt par centrifugation des minéraux lourds dont l'or.

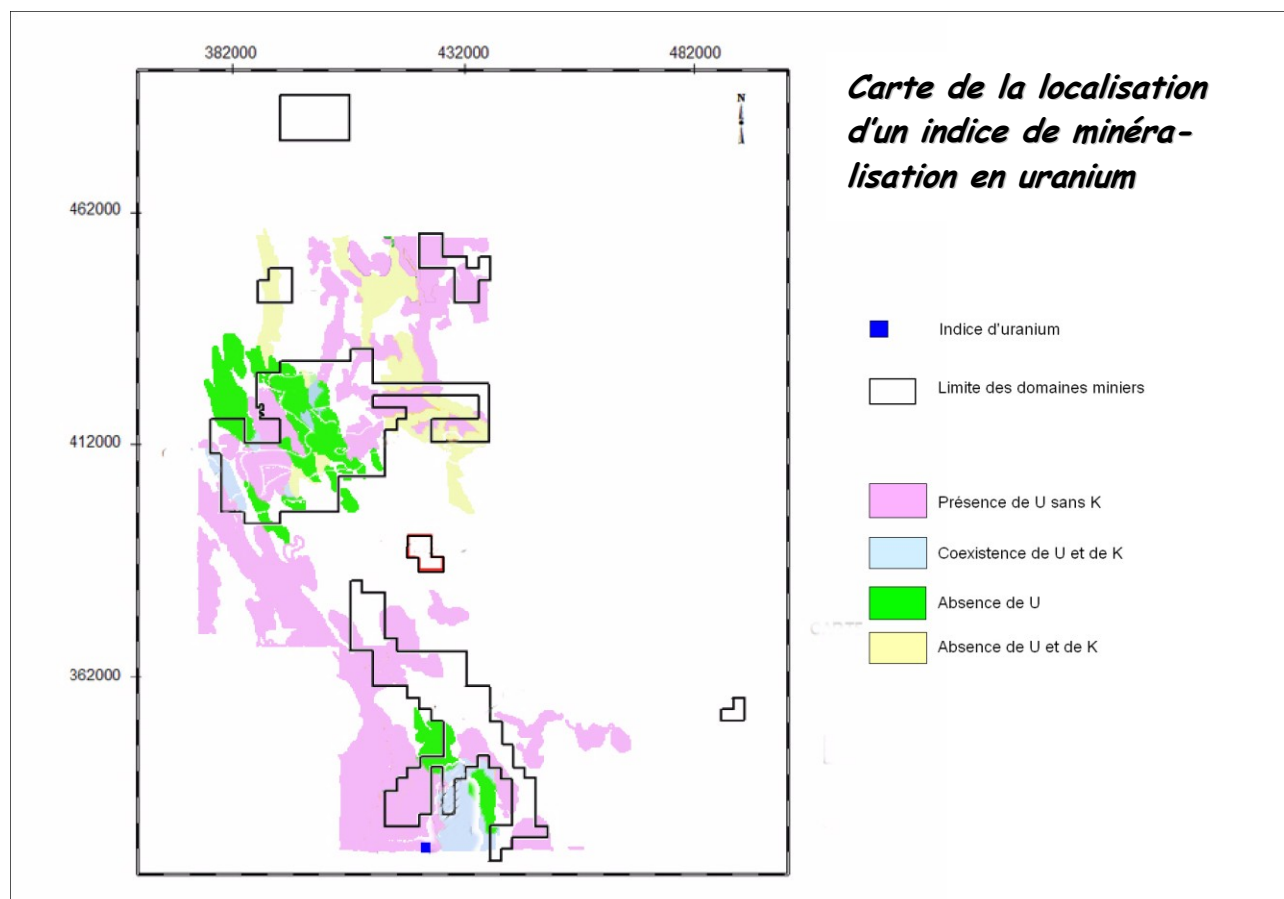
Cette situation orienterait la prospection vers les nœuds soit aux points d'intersection des filons et les structures en fourreau.



*Carte de localisation des indices d'or des domaines miniers (et leurs environs)  
de la Société Mines Tany Hafa*

### **Annexe 3 : Fiche sur la possibilité en uranium des domaines miniers de la Société minière Mines Tany Hafa**

Il n'est plus nécessaire de revenir sur les caractères géochimiques de l'éléments chimique uranium qui ont été exposés dans le fascicule lui – même en tant que radioéléments contenus dans les diverses roches notamment granitiques. Les points à discuter dans cette fiche sont les caractères favorables à sa concentration pour constituer des gîtes à caractère minier.



Les minéraux de l'uranium peuvent exister dans les roches dérivées de magmas évolués et dans le liquide tardi-magmatique. En général ces roches sont les diverses formes du granite et les filons de pegmatite. Il faut aussi rappeler que le traitement des signaux issus des programmes d'acquisition de géophysique aéroportée se font sur toutes les longueurs des lignes de survol. Ceci a pour conséquence de diluer ou d'amplifier certains signaux en fonction de la présence de l'uranium dans leur environnement géologique. Un fort signal en uranium n'indique systématiquement pas la présence d'un gîte à caractère minier de l'uranium, il est à comprendre comme étant une plus grande présence du radioélément uranium dans un contexte géologique bien précis comparé aux contextes avoisinants. Un faible signal ne veut forcément pas dire une absence de gîte à caractère minier de l'uranium.

La forme primaire du piégeage des minéraux de l'uranium dans les roches est sa forme disséminée dans les formations géologiques dérivées de liquides évolués comme le granite. Les minéraux de l'uranium y sont secondaires et accessoires. Donc leur présence n'augmenterait pas d'une manière significative l'expression des émanations. Une légère augmentation de la teneur équivalente en uranium de la roche par rapport à son environnement serait observée. Comme ce cas, n'est pas observée dans la région, nous écartons cette hypothèse.

La forme de piégeage de l'uranium par les liquides est la pegmatite à minéraux d'uranium. Comme la puissance de la pegmatite est généralement relativement faible, le minéral d'uranium qui s'y trouve sous-forme disséminée n'influencera pas la signature radioactive de la pegmatite. Si la densité des filons de pegmatite à uranium est élevée, l'expression de la radioactivité régionale en est légèrement affectée. Si la densité des filons de pegmatite est faible, la présence de l'uranium n'influencera en rien l'expression moyenne de la radioactivité en U.

La troisième forme envisageable est le paléo-rollfront. En d'autres termes on envisage l'existence d'un front d'oxydo-réduction anté-métamorphisme qui aurait favorisé la réduction puis la précipitation de l'uranium réduit. Des mesures de la radioactivité dans ce contexte révélerait d'une manière nette la forte présence des minéraux de l'uranium. Les minéraux de l'uranium initialement formés dans un contexte sédimentaire et repris ultérieurement par le métamorphisme risquent de subir une substantielle déstabilisation générant un phénomène de lessivage cationique qui libèrerait partiellement l'uranium. Si ceci devait se passer, les sites de piégeage de l'uranium à la faveur de ce paléo-rollfront seraient partiellement démantelés. Son expression serait largement atténuée par rapport à ce qu'elle le serait sans le métamorphisme.

Dans le cas qui nous intéresse, un seul indice d'uranium est répertorié. La carte de la page précédente montre que cet indice est localisé d'une manière ambiguë entre deux domaines géochimiques :

- le premier domaine géochimique et où apparemment il est effectivement indiqué est un domaine caractérisé par la présence de l'uranium et par l'absence du potassium. Ceci impliquerait un environnement géologique sans minéral potassique qui est un scénario complètement impossible du fait que cette partie de la zone d'étude est formé

par des gneiss. A notre avis, cette situation reflète plutôt la remobilisation du potassium des feldspath des roches et augmenterait de ce fait la proportion relative de l'uranium de la roche. Cette signature n'aurait aucune signification sur la présence de gîtes d'uranium ;

- le deuxième domaine géochimique est celui d'une co-existence de l'uranium et du potassium chacun dans des proportions relativement conséquentes. Il est remarquable de noter que ce domaine géochimique est localisé dans le DHS 2 de la flexure de Beraketa. En d'autres termes, il lui est attribué une possibilité de forte densité de circulation des fluides dans un contexte de leptynite et de gneiss à pyroxène. Par ailleurs, le même contexte géochimique est répété à la terminaison de la flexure de Zazafotsy, le tracé de la structure de Ranotsara les liant.

En tenant compte des considérations ci-dessus, il serait plus logique d'envisager que l'indice d'uranium appartienne plutôt au deuxième domaine géochimique (en bleu clair sur la carte de la page 1). Nous suggérons alors le schéma suivant qui ne peut être qu'un outil de réflexion et dont les argumentaires correspondants sont irrationnels et doit faire l'objet d'une vérification sur le terrain des paramètres essentiels :

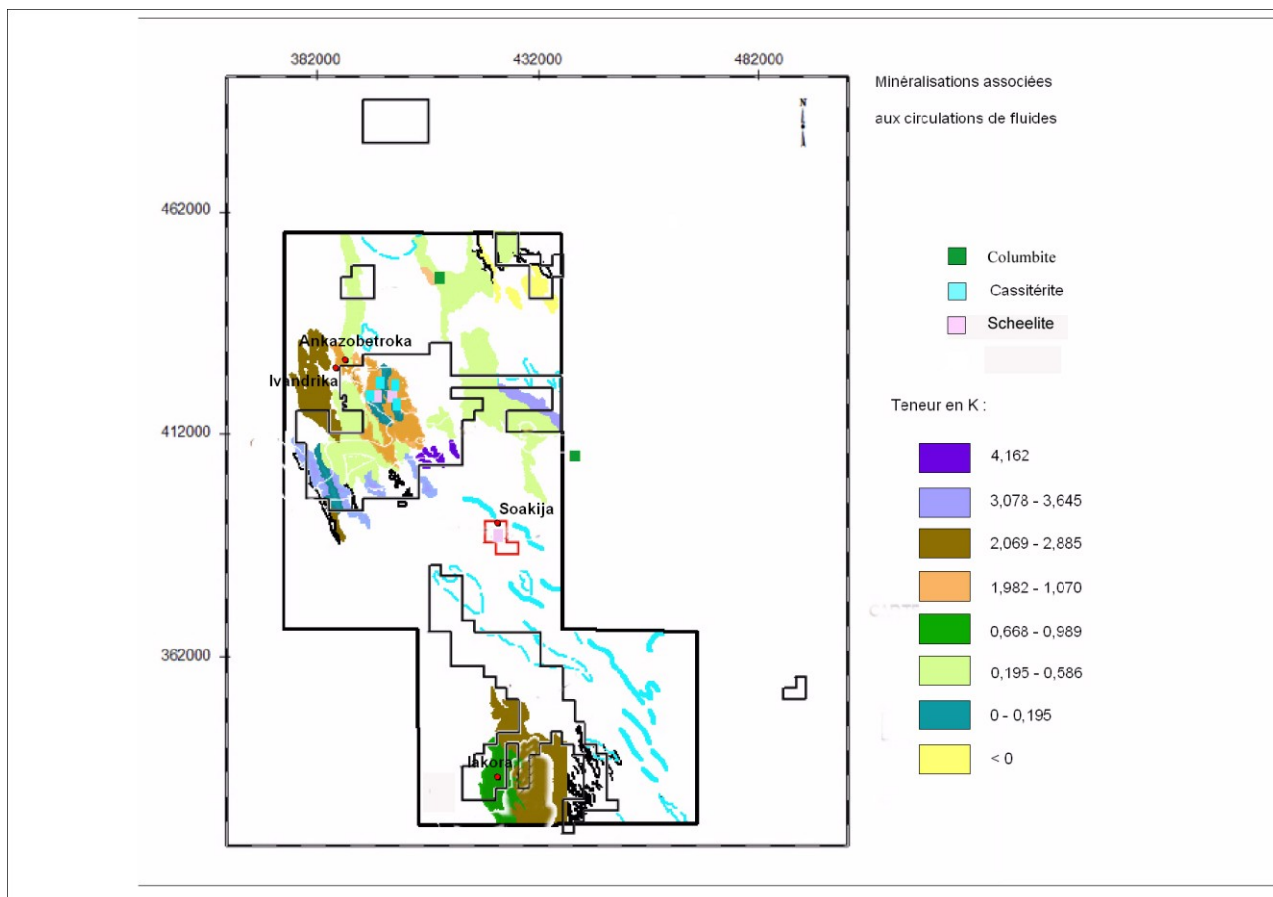
- une première minéralisation en uranium dans un contexte sédimentaire et suivant le modèle de rollfront se serait réalisée grâce à un environnement réducteur témoigné par la présence du graphite plus au nord de l'indice ;
- une deuxième épisode serait celle de la reprise par le métamorphisme, démantèlement partiel des minéraux de l'uranium par lessivage cationique,
- une troisième épisode de nature tectonique accompagnée ou suivie d'une circulation hydrothermale qui aurait remobilisé ce qui aurait resté des accumulations de minéraux d'uranium et ce, à la faveur des déformations liées aux flexures de Zazafotsy et de Beraketa tel que la structure de Ranotsara aurait joué le rôle de conduit de jonction.

Ceci suggère que le domaine minier F de la Société MTH aurait une faible prospectivité en uranium.



#### **Annexe 4 : Fiche sur les possibilités de minéralisation en cassitérite, scheelite et columbite des domaines miniers de la Société Mines Tany Hafa**

Ces trois minéraux sont des oxydes (cassitérite = oxyde d'étain, columbite = oxyde de columbium et de tantale) et des tungstates (scheelite = tungstate de calcium) des granites et surtout des filons associés.



La présence de ces trois minéraux sont donc à mettre à l'actif d'un granite et leur distribution serait fonction de l'aptitude du liquide tardi-évolution du magma granitique à migrer en véhiculant les éléments chimiques requis. Les indications de la cassitérite et de la scheelite sont dans le domaine minier D tandis que la localisation des indications de columbite, quoiqu'en dehors des domaines miniers, leurs sont proches. A notre avis, le potentiel en ces trois minéraux sont envisageable dans les domaines miniers B, C et D.

**Annexe 5 : Brèves descriptions des minéralisations reconnues  
dans les domaines miniers de Mines Tany Hafa**

Substances minérales	Occurrences géologiques	Vecteur de Minéralisation possible	Coordonnées (m) des aires de minéralisation		Domaines miniers de MTH concernés
			X	Y	
<b>Corindon</b>					
<b>Cor 1</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Gneiss leptynitique (formation de Benato)</i> <b>Tectonique :</b> <i>dans DHS 3 (flanc de pli déraciné), Intersection de deux failles (NE-SW et E-W)</i>	Circulation probable de fluide	378 100	406 600	Légèrement en dehors du domaine minier D
<b>Cor 2</b>	<b>Lithologie :</b> <i>leptynite granitoïde à grenat</i> <b>Tectonique :</b> <i>dans DHS 3 (flanc de pli déraciné), Intersection de deux failles NE-SW et NW-SE</i>	Circulation probable de fluide	386 400	409 100	Domaine minier D
<b>Cor 3</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Gneiss à amphibole et biotite</i> <b>Tectonique :</b> <i>dans DHS 2, intersection de trois failles : NW-SE, E-W, NE-SW</i>	Circulation probable de fluide	401 180	407 800	Domaine minier D
<b>Cor 4</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Gneiss à sillimanite et cordiérite</i> <b>Tectonique :</b> <i>DHS 1 sur la charnière de replissement, Intersection de trois failles NE-SW, NW-SE et E-W</i>	Circulation probable de fluide	410 810	413 150	Domaine minier D

Substances minérales	Occurrences géologiques	Vecteur de Minéralisation possible	Coordonnées (m) des aires de minéralisation		Domaines miniers de MTH concernés
			X	Y	
<b>Cor 5</b>	<b>Lithologie :</b> Gneiss, <b>Tectonique :</b> DHS 1 sur la charnière de replissement, Intersection de trois failles NE-SW, NNE-SSW et E-W	Circulation probable de fluide	429 560	413 130	Domaine minier D
<b><u>Uranium</u></b>					
	<b>Lithologie :</b> Migmatite <b>Tectonique :</b> Intersection de réseaux de failles de direction N-S, NE-SW, NW-SE, EES-WWN	Circulation probable de fluide	425 700	325 260	Localisation de l'indice repertorié : hors domaine minier de MTH.  Extension possible dans le domaine minier F de MTH et ce, suivant la compréhension de la cartographie numérique géophysique.  Surface possible totale contenant des structures à uranium : 103 km <sup>2</sup> dont 26 km <sup>2</sup> inclus dans le domaine minier F de MTH.
<b><u>Minerais industriels</u></b>					
<b><u>Fer</u></b>					
<b>Fer 1</b>	<b>Lithologie :</b> Gneiss à pyroxène à bancs intercalés de quartzite <b>Tectonique :</b> DHS 3 (flexure de Ranotsara)	Métamorphisme	432 490	353 910	Domaine minier F
<b>Fer 2</b>	<b>Lithologie :</b> Leptynite à sillimanite-cordiérite-grenat et gneiss à sillimanite-cordiérite	Métamorphisme	398 770	444 020	4 kms à l'Est du domaine minier B

Substances minérales	Occurrences géologiques	Vecteur de Minéralisation possible	Coordonnées (m) des aires de minéralisation		Domaines miniers de MTH concernés
			X	Y	
<b>Graphite</b>					
<b>Gr 1</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Gneiss à pyroxène à bancs intercalés de quartzite</i> <b>Tectonique :</b> <i>DHS 3 (flexure de Ranotsara)</i>	Métamorphisme	433 730	353 090	Domaine minier F
<b>Gr 2</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Gneiss à amphibole-biotite</i>	Métamorphisme	384 130	398 790	Domaine minier D
<b>Scheelite</b>					
<b>Sch 1</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Gneiss à amphibole et biotite</i> <b>Tectonique :</b> <i>DHS 1,</i>	Métamorphisme	422 730	390 000	Domaine minier E
<b>Sch 2</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Leptynite à grenat-sillimanite-cordiérite</i> <b>Tectonique :</b> <i>DHS 2, sur flanc de replis,</i>	Métamorphisme	398 740	421 350	Domaine minier D
<b>Sch 3</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Gneiss à grenat</i> <b>Tectonique :</b> <i>DHS 2,</i>	Métamorphisme	394 900	421 310	Domaine minier D
<b>Cuivre</b>					
<b>Cu 1</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Cipolin intercalé dans gneiss leptynitique</i> <b>Tectonique :</b> <i>DHS 3 (flexure de Zazafotsy),</i>		383 348	398 787	Domaine minier D
<b>Cu 2</b>	<b>Lithologie :</b> <i>couverture alluvionnaire</i> <b>Tectonique :</b> <i>DHS 2</i>	Sédimentation	400 290	412 490	Domaine minier D
<b>Cu 3</b>	<b>Lithologie :</b> <i>Gneiss à pyroxène intercalé dans gneiss à amphibole – biotite</i> <b>Tectonique :</b> <i>DHS 1</i>		425 010	389 630	Domaine minier E

